

昌波水电站引水式电站水轮发电机组防飞逸 保护措施方案研究

卢修迪, 莫春霞, 邓达人

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要:针对昌波水电站引水式电站引水距离长、设置上游调压室、蜗壳前进水管直径较大等特点,列出三种水轮发电机组防飞逸保护措施进行分析比选,经综合比选分析后,推荐采用调压室快速闸门作为水轮发电机组的防飞逸保护措施,并详细描述调压室快速闸门方案。该研究为类似条件的水电站机组防飞逸保护措施方案选择提供参考。

关键词:防飞逸保护措施;水轮发电机组;调压室;快速闸门

中图分类号:TV34

文献标志码:A

文章编号:1001-2184(2024)04-0091-04

Research on Anti-runaway Protection Measures for Hydro-turbine Generator Units of Diversion Type of Changbo Hydropower Project

LU Xiudi, MO Chunxia, DENG Daren

(PowerChina Guiyang Engineering Corporation Limited, Guiyang, Guizhou, 550081)

Abstract: As to characteristics of the diversion type of Changbo Hydropower Project, such as the water diversion distance is long, setting up upstream surge chamber, and diameter of water pipe in front of the scroll case is relatively large, three kinds of anti-runaway protection measures for hydroelectric generating units are listed for analysis and comparison. After comprehensive comparison and analysis, this paper recommends the surge chamber rapid-drop gate as the anti-runaway protection measure for hydroelectric generating units, and describes the scheme in detail. It provides a reference for the selection of anti-runaway protection measures for hydro-turbine generator units under similar conditions.

Keywords: Anti-runaway protection measure; Hydro-turbine generator units; Surge chamber; Rapid-drop gate

1 工程概况

金沙江昌波水电站位于四川省与西藏自治区交界的金沙江上游河段,工程区域河段左岸为四川省的巴塘县,右岸为西藏自治区芒康县。

昌波水电站为金沙江上游干流梯级规划“一库十三级”中的第十一个梯级电站,其上一个梯级为苏洼龙水电站,下一梯级为旭龙水电站,坝址位于苏洼龙至昌波(莫曲河口)河段。电站采用混合式开发,为径流式水电站,电站枢纽总体布置为“王大龙坝址首部枢纽(右岸非溢流坝段+泄洪闸+左岸河床式厂房+鱼道)+左岸引水发电系统(岸塔式进水口+引水隧洞+调压室+莫曲河口地下厂房)”。昌波水电站引水式电站有压引水隧洞均长11.10 km,经计算 $T_w = 81.12 s > 4 s$,

设置上游调压室。

电站总装机容量 826 MW,其中引水式电站装机 740 MW (4×185 MW),河床式生态电站装机 86 MW (2×43 MW),引水式电站水轮机运行水头范围 54.8~84.5 m,装机 4 台单机容量为 185 MW 的立轴混流式水轮机。

可行性研究阶段拟定的引水式电站水轮机主要参数如下:

型号:HL257-LJ-590

转轮直径: $D_1 \approx 5.9$ m

额定出力:188.776 MW

额定水头: $H_r = 68$ m

额定流量: 302 m³/s

额定转速:115.4 r/min

额定点效率: $\eta_r \geq 93\%$

收稿日期:2024-05-15

额定比转速: $n_s=257\text{ m}\cdot\text{kW}$
比速系数:2 117
吸出高度: $H_s\geq-9.04\text{ m}$
安装高程:2 293.30 m

2 机组防飞逸措施方案及比选

2.1 机组防飞逸措施方案

昌波水电站工程规模为大(2)型工程,为保证机组长期、安全稳定运行,选择合适的水轮发电机组防飞逸保护措施,是该工程可行性研究阶段机电及金属结构设计的重要内容。

根据《水力发电厂机电设计规范》NB/T 10878,对一条压力输水管道分岔供给两台及以上水轮机流量时每台机组应装设进水阀,如不装设进水阀,应采取其他防飞逸措施^[1]。该电站输水发电系统布置方式为“2洞2井2管4机”,进水口至蜗壳前引水线路约11 km,调压室后到蜗壳前引水线路约300 m。

为防止水轮发电机组飞逸,可考虑在调压室处设置快速闸门,或在调压室后压力钢管上设置蝶阀,或在水轮机固定导叶和活动导叶之间设置筒形阀。在调压室净断面相等的情况下,采用以下三种方案进行比选。

方案①为设置调压室事故闸门和水轮机筒形阀方案:筒形阀直径 $\phi 8.1\text{ m}$,公称压力1.6 MPa,安设在水轮机固定导叶和活动导叶之间,共4台。调压室事故闸门用于检修机组以及机组故障时尽快截断水流以防止事故扩大,闸门孔口尺寸为 $7\text{ m}\times 9\text{ m}$ (宽 $\times$ 高,下同),设计水头62.59 m,共4扇。每扇闸门选用一台 $2\times 4\,500\text{ kN}-75\text{ m}$ 固定卷扬式启闭机进行操作,一门一机布置,共4台套。

方案②为设置调压室快速闸门方案:闸门孔口尺寸、设计水头与方案①一样,快速闸门共4扇,每扇闸门平时都通过1台 $9\,000/4\,500\text{ kN}-11\text{ m}$ 快速闸门液压启闭机带拉杆悬挂在孔口上方1 m处,一门一机布置,共4台套。每2台液压机共用1台 $800\text{ kN}-20\text{ m}$ 检修桥机进行检修,共2台套。为便于检修及安装拉杆,在2 419.50 m高程平台下板梁处悬挂1台 $200\text{ kN}-16\text{ m}$ 电动葫芦用于检修安装拉杆,共4台套。

方案③为设置调压室检修闸门和进水口蝶阀方案:蝶阀公称直径8 m,公称压力1.6 MPa,安

装在机组前压力钢管上,共4台。调压室检修闸门用于调压室后压力钢管、蝶阀及机组检修用,闸门孔口尺寸、设计水头与方案①、②一样,共4扇,每扇闸门采用1台 $2\,500\text{ kN}-75\text{ m}$ 固定卷扬式启闭机进行操作,一门一机布置,共4台套。

2.2 方案比选

(1)工程技术角度分析。若采用方案①,该电站筒形阀外径为8.1 m左右,低于国内已投产的梨园水电站(筒形阀直径10.496 m)、阿海水电站(筒形阀直径10.004 m)、糯扎渡水电站(筒形阀直径9.800 m)等电站所采用的筒形阀直径^[2]。但是,圆筒阀是采用多个接力器同步动作来实现筒体的开启和关闭,由于控制系统复杂、受负载不均匀、结构变形不一致等因素的影响,往往接力器动作不能精确同步^[3],导致事故情况下动水关闭筒形阀时容易发卡,因此,目前国内对采用筒形阀用于防机组飞逸仍持谨慎态度^[4]。

针对方案②,该电站若以调压室设置快速闸门作为机组防飞逸措施,闸门孔口尺寸为 $7\text{ m}\times 9\text{ m}$,最大挡水水头约63.56 m。目前国内有硬梁包、黄金坪、泸定、碧口、丰满三期^[5]和国外赞比亚伊泰兹等水电站工程采用了调压室快速闸门,部分调压室快速闸门实例见表1。从规模上看,该电站调压室快速闸门与上述已投运电站闸门相当,因此调压室快速闸门及启闭设备的设计和制造没有难度。

表1 部分调压室快速闸门实例

序号	工程名称	闸门名称	孔口尺寸—水头/m
1	硬梁包水电站	调压室快速闸门	7.0×8.5—72.740
2	黄金坪水电站	调压室快速闸门	8.6×9.6—48.017
3	泸定电站	调压室快速闸门	8.5×9.6—50.600
4	碧口水电站	调压室快速闸门	5.0×6.4—70.000
5	丰满三期水电站	调压室快速闸门	7.5×7.9—65.000
6	伊泰兹水电站	调压室快速闸门	9.0×9.0—60.000

方案③较为普遍,但是昌波引水式电站如采用蝴蝶阀作为水轮发电机组的防飞逸措施,其蝴蝶阀直径约8 m,超过国内已投运电站的进水阀设备规模。蝶阀尺寸较大,设备整体运输困难,进水阀活门需要分瓣运输现场组焊,技术上有一定的难度,尤其该电站位于高海拔氧气稀薄的地区,对焊接技术的要求更高。因此,若选用蝶阀作为水轮发电机组防飞逸措施,进水阀的设计、制造、

运输和安装都有一定的难度。

(2)工程投资角度分析。从工程投资角度分析:方案①总费用为 98 619.9 万元;方案②总费用为 98 445.2 万元;该电站为地下厂房,若采用蝶阀,主厂房跨度增加约 7 m,由此引起主厂房土建投资增加约 7 971 万元,方案③总费用为 106 581.5 万元。方案①较方案②增加投资约 174.7 万元,方案③较方案②增加投资约 8 136.3 万元,方案②投资最省。防飞逸保护措施投资对比见表 2。

表 2 防飞逸保护措施投资对比表

项 目	方案 ①	方案 ②	方案③
	筒形阀+调压室 事故门	调压室 快速闸门	蝴蝶阀+调压室 检修门
水轮机 进水阀	筒形阀 外径约 ϕ 8.1 m 重约 60 t/套	—	蝴蝶阀 公称直径 8 m 重约 583 t/套
单台进水阀 投资 /万元	800	—	2 137
电站进水阀 投资 /万元	3 200	—	8 549
调压室金属 结构投资 /万元	6 422.9	7 186.2	3 099.5
调压室土建 投资 /万元	46 772	49 034	44 737
发电厂房 投资 /万元	42 225	42 225	50 196
总投资 /万元	98 619.9	98 445.2	106 581.5
方案间总 投资差 /万元	+174.7	0	+8 136.3

从技术分析角度来看,方案①可靠性不高,方案③蝶阀设备设计、制造、运输和安装难度大,方案②技术上可行,从工程投资角度来看,方案②投资最省。综上,该电站推荐采用调压室快速闸门作为水轮发电机组的防飞逸保护措施。

3 推荐的机组防飞逸措施方案设计方案内容

3.1 调压室快速闸门

每个调压室设 2 扇快速闸门,2 个调压室共设 4 扇,快速闸门孔口尺寸 7 m×9 m,门槛高程 2 339.50 m,最高涌浪高度 2 402.09 m,设计水头 62.59 m,总水压力约 48 000 kN。闸门选用平面滑动门型,下游止水,门顶设有充水阀。为便于运输,每扇快速闸门分为 4 个制作运输单元,在现场拼装为整体。闸门操作条件:动闭静启,利用自重和水柱动水闭门,充水阀充水平压后静水启门,启

门水压差 $\leq$ 2 m。闸门平时通过拉杆悬吊在孔口上方约 1 m 处。为便于闸门检修,在 2 399.50 m 高程处设一检修平台。每孔快速闸门检修时,该孔快速闸门下游侧水轮发电机组需停机,再通过拉杆将闸门从孔口中提出至检修平台进行检修。为便于闸门在 2 399.50 m 高程处锁定平台检修,每孔快速闸门槽顶部 2 399.50 m 高程处锁定平台设置 2 根简支轮式锁定梁。

3.2 调压室快速闸门启闭设备

每扇闸门选用一台快速闸门液压启闭机接拉杆进行操作,一门一机布置,共 4 台套。启闭机的持住力为 9 000 kN,启门力为 4 500 kN,行程 11 m,快速闭门时间小于 2 min(不含充水阀关闭时间),启门速度约 0.6 m/min,启闭机控制方式为现地操作和远程控制相结合。调压室快速闸门是该工程重要的防飞逸设施,为确保液压机的可靠运行,除了采用“一门一控”的控制方式外,每孔均设一套独立泵站,每台液压机均配有备用电源,每套泵站均配备 2 台油泵电机组。启闭机布置在 2 419.50 m 高程平台,与交通洞相通,启闭机的检修也在该高程平台上进行。为便于检修及安装启闭机,在启闭机顶部 2 440.00 m 高程平台设桥机用于检修安装启闭机,2 孔共用 1 台桥机,共设 2 台桥机。桥机特性:启闭容量 800 kN,扬程 20 m,轨距 6.75 m,现地控制。为便于检修及安装拉杆,2 419.50 m 高程平台下板梁处悬挂 1 台电动葫芦用于检修安装拉杆,共设 4 台电动葫芦。电动葫芦特性:启闭容量 200 kN,扬程 16 m,现地控制。调压室金属结构布置见图 1。

3.3 调压室快速闸门方案后续工作

根据《水电工程钢闸门设计规范》(NB 35055)3.3.2 条规定及其条文说明可知,“对设于调压室中的事故闸门,应考虑涌浪对闸门停放和下降的影响。必要时,应进行专门研究”^[6],“对经常停放在调压室门槽内的闸门,由于水位的经常波动和导叶关闭时产生较大的涌浪,所以要注意闸门停放和下降的平稳性。据国内调查,有些电站进水口快速闸门设在调压室内,曾发生过停放和快速下降过程中不稳定现象。例如,福建龙亭电站曾发生闸门浮起情况,以致影响正常运行;安砂电站在模型试验中,也发生有相当大的上托力。分析其原因,系由于机组甩负荷、调压室中产生较

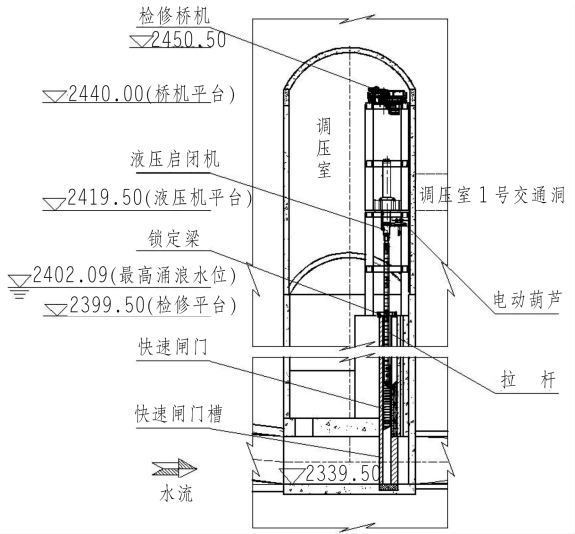


图1 调压室金属结构布置图(单位:m)

强烈的涌浪等,影响了闸门的稳定。因此在条文中提出这个问题以引起注意,必要时可进行专门研究,以保证安全运行,达到保护机组的目的”^[6]。为了保证该工程调压室快速闸门的安全运行,下阶段需做模型试验来研究涌浪对闸门停放和下降的影响,以保证闸门运行的可靠性。

4 结 语

(1)结合昌波水电站的工程特点,通过对水轮发电机组的防飞逸保护措施进行综合分析,推荐采用调压室快速闸门作为水轮发电机组的防飞逸保护措施。

(2)在每个调压室设2扇快速闸门,2个调压室共设4扇;每扇快速闸门分别选用1台液压启闭机接拉杆进行操作,共4台套;调压室液压启闭机采用检修桥机进行检修,共2台套;调压室快速闸门拉杆采用电动葫芦进行检修,共4台套。

(3)由于调压室中存在涌浪,为了解涌浪对闸门停放和下降的影响,下阶段需做模型试验进行研究,以保证调压室快速闸门运行的可靠性。

参考文献:

[1] 国家能源局. 水力发电厂机电设计规范: NB/T 10878-2021[S]. 北京:中国电力出版社, 2012.

[2] 张帅. 双江口水电站水轮机筒形阀设置可行性研究[J]. 人民长江, 2015, 46(18): 20-23.

[3] 王祖卿. 浅谈水轮发电机组的飞逸保护[J]. 湖北水力发电, 2007(6): 72-73,77.

[4] 成磊. 大渡河猴子岩水电站地下厂房进水口快速门设置的必要性研究[J]. 四川水力发电, 2013, 32(6): 91-93.

[5] 《水利水电工程钢闸门及拦污栅技术特性手册》编委会. 水利水电工程钢闸门及拦污栅技术特性手册(上、下)[M]. 南京:河海大学出版社, 2020.

[6] 国家能源局. 水电工程钢闸门设计规范: NB 35055-2015[S]. 北京:中国电力出版社, 2016.

作者简介:

卢修迪(1989-),男,贵州绥阳人,高级工程师,硕士,从事水工金属结构设计研究工作;

莫春霞(1977-),女,贵州都匀人,正高级工程师,硕士,从事水电站水力机械设计工作;

邓达人(1992-),男,贵州贵阳人,工程师,硕士,从事水工金属结构设计研究工作.

(编辑:吴永红)

(上接第90页)

[5] 刁俊丰,郭江,张珂斐. 基于模糊综合评估和证据理论的水电站下导轴承预警模型[J]. 水电能源科学, 2019, 37(9): 143-146.

[6] 曹俊琴,马宏伟. 基于改进层次分析法的水电站装机容量的模糊综合评估[J]. 中国制造业信息化:学术版, 2009, 38(8):61-63.

[7] 刘英,李雅,程儒松. 基于模糊层次分析法的集控水电站群倒班运行质量综合评估研究[J]. 机械, 2012, 39(6): 27-30.

[8] 许丰正. 基于模糊层次和灰色关联理论的水电站安全评估及决策[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(18): 52-54.

[9] 符向前,孙慕群,蒋劲,等. 水轮发电机组中长期稳定运行状态评价研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005

(12):41-44. DOI:10.13245/j. hust. 2005. 12. 013.

[10] 周治国,马文浩,刘杰强,等. 小卫星健康状态自主模糊综合评估方法[J]. 电子与信息学报, 2022, 44(10): 3553-3565.

作者简介:

张 艺(1994-),女,重庆人,工程师,硕士,从事水电站生产技术相关工作;

刘晓晗(1994-),女,山东滕州人,硕士,从事水电站信息化相关工作;

赵 洪(1998-),女,重庆人,助理工程师,本科,从事电站维护相关工作.

(编辑:吴永红)