

发电厂倒送电及施工难点分析

朱 慧 林黎明 浙江科路核工程服务有限公司

【摘 要】本文以在建的发电厂扩建工程5、6号机组为例，详细介绍了“倒送电”对站运行前期准备的重要性。“倒送电”分为220kV和500kV系统两个阶段，分别阐述了各阶段的送电过程，以及气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）与刚性气体绝缘封闭输电线路（GIL）的主要施工难点分析。同时对施工过程中出现的难点进行介绍，并给出了相应的优化方案。对今后的工程施工具有一定的指导意义。

【关键词】倒送电；气体绝缘金属封闭开关设备；刚性气体绝缘封闭输电线路；施工难点；优化方案

【DOI】10.12316/j.issn.1674-0831.2022.15.067

引言

“倒送电”顾名思义就是沿着输电线路从外部电网将电能送至站的过程。在站基建期间，电气相关的主要设备如输电线路、开关站GIS、主变压器、辅助变压器、母线及电气二次保护部分均安装完成后，才具备受电条件。“倒送电”的意义主要有三点：第一，整个站建设期间，施工的用电设备需要利用临时电源，特别是后期需用电源容量较大，外部临时市电往往容量不足，因此需要通过主变、厂变将外部电源引入；第二，在发电前期，需要将电气设备（如：变压器、开关柜、电动机等）运转起来，处于长期带电状态，检查接线是否正确，从静态调试转为动态调试；第三，在电厂检修或停机阶段，同样需要用“倒送电”的方式，为站内提供检修电源和停机电源。220kV辅助电源系统倒送电和500kV输电系统倒送电是本项目的重要里程碑。

一、工程概况

两台机组均采用发电机—主变单元接线，以500kV电压接入系统；汽轮机发电机组额定功率为1150MW，机组运行负荷模式为承担基本负荷，机组平均可用率不小于82%。单元接线为发电机—变压器组—线路单元接线—高压、超高压电网。发电机出口设断路器，发电机与主变压器用离相封闭母线连接。每台机组设置两台高压厂用变压器作为6.6kV厂用电系统电源。厂区内主要电力系统变压器为三种，主变压器、高压辅助变压器、高压厂用变压器；电力线路包含有架空线路和电缆线路。倒送电主要就是将厂外电网电力通过这三种变压器将电源引入厂区，经过电力线路将电力引至各级负载。本项目倒送电分为220kV辅助电源系统倒送电以及500kV输电系统倒送电。

二、220kV辅助电源系统倒送电

1.系统介绍

本期工程2台机组设2台高压辅助变压器，作为机组的辅助电源；每台辅助变采用双卷变，单台容量为34MVA，变比 $230 \pm 8 \times 1.25\%/6.9\text{kV}$ ，接线组别YNynd0，阻抗百分数 $U_d=10.5\%$ 。辅助电源采取在一期原有220kV开关站基础上，扩建2个间隔。220kV开关站采用GIS开关，双母线接线形式，扩建后共有2路分别来自云台变电所和香河变电所的进线，6路分别去往1~6号机组辅助变压器的出线。从220kV开关站值本期场地辅助变压器采用220kV电缆引接。

2.送电流程

本期220kV辅助电源倒送电主要分三个阶段受电。

第一阶段：9LGR厂外备用电源受电（9LGRA/9LGRB），引接自现有的220kV开关站母线，与一期、二期共用252kV母线段。高压电从云台变电所及香河变电所引至气体绝缘组合电器设备252kVGIS出线户内装置，再由220kV电缆（截面为 500mm^2 ）通过辅助开关站下方电缆廊道送至高压辅助变压器。

第二阶段：高压电经过高压辅助变压将电压降至6.6kV送6.6kV常备母线段（1LGB/1LGC）、6.6kV单元母线段（1LGA/1LGD）、6.6kV应急母线段、6.6kV共用母线段（1LGA布置在LX厂房L404；房间1LGB布置在LX厂房L401房间；1LGC/1LGD布置在L406房间；1LGE/1LGF布置在1MX605房间）。其中单元厂用母线LGA、LGD、LGE、LGF为单元机组正常运行时所需要的设备供电；常备厂用母线LGB、LGC为单元机组停堆时仍需运行的设备供电。

第三阶段：由中压母线段向负载中心及下级负载提供电力，为使低压负载中心得电，常规岛每台机组设置3台容量为800kVA低压厂用变压器为汽机房单元厂用负荷供电，设置2台800kVA低压厂用变压器为汽机房常备厂用负荷供电，设置2台630kVA低压厂用变压器为汽机

房通风设备负荷供电,设置2台630kVA低压厂用变压器为凝结水精处理系统负荷供电。常规岛每台机组设1台630kVA低压厂用变压器,为汽机房应急设备供电。

每台干式变压器6.6kV侧通过电缆与6.6kV单元段配电盘相连,0.4kV侧通过母线与380/220配电盘相连。本项目厂用电采用6.6kV和380/220V两级电压供电,以额定功率为200kW的电动机为划分界限,额定功率为200kW以下的用电设备均采用380V电压,额定功率为200kW以上的用电设备均采用6.6kV供电。380V低压段以及直流段受电表明220kV辅助电源系统倒送电完成。

倒送电完成离不开其他系统的辅助,例如通风系统、消防系统、照明系统等。由于工期紧张,辅助系统部分采用临时措施,辅助系统的完成是220kV辅助电源系统倒送电的铺垫,220kV辅助电源系统倒送电完成预示着各级负载设备开始进入逐步调试阶段。

三、主要施工难点及优化方案

1.220kV电缆敷设

(1) 施工难点原因分析

本期两台机组的220kV辅助电源取自一期220kV 开关站,采用 220kV高压电缆引接至本期场地。由于220kV高压电缆造价较高,施工时应根据设计图纸重新复缆敷设路,详细计算电缆长度,并充分考虑电缆终端剥削长度、电缆弯曲长度、电缆蛇形敷设长度,以免单相电缆切割长度错误,造成不必要的损失。交流供电回路由多根电缆并联组成时,各电缆应等长,并应采用相同材质、相同截面的导体;同相多根并联运行的单芯电缆应注意避免电缆排列导致互阻抗不同引起的不同回路电缆间电流分配不均造成的过热击穿。在进行电缆管埋设前,应认真核对电气图纸及相关工艺图纸,以免电缆管埋错位置。

220kV电缆单根电缆截面为 500mm^2 ,屏蔽绝缘较厚,电缆外径为 $119.5 \pm 3\text{mm}$ 。根据电缆敷设国家标准规范GB50217敷设最小弯曲半径2390mm,运行时最小允许拐弯半径为1790mm。电缆敷设最大允许牵引力为 $70\text{kN}/\text{mm}^2$ 。220kV电缆沟宽400mm,全长约500米拐弯折角多达5处,并且电缆沟内底部标高并非一致呈现波浪形。220kV电缆三相在电缆沟内按要求呈“品”字形排列,且在电缆沟直线段每隔3米采用三相夹具固定一次。由于电缆本身由于电缆耐压等级较高,绝缘层较厚材质较硬,导体材质为铜线,电缆敷设长度较长,现场敷设较为困难。实际施工单位现场施工,未采取必要的保护措施导致在敷设过程中暴力施工,电缆外护套绝缘层多处

磨损破坏。由于220kV电缆的重要性,各方紧急联系电缆厂家人员进行修补,针对此次问题召开了电缆敷设质量控制专题会,修补后多次进行耐压试验,以确保电缆满足运行的可靠性。

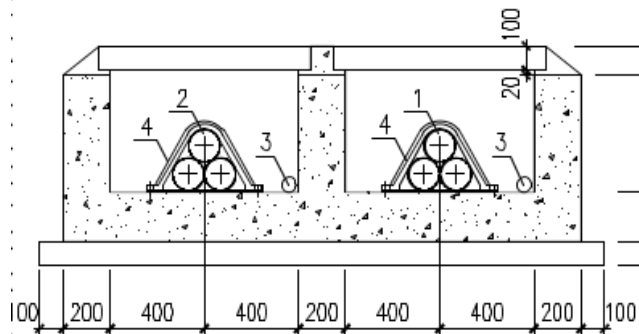


图1 沟道截面图

(2) 施工方案优化措施

电缆敷设过程中加强对外护套的保护,电缆沟拐弯处要加以防护,电缆敷设牵引机采用同步转动,定时人工检查牵引机轴承转速,尽可能匀速缓慢的敷设,加强对敷设人员资质要求或者在路面磨损严重处铺垫保护垫。

2.气体绝缘组合电器设备GIS安装难点分析

由于本期5、6号气体绝缘组合电器设备是在一、二期基础之上新增设备,而当时一、二期设备正在正常运行,为避免影响生产,只能在一、二期停电窗口进行对接,这个对接时间比原计划足足提前近半年。厂家与设计院接口资料交换提前结束,在采购将设备协调提前入场后,发现到货设备与土建预埋件基础不能匹配,厂家驻场与设计院现场开会定方案,由于时间仓促,埋件不能重做,只能在原有基础上重新增加埋件。考虑一期220kV GIS已运行15年,经各方讨论确认后,220kV GIS与一、二期GIS对接时对清洁度严格控制,并且试验区测量I母、II母各气室压力、微水和成分。

3.从辅助变至6.6kV盘柜电缆敷设难点

中压电缆共计12根 $1 \times 500\text{mm}$ 电缆,从辅助变经综合技术廊道延沟敷设至蒸汽厂房+8.00m层,中间经过冗长的沟道,廊道内多层桥架层层相叠,在拐弯处由于电缆数量较多,电缆弯曲半径达不到10D要求,最终通过减少拐弯处电缆托盘数量实现敷设,通过连廊和竖井抵达蒸汽厂房。

四、500kV输电系统倒送电

1.系统介绍。本期工程建设 $2 \times 1000\text{MW}$ 级机组,采用发电机—变压器组单元接线,经主变升压至500kV后接入500kV开关站。发电机冷却方式采用水—氢—氢。发电机额定出力与汽轮机额定出力相匹配,最大连额定功率为1150MW,机端电压24kV,功率因数0.9,次暂态

电抗百分数 $X_d'' = 26.52\%$ ，采用无刷励磁，设置出口设断路器，通过离相封闭母线与主变连接。主变低压侧设置接地变压器。主变压器由三台单相变压器组成，单台变压器容量430MVA，阻抗百分数 $U_d = 18\%$ ，接线组别YN，d11。

2.送电流程。第一阶段：本期工程建设2回主变进线、4回连接华东电网出线间隔，分别为姚湖线、艾塘线、花果山1线、花果山2线，其中花果山1与花果山2组成一个完整串运行，待7、8号机组建设时，花果山1与7号机组主变进行组成一个完整串运行，花果山2与8号机组主变进线组成一个完整串运行。500kV超高压倒送电从4个输电线路中任选一线由电网经厂区内架空线路进入主开关站气体绝缘组合电器设备GIS的II母线段，经GIS内部的3/2接线进入母线I段。

第二阶段：I母线5000A，63kA/3S经电气廊道封闭母线至主变压器，主变压器将超高压降压至24kV经封闭母线进入高压厂用变压器A和高压厂用变压器B。高压电经高压厂用变压器至6.6kV单元母线段、6.6kV应急母线段、6.6kV共用母线段。每台机组设2台双分裂绕组、容量为68/34-34MVA高压厂用变压器作为厂用电源，从主变压器低压侧和发电机出口断路器之间引接。其中高厂变A带机组单元负荷、常备负荷、共用及厂区负荷以及正常运行时所需要的应急母线上的负荷，高厂变B仅带机组负荷。高厂变A、B均装有载调压开关，以保证机组正常起停时高压母线电压水平的要求。每2台机组设2台带有载调压开关的高压辅助变压器，其高压侧接至辅助电源开关站的220kV母线上。

3.500kV输电线路倒送电施工难点分析。500kV输电线路倒送电由于工程量巨大，难点也很多。其中主要难点就是GIL封闭母线段安装，本期采购GXL2-550刚性气体绝缘输电线路由标准直线段、弯角段组合而成，采用法兰连接结构，母线外壳设置波纹管并并联补偿器用于温度补偿吸收。设备支架与设备连接方式分为两种：固定支架和滑动支架，采用沟道铺设，用户预埋300×300钢板，支架底板与预埋件通过焊接方式固定。现场施工时发现，有部分预埋件与到货支架底部安装位置不匹配，为避免施工进度，现场采用临时支架，待预埋件修正之后安装正式支架。整个DG廊道长约350m有4出拐弯，廊道宽4800mm高2800mm，母线段每段长度各不相同，最长不解体尺寸为12200×630×730mm，标准直线段长度为12000mm，直径625mm，进入DG廊道只能通过固定的吊物孔进入，在廊道内进行排列组合。如图2所

示：采用吊装设备先将中间相母线段吊装就位，然后分别吊装两侧边相母线段。而安装对环境要求高，作业区湿度不得高于80%，户外设备在阴雨、风沙天气不允许装配；作业区内不得进行生产粉尘及金属微粒作业，在防尘环境中进行内部清洁与法兰对接，清理之后的颗粒防尘罩保护。封闭母线安装完成后需要进行主回路电阻测试。主回路电阻测量目的是检查整个GIL是否有短路或者接地情况，分段测量是为了更早的反映电气设备导体部分是否存在绝缘缺陷，每相GIL设立3个测量点（如图3），测量形态共有八类，单个机组三相共需要进行12次试验，每安装一部分就需要重复做主回路电阻测量、更换吸附剂、抽真空、充气、检漏、微水试验、高压试验等工作。

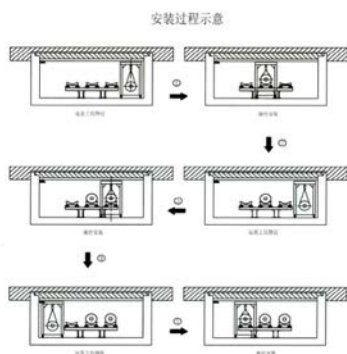


图2 安装流程图

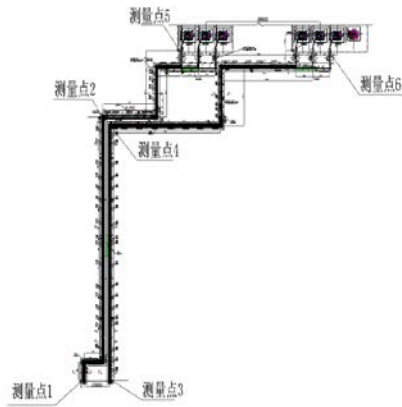


图3 测量点示意图

五、结语

倒送电节点的实现是本项目的重要里程碑，是每个电厂实现运行不可或缺的一部分。安装过程中也会遇到重重困难，只有充分了解倒送电系统原理、送电流程和安装困难，才能更好的为电厂建设后期设备调试运行提供有力支持。

参考文献：

- [1]王葵,孙莹.电力系统自动化(第2版)[M].北京:中国电力出版社,2007.
- [2]王锡凡.电气工程基础[M].西安:西安交通大学出版社,2009.