

铜街子水电站机组定子测温电阻改造研究

谢 斌

(国电大渡河检修安装有限公司,四川 乐山 614900)

摘 要:笔者对铜街子水电站发电机组参数和定子测温的电阻概况进行介绍,分析定子测温电阻故障原因,然后提出针对铜街子水电站 13F 机组定子测温电阻的整改方案,并对该改造方案的改造效果进行科学的评估。改造后的相关数据表明:更换后的线圈测温的测点可以较好地反映相关定子线圈的温度变化情况。但是,定子铁芯的温度变化比较慢,只有在 1/4 负荷的时候能相对准确地反映相关温度变化。其他负荷情况下的温升差距比较大,主要是由于测温电阻安装在通风沟内,但是不影响实际的使用,有经验的人员能够根据自身经验判断定子铁芯的实际温度。测温电阻更换改造完毕后,机组温升和带固定负荷试验显示效果良好,能满足现场运行人员监控机组运行状况的要求。

关键词:铜街子水电站;定子测温电阻;改造;测温电阻

中图分类号:TV74;TM54;U472.7

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2020)04-0103-04

Study on Modification of Temperature Measurement Resistor of Generator Stator in Tongjiezi Hydropower Station

XIE Bin

(Guodian Dadu River Maintenance & Installation Co., LTD, Leshan, Sichuan, 614900)

Abstract: It introduces the generator unit parameters and stator temperature measurement resistor of Tongjiezi Hydropower Station, analyzes the fault reasons of stator temperature measurement resistor, and then puts forward the modification scheme for the stator temperature measurement resistor of 13F generator in Tongjiezi Hydropower Station, and makes a scientific evaluation on the modification effect of the scheme. After the modification, the relevant data show that the replaced temperature measurement points of the coil can better reflect the temperature change of the related stator coil. However, the temperature change of stator core is relatively slow, only when 1/4 load can reflect the relative temperature change accurately. The temperature rise difference under other loads is relatively large, mainly because the temperature measuring resistor is installed in the ventilation ditch, but it does not affect the actual use, because the experienced personnel can judge the actual temperature of stator core according to their own experience. After the replacement of temperature measuring resistor, the generator temperature rise with fixed load test shows good effect, which can meet the requirements of operators to monitor the operation of the generator.

Key words: Tongjiezi Hydropower Station; stator temperature measurement resistor; modification; temperature measurement resistor

1 概 述

铜街子水电站位于四川省乐山市境内,系大渡河开发的最后一个梯级电站。电站内原装 4 台单机 15 万 kW 轴流转浆式水轮发电机组,首台机组于 1992 年 10 月投产,其他机组陆续在 1994 年全部投产发电。该电站于 2012 至 2016 年间进行了增容改造,改造后单机容量增加到 17.5 万 kW。以 13F 机为例,改造后发电机型号为 SF175

—68/12 800,额定容量为 205 900 kVA,额定电压均为 13.8 kV,额定电流为 8 614.2 A,额定转速为 88.2 r/min,定子槽数 Z 为 612,极数 2P 为 68,每相并联支路数 a 为 3,相数为 3 相,连接方式 4Y(波绕组),绕组节距 Y=1-9-20,发电机旋转方向为俯视顺时针方向,发电机使用的定子测温电阻为东方电机厂配套提供。

2 定子测温电阻

目前,国内广泛采用热电阻传感器对发电机

定子温度进行测量,其主要基于电阻的热效应原理,代表型号有 Pt_{100} 和 Cu_{50} 两种。根据水轮发电机组运行特征和制造工艺,国内水电站所用的测温元件基本上均采用 Pt_{100} ^[1]。铜街子水电站每台机组增容改造前原埋设的定子测温元件为 Pt_{100} 和 Cu_{50} 两种电阻,引出线为3线制、网状屏蔽。每台机组定子测温元件共埋设24个测点,各测点汇集到各机组风洞内的端子箱后,由屏蔽电缆引到机旁盘的温度巡测装置,能实时监测发电机定子的温度及机组运行状况,以便出现定子温升高、单相运行、匝间等异常情况的时候能够及时发现并排除故障。

但在机组陆续投产后,经过4~5年的运行,铜街子水电站各台机组定子测温电阻损坏量超过1/3,有的机组损坏率甚至达到了百分之50以上。以13F发电机为例,其定子测温电阻有7~8个测点时常出现温度突变,个别测点温度不随机组负荷变化而变化。由于水电站工作环境复杂,不能及时对损坏电阻进行更换,严重影响了运行人员对发电机运行状况的监测,造成比较严重的安全隐患。

3 定子测温电阻故障原因分析及解决方法

通过对测温元件选型及机组运行情况等的综合分析,得出定子测温点损坏原因:一是测温元件采用铂丝绕制而成的铂热电阻,元件与引线通过锡焊焊接,该种元件铂丝和引线电缆过细,在高温和振动环境下容易断裂和接触不良^[2]。二是运行环境恶劣。定子测温电阻埋设在定子线棒底部,传感器及其导线长期处在温度较高的环境里并时刻承受冷却风流的冲击和机组振动的影响。机组上导及推力油盆的渗漏油长期腐蚀电阻引出线,传感器及导线在这样的环境中长时间运行,就会出现测温元件损坏、电缆在电阻根部折断、导线绝缘老化、开裂等问题^[3]。

原有测温元件损坏后,最好的解决方法是将定子线圈拆出,在原埋设位置重新设置新的测温元件,并适当增加备用电阻。以增容改造为契机,铜街子水电站从2012年开始将每台机组原来使用的定子测温电阻进行了更换,将原来的定子测温电阻替换为光刻溅射工艺制作的 Pt_{100} 芯片,型号为WZPD,这类芯片的漂移很小,长期稳定性高,而且抗冲击和振动。芯片引脚采用铂镍合金

可以保证焊接后引线的机械性能,避免引线线在传感器内断开。同时,适量增补2J₂₀₄₉型 Cu_{50} 铜热电阻作为备用,使运行人员更好地掌握机组运行状况,保证机组更加安全、稳定、健康地运行。

4 铜街子水电站13F机组定子测温电阻改造方案

笔者以铜街子水电站13F机组为例对水电站的定子测温电阻改方案进行详细的介绍说明。定子测温电阻的改造主要分为定子线圈测温电阻的更换和定子铁芯测温电阻的改造两部分。根据测温需要,共需埋设120个测温电阻,包含72个 Pt_{100} 和48个 Cu_{50} 电阻,其中,上、下压指12个(Pt_{100}),上、下铁芯12个(Pt_{100}),槽底中部24个(12个 Cu_{50} ,12个 Pt_{100}),层间上部24个(12个 Cu_{50} ,12个 Pt_{100}),层间中部24个(12个 Cu_{50} ,12个 Pt_{100}),层间下部24个(12个 Cu_{50} ,12个 Pt_{100})。在定子槽底中部和层间中部设置了24个测温监测点(表1),此埋设方式使测温电阻均匀布在槽中,既能了解定子上整体温升情况,也能

表1 铜街子水电站13F定子测温电阻测温监测点分布情况

序号	相别	安装位置	所在槽号	电阻材质
1	U	层间中部	55	Pt_{100}
2	U	槽底中部	64	Pt_{100}
3	W	层间中部	104	Pt_{100}
4	W	槽底中部	113	Pt_{100}
5	V	层间中部	160	Pt_{100}
6	V	槽底中部	170	Pt_{100}
7	U	层间中部	208	Pt_{100}
8	U	槽底中部	217	Pt_{100}
9	W	层间中部	257	Pt_{100}
10	W	槽底中部	266	Pt_{100}
12	U	层间中部	313	Pt_{100}
13	V	槽底中部	322	Pt_{100}
14	U	层间中部	361	Pt_{100}
15	V	槽底中部	370	Pt_{100}
16	W	层间中部	410	Pt_{100}
17	W	槽底中部	420	Pt_{100}
18	V	层间中部	466	Pt_{100}
19	V	槽底中部	476	Pt_{100}
20	U	层间中部	514	Pt_{100}
21	U	槽底中部	524	Pt_{100}
22	W	层间中部	563	Pt_{100}
23	W	槽底中部	573	Pt_{100}
24	V	层间中部	7	Pt_{100}

反映出定子各部分温升情况^[4]。同时,96个备用

点也能充分满足测温点损坏后能得到及时更换的要求。测温电阻布置见图 1。

Pt100																														
电阻线圈编号	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72																		
所在槽号	47	47	152	152	248	248	353	353	459	459	554	554																		
所在位置	上压指	下压指	上压指	下压指	上压指	下压指	上压指	下压指	上压指	下压指	上压指	下压指																		
Pt100																														
电阻线圈编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
所在槽号	55	76	64	104	113	160	178	170	208	217	257	280	266	313	322	361	382	370	410	420	466	484	476	514	524	563	586	573	7	16
所在位置	层上	上铁	槽底	层上	槽底	层上	上铁	槽底	层上	槽底	层上	上铁	槽底	层上	槽底	层上	上铁	槽底	层上	槽底	层上	上铁	槽底	层上	槽底	层上	上铁	槽底	层上	槽底
	层中	下铁		层中		层中	下铁		层中		层中	下铁		层中		层中	下铁		层中		层中	下铁		层中		层中	下铁		层中	槽底
	层下			层下		层下			层下		层下			层下		层下			层下		层下			层下		层下			层下	
Cu50																														
电阻线圈编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
所在槽号	74	81	122	131	178	188	226	236	275	285	330	340	380	388	428	438	484	494	532	542	581	590	25	34						
所在位置	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底	层上	槽底						
	层中		层中		层中		层中		层中		层中		层中		层中		层中		层中		层中		层中							
	层下		层下		层下		层下		层下		层下		层下		层下		层下		层下		层下		层下							

图 1 铜街子水电站 13F 机组定子测温电阻布置图

4.1 定子线圈测温电阻的更换

由于之前水电站使用的定子线圈测温电阻是由东方电机厂生产的,因此,在更换发电机定子线圈测温电阻之前首先要与电机厂进行沟通交流,确定最终的更换流程。

4.1.1 拆除线棒

由于铜街子 13F 发电机涉及增容改造,线棒均需更换,定子线圈测温电阻也将全部更换。将上、下层线棒拆除完毕后,最重要的是把层间的测温电阻取出来,将铁芯槽、连接板和连接接头等清理干净,以便后期把新的测温电阻安装到位。

4.1.2 安装层间测温电阻

测温电阻在安装之前要用 1235 低电阻半导体漆进行涂刷,然后,测量其对地电阻,确保对地电阻高于 20 MΩ 才能使用。对照图纸确定槽底中部、层间、层中、层下电阻安放位置,为放线做好准备。在定子下第一层线棒前放置槽底中部测温电阻;在第一层线棒放好后,第二层线棒下线前放置层间上、中、下部电阻。在安装的时候,要将电阻的引线接头错开,接头安装固定后需用锡焊进一步加固。然后,把固定好的测温电阻安装到线棒的上下层之间,用定向玻璃再次固定。最后,再对测温电阻的接地电阻进行测量确认,并对线路回路进行检查,避免出现断路或者短路的情况。

4.1.3 上层线棒等零部件的安装固定

将测温电阻安装好以后,需要再把新的上层线棒安装到位。在安装上层线棒到时候,要注意

准确定位以及压条、垫条的使用。另外,要注意线棒安装后的固定以及合理间隙的控制,避免出现安装错位或者安装不牢固的情况。镶嵌到位之后,需要对上层线棒进行焊接,该过程要注意绝缘部位的包裹、线棒端部的保护、焊接后的修正及保护,避免外界的金属颗粒进入。

4.1.4 定子测温电阻接地

由于发电机定子改造时间过长,在此期间,会对已安放好的定子线棒做交流耐压试验。因此,需要将所有测温电阻接地,以防止测温电阻被高电压击穿,导致测温电阻损坏。

4.1.5 定子测温电阻焊接

定子电阻放置完毕后,从定子机座上方放置测温电缆线,在电缆线两端系上白布带,并写出对应电阻槽号,为上线和焊接做准备。将测温电阻引出线与测温电缆线剥出,用电烙铁将两端焊接在一起,可使用松香使其焊接牢固,焊接好的测温线用自黏带分别包好,再用玻璃丝带分别包好,最后用白布带将电缆线包好,用扎带扎牢固。所有步骤都需要注意不能让金属线外露,保证绝缘良好。

测温电阻焊接完毕后,将电阻线用牛皮纸包扎在定子机座支撑柱上。包扎时注意要顺着机组转动方向包扎好,防止机组运行时产生的风将测温线吹散。最后,将测温线从测温引线出口处顺势扎牢固,接在测温端子箱中。

4.1.6 更换质量检测与试验

将发电机恢复到正常状态之后要进行三相直流电阻的平衡试验,最终要确保任意两相直流电阻的差值要在平均值的98%以下;另外,还要对绝缘电阻值进行测量,确保符合基本要求。最终要按照对发电机进行大修的标准来检验发电机运行的相关性能,确保更换定子线圈电阻后的质量符合基本条件。

4.2 定子铁芯测温电阻的改造处理

定子叠片时,要先预留出安装上、下铁芯测温电阻的位置,定子叠片完毕后,放置上、下铁芯测温电阻,只需要把新的测温元件安装到发电机铁

芯共轭的通风槽里面,一共需要安装12个新的测温元件。定子铁芯测温元件放置位置见图2。图中“A”符号代表视图方向,“A-A”表示从A方向看过去形成的测温元件侧视图,“B”符号也代表视图方向,“B-B”表示从B方向自上而下看过去形成的测温元件俯视图。定子铁芯测温电阻放置在铁芯中段背部通风槽内。放置铁芯测温电阻的通风槽应选择对应槽部,且没有定位筋和拉紧螺杆的通风槽。测温元件一侧面应与通风槽钢(图2)贴紧,上、下应与通风槽片黏牢,其余按定子测温装置规定执行^[5]。

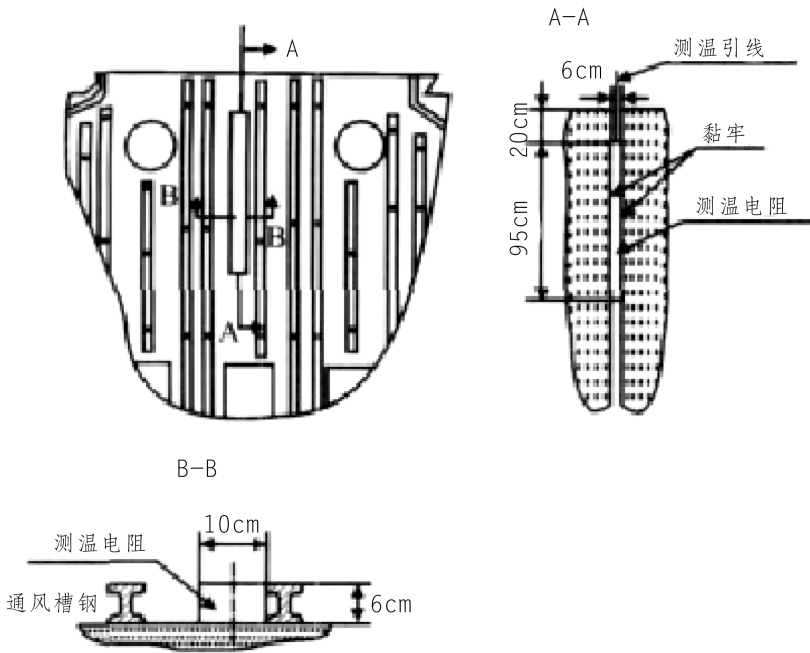


图2 定子测温元件位置示意图

具体的步骤如下:首先要把发电机的冷却器拆除,然后,从定子铁芯背面的通风口的位置把需要安装的12个测温电阻依次塞到里面,需要专用的楔块工具。同时,涤纶毡在塞入之前要用环氧树脂浸渍,才可以堵住通风沟,有效避免铁芯位置温度测量的误差。因为如果不堵住通风沟,冷却风就会降低定子的实际温度,导致温度测量不准确。

5 改造效果评估

为更好地反映测温电阻所改造地方的效果,需采用两种不同的对比方式来说明。通过监控报表系统收集发电机运行中的各种数据,选择不同的对比方式来说明改造的具体效果。第一种方法是对比机组温升数据,通过对比改造前后,发电机

在零负荷、1/4负荷、1/2负荷、3/4以及满负荷的状态下的相关数据来对比测温电阻改造的效果。第二种方式是对于在负荷相对不变且都是工作3h的前提下对比机组产生的相关数据。

根据相关数据显示,两种对比方式都表明:更换后的线圈测温的测点可以较好地反映相关定子线圈的温度变化情况。但是,定子铁芯的温度变化比较慢,只有在1/4负荷的时候能相对准确地反映相关温度变化。其他负荷情况下的温升差距比较大,主要是由于测温电阻安装在通风沟内,但是不影响实际的使用,有经验的人员能够根据自身经验判断定子铁芯的实际温度。

(下转第119页)

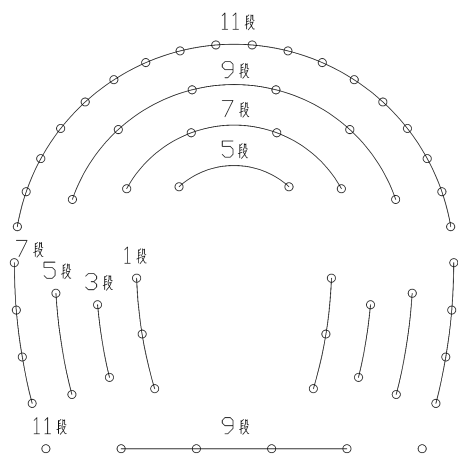


图 7 光面爆破钻孔布设图

径小于 5 m 时,只需要在 V 类围岩进行监测,西藏地区围岩监测范围可以适当扩大,在 IV、V 类围岩均需进行现场必要监测。总之,监测范围必须高于标准并严于内地。

5 结 语

施工中经常遇到软岩,软岩的强度低、变形大、水理性差是软岩的突出特征,是一个棘手的工程地质问题。在西藏许多工程实践中,都遇到了软岩变形、软化、泥化和冻融等问题。笔者以西藏

(上接第 106 页)

6 结 语

笔者对铜街子水电站发电机组参数和定子测温的电阻概况进行介绍,分析定子测温电阻故障原因。然后,提出针对铜街子水电站 13F 机组定子测温电阻的整改方案,并对该改造方案的改造效果进行科学的评估。铜街子水电站 13 号发电机定子测温电阻改造顺利完成后,各测点工作正常,系统稳定,对机组运行工况能起到良好的监视作用,改造效果良好。本研究提供的定子测温电阻改造方案,同样能成功用于铜街子电站其余 3 台机组。目前铜街子水电站 4 台机组定子测温电阻改造后已经平稳运行 4~5 年,说明系统性更换和增补测温电阻是解决机组定子测温电阻损坏的一种比较成熟与合理的方案,为其他电站机组

某水利工程为例,进行软岩软化性能研究,对施工过程中产生的超挖、严重泥化、工期延长和质量隐患等进行分析,有针对性地采取措施,严格爆破施工、及时封闭围岩、加强集中和随机排水、预留保护层、加强现场监测等,保证了工程的顺利推进,节约了施工成本。

参考文献:

[1] 张倬元,等. 工程地质探索与开拓[M]. 成都:成都科技大学出版社,1996. 1.
 [2] 徐志英,等. 岩石力学[M]. 北京:水利电力出版社,1985. 11.
 [3] 朱汉华,等. 隧道预支护原理与施工技术[M]. 北京:人民交通出版社,2008. 10.
 [4] 苏自约,闫莫明,徐祯祥,等. 岩土锚固技术与工程应用[M]. 北京:人民交通出版社,2004. 9.
 [5] 汪旭光,郑炳旭. 爆破手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2010. 10.

作者简介:

高 静(1984-),女,河南新乡人,学士,从事水利水电工程施工技术和应急救援等工作;
 周志东(1969-),男,湖南新化人,博士,从事水利水电工程施工、市政公路工程施工和爆破工程施工方面的工作;
 石伟伟(1982-),男,四川江油人,学士,从事水利水电工程施工和市政工程施工方面的工作。

(责任编辑:吴永红)

定子测温电阻改造提供了重要的参考依据。

参考文献:

[1] 邹祖冰. 发电机组用测温 RTD 技术条件及故障对策探讨[J]. 人民长江,2014,45(12):100-102.
 [2] 辜骏驰. 潮州供水枢纽西溪电站 2 号机组定子新增测温点改造[J]. 科技风,2017,(25):171+180.
 [3] 叶超平,陈喜新. 发电机定子测温元件老化的补救措施[J]. 华电技术,2011,33(06):52-53.
 [4] 何定贤,石 珍. 电机定子测温电阻的埋置[J]. 爆炸性环境电气防爆技术,1997,(01):23-24.
 [5] 陈 琼. 水电站发电机定子测温电阻更换改造[J]. 广西电力,2011,34(6):65-67.

作者简介:

谢 斌(1989-),男,四川峨眉人,助理工程师,从事水电站热工仪表校验工作。

(责任编辑:吴永红)