

±800 kV 郑州换流站户内直流开关场设计

邓广静,邵俊伟,王宏斌
(江苏省电力设计院,江苏 南京,211102)

摘 要:首先分析了±800 kV 郑州换流站直流开关场接线与主要电气设备参数,并进行优化。然后计算站址污秽等级,确定直流设备爬电比距,为降低设备外绝缘,将极母线设备户内布置,通过计算直流开关场空气间隙,结合设备布置,给出了户内开关场推荐尺寸。最后配合阀厅布置特点,户内直流开关场与阀厅一列,呈极对称布置。该结果对郑州换流站的设计具有一定的指导意义。

关键词:直流换流站;融冰接线;爬电比距;户内直流开关场

中图分类号:TM721.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-0665(2012)01-0039-03

为满足河南电网“十二五”及以后负荷快速增长的供电要求,结合哈密地区风电、煤电资源丰富的特点,1回哈密—河南±800 kV 特高压直流工程将在2012年建设。±800 kV 郑州换流站是哈密—河南特高压直流工程的受端站,站址污秽等级较高,直流开关场电气设备制造难度大。在已投运直流输电工程中通过复合绝缘或户内开关场来降低设备外绝缘^[1,2],但电压等级仅为±500 kV,尚无±800 kV 的设计运行经验。文中推荐±800 kV 极母线电气设备采用户内布置方式,以减小设备爬电比距,并通过计算直流空气间隙,提出户内开关场设计尺寸及直流开关场的布置方式,对±800 kV 郑州换流站的设计具有重要的指导意义。

1 直流开关场接线

1.1 直流开关场电气主接线

双极直流开关场接线相对比较简单,以满足系统基本运行方式为原则。直流开关场的设备主要包括平波电抗器、直流滤波器、直流测量装置、避雷器、冲击电容器、PLC、开关设备、母线和绝缘子等。典型的±500 kV 双极直流开关场接线如图1所示,郑州换流站直流开关场接线如图2所示。

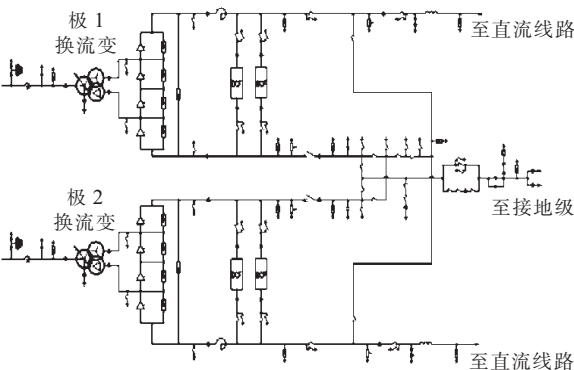


图1 典型±500 kV 双极直流开关场接线

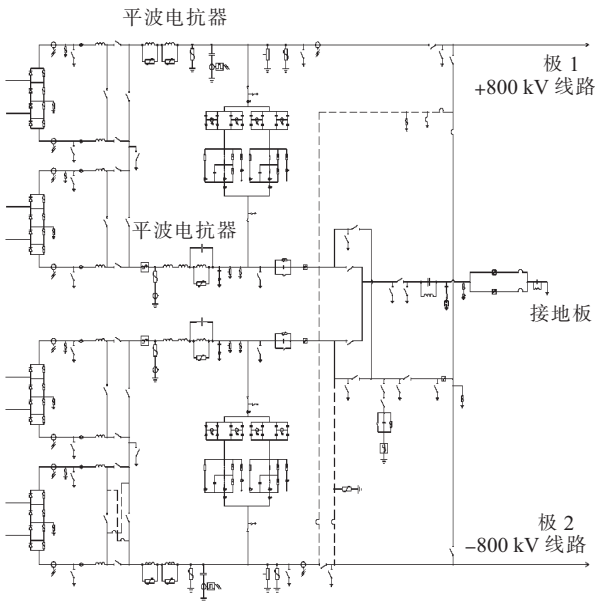


图2 郑州±800 kV 换流站直流开关场接线

与典型±500 kV 双极直流开关场接线相比,±800 kV 郑州换流站采用旁路开关接线。由于阀组采用每极2个12脉动阀组串联接线,每个12脉动阀组均并联一个旁路开关回路,以提高直流系统可靠性。旁路开关回路由旁路断路器、旁路隔离开关以及之间的2组隔离开关组成。

1.2 直流融冰接线

利用极1高端阀组和极2高端阀组并联,使融冰模式下线路的输送电流提高,相当于2个单极400 kV 金属回路运行方式并联;由于晶闸管阀的单向导通性,要使负极性的极2高端阀组并联到正极性的极1高端阀组,需要增加极2高端阀组的极性转换隔离开关和并联运行隔离开关。

郑州换流站输送功率为7 500 MW,额定电流达到4 687.5 A。每极高端12脉动换流器并联运行在400 kV 直流电压下,融冰时直流电流为4 687.5×2=9 375 A。

图2中虚线部分即直流融冰接线,需额外增加引线4条,隔离开关5台,由于融冰接线并不常用,因此利用4个常开可连接断口和1个常闭可拆卸断口代替隔离开关以节省投资。

2 直流开关场主要电气设备

2.1 平波电抗器

平波电抗器用来抑制直流开关场或直流线路所产生的陡波冲击波进入阀厅,使换流阀免于遭受过电压而损害。从限制故障电流上升率,平抑直流电流的纹波,防止直流低负荷时的电流续断综合考虑,郑州换流站可采用每极装设电感量为300 mH的平波电抗器。根据过电压的估算结果,若电感量为300 mH的平波电抗器都装设在直流极线上,过电压水平较高,为降低设备绝缘水平,推荐将平波电抗器分别串接在极母线和中性母线上,并紧靠阀组安装。在极母线和中性母线各装2台75 mH干式电抗器串联。

2.2 直流滤波器

直流滤波器接在平波电抗器后的极线与阀组相连接的中性线上,以滤去直流侧谐波,减少直流输电线路对邻近通信线路的干扰,直流滤波器的接线,应保证滤波器的投切,不中断和降低直流输电功率,因此,在滤波器高低压侧均配有隔离开关,并且高压侧隔离开关具有在正常运行情况下投切的能力。为方便检修,在滤波器两侧均设有接地刀。郑州换流站按每极装设2组双调谐直流滤波器考虑,为节省投资,2组直流滤波器的高压侧和低压侧共用1组隔离开关。

2.3 直流隔离开关

该工程可采用双柱水平旋转开闭式隔离开关或双柱垂直开启式架式隔离开关,其中直流耐压以及直流滤波器隔离开关应具有带电投切的能力,为直流开关制造的关键技术。

2.4 直流支柱绝缘子

由于直流电压下特有的静电力的作用,绝缘子表面积污比交流情况下严重,支柱绝缘子需要具有较高的污闪电压和较好的积污特性。支柱绝缘子主要有瓷质和表面硅橡胶合成材料2种材料。受目前厂家生产能力限制,±800 kV直流支柱绝缘子采用纯瓷外绝缘的方案几乎不可能,而复合绝缘机械强度较差,目前±800 kV特高压直流工程中广泛采用瓷绝缘子表面涂RTV涂料,机械强度和爬距都能满足设计要求,耐污能力大致接近于瓷质的1.3倍。支柱绝缘子伞形结构有大小伞及深棱伞2种,大量试验表明,相邻伞间距的比值为3.15时,伞伸出和

伞间距均为95 mm的深棱型绝缘子具有最佳的污闪特性^[3,4]。

3 污秽等级与绝缘配合

3.1 污秽等级

根据《河南电网外绝缘污秽区域分布图(2007年版)》,郑州换流站大孟站址所在地区的污秽水平均为D级,属重度污区。

根据河南省电力科学研究院提供的站址附近500 kV官祥线(官渡变到祥符变)与大孟站址最短距离约15 km的污秽数据,其交流等值盐密为0.22~0.57 mg/cm²,灰密为1.04~2.23 mg/cm²,基本达到了IV级污秽水平,因此郑州换流站交流爬电比距按31 mm/kV设计。

直流爬电比距可按交流爬电比距的1.8~2.0倍简单计算^[5]。因此郑州换流站直流爬电比距按60 mm/kV设计。

3.2 直流侧空气间隙计算

换流站直流侧空气间隙主要考虑直流、交流、雷电和操作冲击合成电压的作用。确定与直流电压水平相应的空气间隙时,操作冲击是比雷电冲击重要的决定因素^[6]。对于一个标准的间隙,正的雷电冲击击穿电压至少比正的操作冲击击穿电压高30%。

设计空气间隙时需要各种换流站真型雷电波、操作波放电电压特性曲线。为了较准确的计算直流侧空气间隙,不仅需要架空软导线、管型硬母线与构架之间的放电特性曲线,而且需要带电电气设备(均压环)与构架之间的放电特性曲线。如果采用户内直流场,还需要管型硬母线对墙的放电特性曲线。

文中按照国际大电网会议(CIGRE)提供的计算方法计算。空气间隙50%冲击放电电压为:

$$u_{50} = \frac{K_a K_1 u_p}{(1 - n\sigma)} \quad (1)$$

式中: u_{50} 为间隙的冲击(操作、雷电)电压波形下的50%的闪络电压; K_a 为气象修正系数; K_1 为裕度系数,对操作和雷电冲击分别为1.2和1.25; u_p 为避雷器相应的(操作、雷电)冲击波保护水平; σ 为间隙的冲击(操作、雷电)放电电压变异系数。

对于操作冲击最小净空距离为 U_{50} :

$$U_{50} = k \times 500 \times d^{0.6} \quad (2)$$

式中: d 为净空距离,m; k 为表示电极形状特性的间隙系数,导线对板 $k=1.15$,导线对导线 $k=1.3$,棒对棒 $k=1.4$ 。

根据国内对±800 kV直流工程系统过电压初步研究提出的换流站设备绝缘水平值^[7],郑州换流站

±800 kV 设备操作冲击绝缘水平取 1 600 kV, 操作冲击放电电压变异系数取 6%。郑州换流站海拔小于 1 000 m, 环境温度不高于 40 ℃, 气象修正系数为 1。经计算, 郑州换流站直流场最小空气间隙如表 1 所示。

表 1 郑州换流站直流场最小空气间隙

间隙系数 <i>k</i>	设备安装位置 /mm
1.15	8 270
1.3	6 742
1.4	5 958

4 直流户内开关场设计

4.1 采用直流户内开关场降低污秽等级

如 3.1 节所述, 如郑州换流站极母线设备, 隔离开关、平波电抗器、支柱绝缘子按照爬电比距 60 mm/kV 选择设备, 仅极母线设备绝缘件的闪距高度就达到 $816 \times 60 / 3.15 = 15.54$ m, 结构高度更高, 同时平波电抗器绝缘件还要承受重达几十吨的重量, 隔离开关操作力较大, 设备制造非常困难。

在三常直流输电工程的政平换流站采用户内直流场之前, 英法海峡直流输电工程的英国侧已经采用户内直流场。考虑郑州换流站站址污秽等级高, 推荐采用户内开关场, 由于极母线电压等级为±800 kV, 极低端及中性线设备电压等级低 (最高 400 kV), 将±800 kV 极母线设备户内布置, 其余户外布置。直流户内开关场设备爬电比距参照政平换流站采用 25 mm/kV, 瓷件最小高度 8 m。隔离开关、支柱绝缘子厂家目前的生产能力都能满足。

4.2 直流户内开关场的布置

户内开关场电气设备按照单层布置, 母线采用支持管母线, 极母线与阀厅一列式布置, 设备间连线采用管母。考虑对地场强的要求, 户内设备及管母线高度按 16 m 设计, 结合表 1 计算结果并考虑一定裕度, 户内直流场净高按 25 m 设计。

户内开关场极母线电气设备除旁路隔离开关、旁路断路器、直流滤波器外均采用单列布置, 由表 1, 安全距离按 9 m 控制。目前各生产厂家的干式平波电抗器直径可以控制在 5 m 以内, 因此平波电抗器距两边墙至少 14 m。

另外由图 2 可见, 800 kV 旁路隔离开关、旁路断路器需与极母线隔离垂直和平行布置, 考虑一定的安装维护空间, 户内开关场宽度按 38 m 设计。长度按需要布置的设备总长度控制。

±800 kV 直流滤波器高压电容器数量较多, 电容器塔高度达到 24 m 左右, 悬吊式安装, 构架高度

达 36 m 左右。将 800 kV 电容器分为 0~500 kV 和 500~800 kV 2 个塔串联考虑, 2 个塔构架高度基本一致, 构架高 25 m。将电容器塔房间与户内开关场组成联合建筑, 呈凸字形建筑结构。

郑州换流站采用阀厅面对面布置, 即两极高端阀厅布置在直流场两侧, 低端阀厅背靠背布置在直流场中间, 场地总宽度达到 285 m。户内开关场与阀厅采用一列式布置, 从高端阀厅引出的穿墙套管直接插入到户内开关场。这样布置的特点是与设备连接简单清晰, 极母线设备沿着出线方向布置, ±400 kV 电气设备及极中性线设备布置在两栋户内直流场中间, 利于平波电抗器的噪声限制。

5 结束语

根据郑州换流站站址附近的污秽数据, 计算直流开关场设备爬电比距按 60 mm/kV 选择, 户内开关场设备爬电距离按 25 mm/kV 选择。直流户内开关场净高及宽度需充分考虑直流最小空气间隙及设备外廓, 建议户内开关场与直流滤波器的电容器塔室组成联合建筑, 呈凸字形建筑结构, 以利于整个直流场按极对称布置, 降低设备噪声。

建议进行直流污秽试验以得到郑州换流站站址的直流污秽数据, 从而更加精确计算直流爬电比距, 以指导工程建设。

参考文献:

[1] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 马为名, 聂定珍, 曹燕明, 等. 特高压直流换流站系统优化设计[J]. 高压技术, 2010, 36(1): 26-30.

[3] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ±800 kV 6 400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 1-8.

[4] 范建斌, 宿志一, 李武峰, 等. 高压直流换支柱绝缘子和套管伞形结构研究计[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(21): 1-6.

[5] 郭贤珊, 宿志一, 乐 波. 特高压直流换流站支柱绝缘子设计[J]. 电网技术, 2007, 31(24): 1-6.

[6] GB/T311.3—2007, 绝缘配合第 3 部分: 高压直流换流站绝缘配合程序[S].

[7] 聂定珍, 马为民, 郑 劲. ±800 kV 特高压直流换流站绝缘配合[J]. 高压技术, 32(9): 75-79.

作者简介:

邓广静(1979), 男, 安徽淮北人, 工程师, 从事电气一次设计研究工作;

邵俊伟(1977), 男, 江苏南通人, 工程师, 从事电气一次设计研究工作;

王宏斌(1982), 男, 山东淄博人, 工程师, 从事电气一次设计研究工作。

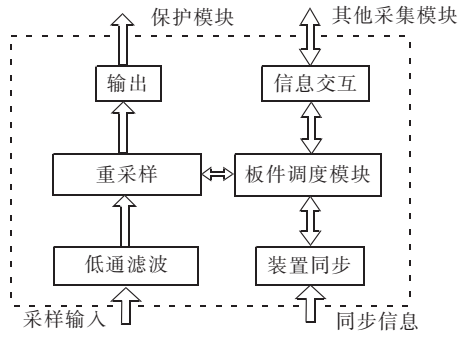


图 5 软件框架图

活，仅将传统保护的采样独立出来，不影响保护算法，减少了保护模块修改时间及修改带来的不确定性；缩短了固定设置重采样时间带来的数据滞后性，例如对于保护装置 24 点中断，外部信号 4 K 频率输入，重采样时间选在中断时刻情形下，采用该种方案设计，将使得保护获取到的数据提前 500 μs 左右。

4 结束语

文中对数字化变电站中保护 SV 接口关键技术与实现进行了研究与设计，建立了接口模型，分析了其映射实现，研究了时钟同步、采样及采样同步技术。最后采用大型 FPGA 及 SPORT 总线技术研制出该模块。使用该接口模块的保护装置于 2011 年在我国电压等级最高的智能变电站 750 kV 洛川变变

电站试运行，除为保护装置及时正确动作提供数据，对合并单元采样数据异常，通信异常等问题能及时响应，其运行稳定，各项技术参数令人满意。

参考文献：

[1] Q/GDW441—2010, 国家电网公司. 智能变电站继电保护技术规范[S].
[2] 胡 国,唐成虹,徐子安,等.数字化变电站新型合并单元的研制[J].电力系统自动化,2010,34(24):51-54.
[3] 曹团结,尹项根,张 哲,等.通过插值实现光差动保护数据同步的研究[J].继电器,2006,34(18):4-8,26.
[4] 吴崇昊,陆于平,徐光福,等.适用于母线保护的电子互感器采样频率转换算法[J].电力系统自动化,2007,31(3):79-82.
[5] 蒋雷海,陈建玉,俞拙非,等.数字化保护采样数据处理方案[J].电力系统自动化,2010,34(17):42-44.

作者简介：

胡 国(1977),男,江西抚州人,工程师,从事变电站综合自动化及嵌入式软件在电力系统内应用的相关研究与开发工作;
姚德泉(1982),男,江苏连云港人,助理工程师,从事变电站综合自动化工作;
张宏波(1975),男,吉林伊通人,工程师,从事嵌入式软件在电力系统内应用的相关研究与开发工作;
吴 海(1978),男,江苏江都人,工程师,从事电力系统自动化开发工作。

Research on Sampling Value Interface module for Digital Protection devices

HU Guo, YAO De-quan, ZHANG Hong-bo, WU Hai

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: In digital protection, sampling methods changed by self-AD samples for indirect communication. This paper analyzes new requirements caused by shift to the protection of research and development of sampling value interface module. Though establishing sampling value models, analyzes its mapping and synchronization sampling techniques. At last software and hardware structure of sampling unit module based on large FPGA and SPORT technology is introduced. The module can apply to different types of digital protection according to appliance needs and multiple configurations

Key words: digital protection; sampling value; clock synchronization; sample synchronism; FPGA; synchronous serial interface

(上接第 41 页)

Design of DC Indoor Switch Yard of ±800 kV Zheng Zhou Converter Substation

DENG Guang-jing, SHAO Jun-wei, WANG Hong-bin

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

Abstract: The connections of DC switch yard and parameters of main electrical equipment of ± 800 kV Zheng Zhou converter substation are analyzed and optimized in this paper. Then the pollution class of substation is calculated and specific creepage distance of DC equipment is determined. In order to decrease the equipment's external insulation, the air gap of DC switch yard is calculated and indoor switch yard dimension is suggested combining with equipment placement. Considering of the characteristics of valve hall, the placement of indoor switch yard and valve hall is designed to be symmetric layout. This design can be a reference for instructing Zheng Zhou converter substation's design.

Key words: DC converter substation; thawing connection; creepage distance; DC indoor switch yard