

# 某电厂降低水厂中转水池水量溢弃率实践研究

刘 强, 郝佳林, 卜灵玉, 徐宜波, 李晓锋

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

**摘 要:** 水厂系统是水电站重要设备之一, 为站内诸多设备提供冷却、润滑水源以及保证日常生活用水所需。中转水池作为水厂系统的一部分, 两台泵正常运行时, 其溢流管有大量水流溢出, 存在浪费电量、加药量、用水量以及设备运行老化折损等问题。笔者对中转水池存在的问题进行了论述, 对当前水量溢弃率高的原因进行了详细分析, 提出了净水器液控排泥阀改造、机组主轴密封供水方式调整以及原水池水泵运行方式优化等具体解决方法, 该办法在后续水厂试验及运行中得到了实践验证, 有效降低水厂中转水池水量溢弃率。

**关键词:** 中转水池; 净水器液控排泥阀; 主轴密封

中图分类号: TM312

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)增 2-0094-05

## Practical Study on Reducing the Overflow Rate of Water in the Water Plant Transit Pool in a Power Plant

LIU Qiang, HAO Jialin, BU Lingyu, XU Yibo, LI Xiaofeng

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610051)

**Abstract:** The water plant system is one of the important equipment of the hydropower station, which provides cooling and lubricating water for many equipment in the station, as well as ensuring the daily water demand. As a part of the water plant system, the transit pool has a large amount of water flowing out of the overflow pipe with the normal operation of two pumps, and there are problems such as waste of electricity, dosage, water consumption and aging and damage of equipment operation. The author discusses the problems existing in the transit pool, analyzes in detail the cause of the high current water overflow abandon rate, and puts forward specific solutions such as the transformation of the hydraulic control sludge discharge valve of the water purifier, the adjustment of the the unit's main shaft seal water supply method and the optimization of the original pool water pump operation. This has been verified in practice in the subsequent water plant tests and operations, and has effectively reduced water overflow rate in the transit pool of the water plant.

**Key words:** Transit pool; Hydraulic control sludge discharge valve of the water purifier; Spindle seal

## 0 前 言

某电厂位于四川省凉山彝族自治州盐源县和木里县境内, 是雅砻江干流下游河段(卡拉至江口河段)的控制性水库梯级电站, 电站安装有 6 台额定容量为 600 MW 的水轮发电机组, 总装机 360 万 kW, 是雅砻江干流上的重要龙头电站<sup>[1]</sup>。电站水厂系统由原水池、组合式净水设备、中转水池、技术水池、高位消防水池、低位消防水池、水泵以及相应的阀门和管路等组成, 为站内机组主轴密封、大轴补气及厂房深井泵等设备提供冷却、润滑水源, 以及保证日常生活用水所需。

## 1 存在问题

电厂原水池共设有 4 台泵, 正常工况下两台泵同时保持运行, 将原水输送至一体化净水器, 经过一体化净水器处理后进入水厂中转水池, 中转水池水再加压输送至技术水池与厂外高位消防水池, 水厂系统示意图见图 1。

水厂原水池两台泵自动运行时, 发现中转水池存在大量溢流; 原水池单台泵运行时, 启动高位消防水池 1 台泵、低位消防水池 1 台泵, 增大中转水池用水量, 中转水池仍然存在较大溢流, 该情况表明中转水池的溢弃水量存在极大的压缩空间。

电站低位消防水池补水速率为 40 m<sup>3</sup>/h, 高位消防水池补水速率为 10 m<sup>3</sup>/h, 原水池单台泵供水时供水流量平均为 160 m<sup>3</sup>/h。根据理论分

收稿日期: 2023-01-09

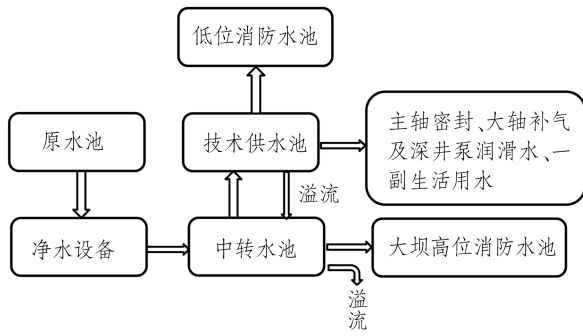


图1 水厂系统示意图

析和现场评估,中转水池水量溢弃率为70%,存在浪费电量、加药量、用水量以及设备运行老化折损等问题。

## 2 中转水池水量溢弃率高原因分析

### 2.1 原水池供水量大

水厂供水负荷中,只有机组主轴密封及大轴补气润滑油要求不间断供水,其余均为临时性按需供水。各机组在开机或停机状态下,开机时主轴密封、大轴补气润滑油流量和停机时主轴密封、大轴补气润滑油流量见表1、2。

表1 开机时主轴密封+大轴补气润滑油流量

							/(m <sup>3</sup> /h)
机组	1F	2F	3F	4F	5F	6F	总流量
主轴密封水流量	20.9	19.9	23.2	22.4	21.0	22.7	130.1
大轴补气润滑油流量	1.2	0.8	1.4	1.2	1.6	1.5	7.7
主轴密封+大轴补气	22.1	20.7	24.6	23.6	22.6	24.2	137.8

表2 停机时主轴密封+大轴补气润滑油流量

							/(m <sup>3</sup> /h)
机组	1F	2F	3F	4F	5F	6F	总流量
主轴密封水流量	17.1	16.3	18.9	17.9	16.5	17.3	104
大轴补气润滑油流量	1.3	0.8	1.4	1.2	1.6	1.5	7.8
主轴密封+大轴补气	18.4	17.1	20.3	19.1	18.1	18.8	111.8

在开机状态下,所有机组主轴密封水及大轴补气润滑油总流量为137.8 m<sup>3</sup>/h;在停机状态下,所有机组主轴密封水及大轴补气润滑油总流量为111.8 m<sup>3</sup>/h。而原水池两台提升泵供水流量约为300 m<sup>3</sup>/h,在低位消防水泵、高位消防水泵未启动的情况下,原水池供水量远大于负荷用

水量,故导致中转水池水量溢弃率增大。综上,原水池供水量大为主要原因。

### 2.2 净水设备反冲洗

水厂设有3套LSTA-120型净水设备,水厂净水器预处理阶段的絮凝区、配水区和沉淀区的底部排泥均采用液控排泥阀,液控排泥阀的开关均由直动式二位四通电磁阀由通、断电来实现控制<sup>[2]</sup>。从2018~2020年,水厂净水器多次出现液控排泥阀开启后不能正常关闭,导致净水器大量跑水,严重影响中转水池安全运行,电磁阀卡阻致中转水池水位异常情况统计见表3。

因水厂净水设备运行状况不稳定,需要增大原水池供水量,以提供额外的供水裕度,间接导致中转水池水量溢弃率增大。综上,净水设备反冲洗为主要原因。

### 2.3 低位消防水池用水

低位消防水池供应地下厂房的消防用水,启泵频次约为14 d/次,补水速率40 m<sup>3</sup>/h,每次补水量约60 m<sup>3</sup>。由于地下厂房的消防用水较小、启停周期较长且不具备调整改善空间。综上,低位消防水池用水为非主要原因。

### 2.4 技术水池用水

水厂技术水池供应至机组主轴密封、大轴补气及深井泵润滑油、一副生活用水<sup>[3]</sup>。其中第一副厂房卫生间生活给水流量为5.1 m<sup>3</sup>/h;机组检修排水泵、厂房渗漏排水泵仅在启泵前120 s需要润滑油,启泵后润滑油即切断,且润滑油管径较小,水量可忽略。

水轮机主轴密封供水设备主要由供水管路、过滤器、压力变送器、流量开关及其附件组成<sup>[4]</sup>。主轴密封由机组技术供水和水厂同时供水,且占水厂技术水池用水负荷的绝大部分,在原水池供水量不变的情况下,技术水池负荷用水变小,从而使中转水池水量溢弃率增大。综上,技术水池用水为主要原因。

### 2.5 大坝高位消防水池用水

高位消防水池为生产、生活、消防综合用水池,供应至大坝坝顶区域及右岸平台建筑的室内外消防及生产生活用水。其中生产用水负荷为表孔密封淋水系统和底孔水封用水,生活用水负荷为大坝值守楼和武警执勤排生活用水,该部分用水量小,存在不确定性,且不具备调整改善空

间。综上,大坝高位消防水池用水为非主要原因。

表 3 电磁阀卡阻致中转水池水位异常情况统计表

发现时间	缺陷信息	缺陷原因
2018-07-15	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”,检查发现水厂 A 组净水器沉淀区排污阀 2 W0211 在大量跑水	3 号排污电磁阀阀芯被泥沙堵塞且复位弹簧损坏,导致排污电磁阀不能正常动作
2018-11-12	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”,检查发现水厂 A 组净水器絮凝反应排污阀 1 W0207 大量跑水	沉淀区 1 号、2 号、3 号、4 号排污电磁阀关闭不严造成漏水
2018-11-13	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”,检查发现水厂 C 组净水器沉淀区排污阀 2 W0243 大量跑水	沉淀区 2 号排污电磁阀内密封圈有变形且有污泥致使阀芯动作不灵活
2019-07-06	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”,检查发现水厂 A 组净水器沉淀区排污阀 1 W0210 大量跑水	沉淀区 1 号排泥电磁阀阀芯被泥沙堵塞
2020-03-16	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”,检查发现水厂 A 组净水器沉淀区排污阀 1 W0210 大量跑水	沉淀区 1 号排泥电磁阀阀芯被泥沙堵塞,导致排泥电磁阀卡阻
2020-04-22	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”,检查发现水厂 A 组净水器沉淀区排污阀 2 W0211 大量跑水	沉淀区排污电磁阀 2 阀芯卡涩,阀芯动作后未复位
2020-05-22	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”信号,检查发现水厂 B 组净水器沉淀区排污阀 1 W0226 大量跑水	配水区排泥电磁阀阀芯有少量泥垢,阀芯动作后卡涩不能复位
2020-06-27	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”信号,检查发现水厂 B 组净水器沉淀区排污阀 2 W0227 大量跑水	沉淀区 2 号排泥电磁阀卡阻
2020-08-04	CCS 上报“二副中转水池水位异常报警”信号,检查发现水厂 A 组净水器絮凝反应区排污阀 1 W0207 跑水	絮凝区 1 号排污电磁阀阀芯卡涩,阀芯动作后未复位

### 3 降低中转水池水量溢弃率解决办法

针对影响中转水池水量溢弃率有 3 个主要原因,进行对策制定及实施:

#### 3.1 原水池水泵运行方式优化

将原水池 2 台泵持续运行向中转水池供水修改为 1 台泵持续运行,第二台泵根据中转水池水位启动,启动值可设定为 2.6 m(高于中转水池水位异常报警值 2.5 m),启动第三、第四台泵的定值维持现状不变(分别为 2.0 m、0.4 m),原水池启泵水位逻辑关系见图 2。

同时,在启动原水池第二台潜水泵的逻辑中加入“低位消防水池水泵运行”判据,即在低位消防水池启泵补水期间,原水池也启动第二台泵保持运行,以向中转水池提供额外水量,从而减少原水池备用泵的频繁启停,同时也增加了供水安全性。

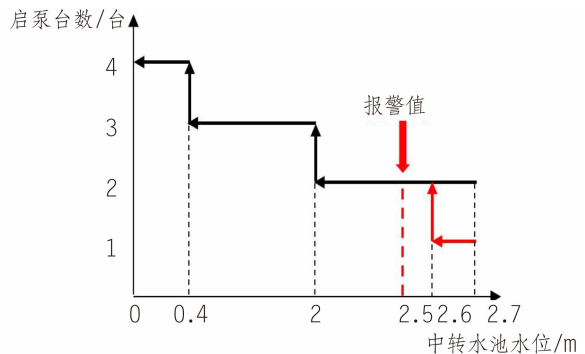


图 2 原水池启泵水位逻辑关系

#### 3.2 净水器液控排泥阀改造

经分析,水厂净水器液控排泥阀开启后不能正常关闭的主要原因为排污电磁阀阀芯卡阻,而电磁阀阀芯卡阻主要原因有以下两点:

(1) 排污阀每次动作消耗水量很少,水在供水总管长期处于静止状态,导致水中悬浮污泥缓慢沉淀积存,每次阀芯动作污泥就随水流进入阀芯造成阀芯卡阻。

(2) 自 2012 年水厂投产以来,排污电磁阀阀芯 O 型圈处于长时间浸泡的状态,O 型圈老化膨胀致使阀芯动作时摩擦力增大而卡阻。

为解决净水器液控排泥阀排污电磁阀阀芯卡阻问题,在水厂 C 组净水器排污电磁阀供水管路距离末端 500 mm 处,设置一个 DN50 手动球阀和一个 DN50 电动球阀,用于定期对净水器液控排泥电磁阀控制供水总管排污,并将其污水引至净水器侧排水沟,水厂净水器控制供水管改造见图 3。同时将净水器液控排泥阀排污电磁阀维护保养纳入日常的定期工作,定期对其进行维保,减

少排污电磁阀阀芯被铁锈卡涩的频次<sup>[5]</sup>。

方案实施后,水厂净水器液控排泥阀开启后不能正常关闭的问题大幅度减少,改造后电磁阀卡阻致中转水池水位异常情况统计见表4,净水器控制供水管改造前后缺陷数量对比见图4,净水设备运行状况良好,水厂供水稳定性提高。

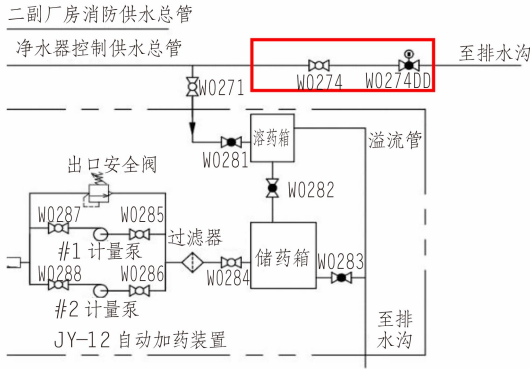


图3 水厂净水器控制供水管改造图

表4 改造后电磁阀卡阻致中转水池水位异常情况统计表

发现时间	缺陷信息	缺陷原因
2020-09-25	CCS上报“二副中转水池水位异常报警”信号,检查发现水厂A组净水器絮凝反应区排污阀W0208大量跑水	絮凝反应区3号排泥电磁阀内有少量淤泥,导致阀芯卡涩,阀芯动作后未复位

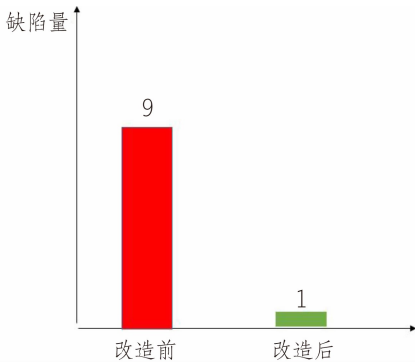


图4 净水器控制供水管改造前后缺陷数量对比

### 3.3 机组主轴密封供水方式调整

调整机组主轴密封及大轴补气润滑油主备用供水逻辑,使水厂清洁水作为主轴密封的主用水源,技术供水作为备用水源。正常情况下只由水厂清洁水供水,截断技术供水水源;在水厂清洁水一路水源供水出现流量不足时,自动打开技术供水水源电动阀进行补水;在水厂清洁水水源恢复

正常后(人工判断),由人工截断技术供水水源,恢复正常供水。机组主轴密封及大轴补气润滑油改造后供水见图5。

### 4 试验验证

水厂系统改造后开展供水试验,原水池单台泵手动供水试验数据见表5,在原水池1台泵供水情况下,溢弃流量约为45 m<sup>3</sup>/h,可计算出溢弃率为28.13%,而此前中转水池溢弃率大于70%,验证了调整后的运行效果。

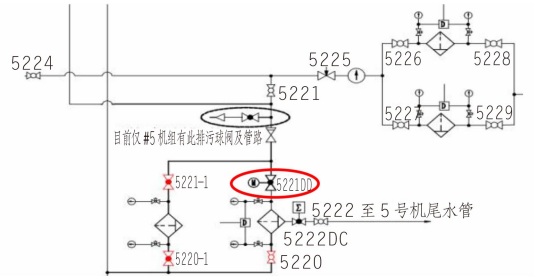


图5 机组主轴密封及大轴补气润滑油改造后供水图

表5 原水池单台泵手动供水试验数据

步序	运行方式	状态持续时间	中转水池稳定水位/m	中转水池溢流
1	原水池转单台泵供水	1 h 15 min	2.685~2.722	有
2	启动高位消防泵	30 min	2.669~2.702	有
3	启动低位消防泵	40 min	2.569	无
4	停止高位消防泵	45 min	2.663~2.684	有
5	停止低位消防泵	5 min	2.692~2.702	有
6	恢复两台泵供水	—	2.757~2.823	有

### 5 安全性论证

#### 5.1 水厂正常用水情况下的安全性论证

根据试验数据可知,在原水池单台泵以160 m<sup>3</sup>/h供水时,中转水池实际上仍有约45 m<sup>3</sup>/h的溢弃流量,该部分溢弃流量能够满足正常情况下临时性用水负荷的用水需求。

临时性的供水负荷出现短时较大流量用水,除了利用溢弃流量,也能够利用水池的吞吐作用进行综合缓冲。在试验中,保持高位消防、低位消防各1台泵运行40 min内(增加用水负荷流量50 m<sup>3</sup>/h),中转水池水位缓慢下降到最低水位2.569 m,距离溢流水位2.700 m仅下降了不到0.15 m。因此临时负荷的波动用水能够利用单台泵供水后的“冗余水量+水池缓冲”得到缓解。

当多个临时性负荷同时增加用水流量,或净水器冲洗排污导致大流量用水,原水池单台泵供



水流量不能满足时,根据水位控制逻辑,启动备用泵补水。

## 5.2 水厂异常情况下的安全性论证

净水器反冲洗跑水隐患得到解决后,经过一年半的时间证明,水厂异常跑水基本得到根治。万一出现异常跑水,原水池启泵水位逻辑关系对比见图 6。

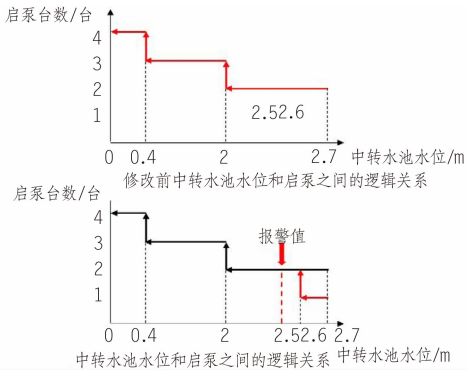


图 6 原水池启泵水位逻辑关系对比

改造前原水池两台泵持续运行,如果修改原水池启停泵逻辑为保持一台泵持续运行,在遇到异常情况导致中转水池水位下降到 2.6 m 时,再启动第二台泵,在改造之后,水厂假如出现跑水,在达到报警水位 2.5 m 之前,原水池已经启动了第二台泵,恢复到此前两台泵供水的运行模式。因此,当水厂出现异常情况导致中转水池水位降低至 2.5 m 报警时,从供水量分析,供水的安全性并未下降;从运行人员紧急处置的时间方面分析,在报警信号出现后,处置时间上也被压缩。

## 6 经济效益

### 6.1 节约电量

根据功率测算,水厂原水池提升泵运行方式优化后,每年理论节约电量  $W = \sqrt{3}UI \cos \phi \times t \times (2-c) = \sqrt{3} \times 380 \times 27 \times 0.85 \times 24 \times 365 \times (2-1 - \frac{1.5}{14 \times 24}) = 131\,726.2 \text{ kW} \cdot \text{h}$  (常数  $c$  表示原水池启泵逻辑优化后,全年等效启泵台,  $c = 1 + (\frac{1.5}{14 \times 24})$ )。该部分电量上网后,增加发电收入  $131\,726.2 \times 0.28 = 36\,883.3$  元/年。

### 6.2 节约加药量及人工成本

原水池向中转水池日常供水量下降后,能够同比减少加药量所节约的材料成本和人工成本。

每年节约材料成本 = 每年节约药量  $\times$  单价 =  $(2-1 - \frac{1.5}{14 \times 24}) / 2 \times (75 \times 3) = 112.0$  元/年。单次加药人工成本 60 元。每年节约人工成本 = 单次加药人工成本  $\times$  每年节约的加药次数 =  $(2-1 - \frac{1.5}{14 \times 24}) / 2 \times 60 \times 365 / 2 = 5\,045.4$  元。

### 6.3 经济效益

综上,每年经济效益为:节约电量 + 节约加药量 + 人工成本 =  $36\,883.3 + 112.0 + 5\,045.4 = 42\,040.7$  元。

## 7 结语

该项目从水厂净水设备反冲洗、技术水池用水以及原水池供水三个方面切入,通过水厂净水器液控排泥电磁阀控制供水总管机械及控制部分技术改造、机组主轴密封及大轴补气润滑水主备用供水逻辑调整以及原水池启泵水位逻辑优化三条措施,彻底解决了电厂水厂中转水池水量溢弃量大的问题,达到了降低电厂水厂中转水池水量溢弃率的目的。同时,提高了电站水厂设备的运行可靠性,对设置类似设备或存在类似问题的水电站具有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 华宏举,刘娟莉.锦屏一级水电站齿盘测速系统改造案例分析[J].水电站机电技术,2017,40(7):68-70.
- [2] 姚汉红.电液伺服控制系统的故障保护模块[J].液压与气动,2002(1):33-35.
- [3] 杨自聪,梁成刚,刘江红,等.锦屏一级水电站大轴中心补气系统的改造优化[J].四川水力发电,2020,39(2):111-114.
- [4] 范道芝.水轮机主轴密封改进[J].云南电力技术,2014,42(S1):53-55.
- [5] 耿晓育.大型水轮发电机组制动气系统典型故障分析与防范[J].云南水力发电,2023,39(6):18-20.

### 作者简介:

- 刘 强(1991-),男,山西朔州人,中级工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
- 郝佳林(1996-),男,陕西咸阳人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
- 卜灵玉(1993-),男,河南驻马店人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
- 徐宜波(1996-),男,江苏连云港人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;
- 李晓锋(1998-),男,陕西咸阳人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作。

(责任编辑:吴永红)