

# 溪洛渡水电站临时与永久供配电系统优化探讨

喻文球, 靳 坤, 唐敦浩

(中国长江三峡集团公司 机电工程局, 四川 成都 610042)

**摘要:**介绍了溪洛渡水电站厂永久用电系统的设计规划和施工临时供电系统的组成与布置。根据溪洛渡水电站供电系统的特点,从 110 kV 变电站改造、左/右岸地下厂房 10 kV 备用电源配置等方面,对永久厂用电的形成施工期供电相互利用的优化方案开展了分析和研究;在此基础上,对后续电站永久厂用电的设计和规划进行了探讨并提出了合理化的建议。对于其他大型水力发电站的厂用电系统设计和施工具有一定的参考价值。

**关键词:**施工临时用电系统;永久厂用电系统;供配电方案优化;溪洛渡水电站

中图法分类号:TV731

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.004

## 1 概述

溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县境内,上接白鹤滩电站尾水,下与向家坝电站水库相接。水电站距离宜宾市河道里程 184 km,距离三峡、武汉、上海直线距离分别为 770、1 065 km 和 1 780 km。溪洛渡水电站是金沙江下游上的一座巨型水电站,以发电为主,兼有拦沙、防洪以及改善下游航运条件等综合效益,是实现全国电力资源优化配置,实施“西电东送”,减轻北煤南运和东部地区环境保护压力,优化能源结构的骨干电源之一。该水电站装机 18 台(左、右岸厂房各布置 9 台),单机额定容量 700 MW,并设置有单机最大容量 770 MW,相应地,总装机容量 12 600 MW,最大容量 13 860 MW,年平均发电量 572 亿 kW·h,年利用小时数 4 540 h。水库总库容 126.7 亿 m<sup>3</sup>,调节库容 64.6 亿 m<sup>3</sup>,电站保证出力 3 850 MW,具有不完全年调节性能。

溪洛渡水电站前期工程于 2003 年 8 月开工,主体工程已于 2005 年 12 月 26 日正式开工,2007 年 11 月实现截流。按照计划,地下主厂房于 2008 年 10 月开挖完成,2012 年 6 月底首批机组安装完成,2013 年 5 月底水库开始蓄水,6 月底首批机组发电,2014 年 7 月

初全部机组发电,2015 年工程竣工。

## 2 永久厂用电系统

### 2.1 厂内 10 kV 厂用电系统

左、右岸电站的厂内均设 6 段 10 kV 母线,经厂用高压变压器,6 段 10 kV 母线从发电机(左岸分别从 9、8、6、5、3、2 号机组,右岸分别从 10、11、13、14、16、17 号机组)离相封闭母线上取得电源。此外,两岸的第 3 段 10 kV 母线还可以从 110 kV 施工变电站取得电源;左岸第 2 段母线可从右岸第 5 段母线获得电源;右岸第 2 段母线可以从左岸第 5 段母线获得电源。

根据厂房各处的用电负荷分布及厂房布置情况,左、右岸电站地下厂房内的 6 段 10 kV 母线及配电装置均被分为 3 组(分别为 1 段和 2 段母线、3 段和 4 段母线、5 段和 6 段母线)。3 组 10 kV 母线分别布置于 3 个配电中心,其中 1 号配电中心位于安装间下层高程 370.00 m 处,2 号配电中心位于主变洞高程 376.50 m 处(其中,左岸 3 段母线及对应的 10 kV 配电装置布置在 7 号与 8 号主变之间、4 段母线及对应的 10 kV 配电装置布置在 8 号与 9 号主变之间;右岸 3 段母线及对应的 10 kV 配电装置布置在 11 号与 12 号主变之间、4 段母线及对应的 10 kV 配电装置布置在 10 号与

11 号主变之间), 3 号配电中心位于地下副厂房高程 376.50 m 处。

6 段母线之间均设有母联断路器, 并通过 10 kV 母线或高压电缆相互连接; 当一段母线失电时, 可由相邻的另一段母线供电。此外, 从地下厂房的 1、4 段母线上各引出一回出线, 利用 10 kV 电缆供电到本岸电站厂外配电中心的 1、2 段母线, 以便为厂外 10 kV 系统提供电源。

为提高供电可靠性, 对地下厂房各 0.4 kV 配电系统的 2 台降压变压器, 均按照分别从中间间隔的 2 段 10 kV 的母线上取电的原则进行配电。具体配电原则如下。

(1) 对于厂房 1~3 号机组自用电系统(右岸为 16~18 号机组)、1 号公用电系统、1 号照明系统、进厂交通洞的洞中照明配电系统、尾水洞的出口配电系统、出线场配电系统以及操作廊道层的补气系统来说, 其配电系统的 2 台降压变压器的电源均分别取自 1 段和 4 段 10 kV 母线。

(2) 对于厂房 4~6 号机组自用电系统(右岸为 13~15 号机组)、2 号公用电系统、2 号照明系统、进厂交通洞洞中照明配电系统、尾水洞调压室配电系统、地下副厂房制冷系统来说, 其 2 台降压变压器的电源均分别取自 2、5 段 10 kV 母线。

(3) 对于厂房 7~9 号机组自用电系统(右岸为 10~12 号机组)、3 号公用电系统、3 号照明系统、水垫塘深井泵房配电系统来说, 其 2 台降压变压器的电源均分别取自 3 段和 6 段 10 kV 母线。

(4) 对于厂房 1~6 号检修排水泵来说, 分别取自 6 段 10 kV 母线(每段 1 台), 考虑到渗漏排水泵长期运行且布置在副厂房侧, 因此, 为缩短供电距离, 厂房内的 1、2、3 号渗漏排水泵依次取自 3、5 段和 6 段 10 kV 母线, 而 1、2、3 号尾调渗漏排水泵则依次取自 3、5 段和 6 段 10 kV 母线。

(5) 对 1、2 号检修系统变压器, 均取自 3 段母线, 3 号检修系统变压器则取自 1 段母线。

## 2.2 厂外 10 kV 厂用电系统

左、右岸电站厂外均设置 3 段 10 kV 母线, 1 段和 2 段 10 kV 母线从厂内 10 kV 母线上取得电源, 3 段 10 kV 母线从 110 kV 施工变电站取得电源并接有柴油发电机。1 段和 3 段、2 段和 3 段之间均设有母联断路器。此外, 左、右两岸厂外配电中心的 2 段 10 kV 母线采用 1 回电缆相互连接。

左、右岸厂外负荷主要分布在电站进水口、泄洪洞的洞中工作闸室、泄洪洞进口事故闸室、主厂房及主变排风机室、水厂以及上坝交通洞等部位。

从溪洛渡右岸电站 12 号机组和 15 号机组主变压器低压侧的 IPB 上, 各接有 1 台供生产和生活营地用的变压器, 变压器容量为 7 500 kVA。变压器低压侧为 10 kV, 采用 2 回 10 kV 电力电缆送至右岸 110 kV 的施工期变电站, 以供电站在完建之后的生产及生活营地用电。

两岸电厂主要的 10 kV/0.4 kV 供电子系统的布置如下。

(1) 地下厂房部分, 包括 9 个机组自用电供电系统、1~3 号公用电供电系统、1~3 号照明供电系统、检修供电系统、操作廊道层补气空压机供电系统、进厂交通洞的洞中照明供电系统、进厂交通洞的洞口照明供电系统、地下副厂房空调及制冷机供电系统、尾调室供电系统以及左岸水垫塘供电系统等。

(2) 大坝部位, 包括大坝坝顶控制楼供电系统、大坝深孔供电系统和大坝坝体深井泵房的供电系统等。

(3) 厂外其他部位, 包括进水口供电系统、泄洪洞进口供电系统、泄洪洞洞中工作闸室供电系统、主厂房及主变排风机室供电系统、上坝交通洞照明供电系统、出线场供电系统、水厂供电系统、右岸集控楼供电系统、绝缘油库供电系统以及消防站供电系统等。

## 2.3 地下厂房厂用电系统

(1) 机组自用电系统。可将两岸电厂的 9 个机组自用电系统、9 个配电系统分为 3 组, 每组从间隔 2 段 10 kV 母线分别取电。每台机组(包括主变压器)的自用电系统设 2 台变压器互为备用, 即从该机组对应的 2 段 10 kV 母线上分别引接 1 回 10 kV 电源, 经自用电变压器供到本台机组的机组电动机控制中心(UM-CC)。单台自用电变压器可带本发电机-变压器组的全部自用电负荷, 不需再另外引接备用电源。

(2) 公用电系统。左、右两岸电厂共有 3 个公用电系统。以左岸为例, 1 号公用电系统位于安装间的下层, 主要供电范围为: 1~3 号机组段、1~3 号母线洞和安装间。2 号公用电系统位于主变层, 主要供电范围为: 4~6 号机组段和母线洞、主变洞的主变层和 GIS 层、GIL 下段竖井及高程 610.00 m 的平洞。3 号公用电系统位于副厂房, 主要供电范围为: 7~9 号机组段和母线洞、副厂房, 以及主厂房端头的油、气、水系统室。每个公用电系统均设 2 台变压器, 且互为备用。从对应的 2 段 10 kV 母线上分别引接 1 回电源, 经公用变压器接在 2 段 0.4 kV 母线上, 每台变压器容量按可带 100% 本系统供电负荷进行选择。

(3) 照明供电系统。两岸电厂共有 3 个照明系统, 分别位于安装间下层、副厂房和变压器洞的公用电系统旁。每个照明系统的 0.4 kV 母线分为 3 段, 其

中,2段0.4 kV母线为工作照明配电屏,另一段母线则为事故照明配电屏。

(4) 检修供电系统。厂内检修负荷分布较广、负荷点较多,为保证对检修系统负荷的供电相对独立、避免影响非检修负荷的正常供电,同时又能兼顾主厂房桥机滑触线的多点供电电源的引接方便,在两岸电厂厂内设置有独立的检修配电系统。

## 2.4 10 kV 柴油发电机组

在左、右岸进水口附近的厂外配电中心旁,各设置有1台主用功率1 620 kW、备用功率为1 760 kW的柴油发电机组。对柴油发电机组配有可供其连续运行8 h的油箱;柴油发电机的输出电压为10.5 kV,通过10 kV的ZBYJV22-3×185电缆直接与厂外配电中心的3段(其中,左岸接LO3AH2柜,右岸接RO3AH2柜)连接。同时,柴油发电机组作为两岸电厂的备用电源。

## 3 施工期供电系统

溪洛渡水电站施工期供电系统主要由1座110 kV变电站、6座35 kV变电站以及1座缆机10 kV开闭所组成。

(1) 110 kV系统。在溪洛渡水电站施工期,电站设置有1座110 kV变电站,内设2台5万kVA三卷变压器,电压等级分别是110 kV/35 kV/10 kV。站内有2段110 kV母线、2段35 kV母线以及2段10 kV母线,并分别设有母线联络开关,相互备用。该站110 kV两回电源来自220 kV云南昭通大关变电站,大关变电站除供溪洛渡水电站施工期所有用电负荷外,还作为电站永久期厂用电及孤岛运行的备用电源。

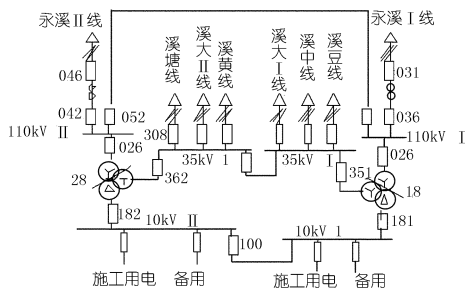


图1 溪洛渡110 kV变电站主接线

(2) 35 kV系统。在溪洛渡水电站施工期,在电站左、右岸设置有35 kV变电站7座及1座缆机10 kV开闭所,以便为大坝施工和左、右岸厂房以及拌和楼、生活区、水厂和消防站等提供用电负荷。

## 4 永久厂用电和施工期供电的相互转变

随着永久厂用电的形成,施工负荷逐步减少。由

于没有对施工期供电和永久厂用电的结合进行前期设计与优化,因此必须重新考虑两者的结合和优化问题。

### 4.1 左右岸地下厂房10 kV备用电源

原设计从110 kV施工变电站各取两回10 kV电源,并将其送往左、右岸进水口配电室10 kV母线和左、右岸地下厂房10 kV厂用电1段和11段母线,以作为两岸电站的备用电源。另外,两岸10 kV厂用电通过左岸2段母线和右岸12段母线,左岸5段母线和右岸15段母线之间的电缆进行联络,以形成左、右岸电站的非常期备用电源。因为左、右岸电站分属于不同的电网,左、右岸电站厂用电之间的备用电源只有在网停电的情况之下,才能起到备用电源的作用。

进水口柴油发电机作为电站的黑备用,由于其容量较小,基本上只能作为大坝深孔启闭机的备用电源,无法作为地下电站的备用电源来供电。

结合施工期完善的供电网络,考虑经济 and 安全性各方面的要求,可以利用施工期110 kV变电站,只改造不拆除,以及现有35 kV过江线路的完善网络,实施保留35 kV左岸中心场变电站及其黄角堡变电站,取消35 kV的其他变电站的措施。决定采用左岸35 kV中心场变电站,10 kV母线通过一段架空线路与电缆相结合的方式,建设两回10 kV电源并分别送至左岸进水口配电室和地下厂房10 kV母线,以作为左岸电站的永久备用电源。取消从110 kV变电站送往左岸地下电站和左岸进水口配电室的10 kV备用电源。通过两回10 kV电缆线路,从110 kV变电站分别给右岸进水口配电室和地下厂房10 kV母线供电,作为右岸电站的永久备用电源。

为保证右岸地下电站厂用电的可靠性,以及合理利用110 kV变电站的优势,决定从110 kV变电站再引一回电缆至右岸地下厂房10 kV的15段母线,作为右岸厂用电的第2备用电源;同时,考虑到左、右岸电站各自分属不同网络的缘故,决定取消左、右岸电站一回10 kV联络电缆,只保留一回10 kV联络电缆,以满足左、右岸电站备用电源的要求。

### 4.2 110 kV变电站的改造

首先是将原变压器容量由2台5 MVA要改为2台1 MVA;其次是将原三卷变改造为110 kV/10 kV二卷变;第三是新增10 kV/35 kV的0.5 MVA变压器,其供电电源为右岸10 kV厂用电,保留110 kV供电,但作为冷备用而存在。新增的35 kV变压器主要是将厂用电所带的110 kV变电站的10 kV母线升压后,利用原35 kV过江线路,以便为左岸中心场变电站、左岸厂用电备用以及道路箱变电站和道路照明提供负荷。

另外,右岸电站由于属于南方电网,一旦直流系统出现故障切机,就会存在孤岛运行的危害。因此,根据电站孤岛运行的要求,必须从 110 kV 变电站的 10 kV 母线新增一回 10 kV 电缆线路至右岸的厂用电 15 段母线,以作为右岸电站孤岛运行的备用电源。

## 5 后续永久厂用电设计的几点建议

(1) 由于后续电站仍就分属云南和四川两省,电源将分别送往不同的 2 个电网,因此在设计厂用电时,必须充分考虑到 2 个电网的特点,完善孤岛运行供电方案,且在施工前期就必须先行考虑到各种状态下的供电可靠性。

(2) 充分利用已经建成的施工期电网,除利用其

作为电站备用电源外,为了节省投资,还应利用其完善的构架和网络以及各种箱式变电站,以满足永久照明和永久水厂等的供电要求。

(3) 充分利用施工期 110 kV 变电站和 35 kV 变电站,特别是 35 kV 的跨江线路,以节省改造费用;同时,还应合理利用原有资源,除了必要的改造以外,应尽量利用原有变压器和开关柜。

(4) 由于厂用电和备用电源保护非常复杂和繁琐,存在第一、第二,甚至第三备用电源投入的问题,因此,在设计厂用电和备用电源时,应充分考虑永久电源和施工期电源的结合和利用,尽量简化备用电源的数量,合理设计柴油发电机的容量。

(编辑:赵秋云)

## Discussion on optimization of temporary and permanent power supply and distribution system of Xiluodu Hydropower Station

YU Wenqiu, JIN Kun, TANG Dunhao

(Electrical and Mechanical Engineering Department, China Three Gorges Corporation, Chengdu 610042, China)

**Abstract:** The design and planning of the permanent plant auxiliary power system of Xiluodu Hydropower Station and the constitution and layout of the temporary power supply system in construction period were systematically introduced. According to the characteristics of the power supply system of Xiluodu Hydropower Station, the optimization scheme for mutual utilization between the permanent plant auxiliary power generation and the temporary power supply in construction period were summarized in terms of the renovation of the 110kV substation, the standby power supply of underground powerhouses at the left and right bank. The suggestions on the follow-up design and the planning of the permanent plant auxiliary power system were summed up and put forward, which affords reference for design and construction of plant auxiliary power system of other large-scale hydropower stations.

**Key words:** temporary power system in construction period; permanent plant auxiliary power system; optimization scheme of power supply and distribution; Xiluodu Hydropower Station

(上接第 12 页)

## Analysis of offshore anemometer tower in deep water by finite element method

ZHOU Ying, WU Haiming, QI Zhicheng

(PowerChina Beijing Engineering Corporation Limited, Beijing 100024, China)

**Abstract:** In China, there is no technical standard for the engineering design of wind measurement tower in deep sea water with complicated engineering condition. To ensure the safety and reliability of anemometer tower of offshore wind power plants, general FEM software is employed to analyze the structural stress of anemometer tower under the guidance of Chinese Technical Standard for Port Engineering firstly; then a professional marine structure FEM software is employed to conduct the structure analysis for the anemometer tower based on the APIRP 2A, a USA petroleum industry standard. The structure analysis work consists of multiple designed loading, multiple cases, key nodes displacement, element internal force and fatigue analysis. The two calculation results show consistence and both satisfy the relevant requirements specified in the technical standards. The parameters adopted in design are reasonable and the experience in the design of this project can provide reference for the design and construction of similar offshore wind power plants in future.

**Key words:** anemometer towers; wind farm; fatigue analysis; offshore wind projects