

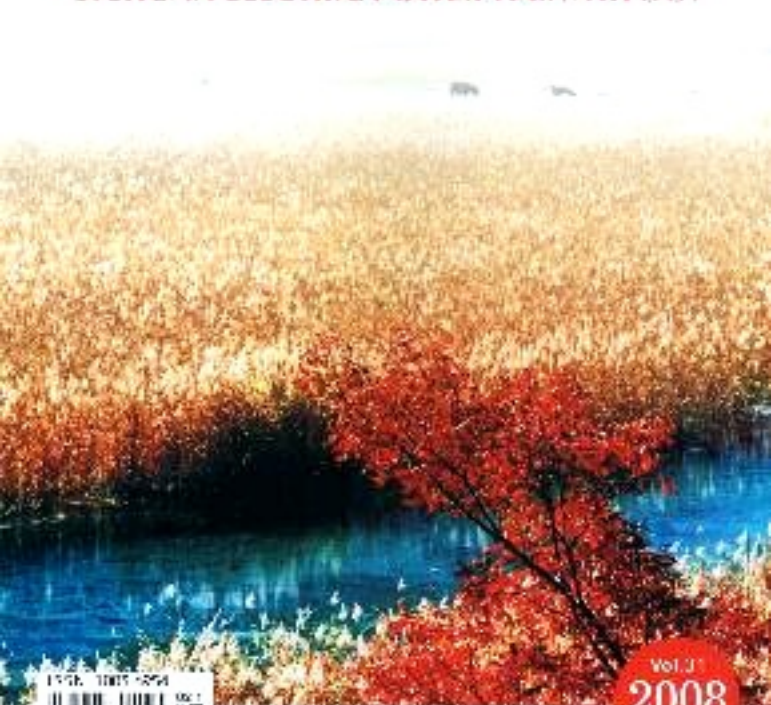
本刊地址：成都
★ 邮发代号：62-100
★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加

★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加

★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加
★ 邮费在零售处另加

四川電力技術

SICHUAN ELECTRIC POWER TECHNOLOGY



四川省电机工程学会 四川电力试验研究院

Vol. 31
2008
No. 1

四川上海±800千伏特高压直流输电示范工程开工

2007年12月21日,目前世界上电压等级最高、输送距离最远、输送容量最大、技术最先进的直流输电工程——四川-上海±800千伏特高压直流输电示范工程在四川宜宾正式开工。该工程将承担金沙江下游向家坝、溪洛渡水电站电能东送任务,预计于2010年建成投运。工程建成后,每年将向上海输送清洁高效电能约305亿千瓦时,折合节省原煤约1500万吨,减排二氧化碳超过2500万吨。

四川-上海±800千伏特高压直流输电示范工程起点为四川复龙换流站,落点为上海奉贤换流站。工程额定输送功率640万千瓦,最大输送功率700万千瓦,将新建±800千伏换流站两座、±800千伏直流输电线路一回,途经八省市,全长约2000千米。工程估算静态投资约174亿元,动态投资约180亿元。工程将推动中国直流输电能力和系统控制水平的大幅提升,建成后将创造18项世界第一。



四川省副省长黄彦蓉代表省委、省政府对工程开工建设表示热烈祝贺,对国家电网公司长期以来给予四川省的大力支持表示感谢。她说,国家电网公司大力发展特高压输电技术,率先在四川省建设特高压直流输电示范工程,将为四川“工业强省”战略的实施提供支撑,从根本上解决四川水电送出难的问题。四川省将全力支持特高压工程建设,为工程建设创造有利条件。

国家电网公司副总经理郑宝森在开工仪式上表示,该工程是引领世界直流输电技术创新工程,是中国特高压直流输电设备自主化的重要依托工程,对于实现西南水电大规模和经济高效送出、服务四川经济建设、保障上海地区用电需求、落实国家节能减排政策具有重要作用。

国家发改委、国资委、科技部、电监会的领导,公司高级顾问陆延昌、总经理助理马治中及公司有关单位和部门负责人,线路沿途省(市)代表,国标委、中机联、中电联,电力行业、金融机构、工程参建单位代表出席了开工仪式。仪式由国家电网公司总工程师张丽英主持。

四川-上海±800千伏特高压直流输电示范工程 开工仪式

二〇〇七年十二月二十一日 四川 宜宾



远距离电力波输电的仿真研究

滕福生

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:介绍利用远距离输电线FPT的均匀分布参数而形成的波传输特性,即电力波将大容量的电力送往远区受端系统的有关仿真理论和方法。应用仿真技术对各种长度的远距离电力波输电FPTW的主要特性进行了仿真研究,并分析了有关的仿真结果,为进一步的规划和应用工作,提供了有意义的基础参考资料。

关键词:远距离输电;电力波输电;仿真研究

Abstract: The theories and techniques for simulation of the bulk capacity far power transmission by wave(FPTW) caused by the performance of distributed continuous parameters of far power transmission (FPT) line are presented. The simulation results of its important characteristics are analyzed for the work of development successfully.

Key words: far power transmission; power transmission by wave; simulation technique

中图分类号:TM722 **文献标识码:**A **文章编号:**1003—6954(2008)11—0001—04

中国西部有着丰富的水电资源,特别是四川省的水电资源开发以后,如近期开始的金沙江上的梯级水电站的开发,总容量可达50 GkW以上,不仅足够供给本地区用电外,需要将几千万千瓦的电力,送往几千公里以外的东部和南部缺乏能源的地区,这是大家非常关心的西电东送和川电外送的重大任务。值得注意的是,通常由短线发展的补偿型输电方式,即采用并联电抗器补偿线路分布电容^[1],有时还要用串联电容补偿线路电感,当线路长度在1 000 km以上时,若采用500 kV的电压等级,输电能力的技术经济性降低,所以,也正在致力于1 000 kV线路的开发工作^[2]。理论上分析,当线路长度大于750 km,可以利用线路分布参数形成的电磁波特性,以波的传播方式输电^[3],称为远距离电力波输电FPTW或简称为电力波输电PTW。这种输电方式,不用并联电抗器补偿,也不用串联电容器补偿,而是利用远距离输电线路本身的分布参数,只要选择适当的波阻抗值,就可以把大容量的电力,送往远区受电系统。

电网工频为50 Hz,远距离输电线波传播特性的波长为6 000 km。当线路长度大于八分之一波长,即750 km,波传播特性开始显著;线路越长,波传播特性越有意义。为此,可以把远距离输电线路按长度分为:

- 1) 长线路LDL:线路长度大于750 km,小于1 500 km。
- 2) 超长线路SDL:线路长度大于1 500 km,小于

- 3 000 km。
 - 3) 特长线路UDL:线路长度大于3 000 km。
- 中国西部水电开发送出的输电线路,如按上述划分,有不少长线路和超长线路。如要开发西藏的水电资源外送,也可能出现特长输电线路。

仿真研究是重要课题在理论研究的基础上,为进一步的开发研究的实用转化进行论证的重要工作^[4]。由于远距离输电的波动特性,线路的电压分布,在空载运行时,防止过电压是突出的课题。又当逐渐增大线路的输送功率到满载,还需要根据稳定的要求,仿真发电机的励磁调节,保证输电线路的发端电压为要求值。

1 仿真模型

远距离分布参数的输电线FPT,它的等值电路如图1所示。

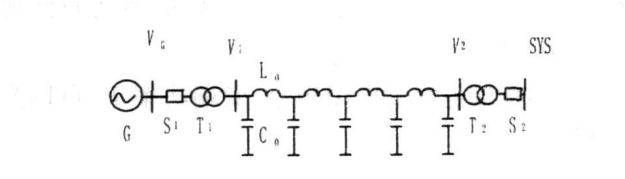


图1 FPT分布参数等值图

图1中: L_o 和 C_o 为输电线路单位长度的电感和电容; V_1 为输电线路发端的电压; V_2 为输电线路受

端的电压; T_1 和 T_2 分别为发端升压变压器和受端降压变压器。 G 为发电机, 其端电压为 V_G 。

FPT 的受端运行方程的矩阵形式^[3]为:

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l - Z_w \sinh \gamma l \\ -\frac{1}{Z_w} \sinh \gamma l \cosh \gamma l \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

在发端运行方程为:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma l & Z_w \sinh \gamma l \\ \frac{1}{Z_w} \sinh \gamma l \cosh \gamma l \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

上两式中:

$$\gamma = \sqrt{(R_o + j\omega L_o)(G_o + j\omega C_o)} \quad (3)$$

称为传播常数;

$$Z_w = \sqrt{\frac{R_o + j\omega L_o}{G_o + j\omega C_o}} \quad (4)$$

称为特性阻抗。

一般的大容量输电线, 它的单位长度电阻 R_o 较电感 L_o 小, 电导 G_o 较 C_o 小, 于是:

$$\gamma = j\omega \sqrt{L_o C_o} = j\beta \quad (5)$$

$$Z_w \doteq R_w \doteq \sqrt{\frac{L_o}{C_o}} \quad (6)$$

R_w 相当于是纯电阻。

式(1)和(2)用 R_w 表示为:

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta l - jR_w \sin \beta l \\ -j\frac{1}{R_w} \sin \beta l \cos \beta l \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

和

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta l & jR_w \sin \beta l \\ j\frac{1}{R_w} \sin \beta l \cos \beta l \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

FPT 发端的输入阻抗为 R_w , 则输入发端的有功功率 P_1 为:

$$P_1 = \text{Re}(V_1 \cdot I_1) = \frac{V_1^2}{R_w} = P_w \quad (9)$$

上式说明, 由于 R_w 与线路的长度 l 无关, 所以, P_1 就只与 V_1 和 R_w 有关。而与 l 无关, 称为自然功率, 用 P_w 表示。

大容量输电线的电阻很小, 受端功率 P_2 可以简化计算用:

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R_w} = \frac{V_1^2}{R_w} \quad (10)$$

当使 P_2 为输电线路经 T_2 送到受端系统的功率时, 受端等效阻抗也为 R_w 。

波阻抗 R_w 是具有分布参数的远距离输电线, 因

形成电磁波传播电力的一个重要参数。它是由 L_o 和 C_o 而定。 L_o 和 C_o 只与输电线路的结构和架设方式有关, 所以, R_w 就由线路的结构和架设方式而定, 有:

$$R_w = \frac{k_w}{\sqrt{\epsilon}} \lg \frac{D_p}{r_p} \quad (11)$$

式中: k_w 为一常数, 对三相架空线路, 其值约为 138; D_p 为三相线路的平均相间距离; r 为每根导线的半径; d 为分裂导线间距; r_p 为每相分裂导线的等效半径, 单位为 m; ϵ 为导线外介电常数。

导线可以用空气作介质, 也可以外加介质套层, 介电常数 ϵ , 为^[5]:

空气为 1; 聚氯乙烯 6; 聚苯乙烯 2.5。

因此, 选择 D_p 和 r_p , 以及 ϵ , 可以选定一个合适的波阻抗值。 R_w 可作到小于 200 Ω 。

例如, 当 R_w 选定为 200 Ω , $V_{1m} = 1.05 \times 500$ kV, 则最大输送功率 P_{1m} 为:

$$P_{1m} = \frac{525^2}{200} = 1378 \text{ MW} = 1.4 \text{ GW}$$

又如, 当 R_w 选定为 220 Ω

$$V_{1m} = 1.05 \times 1000 \text{ kV}$$

$$P_{1m} = \frac{1050^2}{220} = 5.0 \text{ GW}$$

用一回三相输电线路, 既不用并联电抗补偿, 又不用串联电容补偿, 因 R_w 与输电距离无关, 只由 V_1 和 R_w 决定这样大的输电功率, 输送到远距离以外的受电系统, 这显然具有很大的技术经济性。

500 kV 的输电电压等级, 采用这种 FPTW 的系统接线方式, 可以用扩大单元接线方式, 如图 2 所示。

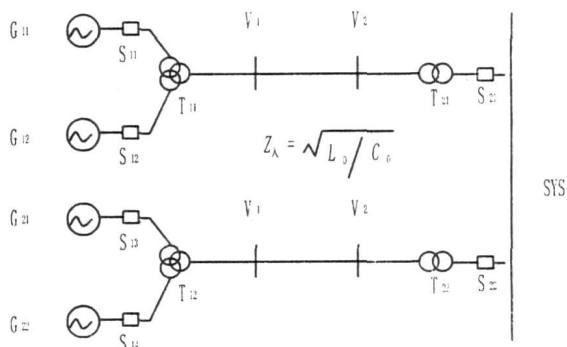


图2 扩大单元接线

两台 600 MW 或 700 MW 发电机分别经过开关 S_{11} 和 S_{12} 以及升压变压器 T_{11} , 接入一回输电线路, 在受端又经降压变压器 T_{21} 和开关 S_{21} , 接入受端系统 SYS。当有多回线路时, 分别在受端 SYS 并联。这种

在发端和受端由于没有补偿电抗器,就可以不用 500 kV 的高压开关,既节约投资,又简化系统的运行和维护工作,显著提高系统的可靠性和经济性。

2 电压分布和仿真

远距离均匀分布参数的输电线路,在空载投入运行时,线路先接发电端或接受电系统,应该由空载情况要求线路上任何一点都不能出现过电压决定。而且,为了保证受端电压 V_2 为规定值,线路投入运行从空载到满载的电压分布情况,必须在理论研究的基础上,进一步进行仿真分析印证。为此,按照上述数学模型,编制了面向波传播对象和可视化的仿真软件 BZSL-4.0,可以对各种线路长度的 FPTW 进行仿真计算,得到线路全长的电压分布和相关的电压控制措施。

2.1 长距离输电线 LDL

LDL 的线路长度按线路的波传播特性为 750~1 500 km,即 $1/8 \sim 1/4$ 波长的距离。如线路长度 l 一定,由式(8)可得:

$$V_1 = V_2 \cos \beta l + j I_2 R_w \sin \beta l \tag{12}$$

当 $I_2=0$,即空载, V_{10} 和 V_{20} 的关系为:

$$V_{10} = V_{20} \cos \beta l \tag{13}$$

显然, V_2 为额定值 V_{2e} ,则可以求得 V_{10} 的大小。如线路长度为 1 200 km 得到仿真曲线见图 3。

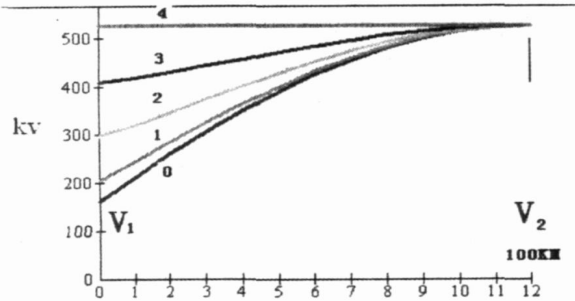


图3 长距离输电的电压分布曲线

图3中的曲线0表示空载的情况,由该曲线可见:为保证线路的 V_2 为受端系统要求值 V_{2e} ,在线路的发端,电压则应为 V_{10} 。

由于 $V_1 = K_{T1} V_G \tag{14}$

这里, K_{T1} 为 T_1 的电压变比。

为此,使用发电机的励磁调节器,调节发电机的端电压为 V_{G0} ,也就对应调节线路发端电压 V_1 ,为 V_{10} 。在发电机的电压为 V_{G0} 的情况下,将发电机经升压变压器与输电线连接,就可以保证空载线路的受端电压为 V_{2e} 。

这样,就可以将输电线路,在受端经过降压变压器与受端系统连接。要增大线路的输送功率,由式(10)可见,只要逐渐提高输电线路发端的电压,如图3中的电压分布曲线1、2、3和满载的曲线4所要求的发端电压为:

$V_{11}, V_{12}, V_{13} \text{ 和 } V_{14}$

也就对应要求调节发电机端电压为:

$V_{G1}, V_{G2}, V_{G3} \text{ 和 } V_{G4}。$

所以,只要调节发电机的励磁控制发电机的电压,就能控制输电线路的发端电压,也就能保证线路电压的安全性和调整线路的输送功率。

2.2 超长距离输电线 SDL

SDL 的线路长度按线路的波传播特性为 1 500~3 000 km,即 $1/4 \sim 1/2$ 波长的距离。如线路长度为 2 200 km,仿真结果如图 4。

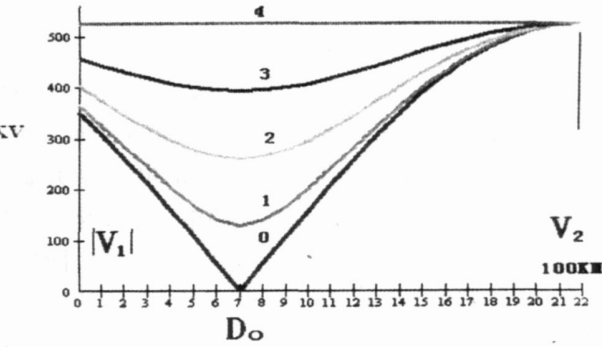


图4 超长距离输电的电压分布曲线

从图4中值得注意的是:在线路空载时,距线路受端 $1/4$ 波长的 1 500 km 处 D_0 ,电压为 0,即空载线路的 0 电压点。只有保证这一点的电压为 0,即在这一位置设置一“接 0 开关”,加以控制达到。然后,先将输电线路与受端连接,保证线路电压的安全。空载线路在发电端,要通过变压器与发电机联接,同样要求调节发电机的励磁,使发电机的端电压,能使线路的发端电压 V_1 为 V_{10} 。这样,就可以将发电机通过开关和升压变压器接到输电线路发端。

要增大输电功率,断开“接 0 开关”,提高线路发

端电压 V_1 , 也就是用发电机的励磁调节器调节 V_1 来改变 P_1 的大小, 如图 3 中的曲线 1、2、3、4 分别表示依次增加线路输送功率时, 需要增大发电机的出力和电压, 以提高线路的发端电压, 沿线路电压分布的曲线。曲线 4 表示线路功率达到自然功率的电压分布情况。

2.3 特长距离输电 UDL

UDL 的线路长度为 3 000 km 以上, 即 $1/2$ 波长以上的距离。如线路长度为 3 500 km, 仿真结果如图 5。

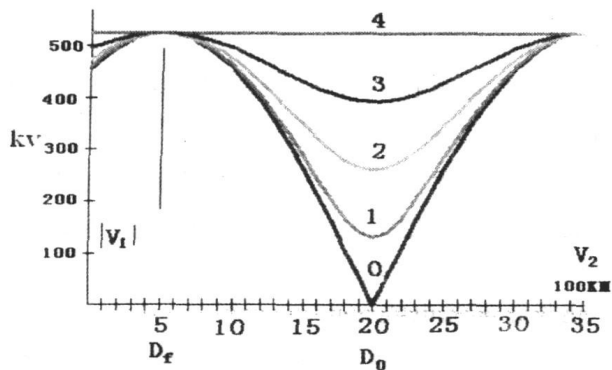


图 5 特长距离输电的电压分布曲线

与 SDL 的曲线相比较, 在线路空载时, 除了距线路受端 $1/4$ 波长的 1 500 km 处 D_0 , 电压为 0, 即空载线路的 0 电压点外, 距线路受端 $1/2$ 波长的 3 000 km 处 D_f , 还出现电压的“峰点”, 在该处, 电压为最大值。

只有保证空载线路的 0 电压点的电压为 0, 输电线路与受端连接时, 才能保证线路电压的安全。空载线路在发电端, 要通过变压器与发电机联接, 同样要求调节发电机的励磁, 使发电机的电压, 能使线路的发端电压 V_1 为 V_{10} 。

要提高线路输送功率, 同样用提高发端电压 V_1 , 也就是用发电机的励磁调节器调节 V_1 来改变 P_1 的大小, 如图 5 中的曲线 1、2、3、4 分别表示依次增加线路输送功率时的电压分布曲线。

3 系统静稳定性

用 FPTW 传送功率时, V_1 和 V_2 间的线路长度为 l , 则 V_1 和 V_2 间的相位差 θ_{12} 为:

$$\theta_{12} = 2\pi l / l_w \quad (15)$$

这相位差角, 只由线路长度 l 和电磁波的波长 l_w 决定, 与输送的功率大小无关。如一回距离为 1 200

km 的 500 kV 线路, 则:

$$\theta_{12} = 2\pi \cdot 1200 / 6000 = 72^\circ$$

又如距离为 2 200 km, 则

$$\theta_{12} = 2\pi \cdot 2200 / 6000 = 132^\circ$$

再如距离为 3 500 km, 则

$$\theta_{12} = 2\pi \cdot 3500 / 7000 = 210^\circ$$

由于 V_1 和 V_2 间相位差角 θ_{12} 只受电磁场和波的作用, 而由线路长度决定为一定值, 并不随输送功率的大小而变化的特点, 也就保证了两端的同步性。因此, 这就为提高发电机的静稳定性提供了有利的条件。远区发电厂的功率特性当系统采用扩大单元接线时, 可简化为:

$$P = \frac{EV_1}{X_{GT}} \sin \delta \quad (16)$$

式中: E 为发电机计算用电势; X_{GT} 为发电机和升压变压器电抗之和。

发电机的励磁调节用于既调节 V_1 来改变 P_1 的大小, 又在一定的 P_1 情况下维持 V_1 恒定的调节方式, 则功率极限为:

$$P_m = \frac{EV_1}{X_{GT}} \quad (17)$$

这一 P_m 值, 显然较包括有输电线路的电抗时的功率极限值高。

4 结论

远距离输电 FPT 的均匀分布参数形成电力波的输电特性, 以电磁场和电磁波的传播方式, 将远区发电厂的大容量电能沿线路传输到受端系统, 其输电特性, 只由波阻抗大小和线路发端电压决定, 而与线路长度无关。为了保证线路不出现过电压, 需要采取如下措施:

1) 从空载到满载, 应根据线路长度所决定的线路发端电压 V_1 , 调节发电机的励磁以控制发电机的电压, 使 V_1 为要求值。

2) 线路长度大于 1 500 km, 在距受端 1 500 km 处, 设置线路的电压“0 点”控制。

3) 线路长度大于 3 000 km, 在距受端 3 000 km 处, 为线路的电压“峰点”, 需要加以过压控制和保护。

采用电力波的远距离输电 FPTW 方法, 由于不需要安装并联电抗器, 采用扩大单元接线方式, 还可以减少高压开关, 以较大的技术和

(下转第 60 页)

km,改造新立杆塔400多基。

3 通信

配网自动化的通信包括主站对子站、主站对现场终端、子站对现场终端、子站之间、现场终端之间的通信等广义的范围。通信是实施配网自动化的一个重点和难点,区域不同、条件不同,通信方案也多种多样,主要有光纤、有线电视、电力载波、微波、扩频等,但就目前配网自动化技术不够成熟的情况下,采用混合通信方案是比较符合实际的原则。德阳局实现的方案为:主站与子站之间采用单模光纤,并以光纤以太网方式相连,通过协议转换器、交换机等实现主站与子站的通信;子站与干线上的FTU、开闭所、环网柜之间采用单模光纤,通过光纤双环相连(采用单模双发双收的光MODEM)实现带自愈的双环通信。正常情况下,只有一个环路在使用,当发生故障时,光端机能自动检测故障点,启用第二个环路完成通信,正常装置仍能保持通信畅通和链路完好。

4 配网自动化实施中应注意的问题

1)配网自动化的实施涉及的部门多,投资大,是一项系统工程,因此配网自动化的规划是必不可少的,必须结合当地配电网的发展规划,制定详细的配网自动化的实施计划,整体考虑,分期分批实施,同时要供电企业内部信息化建设相协调。另外,从供电局的实际需要和发展需求出发,目前的配网自动化系统应该实现配(网)调(度)合一的设计,技术上统一平台,管理上易于维护,经济上节约资金,同时也奠定了

将来电力企业信息化的基础。在实施过程中,注重已有的调度自动化的升级改造与建设配网自动化统一考虑,新上调度自动化与建设配网自动化统一考虑。

2)配电线路设备的户外运行环境,对开关设备、配电终端设备等提出了更高的要求,必须考虑雷击过电压、低温和高温工作、雨淋和潮湿、风沙、振动、电磁干扰等因素的影响,在开关的外绝缘材料、电子设备的设计、元器件的筛选等方面应综合考虑其性价比。此外,配电自动化系统中的站端设备进行远方控制的频繁程度比输电网自动化系统要高的多,因此要求配电自动化系统中的站端设备具有更高的可靠性。

3)配电终端设备中的电源用于控制开关动作,正常情况下从线路中取得,线路失电后的后备电源应具有较高的可靠性。

4)在实施配网自动化后,降低了运行人员的劳动强度,提高了劳动效率,使运行人员对网络的运行状况掌握得更全面更快捷,为供电企业创造更好的经济效益和社会效益。配网自动化的实施,改变了配电网传统的运行管理方式,但对运行人员提出了较高的要求。

5 结束语

经济的发展对配电网自动化提出了更高的要求,配电网自动化也是电力系统现代化发展的必然趋势。技术在发展,需求也在提高,应参照发达国家和地区的经验,结合实际情况,综合考虑近期与远期、全局与局部、主要与次要的关系,进一步设计开发出先进、通用、标准的配电网自动化系统,对电力市场的发展具有重要意义。
(收稿日期:2007-11-20)

(上接第4页) 经济效益,输送大容量的电能到各种长度的远距离外的受端系统。这是一个值得关注并具有中国自主知识产权的课题。

参考文献

- [1] Oille I. Elgerd. Electric Energy System Theory, McGraw-Hill, 2nd Edition, 212-214.
- [2] 舒印彪. 我国特高压输电的发展与实施[J]. 中国电力, 2005, (8): 9-12.
- [3] 滕福生, 滕欢. 面向波阻抗的长距离输电研究[J]. 电网

技术, 2007, (31)6: 70-72.

- [4] J. Yang, M. D. Anderson. PowerGraf: An Educational Software Package for Power Systems Analysis and Design. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, (13)4: 1205-1210.
- [5] 冯全跃, 李广泽. 动力工程师手册[M]. 西北电力设计院, 1992, 211.

(收稿日期:2007-11-18)

作者简介:

滕福生(1929-), 教授, 博士生导师, 长期从事电力系统和长距离输电的教学、科研和工程技术工作。

基于小波分析的次同步振荡检测研究

刘海洋, 李兴源, 徐大鹏

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 考虑次同步振荡和轴系的特殊关系, 使用小波变换实时监测轴系次同步分量, 并在突发故障的情况下, 及时检测到突发故障的奇异点, 达到及时报警和采取相应对策的目的。该方法简单实用, 监测设备易于实现。

关键词: 小波; 次同步振荡; 轴系; 实时监测

Abstract: Because of the special relationship between SSO (subsynchronous oscillation) and shafting of turbine-generator set, wavelet analysis is applied to torsional oscillation real-time detection and fault feature extraction of sudden fault, so that it can alarm in time and take some corresponding countermeasures. The method is simple and practical, and the detection device is easy to be realized.

Key words: wavelet; subsynchronous oscillation (SSO); shafting; real-time detection

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0005-03

电力系统次同步振荡与轴系扭振有着密切的联系, 轴系扭振是电力系统次同步振荡在汽轮发电机组轴系上的反映, 而轴系扭振又进一步加剧了电力系统中电气次同步谐振^[1]。次同步振荡的后果可能是危险的, 如果扭转振荡加大, 汽轮发电机的轴系会裂断, 造成灾难性后果; 即使振荡不是不稳定的, 系统的扰动可能造成大幅值的轴系转矩, 引起轴系疲劳寿命的损耗^[2]。

预防和抑制轴系扭振的措施可以从设计制造、运行方式、机—电配合、在线监测和控制调节等几方面针对不同情况进行采用。实时监测是防止大型汽轮发电机组出现过大扭应力和疲劳损坏的最有效手段^[3]。

由于发生次同步谐振时谐波通常表现出复杂性和非线性, 特别是动态和突发性谐波的存在, 所产生的振动信号也随之出现非平稳性。由于傅里叶变换在时间局部性的缺点, 以及短时傅里叶变换存在固定时频窗的缺点^[4], 所以它们并不适合次同步问题的分析。

小波变换通过伸缩和平移运算对信号进行多尺度分解, 从而能够有效地从信号中获取各种时频信息^[5], 是分析非平稳信号的一种有效的手段。

这里将用小波提取低频分量, 实时监测大轴转速, 并在突发故障引发的次同步振荡信号的情况下,

利用小波分析来分析信号的奇异性以及奇异性的位置和大小, 以采取相应对策。仿真表明采用此种方法能有效避免高次谐波和基频分量的干扰, 使监测设备的结构更简单, 更便于实现。

1 小波变换

小波, 其特点是具有波动性与衰弱性, 直流分量为0^[6]。为了克服傅里叶变换没有任何局部化特性和短时傅里叶变换固定分辨率的缺陷, 要求对某时变信号分解的基函数具有足够的光滑性, 函数本身及其倒数在无穷远处速降, 具有紧支撑集和高阶消失矩, 该函数即为小波基函数。

令 $\Psi(t) \in L^2(R)$ (能量有限), 其傅里叶变换为 $\Psi(\omega)$ 。当 $\Psi(\omega)$ 满足下面允许条件时:

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (1)$$

$\Psi(t)$ 就为一个基本小波。将基本小波函数 $\Psi(t)$ 伸缩和平移后, 就得到一个小波基函数:

$$\Psi_{\alpha, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{|\alpha|}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right) \quad (2)$$

其中: α 为尺度参数, τ 为位置参数。与此对应, 在频域上有:

$$\Psi_{\alpha, \tau} = \sqrt{\alpha} e^{-j\omega\tau} \Psi(\alpha\omega) \quad (3)$$

由式(1)可知:

$$\begin{aligned} \Psi(0) &= 0 \\ \int_R \Psi(t) dt &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(505954128-50577044); 国家重点基础研究专项经费资助项目(2004CB217907)

这说明小波 $\Psi(t)$ 具有衰减性和振荡性, 即时域上表现为一个衰减而振荡的波, 频域上具有带通性, 其带通的中心随着伸缩因子 α 的增减前后移动。因此 $\Psi(t)$ 在时、频域都具有良好的局部化能力^[7]。

小波变换就是将任一平方可积或能量有限信号表示成小波系数的叠加。函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的小波变换定义为:

$$W_f(\alpha, \tau) = \frac{1}{\sqrt{|\alpha|}} \int_R f(t) \Psi^* \left(\frac{t-\tau}{\alpha} \right) dt \quad (5)$$

式中: Ψ^* 是 Ψ 的共轭, $W_f(\alpha, \tau)$ 为小波变换系数。

2 小波离散化与重构

在测量中, 采样得到的信号是离散信号, 通常对其进行离散二进小波变换。

设 $\alpha = \alpha_0^j$, $\tau = k\alpha_0^j\tau_0$, 则对应的离散小波基:

$$\Psi_{j,k}(t) = \alpha_0^{-j/2} \Psi(\alpha_0^{-j}t - k\tau_0) \quad (6)$$

设 $\alpha_0 = 2$, $\tau_0 = 1$, 可构造二进离散小波基:

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \Psi(2^{-j}t - k) \quad (7)$$

可得离散二进小波变换系数

$$DW_f(j, k) = \int_R f(t) \Psi_{j,k}^*(t) dt \quad (8)$$

信号在离散小波变换结合多分辨率思想的情况下完成时间和频率不同尺度上的分解。根据 Mallat 塔式算法^[8], 信号经多尺度分解后, 实质是被分解为一个低频分量和各尺度下的高频分量之和

$$S = A_N + \sum_{N \in Z} D_N = A_N + D \quad (9)$$

式中, A_N 为低频分量, 反映了信号的整体变化趋势, D 为高频分量, 反映了信号的细节分量。由于从系统信号低频分量进行检测会出现故障漏检的情况, 因此这里采取对信号高频分量进行分析和特征提取。其实质就是频带剥离的过程, 将信号分解为低频和高频分量, 不断滤出频率相对较高频带的分量处理后进行重构^[9]。

3 信号故障特征的提取

信号中不规则的突变部分和奇异点是信号重要特征之一。由于傅里叶变换缺乏空间局部性, 它只能确定一个函数奇异性的整体性质, 而不能确定奇异点在空间的位置和分布情况。小波分析具有良好的空

间局部化性质, 因此, 用小波来分析信号的奇异性以及奇异性的位置和奇异度的大小是很有效的^[10]。

信号的多尺度奇异性检测是先将信号在不同的尺度上用一个平滑函数 $\theta(t)$ 进行平滑处理, 然后再对信号 $f(t)$ 的一阶导数或二阶导数进行分析以检测出信号的突变位置。

平滑 $\theta(t)$ 函数应满足以下条件:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \theta(t) dt &= 1 \\ \lim_{|t| \rightarrow +\infty} \theta(t) &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

取 $\theta(t)$ 为平滑性很好的高斯函数, 令

$$\Psi^{(1)}(t) = \frac{d\theta}{dt} = \frac{-1}{\sqrt{2}\pi} t e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (11)$$

$$\Psi^{(2)}(t) = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi} (1-t^2) e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (12)$$

可知 $\Psi^{(1)}(t)$, $\Psi^{(2)}(t)$ 均满足小波函数允许性条件, 即:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi^{(1)}(t) dt = 0, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \Psi^{(2)}(t) dt = 0$$

故 $\Psi^{(1)}(t)$, $\Psi^{(2)}(t)$ 均可用作小波基函数。

以 $\Psi^{(1)}(t)$, $\Psi^{(2)}(t)$ 为小波基函数, 信号 $f(t)$ 的卷积型小波变换为:

$$W_\alpha^{(1)} f(t) = \frac{1}{\alpha} \int_R f(\tau) \Psi^{(1)} \left(\frac{t-\tau}{\alpha} \right) d\tau \quad (13)$$

$$W_\alpha^{(2)} f(t) = \frac{1}{\alpha} \int_R f(\tau) \Psi^{(2)} \left(\frac{t-\tau}{\alpha} \right) d\tau \quad (14)$$

$W_\alpha^{(1)} f(t)$, $W_\alpha^{(2)} f(t)$ 可以看作信号 $f(t)$ 在尺度 α 下经平滑函数 $\theta(t)$ 平滑处理后的一阶导数与二阶导数。

当小波函数看作某一平滑函数的一阶导数时, 信号小波变换模的局部极值点对应信号的突变点; 当小波函数看作某一平滑函数的二阶导数时, 信号小波变换模的过零点也对应信号突变点。因此, 采用检测小波变换系数的过零点和局部极值点的方法可以检测信号的突变点^[11]。相对而言, 用局部极值点进行检测更具有优越性^[12]。

4 仿真实例和结果

4.1 小波基的选择

构造或选择基小波时, 需要从滤波能力和计算代价两方面考虑。一般而言, 滤波器长度越长, 滤波效果越好, 但计算量就越大。如果选择短的滤波器, 则滤波效果可能达不到要求。在文中选择 Daubechies (dbN) 小波系。db4 小波函数图如图 1 所示。

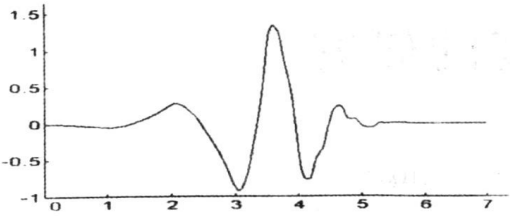


图1 db4小波函数

Daubechies 不仅是连续的和正交的,而且是支集最小的。因此这种小波的滤波器系数个数少,在分解与重构算法中所需要的计算量少,这在信号的实时处理中非常重要。

4.2 实例和结果

文中的仿真模型基于某电网实际模型,并有相关文献证明了研究机组发生次同步振荡的可能性,待研究发电机组的振荡频率为 13.6 Hz、24.6 Hz、38.7 Hz^[13]。在本次仿真实例中,利用小波滤波器对包含的电网模型的次同步分量进行检测,并设置在 0.2 s 发生线路故障并导致了次同步振荡,利用小波滤波器检测该突变信号的位置,从而达到报警和采取相应对策的目的。

小波滤波器的信号量为转子转速采样信号(见图2),对该采样信号用 db4 小波进行 6 尺度正交小波分解,算法采用 Mallat 塔式算法。考虑到从系统信号低频分量进行检测会出现故障漏检的情况,因此对信号每层高频分量进行分析和特征提取,然后基于分解步骤的逆过程,合成每层的高频部分,分离出次同步分量,高于工频部分结果如图3,次同步分量如图4。

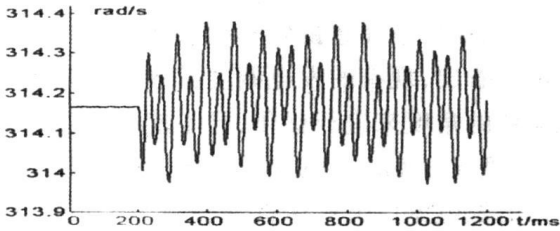
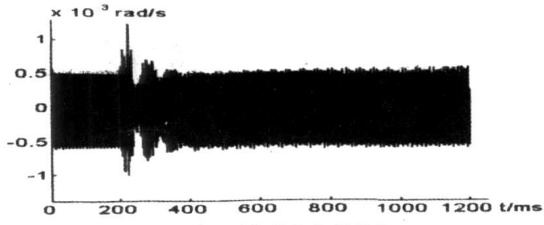
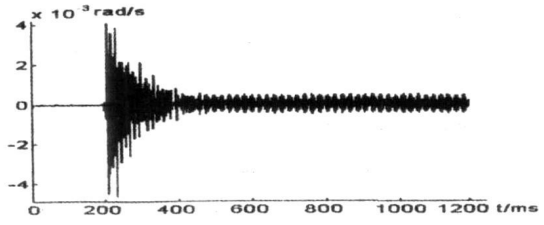


图2 转速采样信号

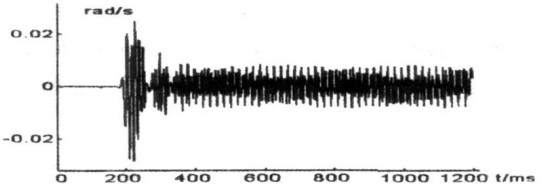
从仿真实例可以看出,发生故障后,信号频率高于工频的部分振幅的数量级都很小,且迅速衰减到一更小的值,在文中,不考虑它们的影响;而次同步分量的振幅幅值较大,且无衰减趋势。因此,认为系统发生次同步振荡,系统对次同步振荡无正阻尼。



(a) 第一层分解的高频部分

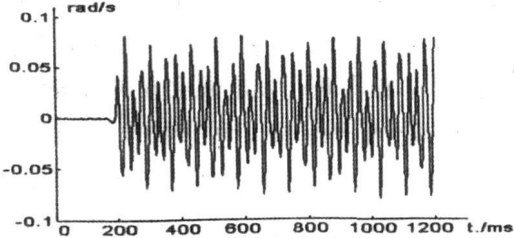


(b) 第二层分解的高频部分

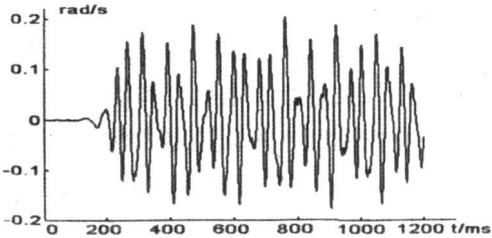


(c) 第三层分解的高频部分

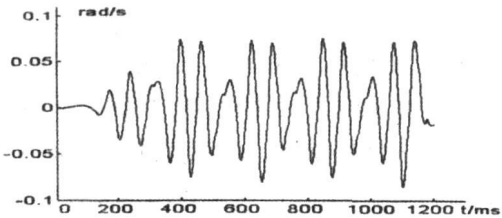
图3 高于工频频率分量提取



(a) 38.7Hz的次同步分量信号



(b) 24.6Hz的次同步分量信号



(c) 13.6Hz的次同步分量信号

图4 基于小波变换的次同步分量提取 (下转第42页)

端接地,合上断路器后,即出现满屏大幅值干扰,现象和葫芦坝电站一样。怀疑为套管末屏接地不良,检查高压侧及中性点,末屏接地良好,而低压侧套管套在封闭母线筒内,空间非常狭窄,不方便进去检查,为确定可能是低压套管的末屏接地不良,将低压侧的加压端与接地端交换,干扰消失,由此确定低压端的首端末屏接地不良。由安装单位进入封闭母线筒进行检查,发现该末屏的接地从外观上看也很正常,该套管末屏的接地为弹簧式结构,经检查发现弹簧有卡涩现象,使得末屏接地不良。经处理后试验,干扰消失。

变压器在运行中,套管末屏应该接地良好,如果

接地不良投入运行,在运行中末屏对地有一个悬浮电位将对地放电,导致套管损坏或爆炸,造成变压器运行的安全事故。

近两年来,由于电网建设的步伐加快,安装单位在安装过程中对套管末屏接地的检查不是很仔细,使得套管末屏的接地不良,为变压器的安全运行带来隐患。通过局部放电试验,不仅能够发现变压器内部的绝缘故障,还可以检查出套管末屏的接地不良,可见其意义和作用是非常重大的。

(收稿日期:2007—12—15)

(上接第7页) 前面所提出的方法很好地分析出了次同步分量,并清晰地显示了间断点的准确位置,这对及时报警和能够及时采取诸如投入控制器、改变运行状态、切机等对策提供准确参考信息。事实上如果只是辨别间断点位置,使用 db1 小波将会有更好的效果。

5 结论

实时监测是防止大型汽轮发电机组出现过大的扭应力和疲劳损坏的最有效手段,精确提取各次谐波幅值是信号处理精度的核心部分。扭振信号主要是低频谐振和与转速有关的各次谐波组成,傅里叶分析已经不适合此种情况,而小波分析因为其良好的时频局部性,已经成为分析非线性、非平稳信号的有力数学工具。将小波分析用于对轴系进行监测,不但能对次同步分量进行监测,而且能对感兴趣的谐波分量进行监测,其关键技术还是在对信号量采集的传感器的研发,小波基的选择以及算法的进一步简化。

参考文献

- [1] IEEE Committee Report by Subsynchronous Resonance Working Group of the System Dynamic Performance Subcommittee Reader's guide to subsynchronous resonance IEEE Transaction on Power System, February 1992, 7(1): 150—157.
- [2] 李兴源. 高压直流输电系统的运行[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 龚年乐, 冯玉明, 肖启富. 电力系统扰动与汽轮发电机轴系扭振[J]. 中国电机工程学报, 1987, (4): 50—57.

- [4] Jing Lin. Feature extraction of machine sound using wavelet and its application in fault diagnosis [J]. NDT&E International. 2001, (34): 25—30.
- [5] 张鹏飞, 薛禹胜, 张启平. 电力系统时变振荡特性的小波脊分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 32—35.
- [6] Daubechies. The Wavelet Transform, Time—frequency localization and signal analysis, IEEE Trans. Information Theory, 1990, 36(9): 961—1005.
- [7] 何正友, 杨卿, 钱清泉. 电力系统暂态信号的小波分析方法及其应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(5): 4—6.
- [8] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [9] I. Daubechies, The wavelet transform, Time—frequency localization and signal analysis, IEEE Trans. 1990, 36(5): 961—1005.
- [10] Sun Z and Chang C C. Structural damage assessment based on wavelet packet transform[J]. Journal of Structural.
- [11] 苏斌, 董新洲, 孙元章. 基于小波变换的行波差动保护[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(18): 25—29.
- [12] Mallat stephane, 杨力华, 戴道清等. 信号处理的小波导引[M]. 机械工业出版社, 2002.
- [13] 伍凌云. 复杂交直流输电系统次同步振荡的分析与控制, 四川大学博士学位论文, 2007.

作者简介:

刘海洋(1979—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制。

李兴源(1945—), 男, 教授, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 从事电力系统稳定与控制、高压直流输电、分散式发电等方面的研究。

(收稿日期:2007—12—10)

实施节能发电调度的研究

廖 萍, 李兴源

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610045)

摘 要:结合电力行业发展现状,指出实施节能调度的重要性。针对改变发电调度方式的问题,给出了机组排序表。对实施节能调度所涉及的几方面问题进行分析研究,并就具体项目推广进行了探讨性的说明。最后总结了节能调度的前景。

关键词:节能;发电调度;机组排序

Abstract: Combined with the development and the present situation of power industry, the importance of implementing energy conservation dispatching is pointed out. Aiming at the improvement in generation dispatching mode, the compositor table of the units is presented. Some problems involved in implementing energy conservation dispatching are analyzed and the extending of the detailed items is discussed. In the end, the foreground of energy conservation dispatching is summarized.

Key words: energy conservation; generation dispatching; compositor table of the units

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0008-02

根据国务院办公厅关于节能发电调度办法(试行)通知的要求,节能调度将作为电力行业改革的主要环节,放在重中之重的位置上。以确保电力系统安全稳定运行和连续供电为前提,以节能、环保为目标,通过对各类发电机组按能耗和污染物排放水平排序,以分省排序、区域内优化、区域间协调的方式,实施优化调度^[1]。改革现行发电调度方式,开展节能发电调度,对于减少能源消耗和污染物排放,推动国民经济又好又快发展,具有重要意义。根据电力系统实际情况,优先使用可再生和清洁发电资源,依序使用其它发电资源,减少环境污染,使整个电力系统在节能、环保的方式下运行。

电力行业落实节能减排有三大主要任务:改进发电调度方式、关停小火电机组和加大脱硫力度^[2]。其中,改进发电调度方式又是电力行业节能减排的主要环节。中国电力调度长期存在一些问题,主要表现在不同能耗水平的机组在电力市场和发电调度中的“大锅饭”,这与历史上供需形势、投资机制、运行管理机制和市场机制有很大关系。改进调度方式,不止是技术上的电量平移,也将牵一发动全身,对投资政策、电价政策和企业生产经营稳定产生深刻影响,需要通过综合措施才能解决^[3]。改变调度方式的过程实际上是利益再分配的过程,与市场内相关各方的切身利益

密切相关。因此,这是关系到各方面的一个问题。如何将其合理的解决,以平衡的方式过渡到新的阶段,是在工作中考虑的一个重点。

20世纪80年代前,发电调度采用发电燃料消耗最低或者发电成本最小原则进行调度,发电煤耗量小或发电成本低的机组先运行,发电煤耗量大或发电成本高的机组后运行。从20世纪80年代初期开始,随着集资办电政策的实施,形成了独立电厂和直属电厂并存的局面,存在着混合的发电调度方式。2002年电力体制改革后,实现了厂网分开,发电厂归属了不同的发电主体。电力市场规则不完善,发电竞争上网市场尚未建成,能耗高、效率低的中小火电机组和能耗低、效率高的大型火电机组的年运行小时数基本相当,存在只求公平而忽视效率的倾向。

可以看出,现有的发电调度排序原则未能从降低能源消耗的角度来进行优化,已不能适应建设资源节约型、环境友好型社会的要求。因此研究以节能降耗为目标的发电调度方式来促使高效节能机组多运行、淘汰低效高能耗发电机组、提高电力行业的整体效率势在必行^[4]。

1 机组排序问题

实施节能发电调度的关键问题是改变调度方式。改变调度方式的首要问题又是对机组进行合理的排序。发电排序的序位表(以下简称排序表)是节能发

电调度的主要依据。各省(区、市)的排序表由省级人民政府责成其发展改革委(经贸委)组织编制,并根据机组投产和实际运行情况及时调整。排序表的编制应公开、公平、公正,并对电力企业和社会公开,对存在重大分歧的可进行听证。

各类发电机组按以下顺序确定序位:

1)无调节能力的风能、太阳能、海洋能、水能等可再生能源发电机组;

2)有调节能力的水能、生物质能、地热能等可再生能源发电机组和满足环保要求的垃圾发电机组;

3)核能发电机组;

4)按“以热定电”方式运行的燃煤热电联产机组,余热、余气、余压、煤矸石、洗中煤、煤层气等资源综合利用发电机组;

5)天然气、煤气化发电机组;

6)其他燃煤发电机组,包括未带热负荷的热电联产机组;

7)燃油发电机组。

同类型火力发电机组按照能耗水平由低到高排序,节能优先;能耗水平相同时,按照污染物排放水平由低到高排序。机组运行能耗水平近期暂依照设备制造厂商提供的机组能耗参数排序,逐步过渡到按照实测数值排序,对因环保和节水设施运行引起的煤耗实测数值增加要做适当调整。污染物排放水平以省级环保部门最新测定的数值为准^[1]。

2 实施节能发电调度面临的问题及解决方案

实施节能发电调度后,发电调度方式将发生比较大的变革。从传统意义上的调度方式过渡到新形式下的调度方式,必然将面临诸多的问题。如何将这些问题解决,如何平衡地过渡到一个新的阶段,是要重点讨论的一个问题。

1)根据各电网的实际情况(包括电源组成、火电机组煤耗、环保指标及电网结构特点)分析电网现状。

2)对调度管理的影响。由于大多数地区长期以来都是从经济调度的角度出发,部分电量实行电力市场化,因此就现有的调度技术条件和管理手段来看,对节能发电调度的关键性指标缺乏有效监督和管理。这些指标包括:火电机组煤耗、环保指标以及热电比等。因此,如何对这些指标进行合理有效的监管是节

能调度实施过程中的一个重要问题。

3)对电网安全的影响以及安全考核。电网运行首先应该保证电网的安全稳定性。如果不考虑安全因素,实施节能发电调度将出现电网输变电设备送出(或受入)过载,因此应重点考虑安全裕度的问题。

4)电力电量平衡。在确保安全性的基础上,电量的平衡也是应考虑方面,主要表现在年、月、日发电计划的确定上。

5)节能调度与电网实时运行的结合。主要考虑的问题是:一次调频、自动发电控制(AGC)、调峰、无功调节、备用、黑启动服务等。

6)节能发电调度与跨省电力交易的关系。针对各个电网中各省以及各大电网之间的联网,在平衡自身电量的基础上,与相邻各省网进行电量的交换。

7)从节能的角度出发,有条件的地区应更多地考虑风电的接入。将风力发电系统接入传统电力系统后,对系统潮流有较大的影响。如何合理调度各发电厂出力,维持电力系统的稳定运行是应该重视的一个问题。

除以上提到的几点外,还应考虑到网损问题、调度管理框架问题以及节能调度与电价的关系等等。

3 节能调度推广应用的内容研究

3.1 项目内容

研究以节能降耗为目标的发电调度方式,通过合理调整发电年度计划,以节能、环保、经济为标准来确定各类发电机组的发电次序和发电时间。在年度计划已由上级部门制定的情况下,从节能目的出发,在保证系统安全稳定运行的前提下,合理确定月发电计划和日发电计划。

从节能环保角度出发,将风力发电加到传统的电力系统中。项目中应重点考虑风电接入后对系统的影响。

3.2 技术关键

传统的经济调度系统是以发电燃料消耗最低或者发电成本最小为目标函数,进行电力系统的经济调度,而目前提出的问题是节能降耗为目标确定优化调度方式。

改进传统发电调度方式,将制定新的调度规则,以节能环保、经济为标准,确定各类 (下转第33页)

4 结论

以上给出了一种基于前推回推法的配电潮流并行算法,将一个具体的辐射状配电网络等构成可用多处理器进行处理的树状结构,并运用分布式系统环境下的子集调度进行分配算法,将多级馈线的辐射状配电网络的潮流计算分解为多个可并行执行子计算。随着多Transputer并行计算机在国内电力工业中的逐渐使用,相信该快速配电潮流的并行算法在配电器对系统DMS上将有良好的应用前景。

参考文献

[1] D. Shiomohammadi. A Compensation-based Power Flow

Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(2): 753—762.

[2] Lin C E, Huang Y U, Huang C L. Distribution System Power Flow Calculation with Micro computer implementation. Electrical Power Systems Research, 1987(13): 139—145.

[3] Godesmi S K, Basu S K. Direct Solution of Load Flow Techniques for Distribution System Voltages Stability Analysis. IEEE Proceedings 1991, 138(6): 78—88.

[4] Liu Haijun, Yu David, Chiang Hsiao—Dong. Approach For Probabilistic Distribution Power Flow. Proceedings of the American Power Conference 62, 2000: 249—254.

[5] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 26—29.

(收稿日期: 2007—10—15)

(上接第9页) 发电机组的发电次序和发电时间。对能耗低、排放少、成本低的机组,按照机组申报的发电能力,优先调度上网发电。如果排序在前机组的发电能力已充分发挥,电网负荷还需要,再依次考虑能耗等指标较差的其他机组上网发电。

3.3 技术经济指标

合理改进发电调度方式主要表现为: (1) 电价定价原则的合理调整; (2) 发电计划的合理安排。改变调度方式的过程实际上是利益的再分配过程,合理的调度方式的出台,有利于电力公司在遵循节能原则的情况下利益的最大化。

3.4 拟采取的研究方法和技术路线

类似于现代经济调度程序,节能调度程序同样应严格遵循实用的要求,具体包括三方面: ①计算可靠性; ②计算结果准确性; ③计算方便性。

将整个调度系统分为日调度、月调度及年调度三个模块。各部分有各自的不同功能,完成不同的任务。

针对水火风电系统调度,日计划中应具备以下几方面的程序:

①各种算法和各种周期的负荷预测; ②机组最优组合; ③常规潮流计算; ④网损修正计算(直接法B系数); ⑤水火风电节能调度(根据不同的要求,应用各种优化算法); ⑥联合电力系统节能调度; ⑦带安全约束的经济负荷分配; ⑧最优潮流。

其中,第2部分机组的最优组合,应根据以节能降耗为原则排列出的机组发电优先顺序,通过科学的

比较进行组合。第5部分水火风电节能调度,应从节能的目标出发,列出最优目标函数,通过可靠的优化算法进行优化,得出各机组的出力情况。

4 结束语

实施节能调度,事关中国“十一五”规划节能目标实现的全局,与电力行业健康发展密切相关。随着一系列相关政策的落实,电力行业优胜劣汰的局面将加速出现,先进大机组的投资价值也将得到更大程度的提高,必将促使整个电力行业向更加和谐、稳定的方向发展。

参考文献

[1] 环保总局·电监会·能源办节能发电调度办法(试行)发展改革委·

[2] 沙亦强·节能减排: 电力主旋律 2007[J]. 中国电力企业管理, 2007, (2): 14—15.

[3] 米建行·节能调度: 如何解铃是关键[J]. 中国电力企业管理, 2007, (3): 8—10.

[4] 白建华, 张风营·调度: 电力工业降耗的一个突破口[J]. STATE GRID, 2006, (9): 83—85.

作者简介:

廖萍(1982—)女,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制。

李兴源(1945—)男,教授,博士生导师,中国电机工程学会理事,IEEE高级会员,从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作。(收稿日期: 2007—12—11)

漏电保护器在农村低压电网中的运用

巩廷文

(四川巴州供电有限责任公司, 四川 巴中 636000)

摘要:随着农村电网的改造,农网安全状况得到改善,农村的供用电安全问题也随之发生变化。安装用户末级漏电保护器和系统总保护器或分支漏电保护器,是提高网改后农村电网供用电可靠性和安全性的有效措施。

关键词:农村低压电网;漏电保护器;运用

Abstract: With the development of rural power grid and its security, the security of power supply and use of electricity in rural area also have changed. The effective measures to improve the reliability and security of power supply and use of electricity after the update of rural power grid are to install final-stage electric leakage protector for customer and system main protector or branch electric leakage protector.

Key words: LV rural power grid; electric leakage protector; application

中图分类号:TM727.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-6954(2008)01-0010-02

随着农网改造的不断深入和完善,电力企业的资产分布越来越广,涉及的用户越来越多,面临的安全风险越来越大。尽管绝大部分配电线路先后进行了改造,但农户的室内线路并未达到低压规程要求的程度,加之部分用户对安全用电的意识不强、私拉乱接现象还时有发生,面临的安全问题,主要是农村人身触电伤亡与家用电器烧坏事故。如何把农村安全用电水平提高到一个新的高度,是目前急需解决的问题。

首先必须摸清农村低压电网的安全状况和农电安全事故的规律、特点。从多年的农电运行和管理经验得知,农村触电事故的规律主要表现在以下几个方面:

1) 低压触电事故多于高压触电事故:高压电网人们很少接触;低压电网覆盖面大,电气设备涉及到人们的生产和日常生活,人们触及电器设备的机会也多;加之设备简陋,管理不善,人们思想麻痹、缺乏电气安全知识的人员触电的几率就更高。

2) 触电事故点多发部位:单相触电事故多于两相(指相对相)触电事故,且事故点多发生在分支线、接户线、地爬线、接头、灯头、插头插座、开关电器、控制电器、熔断器等处。这些是人们容易接触的部位,又容易发生短路、接地和漏电。

3) 农村架空线、接户线、临时用电线路触电事故多:据统计资料分析,在农村架空线、接户线、临时用电线路上发生的触电事故竟达70%以上。在构成触电事故的诸多因素中,仅有一个因素引起的触电事故

不足10%,有90%以上的触电事故是由两个或两个以上的因素引起的。因此,加强用电安全管理和用电安全知识的教育是非常重要的。

4) 触电事故季节性强:每年的4~9月是触电事故的高发季节,夏、秋季暴风雨较多,空气潮湿,电气设备绝缘性能下降;天气炎热,人体多汗,皮肤电阻下降。此外,正值农忙季节,农村生产用电设备增加,人们接触和操作电气设备的机会明显增多,各种条件的不利,加上主观上的麻痹大意,便成了触电事故高发季节。

5) 农村触电事故多于城市:农村电网质量较差、私拉乱接严重、用电条件差,电气设备简陋且安装不太合理,技术水平低,管理不严格,农民缺乏电气安全知识等,农村触电事故是城市的6~8倍之多。

经分析,农村触电事故的原因有以下几个方面。

1) 设备不合格。低压架空线对地高度、与建筑物的距离不符合规程要求;低压电杆拉线固定部位不合理,工艺不良,又无拉线绝缘子;用破股线、铁丝、通讯线作电线;导线接头不合格;电气设备金属外壳未接地或接地不良;用绝缘层破损或老化的电线作进户线或电器引线;广播线与电力线安装距离不符合要求造成相互搭连;螺口灯头与灯泡不符合标准要求,且零线、相线接错,使灯泡金属螺口带电外露;单相开关误接在零线上,使灯头长期带电等。

2) 设备失修。接户线、引出线绝缘老化或破损;电杆拉线锈蚀,导线断股及接头老化,造成断线倒杆;电器受潮、绝缘老化;电器设备外壳无保护接地或接

零;橡胶绝缘线护套、软电缆护套和绝缘层破裂;软电缆接头绝缘包扎物选用不当或松散脱落;开启式负荷开关(胶盖闸)、灯头及插座的绝缘护罩、护盖失落或破碎等。

3) 违章作业。带电搭接电源线或修理电气设备;未切断电源,带电移动有漏电故障的电气设备;在架空线下面建房或起吊器材又无安全措施;趁电力部门停电之机,擅自在停电设备上工作;违反《安规》规定,进行约时停电送电等。

4) 私拉乱接,违章用电。装接一线一地照明;直接用导线挂、钩架空线用电;私设电网电鱼、电鼠;用破旧导线拖拉地爬线;将带电导线缠绕固定在活树上等。

5) 缺乏安全用电知识。靠近或赤手拾捡断落在地面的带电导线,赤手拖拉触电者;将三孔或四孔插头、插座的保护极误接在相线上,造成电器设备外壳带电;爬登电杆或变压器;任意将刀开关放在地上运行;用非绝缘物包裹导线接头或破损处;将插头用导线直接接在电源线上;潮湿场所用电未采用安全电压;随意操作带电设备。

6) 不装漏电保安器或使用劣质的漏电保安器。农改前家用保安器安装率很低,漏电总保安器和分支保护器也未安装,无法保护人身安全。农改后虽家用保安器安装率提高,但农户室内线路绝缘老化严重,或漏电保护器存在质量问题;家用漏电保护器无法正常投运,一部分农户宁愿退出漏电保护器也不整改室内线路,致使农村触电伤亡事故仍不断发生。

结合农村低压电网的现状和上述触电事故的原因,既要做好农村低压电网安全用电防护工作,减少触电事故,又要提高农村电网供电的可靠性,这是对漏电切断保护提出了全面要求。

采用漏电保护器分级保护方式是实现上述要求的根本途径,也是中国漏电保护发展的必然趋势。根据低压电网的供电方式、经济条件和漏电保护器的生产等情况,在低压电网中采用两极漏电保护方式是可行的,也是最有效的。

一是加大末级(家用)漏电保护器的安装率和投运率,末级保护以防止直接接触触电为主要目标,各自保护面小,不干扰其他用户。城乡家庭进户线处和人们广泛接触使用的移动式电气设备、电动工具等都应选用额定漏电动作电流不大于 30 mA 的高灵敏度、快速型漏电保护器。对单相用电户选用的漏电保护

器还应具备过电压保护功能,用于防止当出现三相四线制总零线发生断线和接户线错接成 380 V 线电压时,产生的异常过电压损坏家用电器。最好选用带漏电、过压、过载短路保护功能的保护器,这样,单相用电户的所有异常情况都能受到保护。对发生触电后会产生二次性伤害的场所,如高空作业或河岸边使用的电气设备等,可装设漏电动作电流为 10 mA 的快速型漏电保护器。

二是加大系统总保护或分支保护的安装率和投运率。保护器可装设于配电变压器低压出线处或各分支线的首端,其保护范围为低压电网的主干线(或分支线)、下户线和进户线,同时也作为末级漏电保护器的后备保护。其额定漏电动作电流应根据被保护线路和设备实际漏电流来确定。目前,这一级保护在本区农电网络中的安装率、投运率还很低,一旦某处发生漏电故障,停电面宽,查找故障时间长,严重影响供电可靠性。所以应加大投入,提高这一级保护器的安装率和投运率,确保低压电网安全、可靠运行。

这两级漏电保护器构成了一个漏电分级保护网,第一级保护器对一些条件恶劣而触电危险性较高的场合提供了直接接触的保护;第二级保护器扩大了漏电保护覆盖面,提高了整个低压电网的安全水平。两级保护之间应合理配合,其漏电动作电流和动作时间应有级差。上一级漏电保护器的额定漏电流一般应为下一级额定漏电流的 2.5~3.0 倍,上一级漏电保护器的动作时间较下一级动作时间应增加一个动作级差,约为 0.1~0.2 s 左右。

当漏电保护器保护范围内发生了人身伤亡事故时,事故调查前应保护好现场,不得拆动漏电保护器。电力部门应检查漏电保护器性能情况和管理规定执行情况,如漏电保护器功能、性能正常,不能忽略漏电保护器存在的死区,如相零间或相与相间受电击的可能。

为了提高漏电保护器对人身触电保护的安全性,同时保证供电的可靠性,除大力提高漏电保护器的安装率、投运率外,还需加强对低压电力网的管理和广泛开展安全用电宣传,这样才能使改造后的农网设备水平和安全水平有一个质的飞跃。

作者简介:

巩廷文,男,生于 1971 年,大专文化,四川巴州供电有限责任公司农电管理部副主任,助理工程师,机电一体化专业。

(收稿日期:2007-10-10)

县级电网稳定运行初探

王昭泽

(四川巴州供电有限责任公司, 四川 巴中 636000)

摘要:随着电力系统区域性联合趋势的形成,联合电网稳定运行是一大挑战。在战略上从全局考虑电网安全稳定性,在战术上以县级电网稳定性为基础,从局部到全局形成电网安全稳定运行的防线,最大限度地保证大电网安全稳定运行,为国民经济又好又快的发展提供安全、优质、可靠的能源保证。

关键词:县级电网;稳定运行;电力系统

Abstract: Along with the formation of regional interconnection of power grid, the stable operation of interconnected power grid will be a great challenge. Considering the safety and stability of power grid from the overall situation on the strategy and taking the stability of county power grid as the foundation on the military tactics, the defence line for safe and stable operation of power grid is formed. Thus, it can guarantee the safe and stable operation of large power grid farthest, which can provide safe, high-quality and reliable energy assurance for the good and quick development of national economy.

Key words: county power grid; stable operation; power system

中图分类号:TM712 文献标识码:A 文章编号:1003—6954(2008)01—0012—02

1 县级电网现状

因历史的原因,县级电网大多是地方电力通过自我兴建、自我发展形成的。这种发展模式存在着先天性的缺陷。一是砌块积木式的建设,缺乏统一的规划,导致县级电力网络布局不合理;二是由于受投资的限制,电力设备配置相对落后;三是电力施工建设极为不规范,装置性事故隐患很多;四是自然资源分布不均衡性,地方经济的发展电源短缺;五是大电网的引入,地方电网设备、设施不能满足大电网安全稳定运行的要求。特别是电力系统继电保护及自动化装置不能满足与大电网联网运行的要求,从而威胁大电网的安全稳定运行。为确保大电网安全稳定运行,使电力更好地为地方经济发展服务,保证电网安全、稳定和经济运行,是一个极其重大和迫切的研究课题。

当务之急是加强县级电网的继电保护及自动化装置的改造,充分发挥县级电网的继电保护及自动化装置的作用,将一些局部事故限制在一定的范围内,不至于将局部事故扩大到大面积停电事故。随着电力事业的发展,大区域电网的互联和电力市场机制的引进,在给人们带来巨大利益的同时,也带来了潜在的威胁。电网运行稳定的不可预知性、电网运行在稳

定极限边缘的可能性也大为增加。如果不根据大电网运行稳定性要求的特点,来研究确保大电网稳定运行的有效措施,一旦发生电网不稳定运行情况,势必导致大面积停电,将会给国民经济造成不可估量的损失。由于电力网络的特殊性、系统性的特点,任何局部的小事故都有可能引发成为整个电网不稳定的大事故。所以,解决电网稳定问题不但要关注大电网的稳定性,同时也还要关注小电网的稳定性。

影响电网稳定性的事故可分为两大类:一是可逆性事故,即电力系统受干扰后,能从一种正常工作状态过渡到另一种稳定或回到原来的工作状态。二是不可逆事故。即电力系统受干扰后,电力系统功角稳定性被破坏,或电压稳定性破坏即电压崩溃,或频率稳定性破坏即频率崩溃,或三者中的任意二者或全部破坏,导致电网瓦解事故。

2 导致事故扩大的原因

- ① 输电线路过负荷或故障跳闸,引起大量负荷转移,最终造成一系列线路和电源的连锁反应跳闸;
- ② 负荷增长过快,系统无功不足而导致电压崩溃;
- ③ 系统元件的保护或自动装置拒动或误动;
- ④ 大机组跳闸,引起连锁反应,最终发展成稳定破坏事故;
- ⑤ 不可抗拒的自然灾害或人为因素(如地震、战争等)。

3 电力系统稳定性破坏分析

3.1 电力系统功角稳定

所谓电力系统功角稳定就是要求保持电力系统中所有同步发电机并列同步运行。电力系统的正常运行条件是各发电机按同一供电频率同步运行以保证为用户提供统一频率的电能。电力系统失去功角稳定的原因,是在运行中不断受到内部和外界的干扰,使电气连接在一起的同步发电机的机械输入转矩于电磁转矩失去平衡,出现各发电机转子不同程度的加速和减速,以及各发电机转子相对功率角的变化,如果这种变化随时间增大,则最后将使发电机失去同步运行。由于各发电机的频率不相同,电力系统中的电流和电压将发生很大幅度的振荡,用户得不到正常供电,保护装置动作,一般要断开受影响的发电机、线路等元件,有可能使系统解列为几个子系统并不得不切除负荷及发电机,从而导致全系统的崩溃。失去稳定的现象可能是发生在一台发电机与其余发电机间,或者发生在几群发电机间,每群发电机内还是同步运行的。

3.2 电力系统电压稳定

电力系统的电压稳定性是电力系统维持负荷电压于某一规定的运行极限之内的能力,它与电力系统中的电源配置、网络结构及运行方式、负荷特性等因素有关。在电力需求不断增加,受端系统不断扩大,负荷容量不断集中,而电源又是远离负荷中心的情况下,以及输电系统带重负荷时,会出现电压不可控制连续下降的电压不稳定现象,即电压崩溃。它往往由于电力系统电压的扰动(如发生短路,大容量电动机的启动,冲击负荷等)、线路阻抗突然增大(断开线路或变压器)、无功功率减小(断开发电机或无功补偿装置)或节点负荷的增大而诱发,使大量用户断开和大面积停电。

3.3 电力系统频率稳定

在电力系统稳态运行情况下,全系统的发电机出力 and 负荷(包括线损)是平衡的,电力系统频率是一个全系统一致的运行参数。在实际运行时,当电力系统出现干扰使发电机的总出力和负荷的总功率出现不平衡时,相应地将导致各发电机转速和频率的变化。在频率变化的初始阶段调速器和调频系统还没有动作,系统的平均频率将下降或增大,各发电机间将产

生振荡;第二阶段发电机的调频系统以及负荷的频率调节效应,导致发电机有功出力以及负荷的变化,随着电力系统容量的增大,频率的微小偏移均将发生很大的有功潮流波动和调整,如果电力系统频率进行的监视和调节不够,就会导致系统频率的进一步恶化,这又将导致系统电厂出力的变化以及电动机负荷的变化,使得电力系统的出力和频率进一步变化,最终使系统走向频率崩溃,导致全系统大面积停电。

由于电网的系统性特点以及电网不稳定条件存在的客观性,要真正确保整个电网稳定性,首先要确保构成这个电网的各部分的稳定性。目前国家电网在着手研究大电网稳定性运行问题,建议要从整个电网入手,既要考虑区域性电网也要考虑地方性电网。即从局部出发,加强局部电网安全稳定性的研究。增加局部性电网稳定运行条件的投入,进而确保大电网的稳定性。

4 县级电网稳定运行主要应做的工作

1) 对县级电网进行稳定性评估,消除不稳定因素。由于县级电网建设的分散性形成了县级电网结构的不合理性,应该对县级电网进行全面理论分析计算,为县级电网改造提供理论依据。利用县级电网改造之机消除不稳定因素,确保局部电网安全稳定运行。

2) 针对县级电网存在很多影响电网稳定运行的隐患实施技术改造。比如,县级电网所配置的开关设备大多是陈旧老化的开关,在事故情况下不能实现快速切除事故,完全有可能将局部事故发展成为大电网事故。

3) 对县级电网继电保护及自动化装置进行完善和改造。县级电网在建设之初大多是孤网运行,对输电设施保证稳定运行的措施根本没有考虑,现与大电网联网运行,必须在技术措施上予以保证。在保护配置整定上也要充分发挥县级电网继电保护及自动化装置的作用。做到继电保护及自动化装置合理配置和使用。

4) 加强岗位练兵,提高运行人员的技术业务水平。当县级电网发生不稳定运行情况时,正确及时采取措施消除不稳定因素,确保电网稳定性。

(收稿日期:2007—10—27)

非全相运行状态下距离保护行为的分析和改进

曾庆国, 王光辉, 何平

(四川巴中电业局, 四川 巴中 636000)

摘要:主要分析了电力系统输电线路非全相运行对线路保护装置中距离判据的影响。通过大量的分析得出,在非全相运行时,相间方向阻抗继电器和接地方向阻抗继电器有可能误动作,若系统振荡将加大误动的几率。对各种距离继电器在非全相状态下的动作特性进行了详细的推导及分析,最后得出了实用的非全相距离保护的实现方法。

关键词:继电保护;非全相运行;距离保护;阻抗继电器

Abstract: The effect of open-phase running of transmission line on distance criterion is analyzed. Then, the results are obtained through enough researches that phase-to-phase impedance relay and earth fault impedance relay may operate improperly in open-phase running state. The probability of misoperation can increase during power system oscillation. Then the practical method of distance relay in open-phase running state is proposed after the detailed derivation and analysis on its characteristics.

Key words: protective relaying; open-phase running; distance relay; impedance relay

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0014-06

运行经验表明,在电力系统中发生的故障很多属于暂时性的且大部分为单相接地故障,这些故障当被继电保护切除,电弧熄灭后,故障点的绝缘即可恢复,故障随即自行消除。此时,若自动重合闸成功,即可恢复供电,提高供电的可靠性,这无论在技术上和经济上都是合理的。系统单相接地永久性故障或断线故障转为非全相运行状态,若系统允许运行,则具有现实意义。系统进入非全相运行状态,不但可以提高供电的可靠性和系统并联运行的稳定性,还可以减少相间故障发生的机会。采用非全相运行,线路输送的有功功率仍可占线路全相运行时输送的有功功率的60%以上,还能保证连续向用户供电。这样既保证了用户的用电需要,又保证了电力系统本身运行的经济性。

针对输电线路发生单相永久性接地故障或断线故障,故提出实现非全相运行的方案,即单相接地故障时重合闸如果不成功再跳单相,进入非全相运行状态。下面将对在非全相运行时及其非全相运行时再故障对现距离保护运行行为的影响进行分析。从后面的分析可知,对反映输电线路两端电势大小和相位阻抗(距离)保护会受到影响,对该保护运行行为作了较为详细的分析,并针对存在的主要问题提出了改进方案。

1 研究现状及所要解决的问题

从根本上讲,在发生单相接地永久性故障时,系

统一般不允许跳开故障相进入非全相运行状态。非全相运行状态的研究曾在20世纪60~70年代提出过,但由于当时电力电子技术落后,没能得到普遍重视。由于现代电力电子技术的发展,它与电力系统传统的阻抗控制元件、功角控制元件以及电压控制元件(串补电容、并联电容、电抗、移相器、电气制动等)相结合,出现了FACTS技术。它由美国电力科学研究院Hingornal博士于1988年首先提出,其主要内容是用大功率可控硅元件替代这些传统元件上的机械式高压开关,从而使电力系统中影响潮流分布的三个主要电气参数(电压、线路阻抗及功率角)可按照系统的需要迅速调整。在非全相运行时,可以应用这一技术以达到快速补偿系统的负序和零序电流,同时提高系统非全相运行时的传输能力,这使非全相运行的研究变为可能。

在系统进入非全相运行状态时,因系统稳定受到较大干扰,输电线路两端电势大小和相位发生变化,系统对称性遭到破坏,系统将出现零序分量和负序分量。如果系统需转入非全相运行状态,系统的潮流分布计算需要得到解决,线路保护尤其是距离保护的正确测量会受到较大影响;由全相运行转为非全相运行时选相元件能否正确选相,也需要得到解决。因此在采用长期非全相运行时,对以上问题必须给予充分的考虑。

$$Z_{IBC} = \frac{U_{mb} - U_{mc}}{I_{mb} - I_{mc}} = -Z_{ml} + \frac{Z_1}{1 - Pe^{j\theta}}$$

$$Z_{JAC} = \frac{U_{ma} - U_{mc}}{I_{ma} - I_{mc}} = -Z_{ml} + \frac{Z_Y}{1 - Pe^{j\theta}}$$

$$\text{式中的 } Z_X = \frac{(1+a)Z_1(Z_1+2Z_0)}{(1+a)Z_1 + aZ_0}$$

$$Z_Y = \frac{Z_1(Z_1+2Z_0)}{Z_1 - aZ_0}$$

$$Pe^{j\theta} = E_n / E_m$$

式中的 P 大于 1。

观察上面的公式,可以发现各继电器的测量阻抗表达式的形式完全相同。通过在复数平面上圆和直线的反演,当 $P=1$ 时,各测量阻抗的轨迹随 θ 变化是一条直线,当 P 不等于 1 时,各测量阻抗的轨迹随

θ 的变化是一圆。该圆的圆心坐标是 $(\frac{C}{1-P^2} - A,$

$$\frac{D}{1-P^2} - B), \text{ 该圆的圆心半径 } R = \frac{P \sqrt{C^2 + D^2}}{|1-P^2|}。$$

2.2.2 继电器的运行行为分析

根据相间方向阻抗继电器整定值的整定原则,其保护的整定值为线路阻抗值的 85%, 它的动作特性是一个以整定阻抗为直径的圆。现分析对反应 Z_{JBC} 而动作的继电器的运行行为。系统非全相运行并振荡,继电器的动作情况与系统全相运行并振荡时的继电器的动作情况完全相同。全相运行时分析继电器的动作情况所得到的结论,在非全相运行的条件下也完全成立。一般地,对于长线路的保护,反应在线路的阻抗上,就是线路的阻抗大于两端系统的阻抗,系统振荡时保护将要误动作;对于短线路的保护,反应在线路的阻抗上,就是线路的阻抗小于两端系统的阻抗,此时振荡中心一般不会位于被保护的线路上,系统振荡时保护将不误动作。当 P 大于 1 时,母线 M 处保护的测量阻抗 Z_{JBC} 的运动轨迹圆的圆心位于复平面的第三象限;对于母线 N 处, Z_{JBC} 的运动轨迹圆的圆心位于复平面的第一象限。当 P 小于 1 时,情况正好与上面相反。

分析上述测量阻抗公式,可以知道各测量阻抗的运动轨迹随振荡角 θ 的变化是一圆。A、B 和 A、C 相继电器的动作域较 B、C 相继电器的动作域小,也即 A、B 和 A、C 相继电器对于 B、C 相继电器来说更不易误动作。只要振荡中心不在保护范围之内时,或者线路是短线路时,系统振荡时保护不会误动作。对于中等长线路, B、C 相继电器很容易误动作,但 A、B 和 A、C 相继电器一般不会误动作。对于长线路,各保护都

要误动作。由于 B、C 相的测量阻抗与线路全相运行时的完全一样,故线路非全相运行时相间方向阻抗继电器的运行行为不受影响。

图 3 作出了在 $R-jX$ 复平面内此时各继电器的测量阻抗的运动轨迹及其 B、C 相继电器的测量阻抗与动作特性圆相交的情况。说明:图中 $Z_{mjab}, Z_{mjbc}, Z_{njac}$ 为母线 M 处各相相间距离继电器的测量阻抗, $Z_{njab}, Z_{njbc}, Z_{njac}$ 为母线 N 处各相相间距离继电器的测量阻抗。

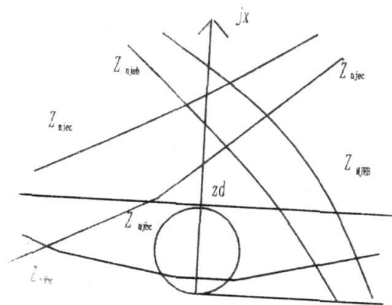


图 3 相间距离保护在 A 相断线的非全相运行状态下系统振荡时母线 M 和 N 处测量阻抗的轨迹

2.3 $\frac{U_Y}{I_Y + 3kI_0}$ 接线接地方向阻抗继电器的运行特性分析

2.3.1 计算各继电器的测量阻抗

因 A 相断线,故 $I_A=0$

$$\begin{aligned} Z_{JA} &= \frac{U_{ma}}{I_{ma} + 3kI_{m0}} = \frac{U_{m1} + U_{m2} + U_{m0}}{3kI_{m0}} \\ &= \frac{E_m - I_{m1}Z_{m1} - I_{m2}Z_{m2} - I_{m0}Z_{m0}}{3kI_{m0}} \\ &= -Z_{X1} + Z_{Y1}/(1 - Pe^{j\theta}) \end{aligned}$$

其中

$$Z_{X1} = \frac{(Z_{m1} - Z_{m0})Z_{l1}}{Z_{l1} - Z_{l0}} \quad Z_{Y1} = \frac{(Z_1 + 2Z_0)Z_{l1}}{Z_{l1} - Z_{l0}}$$

仿照上面的推导,可得:

$$Z_{JB} = \frac{U_{mb}}{I_{mb} + 3kI_{m0}} = -Z_{X2} + Z_{Y2}/(1 - Pe^{j\theta})$$

$$Z_{JC} = \frac{U_{mc}}{I_{mc} + 3kI_{m0}} = -Z_{X3} + Z_{Y3}/(1 - Pe^{j\theta})$$

式中的 Z_{X2}, Z_{Y2} 分别为:

$$Z_{X2} = \frac{a^2(Z_1 + Z_0)Z_{m1} - aZ_{m1}Z_0 - Z_{m0}Z_1}{a^2(Z_1 + Z_0) - aZ_0 - (3k+1)Z_1}$$

$$Z_{Y2} = \frac{a^2Z_1(Z_1 + 2Z_0)}{a^2(Z_1 + Z_0) - aZ_0 - (3k+1)Z_1}$$

式中的 Z_{X3}, Z_{Y3} 分别为:

$$Z_{X3} = \frac{\alpha(Z_1 + Z_0)Z_{m1} - \alpha^2 Z_{m1}Z_0 - Z_{m0}Z_1}{\alpha(Z_1 + Z_0) - \alpha^2 Z_0 - (3k+1)Z_1}$$

$$Z_{Y3} = \frac{\alpha Z_1(Z_1 + 2Z_0)}{\alpha(Z_1 + Z_0) - \alpha^2 Z_0 - (3k+1)Z_1}$$

式中的 $Pe^{j\theta} = E_n/E_m$ 。各相的测量阻抗的运动轨迹随振荡角的变化是一圆。

2.3.2 继电器的运行行为分析

同相间方向阻抗继电器一样,当线路为较短线路时,系统非全相运行并振荡不会使接地距离保护误动作。但是,随着线路的变长,保护将要误动作,对同一处的同一个保护而言,使其误动作的振荡范围就越大。与全相运行相比,接地方向阻抗继电器在非全相运行时误动作的范围有所变大。因此接地方向阻抗继电器在非全相运行时受振荡的影响比在全相运行时受振荡的影响为大。

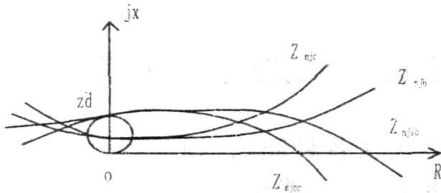


图4 接地距离保护在A相断线的非全相状态下系统振荡时母线M和N处测量阻抗的轨迹

2.4 多相补偿阻抗继电器两相运行分析

这种阻抗继电器不反应对称运行及全相振荡,其三相补偿后的电压为:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= U_A - (I_A + 3kI_0)Z_{zd} \\ \dot{U}_B &= U_B - (I_B + 3kI_0)Z_{zd} \\ \dot{U}_C &= U_C - (I_C + 3kI_0)Z_{zd} \end{aligned}$$

由这三个补偿后的电压构成的三个相位比较器的临界动作条件为:

$$\begin{aligned} 360^\circ &= \arg \frac{\dot{U}_A}{\dot{U}_B} \geq 180^\circ \\ 360^\circ &= \arg \frac{\dot{U}_B}{\dot{U}_C} \geq 180^\circ \\ 360^\circ &= \arg \frac{\dot{U}_C}{\dot{U}_A} \geq 180^\circ \end{aligned}$$

只要三个相位比较器的一个动作,该多相补偿阻抗继电器就可动作。

当线路处于全相运行状态并振荡时,此时线路仍处于对称状态,故各处的电压、电流对称,零序电流为0。不难得到:

$$\arg \frac{U_A}{U_B} = \arg \frac{U_B}{U_C} = \arg \frac{U_C}{U_A} = 120^\circ$$

可知全相运行状态并振荡时多相补偿阻抗继电器不会误动作。

对于较短线路,保护不会误动作。随着线路的变长,这种多相补偿阻抗器在两相运行状态时,将有两个相位比较器误动作。在A相断线的条件下,A、B和C、A相位比较器均可在系统振荡时发生误动作,从而造成该继电器误动作。因此,当线路处于非全相运行状态并振荡时对多相补偿阻抗器的运行行为影响很大,必须采取防止非全相运行误动的措施。由于比较运行相补偿电压的相位比较器(对于本例,即B、C相位比较器)一般不会误动作,所以,当一相断开时,可以利用反映该相断路器断开的相电流元件将与该相补偿电压有关的两个相位比较器闭锁,只保留比较两个健全全相补偿电压的相位比较器作为两相运行的保护。

2.5 小结

前面对相间方向阻抗继电器、接地方向阻抗继电器和多相补偿阻抗继电器在系统处于非全相运行并振荡时的动作情况进行了分析。它们都有一个共同的特点:当线路是非常短的线路时,系统振荡各保护都不会误动作;随着线路的变长,系统振荡时各保护相继要误动作,只是各保护误动作的程度不尽相同而已,多相补偿阻抗继电器的误动作域远远大于相间及接地阻抗继电器的误动作域。从距离保护的原理上决定了在振荡时保护要误动,随着振荡角的变化,振荡中心的位置及其该点的电压要发生变化。如果振荡角为 180° 且两端系统的电势幅值相等时,振荡中心将位于系统的电气中心,且该点电压为0,相当于该点三相短路接地,此时保护的测量阻抗就等于保护安装处到振荡中心之间的阻抗。由此可知,当振荡中心位于保护范围之内时,保护将要误动作;当振荡中心位于保护范围之外或保护反方向时,保护将不误动作。由于保护的整定值按被保护线路阻抗值的85%整定,因此,线路越长,保护整定值就越大,在复平面上保护的動作特性圆就越大,测量阻抗就越容易落入動作特性圆内,故保护就越容易误动作。相反地,线路越短,保护就不容易误动作。从前面的分析还发现,当线路渐渐变长时,靠近较大内阻抗的等值电源系统的保护比靠近较小内阻抗的等值电源系统的保护越易误动作,有时靠近较小内阻抗的等值电源系统的保护不误动作。这是因为,由于系统的电气中心总

是靠近内阻抗较大的等值电源系统的一侧,当线路振荡时,振荡中心与电气中心接近或是重合,所以振荡中心越易落入较大内阻抗的等值电源系统的保护范围内。同全相运行时相比较,相间方向阻抗继电器的运行行为不会受到什么影响,接地方向阻抗继电器的运行行为将受到一点影响,全相运行时多相补偿继电器不会误动,但在非全相运行时很容易,故其所受影响很大。

3 非全相运行再故障时距离保护行为分析

前面分析了两端电源系统非全相运行并振荡对距离保护的影响。本节将要分析两端电源系统非全相运行并振荡同时线路再发生故障对距离保护的影响,对线路再故障本节将要分析单相接地故障,两相接地故障,两相相间短路。

3.1 A 相断线, B 相短路接地时, 接地方向阻抗继电器的动作行为分析

分析计算表明, B 相接地方向阻抗继电器的测量阻抗等于其短路阻抗, 与系统全相运行时一样, 能够正确反映短路点的位置, 继电器能够正确动作。故故障相不受非全相运行的影响。因受振荡的影响, C 相继电器的测量阻抗的运动轨迹为一圆, 随着线路的变长, 系统振荡, C 相继电器仍然有可能误动。

3.2 A 相断线, B、C 相短路接地

3.2.1 接地方向阻抗继电器的运行行为分析

同单相接地短路一样, B 相和 C 相继电器所测得的阻抗都为各自的短路阻抗 Z_{DM} 。因为 $Z_{BJ} = \frac{U_{BM}}{I_{BM} + 3kI_0} = \frac{I_{BM} + 3kI_0}{I_{BM} + 3kI_0} Z_{DM} = Z_{DM}$ 。同理, $Z_{CJ} = Z_{DM}$ 。B、C 两相继电器都能正确动作。在全相运行并发生 B、C 两相短路接地时, B、C 两相接地阻抗继电器也能正确动作。故在此种情况下接地阻抗继电器不受非全相运行的影响。

3.2.2 相间方向阻抗继电器的运行行为分析

对于 B、C 相间方向阻抗继电器, $Z_{BCJ} = \frac{U_{BM} - U_{CM}}{I_{BM} - I_{CM}} = \frac{I_{BM}Z_{DM} - I_{CM}Z_{DM}}{I_{BM} - I_{CM}} = Z_{DM}$ 故 B、C 相间方向阻抗继电器能够正确动作。在全相运行并发生 B、C 两相短路接地时, B、C 相间方向阻抗继电器等于短路阻抗 Z_{DM} , 该继电器也能正确动作。在此种情况下继电器不受非全相运行及振荡的影响。

3.2.3 多相补偿阻抗继电器的运行行为分析

B、C 相位比较器不能动作。当系统处于全相运行状态时, B、C 相位比较器也不会动作。因此, 在此条件下运行相相位比较器不受非全相运行的影响。

3.3 A 相断线, B、C 两相相间短路

3.3.1 相间方向阻抗继电器的运行行为分析

计算分析表明, 在 B、C 相发生两相短路不接地时, B、C 相相间方向阻抗继电器的测量阻抗等于其保护安装处到短路点的阻抗, 即短路阻抗, 故继电器能正确动作。在全相运行并发生 B、C 两相短路时, 该继电器也能正确动作。因此在此种情况下继电器不受非全相运行的影响。

3.3.2 多相补偿方向阻抗继电器的运行行为分析

此时 B、C 相位比较器能够正确动作, 不受振荡的影响。在系统全相运行时, B、C 相位比较器也能够正确动作。

4 非全相运行线路保护的实现

当线路上由于各种原因(如单相故障、偷跳等)从而进入非全相状态后, 线路保护装置将随之采取必要的措施来对线路进行保护, 简单介绍如下。

4.1 非全相运行状态的确定

(1) 单相跳闸固定动作, 且其对映相有流元件不动作, 判该相已跳开。

(2) 某相 TWJ 动作, 且其对应相有流元件不动作, 判该相已跳开, 经延时置非全相状态。

4.2 非全相运行单相故障

两相非全相运行状态时, 以 B、C 两相运行为例, 当 $|\arg(I_0/I_{2B})| < 90^\circ$ 时, 选非全相运行 B 相故障; 当 $|\arg(I_0/I_{2C})| < 90^\circ$ 时, 选非全相运行 C 相故障。使用接地距离二段定值进行测量, 延时 100 ms 动作跳三相。

两相非全相运行时, 根据 I_0 和 I_2 相位关系选相, 可保证选相的正确性, 又可以保证非全相振荡时, 单相距离继电器不动作, 振荡中再单相接地故障时能快速开放保护测量。因此, 在非全相振荡时若发生单相故障则以选相区为非跳开相且距离继电器同时动作作为开放条件。

利用 I_0 和 I_2 的相位关系, 把故障分为 3 个区, 确定可能的故障类型。

当 $-60^\circ < \arg \frac{I_0}{I_{2A}} < 60^\circ$ 时选 AG/BCG 区

当 $-60^\circ < \arg \frac{I_0}{I_{2B}} < 60^\circ$ 时选 BG/CAG 区

当 $-60^\circ < \arg \frac{I_0}{I_{2C}} < 60^\circ$ 时选 CG/ABG 区

由于 A 相断开, I_0 和 I_2 的相位关系应该一直落到 AG/BCG 区, 而当非全相运行中, 再发生健全相的单相故障的时候, 选相区为非跳开相且单相距离继电器同时动作, 此时即可认为再次故障并开放保护测量。

4.3 非全相运行相间故障

两相非全相运行时, 若发生相间故障, 采用相间方向阻抗继电器(一般使用相间距离二段定值)进行测量。对非全相振荡相间故障的闭锁开放, 目前常用的方法是测量振荡中心电压 $U_{\cos \phi}$ 方法躲开振荡。

两相非全相运行时只测量健全两相间的 $U_{\cos \phi}$, 用来判断两侧电势的相位差 δ , 在 $\delta \approx 180^\circ$ 时, $U_{\cos \phi}$ 接近于 0。在健全相发生相间短路时, 不论故障点远近如何, $U_{\cos \phi}$ 等于或小于电弧的压降, 约为额定电压的 5%。故障时 $U_{\cos \phi}$ 如此之小, 使得非常容易区分正常运行、进入振荡和发生故障等各种状态。线路保护装置在系统进入非全相振荡时置振荡标志, 在 $U_{\cos \phi}$ 下降到接近 5% 时测量振荡的滑差, 使得 $U_{\cos \phi}$ 元件很准确地躲过振荡中 $U_{\cos \phi} < 0.05$ 的时间, 不开放保护。在振荡中发生故障时 $U_{\cos \phi} < 0.05$ 保持不变, 于是经小延时开放保护。由于躲过振荡所需的延时是根据对滑差实时测量的结果确定的, 因此既能有效地闭锁保护, 又使非全相振荡中发生相间短路时最大限度地降低了保护的延时。

5 结语

针对电力系统非全相运行对继电保护的影响, 着重分析了对距离保护的影响。通过定性与定量相结合的分析方法, 得到的结论如下。

(1) 对于距离保护, 当系统处于非全相运行并振荡时, 相间方向阻抗继电器的动作行为同全相运行时的相同; 接地方向阻抗继电器的误动作域比在全相运行并振荡时的误动作域稍大; 多相补偿相间方向阻抗继电器在全相运行时不反应系统的振荡, 但在非全相运行并振荡时容易误动作, 故它受非全相运行的影响较大, 最好将它退出运行。但对于相间方向阻抗继电器, 目前国内外广泛采用反应负序突变量的振荡闭锁起动元件, 在非全相状态下短路时它可再次起动, 将

保护解除闭锁。不过这时再次起动的灵敏度比在全相运行时再次起动的灵敏度低, 此问题需要得到解决。

(2) 在线路处于非全相运行状态, 再考虑系统发生振荡, 当振荡角在 180° 左右时, 则可能出现较大的零序电流, 故零序电流保护的正确动作将受到影响, 它可能要误动作。此时处理的办法有两种: 其一, 在非全相运行时, 将其退出运行; 其二, 将零序电流保护的整定值加大, 使其能躲开上面条件下出现的零序电流值, 显然, 此时的保护范围将要缩小。

参考文献

- [1] R. Bruce Shipley, H. J. Holley, D. W. Coleman: "Digital Analysis of Single-Pole Switching on HEV Lines", IEEE Trans PAS, August 1986, PAS-87, 1679-1687.
- [2] A. R. VanC. Warrington: Protective Relay, 1974.
- [3] B. RS. hperling, A. Fakheri, "Compensation Scheme for Single Pole Switching on Untrans-posed Transmission Lines", IEEE Trans PAS, July/August 1978, PAS-97, PP. 1421-1429.
- [4] R. M. Hasibar, A. C. Legate, J. Brunke, W. G. Peterons, "The Application of High Speed Grounding Switches for Single Pole Reclosing on 500kV Power System", IEEE Trans PAS, April 1981, PAS-100, PP. 1512-1515.
- [5] S. T. Sobral, W. Castinheiras, V. S. Costa, D. Mukhadkar "Interferences Between Faulted Power Circuits and Communication Circuits or Pipelines - Simplification Using the Decoupled Method", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, NO. 4, October 1991.
- [6] 高中德·超高压电网继电保护专题分析[M]. 水利电力出版社, 1990.
- [7] 王梅义·距离继电器动作行为的分析[J]. 继电器, 1979, (4): 28-54.
- [8] 王梅义·高压电网继电保护运行技术[M]. 电力工业出版社, 1981.
- [9] 朱声石·多相补偿相间距离继电器[J]. 电力系统自动化, 1978(4).
- [10] 朱声石·高压电网继电保护原理与技术[M]. 电力系统出版社, 1980.

作者简介:

曾庆国(1964年生), 工程师, 长期从事电力系统继电保护工作。

王光辉(1971年生), 工程师, 长期从事电力系统调度和调度管理工作。

何平(1977年生), 工程师, 长期从事电力系统营销管理工作。

(收稿日期: 2007-10-19)

农村 10 kV 架空线路薄弱点及防范措施

付 毅

(四川巴州供电有限责任公司, 四川 巴中 636000)

摘 要:根据巴中地区特殊的地理位置及气候环境,对现行农村 10 kV 配网运行中存在的薄弱点进行分析,提出相应的防范措施,以求提高供电质量和线路安全运行水平。

关键词:农村 10 kV 架空线路;反事故;措施

Abstract: According to the special geographical position and climatic environment of Bazhong area, the weak points in the operation of 10 kV rural distribution network are analyzed, and the corresponding countermeasures are proposed in order to improve the quality of power supply and the level of safe operation.

Key words: 10 kV rural overhead line circuit; anti-accident; measures

中图分类号: TM755 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0020-02

近几年来,巴中地区经济保持着高速度发展,大宗工业逐步落户于巴中的镇、村一级,随着铁路、高速公路的贯通,巴中经济还将一路飞飙,城市、农村居民生活用电及商业用电年负荷保持着 8%~15% 的速度递增。在市场经济迅猛发展的今天,利用有限的电网维护资金,改造网络中的薄弱点,实施反事故措施,提高电能质量和线路、设备的安全运行水平,降低电网事故率,提高供电可靠性,是目前配网运行的一个工作重心。

1 农村 10 kV 配网线路常见的事故

10 kV 配网线路运行事故很多,就巴中地区 10 kV 配网线路而言,常见的事故主要有以下几种:①雷击事故;②山体滑坡造成配网线路、设备损坏事故;③大风引起配网线路倒杆断线事故;④其他外力破坏事故。主要表现在:交通碰撞、基建施工机械破坏、建材取土(粘土砖)造成杆基滑坡、高杆植物碰触配网线路、违章建筑、偷盗电力设备等;⑤网络潜在因素:配电线路线径小,不能满足负荷发展的需要;线路采用的过流夹大多采用并沟线夹,有的甚至采用缠绕法,过流时发热发红,甚至烧毁,引起事故;配变重载引起事故;老式电力设备绝缘老化引发事故等。

2 事故分析及反事故措施

2.1 针对气候应采取的反事故措施

巴中地处川北偏东,四川盆地北缘,多为丘陵,每

年的 4~10 月为雷雨季节,而 10 kV 配电线路大多架设在崇山峻岭之间,常年遭受雷电袭击、洪涝灾害、大风影响。而线路抗雷电能力低,因此造成线路跳闸、接地故障、线路整体沉陷以及倒断杆事故时有发生。

2.1.1 防雷措施

10 kV 配网实施防雷的目的是提高线路耐雷水平:一是提高绝缘子的耐雷水平,特别是针式绝缘子的耐雷水平,根据近几年的运行经验,凡耐张点的悬式绝缘子很少在雷击时发生闪络事故,故障点多发生在架设在山岭上或雷电频发区的针式绝缘子上,特别是 P-15 及以下电压等级的针式绝缘子。建议在线路维护或改造时尽量采用支柱式绝缘子,高雷区推荐使用瓷横担。二是安装线路避雷器,特殊的线路(雷电频发区大跨距线路)应考虑安装避雷线。光是提高线路绝缘子的耐雷水平还是远不能满足线路的抗雷能力,比较经济可行的是安装线路避雷器和装设避雷线,以增加泄流通道,达到线路、设备的安全运行。避雷器及避雷线主要安装在周围无高层建筑屏雷、山岭以及雷电多发区。地势地洼、无雷电活动的地区可以减少安装线路避雷器或避雷线,以减少电网投资。线路避雷器一般应选用残压为 45 kV 或 50 kV 的氧化物避雷器。三是定期检测接地网,确保接地电阻合格。在保证泄雷通道数量的同时还应保证泄雷能力,而合格的接地网是保障泄雷通道畅通的一个重要因素。建议每年对接地网接地电阻进行一次实际测验。如接地电阻不合格应及时采取措施,保证接地电阻值不大于 10 Ω 。可采用重新构造接地网或增打接地极的方法来保证泄雷通畅。

2.1.2 防风措施

一是线路勘测时应尽可能避开有高杆植物地方。如已形成了的配网线路应加大线路的巡视力度,及时清除线路上的障碍物、及时调整线路弧垂,以避免大风时线路两旁的植物碰触电线或因线路弧垂过大引起相间短路而跳闸。

二是更换病杆加设防风拉线。巴中地区的农村10 kV 配网杆塔主要以10~12 m 预应力水泥电杆组成,部份线路还运行着20世纪70年代自行生产的拔梢杆,在没有保证线路对地距离的同时还降低了线路的抗风能力,且有的电杆在架设时就埋深不够。建议淘汰老式小梢径电杆,农村地区在通道良好的情况下一般采用杆高为10 m 大梢径电杆。直线杆每隔5基或在耐张杆增加2~4条防风拉线。此举虽然小投资,但防风效果相当良好。

三是增加杆塔基础的牢固系数。如及时清理杆基上方的引水通道,经常给杆基培土,架设线路时尽量避开陡峭山崖或易塌方的松土地段,如必须通过,则应采取有效的加固措施。

因气候给配电线路造成事故的还很多,在这里就不一一介绍。

2.2 外力破坏事故

2.2.1 防交通碰撞措施

在车流量较大的公路两侧或车站附近的电杆易遭受车辆碰撞的地方,可采用悬挂“有电危险、严禁碰撞”警示牌并在杆身涂红白相间的反光漆,拉线可穿套直径不小于500 mm 的管材后漆红白相间的反光漆以提示驾驶员注意。如屡遭车辆碰触的电杆应考虑杆基搬迁。

2.2.2 防基建施工机械破坏措施

基面开挖挖伤地下敷设的电缆和施工机械、物料超长碰触带线路或杆塔。可以采取加大电力设施保护宣传力度及事故处理力度,诠释破坏电力设施的严重后果;多设警示标志,在有地理线路的地方设置明显的标志及运行单位的联系方式;增加对地理线路的巡视检查次数,如有开挖现象应立即制止并书面报告政府安全监督管理部门。

2.2.3 建材取土造成杆基滑坡

巴中目前建筑用砖多为粘土砖,现在又出现新产品页岩瓦,而大多数砖瓦生产企业都选址在粘土较多的山梁或交通比较便利的地方,这些地方往往是10 kV 或其它电压等级线路经过的地方,如何防止取土

造成杆基滑坡及爆破对电力线路造成的危害呢?

一是在建厂初期,电力设施运行单位在审核砖瓦生产企业用电方案的同时就应考虑到取土对电力线路的影响,加以制止或采取可靠的防范措施,签定安全协议。二是对还没有危及电力线路运行安全但有可能对线路造成伤害的砖瓦生产企业加大电力设施保护的宣传力度,下发《安全隐患通知书》,并报政府安全监督部门备案。三是对已经存在安全隐患,杆基随时有滑坡可能的地方必须采取果断措施强行制止其生产并通过安监、公安等部门强令要求建材生产企业恢复杆基的牢固性并承担因此而造成的经济损失。

2.2.4 防高杆植物碰触事故

出现这种事故一是线路运行维护不力,没有及时清除线路上的障碍物或清除不彻底。二是线路设计时穿越有高杆经济植物的林区,给线路维护造成很大的难度。为杜绝此类事故应加强线路的巡视力度,建议每月一次。责任区包干到人,层层落实责任制并加大考核力度。此外,在今后配网建设中线路尽可能不穿越或少穿越林区,如必须穿越林区时可以采取杆塔加高方法避开障碍物。还要加强电力设施保护宣传力度,消除清障阻力。

2.2.5 防违章建筑

随着社会主义新农村建设步伐的加快,越来越多的高层建筑直接或间接地危及到配网线路及设备的运行安全。一是建筑物对线路安全距离不够。二是高层居民无意识的向带电线路或设备上抛掷物品。针对上述隐患应根据相关规定与建设部门取得联系,在建设规划初期把电力线路纳入农村场镇统一规划。在审查建设方用电方案的同时必须要求建设方预留线路走廊,并保证建筑物与电力线路的安全距离。有条件的城镇应尽可能选用地理方式布线或使用架空绝缘电缆。悬挂警示牌、张贴标语以及在广电媒体上加大电力设施的宣传力度。

2.2.6 防偷盗电力设备措施

随着有色金属价格上扬,越来越多的不法份子打起了偷盗电力设施的歪主意。这不但给电力企业造成巨大的经济损失,更容易引发大面积停电事故和人身触电事故。为了防止电力设施被盗,可以在人口较为稀疏的地方加装线路报警器,一旦发生断线或单相短路报警器发出报警;在变压器或其它铜材含量较高的设备上安装高强度防盗锁;加大对盗窃电力设施犯罪份子的打击力度;更多地联系义 (下转第65页)

- tem Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 2, 13—17 Oct. 2002, 2(10): 1082—1085.
- [4] Hippert H S, Pedreira C E, Souza R C. Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2001, 16(1): 44—55.
- [5] 鞠平, 姜巍, 赵夏阳, 等. 96点短期负荷预测方法及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, (22): 32—36.
- [6] 徐军华, 刘天琪. 基于小波分解和人工神经网络的短期负荷预测[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 30—33.
- [7] 瓦普尼克著, 张学工译. 统计学习理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] Bo-Juen Chen, Ming-Wei Chang, Chih-Jen lin. Load forecasting using support vector Machines: a study on EUNITE competition 2001 [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 1821—1830.
- [9] 牛东晓, 谷志红, 邢棉, 等. 基于数据挖掘的 SVM 短期负荷预测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 6—12.
- [10] Li Yuan-cheng, Fang Ting-jian, Yu Erkeng. Short-term Electrical Load Forecasting Using Least Squares Support Vector Machines [J]. Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 1, 13—17, 2002, (10): 230—233.
- [11] 张庆宝, 程浩忠, 刘青山, 等. 基于粗糙集属性约简算法和支持向量机的短期负荷预测[J]. 电网技术, 2006, 30(8): 56—59, 70.
- [12] Yu-jun He, You-chan Zhu, Dong-xing Duan. Research on Hybrid ARIMA and Support Vector Machine Model in Short Term Load Forecasting. Intelligent Systems Design and Applications, 2006. ISDA '06. Sixth International Conference on Volume 1, 2006, (10): 804—809.
- [13] 莫维仁, 张伯明, 孙宏斌, 等. 短期负荷综合预测模型的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1): 30—34.
- [14] 李林川, 吕冬, 武文杰. 一种简化的电力系统负荷线性组合预测法[J]. 电网技术, 2002, 26(10): 10—13.
- [15] 谢开贵, 李春燕, 俞集辉. 基于遗传算法的短期负荷组合预测模型[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 20—23.
- [16] 张亚军, 刘志刚, 张大波. 一种基于多神经网络的组合负荷预测模型[J]. 电网技术, 2006, 30(21): 21—25.
- [17] Salgado R M, Pereira J J F, Ohishi T. A Hybrid Ensemble Model Applied to the Short-Term Load Forecasting Problem [J]. Neural Networks, 2006. IJCNN '06. International Joint Conference on 16—21, 2006, (7): 2627—2634.
- [18] 杨文佳, 康重庆, 夏清, 等. 基于预测误差分布特性统计的概率性短期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 47—52.
- 作者简介:**
唐杰明(1968—), 男, 硕士研究生, 主要从事电力市场及负荷预测研究。
- (收稿日期: 2007—11—10)

(上接第21页) 务护线员, 增加举报破坏电力设施行为的回报等。

2.2.7 针对农村 10 kV 配电网内在因素采取的反事故措施

对于重载 10 kV 和公用台区, 应每月开展负荷监测工作, 对超负荷运行的重变台采取负荷预警制度, 及时制定整改方案转接负荷, 最高负荷率超过 85% 的亦应采取预警转接制度, 做好负荷转接, 必要时可加装低压台区综合监测仪或多功能电子表进行负荷监测。线路上可在负荷高峰期运用红外线测温仪测量导线及连接器的温度, 一旦温度异常, 应立即进行处理, 避免高温熔断导线。线路上安装短路故障指示器, 即使 10kV 线路发生短路故障, 也能快速查出故障点及时排除, 降低事故损失。

对于柱上开关、跌落式熔断器、阀式避雷器、针式

绝缘子、高损配变、并沟线夹等早期投运的残旧设备, 应选用技术参数高的现行产品, 结合全年的停电计划分批轮换。柱式开关可选用零气压的 SF₆ 负荷开关, 跌落式熔断器可选用(H)RW11—12 型, 配变可选用 S9 及以上系列的变压器。对于产权属用户的设备, 宜采用沟通的方法, 阐述设备故障给用户带来的危害, 说服用户定期开展预试工作, 或轮换残旧的设备。

配网建设应以巴中市经济发展规范化为依据, 以满足市场需求为向导, 近期与远期相结合, 依靠科学, 大力加快配网建设的改造步伐, 增强配网的供电能力以适应国民经济的持续增长和居民生活用电质量不断提高的要求, 逐步淘汰高耗能、安全可靠低、维修费用大的设备。建议使用安全可靠高、易维护的新产品、新设备, 努力提升配网安全运行水平, 积极推进配电网自动化。

(收稿日期: 2007—10—10)

巴中电业局停电效率与对策

李文洪

(巴中电业局, 四川 巴中 636000)

摘要:主要分析了停电效率低的原因,同时制定了相应对策。得出的主要结果如下:设备停电本身不可避免,各部门和工种密切配合、流程优化对提高停电效率至关重要。

关键词:停电效率;分析;措施

Abstract: The reasons of low efficiency of power failure are analyzed and the corresponding measures are worked out. The main conclusions are obtained as follow: power failure of equipment is inevitable, each department and each kind of work in production must fit very well, and process optimization is very important to improve the efficiency of power failure.

Key words: efficiency of power failure; analysis; measure

中图分类号: TM732 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0022-03

输变配电设备本身需要检修维护,在运行中也会发生缺陷或异常需要及时处理,大修、技改、基建工作、新用户接入的配合要求,这些都需要对相关的设备进行停电工作。而提供优质电能、可靠的供电是供电企业的首要任务。过多的设备停电,不利于“增供促销”,无法兑现对社会优质服务的承诺,降低了输变配电设备的可靠性,甚至会严重危及电网运行的安全性,背离了企业的核心发展目标,因此在尊重客观生产规律的前提下进一步强化停送电管理工作是目前迫在眉睫的任务。

进一步强化停送电管理工作,其根本任务是通过提高各项工作效率的措施及强化调度、检修、运行、营销等各工种在各项工作环节的无缝衔接来尽最大可能地减少设备的停电时间,因此,深入对巴中电业局调度、检修、运行、营销等各工种在停送电管理中存在问题的原因进行分析很有必要。从调度、检修、运行、营销等各工种在停送电管理存在问题的原因分析基础上有针对性地提出对策措施。

1 停电效率低原因分析

1.1 调度系统

1) 调度预令提前下达时间过短,给操作人员进行操作准备(含写票、审票、操作前准备)的时间不足。

2) 存在调度预令审核把关不严,或调度在改变了被操作设备状态后没有及时更改调度命令票,致使操作时临时更改调度命令内容及步骤,运行人员到达现场后,在本该正式操作的时间却用于填写操作票,浪费了时间。

3) 调度正式操作命令未严格按照预定时间下达,频繁发生后导致运行、检修人员产生惯性思维、时间观念淡薄,从而产生了调度下令后运行人员不能及时操作、设备停电后检修人员未能及时到场等调度、运行、检修、营销工作环节脱节现象,未能做到各工种间的无缝衔接。

4) 调度命令以口头操作命令方式下达,导致运行人员无操作准备的时间,命令下达后才临时拟订操作票而花费过多的时间。

5) 调度命令以分项命令的方式下达,重点是对一些不涉及系统的站内设备操作未采用综合命令的方式下达,运行人员拟操作票困难,在一定程度上增加了运行人员的操作量和操作地点之间往返时间,降低了操作效率。

6) 在紧急事故处理中,调度人员未灵活掌握运行方式、准确及时地限制事故的发展和消除事故根源,从而导致正常设备停电恢复处理时间延长。

7) 月度停电平衡会,对非常规性检修作业,对其停定时间的审核不细,对控股公司管理的与主网有联系的设备停电未纳入管理,造成重复停电。

1.2 检修系统

1) 施工前的准备工作不充分,现场查勘不到位,施工方案编制不完善,对可能存在的问题估计不足,设备停电开始施工后才发现这样或那样的问题,如工器具遗漏、备品遗漏、工作项目遗漏、停电范围不满足要求等,这样就导致了延误工期,降低了检修效率,延长了设备的停电时间。

2) 施工组织不周密,未根据施工量和技术难点合理配置工作班人员(或干的干,要的要),导致现场

施工力量不足,同时也导致了施工质量难以得到保证和延误工期现象的发生。

3) 有时存在设备按计划停运后检修人员未按要求及时到位,导致设备停电后到检修人员开始工作这段空置时间过长。

4) 检修人员未严格按照要求提前一天将工作票送达运行班组,并配合运行班组完成工作票的审核工作,导致设备停电后花费更多不应该的时间在填写、审核、许可工作票上。

1.3 运行系统

1) 操作准备工作不够充分,操作时忙乱无序。

在操作前,必须准备好操作中使用的安全工器具,如:绝缘靴、绝缘手套、验电笔、防误钥匙、机构(端子)箱钥匙、开关间钥匙、保险、尖嘴钳、改刀、梯子等,这些准备工作若未做好,将直接影响到操作的顺利进行。在实际工作中,以某 110 kV 开关由运行转检修为例,到现场操作电动隔离刀闸时,若忘了拿防误钥匙,须返回主控拿钥匙;操作完隔离刀闸后,若忘了拿验电笔,又返回主控制室拿验电笔,这样来来回回,就得浪费近十分钟时间。

2) 操作票填写不够优化。

①填写操作票时,只考虑操作票的技术顺序,未考虑操作的便利顺序。

一些变电站主控制室与开关场设备相距较远,因此操作票的填写,既要考虑到技术顺序的完全正确又要考虑到操作的便利。然而,在实际工作中,往往过多地强调了操作的技术顺序,忽视了操作的便利。以一条 110 kV 线路开关由检修转运行的操作为例,0001 号操作票填写是先到开关场拉开接地刀闸或拆除接地线(图 1①),到主控制室操作二次设备(图 1②),到开关场操作一次设备(图 1③),最后到主控制室操作开关(图 1④);0002 号操作票填写则是先到主控制室操作二次设备(图 2①),再到开关场操作一次设备(图 2②、图 2③),最后到主控制室操作开关(图 2④)。操作票操作顺序示意图见图 1、图 2。

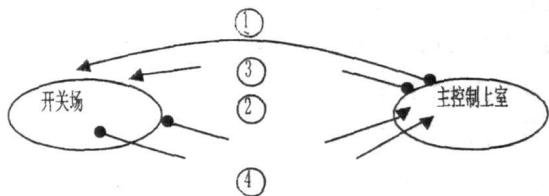


图 1 0001 号操作票操作顺序示意图

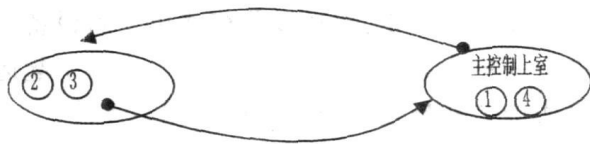


图 2 0002 号操作票操作顺序示意图

由两份操作票的操作顺序可以明显看出,前一张操作票比后一张操作票到主控制室要多往返一次。两份操作票从技术顺序来看,均完全正确,没有原则性错误。从实际操作来看,前一张操作票操作完成时间比后一张操作票要花费较多的时间。因此,操作票的正确、科学合理的填写对提高操作速度至关重要。

②涉及保护压板的操作太多。

一次设备转检修状态和设备二次检修状态,均涉及到二次保护压板的操作。目前,由于没有统一规定设备何种检修状态需停用哪些保护压板,因此,一些变电站在填写操作票时填写保护压板求全,仅投、退保护压板就有几十项之多,与检修工作需要不对应。从技术层面来讲,有相当多的保护压板操作是完全没有必要的,多出的一些操作既不安全(在操作时有可能出错),也浪费了太多的时间。

3) 未及时按规定对防误装置进行运行维护,操作时防误装置出现的故障较多。

防误装置是目前从技术上防止变电站一次误操作的功能最完善的设备,防误装置有出故障的情况,需要维护才能维持良好状态,但在实际工作中,由于一些变电站未及时按规定对防误装置进行维护消缺,造成在倒闸操作时,操作开关或刀闸过不了编码、锁具卡涩、电脑钥匙无电等故障,直接影响操作的速度。以曾经遇到过的一条 110 kV 线路由运行转冷备用的操作为实例,在操作过程中,先是开关不能过码,经查系逻辑条件有错;操作刀闸时又不能过码,经查系旁母侧刀闸和线路侧刀闸的防误锁刚好挂反了;在操作线路侧刀闸时,电脑钥匙又没电了,只得返回主控制室更换一把电脑钥匙,并重新输入编码,这样边操作边处理防误装置故障,直接延误大量的操作时间。

4) 受当前设备状况和操作模式制约,检查项目多,主控制室与现场设备之间往返次数较多。在现场操作设备时,经常会遇到倒母线一类的操作,每操作完一把刀闸时,均要回主控制室检查二次电压切换情况,出线回数较多时,往返次数更多;旁路开关代线路

开关时,也同样要到设备现场往返检查开关位置,诸如此类的操作还不少,这种操作模式出于对设备可靠性和安全的担忧无可非议,另一方面也容易引起运行人员操作疲劳和延长了倒闸操作时间。

5) 操作过程中的设备故障也延误了不少的操作时间。

在操作过程中,往往会遇到由于设备原因暂时停止操作的情况,有时暂停时间超过小时。如操作开关时,开关出现故障;操作刀闸时,刀闸出现故障;操作保护时,保护出现故障等,上述原因将不可避免延误操作时间。

2 对策措施

为在确保安全生产的前提下,尽可能地缩短停电时间、提高工作效率,必须切实强化停送电管理、确保运行和检修各环节无缝衔接并提升执行调度命令的效率,特制定如下要求:

1) 进一步加强设备检修计划停电的管理,每月定期召开停电计划平衡会,统筹安排检修工作,停电平衡会不仅确定停电项目,同时严格审核工作时间和停送电操作时间,做到停电时间细化到日,精确到分,将停电检修平衡延伸到各控股公司去。

2) 优化调度操作步骤,灵活掌握运行方式,对停送电时间统筹安排,缩短运行人员工作点之间往返时间,优化操作到每一张命令票、操作票,流程控制到每一项。

3) 强化调度命令的管理:严把调度命令的审核关,杜绝调度命令不合理或临时更改调度命令的现象;对计划性工作应预先下达调度预令,且应尽可能提前8个小时及以上时间下达;调度命令应按计划准时下达,对不设计系统及网络的操作宜采用综合命令的方式下达。

4) 为便于运行、检修单位掌握计划停电工作的安排并及时做好相关准备工作,相关调度应每月将停电计划公告于办公自动化系统公告栏。

5) 检修单位在施工前应委派专业人员认真开展现场查勘工作,现场查勘时应主动与运行人员联系,了解计划停电检修设备所有存在的缺陷和异常,并纳入具体的施工方案,且要按要求编制好标准化作业卡,确保完成施工前的一切准备工作。

6) 强化检修施工组织,检修单位应根据施工工作量、技术难点和调度批准计划停电的时间要求,合

理安排施工人员,确保施工力量完全满足实际工作的需要。

7) 优化工作流程,提前做好各项设备停送电准备工作,在严格执行各项规章制度、确保安全的前提下想方设法缩短停电时间。

① 加强“两票”的准备工作,为缩短填写操作票时间和保证在操作完成后尽快能办理完许可工作手续,施工单位必须提前一天将工作票传到相应的变电站(集控班)并联系当值正班完成工作票的初步审核工作。

② 各变电站(集控班)必须在接到调度预令后由当值人员立即准备好第二天停、送电全部操作票及完成对现场安全措施所需的工器具、物品的检查工作。

③ 各变电站在每一次操作前30 min,当值人员要将安全工具、标示牌等放置在准备使用的地点,以备待用。

④ 及时了解现场工作进度,各变电站(集控班)的当值人员应随时了解现场工作进度,提前做好送电准备工作,一旦现场工作提前结束,应做到随时能恢复送电操作。

⑤ 各变电站的工作票、操作票处理工作除交接班时间以外,能在本班完成的尽量完成,不能无故推延到下一班(特殊情况需请示班组站长同意)。接班人员接班后根据接班情况,及时安排本班的工作任务,发现问题要以现场工作为主,及时解决,不得推诿。

8) 加强设备维护工作,重点是对微机五防系统的维护和设备转动部分润滑加油维护工作,避免操作中发生因设备异常或防误装置异常而导致延误操作时间的现象。

9) 切实做好调度、检修、运行人员的培训工作,高质量开展好日常培训工作,全面提高人员业务技能水平,进而进一步提高工作质量和工作效率,减少设备停电时间。

10) 检修人员应结合停电申请、变电站典型操作控制时间综合判断在设备停电前15 min到达变电站,并检查、确认已做好检修工作的各项前期准备工作。实施检修工作完工预报告制度,检修人员应在检修工作完工前的30 min预先告知相关运行人员和调度当值人员,以便调度及运行人员做好验收和送电工作准备,将变电站操作实际时间结合具体情况纳入班组绩效考核。

(收稿日期:2007-10-27)

220 kV 隔离开关电气闭锁回路的分析

夏辉军¹, 代 晖¹, 刘明福²

(1. 泸州电业局, 四川 泸州 646000; 2. 攀枝花电业局, 四川 攀枝花 617067)

摘 要:通过对 220 kV 隔离开关电气闭锁回路的反复操作和试验, 发现了电气闭锁回路中因接地母线对地电容形成交流通路, 使保持回路无法返回而导致电气闭锁回路失效的隐患, 并针对原因提出了具体的防范措施。

关键词:隔离开关; 电气闭锁; 对地电容; 解决措施

Abstract: Though the repeated operations and tests of the electrical blocking circuit for 220 kV disconnector, it is found that the capacitance to earth of ground bus forms a AC on—circuit in the electrical blocking circuit which leads to the failure of electrical blocking. And the specific preventive measures are put forward.

Key words: disconnector; electrical blocking; capacitance to earth; solutions

中图分类号: TM711 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003—6954(2008)01—0025—01

1 存在的问题

500 kV 泸州变电站的 220 kV 母线为双母线单分段接线方式, 有线路出线七回, 两个主变进线, 两个母联间隔和一个分段间隔, 母线隔离开关为 GW10—220 型(西高), 配 CJ6A 型电动操作机构。电机电源回路和控制回路通过不同的空开控制, 其电源取自本间隔端子箱, 一段母线上的所有隔离开关的控制回路的 N 端接至公共的 N² 接地母线, 再经母线接地刀闸的辅助接点串联后接地。本站在设备投运前对部分的隔离开关电气闭锁回路进行了标准化验收, 在对 220 kV 隔离开关的电气闭锁回路验收时发现一个奇怪的现象: 在某线路的断路器断开, 回路无接地刀闸时, 即满足电气闭锁的条件时, 断开电机电源空开 QF¹, 合上电机控制电源空开 QF², 按下合闸按钮 SB² 或分闸按钮 SB¹, 控制回路能够保持, 这时只要合上空开 QF¹, 隔离开关便会自动地合闸或分闸, 这与控制回路的原理是相符的。但是在此模拟操作过程中, 当合上 QF² 并按下 SB² 或 SB¹ 按钮后, 一旦控制回路保持, 就无法被母线隔离开关的辅助接点 1GD 和 2GD 断开, 即在这种情况下, 即便合上母线接地刀闸时, 线路的隔离开关也能进行分、合闸操作, 不满足电气闭锁的要求。实际运行中, 在检修调试后, 若没有仔细检查控制回路是否保持, 当母线接地时, 无论是在远方还是在就地合上电机电源, 该刀闸都会自动的分合闸, 存在发生恶性误操作的可能。

2 原因分析

经过对回路的核对检查和反复的试验操作, 发现在合上 QF² 并按下 SB² 或 SB¹ 按钮后, 再合上母线接地刀闸, 其辅助接点 1GD 和 2GD 虽已断开, 但回路中合闸或分闸保持回路不返回, 测量 N² 接地母线的对地电压不稳定, 有时甚至达到 460 V 及以上, 是一个虚电位, 但在先合上母线接地刀闸后, 该控制回路却不能保持。首先想到的是不是母线接地刀闸的辅助接点 1GD 和 2GD 切换不可靠, 接点间绝缘降低, 后将 N² 接地母线至 2GD 的连接线断开并检查接点的切换状况, 一切正常, 保持回路仍然不返回, 排除了辅助接点切换不可靠的情况。其次考虑到是不是 N² 接地母线太长, 存在绝缘降低的问题, 在断开电源后, 对 N² 接地母线进行绝缘测试, 其绝缘状况良好, 排除了为绝缘降低所致。最后考虑到会不会有存在寄生回路可能, 断开了部分线路的控制回路至 N² 接地母线的连线, 当只剩下 3 条回路及以下间隔的线路时, 该控制回路恢复了正常, 保持和返回均很好。据此, 初步分析可能是 N² 接地母线太长, 存在一定的对地电容, 正常情况下 N² 接地母线不带电, 当然就不存在对地电容的情况, 若合上母线接地刀闸, 辅助接点 1GD 和 2GD 断开, 控制回路无法保持。但在拉开母线接地刀闸后, 辅助接点 1GD 和 2GD 闭合, 当控制回路保持时, N² 接地母线带电, 且由于 N² 接地母线上只有一个接地点, N² 接地母线连接了 (下转第 29 页)

在建设中的特高压电力传输的继电保护问题还没有很好的解决,这些需求为传输线上的行波保护提供了前进的动力,而不断更新的计算机技术、信号处理和通信技术为行波信息的应用搭建了发展的舞台。行波保护原理上特有的高速性和高频特征抗干扰性强在高压传输线的保护上存在优势,但对于该信号的实际应用目前仍有很多的理论探索和装置改进工作要做,基于故障行波信息的新的保护原理开拓和保护动作特性算法也是发展的重要方向。可以设想高压输电线上行波保护的原理、方案以及产品将会被不断地完善,推陈出新。

参考文献

[1] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安交通大学出版社, 2007.

[2] 董新洲, 葛耀中, 贺家李, 郭效军, 薄志谦. 输电线路行波保护的现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(11): 56—61.

[3] 董新洲. 故障信息、小波变换与继电保护[J]. 中国电力, 2001, 34(12): 22—26.

[4] 罗四倍, 段建东, 张保会. 基于暂态量 EHV/UHV 输电线路超高速保护研究现状与展望[J]. 电网技术, 2006, 30(22): 32—41.

[5] 薄志谦. 新一代电力系统继电保护——暂态保护[J]. 电网技术, 1997, 20(3): 34—36.

[6] 张言苍. 基于小波变换的行波保护装置的设计(硕士学位论文)[D]. 西安: 西安交通大学, 2001.

作者简介:

党晓强(1975—), 男, 四川西昌人, 博士, 讲师, 从事电气设备故障诊断方面的教学和研究工作。

(收稿日期: 2007—10—23)

(上接第 25 页) 该母线上所有线路的端子箱和隔离开关的机构箱内的控制回路, 其连接回路很长, 必然存在一定的接地电容, 在这种情况下, 即便控制回路中母线接地刀闸的辅助接点 1GD 和 2GD 断开, 其保持回路仍然能通过 N2 接地母线的对地电容形成交流通路得以保持, 当断开部分线路的控制回路后, 对地电容减小, 容抗增大, 不能达到保持电压, 其控制和返回回路才恢复了正常。

3 解决措施

发现问题后, 对该控制回路进行了认真分析, 研究了较多的解决方案, 并进行了实际验证, 比较有效的主要有以下两个方案。

3.1 控制回路的 L 和 N 互换

该设计回路从原理上完全满足要求, 主要是因为 N2 接地母线太长, 存在对地电容所致。在设备验收过程中, 将控制回路中的末端 N3 接地点改接电源的 L1 接线, 将控制回路的首端 L1 改接电源的 N1, 其他间隔的控制回路也照此改接, 改接后电源端连接所有的端子箱和机构箱, 接地端 N1 只接本线路的回路, 其连接长度短了很多, 改接后控制和返回正常。

3.2 空开 QF1 和 QF2 连动

以上的试验是在空开 QF1 和 QF2 不同时操作时发现的, 即是在断开电机电源空开, 使控制回路先保持的情况下再操作电机电源空开, 当然实际倒闸操作

中这种可能性较小, 若能使空开 QF1 和 QF2 连动, 当在使控制回路保持时, 即按下合闸或分闸按钮时, 能马上听见电机运转的声音, 不存在检修后只使控制回路保持的问题, 通过检查隔离开关的位置, 便能避免发生恶性误操作事故。具体办法是将 QF1 三极空开和 QF2 两极空开更换为四极空开。

4 结束语

近来, 电力系统内因电气闭锁回路问题引发的恶性误操作事故时有发生, 通过对该站 220 kV 隔离开关电气闭锁回路的认真验收检查, 发现了闭锁回路上难以发现的问题, 并提出了解决方案。笔者认为, 将控制回路的 L 和 N 互换, 实践证明是比较有效的方案, 但该方案导致了电源回路的增长, 发生接地短路或绝缘降低的可能性增大, 该接线工作量相对较大, 但只要加强设备的运行维护, 该问题完全能解决。实现空开 QF1 和 QF2 的连动方案, 需要对机构箱内的回路进行改接, 并受到机构箱内继电器等设备的安装位置限制, 特别是在电源缺相的情况下, 该问题仍然不能解决。隔离开关的电气闭锁回路虽然在很大程度上防止了电气误操作事故的发生, 但实际倒闸操作过程中, 不能仅仅相信电气闭锁回路的可靠性而忽略了对设备状态的检查和确认。

(收稿日期: 2007—11—18)

高压电力传输线行波保护技术原理综述

杜刚¹, 桂林², 党晓强²

(1. 成都电业局龙泉供电局, 四川 成都 610100; 2. 四川大学水利水电学院, 四川 成都 610065)

摘要:对高压电力传输线上的故障行波概念与故障特征进行分析, 介绍了目前比较成熟的6种行波保护原理, 并对其发展中存在的问题和中国高压电网中行波保护的应用前景做了简述。最后对行波技术的研究方向做了展望。

关键词:电力传输线; 故障行波特征; 行波保护

Abstract: The general concept and characteristics of fault traveling wave in high-voltage transmission line are introduced. Six principles of transient traveling wave relay protection are presented. Some problems which still stay to be solved are introduced and the prospect of application of transient traveling wave protection in HV power grid of China is described. At last, the developing direction of traveling wave protection is prospected.

Key words: transmission line; characteristic of fault traveling wave; traveling wave protection

中图分类号: TM771 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)01-0026-04

高速动作的继电保护对于支撑和保障高压输电网络的安全经济运行意义重大。传输线行波保护是根据线路故障初瞬产生的暂态行波信息构成的继电保护, 它能在极短的时间内检出故障, 具有超高速和抗干扰性强的特点。因此行波保护概念一经提出, 就被寄予厚望在高压输电网络中发挥作用。近年来国内外掀起了利用行波暂态故障信息构成继电保护的研究热潮, 文献中通常将基于时域上故障行波特征分量的保护称为行波保护, 其主要原理是在20世纪90年代以前创建发展起来的; 将基于线路故障时暂态高频信号在频域上特征的保护称为暂态保护, 其主要原理是近10余年来发展起来的。从本质上讲, 暂态保护也是利用行波特征实现的保护。行波保护装置所存在的主要问题是可靠性差, 目前仍然处于理论与实践相互磨合和促进的探索性阶段。如何有效利用数字信号处理的最新成果, 深入挖掘行波的故障信息, 改善和提高这类保护的可靠性是其能否在实际电力系统中推广应用的关键。下面针对目前研究比较成熟的6种传输线行波保护原理进行了介绍, 并对其发展中存在的问题以及高压电网中的行波保护的应用前景做了简述和展望。对于实际运行过程中影响行波保护可靠性的细节因素, 文中未做分析。

1 故障行波特征分析

电力传输线在故障初期存在一个暂态过渡过程, 行波保护通过反映该暂态过程中的行波特征分量信

息而动作。可以利用行波信息包括: 由故障点产生的初始行波到达故障点标志着故障发生; 三相行波的幅值和相位包含着故障相信息; 初始行波和随后行波到达检测点的时间差代表着故障距离; 线路两端初始行波的幅值和极性可以用于识别故障方向。正确识别和提取行波故障信息, 可以构成行波故障启动元件和行波故障选相元件, 构成高速动作的行波保护并实现故障测距。在输电线路上发生故障时, 在故障点将产生向线路两端传播的暂态行波, 是比较容易理解的。

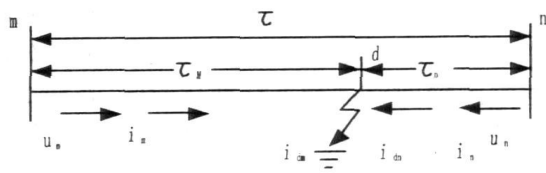


图1 故障行波的传播示意图

为分析方便以单导线线路上某点 \$d\$ 发生单相接地为例, 如图1所示。在分布参数线路上将产生电压行波 \$u\$ 和电流行波 \$i\$ 的传播方程:

$$u = u_m(t - \frac{x}{v}) + u_n(t + \frac{x}{v}) \quad (1)$$

$$i = i_m(t - \frac{x}{v}) + i_n(t + \frac{x}{v}) \quad (2)$$

其中: \$v\$ 为行波的传播速度, 其大小取决于该段传输线空气导磁系数 \$\mu_0\$ 和介电系数 \$\epsilon_0\$ 的大小。\$u_m(t - \frac{x}{v})\$ 代表一个以速度 \$v\$ 向 \$x\$ 正方向行进的电压波, \$u_n(t + \frac{x}{v})\$ 代表一个以速度 \$v\$ 向 \$x\$ 负方向行进的

波。通常称 u_m 为前行电压波, u_n 为反行电压波。同理称 i_m 为前行电流波, i_n 为反行电流波。行波方程解的具体表达式由方程边界条件及初始值确定。

对实际系统中三相导线的分析,由状态变量的增加,对状态的描述方程量需列写矩阵,因而不宜直接求出电压、电流的行波解。通常要利用坐标变换将相空间变为其它坐标空间进行求解,该空间被称为模空间,该变换称为相模变换,具体变换算法有相关专著论述。对于三相线路而言,应用模量变换可以把三相线路变为三个独立的单相线路,每一单相线路对应一个模量,这里介绍的保护原理对每一模量都适用。

2 行波保护的主要原理

从行波保护原理与装置实现来讲,目前比较成熟的保护有4种类型:行波差动保护、行波判别式方向保护、行波距离保护和行波极性比较式方向保护。

2.1 行波差动保护

保护基本思想为:由线路的一端(m 端)发出的正向行波经延时 τ 后到达另一端(n 端),正向行波的形状及大小不变。联系图1,可以列写如下 m 侧的贝瑞隆方程:

$$i_m(t-\tau) + \frac{1}{Z_c} u_m(t-\tau) = -i_n(t) + \frac{1}{Z_c} u_n(t) \quad (3)$$

式中: $i_n(t)$ 前取负号是因为 n 端所规定的电流正方向与实际方向相反。

由式(3)可定义行波差动判据:

$$i_{dm}(t) = i_n(t) + i_m(t-\tau) - \frac{1}{Z_c} [u_n(t) - u_m(t-\tau)] \quad (4)$$

式中: $\tau = \frac{L}{v}$ 为在绕组 mn 间,行波的行进时间; $i_m(t)$, $u_m(t)$ 为 t 时刻 m 端的行波电流、电压,同理可定义 n 端的差动保护判据 i_{dn} 。

由此看出,利用 i_{dm} , i_{dn} 可以正确区分线路内部、外部故障,当线路内部无故障时候, $i_{dm}=0$, $i_{dn}=0$,保护不动;在线路内部故障时候, i_{dm} 和 i_{dn} 存在一定的数值,为短路点的电流,保护要动作。

2.2 行波判别式方向保护

保护的基本思想为:根据行波行进方向来判定故障方向,进而根据两端方向元件的动作结果来决定保护是否动作。如图1,保护设在 n 端, $u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \phi)$ 为故障点的故障前电压。则判别式方向保护的

判据 D :

$$D = (u - Z_c i)^2 + \frac{1}{\omega^2} \left(\frac{du}{dt} - Z_c \frac{di}{dt} \right)^2 \quad (5)$$

判据 D 与故障发生时刻无关,若行波来自线路方向,则 $D=8U^2 \neq 0$;若线路无故障或行波来自反方向,则 $D=0$ 。由此可见判据 D 具有敏锐的方向性。

2.3 行波距离保护

保护的基本思想为:以行波反射原理构成,仅需分别检测初始行波和反射行波到达检测装置的时间,再通过式(6)计算故障发生处的位置,即可判断是否发生区内故障。该保护判据:

$$x = \frac{1}{2} (t_2 - t_1) v \quad (6)$$

式中: v 为波速度, t_1 、 t_2 分别为初始行波和反射行波到达检测母线的时间。对故障反射波的识别是要解决的难点问题。

2.4 行波极性比较式方向保护

保护的基本思想为:根据故障初期行波电压和电流的相对极性来判别故障位置。当线路发生故障时,在故障点将产生向线路两端传播的电流、电压行波,如果为内部故障,在线路两端检测到的电压行波为同极性,电流行波也为同极性,而同端的电压、电流行波为反极性。当规定线路两端电流的正方向为母线指向被保护线路时,线路两端各自比较行波电压和电流极性,相异为正方向,相同为反方向,将各自的比较结果通过通道向对端发送,在确定自己与对方同为正向时,判为区内故障,反之为区外故障。

还可以基于被保护线路两端的行波电流的相对极性来判别区内、外故障。当规定行波电流的正极性为由母线指向线路时,线路两端的行波电流极性同相时判为区内故障,异极性则为区外故障。本端电流的极性由通道传给对端。

3 单端无通信暂态保护

高压输电线路故障时产生的高频暂态分量包含相当宽的频带范围,研究和利用行波的故障分量的不同频率分量在故障线路和非故障线路上的不同表现是构成超高速暂态保护的基本思路。保护通道的存在使得保护动作变慢、可靠性降低、成本增大、构成复杂。目前两种基本的单端无通信暂态保护,是分别利用故障时暂态高频电压信号和电流信号实现的。

利用故障暂态电压高频分量的单端无通信暂态

保护又称为噪声保护。保护的基本思想:利用输电线现有的高频阻波器或者对其进行改造,将一定频率范围内的暂态高频电压信号封闭在被保护线路以内,而将区外故障时产生的暂态高频电压信号阻挡在被保护线路之外。在此基础上,利用特别设计的带通滤波器对 CVT 进行改造,将高频阻波器阻带内的暂态高频电压信号提取出来,以实现单端无通信暂态保护。利用故障暂态电流高频分量的单端无通信暂态保护又称为边界保护。保护的基本思想为:利用故障暂态电流的不同频率成分的衰减差别来区分区内和区外故障。母线的等效电容对于高频暂态信号有分流作用。外部故障时,由于电容分流,较少的高频信息被检测到;内部故障时,母线尚没有分流,较多的高频暂态信息被检测到。根据这个差别,可构成边界保护。

4 行波保护发展中存在的问题

行波保护概念在 20 世纪 50 年代被提出,70 年代末 80 年代初是行波保护研究的高潮期,第一套行波保护装置由瑞典通用电气公司在 1976 年研制成功,并投入美国 Bonneville 电力局 500 kV 输电线路试运行。同时日本东京电力公司研制成功行波差动保护继电器。中国在 20 世纪 80 年代初从瑞典引进两套 RALDA 型行波极性比较式方向保护装置,分别安装在东北电网 500 kV 锦辽线上和华中电网 500 kV 平武线上。但是由于行波本身的高频暂态性质、原理缺陷及数学工具、传感器方式和技术条件的限制,该阶段所研制的保护装置性能不够稳定,可靠性差,一些试运行的行波保护装置先后被退出,成果未能推广普及。20 世纪 90 年代后,基于行波信息的单端无通信暂态保护原理受到了人们的关注,进而研制出了保护装置,通过高压实验室试验后投入现场试运行,其可靠性与经济性以及算法实现仍需进一步观察考证、改善。随着行波保护原理与算法研究的逐步深入,近年来结合先进的数字信号处理技术和传感技术的行波试验装置和研发平台在国内外也不断涌现。

综合行波保护中有待解决的问题,有如下三个方面:①行波信息与所在母线结构和故障发生的类型与时刻相关,导致行波信号的不确定性;②对高频行波信息的准确捕捉与精确识别问题;③由于输电线路的某些正常操作,如空载线路合闸或雷击同样会产生行波信号,且与线路发生故障时的暂态过程十分相似。

另外行波信号易于和噪声干扰(如 TA、TV 及测量仪器中的噪声)相混淆。这些情况都可能造成行波保护装置误动作失败。对以上问题的解决目前所做的研究包括:进一步对传输线在各种母线结构和运行方式下更精确的高频传输数学模型的建立与解析;进一步结合高响应速度和保真的数据采集与处理硬件,如 DSP 技术与新型光传感器的应用;利用小波分析在时域和频域都具有良好的局部化性质,将其与故障行波信息检测进一步结合起来。

5 在中国高压电网中的应用前景

在“西电东送、南北互供、全国联网”的指导方针下,近年来更多的超高压远距离输电网络在中国相继投入运行,特高压电网的建设也提在议事日程上。由此系统中出现了许多新情况,如输电距离增长,负荷加重,故障暂态过程中的暂态分量大大增加,持续时间变长。以上情况对传统保护正确动作产生不利影响,甚至不能正确运行,如果加滤波环节,则保护动作速度将变慢,这是高压电网所要求保护的灵敏性和快速性难以容忍的。中国建设特高压电网,其线路继电保护在世界范围内都还没有成熟的解决方案。特高压线路充电电容电流过大,使得其差动保护作为主保护整定困难,必须开发更合理的保护方式。

行波线路保护不仅具备原理简单,动作速度远快于基于工频电气量的传统保护的特点,而且还具有不受过渡电阻、电流互感器饱和、系统振荡和导线分布电容等影响的独特优点。行波保护的上述优点正是高压长距离输电线路所要的,当然如何将行波保护的优点与高压网络的需求有效结合是需要科技工作者们努力攻关的。

在高压电网中处于中枢地位的大型变压器,其基于工频量差动的主保护原理在识别匝间短路、克服励磁涌流所产生的误动等方面,力有不及,这也是变压器保护动作正确率不高的主要原因。如何利用暂态行波量检测变压器的匝间短路,区分空载合闸时的涌流存在进一步研究的空间。

6 结论与展望

特高压、超高压电力传输及联网是中国电网的发展方向,而安全性是大电网运行首要考虑的问题。正

在建设中的特高压电力传输的继电保护问题还没有很好的解决,这些需求为传输线上的行波保护提供了前进的动力,而不断更新的计算机技术、信号处理和通信技术为行波信息的应用搭建了发展的舞台。行波保护原理上特有的高速性和高频特征抗干扰性强在高压传输线的保护上存在优势,但对于该信号的实际应用目前仍有很多的理论探索和装置改进工作要做,基于故障行波信息的新的保护原理开拓和保护动作特性算法也是发展的重要方向。可以设想高压输电线上行波保护的原理、方案以及产品将会被不断地完善,推陈出新。

参考文献

[1] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安交通大学出版社, 2007.

[2] 董新洲, 葛耀中, 贺家李, 郭效军, 薄志谦. 输电线路行波保护的现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(11): 56—61.

[3] 董新洲. 故障信息、小波变换与继电保护[J]. 中国电力, 2001, 34(12): 22—26.

[4] 罗四倍, 段建东, 张保会. 基于暂态量 EHV/UHV 输电线路超高速保护研究现状与展望[J]. 电网技术, 2006, 30(22): 32—41.

[5] 薄志谦. 新一代电力系统继电保护——暂态保护[J]. 电网技术, 1997, 20(3): 34—36.

[6] 张言苍. 基于小波变换的行波保护装置的设计(硕士学位论文)[D]. 西安: 西安交通大学, 2001.

作者简介:

党晓强(1975—), 男, 四川西昌人, 博士, 讲师, 从事电气设备故障诊断方面的教学和研究工作。

(收稿日期: 2007—10—23)

(上接第 25 页) 该母线上所有线路的端子箱和隔离开关的机构箱内的控制回路, 其连接回路很长, 必然存在一定的接地电容, 在这种情况下, 即便控制回路中母线接地刀闸的辅助接点 1GD 和 2GD 断开, 其保持回路仍然能通过 N2 接地母线的对地电容形成交流通路得以保持, 当断开部分线路的控制回路后, 对地电容减小, 容抗增大, 不能达到保持电压, 其控制和返回回路才恢复了正常。

3 解决措施

发现问题后, 对该控制回路进行了认真分析, 研究了较多的解决方案, 并进行了实际验证, 比较有效的主要有以下两个方案。

3.1 控制回路的 L 和 N 互换

该设计回路从原理上完全满足要求, 主要是因为 N2 接地母线太长, 存在对地电容所致。在设备验收过程中, 将控制回路中的末端 N3 接地点改接电源的 L1 接线, 将控制回路的首端 L1 改接电源的 N1, 其他间隔的控制回路也照此改接, 改接后电源端连接所有的端子箱和机构箱, 接地端 N1 只接本线路的回路, 其连接长度短了很多, 改接后控制和返回正常。

3.2 空开 QF1 和 QF2 连动

以上的试验是在空开 QF1 和 QF2 不同时操作时发现的, 即是在断开电机电源空开, 使控制回路先保持的情况下再操作电机电源空开, 当然实际倒闸操作

中这种可能性较小, 若能使空开 QF1 和 QF2 连动, 当在使控制回路保持时, 即按下合闸或分闸按钮时, 能马上听见电机运转的声音, 不存在检修后只使控制回路保持的问题, 通过检查隔离开关的位置, 便能避免发生恶性误操作事故。具体办法是将 QF1 三极空开和 QF2 两极空开更换为四极空开。

4 结束语

近来, 电力系统内因电气闭锁回路问题引发的恶性误操作事故时有发生, 通过对该站 220 kV 隔离开关电气闭锁回路的认真验收检查, 发现了闭锁回路上难以发现的问题, 并提出了解决方案。笔者认为, 将控制回路的 L 和 N 互换, 实践证明是比较有效的方案, 但该方案导致了电源回路的增长, 发生接地短路或绝缘降低的可能性增大, 该接线工作量相对较大, 但只要加强设备的运行维护, 该问题完全能解决。实现空开 QF1 和 QF2 的连动方案, 需要对机构箱内的回路进行改接, 并受到机构箱内继电器等设备的安装位置限制, 特别是在电源缺相的情况下, 该问题仍然不能解决。隔离开关的电气闭锁回路虽然在很大程度上防止了电气误操作事故的发生, 但实际倒闸操作过程中, 不能仅仅相信电气闭锁回路的可靠性而忽略了对设备状态的检查和确认。

(收稿日期: 2007—11—18)

基于前推回推法的配电潮流并行计算方法

刘洋¹, 白泰¹, 陈曦²

(1. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072; 2. 成都电业局新津供电局, 四川 成都 611430)

摘要:提出了一种基于前推回推法的配电潮流并行计算方法。针对辐射配电网的树状特性, 将分支馈线进行分级, 并运用分布式系统的子集调度进程分配, 将各级馈线分配到多个处理单元上并行地进行前推回推运算。本算法为加速配电潮流的在线计算提供了一种方法和思路。文章着重阐述该算法的并行机理和实现过程。

关键词:配电潮流; 前推回推运算; 子集调度; 并行计算

Abstract: A parallel algorithm for distribution power flow is presented which is based on forward/backward sweep approach. This algorithm can be applied to radial distribution systems, where feeders and laterals grouped are allocated to processors so that the parallel computation of multi-feeders can be achieved. The implemental mechanism and process of the method are given in the following.

Key words: distribution power flow; forward/back sweep; subset scheduling; parallel computation

中图分类号: TM713 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)01-0030-04

近几年, 随着配电系统自动化在国内外的广泛兴起, 对低压配电网的研究开始增多, 作为配电管理系统 DMS 的基础配电网潮流计算的收敛性和计算速度问题也越来越引起重视。1988 年, D. Shirmohammadi 等人首次提出的前推回推法^[1]及其各种变型^[2~4]是配电潮流计算的有效算法。因为不涉及到矩阵运算, 它具有编程简单、数值稳定性好等优点。且有文献对该算法的收敛机理进行了理论研究^[5], 证明了其良好的收敛性。

下面提出了一种使用多处理器的配网潮流并行算法。该算法将一个具体的辐射状配电网等构成可用多处理器进行处理的树状结构, 并运用分布式系统环境下的成熟的子集调度进程分配算法, 将多级馈线的辐射状配电网的潮流计算分解为多个可并行执行的子计算, 可将它们同时分派到各个处理单元上去执行。由于缺乏向量机和并行处理机的硬件支持, 无法在实际硬件上进行该算法的仿真, 所以这里着重阐明该算法的并行机理和实现过程。但相信随着多 Transputer 并行计算机在国内电力工业中的逐渐使用, 该算法是有良好的应用前景的。

1 配电潮流前推回推法

首先考虑仅有一条主馈线的简单配电网络(关联电容等对地支路统一考虑成恒阻抗负荷)。图 1 所示系统具有 n 条支路, $n+1$ 个节点。 V_0 为变电站低压母线电压值(设为常数), $Z_i = R_i + jX_i$ 为线路串联阻

抗。 $S_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li}$ 为负荷功率, 对馈线上的每条支路均有:

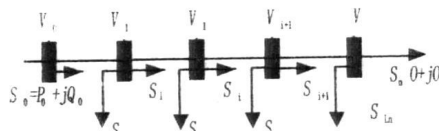


图 1 单馈线配电网络

$$P_i = P_{i+1} + P_{Li+1} + \frac{(P_{i+1} + P_{Li+1})^2 + (Q_{i+1} + Q_{Li+1})^2}{V_{i+1}^2} \cdot R_{i+1} \quad (1)$$

$$Q_i = Q_{i+1} + Q_{Li+1} + \frac{(P_{i+1} + P_{Li+1})^2 + (Q_{i+1} + Q_{Li+1})^2}{V_{i+1}^2} \cdot X_{i+1} \quad (2)$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(R_{i+1}P_i + X_{i+1}Q_i) + \frac{(R_{i+1}^2 + X_{i+1}^2)(P_i^2 + Q_i^2)}{V_i^2} \quad (3)$$

式中: P_i 、 Q_i 表示由节点 i 和节点 $i+1$ 连接的支路 $i+1$ 的送电端的有功和无功功率值, V_i 为节点 i 处的电压。节点 i 和节点 $i+1$ 分别按功率流向互为父子节点。对上述支路流动方程的一般形式可写为:

$$P_i = F_P(P_{i+1}, Q_{i+1}, V_{i+1}^2) \quad (4)$$

$$Q_i = F_Q(P_{i+1}, Q_{i+1}, V_{i+1}^2) \quad (5)$$

$$V_{i+1}^2 = F_V(P_i, Q_i, V_i^2) \quad (6)$$

上述方程且有两个临界条件:

$$V_0 = \bar{V}$$

$$P_n=0, Q_n=0$$

方程(4)、(5)、(6)表明,在已知受端功率和电压的情况下,可推算出送端功率值(前推运算),在已知送端电压和功率的情况下可推算出受端电压值(回推运算)。

具有多级馈线的辐射状网络,要进行单馈线的前推回推运算,还涉及到一个馈线分级的问题。一般主馈线的选法是选包含的节点为最多的馈线为主馈线。但考虑到本算法的并行性,应选择包含分支馈线尽可能多的馈线作为主馈线。定义主馈线为一级馈线,二级馈线即为主馈线的分支馈线,即以主馈线节点作为根节点的馈线。同理,三级馈线即为二级馈线的分支馈线,以此类推。至此,单级馈线的前推回推法可以在多级馈线配电网各级馈线上分别运用。次级馈线的根节点功率值即作为对应上一级馈线节点的相应功率值处理。通过以上的馈线分级容易查觉到:处在同一级的多条馈线可以分别独立地进行前推回推计算,而且每条分支馈线的计算只与上下两级相邻馈线发生关系。这是一个重要的可以利用的特点。

对于一般的配电网络,其潮流的前推回推算算法的迭代格式:

①初始化:给定主馈线根节点电压 V_0 ,并为其它节点电压赋初值 $V(0)$, $K=0$ 。

②从最低级的分支馈线的末端节点出发,先子节点后父节点,用式(4)和(5),通过前推计算,由节点电压分布 $V(K)$ 求支路功率分布。

③从根节点出发,先父节点后子节点,用式(6),通过回推计算,由支路功率分布求节点电压分布 $V(K+1)$ 。

④判断相邻两次迭代电压差的模分量的最大值 $\max|\Delta V|$ 是否小于给定的收敛指标 ϵ 。若是,则停止计算,否则, $K=K+1$ 转步骤②。

2 子集调度进程分配算法

在分布式并行系统环境下,往往将一个大的应用程序分解为多个可并行执行的子进程,进程的分配关系到程序的吞吐量、资源的利用率。通常进程分配的目标如下:

(1)增强进程执行的并行性,以提高程序的加速比 S_P ,它可以表示为:

$$S_P = \frac{T_S}{T_P}$$

T_S 是使用单个处理器完成该程序所需的时间;
 T_P 是指系统中有 P 个处理器并行执行时,完成同一程序所需的时间。

(2)均衡各处理器上的负载,以改善资源利用,特别提高处理器的利用率 U_P ,它可表示为:

$$U_P = \frac{S_P}{P} = \frac{T_S}{T_P \times P}$$

(3)减少处理器之间的通信量,以降低通信开销。

假设一个程序具有多个子进程,可将这些进程划分为 N 个子集。子集可分为 n 层,最终进程占据第一层(最底层),可在最终进程执行前的一个单位时间内执行的那些进程占据第二层;类似地,可在第二层进程执行前的一个单位时间内执行的那些进程占据第三层;初始进程占据第 n 层(最高层)。在进行进程分配时,首行调度最高层子集进程,然后是次高级子集进程,当一个子集中有一个进程时,可从低一级子集中上调一个进程,只要不违背先后执行的偏序关系,且每一个子集都能被进行最佳调度,这便形成了子集调度算法。

3 配网潮流的并行算法

基于前面对前推回推法和子集调度算法的描述,提出了配网潮流的并行算法。该算法将配电网的各级馈线分配到不同的子集中去。例如:在作前推运算时,主馈线作为最终进程被分配到最底层子集,最低级的分子馈线作为初始进程被分配到最高层子集中。而在作回推运算时,主馈线作为初始进程被分配到最高层子集,最低级的分子馈线作为最终进程被分配到最底层子集中。各子集中的进程,可以并行执行,各子集间的执行顺序应满足子集的偏序关系。

图2为所设计的一个多馈线配电网络图,包括所选主馈线在内共有13条馈线,为了简化调度算法的说明,这里假设子集中的每个进程都具有相同的重量,即各条馈线具有相同的处理时间。

13条馈线一共被分为4个子集,即在进程图(根据不同进程的偏序关系推出的前趋图)共有4层,如图3所示,则其前推运算子集调度序列应为:

$$FSS = (\{T_{13}\} \{T_9 T_{10} T_{11} T_{12}\} \{T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8\} \{T_1\})$$

而回推运算符集调度序列则为：
 $BSS = (\{T1\} \{T2\ T3\ T4\ T5\ T6\ T7\ T8\} \{T9\ T10\ T11\ T12\} \{T13\})$

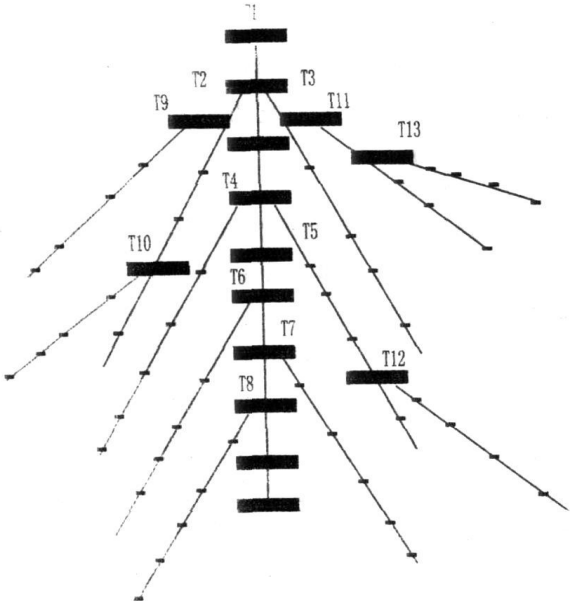


图 2 多馈线配电网络

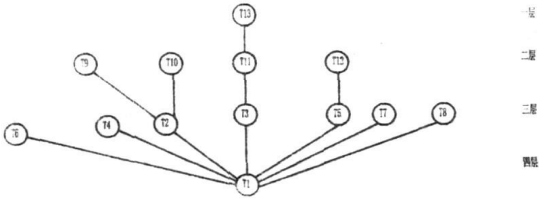


图 3 进程前趋图

对于 2 个处理器的并行系统而言,可得表 1 所示调度表(前推运算时),由表可得出: $T_P=7$, $T_S=13$ 。

$$S_P = \frac{T_S}{T_P} = \frac{13}{7} = 1.837$$
$$U_P = \frac{T_S}{T_P \times P} = \frac{13}{7 \times 2} = 0.929$$

对具有 3 个处理器的并行系统,则可得如表 2 所示的调度表(前推运算时),由表可得出: $T_P=5$; $T_S=13$ 。

$$S_P = \frac{T_S}{T_P} = \frac{13}{5} = 2.6$$
$$U_P = \frac{T_S}{T_P \times P} = \frac{13}{5 \times 3} = 0.8667$$

可见,对这一多馈线配电网络当使用双处理器并

行处理时,可比使用单处理器处理时,提高计算速 1.857 倍,且每个处理器的利用率为 92.9%,而三处理器并行处理时,可提高速度 2.6 倍,单个处理器的利用率为 86.67%。

表 1 双处理器调度表

处理器		馈 线					
P1	T9	T10	T2	T3	T7	T6	
P2	T13	T11	T12	T5	T4	T8	T1

表 2 三处理器调度表

处理器			馈 线		
P1	T13	T11	T3	T4	T1
P2	T9	T2	T7	T6	
P3	T10	T12	T5	T8	

图 4 给出了配电潮流并行算法的流程图。

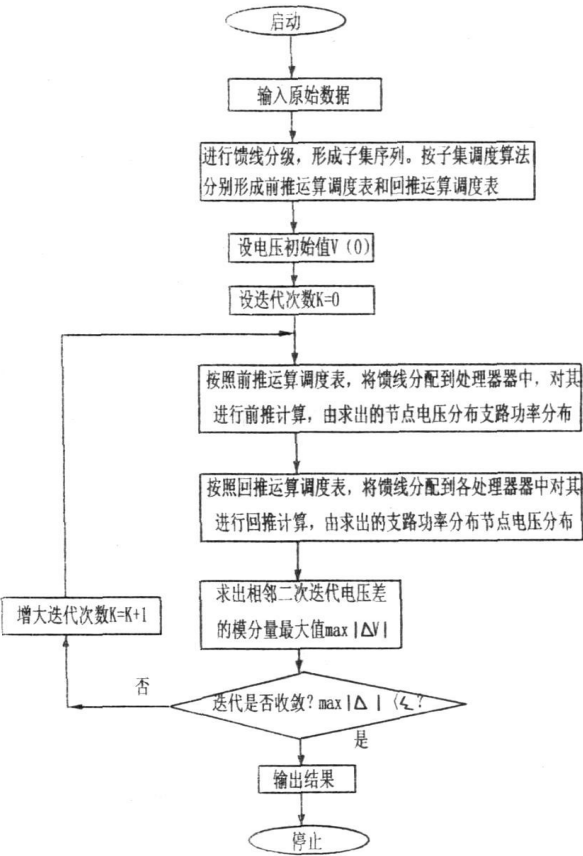


图 4 并行算法流程图

4 结论

以上给出了一种基于前推回推法的配电潮流并行算法,将一个具体的辐射状配电网络等构成可用多处理器进行处理的树状结构,并运用分布式系统环境下的子集调度进行分配算法,将多级馈线的辐射状配电网络的潮流计算分解为多个可并行执行子计算。随着多Transputer并行计算机在国内电力工业中的逐渐使用,相信该快速配电潮流的并行算法在配电器对系统DMS上将有良好的应用前景。

参考文献

[1] D. Shiomohammadi. A Compensation-based Power Flow

Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(2): 753—762.

[2] Lin C E, Huang Y U, Huang C L. Distribution System Power Flow Calculation with Micro computer implementation. Electrical Power Systems Research, 1987(13): 139—145.
[3] Godesmi S K, Basu S K. Direct Solution of Load Flow Techniques for Distribution System Voltages Stability Analysis. IEEE Proceedings 1991, 138(6): 78—88.
[4] Liu Haijun, Yu David, Chiang Hsiao—Dong. Approach For Probabilistic Distribution Power Flow. Proceedings of the American Power Conference 62, 2000: 249—254.
[5] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 配电潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 26—29.

(收稿日期: 2007—10—15)

(上接第9页) 发电机组的发电次序和发电时间。对能耗低、排放少、成本低的机组,按照机组申报的发电能力,优先调度上网发电。如果排序在前机组的发电能力已充分发挥,电网负荷还需要,再依次考虑能耗等指标较差的其他机组上网发电。

3.3 技术经济指标

合理改进发电调度方式主要表现为: (1) 电价定价原则的合理调整; (2) 发电计划的合理安排。改变调度方式的过程实际上是利益的再分配过程,合理的调度方式的出台,有利于电力公司在遵循节能原则的情况下利益的最大化。

3.4 拟采取的研究方法和技术路线

类似于现代经济调度程序,节能调度程序同样应严格遵循实用的要求,具体包括三方面: ①计算可靠性; ②计算结果准确性; ③计算方便性。

将整个调度系统分为日调度、月调度及年调度三个模块。各部分有各自的不同功能,完成不同的任务。

针对水火风电系统调度,日计划中应具备以下几方面的程序:

①各种算法和各种周期的负荷预测; ②机组最优组合; ③常规潮流计算; ④网损修正计算(直接法B系数); ⑤水火风电节能调度(根据不同的要求,应用各种优化算法); ⑥联合电力系统节能调度; ⑦带安全约束的经济负荷分配; ⑧最优潮流。

其中,第2部分机组的最优组合,应根据以节能降耗为原则排列出的机组发电优先顺序,通过科学的

比较进行组合。第5部分水火风电节能调度,应从节能的目标出发,列出最优目标函数,通过可靠的优化算法进行优化,得出各机组的出力情况。

4 结束语

实施节能调度,事关中国“十一五”规划节能目标实现的全局,与电力行业健康发展密切相关。随着一系列相关政策的落实,电力行业优胜劣汰的局面将加速出现,先进大机组的投资价值也将得到更大程度的提高,必将促使整个电力行业向更加和谐、稳定的方向发展。

参考文献

[1] 环保总局·电监会·能源办节能发电调度办法(试行)发展改革委·
[2] 沙亦强·节能减排: 电力主旋律 2007[J]. 中国电力企业管理, 2007, (2): 14—15.
[3] 米建行·节能调度: 如何解铃是关键[J]. 中国电力企业管理, 2007, (3): 8—10.
[4] 白建华, 张风营·调度: 电力工业降耗的一个突破口[J]. STATE GRID, 2006, (9): 83—85.

作者简介:

廖萍(1982—)女,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定与控制。

李兴源(1945—)男,教授,博士生导师,中国电机工程学会理事,IEEE高级会员,从事电力系统稳定和控制等方面的研究工作。
(收稿日期: 2007—12—11)

线路测量阻抗与距离保护的关系

赵 镇¹, 周 红², 欧居勇³

(1. 四川省电力公司培训中心, 四川 成都 610072; 2. 广元电业局, 四川 广元 628000;

3. 四川省电力公司资阳公司, 四川 成都 641300)

摘 要:距离保护中阻抗继电器的测量阻抗值与短路类型无关,均等于正序阻抗。对架空线路的正序阻抗参数计算,通常有理论计算、工程查表及工程实际测量三种方法。

关键词:测量阻抗;短路类型;正序阻抗;分裂导线;理论计算值;工程实际测量值;查表值;误差

Abstract: The measurement impedance values of impedance relay in distance protection has nothing to do with the type of short circuit. They are all equal to positive sequence impedance. Usually, there are three methods to calculate the positive sequence impedance parameters: the theoretical calculation, looking up the engineering table and the actual measurement in the engineering.

Key words: measurement impedance; type of short circuit; positive sequence impedance; bundle conductor spacer; value of the theoretical calculation; value of actual measurement; value of the table; error

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003—6954(2008)01—0034—04

随着电力系统的不断发展,原来简单、可靠的电流保护已经难于满足电网安全运行的要求;如对于高压长距离重负荷线路,由于负荷电流大,在线路末端短路时,短路电流与负荷电流相差不大,过电流保护往往不能满足灵敏度的要求;对于电流速断保护,其保护范围易受电网运行方式的影响,保护范围不稳定,某些情况下甚至无保护区;另外对于多电源复杂网络,方向过电流保护的动作时限往往不能按选择性的要求整定,且动作时限长,难于满足系统对保护快速动作的要求^[5]。

而距离保护装置在任何形式的电网中均能有选择性地切除故障,并且有足够的快速性和灵敏性,在高压和超高压电网中,得到了广泛的运用。下面就距离保护中的测量阻抗数值问题作一探讨。

1 距离保护的基本原理

距离保护是测量保护安装处至故障点的距离,并根据距离的远近而确定动作时限的一种保护装置。距离保护的实质是用整定阻抗与被保护线路的测量阻抗 Z_{CL} 比较。当短路点在保护范围以内时,保护动作;反之,则不动作。因此,距离保护又称为低阻抗保护^[7]。

距离保护装置一般由起动元件、测量元件、时间元件、振荡闭锁元件、电压回路断线失压闭锁元件共五个主要部分组成。而阻抗继电器是距离保护装置

的核心元件,它主要用来作测量元件、作功率方向起动元件。

当发生线路故障时,阻抗继电器测得的测量阻抗 Z_{CL} 为保护安装处到短路点的短路阻抗,即: $Z_{CL} = \frac{U_M}{I_M} = Z_1 \times L$ 。式中: U_M 为测量电压; I_M 为测量电流; Z_1 为线路单位长度阻抗; L 为故障点到保护安装处的距离。

在短路时,母线电压下降,导致流经保护安装处的电流增大,即短路时的测量阻抗 Z_{CL} 比正常时测量到的阻抗值大大降低,所以距离保护所反应的信息量在故障前后的变化值比单一电流变化值要大,即比反应单一物理量的电流保护灵敏度要高得多。

2 不同接线方式下的测量阻抗值

前面讨论了距离保护是通过测量被保护线路始端电压和线路电流的比值而动作的一种保护,这个比值就是测量阻抗 Z_{CL} ,用来完成这一测量任务的元件称为阻抗继电器。

2.1 对阻抗继电器不同接线方式的基本要求

阻抗继电器的接线方式是指接入阻抗继电器的相别电压和相别电流的组合方式。对不同类型的故障,要保证保护的正确动作,必须确保测量到的测量阻抗 Z_{CL} 是保护安装处到故障点的距离。因此接入继电器的电压 U_M 和 I_M 电流应满足以下两点要求:

(1)阻抗继电器的测量阻抗必须正比于保护安装处到故障点的距离,即 $Z_{CL} \propto L$,与电网运行方式无关。

(2)阻抗继电器的测量阻抗与短路类型无关,保护范围不随故障类型而变。

2.2 反映相间短路的阻抗继电器 0° 接线方式下的测量阻抗

当 $\cos \varphi = 1$ 时,接入继电器的电压和电流之间的夹角为 0° ,称为 0° 接线方式,是距离保护中最常用的一种接线方式,一般由三只单相阻抗继电器分接于三相的接线形式组成,反映相间故障类型,不考虑零序分量的影响(但要注意实际系统的 $\cos \varphi \neq 1$,因为 $\cos \varphi = 1$ 时,由于电压电流同相位,则系统处于谐振状态而无法正常运行)分析如下。

2.2.1 三相短路

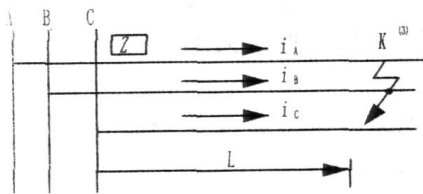


图1 三相短路

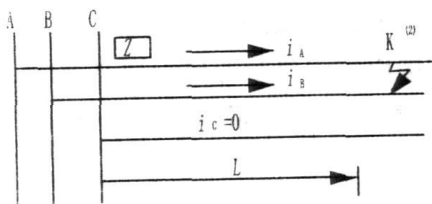


图2 相间短路

见图1,设每1 km的正序电抗为 $Z_1 \Omega$,设短路点至保护安装地点之间的距离为 L km,短路点发生三相短路故障时,由于三相对称,三个阻抗继电器 $K1 \sim K3$ 的工作情况完全相同,故仅以 $K1$ 为例分析之。有保护安装地点的电压:

$$U_{AB} = U_A - U_B = I_A Z_1 L - I_B Z_1 L = (I_A - I_B) Z_1 L$$

则阻抗继电器的测量阻抗为:

$$Z_{CL}^{(3)} = \frac{U_{AB}}{I_A - I_B} = Z_1 L$$

可见,在三相短路时,三个继电器的测量阻抗均等于短路点到保护安装地点之间的正序阻抗 $Z_1 L$,三个继电器均能正确动作。

2.2.2 两相短路

以AB两相短路为例,见图2。分析此时三个阻抗继电器的测量阻抗,计入输电线路的正序阻抗 Z_1 = 负序阻抗 Z_2 ,相间短路 I_A 、 I_B 均含有正序 I_1 和负序 I_2 分量;对阻抗继电器 $K1$ 而言:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_A - U_B = (I_{A1} Z_1 L + I_{A2} Z_2 L) - (I_{B1} Z_1 L + I_{B2} Z_2 L) \\ &= (I_{A1} + I_{A2}) Z_1 L - (I_{B1} + I_{B2}) Z_1 L = (I_A - I_B) Z_1 L \end{aligned}$$

则此时,阻抗继电器的测量阻抗亦为:

$$Z_{CL}^{(2)} = \frac{U_{AB}}{I_A - I_B} = Z_1 L$$

即与三相短路时的测量阻抗 $Z_1 L$ 相同。因此, $K1$ 能正确动作。

但对 $K2$ 和 $K3$ 由于所加电压为故障相与非故障相间的电压,其值较 U_{AB} 高,而电流又只有一个故障相的电流,数值较 $(I_A - I_B)$ 小,因此,其测量阻抗必然大于 $Z_1 L$,不能动作。但由于 $K1$ 能正确动作,所以 $K2$ 和 $K3$ 拒动不会影响整套保护的動作。同理,在BC或CA两相短路时,相应地分别有 $K2$ 和 $K3$ 能准确测量出 $Z_1 L$ 而正确动作。

2.2.3 中性点直接接地电网中两相接地短路

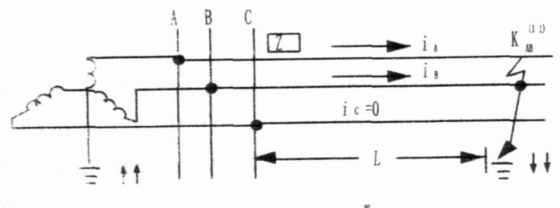


图3 两相接地短路

如图3所示,设故障发生在AB相,它与两相短路不同之处是地中有零序电流流回,因此 $I_A \neq I_B$ 。

可以把A相和B相看成两个“导线一地”的送电线路并有互感耦合在一起,设 Z_L 表示每千米的自感阻抗, Z_M 表示每千米的互感阻抗,则保护安装地点的故障相电压应为:

$$U_A = I_A Z_L L + I_B Z_M L, U_B = I_B Z_L L + I_A Z_M L$$

仿照相间短路,有继电器 $K1$ 的测量阻抗为:

$$\begin{aligned} Z_{CL}^{1.1} &= \frac{U_{AB}}{I_A - I_B} = \frac{(I_A - I_B)(Z_L - Z_M)L}{I_A - I_B} = (Z_L - Z_M)L = Z_1 L \end{aligned}$$

可见其测量阻抗值仍与三相短路时的测量阻抗 $Z_1 L$ 相同, 保护能够正确动作。

综上所述, 无论是两相短路、三相短路和两相短路接地的故障类型, 采用 0° 接线方式都能满足基本要求。即阻抗继电器的测量阻抗与短路类型无关, 均等于正序阻抗。

2.3 反映单相接地短路的阻抗继电器接线方式下的测量阻抗

大接地电流系统中, 在零序电流保护不能满足要求时, 一般采用接地距离保护。阻抗继电器要反映接地故障, 就不能接线电压和线电流。现分析如下:

设 A 相发生单相接地故障, 对 A 相阻抗继电器, 接入继电器的电压为:

$$U_A = Z_1 I_1 + Z_2 I_2 + Z_0 I_0 = Z_1 L (I_A + I_0) \frac{(Z_0 - Z_1)}{Z_1} = Z_1 L (I_A + 3KI_0)$$

式中: U_1 、 U_2 、 U_0 ——正序、负序、零序电压; I_1 、 I_2 、 I_0 ——正序、负序、零序电流; Z_1 、 Z_2 、 Z_0 ——正序、负序、零序的单位长度序阻抗; 输电线路的 $Z_1 = Z_2$; $K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$; 只要取: $U_M = U_A = Z_1 L (I_A + 3KI_0)$ 、 $I_M = (I_A + 3KI_0)$ 则: $Z_{CL}^{(1)} = \frac{U_M}{I_M} = Z_1 L$ 。

可见其测量阻抗值仍可保证与三相短路时相同, 也等于正序阻抗 $Z_1 L$ 。此时测量阻抗已不再受零序电流分布的影响。

也就是说为了准确地反映接地短路, 如果测量电压取为保护安装处故障相对地电压 $U_A = Z_1 L (I_A + 3KI_0)$, 测量电流取为带有零序电流补偿的故障相电流 $(I_A + 3KI_0)$, 则由它们计算出的测量阻抗 Z_{CL} 值能够准确地反映单相接地故障短路情况下的故障距离。

2.4 反映相间短路的阻抗继电器 30° 接线方式下的测量阻抗

这类接线方式有 $\pm 30^\circ$ 接线两种, 特点是阻抗继电器在不同的故障类型下, 其测量阻抗的数值与相位均不相同, 但实际上仍可以做到三相短路与两相短路时的保护范围一样^[6]。随着数字保护的广泛运用, 这类接线方式正逐渐被淘汰, 更进一步的讨论可参考相关文献^[7]。

3 输电线路的正序阻抗参数分析

由前面分析可见: 只要采用特定的接线形式, 就

可保证阻抗继电器的测量阻抗 Z_{CL} 与短路类型无关, 并可保证测量阻抗 Z_{CL} 就等于线路的正序阻抗 $Z_1 L$ 。

距离保护的实质是根据已知的各段线路的正序阻抗 $Z_1 L_i$ (Z_1 ——第 i 段线路单位长度正序阻抗, L_i ——第 i 段线路的长度) 值所确定的整定阻抗与被保护线路的测量阻抗 Z_{CL} 比较。当短路点在保护范围以内时, 保护动作; 反之, 则不动作。就保护范围来讲, 距离保护的第 I 段只能保护本线路全长的 80%~85%; 第 II 段的保护范围为本线路的全长并延伸至下一段线路的一部分 (约 30%~40%), 它是第 I 段保护的后备段; 第 III 段为 I、II 段保护的后备段, 它能保护本线路和下一段线路的全长并延伸至再下一段线路的一部分。另一方面, 各段线路的正序阻抗 $Z_1 L_i$ 可通过理论计算、工程查表及工程实际测量三种方法来获得, 因此, 正序阻抗 $Z_1 L_i$ 的数值精度如何, 将直接关系到距离保护各段在实际动作时能否达到整定的保护范围, 即直接关系到距离保护能否准确动作。

因此, 有必要就单位长度正序阻抗 Z_1 的计算精度问题作进一步讨论。

3.1 输电线路的正序阻抗参数理论计算公式

一般高压与超高压线路均以架空线为主。由《电力系统分析》可知: 对架空线路, 长度在 300 km 以内 (中等及中等以下长度线路) 时, 可不考虑它们的分布参数特性, 直接用集中参数等值电路来表示。其单位长度的正序参数表示为电阻 R_1 、电抗 X_1 、电导 G_1 及电纳 B_1 。

这里只讨论架空线路的阻抗参数 (电阻 R_1 、电抗 X_1) 计算。而对架空线路的导纳 (电导 G_1 及电纳 B_1) 的讨论分析可参考相关文献。

据上假设, 得测量阻抗中的单位长度的正序阻抗值为: $Z_1 = R_1 + jX_1$; 电阻 R_1 、电抗 X_1 的具体计算公式如下 (推导略去):

(1) 在温度为 20°C 时的每 km 单位长度正序电阻为: $R_1 = \rho \frac{L}{S} (\Omega/\text{km})$

式中, ρ 为导线材料的电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$); L 为导线长度 (km); S 为导线载流部分的标称截面 (mm^2 , 钢芯铝线是铝线部分的截面积); 上式中, 铜的 $\rho = 18.80 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$, 铝的 $\rho = 31.50 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。

当计算精度要求较高时, 如果环境温度不等于 20°C , 则 $t^\circ\text{C}$ 时的单位长度正序电阻需按下式修正:

$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20)]$, α 为电阻的温度系数, 铝的 α 为 0.003 6, 铜的 α 为 0.0038 2。

(2)不分裂导线线路电抗:

输电线路的电抗是由各相导线自身的自感以及导线与导线之间的互感产生的。即当交流电通过导线时,在导线内及周围空间产生交变电磁场而引起的。当三相线路对称排列,或不对称排列但经整循环换位后,每相导线单位长度电抗为: $X_1 = 0.144 5 \lg \frac{D_M}{r} + 0.015 7$ (Ω/km), 式中: r 为导线的半径, 单位 m。在三相导线间的距离分别为 D_{ab} 、 D_{bc} 、 D_{ca} 时的几何均距 $D_M = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}}$, 单位 m。

(3)分裂导线线路电抗:

对于高压及超高压远距离输电线路,为减小线路的电晕损耗及线路电抗,以增加输电线路的输送能力,常采用分裂导线。普通分裂导线的分裂根数一般不超过 4 根,而且布置在正多边形的顶点上,这样就等效地增大了导线半径。

分裂导线每相单位长度的电抗为: $X_1 = 0.144 5 \lg \frac{D_M}{r_{eq}} + \frac{0.015 7}{n}$ (Ω/km)
式中: n 为每相分裂根数;每相分裂导线的等值半径 $r_{eq} = n \sqrt[n]{ra_m^{n-1}}$, 单位 m; r 为分裂导线中每一根导线的半径,单位 m; a_m 为每相分裂导线中相邻两导线间的距离,单位 m。

由于 r_{eq} 比 r 大得多,因此分裂导线的等值电抗较小,在分裂根数为 2、3、4 时,每公里的电抗分别在 0.30~0.33、0.30、0.29 左右。当分裂根数超过 4 根时,电抗下降已不多,线路结构反而变得复杂,所以工程运用中,分裂根数一般不超过 4 根。但在特高压输电线路中,分裂根数竟达到 6~12 根。

3.2 工程查表法以及工程实际测量法

工程查表法是根据线路的具体型号和几何均距 D_M 直接去查手册,得到单位长度正序参数电阻 R_1 、电抗 X_1 的值。如要求更高的数值精度可再根据环境温度进行修正。对此更进一步的分析可参考相关文献。

工程实际测量法就是使用特定的仪器在现场对输电线路进行实际测量,经换算后得到的单位长度正序参数。

这三种方法获得的正序阻抗参数数值精度如何,下面作进一步讨论。

3.3 输电线路正序阻抗参数值的三种求取方法精度比较

3.3.1 不分裂导线线路

1)测量值:以四川电力试验研究院和绵阳三恒电力工程技术有限公司共同测量完成的绵阳电业局范围内的线路实测数据为例,具体如下。

试验日期:2004 年 7 月 29 日,线路电压:220 kV,长度:124 km,试验环境:26℃,型号:LGJ-400 不分裂,三角形布置,相间距 8.5 m(覆冰区,平武境内)。

测得正序阻抗见表 1。

表 1 正序阻抗			
阻抗	电阻	电抗	电感
53.7 Ω	9.3 Ω	52.91 Ω	0.168 H
0.433 Ω/km	0.075 Ω/km	0.427 Ω/km	0.001 H/km

2)理论计算值:仿照上述实测数据,即一回 220 kV 输电线路,导线在杆塔上为三角形布置,三相导线间的距离分别为 $D_{ab} = 8.5 \text{ m}$ 、 $D_{bc} = 8.5 \text{ m}$ 、 $D_{ca} = 8.5 \text{ m}$ 。使用 LGJQ-400 型导线,试计算该线路单位长度的电阻和电抗。

解:由手册查出 LGJQ-400 型导线的直径为 27.4 mm,则半径为 $r = 13.7 \text{ mm}$,每公里单位长度正序电阻: $R_1 = 0.078 7 \Omega/\text{km}$,几何均距 $D_M = 8.5 \text{ m}$,每公里单位长度导线线路电抗: $X_1 = 0.419 \Omega/\text{km}$ 。

3)工程查表值。查手册有:LGJQ-400 的 $R_1 = 0.08$; $X_1 = 0.412$ (几何均距 $D_M = 8.5 \text{ m}$);

4)相对于计算值的误差见表 2。

表 2 相对计算值误差				
方式	电阻	相对计算误差	电抗	相对计算误差
计算(Ω/km)	0.078 7		0.419	
实测 (Ω/km)	0.075	-0.003 7	0.427	+0.008
查手册 (Ω/km)	0.080	+0.001 3	0.412	-0.007

3.3.2 双分裂导线线路

1)测量值:以四川电力试验研究院和绵阳三恒电力工程技术有限公司共同测量完成的绵阳电业局范围内的线路实测数据为例,具体如下。

试验日期:2004 年 6 月 25 日,线路名称:220 kV 金茂线,长度:27.414 km,试验环境:25℃,型号:LGJ-400 双分裂,三角形布置,相间距 8.5 m(覆冰区,茂县境内),测得正序阻抗见表 3。

表 3 正序阻抗			
阻抗	电阻	电抗	电感
8.68 Ω	1.024 Ω	8.62 Ω	0.027 H
0.317 Ω/km	0.037 Ω/km	0.314 Ω/km	0.001 H/km

2)理论计算值:仿照上述实测数据,即一回 220 kV 输电线路,导线在杆塔上为三角形布置,三相导线间的距离分别为 $D_{ab}=8.5\text{ m}$ 、 $D_{bc}=8.5\text{ m}$ 、 $D_{ca}=8.5\text{ m}$ 。使用 LGJQ-400×2 双分裂导线,分裂间距 0.4 m,试计算该线路单位长度的电阻和电抗。

解:由手册查出 LGJQ-400 型导线的直径为 27.4 mm,则半径为 $r=13.7\text{ mm}$,每公里单位长度正序电阻; $R_1=0.0384\text{ }\Omega/\text{km}$,几何均距 $D_M=8.5\text{ m}$,每相分裂导线等值半径; $r_{eq}=0.074\text{ m}$,每公里单位长度导线线路电抗; $X_1=0.306\text{ }\Omega/\text{km}$ 。

3)工程查表值。查手册有:LGJQ-400×2 双分裂型导线,220 kV, $R_1=0.04$; $X_1=0.309$;几何均距 $D_M=8.5\text{ m}$,分裂间距 0.4 m。

4)相对于计算值的误差见表 4。

表 4 相对计算值误差				
方式	电阻	相对计算误差	电抗	相对计算误差
计算(Ω/km)	0.038 4		0.306	
实测(Ω/km)	0.037	-0.001 4	0.314	+0.008
查手册(Ω/km)	0.040	+0.001 6	0.309	+0.003

分析以上两例中通过三种方法获得的每公里单位长度正序电阻、电抗值,发现数值误差出现在千分位上,这样的数值精度对工程实际运用来讲,一般可满足要求。

3.3.3 误差的原因分析

进一步,对理论计算与实测数据中在千分位上出现一定误差的原因分析如下:

1)交流电路中,受集肤效应和邻近效应的影响,交流电阻与直流电阻略有不同。

2)输电线路大多是绞线,每股导线的实际长度要比导线标称长度略长 2%~3%;工厂制造绞制过程中,导线的标称截面会比实际截面略大;

3)计算值是 20℃标准温度,而实际测量时环境温度在 25℃~26℃。

4)由于线路沿地表架设,各个耐张段之间受地磁的影响、受相邻强弱电线路的影响不同;各个耐张段

之间也可能由于海拔高度、河流山涧跨越、山区地形的不同,导致全线相间距不会完全均等。

5)实际测量用仪器存在工程误差;理论计算公式以满足工程需要为目的,有近似。

6)经现场多方了解核实,一般输电线路在架设过程中,会根据地形地貌、地理位置、杆塔结构和档距的不同,同一条线路可能存在三角形排列、水平排列(进出站)及垂直排列方式(同杆架设)互换的情况;且三相之间有可能不完全对称排列(换位杆塔);这也会造成一定数值误差。

4 总结

1)反映相间故障的阻抗继电器接线采用线电压与两相电流差(也可理解为线电流)的 0°接线方式,即取测量电压为保护安装处两故障相的电压差,测量电流为两故障相的电流差,由它们算出的测量阻抗能够准确反映两相短路、三相短路和两相短路接地情况下的故障距离,其测量阻抗值等于正序阻抗。

2)为了准确地反映单相接地短路,如果测量电压取为保护安装处故障相对地电压,测量电流取为带有零序电流补偿的故障相电流,则由它们算出的测量阻抗仍然能够准确地反映单相接地故障短路情况下的故障距离,此时测量阻抗不受零序电流分布的影响,其测量阻抗值仍可保证与三相短路时相同,等于正序阻抗。

3)对架空线路的正序阻抗参数的求取,通常有理论计算、工程查表及工程实际测量三种方法。获得的数值之间存在较小的误差。

参考文献

[1] 张炜主编. 电力系统分析[M]. 中国水利水电出版社.
[2] 何仰赞主编. 电力系统分析[M]. 华中工学院出版社.
[3] 杨以涵主编. 电力系统基础[M]. 水利电力出版社.
[4] 马永翔主编. 电力系统继电保护[M]. 重庆大学出版社.
[5] 孙国凯主编. 电力系统继电保护原理[M]. 中国水利水电出版社.
[6] 李火元主编. 电力系统继电保护与自动装置[M]. 中国电力出版社.
[7] 尹克宁主编. 电力工程[M]. 中国电力出版社.

(收稿日期:2007-12-05)

几种降低雷电危害计算机网络的技术

汪守贵

(乐山电业局,四川 乐山 614000)

摘 要:针对雷电对计算机网络的危害,分析雷电侵入计算机网络的主要途径;以实例介绍降低雷电危害计算机网络的技术。

关键词:雷电;计算机网络;危害;措施

Abstract: Based on the thunder damage to computer network, the main routes of thunder breaking into computer network are analyzed, and several technologies of decreasing thunder damage to computer network are introduced.

Key words: thunder; computer network; damage; measure

中图分类号:TM865 **文献标识码:**A **文章编号:**1003—6954(2008)01—0039—02

雷电除了直接雷击在建筑物、线路或设备上造成损失之外,还通过雷电感应和电磁感应损坏微电子设备。大量电力、通信线路、控制线路的架设使雷电入侵和感应渠道随之增加。随着人类社会信息化、网络化进程加快普及,防止计算机网络遭受雷电入侵显得十分必要。

企业计算机网络遭受雷电损坏中断运行,不仅直接损坏网络系统,还将使 MIS、OA 和 SCADA 等应用系统瘫痪,造成难以估算的损失。因此,采用相关技术降低雷电危害显得尤为重要。

大部分网络设备所在机房位置较高,易遭雷击;若防雷设施不完善、接地地网不合格,则更易遭雷击。表 1 是一企业 2002 年至 2003 年末安装防雷器时雷电损坏计算机网络设备统计。

表 1 2002~2003 年雷电损坏设备统计表

损坏设备名称	2002 年	2003 年
整台交换机台数	1	3
思科超长距光模块	0	4
思科长距光模块	1	2
光纤收发器对数	5	6
交换机端口数	31	63
微机台数	5	7

1 原因分析

1.1 雷电侵入分析

由雷电损坏设备统计分析可知,雷电侵入产生瞬态过电压损坏设备是主要原因。雷电产生瞬态过电

压主要有以下 3 种方式:

- (1) 雷电直接侵入电气设施;
- (2) 雷电间接(感应雷),通过电阻、电感、电容耦合效应侵入电气设备;
- (3) 雷电侵入波,通过架空线缆进入电气设施。

1.2 雷电侵入微电子设备主要原因

微电子设备一般安装在机房或办公室内,雷电主要通过电源侵入和网线侵入。根据雷击损坏微电子设备元件状况,通过大量统计分析得出,计算机网络设备遭雷电的主要原因有:

- (1) 接闪系统不规范;
- (2) 接地地网不合格;
- (3) 网络设备没有均压连接;
- (4) 没有安装分流用的防雷器;
- (5) 布线不规范,易在线缆间产生相互串扰。

2 防雷技术

通过雷电侵入分析,在工程技术上可以采取逐级泄放雷电达到保护设备的目的。在大量实践、测试基础上笔者总结出了以下几种具体的防雷技术:接闪、接地等电位连接、分流。

2.1 改善接闪系统

避雷针安装在 MIS 机房房顶上,并通过 5×60 的镀锌接地扁铁与该建筑物避雷带焊接接入接地网,将直击雷电直接泄放到大 地。不合格的避雷针和避雷带,无法正常将该建筑物的直击雷电及时泄放到大 地从而损坏设备,因此必须对不合格的避雷针和避雷带进行改造。

2.2 测试整改接地网

对计算机网络机房接地网进行测试,对不合格的进行整改,使机房接地电阻小于 $1\ \Omega$,为泄放雷电提供通道。接地网是防雷系统中泄放雷电的重要通道,是防雷系统的重要基础。接地电阻过大的接地网,在雷电泄放瞬间将在接地网中产生瞬间电压损坏设备。

2.3 设备均压连接

将计算机网络机房内电源、机柜、服务器、交换机、路由器、防雷器等设备的接地线,统一连接到合格的接地网,防止设备间构成雷电反击回路。

2.4 安装两级电源防雷器

由雷电损坏设备和部件表明,大多数雷电是通过电源线路侵入,产生热效应损坏设备。因此,采用在机房市电输入端,安装 B、C 两级电源防雷器,将侵入雷电逐级引入大地。

防雷器内部通过压敏电阻并联在网线上,当雷电侵入时,压敏电阻与防雷器接地线将以纳秒级响应导通,将雷电泄放到大地。

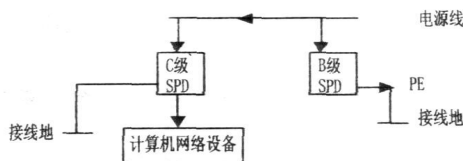


图2 C级防雷原理示意图

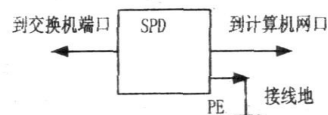


图3 信号防雷原理示意图

3 防雷器的工作原理分析

3.1 B级防雷器的工作原理

B级防雷器并联在计算机网络设备电源线上(见图1),当有感应雷电侵入电源线时,防雷器内部元件将以纳秒级响应与接地线内部导通,将雷电引入大地。

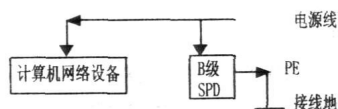


图1 B级防雷原理示意图

3.2 C级防雷器工作原理

C级防雷器串联在计算机网络设备电源线上(见图2),距B级防雷器3m左右,当B级防雷器未放完雷电流侵入C级防雷器并超过其额定容量时,防雷器放电元件将以纳秒级响应开路,从而阻断雷电侵入,并与接地线导通将剩余雷电引入大地。

3.3 信号防雷器工作原理

在计算机主干网络的交换机端口上安装信号防雷器(见图3),防止线缆间相互串扰产生感应雷电通过双绞线侵入损坏交换机。

信号防雷器通过双绞跳线串联在交换机端口上。

4 效益分析

4.1 直接效益

2004年至2007年期间,通过对计算机网络防雷系统整改完善,尽管网络设备不断增加,但雷电对计算机网络设备的损坏大幅减少。2002年至2003年未安装防雷器,平均每年雷电设备损失约为190 410.00元,安装整改防雷系统后,2004年至2007年平均每年雷电设备损失约为16 500.00元;防雷技术每年可挽回173 910.00元直接经济损失。

4.2 间接效益

防雷技术实施不仅有效保护了计算机网络路由器、交换机等贵重设备,而且保障了网络畅通,为确保 MIS、OA、SCADA 等应用系统稳定运行,发挥了重要作用,具有良好的企业经济效益和社会效益。

5 结束语

雷电对人类的危害是难免的,尽管还无法准确地预知、计算,但可以采取相应技术将雷电对计算机网络的危害大幅度降低:①改善接闪系统;②测试整改接地网;③设备均压连接;④安装两级或两级以上的防雷器。

(收稿日期:2007-11-12)

变压器套管末屏接地不良对局部放电测试的影响

聂鸿宇, 刘 睿

(四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:对雅安葫芦坝电站及广安电厂主变压器进行局部放电试验,通过变换试验加压方式及对放电波形的分析,找出变压器套管末屏接地不良的故障,保证了变压器的安全运行。

关键词:变压器;局部放电;末屏;接地不良

Abstract: Partial discharge tests are carried out in Ya'an Huluba Power Station and Guang'an Power Plant. Then using different ways to promot voltage and analyzing the discharge wave, the fault caused by bad grounding of transformer bushing top shield is found out, which makes sure the safe operation of the transformer.

Key words: transformer; partial discharge; top shield; bad grounding

中图分类号:TM411 文献标识码:A 文章编号:1003—6954(2008)01—0041—02

在变压器的现场局部放电试验中,经常遇到来自电源、试验回路或者空间的干扰,其中,有些干扰的幅值与密度并不大,通过测试方法的改变,可以将其与实际局部放电量区分开,就不影响对局部放电的测试。而有些干扰,幅值与密度非常大且远远大于试验标准的要求,将实际局部放电量完全掩盖,就无法进行真实的局部放电量的测试,并且隔离不掉,在这种情况下必须将干扰源找出来,将干扰排除掉,才能进行测试。

下面是两次现场测试中,查找套管末屏接地不良引起的干扰现象及查找过程。

现场进行局部放电试验使用的设备是250 Hz倍频发电机组,测试仪器是JF2002局部放电测试仪。试验步骤是先进行方波校正,然后接好试验回路后,合上电源,将试验机组启动运行后,合断路器,合励磁,升压开始试验。

在雅安葫芦坝水电站,对220 kV主变进行局部放电试验,该变压器参数:额定容量75 000 kVA,电压组合 $242(\pm 2) \times 2.5\% / 10.5$ kV,接线组别为YN d11。先进行方波校正,在高压侧注入500 pC的标准视在放电量,仪器得出相应的响应值。然后进行A相试验,合上断路器后,还未合励磁升压,即出现满屏大幅值的放电波形,从波形上看,为悬浮电位放电波形,合上励磁升压,随电压升高至试验电压,波形不发生改变,根本无法测试,降压后断开断路器,放电消失。由此可以判断不是来自空间的干扰,因为空间干扰无须

合上断路器,只要测量阻抗接通即会出现。也可以判定不是来自电源的干扰,因为电源干扰在合上电源刀闸后即会出现。检查试验回路,确认接线正确无误。试验采用单端加压,低压端a加压,c接地,为了排除可能是试验设备有故障带来的干扰,将加压端和接地端交换,干扰依然存在,并且试验回路的干扰应该在升压后才出现。为了进一步排除干扰来自试验回路,于是换相进行W相试验,干扰依然存在,再换V相试验,干扰消失了,升压测试一切正常,于是排除了干扰来自试验回路。

排除了干扰是来自电源、空间或试验回路,那么该干扰可能来自变压器本身。干扰出现在U、W相,而V相却不出现,分析三相试验中唯一的区别就是试验相的套管末屏不接地,而是接测量阻抗,当V相试验时,V相套管的末屏不接地,而U、W相试验时,V相套管的末屏是接地的,上变压器用手触摸V相末屏,明显有发热现象,而U、W相没有。从外观上看,V相的末屏接地正常,为了确定V相末屏的接地是否良好,将V相末屏用地线从外部接地,再次试验U、W相,干扰消失。从而确定了该干扰就是来自V相套管末屏的接地不良。

在广安电厂,对500 kV主变进行局部放电试验,该变压器为三台单相变压器,低压套管为电容式套管。该变压器参数:额定容量240 000 kVA,电压组合 $525(\pm 2) \times 2.5\% / 22$ kV,接线组别YN d11。试验采用单端加压,先进行U相试验,低压侧首端加压,尾

端接地,合上断路器后,即出现满屏大幅值干扰,现象和葫芦坝电站一样。怀疑为套管末屏接地不良,检查高压侧及中性点,末屏接地良好,而低压侧套管套在封闭母线筒内,空间非常狭窄,不方便进去检查,为确定可能是低压套管的末屏接地不良,将低压侧的加压端与接地端交换,干扰消失,由此确定低压端的首端末屏接地不良。由安装单位进入封闭母线筒进行检查,发现该末屏的接地从外观上看也很正常,该套管末屏的接地为弹簧式结构,经检查发现弹簧有卡涩现象,使得末屏接地不良。经处理后试验,干扰消失。

变压器在运行中,套管末屏应该接地良好,如果

接地不良投入运行,在运行中末屏对地有一个悬浮电位将对地放电,导致套管损坏或爆炸,造成变压器运行的安全事故。

近两年来,由于电网建设的步伐加快,安装单位在安装过程中对套管末屏接地的检查不是很仔细,使得套管末屏的接地不良,为变压器的安全运行带来隐患。通过局部放电试验,不仅能够发现变压器内部的绝缘故障,还可以检查出套管末屏的接地不良,可见其意义和作用是非常重大的。

(收稿日期:2007—12—15)

(上接第7页) 前面所提出的方法很好地分析出了次同步分量,并清晰地显示了间断点的准确位置,这对及时报警和能够及时采取诸如投入控制器、改变运行状态、切机等对策提供准确参考信息。事实上如果只是辨别间断点位置,使用 db1 小波将会有更好的效果。

5 结论

实时监测是防止大型汽轮发电机组出现过大的扭应力和疲劳损坏的最有效手段,精确提取各次谐波幅值是信号处理精度的核心部分。扭振信号主要是低频谐振和与转速有关的各次谐波组成,傅里叶分析已经不适合此种情况,而小波分析因为其良好的时频局部性,已经成为分析非线性、非平稳信号的有力数学工具。将小波分析用于对轴系进行监测,不但能对次同步分量进行监测,而且能对感兴趣的谐波分量进行监测,其关键技术还是在对信号量采集的传感器的研发,小波基的选择以及算法的进一步简化。

参考文献

- [1] IEEE Committee Report by Subsynchronous Resonance Working Group of the System Dynamic Performance Subcommittee Reader's guide to subsynchronous resonance IEEE Transaction on Power System, February 1992, 7(1): 150—157.
- [2] 李兴源. 高压直流输电系统的运行[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 龚年乐, 冯玉明, 肖启富. 电力系统扰动与汽轮发电机轴系扭振[J]. 中国电机工程学报, 1987, (4): 50—57.

- [4] Jing Lin. Feature extraction of machine sound using wavelet and its application in fault diagnosis [J]. NDT&E International. 2001, (34): 25—30.
- [5] 张鹏飞, 薛禹胜, 张启平. 电力系统时变振荡特性的小波脊分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 32—35.
- [6] Daubechies. The Wavelet Transform, Time—frequency localization and signal analysis, IEEE Trans. Information Theory, 1990, 36(9): 961—1005.
- [7] 何正友, 杨卿, 钱清泉. 电力系统暂态信号的小波分析方法及其应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(5): 4—6.
- [8] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [9] I. Daubechies, The wavelet transform, Time—frequency localization and signal analysis, IEEE Trans. 1990, 36(5): 961—1005.
- [10] Sun Z and Chang C C. Structural damage assessment based on wavelet packet transform[J]. Journal of Structural.
- [11] 苏斌, 董新洲, 孙元章. 基于小波变换的行波差动保护[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(18): 25—29.
- [12] Mallat stephane, 杨力华, 戴道清等. 信号处理的小波导引[M]. 机械工业出版社, 2002.
- [13] 伍凌云. 复杂交直流输电系统次同步振荡的分析与控制, 四川大学博士学位论文, 2007.

作者简介:

刘海洋(1979—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制。

李兴源(1945—), 男, 教授, 博士生导师, 中国电机工程学会理事, IEEE 高级会员, 从事电力系统稳定与控制、高压直流输电、分散式发电等方面的研究。

(收稿日期:2007—12—10)

一种确定土壤电阻率设计值的新方法

苏鹤声

(成都升洲科技有限公司, 四川 成都 610021)

摘 要:在对变电站接地工程设计中存在的如何确定土壤电阻率设计值的问题进行分析的基础上,提出了一种新的确定土壤电阻率设计值的方法。应用这种方法,对实际变电站接地工程进行了相关的计算分析,表明了这种方法的实用性和有效性。

关键词:土壤电阻率;设计值;方法

Abstract: Based on analyzing how to confirm the design value of soil resistivity in the design of substation grounding project, a new method to confirm the design value of soil resistivity is put forward. The relative calculations and analyses are carried out in the actual substation grounding project by using this method, and it proves the practicability and validity of the method.

Key words: soil resistivity; design value; method

中图分类号:TM85 **文献标识码:**B **文章编号:**1003—6954(2008)01—0043—03

随着电网的扩大,装机容量的不断增加,将新建更多的高压或超高压的变电站。为保护有限的土地资源,新建变电站的选址大都会利用土壤条件较差的山丘或坡地,其地下的土壤无论在横向或纵向,一般都由多层具有不同土壤电阻率和不同厚度的土壤层构成,且土壤电阻率较高。在这样复杂的地层结构上,如何正确地设计出变电站的接地网,其中需要解决的一个重要问题是,如何正确地确定出变电站土壤电阻率的设计值。针对这个问题,根据多年在实际工程中取得的经验,发表如下看法。

土壤电阻率,通常以这个平均土壤电阻率作为在设计计算时所使用的变电站土壤等值电阻率来确定为设计值。

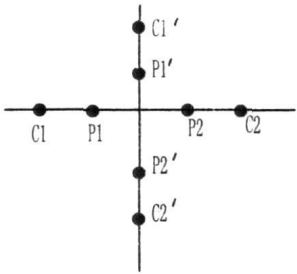


图 1 基线测量布置图

1 当前存在的问题分析

在接地设计技术规范《水力发电厂接地设计技术导则》(以下简称《导则》)中对如何确定变电站土壤电阻率设计值的问题有以下规定:首先,用四极法测量出变电站所在区域的土壤电阻率。其测量方法是,在被测场地中心设置两条相互垂直的基线,将四个测量电极沿基线布置,如图 1 所示。改变极距 a 可测得视电阻率 ρ_s 与极距 a 的关系曲线 $\rho_s=f(a)$ 。

当被测场地较大时,应在被测场地上按网格设置测点,如图 2 所示。同样按上述方法测出各点的视电阻率关系曲线。

利用以上测量结果,作出各不同深度土壤层的土壤电阻率等值曲线或各剖面的土壤电阻率等值曲线,然后,再采用加权平均法求出整个接地网区域的平均

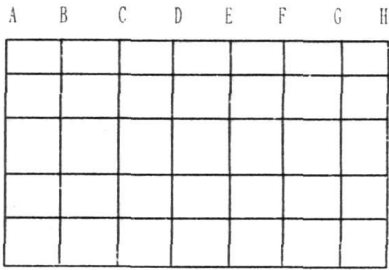


图 2 场地电阻率测量的网形系统

按照《导则》规定的方法,需要进行大量的实地测量与计算分析工作,这不仅要花费大量的时间、人力和物力,而且,往往在实际工程条件下也难以做到。例如,当变电站位于崎岖不平的山丘或坡地时,不可能先对被测场地进行平整并划分为规则的网格后再作测量。同时,在《导则》中对测量时所改变的极距的

大小也无明确规定。因此,在设计收资阶段,相关工作人员往往很难按照《导则》规定的方法进行测量、计算并确定出变电站土壤电阻率的设计值。通常情况下,相关工作人员都是依据在变电站地质勘察报告中所表明的在被测场地范围内,选定一个或多个接近或超过接地网等值半径的深孔,以地勘得到的各地质层的土壤电阻率作为视电阻率,再进行加权平均后得出平均土壤电阻率作为设计值。或者,在现场按照图1用四极法取极距等于10 m和15 m时测量土壤的电阻率,然后再进行加权平均以得出变电站土壤电阻率的设计值。

在这里存在两个问题,一是按照《变电站岩土工程勘测技术规程》要求:在可行性研究、初步设计、施工图设计各阶段,当地层不是太复杂时,其钻孔勘测的控制性勘测点的孔深为20 m,一般性勘测点的孔深为8~15 m。而大地对接地导体的有效影响范围,在垂直方向的深度为 $h=2\sim 4r$,在水平方向的宽度为 $L=1\sim 3r$ 。式中, $r=\sqrt{(S/\pi)}$,为接地网的等值半径, S 为变电站接地网的面积。按照变电站接地网通常的使用面积计算,对于110 kV变电站, $S=2\ 000\text{ m}^2$, $r=25.2\text{ m}$;对于220 kV变电站, $S=6\ 000\text{ m}^2$, $r=43.7\text{ m}$ 。由于在变电站地质勘测时,其钻孔的孔深一般不超过20 m,显然,取低于接地网等值半径 r 的地勘测孔深度所对应的土壤电阻率值是不合适的。二是即使在地质勘察中,所钻的孔深超过了接地网等值半径,但当遇到地质情况复杂,各地质层的厚度相差较大,甚至在水平方向上的地质情况也有较大差异时,仅用有限的几个钻孔确定土壤的电阻率并据此确定出变电站土壤电阻率的设计值也不恰当。实际上,在变电站接地网竣工时对接地电阻进行测量得出的实测值与设计值相比,其结果相差较大是常有的事。

2 确定土壤电阻率设计值的新方法

怎样才能更加实用、方便和较为准确地确定出变电站土壤电阻率的设计值呢?在此提出如下一种新的方法。

2.1 采用新的测量方式和四极法测量被测场地的土壤视电阻率

(1) 以被测场地中心 O 为原点,过原点与变电站长边平行作一直线定为基线,如图3所示。通常情况下,最大极距 a 应取 $1.5\sim 3r$;当测量时如操作太困

难,也不能小于 r , r 为接地网的等值半径。

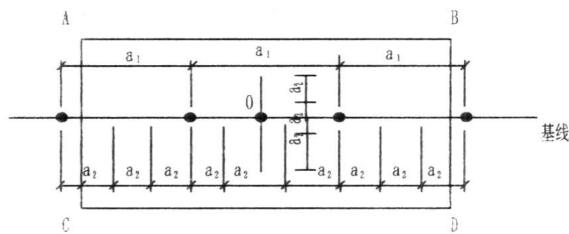


图3 新的土壤电阻率测试法图

沿基线方向分别取极距: $a_1=r=\sqrt{(S/\pi)}$, $a_2=(1/3)a_1$, $a_3=(1/2)a_2$,分别到与基线垂直的变电站的另外两个短边AC和BD附近,从而测出 $a=h$ 的不同深度土壤的视电阻率。再过原点 O ,沿与基线垂直方向按 a_2 、 a_3 的极距测量土壤的视电阻率。如所测结果与沿基线方向的极距 a_2 、 a_3 所测出的结果大致相同,则可认为在被测区域内其地质结构在水平方向上接近均匀分布。如测量结果相差较大,则在被测区域内其地质结构可能存在垂直分层,这时,应在过 O 点两边的基线上选点再作与基线垂直方向的等距测量,得到一组与基线垂直方向的土壤视电阻率的数据。

(2) 沿变电站的两个长边AB和CD方向,再取极距: $a_4=(1/3)AB$, $a_5=(1/3)CD$,分别测量变电站的两个长边及变电站的四个边角A、B、C、D附近区域对应深度土壤的视电阻率。

当变电站站址选在需挖填土方的坡地时,就以被测场地的等高线作为基线测量;设AB边位于坡地高侧,需要挖土方,CD边位于坡地低侧,需要填土方,则测AB边的土壤视电阻率时其极距取为: $a_4=1/3(AB+AB边对等高线的高差)$;而测CD边的土壤视电阻率时其极距取为: $a_5=1/3(CD-CD边对等高线的高差)$ 。

(3) 根据表层的土壤情况,取极距 $a_6=1\sim 3\text{ m}$,选测多点的土壤电阻率,得到一组表层土壤视电阻率的数据。

2.2 根据测量数据计算土壤等值电阻率

把测得的同一深度地层的土壤视电阻率数据进行分组,取加权平均值(如 a_1 与 a_4 、 a_5 的数值相近,则可取为同一深度),再换算成各地层的土壤电阻率。最后按公式: $\rho_d=(h_1+h_2+h_3+\dots)/(h_1/\rho_1+h_2/\rho_2+h_3/\rho_3+\dots)$ 计算出被测场地的土壤等值电阻率。需

要指出的是,用四极法测出的视电阻率 ρ 是 $a=h$ 深度及至以上地面的土壤等值电阻率,与式中 ρ_1 、 ρ_2 为某地层的土壤电阻率是不相同的。

如发现地质情况出现垂直分层,需首先确定被测场地因土壤垂直分层造成的具有不同土壤电阻率 ρ_1 、 ρ_2 所对应的土地面积 S_1 、 S_2 , 再按公式: $\rho_d = (\rho_1 \rho_2 \sqrt{S} / (\rho_1 \sqrt{S_2} + \rho_2 \sqrt{S_1}))$, 计算出被测场地土壤的等值电阻率。这个土壤等值电阻率就是在设计计算时所使用的变电站土壤电阻率的设计值。

3 土壤等值电阻率与接地网等值半径的关系分析

确定变电站的土壤等值电阻率 ρ , 要取接地网等值半径 r 的几倍才比较符合工程实际呢? 在这里,以浙江的 220 kV 香山变电站与四川的 110 kV 联邦变电站为例来进行实际工程计算分析,其结果如表 1 所示。

表 1 中,浙江 220 kV 雁苍变电站和四川 110 kV 联邦变电站的 ρ_1 、 ρ_2 及分别对应的 H 值,都是根据该变电站的地质勘察报告,通过使用被测场地中的三个较深的勘探孔所取得的土壤电阻率数据经分析计算后得出的。其上层为土壤电阻率 ρ_1 , 下层为土壤电阻率 ρ_2 。可见,这两层土壤电阻率的数值相差较大。其中,浙江 220 kV 雁苍变电站是 $\rho_1 < \rho_2$, 而四川

110 kV 联邦变电站是 $\rho_1 > \rho_2$ 。这种上下两层不同的地质结构和土壤电阻率的不同分布,在确定土壤等值电阻率所要求的接地网等值半径 r 的取值时,将有较大的差别。

从表 1 得出:

① 在确定土壤的平均电阻率时,通常测量的地层深度 h 要取接地网等值半径 r 的 1.5 倍以上 ($h \geq 1.5$), 其设计计算结果才能满足工程实际需要。② 当地层结构为 $\rho_1 > \rho_2$ 时, h 值应当取大一些,一般应取 $h \geq 1.5r$; 而当 $\rho_1 < \rho_2$, 且上层土壤较厚时, h 值可取小一些,可取 $h = 1 \sim 1.5r$; 如上层土壤较薄时,则应取 $h \geq 2r$ 。事实上,土壤电阻率 ρ_1 、 ρ_2 的差值大小,上下层土壤的不同厚薄,以及水平接地网的不同面积等都要在不同程度上影响到竣工时变电站接地网的接地电阻实测结果,因此,在设计收资和设计计算阶段应对这些不同的影响因素给予充分考虑。通常情况下,变电站会呈现出土壤电阻率 $\rho_1 < \rho_2$, 但上层土壤厚度却较薄的地质情况。这时,如要较正确地确定土壤的等值电阻率 ρ , 则以取 $h \geq 2r$ 为宜。下面,对一个土壤总厚度 $H = 100\text{ m}$, 其上层土壤电阻率 $\rho_1 = 100\text{ }\Omega\cdot\text{m}$, 土壤厚度为 H_1 , 下层土壤电阻率 $\rho_2 = 1\text{ }000\text{ }\Omega\cdot\text{m}$, 土壤厚度为 H_2 ($H_2 = H - H_1$) 的变电站,分别取上、下两层土壤以具有不同的土壤厚度为条件,对该变电站的土壤等值电阻率 ρ 进行计算,结果如表 2 所示。

表 1 变电站不同地层深度土壤电阻率对接地电阻的影响

站 名	对应不同地层深度 H 时的 不同 ρ 值	对应不同 r 值时的设计接地 地阻 R 值	接地网竣工时的实测接地 电阻 R_S 值
浙江 220 kV 雁苍变电站	$\rho_1 = 137.52\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ ($H \leq 22\text{ m}$)	$h = r$ 时 $R = 1.55\text{ }\Omega$	$R_S = 1.8\text{ }\Omega$
	$\rho_2 = 2\text{ }867\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ ($H > 22\text{ m}$)	$h = 1.5r$ 时 $R = 2.14\text{ }\Omega$	
		$h = 2r$ 时 $R = 2.66\text{ }\Omega$	
四川 110 kV 联邦变电站	$\rho_1 = 517.32\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ ($H \leq 23\text{ m}$)	$h = r$ 时 $R = 1.74\text{ }\Omega$	$R_S = 1.3\text{ }\Omega$
	$\rho_2 = 99.1\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ ($H > 23\text{ m}$)	$h = 1.5r$ 时 $R = 1.45\text{ }\Omega$	
		$h = 2r$ 时 $R = 1.26\text{ }\Omega$	

表 2 土壤平均电阻率

名称	不同土壤厚度的土壤电阻率						
$H_1(\text{m})$	2	5	10	20	30	40	80
$H_2(\text{m})$	98	95	90	80	70	60	20
$\rho(\Omega\cdot\text{m})$	847.46	689.66	526.32	357.14	270.27	217.19	121.95

(下转第 90 页)

3.2.3 排烟温度

排烟温度是锅炉运行中可控的一个综合性指标,它主要决定于锅炉燃烧状况以及各段受热面的换热状况,保持各段受热面的清洁和换热效果,是防止排烟温度异常、保证锅炉经济运行的根本措施。排烟温度升高 5°C ,影响锅炉效率降低 0.2% (百分点)左右,影响煤耗升高 $0.6\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ 。具体的措施是:保证人孔门和保温层的严密性,减少漏风;合理控制氧量,流化床的标准是 3.5% ;定期进行吹灰。

3.2.4 灰渣含碳量

灰渣含碳量表示从尾部烟道排出的飞灰或者是从冷渣器中排出的干渣中含有的未燃尽碳的量占飞灰量或者是渣量的百分比,主要与燃煤特性、煤粒大小、炉膛温度、物料循环程度等有关。在运行过程中,煤粒的大小是影响灰渣含碳量的主要原因。针对所燃用的煤种,合理调节分离器的分离效率,尽可能保证循环燃烧,提高燃尽程度。运行中的具体措施是:合理一、二次风配比,在保证流化前提下,尽量减少一次风增加二次风;在流化良好,排渣正常的情况下,可适当提高炉床差压;加强煤炭破碎设备的维护;提高

旋风分离器的分离效率;适当提高床温,控制在 900°C 左右。在河南某循环流化床锅炉,其灰渣的可燃物小于 2% 。

4 结束语

值得注意的是,在电站建设安装中,管道保温质量的好坏也是影响热效率的重要因素,而这个指标通常不被重视,而且在竣工后要进行整改是非常困难的,这要求安装单位必须要有长远的质量意识,所有高温管道、容器等设备上都应有良好的保温,减少不必要的热能损耗。当环境温度在 25°C 时,保温层的表面温度一般不超过 50°C 。

当然在电厂的节能降耗工作中,搞好生产管理是关键,努力提高设备健康运行水平,对机组能否稳定、安全、经济运行及节能降耗都起着决定性的因素。要充分体现流化床锅炉的安全性和经济性,这里仅仅是重点说明了最基本的要求,难免会有所疏漏,权当是抛砖引玉,共同提高电厂节能降耗的水平。

(收稿日期:2007-10-29)

(上接第45页) 可见,上、下两层不同的土壤厚度对确定土壤的等值电阻率有着重要的影响。

4 结语

这种确定变电站土壤电阻率的方法,是一种更为方便、实用和准确的方法,但仍然存在一定的不足。衷心希望在这一领域工作的同行们给予帮助和指导。相信通过大家的共同努力,一定会使这方面的工作得到进一步的创新和发展。

最后需要指出的是:变电站接地网敷设的质量,不仅直接影响着变电站竣工时对接地电阻实测的结果,而且,更关系到变电站接地网长期运行的质量和电气设备的运行安全与电气工作人员的人身安全,因此应当高度重视。特别是,在高土壤电阻率地层上敷设水平接地网时,其接地导体的周围应用土壤电阻率 $\rho<100\ \Omega\cdot\text{m}$ 的细土裹埋回填,并层层喷水夯实,不得夹杂石块及建筑垃圾,更不容许有腐蚀性的工业废渣,使接地导体通过细土与四周的原土紧密融合在一起,进而降低接地电阻,减小冲击电阻。当遇到原土低于接地导体敷设区域的低洼地面时,在低洼地面上

应尽量使用具有较低土壤电阻率的开挖土壤回填,一定要清除掉较大的石块或建筑垃圾,不能在回填区域存在由石块和建筑垃圾堆积造成的高土壤电阻率“黑洞”区。对于具有较好土壤条件的变电站,在敷设水平接地网前,应尽量在敷设水平接地网的土层下 1 m 左右的区域,全部使用低土壤电阻率的泥土回填并夯实,以保证水平接地网具有更优的接地散流和均压效果。

参考文献

- [1] DL/T 5091-1999. 水力发电厂接地设计技术导则[S].
- [2] DL/T 5170-2002. 变电所岩土工程勘测技术规程[S].
- [3] GB/T 17949.1-2000. 接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则 第1部分:常规测量[S].
- [4] 陈先禄,刘渝根,等. 接地[M]. 重庆大学出版社,2002.
- [5] 何金良,曾嵘. 电力系统接地技术[M]. 科学技术出版社,2007.
- [6] 李景禄. 接地装置的运行与改造[M]. 中国水利水电出版社,2005.
- [7] 程志平. 电法勘探教程[M]. 冶金工业出版社,2007.

(收稿日期:2007-11-19)

采用信号注入法检测配网单相接地故障的分析

陈 强

(德阳电业局, 四川 德阳 618000)

摘 要:对目前配网采用信号注入法检测单相接地故障的原理进行比较分析。

关键词:单相接地故障; 信号注入法; 配电网

Abstract: The principles of using signal injection method to detect single-phase earth fault of distribution network at present are compared and analyzed.

Key words: single-phase earth fault; signal injection method; distribution network

中图分类号: TM835 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0046-02

1 10 kV 配网目前故障状况

目前 10 kV 配电网由于环境、设备以及用户的影响,故障频率一直相对较高,而且由于配电网的复杂,涉及面广,对于故障的查找也就比较困难。随着用户对优质服务和供电可靠性要求不断提高,如何快速、准确地查找故障范围,隔离故障点,恢复非故障范围的供电也就成了配网需要解决的重要问题。而配网系统中单相接地故障是整个故障 80% 以上,为此对于单相故障的选线和定位,准确地选择接地线路,查找发生单相接地的区段,可以避免对非故障段线路不必要的停电以及操作,进一步加强供电的连续性。

2 检测 10 kV 配网单相接地故障的主要方法

目前配网中使用较多的是接地短路故障二合一的故障指示器,指示单相接地和短路故障,通过观察故障指示器状态的变化来查找故障区段。从检测原理方面主要有下面几种:

1) 信号注入法: 在发生单相接地故障后安装在变电站的信号源主动向母线注入一个特殊的信号,这样这个特殊的信号在接地点和信号源构成的回路上流过,故障指示器检测到这个特殊信号后翻转指示接地故障。

2) 电容电流法: 对线路上的电容电流进行采样,如果电容电流突变值超过设定的动作电流值则判断为接地。

3) 零序电流法: 检测零序电流值,当超过设定值时判断为接地故障。

上述这些检测方法沿用了小电流接地系统单相接地选线的原理,主要检测发生单相接地故障前后配电网参数的变化。但是 10 kV 配电系统为中性点不直接接地系统,发生单相接地故障时,所产生的故障信号较弱,并且受到电磁干扰和谐波污染,导致获得的信号失真,这些都直接影响了故障指示器的选择性和准确性。由于配电网拓扑结构的复杂性,运行方式的变化多变性,在实际的实施中是比较困难。

3 检测单相接地故障主要方法的比较

3.1 零序电流检测法

其检测原理是对于中性点不接地系统在发生永久性单相接地故障时,非接地线路的零序电流等于该线路三相对地电容电流的向量和,方向是从母线流向线路。而接地线路的零序电流等于所有非故障线路零序电流的向量和,方向是从线路流向母线。采用该方法存在以下主要问题:

1) 需要使用零序互感器采样零序电流的变化,其结构复杂,安装不方便,不能广泛地应用于 10 kV 架空线路。

2) 零序电流互感器精度低,而配网中发生单相接地故障后零序电流较低,难以保证检测的准确度。

3.2 电容电流检测法

其检测原理是接地线路的电容电流等于非接地线路的电容电流之和,而非接地线路的电容电流只是自身的电容电流,采用该方法存在以下主要问题:

1) 对故障指示器要求较高的测量精度。目前配网改造后配网线路的供电半径得到改善,线路状况有所提高,接地电容电流较小约为几安培,而线路中的负荷电流值则很大,可达数百安培。电容电流所占负荷电流的比例较小,这样对故障指示器的测量精度要求较高。

2) 由于配网运行方式的变化和环网运行等因素影响,在电网最小运行方式下有时接地线路的电容电流值和非接地线路的电容电流值很接近,采用检测电容电流进行接地判断的故障指示器则得不到足够动作电流而造成拒动。

3) 目前供城市配网的变电站普遍装设了消弧线圈,这些线路在发生单相接地故障后,由于消弧线圈的补偿作用,消弧线圈提供的感性电流与电网中所有非接地线路电容电流相迭加,消弧线圈一般是在过补偿的状态,所以在接地点流过的是一个很小感性电流。这样在中性点经消弧线圈接地的系统中,采用电容电流检测法的故障指示器是不能检测单相接地故障的。

3.3 信号注入法

信号注入法不受系统运行方式、拓扑结构、中性点接地方式的影响,在发生单相接地故障后主动发送信号检测单相接地故障的方法。采用信号输入法的单相故障指示器需要在变电站安装产生特殊信号的信号源,由信号源和故障指示器组成故障定位系统。安装在变电站的信号源是一个信号注入装置,对安装在线路上的故障指示器在发生单相接地故障时或短路故障时进行故障指示。

单相接地信号源装置实时监测母线电压和中性点电压,以零序电压的变化作为单相接地故障的判定,当发生单相接地故障时,零序电压发生变化达到整定值,这时信号源向系统注入一个特殊的低频信号。该信号电流由变电站出发经故障线路通过接地点流入大地返回信号源形成信号回路,故障指示器就是根据这个特殊的低频注入信号的特征进行单相接地的选线和定位。在故障指示器检测到这个特殊的低频信号后翻转,指示在此回路有单相接地故障。而非接地相、非接地馈线以及接地馈线的非接地部分不会翻转。这样在系统发生单相接地时,挂在该故障出线分支上的故障指示器检测到该信号电流立即给出指示。非故障出线及分支没有接地点,不能构成信号电流通路,故没有信号电流流过,挂在其上的指示器

亦不会动作。

信号源实现的方式有两种:

1) 对于有接地变压器的变电站,在接地变中性点上接一开关,开关通过控制信号源接地(见图1)。

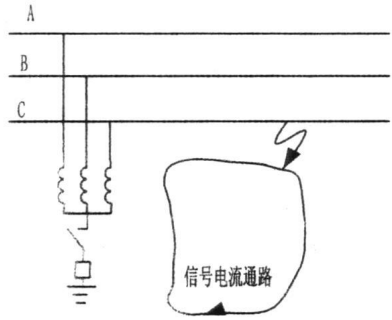


图1 有接地变压器的变电站信号源实现方式

2) 对于无接地变压器的变电站,在三相母线上分别接三个开关,开关通过信号源接地(见图2)。

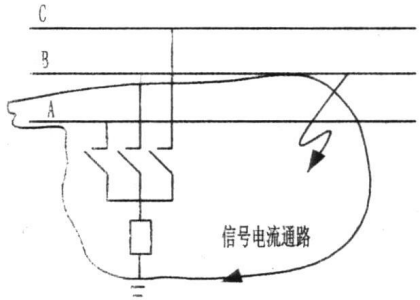


图2 无接地变压器的变电站信号源实现方式

B相接地A相开关接通,将信号电流送到故障出线经大地返回信号源。

三个开关相互设三道闭锁,不可能同时接通。

4 信号注入法的应用实例

2005年德阳电业局某供电局在一座35 kV变电站加装了一套信号源,该变电站共有10 kV出线5条,分别在每条10 kV线路的出线端、分支线以及主线每隔1.5 km加装了单相接地的故障指示器共40组。在投运前为了检测装置的可靠性。该局在其中一条10 kV线路的分支线路上一个配电变压器台区进行了单相接地故障模拟试验,并在变压器台区高压侧加装了1组故障指示器。试验时选择了该变压器高压侧的A相作为单相接地点,通过 (下转第77页)

程所用外汇额度、汇率、用途及其使用范围,并出版相应的进口费用表;⑦应提供推荐方案 and 对比方案的技术经济论证,应将输变电工程投资估算与同类工程造价、限额设计控制指标进行对比,分析影响造价的主要因素,并有相应的对比分析表。

经济评价工作执行国家和行业主管部门发布的有关部门文件和规定,并应满足以下要求:应说明输变电工程资金来源、资本金比例、币种、利率、宽限期、其他相关费用、还款方式及还款年限;财务评价采用的有关的原始数据应有依据;收益和债务偿还分析应按计算期、还贷期和还贷后三个阶段分别说明;主要经济评价指标及简要说明应有以下内容:财务内部收益率(全部投资、资本金)及投资回收期;投资利润率、投资利税率及资本金净利润率;偿还贷款的收入来源;当有多种投融资条件时,应对透融资成本进行经济比较,选择条件优惠的贷款;敏感性分析及说明;综合经济评价结论。

3 做好电力工程可研估算需要注意的问题

可行性研究是基本建设程序中一个重要的阶段,可研估算作为此阶段技术经济工作中最为基础的工作,其编制的合理性将直接影响项目的投资决策。而要做好可研估算需要注意以下几点:①承担可行性研究工作的,必须是有相应资质的设计单位,任何越级越行业的行为都是不允许的;②转变观念,加强对可行性研究阶段的重视。可研工作是一项专业技术很强的工作。做好这项工作,首先需要的是设计单位、设计人员及技经人员共同的责任感。设计人员必须建立起经济意识,而技经专业人员,也应参照同等

或类似规模工程的工程量及建造价格水平对技术指标进行查核,并提出反馈意见;③技术及技经人员都应建立健全工程数据库,并及时予以更新,保持各项指标的时效性和准确性;④建立设备材料价格信息网络,实现数据共享,加强设备材料价格的动态管理,及时预测设备材料价格走向。

4 电力工程可研估算中常见的错误

可行性研究估算的编制中,常见有如下问题,需引起有关单位的重视:①设计人员在可研提资阶段,估算的工程量过大,忽略了裕度的合理性,造成工程可研费用偏高;②装置性材料价格未按信息价计入工程本体,而是直接以市场价格计入工程本体,造成费用增加;③调试费用直接计列在工程本体费中,未按要求计列在其他费用中;④未按要求计列项目前期核准必需完成的支持性文件的相关费用;⑤对于建筑工程、线路工程常常以单位工程造价进行框算,深度不能满足可研文件的要求;⑥建设期贷款利息费率不能及时调整,建设周期考虑不合理;⑦设备购置费的参考价格,未合理考虑物资流转及涨价因素;⑧大型的设备运输未制订切实可行的运输方案,单纯进行经验估算,造成费用偏差;⑨对于改、扩建工程,疏漏因新建项目导致的原有设备的改造工程。

可行性研究投资估算是可研设计阶段确定工程总投资的限额,而经批准的投资估算更是工程总投资的限额,没有特殊原因不得突破,因此,为避免给工程项目的后期建设管理带来困难和风险,做好可研阶段的技术经济工作确实是一项有价值、有意义的系统工程。它需要相关各方面的积极配合,甚至需要全系统的共同参与。

(收稿日期:2007-11-22)

(上接第47页) 试验,采用信号注入法的单相接地故障指示器准确选线,并正确定位到该配电变压器。为了保证试验的准确度,前后分别对不同线路进行了两次试验均能达到准确选线和定位。目前该装置已运行两年,前后共动作9次,准确度达到100%,运行状况良好。

5 结束语

差,而且配网中的单相接地故障占故障总数的80%以上,如何快速查找和排除单相接地故障是运行单位迫切需要解决的问题。目前配网中采用的检测方法较多,而信号注入法可以提高单相接地故障指示器的准确性和可靠性。

参考文献

- [1] 西北电力设计院等合编·电力工程设计手册[S]·上海科技出版社,1982.

(收稿日期:2007-12-10)

配电网中设备繁多,而且用户设备的健康水平参

高压无功自动跟踪补偿技术 在 10 kV 线路上的应用

周道明¹, 宁世红², 王 睦³

(1. 德阳什邡供电局, 四川 什邡 618400; 2. 德阳电业局, 四川 德阳 618000;
3. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:通过在 10 kV 农村线路上引入高压无功自动跟踪补偿技术, 实现了提高线路输送功率、改善输送电压质量、无功分段就地平衡、降低 10 kV 线路线损的目的。对无功补偿技术在线路上的应用进行了效益分析。

关键词:无功自动跟踪补偿; 10 kV 线路; 效益分析

Abstract: By introducing HV reactive automatic tracking compensation devices, the transmitted power has been increased, the quality of transmitted voltage has been improved, and the losses of 10 kV line have been reduced. Finally, the benefits of the application of reactive compensation technique to transmission line are analyzed.

Key words: reactive automatic tracking compensation; 10 kV transmission line; benefit analysis

中图分类号: TM714.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0048-06

1 现状分析

什邡市是四川省的经济强县, 工农业比较发达, 综合经济实力在县级市中位列四川第二。什邡供电局经过多年来开展节能降耗工作, 到 2006 年底, 全网综合线损率达到了 3.7%, 全网损耗电量有 41.297 25 GWh, 其中 10 kV 公用线路损耗占总损耗比例为 56.92%, 专线及趸售损耗占 11.98%, 其它网络损耗占 31.10%。可见 10 kV 公用线路的线损比重最大, 问题也最多, 经常暴露出用户多、负荷分散、供电半径长、结构复杂、输出功率因数低、线损偏高、末端电压低的问题。例如 10 kV 土禾路, 系一条工业用户较多的农网公用线路, 共有配变 137 台, 总容量 13 120 kVA, 2006 年以前该线路最高线损率达到 15%, 且终端用户侧电压波动大, 电压最低仅有 180 V, 电压质量较差, 极大地影响了用户正常用电。

因此, 寻求一种既可以提高 10 kV 配电网有功功率的输送, 又可以提高电压质量、降低线路损耗的有效方法, 已是当务之急。

2 高压无功自动跟踪补偿装置选择

通常使用的补偿方式有变电站 10 kV 高压补偿, 用以完成主变和母线无功消耗补偿, 降低主变和母线

损耗。对用户, 采用低压补偿, 实现就地平衡。但是, 对于 10 kV 公用线路, 公用配变和线路两者都不能保证补偿量。全面实现低压补偿, 遍地开花, 成本无法承受, 管理也跟不上; 加大变电站补偿, 对线路作用不大。能否延伸母线定义, 把主线路看作母线, 引入一种好的高压无功补偿装置进行高压补偿, 实现 10 kV 线路高低压同时补偿。

针对 10 kV 公用线路存在的线损高、电压质量不合格、传输功率因数偏低等问题, 运用高、低压无功补偿技术是一种比较好的解决办法。目前国内传统的无功补偿装置产品很多, 但普遍存在两方面的技术缺陷: 一是补偿装置出力固定, 不能跟随负荷变化发生改变, 易造成过、欠补偿; 二是常规补偿设备由于采用带触点控制, 易在运行中产生操作过电压和谐波源, 给电网造成污染, 甚至造成补偿采样装置烧毁等故障。这些缺陷使各行业的客户在安装无功补偿装置后, 花了大量投资反而达不到预期的补偿效果, 仍然要受到功率因数和无功超标造成的考核。

德阳局选用的“DDK 高低压无功自动跟踪补偿装置”是近期国内新推出的一种较为先进的高科技产品, 其补偿技术、原理具有以下优点: ①采用三级补偿分组投切方式, 解决了过、欠补偿难题; ②采用无功功率取样, 经微电脑进行全日跟踪运算控制, 全自动跟踪投切电力电容器补偿量, 使功率因数随时保持在 1~0.92 范围之内; ③该产品具有“无触点控制”的独

特技术,采用无功功率取样,不存在无功返送、无投切振荡、无过补现象;④停电后自动恢复,能自动适应电网各种操作、各种故障,无需人工值守。

这种产品和技术能够解决 10 kV 公用线路存在的上述问题,故什邡供电局于 2006 年 10 月把 DDK 高压无功自动跟踪补偿技术应用到了较为典型的 10 kV 土禾路上。

3 采用 DDK 补偿前的情况

3.1 土禾路用户基本情况

10 kV 土禾路是一条农网的公用线路,共有配变 137 台,安装总容量 13 120 kVA,其中农村和乡镇公用配变 108 台,总容量 10 610 kVA,均未安装补偿电容;工业用户专用配变 29 台,15 台 100 kVA 以上的配变安装有电容补偿,配变容量 1 730 kVA,电容配置 700 kvar;14 台 100 kVA 以下的配变未安装电容补偿,其配变容量 780 kVA。最高负荷达到 7 000 kW。该线路供电量大,月均供电量约 2.42 GWh。用户详细情况见表 1。

3.2 土禾路线路结构情况

表 1 土禾路线路结构情况

线路名称	线路长度 (km)	导线半径 (mm ²)	配变容量/台 (kVA/台)
谷华支线	3.086	70/25	2 910/32
文顺支线	4.12	35	990/15
桔建支线	4.613	35	1 610/23
主线(镇江 1 组 4B)	8.227	120	3 395/26
慧剑支线	5.545	70/25	1 705/27

土禾路供电半径 15.84 km,支线多、用户多、负荷重,负荷随季节变化很大。

3.3 变电站母线侧输出无功和功率情况

通过分析 10 kV 土禾路 2005 年 10 月~2006 年 9 月的实际运行数据,发现该线路母线侧输出无功量很高,功率因素低。说明线路侧无功严重不足,不能实现就地平衡,尤其是末端用户电压很低。

虽然 10 kV 土禾路变电站侧安装有电容器,且均按照电业局下达电压曲线及时投退,但是变电站电容、电抗主要用于补偿主变、开关和母线无功消耗,对出线补偿比较小。并且,如果从变电站输出无功过

多,在 S 一定的情况下,输出有功必然减少,若要确保 P 一定,输出 S 就会增大, $S=UI$,输出电流 I 就会增大。结果是变电站多发无功增加网损,线路输出电力过大增加线路损耗,两种情况都会增加线损。同时, $\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$,输出 Q 增大,输出 cos φ 必然降低。

表 2 10 kV 土禾路变电站侧单日常平均负荷及功率因数情况

时 间	有功负荷 合计(kW)	无功负荷 合计(kvar)	功率因数
2006 年 1 月 15 日	3 200	1 400	0.916
2006 年 2 月 15 日	5 400	2 600	0.901
2006 年 3 月 15 日	7 000	3 200	0.909
2006 年 4 月 15 日	4 400	2 200	0.894
2006 年 5 月 15 日	3 400	1 400	0.926
2006 年 6 月 15 日	2 800	1 500	0.881
2006 年 7 月 15 日	2 200	1 200	0.878
2006 年 8 月 15 日	2 800	1 500	0.881
2006 年 9 月 15 日	3 400	1 400	0.926

表 3 10 kV 土禾路线损率情况

时 间	供电量 (MWh)	售电量 (MWh)	线损率(%)
2005 年 10 月	2 040	1 900	6.86
2005 年 11 月	1 950	1 590	18.46
2005 年 12 月	1 780	1 580	11.24
2006 年 1 月	2 360	1 840	22.03
2006 年 2 月	2 390	2 240	6.28
2006 年 3 月	2 610	2 390	8.43
2006 年 4 月	2 340	2 200	6.38
2006 年 5 月	2 450	2 240	8.16
2006 年 6 月	2 140	1 950	8.88
2006 年 7 月	1 620	1 510	6.79
2006 年 8 月	2 340	1 940	17.09
2006 年 9 月	2 610	2 340	10.34
平均值	2 420	2 160	10.92

从土禾路 2005~2006 年一个年周期的线损统计结果看,平均线损值达到 10.92%,没有达到国电县级供电企业一流标准中农网线路单条线损率≤9.5%的要求。

表 4 10 kV 土禾路支线末端配变低压侧电压(实测值)					
监测点	电 压	A 相电 压(V)	B 相电 压(V)	C 相电 压(V)	最低功 率因数
谷华支线(砖桥 8 组 5B)		205.4	200.3	207.5	0.55
文顺支线(文顺 2 组 4B)		195.1	185	197	0.90
桔建支线(集泉 1 组 4B)		196.3	198.7	207	0.85
主线(镇江 1 组 4B)		207.7	210.7	213.6	0.90
平均电压		201.125	200.3	206.275	0.89

由于土禾路主供的负荷主要为公用小容量变压器和交流电动机、抽水机等感性负荷,需要吸收大量感性无功。而这些无功电流占用大量的供配电设备容量,增加了线路输送电流,因而增加了馈电线路损耗,使电力设备得不到充分利用,同时也降低线路末端电压。

解决这些问题通常方案是采用低压无功功率补偿装置,而低压无功补偿只能就地平衡配变和低压侧无功需求,不能补偿线路和未安装补偿电容的公用配变。因此 DDK 高压无功补偿装置正好填补这一需求,可以实现高压分段就地平衡,又杜绝了无功穿越引起的损耗,以及过补偿和欠补偿的缺陷,从而提高了功率因数,改善了用户低压侧电压质量。

4 实施方案

根据国家电网生[2004]435 号《国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则》第二十五条的规定,配电网的无功补偿以配电变压器低压侧集中补偿为主,以高压补偿为辅。要合理进行无功补偿,线路无功补偿也要通盘考虑,按照“全面规划、合理布局、分

级补偿、就地平衡”的原则,尽量减少无功电流在设备和线路上的穿越。

由于土禾路是公用线路,从前面调查情况来看,输电线路长,分支多,用户多,负荷呈区域性分布。另外,受工业负荷影响,负荷波动大,一般性无功补偿,无法及时跟踪补偿,易发生欠过补偿的情况,产生投切振荡。

结合 DDK 无功自动跟踪补偿装置特点,考虑在 10 kV 土禾路上采用 6 套 DDK 无功自动补偿装置,分别安装在感性负荷相对集中的位置,自动跟踪补偿,以实现节能降耗的目的。

4.1 土禾路无功补偿方案选址

根据土禾路线路分支及负荷分配情况,确定 6 个负荷分配点(见表 5),并在每个分配点安装一台无功自动跟踪补偿装置。

4.2 土禾路无功容量配置

无功补偿装置容量配置是按当变压器最大负载率 75%、负荷自然功率因数为 0.85 时,补偿到变压器最大负荷时其高压侧功率因数不低于 0.95 来计算。也可按照变压器容量的 20%~40%进行配置,专变已经配置低压补偿,不再考虑。表 6 为根据各分支容量计算出需配置无功容量表,配置比率=3 150/7 550×100%=41.72%。

5 效益分析

DDK 无功自动跟踪补偿装置在 10 kV 土禾路安装运行后,技术指标达到要求,但其经济价值如何,是否具有推广价值呢? 根据 10 kV 土禾路全线 DDK 高压无功自动跟踪补偿装置的配置情况,对其运行前后的经济效益作了分析。

表 5 土禾路装载容量分类汇总统计表											
序号	支线名称	农村公变 (kVA)	台数	城镇公变 (kVA)	台数	农村抽水变 (kVA)	台数	工业专变 (kVA)	台数	合计容量 (kVA)	合计 台数
1	慧剑支线	850	17	—	—	855	10	—	—	1 705	27
2	文顺支线	550	11	—	—	440	4	—	—	990	15
3	桔建支线	750	15	—	—	480	5	380	3	1 610	23
4	谷华支线	1 000	20	100	1	760	6	1 050	5	2 910	32
5	朝塘支线	1 350	7	—	—	300	3	860	4	2 510	14
6	土禾场镇	300	6	815	3	—	—	2 280	17	3 395	26
	合计	3 800	76	915	4	2 835	28	5 570	29	13 120	137

表 6 10 kV 土禾路无功电容分段(分支线)配置表

序号	支线名称 (kVA)	农村公变 (kVA)	城镇公变 (kVA)	抽水变容量 (kVA)	容量合计 (kVA)	计算公式(根据厂家说明书提供)	配置容量 (kvar)
1	慧剑支线	850	0	855	1 705	$(850+0+855)\times 0.75\times 0.4$	600
2	文顺支线	550	0	440	990	$(550+0+440)\times 0.75\times 0.4$	300
3	桔建支线	750		480	1 230	$(750+480)\times 0.75\times 0.4$	450
4	谷华支线	1 000	100	760	1 860	$(1\ 000+100+760)\times 0.75\times 0.4$	600
5	朝塘支线	1 350		300	1 650	$(350+300)\times 0.75\times 0.4$	600
6	土禾场镇	300	815		1 150	$(300+815)\times 0.75\times 0.4$	600
	合计	3 800	915	2 835	7 550	$(3\ 800+915+2\ 835)\times 0.75\times 0.4$	3 150

备注:配置容量已经根据负荷性质和电容器组设备容量作了调整。

表 7 10 kV 土禾路全线安装 DDK 费用清单

产品名称	牌号商标	规格型号	计量单位	数量	单价(元)	金额(元)
高压电容无功 自动补偿装置	DDK	W-10-600-3	台	4	276 000	1 144 000
	DDK	W-10-450-3	台	1	274 000	274 000
	DDK	W-10-300-3	台	1	254 800	254 000
安装费用估算				6	30 000	180 000
合 计						1 852 000

5.1 投资情况

表 7 是 10 kV 土禾路全线安装 DDK 无功自动跟踪补偿装置的总费用清单。

5.2 经济效益预测

现状:平均线损率 10.92%;月度平均售电量 2.16 GWh,供电量 2.42 GWh;月度平均线损电量 0.26 GWh;理论线损率 12.566 8%;2005 年什邡供电局 10 kV 有损线平均线损率 5.20%,2006 年 1~9 月份 10 kV 有损线平均线损率 4.79%。

线损率预测:考虑到该条线路结构问题以及理论线损与实际线损之间距离,一般相差 1.0%~1.2%。该线路在加装无功补偿后,线路全线电压、输送功率因数达到理论计算的额定水平,线损率目标值定为 5.5%~6.0%。效益计算:

年度降损电量 = 242 × (10.92% - 5.75%) × 12 = 1.501 368 GWh

经济效益 = 150.136 8 × 平均电价 (0.549 × 10 000) = 77.814 2 万元

投资回收期 = 185.2 / 77.8142 = 1.84 年,最多 2 年收回成本。

5.3 效果验证

10 kV 土禾路上 DDK 无功自动跟踪补偿装置于 2007 年元月 5 日投运,至今运行情况良好。由于实现了自动跟踪补偿,当用户负荷发生变化时,能够自动投切不同组数电容。通过 1~6 月份的运行数据统计,该线路各项指标有了极大改善,且未出现无功倒送、装置故障等异常情况,降损效果最为明显,线损率同比降低 37.51%。

效果验证:2007 年 1~6 月份该线路平均线损率 6.73%。农村用电量自然增长(按照 7%)计算,2007 年月平均供电量应为 242 × 1.07 = 2.589 4 GWh。禾丰供电所 1~6 月平均电价 = 5.672 元/GWh,同期理论线损为 12.54%。

年度降损电量 = 258.94 × (12.54% - 6.73%) × 12 = 1.805 3 GWh

取得经济效益 = 180.53 × 0.5672 = 102.40 万元

投资回收期 = 185.2 / 102.4 = 1.81 年(22 个月)

在 10 kV 土禾路全线安装 DDK 高压无功自动跟踪补偿装置后,节能降耗效果非常明显,其总投入可以在两年的时间内全部收回,与预测情况完全符合。

表 8 2006 年和 2007 年土禾路同期线损率比较

时 间	供电量(GWh)	售电量(GWh)	线损电量(GWh)	线损率(%)
2006 年 1 月	1.991 46	1.905 66	0.085 8	4.31
2006 年 2 月	1.957 74	1.590 864	0.366 876	18.74
2006 年 3 月	1.882 72	1.806 611	0.076 109	4.04
2006 年 4 月	2.365 56	1.844 948	0.520 612	22.021
2006 年 5 月	2.399 64	2.241 16	0.158 485	6.60
2006 年 6 月	2.612 88	2.398 45	0.214 427	8.21
小计	13.21	11.787 69	1.422 309	10.77
2007 年 1 月	2.325 76	2.403 714	−0.077 954	−3.35
2007 年 2 月	1.988 4	1.763 857	0.224 543	11.29
2007 年 3 月	2.177 28	2.025 6	0.151 68	6.97
2007 年 4 月	2.576 16	2.445 338	0.130 822	5.08
2007 年 5 月	2.875 36	2.321 01	0.554 35	19.28
2007 年 6 月	2.665 8	2.665 968	−0.000 168	−0.01
小计	14.608 76	13.625 49	0.983 273	6.73

表 9 10 kV 土禾路 DDK 运行数据监测

(监测时间:2007 年 1 月 5 日 9:30)

序号	安装地点	前后比较	投入组数	电压(V)	电流(A)	cos φ	安装容量(kvar)	总路负荷
1	慧剑支线	投入前	2	225	15	0.68	200×3	投入前 3.3 MW
		投入后				0.99		/1.65 MW, cos φ
2	土禾路	投入前	1	225	7	0.90	200×3	=0.89 投入后
40 号杆		投入后				1.0		3.3 MW/
3	谷华支线	投入前	3	225	16	0.56	200×3	0.4 Mvar, cos φ
		投入后				0.99		=0.99
4	朝塘支线	投入前	0	220	6	0.92	200×3	
		投入后				1.0		
5	桔建支线	投入前	1	225	5	0.87	150×3	
		投入后				0.98		
6	文顺支线	投入前	1	220	5	0.90	100×3	
		投入后				1		

(监测时间:2007 年 2 月 27 日 19:30)

序号	安装地点	前后比较	投入组数	电压(V)	电流(A)	cos φ	安装容量(kvar)	总路负荷
1	慧剑支线	投入前	2	225	13	0.66	200×3	投入前 4.1MW/
		投入后				0.99		1.3 MW, cos φ =0.95
2	土禾路	投入前	1	225	7	1.0	200×3	投入后 3.8MW/
40 号杆		投入后				1.0		3.3 MW 0.3Mvar
3	谷华支线	投入前	3	225	18	0.68	200×3	cos φ
		投入后				1.0		
4	朝塘支线	投入前	3	220	18	1.0	200×3	
		投入后				1.0		
5	桔建支线	投入前	1	225	5	0.92	150×3	
		投入后				1.0		
6	文顺支线	投入前	1	220	5	0.67	100×3	
		投入后				0.98		
		投入后	1	220	5	1.00		

6 结论

(1) DDK 无功自动跟踪补偿技术在 10 kV 线路上安装应用成效显著。

通过 10 kV 土禾路 2007 年 1~6 月份的运行数据统计,该线路各项指标达到预期要求:①各支线功率因数都提高到 0.99~1.00 的水平,主干线功率因数从投入前的 0.88~0.90 提高到 0.98~0.996,大幅度提升了线路输送功率和母线电压。②线损率明显下降,该线路理论线损为 12.54%,应用 DDK 后从 2006 年同期 10.77%下降到 6.73%(见表 8),且未出现无功倒送、装置故障等异常情况。达到了节能降损、提

高电压质量的要求,取得了良好的经济效益和社会效益。

(2) DDK 技术针对公共用户多、负荷重的城农网配电线路,具有良好的推广应用价值。什邡供电局 10 kV 农村公用线路共有 16 条,2006 年全年售电量 169.780 9 GWh,线损电量 11.036 6 GWh。其中线损率大于 9.5%且与土禾路结构相似的线路有 6 条,年供电量 38.769 5 GWh,线损电量累计 6.661 GWh,平均线损率 17.18%。如果全面推广应用 DDK 无功自动跟踪补偿装置,线损率可下降到 7.0%,线损电量约减少 3.946 7 GWh,全年增长经济效益 216.67 万元。

(收稿日期:2007-11-13)

云南变压器电气股份有限公司简介

云南变压器电气股份有限公司于 1999 年 1 月 4 日在云南变压器厂(建于 1936 年)的基础上成立,属国有大二型企业、国家二级企业,是国家定点生产 220 kV 及以下电压等级的变压器专业制造厂家之一。

云南变压器电气股份有限公司占地面积 116 126 m²,现有职工 750 人,其中工程技术人员 113 人。公司技术力量雄厚,拥有一批从事变压器研制工作三十年以上,经验丰富的工程师、技术人员及管理人员。

公司拥有各类设备 400 台(套),其中引进的生产线和专业加工关键设备 68 台(套)。先进设备有:从德国乔格公司引进的硅钢片自动纵、横剪切线和德国海德里希公司的 300 m³ 煤油气相干燥设备、美国数控高速冲床、美国数控高速绕线机、意大利数控箔式绕线机、先进的表面处理车间、数控等离子切割机、500 t 折弯机、立式绕线机、片式散热器生产线、160 t 吊车、2 800 kV 冲击电压发生器、2 000 kVA 中频试验机组、7 500 kVA 工频试验机组及其全套试验设备。

公司目前年生产能力 600 万 kVA,主要生产和经营 10~240 000 kVA/10~220 kV 电力变压器、铁道电气化用牵引变压器、特种变压器、H 级绝缘干式变压器及组合式变压器,计有十几大系列,650 多个规格容量,全部采用国家标准和等效采用国际 IEC 标准。由法国 TRANSFIX 公司引进的专利技术,经消化吸收,二次开发出高原型 H 级绝缘“赛格迈(SECURAMID)”干式变压器,达到国际 20 世纪 90 年代末先进水平,投放市场后,即获得用户的好评和欢迎,且已通过两部鉴定。

为满足海拔 4 500 m 及以下高原地区的环境要求,公司特别设计了高原型系列变压器,该类变压器普遍运行于云、贵、川以及青海、西藏等地区,并赢得了良好的信誉;此外,公司还专门研制了耐雷变压器、矿用变压器、农用变压器和最新型的 S9、S10、S11 系列全密封配电变压器系列产品。

云南变压器电气股份有限公司多年来十分注重计算机应用与管理,在全国同行业中处于领先地位。目前拥有计算机 100 多台,CAD 及 CAPP 已广泛应用于产品设计及工艺、企业管理信息系统,MIS 已成熟应用多年,实现了管理信息联网、自动控制、绘制图表和数据处理。目前,公司四分之一的员工普及了计算机技术。

公司在巩固国内市场的同时,还积极开拓国际市场,且在多次国际招标中中标,产品出口巴基斯坦、缅甸、越南、也门、苏丹、喀麦隆等国家和地区(其中 1988 年一次就出口巴基斯坦 1850 台小型全密封配电变压器)。

公司已取得 ISO9001 质量体系认证,但此认证仅是一个起点。公司将本着“用户至上”的原则及“品质为本、不断创新、持续改进、增进顾客满意”的企业质量方针,积极向广大用户提供技术先进、性能优良、质量可靠、价格合理的产品及周到、及时的售前、售后服务;同时,公司坚持以“满足客户的需求”为中心,致力于与客户共同开发、研制新产品,使公司的产品具有广泛的适用性,且能更好地满足广大客户的需求;另外,公司也期望与广大海内外客商就产品销售、技术合作和资金引进等方面建立长期友好的合作关系。

电力变压器的经济运行与分析

刘开全

(乐山电业局, 四川 乐山 614000)

摘要:对两台三绕组电力变压器的并列运行, 单独运行时变压器有功功率损耗随负载的变化情况进行了深入讨论, 同时对电压的影响作了全面比较, 得到两台电力变压器并列运行与单独运行的经济临界负荷 S 。并以乐山电业局城区供电局 220 kV 范坝变电站为实例进行了计算论证, 针对性地提出不同负荷电压下该站电力变压器经济运行方案。

关键词: 电力变压器; 经济运行; 分析

Abstract: The active power losses changing with load are discussed thoroughly when two three-winding power transformers in parallel operation or in isolated operation, at the same time the impacts on voltage are compared completely, so that the economic critical load S in parallel operation and isolated operation of two power transformers are obtained. Taking 220 kV Fanba Substation of Leshan Urban Power Supply Bureau for example, the calculations are carried out, and specifically the economic operation scheme is proposed for power transformer of that substation under different load voltage.

Key words: power transformer; economic operation; analysis

中图分类号: TM406 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0054-03

线损是电力系统中的主要经济指标之一。而电力变压器在运行过程中, 其铁芯要产生涡流损耗和磁滞损耗, 以及电流流过绕组将产生铜损, 其损耗在全部电网损耗中占有相当大的比例, 在供电部门中, 安全经济供电是供电部门工作的宗旨, 而搞好变电站中主变的经济调度工作, 又是安全经济供电的重要一环。一般来说, 一个站的二台主变压器性能差不多, 其任务就在于在二台主变压器的“微小”差异中“捕捉”最大的节电量, 也就是在变电站中实现经济调度。任凭主观臆断是很难“捕捉”节电量的。以乐山电业局 110 kV 及以上电网为例, 2006 年全年网损电量为 2.6463 TWh, 电力变压器损失合计为 0.018 53 TWh, 所占比例达 7%。如何控制电力变压器运行在最佳状态, 减少变压器的电能损耗, 是企业提高经济效益的重要手段。

以二台主变压器为例, 何种情况下一台运行? 又在什么负荷时投切第二台? 在变电站中总的负荷常由二台或二台以上的主变压器并列运行供给, 其原因: ①变电站所供给的负荷一般说来是在若干年内逐步发展起来的, 随着负荷的发展, 便要相应增加主变压器的台数。②当变电站所供给的负荷有较大的昼夜或季节变化时, 可根据需要把某些主变压器切除或投入, 以减少不必要的损耗, 从而提高运行的经济性。③当某一台变压器检修(或故障)时, 其他的变压器仍可供给必要的负荷。由此可见, 实现电力变压器的经

济运行是非常必要的。

1 电力变压器有功损耗和无功损耗

讨论其有功损耗, 忽略电力变压器无功损耗和电压降对有功损耗的影响。下面采用近似公式分析计算。

1.1 双绕组电力变压器的经济运行负荷

$$\Delta P_B = \Delta P_0 + \Delta P_K (S/S_N)^2 \quad (1)$$

式中: ΔP_0 ——变压器额定空载损耗, kW;

ΔP_K ——变压器额定负载损耗, kW;

S_N ——变压器额定视在功率, kVA;

S ——实际通过变压器的视在功率, kVA;

ΔP_B ——变压器有功功率损耗, kW。

在电力变压器中, 铜损等于铁损时, 损失率最小, 效率最高。

$$P_0 = \Delta P_K (S/S_N)^2, S = S_N (\Delta P_0 / \Delta P_K)^{1/2} \quad (2)$$

从式(2)中可以看出电力变压器所带视在功率等于 $(\Delta P_0 / \Delta P_K)^{1/2}$ 倍的额定容量时效率最高, 损耗最小。从变压器技术规范中查得 $\Delta P_0 / \Delta P_K$ 随电压等级升高而增大, 随容量增加而减小, 现行 S9 系列的变压器 $(\Delta P_0 / \Delta P_K)^{1/2}$ 一般在 0.5~0.6 范围, 所以, 变压器所带负荷为额定容量的 50%~60% 时最经济。

当变压器运行工作电压 $U \neq U_N$ 时:

$$\Delta P_B = \Delta P_0 (U/U_N)^2 + \Delta P_K [(U_N/U) \times (S/S_N)]^2 \quad (3)$$

式中: U ——变压器运行电压, kV;

U_N ——变压器额定电压, kV。

最佳效率功率:

$$S = (U/U_N)^2 S_N (\Delta P_0 / \Delta P_K)^{1/2} \quad (4)$$

由式(4)可见:当 $U > U_N$ 时变压器经济运行负荷增大;当 $U < U_N$ 时变压器经济运行负荷减小。

1.2 三绕组电力变压器的经济运行负荷

三绕组电力变压器的有功功率损耗:

$$\Delta P_B = \Delta P_0 + P_{K1} (S_G/S_N)^2 + \Delta P_{K2} (S_Z/S_N)^2 + \Delta P_{K3} (S_D/S_N)^2$$

式中: ΔP_0 ——变压器额定空载损耗, kW;

ΔP_{K1} 、 ΔP_{K2} 、 ΔP_{K3} ——分别为高、中、低压侧各绕组的负载损耗, kW;

S_G 、 S_Z 、 S_D ——分别为高、中、低压侧各绕组的视在功率, kVA。

设一次侧负荷为 $S_G = S$, 二次侧负荷为 $S_Z = K_1 S$, 三次侧负荷为 $S_D = (1 - K_1) S$ 。变压器的经济运行点为:

$$\begin{aligned} \Delta P_0 &= \Delta P_{K1} (S/S_N)^2 + \Delta P_{K2} (K_1 S/S_N)^2 + \Delta P_{K3} [(1 - K_1) S/S_N]^2 \\ \Delta S &= S_N \{ \Delta P_0 / [\Delta P_{K1} + \Delta P_{K2} K_1^2 + \Delta P_{K3} (1 - K_1)^2] \}^{1/2} \end{aligned}$$

从上式可以看出三绕组电力变压器的经济运行与第二、第三绕组的功率分配有关(K_1 负荷分配系数), 当负荷分配为下式时损耗最小。

$$K_1 = [\Delta P_{K3} / (\Delta P_{K2} + \Delta P_{K3})]^{1/2} \quad (5)$$

当 $K_1 = 0$ 或 $K_1 = 1$ 时, 损耗最大, 效率最差。

2 两台主变压器的经济运行

两台容量相等的电力变压器经济运行分析, 在装有两台主变压器的变电站中, 其正常运行方式有两种: 一台主变压器运行, 另一台主变压器停用; 两台主变压器并列运行。

两台主变压器的单独运行, 假定两台主变压器的变比、接线组别、阻抗电压百分比完全相同, 且损耗参数分别为 ΔP_{01} 、 ΔP_{K1} 、 ΔP_{02} 、 ΔP_{K2} 时, 两台主变独立运行的最佳效益功率 S 分别为:

$$S_1 = S_N (\Delta P_{01} / \Delta P_{K1})^{1/2}$$

$$S_2 = S_N (\Delta P_{02} / \Delta P_{K2})^{1/2}$$

当 $\Delta P_{01} < \Delta P_{02}$, $\Delta P_{K1} < \Delta P_{K2}$ 时, 1 号主变压器在任何时候损耗都小于 2 号主变压器, 所以单台主变运行时尽可能选用 1 号主变压器运行。

当 $\Delta P_{01} < \Delta P_{02}$, $\Delta P_{K1} > \Delta P_{K2}$ 时, 两台主变压器切换的临界经济运行功率 S_K 为 $\Delta P_{B1} = \Delta P_{B2}$ 时:

$$S_K = S_N [(\Delta P_{02} - \Delta P_{01}) / (\Delta P_{K1} - \Delta P_{K2})]^{1/2}$$

$S < S_K$ 时 1 号主变压器运行, $S > S_K$ 时 2 号主变压器运行。

两台主变压器的并列运行, $S > S_1$ 或 $S > S_2$ 时, 随 S 增加, 损耗增大, 需由单台主变运行转为两台主变并列运行, 其临界并列点为: $\Delta P_{B1} = \Delta P_{BB}$

$$\Delta P_{BB} = \Delta P_{01} + \Delta P_{02} + \Delta P_{K1} (S/2S_N)^2 + \Delta P_{K2} (S/2S_N)^2 \quad (6)$$

$$\Delta P_{01} + \Delta P_{K1} (S/S_N)^2 = \Delta P_{01} + \Delta P_{K1} (S/2S_N)^2 + \Delta P_{02} + \Delta P_{K2} (S/2S_N)^2$$

$$\Delta S = 2S_N [\Delta P_{02} / (3\Delta P_{K1} - \Delta P_{K2})]^{1/2} \quad (7)$$

Δ 两台主变的最高效率并列点为:

$$\Delta P_{01} + \Delta P_{02} = \Delta P_{K1} (S/2S_N)^2 + \Delta P_{K2} (S/2S_N)^2$$

$$S = 2S_N [(\Delta P_{01} + \Delta P_{02}) / (\Delta P_{K1} + \Delta P_{K2})]^{1/2} \quad (8)$$

当 $\Delta P_{01} = \Delta P_{02}$ 、 $\Delta P_{K1} = \Delta P_{K2}$, 式(7)、式(8)可简化为:

$$\text{临界并列点: } S = S_N (2\Delta P_0 / \Delta P_K)^{1/2} \quad (9)$$

$$\text{量佳效率并列点: } S = 2S_N (\Delta P_0 / \Delta P_K)^{1/2} \quad (10)$$

2.1 两台容量不等的电力变压器的经济运行分析

1) 两台不同容量的电力变压器单独运行的临界点:

当 $S_{N1} < S_{N2}$ 、 $\Delta P_{01} < \Delta P_{02}$ 、 $\Delta P_{K1} < \Delta P_{K2}$ 时, 两台主变切换的临界点为 $\Delta P_{B1} = \Delta P_{B2}$ 时:

$$S = S_{N1} S_{N2} [(\Delta P_{02} - \Delta P_{01}) / (\Delta P_{K1} S_{N22} - \Delta P_{K2} S_{N12})]^{1/2}$$

令: $K_2 = S_{N2} / S_{N1}$ 则,

$$S = K_2 S_{N1} [(\Delta P_{02} - \Delta P_{01}) / (\Delta P_{K1} K_2^2 - \Delta P_{K2})]^{1/2} \quad (11)$$

2) 单台主变压器与两台并列方式转换的临界点:

$$S'' = (K_2 + 1) S_{N2} \{ \Delta P_{01} / [2K_2 + 1) \Delta P_{K2} - \Delta P_{K1} K_2^2] \}^{1/2} \quad (12)$$

式中: K_2 ——两台主变额定容量的比值。

2.2 电压对两台同容量主变压器临界并列点的影响

当 $S_{N1} = S_{N2}$ 、 $\Delta P_{01} = \Delta P_{02} = \Delta P_0$ 、 $\Delta P_{K1} = \Delta P_{K2} = \Delta P_K$ 、 $U \neq U_N$ 时,

$$\Delta P_{B1} = \Delta P_{01} (U/U_N)^2 + \Delta P_{K1} [(U_N/U) \times (S/S_N)]^2 \tag{13}$$

$$\Delta P_{BB} = (\Delta P_{01} + \Delta P_{02} (U/U_N)^2 + (\Delta P_{K1} + \Delta P_{K2}) [(U_N/U) \times (S/2S_N)]^2 \tag{14}$$

$$\text{并列临界点: } S = (U_2/U_{N2}) S_N (2\Delta P_0/\Delta P_K)^{1/2} \tag{15}$$

由式(15)看出经济临界并列点随电压升高而增大,随电压降低而减小。

2.3 变电站主变压器运行电压的选择

对于安装有载调压电力变压器的变电站,可根据不同负荷进行电压调整来实现降损的目标。

1)单台主变压器运行,负荷为 S ,运行电压分别为 U 和 $U + \Delta U$ (ΔU 为有载开关调节幅度,一般为 $1.25\%U_N$ 、 $1.5\%U_N$ 、 $2.5\%U_N$ 三种)时,功率损耗为 ΔP_U 和 $\Delta P_U + \Delta U$ 。

当 $\Delta P_U = \Delta P_U + \Delta U$ 时,临界负荷为 S_1 。

$$\Delta P_U = (U/U_N)^2 \Delta P_0 + (U_N/U)^2 (S_1/S_N)^2 \Delta P_K$$

$$\Delta P_U + \Delta U = [(U + \Delta U)/U_N]^2 \Delta P_0 + [U_N/(U + \Delta U)]^2 (S_1/S_N)^2 \Delta P_K$$
$$S_1 = \{ [U(U + \Delta U)]/U_N^2 \} S_N (\Delta P_0/\Delta P_K)^{1/2} \tag{16}$$

当 $S > S_1$ 时,应在高电压 $U + \Delta U$ 下运行。
当 $S < S_1$ 时,应在低电压 U 下运行。

2)两台主变压器并列,在不同电压下损耗相等的临界负荷为 S_4 。

$$S_4 = [2U(U + \Delta U)/U_{2N}] S_N [(\Delta P_{01} + \Delta P_{02})/(\Delta P_{K1} + \Delta P_{K2})]^{1/2} \tag{17}$$

$S > S_4$ 时高电压运行, $S < S_4$ 时低电压运行。

3)单台主变运行与两台主变并列运行的经济临界负荷为 S_3 。

$$S_3 = [U(U + \Delta U)/U_{2N}] \{ \Delta P_{02} - \Delta P_{01} \Delta U/U \} / [(3 - 2\Delta U/U) \times \Delta P_{K1} (1 + 2\Delta U/U) \Delta P_{K2}]^{1/2} \tag{18}$$

$S > S_3$ 时两台主变并列低电压 U 运行经济; $S < S_3$ 时单台主变高电压 $U + \Delta U$ 运行经济。

3 电力变压器运行实例计算分析

1)目前,乐山电业局城区供电局范坝变电站有主变两台,容量为 $2 \times 120 \text{ MVA}$,其主要损耗计算参数见表 1。

为了计算方便,近似认为 10 kV 侧空载运行。

单台主变压器运行和两台主变压器并列运行可按式(1)、式(6)和式(13)、式(14)分别计算出在不同负荷、不同电压下的有功损耗 ΔP 。按公式 $\Delta P(\%) = \Delta P_B / S \cos \varphi \times 100\%$ 计算线损率,将已知参数分别代入上述公式中可以计算得出主变压器单台运行和并列运行时不同负荷和电压对应的损耗。

2)计算结果分析。①从计算结果可以看出,1号主变压器在 $U = U_N$ 时的最佳效率运行负荷 $S = 0.5 S_N$,与公式(2)计算结果相近。②同为额定电压时,单台运行与两台并列运行的负荷损耗曲线交点 $S_2 = 0.77 S_N$,与公式(3)计算结果吻合。③从1号主变压器单台运行时不同电压的负荷损耗曲线中可以看出,曲线 B'_1 、 B''_1 相交于 S_1 (S_1 不同电压下经济功率的临界点)。当 $S > S_1$ 时, $U \uparrow$, $\Delta P(\%) \downarrow$; 当 $S < S_1$ 时, $U \downarrow$, $\Delta P(\%) \downarrow$ 。

同理,两台主变压器并列运行时不同电压的经济临界负荷为 S_4 , $S > S_4$ 时高电压运行经济, $S < S_4$ 时低电压运行经济。单台主变压器运行与两台主变压器并列运行的经济临界负荷为 S_3 ,当 $S > S_3$ 时两台主变压器并列运行经济,当 $S < S_3$ 时单台主变压器运行经济。

表 1 范坝变电站主变压器参数表

项 目	1 号主变	2 号主变
额定容量(kVA)	120 000/120 000/60 000	120 000/120 000/600 00
额定电压(kV)	230+8×1.5%/121/10.5	230+8×1.5%/121/10.5
空载损耗 ΔP_0 (kW)	90.9	113.6
负载损耗(kW)	418.5/157.4/107.8	396.9/159/104
$\Delta P_{k(1-2)}/\Delta P_{k(1-2)}/\Delta P_{k(1-2)}$		

(下转第 94 页)

工程试运时,其引风机挡板调节机构的位置反馈信号出现失真,当指令为 50% 时,其不定期地上下波动,当指令为 100% 时,在反馈调整到 100% 一段时间之后,又发生波动,甚至有时低到 80% 左右,严重影响了风量的调节。在进行信号失真分析过程中,核查了其信号采集没有故障,因此初步认为是干扰所致。在现场检查发现存在以下一些问题:一是执行机构的信号电缆由于条件限制,敷设在电气专业的电缆沟最底层桥架上,虽然和电气高压电缆有一定距离,但高度不够,容易受到干扰;另一方面,由于执行机构的位置反馈电路是由执行机构自身提供电源,其电路和执行机构一起就地进行了接地,而 DCS 端的 AI 通道也通过机柜接地,形成两点接地的情况,违背了一点接地的原则。由于这种不对称接地所产生的电势 ΔE 、加上其信号电缆位于强电干扰环境的原因,使其所形成的电流叠加在信号上,造成信号发生波动。这种干扰,主要采取在回路中加装信号隔离器,断开干扰回路,以对干扰进行抑制。对于数字量输入/输出(DI/DO)回路,常用的解决方法是对 DI/DO 信号采用中间继电器进行剥离。如对一个马达控制开关反馈输入回路:现场的常开接点闭合时,继电器线圈带电,输出接点闭合,接点信号引入开关量采集卡件。这样,强电就不会串入卡件及信号回路,发生故障时,也主要检修隔离的外回路。

(上接第 56 页)

4 结 论

- 1) S_9 系列的变压器带额定负荷的 50%~60% 时效率最高,损失率最小。
- 2) 根据负荷损耗曲线看出,当 $S < 20\% \sim 30\%$ 的额定容量时,随着 S 的减小损耗急剧增大,所以先上一台主变的变电站选择变压器时,其额定容量应不大于最小负荷的 4~5 倍。
- 3) 单台主变压器的变电站,当 $S > S_1$ 时高电压运行, $S < S_1$ 时低电压运行。
- 4) 两台主变压器容量相等的变电站,当 $S > S_3$ 时应并列运行, $S < S_3$ 时应单台运行。
- 5) 对于两台主变压器容量不相等的变电站并列运行的临界点可按式(11)、式(12)求取。当 $S < S'$ 时,单台小容量主变压器运行;当 $S' < S < S''$ 时,单台

2.5 防静电措施

在 DCS 调试过程中,进入控制室及电子设备室,要穿防静电工作服,在 DCS 卡件拔插时,要戴防静电手套,在电子设备室土建设计时,应考虑采用防静电地板,以减少静电所形成的干扰对 DCS 系统的威胁。

3 通过软件技术解决抗干扰问题

火力发电厂属庞大的系统工程,现场干扰复杂,虽然通过各种硬件措施大大地对干扰进行了抑制,但由于其不可见性以及出现的不确定性,因此仍会有干扰通过各种途径窜入系统中,所以仅仅依靠硬件措施要想从根本上消除干扰是不可能的,因此在进行软件设计和组态时,还必须在软件方面进行抗干扰处理,进一步提高系统的安全可靠性。

4 结束语

火力发电厂热工仪表及控制系统抗干扰是一个重要的技术问题,在系统的设备选型、工程设计和安装调试过程中都要考虑现场的干扰情况,并对系统采取抗干扰措施,利用软硬件技术去解决系统中存在的或可能存在的干扰问题,才能有效地提高整个系统的安全可靠性。

(收稿日期:2007-10-12)

大容量主变压器运行经济; $S > S''$ 时,两台主变压器并列运行。

6) 三绕组降压变压器,中、低压侧的负荷按式(5)计算结果进行分配线损最低。

7) 现已实现无人值班或综合自动化的变电站,可通过计算机应用数学模型式(16)、式(17)、式(18)来实现对电力变压器经济运行方式的控制。

由于农村用电负荷具有季节性强的特点,因而农村变电站主变的负载情况也随着季节的不同而发生显著变化。同时,主变压器在运行时也客观地存在着部分功率损失,这样就应认真地考虑主变压器运行的经济性问题。在具有两台主变压器的农村变电站中,通过对主变压器运行分析,根据主变负载的变化,改变其运行方式,以提高主变的工作效率,从而达到降低电力变压器功率损失的目的。结果既节约了能源,同时也延长了电力变压器的使用寿命。

(收稿时间:2007-10-24)

配网自动化的基础建设及应用

毛 萍

(德阳电业局,四川 德阳 618000)

摘 要:针对大中城市配电网越来越复杂,配电出线越来越多,如何对 10 kV 配电网线路进行检测和控制,是实现配网自动化关键所在。针对德阳市目前城市电网现状并结合城市电网建设规划,重点阐述了配网自动化主站层、子站层及其终端层在德阳局的基础建设和应用。

关键词:配网自动化;主站层;子站层;终端层

Abstract: Aiming at more and more complicated distribution network in large and small cities, and more and more distribution outgoing lines, how to detect and control 10 kV distribution network is the most important technique to implement distribution automation. Based on the present condition and construction planning of distribution network in Deyang, the infrastructure construction and application of main station layer, sub-station layer and its terminal layer of distribution network are described.

Key words: distribution automation; main station layer; sub-station layer; terminal layer

中图分类号:TM76 **文献标识码:**B **文章编号:**1003—6954(2008)01—0057—04

随着国民经济的飞速发展和人民生活水平的提高,对供电质量和可靠性也提出了更高的要求。大规模的两网改造结束以后,配电网的布局得到了优化,但要进一步提高配电网的可靠性,还必须全面实现高水平的配网自动化。

实际上,近几年来中国许多地区已经在不同层次、不同规模上进行了配网自动化的试点工作,也取得了一定的成绩。笔者的单位与东方电子、珠海许继等相关企业合作,在德阳市城区范围配备了闭环运行方式的配电自动化系统。经过几年的运行证明,系统功能和指标达到了一定的设计要求,具有开创性意义。

1 配网自动化的基本问题

尽管中国的配网自动化工作已进入了试点实施阶段,但对于配网自动化的认识仍然众说纷纭,下面仅对配网自动化的概念、范围、任务、可靠性原则进行阐述。

1.1 概念

配网自动化指:利用现代电子技术、通讯技术、计算机及网络技术与电力设备相结合,将配电网在正常及事故情况下的检测、保护、控制、计量和供电部门的工作管理有机地融合在一起,改进供电质量,与用户建立更密切更负责的关系,以合理的价格满足用户要求的多样性,力求供电经济性最好,企业管理更为有

效。

1.2 范围

110 kV 及以下电力网络属于配电网,它包括高、中、低压配电网络,要讨论的配网自动化特指 10 kV 中压配电网自动化。

1.3 任务

1)使整个配电网线损降至最小,提供优质的供电质量。

2)在整个配电网事故情况下,系统能适时分析确定事故原因,排除因瞬间故障造成的不必要的停电事故;对于永久性故障,系统将及时分隔故障段,进行电网重构,保障非事故线路段尽快恢复供电。

1.4 可靠性原则

实施配网自动化的首要目标是提高配电网的供电可靠性,实现高度可靠的配网自动化系统要遵循原则:(1)具有可靠的电源点;(2)具有可靠的配电网网架(规划、布局、线路);(3)具有可靠的设备(一次智能化开关、二次户外 FTU、TTU 等);(4)具有可靠的通信系统(通信介质、设备);(5)具有可靠的主站、子站系统(计算机硬件、软件、网络)。

2 配网自动化系统的基本构成

配网自动化系统是一项系统工程,它大致可分为三个子系统:配网自动化主站系统;配网自动化子站系统;配网自动化终端。

2.1 配网自动化主站系统

主站系统由三个子系统组成:配电 SCADA 主站系统;配电故障诊断恢复和配网应用软件子系统 DAS;配电 AM/FM/GIS 应用子系统 DMS 构成。

1)配电 SCADA 主站系统由前置机服务器(RTU 服务器)、SCADA 服务器、调度员工作站(MMI)、报表工作站、DA 服务器、GIS 服务器等组成。

前置机服务器:它包括若干台前置机服务器。其中一台为主前置机服务器,当服务器出现故障时,从前置机服务器中的一台自动成为主前置机服务器,以保证系统的正常运行,这是由 nap 来完成的。主前置机服务器通过 dater 接收子站通过交换机发送来的数据,由 vcterm 经过规约解释存入当地内存,形成生数据实时共享内存。主前置机服务器通过 rawd 向若干从前置机服务器发送生数据,各从前置机服务器通过 datsrv 接收主前置机服务器发送来的生数据形成自己的生数据实时共享内存。

SCADA 服务器:它包括若干台 SCADA 服务器。其中一台为主 SCADA 服务器,当服务器出现故障时,从 SCADA 服务器中的一台自动成为主 SCADA 服务器,以保证系统的正常运行,这是由 nsp 来完成的。主 SCADA 服务器通过 datsrv 接收主前置机服务器发送来的生数据,经过处理形成熟数据。将形成的熟数据存入内存,形成实时库。同时将形成的熟数据存入硬盘,形成历史库,历史库全系统唯一只有一个。

需要历史数据时,从历史库取数据。取数据的方式有:polling 方式;stream 方式;sql 方式。

整个主站系统为一个局域网,通过交换机或 HUB 连接在一起。

2)为保证配网自动化系统投运后,能够完全满足本系统的技术要求,必须对本系统起至关重要作用的配电故障诊断和恢复功能(即 DA 功能)进行联调测试。在进行 DA 联调测试前,必须保证以下条件完整无误:①主站置库完毕并经反复检查无误;②主站、子站和 FTU 之间的通讯正常;③对要进行 DA 测试的 FTU 进行遥测、遥控、遥信调试,并保证其功能正常;④恢复无故障区段的供电时,必然涉及到变电站出口断路器,因此要对变电站的出口断路器进行遥控测试。另外,在 DA 测试中采用继电保护测试仪模拟故障引起开关跳闸的方式启动配电自动化系统的 DA 功能,完成一次设备的实际动作。

实现故障的自动隔离、非故障区段的恢复可以采

取多种方法,取决于自动化装置的技术特点和整体方案。一般有就地控制和主站远方控制两种方式。就地控制以馈线终端单元(FTU)之间的配合为主,不需要通信通道,通过对线路过流或过压的检测,以及对开关分合闸的逻辑控制实现故障区段的隔离和非故障区段的供电恢复;主站远方控制方式需要有可靠的通信通道,通过主站软件对 FTU 上传信息的分析判断,制定合理的隔离策略和网络重构策略,远方控制配电开关实现故障区段的隔离和非故障区段的供电恢复。

3)配电管理系统 DMS。

(1)从输电系统自动化的发展来看,中国目前已普及了以 SCADA 功能为主的地调自动化系统,但作为更高层次的能量管理系统(EMS)却尚未全面达到,尽管如此,输电系统 SCADA 已经发挥了巨大的作用。由于配电系统较输电网更复杂、更分散,实现综合管理系统水平的配电管理系统(DMS)的难度也就更大。因此,在目前提高中国配电自动化水平成为当务之急的形式下,不能一味求高地希望立即实现 DMS,而是应当学习输电系统自动化发展的经验,首先发展最重要、最实用,也是最能提高配电网自动化水平的配电自动化系统,在使用中不断提高系统自动化水平,丰富系统功能,逐步达到配电管理系统的层次。

(2)德阳局采用的 DF9100 配电主站系统中的 AM/FM/GIS 是配电管理系统的重要功能之一。它是将地理学空间数据处理、计算机技术与电力系统相结合,为获取、存储、检索、分析和显示电力设备的空间定位资料和属性资料而建立的计算机化的数据库管理系统。其中 AM 为自动绘图,FM 为设备管理,GIS 是地理信息系统,AM/FM/GIS 是配电管理系统 DMS 的基本平台。利用 AM/FM/GIS 集成 DMS 系统,建立统一的 DMS 数据库,为各子系统提供共享资料,从而减少资料的冗余度,保证资料的一致性,提供良好的全图形化的人机界面。地理信息系统 GIS 的引入为电力系统应用提供了全新的表达形式,更具有现实性,更直观易用,并对现有应用进一步扩展,使其具备空间管理、运用能力,实现更高一级的管理。电力 GIS 不同与地理意义的 GIS 系统,应突出电力系统应用的特色,与电力系统的其它应用如 SCADA、DMS 等应用紧密结合,充分考虑数据共享、系统集成等关系,避免不必要的数据重复建设、接口不标准等潜在的问题和安全隐患,这样才能突出电力系统特别是配电系

统建设 GIS 的优点和特色。

(3)配电地理信息系统 GIS 与配电 SCADA 系统互联,使实时数据在地理信息图上显示并为 GIS 的空间分析子过程提供数据,德阳局配网 GIS 与 SCADA 实时数据同步。

配网 GIS 系统本身就支持 SCADA 实时数据的显示,但由于 GIS 系统运行在德阳局办公自动化 10 网段上,而 SCADA 系统运行在 191 网段上,目前为了实现 GIS 系统的实时显示,利用 WEBSRV (双网卡设置 191 和 10 段 IP) 机器作为 SCADA 实时数据转发服务器,10 段的 GISSRV (10 网段的 SCADA 服务器) 作为 SCADA 实时数据接受服务器,利用转发程序实现两个不同网段的实时数据同步。

2.2 配网自动化子站系统

因为配网监控设备点多面广,配电 SCADA 系统的系统测控对象既包含较大容量的开闭所、环网柜,又包含数量较多、分布较广的柱上开关,不可能把所有的站端监控设备直接连接到配电主站,因此必须增设中间一级,称为配电子站(SUB-STATION),由其管理其附近的柱上开关、开闭所、配电站端监控设备,完成“数据采集器”、馈线监控、当地监控及馈线重合闸的功能;并将实时数据转送配电主站通信处理器,这样既能节约主干通道又使得配电自动化主站 SCADA 网络可以继承输电网自动化的成熟成果。德阳市的配电子站设置在为该配电网供电的 110 kV 变电站内。这种方式适合于配电网比较狭长并且主变电站到配网自动化主站具有可利用的光纤或其它高性能数据通道的情形。配电子站实际上是一个集中和转发装置,一般采用工业控制 PC 机和多路串行口扩展板构成。它与柱上开关控制器(FTU)采用面向对象(开关)的问答规约,允许多台 FTU 共用一条通道,配电子站既要通过查询各 FTU 收集现场信息,并存入实时数据库中,又要根据数据库中的值向配电 SCADA 系统上报信息。德阳局采用的 DF9200 子站系统具有以下特点。

首先它最多可以配置 42 个通讯端口,用于与配电站端、配电主站及其它智能设备通讯,收集户外配电站端或其它智能设备的实时信息,转发到配电主站,将配电主站的控制信息转发至配电站端;收集馈线远动站端信息,完成故障识别、故障隔离和恢复供电的功能;具有设备自诊断和远方诊断功能;具有通道监视功能;具有与两个以上主站通讯功能等。

其次通信规约丰富,支持目前流行的所有规约,目前德阳电业局的 DF9200 子站与珠海许继 FTU、TTU 的通信用到了 DNP3.0 规约;DF9200 子站与东方电子配网主站的通讯用到了 IEC104 规约。

2.3 配网自动化终端

城市配网自动化终端负责对城域所辖的柱上开关、开闭所、环网柜、配电变压器等进行监控,既要实现 FTU、TTU 等的三遥功能,又要实现对故障的识别和控制功能,从而配合配网自动化主站及子站实现城区配网运行中的工况检测、网络重构、优化运行以及配网故障时的故障隔离和非故障区域的恢复供电。

为本系统配套的 WPZD-110 型 FTU,其容量为 9 路遥测量,8 路遥信量,4 路遥控量,具有与上级站通讯的 RS-232 接口,也有与下级站通讯的 RS-485 接口。其主要功能有:数据采集和处理,远方控制与当地控制,故障识别、故障隔离和负荷转移,接受远方指令及转发采集的数据信息,具备相适应的通信功能等。

德阳市城局配电网采用环网结构,电源取自馈线的不同母线,按闭环方式运行。配电网络的构成有电缆和架空线路两种方式。其中架空线路双电源手拉手供电是以往最基本的形式。线路主干线分段的数量取决于对供电可靠性要求的选择。理论上讲,分段越多,故障停电的范围越小,但同时实现自动化的方案也越复杂。那么要实现系统对各段的故障能够自动准确识别并切除,且最大限度缩短非故障区域的停电时间的愿望,也就更有难度。而电缆网络多采用具有远方操作功能的环网开关,对一次设备和通信系统的要求高,同时前期的资金投入也就高,适合于经济较发达的城区。随着经济和城市建设的快速发展,城市的架空线不仅影响城市形象,对提高配电网自动化供电可靠性也有一定的影响,四川省的城网改造工作分两批启动,对德阳市而言应抓住这个契机,在综合考虑目前的资金、长远的发展规划和产生的长期经济效益等因素后,应加大 10 kV 配网线路改造工程的力度。2007 年年初德阳市城局配网改造工程共投入资金 2700 多万元,计划完成旌南片区、河东、河西、城南、城北片区等 11 条线路的改造,旨在优化城市配电网络,改善电网基础,解决 10 kV 线路过载问题,缓解德阳市未来几年用电紧张局面,截止 2007 年 6 月德阳局已完成了 10 kV 德东二路、10 kV 旌庐西路新建工程的投运,共完成导线架设 42 km,电缆敷设 15

km,改造新立杆塔400多基。

3 通信

配网自动化的通信包括主站对子站、主站对现场终端、子站对现场终端、子站之间、现场终端之间的通信等广义的范围。通信是实施配网自动化的一个重点和难点,区域不同、条件不同,通信方案也多种多样,主要有光纤、有线电视、电力载波、微波、扩频等,但就目前配网自动化技术不够成熟的情况下,采用混合通信方案是比较符合实际的原则。德阳局实现的方案为:主站与子站之间采用单模光纤,并以光纤以太网方式相连,通过协议转换器、交换机等实现主站与子站的通信;子站与干线上的FTU、开闭所、环网柜之间采用单模光纤,通过光纤双环相连(采用单模双发双收的光MODEM)实现带自愈的双环通信。正常情况下,只有一个环路在使用,当发生故障时,光端机能自动检测故障点,启用第二个环路完成通信,正常装置仍能保持通信畅通和链路完好。

4 配网自动化实施中应注意的问题

1)配网自动化的实施涉及的部门多,投资大,是一项系统工程,因此配网自动化的规划是必不可少的,必须结合当地配电网的发展规划,制定详细的配网自动化的实施计划,整体考虑,分期分批实施,同时要供电企业内部信息化建设相协调。另外,从供电局的实际需要和发展需求出发,目前的配网自动化系统应该实现配(网)调(度)合一的设计,技术上统一平台,管理上易于维护,经济上节约资金,同时也奠定了

将来电力企业信息化的基础。在实施过程中,注重已有的调度自动化的升级改造与建设配网自动化统一考虑,新上调度自动化与建设配网自动化统一考虑。

2)配电线路设备的户外运行环境,对开关设备、配电终端设备等提出了更高的要求,必须考虑雷击过电压、低温和高温工作、雨淋和潮湿、风沙、振动、电磁干扰等因素的影响,在开关的外绝缘材料、电子设备的设计、元器件的筛选等方面应综合考虑其性价比。此外,配电自动化系统中的站端设备进行远方控制的频繁程度比输电网自动化系统要高的多,因此要求配电自动化系统中的站端设备具有更高的可靠性。

3)配电终端设备中的电源用于控制开关动作,正常情况下从线路中取得,线路失电后的后备电源应具有较高的可靠性。

4)在实施配网自动化后,降低了运行人员的劳动强度,提高了劳动效率,使运行人员对网络的运行状况掌握得更全面更快捷,为供电企业创造更好的经济效益和社会效益。配网自动化的实施,改变了配电网传统的运行管理方式,但对运行人员提出了较高的要求。

5 结束语

经济的发展对配电网自动化提出了更高的要求,配电网自动化也是电力系统现代化发展的必然趋势。技术在发展,需求也在提高,应参照发达国家和地区的经验,结合实际情况,综合考虑近期与远期、全局与局部、主要与次要的关系,进一步设计开发出先进、通用、标准的配电网自动化系统,对电力市场的发展具有重要意义。(收稿日期:2007-11-20)

(上接第4页)经济效益,输送大容量的电能到各种长度的远距离外的受端系统。这是一个值得关注并具有中国自主知识产权的课题。

参考文献

- [1] Oille I. Elgerd. Electric Energy System Theory, McGraw-Hill, 2nd Edition, 212-214.
- [2] 舒印彪. 我国特高压输电的发展与实施[J]. 中国电力, 2005, (8): 9-12.
- [3] 滕福生, 滕欢. 面向波阻抗的长距离输电研究[J]. 电网

技术, 2007, (31)6: 70-72.

- [4] J. Yang, M. D. Anderson. PowerGraf: An Educational Software Package for Power Systems Analysis and Design. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, (13)4: 1205-1210.
- [5] 冯全跃, 李广泽. 动力工程师手册[M]. 西北电力设计院, 1992, 211.

(收稿日期:2007-11-18)

作者简介:

滕福生(1929-), 教授, 博士生导师, 长期从事电力系统和长距离输电的教学、科研和工程技术工作。

电力系统短期负荷预测新方法

唐杰明, 刘俊勇, 刘友波

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 在分析短期负荷预测特征及其主要影响因素的基础上, 比较了专家系统、神经网络、支持向量机这些新一代短期负荷预测方法和组合模型的优缺点, 综述了近年来上述方法的应用及研究情况, 重点介绍了支持向量机和组合模型两种预测方法, 指出了智能化、组合模型、区间概率化是未来短期负荷预测方法研究的主要发展方向, 并就短期负荷预测实用化提出了建议。

关键词: 电力系统; 短期负荷预测; 智能方法; 组合模型

Abstract: The advantages and disadvantages of the new methods such as expert system method, ANN, SVM and hybrid ensemble model are compared based on features of short-term load forecasting and the main effects, and the researches and application of the above-mentioned methods are summarized. Two kinds of technologies, SVM and hybrid ensemble model, are emphasized, and finally the future development of short-term load forecasting is described as intelligent technique, probabilistic forecasting and hybrid model, and some advices of practice in this field are presented.

Key words: power system; short-term load forecasting; intelligent technique; hybrid ensemble model

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0061-05

负荷预测是指从历史负荷数据及其相关因素等资料出发, 运用一定方法去合理推测将来一定时段的负荷需求情况, 它是保证系统安全稳定运行与电能质量的基础, 在电力系统中具有独特的重要性。从时间框架看, 可分为长期、中期、短期、超短期以及节日预测, 其中短期负荷预测是负荷预测的重要组成部份, 它对于电厂的发电计划、竞价上网、电能量交易合同、运行及调度方式等起着重要的作用。提高短期负荷预测水平有助于经济地安排发电机组启停, 合理制定检修计划, 维持电网安全运行, 降低发电成本, 提高电能市场交易水平, 从而提高系统的安全、经济与社会效益^[1], 因此有必要对短期负荷预测进行深入研究。

1 短期负荷预测特征与基本模型

1.1 短期负荷预测特征分析

虽然短期负荷变化具有随机性, 但也具有规律, 所以未来负荷在某种程度上是可以预测的。预测的关键在于根据负荷的影响因素找出一定时期内的负荷发展、变化规律, 其影响因素主要包括当地经济水平、生活习惯、气候因素、用电政策等, 因此, 短期负荷预测具有如下特征:

1) 预测方案的多样性, 预测方法的选择及预测

模型建立对于预测的准确性有决定性的影响。

2) 预测结果的确定性和不确定性, 预测结果只在一定范围内具有精确性。

3) 预测结果受多种因素和随机干扰的影响。

4) 各种负荷预测都是在一定条件下进行的, 仅当条件与实际大致相符时, 预测才比较可靠。

1.2 短期负荷预测的基本数学模型

短期负荷预测模型较多, 以历史负荷数据和负荷相关因素作为影响因素建立预测模型, 其短期负荷预测模型可表达为: $y=f(\vec{x}, \vec{s})$ 式中 $\vec{x}$ 是各种影响因素组成的向量包括: 历史负荷数据、气候、日期类型、时间等相关因素, $\vec{s}$ 是预测模型的参数向量, 它由具体模型和实际系统的情况所决定, y 是待预测量。

基于上述特征, 近 10 多年来国内外提出了具有人工智能特点的短期预测新方法, 较传统方法在考虑预测随机性、不确定性等方面有了一定程度的改进, 但仍然存在不足。对这些新一代预测方法的特点进行分析, 并指出了现有方法的不足和未来发展方向。

2 短期负荷预测的新方法

2.1 专家系统方法

专家系统是一个基于知识程序设计方法建立起来的计算机系统^[1], 它拥有某个领域专家的知识和经

验,能模拟专家思维决策过程,通过推理在领域内做出智能决策。其用于短期负荷预测具有一些独特优点:能避免复杂的数值运算;能汇集多个专家的知识,最大限度地利用专家能力,考虑的因素较为全面;在出现错误时,可修改知识库而不用修改主程序,使系统易于扩充;具有较强的处理大扰动的能力,在节假日、重大社会活动、突发事件等情况下的短期负荷预测中可以起到重要的作用。但也存在一些不足:专家经验知识转化成数学规则非常困难,预测知识库形成过程较复杂且难度大;开发的专家系统针对性强,难以直接应用于其它系统;不具有自主学习能力,受数据库里知识总量的限制,对知识库中未有的突发性事件的适应性能力较差。因此通常是将专家系统、神经网络、模糊理论等相结合,综合考虑气象、节假日、特殊事件等因素对负荷的影响,用于修正预测结果^[2,3]。

2.2 人工神经网络(ANN)方法

人工神经网络是由处理单元组成的一种并行、分布式信息处理结构,处理单元之间可以按连接的单向信道相互连接。人工神经元是神经网络的基本计算单元,它模拟了人脑中神经元的基本特征,一般是多输入、单输出的非线性单元,有一定内部状态和阈值。目前用于负荷预测的人工神经网络主要有BP网络、RBF网络等^[4,5],人工神经网络可通过样本学习充分逼近任意复杂的非线性关系,能方便地考虑多种因素对短期负荷的影响;具有信息记忆与综合、自主学习、自适应能力和较好容错性,在处理实时性要求高的问题上有较大优越性。但该方法也有一些不足:基于经验风险最小化原理的神经网络学习算法其泛化能力存在理论上的缺陷,易陷入学习不足或过拟合现象;神经网络使用一般非线性优化算法,存在收敛慢、易陷入局部极小、求解结果对初值依赖性较强等问题;网络结构确定、输入变量选择等缺乏有效理论指导,主观依赖性强;在网络结构和输入变量一定的情况下,样本及样本训练集在很大程度上决定了模型的训练时间和模型的泛化能力。因此基于神经网络的短期负荷预测方法的研究重点在于:如何确定网络结构、如何选取恰当的输入向量和如何构建样本及训练集等。

文献[4]综述和评估了从1991年到1999年期间提出的各种神经网络短期负荷预测方法及文献,有助于了解神经网络运用于短期负荷预测的情况、基本思

路和步骤:文献[5]利用相似日的输入向量在向量空间中距离较近,在小空间范围内用RBF网络拟合负荷与影响因素之间的非线性关系来提高预测精度;文献[6]结合神经网络和小波分析法,将小波分析的序列分解及重构技术运用于短期负荷预测。此外,有的学者运用混沌时间序列分析技术获取最佳嵌入相空间维数与延迟步长,并以此选取神经网络的输入向量;也有学者利用粗糙集理论选择输入变量和确定神经网络结构,还有学者利用主成分分析法进行特征抽取,消除了输入变量的冗余;这些都在一定程度上改善了预测效果。

2.3 支持向量机类预测方法

支持向量机类预测方法包括支持向量机(SVM)和最小二乘支持向量机(LSSVM),SVM是在统计学习理论^[7]基础上提出的一种新机器学习方法,它基于结构风险最小化原理和VC维理论,通过有限样本信息在模型复杂度和学习能力之间寻求最佳折衷,在实现最小化样本点误差的同时,缩小了模型泛化误差的上界,使所建模型的结构风险最小,从而获取最佳推广能力。LSSVM是支持向量机的一种扩展,在支持向量机模型中把损失函数设定成最小二乘损失函数,把不等式约束改为等式约束,就可得到最小二乘支持向量机模型。最小二乘支持向量机的求解最终可转化为线性KKT方程组的求解,因此其在保留支持向量机小样本、结构风险最小化等优秀特性的前提下,大大降低了求解的复杂性,提高了支持向量机的实用性。

支持向量机类方法和神经网络方法相比具有以下优点:基于经验风险最小化原则的神经网络只有在样本数趋于无穷时,才可能具有最优泛化能力,而基于结构风险最小化原则并针对有限样本学习的支持向量机方法能有效地防止过拟合现象,具有良好的泛化能力;神经网络需要预先确定模型结构,而支持向量机具有自适应的模型结构,避免了神经网络结构选择的主观性;支持向量机具有全局最优解,不存在神经网络方法的局部极值问题;支持向量机在建模过程中使用了核函数方法代替内积计算,其算法复杂性与样本维数无关,巧妙地解决了神经网络可能存在的维数灾难问题。然而支持向量机类方法也存在一些不足,其预测效果对训练集样本仍然依赖过大、对模型参数依赖较强;此外核函数和输入向量的选取主观性仍然较强。

文献[8]通过使用与预测点季节属性相同的历史样本来构建训练集,成功地将SVM引入了短期负荷预测;文献[9]通过数据挖掘技术,寻找出具有相似气象特征的数据序列,以此构建SVM短期负荷预测模型的样本训练集;文献[10]以负荷值和温度值构建输入向量,将最小二乘支持向量机引入了短期负荷预测;文献[11]运用粗糙集理论对历史数据预处理,构建了支持向量机的输入向量;文献[12]分别用ARIMA和SVM处理负荷的线性因素和非线性因素,结合两模型优势以提高预测效果。此外,有学者利用灰色关联度分析方法,在历史负荷数据库中搜索与预测点负荷变化趋势相近的样本来构建SVM的训练集;也有学者通过运用交叉验证方法选取SVM模型参数和RBF核参数;还有学者尝试将粒子群算法、遗传算法优化SVM模型参数和核参数,以期改善预测效果。

2.4 组合模型预测方法

组合预测方法是指将几种预测方法所得的预测结果选取适当权重进行加权平均的预测方法或在几种预测方法中进行比较,选择拟合优度最佳或标准离差最小的预测方法。组合预测方法可分为传统组合方法^[13,14]和智能组合方法^[16,17]。传统组合方法的关键在于确定基本方法的权系数,其主要代表有等权平均组合预测法和最优加权平均组合法。前者是在对各种预测方法的预测精度完全未知的情况下所采用的一种较稳妥的方法,能降低单一预测方法的预测风险,且有很好的稳定性^[1];后者则依据各基本预测方法对历史数据的拟合误差,建立以误差平方和为最小的目标函数及相应的权系数约束条件,并通过最小化目标函数来求取权重系数的组合预测方法。传统组合方法物理意义清楚,但权值的确定较为复杂并缺乏将各种基本方法进行非线性组合的能力。近年来出现了通过样本训练来确定最优组合权系数的智能化组合方法,该组合方法不限制组合权系数的取值范围,能非线性地拟合各种基本方法的预测结果,但权值的确定依赖于样本及训练集的特征。组合预测方法建立在最大信息利用的基础上,综合多种单一模型所包含的信息,在大多数情况下可改善预测结果。但组合预测方法是在单个预测模型不能完全正确地描述预测量的变化规律时,为了提高预测效果的一种有效的补偿方法,如果能找到一个完全反映实际发展规律的模型,可能比组合方法的预测效果更好。

文献[13]深入探讨了组合模型机理,尝试了负权

重系数方法,分析了组合模型的各种求解方案,指出了最优拟合模型并不具备最佳的预测效果,并提出了较优预测模型概念及实现策略;文献[14]使用拉格朗日乘子法求解组合权重系数,并在权重系数小于0时,近似将误差矩阵的对角元素作为权重系数,简化了权重计算的复杂度;文献[15]建立短期负荷的最优加权组合预测模型,并运用遗传算法求解其权重系数;文献[16]利用神经网络拟合多种基本方法的预测结果与实际负荷数据的非线性组合关系,通过网络训练自适应地调整各种预测模型的权重,实现了对各种基本预测值的非线性智能组合。文献[17]通过虚拟预测法筛选出有较高预测精度的各种神经网络和SVR模型作为基本预测方法,并运用SVR方法对各种基本预测结果进行组合。

3 短期负荷预测方法的发展方向

电力系统市场化和信息化的不断发展,对负荷预测提出了更高的精度和速度要求,这些新要求推动负荷预测方法研究朝着智能化、组合化、区间概率化方向发展。

1) 智能化预测方法具有许多传统方法无可比拟的优势,能很好地处理负荷预测过程中的非线性问题^[1,4,8,10],能建立比传统方法更准确描述负荷成因的模型,因此随着计算机技术的发展,选择智能化方法建立预测模型将逐渐成为一个趋势,这也必将促使智能化方法不断发展、完善。

2) 由于单一预测模型很难准确描述负荷变化的复杂规律,目前已难以进一步提高预测精度,且单一模型的预测结果具有较大风险。而组合预测方法能集结多种单一模型信息,最大程度地利用已知信息,改善预测结果,降低预测风险,因此探索组合预测已成为学者们的共识。运用智能方法进行组合预测,既能避免复杂的权系数计算,又能非线性地组合各方法的预测结果,使得预测更高效,风险更小,因而其具有良好的研究与应用前景。

3) 一方面,电力市场风险分析决策的需求促进了概率性负荷预测的发展,负荷预测误差的分布概率以及概率性负荷预测结果,能让电网企业了解其历史上预测误差的统计规律,使其在市场条件下能够更好地认识到未来负荷可能存在的不确定性,帮助企业及时做出合理的经营决策;另一方面,确定性负荷预测

一般都只是给出一个确定的预测数值,无法确定预测结果可能的波动范围,不同的预测方法其预测结果也不一致,即便是同一种方法也可能由于参数选择的随机性造成预测结果的差别,而概率性预测方法^[18]能给出未来负荷的区间值及其置信度。因此负荷预测研究也逐步向概率性负荷预测方向发展。

4 短期负荷预测实用化建议

负荷影响因素的多样性、复杂性、随机性以及负荷的连续性、稳定性决定了短期负荷预测研究是一个综合性的课题,既离不开扎实的理论基础,又离不开预测的实践经验,为了高效准确地进行短期负荷预测,建议如下:

1) 建议在负荷特性分析的基础上针对不同的负荷模式建立不同的负荷模型,这是改善预测效果的有效途径之一,对于具有不同负荷模式的工作日、休息日、节假日应尽量使用不同的预测思路及模型。

2) 在上述基础上,应根据预测地区的负荷规律和特性,确定合理的历史数据辨识与预处理方法,并充分利用调度、运行、检修等记录来辨识和剔除坏数据并补充新数据,以确保在建模和预测过程中所运用的历史数据具有真实性、正确性、同规律性,这是高效预测的基础。

3) 在建模过程中,应注意纵横方向历史数据的综合运用,应充分合理运用短期负荷的日周期性、同类型日的同一时刻负荷的相似性、同一日上下时刻负荷的连续性等特征,利用历史数据信息的程度越充分,预测效果将越好。

4) 在负荷变化受到气象、温度等多种因素的影响作用较为明显时,为能较方便地考虑多种因素对负荷的非线性影响,应首先考虑以机器学习方法为主的智能预测技术;在实时性要求很高的场合,则应首先考虑运算速度快、准确性较高的诸如基于日周期外推技术等预测方法。

5) 负荷预测的本质就是找出负荷的规律性,因此诸如神经网络、支持向量机之类的机器学习预测方法,在组织样本训练集时,要尽量确保训练集的样本们具有与预测点相同的输入、输出映射函数关系,尽量确保训练集内所有样本在输入、输出映射关系上是相近或相同的,具有这样特性的样本集可以称为“相似样本集”,所以构建预测点的相似样本集是智能方

法高效预测的必要条件,对于传统预测方法,相似样本也是一条提高预测效果的有效途径。

6) 在运用支持向量机或神经网络法进行预测时,应注意理解和区分样本构建和样本训练集构建这两个概念。样本构建是指确定模型的输入、输出目标对,重点在于通过数学手段、经验等确定输入向量;而样本训练集构建是指确定模型的训练模式,即确定哪些样本参与建模中的训练过程,重点是确保参与训练的样本与预测点的样本具有相近或相同的输入、输出规律性。

7) 由于未来负荷趋势与近期负荷的相关性更高,因此在建立负荷预测模型过程中,应尽量贯彻“近大远小”原则和“相似性”原则。例如在选取支持向量机模型参数时完全可以不用交叉验证方法,而基于上述原则使用虚拟预测方法来确定参数,既保证了参数的适用性,又可大大缩短确定参数的时间。

8) 提高预测精度是负荷预测工作者不懈追求的目标,但负荷变化、发展的客观规律在某种程度上决定并限制了预测所能达到的最佳效果,所以在建立实际的负荷预测模型时,不能盲目地提出无限制、高精度的预测指标。对于变化平稳的、有较强规律的负荷地区,建立的预测模型可以有较高的精度要求,反之对于波动大、变化无规律的负荷地区,预测模型的精度要求就应相应地降低。

5 结论及展望

通过分析短期负荷预测特征和综述多种基于智能的短期负荷预测方法,证明了支持向量机类预测方法和组合模型在预测原理、预测效果、预测稳定性等方面具有较强优势,进而指出智能化、组合化、区间概率化是未来短期负荷预测方法研究的主要发展方向。

参考文献

- [1] 牛东晓,曹树华,等.电力负荷预测技术及其应用[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [2] Kwang-Ho Kim, Jong-Keun Park, Kab-Ju Hwang. Implementation of hybrid short-term load forecasting system using artificial neural networks and fuzzy expert systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10(3): 1534-1539.
- [3] Ansarimehr P, Barghinia I, Habibi H, Vafadar N. Short-term load forecasting for Iran national power system using artificial neural network and fuzzy expert system[J]. Power Sys-

- tem Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 2, 13—17 Oct. 2002, 2(10): 1082—1085.
- [4] Hippert H S, Pedreira C E, Souza R C. Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2001, 16(1): 44—55.
- [5] 鞠平, 姜巍, 赵夏阳, 等. 96点短期负荷预测方法及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, (22): 32—36.
- [6] 徐军华, 刘天琪. 基于小波分解和人工神经网络的短期负荷预测[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 30—33.
- [7] 瓦普尼克著, 张学工译. 统计学习理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] Bo-Juen Chen, Ming-Wei Chang, Chih-Jen lin. Load forecasting using support vector Machines: a study on EUNITE competition 2001 [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 1821—1830.
- [9] 牛东晓, 谷志红, 邢棉, 等. 基于数据挖掘的 SVM 短期负荷预测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 6—12.
- [10] Li Yuan-cheng, Fang Ting-jian, Yu Erkeng. Short-term Electrical Load Forecasting Using Least Squares Support Vector Machines [J]. Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Volume 1, 13—17, 2002, (10): 230—233.
- [11] 张庆宝, 程浩忠, 刘青山, 等. 基于粗糙集属性约简算法和支持向量机的短期负荷预测[J]. 电网技术, 2006, 30(8): 56—59, 70.
- [12] Yu-jun He, You-chan Zhu, Dong-xing Duan. Research on Hybrid ARIMA and Support Vector Machine Model in Short Term Load Forecasting. Intelligent Systems Design and Applications, 2006. ISDA '06. Sixth International Conference on Volume 1, 2006, (10): 804—809.
- [13] 莫维仁, 张伯明, 孙宏斌, 等. 短期负荷综合预测模型的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1): 30—34.
- [14] 李林川, 吕冬, 武文杰. 一种简化的电力系统负荷线性组合预测法[J]. 电网技术, 2002, 26(10): 10—13.
- [15] 谢开贵, 李春燕, 俞集辉. 基于遗传算法的短期负荷组合预测模型[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 20—23.
- [16] 张亚军, 刘志刚, 张大波. 一种基于多神经网络的组合负荷预测模型[J]. 电网技术, 2006, 30(21): 21—25.
- [17] Salgado R M, Pereira J J F, Ohishi T. A Hybrid Ensemble Model Applied to the Short-Term Load Forecasting Problem [J]. Neural Networks, 2006. IJCNN '06. International Joint Conference on 16—21, 2006, (7): 2627—2634.
- [18] 杨文佳, 康重庆, 夏清, 等. 基于预测误差分布特性统计的概率性短期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 47—52.
- 作者简介:
唐杰明(1968—), 男, 硕士研究生, 主要从事电力市场及负荷预测研究。
- (收稿日期: 2007—11—10)

(上接第21页) 务护线员, 增加举报破坏电力设施行为的回报等。

2.2.7 针对农村 10 kV 配电网内在因素采取的反事故措施

对于重载 10 kV 和公用台区, 应每月开展负荷监测工作, 对超负荷运行的重变台采取负荷预警制度, 及时制定整改方案转接负荷, 最高负荷率超过 85% 的亦应采取预警转接制度, 做好负荷转接, 必要时可加装低压台区综合监测仪或多功能电子表进行负荷监测。线路上可在负荷高峰期运用红外线测温仪测量导线及连接器的温度, 一旦温度异常, 应立即进行处理, 避免高温熔断导线。线路上安装短路故障指示器, 即使 10kV 线路发生短路故障, 也能快速查出故障点及时排除, 降低事故损失。

对于柱上开关、跌落式熔断器、阀式避雷器、针式

绝缘子、高损配变、并沟线夹等早期投运的残旧设备, 应选用技术参数高的现行产品, 结合全年的停电计划分批轮换。柱式开关可选用零气压的 SF₆ 负荷开关, 跌落式熔断器可选用(H)RW11—12 型, 配变可选用 S9 及以上系列的变压器。对于产权属用户的设备, 宜采用沟通的方法, 阐述设备故障给用户带来的危害, 说服用户定期开展预试工作, 或轮换残旧的设备。

配网建设应以巴中市经济发展规范化为依据, 以满足市场需求为向导, 近期与远期相结合, 依靠科学, 大力加快配网建设的改造步伐, 增强配网的供电能力以适应国民经济的持续增长和居民生活用电质量不断提高的要求, 逐步淘汰高耗能、安全可靠低、维修费用大的设备。建议使用安全可靠高、易维护的新产品、新设备, 努力提升配网安全运行水平, 积极推进配电网自动化。

(收稿日期: 2007—10—10)

四川电网节能减排发电实时调度优化模型的研究

王超

(四川省电力公司调度中心, 四川 成都 610041)

摘要:四川省作为国家第一批实施节能发电调度的试点省份之一,在落实节能减排政策过程中,面临巨大挑战。研究了适用于电网调度员节能减排发电实时调度的优化模型,以指导调度员实时发电调度。该模型依据节能减排发电排序表,结合四川电网发电运行特点,采用小步长最优次序法,以发电能耗最少为目标函数,并以实例计算验证了该模型的正确性。

关键词:节能减排;发电调度;小步长最优次序法

Abstracts: Sichuan is one of the first group experiment provinces of the energy-saving generation dispatching. During carrying on the energy-saving policy, there are great challenges. The real-time generation dispatching optimization model of saving energy and reducing emission is studied, which is useful for grid dispatchers and instructs their real-time dispatching. This model, which is based on the sorting list of the energy-saving generation and the characteristics of generation operation in Sichuan power grid, is used by the way of Merit-Order-Based Dispatch. Its objective function is the minimum consumption of the generation energy. The model is proved accurate by the example computation.

Key words: saving energy and reducing emission; generation dispatching; Merit-Order-Based Dispatch

中图分类号:TM734 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6954(2008)01-0066-03

2007年8月,国务院国资委在京召开中央企业节能减排工作会议,落实《节能减排综合性工作方案》,同期,国务院办公厅印发《关于转发发展改革委等部门节能发电调度办法(试行)的通知》,指出改革现行发电调度方式,开展节能发电调度,减少能源消耗和污染物排放。四川省作为第一批实施节能发电调度的5个试点省份之一,四川电网调度员如何从传统发电调度模式转变为节能发电模式,面临巨大的压力,需要不断摸索和实践。从目前的文献资料^[1,2,3]来看,对节能发电调度,更多的从政策、策略方面探讨和研究,或者针对日前发电计划来建立优化模型^[4,5],而针对电网调度员实时发电调度的优化模型研究却很少。

因此,下面将依据节能减排发电调度原则,并结合四川电网发电运行特点,研究建立适用于电网调度员实时节能发电调度的优化模型。

1 节能减排发电调度原则

《关于转发发展改革委等部门节能发电调度办法(试行)的通知》指出,节能发电调度的基本原则是:以

确保电力系统安全稳定运行和连续供电为前提,以节能、环保为目标,通过对各类发电机组按能耗和污染物排放水平排序,以分省排序、区域内优化、区域间协调的方式,实施优化调度,努力做到单位电能生产中能耗和污染物排放最少。

该文件规定,机组发电排序的序位表(以下简称排序表)是节能发电调度的主要依据。各省(区、市)的排序表由省级人民政府责成其发展改革委(经贸委)组织编制,并根据机组投产和实际运行情况及时调整。这个排序将是今后电力调度的主要依据,适用于所有并网运行的发电机组。

2 四川电网发电运行特点简介

四川作为全国水电资源大省,电网水火电并存,水电比重大,截止2007年6月底,四川电网统调统分装机容量21.7936GW,其中火电机组57台,占41.19%,水电机组250台,占58.81%。为充分利用水力资源,四川电网发电运行有不同于其它省级电网的鲜明特点。

1) 水电厂水库调节能力差。网内具有季调节及

以上水库调节能力的水电厂只有二滩、宝珠寺等 6 个,其余水电站均为径流式、日、周调节水库,不具备有效的调节能力,只能按天然来水发电,在来水最少时发电能力仅为最大发电能力的 30%,而在丰水期来水超过发电引用流量或者为满足电网调峰需要时,径流式电站不得不弃水,无法充分利用水资源。因此,四川电网供电能力受来水的影响,呈现明显的季节性特点,即枯水期电量偏紧、丰水期电量富余。按照节能减排、经济高效利用再生资源的原则,丰水期,季调节及以上水库调节能力的水电厂,以蓄水调峰为主,承担电网调频、调峰、发电及事故备用,力争多发电量;而调节性能差的径流式、日、周调节电站充分利用水量多发电量。枯水期季调节及以上水库调节能力的水电厂年末按来水发电,保持高水位运行,以降低发电耗水率,多发电量。平水期,具有季调节及以上水库调节能力的水电厂在 10、11、12 月,逐渐蓄水保持高水位,年初(1~5 月)按计划消落水位,做好丰水期蓄水准备,其余水电厂按来水发电。

2) 火电机组调峰能力差。近年来,由于煤质差等原因造成火电机组调峰能力大幅降低,大大增加丰水期水电调峰压力。另一方面,为满足电网高峰时段负荷需求,电网不得不安排相对较多的火电机组运行,同时也增加了水电调峰弃水损失电量,对充分利用水能资源,提高电网运行经济性造成非常不利影响。

3) 水火电在不同季节、单日不同时段发电负荷变化大。从四川电网丰枯期典型日用电负荷曲线可以看出,枯水期峰谷差达 3 923 MW,负荷率为 81.62%,丰水期峰谷差达 4 646 MW,负荷率为 79.37%。一方面,枯水期,在全网负荷低谷和平段期间,调节性能差的水电厂必须减少发电出力蓄水,以满足高峰时段负荷需求,火电机组基本高出力运行,并局部参与调峰。另一方面,丰水期,水电多发,火电机组除高峰时段增加发电出力外,其余时段基本保持低负荷,并参与调峰。

4) 各流域来水受气候影响大,各水电厂来水情况不明朗。天气变化不定,从 2006 年大旱和 2007 年上半年洪涝灾害气候来看,青衣江、大渡河、岷江流域水电厂 8 月份多次出现停机避峰和来水骤减交替发生的情况,发电负荷变化非常大,给调度员实时运行发电安排带来非常大困难。

5) 全网煤耗逐渐降低。2006 年以来,随着云谭、

广安、金堂等单机 300 MW 及以上容量机组的投产,以及江油、成都、攀枝花等小火电机组的退役,火电标准煤耗逐步降低。

针对以上运行特点,省级电网调度员在实时发电调度中,除了参照各电厂计划曲线外,还应根据负荷预测结果,在满足电网安全、稳定运行的前提下,按照节能减排策略,科学合理安排发电。因此,如何科学合理地根据不同季节、不同时段、实时地改变已有发电厂排序次序进行发电调度,降低发电调度的盲目性,是调度员必须解决的问题。

在四川电网中,风能、太阳能等可再生能源比重很少,不到 1%。另一方面,考虑电网安全稳定运行因素,进入 AGC 调整容量的机组不参与排序。因此不考虑这两类能源发电机组的优化问题,而主要研究水电和火电机组按节能减排原则调度的优化模型。

考虑到电网调度员值班时间一般为 8 个小时,因此,调度员根据电网实际运行情况,对不同季节、不同时段发电调度的重新排序,以负荷预测 1~8 h 的间隔时段比较合理,特殊时段(如负荷变化特殊、或者电网突发事件)也适用。对发电机组重新排序结果,如表 1 所示。其中,次序 1、2、3 表示先后次序,①代表径流式水电机组类;②代表季调节及以上水库机组类;③代表火电机组类。

表 1 发电排序表

次序	丰水期			平水期			枯水期		
	低谷	平段	高峰	低谷	平段	高峰	低谷	平段	高峰
1	①	①	①	①	③	①	③	③	①
2	②	②	②	②	②	②	②	②	②
3	③	③	③	③	①	③	①	①	③

3 建立优化模型

由于负荷预测精度、天气和事故等因素,日前市场给出的交易计划与电网实际运行的情况会有一定差别,因此,调度员参考发电计划,根据下一个调度时段的发电厂排序和超短期负荷预报,考虑机组限值和爬坡速率情况下,在满足系统安全稳定运行的基础上,按发电能耗最小的目标安排各机组实际发电计划。

在实时调度中,如果需要在日前预调度计划基础上增加购买电量,比如超短期负荷预测比日前负荷预

测值高,则实时调度为上调调度。否则,如果需要减少日前购买的电量,则实时调度为下调调度。

根据排序表,在上调市场中,找出排序最前的机组上调,下调市场中找出排序最后的机组下调。上/下调排序可以是全容量(从最小技术出力到最大出力)。但是上调曲线只有在容量大于预调度计划的部分才有意义,下调曲线只有在容量小于预调度计划的部分才有意义。

3.1 优化模型函数

电力系统为非线性系统,在某一运行点处做一阶Taylor展开可得到线性近似模型。实时平衡市场是在发电计划曲线结果的基础上进行调整,所以采用了线性化的增量交易模型,列写如下:

$$\min f(\Delta P) = \sum_{i \in NG} C_i(\Delta P_i) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in NG} \Delta P_i = \Delta P_{NET} \quad (2)$$

$$\Delta L = S^* \cdot \Delta P \quad (3)$$

$$\Delta G = A \cdot \Delta L \quad (4)$$

$$\Delta L_{\min} \leq \Delta L \leq \Delta L_{\max} \quad (5)$$

$$\Delta G_{\min} \leq \Delta G \leq \Delta G_{\max} \quad (6)$$

$$\Delta P_{\min} \leq \Delta P \leq \Delta P_{\max} \quad (7)$$

式中: ΔP 为机组有功调整矢量; NG 是机组所在节点的集合; $C_i(\Delta P_i)$ 是机组 i 出力增加 ΔP_i 所增加的能耗; C_i 是机组单位发电能耗指标,具体数值由发改委(或经委)确定。 ΔP_{NET} 是全网功率调整总量。 ΔL 和 ΔG 分别是线路和断面的有功潮流变化。 $\Delta P_{\min}$ 和 $\Delta P_{\max}$ 是机组的出力极限约束(包含爬坡速率约束), $\Delta L_{\min}$ 和 $\Delta L_{\max}$ 是线路的功率变化约束, $\Delta G_{\min}$ 和 $\Delta G_{\max}$ 是断面的功率变化约束。 S^* 是灵敏度矩阵, A 是断面—线路关联矩阵。

式(1)~(7)中,约束均为线性表达式,只有目标函数比较复杂。市场模式下,它可以用分段水平线表示,此时的模型为分段线性规划模型。

模型中考虑的电网安全约束主要包括线路热稳定极限和断面的暂态稳定极限。暂态稳定极限采用离线计算出的极限值,并包括正向极限 G_{pos} 和 G_{neg} 反向极限。在实时调度中,根据开关的遥信来判断线路是否运行,从而选择合适运行方式下的断面暂稳极限。

式(2)~(7)中的增量约束只要在开始前计算好,在迭代中不需要重新计算。

$$\Delta P_{NET} = F + X - \sum_{i=1}^{UN} P_{0i} \quad (8)$$

$$\Delta P_{\min} = P_{\min} - P_0 \quad (9)$$

$$\Delta P_{\max} = P_{\max} - P_0 \quad (10)$$

$$\Delta L_{\min} = -L_{\max} - L_0 \quad (11)$$

$$\Delta L_{\max} = L_{\max} - L_0 \quad (12)$$

$$\Delta G_{\min} = -G_{\text{neg}} - G_0 \quad (13)$$

$$\Delta G_{\max} = G_{\text{pos}} - G_0 \quad (14)$$

式中: F 是超短期负荷预测的负荷值; X 是区域交换计划值; P_0 是日前发电计划; L_0 和 G_0 分别是初始状态下线路和断面的潮流; L_M 是线路热稳定约束矢量; G_{pos} 和 G_{neg} 是断面正向和反向暂态稳定极限。

3.2 小步长最优次序法

最优次序法来源于用在经济调度中的等微增率原理,因其计算快速并且鲁棒性好,得到了广泛应用。

图1为最优次序法的计算流程框图。

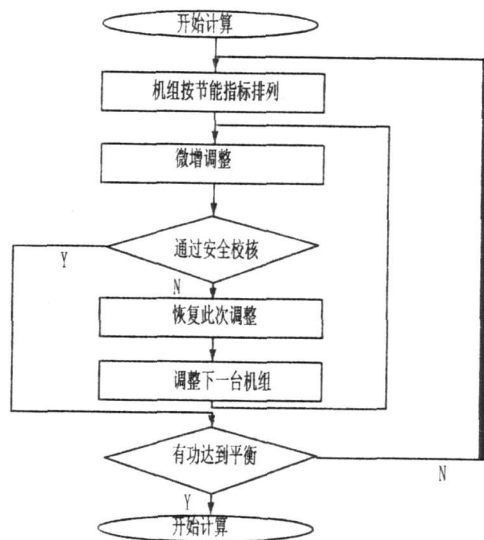


图1 计算流程框图

设系统不平衡功率为 ΔP_{NET} , 机组每次调节小步长为 δ , 当 $\Delta P_{NET} > 0$ 时 $\delta > 0$, 当 $\Delta P_{NET} < 0$ 时 $\delta < 0$ 。此时算法流程可以描述为:

① 形成初始机组排序表, 机组调整计划全部清零, 设置发电调节总量 ΔP 为 0。

② 根据机组的预调度计划、调整计划及实时运行情况, 并参考节能减排指标, 对机组进行排序, 如果是上调调度按由先到后的顺序排序, 如果是下调调度按由后到先的顺序排序。

③ 设置开始调节机组编号 $i=0$ 。

④ 选排从编号为 i 开始排在前边相同的 n 台可

调机组加入到可调机组集合 Ω 中。如果 Ω 为空,那么系统中没有充足的可调发电消除不平衡功率,退出计算。

⑤ 逐台校验这 n 台机组如果调节一个小步长 δ 后是否满足机组技术出力限制、机组爬坡约束、备用和 AGC 机组可调范围约束等机组可调范围约束。从可调机组集合 Ω 中删除不满足约束的机组,并记录是什么约束导致的机组不参加调解。

⑥ 逐台校验可调机组集合 Ω 中可调机组在调节小步长 δ 后是否满足网络安全约束,可以采用直流潮流模型也可以采用交流潮流模型。从可调机组集合引起网络安全隐患的机组,并记录不可调机组是在什么条件下引起什么元件越限了什么约束(线路传输功率、断面传输功率或母线电压等)。

⑦ 检查可调机组集合 Ω 是否为空,如果 Ω 为空转到步骤③,并设置 $i=i+n$,如果 Ω 不为空将其中每台可调机组的调整计划加上调节小步长 δ , ΔP 加上 Ω 中所有机组的总调节发电量。

⑧ 如果 $|\Delta P| \geq |\Delta P_{NET}|$ 跳到步骤⑨,如果 $|\Delta P| < |\Delta P_{NET}|$ 跳到步骤②。

⑨ 计算结束,形成平衡计划。

3.3 计算实例

以四川电网中水火电并存的川西以及眉山、乐山地区电厂为例,这些地区包括 43 个径流式水电站(可调节容量 6 794.8 MW)、3 个季调节及以上水电站(可调节容量 1 560 MW)、10 个火电厂(6 个燃煤、4 个燃气,可调节容量 2 432.2 MW)。限于篇幅,仅以丰水期低谷和枯水期低谷上调调度情况的计算结果来说明模型的正确性。

表 2 丰水期低谷实时发电优化表

(单位:MW)

电厂	计划出力	调整出力	未满足发电厂
径流式水电	6 462.5	+193.56	共 9 个
季调节水电	1 345	+214.83	
火电	655	金堂+74.53	均未满足
合计	8 462.5	+382.92	

表 2 是丰水期低谷时段节能发电调度计算结果,可知:在功率缺额 382.92 MW 情况下,水电在完成日前发电计划基础上,首先将安排径流式水电满发,未满足发电厂(如龚嘴、冷竹关、小关子、阿坝地区水电厂)受电网稳定要求限制,其次安排季调节及以上水电参

与部分电力调节,剩余电力调节由金堂电厂完成调节,其余火电机组基本在最低技术出力运行。

表 3 丰水期低谷实时发电优化表

(单位:MW)

电厂	计划出力	调整出力	未满足发电厂
火电	2 166.2	+246.19	
季调节水电	1 245	+313.0	
径流式水电	655	+129.75	共 38 个
合计	8 462.5	+688.94	

表 3 是枯水期低谷时段节能发电调度计算结果,可知:在功率缺额 688.94 MW 情况下,水电来水较少,为满足高峰时段负荷需求,安排具有日、周调节能力的径流式水电厂蓄水,首先安排火电满发,季调节以上水电参与部分电力调节,尽量保持高水位,剩余电力再由径流式水电完成调节。

从以上分析中,可以看出,四川电网在不同时期的发电调度具有很大的差异,这些差异,都需要调度员根据当值电网运行情况,依据节能减排策略,采取适用的发电调度优化模型方案,以达到充分利用能源、合理降低能耗的目的。

4 结论

通过以上分析和研究,并以实例计算可知,研究的节能减排发电实时调度优化模型,结合四川电网发电运行特点,非常适用于电网调度员实时发电调度,可协助调度员从传统发电调度模式向节能减排调度模式转变,有效地适应了国家节能降耗的经济发展战略。

参考文献

[1] 赵风云.对新型节能发电调度方式的探讨[J].电业政策研究,2007,(3):23—24.

[2] 白建化,张风营.发电调度电力降耗突破口[J].中国电力企业管理,2007,(2):22—23.

[3] 梁志宏.集散式交易模式节能调度的有效选择[J].中国电力企业管理,2007,(3):13—15.

[4] 马瑞.考虑水火协调的多目标优化分组分段竞标模型[J].中国电机工程学报,2004,24(11):53—57.

[5] 赵永龙,牛蓓.四川电网水电运行管理探讨[J].四川水力发电,2004,23(3):81—83.

(收稿日期:2007—12—18)

四川电网稳定调度实时监控自动化系统框架设计

卢鸿宇¹, 刘俊勇²

(1. 四川省电力公司调度中心, 四川 成都 610041; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:四川电网稳定监控项目多,且稳定控制限额的数值随运行参数的变化而变化,给调度实时监控带来巨大困难。提出一种稳定调度监控自动化系统的框架设计,采用离线稳定计算的成果,将影响稳定控制限额的各种因素交给后台系统处理,并将修正后的稳定控制限额及稳定断面潮流等实时数据通过简单、直观的监控画面提供给调度员,改善了调度员传统的人工稳定监控方式带来的繁琐和困难,有效地减轻了调度员工作负担,对保证电网安全稳定运行具有重大的实用价值和意义。

关键词:四川电网; 稳定监控; 自动化系统

Abstract: It is very difficult for dispatcher to monitor the stability of Sichuan power grid, because numbers of monitoring are vast and stability control limitation values vary with parameters of power system operating conditions. To solve this problem, an automatic stability dispatching monitoring system is proposed by use of off-line stability results. Stability control limitation values are modified through background processing. The results and real-time stability values are provided to dispatcher with a simple and intuitionistic monitoring interface. The automatic system makes it easy for dispatcher to monitor stability and it is very important and practical for the security of power grid.

Key words: Sichuan power grid; stability monitoring; automation system

中图分类号: TM734 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0070-03

1 国内外发展状况及进度

1.1 大电网稳定调度监控的重要性

2003年8月14日北美发生了震惊世界的大停电,随后相继发生了澳大利亚、欧洲多国大停电事故,2005年也出现多次大停电事故,其中5月25日在莫斯科发生的俄罗斯历史上规模最大的停电事故影响较大,2005年中国海南、西藏电网发生全停事故,2006年西藏、华中河南电网也出现了较大范围的停电事故。大范围的停电事故,给相关地区工业生产、商业活动及交通运输等经济方面造成巨大损失,并严重影响了人们社会生活。大停电事故受到各国政府和整个社会高度关注。

通过对上述国家和地区大停电事故的深入分析,发现调度员对稳定控制断面监控及调整如果不利,会造成相关设备输送功率接近甚至超过稳定极限,使电力系统安全稳定裕度变小。在这种情况下,一旦系统发生线路跳闸等扰动,将引起潮流大幅度转移,往往造成输电线路严重过载、电压严重下降,引发一系列

连锁反应,最终导致系统稳定破坏和大面积停电事故。

为保证电力系统的安全稳定运行,不仅要建立合理的电网结构、配备性能完善的继电保护系统、并根据电网具体情况设置安全稳定控制装置和相应的失步解列、频率与电压紧急控制装置,更需要对现有电网进行稳定计算分析,具备预防性控制的调度手段,并在电网运行中由调度员实时监控和调整。这样才能组成一个完备的电网安全防御体系,保持电网运行中必要的安全稳定裕度,抵御各种扰动事故。其中,电网稳定调度实时监控具有举足轻重的作用,是确保电网的安全稳定运行必不可少的关键环节。

1.2 大电网稳定调度监控的发展状况及困难

当前,国内外稳定调度监控的主要模式是离线计算相关断面的稳定控制限额,在线实时监测,如南瑞的OPEN3000系统和四川电网使用的加拿大的SNC系统。个别地方采用在线计算及监测模式^[1]。

离线计算的稳定控制限额在电网的实际运行中受环境温度等因素的影响,必须实时进行修正。四川电网结构复杂,稳定监控项目众多。庞大的稳定监控

项目,再加上需要人工实时对稳定控制限额修正,使得调度员在繁重的调度工作中容易百密一疏,遗漏对一些重要稳定断面的监控,造成该断面潮流长时间超极限值运行,严重影响系统的安全。为了保证系统安全稳定运行,减轻调度员负担,四川电网稳定调度监控自动化势在必行。

2 系统设计的目的和要求

2.1 四川电网稳定调度监控需求分析

近年来,四川电网大大加快了建设速度,网络结构明显增强。川西—川南电磁环网已经解环,并形成二滩、石棉雅安、阿坝地区 500 kV 三大水电送出通道,构成四川网内西电东送的新格局。但在用电负荷高速增长的压力下,地区负荷中心受端电网建设滞后问题凸显,局部电网存在安全隐患。通过分析计算,四川电网安全运行存在的主要问题多达 18 项^[2]。经方式离线稳定计算,四川电网需要在线监视的重要稳定断面高达 50 多项,这些稳定断面主要考虑暂态稳定和电压稳定的影响,不包括线路的热稳定。实际运行中,四川电网 27 条 500 kV 线路和 288 条 220 kV 线路(截止 2007 年 8 月统计的数据)的实际潮流必须控制在热稳定限额以内。调度运行中稳定监控的参数主要是各个断面(或线路)的有功、无功负荷以及枢纽厂站的电压值。这些监控数据庞大而复杂,调度监控工作量极大。

调度员在监测到上述系统运行的实时数据后,还得与稳定规定的限额值进行对比,以确定是否满足稳定要求。稳定限额由方式离线计算得来,它往往受环境温度等因素的影响不是一个确定值。因此,调度员还必须在系统运行中对稳定控制限额进行实时修正和选择。

2.1.1 环境温度

不同的季节,不同的温度,造成架空线路导线的允许载流量不同,其稳定控制要求也不相同^[3]。如 220 kV 龚九双回线路潮流春秋季节(15~25℃)稳定控制要求为 360 MW,冬季(15℃以下)和夏季(25~35℃)则分别变为 390 MW 和 340 MW。

2.1.2 枢纽厂站电压

电压作为稳定计算的重要变量,其数值不同,直接影响到稳定计算结果的不同^[4]。四川电网的稳定控制限额是基于电网各中枢点运行电压在电压曲线

范围内算出的稳定计算结果,当二滩 500 kV 母线电压低于典型电压曲线的下限,其它 500 kV 厂站母线电压低于 505 kV,220 kV 枢纽站母线运行电压低于 205 kV,需降低相应断面的稳定控制限额。如当龙王 500 kV 电压低于 515 kV,川西稳定限额由 2 000 MW 降为 1 800 MW。

2.1.3 相关装置投退

系统运行中,很多装置投运与否与稳定限额息息相关,如安控装置、SVC、串补、重合闸等。当川电东送安控投运,二滩电厂最大允许出力为 3 300 MW,安控停运后电厂出力降为 2 200 MW 了。

2.1.4 潮流变化

相关联络线潮流变化会对断面的稳定限额产生影响,如眉山断面的稳定控制限额是以范东线功率在 180 MW 及以下为前提条件,当范东线的功率超过 180 MW,每超过 10 MW,断面控制限额降低 20 MW。而川渝全断面稳定控制限额与鄂渝联络线的实际送电功率值息息相关,二者按比例同升同降,其实时稳定限额值甚至需要公式进行计算,公式如下:

$$P_{\text{川渝限额}} = P_1 + \frac{(P_3 - P_{\text{鄂渝实际}})}{(P_3 - P_4)} \times (P_2 - P_1)$$

式中: P_1 为川渝控制限额下限; P_2 为川渝控制限额上限; P_3 为鄂渝联络线送川渝限额; P_4 为鄂渝联络线送华中限额。渝鄂联络线限额和功率;送川渝取“+”,送华中取“-”^[5]。

2.1.5 重要机组开停

如在金堂和江油电厂只有一台机运行的情况下,川西断面稳定限额需要降低 150 MW。

2.2 稳定调度监控自动化系统设计目的和要求

四川电网稳定调度实时监控目前采用传统方式,即根据系统实时运行情况对方式提供的相关稳定限额进行选择 and 修正,并与通过能量管理系统的 SCADA 功能采集传至调度室的自动化数据进行对比,从而达到稳定监控目的。这在稳定监控数量少且数据直观的情况下是可行的,但通过上述分析,当前四川电网依靠传统的人工监控方式已经远远不能胜任稳定调度监控的实际需要了。因此,设计了稳定调度监控自动化系统来解决这一难题。

为了更好、更全面地监控前文所述的各种稳定信息,四川电网稳定调度监控自动化系统必须满足以下要求。

1) 高效性。该系统充分利用计算机后台处理程

序代替调度员对实时稳定限额进行的人工修正,将调度员从大量琐碎和繁杂的工作量中解放出来,切实减轻调度员负担,大幅度提高了工作效率。

2)实时性。根据系统运行参数时刻发生变化的特点,该系统实时地跟踪参数变化,并迅速地将变化的数据提供给调度员,以便调度员及时掌握当前系统的最新稳定情况,并做出相应调整。

3)直观性。该系统用统一的图表和可视化界面将各种稳定信息及裕度分析清晰而直观地提供给调度员,帮助调度员全面了解当前系统稳定状况,减少甚至避免了目前传统人工监控上的疏漏而给系统造成的安全隐患。

3 四川电网稳定调度监控自动化设计方案

3.1 设计框架

3.1.1 数据采集系统

稳定调度监控自动化系统很多变量需要采集电网运行的实时数据,如潮流、电压、机组开停等,因此本系统利用 SNC 能量管理系统(EMS)的数据库接口系统,每 5 s 采集一次相关数据,并传至本系统的数据库中。

3.1.2 数据库管理系统

用于存储稳定监控项目、相关变量数据及稳定项目历史数据等。该系统对于存储数据源具有高度可靠性,并为人机访问界面提供良好的接口,可以方便地查询和维护各种参数和数据。

3.1.3 人机界面系统

人机界面系统为整个系统提供图形交互式显示和操作接口,其直接用户是值班员和管理员。

3.1.4 核心管理计算系统

该系统为整个监控系统核心所在,它负责将通过采集或人工输入获得的各项数据进行汇总,根据事先设定的算法进行算出稳定实时限额,并与当前数据进行比较,越限发出报警,提醒值班员进行相应调整。

3.2 四川电网稳定调度监控自动化系统设计功能

3.2.1 有效、直观的稳定监控功能

该系统为值班调度员提供稳定监控画面,将调度员需要时刻关注的重要稳定断面的当前值、实时限额值、安全裕度等在统一界面中列出。当稳定断面实际

值越限时发出报警,提醒调度员进行调整。对于热稳定及次要稳定断面等项目,采用当系统实际运行值进入极限值的裕度范围内,才由监控主界面给予项目显示及报警。这样,调度员对系统庞大的稳定项目的监控完全可以做到一目了然、心中有数,调整起来得心应手、游刃有余。

3.2.2 可靠、方便的数据库管理功能

该系统的数据库不仅对各种数据的存储具有高度可靠性,并且调度员(或维护人员)通过维护终端的接口,可以灵活、方便的输入相关稳定监控项目,变量数值设定及稳定限额设置等,以及对稳定历史数据进行查询。

3.2.3 准确、实时的计算功能

该计算系统根据从数据库传来的经采集(或设定)的温度、电压、潮流、装置(机组)启停的实时值,按预先设定的算法修正稳定限额的当前值,并迅速传回数据库和监控主界面。这样既减免了调度员人工修正计算的工作量,又保证了计算结果的准确性、实时性和全面性。

4 结论

提出的系统采用离线稳定计算的成果,对电网稳定进行实时监控,功能简化,界面直观和方便,大幅度减轻了调度员传统稳定监控带来的繁琐、沉重的工作负担,对保证大电网安全稳定运行具有重大的实用价值和意义。

参考文献

- [1] 常辉,刘文颖,行舟,唐晓军.电力系统暂态稳定计算的在线应用[J].电网技术,2007,(13):54—58.
- [2] 庞晓艳,等.四川电网2007年度运行方式[M].四川省电力公司调度中心,2007.
- [3] 梁汉泉,等.2007年丰水期四川电网稳定运行规定[M].四川省电力公司调度中心,2007.
- [4] 何仰赞.电力系统分析[M].北京:电力工业出版社.
- [5] 范锡普.发电厂电气部分[M].北京:电力工业出版社.

作者简介:

卢鸿宇(1975—),哈尔滨工业大学硕士研究生,2000年起于四川省电力公司调度中心从事调度工作。

(收稿日期:2007—12—26)

电力调度自动化系统中物理隔离技术的研究与应用

程碧祥

(四川乐山电业局, 四川 乐山 614000)

摘 要:主要阐述了物理隔离技术的原理、装置的实现以及在电力监控系统局域网中的应用情况。指出在应用物理隔离装置时的几个误区和需要注意的问题。

关键词:物理隔离;安全防护;调度自动化系统(SCADA)

Abstract: The principle of physical isolation technique, the realization of its devices and its application to local area network of supervisory control and data acquisition system are mainly described. And several mistaking understandings during using physical isolation devices are pointed out as well as the points needing attention.

Key words: physical isolation; safety protection; dispatching automation system

中图分类号:TM734 **文献标识码:**A **文章编号:**1003—6954(2008)01—0073—03

电力系统的 MIS 系统是集用电营业管理、生产技术管理、财务管理、人事劳资管理、档案管理等多项管理功能于一体的局域网络系统,它是电力企业实现信息资源共享、无纸化办公的基础。而调度自动化 SCADA 系统是集变电所端设备 RTU 与调度主站端设备于一体的数据采集处理系统,这个系统主要是为监视电网的运行、指挥变电所的倒闸操作及事故处理、保障电网的安全服务的。可见,MIS 系统与调度自动化 SCADA 系统的服务对象、网络安全、及软硬件结构都不大相同,但为了实现资源共享、减少投资,MIS 系统又应该能够调用调度自动化网的实时数据,这就涉及到 MIS 系统(简称 MIS 网)与 SCADA 系统的安全接口问题,中国十分重视电力系统的安全问题,为了防范对电网和电厂计算机监控系统及调度数据网络的攻击侵害及由此引起的电力系统事故,国家经贸委在 2002 年发布了 30 号令《电网和电厂计算机监控系统及调度数据网络安全防护的规定》,该规定要求两个隔离:各电力监控系统必须与办公自动化系统(MIS)实行有效(物理)隔离措施;电力调度数据专用网络必须与综合信息网络及因特网实行物理隔离^[1]。

因为 TCP/IP 是冷战时期的产物,目标是要保证通达,保证传输的粗旷性。通过来回确认来保证数据的完整性,不确认则要重传。而 TCP/IP 没有内在的控制机制,来支持源地址的鉴别,证实 IP 从哪儿来。这就是 TCP/IP 漏洞的根本原因。黑客利用 TCP/IP 这个漏洞,致使能够通过监听或篡改网络上传送的数据、破解密码或者发送蓄意制造的数据来获得机密信息或伤害他人,大多数安全问题都是这个原因^[2]。

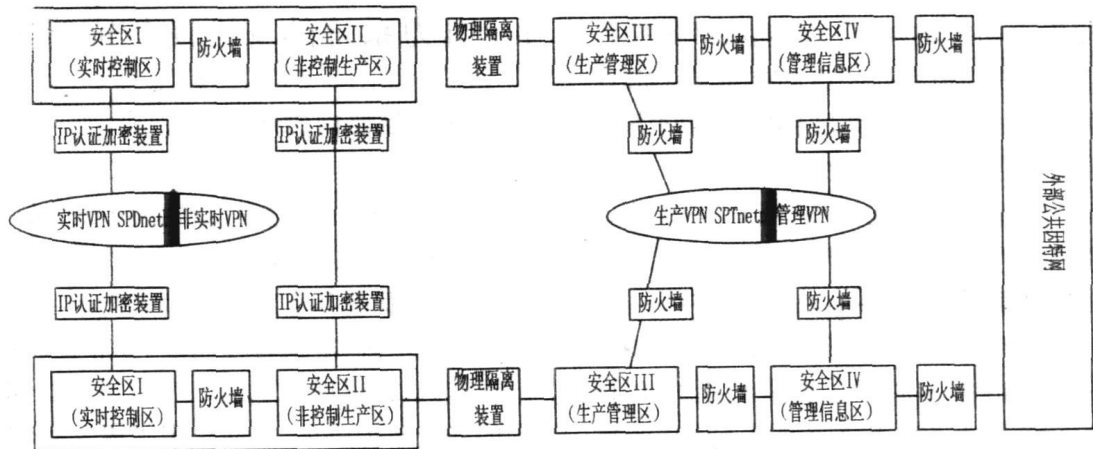
网络安全的主要内容是如何保护网络数据的安全和维持系统的正常运行,人们为了保证网络安全,基本上是使用防火墙。但是传统的防火墙只能在一定程度上保护网络安全,也很难解决内部网的安全问题,而据权威部门统计结果表明,网络上的安全攻击事件有 70%左右来自网络内部的攻击^[2]。另外,防火墙难于管理和配置,容易造成安全漏洞,防火墙管理员必须对网络安全攻击的手段及其与系统配置的关系有相当深刻的了解。根据美国财经杂志统计资料表明,30%的入侵发生在有防火墙的情况下^[3]。

结合目前国内电力调度自动化系统的实际情况,下面从系统安全防护的角度论述了地区电网控制中心自动化系统建设中要着重考虑的物理隔离和安全防护技术的发展及其应用情况,以期为新一代调度自动化系统的规划和设计提供技术上的支持和建议。

1 电力系统的安全防护需求分析

1.1 安全区之间的划分

根据国家电力公司的《电力二次系统安全防护方案(第7稿)》文件,电力二次系统安全防护方案根据电力系统的特点及各相关业务系统的重要程度、数据流程、目前状况和安全要求,将整个电力二次系统分为四个安全区:Ⅰ实时控制区、Ⅱ非控制生产区、Ⅲ生产管理区、Ⅳ管理信息区。对不同的安全区确定了不同的安全防护要求,从而决定了需要实现不同的安全等级和防护水平、隔离强度。其中安全区Ⅰ的安全等级最高,安全区Ⅱ次之,其余依次类推。电力二次系



2) 安全区 I / II 与安全区 III / IV 之间的隔离要求:采用物理隔离装置可使安全区之间物理隔离。禁止跨越安全区 I / II 与安全区 III / IV 的非数据应用穿透。物理隔离装置安全防护强度适应由安全区 I / II 向安全区 III / IV 的单向数据传输。由安全区 III / IV 向安全区 I / II 的数据传输必须首先经安全区 I / II 内的进程发起联接,然后通过建立的链路进行数据传输。

3) 同一安全区间纵向防护与隔离:同一安全区间纵向联络使用 VPN 网络进行连接,安全区 I / II 分别使用 SPDnet 的实时 VPN 与非实时 VPN,安全区 III / IV 分别使用电力数据网的 VPN。

2 目前物理隔离设备的应用现状

目前国内电力系统应用的定向式物理隔离装置主要有两种,按照数据传输方向的不同分为正向式物理隔离装置和反向式物理隔离装置,分别应用于安全区 III / IV 到安全区 I / II 的单向数据传递。

应用的产品包括北京科东电力控制系统有限责任公司的 StoneWall-2000 系列网络安全隔离装置,南瑞信息系统分公司 SysKeeper-2000 网络安全隔离装置;珠海鸿瑞公司的电力系统专用网络隔离仪等。

多数用户参照“三层四区”的安全防护原则将物理隔离装置使用在安全区 III / IV 到安全区 I / II 的单向数据传递上,其中 Ems 系统一般都使用正向式物理隔离装置,而电量系统多采用反向式物理隔离装置。

3 物理隔离设备的安全技术分析^[3]

物理隔离技术架构在隔离上,物理隔离的一个特征,就是内网与外网不连接,内网和外网在同一时间最多只有一个同隔离设备建立数据连接。

3.1 隔断网络之间的连接,保证内网不被入侵

除了定义的数据流,从外网不能访问内网,即使外网被入侵,内网不会有任何破坏。实际的数据和服务都放在内网,外网只是一个应用代理系统,修复外网系统非常容易。物理隔离技术解决了系统本身受攻击的问题。防火墙可以定义安全政策控制数据流,但是本身如果被攻击和入侵,就不能起到任何防护作用。比如防火墙的操作系统,网络协议的实现,都有可能存在漏洞。

3.2 保护内部服务

物理隔离不但能够保证内部系统不会被入侵和篡改,也能保证内部系统开放的服务不会遭到 IP 炸弹的 DOS/DDOS 攻击。当前最流行、最有效的攻击是 DOS/DDOS 攻击,这是建立在 TCP/IP 网络协议的漏洞上的。

3.3 内容检查

内容检查是最高安全性的要求。这是在防火墙技术发展过程中被认识到的。物理隔离技术的内容检查是建立在应用代理上的。所不同的是,物理隔离系统是隔离的双系统,每个系统都采取应用代理,内容检查建立在可信任的内部系统的应用代理上,这样保证了真正的安全。内容检查,包括应用协议检查、命令检查、内容过滤、杀病毒等。

所以,物理隔离技术是建立在首先保证自身安全基础上的,能够屏蔽网络协议攻击和进行内容检查和过滤的安全技术,比防火墙安全。但是与应用协议相关,速度和带宽会比防火墙稍低,所以其应用范围是数据交换形式简单,但是安全性要求特别高的场合,一般是隔断局域网。防火墙一般与应用协议无关,高速度高带宽,可以用于骨干网之间的连接。

4 应用物理隔离需要注意的几个问题

4.1 使用国产物理隔离设备的必要性

由于目前的很多防火墙和路由器也具备将某一个或者几个端口设置为只允许数据单向流通。但考虑到目前多数的防火墙和路由器均由国外厂商提供,在设计时也经常会因为考虑不周而留有“后门”等安全隐患,所以不能一味依赖国外设备,必须使用国产物理隔离设备做为安全防护的最终屏障。

4.2 支持双机热备

由于物理隔离设备直接联系着内网与外网,在实际应用中,可以设置有双机备份,一台工作在主机位置,一台工作于备用位置,两台机器时刻进行通信并进行信息备份,一旦一台隔离设备出现故障时,或者处于看门狗复位阶段,备机可以承担起主机的工作,以避免重要数据的丢失。结合物理隔离设备的荣誉,系统的 MIS 服务器也可以规划为冗余配置,提高系统的可靠性和可行性。

4.3 正、反向物理隔离装置的混用

系统中可以同时使用正向和反向 (下转第 83 页)

烧助燃风。该助燃风:风压 $\geq 2\,500\text{ Pa}$,单只油燃烧器最大风量:约 $1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 。助燃风可直接利用原燃烧器中心风,在每路单独加装手动蝶阀,以方便调整助燃风参数,确保油燃烧效果达到最佳。

热工监控系统主要包括小油枪点火控制系统、图像火焰监视系统、一次风速在线监测系统、燃烧器壁温监测系统等。

4 锅炉采用小油枪技术后的运行效果与结论

1)小油枪能安全、稳定地点燃煤粉,有较高的燃烧效率,不爆燃、不发生二次燃烧。

2)小油枪能与机组启动曲线相适应,保证启动过程整台机组的安全。

3)在机组燃烧不稳定的情况下,快速地投入小油枪点火及助燃系统,通过改善单角燃烧器的燃烧情况进而改变整个锅炉的燃烧状况。

4)运行监视、操作和调整方便、灵活。

两台锅炉安装小油枪点火系统后,点火助燃阶段用油节约80%,低负荷稳燃用油节约70%。运行一

年后,统计燃油实际消耗350 t,则节省燃油1 050 t,其直接节能经济效益达500万元/年。两台锅炉安装小油枪点火设备的初投资总共为240万元。

5 应用研究结果

通过国电深能四川华蓥山发电有限公司两台大型乏气送粉锅炉($1\,025\text{ t/h}$)采用小油枪点火节能技术的应用研究结果表明:小油枪点火技术在锅炉启动过程中能保证启动过程的安全,即安全稳定地点燃煤粉,不爆燃、不二次燃烧;投入功率能满足锅炉点火启动曲线的要求;在正常运行中,不影响主燃烧器的主要功能,不影响整体燃烧组织、不超温、不结渣,能满足锅炉检修周期的要求。该技术具有良好的经济效益与社会效益。

由于国内燃煤市场的变化,各个电厂在设计与实际运行中,燃煤变化都较大。特别对采用乏气送粉的锅炉机组,由于乏气送粉系统本身对煤种的适应能力较差,所以在燃用煤质变化较大,特别是高灰份、低挥发份、低发热量煤时,采用小油枪点火技术对同类电厂有很大借鉴作用。
(收稿日期:2007—11—15)

(上接第75页) 物理隔离装置。但是不能将其等同的视为一个实时的,双向的网络连接。只能通过时间和软件的配合(多种情况需要人工干预),才能完成文件和数据双向传输的要求。

4.4 物理隔离装置和其他安防措施的配合

首先,隔离装置不能取代防火墙,而是与防火墙相辅相成的。目前的做法是将普通防火墙安装在整个电力系统子网和Internet接口处,然后将隔离装置安装在监控系统与信息系统的接口处。这样,在保证监控系统的安全前提下,用户可以使用上网的功能。

同时,物理隔离装置对于系统内部只用防止病毒入侵的功能,并没有查杀毒毒的作用,所以系统依然需要配置杀毒软件和定期维护软件病毒库来防治计算机的病毒。

4.5 系统远程维护功能的使用

通过拨号线路进入系统进行系统的远程维护,方便设备调试,是系统维护的一种重要手段。但考虑到系统安全的要求,应进一步改良远程维护的方式,例如在远方采用模拟系统进行调试的方式,或者在图形监控系统支持下,现场直接操作的方式进一步保证系统的安全稳定。

5 电力系统安全防护的展望

目前还没有一种技术可以解决所有的安全问题,但是安全防护考虑得越周到,针对不同的安防需求制定的措施越得当,网络愈安全。物理隔离装置是目前能够较完备的实现网络安全深度防御的安全设备。

此外,只有不断的加强电力系统内部对信息系统的的教育培训,根据自身的特点和要求,设计和应用更多具有自主知识产权和应用方便、使用安全的设备和系统,才能在更大的范围内推进电力系统信息化建设的进程。

参考文献

[1] Andrens·Tanenbaum Computer Networks[M]·American: prentice hall.
[2] 高志国,龙文辉编·反黑客教程[M]·北京:邮电出版社.
[3] 雷云,凌玉华,廖力清·物理隔离在电力系统中的实现[J]·微计算机信息,2004,(1):107—109.

(收稿日期:2007—12—09)

电力工程可研决策阶段的技术经济工作

张 村

(四川省电力公司发展策划部,四川 成都 610041)

摘 要:基于电网建设新形势需求,分析了输变电工程可行性研究阶段中技术经济工作的特点,提出了规范性技术经济文件的深度要求,并针对此阶段中最为基础的可研估算,分析常见的问题,提出了切实可行的解决方法。

关键词:电力工程;可研阶段;技术经济;特点

Abstract: Based on the new trend and requirements for the construction of power grid, the features of technical economy at the feasibility study stage of the transmission and distribution project are analyzed, and the depth requirements for standard technical economy files are put forward. In view of the most fundamental feasibility estimation at this stage, the common problems are analyzed and the feasible solutions are proposed.

Key words: electric power project; feasibility study stage; technical economy; features

中图分类号:F407.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-6954(2008)01-0076-02

可行性研究是基本建设程序中一个重要的阶段,目前为满足建设“两型”电网的需要,推广通用设计和通用造价,促进标准化建设,加强电网工程项目管理,国家电网公司制定和颁布了《输变电工程可行性研究内容深度规定(试行)》,对今后的可行性研究工作提出了新的要求。在这里,结合四川电网工程建设的特点,就如何做好可行性研究阶段的技术经济做些简要的说明。

1 电力工程技术经济的特点

电力工程属于行业性的工程范畴,按专业主要分为变电工程、线路工程及系统通信工程三大类。

技经专业在可研阶段的主要工作是编制投资估算、参与方案比较、进行项目财务评价及敏感性分析。可研技术经济文件相对有着显著的特点:①所采用的规范文件均为行业性文件和定额,其内容组成和费用分类执行2002年版《电力工业基本建设预算管理制度及规定》;②专业技术性强,工程条件复杂,工程造价可比因素较为有限;③方案比选中,以输变电工程整体为单位进行综合经济评价比较;④工程量较为粗略,多参照历史类似规模工程相应指标设立;⑤外部因素对工程造价影响较大,工程本体费用与建场清理费用的比例逐年减小;⑥项目投资回收期长,因此项目财务评价起着重要作用,需与投资估算同期完成。

2 电力工程技术经济的深度

近年来,国家电网公司集中出台了典型设计、限额设计、通用造价等多项文件和规定,要求各网省公司充分重视电网规划及可研工作,对可行性研究工作提出了细致的要求,可研估算的编制方式和深度较以往已经有了很大的差异。

新规定中,电力工程可研估算的内容深度应满足技经专业审查的要求,编制到表三深度并出版。应包括但不限于以下内容:工程规模的简述、估算编制说明、估算造价分析、总估算表(表1)、专业汇总估算表(表2)、单位工程估算表(表3)、其他费用计算表(表4)、编制年价差计算表、调试费计算表、建设期贷款利息计算表及勘测设计费计算表等。同时需出版主要设备材料价格表。

可研估算应包括造价水平分析,满足限额设计控制指标的要求,同时起到控制投资的作用。在编制过程中需要注意的是:①估算的编制说明应简要清晰地反映出工程的主要规模和技术条件,包括估算编制的主要原则和依据,采用的定额、指标以及主要设备、材料价格来源等;②在其他费用中,土地征用和拆迁补偿等费用应有费用计列依据;③项目核准必需支持性文件的相关费用应按最新文件执行;④工程本体和建设场地清理应分开计列;⑤基本预备费、线路工程长度裕度、设备材料价格、生活福利工程应满足政府核准要求;⑥如工程需进口设备或材料,应说明输变电工

程所用外汇额度、汇率、用途及其使用范围,并出版相应的进口费用表;⑦应提供推荐方案 and 对比方案的技术经济论证,应将输变电工程投资估算与同类工程造价、限额设计控制指标进行对比,分析影响造价的主要因素,并有相应的对比分析表。

经济评价工作执行国家和行业主管部门发布的有关部门文件和规定,并应满足以下要求:应说明输变电工程资金来源、资本金比例、币种、利率、宽限期、其他相关费用、还款方式及还款年限;财务评价采用的有关的原始数据应有依据;收益和债务偿还分析应按计算期、还贷期和还贷后三个阶段分别说明;主要经济评价指标及简要说明应有以下内容:财务内部收益率(全部投资、资本金)及投资回收期;投资利润率、投资利税率及资本金净利润率;偿还贷款的收入来源;当有多种投融资条件时,应对透融资成本进行经济比较,选择条件优惠的贷款;敏感性分析及说明;综合经济评价结论。

3 做好电力工程可研估算需要注意的问题

可行性研究是基本建设程序中一个重要的阶段,可研估算作为此阶段技术经济工作中最为基础的工作,其编制的合理性将直接影响项目的投资决策。而要做好可研估算需要注意以下几点:① 承担可行性研究工作的,必须是有相应资质的设计单位,任何越级越行业的行为都是不允许的;② 转变观念,加强对可行性研究阶段的重视。可研工作是一项专业技术很强的工作。做好这项工作,首先需要的是设计单位、设计人员及技经人员共同的责任感。设计人员必须建立起经济意识,而技经专业人员,也应参照同等

或类似规模工程的工程量及建造价格水平对技术指标进行查核,并提出反馈意见;③ 技术及技经人员都应建立健全工程数据库,并及时予以更新,保持各项指标的时效性和准确性;④ 建立设备材料价格信息网络,实现数据共享,加强设备材料价格的动态管理,及时预测设备材料价格走向。

4 电力工程可研估算中常见的错误

可行性研究估算的编制中,常见有如下问题,需引起有关单位的重视:①设计人员在可研提资阶段,估算的工程量过大,忽略了裕度的合理性,造成工程可研费用偏高;②装置性材料价格未按信息价计入工程本体,而是直接以市场价格计入工程本体,造成费用增加;③调试费用直接计列在工程本体费中,未按要求计列在其他费用中;④未按要求计列项目前期核准必需完成的支持性文件的相关费用;⑤对于建筑工程、线路工程常常以单位工程造价进行框算,深度不能满足可研文件的要求;⑥建设期贷款利息费率不能及时调整,建设周期考虑不合理;⑦设备购置费的参考价格,未合理考虑物资流转及涨价因素;⑧大型的设备运输未制订切实可行的运输方案,单纯进行经验估算,造成费用偏差;⑨对于改、扩建工程,疏漏因新建项目导致的原有设备的改造工程。

可行性研究投资估算是可研设计阶段确定工程总投资的限额,而经批准的投资估算更是工程总投资的限额,没有特殊原因不得突破,因此,为避免给工程项目的后期建设管理带来困难和风险,做好可研阶段的技术经济工作确实是一项有价值、有意义的系统工程。它需要相关各方面的积极配合,甚至需要全系统的共同参与。

(收稿日期:2007—11—22)

(上接第47页) 试验,采用信号注入法的单相接地故障指示器准确选线,并正确定位到该配电变压器。为了保证试验的准确度,前后分别对不同线路进行了两次试验均能达到准确选线和定位。目前该装置已运行两年,前后共动作9次,准确度达到100%,运行状况良好。

5 结束语

差,而且配网中的单相接地故障占故障总数的80%以上,如何快速查找和排除单相接地故障是运行单位迫切需要解决的问题。目前配网中采用的检测方法较多,而信号注入法可以提高单相接地故障指示器的准确性和可靠性。

参考文献

[1] 西北电力设计院等合编·电力工程设计手册[S]·上海科技出版社,1982.

(收稿日期:2007—12—10)

配电网中设备繁多,而且用户设备的健康水平参

灰色检测技术在火电厂热工控制中的应用

钟 茜¹, 杜继伟²

(1. 四川省电力公司电网电力交易中心, 四川 成都 610041;

2. 四川省电力公司遂宁分公司, 四川 遂宁 629000)

摘 要:提出一种基于灰色预测理论的检测技术。此检测技术核心是基于灰色预测模型以及等维的新陈代谢灰色序列模型。最后,把这种灰色检测技术应用到火电厂热工控制系统中,设计出具有灰色预测检测器的火电厂锅炉过热汽温控制系统,仿真结果表明:在具有灰色预测检测器的过热汽温控制作用下,火电厂锅炉过热汽温控制系统具有更好的动态响应,有效地克服了过热汽温系统“大时滞”缺点。

关键词:灰色理论;检测;热工控制;仿真

Abstract: A novel detection method is proposed which is based on Grey prediction theory. The problems occurred in the applications of typical controller with grey prediction detector to thermal control process are solved. The simulation results show that the controller with the novel detector gives a better dynamic response and overcomes the drawbacks of thermal control process.

Key words: Grey theory; detection; thermal control process; simulation

中图分类号:TK32 **文献标识码:**B **文章编号:**1003—6954(2008)01—0078—03

随着现代工业过程对控制、计量、节能增效和运行可靠性等要求的不断提高,各种检测技术要求也日益增加。现代过程检测的内涵和外延较之以往均有很大的深化和拓展。传统的检测方法中仅获取过程参数的测量信息已不能满足工艺操作和控制的要求。在现代的复杂的大型工业控制中,不仅需要过程参数的检测信息,还要要求反映过程二维/三维的时空分布信息以及信息的准确性、实时性等,这样才能有效地实现有效的过程控制、故障诊断、状态监测等。因此,先进的现代检测技术成为人们研究的热点。

目前,对现代检测技术的研究主要有基于工艺机理分析的检测方法,此法主要对工艺过程的化学反应、物料平衡等原理,通过对过程对象的机理分析,建立机理模型,从而实现某一参数的检测^[1,2];基于人工神经网络的检测技术可在不具备对象的先验知识的条件下,根据对象的输入输出数据直接建模,模型的在线校正能力强,并能使用于高度非线性和严重不确定性系统,很好解决复杂系统过程参数的检测问题^[3-4];基于模糊理论的检测技术适用于复杂工业过程中被测对象呈现亦此亦彼的不确定性的参数等情况^[5];还有基于回归分析的检测技术、基于状态估计的检测技术等等,这些检测方法都有一定的局限性,一般只适用某一些工业控制过程。

下面结合火电厂热工控制过程的特点,提出了一种适用于火电厂热工控制过程的新型灰色检测技术,并通过仿真进行验证。

1 灰色预测模型

灰色检测技术的核心是以灰色预测理论为基础。灰色检测系统在接收到外界信息后,首先对采集到受到干扰的灰色数据列进行累加生成,即对原始数据列中各时刻的数据依次累加,累加的结果可大大弱化随机干扰的影响,从而得到新的一次累加生成数据列;再建立G(1,1)模型,最后可以提高预测出下一时刻的信息。其过程如下:

给定量测数据序列

$$X^{(0)}(i) = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N)\} \quad (1)$$

经过一次累加得

$$X^{(1)}(i) = \sum_{j=1}^i X^{(0)}(j) \quad (2)$$

设 $X^{(1)}(i)$ 满足一阶单变量常微分方程

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = U \quad (3)$$

其中: a 为常系数, u 视为对系统的常输入。上述微分方程的解为

$$X^{(1)}(t) = (X^{(1)}(t_0) - \frac{u}{a})e^{-a(t-t_0)} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

灰色建模是依靠式(5)的序列值通过最小二乘法来估计 a 和 u 。

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (5)$$

其中

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(1)}(2) + X^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(3) + X^{(1)}(2)) & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(N) + X^{(1)}(N-1)) & 1 \end{bmatrix}$$
$$Y_N = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \dots \\ X^{(0)}(N) \end{bmatrix}$$

基于式(4), GM(1, 1)的预测模型为

$$X^{(1)}(k+1) = (X^{(1)}(1) - \frac{\mu}{a})e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad (6)$$

用后减运算还原(IAGO), 得预测值:

$$X^{(0)}(k+1) = (X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a})(e^{-ak} - e^{-a(k-1)}) \quad (7)$$

2 等维新陈代谢灰色数列预测模型

灰色预测模型在应用中常常由于两个因素的干扰使模型预测效果受到影响, 一是因为无法合理地确定原始数据的长短, 太短或太长均会影响预测的精确度; 二是由于外界因素的干扰使原有数据的信息量下降, 按时间序列越靠前的信息价值越低, 而这些信息在参加灰色预测时是等价的。这两个因素就束缚着预测模型的准确度。有些文献提出了数据加权的方法来解决数据信息非等价现象, 但又遇到了权系数的确定问题。因此, 下面结合热工过程控制中具有较强的迟滞、大惯性的性质, 采用等维新陈代谢灰色数列预测, 并有效地提高了原有灰色序列预测的预测性能。

1) 设原始数据

$$X^{(0)}(i) = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N)\} \quad (8)$$

据式(7)得到 $X^{(0)}(k+1)$, 去掉最早时间的数据 $X^{(0)}(1)$, 补充新数据 $X^{(0)}(k+1)$, 原始数据变为二次数据, 记作

$$X^{(0)}(i) = \{X^{(0)}(2), X^{(0)}(3)\}, \dots, X^{(0)}(N), X^{(0)}(k+1)\}$$

2) 按式(1)~(7)得到第二次预测值

$$X^{(1)}(k+2) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}]e^{-a(k+1)} + \frac{\mu}{a} \quad (9)$$

3) 依次预测第 $h-1, h$ 步, 得到

$$X^{(1)}(k+h-1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}]e^{-a(k+h-2)} + \frac{\mu}{a} \quad (10)$$

$$X^{(1)}(k+h) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}]e^{-a(k+h-1)} + \frac{\mu}{a} \quad (11)$$

还原得到预测第 h 步数据

$$X^{(0)}(k+h) = X^{(1)}(k+h) - X^{(1)}(k+h-1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}](e^{-a(k+h-1)} - e^{-a(k+h-2)}) \quad (12)$$

从上所述可以看出, 灰色数列预测模型就是进行单步预测, 而等维新陈代谢灰色数列预测模型是实质上进行多步的灰色数列预测, 步数 h 的确定可以依据控制对象的时滞特征, 如果时滞性比较大, 如大容器的温度控制, 往往需要选取较大值来提高控制精度。但是需要指出的是, 随着 h 的增加, 当超过一定的程度, 不可知因素也增加, 预测精度逐渐下降, 大量热工过程控制一般取 $h_{\max} < 9$ 为限。

3 具有灰色检测器过热汽温控制系统

3.1 火电厂锅炉过热系统特性分析

火电厂锅炉过热器是由辐射过热器、对流过热器和减温器等组成, 其任务是将汽包出来的饱和蒸汽加热到一定数值, 然后送至汽轮机去做功。过热器是在高温、高压条件下工作的, 锅炉出口的过热汽温是整个汽水行程中工质的最高温度, 其正常运行温度已接近过热器构成钢材允许的极限温度, 强度方面的安全系数也很小。汽温过高会使过热器和汽轮机高压缸因承受过高的热应力而损坏, 汽温偏低会降低机组的热效率, 影响经济运行。因此过热汽温是影响安全和经济的重要参数。

过热器受热面主要受蒸汽扰动量、过热器吸热扰动量和过热器入口汽温扰动量这三个扰动量的影响。大型机组过热器、再热器受热面结构的特点, 本身决定了汽温对象具有较强的迟滞、大惯性的性质, 此时一般的控制系统难于工作或不准确, 也即是由于滞后或大惯性系统的关键信息不能得到及时的检测, 等到信号测出已是事过境迁。目前, 火力发电厂锅炉过热的温度自动控制系统的调节效果还不理想。一是, 有的主蒸汽温度自动调节运行不可靠, 只好退出自动调节改为手动调节; 二是, 即使投入了过热的主蒸汽温度自动调节系统, 但是锅炉运行中主蒸汽温度还是出现偏高或偏低的情况, 锅炉运行人员只好迅速采用手动调整方式来控制主蒸汽温度。若能将此种信息提前估计出(预测), 则将大大改善生产操作水平和自动控制的效果。针对此种情况, 把基于灰色理论的新型

$$\frac{\mu}{a}$$

检测技术应用到火电厂锅炉过热汽温控制系统。

这里研究的对象为 600 MW 超临界直流锅炉的高温过热器,其过热汽温对减温水量扰动的动态特性(传递函数)为:

(1) 100% 负荷时

导前区: $G_1(s) = 0.815/(1+18s)^2$;

惯性区: $G_2(s) = 1.276/(1+18.4s)^6$ 。

(2) 75% 负荷时

导前区: $G_1(s) = 1.657/(1+20s)^2$;

惯性区: $G_2(s) = 1.202/(1+27.1s)^7$ 。

上面的式子也说明,超临界机组过热汽温动态特性呈现出大惯性、大延迟的特点,而且在不同的负荷工况下,动态特性和模型参数变化较大。

3.2 具有灰色检测器的控制系统的仿真研究

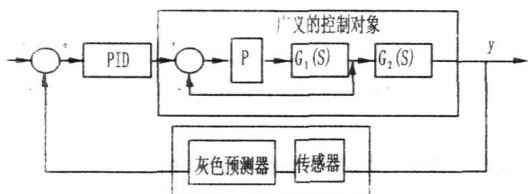


图1 具有灰色检测器的控制系统

主回路的控制算法分别采用普通PID控制方法,整定的参数:副回路的P控制器 $K_P=25$;主回路的PID控制: $K_P=1.2$, $K_I=0.0127$, $K_D=28.6$ 。

对上述的控制系统采用加灰色检测器与没有加灰色检测器进行比较研究,其单位阶跃响应仿真结果如图2、图3。

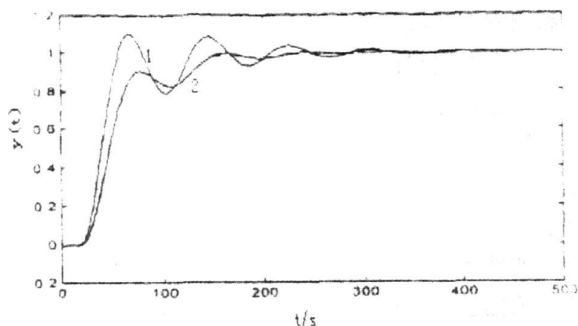


图2 100%负荷模型有和无灰色检测器时的阶跃响应输出

仿真结果说明,对于火电厂锅炉过热汽温这样的大时滞系统,如果不采用灰色预测模型的检测技术,系统将无法很快稳定,而采用等维新陈代谢灰色数列多步预测模型,很快就进入稳定,超调量很小,可以起到明显的改善作用。同时需要指出,随着预测步数的

增加,控制效果得到改善的效果也逐渐减小,这是由于未知因素也在增加。总的来说,灰色序列预测模型(包括等维新陈代谢灰色数列多步预测模型)在处理大时滞对象的仿真上取得了比较理想的效果。

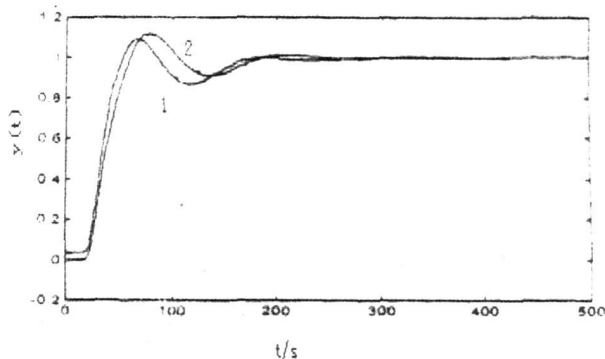


图3 75%负荷模型有和无灰色检测器时的阶跃响应输出

注:图2、图3中曲线1是没有灰色预测时的响应曲线;曲线2是有灰色预测时的响应曲线。

4 结论

针对现有热工过程控制系统大时滞特点,利用灰色预测理论的检测技术,能够有效预测下一步的信息,提前调节或优化控制系统的参数,使其控制效果达到较佳状态。仿真实验证明,这种方法具有较高的预测性能,可以推广于热工设备控制器的研制或优化,以及其它大时滞系统。

参考文献

- [1] 张明君,皮道应,等. 基于工程观点的软仪表开发策略[J]. 化工自动化及仪表,1996,23(6):34-36.
- [2] 于静江,周春晖. 过程控制中的软测量技术[J]. 控制理论与应用,1996,13(2):137-144.
- [3] Willis M J, Montague G A, Massimo C D, et al. Artificial neural network in process estimation and control. Automatica[J]. 1992,28(6).
- [4] Johnson M. Neural network in advanced instrument design. Measurement control[J]. 1996,29.
- [5] 董立忠,张荣祥. 模糊信息处理及其应用[J]. 仪器仪表学报[J],1995,16.
- [6] 王学萌,张继忠,王荣. 灰色系统分析及实用计算程序[M]. 华中科技大学出版社,2001.
- [7] 谷俊杰,贾增周,张栗英,等. 调峰机组的过热汽温控制[J]. 动力工程,1996,16(4):43-45.
- [8] 王东风,韩璞. 基于免疫遗传算法优化的汽温系统变参数PID控制[J]. 中国电机工程学报,2003,23(9):212-217.

(收稿日期:2007-12-19)

小油枪技术在乏气送粉大型电站 锅炉上的应用

郑 剑, 邓光曙

(国电深能四川华蓥山发电公司, 四川 渠县 635214)

摘 要: 由于近年来煤炭市场的千变万化, 实际入炉煤值偏离设计值较大, 实际运行中锅炉投油助燃、稳燃用油量都居高不下。现就小油枪技术在乏气送粉锅炉上的应用研究结果以及在节能方面的作用进行分析论述, 并给出其实际应用效果。

关键词: 小油枪; 乏气送粉; 锅炉; 应用

Abstract: Because of the ever-changing coal market in recent years, the actual values deviate from the furnace design value greatly, the oil consumption for boiler combustion and stable combustion are high in actual operation. The application and research results of the small oil gun on the boiler with exhaust pneumatic pulverized coal convey system and its role of energy saving are analyzed and discussed, and its practical application results are given.

Key words: small oil gun; exhaust pneumatic pulverized coal convey system; boiler; application

中图分类号: TK223 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0081-03

国电深能四川华蓥山发电有限公司Ⅲ期工程装机为2×300 MW 机组, 锅炉型号 DG1025/18.2-Ⅱ4, 亚临界中间一次再热, 采用摆动式燃烧器调温, 四角布置、切向燃烧、乏气送粉、自然循环汽包炉, 单炉膛Π型露天布置, 燃用烟煤, 平衡通风, 固态排渣。

锅炉采用中间储仓式制粉系统, 配四台 DTM350-600 型筒式钢球磨煤机, 设计出力为30 t/h, MCR 工况三台运行, 一台备用。

燃烧器共设置六层煤粉喷嘴, 按 A~F 的顺序等间布置。煤粉管道从磨煤机出口供至燃烧器进口, 每台磨煤机出口由6根煤粉管道接至同一层四角布置的煤粉燃烧器和相邻上层二角布置的煤粉燃烧器。每角燃烧器风箱分成15层, 其中 A、B、C、D、E、F 6层为一次风喷嘴, 其余9层为二次风喷嘴。一、二次风呈间隔排列, 在 AB、CD、EF 3层二次风室内设有启动及助燃油枪, 共12支。为了降低四角切圆燃烧引起的炉膛出口及水平烟道中烟气的残余旋转造成的烟气侧的屏间热偏差, 采用同心反切加燃尽风(OFA)。燃烧器一次风喷嘴采用等间距布置。喷燃器喷嘴摆动采用气动执行机构, 在热态运行时, 一次风上下摆动各30°。锅炉采用典型大风箱结构, 保证四角配风均匀, 在煤粉气流均匀的条件下, 可有效防止切圆偏斜。最下层4只燃烧器改造安装为烟台龙源公司开发的等离子点火系统。

1 锅炉运行存在问题及煤质现状

虽然锅炉最下层燃烧器安装等离子点火系统, 但在运行中发现, 该系统对燃煤质量的要求较高, 而实际运行中的煤质很难达到该系统的要求, 故造成等离子点火效果不佳。同时, 锅炉采用乏气送粉方式, 由于乏气温度低(为保证制粉系统运行的安全, 排粉风机入口干燥剂温度设计为60℃), 不利于燃烧。

虽然对各层点火油枪进行了改造调整, 但实际运行中, 由于煤质因素, 需要投油稳燃的时间较多, 每月油耗居高不下。运行一年, 两台锅炉共耗费约1400 t 0号轻柴油(其中锅炉助燃用油占1000 t; 低负荷稳燃用油400 t)。锅炉实际燃用煤质现状见表1。

2 锅炉小油枪技术的基本原理

小油枪煤粉直接点火技术是利用强化燃烧原理使燃油充分燃烧, 用很小的燃油量(根据燃用煤种不同, 着火温度不同, 燃油量可在50~300 kg/h 之间)就可获得一个刚性较强、温度较高的稳定火炬; 由于该火炬温度可达1500~1800℃, 当煤粉通过火炬时很快受热, 并使煤粉颗粒破裂粉碎, 迅速被点燃。根据分级燃烧的原理, 使煤粉在点火初期就尽可能充分燃

烧,达到煤粉锅炉点火启动和低负荷稳燃的目的。

表 1 设计煤质与实际入炉煤质对比

序号	名称	符号	单 位	设计煤种	实际煤种
1	收到基含碳量	Car	%	52.05	39.71
2	收到基含氢量	Har	%	3.16	2.19
3	收到基含氧量	Oar	%	5.99	3.94
4	收到基含氮量	Nar	%	0.95	0.48
5	收到基含硫量	Sar	%	1.24	2.59
6	收到基含灰份	Aar	%	32.91	43.99
7	收到基含水份	Mar	%	3.70	0.88
8	干燥无灰基挥发份	Vdaf	%	27.50	15.37
9	收到基低位发热量	Q _{net,ar}	kJ/kg	21 050	15 160
10	可磨系数	HGI		82	82

3 乏气送粉锅炉小油枪点火系统关键技术

由于实际燃用煤质较差,为了使锅炉在点火及低负荷稳燃过程中不仅能够安全可靠运行而且尽可能地节省燃油,在锅炉最下层燃烧器安装等离子点火的情况下,将锅炉 B 层四支燃烧器改为小油枪燃烧器,点火过程中与下层等离子点火系统结合使用。

小油枪点火系统主要由小油枪点火煤粉燃烧器及煤粉浓缩装置,强化燃烧油燃烧器,以及炉前油系统、助燃风系统和热工监控系统组成。

乏气送粉锅炉小油枪点火系统的关键技术:拆除原 B 层燃烧器的一次风筒部分及一次风管弯头(接近燃烧器处段),替换为特制的可实现分级点火的小油枪点火燃烧器,该燃烧器自带直角弯头,弯头带煤粉浓缩机构且内衬耐磨材料(也可为耐磨合金钢)。进粉方式为直流,其余一次风管将不做任何改动。不

改变任何现有二次风系统,保持其旋流特性。因进粉方式为直流方式并采用多级燃烧,故每级燃烧筒之间的一次风粉也起到了气膜冷却的作用,从而使燃烧器更加不容易超温结焦。

通过上述技术措施,燃烧器改造后既能够保持与原燃烧器基本相同的通流面积,又能够维持和原燃烧器基本相同的浓淡方式,从而做到在正常运行时最大限度地保持原有燃烧器特性。

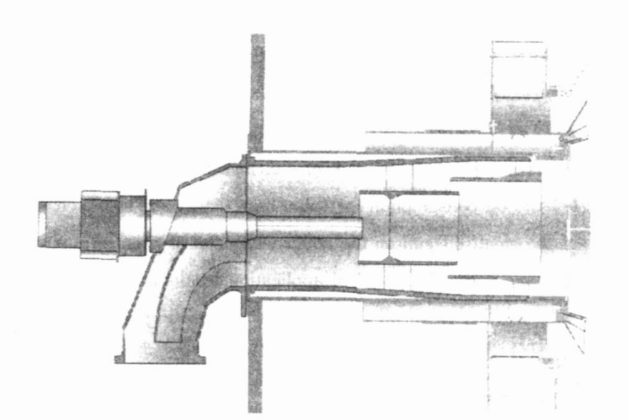


图 1 小油枪点火燃烧器改造示意图

- 主要技术参数:
- 燃烧器阻力:≤600 Pa
- 燃烧器壁温:≤500 ℃
- 燃烧器寿命:≥6 年
- 材质:ZG40Cr25Ni9Si2NR(耐热合金钢)
- ZG40CrMnMoSiNiRe(耐磨合金钢)
- 最高使用温度:1 200 ℃
- 强化油燃烧器包括油枪、配风器、高能点火装置、
- 点火枪气动推进器、可见光火检装置等组成。
- 为保证燃油的强化燃烧,给油燃烧器提供强化燃

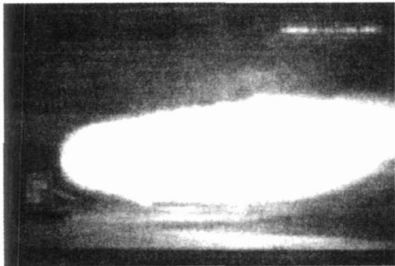
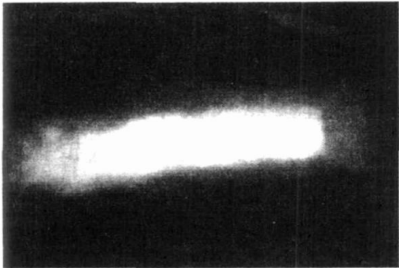


图 2 小油枪燃烧火焰图片

烧助燃风。该助燃风:风压 $\geq 2\,500\text{ Pa}$,单只油燃烧器最大风量:约 $1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 。助燃风可直接利用原燃烧器中心风,在每路单独加装手动蝶阀,以方便调整助燃风参数,确保油燃烧效果达到最佳。

热工监控系统主要包括小油枪点火控制系统、图像火焰监视系统、一次风速在线监测系统、燃烧器壁温监测系统等。

4 锅炉采用小油枪技术后的运行效果与结论

1)小油枪能安全、稳定地点燃煤粉,有较高的燃烧效率,不爆燃、不发生二次燃烧。

2)小油枪能与机组启动曲线相适应,保证启动过程整台机组的安全。

3)在机组燃烧不稳定的情况下,快速地投入小油枪点火及助燃系统,通过改善单角燃烧器的燃烧情况进而改变整个锅炉的燃烧状况。

4)运行监视、操作和调整方便、灵活。

两台锅炉安装小油枪点火系统后,点火助燃阶段用油节约80%,低负荷稳燃用油节约70%。运行一

年后,统计燃油实际消耗350 t,则节省燃油1 050 t,其直接节能经济效益达500万元/年。两台锅炉安装小油枪点火设备的初投资总共为240万元。

5 应用研究结果

通过国电深能四川华蓥山发电有限公司两台大型乏气送粉锅炉($1\,025\text{ t/h}$)采用小油枪点火节能技术的应用研究结果表明:小油枪点火技术在锅炉启动过程中能保证启动过程的安全,即安全稳定地点燃煤粉,不爆燃、不二次燃烧;投入功率能满足锅炉点火启动曲线的要求;在正常运行中,不影响主燃烧器的主要功能,不影响整体燃烧组织、不超温、不结渣,能满足锅炉检修周期的要求。该技术具有良好的经济效益与社会效益。

由于国内燃煤市场的变化,各个电厂在设计与实际运行中,燃煤变化都较大。特别对采用乏气送粉的锅炉机组,由于乏气送粉系统本身对煤种的适应能力较差,所以在燃用煤质变化较大,特别是高灰份、低挥发份、低发热量煤时,采用小油枪点火技术对同类电厂有很大借鉴作用。
(收稿日期:2007—11—15)

(上接第75页) 物理隔离装置。但是不能将其等同的视为一个实时的,双向的网络连接。只能通过时间和软件的配合(多种情况需要人工干预),才能完成文件和数据双向传输的要求。

4.4 物理隔离装置和其他安防措施的配合

首先,隔离装置不能取代防火墙,而是与防火墙相辅相成的。目前的做法是将普通防火墙安装在整个电力系统子网和 Internet 接口处,然后将隔离装置安装在监控系统与信息系统的接口处。这样,在保证监控系统的安全前提下,用户可以使用上网的功能。

同时,物理隔离装置对于系统内部只用防止病毒入侵的功能,并没有查杀毒毒的作用,所以系统依然需要配置杀毒软件和定期维护软件病毒库来防治计算机的病毒。

4.5 系统远程维护功能的使用

通过拨号线路进入系统进行系统的远程维护,方便设备调试,是系统维护的一种重要手段。但考虑到系统安全的要求,应进一步改良远程维护的方式,例如在远方采用模拟系统进行调试的方式,或者在图形监控系统支持下,现场直接操作的方式进一步保证系统的安全稳定。

5 电力系统安全防护的展望

目前还没有一种技术可以解决所有的安全问题,但是安全防护考虑得越周到,针对不同的安防需求制定的措施越得当,网络愈安全。物理隔离装置是目前能够较完备的实现网络安全深度防御的安全设备。

此外,只有不断的加强电力系统内部对信息系统的的教育培训,根据自身的特点和要求,设计和应用更多具有自主知识产权和应用方便、使用安全的设备和系统,才能在更大的范围内推进电力系统信息化建设的进程。

参考文献

[1] Andrens·Tanenbaum Computer Networks[M]·American: prentice hall.
[2] 高志国,龙文辉编·反黑客教程[M]·北京:邮电出版社.
[3] 雷云,凌玉华,廖力清·物理隔离在电力系统中的实现[J]·微计算机信息,2004,(1):107—109.

(收稿日期:2007—12—09)

同步发电机零功特性的节能测试法

李宗昉, 杨莉, 朱晋梅, 陈小勤, 柏业金

(西南交通大学峨眉校区, 四川 峨眉 614202)

摘要:提出了同步发电机零功特性的节能测试法, 试验证明此法所测取的零功特性准确且节省电能。

关键词:零功特性; 节能; 发电机

Abstract: An energy-saving method of testing and measuring the zero power-factor characteristics of the synchronous generator is presented. It is proved by experiments that the characteristics obtained by this method can be accurate and can save electric energy.

Key words: zero power-factor characteristics; energy saving; generator

中图分类号: TM341 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0084-03

目前, 测试同步发电机的零功特性的方法多采用电感负载法。此法所用负载电感多采用三相自耦调压器代替, 并非纯电感。故试验中不仅要消耗一定的感性无功功率和消耗相当数量的有功功率, 同时还使测取的零功特性曲线也是近似的 ($\cos \varphi \approx 0.2$), 由此测取的同步电抗也并非准确。

现介绍节能测试方法, 此法既能保证零功特性试验更加准确, 又能把试验中同步发电机发出的感性无功功率反馈到电网, 并使其有功损耗降低到最小。这就是将同步发电机与电网并联后再作零功特性试验的方法(简称节能法)。

1 基本原理

同步发电机供给纯电感负载时的相量关系如图1所示。

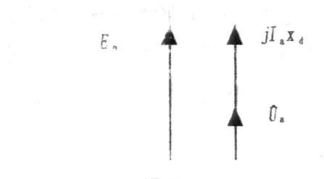


图1 纯电感负载时的相量图

此时的电枢反应为纯粹的去磁作用, 所以发电机的空载电势 E_0 、端电压 U_a 与同步电抗压降 $I_a x_d$ 在忽略电枢电阻的条件下均在一直线上。由相量图可得 $I_a x_d = E_0 - U_a$, 即 $x_d = \frac{E_0 - U_a}{I_a}$ 。这是理想的零功特性, 此种状况由于负载电感不纯很难实现。

如果将电感负载法改为节能法, 当同步发电机处于过激状态 ($E_0 > U_a$), 则同样能得到如图1所示的相量关系。经适当地调整发电机的激磁电流就能始终保持其负载电流等于额定值且滞后电压 90° 电角度, 从而使实验中电流的有功分量等于零, 这就节省了一定的有功功率。这时同步发电机发出的感性无功功率将反馈到电网。因为试验中处处保证了 $\cos \varphi$ 而不是近似为零, 所以节能法测取的零功特性曲线就更加准确了。

2 试验线路及说明

当同步发电机通过三相调压器与电网并联时, 其试验电路如图2所示。

图2中 ZD 为直流电动机; TF 为同步发电机; BT 为三相自耦调压器。

1) 为了满足试验室小型同步发电机测取零功特性曲线的需要, 可将发电机经三相调压器后再与电网并联。这样, 当改变调压器的滑动头位置时就可以改变发电机的端电压。

2) 试验时, 先将三相调压器的滑动头调到接近电网的额定电压位置(比如指示到 380 V 的位置), 然后再采用旋转灯光法(也可以采用其他方法)与电网并联。

3) 按照零功特性试验的要求, 调整三相调压器的滑动头使发电机的端电压 $U_a = 1.2 U_{aN}$, 并进一步减小 R_3 使发电机过激磁。当发电机的负载电流 $I_a = I_{aN}$ 时记录 U_a 和对应的激磁电流 I_f 。然后逐渐降低发电机的端电压(通过三相调压器来实现), 但同时也要

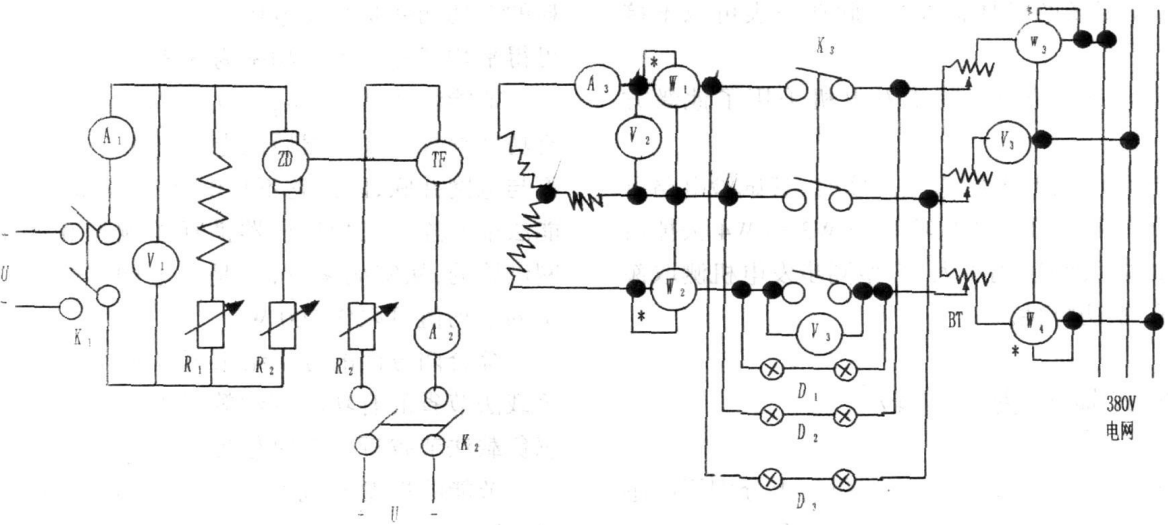


图 2 节能法测零功特性的试验线路

表 1 并联时所测取数据同电感负载法的比较

项目 测试方法	发电机的端电压 U_a (V) (即电网电压)	发电机的输出线电 流 I_a (A)	发电机的激磁电流 I_f (A)	发电机的三相 输出功率(W)	直流电动机的 输入功率(W)
节能法	390	4.6	3.6	0	560
电感负载法	390	4.6	3.5	400	1 000

表 2 与电网并联后所测数据与电感法的比较表

TF 的端电压 U_a (V)	440	400	380	350	300	250	200	150	100	50	27
TF 的线电流 I_a (A)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
TF 的激磁电流 I_f (A)(电感负载法)	4.75	3.75	3.25	2.65	1.85	1.7	1.45	1.15	1	0.8	0.75
TF 的激磁电流 I_f (A)(节能法)	4.85	3.8	3.35	2.7	2.2	1.85	1.55	1.25	1.1	0.9	0.8
ZD 的输入功率(W)(电感负载法)	1 078	1 002	988	964	907	900	811	788	777	651	560
ZD 的输入功率(W)(节能法)	560	560	550	550	540	530	490	472	461	420	410
TF 的输出功率(W)(电感负载法)	480	410	400	360	340	330	300	288	280	200	120
TF 的输出功率(W)(节能法)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
节能法电网端的输入功率(W)	240	240	230	220	215	200	160	160	160	155	150
节能法电网端的线电流 I_a (A)	2.8	2.7	2.6	2.3	2.2	1.9	1.6	1.2	1	0.8	0.5

注:实测时,电网的线电压为 380 V。

逐渐减小发电机的激磁电流 I_f ,以维持其负载电流 $I_a = I_{aN}$ 。在 $0 \sim 1.2 U_{aN}$ 之间测取 7~8 点,记录每一点的电压值和对应的激磁电流。

4)应当特别注意的是:调整发电机的激磁电流过

低时也会出现发电机的负载电流等于额定值,但这是欠激状态,是另一种情况。

5)功率表 W_1 和 W_2 的接入是为了测取同步发电机的三相输出功率,用以判定特性试验是否属于纯粹

零功。功率表 W_3 和 W_4 的接入是为了测取电网端的输入功率,在现场的具体试验中,此功率表可以不接入。

6)为了实现过激磁,同步发电机采用了他激方式。

当同步发电机与电网直接并联时,其试验电路可将图2中的三相调压器 BT、功率表 W_3 和 W_4 去掉后得到。该试验线路适用于大、中型同步发电机测取额定电压点的零功特性。

3 两种试验方法的比较

为了进行比较,笔者曾在同一机组上分别用电感负载法和节能法进行实测,结果见表1和表2。

3.1 比较表1中的数据可以说明

1)电感负载法比节能法多消耗有功功率。同步发电机送出的有功功率为400 W(供给电感负载的铜耗和铁耗),它约占被试电机容量的13%。显然,被试电机容量越大,数量越多时,电感负载法所消耗的有功功率就越多。

2)节能法从理论上分析不消耗有功功率,这一点从实测结果也得到了证明。从而保证了同步发电机输出电流的有功分量为零。

3)节能法保证了 $\cos \varphi = 0$ 且 I_a 滞后 $U_a 90^\circ$ 电度角(由过激磁实现),这就满足了纯电感负载的要求。因此,测取零功特性更为准确。

4)电感负载法把试验中由同步发电机发出的无功功率消耗在电感负载上(对被测电机而言,其无功功率 $Q = 3 \times 220 \times 4.6 \times \sin 90^\circ \approx 3 \text{ kvar}$,占发电机容量的100%),这一点也是很大的浪费。

5)节能法却能把发电机送出的感性无功功率(其大小约占被测电机容量的100%)送到电网。当被试电机容量大、数量多时,送到电网的感性无功功率就越多。这对于改善电网的功率因数是较为有利的。

3.2 比较表2中的数据可以说明

1)节能法在整个试验过程中始终保持同步发电机输出的有功功率为零,即 $\cos \varphi = 0$ 而不是近似为零,因而所测取的零功特性比电感法更加准确。

2)节能法比电感负载法节省一定的有功功率。对于这一结论可以从两个方面来分析。

首先从同步发电机电源端来分析:电感负载法消耗的有功功率是由发电机供给的,由所测数据经计算可得平均消耗的有功功率为318 W。

节能法实现了 $\cos \varphi = 0$ 。因此,由发电机供给的有功功率等于零。然后从电网端来分析:电感负载法不与电网并联,因此它不从电网端输入有功功率。节能法中所连接三相调压器消耗的铜耗和铁耗是由电网供给的,从实测来看,它是从电网端吸收的有功功率的平均值可取作200 W。

综合两方面的分析结果可以认为:节能法比电感负载法节省的有功功率约等于118 W,即节能法比电感负载法节省近1/3的有功功率。

节能法把发电机发出的部分感性无功功率反馈到电网。

采用节能法测试时,三相调压器属于双端电源供电的特殊系统,对于这一系统的深入研究另可专题讨论。为了讨论无功功率的反馈问题,仅从分析试验数据入手来找出系统中的无功功率的分配关系。

若取同步发电机端电压为380 V这一点来分析:这时同步发电机送出的感性无功功率 $Q_{\text{发}} = \sqrt{3} \times 380 \times 4.6 \approx 3 \text{ kvar}$,而电网端总的视在功率 $S_{\text{网}} = \sqrt{3} \times 380 \times 2.6 \approx 1.7 \text{ kVA}$,而电网端输入的有功功率 $P_{\text{网}} = 230 \text{ W} = 0.23 \text{ kW}$ 。因此,反馈到电网的感性无功功率则等于 $Q_{\text{发}} = \sqrt{S_{\text{网}}^2 - P_{\text{网}}^2} = \sqrt{1.7^2 - 0.23^2} = 1.69 \text{ kvar}$ 。由此可得调压器消耗的无功功率 $Q_{\text{调}} = Q_{\text{发}} - Q_{\text{反}} = 3 - 1.69 = 1.31 \text{ kvar}$ 。

从上面的分析可以说明:同步发电机发出的感性无功功率等于三相调压器消耗的无功功率与反馈到电网的无功功率之和。

4 结束语

仅以同步发电机的零功特性试验为例,分析了节能法的基本原理、具体试验线路及操作要点。通过两种试验方法的比较,说明了节能法比电感负载法更为优越:它不仅使测取的零功特性更加准确,同时还节省了一定的有功功率和向电网反馈的无功功率。这对于改善电网的功率因数是有益的。

当同步发电机直接与电网并联测取零功特性时,节能的优点更为突出。(收稿日期:2007-11-10)

循环流化床锅炉的节能降耗措施

简安刚

(四川电力建设二公司,四川 成都 610051)

摘要:通过对循环流化床锅炉的特点分析,针对各地数台循环流化床锅炉在安装、调试和运行优化中的经验,根据不同的锅炉特性,从减少非正常停炉着手,强调热控设备和测量元件的重要性,细化在运行中的各项调整控制措施,达到了节能降耗的目的。

关键词:循环流化床锅炉;非正常停炉;节能降耗措施

Abstract: Based on the characteristics analyses of CFB boiler and the experiences throughout the installation, commissioning and operation optimization of CFB boiler, the importance of thermal control equipment and the measuring elements are stressed as viewed from reducing non-normal shutdown according to the different boiler characteristics, and the adjustment and control measures in the operation are detailed to achieve the purpose of saving energy and reducing loss.

Key words: CFB boiler; non-normal shutdown; energy-saving and loss reduction measures

中图分类号:TK227 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-6954(2008)01-0087-04

循环流化床锅炉是一种高效、低污染的节能产品。自问世以来,在国内外得到了迅速的推广与发展,在改善环境、充分利用一次能源资源、降低工程造价、促进电力工业可持续发展、提升电力工业和机械制造业技术水平等方面,具有重要的意义。另一方面,其节能降耗的潜力巨大,通过科学分析影响循环流化床锅炉效率的主要因素,减少和避免非正常停机,并在实际运行过程中不断探索,寻求锅炉的最佳运行方式,以提高机组的整体运行效率。在达到节能降耗目的的同时,提高企业的经济效益和社会效益。

1 循环流化床锅炉性能特点

1.1 燃料适应性范围广

循环流化床锅炉独特的燃烧方式使之能适应最难以燃烧的燃料。它不仅可以方便地燃用常规锅炉使用的燃料,还能燃用常规锅炉几乎不能燃用的燃料,比如高硫劣质煤、煤矸石、洗中煤、石油焦、废弃轮胎和垃圾等,可以充分利用一次能源资源。

1.2 调峰能力强

由于在炉内参加循环燃烧的物料量大,蓄热多,因此,大型循环流化床锅炉易于保持燃烧稳定和蒸汽参数,具有很强的调峰能力,不投油最低稳燃负荷可以达到锅炉额定负荷的30%。四川白马示范工程300 MW循环流化床锅炉设计启动前首次需向燃烧室内加入固体颗粒物料(灰渣或砂)不少于200 t,每个

外置床在启动过程中加入灰渣约80 t,锅炉运行中物料总量超过600 t,蓄热量大;锅炉不投油最低稳燃负荷合同保证值为锅炉额定负荷的35%(±5%),远低于常规锅炉。

1.3 环保性能好

炉内脱硫脱硝,不需要另外安装脱硫和脱硝装置。循环流化床锅炉相对较低的燃烧温度以及物料在炉内强烈的扰动混合,使脱硫剂与燃料中的硫份能够充分发生化学反应生成固体硫酸钙,加之在燃烧室不同部位分部送风,使NO_x生成量较少,从而实现炉内脱硫脱硝。从锅炉设计和实际使用效果来看,大型循环流化床锅炉SO₂和NO_x排放能够满足严格的环保排放标准要求。

1.4 灰渣综合利用多

循环流化床燃烧过程属于低温燃烧,同时炉内优良的燃尽条件使得锅炉的灰渣含碳量低,灰渣活性好,可作为水泥的掺和料或建筑材料,具有良好的经济价值。

2 减少非正常停炉

对于循环流化床锅炉而言,减少和避免非正常停炉是节能的关键。造成非正常停炉的原因按原因类型大致有二种:人的不合适操作和设备的不正常状况。如果造成非正常停炉是由于人的误操作引起的,可以用“短时热启动”重新恢复机组运行。在循环流

化床的 FSSS 管理中, 可以进行点选“热态重启动”。这种热启动方式的前提条件是床温下降的幅度不太大(床温大于 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$), 汽轮机没有解列, 水位正常, 燃料系统和除渣系统正常等等。

每一次事故停炉后重新启动都会带来煤、油和厂用电的损耗, 初步估计每次重新启炉会带来直接损失超过 30 万, 少发电的损失则因为时间长短而有所大小。在启动时不能一味求快, 要根据风道燃烧器的升温速率小心控制, 在达到投煤条件时, 及时投煤。同样, 在平时运行中, 减少和避免非正常停炉运行是很重要的。同样, 发现事故苗头后要及时处理, 防止事故的扩大化。引起非正常停炉的设备因素主要有以下几点。

2.1 爆管

由于国内循环流化床锅炉的不断发展, 原来让人们头疼的过热器和省煤器的磨损问题现已基本得到解决, 从而使有些循环流化床锅炉的连续运行时间达到了 4 000 h。通过国内 600 多台循环流化床锅炉的运行来看, 现在采用的一些防磨措施还是比较可靠的, 通常有喷涂、设计预防、密排销钉加耐火材料、加装金属防磨片瓦, 采用合理的管子避让等办法。在运行时要保证锅膛内各点不超温, 重点是省煤器入口烟温和过热器、再热器壁温。

2.2 给煤机

给煤机的常见现象是皮带燃烧、断煤。通常在下煤口加装温度元件作为远程监控, 防止由于冷却风中断造成给煤机内温度升高。解决断煤的方法通常是加装疏松机, 当发现煤流不正常时就投入疏松机。当然有时候煤仓煤位误报也是引起停炉的原因之一。

2.3 结焦

炉床区域内的结焦是指熔化的灰烧结成块。当风低的风煤比、高的床温或采用较低的流化速度燃烧时, 往往会形成结焦。要防止流化床层和返料器结焦就应当要保证床层和返料器上有良好的流化工况, 防止床料沉积; 点火过程中严格控制进煤量, 防止由于煤的颗粒太细, 造成结焦; 变负荷运行时, 严格控制床温在允许范围内, 做到升负荷先加风后加煤, 降负荷先减煤后减风, 燃烧调节要做到“少量多次”的调节方法, 避免床温大起大落。

还有的非正常停炉原因比如保温材料剥落、尾部烟道燃烧等等, 但是相比于前面所述的原因, 发生的机率较小。只要在安装过程和运行中作好日常维护

工作, 注意对异常的现象提前预控, 强调着眼细节, 能够大幅减少非正常停炉。

3 节能降耗措施

节能降耗的措施注重在平时运行中的点滴, 对于有的大型技改项目(如对风机加装高压变频装置)这里不作讨论。在锅炉运行过程中, 加强对运行各值的考核, 特别是强调运行主参数不能偏离设计值太多。在进行考核措施前, 对于元件和设备有一些基本的要求。

3.1 元件和设备的调校

3.1.1 风量

由于流化床锅炉的特殊构造, 对于风量的准确性要求远远大于煤粉炉, 这就至少要求在每年的大修时, 对风量测量元件都应进行标定。目前较为准确的标定方式是采用热质式流量计进行多点标定。主要对一次风量、二次风量及入炉总风量进行标定, 在对风量测量一次元件进行标定后, 将标定结果用于修正热工测量系统, 用以保证控制系统自动调节的正确性。

3.1.2 过量空气

为了维持流化床锅炉良好的燃烧, 注意控制炉膛中过量空气系数, 以保证燃烧中合适的风煤比。炉膛中出口过量空气系数是通过测量尾部烟道出口的氧量来实现的, 所以氧量也是重要的控制参数, 以保证维持良好的燃烧, 协调燃烧中的最佳风煤比; 同时也是控制飞灰可燃物含量在额定范围内的参数之一。由于氧化锆测量装置设备自身的不足, 其寿命往往不会太长, 所以最好每月标定一次。

3.1.3 碎煤机调整

碎煤机是燃料进入燃烧中最关键的一环, 是保证煤粒的颗粒度和煤粒分配均匀性的重要措施。如果碎煤机的效果不好, 输出的煤粒超过设计值太多, 对床层的流化效果、冷渣器的可靠工作和后续输渣设备都存在一定的影响。如果燃料中细粉较多, 可燃物可能引入返料器, 在返料器中燃烧, 造成结焦; 或者引入尾部烟道, 造成排烟温度高, 更有可能发生尾部烟道燃烧事故。因此, 务必使碎煤机达到最佳运行方式, 做到勤观察多调整, 尽可能减少煤粒的大小和形状对于燃烧的影响。

3.1.4 疏水门和减温水门

由于流化床热力系统设计冗余较多,阀门易发生内漏,造成不必要的热力损失。所以对于疏水门和减温水门要求进行重点控制,防止由于减温水阀门的内漏现象,造成汽温调节功能变化,在一定程度上造成系统热力资源的浪费。疏水门的内漏往往是普遍的,主要原因是前后差压大,阀芯易被吹损。

3.1.5 冷渣器的合理运用

冷渣器炉底渣的排放,对改善流化质量,提高燃烧效率、确保流化床锅炉安全与经济运行至关重要。对于节能来说,冷却水的合理利用是关键,有的电厂将冷渣器的冷却水引入6号低加,提高凝结水的温度,有效地利用了热能,同时降低排渣温度,将渣中的热源用来加热返风。

3.1.6 补水率的控制

良好的热力系统其补水率应控制在5%之内。如果说疏水阀门没有内漏的话,锅炉的正常连续排污率是小于1%。在进行补水率测试时,首先提高系统补水流量,让凝结器在高水位上运行,然后关闭补水门。同时合理调节系统疏水,通过观察凝结器水位下降的幅度计算系统的补水率,是否在锅炉设计流量的5%以下。如果远远大于此值就要检查系统是否有内漏现象。补水率每变化1个百分点,对于发电煤耗将增加0.22%。

3.1.7 再热汽温的调节

烟气挡板是流化床锅炉的标志性产品之一,主要作用是用来调整尾部烟气,以达到调节再热汽温的目的。这种调节方式不减少电厂循环效率,在一定范围内能有效控制再热蒸汽的温度,是最为经济的调温方式。所以在启动前再热汽温调节挡板一定要可靠,灵活。在运行中如有必要,尽量用此来调节再热汽温。自动调节的方式由DCS进行计算和调控。

3.1.8 床温的保证

床温是布置在布风板上的测温热电偶测得。锅炉的正常床温的控制范围是在790~910℃之间。床温过低会影响锅炉效率且燃烧不稳定;过高则会减小脱硫效果且可能造成床层结焦,恶化流化状态。由于流化床锅炉磨损较大,因此有必要保证测温元件的完好。

3.2 优化运行

火力发电机组在机组运行一定时间后,应当进行运行优化。这种技术是以优化理论为指导,根据主辅机设备实际运行情况,进行优化调整试验,而后根据

试验数据及综合分析结果,建立一套运行优化操作程序和合理的优化运行方式,使机组能在各种负荷范围内保持最佳的运行方式和最合理的参数匹配。实践证明:通过对火力发电机组的全面运行优化,机组的经济性可相对提高1.0%~1.5%,供电煤耗率相应下降3~5 g/kWh左右。要保证锅炉的经济运行,运行时的参数必须要保证在设计范围内,不发生大的偏差。

3.2.1 床温控制

这是流化床锅炉最重要的控制参数之一,主要根据负荷和煤质的变化,及时调整给煤量,并保持合适的风煤比和料层厚度,使床温维持在最佳的范围内运行。在850~910℃的范围内,床温的提高与锅炉的效率成正比。温度的控制与燃料的特性有关,有的电站要求可以高到950℃,只要控制并保证床层不结焦。按照环保的要求,如果是高硫燃料,床温运行在850℃,达到脱硫剂的最佳使用。如果煤质较好,可以将燃料温度适当提高,提高主循环回路的燃烧效率。东锅厂的DG480/13.7-II2在使用河南平顶山某煤矿的低硫煤时,床温要求是884℃。运行中锅炉负荷发生变化时,要及时按变化趋势相应调整给煤量。维持正常的汽压和床温。

3.2.2 蒸汽与水参数

主蒸汽温度每降低10℃,相当于煤耗增加0.03%。对于10~25 MPa、540℃的蒸汽,主蒸汽温度每降低10℃,将使循环热效率下降0.5%,汽轮机出口的蒸汽湿度增加0.7%。这不仅影响了热力系统的循环效率,而且加大了对汽轮机末级叶片的侵蚀,影响汽轮机的安全经济运行。解决的方法是提高热控自动投入率,防止减温水调节阀的内漏。当然主汽压力和再热器温度压力的偏差都对机组效率有一定的影响。合理进行PID调节参数,进行更为有效的自动控制是解决这类问题的重要环节。

表1 偏差煤耗比表

序号	指标偏差	煤耗增加(%)
1	主汽温度变化1℃	0.035
2	主汽压力变化1 MPa	0.45
3	再热温度偏差1℃	0.027
4	再热压力变化1 MPa	0.035
5	再热减温水 Δ1 t/h	0.002
6	过热减温水 Δ1 t/h	0.004

3.2.3 排烟温度

排烟温度是锅炉运行中可控的一个综合性指标,它主要决定于锅炉燃烧状况以及各段受热面的换热状况,保持各段受热面的清洁和换热效果,是防止排烟温度异常、保证锅炉经济运行的根本措施。排烟温度升高 5°C ,影响锅炉效率降低 0.2% (百分点)左右,影响煤耗升高 $0.6\text{ g/kW}\cdot\text{h}$ 。具体的措施是:保证人孔门和保温层的严密性,减少漏风;合理控制氧量,流化床的标准是 3.5% ;定期进行吹灰。

3.2.4 灰渣含碳量

灰渣含碳量表示从尾部烟道排出的飞灰或者是从冷渣器中排出的干渣中含有的未燃尽碳的量占飞灰量或者是渣量的百分比,主要与燃煤特性、煤粒大小、炉膛温度、物料循环程度等有关。在运行过程中,煤粒的大小是影响灰渣含碳量的主要原因。针对所燃用的煤种,合理调节分离器的分离效率,尽可能保证循环燃烧,提高燃尽程度。运行中的具体措施是:合理一、二次风配比,在保证流化前提下,尽量减少一次风增加二次风;在流化良好,排渣正常的情况下,可适当提高炉床差压;加强煤炭破碎设备的维护;提高

旋风分离器的分离效率;适当提高床温,控制在 900°C 左右。在河南某循环流化床锅炉,其灰渣的可燃物小于 2% 。

4 结束语

值得注意的是,在电站建设安装中,管道保温质量的好坏也是影响热效率的重要因素,而这个指标通常不被重视,而且在竣工后要进行整改是非常困难的,这要求安装单位必须要有长远的质量意识,所有高温管道、容器等设备上都应有良好的保温,减少不必要的热能损耗。当环境温度在 25°C 时,保温层的表面温度一般不超过 50°C 。

当然在电厂的节能降耗工作中,搞好生产管理是关键,努力提高设备健康运行水平,对机组能否稳定、安全、经济运行及节能降耗都起着决定性的因素。要充分体现流化床锅炉的安全性和经济性,这里仅仅是重点说明了最基本的要求,难免会有所疏漏,权当是抛砖引玉,共同提高电厂节能降耗的水平。

(收稿日期:2007-10-29)

(上接第45页) 可见,上、下两层不同的土壤厚度对确定土壤的等值电阻率有着重要的影响。

4 结语

这种确定变电站土壤电阻率的方法,是一种更为方便、实用和准确的方法,但仍然存在一定的不足。衷心希望在这一领域工作的同行们给予帮助和指导。相信通过大家的共同努力,一定会使这方面的工作得到进一步的创新和发展。

最后需要指出的是:变电站接地网敷设的质量,不仅直接影响着变电站竣工时对接地电阻实测的结果,而且,更关系到变电站接地网长期运行的质量和电气设备的运行安全与电气工作人员的人身安全,因此应当高度重视。特别是,在高土壤电阻率地层上敷设水平接地网时,其接地导体的周围应用土壤电阻率 $\rho<100\ \Omega\cdot\text{m}$ 的细土裹埋回填,并层层喷水夯实,不得夹杂石块及建筑垃圾,更不容许有腐蚀性的工业废渣,使接地导体通过细土与四周的原土紧密融合在一起,进而降低接地电阻,减小冲击电阻。当遇到原土低于接地导体敷设区域的低洼地面时,在低洼地面上

应尽量使用具有较低土壤电阻率的开挖土壤回填,一定要清除掉较大的石块或建筑垃圾,不能在回填区域存在由石块和建筑垃圾堆积造成的高土壤电阻率“黑洞”区。对于具有较好土壤条件的变电站,在敷设水平接地网前,应尽量在敷设水平接地网的土层下 1 m 左右的区域,全部使用低土壤电阻率的泥土回填并夯实,以保证水平接地网具有更优的接地散流和均压效果。

参考文献

- [1] DL/T 5091-1999. 水力发电厂接地设计技术导则[S].
- [2] DL/T 5170-2002. 变电所岩土工程勘测技术规程[S].
- [3] GB/T 17949.1-2000. 接地系统的土壤电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则 第1部分:常规测量[S].
- [4] 陈先禄,刘渝根,等. 接地[M]. 重庆大学出版社,2002.
- [5] 何金良,曾嵘. 电力系统接地技术[M]. 科学技术出版社,2007.
- [6] 李景禄. 接地装置的运行与改造[M]. 中国水利水电出版社,2005.
- [7] 程志平. 电法勘探教程[M]. 冶金工业出版社,2007.

(收稿日期:2007-11-19)

火电厂热控系统抗干扰技术

王渝锦

(四川电力建设二公司, 四川 成都 610051)

摘 要: 对火力发电厂中热控系统干扰的产生及抑制进行了综合分析, 并有针对性地提出了一些抗干扰的技术措施。

关键词: 仪控系统; 信号干扰; 抑制

Abstract: A complete analysis is carried out for which the interference is produced and suppressed in instrument and control system of thermal power plant, and some technical measures against the interference are pointed out.

Key words: instrumentation and control system; signal interference; suppression

中图分类号: TK323 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)01-0091-04

随着火力发电厂单元机组容量的扩大和自动化程度的不断提高, 热工控制及仪表系统监视、控制的 I/O 数量越来越多, 对电厂的安全、经济、简便运行起到了极其重要的作用。电厂的日常维护也大量涉及到 DCS 等仪控系统。但是在施工、调试、运行过程中, 因热控系统受到干扰而造成硬件损坏的现象屡见不鲜, 同时, 对电厂的安全生产也构成了很大威胁。在贵阳电厂工程的调试过程中, 将磨机系统电气信号送往 DCS 系统过程中, 由于窜入信号电缆的强电干扰进入 DCS 系统, 当即损坏 I/O 卡件 5 块之多, 造成了一定的经济损失。如今系统卡件高度集成, 耐电压冲击能力小, 价格昂贵。因此, 在施工及调试过程中, 应该充分考虑抗干扰问题, 从实际的工程建设中不断积累经验, 采取有效的措施进行防范。

1 火电厂热控系统的信号干扰因素

干扰就是广义的噪声, 泛指混杂在信息中的无用成分, 是人们不希望的信息总称, 是窜入或叠加在系统电源、信号电缆上的与信号无关的电信号, 它会造成测量误差, 严重的干扰可能造成设备的损坏。在火电厂热控系统中, 干扰的产生主要有以下几个方面。

1.1 传导干扰

1.1.1 电缆绝缘老化漏电

在大型火力发电厂中, 需要敷设大量的电力、控制、信号电缆。而许多电缆在电缆通道中交织在一起, 当几种信号电缆在一起传输时, 由于绝缘材料老化而漏电, 将其信号叠加在其它信号上, 即在其它信号中形成干扰, 这种干扰在工程建设期间, 一般不会

出现, 往往在机组运行相当长时间后出现的一种干扰形势。

1.1.2 设备损坏或人为因素

在一些现场执行机构中, 如电动阀门, 电动执行器等, 采用 220 V 或 380 V 电源供电, 有时设备烧坏或者人为因素, 造成电源与信号电缆间短路, 使强电窜入弱电电缆之中, 形成较大的干扰, 以致造成设备损坏。这种干扰的形成很大成份属人为因素。由此而造成的后果也特别严重, 往往会促成设备损坏, 甚至人身事故的发生, 这种干扰是在工程施工建设期间, 由于管理不善或技术措施不恰当, 而很容易出现的一种干扰形势。例如: 在陕西清水川电厂一期启动锅炉试运中, 软水箱水位在运行初期, 水位显示正常。但是经过试运一段时间后, 水位在 CRT 上显示不正常, 水位值不停波动。由于清水川地处北方, 温度在零下 20 几度, 软水箱经常结冰, 影响锅炉正常运行。电厂技术人员为了解决这一难题, 采用在软水箱加一根 $\varnothing 150$ mm 蒸汽管, 由于水温升高, 超过了投入式传感器工作温度, 干扰了传感器正常工作, 造成元件损坏。为了解决好测量问题, 采用差压水位测量方法, 根据液体静力学原理计算出水位差压值, 校正差压变送器的差压值, 让热工安装人员在水箱顶部和底部引两根 $\varnothing 16 \times 3$ 无缝钢管, 低部端管子引入差压变送器负压侧, 顶部端管子引入正压侧, 管子水平端按 1:12 敷设, 同时两根仪表管子用保温材料保温, 这样保证了测量的准确性。经过这一技术改造, 水箱水位测量不准、水位波动大的技术难题得到解决。

1.1.3 接地质量不好或不合理引起的共模干扰

在信号电缆的施工时, 如果屏蔽层两端同时接

地,则两端的接地系统可能出现电位差异 ΔE ,该电位差将会在信号电缆上产生很大的地环流,叠加在信号电流上,造成模拟量信号波动,如果这种所叠加的电流过高,会造成卡件损坏,进而威胁到设备的正常运行。在分散控制系统接地施工时,如果工艺不好,会使接地电阻值增大,抬高DCS控制系统的地电位,如果过高,超过允许值,会造成设备损坏或威胁到系统的安全稳定运行。

1.2 电容电感耦合干扰

在整个系统中,由于传输电源及信号的大量电缆将通过电缆槽或者电缆管同时接入控制系统,而传输这些信号的电缆在一起敷设时,它们之间均存在着分步电容,而干扰信号通过这些分步电容加到别的信号电缆上,使别的信号失真而被干扰。另一方面,在交变信号电缆的周围会产生交变的磁场,而这些交变磁场会在并行的电缆之间产生电动势,这也会造成线路上的干扰。

1.3 大型电气设备启停引起的干扰

在火力发电厂中,存在大量的高压电气设备,而大型电气设备的启、停在运行过程中时有发生。电动机的启动、开关的闭合所产生的火花,会在其周围产生很大的交变磁场,这些交变磁场既可以通过在信号电缆上耦合产生干扰,也可能通过在电源电缆上耦合产生高频干扰,这些干扰如果超过允许范围,也会影响系统的工作。

1.4 来自空间的辐射干扰

来自空间的电磁辐射干扰分布极为复杂,由于在空间中存在着雷电、雷达、无线电、通信等,它们所产生的电磁辐射,不仅能通过计算机内部的电路感应产生干扰,还可通过对计算机外围设备及通信网络的辐射,由外围设备和通信线路的感应引入干扰。

1.5 其它因素

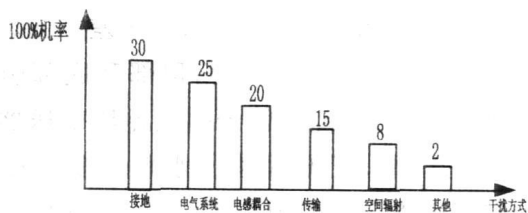


图1 在火电厂中热控系统各种干扰的存在比率

雷击可能在系统周围产生很大的电磁干扰,也可能通过各种接地引入干扰。还有环境中所存在的静

电也往往成为毁坏系统设备的杀手。

综合以上分析,干扰在系统中的产生,是不可预见的,也是无法对其进行准确的分析和测量,但从实际工程施工中总结分析,其出现的机率大致如图1所示。

2 干扰的抑制

2.1 提高热控系统电源的稳定性及可靠性

在热控系统中,一般设计有热工电源盘,来为控制系统及现场仪表提供电源。在系统电源的设计时,应该考虑冗余供电,各路配电模件应该有独立的截峰二极管(过压)、自动断路器(过流)等保护,供电系统最好采用隔离变压器,使热控接地点和动力强电系统接地点独立开来。为避免波动,在热控DCS系统中,供电电源要尽量来自负荷变化小的电网上,要严格防止强电通过端子排线路串入DCS 24 V供电回路。在DCS应用中,一方面对现场的电网情况提出要求,另一方面应采用高可靠性的电源。在成熟的DCS中都对此类电源作双冗余处理。相应的系统各主机柜均采用两路交流供电方式。一路为UPS(220 V)供电,另一路为电厂保安电源。电源系统的稳定,是整个系统工作稳定的基本前提,也是热控系统抗干扰能力的重要保证,如果电源不稳或产生波动,将对系统的稳定工作带来一定的影响。

2.2 正确进行电缆敷设

在施工过程中首先要安装足够的电缆通道,保证强电电缆与弱电电缆分开敷设。具体施工时,确认电源电压220 V以上、电流10 A以下的电源电缆和信号电缆之间的距离要大于150 mm,与信号电缆之间的距离应该大于600 mm。例如:广安电厂二期2×300 MW给水控制系统,给水电动执行器投自动,电机就带电振动。在CRT显示反馈量与给定量相差太大,执行器反馈信号到AI卡件偏差大。当时,怀疑位置发送器线性不好,就用标准电流表检查,发现执行器没问题,问题出在电缆。把电缆从电缆槽在中翻出,发现反馈线这根电缆是普通电缆,并且和电气强电回路在同一层敷设。为了解决这个问题,要求热工安装人员,重新敷设带屏蔽电缆,弱信号电缆远离强信号电缆,并且屏蔽层在信号源端接地。为了防止执行器受外界干扰,采取在伺服放大器信号输入负端与反馈输出负端短接,这样可以抑止外界干扰。经过采用以上方法,信号失真问题得到解决。

2.3 正确的接地方法和良好的接地工艺

在控制系统中存在着各种不同的地线,如屏蔽地线、信号地线、交流地线、直流地线、模拟地线等。对这些地线如何处理?是浮地还是接地?是一点接地还是多点接地?是分散接地还是集中接地?是控制系统中设计、安装、调试的一个关键问题,接地是热控系统抗干扰的主要措施,对接地系统设计是否合理、可靠,关系到系统的安全性、抗干扰能力的强弱及通信系统的畅通。在实施隔离及屏蔽时,许多措施中都需要接地。接地是解决干扰问题的重要手段。实践中由于接地不良或接法错误造成控制系统失灵甚至损坏的事例屡见不鲜,因此对接地问题必须慎重处理。在实际施工过程中,对于热控系统的接地,在施工中主要采取下面的技术措施。

2.3.1 一点接地及多点接地的应用原则

根据一般的施工常识,高频信号应就近多点接地,低频信号应采取一点接地。这是因为,传输低频信号的电缆间所存在的电感并不是什么大问题,相互间不可能形成干扰,然而接地线所形成的环路对干扰影响比较大,因此常以一点作为接地。但一点接地不适合于高频信号,因为高频时,地线上具有电感,因而增加了地线阻抗,同时各地线之间又产生耦合,当高频很高时,地线阻抗就会变得很高,这时地线就变成了天线,向外辐射噪声信号,形成对外干扰。减小这种干扰就是要降低地线阻抗,其措施是首先在接地施工时,尽量使地线长度小于25 m,或者采取多点接地。根据资料《传感器接口与检测电路》:频率在1 MHz以下时,可用一点接地;而高于10 MHz时,应多点接地;在1~10 MHz之间,如用一点接地,其地线长度不得超过波长的1/20,否则应采取多点接地。

2.3.2 现场热控设备的接地方法

在火电厂热控系统中,现场有大量的设备,包括变送器、控制箱、接线盒以及就地控制盘柜。对这些就地设备以最短的路径与钢结构相连;如热电偶、热电阻温度计采取与电缆导管直接相连,或者提供一个固定连接处以达到以最短的路径和地进行连接,连接处必须牢固可靠,必要时对连接处采用电焊的方法以加固连接;就地控制盘、台、柜基础框架的每个角应与钢结构采取电焊的方式进行连接。

2.3.3 电缆屏蔽层的处理

在电缆进入DCS盘柜时,要保持屏蔽完整。电缆的屏蔽体也要经接插件进行连接,当两条以上屏蔽

电缆共用一个插件时,每条电缆的屏蔽层都要单独用一个接线端子。否则,容易造成地环路使电流在各屏蔽层中间流动,形成干扰。低电平电缆的屏蔽层要一端接地,屏蔽层外面要有绝缘层,以防与其它地线接触相碰。在广安电厂二期工程4号机组的试运过程中,汽轮机监视系统(TSI)经常出现因一些电气设备拉合闸而使信号发生阶跃变化,如:在一次直流油泵的合闸过程中,使1号轴承振动信号发生阶跃变化,其瞬时脉冲达到40 μm 之多,直接导致机组跳闸。在原因分析过程中,发现在1号轴承振动信号电缆屏蔽层的接地如图2。

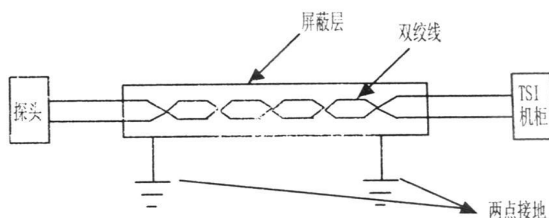


图2 屏蔽电缆两端接地引起的干扰分析

当直流油泵启动时,在拉合闸过程中,对母线的充放过程和电源侧的电位变化相互作用,产生高频电流分量,在母线上传播反射形成高频电流和电压,高频电流经电容设备流入地网,据资料介绍,此电流可能达到1 000 A以上,由于地网及导线对高频电流有感抗,所以在地网局部区域有电压升高现象,由于TSI中其1号轴承振动信号的屏蔽电缆两端接地,虽然对外部电磁场有很好的屏蔽作用,但是在地网电位差的作用下,在屏蔽层产生电流,形成对信号电缆的干扰。因此,对这种低电平电缆必须采取一端接地的方式进行连接。

2.3.4 接地施工时应保证良好的施工工艺

在接地线施工时,一般会进行大量的金属连接,从而形成许多金属连接点,这些金属连接点施工的好坏,将对接地电阻的阻值产生很大影响。因此,在选择接线时,一般选用铜作为接地材料,以防这种噪声电压的产生。

2.4 对重要回路采取隔离技术

对于模拟量输入/输出(AI/AO)回路,要防止从现场来的强电窜入卡件,以及就地设备与DCS系统不共地可能产生电势差,这种电势差在信号回路中产生电流,对信号进行干扰。对于这种干扰,主要采用信号隔离器进行抑制。在清水川电厂一期启动锅炉

工程试运时,其引风机挡板调节机构的位置反馈信号出现失真,当指令为 50% 时,其不时地上下波动,当指令为 100% 时,在反馈调整到 100% 一段时间之后,又发生波动,甚至有时低到 80% 左右,严重影响了风量的调节。在进行信号失真分析过程中,核查了其信号采集没有故障,因此初步认为是干扰所致。在现场检查发现存在以下一些问题:一是执行机构的信号电缆由于条件限制,敷设在电气专业的电缆沟最底层桥架上,虽然和电气高压电缆有一定距离,但高度不够,容易受到干扰;另一方面,由于执行机构的位置反馈电路是由执行机构自身提供电源,其电路和执行机构一起就地进行了接地,而 DCS 端的 AI 通道也通过机柜接地,形成两点接地的情况,违背了一点接地的原则。由于这种不对称接地所产生的电势 ΔE 、加上其信号电缆位于强电干扰环境的原因,使其所形成的电流叠加在信号上,造成信号发生波动。这种干扰,主要采取在回路中加装信号隔离器,断开干扰回路,以对干扰进行抑制。对于数字量输入/输出(DI/DO)回路,常用的解决方法是对 DI/DO 信号采用中间继电器进行剥离。如对一个马达控制开关反馈输入回路:现场的常开接点闭合时,继电器线圈带电,输出接点闭合,接点信号引入开关量采集卡件。这样,强电就不会串入卡件及信号回路,发生故障时,也主要检修隔离的外回路。

(上接第 56 页)

4 结 论

- 1) S_9 系列的变压器带额定负荷的 50%~60% 时效率最高,损失率最小。
- 2) 根据负荷损耗曲线看出,当 $S < 20\% \sim 30\%$ 的额定容量时,随着 S 的减小损耗急剧增大,所以先上一台主变的变电站选择变压器时,其额定容量应不大于最小负荷的 4~5 倍。
- 3) 单台主变压器的变电站,当 $S > S_1$ 时高电压运行, $S < S_1$ 时低电压运行。
- 4) 两台主变压器容量相等的变电站,当 $S > S_3$ 时应并列运行, $S < S_3$ 时应单台运行。
- 5) 对于两台主变压器容量不相等的变电站并列运行的临界点可按式(11)、式(12)求取。当 $S < S'$ 时,单台小容量主变压器运行;当 $S' < S < S''$ 时,单台

2.5 防静电措施

在 DCS 调试过程中,进入控制室及电子设备室,要穿防静电工作服,在 DCS 卡件拔插时,要戴防静电手套,在电子设备室土建设计时,应考虑采用防静电地板,以减少静电所形成的干扰对 DCS 系统的威胁。

3 通过软件技术解决抗干扰问题

火力发电厂属庞大的系统工程,现场干扰复杂,虽然通过各种硬件措施大大地对干扰进行了抑制,但由于其不可见性以及出现的不确定性,因此仍会有干扰通过各种途径窜入系统中,所以仅仅依靠硬件措施要想从根本上消除干扰是不可能的,因此在进行软件设计和组态时,还必须在软件方面进行抗干扰处理,进一步提高系统的安全可靠性。

4 结束语

火力发电厂热工仪表及控制系统抗干扰是一个重要的技术问题,在系统的设备选型、工程设计和安装调试过程中都要考虑现场的干扰情况,并对系统采取抗干扰措施,利用软硬件技术去解决系统中存在的或可能存在的干扰问题,才能有效地提高整个系统的安全可靠性。

(收稿日期:2007-10-12)

大容量主变压器运行经济; $S > S''$ 时,两台主变压器并列运行。

6) 三绕组降压变压器,中、低压侧的负荷按式(5)计算结果进行分配线损最低。

7) 现已实现无人值班或综合自动化的变电站,可通过计算机应用数学模型式(16)、式(17)、式(18)来实现对电力变压器经济运行方式的控制。

由于农村用电负荷具有季节性强的特点,因而农村变电站主变的负载情况也随着季节的不同而发生显著变化。同时,主变压器在运行时也客观地存在着部分功率损失,这样就应认真地考虑主变压器运行的经济性问题。在具有两台主变压器的农村变电站中,通过对主变压器运行分析,根据主变负载的变化,改变其运行方式,以提高主变的工作效率,从而达到降低电力变压器功率损失的目的。结果既节约了能源,同时也延长了电力变压器的使用寿命。

(收稿时间:2007-10-24)

辞旧迎新

展望未来

2007年12月19日,《四川电力技术》期刊上级主管单位四川电力公司领导、承办单位四川电力试验研究院领导、期刊编委会、相关专家学者汇聚一堂,对期刊今年的工作予以总结,对明年期刊的发展方向及具体工作改进措施进行了热烈的讨论。

期刊编辑部就2007年的工作情况向各位到会领导和专家进行了汇报,并提出了期刊2008年发展方向的初步计划。《四川电力技术》期刊在2007年先后组织了《西南电力设计院专栏》、《发电专委会专栏》、《德阳电业局专栏》、《电力市场专栏》、《电能质量与可靠性专栏》,反映了四川省电机工程学会各分会的学术活动及电网规划方面等热点问题。期刊内文质量及版面格式方面的提高,吸引了类似国家基金项目的优秀稿件。配合省局重点项目500KV洪沟变电站大容量静止无功补偿系统SVC工程,出版了一期专刊,全面报道了该重点项目。与会领导及专家学者们,对期刊最近两年的发展情况给予了充分的肯定,并提出明年的工作方向应该围绕四川电力的发展、重点项目组织优秀稿件,使期刊刊载文章能真正反映四川电力的技术水平。以一流期刊的标准要求自己,在期刊文章的选定方面,要顾及大项目与小项目之间的关系,结合点与面。在把握办刊每一环节质量以期全面提高期刊水平方面,与会专家都给予了许多积极有效的建议,特别是在文章进入期刊流程第一环节的外审方面。

整个会议富有成效。期刊编辑部将进一步细化与会代表的建议,使《四川电力技术》期刊在新的一年里更上一层楼。



四川电力公司科技信息部主任王卓



《四川电力技术》期刊主编朱康



四川省电机工程学会2008年迎春团拜会

2008年1月25日,四川省电机工程学会在成都召开了2008年学会新春团拜会。

在2007年,四川省电机工程学会在各方面都取得了新的发展,组织建设欣欣向荣。会员人数已达4130人;举办了各种学术交流、报告、年会47次;交流学术论文369篇;表彰优秀学术论文96篇;编写的《输配电新技术》、

《电力环境保护》两本书将被国家电力出版社打造成精品在全国范围内发行;学会咨询工作取得稳步进展;学会网站已正式起用,其他工作也取得了优异的成绩。这些成绩是在挂靠单位四川省电力公司的大力支持下,在广大会员和工程技术人员共同努力下取得的。

在四川省电机工程学会新春团拜会上,与会领导、代表、专家学者都热情洋溢地回顾了共同渡过的一年,畅谈当前电力发展形势和契机,讨论四川省电机工程学会的发展方向。回首过去的一年,四川省电机工程学会收获颇多,展望新的一年,随着电力体制改革的不断深入,四川省电机工程学会在本届理事会的领导下,以“十七大”精神为指导,全面落实科学发展观,坚定信心、不辱使命、不负重托、共建和谐,更好的服务于企业、服务于社会、服务于会员和科技工程人员,使四川省电机工程学会的各项工作更上一层楼。



四川省电机工程学会2008年迎春团拜会



刊号: ISSN1003-6954 广告经营许可证号: 5100004000578
CN51-1315/TM

公开发行 国内定价 6.00 元/期