

# 小浪底调水调沙期间机组运用方式探究

桂宁<sup>1</sup> 赵瑞<sup>1</sup> 李莉<sup>2</sup> 郭万欣<sup>1</sup>

1. 黄河水利水电开发集团有限公司, 中国·河南 济源 459017

2. 河南省第六地质大队, 中国·河南 郑州 451460

**摘要:** 小浪底水利枢纽作为黄河治理的关键工程, 每年实施调水调沙作业以维持河道健康。该过程导致机组长期高负荷运行、主轴密封磨损加剧及尾水流道淤积等多重挑战。本文系统分析了上述问题的成因, 并提出针对性解决方案: 包括切换低温清水冷却、改造主轴密封结构以及优化停机避沙与开机冲淤流程。实践表明, 这些措施显著提升了机组在高含沙复杂工况下的安全运行水平, 对黄河流域水电站具有重要借鉴价值。

**关键词:** 高含沙水流; 主轴密封; 停机避沙; 水轮发电机组; 黄河治理

## Research on Unit Operation Modes During the Water and Sediment Regulation Period of Xiaolangdi Project

Gui Ning<sup>1</sup>, Zhao Rui<sup>1</sup>, Li Li<sup>2</sup>, Guo Wanxin<sup>1</sup>

1. Yellow River Water Resources and Hydropower Development Group Co., Ltd., China Henan Jiyuan 459017

2. The Sixth Geological Brigade of Henan Province, China Henan Zhengzhou 451460

**Abstract:** As a pivotal project for the harnessing of the Yellow River, the Xiaolangdi Water Control Hub carries out annual water-sediment regulation operations to maintain the health of the river channel. This process, however, brings about multiple challenges including prolonged high-load operation of generating units, accelerated wear of main shaft seals, and sediment deposition in tailrace flow passages. This paper systematically analyzes the causes of the aforementioned problems and puts forward targeted solutions, which include switching to low-temperature clean water cooling, retrofitting the structure of main shaft seals, and optimizing the procedures for shutdown sediment avoidance and startup sediment flushing. Practice has shown that these measures have significantly enhanced the safe operation level of generating units under the complex high-sediment working conditions, providing valuable reference for hydropower stations in the Yellow River Basin.

**Keywords:** High sediment-laden flow; Main shaft seal; Shutdown for sediment avoidance; Hydroelectric generating unit; Yellow river harnessing

## 0 引言

小浪底水利枢纽工程位于河南省洛阳市孟津县与济源市交界处, 上游是三门峡水利枢纽, 下游是西霞院水利枢纽, 控制着 69.4 万平方公里的黄河流域面积。小浪底调水调沙核心是通过人为创造洪峰, 来冲刷下游河道淤泥, 达到清理河道的目的, 并将冲刷的泥沙携带入海, 减少河道淤积, 增大过流能力, 从而逐步维系黄河的健康生命状态。

## 1 机组运行问题

近年来, 小浪底水利枢纽汛期都会开展调水调沙作业, 每次作业时长约 20 天, 这一举措已成为黄河水沙调控体系的核心实践。查阅最近 5 年调水调沙资料, 每年 6 月中旬开始, 小浪底下泄流量逐步加大, 一般从 1000m<sup>3</sup>/s 加大到 1800 再逐步增加到 4000 左右。目的使小浪底库水

位降至汛限水位 235 以下, 而后根据黄河水沙情况逐步增加或降低小浪底下泄流量, 使小浪底库水位在 7 月 15 日前后降低至调水调沙最低水位。在这期间至 8 月底小浪底库水位开始回蓄。小浪底调水调沙期间, 下泄流量和水位变化较大, 且黄河泥沙较多, 小浪底水电厂机组运行环境复杂多变, 对机组运用情况带来不小的挑战。

### 1.1 长时间高出力运行

从 6 月中旬小浪底大流量下泄到 7 月中旬小浪底库水位降至最低运用水位, 期间, 小浪底 6 台水轮发电机组均在持续 30 万出力 (最大出力) 运行, 长时间高出力运行对机组定子线圈绝缘性能是一个巨大的考验。小浪底 3·1 事故之后, 机组健康水平下降, 虽经机组大小修, 但定子绝缘性能较之前仍有下降, 为避免长时间高出力运行导致

定子线圈温度高，有可能导致定子线圈绝缘胶老化开裂，造成机组匝间短路，定子一点甚至多点接地运行。在此期间，经过多年摸索探究，总结两条经验：第一倒换机组技术供水，机组技术供水有两路水源、一路是蜗壳供水、另一路是清水（地下水）供水，其中清水水温较蜗壳水温低约 10 度，技术供水倒换为清水供水后可适当降低定子线圈温度；第二监视定子线圈温度，当定子线圈温度超过 105 度时适当降低机组出力，减少定子线圈发热量来达到降温的目的。

### 1.2 主轴密封漏水变大

机组经历过长时间高出力运行后，随着三门峡下泄流量的加大和小浪底库水位的降低，小浪底开始排沙，在此期间，小浪底电站机组运行环境由清水转变为浑水，且过机含沙量逐步增大，导致主轴密封浮动环与支持环之间进沙，磨损密封使漏水量增大，严重可导致水淹水导轴承，造成机组非计划停运。

#### 1.2.1 主轴密封改造

为解决含沙水流对主轴密封造成的影响，电站运行、检修人员决定对主轴密封进行改造：增加支持环和浮动环刚性<sup>[1]</sup>，由于主轴密封支持环和浮动环刚度不够，导致在高含沙水流下磨损加剧，本次改造更换强度更大的支持环，以“打铁还需自身硬”的理念，从自身方面减少泥沙对主轴密封的磨损效果（见图 1）。

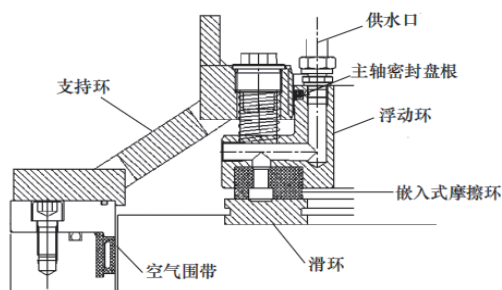


图1 改造后的主轴密封结构图

#### 1.2.2 主轴密封水倒换为清水

机组运行时，主轴密封水通常有蜗壳供水提供，由 30 阀取水后经过滤再经主轴密封泵打压后进入到支持环和浮动环之间，起到支持环和浮动环的润滑作用，以及形成水封阻止转轮内水通过主轴密封进入到顶盖内<sup>[9]</sup>。但由于调水调沙期间，含沙水流进入到支持环和浮动环之间，加剧支持环和抗磨板的磨蚀。全开主轴密封清水取水 31 阀，关闭主轴密封蜗壳取水 30 阀，主轴密封冷却水由库区供水改为地下水供水，在调水调沙期间仍十分清澈，可避免高含

沙水流通过技术供水磨损主轴密封（见图 2）。

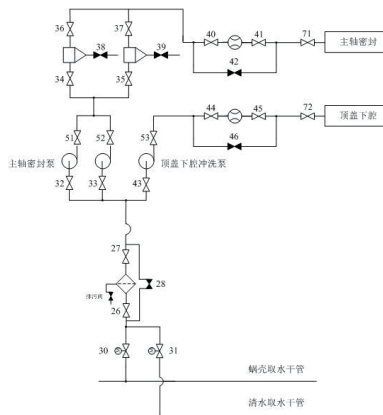


图2 主轴密封技术供水图

正常情况下，机组开机过程中，根据开机程序自动启动顶盖下腔冲洗泵，将主轴密封与大轴之间的杂质用约 1.0MPa 水压冲走，当机组进入空转稳态后，根据开机程序，自动退出顶盖下腔冲洗泵运行。当机组过机含沙量持续存在时，将顶盖下腔冲洗水切“手动”方式运行，减少主轴密封与大轴间水的含沙量，降低主轴密封磨损。

#### 1.2.3 增加主轴密封泵出口压力

小浪底电站机组运行时，主轴密封泵启动，主轴密封水由各支管经浮环进入滑环与抗磨环之间的空腔，浮环在水压作用下上下浮动，在滑环与抗磨板之间形成一层压力水膜，水膜使压力水流不能进入机组顶盖内，通过浮环与抗磨环之间的空腔。新主轴密封泵为变频泵，可通过调整主轴密封泵频率来增大主轴密封水出口压力，同时增加主轴密封泵流量，降低主轴密封内含沙水流的含沙量，减少含沙水流对主轴密封泵的磨损。通过这种方式，连续运行三年，在高含沙水流情况下，机组连续三年运行主轴密封均无磨损（见图 3）。

检修交待：小浪底工程5号机主轴密封浮动环高度测量工作已完成。主轴密封各部检查无异常，浮动环测量数据由+Y方向顺时针依次：178.50mm、178.40mm、178.50mm、178.50mm、178.70mm、178.50mm、178.50mm、178.40mm，数据合格。工作班成员已全部撤离，现场已清理完毕，全部工作已结束。

图3 停机避沙后主轴密封检查情况

### 1.3 停机避沙和开机冲淤

当三门峡持续大流量下泄，且伴随泥沙输出时，小浪底水库内会出现异重流，此时小浪底下泄水流就会变成高含沙水流，为避免高含沙水流淤积机组流道，小浪底电站制定停机避沙方案：根据水库上游水情、沙情及泥沙含量监测情况，当过机泥沙含量大于制定的停机标准后，按照要求停机排沙。实测泥沙含量低于停机排沙标准后，对停机排沙机组实施开机冲淤，恢复并网运行。

机组停机避沙后，排沙洞泥沙由于水流作用，逐渐沉

积到机组尾水管道内,造成尾水管淤堵,由于进口闸门关闭不严,小股含沙水流经导叶逐渐流至尾水管,逐渐抬升尾水管内压力,造成机组顶部冒水,机组上导和发电机上机架进水。若大轴顶部冒水严重,机组上导轴承油遭到污染,需更换上导轴承透平油。

为解决大轴顶部冒水,经过理论分析,实践应用,主要有以下几种解决方案:

(1) 机组停机避沙后,当机组进口门和尾水门未下落时,监屏人员通过监视尾水进入门压力变化,当尾水进入门压力持续上升并超过 0.18MPa (正常尾水进入门压力为 0.12MPa) 后,此时说明机组尾水管流道内有大量泥沙淤积,需机组空转运行,利用大流量将流道内泥沙冲至下游河道。

(2) 机组停机避沙后,当机组进口门已下落,尾水门未下落时,通过倒换技术供水方式,小开度开启技术供水 15 阀,使小股清水流向尾水管,利用清水稀释尾水管内泥沙,遏制泥沙淤积到尾水管内,具体流向见图 5。通过此方法监视尾水进入门压力未发现明显上涨。对于尾水管进入门压力长期稳定的机组,通过定时空转冲淤,清理尾水管内泥沙(见图 4)。

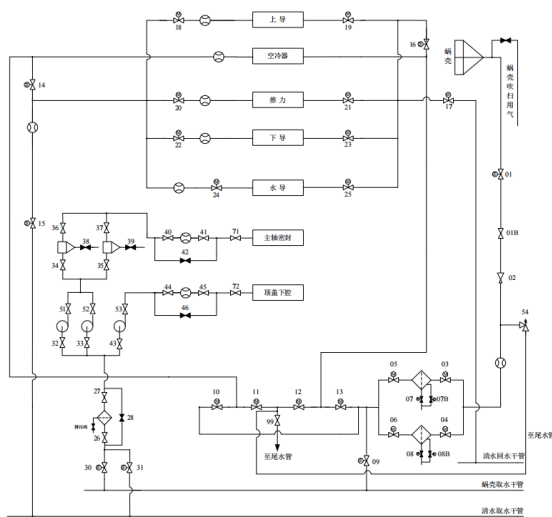


图4 清水冲淤水流示意图

(3) 当机组过机含沙量较高时,利用上述两种策略,停机避沙的机组平均每 40 分钟就要空转冲淤一次<sup>[2]</sup>,频繁的开机空转冲淤对机组各部件造成疲劳破坏,大大影响机组各部件寿命,为此,检修部门在大轴补气转子中心体处

加装封堵装置,物理隔绝大轴补气管内水上升至发电机顶部发生溢水现象。当机组需要开机时再通知检修部门将该封堵装置取下。由于该封堵装置只能手动装上或取下,大大影响机组开停。

当泥沙含量恢复至较低水平,机组可以并网,自动开机时导叶开启速度过快,为避免尾水管内泥沙淤积时掀翻尾水门处盖板或造成大轴顶部冒水,首次并网前采用非常规方式。具体如下:当机组具备开机条件后,进入调速器手动模式,先小开度开启导叶至 3% 开度,持续过流半个小时,查看尾水进入门压力变化情况,以及前往水车室查看流道过流情况,确认流道过流顺畅后,逐步开启导叶至 15% 开度,机组开始转动后,为快速躲避振动区,立即增加导叶开度至当前水头下空载开度。当机组转速上升至 85% 额定转速后,退出调速器手动模式。机组进入空转稳态后,再持续过流冲淤半个小时后,申请省电力公司并网运行,机组并网后带小出力再持续运行一段时间后再参与电网调峰调频工作。

## 2 结语

本文通过分析调水调沙期间机组运行出现的情况,针对机组长时间高出力运行、主轴密封漏水量大和停机避沙策略进行深入分析并提出行之有效的解决办法,对黄河流域水电站的安全运行有相对的借鉴意义。目前小浪底调水调沙成为常态,黄河泥沙情况多变,每年都可能会出现新的问题,针对新的问题,还需优化完善现有处置方法,探索新的处置措施,为黄河安澜保驾护航。

## 参考文献:

- [1] 刘钢钢,王文豪,王永发等.小浪底水电站机组浑水运行情况研究与实践[J].水利技术监督.2025,(10),246-248+271+340.
- [2] 李鹏,黄维华,韩宏斌等.小浪底水电厂发电机顶部出水原因及应对措施[J].人民黄河.2021,43(S1)241-242.
- [3] 李鹏,韩宏斌,丁焱等.泄洪排沙高含沙水流对小浪底机组的影响分析及应对措施[J].设备管理与改造.2020(30)75-76.

作者简介:桂宁(1989-),男,汉族,河南省驻马店市汝南县人,本科,中级工程师,研究方向:主要从事水电厂水力发电机组运行管理工作。