

# 发电机定子线圈烧毁原因分析与处理

贺文静, 黄智雄

(四川嘉陵江小龙门航电开发有限公司, 四川南充 637000)

摘要: 小龙水电站安装的竖井贯流式机组为国内首次试验制造, 在国际上的应用也非常罕见, 运行中不可避免地会逐渐暴露出设计与制造中存在的缺陷。对3号发电机定子线圈烧毁原因进行了分析和总结, 提出了对其余发电机采取的预控处理方法和工艺要求, 可为同类机组类似问题提供借鉴; 同时, 警示同类机组在设计与制造时应加以重视, 从根本上杜绝此类缺陷。

关键词: 线圈; 烧毁; 3号发电机; 分析与处理; 小龙水电站

中图分类号: TV7; TV738; TV734

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)01-0101-04

## 1 概述

小龙水电站位于嘉陵江中游南充市顺庆区和高坪区河段上, 是《嘉陵江苍溪至合川段水电规划》嘉陵江广元至重庆段16级开发方案中的第11级。该工程是一个以开发水电资源和渠化航道、发展航运和地方经济相结合的、兼有美化城市

环境和发展旅游等综合效益的项目。电站安装了4台由东方电机有限公司生产的、亚洲单机容量最大的竖井贯流式机组。该机组由水轮机、增速器和发电机等部件组成, 机组结构示意图与主要技术参数分别见图1和表1。

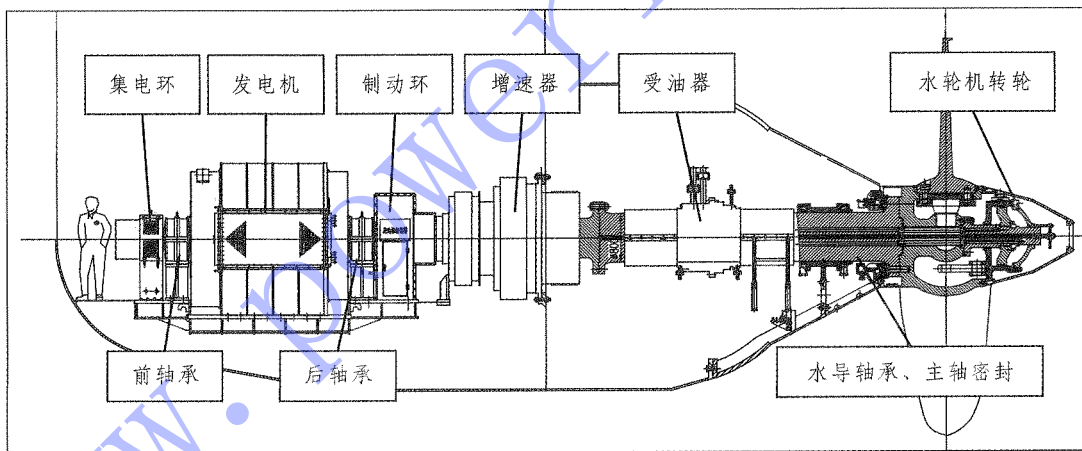


图1 机组结构示意图

表1 机组主要参数表

项目	水轮机型号 GZ1180-WS-650	项目	发电机型号 SFWG13-8/1800
额定出力	13.85 MW	额定容量	14.44 MVA/13 MW
额定水头	5 m	额定电压	10.5 kV
水头范围	3~6.4 m	额定电流	794 A
额定流量	305.9 m <sup>3</sup> /s	发电机额定转速	750 r/min
水轮机额定转速	74.8 r/min	功率因数	0.9 滞后
水轮机飞逸转速	223 r/min(非协联)	励磁方式	可控硅自并励
转轮叶片数	3	绝缘等级	F级
吸出高度	-8 m	增速器变速比	10.027

## 2 故障情况

收稿日期: 2014-07-09

小龙水电站3号机组于2008年12月30日投产。2013年12月9日15时16分(此前机组停机备用26.5 h),运行值班人员在监控系统上位机上执行“停机”至“空转”流程并在其正常后执行“空转”至“空载”流程后发电机保护装置报“差流启动”,机组事故停机。维护人员在发电机互感器柜处测量定子带电缆对地绝缘电阻为零,经检查,电缆没有问题,初步判断定子绕组可能存在缺陷。为尽快判明故障类型并查找出故障点,

在将发电机定子引出线和中性点拆开摇测定子绕组A相和C相绝缘电阻为零;又将发电机上游侧端盖拆除,发现定子引出线接头下部位置有明显的烧坏痕迹,绕组内部油污、碳粉附着较严重(图2),定子机座下部积油严重。经判断,定子A、C两相击穿短路部位位于线圈端部绑扎部分正X偏正Y30°(顺水流方向)。经解体后检查未发现发电机定、转子有划痕。

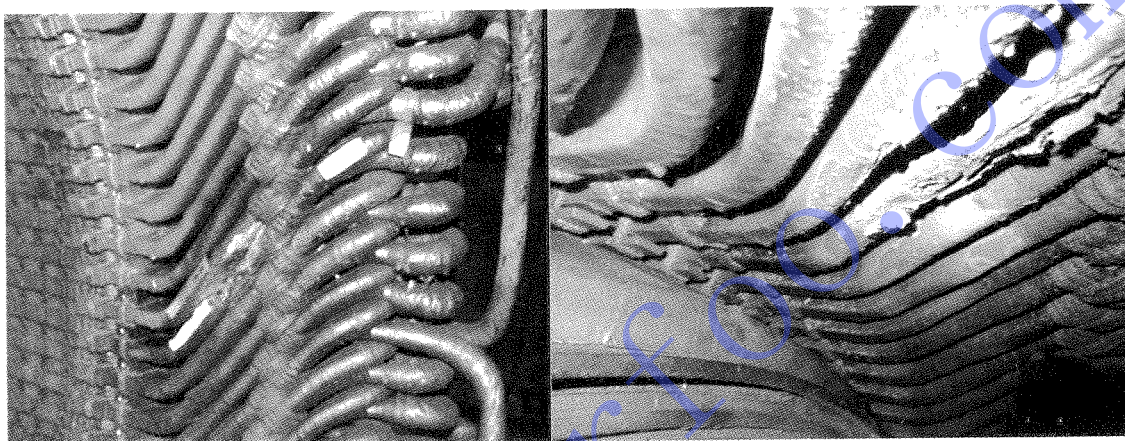


图2 3号发电机定子线圈烧毁情况

### 3 故障产生原因分析

分析发电机定子线圈烧毁的原因需先了解发电机的结构、各部功能原理以及其是否曾经出现过类似问题。

#### 3.1 发电机结构

机组为卧式水平结构布置方式,发电机为高速凸极同步发电机,从上游至下游主要部件依次为集电环、前轴承、定转子及冷却器、后轴承、制动闸。转子两端设置座式滑动轴承,共同承担发电机转动部分的重量,每个轴承油池深约350 mm,轴承与转子相邻端部仅约200~300 mm,整个发电机的正反推力负荷由设于增速器齿轮箱内的正反推力轴承承受。发电机采用开启式通风和外供水冷却方式。

#### 3.2 发电机通风冷却原理

发电机采用开启式自循环混合式通风原理。转子磁轭两端各安装了16只依靠转子旋转产生风力的螺旋桨式风扇用于轴向通风,风的流向为冷风经设置于磁极端部的螺旋桨式风扇加压后轴向进入转子磁极间并与转子磁极旋转压头串联,

与吹拂磁极线圈后的风共同进入气隙,再经过定子通风沟后由铁芯背部流出并在定子机座内部旋转后到达空气冷却器入口,经两个空气冷却器冷却后的冷风进入发电机竖井构成完整的循环回路。发电机冷却系统风流向见图3。

#### 3.3 集电环

集电环直径为500 mm,线速度为19.625 m/s,共布置了22只摩根NCC634碳刷。

#### 3.4 定子线圈曾经出现过的故障

2013年3月,在定子绕组做直流耐压及泄漏试验时绕组端部+Y方向曾出现过放电击穿现象,厂家对该部位进行了重新包扎。

#### 3.5 定子线圈烧毁的原因

从发电机结构原理和通风冷却原理可以看出:发电机前后轴承座油池较浅、容积较小,机组运行期间极易产生油雾,且轴承未设置消除油雾或阻碍油雾外泄的装置;机组停机制动时,制动闸与制动环摩擦产生粉末,制动闸没有粉末回收装置;机组高速运转下,碳刷与集电环摩擦产生碳粉,集电环也没有碳粉回收装置,部分油雾、碳粉

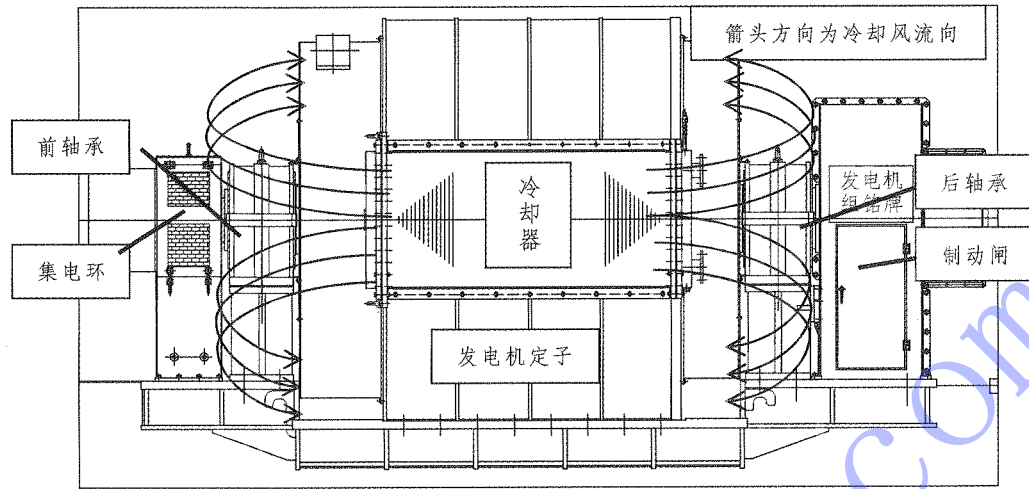


图3 发电机冷却系统风流向示意图

等污物随机组冷却风进入发电机内部而污染定、转子线圈。由于该类型发电机尺寸较小,无法在日常定期维护工作中清扫定、转子上附着的油污和碳粉,随着时间的推移,污染物不断侵蚀定子线圈绝缘,使其绝缘水平逐渐下降,在停机热备用26.5 h后机组开机、定子升压过程中,故障点绝缘外部的电位接近或等于导线电位,此时,处于高电位的不同相引线间即开始放电,直至发生A、C两相绝缘被击穿并短路的故障。由于该定子线圈先后两次出现放电击穿和烧毁事件,因此,初步判断本次线圈烧毁的另一个可能的原因是定子线圈局部绝缘薄弱。由于解体检查时未发现定、转子

有划痕,故在故障原因分析时没有再考虑异物(包括磁性异物)破坏绝缘的情况。

#### 4 处理措施

##### 4.1 3号发电机的故障处理情况

(1) 定子线圈的故障处理情况。原计划采用备品线圈更换烧坏的定子线圈。但在实施过程中因定子线圈油污、碳粉污染较严重等原因,厂家最终决定更换全部定子线圈。

(2) 发电机其余部位的故障处理情况。

①将硬度稍低的Morgan NCC634碳刷更换成硬度略高的Schunk E468碳刷,以减少摩擦产生的碳粉数量。两种碳刷相关性能参数见表2。

表2 碳刷性能参数对比表

品牌型号	电阻率 / $\mu\Omega\text{m}$	抗折强度 / $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	肖氏硬度 /HS	摩擦系数	电流密度 / $\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$	允许圆周 速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Schunk E468	20	10	65	0.11~0.14	5~15	30~50
Morgan NCC634	18	5.2	20	0.29	10	81

②在集电环与制动闸处均增设了吸碳粉装置,用于收集碳刷与集电环摩擦产生的碳粉和制动闸与制动环摩擦产生的金属粉末,防止其进入发电机内部。

③将发电机前后轴承座的油池深度扩大了一倍,增加了油池容积,加大了排油管路直径,减少了油雾的产生。

④在前后轴承增设了气密封油挡,用于防止油雾外泄随冷却风进入发电机内部。

#### 4.2 对其余发电机进行预控处理的方法和工艺要求

(1) 定子线圈预控处理采用的方法和工艺要求。

我厂其余3台发电机受油和碳粉污染的情况与3号机组类似。为防止污染物影响发电机绝缘而酿成类似3号发电机的故障,必须立即对发电机定、转子进行全面的清洗,使发电机绝缘性能处于良好状态。处理方法和工艺要求如下:

①拆卸发电机定、转子与外部的连接,并将其运至整洁的工作场地分离、固定。

②测试发电机定、转子绝缘参数并记录。

③选用清洗剂时,尽量选用不易燃、刺激性



小、清洗后挥发完全、无残留的带电清洗剂。施工现场应远离火源,防静电,做好防火、通风等安全措施,施工人员应戴具有防护功能的口罩、眼镜和手套。

④将气动喷枪的一端接入0.4~0.6 MPa的压缩空气,将发电机定、转子表面的碳粉等污物吹掉,然后用气动喷枪吸入带电清洗剂,分别对定子和转子进行喷射式清洗。对于油污特别严重的部位应在喷射后稍等片刻,使油污充分溶解后再进行喷洗,洗净后用喷枪接压缩空气风干。

⑤仔细检查定、转子表面有无绝缘碳化等异常现象,若发现异常,应进行相应的处理。

⑥使用电气设备防潮、防腐蚀绝缘保护剂对发电机定、转子进行喷涂、风干,将受潮部位水分驱除,恢复绝缘电阻值。

⑦再次测试发电机定、转子绝缘参数应不低于清洗之前的数据并记录。必要时,可对发电机定子进行泄漏电流和直流耐压试验,进一步检查发电机定子绝缘水平。

(2)其余机组发电机的其余部位处理要求同

(上接第100页)

表3 改造后#1主变A相铁芯接地电流测量值表

时间	有功 /MW	无功 /MW	首次测量值 /mA	二次测量值 /mA
2014年11月	475.58	-31.46	10	10

由表3可以看出,#1主变A相铁芯接地点位置改造后,铁芯接地电流大幅降低并消除了上述所有对主变铁芯接地电流测量值的影响因素。

#### 4 结语

笔者的分析来源于测量实例。通过对变压器铁芯接地电流测量值偏大和异常原因的深入剖

析,提出了更为准确的测量方法和切实可行的改造方案。通过将主变铁芯接地点位置更换并进行试验的方法改造后,效果明显。此外,对于大型水电站的主变压器,笔者建议:最好能够安装铁芯接地电流在线检测装置,以便于及时发现变压器异常,进一步确保变压器的安全稳定运行。

#### 5 结语

在低水头、大流量水力发电机组中,竖井贯流式与灯泡贯流式机组相比具有发电机尺寸小、重量轻、投资少和检修维护方便以及水头更低等优势,在国内外有限的清洁能源——水电资源开发中,超低水头竖井贯流式机组的运用在一定时期内必将成为主流。小龙水电站首次试验应用的竖井贯流式机组发电机定子线圈烧毁的原因和诱因是多方面的,有些缺陷可能还没有暴露出来,亦有可能是致命的。因此,加强对此类机组全方位的监测,正确面对所遇到的各种缺陷和技术难题,与设备设计制造厂家一道,举一反三,认真分析,着力解决并不断总结完善,从设计与制造上及时运用总结完善的成果,填补和完善超低水头电站竖井贯流式机组的空白。

作者简介:

贺文静(1976-),男,四川简阳人,总经理,高级工程师,从事航电枢纽技术与管理工作;

黄智雄(1980-),男,四川南充人,副总工程师,工程师,从事航电枢纽技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

作者简介:

姜少斌(1988-),男,陕西咸阳人,助理工程师,学士,从事水电站电气一次设备检修维护工作。(责任编辑:李燕辉)

### 大渡河瀑布沟水电站工程调整概算审查会议召开

2014年12月23日至26日,大渡河瀑布沟水电站工程调整概算审查会议在国电大渡河流域水电开发有限公司召开。会议由水电水利规划设计总院、四川省发展和改革委员会、能源局主持。审查会上,成都院汇报了工程建设过程中的设计变更情况、调整概算编制基本情况和主要内容。与会专家和代表依据国家有关政策和行业规定,结合瀑布沟水电站设计、施工和建设管理的实际情况,对调整概算及相关报告进行了认真讨论。会议认为:提交审查的调整概算编制原则和方法符合国家和水电行业的有关规定,并综合考虑了工程建设的实际情况,报告内容详细、完整,依据比较充分,基本同意该报告。

### 成都院中标凉山州会东县鲁北风电场工程勘察设计项目

成都院新能源处通过市场投标,中标凉山州会东县鲁北风电场工程勘察设计项目。该项目业主为四川能投会东风电开发有限公司,布置单机容量为2000 kW的风电机组24台和单机容量为1500 kW的风电机组1台,总装机容量49.5 MW。