

水电站单回送出线路运行安全风险及应对措施研究

车 军, 王 志, 黄 金 山

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘 要: 电站 A 为某大型国调直调水电站, 共有三回送出线路, 与下游电站 B 首尾相连。在某特殊情形下, 电站 A 两回送出线路均检修, 只剩单回送出线路运行, 与电网系统联系薄弱, 存在送出通道受阻、对外全部停电、站内厂用电全部失压、拉空下游电站 B 水库水位等安全风险。笔者以电站 A 为例, 分析了水电站单回送出线路运行时存在的安全风险, 并针对各风险提出了相应的应对措施。

关键词: 线路跳闸; 厂用电失压; 应急处置

中图分类号: TK227

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)02-0147-05

Study on Safety Risk and Countermeasures of Single-circuit Transmission Line of a Hydropower Station

CHE Jun, WANG Zhi, HUANG Jinshan

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610051)

Abstract: Hydropower station A is a large-scale national direct transfer hydropower station with three transmission lines, which are connected end to end with downstream hydropower station B. In a special case, the two transmission lines of power station A are repaired, leaving only one transmission line in operation, which is weak in connection with the system. There are safety risks such as blocked transmission channels, all external power outages, all power supply voltage loss in the station, and emptying downstream power station B water level, etc. Taking hydropower station A as an example, this paper analyzes the safety risks existing in the operation of A single transmission line of hydropower station, and puts forward corresponding countermeasures for each risk.

Keywords: Line tripping; Auxiliary power loss; Emergency disposal

0 前 言

电站 A 与电站 B 为西南地区国调直调水电站, 是国家西部大开发的标志性工程, 是“西电东送”骨干电源点。其中电站 A 水库为年调节, 调节库容 49.1 亿 m^3 , 装有 6 台水轮发电机组, 装机容量 3 600 MW (6×600 MW), 多年平均发电量 166.2 亿 kW · h。电站 A 枢纽主要建筑物由混凝土双曲拱坝、坝身“4 个表孔 + 5 个中孔 + 2 个放空底孔”与坝后水垫塘、右岸 1 条有压接无压泄洪洞及右岸中部厂房等组成。电站 A 共有 3 回交流 500 kV 电压等级送出线路, 每回线路输送容量(夏季考虑 80 °C 温升) 270 万 kW。电站 A 电气主接线采用发电机—变压器单元接线, 500 kV 侧接线为 3 串 4/3 断路器接线, 6 回机变单元进线及 3 回 500 kV 出线分别接在 3 串 4/3 断

器接线上, 电站 A 电气主接线见图 1。

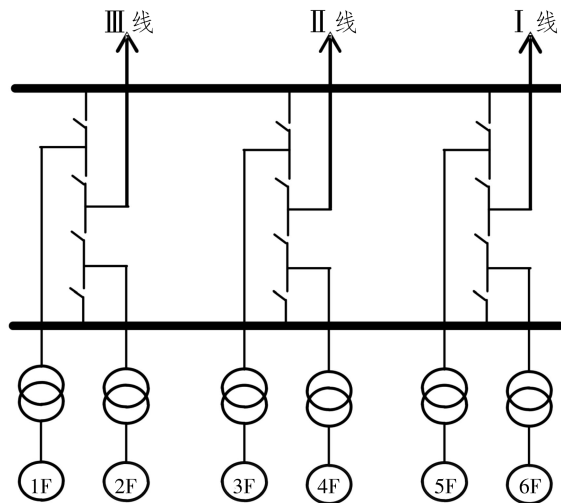


图 1 电站 A 电气主接线图

电站 A 厂用电采用 10 kV 和 400 V 两级电

压供电。从6台主变低压侧各引一个电源,经高厂变分别接至6段10 kV母线上,且电站A 10 kV厂用电接有3路外来备用电源。坝区10 kV母线上接有一台1 600 kW的10 kV柴油发电机作为电站的保安电源,表孔400 V母线上接有一台500 kW的400 V柴油发电机作为大坝现地保安电源。

电站B是在电站A后的大河湾上截弯取直的引水式电站,水库为日调节,调节库容496万m³,装有8台水轮发电机组,装机容量4 800 MW(8×600 MW),多年平均发电量242.3亿kW·h。由于电站B与电站A首尾相连,且电站B水库库容较小,因此电站A出库流量的大幅变化直接影响着电站B水库的运行安全。

电站A与电站B为国调直调电站,两站的发电计划与水库调度由流域公司的集控中心统一管理。

1 单回送出线路运行的安全风险

若电站A送出线路Ⅰ/Ⅱ线同时停运,电站A只剩Ⅲ线单回送出线路(笔者所指单回送出线路运行方式均以此为例),与电网系统联系薄弱,存在以下安全风险:

(1) 冬季线路易发生覆冰、沿线易发生山火等自然灾害,夏季沿线易发生恶劣天气、山体滑坡等自然灾害,对线路安全运行构成较大威胁,若出现线路跳闸,将会导致电站A对外全部停电^[1]。

(2) 当电站A对外全部停电,机组负荷全甩时,电站A出库流量骤然降低,可能导致电站A水库水位快速上升,若不及时采取措施调整,水库水位可能会超过控制水位,甚至出现漫坝风险^[2]。

(3) 当电站A对外全部停电,机组负荷全甩时,电站A出库流量骤然降低,若无法及时给电站B水库补水,将可能拉空电站B水库水位,危及电站B水工设备设施和库区作业人员及设备安全。电站A紧急泄水给电站B水库补水时,若未及时通知相关工作面人员撤离,可能危及电站A下游作业面人员及设备安全。

(4) 当电站A对外全部停电,机组过频保护动作跳闸时,如未及时调整厂用电运行方式,可能导致全站厂用电全部失压,影响站内重要设备的正常供电,例如机组重要辅助设备(技术供水、高压油、主变冷却器等)、全厂直流系统、调度通信设

备等。厂内/外渗漏排水泵失电,可能导致排水不及时而水淹设备,机组重要辅助设备失电,可能导致机组无法正常启停^[3]。

(5) 当电站A对外全部停电,全厂厂用电全部失压时,电站A的发变组检修工作及Ⅰ/Ⅱ线线路一次/二次设备检修等工作可能因停电而无法正常工作^[4]。

2 安全保障措施

2.1 人员保障

(1) 运行部应至少安排1名管理人员负责电站A现场生产管理和工作协调,所有人员实行24小时待命制,24 h保持通讯畅通,不得随意离开工作岗位。

(2) 现场人员应服从上级工作安排,突发事件发生时,待命人员需立即现场支援,保证人数和人员技术能力满足现场紧急处置工作要求。

2.2 设备保障

(1) 合理安排机组运行方式,提前倒换厂用电,增加厂用电可靠性,检查备自投装置运行正常。

(2) 加强对厂外辅助供电及外来电源管理,电站A单回送出线路运行期间,尽量不安排对外辅助供电,且确保外来电源备用正常,以提高厂用电运行可靠性。

(3) 提前进行10 kV柴油发电机、400 V柴油发电机、泄洪预警警铃等应急设备试验,确保应急设备在紧急情况下可正常使用。提前进行泄洪设施设备、应急照明、厂用电备自投装置专项检查确认。

(4) 加强设备运行状态监视及巡检,对仅有单回线路的线路保护相关设备、10 kV及400 V厂用电系统,泄水设施设备每周至少巡检两次,应急通讯设备每班至少进行一次巡检和通话测试。

(5) 电站A当班值长应密切关注上级单位发布的灾害性天气预警,当接收到冰冻等异常天气预警时,中控室应按要求及时预警,做好气象预警信息传递工作。

(6) 电站A当班值长应密切关注每日水情信息、入库流量与发电流量、坝前水位,与集控中心保持密切沟通,保证电站A入库流量与发电流量动态平衡,保证坝前水位在规定范围之内。电站B当班值长应分别关注实时水情信息、电站A发

电流量与下泄流量、电站 B 发电流量与下泄流量、电站 B 坝前水位,与集控中心保持密切沟通,保证电站 B 入库流量与发电流量、下泄流量平衡,保证坝前水位在规定范围之内。

(7) 现场作业人员,应随身携带手电筒。

3 应急处置措施

3.1 应急处置原则

电站 A 仅剩的单回送出线路跳闸后,按照“保人身、保主设备、保厂用电”原则进行事故应急处置。

(1) 保人身处置原则。

①操作安全:事故应急处置时,电气设备原则上采用监控远方操作方式;若无法监控远方操作,则采取现地电动操作方式;若仍无法操作,则在确认设备无异常、闭锁逻辑正确、操作条件满足规程规定的前提下,考虑采用纯手动操作方式。

②泄水安全:若需电站 A 紧急泄水给电站 B 水库补水,集控中心正常情况下提前 3.5 h,紧急情况下提前 40 min 通知电站 A,电站 A 接到通知后,立即通知电站 B,两站立即通知相关工作面负责人或紧急联系人组织撤离,得到作业面人员全部撤离的答复,并执行正常泄洪预警流程后,方可开闸泄水。若电站 A 坝前水位快速上涨或者机组甩负荷时,立即做好泄洪预警信息发送和汇报工作,及时调整闸门开度加大泄水流量;当电站 B 坝前水位快速下降时,应及时申请集控中心同意降低电站 B 全厂出力,调整闸门开度减少下泄流量,尽可能避免电站 B 水库拉空。

③厂房作业安全:若出现全厂厂用电全部失压且厂房事故照明切换失败的极端情况,原则上现场作业人员应立即暂停工作,前往主厂房安全地带,避免照明不足或照明消失带来的作业风险;运行人员应及时通过消防广播系统对厂房人员做好停电告知。

④其他:出现全站厂用电全部失压时,尽量不使用电梯。

(2) 保主设备处置原则。

①出现全站厂用电全部失压且外来备用电源不可用的极端情况,应尽快将运行机组紧急停机,防止轴瓦损坏;投入备用机组空气围带,防止水淹水导;尽快恢复厂房内/外渗漏排水系统,防止水淹设备。依据电站 A 运行规程及招

标文件,在无厂用电情况下的相关设备操作要求见表 1。

表 1 无厂用电情况下的相关设备操作要求

设 备	操作要求
停机方式	1. CCS 上启动“机械事故停机/电气事故停机/紧急事故停机”流程或按中控室模拟屏上“事故停机”按钮; 2. 若上述方式下机组导叶未可靠回关,立即现地手动关闭调速器导叶,导叶全关后关闭筒阀
高压油	1. 紧急停机过程可以无高压油泵安全停机; 2. 在机组 10%~50%额定转速时,机组至少能连续安全运行 30 min
技术供水	机组各部导轴承在冷却器冷却水中断时,机组在额定转速、最大容量下无损运行时间可达 15 min,有烧瓦风险
制动风闸	紧急情况下机组转速降至 35%Ne 及以下时可以投入制动风闸,降低机组低转速运行时间
顶盖排水	机组停机备用期间,若顶盖排水系统无法投入运行时,应投入机组空气围带,关闭主轴密封水供水阀,防止顶盖水位持续上升导致水淹水导
厂房渗漏排水	当前厂房渗漏排水泵启动间隔时间为 48 h(依据电站 A 现场实际)
水垫塘渗漏排水	当前水垫塘渗漏排水泵启动间隔时间为 3.5 h(依据电站 A 现场实际)
大坝渗漏排水	当前大坝渗漏排水泵启动间隔时间为 1.5 h(依据电站 A 现场实际)

②出现电站 A 机组跳闸甩负荷停机且转速达到二级及以上过速值(水头 ≥ 176.8 m,145%额定转速;水头 < 176.8 m,139%额定转速)时,应对机组转动部件进行全面检查,再次开机时应监视机组各部温度、振动和摆度值,其他过速情况仅对发电机风洞、水车室、滑环室进行外观检查。

(3) 保厂用电处置原则。

①出现电站 A 对外全部停电且机组进入孤网运行情况时,应严密监视机组辅助设备运行情况,及时恢复受冲击影响的厂用电负荷。

②出现电站 A 对外全部停电且机组全部跳闸情况时,应立即将机组厂用电倒换至外来施工电源供电,尽快恢复厂用电供电^[5]。

③出现电站 A 对外全部停电且外来备用电源全部失压情况时,应尽快将运行机组紧急停机,

停机操作要求参照表1执行;同时尽快启动大坝10 kV柴油发电机,设法恢复厂/内外渗漏排水、全厂直流系统、调度通信系统、机组辅助设备(技术供水、高压油、主变冷却器等)等系统供电;尽快启动表孔400 kV柴油发电机,设法恢复大坝泄洪闸门的供电,做好电站A泄洪闸门紧急泄水操作准备^[6]。

3.2 应急处置要求

(1)两站水力平衡要求。

①电站AⅢ线未跳闸,若电站A水库水位上涨速度可控,可通过申请调度开启电站A备用机组(带负荷或空转)、置换电站A/B两站负荷的方式保证两站水量平衡。若电站A水库水位上涨速度较快,经采取措施仍然无法控制时,两站立即通知相关作业面人员立即撤离;水位达到控制水位时,两站按紧急泄水相关规定进行泄水;提前计算好当前库水位在不同入库流量下上涨至控制水位所需时间,根据泄水的紧迫性科学地制定响应方案。

②当电站B线路送出通道受阻、紧急减负荷、机组跳闸时,立即汇报集控中心、通知电站A。当电站B坝前水位快速上涨或者机组甩负荷时,可通过申请调度开电站B备用机组或备用容量带负荷、减少电站A负荷,保持两站水量平衡;若无法调整,立即通知电站B闸坝上下游相关工作面人员撤离,按规定做好紧急泄水预警、闸门操作准备。当电站B坝前水位快速下降时,应及时申请集控中心同意降低电站B全厂出力、调整闸门开度减少下泄流量,尽可能避免电站B水库拉空。

(2)保主设备及厂用电处置要求。

①若电站AⅢ线跳闸,电站A对外全部停电,立即汇报集控中心、通知电站B,做好稳定电站B水库水位工作;汇报运行部请求人员支援;汇报生产厂领导,申请启动全站停电事故应急预案。同时安排现场值班人员检查电站AⅢ线跳闸故障点在站内还是站外,若故障点在站外,根据电网检查情况做好线路恢复送电准备;若故障点在站内,则通知检修人员全面检查,做好Ⅲ线设备故障应急处置准备。

②若电站AⅢ线跳闸后并网机组进入孤网运行,部分机变带厂用电运行,则密切监视机组电压、频率,监视厂用电及辅助设备运行情况,及时恢复受冲击影响的厂用电负荷,通知检修人员现场协助检查处理。

③若电站AⅢ线跳闸后并网机组全部跳闸,且外来备用电源供电正常,则应立即将机组厂用电倒换至外来备用电源供电,退出全部10 kV厂用电备自投功能压板,对10 kV母线逐段送电,最终由外来备用电源带厂内负荷运行。同时,因500 kVⅠ母、Ⅱ母均已失压,根据国调直调规程要求,需尽快汇报集控中心同意后拉开与500 kVⅠ母、Ⅱ母相连的所有开关。

④若电站A站内、站外厂用电全部失压,则应尽快将运行机组紧急停机,停机要求参照表1执行,监视机组停机过程(重点关注导叶与筒阀关闭是否正常),必要时手动帮助(若导叶无法关闭则考虑落进水口工作闸门)。投入备用机组空气围带,采取防止水淹水导的措施。同时尽快启动大坝10 kV柴油发电机并设法恢复厂/内外渗漏排水系统、全厂直流系统、调度通信系统、机组辅助设备(技术供水、高压油、主变冷却器等)等系统供电;监视并控制好厂房内/外渗漏集水井水位;尽快启动表孔400 kV柴油发电机,设法恢复大坝泄洪闸门的供电,做好锦西电厂泄洪闸门紧急泄水操作准备^[7]。

⑤根据调令,逐步恢复线路及机组,逐步恢复10 kV厂用电母线正常运行方式及400 V各系统正常运行方式。

(3)应急通讯要求。事先确定好电站A、电站B各相关部门紧急联系人及联系方式,事先梳理电站A、电站B大坝上下游各工作面联系人及联系方式,并确保通讯畅通。

4 结 语

水电站单回送出线路运行方式下,系统可靠性较差,且送出线路较长,沿线若发生山火、覆冰、恶劣天气等自然灾害造成此单回线路跳闸,会导致全站对外停电;由于在实际运行中处理类似事故的经验相对较少,所以电站运行值班人员应事先制定应急预案、进行演练、不断总结,提高系统

运行的可靠性和运行方式的灵活性,确保人身安全、设备安全。

参考文献:

[1] 范皓. 水电厂在全网停电事故时的应对措施和问题[J]. 科技与企业, 2013(10):40.

[2] 夏旭丽, 姚庆成. 预防水电厂全厂停电事故的对策[J]. 电力安全技术, 2006, 8(7):50-52.

[3] 曾火琼. 防止水电厂全厂停电的技术措施[J]. 电力安全技术, 2004, 6(12):12-13.

[4] 胡畅. 大岗山水电站线路事故跳闸应急处理方案[J]. 水电与新能源, 2017, 160(10):56-59.

[5] 张百川. 土贤庄水电站厂用电消失应急预案与演练[J]. 小

水电, 2017, 194(2):30-31.

[6] 王跃. JLTEJ 水电站厂用电消失应急处理[J]. 小水电, 2020, 214(4):75-78.

[7] 向敏鑫, 陈灏, 彭斌. 江垭水电站全厂失压处理方案研究[J]. 湖南水利水电, 2010(5):72-75.

作者简介:

车 军(1972-),男,四川苍溪人,高级工程师,学士,从事水电站运行管理相关工作;

王 志(1985-),男,湖北黄梅人,高级工程师,学士,从事水电站运行管理相关工作;

黄金山(1989-),男,江苏兴化人,工程师,硕士,从事水电站运行值班相关工作.

(编辑:吴永红)

(上接第 146 页)

趋势基本相同,且三个断面的最大沉降值都有着不同程度的增大,在全部开挖过程中一直保持有断面 A 的最大沉降值>断面 B>断面 C,相差值都在 1~3 mm。三个断面在开挖第 4~6 步时都出现较为明显的沉降变化,在这个过程中三个断面的沉降值分别占了所有 9 个开挖步的沉降变化值的 57.5%~70.0%,所以第 4~5 步的开挖是控制地表沉降变化的关键步骤。

从上述分析中也可以看出两种工法对地表沉降的影响差距并不大,而在实际工程中采用全断面法更加方便。

4 结 语

通过对地铁车站换乘通道开挖的模拟,从既有车站隧道结构安全系数以及地表沉降两个方面进行了分析与比较,可以得到以下结论。

(1)在换乘通道开挖的过程中会使车站主体支护的安全系数下降,断面 A 处关键步序为第 1~2 步开挖,断面 B 处是第 5~6 步开挖,而断面 C 处为第 4~6 步开挖。实际工程中,在开挖到关键开挖步时建议缩短开挖进尺并对既有车站隧道结构进行监测,确保既有车站隧道结构安全。

(2)随着换乘通道的开挖会逐步引起地表沉降的增大,并且在换乘通道开挖的一侧会出现一定程度沉降而导致沉降槽的最低点向这一侧偏移,偏移量在 2.8~5.7 m。

(3)全断面法初始开挖阶段导致既有车站隧道结构安全性降幅较大,而在后续施工过程中两

种工法对既有车站影响差异均较小。因此,在实际工程中推荐联络通道初始开挖阶段(L1、L2 段)采用台阶法施工,待过了较大影响区以后,采用全断面法施工,进而可以在保障安全的前提下兼顾施工效率。

参考文献:

[1] 吴月红. 上跨隧道开挖对既有隧道的影响及加固措施研究[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2022, 21(4):62-66.

[2] 李晓娟. 黄土浅埋隧道横通道开挖对隧道衬砌影响的分析[J]. 河南建材, 2015(6):111-113. DOI:10.16053/j.cnki.hnjc.2015.06.058.

[3] 张伟立, 王承健. 联络通道开挖对已建地铁隧道的影响分析[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(S1):452-455.

[4] 董新平, 周顺华, 高万春, 等. 地下通道开挖宽度对地表沉降的影响[J]. 地下空间与工程学报, 2005(3):419-422.

[5] 谢明, 姚坚, 孙巍. 外滩通道对下卧大直径隧道的开挖影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2010(2):69-73+81+10. DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2010.02.024.

[6] 姚坚, 孙巍, 谢明. 外滩通道平行开挖对既有大直径隧道的影响分析和设计方案优化[J]. 城市道桥与防洪, 2010(4):186-190+17. DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2010.04.058.

[7] 王彬. 横通道开挖对老隧道受力影响的监测分析及控爆措施[J]. 公路交通技术, 2012(2):114-117.

[8] TB 10003-2016, 铁路隧道设计规范[S].

作者简介:

缪振畴(1982-),男,福建福安人,工程师,学士,从事隧道及地下工程施工技术与管理方面的工作;

朱 龙(2000-),男,四川巴中人,硕士研究生,从事隧道科研及设计工作.

(编辑:吴永红)