

Research on the Partial Renovation Construction Technology of Tailwater Conical Pipe of Hydropower Station Units

Xiaoping Yu

China Power Construction Electric Power Maintenance Engineering Co., Ltd., Leshan, Sichuan, 614000, China

Abstract

This paper takes the tailwater conical pipe renovation project of Unit 3 of a hydropower station in Sichuan Province as the research object. In response to the problems existing in the unit over the past 20 years due to design or changes in water level in the reservoir area and dispatching factors, such as a large vibration area and cracks in the runner blades caused by mud and sand wear or fatigue during the flood season, a complete construction plan for the partial renovation of the tailwater conical pipe is proposed. By precisely controlling key processes such as marking and positioning, segment-based welding techniques, and concrete pouring technology, and strictly implementing safety construction guarantee measures, we overcame the coexistence of multiple safety risks and successfully completed the replacement of the conical pipe, providing valuable engineering experience for the transformation of similar hydroelectric generating units.

Keywords

Hydropower Station Tail water cone pipe Renovation construction; Welding process; Concrete pouring

水电站机组尾水锥管局部改造施工工艺研究

余小平

中电建电力检修工程有限公司, 中国·四川乐山 614000

摘要

本文以四川省某水电站3号机组尾水锥管改造工程为研究对象, 针对机组运行20年来, 由于设计或库区水位变化及调度等因素, 存在的振动区范围大, 因汛期泥砂磨损或疲劳造成转轮叶片裂纹等问题, 提出了尾水锥管局部改造的完整施工方案。通过精确的划线定位、分段焊接工艺、混凝土灌注技术等关键工序控制, 严格落实安全施工保障措施, 克服多种安全风险并存特性, 成功完成了锥管更换工作, 为类似水电机组改造提供了可借鉴的宝贵工程经验。

关键词

水电站; 尾水锥管; 改造施工; 焊接工艺; 混凝土灌注

1 工程概况

该水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州岷江流域, 为引水式电站, 总装机容量 360MW (4 台 × 90MW)。工程由首部枢纽、左岸引水系统及地面厂房组成, 多年平均流量 345m³/s, 正常蓄水位 1268m, 设计水头 159.3m, 年发电量 11.7 亿 kW·h。

2 尾水锥管更换原因分析

电站自 2004 年首台机组投运以来, 3 号机组长期存在以下问题:

- 1) 振动区范围达 10%-80% 额定负荷
- 2) 转轮叶片出水边频繁出现裂纹及断块
- 3) 严重影响机组安全稳定运行

经分析论证, 决定对转轮进行重新设计, 新转轮增加了叶片厚度、出水边直径及整体高度。为适应新转轮结构参数变化, 必须对尾水锥管进行局部改造改造, 制造适应的上部锥管予以更换。

3 改造施工工艺流程

3.1 总体施工流程

尾水锥管改造施工主要包括以下关键工序: 尾水检修平台搭建→锥管刨割部位划线→锥管刨割、吊出→混凝土凿除→基础环刨割→刨割部位打磨、尺寸检查→备件锥管二次加工、安装调整→锥管焊接→焊缝检测→锥管灌注、灌浆→座环水平检查处理。

3.2 关键施工技术

3.2.1 精确划线定位技术

采用高精度测量方法确定刨割位置:

锥管划线: 从基础环板向下测量 392mm(设计为 394mm、预留 2mm) 在锥管上进行标记, 每相邻标记点距离

【作者简介】余小平(1974-), 男, 中国四川泸州人, 本科, 高级工程师, 从事水电工程研究。

约500mm,使用1米钢板尺进行连点划线,即为锥管下段刨割线。

基础环划线:在座环上法兰上安装求心器架及钢琴线,以座环第二镗口为基准调整钢琴线中心偏差小于0.5mm,以钢琴线为基准在基础环上划出刨割线,半径为1348mm(设计半径为1350mm、预留2mm,并根据锥管上段外圆实测直径进行调整)。基础环刨割线在混凝土凿除完成后进行。

3.2.2 锥管及基础环刨割

1)按照划线对锥管进行刨割,刨割处尽量平整。若刨割部位恰好在锥管最上层环形筋板处,则及时向电站人员反映,可将刨割线上移以避免环形筋板。刨割时注意:第一次刨割时控制尽量不越过刨割线,留有适量二次精刨及打磨余量;控制刨割面水平度,避免出现外侧多刨现象。

2)对基础环内圆进行划线刨割,控制内圆刨割线直径大于锥管上口外圆直径约10mm,将需更换锥管刨割成6-8瓣吊出机坑。

3)按照厂家设计尺寸对混凝土进行凿除。

4)按要求进行基础环刨割划线、刨割,打磨去除渗碳层露出金属光泽。刨割时可先在圆周均布8处刨割出基准样板,宽度控制在50mm左右。刨割时注意:第一次刨割时控制尽量不越过刨割线,留有适量二次精刨及打磨余量;控制刨割面垂直度,避免向外倾斜出现下部多刨现象;

5)对锥管上口及基础环刨割处进行尺寸测量,对刨割不到位处进行精刨,然后使用角磨机打磨去除渗碳层露出金属光泽。

6)测量锥管上口及基础环刨割部位尺寸,对少刨部位进行补刨并打磨,对局部多刨部位凹坑(大于4mm)进行补焊。

7)测量基础环上环面至锥管上口距离,圆周等分测量8处,确定备件锥管二次加工高度。

8)将混凝土凿除部位粉尘、铁屑及松动的混凝土块等杂物清理干净。

3.2.3 备件锥管安装调整

1)根据测量数据及厂家图纸对锥管进行二次加工去除余量并制作坡口,考虑锥管环缝焊接收缩,锥管高度可大于测量尺寸2mm。

2)备件锥管吊入机坑进行安装,使用压码、压缝器、千斤顶等工具调整中心及水平。锥管中心及水平满足以下要求:安装求心器及钢琴线,以座环第二镗口为基准调整锥管竖直段中心偏差不大于0.5mm;调整锥管上平段(转轮下口对应处)水平偏差不大于1mm(沿圆周最高与最低之差)。

3)调整合格后进行定位焊接:锥管环缝对称均匀焊接8处(每处长50mm);锥管上口与基础环对称均匀焊接8处(每处长30mm);或焊接钢板进行定位。

4)定位焊接过程中监视锥管应无移位:通过钢琴线监测锥管中心变化情况;通过水准仪或合相水平仪监测锥管上平段水平变化情况。

5)若锥管环缝出现超过2mm以上的错牙处,待锥管

两条焊缝焊接完成后进行过渡焊接,确保尽量平滑过渡。

3.2.4 焊接工艺控制

备件锥管由两部分焊接加工而成,上部与座环基础环组焊部位材质为Q235B,下部与尾水锥管组焊段为04Cr13Ni5Mo超低碳马氏体不锈钢。座环基础环材质为Q235B,锥管上段为04Cr13Ni5Mo。

1)焊接环境要求如下:

环境温度不大于80%。

环境温度不低于5℃。

风速不高于8m/s。

锥管焊接

焊接顺序:先完成锥管环缝焊接,然后再进行锥管上口与基础环焊接。

2)焊接工艺要求:

备件锥管上口(厚度30mm)与基础环材质均为Q235B,焊前不需进行预热,焊前使用火焰烤除焊缝表面水汽,采用J507焊条进行焊接。

原锥管上段及备件锥管下段材质均为04Cr13Ni5Mo,锥管环缝采用E309奥氏体不锈钢焊条焊接,该焊条具有优良的焊接工艺性能和抗热裂纹性能。普通混凝土耐热温度一般不超过80摄氏度,锥管焊缝焊前使用火焰加热至50摄氏度并烤除表面水汽。

焊接前根据焊条说明书对焊条进行烘焙(重复烘焙不得超过两次),并放置于保温筒(带电源)中随用随取。打底焊接使用 $\phi 3.2$ 焊条,其余使用 $\phi 4.0$ 焊条。 $\phi 4.0$ 焊条焊接电压20-26V,电流100-140A。

焊接采用对称分段退步工艺,由2-4人同步作业,每段长度400-500mm。

3)焊接质量控制要点:

采用多层多道(窄道)方式进行焊接,层间厚度为焊条直径的1-1.2倍,焊道宽度为焊条直径的1-1.1倍,相邻两层焊缝接头错开50mm。

焊接时控制层间温度30-60℃为宜,每层焊接完成焊工自检合格后方可进行下层焊接。

除第一层打底及最后一层盖面外,其它各层焊接完成后进行风铲锤击消应,锤头应圆滑不得尖锐。

焊接过程中适时对锥管中心及水平进行监测,监测手段与定位焊相同。焊接完成后对备件锥管水平、中心进行复核。

焊缝外观检查:不得有焊瘤、飞溅、电弧擦伤、夹渣、表面气孔,咬边应满足:深度小于0.5mm,连续咬边长度小于100mm,两侧咬边总长小于10%焊缝长度。

焊缝探伤:焊接完成24小时后,对两条焊缝进行100%PT探伤检查应合格。

对不合格的焊缝进行处理,若刨割则需打磨清除渗碳层,然后进行焊接。同一部位焊缝处理不宜超过两次。

焊缝余高0-3mm,不得低于母材。焊缝检查合格后,使用角磨机打磨光滑。

3.2.5 混凝土灌注及灌浆技术

混凝土灌注设备及灌注

采用砂浆专用灌浆泵，具体参数如下：

- 1) 电压：380V；
- 2) 排量：4m³/h；
- 3) 料斗容积：60L；
- 4) 长*宽*高：120*55*120cm；
- 5) 压力（可调）：0~6Mpa。

灌注工艺及要求

1) 根据设计要求，锥管上下环缝焊接完成探伤合格后进行混凝土浇筑，考虑到现场施工条件，采取灌注的方式进行。在现有条件下灌注可能会出现流动性差及振捣不便导致灌注不密实、出现蜂窝等情况。计划采用 M40 砂浆，其流动性更好，并在施工过程中通过锥管上的其它 G1 孔进行振捣，以尽量减少蜂窝或灌注不到位现象。

2) M40 砂浆由水、砂以及水泥配制而成，水泥选用普通硅酸盐水泥，强度等级为 P.O42.5R，砂子粒径不大于 5mm，暂定水砂水泥配合比为 0.5: 1: 1，初凝约 3h，浇筑结束后 3d 抗压强度约 25~27Mpa，7d 抗压强度约 35~38Mpa。

3) M40 砂浆灌注压力控制：0.1~1Mpa。

4) 灌注顺序：由低处孔开始，并在灌注过程中敲击震动锥管钢衬，待高处孔或两侧孔排出砂浆后，依次将其空口阀门关闭。在规定压力下灌注孔停止吸浆，延续灌注 5min 即可结束。

3.2.6 灌注后灌浆

(1) 灌浆设备选用专用灌浆泵

(2) 材料选用及水灰比

水泥选用普通硅酸盐水泥，强度等级为 42.5，水灰比为 0.8、0.6（或 0.5）两个比较级。

(3) 灌浆压力：0.1~1MPa。

(4) 灌浆：

1) 灌注完成待混凝土初凝后（3d）开展脱空部位检查，采用锤击方式识别出混凝土脱空位置及面积。检查完成后，根据脱空部位面积进行灌浆孔布置，灌浆孔采用磁力座钻钻孔，钻孔数根据脱空面积的大小而定，钻孔孔径 ϕ 12~14mm。钻孔完成后进行攻丝，然后预埋专用灌浆管。

2) 灌浆由低处孔开始，在灌浆过程中敲击震动锥管钢板，待高处孔排出浓浆后，依次将其空口阀门关闭。在规定压力下灌浆孔停止吸浆，延续灌浆 5min，即可结束灌浆，如在灌浆过程中发现锥管钢衬有变形或异常情况则停止灌浆。

3) 检查灌浆合格后，对灌注孔及灌浆孔进行焊接封堵。

4 质量保证措施

本次改造施工质量保障的重点和难点最终体现在座环水平度，施工过程中，在焊接和混凝土灌注及灌浆全流程均应进行座环水平实时监测，监测发生较大变形时及时调整施工速度和顺序，以确保座环变形受控，水平在可控范围内。

座环上法兰（顶盖安装）直径 3930mm，顶盖密封安装面与上法兰设计高差为 402f9mm（-0.068~-0.223），下法兰（底环安装）直径 3396mm。锥管灌注后对座环上法兰、密封安装面及下法兰水平进行检查处理。

座环外径 4950mm，锥管灌浆范围相对较小（外径约 3000mm、内径约 2500mm、高度约 370mm 的圆环），且灌浆处距座环下环板垂直距离约 500mm，备件锥管共布置 16 只直径 G1 灌浆孔、为未完全封闭空间。因此，判断锥管灌注、灌浆及凝固不会影响座环水平特别是上法兰水平。为稳妥起见，先进行座环上法兰水平检查处理，再进行下法兰检查处理。

4.1 座环上法兰检查处理

使用合相水平仪配合水平梁测量座环上法兰及与顶盖密封面水平。

上法兰径向水平应小于 0.05mm/m（G8654-2003 标准），对不满足要求的高点处使用抛光片进行打磨，打磨前划出打磨区域并预留测量基准，方便使用平尺或尺口尺配合塞尺检查打磨厚度。

确定上法兰打磨量时，应兼顾上法兰与密封面高程差满足 402f9mm 的尺寸要求，若二者不能兼顾，应首先满足上法兰水平要求，然后再对密封面水平进行打磨。

水平处理时应边打磨边测量，防止打磨过量形成低点，打磨处应尽量打磨平整。

4.2 座环下法兰水平检查处理

下法兰水平打磨方法与质量要求上法兰相同，但须注意：下法兰水平偏差方向应与上法兰一致。

对于下法兰打磨厚度超过 0.1mm 处，应对座环与底环密封面进行相应打磨，避免出现密封面妨碍底环水平现象。

5 施工效果评估

通过严格的工艺控制，本次尾水锥管改造取得显著成效：1) 精确的划线定位是保证锥管改造精度的基础，分段退步焊接工艺能有效控制焊接变形，新锥管安装精度完全满足设计要求；2) 差异化焊接参数适应不同材质特性，严格控制焊接工艺流程，焊缝一次合格率达 100%；3) 混凝土灌注及灌浆过程严密监视和控制，即保证了灌注密实度良好，同时加强座环水平监测，座环水平偏差控制在 0.03mm/m 以内；4) 经过改造施工投入正常运行，通过机组实时运行参数显示，机组振动问题得到改善，机组运行平稳可靠。

本工程的成功实施为水电机组类似改造提供了完整的技术方案和工程经验，具有重要的参考价值。

参考文献

- [1] 李壮,胡孟章.抽蓄电站尾水锥管焊接技术[J].安装, 2024(S2): 89-91.
- [2] 刘翠丽,李所.水电站尾水锥管混凝土浇筑施工技术[J].云南水力发电, 2021, 037(004):139-141.
- [3] 钱德虎.特殊条件下按时发电锥管堵头在尾水充水中的应用探讨[J].中国设备工程, 2023(23):80-82.