

水光蓄互补联合发电工程施工中压力管道 闷头应用研究

杨 书¹, 江 军¹, 孟 帮 杰¹, 黄 煌², 程 耀²

(1. 中电建水电开发集团有限公司, 四川 成都 610000;

2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要:春厂坝变速抽水蓄能示范电站是国内首个在已建水电站引水钢管上接入小型抽水蓄能电站的梯级水光蓄互补联合发电工程。在工程施工期间,通过采取安装闷头等措施,在有效确保原水电站发电效益的同时,也给水电站运行带来了的安全风险。通过采用压力容器、球形岔管、三维有限元等模型和计算方法对水电站带闷头运行工况安全性进行复核,总结分析了闷头运行情况,为常规梯级小水电改造为水光蓄互补联合发电系统时,确保原水电站经济效益和运行安全提供了解决思路。

关键词:岔管闷头;水光蓄互补;混合式抽蓄改造;应力计算

中图分类号: TM6; N945; F415.1

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2022)05-0137-04

Application of Penstock Plug in Construction of Hydro- Photovoltaic-Pumped Hybrid Project

YANG Shu¹, JIANG Jun¹, MENG Bangjie¹, HUANG Huang², CHENG Yao²

(1. PowerChina Hydropower Development Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000;

2. PowerChina Chengdu Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000)

Abstract: Chunchangba Variable-Speed Pumped-Storage Demonstration Power Station is the first energy generation project applying complement system of hydropower, light energy and pumped-storage power in China, which is connected to a small pumped-storage power station on the diversion steel pipe of an existing hydropower station. During the construction of the project, measures such as installing bulkhead are taken to effectively ensure the power generation benefits of the original hydropower station, meanwhile the risk is also brought to the operation of the hydropower station. In this paper, through the use of pressure vessel, spherical bifurcated pipe, three-dimensional finite element model and calculation method, the safety of hydropower station with bulkhead operation condition is rechecked, and the bulkhead operation condition is summarized and analyzed, which provides a solution to ensure the economic benefit and operation safety of the original hydropower station when the conventional cascade small hydropower station is transformed to the hydro photovoltaic storage complementary combined power generation system.

Key words: Bifurcated pipe bulkhead; Complement system of hydro power, light energy and pumped-storage power; Transformation to hybrid pumped-storage station; Stress calculation

0 引 言

春厂坝水电站常规水电机组已于 2016 年投产发电,按照梯级水光蓄互补联合发电工程规划,在原水电站厂房上游新建抽水蓄能电站,安装 1 台容量为 5 MW 的变速恒频可逆式抽水蓄能发电机组^[1]。春厂坝抽水蓄能电站作为国内投产的

唯一——一个梯级水光蓄互补项目^[2],在施工期为实现缩短已建水电站停水工期,提高项目的经济效益,有必要在已建成水电站引水压力钢管接入段岔管处设置闷头等措施。本文基于春厂坝水电站发电工况下,通过对梯级水光蓄互补联合发电工程施工期压力钢管岔管闷头进行应力复核计算与运行情况分析,阐明了在梯级小水电基础上

收稿日期: 2022-06-11

基金资助: 国家重点研发计划项目(2018YFB0905200)

实现水光蓄互补联合发电系统改造工程的技术路线,以及水电站在带闷头工况下运行的安全性和合理性^[3]。

1 工程布置

1.1 春厂坝水电站工程布置

春厂坝水电站为四川省阿坝州小金川左岸支流沃日水电梯级规划中第四级电站,电站采用闸坝引水式开发。水库正常蓄水位 2 449.80 m,引水隧洞长 13 044.30 m,压力钢管长 435.193 m(主管),正常尾水位 2 289.54 m,额定引用流量 47.1 m³/s。电站装机 3 台,单机容量 18 MW,总装机容量 54 MW。

压力管道由上平段、斜井段及下平段组成,压力管道总长 512.025 m,其中混凝土管长 8.5 m,其余为钢管,内径 3.5 m。下平段经两个卜型岔管向三台机组供水,管 0+450.2 m~管 0+504.5 m 段为覆盖层洞段,其余均为基岩洞段。主管段钢衬外包微膨胀混凝土,厚度 60 cm。压力管道全线采用钢板衬砌,钢材主管采用 Q345R,壁厚为 12~22 mm;支管和岔管采用 Q345R,支管壁厚为 18 mm,主岔管壁厚为 20~36 mm,次岔管壁厚为 20~30 mm。

通过监测资料分析表明,压力管道在运行期处于稳定。

1.2 闷头布置方案及施工情况

春厂坝抽水蓄能电站引水钢管在已建水电站主岔管上游 7.5 m 位置接入。新建岔管采用“Y”型岔管,设计支管直径 1.2 m,分岔角 61.68°,总长约 110 m,压力钢管使用 Q345R(GB713)板材,与已建电站压力钢管采用同一材质板材,2 层贴边板材厚度均为 30 mm,岔管管壁厚度 30 mm,贴边钢岔管部位设计工作压力 205.5 m(含水击压力)。引水压力钢管采用 Q345,壁厚 12 mm。正常运行工况钢岔管三维计算应力云图见图 1,水压试验工况钢岔管三维计算应力云图见图 2。

由于水光蓄互补联合发电系统的整体建设要求,在春厂坝抽水蓄能电站新建压力钢管施工期间,已建水电站处于全停机状态。新建压力钢管接入后需完成抽蓄机组进水蝶阀安装调试,已建水电站才具备恢复发电功能,预计总工期 7 个月,由此导致已建水电站发电损失较大。

为此,在施工期间优先考虑完成主岔管段接

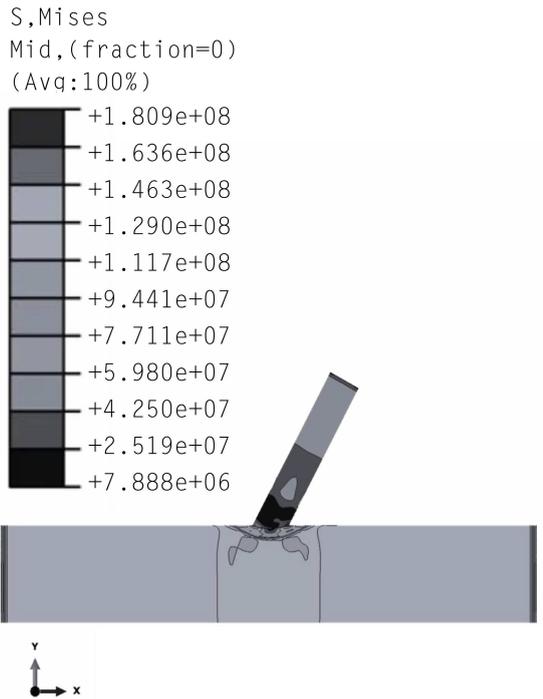


图 1 正常运行工况钢岔管三维计算应力云图(MPa)

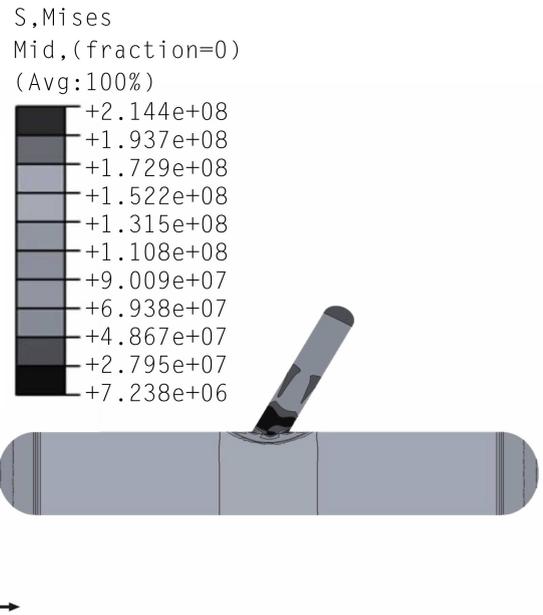


图 2 水压试验工况钢岔管三维计算应力云图(MPa)

入,通过在抽蓄压力钢管 1 号镇墩下游侧 1.5 m 处设置闷头措施,解决新建压力钢管接入后,已建水电站无法运行的问题。闷头具体结构形式为半球形闷头,半球形闷头结构形式见图 3。闷头材料型号采用 Q345R,设计压力 2.6 MPa(最大试验压力),实际选用钢板厚度 12 mm(成型前),成型后厚度 10 mm。为验证钢岔管及闷头安全可靠

性,确保钢岔管和闷头达到功能要求,对钢岔管和闷头进行厂内整体水压试验。试验时,监测和检测数据证明一切指标良好。

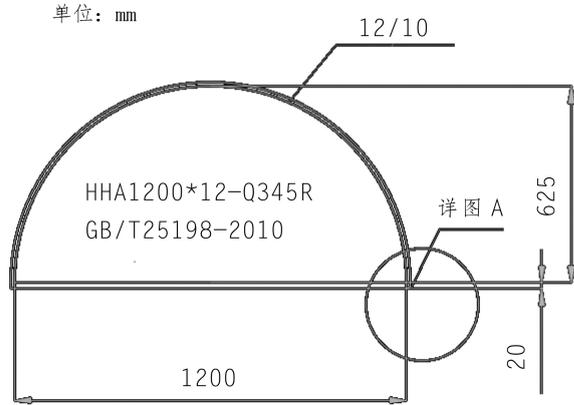


图 3 半球形闷头结构形式图

2 闷头应力复核计算

2.1 复核采用参数及相关约束条件

复核计算闷头采用的参数见表 1。

表 1 复核计算闷头采用的参数表

计算压力 p_c /MPa	闷头直径 D_i /mm	许用应力 $[\sigma]^t$ /MPa	焊接接头 系数 φ
2.6	1200	207	0.9

2.2 压力容器法计算

设计温度下球壳的计算厚度按式(1)计算。

$$\delta = \frac{p_c D_i}{4[\sigma]^t \varphi - p_c} \quad (1)$$

式中 D_i 为圆筒或球壳的内直径,mm; p_c 为计算压力,MPa; $[\sigma]^t$ 为设计温度下圆筒或球壳材料的许用应力,MPa; φ 为焊接接头系数; δ 为圆筒或球壳的计算厚度,mm。

支管闷头应力计算采用式(2)进行计算。

$$\sigma_t = \frac{p_c (D_i + \delta_e)}{2\delta_e} \quad (2)$$

式中 σ_t 为设计温度下圆筒或球壳的计算应力,MPa; δ_e 球壳有效厚度,mm。

根据以上公式,计算闷头厚度为 5 mm < 10 mm(实际厚度)。闷头应力为 98.2 MPa < $[\sigma]^t = 207$ MPa(许用应力)。

2.3 球形岔管法计算

封头厚度采用式(3)进行计算。

$$t_s = \frac{0.55 p r_s}{\sigma_R} \quad (3)$$

式中 t_s 为封头厚度,mm; p 为内水压力设计值,MPa; r_s 为封头半径,mm。

构件应力按式(4)计算。

$$\sigma = \frac{p r}{t} \quad (4)$$

式中 p 为内水压力设计值,MPa; r 为半径,mm; t 为闷头实际厚度,mm。

计算得封头厚度为 5 mm,应力为 156 MPa。

2.4 三维有限元法计算

通过有限元软件对压力钢管及闷头建立模型进行分析计算,压力钢管及封头模型见图 4,应力计算结果见图 5。

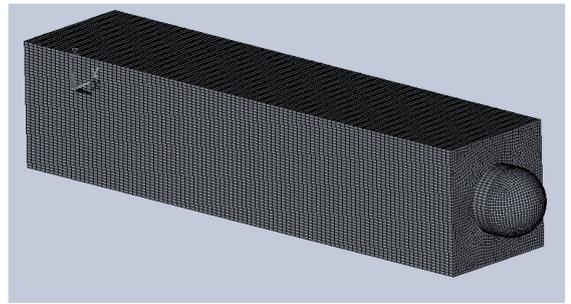


图 4 压力钢管及封头模型

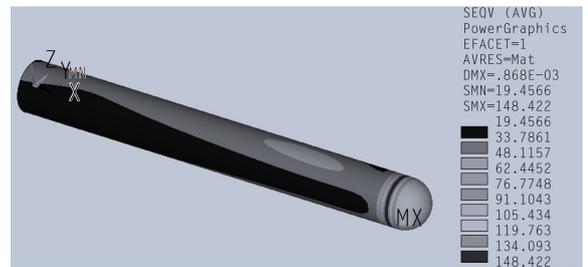


图 5 应力计算结果(MPa)

根据有限元分析可得,最大应力出现在焊缝周围,最大应力为 148.4 MPa。

2.5 闷头应力复核计算结果分析

春厂坝变速抽水蓄能示范电站岔管在设计中采用了“水工钢岔管一体化设计软件”工具进行设计,一体化设计软件融合了设计规范和工程经验,梳理整合了钢岔管设计相关的各类参数信息,在设计数据支持下,按设计流程分别完成三维建模、有限元计算、工程制图和 Word 算稿编制功能,最终达到设计工作标准化、程序化、三维化。并运用于多个实际工程项目,得到了充分检验,事实证明采用一体化设计的岔管结构是安全可靠、科学合理的。

根据《压力容器》GB150—2011^[4]和《水电站压力钢管设计规范》NB/T 35056—2015^[5]对厂家提供数据进行复核,春厂坝变速抽水蓄能电站在施工期采用的半球型闷头(材质 Q345R,板厚 12 mm,整体冲压成型后厚 10 mm)是合适的。经计算可知,最小板厚 5 mm,考虑锈蚀厚度 2 mm,实际最小板厚不应小于 7 mm。球形闷头最大应力约在 148.4~156 MPa 之间,最大应力出现在半球型闷头与压力钢管焊缝之间。计算结果表明,采用厂家提供数据进行计算时,闷头厚度满足要求,闷头应力满足要求。

建议在闷头强度满足要求的情况下,采用增加加强圈、焊接骑缝板等措施,对闷头及焊缝进行处理,以确保安全。

3 闷头实际运行情况分析

根据闷头的实际运行情况分析,春厂坝变速抽水蓄能示范电站采用整体压制成型的标准闷头。用于后期发电时支管临时封堵,故按永久闷头考虑,具体结构形式为半球形整体钢板冲压成型,并按管控要求提交了质量合格证书、材质证明报告、材质第三方检测报告、焊接工艺评定、焊缝无损检测报告、水压强度试验报告,通过 7 个月的实际运行考验,闷头厚度满足要求,闷头应力值满足要求。

4 结语

通过在春厂坝已建水电站主岔管上游接入“Y”型岔管的方式扩建混合式抽水蓄能电站,在国内尚属于首例,随着国内水光蓄互补项目的发

展前景,到 2030 年风电、光伏发电总装机容量在 12 亿 kW 以上,大规模的新能源并网迫切需要大量调节电源提供优质的辅助服务,本文通过对已建发电水电站压力钢管安装闷头分析研究,以及水光蓄示范工程施工期成功应用实践,在施工期间为缩短已建水电站停工工期,提高项目建设经济效益,设置切实安全可靠的闷头措施是必要的,对有类似扩建混合式抽蓄电站有一定的工程参考价值。

参考文献:

- [1] 李涛,胡维昊,陈刚,等.多场景下梯级水—光—蓄容量配置与优化运行研究[J].四川电力技术,2021,44(2):1-7.
- [2] 韩晓言,丁理杰,陈刚,等.梯级水光蓄互补联合发电关键技术与研究展望[J].电工技术学报,2020,35(13):2711-2722.
- [3] 韩晓言,丁理杰,刘俊勇,等.分布式光伏与梯级小水电互补联合发电技术研究及应用示范[J].科技成果管理与研究,2020,15(11):76-80.
- [4] GB150-2011,《压力容器》[S].
- [5] NB/T 35056-2015,《水电站压力钢管设计规范》[S].

作者简介:

- 杨书(1983-),男,四川都江堰人,工程师,从事水电站机电设备安装与调试和管理工作;
- 江军(1988-)男,四川绵阳人,工程师,从事水电站工程建设管理工作;
- 孟帮杰(1976-)男,四川成都人,高级工程师,从事水电站工程建设管理工作;
- 黄煌(1969-)男,四川蓬安人,正高级工程师,从事水电水利勘测设计工作;
- 程耀(1995-)男,四川雅安人,助理工程师,从事水电水利勘测设计工作。

(责任编辑:吴永红)

西藏:大力发展清洁能源产业

保护好西藏的山山水水、一草一木,是习近平总书记对西藏广大干部职工的殷殷嘱托。我们坚决贯彻习近平生态文明思想,牢固树立绿水青山就是金山银山的理念,统筹谋划、协同推进生态环境保护和经济社会发展。

一是坚持生态保护第一。我们严守生态保护红线,全区 50% 以上的国土面积都纳入生态保护红线范围,零审批、零引进“三高”企业和项目,决不以牺牲环境为代价换取一时的经济增长。

二是坚持走绿色发展之路。我们大力发展清洁能源产业、生态旅游文化产业,生态优势正不断转化为经济优势、发展优势,努力为中华民族永续发展作出西藏应有的贡献。

三是坚持山水林田湖草沙冰一体化保护、系统化治理。我们坚决打好污染防治攻坚战,城市污水处理率达到 96% 以上,生活垃圾无害化处理率达到 99% 以上,7 个地(市)空气质量优良天数保持在 99% 以上,地表水水质达标率 100%。

特别是,从今年开始,我们启动实施了拉萨南北山绿化工程,计划用十年左右的时间营造山林 200 余万亩。可以预见的是,不久的将来,一个城在林中、水在城中、人在园中的美丽高原省会城市就会展现在世人面前。

西藏仍然是世界上生态环境质量最好的地区之一,全区 360 多万各族群众在高原上幸福地生活,数十万只藏羚羊在草原上欢快地奔跑,人与自然和谐共生,蓝天白云就是西藏亮丽的名片。在这里,我也诚挚地邀请各位记者朋友来西藏旅游、来西藏采风、来西藏领略地球第三极壮美的风光。

(来源:北极星电力网)