

某高水头抽蓄机组渗水原因分析及处理措施

施小雷

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

摘要:抽水蓄能机组具有工况转换复杂,运行方式灵活,快速反应等特点。机组在设计时要兼顾高转速、双向运行、快速转换、调频、调相、频繁启动和制动等特性,因此,设计难度远超普通机组。抽水蓄能电站的水头一般较高,多为 400~700 m,随着计算机模拟技术的发展以及新材料和新方法的应用,抽水蓄能电站机组的设计和制造技术进一步提高,后续的抽蓄机组可向更高水头、大容量和高转速的趋势发展。高水头机组意味着高压力,对输水系统及机组导流部件的要求更高,笔者对某电站的蜗壳层机墩混凝土渗水原因分析排查及处理措施进行阐述。

关键词:高水头抽蓄机组;混凝土;渗水

中图分类号:TV743;TV331

文献标志码:A

文章编号:1001-2184(2023)增 1-0041-04

Causes Analysis and Treatment Measures of Water Seepage of the High Head Pumped Storage Units

SHI Xiaolei

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: Pumped storage units (PSUs) have complex operating conditions, flexible operation modes, and quick response capabilities. When designing a unit, it is necessary to consider high speed, bidirectional operation, rapid conversion, frequency regulation and phase adjustment, frequent starting and braking, and other characteristics, which makes the design more difficult than conventional units. The head of pumped storage power station is relatively high, which typically ranges from 400 to 700 meters. With advances in computer simulation technology and new materials and methods, the design and manufacturing techniques for PSUs continue to improve. Future units can potentially achieve higher heads, larger capacities, and higher rotation speeds. However, higher heads also mean higher pressure requirements for the water supply system and the units division components. This article provides analysis of the reasons for leakage from the concrete pier of spiral case layer of a pumped storage power station and discusses treatment measures.

Keywords: High-head pumped storage units; Concrete; Seepage

1 概述

抽水蓄能机组输水系统主要包含引水系统、尾水系统及机组段水泵水轮机过流部件,输水系统及过流部件承受的水锤压力巨大,要求机组的刚度和强度也相应提高。抽蓄机组水泵水轮机过流部件主要包含尾水肘管、锥管、蜗壳和底环等。尾水事故闸门门叶通过液压系统控制开启。尾水压力钢管通过焊接方式从尾水管扩散段连接至尾水事故检修闸门门槽处,靠下库侧延伸至尾水隧洞混凝土岔管前。尾水肘管及锥管通过焊接方式与底环及压力钢管连接。底环通过螺栓与座环把

合,与座环之间有设置密封。座环蜗壳进口节与进水阀下游伸缩节连接。机组段过流部件示意图见图 1。

某电站 3 号机机电设备安装完成,经各方对机组充水条件进行联合检查,确认各项工作均已完成,具备充水条件后,机组段各充水人员按照方案开启尾水事故闸门平压管阀门后对机组段进行的充水,约 2.5 h 后蜗壳层液位计和蜗壳排气管出水显示充水完成,对各系统进行检查,无异常情况,开始保压。保压 15 h 后,发现锥管进人门廊道上方,测效率埋管出墙位置靠近 2 号机组侧蜗壳层机墩外围混凝土墙面有细微渗水现象,尾水检修廊道位置尾支钢管贴壁排水管基本无渗

收稿日期:2023-07-13

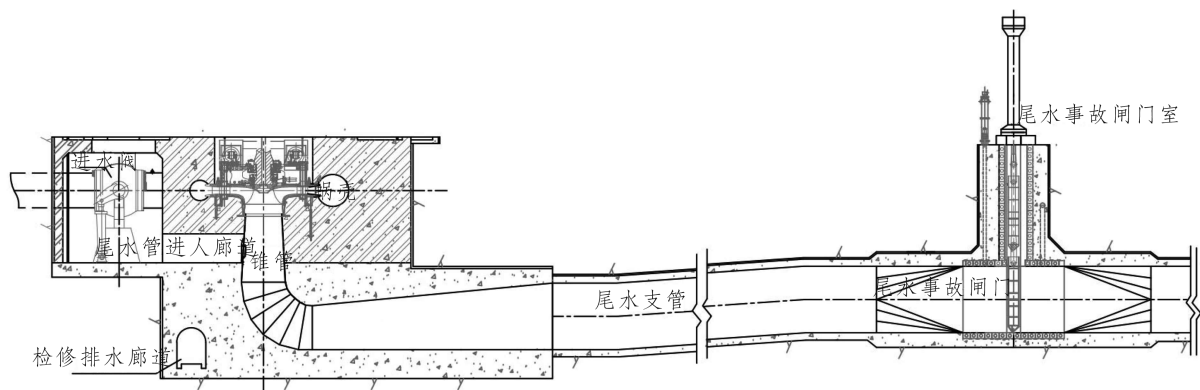


图1 机组过流部件示意图

漏,共发现墙面渗水点6处,经过长时间观察,发现渗水量无减少的趋势,后续在机组启动运行过程中,渗水量逐渐增大。

2 机组混凝土渗漏的危害

结合国内外水电站厂房及混凝土基础渗漏相关案例和钢筋混凝土的理化特性等相关资料分析,水轮发电机组机墩混凝土一旦出现渗漏水问题,对电站的危害主要为以下3点。

(1)损坏设备。渗漏水会引起机墩混凝土墙体挂装的电气设备绝缘性能降低,渗水进入墙体内部造成电路短路,易造成墙体预埋及明装设备管路锈蚀损坏,墙体渗漏增加环境湿度及地面积水,严重影响设备运行环境及整体形象面貌。

(2)损坏钢筋。渗漏水会使钢筋混凝土内部存在的氢氧化钙溶失,一旦钢筋混凝土所处环境的pH值变小,会导致混凝土结构中的钢筋易发生锈蚀,并会加快结构混凝土的碱骨料反应,从而影响到结构安全,缩短了墙体的使用年限。

(3)损害混凝土。如果渗漏水的压力较高,严重时还会导致混凝土中的细小颗粒被渗漏水带走,引发管涌效应,破坏混凝土原有成分比例,使混凝土内部产生孔穴,危害性更大。

3 机组混凝土渗漏的原因分析

(1)渗漏现象。3号机组整组调试前主要渗水位置在锥管进入门廊道上方,测效率埋管出墙位置、靠近2号机组侧蜗壳层机墩外围混凝土墙面,经过现场观察锥管进入门及量测预埋管出墙位置渗水量较大,其余墙体位置渗水量极小,测量锥管进入门处渗水量约400 mL/min,量测预埋管出墙位置渗水量约160 mL/min。3号机组甩负荷试验完成后,经过20天左右静置,现场观察

墙体渗水量增大,且出现如下几处新渗水位置:蜗壳层机墩一圈原混凝土浇筑分层线位置;机墩两侧蜗壳夹层机墩混凝土浇筑分层位置;蜗壳进入门与混凝土接缝位置。现场测量停机状态下锥管进入门区域600 mL/min,测效率管路区域260 mL/min,蜗壳进入门区域150 mL/min,其他区域50 mL/min;机组抽水运行状态下锥管进入门区域1800 mL/min,测效率管路区域600 mL/min,蜗壳进入门区域200 mL/min,其他区域约100 mL/min,渗漏量明显增加。

(2)排查项目。引水系统及尾水系统充水时间早于机组段,漏水情况主要在机组段充水后出现,且在后续机组段排水后进行排查时渗漏水减少且最后不渗漏,排除由于厂房岩壁渗水造成机组机墩混凝土渗水的情况,渗水水源可判定来自机组段过流部件。机组吸出高度在-80 m左右,机组段充水后,过流部件静态承压在0.8 MPa左右,过流部件有渗漏位置后,在水压的作用下,水渗入混凝土,造成墙体渗漏。水泵水轮机过流部件及压力水管路大部分埋设于混凝土中,查找渗漏水源存在管路多、规格参数不一和混凝土内具体布置位置不详等诸多问题,出现大面积渗漏现象,很难直观检查判断出具体渗漏设备、地点和方位,给缺陷处理带来极大的不便。为确定渗漏点,根据现场漏水情况及机组结构,全面分析机组过流部件漏水点可能情况有:与蜗壳、锥管、肘管、尾支钢管相连的预埋管路存在漏焊或者焊缝渗水情况;混凝土钢筋安装焊接、浇筑、振捣过程中,对预埋管路造成损伤渗水;锥管与底环、锥管与肘管焊缝渗水;底环自身焊缝渗水;肘管内测效率封堵板密封损坏渗水;锥管检修平台横梁支撑孔和悬吊

孔焊缝渗水;锥管及肘管内支撑切除后造成本体损伤渗水;肘管、蜗壳焊缝和测压头渗水;底环灌浆孔、排气孔和尾支钢管灌浆孔渗水^[1]。根据上

述分析的可能漏水点,查阅过流部件图纸,排查项目具体项目清单见表 1。

(3)资料排查。根据排查出的焊缝及预埋管

表 1 排查项目表

排查区域	焊缝名称	排查区域	管路名称
焊缝 排查	锥管与底环/肘管环焊缝、锥管本体焊缝、检修平台座、锥管上段检修平台辅梁悬吊孔焊缝、测效率套管法兰与肘管本体焊缝及法兰密封条、蜗壳本体焊缝、尾水肘管本体焊缝(工地和厂内焊缝)、底环灌浆孔、座环灌浆孔、尾水肘管灌浆孔	管路 排查	尾水管充气压水管路、尾水锥管及底环锥管段测压管路、尾水管液位计管路、顶盖减压管/蜗壳尾水平压管、尾水肘管上所有测压管路、技术供水供排水管路、尾水管排水管、蜗壳排气管、上止漏环冷却水管、主轴密封供水管、主轴密封排水管、蜗壳压力及流量测量管路、顶盖回水排气管、顶盖上的压力测量管路、蜗壳压力及流量测量管路、蜗壳排水管理管、压力钢管排水管、导叶下轴颈排水管固定导叶排水管、顶盖底环外平压管、下止漏环冷却水管、底环转轮下腔测压管路

路清单,分别对制造厂及现场施工过程中的过程影像资料,焊接完成后的无损探伤报告、预埋阶段管路布置情况及管路打压试验资料等全面进行检查,主要检查缺陷处理情况,未发现相关问题。

(4)现场排查。根据清单项目按照渗漏可能性大小和缺陷处理便利的原则进行依次检查、逐一排除的方法。

①蜗壳、底环及锥管本体焊缝排查。座环蜗壳外包混凝土浇筑过程中,需进行保压浇筑,浇筑时蜗壳及其附属管路保压 3.75 MPa,基本已排除蜗壳及附属管路渗漏的可能性。根据漏水情况及原预埋管路布置位置,重点检查了底环、锥管上焊缝及管路,机组排水后根据排查清单对锥管现场及工厂焊缝、锥管与蜗壳测压头全部进行超声波及表面渗透探伤检查,均未发现问题。

②预埋管路及检修梁孔排查。焊缝检查完成后,由于尾水管扩散段测效率套管出墙位置存在渗漏,首先对测效率套管流道内堵板重新封焊后进行打压,结果无异常,然后根据梳理出的所有与锥管、肘管、尾支钢管、蜗壳、顶盖相连的管路、锥管检修平台横梁安装孔等全部重新进行水压试验,水压试验时在流道内取源口安装焊接堵头并焊接打压管,关闭管路出混凝土后的第一道阀门,最后对管路预埋段灌水升压后检查保压情况。现场已打压的所有管路均能保压,保压过程中,压力无下降现象。现场实施过程中由于顶盖底环平压管、转轮与泄流环之间外侧测压管、转轮与泄流环之间内侧测压管、下止漏环冷却水管管口在底环上,转轮与底环之间距离极小,无法焊接封堵板,进行打压及探伤检查,其余管路均完成了水压试验^[2]。

③流道复充水及充气排查。为进一步确定渗漏点,对机组段流道进行分段复充水,第一阶段将水位充至尾水锥管中心位置后暂停并保持 12 h 观察,墙体各渗漏点均未渗水。第二阶段通过调相压水气罐向锥管内供气增压,供气后锥管水位被压至液位计以下后,打开尾闸充水阀继续向尾水管内充水,保证水位在锥管中心位置,直至尾闸排气阀出水,此时尾水支管已充满,关闭尾闸充水阀及排气阀,然后继续向尾水锥管内补气,通过锥管测压表监测锥管内压力缓慢上升,当压力上升至 0.5 MPa 以上后,锥管进入人门等原渗水位置使用泡沫水进行观察开始出气,且持续保持。第三阶段重新打开尾闸充水阀向肘管内充水,并保持锥管内气压在 0.6 MPa 左右,水位每上升 500 mm 后稳定保持 2 h,通过观察墙体出水或出气的状态来精确定位漏水点,现场充水至锥管液位计顶部后锥管内的水位无法直观判断,后续通过锥管及底环上的测压管路出墙位置阀门出水及出气状态来判断流道内的水位,当水位到达底环上的测压管高度时,墙体出气变为出水状态,判定渗漏位置在底环测压点附近。

④排查初步结论。排查测压点附近主要渗漏点主要有底环灌浆孔、排气孔、顶盖底环平压管和测压管,通过以往施工图片检查,灌浆孔及排气孔堵头带螺纹,安装后表面封焊,灌浆孔表面探伤记录齐全;测压管路,充水过程中量测数据正常,排气排水正常,测压管路打压记录齐全;底环上预留两个内径为 143 mm 的孔连接底环顶盖平压管,管路安装时插入底环预留孔内并高出底环表面 200 mm,管路外径为 141 mm,管路与底环间的间隙为 1 mm,管路切平后与底环表面封焊,初步

怀疑顶盖底环平压管切除后于底环表面封焊的焊缝过薄,易出现裂纹,或者测压管路焊缝出现裂纹,从而造成渗漏。

4 渗漏处理措施

根据流道渗水点压力(0.85 MPa)以及各处的总渗水量(0.56 L/min),按照其他已投运机组各种运行工况渗水点最大压力值(5.00 MPa)进行分析,渗水点不会对混凝土结构安全和机组运行安全造成影响。鉴于流道渗水点位于底环过流区域,不宜进行打深孔灌浆,避免灌浆材料流入机组设备转轮底环止漏环等配合间隙较小的位置或打孔过程造成预埋管路损坏,为避免渗漏点高压水渗入混凝土后造成内压增大,高压水窜入流道薄弱位置,造成鼓包现象,混凝土外的渗水点不能直接进行封堵。由于机组已在有水调试及运行期间,受投运工期节点等要求,无法直接将转轮提升到一定高度对底环过流面进行进一步检查。根据现场实际情况初步对机墩墙面渗漏进行表面处理,处理分两个阶段:

第一阶段采用在混凝土面使用防水材料封堵结合引流的方式进行处理。首先对墙面腻子等全部清理后仔细查找墙面渗水点,按照渗水点对墙面进行开槽,凿槽为 U 型槽,宽度 10 cm 左右,深度 8 cm 左右,开槽路线规划布置合理,大面积渗水点开槽引水时需将各个渗水点串联起来,同时还需将周边松动和浇筑不密实的混凝土一并凿除清理干净,统一将水引到指定位置,再对凿好的槽进行清洗和清理工作^[3]。严格清洗槽内混凝土表面,用 PVC 半圆管盖住槽中裂缝(含裂缝、施工缝、渗水点等),然后采用堵漏宝密封两边,同时固定 PVC 管,在封缝之后的管路上粘接柔性防水胶带,以适应引水槽(渗水点)的变形及热胀冷缩,达到预防返潮的目的。

机组启动运行在流道压力增大后持续观察墙面处理效果,无渗水情况后,检查 PVC 管及柔性防水材料封闭密实无异常后,用堵漏宝进行全部封闭,保持与周边墙面平整。对于渗水点散乱、蜂窝、麻面、混凝土疏松等不宜引水的地方,采用面渗漏化学灌浆处理,用冲击钻打灌浆孔,灌浆孔成梅花型或一字型布置、深度约为 20~30 cm,在已打好的灌浆孔处理设注浆针头,配置聚氨酯浆液进行化学灌浆,灌浆压力为 0.3~0.5 MPa,最后

一个灌浆嘴稳压 5 min 不进浆即结束为标准。浆液凝固后除去注浆针头,并清理干净孔口溢出浆液及周边废料,在外表面压上堵漏宝进行封闭,堵漏宝硬化之后打磨平整并清洗干净。表面渗漏灌浆处理后,最后对表面进行一层防水处理,将墙面打磨清洗干净后,粘贴防水丙纶,防水丙纶需与墙面粘贴密实,消除气泡和空鼓,接缝处搭接密实。墙面处理无异常情况,进行墙面恢复,重新涂刮腻子粉及乳胶漆等^[4]。

第二阶段机组在检修期时,将转轮吊起后对底环过流面所有接口及连接的预埋管路重新进行打压检查,确定具体渗漏点后,在过流面表面封堵焊接处理,从根本上解决渗漏问题。

5 结语

墙面渗漏原因和机理并不复杂,但由于混凝土内埋设管路复杂,寻找渗漏点难度极大,受困于机组结构布置特点、输水系统长期通水、机组投产运行时间影响等因素,缺陷处理往往需要一个长期的过程,等待合适的时机。埋设在电站厂房内的水泵水轮机过流部件及管道等都属于隐蔽工程,属于不可修复或修复代价极大的项目,一旦发生渗漏问题处理难度极大,混凝土渗水既影响投产后机组整体形象面貌,又对混凝土存在一定危害。笔者对机墩渗漏查找采用管路打压、调相压水气罐补气等方式,依次查找逐步排除的方法,其他工程如遇类似问题可做参考,并建议底环、锥管、肘管、蜗壳等过流部件管路接口需仔细检查探伤,尽量在工厂内焊接完成,现场预留接口与管路连接,并做好隐蔽工程与设备接口等边界的质量检查及试验^[5]。

参考文献:

- [1] 史恩泽. 某电站机组机坑墙体渗水原因分析及处理[J]. 电力安全技术, 2022, 22(02): 23-26.
- [2] 王环东. 小山电站厂房下游墙渗水原因分析及处理[J]. 电力安全技术, 2011, 13(02): 49-50.
- [3] 陈亮. 水利工程中混凝土建筑渗漏处理措施分析与探究[J]. 水利建设与管理, 2015, 35(05): 71-73.
- [4] 魏周恩. 引水隧洞混凝土渗水缺陷成因分析及其处理措施[J]. 甘肃农业, 2013(17): 38-39.
- [5] 王年安. 水电站厂房渗漏水原因分析及施工防治措施[J]. 水利科技, 2000(04): 51-52.

作者简介:

施小雷(1993-),男,甘肃兰州人,工程师,工学学士,从事水电站机电设备安装与技术管理。(责任编辑:廖益斌)