

甘肃洮河峡城水电站电气主接线方案研究

洮河峡城水电站装机容量为37.5 MW (3×12.5 MW)，电气主接线是水电站电气设计的核心部分，是水电站进行发电、输电及配电等设备的能量传输点，它与电力系统、电气设备的选型和布置关系密切，直接影响水电站的运行维护和投资成本，电气主接线方案的选定更是对水电站运行的稳定性和可靠性有着直接影响。该河段相邻的三座水电站具有联合统一调度、梯级控制经济运行的优势，且具有承担供电、调峰、调频、调相、事故备用和提高系统效益等多方面的功能。该水电站经过近8年多、各种工况条件下的运行考验，其系统灵活、安全、稳定且可靠，可实现流域梯级联合调度、提高系统效益等多方面的功能。

安 源 任 源/西安理工大学水利水电学院

为河床式电站。电气主接线方案的选定对水电站运行的稳定性和可靠性有着直接的关系，直接影响水电站的运行维护和投资成本。

1 水电站接入系统方式

根据甘电司计[2006]25号文件下达的关于峡城水电站接入系统审查意见的通知^[1]，峡城水电站接入系统方式选为110 kV电压等级。110 kV出线4回，其中两回与莲麓水电站相连，导线截面为LGJ-185，线路长度为2×6 km；1回至海甸峡开关站（先期建成），接入开关站后送至临洮变电站，导线截面为LGJ-240，线路长度为11 km；另1回接入临洮330 kV变电站110 kV侧，导线截面为LGJ-300，线路长度为52 km。峡城水电站接入系统地理位置示意图如图1所示。

0 引言

峡城水电站是洮河干流九（甸峡）～海（甸峡）段梯级电站的第二级，水电站距上游第一级莲麓水电站约5.3 km，距下游海甸峡水电站15.7 km，



安 源/副教授

关键词/Keywords

水电站 ·
主接线 ·
发电机侧接线 ·
升高电压侧接线 ·

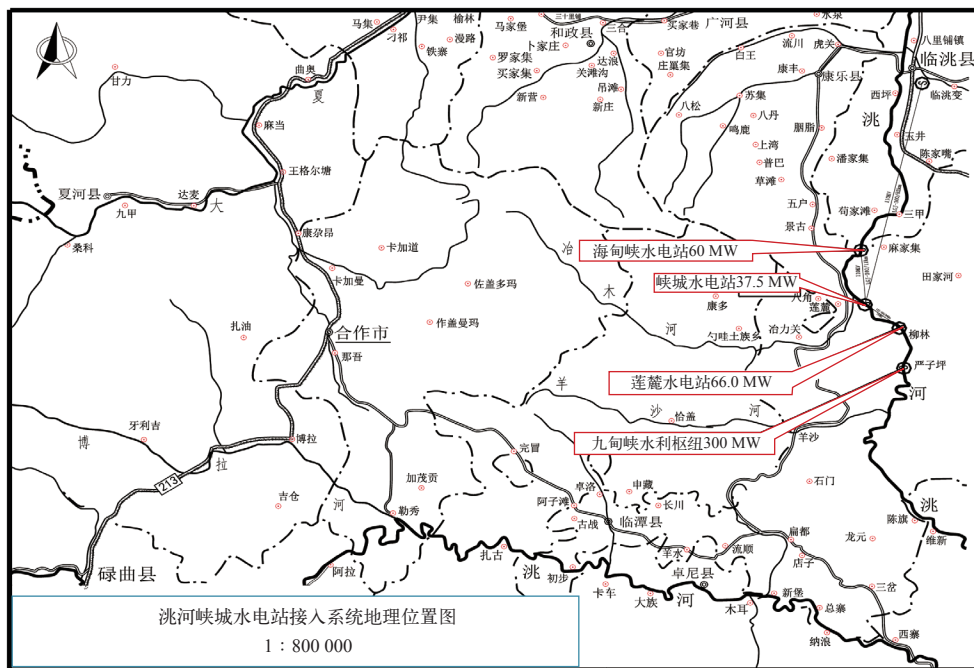


图1 峡城水电站接入系统地理位置示意图

该河段这三座水电站由同一家公司（甘肃电投九甸峡水电开发有限责任公司）运营管理，三座水电站具有联合统一调度、梯级控制经济运行的优势，充分合理利用水资源，实施流域梯级联合调度，且具有承担供电、调峰、调频、调相、事故备用和提高系统效益等多方面的功能，可提供灵活的操控运行方案，对保证电网安全稳定，改善系统的供电质量，提高系统的经济效益具有十分重要的作用。每年的7~9月洮河流域处于洪水期，充分利用来水量，使9台机组全部投入运行，实现满发、多供，承担甘肃电网系统基荷；在上游九甸峡水库供水期间，下游的三座水电站运行时应尽量利用水头，承担甘肃电网系统腰荷和基荷，充分利用可调出力，起到系统的调频、调峰和事故备用的作用。

峡城水电站2009年12月1日首台机组并网发电、2010年1月25日2号机组正式并网发电、2010年4月25日3号机组并网发电。该水电站建成发电至今已有8年多，经过各种工况条件下的运行考验，其系统灵活、安全、稳定且可靠，得益于电气主接线方案的合理选择和各种电气设备的密切配合以及优良性能的高效发挥。

2 电气主接线方案比选研究

峡城水电站保证出力8.56 MW，多年平均年发电量1.427亿kW·h，装机年利用小时数3 805 h。根据水电站主接线的设计原则^[2-4]：供电可靠，接线简单、清晰，运行灵活，经济合理。依据规程规范、水电站接入系统方式及峡城水电站总装机容量（3×12.5 MW），在设计时进行以下电气主接线方案的比较。

发电机侧电压等级确定：根据水电站电气主接线的设计规范，结合本水电站单机容量^[5]为12.5 MW、无调节和河床式的特性，选定发电机出口为10.5 kV电压等级。

2.1 发电机侧接线方案比较

(1) 方案一：单元接线及扩大单元接线组合

10.5 kV侧采用单元接线及扩大单元接线组

合方案。主变压器型号^[6]拟选SF9-31500/110及SF9-16000/110各一台。

1) 优越性。接线简单清晰，运行维护灵活方便；10.5 kV侧高压设备较少；设备布置简单方便；设备维护^[7]工作量较少，可做到无人值守^[8]或少人值守；运行控制灵活可靠。

2) 缺陷。主变压器故障时影响所连接机组的送电；由于在扩大单元接线上接有水电站生产、生活区供电负荷，当机组停机时，将影响生活区电力供应^[9]。

(2) 方案二：单母线分段接线

10.5 kV侧采用单母线分段接线方式，主变压器型号拟选SF9-16000/110及SF9-31500/110各一台。

1) 优越性。接线简单清晰，运行维护方便；便于采用成套配电设备，简化现场布置，水电站厂用电的供电可靠性较高。一段母线及所连接设备故障或检修时，另一段母线的机组能继续向系统送电，供电可靠性及灵活性相对提高。

2) 缺陷。增加三台母线设备，设备增多、继电保护较复杂，设备投资增大^[10-11]。

(3) 方案三：单母线不分段接线

10.5 kV侧采用单母线不分段接线方式，主变压器型号拟选SF9-16000/110及SF9-31500/110各一台。

1) 优越性。接线简单清晰，运行维护方便；便于采用成套配电设备^[12]，简化布置；继电保护简单。

2) 缺点。电动机母线发生故障或检修时，水电站全厂需停止发电，可靠性及灵活性极差。

水电站选定的接线方案不同，选用的设备也不同，设备投资差异较大，其中：方案一主要设备投资费用为596.7万元；方案二主要设备投资费用为608.8万元；方案三主要设备投资费用为591.2万元。

(4) 技术及经济性比较

三种方案在技术上均能可靠安全运行。但方案一发电机电压侧设备较少；继电保护简单，维护工作量小；主变压器故障或检修时，所连机组不能送出电力。方案二增加了10.5 kV侧母线设

备, 继电保护较复杂, 维护不灵活、不方便; 方案三发电机电压侧电气设备投资相对较小, 但母线故障或检修时, 需全厂停电, 可靠性及灵活性极差。方案三的投资最低, 其次是方案一, 方案二投资最高, 比方案三投资高17.6万元。

综合考虑到经济合理、运行灵活、安全可靠、管理水平、气候环境和交通条件等诸多因素, 发电机侧接线推荐采用: 单元接线及扩大单元接线组合的方案一, 方案一经过中国水利水电科学研究院的专家组核定认可, 根据科技查新报告显示, 设计推荐的方案一在当时是最佳的发电机侧接线方案。经过多年运行考验, 验证了该方案技术先进、经济合理和安全可靠^[13]。

三种接线方案线路结构图如图2所示。

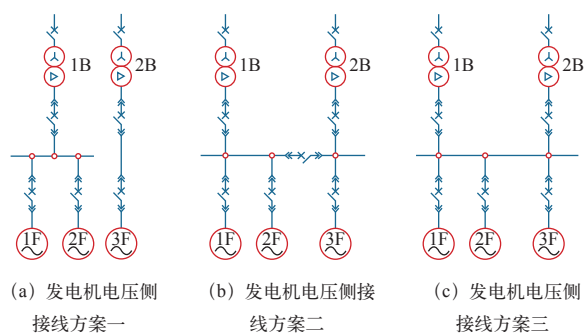


图2 发电机电压侧接线线路结构图

2.2 升高电压侧接线方案比选

升高电压侧选定为110 kV电压等级。110 kV进、出线回路数为4进2出。根据进、出线回路数和经济合理、运行安全可靠及稳定的技术要求, 对升高电压侧接线进行了以下方案比较。

(1) 方案一: 单母线分段接线

接线简单清晰, 每一进、出线各自接一组断路器, 互不影响; 正常运行操作由断路器进行, 便于实现自动化和远动化^[14]; 隔离开关只作为断路器或线路及母线检修时隔离用, 减少误操作的可能性^[15]。继电保护比较简单; 进、出线回路可不相对应, 电能由母线集中分别向各出线回路供电, 配置灵活; 母线及所连接设备检修或故障, 只影响该段母线及所连接回路停电^[16], 可靠性高于单母线、较双母线差; 断路器检修, 所连接回

路停电; 分段断路器故障, 暂时全厂停电, 拉开隔离开关后, 两段母线解列运行, 检修时也可解列运行; 与单母线接线相比, 多一组断路器及所属设备, 布置面积稍有增加。

(2) 方案二: 单母线带旁路接线

接线清晰, 每一进、出线各自接一组断路器, 互不影响; 正常运行操作由断路器进行, 便于实现自动化和远动化, 继电保护也比较简单; 断路器与进、出线回路数相等, 布置简单; 进、出线回路可不相对应, 电能由母线集中后分别向各出线回路供电, 配置灵活; 母线及所连接的设备检修或故障将造成全厂停电; 出线断路器检修, 不影响送电; 比单母线分段少一组断路器, 但增加旁路母线和隔离开关, 布置较复杂。

(3) 方案三: 双母线接线

接线清晰, 每一进、出线各自接一组断路器, 互不影响; 一组母线及所连接设备故障, 不影响另一组母线供电^[17], 将故障母线所接回路切换到另一组母线后即可恢复供电, 运行灵活可靠; 两组母线可根据各线路负荷情况, 通过切换, 达到两组母线的负荷大致平衡; 任一组母线及所连接设备检修, 经过切换操作, 不影响供电; 扩建方便; 检修任一条线路的断路器时, 为不使这一条线路长时间停止工作, 可用母联断路器代替线路断路器送电 (但需设置检修断路器的临时跨条); 隔离开关数量较多, 设备投资增加; 切换母线操作过程比较复杂, 易造成误操作, 不利于实现自动化和远动化; 母联断路器故障, 需短时全厂停电, 检修时两组母线解列或按单母线运行。

三种接线方案线路结构图如图3所示。

升高电压侧接线方案不同, 所选用的设备也不同, 但设备投资相差不大。其中, 方案一主要设备投资为1 033.84万元; 方案二主要设备投资为1 031.8万元; 方案三主要设备投资为1 046.3万元。从经济性比较: 方案一与方案二投资相差不多, 方案三偏高; 但方案二、三对应的土建投资费用相对增加较多; 而方案一从运行灵活性和可靠性、安全性方面都优于方案二、方案三, 可

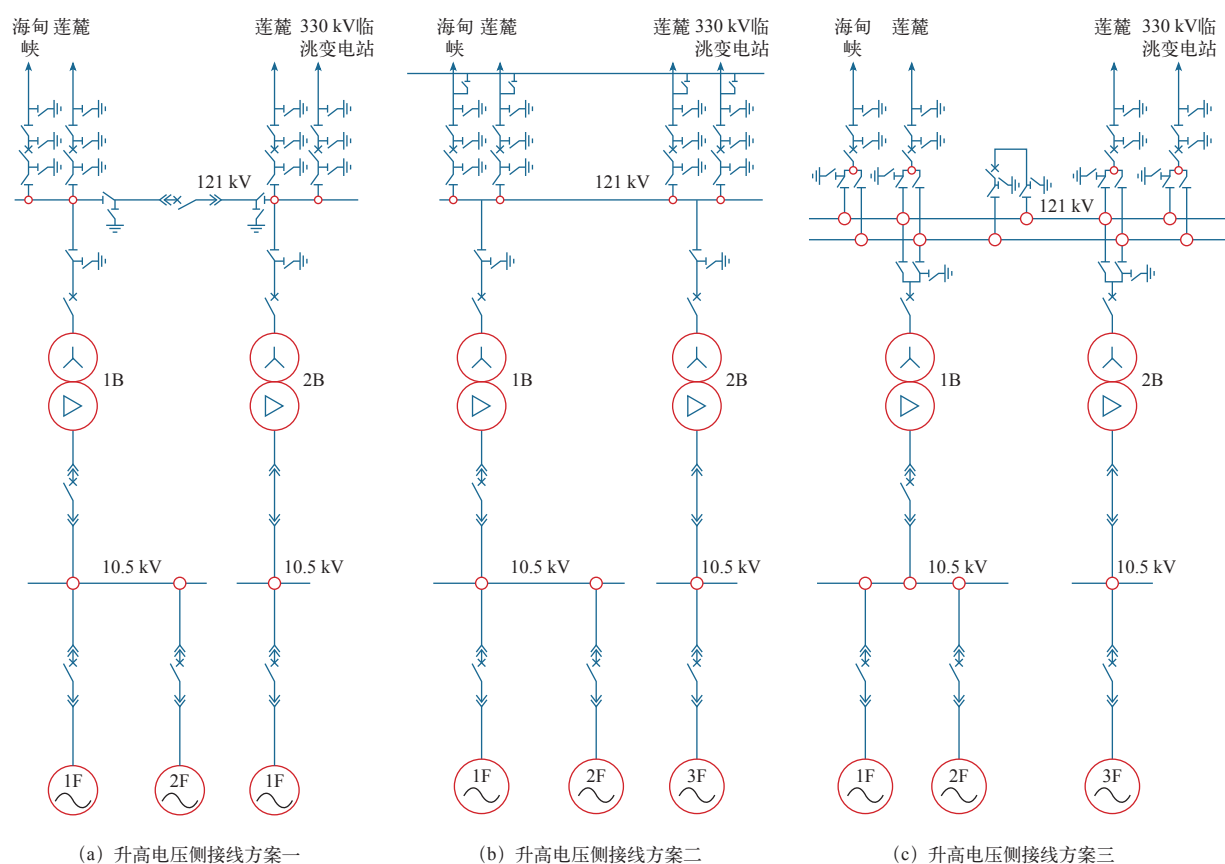


图3 升高电压侧接线线路结构图

以满足该水电站最理想运行要求。综合经济性、运行灵活性、安全可靠性和投资成本等进行比较,升高电压侧接线采用方案一,即单母线分段接线方案,方案一经过中国水利水电科学研究院的专家组核定认可,根据科技查新报告显示,设计推荐的方案一在当时是最佳的升高电压侧接线方案。经过多年运行考验,验证了该方案技术先进、经济合理及安全可靠。

3 结束语

考虑到经济合理、运行灵活、安全可靠及供电稳定等因素,发电机电压侧接线推荐采用方案一:单元接线及扩大单元接线组合方案;升高电压侧接线采用方案一:单母线分段接线方案。

峡城水电站电气主接线方案的选定对水电站发电系统的安全及高效运行极为重要,对保障系统的自动化、稳定性、安全性和高效运行起到决定性的作用,电气主接线方案选定不仅可降低

水电站的投资成本和缩短施工工期,各种电气设备有机配合才能最大限度地发挥水电站的经济效益,在此值得深入研究探讨,该水电站经过近8年多、各种工况条件下的运行考验,其系统灵活、安全、稳定且可靠,该水电站电气主接线优化设计为实现流域梯级联合调度奠定了坚实基础。洮河峡城水电站具有供电、调峰、调频、调相、事故备用以及提高系统效益等多方面功能,该设计方案也为今后同类^[18]水电站电气主接线的选定提供了宝贵经验。

参考文献

- [1] 甘肃洮河“九一海”段莲麓二级(峡城)水电站工程可行性研究报告[R]. 甘肃省水利水电勘测设计研究院, 2006.
- [2] SL 229—2011 小型水力发电站自动化设计规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [3] 包日峰. 自动控制系统的设计原则和步骤[J]. 水

- 电站机电技术, 1988 (2): 67-71.
- [4] 任源. 洮河峡城水电站自动控制系统设计 [J]. 农村电工, 2017, 25 (11): 45-46.
- [5] 阮全荣, 孙帆. 水电站电气设备的选择与布置 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [6] 黄庆丰, 金永琪. 水电站电气设备 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2009.
- [7] 谢开贵, 董百强, 赵霞, 等. 大型 (变) 电站电气主接线可靠性综合分析系统 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (15): 89-92.
- [8] 熊小伏. 电气设备主动保护与控制概念及功能架构 [J]. 电力系统自动化, 2018, 42 (2): 1-10, 49.
- [9] 任中秋, 王晋, 戈兰雅. 水电站机组自用电控制电源系统改进分析 [J]. 工程技术: 文摘版, 2016 (3): 119.
- [10] 王昕, 井雨刚, 王大鹏. 抽水蓄能机组继电保护配置研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (24): 66-70.
- [11] 倪琼, 李咸善, 等. 水电站继电保护系统的自定义建模仿真方法 [C]. 中国电力系统保护与控制学术研讨会, 2008.
- [12] 念丽波, 张文斌, 苏适, 等. 全开放可实时监控式双馈发电实验平台研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (10): 104-111.
- [13] 束洪春, 胡泽江, 张静芳, 等. ± 800 kV换流站主接线可靠性评估 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (19): 35-39.
- [14] 黎冠. 水电站计算机监控系统的设计及其关键控制设备的研究 [D]. 天津: 天津理工大学, 2008.
- [15] 张江滨. 梯级引水式水电站机组控制系统优化研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2006.
- [16] 梁年生, 彭天波, 姜铁兵, 等. 高关梯级水电站自动控制系统的研究 [J]. 水电能源科学, 1996 (2): 113-119.
- [17] 王龙, 何建辉. 公伯峡水电站辅助设备控制系统设计 [J]. 西北水电, 2005 (1): 79-81.
- [18] 王兰. 苏只水电站电气主接线选择 [J]. 西北水电, 2008 (2): 51-52.
- (收稿日期: 2018-04-10) **EA**

(上接第73页)

成本低, 但峰值电流倍数很大, 在使用过程中可能会出现线路跳闸的现象。恒流驱动时间较短, 峰值电流倍数较高约为4倍, 市面上应用较多。延时驱动峰值电流倍数较小, 但启动时间长, 适用于对LED灯启动时间要求不高的场所, 驱动成本高。

本文只是初探, 旨在探讨不同驱动方式下LED灯峰值电流倍数的大小, 希望可以给使用者以理论参考, 从而更好地应用LED照明, 扩大LED灯的推广应用。

参考文献

- [1] 任志山, 王祝华. PWM调光LED路灯驱动电源的设计 [J]. 电气应用, 2016, 35 (17): 20-24.
- [2] 苏建国. 三相异步电动机的几种降压启动方式探讨 [J]. 天津航海, 2011 (2): 17-18.
- [3] 李炳华, 覃剑戈, 董青, 等. LED灯启动特性的实验研究与应用 [J]. 照明工程学报, 2017 (4): 126-129.
- [4] 倪朝乐. LED夜景照明配电线路的短路保护探讨 [J]. 福建建设科技, 2018 (2): 80-82.
- [5] 倪尔东. LED汽车新光源 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [6] 卢会水, 房林, 李云东. 软启动防冲击led恒流照明灯驱动电路: CN 101977474 A [P]. 2011.
- (收稿日期: 2018-07-30) **EA**