

文章编号:1001-4179(2015)09-0094-04

水电站机组励磁系统故障分析及应对措施

王 刚, 赛海妮

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘要:对官地水电站水力发电机组励磁系统的结构和功能作了介绍,并以该水电站大型整流装置在实际运行中出现的一次可控硅击穿事故为例,重点对由于励磁可控硅击穿所导致的整流柜烧毁事故的起因、过程展开了分析研究。根据现场设备受损情况和继保设备的记录数据,在合理分析发生事故原因的基础上,提出了相应的事故处理和预后措施。对处理后的设备进行了试验,试验结果表明,设备状态已完全恢复,说明所采取的处理措施有效、合理,可为预防水电站出现类似故障,确保大型水力发电机组励磁系统安全稳定运行提供有益的借鉴。

关 键 词:整流柜;可控硅;励磁系统;应对措施;官地水电站

中图法分类号:TK731

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.022

官地水电站是雅砻江水电基地的主要电源点之一,与上游的锦屏一、二级水电站一起作为一组电源,承担着“西电东送”的重要任务。水电站生产的电力主要提供给川渝和华东地区。水电站总装机容量为 2 400 MW,已经于 2013 年全部投产,年平均发电量 110 亿 kW·h 左右。

作为发电机的励磁功率单元,官地水电站的励磁系统采用的是可控硅整流装置。可控硅作为整流装置的核心部件,在设计制造时就已对其设置了多重保护。为防止可控硅发生击穿故障,同时考虑到在过热、过流、过电压等情况下的承受能力,对整流装置设有散热器、快熔保护回路以及阻容保护回路,且采用了冗余配置^[1-3]。在这样的防护条件下,可控硅发生击穿的概率很小,即使可控硅发生故障击穿,保护系统也能及时地切除故障而不会影响整流装置继续运行。然而,发生在官地水电站的一次可控硅击穿事故却将整个功率柜烧毁,可控硅的多重保护均未奏效,造成了严重的经济损失。因此,有必要深入探究其事故原因,以供相关整流装置制造、维护企业参考。

1 励磁系统介绍

1.1 励磁系统概述

官地水电站励磁系统采用的是自并励静止可控硅

整流励磁系统,该系统由国电南瑞科技股份有限公司提供。主要由励磁变压器柜、交流隔离开关柜、整流柜(4 个)、直流灭磁开关柜、直流隔离开关柜、非线性电阻柜、辅助柜以及调节柜组成,其中调节柜、整流柜系采用原装进口设备,调节器型号为 SPPA-E3000-SES500。

1.2 励磁系统功率柜功能及特点

1.2.1 功率柜主要元器件

功率柜的核心设备是可控硅整流装置。可控硅采用德国英飞凌(EUPEC)提供的 T1971N 大功率相控晶闸管,冷却系统采用分散式,每个整流柜配备有 2 台离心风机。

1.2.2 功率柜功能及特点

在正常情况下,采用 4 个整流桥并联运行。当其中的 1 个整流桥发生故障时,设备仍能满足各种运行工况的要求,包括强励;当 2 个整流桥发生故障时,可以满足发电机在额定负荷情况下的励磁要求,自动限制强励;当 3 个整流桥发生故障时,会发出跳闸、灭磁信号。

在正常运行时,起励令发出后,2 台离心风机都投入运行,转速为额定转速的 50%;当一个风机电源发

收稿日期:2014-12-23

作者简介:王 刚,男,工程师,主要从事水电站运行工作。E-mail:wang_gang0319@163.com

生故障,另一台风机会以 100% 转速投入运行。如果 2 个风机电源均发生故障,那么该整流桥的闭锁脉冲就会退出运行。励磁系统退出运行后,风机延时 30 s 再停。功率柜可连续提供 1.1 倍的额定励磁电流。

整流桥每个可控硅均配置有 1 个阻容保护装置。另外,对整流桥还设有温度监视,每个整流桥均配置有 1 个热敏电阻,当温度达到 80℃ 时就会发出信号报警^[4-5]。

2 整流柜事故过程

2013 年 4 月份的某天,官地水电站机组并网运行。在事故发生前机组并网运行时,有功 150 MW,无功 67.2 Mvar。监控上发出报警“机组水机保护励磁系统内部跳闸(水机 MB+)动作、机组励磁内部故障跳闸、出口开关分闸、励磁灭磁开关分闸、励磁交流隔离开关分闸、调速器急停阀动作,机组机械事故停机操作(流程自启动)”的信号,机组因此事故停机。在随即开展的现场检查中,发现励磁系统 1 号功率柜冒烟、励磁调节柜故障指示灯在一次侧点亮。检修人员打开柜门后,发现 1 号整流桥已被完全烧毁,造成交流灭磁开关连接铜排明显灼伤、16 只快熔熔断、调节柜触摸屏及部分二次元件损坏,其余元器件工作正常,见图 1。

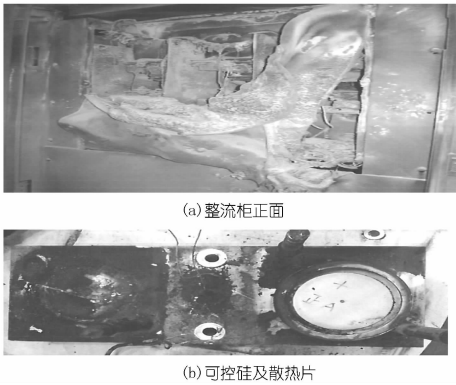


图 1 励磁系统整流桥烧毁现场

事后将 1 号整流柜解体,对可控硅及散热片进行解体检查和测量,检查结果列于表 1。除正 A 相可控硅外,其余可控硅均被完全击穿,且 V2 可控硅触发线和触发极有烧痕,测得负 C 相脉冲变压器二次侧短路。

为了便于分析,将三相桥式可控硅整流电路简化为图 2 所示的等效电路,结合故障录波器的波形图,对事故过程展开分析。

(1) T1 ~ T2 时段,V4、V5 触发,CA 相导通,励磁电压波形正常。

(2) T2 ~ T3 时段,正常应为 V5、V6 触发使 CB 相

导通,然而此时由于负 C 相 V2 可控硅突然击穿短路(该时刻没有触发脉冲),导致电流改由负 C 相流向负 B 相,即在 BC 相之间形成短路,造成励磁变副边 B 相和 C 相电流突然增加。

表 1 可控硅现场检查结果

可控硅	外观检查	测量
正 A 相 V1	表面烧损	PN 结片未击穿,触发极、内部触发线完好
负 A 相 V4	表面无烧痕,散热片与可控硅接触面有烧痕	PN 结片击穿,触发极、内部触发线完好
正 B 相 V3	外观正常	
负 B 相 V6	表面无烧痕,散热片与可控硅接触面有烧痕	
正 C 相 V5	外观正常	
负 C 相 V2	外观正常	PN 结片击穿,触发极有烧痕、内部触发线损坏

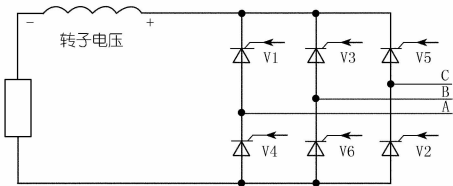


图 2 可控硅整流桥原理接线

(3) T3 ~ T4 时段,正常应为 AB 导通后 AC 导通,但由于负 C 相 V2 击穿短路,C 相电压低,该时段内 AC 相一直形成回路。

(4) T4 ~ T5 时段,BC 相导通,励磁电压波形正常。

(5) T5 ~ T6 时段,应为 BA 相导通,由于负 C 相 V2 击穿,A 相和 C 相短路电流迅速增加,短路电流峰值达到 10 kA 以上。

(6) T6 ~ T7 时段,应为 CA 向导通,但由于 V2 击穿,使 AC 相短路。

(7) T7 时刻,正常应为 CB 相导通,但此时 BC 相均短路。此后 A 相可控硅在 T7 ~ T10 时段内(约 60 ms)正常导通/关断,C 相、B 相可控硅相继击穿,最终形成三相短路,造成 1 号功率柜烧毁。

在认真收集现场照片及录波数据的基础上,推测该事故起因是由于整流桥负 C 相 V2 可控硅击穿,继而引发连锁反应,造成短路过流击穿其余可控硅。虽然可控硅的快熔可靠熔断并发信断开电源,但由于柜内大量灰尘引起的绝缘降低以及爬电距离缩短,造成了此次事故扩大,将整流柜完全烧毁。

3 事故原因分析

经过现场分析,认为 V2 可控硅被击穿可能由以下因素所导致。

(1) 可控硅在运行过程中发热受损,在换相时被击穿。

(2) 可控硅触发极产生过电压而被击穿。

事故的发生正值工程投产初期,通风系统还未形成,在设备的运行环境中漂浮有大量的灰尘,且在风道入口的滤网上以及柜内可控硅上也有大量灰尘附着,这些灰尘降低了风道内的风速,同时也增加了柜内散热片的热阻,从而造成可控硅在运行中严重发热。可控硅若发热严重就会引起受损,并致使各方面性能严重下降。再者,V2 可控硅在由 CA 导通向 CB 导通换相过程中,其上会叠加一个换相过电压,这对于因发热受损的可控硅有着致命的威胁,可能会引起 C 相电压通过 K 极向 A 极击穿。因此,首先推测此次事故是由可控硅发热受损和换相过电压所造成的综合结果。

整流桥内可控硅均设有阻容过压保护回路,在事后的检查中,整流桥阻容保护中的电阻、电容无一损坏,测量参数正常,阻容保护回路检查未接地。另外,根据现场调取的录波记录,故障前,1 号整流桥输出电流 500 A,而可控硅 60℃ 时的额定通态平均电流为 2 360 A,85℃ 时的额定通态平均电流是 1 730 A,均大于故障时的整流桥输出电流 500 A。功率柜内每个可控硅散热片上均装设有温度传感器,超过 80℃ 即超温报警。温度报警回路经后期检查也无异常,故障前后 6 个可控硅均没有超温报警信息,因此不存在可控硅及散热器长期温度偏高运行的现象,而且 T1971N 型可控硅正常运行温度范围为 -40℃ ~ 125℃,因此第一种可控硅击穿原因的可能性较小。

在对可控硅进行解体后检查烧毁痕迹时,检查到 V2 可控硅触发极有明显烧弧痕迹,并发现其脉冲线上有绝缘破损处,测量 V2 的脉冲变压器二次侧已短路。经排查整流柜内脉冲线布置,发现其沿可控硅散热片表面走线,而可控硅散热片因与 A 极相连,其电压为 A 极电压,即为整流桥的负极电压。因地下厂房投产初期空气粉尘含量大,脉冲线与带高压的散热片在灰尘污染情况日益严重的情况下,爬电距离逐渐增大。因此推测在 T2 ~ T3 时段,励磁变低压侧电流由 C 相向 B 相正常导通时,脉冲线与 A 极发生击穿短路,散热片所带高压窜入脉冲线,形成短路回路。短路造成的大电流,从励磁变 B 相流出,穿过脉冲变二次线圈,经脉冲线流向直流负极,最后流回励磁变 C 相,见图 3。

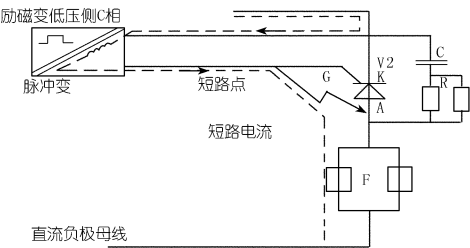


图 3 可控硅脉冲线与阳极短路示意

大电流使脉冲变二次侧产生高电压,瞬间造成 V2 触发电压过大击穿可控硅,同时大电流也烧毁了二次侧线圈。可控硅的快熔虽在事故中熔断,但由于柜内受到灰尘的污染,显然没有起到完全隔断故障点的作用,因而造成了长时间短路继而使事故扩大。经对照现场损坏的设备并进行分析,认为这种可能性较大。

4 故障处理方案

(1) 隔离整流柜。因设备受损严重,弃用 1 号整流柜、保留其余 3 柜正常投入运行,3 柜运行能满足机组额定及强励运行工况。因此,通过断开交直流连接电缆和触发脉冲的方式,将 1 号整流柜从主回路中隔离,对破损的控制电缆进行包扎绝缘处理。

(2) 上电检查。对励磁系统重新上电,确认励磁调节器正常后,分别对其余整流柜进行小电流试验,对灭磁及过压回路展开了分段逻辑试验,并检查起励、灭磁开关分合闸等回路。对励磁变压器进行预试、绝缘检查、直阻测量和耐压检查后,确认励磁系统已恢复正常。之后机组重新开机,进行零起升压、均流系数测量、温升试验和空载试验,在试验结果正常以后,机组即恢复正常运行。

(3) 更换处理。具备条件以后,在现场对 1 号整流柜实施更换处理。在新设备接线完成后,必须进行装置送电、风机试验、模拟量和数字量校验、功能模拟、测量回路校验、小电流、开关分合闸试验,直至试验结果正常。

5 应对措施

5.1 维护措施

(1) 脉冲线绝缘防护。上文已指出可控硅击穿的直接原因是其脉冲线窜入高压。事后对其他可控硅脉冲线开展了绝缘检查,并在脉冲线上增加绝缘套管,以消灭高压窜入的可能性。

(2) 定期除尘。可控硅、脉冲变等元件积尘可能引起接头之间的放电、局部短路,同时,元器件引线的积尘(特别是金属性灰尘)也容易引起接头之间的放电、短路。另外,如果灰尘量过大容易造成风道堵塞,这样不利于功率柜散热。因此,必须定期对整流柜滤网进行更换并利用内窥镜来观察柜内的积尘情况,以便在对设备检修时进行全面清扫,保持柜内良好的通风环境。

(3) 修改保护定值。事故过程中,励磁变过流保护动作整定时间为 5 s,不能起到有效的保护作用。通过分析计算,增加励磁变限时速断保护,整定时间设为 0.1 s,这样能有效迅速地切除故障,并限制事故的进

一步发展。

5.2 运行措施

(1) 日常巡检。运行人员在日常巡检过程中应对励磁系统进行重点巡视,必须做到对重点部位仔细巡视,在汛期机组大发电期间,应注意观察励磁系统的温度,并将观测到的情况同监控系统的监测结果进行对比分析。同时,在机组检修结束后,应和检修人员一起对励磁功率柜的内部进行检查,保证励磁功率柜内部的卫生。

(2) 合理安排机组运行方式。在机组故障消除后,对发生的事故机组要合理安排运行方式。由于励磁系统更换了重要设备,因此在调整机组无功、进相和迟相运行时,必须注意观察其变化情况,并与其他机组的状况进行对比分析。必须定期对机组运行方式进行调整,以确保故障机组在实施维护后可以正常运行。

6 结 语

目前国内自并励励磁装置中的整流柜在运行中发生烧毁的事件并不多见,从烧毁的事故现场找出分析依据存在着有较大的难度,因此,必须结合各种部件的

综合情况来分析查找事故原因。文中介绍的导致事故的直接原因是可控硅发生击穿现象,同时由于柜内环境、保护定值以及设备安装等问题,造成了事故的扩大。结合现场设备检查情况和保护设备信息,通过分析排查,从而推测出可控硅的击穿原因,根据分析研究结果,制定了相应的处理方案和今后的应对措施。通过本文实例分析,可以进一步了解整流柜运行和维护中必须注意的问题以及相关试验项目,能为同行分析和处理类似问题提供借鉴。

参考文献:

[1] 廖瑞金,程涣超,陈辉.三峡电站励磁系统换相过电压及其抑制措施仿真研究[J].中国电机工程学报,2007,(21),19-24.
[2] 吴铁群.同步发电机静止励磁装置的故障分析与处理[J].电力建设,2004,(9),19-20.
[3] 何敏杰,陈永强.BL-1型发电机励磁装置可控硅击穿的原因与处理[J].小水电,2003,(6),34-35.
[4] 欧小冬.大型发电机励磁功率整流柜基本参数设计与选择[J].中国水能及电气化,2013,(9),27-30.
[5] 唐建惠,宁涛,栗河川.发电厂励磁系统整流柜的热计算[J].河北电力技术,2011,(3),7-10.

(编辑:赵秋云)

Analysis of excitation system failure of generator units of hydropower stations and its countermeasures

WANG Gang, DOU Haini

(Yalong River Hydropower Development Co. Ltd., Chengdu 610051, China)

Abstract: The structure and function of the excitation system of Guandi Hydropower Station are introduced. Taking a SCR (Silicon Controlled Rectifier) breakdown of the rectifying device in operation of the station as an example, an analysis focusing on the cause and the process of the SCR breakdown that led to a burnout of the rectifier cabinet was carried out. According to the device damage at the scene of the accident and the records in the relay protection device, the countermeasures and prognostic measures were put forward based on the proper analysis of the cause of the accident. A device test after the accident treatment showed that the device was restored to normal state, which proved that the countermeasures were effective and appropriate. These measures can serve as references to prevent similar accidents in hydropower stations and ensure safe and stable operation of the excitation system in large generator-units.

Key words: rectifier cabinet; SCR; excitation system; measures; Guandi Hydropower Station

更 正

本刊 2015 年第 7 期刊登的《长江口局部河段三维潮流数值模拟研究》一文,作者单位信息刊发有误:“1. 江苏金港湾投资有限公司,江苏 边云港 222042”中的“边云港”应为“连云港”,给作者及读者造成了不便,特此更正。

《人民长江》杂志编辑部

2015 年 5 月 6 日