

唐山地区220 kV电网分区供电方案研究

基于冀北电网“十三五”规划,对唐山、承德和秦皇岛地区电网结构、合环运行情况及短路电流水平进行计算与分析,针对唐山220 kV电网短路电流超标问题,基于电网分区理论原则并结合唐山电网重大输变电工程投产进度,提出了唐山220 kV电网分区供电方案,将唐山地区电网分为西北部分区、东北部分区、西南部分区、东南部分区和中部核心环网分区。从短路电流水平、供电可靠性和稳定水平等方面进行分析,论证了所提唐山220 kV电网分区供电方案的有效性和可行性,可为冀北电网“十三五”分区供电研究提供参考。

李顺昕/国网冀北电力有限公司经济技术研究院 张 隽 赵 峰/国网冀北电力有限公司 吴 寻/南京南瑞集团公司北京监控技术中心 王 赛/华北电力大学电气与电子工程学院



李顺昕/高级工程师

随着500 kV电网的建设,主网架结构逐渐加强,220 kV电网应逐步实现分区运行,相邻分区之间保持互为备用。我国上海、北京和江苏等地已经开始了电网分层分区研究和实施工作。

文献[1]结合上海地区网架结构加强、电源紧密的现状,提出通过调整分区网架结构、控制电厂接入方式等措施限制短路电流,主要采用单站模式将上海电网分为4个分区;文献[2]提出由于北京地区负荷增长较快,部分负荷需要外来电源供应,在事故情况下极易引起系统稳定和电压稳定问题,应合理调整、完善网架结构,解开220 kV电磁环网,对电网实行分层分区运行,主要采用双站模式将北京电网分为6个分区;文献[3]根据2015年冀北电网发展情况,结合冀北地区500 kV、220 kV发输变电工程的建设项目,将唐山电网分为4个220 kV供电区域,为冀北电网的分区运行提供了一定的参考。

本文主要基于冀北电网“十三五”发展建设规划,以2020年为远景年,探

讨了电网短路电流超标问题下,唐山、承德和秦皇岛地区间电磁环网解环问题,以及唐山内部电网分区供电方案,并对分区方案进行了稳定校核分析。

2020年唐山电网运行情况

至2020年,唐山地区电网计划投运或扩建多项工程,届时,唐山地区电网将有11座500 kV变电站共28台主变压器。随着丰南变电站和乐亭500 kV变电站及其相关配套设施的投运,唐山地区电网形成500 kV受端环网结构。唐山北部通过太平、唐西北和阳乐与承德电网相联;唐山东部通过阳乐和乐亭与秦皇岛电网相联。对于唐山地区内部,太平、姜家营和阳乐以及将要投运的唐西北500 kV变电站为唐山北部地区供电;即将扩建的唐山西变电站以及即将新建的任各庄变电站与唐山东、丰南500 kV变电站一同为唐山市区和西南部区县供电;安各庄、曹妃甸和乐亭500 kV变电站为唐山东南部沿海新区供电。唐山地区电网将逐步形成较为清晰的供电结构。

目前,唐山地区负荷约为12 000 MW,部分站点短路电流水平已接近甚至超过开关设备限值,到2020年唐山地区负荷预计可达到18 600 MW。随着负荷的增长、新建500 kV、220 kV变电站的投运,电网结构愈加紧密,短路电流水平不断攀升,成为亟待解决的问题。

分区原则与一般流程

1. 分区原则

考虑的首要因素是限制短路电流不

关键词/Keywords

电网分区方案·
电磁环网·
短路电流·
唐山电网·

超过断路器的遮断电流容量，主要以断开线路、实现合理分区为出发点，并兼顾电网潮流、稳定性和供电可靠性，主要考虑的分區原则如下。

1) 短路电流水平限制分区内主变压器台数。当分区内主变压器数量为6台时，主变压器容量均为750 MV·A或1 200 MV·A，主变压器短路阻抗为18%时，各500 kV变电站均为两台主变压器并列运行，站间线路长度取30~50 km，对分区内短路电流水平进行计算，220 kV母线三相短路电流约为35~54 kA。考虑到分区内500 kV变电站距离可能大于30 km，主变压器容量不全为1 200 MV·A，分区内可能有一定容量的电源接入，综合考虑分区内主变压器台数一般不大于6台。

2) 主变压器负载率限制分区内主变压器台数。主变压器检修方式 $N-1$ 情况下，当分区内主变压器台数为4台时，分区内剩余主变压器可能接近满载。主变压器负载率随着主变压器台数减少而增大，考虑主变压器检修方式 $N-1$ 情况主变压器台数小于4台时可能存在过载危险。因此，分区内主变压器台数配置一般不少于4台。

基于唐山地区明显的受端电网特征，考虑500 kV变电站内主变压器台数和容量、站间线路长度等因素，可考虑2~3座500 kV变电站约4~6台主变压器分区运行。

3) 综合考虑断开线路对短路电流水平和潮流分布影响。对于地区边界变电站220 kV母线短路电流超标问题，若断开地区内和地区间线路措施限流效果差别不大时，优先考虑断开地区间联络线，使电网结构更加清晰。对于区域内线路，优先考虑断开潮流较轻的线路，尽可能小地影响整个系统的潮流分布，并尽量保证每一个区域内有电源，潮流分布尽量合理。

2. 分区一般流程

(1) 前期准备

收集、整理电力系统发展信息，确定目标年电网正常方式下的运行状况，主要包括网架结构、负荷水平、电网输变电工程、电源装机和不同地区间功率交换情况等。

(2) 短路电流计算

选定计算程序（本文选择BPA），按程序的具体要求准备计算数据。

对于待研究电网全开机方式下的500 kV、220 kV母线短路电流进行计算，根据断路器额定遮断电流确定短路电流超标或者裕度较小的母线。

(3) 初步分区方案确定

若出现短路电流超标现象，进一步计算分支线路提供的短路电流，采取断线措施等限制短路电流；进行潮流、稳定计算时若出现安全稳定问题或潮流过载问题，可采取解开电磁环网措施，根据电网分区原则，形成初步分区方案。

(4) 安全稳定和供电可靠性分析

校核分区后的电网短路电流水平，计算各分区方案正常运行方式下的主变压器负载率和线路潮流，主变压器、线路 $N-1$ 方式下的主变压器负载率和线路潮流，进行主变压器、线路 $N-1$ 和严重故障稳定校核，并针对不满足安全稳定要求的情况采取相应的补强措施，以形成最终分区方案。

分区方案

1. 唐山电网220 kV母线三相短路电流

2020年合环运行方式下唐山电网220 kV母线三相短路电流水平计算结果如下表所示。常庄、丰南、唐山东、车轴山、韩城、姜家营甲和动车城220 kV母线三相短路电流水平超过开关遮断电流（50 kA）；陡二电厂220 kV母线三相短路电流超过其开关遮断电流（40 kA）。

表 唐山电网220 kV母线三相短路电流水平

母线名	三相短路电流/kA	母线名	三相短路电流/kA
常庄	60.88	动车城	50.47
丰南	55.72	阳乐	49.91
唐山东	54.94	太平	48.64
车轴山	53.02	陡一电厂	48.60
韩城	51.69	陡二电厂	48.52
姜家营甲	51.05	唐西北	48.42

2. 地区间解环

(1) 唐山—秦皇岛电网解环

昌黎—乐亭500 kV线路投运后，唐山地区

与秦皇岛地区通过4回220 kV线路和4回500 kV线路联接。正常方式下, 4回220 kV线路传输功率约为500 MW, 4回500 kV线路传输功率约为2 300 MW。线路投运后, 唐山东站220 kV母线三相短路电流升高明显。

断开奔城—古马双回或武山—溯河双回均能使唐山东变电站220 kV母线三相短路电流降至合理水平, 两措施限流效果相差不大。考虑到优先采取断开地区间联络线措施来解决220 kV母线三相短路电流超标问题, 即断开武山—溯河双回线, 唐山东变电站220 kV母线三相短路电流可降低至48 kA。考虑到天马—阳乐500 kV线路发生严重故障后, 唐山—秦皇岛220 kV联络线陈官屯—夏官营双回线存在过载风险, 因此一并断开陈官屯—夏官营双回线, 如图1所示, 唐山—秦皇岛间电网结构也更加清晰。

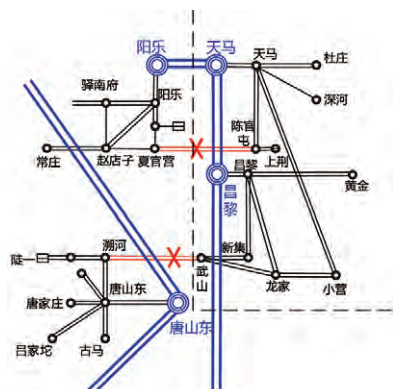


图1 唐山—秦皇岛电网解环

(2) 唐山—承德电网解环

唐山与承德地区间通过3回220 kV线路和4回500 kV线路联接, 金山岭、承德、太平和姜家营4座500 kV变电站形成双环网结构的电磁环网。

唐西北500 kV变电站破口接入承德—姜家营500 kV线路, 唐山北部地区的供电能力能够满足该地区的负荷水平; 承德东—阳乐500 kV输电线路投运后, 承德与唐山之间500 kV线路输送能力增强。在承德风电大发的情况下, 金山岭—太平500 kV线路发生 $N-2$ 故障下, 唐山—承德220 kV线路有过载的风险。

唐山—承德220 kV联络线断开后, 220 kV线路输送潮流转移到500 kV输电线路。解环后, 正

常方式下, 太平—姜家营—唐西北分区内各主变压器负载率均为60%左右, 主变压器 $N-1$ 后剩余主变压器负载率约为85%, 该分区内主变压器有足够的供电能力。

唐山和承德地区形成跨地区电磁环网, 合环运行容易引起事故扩大, 甚至在故障线路切除后, 非故障区域仍然受到影响, 跨地区电磁环网威胁两地区电网的安全稳定。唐西北500 kV变电站和承德东—阳乐500 kV线路的投运满足了唐山北部的供电能力和唐山与承德地区间线路输送能力。在供电可靠性和输送能力都得到满足的前提下, 可断开唐山—承德地区间220 kV联络线, 如图2所示。

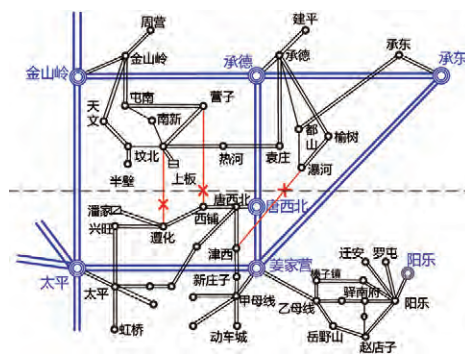


图2 唐山—承德电网解环

3. 唐山电网分区

(1) 唐山电网南部、北部分区

动车城220 kV变电站破口接入常庄—姜家营双回线, 太平—姜家营甲—唐西北3个500 kV变电站通过220 kV线路联接形成环网结构, 使附近地区的220 kV母线短路电流水平升高, 常庄、韩城和车轴山等220 kV变电站以及姜家营、唐山西和丰南500 kV变电站220 kV母线三相短路电流超过开关断路器遮断电流。

在断开韩城—车轴山双回线后, 联络线附近变电站短路电流水平明显降低, 特别是常庄、韩城和车轴山变电站220 kV母线三相短路电流水平下降了约10 kA, 唐山东、丰南500 kV变电站220 kV母线三相短路电流降低了约4 kA。

断开唐山南北分区联络线韩城—车轴山双回线, 可以有效抑制动车城220 kV变电站附近地区220 kV母线短路电流水平的增长, 将常庄、韩城

和车轴山变电站220 kV母线短路电流控制在合理范围内。如图3所示,在电网结构上实现了唐山地区南北分区。

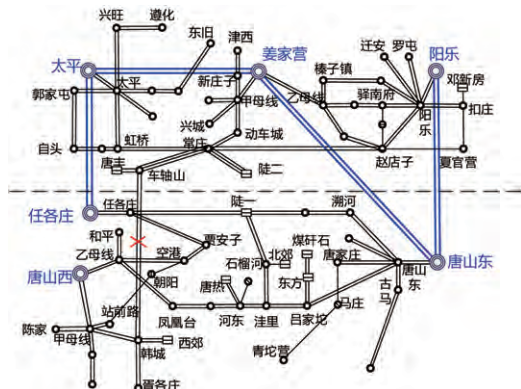


图3 唐山电网南部、北部分区

(2) 唐山电网东北、西北分区

陡二电厂部分开关额定遮断电流为40 kA,在断开韩城-车轴山实现唐山电网南北分区后,陡二电厂220 kV母线三相短路电流水平有所降低,但仍然略高于40 kA。断开常庄-赵店子双回线后,陡二电厂220 kV母线三相短路电流水平降低约1.3 kA,降至40 kA以下。因此唐山北部可分成东西两个分区,分别为太平-姜家营甲-唐西北分区和姜家营乙-阳乐分区,如图4所示。

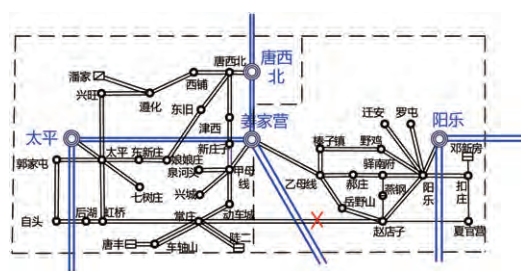


图4 唐山电网东北、西北分区

(3) 唐山中部核心环网分区与南部分区

随着唐山地区毛山、庞各庄等220 kV变电站投运,唐山东变电站220 kV母线三相短路电流水平进一步增加,超过其开关遮断电流。

昌黎-乐亭500 kV线路投运后,东南部地区500 kV的输电能力大大增加,曹妃甸、安各庄等东南部地区500 kV变电站不需要通过市区的唐山东500 kV变电站为东南地区供电,奔城-古马双回线潮流较轻。断开奔城-古马双回线后,唐山东变电站220 kV母线三相短路电流水平下降约7 kA,

主要是减少了安各庄、乐亭和曹妃甸等变电站提供的短路电流。

如图5所示,断开奔城-古马变电站后,唐山中部核心地区形成唐山西-任各庄-唐山东3个500 kV变电站作为枢纽站的3站6台主变压器的“日”字型环网分区。

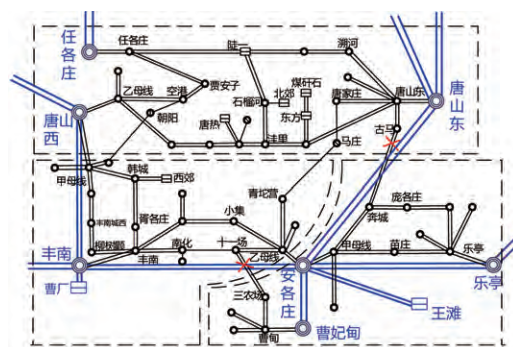


图5 唐山电网中部、东南和西南分区

(4) 唐山电网东南、西南分区

唐山西-丰南500 kV线路投运后,唐山南部500 kV线路形成半环结构,500 kV输送能力将明显增强。

随着胥各庄、宋家营和柳树颧等220 kV变电站接入丰南500 kV变电站,丰南变电站220 kV母线三相短路电流水平增加显著。十一场220 kV变电站破口接入三农场-安各庄乙双回线后,与南化单回线路连接,丰南-安各庄变电站形成220 kV环网结构,丰南220 kV母线三相短路电流水平超过其开关遮断电流。

断开十一场-三农场双回线,丰南220 kV母线三相短路电流降低约3 kA,降低至其开关遮断电流水平以下(见图5)。唐山南部地区形成东西两个分区:唐山西-丰南-安各庄乙和曹妃甸-安各庄甲-乐亭分区,即东南分区和西南分区。

4. 分区后的电网短路电流水平分析

采取上述限流措施与分区方案后,对分区前短路电流较高的220 kV站点进行短路电流计算。对比分区前后短路电流计算结果,常庄、丰南、唐山东、车轴山、韩城和陡二电厂变电站220 kV母线三相短路电流水平降低超过10 kA,姜家营甲、动车城、阳乐和唐西北变电站220 kV母线三相短路电流水平亦有明显降低。分区后,原220 kV母

线三相短路电流超标的站点均降至断路器遮断电流以下。

5. 分区后电网潮流和稳定性分析

采取分区方案后, 2020年唐山电网正常方式下各分区220 kV潮流分布基本合理, 无过载线路。500 kV主变压器负载率均在50%~75%之间, 唐山电网5个分区中, 负荷增长较快的工业新区东南部分区容载比高, 达到2.8, 负荷水平同样预计将有较大增长的城市核心分区容载比亦达到2.4, 其余3个分区容载比均在1.7左右。

对分区后的唐山电网500 kV主变压器和220 kV线路进行静态安全分析, 不存在过载问题。对分区后唐山电网进行安全稳定校核, 500 kV、220 kV线路 $N-1$ 、 $N-2$ 均不存在稳定问题。分区方案可以满足运行要求。

6. 方案确定

采取上述一系列限制短路电流措施后, 唐山地区与承德、秦皇岛地区电网解环运行, 唐山电网内部分为5个分区, 如图6所示。

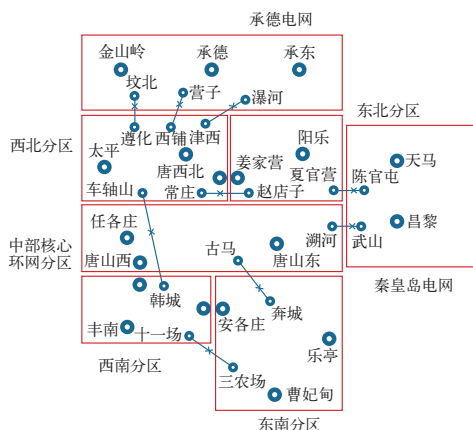


图6 唐山电网分区方案示意图

1) 唐山西北分区以太平、姜家营甲和唐西北3座500 kV变电站为枢纽站, 6台主变压器形成环网供电结构。

2) 唐山东北分区以姜家营乙和阳乐2座500 kV变电站为枢纽站, 4台主变压器形成双站供电结构。

3) 唐山中部分区以唐山西甲、唐山东和任各庄3座500 kV变电站为枢纽站, 6台主变压器形成“日”字型环网供电结构。

4) 唐山西南分区以唐山西乙、丰南和安各庄

乙3座500 kV变电站为枢纽站, 6台主变压器形成三站链式结构。

5) 唐山东南分区以曹妃甸、安各庄甲和乐亭3座500 kV变电站为枢纽站, 6台主变压器形成三站链式结构。

结束语

为解决唐山电网目标年短路电流攀升接近或超过断路器遮断电流的问题, 根据分区原则, 提出唐山—秦皇岛、唐山—承德地区220 kV电磁环网解环运行, 并将唐山地区电网分成5个分区, 分别为西北部分区、东北部分区、中部分区、西南部分区和东南部分区。采取分区方案后, 2020年唐山电网各分区容载比为1.6~2.8, 正常方式下主变压器负载率均为50%~75%。通过安全稳定校核分析, 论证了电网分区解环方案的有效性, 所提分区方案可为2020年唐山地区电网规划提供一定的参考。

参考文献

- [1] 高芳, 王伟, 陶玉华. 上海电网220 kV系统短路容量限制措施[J]. 华东电力, 2002, 30(10): 14-16.
- [2] 李晗, 罗建生. 北京电网分层分区与调度运行分析[J]. 现代电力, 2005, 22(4): 29-33.
- [3] 林金娇, 杨金刚, 赵炜炜, 等. 冀北电网分区供电研究[J]. 电力建设, 2014, 35(7): 110-114.
- [4] DL 755—2001 电力系统安全稳定导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [5] 王梅义, 吴竟昌, 蒙定中. 大电网系统技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [6] 张啸虎, 朱忠烈. 220 kV分区电网的合理配置研究[J]. 华东电力, 2006, 34(5): 36-41.
- [7] 王非, 李群炬. 京津唐电网限制短路电流问题探讨[J]. 华北电力技术, 2007(4): 17-19.
- [8] 刘树勇, 顾强, 张丽娟, 等. “十一五”期间天津500/220 kV电网分区供电方案[J]. 电网技术, 2008, 32(9): 51-55.
- [9] 蔡洋. 电网调度管理须与电网发展俱进: 北美东北电网事故浅析[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 6-9.

(收稿日期: 2014-12-22) EA