

降低小浪底水电站机组耗水率的分析与优化

张鹏飞 杨淇帆

黄河水利水电开发集团有限公司, 中国·河南 济源 459000

摘要: 针对小浪底机组耗水率偏高的状况, 根据实际状况进行调查, 并对调查掌握的信息进行了全面认真的讨论研究, 从改造机组主变冷却水的逻辑控制和减少机组空载时间的两方面进行优化机组耗水率, 再通过机组运行的实践证明, 取得了预期效果, 有效降低了机组耗水率。

关键词: 降低; 小浪底水电站; 机组; 耗水率; 分析与优化

Analysis and Optimization of Reducing Water Consumption Rate of Xiaolangdi Hydropower Station Units

Pengfei Zhang Qifan Yang

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

Abstract: In response to the high water consumption rate of the Xiaolangdi unit, an investigation was conducted based on the actual situation, and the information obtained from the investigation was comprehensively and seriously discussed and studied. The water consumption rate of the unit was optimized from two aspects: transforming the logic control of the main transformer cooling water and reducing the no-load time of the unit. Through practical operation of the unit, it was proved that the expected effect was achieved, effectively reducing the water consumption rate of the unit.

Keywords: decrease; Xiaolangdi hydropower station; crew; water consumption rate; analysis and optimization

0 前言

小浪底水利枢纽地下厂房内布置了六台水轮发电机, 型号为 F300-56/13600。1 号、3 号、5 号水轮发电机由东方电机厂生产, 2 号、4 号、6 号水轮发电机由哈尔滨电机厂生产。首台 6 号机组于 2000 年 1 月 9 日正式投产发电, 所有 6 台机组于 2001 年底全部安装完毕并投产发电。

小浪底机组 2016 年度全年累计发电量为 58.3 亿 kW·h, 全年总用水量为 285.67 亿 m³, 平均耗水率为 4.9%, 2017 年度全年累计发电量为 64.1 亿 kW·h, 全年总用水量为 288.45 亿 m³, 平均耗水率为 4.5%, 2018 年度全年累计发电量为 40.9 亿 kW·h, 全年总用水量为 274.03 亿 m³, 平均耗水率为 6.7%, 耗水率明显升高。为了能够充分利用宝贵的黄河水资源, 在满足社会效益的前提下努力提高经济效益, 迫切需要降低小浪底电站水轮发电机组的耗水率。

1 机组耗水率

根据小浪底机组运行台账和值班记录统计出 2016—2018 年小浪底每年的发电总量和用水总量, 可计算出小浪底水电厂水轮发电机组耗水率。计算公式:

$$\text{耗水率} = \frac{\text{用水总量}}{\text{发电总量}} = \frac{\text{流量}}{\text{功率}} = \frac{1}{9.81 \times H \times \eta}$$

式中, H——水头;

η ——机组效率。

从表 1 可以看出, 2016 年和 2017 年全年耗水率基本维持在 5m³/kW·h 以内, 耗水率相对较低, 但在 2018 年全年耗水率提高到 6.7m³/kW·h, 机组耗水率比前两年明显上升。

表 1 2016—2018 年度小浪底水电厂耗水率统计表

年份	耗水率计算 (亿 m ³)	用水总量 (亿 m ³)	发电总量 (亿 kW·h)	耗水率
2016	285.67	58.3	4.9	
2017	288.45	64.1	4.5	
2018	274.03	40.9	6.7	

2 原因分析

针对小浪底机组耗水率偏高的状况, 并结合现场实际情况进行调查, 并对调查掌握的信息进行了全面认真的讨论研究, 综合分析了各方面的因素, 得出可能是如下原因造成耗水率偏高。

2.1 主变压器冷却水损失

小浪底机组正常停机后, 机组的主变压器一直在空载状态, 以致主变的冷却水会一直供给, 再通过查阅 2016—2018 年每年的停机时间, 对照主变流量就可以得出机组停机后主变的用水量。

从表 2 可以看出, 2018 年机组停机时间要长, 这就导致主变冷却水用量增加, 分析得出, 主变冷却水在 2018 年时耗水量基本是前两年的两倍, 耗水量明显增加。

表 2 小浪底机组停机后主变冷却水耗水量统计表

年度\机组		1#	2#	3#	4#	5#	6#	合计
2016	停机流量	7.5	6.4	6.3	5.8	7.1	5.9	39
	停机时间	2075	3425	1988	4026	2873	2654	17041
	耗水量	15562	21920	12524	23351	20398	15659	109414
2017	停机流量	7.5	6.4	6.3	5.8	7.1	5.9	39
	停机时间	1962	2035	2479	4226	2798	2854	16354
	耗水量	14715	13024	15618	24511	19866	16838	104572
2018	停机流量	7.5	6.4	6.3	5.8	7.1	5.9	39
	停机时间	3825	4732	3754	4002	3982	3543	23838
	耗水量	28688	30285	23650	23211	28272	20904	195010

2.2 机组空载时间过长

小浪底机组在空载的时候机组发电量可以忽略不计，但机组的过机流量是一个很大的损耗，根据 2016—2018 年每年机组的空载时间绘制出机组空载耗水量表。

从表 3 可以看出，2018 年机组空载时间比前两年都要长，就导致机组 2018 年的空载耗水量要明显多于 2016 年和 2017 年。

3 对策实施

3.1 机组停机后主变停运

目前 1-6# 机组停机流程中均不断开高压侧开关（因 3、6# 机组带 10kV 厂用电运行，根据会议纪要要求，本方案不对 3、6# 机组程序进行异动），在停机后主变空载运行，一

方面增加厂用电损耗，另一方面主变冷却器投入运行也增加水能损耗。为进一步降低厂用电和水能损耗，在监控系统开停机程序中对涉及高压侧开关部分需作出相应的改动，使监控系统程序满足机组高压侧开关改变运行方式后的要求。

3.1.1 停机流程程序修改

原机组停机流程中并网至空载、空载至空转流程不变，并网至空载流程中依然采用断开 GCB 的方式解列机组。在停机流程空转至停机第一步中新增断开高压侧开关命令，并在第一步完成的反馈条件中增加高压侧开关断开的反馈信号。在 1 号、2 号、4 号、5 号机组高压侧开关控制程序中新增停机流程断开高压侧开关命令，并和原手动断开命令做闭门处理，高压侧开关原合闸命令不变。逻辑修改示意图见图 1。

表 3 小浪底机组空载耗水量统计表

年度\机组		1#	2#	3#	4#	5#	6#	合计
2013	空载时间	679	843	1056	981	503	823	4885
	空载流量	241	252	245	256	248	243	1485
	耗水量	163639	212436	258720	251136	124744	199989	1210664
2014	空载时间	854	1023	681	498	845	976	4877
	空载流量	241	252	245	256	248	243	1485
	耗水量	205814	257796	166845	127488	209560	237168	1204671
2015	空载时间	1677	1002	987	1597	1045	1238	1485
	空载流量	241	252	245	256	248	243	1485
	耗水量	404157	252504	241815	408832	259160	300834	1867302

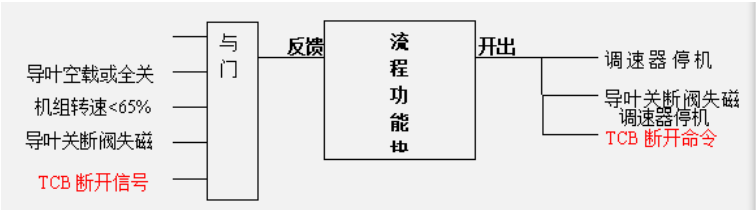


图 1 停机流程逻辑图

3.1.2 主变供水系统程序修改

根据以上程序修改停机后,高压侧开关已断开,停技术供水程序中将自动关闭主变冷却水阀门 2X49 阀门。开机过程中第一步投技术供水时程序会自动打开 2X49 阀门。目前程序中判断主变冷却水流量满足的条件仅判断 2X49 阀门

为全开状态,为保证判断主变冷却水流量满足的准确性,保证开机成功率,需将来自主变冷却水流量计的“主变冷却水流量过低事故”信号取非门后与 2X49 阀门全开信号做闭门处理。

逻辑修改图见图 2。

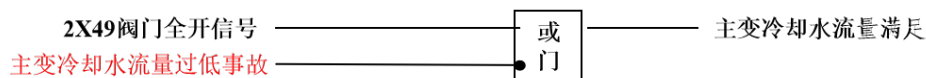


图 2 主变供水系统逻辑图

3.2 缩短机组空载时间

通过小浪底水库每天的平均出库流量大致估算出小浪底机组全天的发电量,发电量确定后,可依据发电量调节机组,使机组出力基本维持在最低出力和满出力区间运行,若机组空载时间超过半个小时,可人工干预通过向中调申请机组停机或机组增加出力。

与河南省电力公司相关部门进行交流,向其详细说明了小浪底机组运行情况,以及机组空载运行时间过长对发电主设备带来的危害以及水资源的损耗。省电力公司调度负责人解释了河南电网结构、运行方式和负荷规律新变化所带来的调峰压力,已将河南电网调峰难度大的情况反映给上级调度部门,承诺将采取有效措施尽可能减少小浪底机组空载运行时间。以后将继续与省电力公司加强沟通,及时了解省网运行动态,尽可能地减少空载时间。

从措施实施后,机组空载时间在机组总的运行时间中占比明显减少,机组空载率明显降低。机组空载时间对照图见图 3。

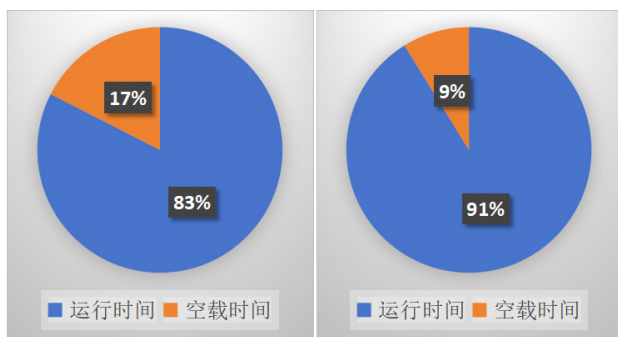


图 3 机组空载时间对照图

通过此次对机组主变技术供水改造以及对机组空载时间的优化调整后,小浪底水电厂水轮发电机组耗水率降至 4.4,顺利达到了预期目标,有效降低了发电机组耗水率,也提高了小浪底水库水资源利用率,取得了经济效益和社会效益。

4 结语

针对小浪底水电站机组耗水率高的问题,分析原因并提出了解决方法,对机组主变供水改造以及对机组空载时间的优化。有效降低了机组耗水率,提高了发电设备的可靠率,避免机组在空载状态下的磨损和风险,提高了水轮发电机整体运行的稳定性。

参考文献:

- [1] 吴昕馨,翟冬毅,王秀,等.减少小浪底水电站机组空载运行时间[J].水电与抽水蓄能,2022,8(3):69-73.
- [2] 胡丰,王珍山,王威威.降低机组耗水率控制策略分析与实践[J].水电站机电技术,2021,44(7):89-91.
- [3] 李先华,李建民.碗米坡水电站发电耗水率分析[J].中国电力教育,2011(6):130-131.
- [4] 吴宝琳,曹益荣.水电厂技术供水系统改造与应用[J].电力安全技术,2024,26(1):74-78.
- [5] 陈伟,李鹏,李玉明.小浪底水电厂技术供水系统的介绍及应用[J].水力发电,2004(9):7-9.
- [6] 于跃,焦玉峰,王永发,等.小浪底工程技术供水系统优化改造[J].华电技术,2016,38(5):46-51.

作者简介: 张鹏飞(1986-),男,中国山西运城人,本科,工程师,从事发供电设备及水工金结电气的运行维护研究。