

基于可靠性最优的地区调度数据网第二接入网设计

黄显斌¹, 邓志森², 喻显茂², 刘洵源¹, 彭昊¹, 戴晨曦¹

(1. 国网四川省电力公司天府新区供电公司, 四川 成都 610021; 2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘要: 电力调度数据网作为电力监控系统主要的数据传输通道,其可靠性直接影响电网调控相关工作。建设地区调度数据网第二接入网可有效提升数据传输可靠性、自动化通道可用性及网络安全性等性能指标。通过分析设备冗余程度可靠性、路由策略可靠性和节点部署位置可靠性,提出一种地区调度数据网网络可靠性计算方法。首先,基于网络可靠性最优提出地区调度数据网第二接入网设计原则和流程,综合考虑调度数据网现有网架结构,得出地区调度数据网第二接入网新增节点数量,完成冗余程度可靠性分析;然后,分析私网路由策略和公网路由策略,得出同现有网架结构协调统一的高可靠性路由策略方案,根据地区调度数据网拓扑结构得出不同节点可靠性计算方法,通过调整节点位置分布得到可靠性较高的地区调度数据网第二接入网候选设计方案;最后,通过业务校核选出可靠性最高的设计方案。

关键词: 调度数据网;第二接入网;业务接入;网络拓扑;设计原则

中图分类号: TM 734 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2021)06-45-05

DOI: 12.16527/j.issn.1003-6954.20210609

Design of Second Access Network of Regional Dispatch Data Network Based on Reliability Optimization

Huang Xianbin¹, Deng Zhisen², Yu Xianmao², Liu Xunyun¹, Peng Hao¹, Dai Chenxi¹

(1. State Grid Tianfu New Area Electric Power Supply Company, Chengdu 610021, Sichuan, China;
2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: As the main data transmission channel of power monitoring system, the reliability of power dispatching data network directly affects the work related to power grid regulation. The construction of the second access network of regional dispatching data network can effectively improve the performance indicators such as data transmission reliability, automation channel availability and network security. By analyzing the reliability of equipment redundancy, routing strategy and node deployment location, a network reliability calculation method of regional dispatching data network is proposed. Based on the optimal network reliability, the design principle and process of the second access network of regional dispatching data network are put forward. Considering the existing network structure of dispatching data network comprehensively, the number of new nodes of the second access network of regional dispatching data network is obtained, the redundancy reliability analysis is completed, and the private network routing strategy and public network routing strategy are analyzed. The high reliability routing strategy scheme coordinated and unified with the existing grid structure is obtained. According to the topology of regional dispatching data network, the reliability calculation methods of different nodes are obtained. By adjusting the node location distribution, the alternative design scheme of the second access network of regional dispatching data network with high reliability is obtained too. Finally, the design scheme with the highest reliability is selected through service verification.

Key words: dispatch data network; second access network; business access; network topology; design principle

0 引言

调度数据网是为电力调度生产服务的专用广域数据网络,是上下级调度之间、调度主站与厂站之间电力监控系统数据通信的基础设施,直接关系到电力系统的安全稳定运行,要求其具有极高的可靠性和安全性。调度数据网对于电力系统未来业务的发展具有强大的支撑作用,在一体化系统建设、智能电网建设方面都起到关键作用^[1]。现大部分地区 110 kV 及以下电压等级变电站的调度数据网为单一网络,设备故障或者网络链路中断时,不能保障调度业务实时性,不满足调度生产指挥连续性要求,将严重影响电网运行安全。冗余备用是保障可靠性的最重要手段之一,现阶段调度间骨干网、部分厂站已实现网络层面冗余,但还有大量 110 kV 及以下变电站未实现双接入冗余。同时考虑到集控站建设,其与调度主站、变电站均需采用调度数据网接入网进行数据交互,为满足传输可靠性要求,亟需进行地区调度数据网第二接入网(后简称地区第二接入网)建设,实现在网络层面的备用,提升调度数据网可靠性。

1 调度数据网可靠性

调度数据网可靠性是调度数据网为业务提供不间断支撑的能力,其大小主要受设备冗余程度、路由策略、设备部署位置等影响。因此,数据网络单个节点的可靠性可以式(1)表示。

$$P_i = P_{ij}P_{ir}P_{in} \quad (1)$$

式中: P_i 为调度数据网中*i*节点的可靠性; P_{ij} 为*i*节点的设备冗余度可靠性,可用式(2)计算; P_{ir} 为*i*节点路由策略可靠性; P_{in} 为节点部署位置可靠性,可由式(3)计算。

$$P_{ij} = \begin{cases} 0.5, & \text{单台设备} \\ 1.0, & \text{多台设备} \end{cases} \quad (2)$$

$$P_{in} = P_{ik}P_{io} \quad (3)$$

式中: P_{ik} 为节点*i*的设备电源可靠性; P_{io} 为传输设备链路可靠性,是整条链路上所有节点的可靠性乘积。

一个有*n*个节点的地区调度数据网的网络可靠性 P_T ,可以表示为业务重要性系数 W_i 乘以各个节点的可靠性 P_i 之和再乘以路由可靠性 P_r ,见式(5)。

$$P_T = \left(\sum_{i=1}^n w_i P_i \right) P_r \quad (5)$$

2 基于可靠性最优的设计原则

在地区第二接入网设计时应遵循以下几个原则。

1)通信链路可靠性原则:结合第一接入网现状,设计时应尽可能考虑第一接入网、第二接入网相关通信设备及链路单点故障不影响业务。

2)业务可靠性原则:在设计和规划网络拓扑结构时,应当遵循链路与节点可靠性要求。在拓扑结构中的任意链路中断后,确保业务不中断^[2]。

3)技术可靠性原则:应充分考虑现有网络,地区第二接入网按统一规划、统一技术、统一标准建设,在技术体制、路由策略等方面应考虑与现有骨干网、接入网的协调统一。

4)网络性能可靠性原则:任意接入节点至所属调度机构节点的网络延时控制在 100 ms 以内,网络自治域内任意两个网络节点之间的网络丢包率应小于 10^{-5} ,网络自治域内的网络收敛时间应小于 60 s,网络可用率应大于 99.9%^[3]。

3 地区第二接入网设计

3.1 设计步骤

基于所提出的调度数据网可靠性计算方法,将地区第二接入网设计按照设备冗余程度分析、路由策略分析、部署位置分析、网络可靠性计算和业务接入校核几个步骤进行,具体流程如图 1 所示。

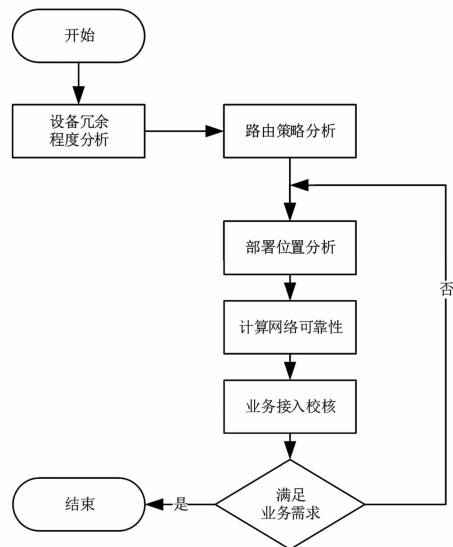


图 1 地区第二接入网设计流程

图 1 中,在进行完位置部署分析以后,需对业务

接入进行分析,满足业务需求才能形成设计方案。

3.2 设备冗余程度分析

在进行设备冗余分析时需考虑现有数据网运行情况,需对调度数据网总体结构、地区调度数据网第一接入网(后简称地区第一接入网)现状、省调接入网现状进行分析,通过前面的设备冗余度可靠性定义,在满足可靠性最优的情况下确定地区第二接入网需部署设备的节点。

3.2.1 调度数据网总体网络结构分析

调度数据网分为骨干网和接入网。骨干网为双平面架构,两个平面在网络层面上独立,用于各级接入网的网络互联和调度端的应用接入,整体结构如图2所示。骨干网采用光同步传输模式上传送网际互连协议(IP over SDH)技术体制,全网部署多协议标签交换(multiprotocol label switching, MPLS)/虚拟专用网(virtual private network, VPN),即实时VPN和非实时VPN,分别对应生产控制大区的控制区业务和非控制区业务。

接入网根据调管范围分为国调接入网、分中心接入网、省调接入网和地调接入网,所设计部分为地区调度数据网,即地调接入网部分^[4]。

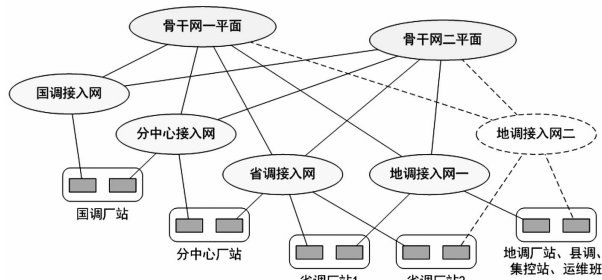


图2 调度数据网总体结构

3.2.2 地区第一接入网现状分析

地区第一接入网覆盖区域内的省调直调厂站、地(县)调直调厂站、县调、集控站、运维班节点,分为核心层、汇聚层和接入层。所有厂、站均为接入节点,接入节点同汇聚节点相连,汇聚节点同核心节点相连,最后通过核心层跨域到对应的骨干网节点。

3.2.3 省调调度数据网接入网现状分析

省调调度数据网接入网(后简称省调接入网)覆盖省调区域内的分中心直调厂站、220 kV 变电站和省调直调厂站节点,分为核心层、汇聚层和接入层。

3.2.4 地区第二接入网新增设备节点设计

为充分利用现有设备资源,同时考虑到地区第二接入网建设,可以将调管范围内 220 kV 变电站节点从原省调接入网划入地区第二接入网。省调接入

网将只覆盖直调电厂和网调直调厂站等节点。地区第二接入网将作为地区第一接入网的网络层面备用,完全独立运行于地区第一接入网和省调接入网。经过上面分析,可知对现有 110 kV 及以下变电站数据网节点只需新增一套数据网设备,可使所有节点均满足多台设备的可靠性要求。

3.3 路由策略分析与设计

3.3.1 私网路由策略分析与设计

路由协议分为域内内部网关协议(interior gateway protocol, IGP)和域间外部网关协议(exterior gateway protocol, EGP)两类。地区第二接入网是一个区域,属于同一个自治域,同地区第一接入网采用相同的路由分配策略,地区第二接入网自治系统内配置开放最短路径优先(open shortest path first, OSPF)路由协议实现全局路由分发。采用 MPLS 标签转发,加快数据转发效率,采用边界网关协议(border gateway protocol, BGP)来控制地区第二接入网汇聚和接入节点的路由路径。地区第二接入网与双平面骨干网之间配置 BGP 协议实现全局路由互通。在接入节点路由器配置 VPN,通过静态路由的方式引入接入交换机,业务主机网关配置在接入交换机。

3.3.2 公网路由策略分析与设计

为使自治系统内部路由快速收敛,需对地区第二接入网进行分区,核心和汇聚设备组成自治系统内部路由协议的核心区域 Area 0,每个汇聚节点及其下属的接入节点组成一个非骨干区域。汇聚路由器是连接核心区域 Area 0 和子区的区域边界路由器(area border router, ABR),ABR 负责子区的拓扑接入、区域间路由转换与传递、区域间的路由聚合等任务。为减少核心区域 Area 0 和子区之间的路由规模,在 ABR 上的 Area 0 和各子区对互联地址应该配置区域间的路由聚合,以此满足网络性能指标要求,如图3所示。

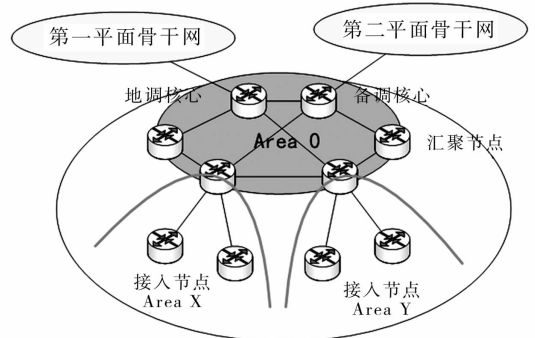


图3 OSPF 区域

通过私网路由分析和公网路由分析,采用同地区第一接入网相同的路由策略方案,满足可靠性设计原则。

3.4 节点部署位置分析与设计

节点部署位置分析首先要进行拓扑结构分析,然后考虑部署节点电源可靠性、传输链路可靠性和业务重要程度。

3.4.1 拓扑结构分析

考虑到调度数据网总体设计架构,地区第二接入网采用三层网络结构,分别为核心层、汇聚层和接入层。核心采用多核心设计,主要负责数据交换功能;汇聚层采用多节点设置,根据实际接入节点数量配置对应汇聚节点数;接入层负责将厂站业务接入网络。核心节点至少设置2个,节点之间采用155 M通道互联;汇聚节点若干,汇聚节点之间、汇聚节点和核心节点之间采用155 M通道互联;接入节点若干,其中厂站接入节点采用2×2 M与汇聚节点相连,而集控站或运维站节点采用155 M通道与汇聚节点或核心节点相连。

3.4.2 部署节点电源可靠性分析

地区调度数据网节点主要部署在调度主站、调度备用主站、220 kV变电站、110 kV变电站、35 kV变电站、集控站和运维班。根据现场电源配置情况,一般情况下电源可靠性 P_{ik} 排序如下。

$$P_{ik\text{调度主站}} \approx P_{ik\text{备用主站}} \approx P_{ik\text{集控站}} > P_{ik\text{220 kV}} \approx P_{ik\text{运维班}} > P_{ik\text{110 kV}} > P_{ik\text{35 kV}}$$

3.4.3 传输链路可靠性分析

根据拓扑分析可知,所有链路均需要经过核心节点,大部分链路过汇聚节点,接入节点一般情况下只负责自身节点业务,其链路带宽分配也不一致,因此可以得到接入节点单链路接入时的可靠性。

$$P_{io\text{接入节点}} = P_{io\text{汇聚节点}} P_{io\text{接入链路}} \quad (6)$$

式中, $P_{io\text{接入链路}}$ 为接入节点与汇聚节点之间链路可靠性,一般由通信传输通道质量决定。

考虑到可靠性最优,双接入时接入节点可靠率为

$$\begin{cases} P_{io\text{接入节点}} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \\ P_1 = P_{io\text{汇聚节点1}} P_{io\text{接入链路1}} \\ P_2 = P_{io\text{汇聚节点2}} P_{io\text{接入链路2}} \end{cases} \quad (7)$$

同理可以计算出核心节点和汇聚节点的链路可靠性。

3.5 调度数据网可靠性计算

通过上面的分析可知,基于可靠性最优的情况下,所有节点均为多设备,设备冗余度可靠性 $P_{ij} = 1$,路由策略可靠性应该为一个常量 a ,即 $P_r = a$,不同

节点的电源可靠性 P_{ik} 只有固定的几个常量值,因此可以赋值。

$$\begin{cases} P_{ik\text{调度主站}} \approx P_{ik\text{备用主站}} \approx P_{ik\text{集控站}} = b \\ P_{ik\text{220 kV}} \approx P_{ik\text{运维班}} = c \\ P_{ik\text{110 kV}} = d \\ P_{ik\text{35 kV}} = e \end{cases} \quad (8)$$

式中, b, c, d, e 均为常量。按照核心节点、汇聚节点和接入节点的部署位置不同,根据式(5)、式(7)、式(8)可以求出地区调度数据网的可靠性 P_r 的最大值,最后进行业务接入校核,如果均满足业务需求,即为可靠性最优的设计方案。

3.6 业务接入校核

地区调度数据网承载的常见业务有调度自动化业务、继电保护及安全自动装置业务和变电集控站(运维班)主设备全面监视业务等。根据这些业务所部署的地理位置不同,可以按照接入位置分为主调业务、备调业务、厂站业务和集控站业务。

3.6.1 主调业务校核

主调业务从骨干一、二平面接入调度数据网,未直接接入地区调度数据网,需满足调度主站之间的数据转发通信能接收所有厂站业务的需求。

3.6.2 备调业务校核

备调业务直接接入地区第一接入网备调核心节点和地区第二接入网备调核心节点,其业务直接通过两套接入网完成数据的传输,不需经过骨干网平面,需满足能接收所有厂站业务的需求。

3.6.3 厂站业务校核

厂站业务通过地区第一接入网接入节点和地区第二接入网接入节点接入。考虑到链路冗余,两套接入网应分别通过不同骨干网路由回主站。可采用地区第一接入网通过骨干二平面上骨干网,地区第二接入网通过骨干一平面上骨干网,同时满足业务数据通过不同数据网设备传输的需求。

3.6.4 集控站和运维班业务校核

集控站业务通过地区第一接入网接入节点和地区第二接入网接入节点接入,同时须满足能通过两套接入网即接收所需监控厂站信息的需求。

4 结论

上面提出了一种基于设备冗余程度、路由可靠性和节点部署位置可靠性的区域调度数据网可靠性计算方法,基于该方法提出可靠性最优的地区调度数据网第二接入网设计原则和流程,详细介绍了各

个步骤分析内容和计算公式。最后,根据业务接入校核选出网络可靠性最高的设计方案,该方案简洁、扩展性高且易于管理。但所提方法并未考虑经济性,也并未对业务重要性进行赋值,认为业务重要程度相同。后续研究考虑将重要性和经济性作为约束条件,设计出更经济合理的设计方案。

参考文献

- [1] 霍雯雯. 贵州兴义地区电力调度数据网络拓扑结构研究[J]. 电工技术, 2018(5):57-60.
- [2] 陈志刚, 林承勋. 电力调度数据网组网分析及规划研究[J]. 华东科技(综合), 2019(11):281-281.
- [3] 电力调度数据网技术规范:DL/T 1306—2013[S], 2013.

(上接第16页)

1) 弧光保护动作速度快,对于 CT 改造困难、同时需要快速切除母线故障的变电站低压母线,将弧光保护作为母线保护使用,实现母线保护功能,是一种提升母线故障切除速度的有效技术手段。

2) 为防止弧光保护误动,目前的弧光保护大多增加电量闭锁,以主变压器低压侧的相电流闭锁为主,适用于相间和三相弧光短路、两相和三相弧光接地短路故障。

3) 若考虑母线单相弧光接地跳闸,相电流闭锁原理对不接地、消弧线圈接地、小电阻接地等配电系统不适应。目前,仅小部分弧光保护装置考虑了配电网接地方式对保护灵敏度的影响,增加了零序电流、零序电压判据,有利于提高单相弧光接地故障的反应能力。

4) 弧光保护弧光采集模式有3种形式,分别是电流型、光纤点测型、光纤带状型。从提高保护装置可靠性出发,光纤形式的采集装置远离强干扰源,有利于提高装置的可靠性。从故障定位需求看,点测型优于带状型,可以定位到产生弧光的具体位置。

5) 弧光保护集成方式可分为分布式和集中式。分布式的优势主要是便于扩展,对于有扩建需求的改造站,可以有效缩短施工作业停电时间。

通过对弧光保护应用情况、技术原理及技术方案的梳理,提出以下建议:

1) 目前各型号弧光保护的电量闭锁条件差异较大,在开展弧光保护的配置、选型时应合理选择。

2) 现阶段弧光保护技术标准、检测标准尚不完善,弧光保护装置检验仅有型式试验和厂内检测。

- [4] 钟健,余熙,王民昆,等. 四川电力调度数据网的设计及其应用[J]. 四川电力技术, 2008, 31(5):4-6.

作者简介:

黄显斌(1990),男,工程师,主要从事调度自动系统运行管理工作;

邓志森(1978),男,高级工程师,主要从事调度数据网运行管理工作;

喻显茂(1986),男,高级工程师,主要从事调度网络安全管理工作;

刘洵源(1994),男,助理工程师,主要从事调度自动化运行工作;

彭昊(1988),男,工程师,主要从事网络安全管理工作;

戴晨曦(1992),女,工程师,主要从事调度自动化运行管理工作。
(收稿日期:2021-09-13)

电力企业应对弧光保护装置开展功能及性能摸底测试,完善弧光保护装置配置方案,制定弧光保护技术规范,提出或推进相关国家、行业标准的修订。

3) 在电力企业中,弧光保护已试运行多年,因产品适应性、质量问题、现场运行维护能力等原因,弧光保护装置发生过误动、异常告警等问题,相关机构应进一步提升弧光保护的现场运行维护方法,研制实用的检测装置,制定现场运行维护检修的技术标准,提高母线故障的正确切除率。

参考文献

- [1] 艾绍贵,李秀广,黎伟,等. 配电网快速开关型消除弧光接地故障技术研究[J]. 高压电器, 2017, 53(3):178-184.
- [2] 李从飞,陈凡,鲁雅斌,等. DPR360ARC 弧光保护系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12):125-128.
- [3] 杨益民,关芳. 电弧光保护系统在中低压开关柜中的应用[J]. 小水电, 2011(3):27-29.
- [4] 胡斌. 发电厂6 kV 厂用电系统电弧光保护的应用研究[D]. 北京:华北电力大学, 2011.
- [5] 吴志勇. 电弧光保护在电力系统的应用[J]. 四川电力技术, 2009, 32, (4):49-51.
- [6] 高卫东. 电弧光保护系统及应用分析[J]. 山西电力, 2010(6):8-10.
- [7] 杨奕,廖仕利,张柏年,等. 一种新型高压开关柜弧光检测与保护方案设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 29(9):111-115.

作者简介:

朱鑫(1989),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护技术研究工作。

(收稿日期:2021-08-31)