

锦屏一级水电站大轴中心补气系统的改造优化

杨 自 聪， 梁 成 刚， 刘 江 红， 梅 沈 锋， 杨 泽 鹏

(雅砻江流域水电开发有限公司,四川 成都 610051)

摘 要:参考大轴中心补气系统在水电站运行中存在的问题,结合锦屏一级水电站自身发现的问题,对锦屏一级水电站大轴中心补气系统可能存在的运行风险进行分析,提出大轴中心补气系统的改造和优化措施。改造后,大轴补气浮球式补气阀动作可靠,大轴补气中心管密封良好。随着大轴补气系统的不断改造和优化,目前锦屏一级水电站大轴补气系统整体运行安全可靠。锦屏一级水电站在大轴补气系统遇到的问题和改进措施为尾水水位相对较高的立轴混流式水轮发电机组的中心补气系统提供了较大的参考价值。

关键词:大轴中心补气;风险;预控措施;优化

中图分类号:TV741 ;S756.1; N945.15 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)02-0111-04

Modification and Optimization of the Central Air Supply System of the Main Shaft of Jinping I Hydropower Station

YANG Zicong, LIANG Chenggang, LIU Jianghong, MEI Shenfeng, YANG Zepeng

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

Abstract: Referring to the problems existing in the operation of the main shaft central air supply system in the hydropower station, combined with the problems found in Jinping I Hydropower Station, this paper analyzes the possible operation risks of the main shaft central air supply system in Jinping I Hydropower Station, and proposes the modification and optimization measures of the main shaft central air supply system. After modification, the floating ball type air supply valve of main shaft air supply has reliable operation, and the central pipe of main shaft air supply is well sealed. With the continuous modification and optimization of the main shaft air supply system, the overall operation of the main shaft air supply system of Jinping I Hydropower Station is safe and reliable. The problems and improvement measures taken in the main shaft air supply system of Jinping I Hydropower Station provide a great reference value for the central air supply system of vertical shaft Francis turbine generator set with relatively high tailrace water level.

Key words: main shaft central air supply; risks; pre-control measures; optimization

1 概 述

锦屏一级水电站位于四川省盐源县、木里县交界的雅砻江干流,是雅砻江水能资源最富集的中、下游河段五级水电开发中的第一级。其下游梯级为锦屏二级、官地、二滩和桐子林水电站。电站装设 6 台单机 600 MW 的水轮机组,水轮机为立轴混流式,带有金属蜗壳和窄高弯肘形尾水管。锦屏一级水电站装机年利用小时数 4 616 h,年发电量 166.2 亿 kWh。锦屏一级电站第一批机组于 2013 年 8 月发电,于 2014 年 7 月全面投产发电。水轮机的空化和空蚀与水轮机的运行条件有着密

切关系。当水轮机组偏离设计工况运行时,翼型的绕流条件和转轮的出流条件等将发生较大的改变,并在不同程度上加剧翼型空化和空腔空化。当机组在非设计工况下运行,可采用转轮下部补气的方法,来减轻空化空蚀。目前机组常采用的补气方式有自然补气和强制补气两种方式^[1]。水轮机常见的补气有大轴中心补气、尾水管补气、顶盖补气、叶片补气等方式。目前大中型的混流式水轮机较多采用大轴中心补气,因为这种补气方式的补气口直接通向尾水管的负压区,在电站的实际运行中取得了很好的效果,提高了机组运行的稳定性。我国漫湾、宝珠寺、李家峡、江垭、大朝山等水轮机组均采用大轴中心补气。不仅如

收稿日期:2020-03-07

此,国外公司为我国二滩、三峡等大型机组的设计中也采用了大轴中心孔补气结构^[2]。锦屏一级水电站水轮机补气采用大轴中心孔自然补气系统,并在顶盖、底环的适当位置预留压缩空气补气系统。锦屏一级水电站机组大轴补气系统补气阀采用 2 个内径为 350 mm 自由浮球式空气阀,安装在发电机层上游夹墙内,安装高程为 1 646.9 m。主厂房发电机层高程为 1 646.9 m,设计洪水尾水 1 659.14 m。补气阀及补气管故障导致漏水,可能影响机组及电站的安全。

2 锦屏一级水电站大轴中心补气系统

2.1 大轴中心补气系统的基本结构和工作原理

锦屏一级水电站水轮机补气方式为大轴中心自然补气。系统的作用是在尾水管内形成一定低压区时能够自动开启,向尾水管内补入自然空气,破坏尾水管内的真空,从而改善机组的运行状态。锦屏一级大轴中心补气装置由外围补气管、浮球补气阀、补气头、大轴补气管、转子中心体蝶阀、补气润滑水系统、集水盆、排水管及相关管路、阀门组成(图 1)。大轴补气管固定在机组主轴内部,由发电机上端轴直到转轮中心体最下端,作为尾水补气的通道。补气装置排水管径为 350 mm。

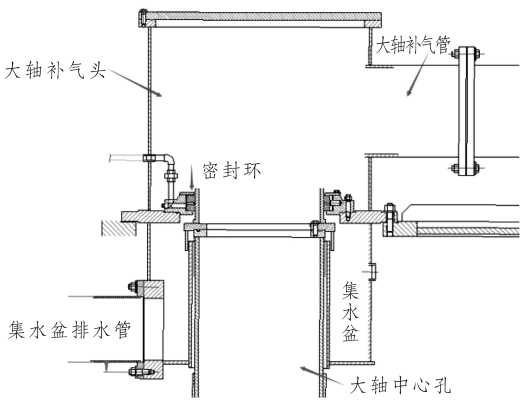


图 1 大轴补气装置结构示意图

2.2 补气阀的结构

锦屏一级水电站大轴补气浮球式补气阀安装在发电机层上游夹墙内,补气阀下端管路穿过发电机轴、水轮机轴以及水轮机转轮中心部位,直至转轮泄水锥下方,向其下方出现的低压区域补入自然空气。当机组运行偏离最优工况区时,水轮机转轮下方会产生低压区,这种低压会带动处在

主轴中心部位的补气管路内出现压力下降。当管内的压力下降至补气阀的设定值时,补气阀打开,将空气补入转轮下方,以缓解该低压区对水轮发电机组造成的危害。压力回升后,补气阀自动关闭,防止下游尾水倒灌。

2.3 大轴补气润滑水

锦屏一级水电站大轴补气润滑水为大轴补气头密封环供水,起冷却、润滑的作用。大轴补气润滑水管路管径 22 mm,取自主轴密封润滑水 Φ60 mm 的供水管。为了保证主轴密封和大轴补气润滑水供水可靠性,机组主轴密封和大轴补气润滑水供水管由水厂清洁水和机组技术供水同时供水。水厂清洁水取自尾水调压室,经过组合空调、原水池、组合式净水设备后供给厂内主轴密封润滑水、大轴补气装置润滑水、厂房检修排水泵和渗漏排水泵润滑水等技术用水。机组技术供水系统设置两台技术供水泵,采用尾水管取水单元加压供水方式,供发电机空冷器、上导油槽冷却器、下导油槽冷却器、推力油槽冷却器、水导油槽冷却器、主轴密封和大轴补气润滑用。机组技术供水水厂清洁水作为大轴补气润滑水的主用水源,机组技术供水作为备用水源。大轴补气润滑水设计流量整定值为 1.1 m³/h。

3 存在的风险

3.1 自由浮球补气阀破损

锦屏一级水电站大轴补气两根进气管通到厂房发电机层上游夹墙内,在每根补气管的末端各安装有一个 DN350 mm 的自由浮球补气阀,补气阀的安装高程 1 646.9 m。根据国内同类型机组的运行经验,该类型自由浮球补气阀长时间运行易出现浮球破损、密封失效等问题,造成补气阀无法可靠止水^[3]。当汛期全厂机组高负荷运行时,尾水调压室水位会高于大轴补气浮球阀安装高程,若此时大轴补气浮球阀发卡或密封差,补气装置转动部件与固定部件密封失效,尾水从补气装置涌出,可能造成机组进水,甚至水淹厂房^[4]。

3.2 大轴补气集水盆排水管路堵塞

国内某大型水电站曾在主汛期发生集电环室漏水,通过紧急停机处理,14 小时后才恢复机组运行^[5]。事故发生的原因就是将大轴补气系统 DN150 排水管的改造为 DN250 的排水管后,原埋设在上游墙内的 DN150 排水管和 DN200 排水

总管无法更换,造成排水不畅,导致从补气头密封漏出的水进入集水盆后排水不畅,积水从大轴补气集水盆漏出。

3.3 大轴补气集水盆制造工艺不精

2017年5月锦屏一级电站运行值班人员在巡检过程中发现大轴补气集水盆与发电机上端轴连接处滴水。将机组停机检查后,发现大轴补气集水盆内壁有一处位置锈蚀穿孔(孔径5 mm),导致集水盆渗水。

通过结合图纸和现场检查综合分析,集水盆漏水原因为大轴补气润滑水进入密封环后,带压水流沿补气头外壁撞击至大轴补气液位浮球上,浮球上飞溅的水通过有缺陷的集水盆组合焊缝或者小孔沿集水盆内壁流出。

3.4 管路连接处密封不严

锦屏一级水电站大轴补气润滑水排水管路分几段用法兰连接,法兰连接处正好经过发电机转子上方。机组长时间运行过程中可能因为管路振动、管路连接法兰密封老化或者破损等原因造成转子上方法兰漏水,将严重威胁发电机安全运行。

3.5 大轴补气润滑水流量降低

锦屏一级水电站5号、6号机组在2013年8月首批投产发电,此后4号—1号机组依次投产。2013年9月5号、6号机组大轴补气润滑水流量为 $1.6\text{ m}^3/\text{h}$ 。由于1号~4号机组的投产发电导致大轴补气润滑水的分流,同时工程建设初期施工的不规范,导致大轴补气润滑水管路存在焊瘤。此外,随着机组的长时间运行大轴补气润滑水小管路中淤泥沉积等原因,机组大轴补气润滑水流量呈下降趋势,其中5号机组大轴补气润滑水流量在所有机组中最低。通过查询历史曲线,2014年7月5号机组主大轴补气润滑水流量已经降至 $0.9\text{ m}^3/\text{h}$,再到2019年6月5号机组主大轴补气润滑水流量降到最低的 $0.66\text{ m}^3/\text{h}$,已经远低于大轴补气润滑水设计流量 $1.1\text{ m}^3/\text{h}$,大轴补气润滑水流量低经常引发报警。大轴补气润滑水流量降低会影响大轴补气头的润滑和冷却,进而导致大轴补气头密封环磨损加剧。

4 风险预控措施

在尾水调压室水位高于补气阀高程的情况下,为防止因补气阀故障不能正常关闭或关闭不严造成水淹厂房的事故发生,锦屏一级水电站于

2014年将所有机组的大轴补气浮球式补气阀上部管路加高至1 656.7 m高程(20年一遇尾水水位为1 655.14 m)。在汛期,机组大负荷运行,即使发生浮球破损、密封失效等问题也能避免跑水情况的发生。

为防止大轴补气集水盆由于大轴补气排水管路堵塞或者大轴补气润滑水变大导致大轴补气集水盆水位过高后漏水的情况,锦屏一级水电站在2017年新增大轴补气集水盆水位高及水位过高模拟量报警。以浮子开关安装高度为参照,大轴补气集水盆水位高报警值为0.1 m,水位过高报警值为0.2 m。当出现大轴补气集水盆水位高报警后,需及时检查与处理,以避免事故的发生。

在汛期尾水位持续高水位运行情况下,加强对大轴中心补气系统的巡检,特别是上游夹墙是否有跑水情况、大轴补气集水盆是否有漏水情况。通过现场巡视与监控报警系统尽早发现隐患和缺陷。

为了避免发电机转子上方的大轴补气排水管路连接法兰漏水威胁发电机安全运行,锦屏一级水电站在2016年机组检修期间将发电机转子上方大轴补气排水管路的连接方式由法兰连接改为直管连接。

针对大轴补气润滑水流量持续降低的问题,锦屏一级水电站采取了一系列措施。首先将从水厂清洁水取水的厂房渗漏排水泵和机组检修排水泵润滑水由长流水改为了启泵前短暂供水,同时减少润滑水的流量。通过减少水厂清洁水其他用户的供水量,提高大轴补气润滑水流量。其次,针对大轴补气润滑水流量低频繁报警的问题,在对比雅砻江流域锦屏二级、官地、二滩水电站大轴补气润滑水流量定值的基础上,分析大轴补气润滑水流量、压力和大轴补气密封环磨损量情况,提出了降低大轴补气润滑水流量低报警值的建议。在2016年将机组大轴补气润滑水流量低报警值从 $1.1\text{ m}^3/\text{h}$ 修改为 $0.6\text{ m}^3/\text{h}$ 。经过实践证明,定值修改后,监控系统未发生大轴补气润滑水流量低报警,同时,大轴补气头密封圈也未发生磨损。最后,从根本上解决大轴补气润滑水流量低的问题。投产至今,机组每年检修期间都会对大轴补气润滑水滤水器清洗,但是效果都不明显。在2019年机组检修期间对大轴补气润滑水管彻底排查清

洗,把 5 号机组大轴补气润滑水供水管路内存在焊瘤的一段焊缝割除并重新配管焊接,用草酸进行反冲洗后,5 号机大轴补气润滑水流量从 0.8 m³/h 提高至 1.3 m³/h。同时,在 5 号机组大轴补气润滑水管路逆止阀后增加手动排污阀,当大轴补气润滑水流量接近低报警时,开启排污阀对管路进行冲洗排污,以提高大轴补气润滑水流量。通过以上措施,目前锦屏一级水电站各台机组的大轴补气润滑水流量基本稳定在 1.1 m³/h。

5 结 语

锦屏一级水电站水轮机主轴中心补气系统在充分借鉴国内多个大型水电站运行经验的基础上进行设计,到目前为止,大轴补气浮球式补气阀动作可靠,大轴补气中心管密封良好。但是大轴补气系统也遇到了润滑水流量低、集水盆工艺不精并缺少水位监视功能、润滑水排水管法兰布置不合理等一系列问题。随着大轴补气系统的不断改造和优化,目前,锦屏一级水电站大轴补气系统整体运行安全可靠。锦屏一级水电站在大轴补气系统遇到的问题和改进措施为尾水水位相对较高的

立轴混流式水轮发电机组的中心补气系统提供了较大的参考价值。

参考文献:

[1] 郑 源,鞠小明,程云山.水轮机[M].北京:中国水利水电出版社,2007.

[2] 冯文贵,雷洪进.东风发电厂机组大轴中心补气装置改造[J].贵州水力发电,2005,19(3):54—56.

[3] 蔡 伟,邓国庆.溪洛渡水电站水轮机主轴中心补气系统设计优化[J].水力发电,2013,39(8):39—41.

[4] 胡学龙,赖见令.浅析向家坝右岸地下电站主轴中心补气系统[J].水电站机电技术,2012,35(5):12—15.

[5] 阮 凡,李金明.水轮机大轴补气系统技术改造探讨[J].云南水力发电,2013,29 (5):108—110.

作者简介:

杨自聪(1989-),男,四川宜宾人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;梁成刚(1996-),男,甘肃天水人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

刘江红(1987-),男,四川自贡人,工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

梅沈锋(1994-),男,湖北黄冈人,助理工程师,工学学士,从事水电站运行管理工作;

杨泽鹏(1995-),男,山西运城人,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、卓政昌)

(上接第 110 页)

表 1 不同闭气形式下气垫式调压室运行参数

序号	闭气形式	运行气体压力 /MPa	空压机容量 /m ³	漏气量 /Nm ³ ·min ⁻¹	耗电量 /kWh·d ⁻¹
1	灌浆+水幕	3.1	30	12.45	3 386.7
2	夹心式钢罩	1.96	7	0.22	66.5
3	外挂式钢罩	2.22	7.6	0.42	134.2

为以外挂钢板为模板的一次浇筑混凝土施工,简化了施工工序,节省了工程量。

钢罩式闭气措施的应用,大大降低了气垫式调压室对周边地质的严苛要求,拓宽了气垫式调压室的适用范围,值得在中小型引水式电站推广应用。

参考文献:

[1] 刘德有,张 健,索丽生.气垫调压室研究进展[J].水电能源科学,2000,18(4):1—5.

[2] 方光达.水电站气垫式调压室应用现状和主要设计问题[J].水力发电,2005,31(2):44—47.

[3] 马吉明,黄子平.气垫式调压室及其工程实践[J].水利水电技术,1999,30(9):38—41.

[4] 王 波,张建梅,鞠小明,李新军.气垫式调压室的运行特性[J].人民黄河,2006,28(2):77—78.

[5] 胡建永,张 健,王慧清.水电站气垫式调压室应用研究综述[J].水电能源科学,2007,25(3):60—63.

[6] 金家麟.挪威地下水电站的气垫调压室[J].四川水力发电,1991(1):43—47.

作者简介:

李云辉(1981-),男,湖南长沙人,工程师,从事水电站建设和管理工作和环保水保工作。(责任编辑:吴永红、卓政昌)