

# 小浪底机组技术供水稳定性分析

刘益伟 杨可可

黄河水利水电开发集团有限公司, 中国·河南 济源 459000

**摘要:** 水轮发电机组技术供水系统的稳定运行对于机组安全运行非常重要, 技术供水各部流量、压力必须满足要求, 才能保证发电机组各部运行温度在合理范围内。所以在日常运行过程中, 必须严密监视机组各部流量、压力, 发现异常及时处置。

**关键词:** 水轮发电机组; 流量; 压力

## Stability Analysis of Technical Water Supply for Xiaolangdi Turbine Generator Units

Liu Yiwei, Yang Keke

Yellow River Water Conservancy and Hydropower Development Group Co., Ltd, China Henan Jiyuan 459000

**Abstract:** The stable operation of the technical water supply system for the hydroelectric generating unit is of great significance to the safe operation of the unit. The flow and pressure of each part of the technical water supply must meet the requirements to ensure that the operating temperature of each part of the generating unit remains within a reasonable range. Therefore, during the daily operation process, it is necessary to closely monitor the flow and pressure of each part of the unit and take timely measures when any abnormality is detected.

**Keywords:** Hydro turbine generator set; Flow rate; Pressure

## 0 引言

小浪底机组技术供水蜗壳供水与清水供水共存, 汛期采用清水供水, 非汛期采用蜗壳供水。在一段时间内, 当机组开停机时, 机组蜗壳干管内流量、压力随之变化, 清水系统与蜗壳水系统通过阀门隔断。当压力变化后造成清水干管异常反水, 为此小浪底运行值班人员展开研究与分析。

## 1 工程概述

小浪底工程位于三门峡水利枢纽下游 130 公里、河南省洛阳市以北 40 公里的黄河干流上, 控制流域面积 69.4 万平方公里, 占黄河流域面积的 92.3%。水库总库容 126.5 亿立方米, 调水调沙库容 10.5 亿立方米, 死库容 75.5 亿立方米, 有效库容 51.0 亿立方米。总装机容量为 180 万千瓦 (6 台 30 万千瓦混流式发电机) 年平均发电量约为 51 亿千瓦时。

小浪底机组技术供水蜗壳供水与清水供水共存, 且互相补充。由机组压力钢管取水经减压后, 自流供机组及主

变技术用水部位组成蜗壳供水系统<sup>[1]</sup>。由地下水源井水泵扬水经管道至电站厂房外清水池, 再自流给机组主变等用水部位, 其排水除部分泄弃外, 均排至厂内回水池。清水供水系统由水源井、厂外清水池、厂内回水池、场内外网管组成。水源井分设于葱沟、蓼坞两处, 每处设水源井两口, 供水泵三台, 厂外清水池布置在 EL180m 高程, 容积 10000 立方米。厂内回水池布置于安装间下水轮机层, 回水池有效容积 2000 立方米, 池内设六台回水泵。目前该系统已弃用。

## 2 异常概况

2024 年 9 月, 小浪底机组技术供水厂外清水池多次出现清水池水位异常升高的情况, 如表 1 统计所示, 不确定的异常来水危及清水系统的正常运行, 针对以上异常情况, 为保障机组技术供水清水系统的设备安全, 安全生产工作正常进行。运行值班人员集思广益, 积极采取应对措施, 并对原因进行分析, 找出主要问题, 研究应对措施, 并进行实施和验证。

表1 小浪底清水池异常反水统计

发生时间	最低水位 (米)	最高水位 (米)	持续时间 (小时)
2024年9月15日8时15分	2.91	4.73	4.6
2024年9月20日10时30分	2.85	5	4.9
2024年9月22日8时40分	3.53	4.21	3.5
2024年9月30日13时15分	3.21	4.45	3.7

### 3 原因分析

#### 3.1 机组主轴密封供水 2X31 阀串水

小浪底机组技术供水系统图如图 1 所示,运行值班人员成员调查统计了 2024 年 9 月开始小浪底厂外清水池水位异常升高的详细数据。小组成员通过调查发现,在 2024 年 9 月 30 日厂外清水池第四次反水时与小浪底机组的开停机有关联。在当日上午 8 时 30 分小浪底 3 号、6 号机组同时停机后,厂外清水池便开始反水,下午 16 时 20 分,3 号、6 号机组同时开机后,厂外清水池反水现象随即消失。运行人员针对此异常情况展开研究。

当时,小浪底机组、主变等各部技术供水方式均为蜗壳供水,即采用库区水供水,而非清水(地下水)供水。整个清水系统包括清水供水干管、厂外清水池处于静态停运状态,此时,排除以上各因素,结合地下厂房内机组开停机情况,将清水池水位异常升高的研究方向转向地下厂房内的清水供水干管。

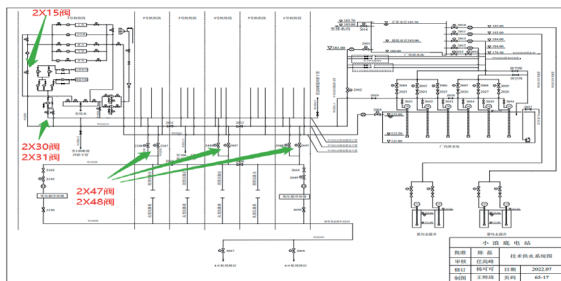


图1 小浪底机组技术供水系统图

从上图可以看出,与地下厂房清水干管相连接的 2115、2215、2315、2415、2515、2615、2131、2231、2331、2431、2531、2631、2247、2447、2847 共计 15 个阀门有可能存在阀门关不严导致串水的情况发生。

确认 2X31 阀密封情况:小浪底机组主轴密封供水分别来自蜗壳供水(2X30)、清水供水(2X31),厂外清水池水位异常升高时,机组主轴密封供水为蜗壳供水,即 2X30 阀全开、2X31 阀全关。在厂外清水池水位异常升高期间,分别在各台机组停机时关闭 2X30 阀,如果 2X30 阀关闭后,厂外清水池水位停止上升,就可确定对应的 2X31 阀无法关严,存在漏水情况。

试验结果表明,当六台机组的 2X31 分别关闭后,厂

外清水池水位依然在升高,且机组主轴密封供水管路管径约 8cm,清水干管管径约 1m,即使串水,在水压有限的情况下反水量有限,故可排除 2X31 阀串水的可能性。

#### 3.2 机组主变清水供水阀 2X47 阀串水

确认 2X47 阀密封情况:小浪底六台主变技术供水由蜗壳供水、清水供水组成,且互为备用,各自有三条供水管路。

当 1 号、2 号主变停运后,全关 2019 阀、2248 阀后,观察厂外清水池水位仍上涨,故排除 2247 阀无法关严反水的情况。

当 3 号、4 号主变停运后,全关 2019 阀、2020 阀、2448 后,观察厂外清水池水位仍上涨,故排除 2447 阀无法关严反水的情况。

当 5 号、6 号主变停运后,全关 2020 阀、2648 后,观察厂外清水池水位仍上涨,故排除 2647 阀无法关严反水的情况。

#### 3.3 机组清水供水阀 2X15 阀串水

确认 2X15 阀密封情况:小组成员通过检查发现六台机组由于技术供水方式不同,造成 2X15 阀后的压力不同。以下统计了六台机组不同技术供水方式下的情况,统计结果如表 2 所示。

表2 小浪底各机组技术供水方式

	1号机组	2号机组	3号机组	4号机组	5号机组	6号机组
技术供水方式	反向供水	正向供水	反向供水	正向供水	正向供水	反向供水
2X15 阀后压力 (MPa)	0.11	0.45	0.1	0.46	0.57	0.11

由图 1 可以看出:当机组技术供水 2X11 阀、2X13 阀全开时,机组技术供水方式为反向供水,此时 2X15 阀后的压力为经过机组冷却器后衰减的冷却水压力,大约为 0.1MPa。当机组技术供水 2X10 阀、2X12 阀全开时,机组技术供水方式为正向供水,此时 2X15 阀后为未经过机组冷却器的高压水流,正常水压为 0.45MPa 左右。小组成员通过对比发现:2 号、4 号及 5 号机组技术供水方式为正向供水,而 5 号机组 2515 阀后压力高达 0.57MPa。小组成员怀疑,高压蜗壳水有可能由此串入清水干管,因为 2515 阀所处地下厂房水轮机层高程 EL135m,高压水为 0.57MPa,厂外清水池高程为 EL180m,反水理论上是存在的。

论证:运行人员将 5 号机组技术供水方式倒为反向供水后,2515 阀后压力降低至 0.13MPa,此时观察清水池已不再反水,故得出结论:2515 阀由于密封性不好无法关严,在高压水流下造成反水。

提出疑问：小浪底机组技术供水方式为正向供水时 2X15 阀后正常水压为 0.45MPa 左右，为什么 5 号机组 2515 阀后压力高达 0.57MPa？为此，运行人员调出了厂外清水池反水期间的各机组减压阀后压力曲线，如图 2 所示。

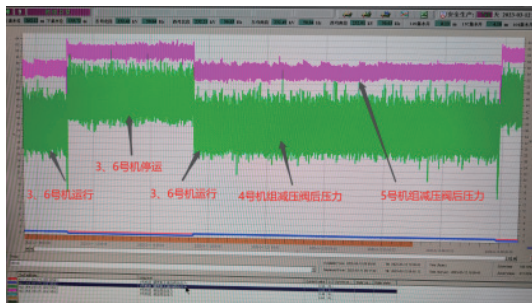


图2 小浪底机组开停机造成减压阀后压力变化

通过以上曲线运行人员惊奇地发现：当 3、6 号机组停运后，4、5 号机组减压阀后压力异常上升，此时厂外清水池开始异常上升。为什么机组技术供水减压阀后的压力与机组开停机相关呢？运行人员将目光转向了各机组的技术供水方式上。

小浪底机组技术供水蜗壳供水方式下，各机组技术供水取自各 2X02 阀后，一部分供机组冷却使用，一部分通过 2X09 阀供蜗壳取水联络干管用水<sup>[2]</sup>。正常情况下，各机组技术供水可“自给自足”，各自 09 阀仅少量水流过。小组成员统计了各台机组在 09 阀全开时的机组各部流量，如表 3 所示。（单位：Mpa、m<sup>3</sup>/h）

表3 小浪底机组各部流量统计

	减压阀后压力	蜗壳干管流量	空冷器流量	导轴承流量	主变流量	通过09阀流量
1号机组	0.55	2225	1380	680	150	-15
2号机组	0.53	2210	1400	654	145	11
3号机组	0.5	1915	1300	663	147	-195
4号机组	0.6	2500	1445	691	150	214
5号机组	0.65	2500	1361	690	155	247
6号机组	0.45	1820	1290	649	140	-262

运行人员通过以上数据统计发现：机组各部用水量与机组各自蜗壳干管流量不一致，其中 4 号、5 号机组蜗壳干管流量较大，满足机组自用后，分别有 214m<sup>3</sup>/h、247m<sup>3</sup>/h 的流量通过各自 09 阀流入其他机组，而 3 号、6 号机组减压阀后压力相对较小，蜗壳干管流量较小，无法满足机组自用，分别有 195m<sup>3</sup>/h、262m<sup>3</sup>/h 的流量通过各自 09 阀由其他机组供水。1 号、2 号机组技术供水基本可以自给自足<sup>[3]</sup>。此时，可以解释为什么 3 号、6 号机组停机后清水池会异常反水。当 3 号、6 号机组同时停机后，相当于减少了两个用水用户，而 4 号、5 号机组供水量没有减少，多余的水无法消纳，造成蜗壳干管压力上升，而 5

号机组技术供水 2515 阀密封性不好，此时压力水突破该阀门，反水至厂外清水池。

### 4 制定对策

运行人员通过分析与试验确定了清水池异常反水的直接原因与根本原因，并制定了应对措施，如表 4 所示。

表4 应对措施表

原因	对策	目标	措施
2515 阀门密封失效	更换密封良好的阀门	机组技术供水不再通过 2515 阀门反水	采取组织及技术措施，在 5 号机组停运的情况下，做好安全措施，更换该阀门。
各台机组减压阀后压力不一致，供水量不一致	调整各台机组减压阀后压力，使得流量保持一致	各台机组减压阀后压力、流量基本一致	调整各台机组减压阀后压力，使得各台机组蜗壳干管流量基本保持一致，各台机组技术供水基本自给自足。

为了验证本次活动的有效性，在实施以上措施后，运行人员统计了各台机组 2X15 阀后的压力如表 5 所示，均在正常范围内。统计各台机组各部流量，如表 6 所示，每台机组基本自给自足，厂外清水池未再发生反水异常，这一故障得到了有效的解决。

表5 解决后小浪底各台机组2X15阀后压力

	1号机组	2号机组	3号机组	4号机组	5号机组	6号机组
技术供水方式	反向供水	正向供水	正向供水	正向供水	正向供水	反向供水
2X15 阀后压力 (MPa)	0.11	0.45	0.40	0.46	0.44	0.11

表6 活动后小浪底各台机组技术供水流量统计

	减压阀后压力	蜗壳干管流量	空冷器流量	导轴承流量	主变流量	通过09阀流量
1号机组	0.55	2225	1380	680	150	15
2号机组	0.54	2210	1400	654	145	11
3号机组	0.55	2215	1395	663	147	-10
4号机组	0.55	2218	1368	691	150	9
5号机组	0.56	2216	1361	690	155	-11
6号机组	0.54	2220	1417	649	140	-14

### 5 结语

通过此次异常事件的发现、处理及制定有效的解决对策，小浪底运行值班人员对机组技术供水冷却系统有了更深入的了解，更加有效的了解平时运行的关注点。一是密切关注机组正常运行时的各部流量、压力，尤其是机组开停机时对各部流量的影响，及时调整各机组的减压阀压力流量，尽量保证各机组流量自给自足，不对其它机组产生

影响。二是平时运行过程中密切关注机组技术供水阀门内漏情况，发现异常及时处置，防止冷却水流异常返水。

**参考文献：**

[1] 翟冬毅，贺琪凡，陈伟. 小浪底电站机组和主变清水串联供水方式研究[J]. 水电与新能源，2025,39(04):62-65.

[2] 李鹏，孔卫起. 小浪底电站技术供水系统运行实践

[J]. 电网与清洁能源，2016,32(05):114-117.

[3] 陈伟，李涛，王丹阳. 小浪底水电站机组清水串联供水研究[J]. 人民黄河，2020,42(S1):273-275.

作者简介：刘益伟（1993-），男，汉族，陕西宝鸡人，工程师，学士学历，研究方向：水电厂运行管理工作。