

浅析安谷水电站 2 号发电机定子下层线棒耐压试验过程中放电的原因

刘 高¹, 徐伟刚², 侯天元¹
(1. 中国水电建设集团圣达水电有限公司,四川 乐山 614013;
2. 重庆水利电力职业技术学院,重庆 永川 402160)

摘 要:介绍了安谷水电站 2 号发电机定子下层线棒工频交流耐压过程中的放电原因及采取的防范措施,可为厂家在定子线棒的制造、出厂试验、运输以及施工单位在现场安装、试验时参考。
关键词:定子线棒;耐压试验;放电分析;防范措施;安谷水电站
中图分类号:TV7;TV734;TV737 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2018)01-0033-03

1 概 述

安谷水电站是大渡河干流梯级开发中的最后一级,坝址位于乐山市安谷河段的生姜坡,距上游沙湾水电站约 35 km,下游距乐山市区约 15 km,电站装机容量为 772 MW,装设 4 台单机容量为 190 MW 的轴流转桨式水轮发电机组和 1 台单机容量为 12 MW 的轴流转桨式水轮发电机组。该电站 1~4 号机组发电机(190 MW)由东芝水电设备(杭州)有限公司供货。笔者就安谷水电站 2 号发电机定子下层线棒耐压试验过程中发生放电的原因进行了简要分析。

1.1 1~4 号发电机定子参数

安谷水电站 1~4 号机组发电机的定子绕组采用双层条式波绕组布置,4 支路星型连接,线棒长 2 500 mm,共 612 槽,68 个磁极,定子内径为 13 220 mm,定子高度为 2 880 mm,采用 F 级绝

缘,发电机定子电压为 13.8 kV,定子额定电流为 9 085 A。

定子线棒绝缘采用东芝特有的、先进的 VPR(真空液压多胶绝缘体系)制造,上、下层线棒为同一规格,具有互换性,上、下层线棒端部采用灌胶绝缘盒绝缘,斜段部分采用浸胶绝缘带缠绕,最终通过矩形汇流排连接到引线出口和中性点出口,所有的连接部位采用银铜焊接。

1.2 2 号发电机定子下层线棒试验过程

(1)下层线棒交流耐压试验前的准备。

2 号发电机定子下层线棒完成下线工序后,将定子下层 612 槽的线棒分为 4 段分别进行交流耐压试验(试验设备容量有限),测试 4 段的绝缘电阻和吸收比符合《电气设备交接试验 GB50150-2006》要求,试验数据见表 1。

(2)下层线棒交流耐压试验中出现的放电现象。

表 1 下层线棒耐压试验前绝缘电阻表

序号	段 数	15 s 绝缘电阻/MΩ	60 s 绝缘电阻/MΩ	吸收比
1	第一段(1-153 槽)	348	1 220	3.5
2	第二段(154-305 槽)	359	1 680	4.6
3	第三段(306-457 槽)	378	1 330	3.5
4	第四段(458-612 槽)	326	895	2.7

在对第一段进行交流耐压、试验电压升至 10 kV 时,发现端箍对定子拉紧螺杆有放电现象,经厂家建议采用绝缘隔板将螺杆与端箍隔开后再次升压时仍有放电现象发生,试验电压升至 27~30 kV 时发现有一根线棒大 R 部位出现沿面放电,从定子线棒上端出槽口至大 R 外侧某一点开始引

发向外放电,随着电压的升高,出现爬电路径延伸至线棒引线端头(图 1)。

在对第二段下层线棒进行交流耐压试验时,放电现象与第一段类似,发现有 2 根线棒(第 224、235 槽线棒)大 R 部位出现沿面放电。在第三段下层线棒交流耐压试验中,放电现象与第一、二段类似,发现有 4 根线棒大 R 部位出现沿面放

电。随着试验电压的升高,端箍局部位置出现明显的放电光,并出现持续性的往穿芯螺杆放电(图2)。当电压升至36.5 kV时,随着放电火花的增加,试验设备过流保护动作,试验终止。

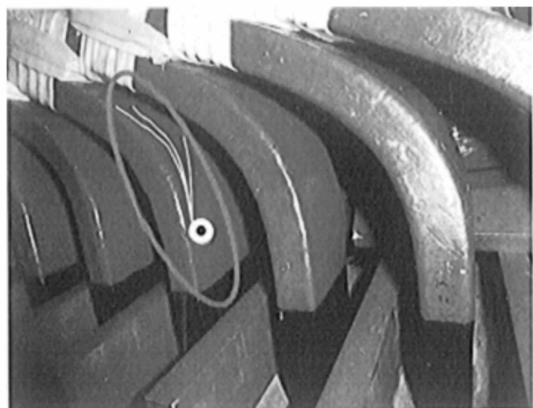


图1 大R放电示意图

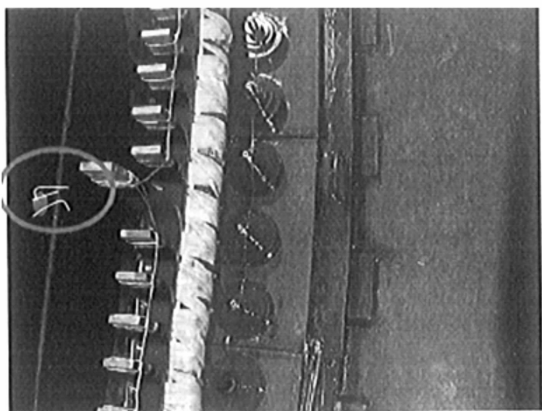


图2 端箍对穿芯螺杆放电示意图

根据上述试验情况,随后对第二段线棒中放电的两根线棒(224、235槽线棒)单独进行了交流耐压试验。耐压试验前,对单根线棒进行了绝缘检查,测试绝缘电阻合格,224槽线棒的吸收比为1.34,235槽线棒的吸收比为1.58,电压升至26~27 kV时线棒开始放电,厂家认为这两根线棒的高阻段绝缘有问题,需更换新线棒。

虽然找到了放电的初步原因,但是224、235槽线棒高阻段绝缘问题到底是什么原因造成的?2号发电机下层线棒中有多少根线棒高阻段存在绝缘问题?

2 2号发电机定子下层线棒放电原因分析

2.1 下线前对下层线棒进行抽检的情况

施工单位根据《水轮发电机组安装技术规范》GB/T8564-2003、《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准》DL/T5113.3-2012及厂家

《定子安装作业指导书》的要求对到货的下层线棒按每箱5%的抽检量(每箱88根,抽检数量为5根)进行交流耐压试验。抽检试验中发现箱号为B-24#-10中的线棒号为20228的下层线棒试验电压升至30 kV(试验电压为 $2.75U_n + 1$ kV,即40.45 kV)时线棒大R弯曲部位有明显的放电现象。根据《水轮发电机组安装技术规范》GB/T8564-2003、《定子安装作业指导书》要求增加了抽检比例(10%),对同箱号的线棒又随机抽出5根进行交流耐压试验,未发现放电现象,试验电压通过。但编号为20228的线棒因未能通过交流耐压试验,故未使用。

2.2 对上层线棒进行全检交流耐压试验的情况

在发现下层线棒大R部位有放电现象后,经监理、厂家、业主商量后对上层线棒(共612根)进行了全检交流耐压试验,发现有22根线棒大R弯曲部位对外放电。此次试验证明了2号发电机部分线棒的确存在绝缘缺陷。

2.3 定子线棒返厂试验

为了查找线棒绝缘缺陷的根本原因,将30根上层线棒返厂进行试验,其中在厂内做过局放试验的线棒12根,未做过局放试验的线棒12根以及在现场交流耐压中大R弯曲部位有明显放电现象的线棒6根。对返厂的30根线棒进行了 $120\text{ }^{\circ}\text{C} \times 4\text{ h}$ 干燥处理后做了介损试验、起晕试验、交流耐压试验、局放试验、击穿试验等五项试验,其全部合格,未发现异常。

2.4 定子线棒大R弯曲部位放电原因的可能性分析

安谷水电站2号发电机所有定子线棒发货至工地前,均已进行过交流耐压试验,试验电压为: $2.75U_n + 6.5$ kV,任何一根线棒均未发生端部爬电现象,因此而推测现场出现线棒大R弯曲部位对外放电的原因可能有:(1)线棒大R弯曲部位的高阻在交流耐压试验后至安装下线过程中存在损伤;(2)线棒到达现场后表面污染;(3)现场环境因素的影响;(4)高阻部位异常。

但在现场检查中发现线棒表面平整、无物理碰撞损伤的情况。通过擦拭高阻段(大R弯曲部分),没有改善爬电的情况;在不同时间的环境下重新进行耐压试验,爬电现象依旧,最大的可能是放电线棒的高阻异常。

2.5 高阻异常的可能性分析

放电线棒高阻带会发生什么异常呢？厂家通过对定子线棒异常阶段流程序工序进行分析，

可以基本确定出现异常的阶段,并通过该阶段工序特征深入分析出发生问题的可能性阶段。定子线棒流转情况见图 3。

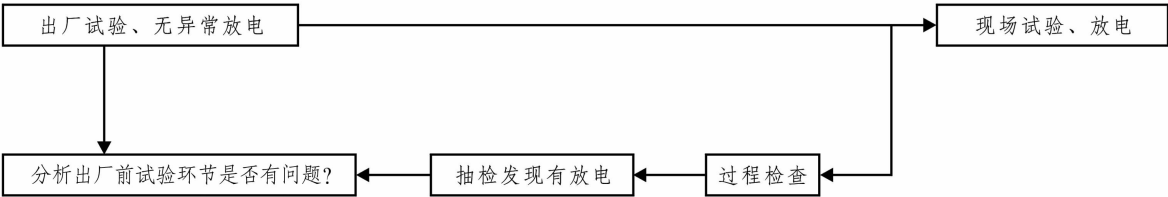


图 3 定子线棒流转图

通过对定子线棒流程进行分析得知:出现放电的原因可能是出厂前至发货阶段。该阶段出现问题的可能性是:在定子线棒制作完成前、交流耐压试验结束后,为了保护线棒端部,需要对线棒端部涂刷红瓷漆,在其涂刷过程中可能有异物混入,混入的异物可能是导电颗粒。

2.6 高阻存在异常的理论解释

正常的定子线棒端部为阻容链模型,其端部表面的电阻随电场的升高电阻随次降低为理想的防晕结构(图 4)。若在高阻表面某一点有导电颗粒进入造成该点电阻为 0,将严重改变端部的防晕结构(图 5),使该点电位梯度变的很大,从而造成该点首先出现起晕,随着电压升高,由该点引发出闪络放电。

为了证明线棒高阻表面存在缺陷,我们将线棒表面的防晕层去除,采用半固化型高阻带重新缠包,然后用热风枪烘干高阻带后再进行交流耐压试验,若无表面爬电现象,则表明出现定子线棒端部异常的原因为高阻表面异常。

厂家将有问题的线棒表面的防晕层去除,采用半固化型高阻带重新缠包,然后用热风枪烘干高阻带后再进行交流耐压试验,未发现爬电现象。

为了进一步确定问题线棒是因端部涂刷红瓷漆过程中混入导电颗粒,厂家对 2 号发电机定子线棒在刷红瓷漆过程中的工作记录进行了检查,发现 2 号发电机定子上、下层的部分线棒在刷红瓷漆的过程中周围存在打磨线棒端头的工作,最终确定为线棒端头铜粉末混入了红瓷漆中,进而引起高阻表面异常。

3 2 号发电机定子下层线棒放电的预防措施

为了防止此类事件的发生,厂家和施工单位应注意以下几点:(1)厂家应严格按照质量标准和工艺要求执行;(2)厂家在缠包云母带、高阻带及刷红瓷漆等会影响绝缘的重要工序中,要防止导电异物的混入,加强对环境温度的影响、产品质量等因素的控制;(3)出厂时严格进行出厂试验、包装及运输;(4)施工单位在下线前严格按照规范和作业指导书的要求严格试验;(5)施工单位在抽检试验中发现线棒有问题时,应查清线棒出现故障的真正原因,在未查明原因前不得下线;(6)下线过程中严格按作业指导书执行,做好环境影响、线棒损伤的预防措施。

4 结 语

虽然发生定子线棒放电的原因很多,但是我们只要在设计、制造、施工、试验等方面严格按照 (下转第 42 页)

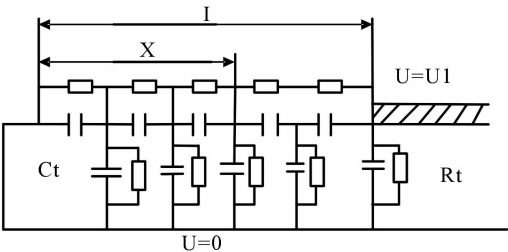


图 4 正常线棒的阻容链模型示意图

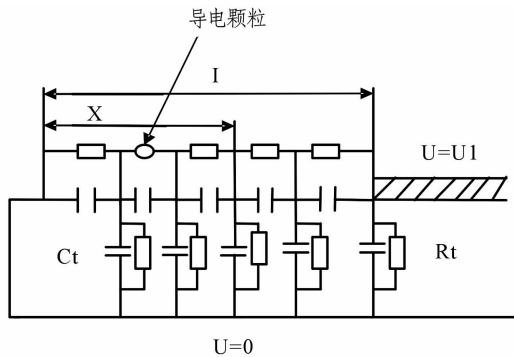


图 5 混入导电颗粒线棒的阻容链模型示意图

2.7 高阻异常是放电的根本原因分析

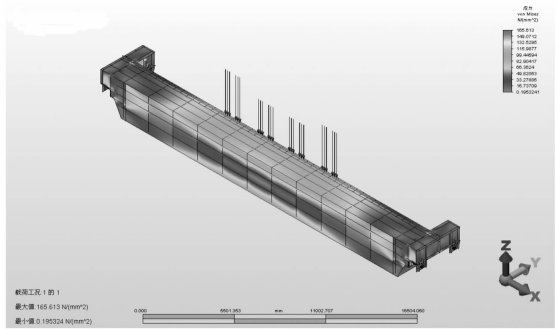


图 4 满载时小车于桥机跨中主梁应力分布图

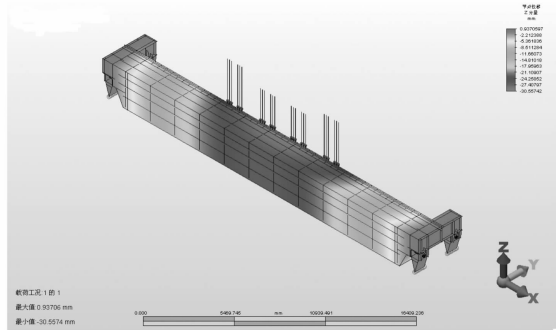


图 5 满载时小车于桥机跨中主梁挠度变化图

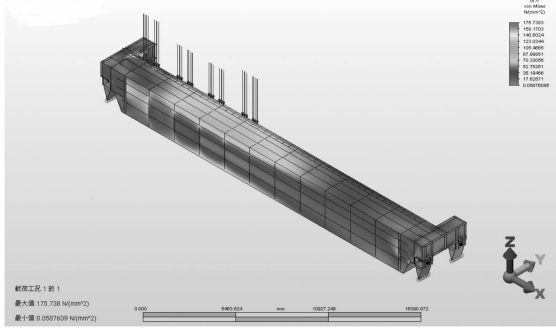


图 6 满载时小车于桥机跨端主梁应力分布图

安谷水电站主厂房桥机大车吊运的载荷及线路比较固定,由预拼装工位或检修区至发电机安装区来回吊运,不同于通用桥式起重机,其载荷和路线是随机的。因此,主厂房桥机大车轮压也是按载重小车的实际位置计算提供。对于电站投资方来说,降低桥机的大车轮压,就减小了桥机轨道承重梁的负载。对于长度达上百米的厂房,意味着节约了巨大的投资成本。

桥机的起升及行走均采用交流变频,其减小了对整个机构的冲击,提高了机构的寿命。我们依托现代计算机设计平台,充分利用 CAD 软件技术、钢结构有限元智能分析虚拟现实和动态仿真等现代化的设计方法,避免了大量的手工计算,使计算更准确,从而采用了更合理、经济的结构。将车轮组、滑轮组等部件进行模块化设计,使设计人员从大量的重复劳动中解放出来,节约了大量的设计周期。

4 结 语

安谷水电站主厂房 400 t + 400 t/16 t 桥式起重机于 2013 年 9 月 30 日通过了特种设备型式试验,正式投入使用,现已顺利完成电站所有发电机组及其辅助系统设备的安装吊装任务。该桥机的成功研发,对类似大吨位、超低净空、结构简单、集成化、工作范围广、可调速度范围大的桥式起重机设计具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 通用桥式起重机设计规范,GB/T14405[S].

作者简介:

黄文峰(1978-),男,四川乐山人,工程师,从事起重机械设计工作;
吴思够(1973-),男,四川乐山人,设计院总工程师,高级工程师,从事起重机械设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 35 页)

规程规范及工艺要求执行,就能杜绝类似事件的发生。

作者简介:

刘 高(1978-),男,四川五通人,工程师,从事水电站生产技术与管理工作;

徐伟刚(1962-),男,四川永川人,副教授,从事电气电子类专业教学、岗位培训与管理工作;
侯天元(1975-),男,四川沐川人,高级技师,工程师,一级建造师,从事水电站电气一次设备检修、试验工作。

(责任编辑:李燕辉)