

渔子溪电站 4 号水轮发电机改造

谈泰权，王昌林，秦泰松

(国网四川省电力公司映秀湾水力发电总厂,四川 都江堰 611830)

摘 要:渔子溪电站 4 号机组从 1972 年投产至 2018 年实施发电机改造,运行时间长达 46 年,且先后两次因自然灾害被污水浸泡,发电机主要部件锈蚀严重,定子端部绝缘出现受损情况,发电机使用寿命达到国家规定标准。本文重点介绍了渔子溪电站 4 号机组发电机改造的必要性、改造范围及改造技术方案,并对改造效果进行了分析。

关键词:渔子溪电站;水轮发电机;缺陷;改造

中图分类号::[TM622];TM312;U692.5 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2020)03-0027-03

Transformation of 4# Hydro-generator in Yuzixi Hydropower Station

TAN Taiquan, WANG Changlin, QIN Taisong

(Yinxuwan Hydropower Station, State Grid Sichuan Electric Power Company, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

Abstract: The 4# generator unit of Yuzixi Hydropower Station was put into operation since 1972 until the generator transformation in 2018, with operation time of 46 years, and it was soaked in sewage twice due to natural disasters. The main parts of the generator were severely rusted, the insulation at the end of the stator was damaged, and the service life of the generator reached the time limit of the national standard. This paper focuses on the necessity, scope and technical scheme of the transformation of the generator in Yuzixi Hydropower Station, and analyzes the transformation effect.

Key words: Yuzixi Hydropower Station; hydro-generator; defect; transformation

1 电站概况

渔子溪电站始建于 1966 年 9 月,至 1972 年 6 月底主要水工建筑物(除沉沙池外)基本建成,厂房内第一台机组(4 号机组)安装完毕,7 月初电站充水试运行,12 月初第一台机组正式向系统送电。

渔子溪电站机组是上世纪 70 年代初国内自行设计投产的高水头混流式水轮发电机组,受当时我国水轮发电机的设计、制造、安装水平的限制,机组从投运初期一直小毛病不断,出现过严重的振动问题。虽然经过多次的大、小修理,但仍然没有彻底解决发电机的可靠运行问题。同时,渔子溪电站 4 号水轮发电机运行至今已经有 40 多年历史,且于 2008 年、2010 年先后两次被污水浸泡,主要部件锈蚀严重,达到了国家标准规定的使用寿命极限。在运行中出现过定子端部绝缘受损情况,已直接影响到发电机的安全稳定运行,仅靠大修或局部处理很难彻底根治这些隐患。

2 机组缺陷及改造可行性分析

收稿日期:2020-05-28

2.1 安全性分析

2008 年“5·12”汶川特大地震导致渔子溪电站发生山体透水事故,发电机在水中浸泡 3 个月以上。2010 年“8·13”映秀特大泥石流将岷江河道堵塞,洪水经尾水口倒灌进入渔子溪电站厂房,发电机再次在含有大量淤泥和油污的水中浸泡 4 个月以上,由此,发电机各部件严重锈蚀。恢复重建时为尽快恢复灾后供电,只采取了清水冲洗及烘干等简单处理,便逐台恢复了机组发电。

2.1.1 发电机定子、转子、主轴的安全性分析

发电机定子由机座、铁芯、定子线圈等组成,在两次自然灾害后,定子机座和铁芯只经过简单处理,没有更换改造,现已成为发电机设备的安全隐患。

水轮发电机转子是由发电机主轴、转子支架、磁轭、磁极等零部件组成,与水轮机主轴一起组成了水轮发电机组的转动部件,转子既具有一般机械转动部件的特征,又必须具有良好的电磁性能。由于渔子溪电站 4 号发电机运行时间极长,水轮

发电机主轴、转子支架、磁轭、磁极以及水轮机主轴等部件的交变应力循环次数非常高,极易产生疲劳破坏。

除此之外,轴承甩油、漏油产生的油污附着在定子线圈、磁极线圈上,加重了线圈绝缘老化。

2.1.2 发电机上、下机架的安全性分析

发电机上机架为负荷机架,要承受整个水轮发电机组的重量和轴向水推力,随着机组的运转,交变应力作用到上机架上,由于长时间运行,上机架极易产生疲劳破坏。

下机架虽为非负荷机架,但是要承受下导轴承传递的交变径向力,也存在极大的疲劳损坏风险。

2.1.3 发电机推力轴承、上导轴承、下导轴承的安全性分析

发电机各部轴承的安全性关系到整个机组能否安全运行,主要反映在各部轴承轴瓦的运行温度是否在规定的范围内,是否存在甩油、漏油现象。若出现温度过高或烧瓦现象,会引起机组事故停机,带来电量损失,并浪费大量的人力、物力、财力进行事故检修。若出现甩油、漏油现象,不仅污染环境,损失资源,且存在极大的运行风险。若上导甩油、漏油,则会对发电机定、转子线圈造成不可逆转的损害。

2.2 效能与成本分析

由于渔子溪电站4号发电机转子、定子、上下机架、推力轴承、上导轴承、下导轴承以及水轮机主轴存在以上安全隐患,既影响了机组的安全稳定运行,也增加了运行、检修工作量。同时,由于机组带病运行,机组中修、小修不断,严重影响电站的发电效益,且频繁地装拆机组,对水轮发电机的各个部件特别是易损部件造成很大影响,将加快机组的老化,会进一步影响机组的正常运行。

2.3 政策适应性分析

渔子溪电站作为国家三线建设的重点项目,建成后,为四川省社会经济发展作出了巨大贡献。水能作为可再生的清洁能源,属于国家政策大力支持和发展的能源项目,特别是对老电站的增效和扩容改造,国家更加支持。除此之外,根据电监会安全[2010]2号文件“关于吸取俄罗斯萨扬水电站事故教训进一步加强水电站安全监督管理的意见”规定“对已存在损伤的设备部件要加强技术监督,对已老化和不能满足安全生产要求的设备

部件要及时进行更新”^[1]及国家电网公司关于水电站技术改造有关规范和规定,应对渔子溪电站4号水轮发电机存在安全隐患的部件进行改造、更换。

3 改造范围

本次渔子溪电站4号水轮发电机部件的技术改造应充分考虑利用原有水轮发电机固定部分的设施,并对改造部分做到技术先进、经济合理。本次改造属于水轮发电机关键零部件的改造,主要是增加设备运行可靠性,同时,提高设备的运行效率,延长设备的检修周期,最大限度地提高水能利用率。此次改造相当于4号机组的扩大性大修,在恢复原设备性能基础上提高其性能,增加设备运行的可靠性,改造范围如下:

(1)渔子溪电站4号发电机转动部分改造,包括发电机主轴、磁轭、磁极等部件改造更换,其中下导轴领与主轴采用整体锻造方式;

(2)渔子溪电站4号发电机定子改造,包括发电机定子机座、铁芯、定子线圈改造更换;

(3)渔子溪电站4号发电机上、下机架改造更换;

(4)渔子溪电站4号发电机推力轴承、上导轴承、下导轴承改造,增设油气分离和回收装置,并将发电机上导轴承和推力轴承组合在一个油槽内;

(5)渔子溪电站4号水轮机主轴改造更换。

4 改造技术方案

渔子溪电站4号水轮发电机型号为SF40-12/4250,属于高转速立轴悬式水轮发电机,其额定转速为500 rpm,飞逸转速为839 rpm。发电机总体技术方案应与原发电机基本保持一致,只是在发电机的细部结构方面进行优化,为增加发电机定子机座的刚、强度,定子机座采用分两瓣结构;为确保电磁参数合理、可靠,对用于渔子溪电站4号水轮发电机改造的电磁方案进一步优化。原发电机上导轴承设置在推力轴承下方,本次改造将发电机上导轴承与推力轴承合一,并将上导轴承置于推力轴承上方。

4.1 定子改造

定子机座采用分两瓣结构,提高定子的整体刚度、强度。定子机座为钢板焊接结构,定子铁芯采用50W270冷轧硅钢片,厚度0.5 mm,更换全

部定子绕组,采用 F 级绝缘。

4.2 转子改造

转子支架与主轴在制造厂内热套在一起,然后装压磁轭,挂装磁极。全部转动零件都经刚度和强度的分析计算,以便能安全地承受最大飞逸转速 5 m 而不产生任何有害变形,且材料的计算应力不超过屈服点的 2/3。转子外径为 $\varphi 3\ 360\text{ mm}$,装配后总重约 88 t。

4.3 上、下机架改造

上机架为负荷机架,不仅要承受来自推力轴承的轴向负荷,还要承受来自导轴承的径向负荷。为钢板焊接辐射形结构,由中心体和若干个支臂组成,支臂为工字型结构。

下机架为非负荷机架,由中心体与若干个辐射的工字型截面支臂组成。下机架兼作制

动器基础。

4.4 推力轴承、上导轴承、下导轴承改造

推力轴承位于上机架上方的推力油槽内,推力轴承采用刚性支柱式扇形瓦结构。由推力头镜板、推力瓦、支柱螺钉和轴承座等组成。

上导轴承布置在上机架中心体内,置于推力轴承上方,与推力轴承共用一个油槽,以上导滑转子作为摩擦面,采用分块巴氏合金瓦,采用抗重螺栓支撑结构,且增设吸油雾装置。

下导轴承布置在下机架中心体内,采用分块巴氏合金瓦,采用抗重螺栓支撑结构,且增设吸油雾装置。

5 改造效果

渔子溪电站 4 号机组水轮机、发电机主轴联轴后,经轴线调整,机组盘车结果如表 1 所示。

表 1 机组盘车数据记录表

单位:0.01 mm

渔子溪电站 4 号机组		机组轴线调整记录								
测点		1	2	3	4	5	6	7	8	
摆度	上导	0	−1	−1	0	+1	−1	−1	0	
	下导	+5	+3	0	0	0	+1	+3	+5	
	法兰	+2	+2	0	−1	−1	0	−1	+1	
	水导	−6	−5	−1	+5	+6	+2	−3	−6	
	主轴密封	−21	−10	−5	−5	+3	+4	−7	−21	
相对测点		1—5		2—6		3—7		4—8		
摆度值	全摆度	上导	−1		0		0		0	
		下导	+5		+2		−3		−5	
		法兰	+3		+2		+1		−2	
		水导	−12		−7		+2		+11	
		主轴密封	−24		−14		+2		+16	
	绝对摆度	下导	+6		+2		−3		−5	
		法兰	+4		+2		+1		−2	
		水导	−11		−7		+2		+11	
		主轴密封	−23		−14		+2		+16	

渔子溪电站 4 号机组水轮发电机改造后采用推力、上导轴承合一的结构,上导至镜板间的距离可忽略不计,机组转速为 500 r/min,机组各部相对摆度值满足《水轮发电机组安装技术规范》(GB/T8564—2003)中的要求。其中,上导、下导及法兰的相对摆度值小于 0.02 mm/m,水导相对摆度值小于 0.03 mm/m,机组轴线调整合格^[2]。

渔子溪电站 4 号水轮发电机改造工程施工结束后,机组开机时各部振动、摆度、温度如表 2 所示。

推力轴承采用塑料瓦,上导、下导、水导采用巴氏合金瓦,各部轴承温度满足《水轮发电机基本技术条件》(GB/T7894—2009)第“6.3 轴承温度”的要求^[3]。

除此之外,渔子溪电站 4 号机组各交接验收试验合格,并于 2019 年 6 月成功并网运行。

6 结 语

结合渔子溪电站实际,对 4 号机组水轮发电机进行改造,将推力外循环冷却结构改为内循环

(下转第 57 页)

落度为 7~9 cm。

(2) 降低混凝土的浇筑温度。① 控制混凝土出机口温度;② 控制混凝土入仓温度;③ 混凝土入仓后及时进行振捣,浇筑人员分为 2 组,每组 6 人,缩短铺料平仓振捣至上层混凝土覆盖前的时间,减少混凝土浇筑过程中温度的回升。根据试验资料,要求在 150 min 之内必须覆盖其上层混凝土。根据计算得知:在出机口温度为 20.35℃的条件下,其混凝土浇筑温度为 22.31℃。

(3) 加强混凝土表面的养护。混凝土浇筑完成后,在其表面先覆盖保温被、喷洒温水后在保温被上覆盖塑料薄膜,以起到保湿保温养护作用。温水的温度需根据混凝土内部测温计测得的温度减去 20℃。温水采用直流式热水器加热,采用淋浴喷头喷洒,需要保证混凝土表面一直处于湿润状态。根据《水利水电工程施工手册》(2002 版),当混凝土顶面铺一层保温材料后,其混凝土表面温度比气温高 10℃,因此,当洞内气温为 23℃时,则混凝土表面温度为 33℃。

(4) 加强混凝土浇筑过程中的温度监测。在混凝土浇筑过程中,派专人在拌和站监测气温、混凝土出机口温度并做坍落度试验,取样制作试块,观察混凝土的和易性,随时反映混凝土的拌和质量,如有质量问题需随时向监理人员报告。同时,在厂房施工现场测试气温、塌落度、入仓温度、浇

~~~~~

(上接第 29 页)

表 2 渔子溪电站 4 号机组开机各部  
振动、摆度、温度统计表

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 上导摆度 / $\mu\text{m}$        | 128  |
| 下导摆度 / $\mu\text{m}$        | 139  |
| 水导摆度 / $\mu\text{m}$        | 104  |
| 上机架振动 / $\mu\text{m}$       | 34   |
| 下机架振动 / $\mu\text{m}$       | 22   |
| 顶盖振动 / $\mu\text{m}$        | 19   |
| 上导最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 54.8 |
| 推力最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 28.8 |
| 下导最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 49.1 |
| 水导最高瓦温 / $^{\circ}\text{C}$ | 57.6 |

冷却结构,优化了机组结构,且省去了机组大修后开机试验过程中推力冷却器滤网清扫工作,节约了开机试验时间。除此之外,避免了机组运行过程中因滤网堵塞引起的推力瓦温高的缺陷,减少了机组运维工作量。

渔子溪电站 4 号水轮发电机改造后机组各部振动、摆度、温度均在国家标准范围内,改造质量

筑温度,建立气温、出机口温度、塌落度、入仓温度之间的相关关系。

在混凝土养护期间,一定要监测混凝土表面温度和混凝土内部温度,充分掌握混凝土内外温度变化情况。

4 结 语

仙居抽水蓄能电站混凝土施工高峰期正值夏季高温期,通过对混凝土原材料、混凝土的拌和、运输、浇筑、养护等工序采取相应的措施进行温度控制,达到了控制混凝土入仓温度的目的,保证了混凝土的浇筑质量,取得了较好的效果,节约了工程成本,经过三年多时间的发电运行,验证了厂房混凝土温度控制设计的可行性,其质量得到了实践的检验。

参考文献:

[1] 全国水利水电施工技术信息网, 组编. 水利水电工程施工手册[M].北京:中国电力出版社,2002.

[2] 水利水电工程施工组织设计,SL303—2017[S].

[3] 混凝土外加剂,GB8076—2008[S].

[4] 用于水泥和混凝土中的粉煤灰,GB/T 1596—2017[S].

[5] 大体积混凝土施工规范,GB50496—2018[S].

作者简介:

林志旺(1987-),男,湖南株洲人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

杨 葛(1990-),男,湖北曾都人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

满足要求。渔子溪电站 4 号水轮发电机作为映秀湾电厂第一台改造发电机,其成功改造为映秀湾电厂另外 10 台机组发电机改造提供了宝贵经验,也为国内其他相似机组改造提供了参考。

参考文献:

[1] 电监会,关于吸取俄罗斯萨扬水电站事故教训进一步加强水电站安全监督管理的意见,2010 年 2 号.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,水轮发电机组安装技术规范(GB/T8564—2003),2003.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,水轮发电机基本技术条件(GB/T7894—2009),2009.

作者简介:

谈泰权(1991-),男,重庆奉节人,工程师,硕士研究生,从事水力机械技术与管理工作;

王昌林(1974-),男,四川华蓥人,高级工程师,学士,从事水力机械技术与管理工作;

秦泰松(1964-),男,四川崇州人,高级工程师,学士,从事水力机械技术与管理工作。

(责任编辑:卓政昌、吴永红)