

# 三例水电站漏水缺陷处置与防范思考

蒋官云

四川科锐得发电有限公司

摘要: 分析水电站冲砂闸、尾水闸门、水轮机锥管漏水缺陷的原因, 介绍消缺思路、方法及提升安装质量管控的建议。

关键词: 冲砂闸; 尾水闸门; 锥管; 漏水; 原因分析; 消缺; 安装质量

## 1 缺陷概述

### 1.1 冲砂闸、尾水闸门漏水缺陷

水电站 1 为径流式引水电站, 主副坝取水, 发电引用流量 18.9m<sup>3</sup>/s, 装机 2×20MW, 为立式混流式机组, 2010 年 1 月两台机组相继投运发电。

主坝取水口冲砂闸(液弧弧形闸门)投运以来可正常操作, 底部一直存在漏水现象, 前期维护人员对闸底板进行了加钢板处理, 检查了接力器推拉杆行程, 仍然存在漏水现象。

尾水闸门在水轮机过流部件检修时不能止水, 只能通过大尾水外河道口扎围堰截水后, 用防洪泵抽大尾水满足机组检修时的安全措施, 即延长了工期, 又增加了成本。

2014 年 1 月, 笔者负责主坝冲砂闸漏水和尾水闸门漏水两处缺陷处理。

### 1.2 锥管漏水缺陷

水电站 2 为径流式引水电站, 引用流量 67m<sup>3</sup>/s, 所处流域泥沙含量较重, 装机 2×9MW, 机组为立式混流式机组, 额定水头 30 米, 额定转速 200 转/分, 水轮机型号为 HLA551-LJ-225。2011 年 1 月两台机组相继投运发电。

1#水轮机锥管在投运半年后开始渗水。至 2017 年 1#水轮机大修, 锥管漏水共处理 4 次, 仍存在漏水现象。2#水轮机锥管于 2019 年出现漏水现象。

锥管漏水特点: 中低负荷区漏水量增加, 高负荷区及满负荷漏水少或不漏水。

## 2 对水电站 1 冲砂闸漏水缺陷的处理

### 2.1 冲砂闸操控部件组成及工作原理

冲砂闸操控部件主要由控制柜、油压装置、操作管路、接力器(单支)、弧形闸门等组成。

弧形闸门是挡水面为圆柱体的部分弧形面的闸门, 其支臂的支承铰位于圆心, 启闭时闸门绕支承铰转动。弧形闸门不设门槽, 启闭力较小, 广泛用于各类水道上下游作为泄洪和冲砂闸门运行。

### 2.2 原因分析

冲砂闸底部漏水后, 维护人员已对接力器推拉杆行程进行了检查, 且在闸底板加装了钢板, 故不考虑接力器行程。观察冲砂闸关闭过程中, 接力器上腔(关闭腔)操作油管路感觉不到油流动造成的轻微震动。油压装置断电泄压后, 检查接力器上腔操作油管路中无油。进一步检查, 此管路节流阀全关。分析接力器在关闭时, 上

1#水轮机锥管漏水前期处置一览表

| 处理时间   | 裂纹位置         | 裂纹长度       | 处理方法                     | 反复时间   | 反复周期  |
|--------|--------------|------------|--------------------------|--------|-------|
| 2014.6 | 进入门正上方       | 50cm       | 补焊<br>J422 焊条            | 2014.9 | 3 月   |
| 2015.5 | 进入门正上方       | 50cm       | 补焊<br>J422 焊条            | 2015.8 | 2-3 月 |
| 2016.3 | 进入门正上方       | 50cm       | 补焊<br>J422 焊条<br>加灌浆     | 2016.6 | 2-3 月 |
| 2017.3 | 进入门正上方<br>两侧 | 30cm<br>两段 | 全面补焊 J507 焊条并对锥管汽蚀部分进行修复 | 2017.4 | 半月    |

2#水轮机尾水锥管在 2017 年 3 月经检查存在汽蚀现象, 但当时并未有漏水现象, 用 J507 焊条进行了补焊打磨修复。

### 5.2 原因分析

#### 5.2.1 对 1#水轮机锥管漏水现象的分析

5.2.1.1 从出现裂纹的位置来看, 处于进入门上部与座环焊接最薄弱处, 分析裂纹产生的主要原因和诱发因素。

(1) 主因分析: 1#水轮机锥管安装过程中存在两个缺陷。一

腔并无压力油, 弧形闸门靠自重封水, 由于闸门自重不足以克服反向往水压, 造成底部一直漏水。

### 2.3 解决办法及效果

恢复冲砂闸接力器上腔管路, 适当打开节流阀, 来回启闭冲砂闸, 排出接力器上腔空气, 补充油压装置油槽透平油, 修正接力器反馈行程零点及 100%点参数, 调整启闭时间满足设计要求, 观察全关时闸门底部止水良好。

## 3 对水电站 1 尾水闸门漏水缺陷的处理

### 3.1 分解闸门结构及工作原理

尾水闸门为平板闸门, 上部及两侧为 P 型密封, 底部为平面密封, 平板闸门两边与门槽衔接处上下游共有 8 个滑块(滑块由螺栓固定, 凸出高度可调)。

P 型密封面向上游机组侧, 在水轮机过流部件检修时, 落下闸门, 闸门底部平面密封压实门槽底板, 排空尾水管内余水, 尾水闸门下游与上游形成较大水压差, 使上部及两侧 P 型密封贴紧门槽上游侧壁面, 实现尾水封堵。

### 3.2 现场查找原因

通过提尾水闸门检查发现, 闸门的上游侧 4 个滑块凸出高度还略高于 P 型密封。不难分析: 在尾水闸门落入门槽后, 由于 4 个滑块首先顶住上游侧门槽壁面, P 型密封与门槽壁面还存在间隙, 故不能有效止水。

### 3.3 解决办法及效果

将尾水闸门上游侧 4 个滑块下的垫块各取出一块(厚度约 10mm), 调整至尾水闸门下游侧 4 个滑块处进行添加, 测量 P 型密封压缩量满足要求。重新落下尾水闸门, 全开尾水管放空阀, 检查尾水闸门封堵尾水效果良好。

## 4 电站 1 两处漏水缺陷反映出的管理问题及防范措施

### 4.1 主要问题

电站建设期安装单位未对闸门密封进行调试, 监理单元工程质量验收不到位。电站检修人员分析问题、消除缺陷的能力不强。

### 4.2 防范措施

强化水电站建设施工金结设备单元工程质量验收管理。强化对运检人员在本电站设备结构及工作原理的培训, 提升设备故障缺陷的分析处置能力。

## 5 水电站 2 水轮机锥管漏水的处理

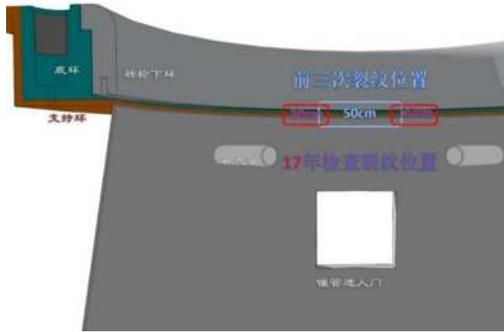
### 5.1 缺陷统计及处理情况

是锥管与支持环搭叠量不够且焊接量不饱满; 二是混凝土灌注存在空隙, 不能很好形成环状外部支撑。

(2) 诱因分析: 当水轮机在较差工况运行时, 水流出现的压力脉动会导致锥管产生振幅, 当振动力不能有效传递至锥管外裹机墩时, 就会在尾水管最薄弱的部位产生裂纹, 甚至是撕扯。

5.2.1.2 变因分析: 不同工况下, 锥管漏水量的区别, 有助于我们对裂纹的进一步判定, 同时为我们在未消除缺陷时机组维持运行

提供理论支持。通过检查,导致漏水的裂纹在水轮机支持环与锥管的焊缝中,是根横截面为向外下角倾斜的贯穿性裂纹。



1#机组锥管发生裂纹位置及范围示意图

(1) 裂纹的间隙在机组高负荷及满负荷时,因锥管压力增大而压缩紧贴,故无漏水现象。

(2) 在其它较差工况运行,由于压力脉动的现象,锥管按脉动频率,有时承担负压,有时不承压或正压,导致裂纹间隙时而增大,时而减少,从而导致至漏水。水量的大小跟负压撕扯的间隙值和水力脉动的频率有关,与尾水补气装置有一定关联。

5.2.1.3 对缺陷反复处理、反复漏水的原因分析,有利于我们找到根治缺陷的更好方案。

(1) 前几次原因分析不全面、不透彻。

(2) 检测手段不专业。肉眼观察对视角面贯穿性裂纹很直观,但检查不到隐性裂纹。前几次补焊后只能处理显性裂纹,未补焊到的非贯穿性裂纹就会在消缺后一段时间内出现贯穿,并逐步扩散,造成再次漏水。

(3) 焊接条件不理想。焊缝外紧贴混凝土,缝外无金属垫层打底,焊接过程极易产生夹渣及气孔现象。

5.2.1.4 焊接工艺方面,高强度焊条优于低强度焊条,但反复的焊接势必造成焊接部位金属材质的多次退火,降低了材质本身固有的强度。

5.2.1.5 长期漏水,会导致锥管外壁原有防腐层的损坏,造成锥管外壁锈蚀剥落,同时增加锥管外缘的间隙体量。细微的间隙不利于后期灌浆工作的实施,间隙内的杂质也不利于后期灌浆的凝固。

5.2.1.6 几次消缺注重于原貌恢复,并没技改措施,锥管的强度在一次次焊接中被削弱,堆焊后打磨不能使焊接部位流线型过度,更会加大局部汽蚀破坏。

5.2.2 对 2#水轮机锥管漏水现象的分析

2#水轮机锥管 2019 年出现漏水的主要原因:由于 1#机锥管漏水,2#机在枯水期水力工况不好的条件下承担了较长时间的发电任务,2017 年的补焊打磨不够平整,因汽蚀原因锥管壁多处蚀穿漏水,很少裂缝在锥管与支持环的搭叠处,通过检查发现锥管外壁混凝土浇注不密实,同样存在较大的空腔。

5.3 锥管漏水的危害及带缺陷运行的措施

5.3.1 各级危害分析

一般危害:锥管漏水,增加蝶阀层的潮湿度,对附近电气设备元件有一定的影响;较大危害:漏水量增加会增加渗漏排水泵启动的频次,导致排水泵故障;严重危害:漏水量增量太大会发生水淹蝶阀层事故,甚至危及厂房运行安全。

5.3.2 可能性分析及措施

5.3.2.1 产生一般危害的可能性分析:机组在较差工况运行,锥管发生漏水。预防措施:枯水期换机组运行,消除缺陷;平水期及丰水期,漏水机组尽量保持在 8MW 负荷以上运行。

5.3.2.2 产生较大危害的可能性分析:机组在较差工况连续运行,机组快速减负荷或甩负荷,锥管裂纹撕扯成裂缝,间隙永久性增大。预防措施:一是避免双机同时存在锥管漏水现象;二是禁止锥管漏水机组在较差工况连续运行;三是禁止在漏水机组上快速加减负荷;四是适当调低漏水机组尾水补气阀补气压力,降低较差及极端工况下尾水管内负压值;五是加强运维管理,降低机组事故甩负荷停机次数。

5.3.2.3 产生严重危害的可能性分析:漏水机组在极差工况(压

力脉动与其它设备、水工设施产生共振)、尾水较低单机满负荷运行时甩负荷造成锥管裂纹处撕裂。预防措施:严禁漏水机组在极端工况下运行;在漏水锥管的进人门上方两侧添加两根预紧双联螺杆组,人为补强缺陷处下方径向朝外的拉应力(主要针对 1#机组);平水期运行时,若电站 9MW 负荷,缺陷不能及时安排消除时,尽量停下漏水机组。

5.3.3 机组带锥管漏水缺陷运行阶段对运行管理人员的要求:一是持续观察各负荷段锥管漏水量的大小差异;二是对比同负荷段不同时期漏水量的增减;三是在甩负荷后必须要求运行人员专项巡视;四是要分析渗漏集水井排水泵的启动频次,计算出每分钟漏水量;五是确保其它关联设备如机组主阀、尾水闸门、渗漏排水泵等运转正常;六是组织制定专项应急预案或现场处置措施。

5.4 消缺方案及处置效果

在电站 2021 年度检修中对两台机组锥管漏水进行了处理,两台水轮机锥管后期运行情况良好,还未发生漏水情况。具体方案如下:

5.4.1 对裂纹处以下 15 至 20cm 区域进行周向全面切割去除,具体的切割量根据现场汽蚀部位及程度而定,对周围混凝土进行深度清理。

5.4.2 重新使用 15mm 厚不锈钢板材按原有锥管上部弧度卷板。

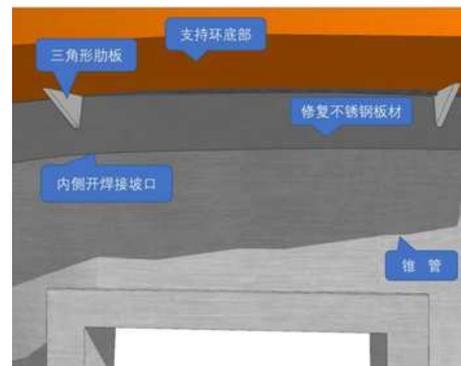
5.4.3 焊接时焊接径向向竖直三角形筋板 8 块,平面直角边与支持环底面焊接,立面直角边嵌入锥管换补不锈钢板材焊接,增强锥管换补板材周向支撑力。

5.4.4 焊缝外缘若有必要用同材质不锈钢钢材打底,改善焊接环境。

5.4.5 分段逐步对称焊接。控制焊接应力,板材接口错牙不超过 2mm,适当增加焊缝的饱满度。

5.4.6 焊接完成后进行精细化打磨工作,焊缝探伤要求达到超声波探伤 B 级水平。

5.4.7 进行重新灌浆处理。保证尾水锥管钢板和混凝土之间的间隙填充;同时保证灌浆材料的固化时间足以使其达到设计要求强度。



锥管修复方案示意图

6 对避免类似水轮机锥管漏水缺陷的思考

6.1 在设计、生产方面提前预防,改进浇注式锥管的连接处的材质、厚度、连接方式及外围浇注加固方式(笔者就曾在电站安装锥管过程中有意识地在锥管外部上中下径分布焊接 30cm 长  $\varnothing 20$  的螺纹钢若干)。

6.2 针对支持环与锥管上端口间隙较大的情况,在锥管浇注前在焊缝外增设一圈打底钢条,浇注前用粘胶带进行外围封堵,待混凝土浇注养护期满后开展焊接工作。

6.3 土建单位在锥管上部及座环的浇注过程中,尤其要控制浇注速度和后期灌浆质量,对灌浆后检查有空腔的位置通过钻孔再次灌浆补实。

参考文献:

[1]徐宏宇、杨建设.潘家口水电厂 1# 机尾水管破坏原因分析与处理.华北水利水电学院学报.1997 年 12 月第 18 卷第 4 期

[2]尹志富.二滩水电站水轮机尾水锥管裂纹预防处理.环球市场信息导报.2013 年第 35 期