

# 四川电网 35 kV 及以上电网降损潜力分析

贺星棋<sup>1</sup> 唐伟<sup>2</sup> 鲜其军<sup>1</sup> 田佩平<sup>1</sup> 罗涛<sup>1</sup>

(1. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

**摘要:** 基于2018年7月25日的负荷实测日数据对四川电网35 kV及以上电网的理论计算结果进行了分析,在考虑相关管理及技术因素条件下,接电压等级提出了相应的降损潜力,对于指导四川电网进一步降损增效具有重要的参考价值。

**关键词:** 降损;理论线损;线损分析

中图分类号: TM727 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0026-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.007

## Analysis of Loss Reduction Potential of 35 kV Power Grid and above in Sichuan

He Xingqi<sup>1</sup>, Tang Wei<sup>2</sup>, Xian Qijun<sup>1</sup>, Tian Peiping<sup>1</sup>, Luo Tao<sup>1</sup>

(1. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** Based on the measured load data of Sichuan power grid on July 25, 2018, the theoretical line loss of 35 kV power grid and above is analyzed. Considering the relevant management and technical factors, the corresponding potential of loss reduction is proposed in different voltage class. The research results have an important reference significance for guiding the loss reduction and efficiency improvement of Sichuan power grid.

**Key words:** loss reduction; theoretical line loss; line loss analysis

## 0 引言

线损理论计算是根据电网结构和运行参数,运用电路理论对电网元件的理论线损电量及所占比例进行定性和定量分析,并对电网结构和运行方式的合理性、经济性进行鉴定,具有指导降损节能,促进线损管理深化、科学化的作用。一般说来,中低压配电网因设备基础相对差,电压等级低,线损率相对高。四川电网作为全国水电基地和西北、华中电力交换的枢纽平台,存在潮流复杂、过网电量大的特点,由此造成35 kV及以上电网线损电量大,是影响四川电网线损率的重要因素,因此有必要对其进行专题分析。基于2018年7月汛期大负荷方式下的实测数据<sup>[1]</sup>,对四川电网35 kV及以上电网的理论计算结果进行了分析,考虑各种技术降损措施后,提

出了相应的降损潜力,对于指导四川电网进一步降损增效具有重要的参考价值。

## 1 理论计算情况

2018年7月25日为西南电网统一选定的负荷实测日。代表日当天,四川电网全社会口径装机容量97 214 MW,其中水电77 143 MW,火电16 619 MW,风电2105 MW,光伏1347 MW。主网层面,四川电网:通过±500 kV德宝直流与西北电网联网运行;通过复奉、宾金、锦苏±800 kV特高压直流与华东电网联网运行;通过500 kV洪板、黄万、资思双回与重庆电网联网运行。500 kV纳九线停运,500 kV纳日变电站停运,桃乡第2台主变压器中压侧开关断开,无其他设备检修、停运,无临时负荷转带等。各地区在确保电网安全运行的前提下,保持电网正常

表1 全网线损理论计算结果

电网	供电量 /MWh	损失电量 /MWh	线损率 /%	分压损失占比 /%
全网(不含过网)	659 902.4	48 410.8	7.34	100.0
全网(含过网)	1 290 107.0	48 410.8	3.75	100.0
500 kV	1 041 274.3	11 998.3	1.15	24.8
220 kV	700 233.0	5 277.8	0.75	10.9
110 kV	646 929.7	6 382.8	0.99	13.2
35 kV	168 642.2	3 011.9	1.79	6.2
10 kV	469 858.7	10 951.5	2.33	22.6
380 V	174 692.9	10 788.5	6.18	22.3

运行方式。

根据全网线损理论计算结果(见表1):四川电网10 kV及以上电网分压线损占比为44.91%;35 kV及以上电网分压线损占比达到55.09%,占全网电量损失的绝大多数。这也正是四川电网作为电力交换枢纽平台的直观反映。

整体看来,是否计及过网电量的影响对四川电网理论线损率的影响极大:在计及过网电量的条件下,汛期大负荷方式下四川电网的理论线损率仅为3.75%;剔除过网电量影响,理论线损率则升至7.34%,升高了3.59个百分点,增幅达95.73%。由此可见,巨量特高压和大量超高压外送对四川电网输电网线损率影响巨大。

## 2 电网损耗及降损潜力分析

### 2.1 500 kV 电网

500 kV 电网理论计算结果如表2所示。该电压等级线损率为1.15%,较110 kV、220 kV 电网分压线损率高。同时500 kV 分压线损电量占比也是各个电压等级中最高的,达到24.8%。

表2 500 kV 电网代表日计算结果

损耗类别	损失电量 /MW	损耗率 /%	损失分项占比 /%
线路	10 669.35	1.02	88.92
变压器铜损	407.59	0.04	3.40
变压器铁损	438.57	0.04	3.66
其他	482.79	0.05	4.02
合计	11 998.30	1.15	100.00

注:有功电量为1 041 274.25 MWh,无功电量为160 170.33 MVAh。

从500 kV 电压等级损耗的分布来看,线路损失

电量占比达到了88.92%,是主变压器电量损失的12.59倍。一是由于四川电网作为国家西电东送的电源送出端和西北火电、风电送华中的电力交换平台,在500 kV 线路中存在巨量的过网电量,该部分电量只在线路中产生电量损耗,并不经过主变压器下网;二是四川省是大型水电基地,四川电源集中在西部、省内负荷集中在东部,加之南部、中部的过网外送电量大,500 kV 主网潮流呈现从西向东的流向特点,输电通道潮流重,输电距离远;因此,综合造成500 kV 线路电量损失远大于主变压器损耗。

从线路损耗的构成来看(见表3):线损率小于0.2%的线路条数最多,占线路总条数的55.23%;但线损率位于0.5%~1%的线路损失电量最大,为4 507.46 MWh,占线路总损失电量的42.25%,是影响500 kV 线路损失的主要因素。进一步分析,线损率位于0.5%~1%的主要线路:一是国调调度的溪洛渡电厂、锦西电厂(直流送出配套电源)水电送出线路,输送电量大导致损失电量大,如溪宾三回和西锦三回共6条线路,产生电量损失2 022.21 MWh,占本区间线路损失电量的44.44%;二是甘孜、雅安地区水电送至成都线路及攀枝花、凉山地区水电送出线路,线路较长,平均为151.4 km,导致损失电量大。

表3 500 kV 线路线损分布情况

线损率 /%	线路数量 /条	线路占比 /%	损失电量 /MWh	损失电量占比 /%
≥1.0	12	6.98	3 187.33	29.87
≥0.5 ~ <1.0	26	15.12	4 507.46	42.25
≥0.2 ~ <0.5	39	22.67	2 131.84	19.98
<0.2	95	55.23	842.72	7.90
合计	172	100.00	10 669.35	100.00
≥0.46(均值)	44	25.58	8 411.76	78.84

从负载率分布来看:平均负载率大于50%的线路共29条,总损失电量为5 997.71 MWh,占线路总损失电量的56.21%;平均负载率位于30%~50%的线路共45条,总损失电量为3 454.81 MWh,占线路总损失电量的32.38%;平均负载率位于10%~30%的线路共67条,总损失电量为1 142.32 MWh,占比10.71%;平均负载率小于10%的线路共31条,总损失电量为74.52 MWh,占比0.7%。以上数据表明500 kV电网线路负载分布不均衡,重载线路集中分布在水电输送通道,产生的损失电量绝对值大,占总线路损失电量的比例高,对本层损耗的贡献非常大。因此,通过加强对攀西、凉山地区的普洪三回线路、瀑布沟水电送出的布坡四回线路的运行监测,防止断面输送容量超过稳定限额引发安全供电问题;协调成都市政府,加快推进白泉到龙王双回线路投运工作,尽早实现成都双环网运行以进一步加强成都500 kV网络供电能力;加快推进雅中直流工程的核准和建设,将外送点引入川西水电腹地,减少外送电力经四川500 kV网络传输的比例,均能够有效降低输电线路电量损失,实现500 kV线路的节能降损增效。

实测日当天,500 kV电压等级整体功率因数已达0.99,与此同时,主变压器的铜铁损比为0.93,已接近1的经济运行状态,降损潜力已不大。

### 2.2 220 kV 电网

220 kV电网理论计算结果如表4所示。该电压等级分压线损率为0.76%,在各电压等级中绝对值最低,这也与当前省内各地区220 kV电网一般为环网或双环网结构、运行可靠性高、方式调整相对灵活、等效输电阻抗低的实际相吻合。

表4 220 kV 电网代表日计算结果

损耗类别	损失电量 /MW	损耗率 /%	损失分项占比 /%
线路	3 189.90	0.46	60.44
变压器铜损	883.34	0.13	16.74
变压器铁损	1 079.23	0.15	20.45
其他	125.35	0.02	2.37
合计	5 277.82	0.76	100.00

注:有功电量为700 233.00 MWh,无功电量为115 576.17 MVAh。

实测日当天,220 kV电压等级整体功率因数已达0.99,但主变压器平均负载率为33.09%,容载比为2.48,铜铁损比为0.82,说明该电压等级主变

器整体轻载,距离变压器经济运行区间40%~60%还有一定差距,仍存在一定的降损潜力。

从该电压等级损耗的分布来看,线路损失电量占比60.44%,是主变压器电量损失的1.63倍,这也与220 kV电网作为地区的主要输电网,承担供电辖区内电力转移任务,大部分电量均要通过线路实分配,因此线路损耗相对大。

### 2.3 110 kV 电网

110 kV电网理论计算结果如表5所示。该电压等级分压线损率为0.99%,在各电压等级中处于第2低位。

表5 110 kV 电网代表日计算结果

损耗类别	损失电量 /MW	损耗率 /%	损失分项占比 /%
线路	3 899.88	0.60	61.10
变压器铜损	949.91	0.15	14.88
变压器铁损	1 231.92	0.19	19.30
其他	301.00	0.05	4.72
合计	6 382.71	0.99	100.00

注:有功电量为649 929.67 MWh,无功电量为171 693.89 MVAh。

实测日当天,110 kV主变压器平均负载率为31.95%,容载比为2.63,铜铁损比为0.77,说明该电压等级主变压器与220 kV情况相似,整体轻载,距离变压器经济运行区间40%~60%还有一定差距。同时,110 kV电压等级整体功率因数为0.97,通过提升功率因数来减小线路降损的潜力已不大。同时,当前各地区110 kV电网结构一般为辐射型,其潮流分布完全取决于负荷分布,因此,通过适当调整负荷电源,也可适当减少线路电量损耗。

### 2.4 35 kV 电网

35 kV电网理论计算结果如表6所示。该电压等级分压线损率为1.79%,因该电压等级电量整体偏小,分压线损电量占比也是最小,仅为6.2%。但理论线损率水平相对500 kV、220 kV、110 kV分压线损率却较高。

从表6来看,线路损耗占比达70.84%,是主变压器损耗的2.4倍,说明线路损失是影响本电压等级线损率的关键因素。实测日当天,35 kV电压等级功率因数为0.83,功率因数偏低,因无功功率的传输也将增加线路、主变压器的有功功率损耗,因此可通过调整功率因数实现降损的目的。

(下转第43页)

期长,电网拓扑分析准确等优势,最大程度利用现有测点,以相同电压节点为特征,聚集电压互感器集群,将广域电压偏差划分为局域电压偏差,逐步修正集群内外部因素偏差,剔除不良数据。

实践证明,调控主站的电压运行数据可以辅助评估电压互感器的运行状态并给出隐患预警,无需额外增加采集成本,扩大厂站无人值守后的监视范围,为电网监视与分析提供更高的可靠性。

参考文献

[1] 饶广,曾明贵,李盛涛,等. 35 kV 电磁式电压互感器连续爆炸事故探讨[J]. 高压电器, 2012, 48(10):114-119.

(上接第 28 页)

表 6 35 kV 电网代表日计算结果

损耗类别	损失电量 /MW	损耗率 /%	损失分项占比 /%
线路	2 133.78	1.27	70.84
变压器铜损	227.26	0.13	7.55
变压器铁损	292.56	0.17	9.71
其他	358.30	0.21	11.90
合计	3 011.90	1.79	100.00

注:有功电量为 168 642.23 MWh,无功电量为 115 452.24 MVAh。

电力在线路中传输产生的损耗与线路电压、功率因数的平方成反比,与线路传输的有功负荷的平方以及线路单位长度电阻成正比,通过改变线路功率因数,线路降损幅度为

$$\Delta P\% = \left(1 - \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2}\right) \times 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) \times 100\%$$

式中  $\cos \varphi_1$ 、 $\cos \varphi_2$  分别为调整前后的线路功率因数。当 35 kV 整体功率因数由实测日的 0.83 提升至 0.95 及以上时,线路线损电量降幅可达 23.67% 以上,即线损损耗电量可减少 505.07 MWh,影响 35 kV 分压线损率降低 0.3 百分点。同时,当前四川电网在运 35 kV 主变压器的平均空载损耗为 7.53 kW,相对还较高,说明还存在部分高耗能变压器,通过设备的逐步更换,在铁损方面也具有一定的降损潜力。

2.5 降损潜力

由上述分析可见,当前四川电网随着网架结构的不断完善、运行方式的持续优化、电能质量的稳定提升、电网设备的逐步更新,还具有较大的降损潜力,尤

[2] 苏春雷. 一种基于大数据和机器学习的网络威胁感知系统架构[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(9):117-118.

[3] 王红星,张国庆,蔡兴国,等. 电力系统中电子式电压互感器的误差特性研究与参数优化设计[J]. 广东电力, 2011, 24(12):85-91.

[4] 康重庆,夏清,相年德. 灰色系统参数估计与不良数据辨识[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1997, 37(4):72-75.

作者简介:

代宇涵(1989),硕士研究生,现从事调度自动化技术支持工作。

(收稿日期:2019-02-19)

其在 35 kV、500 kV 电网方面,均具备较大的降损潜力。与此同时,也应同步加强对 110 kV、220 kV 电网的管理和相关配套输变电工程的推进,发展负荷,提升主变压器运行的经济性,也能一定程度实现降损增效。

3 结 语

四川电网的电源结构、电网结构和外送电量的过网损耗决定了较高的主网线损率。近年来,通过精准分析线损影响主要因素,在电网运行、技术改造、计量管理、营销管理等多方面采取了大量的措施,如针对主网部分变压器、线路运行不经济的情况,在保证 N-1 的情况下,拉停轻载设备,既保证了电网的安全运行,也实现了线损率的稳中有降。下一步,通过有针对性地不断完善电网规划和技术改造,优化电网潮流,加强电网设备运维管理和无功电压管理,预计四川电网 2019 年线损率将进一步下降至 8% 以下,节能降损效益将进一步显著。

参考文献

[1] 国网四川省电力公司. 2018 年理论线损计算分析报告 [C]. 2018.

作者简介:

贺星棋(1978),博士,高级工程师,主要研究方向为电网运行与控制、节能减排;

唐伟(1990),硕士,工程师,主要研究方向为电网运行与控制、节能减排。

(收稿日期:2019-01-28)