

发电机转子磁极耐压试验放电原因分析与处理

李 晓 飞,冉 垠 康

(国电大渡河流域水电开发有限公司 国电大渡河检修安装有限公司,四川 成都 610064)

摘要:铜街子水电站 14 号机组因运行年限较久,公司决定对其发电机定子、转子进行升级改造,对 68 个磁极也全部进行更换。新磁极为东方电机公司生产,现场对发电机转子磁极进行组装时,在耐压试验过程中,分别发现有 4 个磁极存在放电现象,随即对发电机转子磁极组装前的单个耐压试验、组装后的整体耐压试验过程中发生的放电现象进行了分析比对,从而找出了其存在放电现象的原因,即因杂质过多而导致的放电,并有针对性地提出了有效的处理方法。同时,也对后续相关设备进行类似试验的方法提出了建议。

关 键 词:磁极组装;磁级放电;耐压试验;绝缘处理;发电机转子;铜街子水电站

中图法分类号:TV734.1

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.22.021

1 概 述

铜街子水电站位于大渡河下游,其 14 号水轮发电机组型号为 SF175-68/12800,单机容量为 150 MW,是由东方电机公司在 20 世纪 90 年代初生产的水电设备。该机组的定子出口电压为 13.8 kV,转子励磁电压为 400 V。

由于机组运行年限较长,机组缺陷及安全隐患逐年增多,2014 年,大渡河公司决定对 14 号机组进行增容改造。增容改造工作完成以后,14 号机组的容量将增加至 175 MW,定子出口电压不变,转子的励磁电压、电流将分别升高至 480 V、960 A。根据设计要求,68 个转子磁极需要全部更换。在对转子现场组装过程中,发现部分新磁极在进行耐压试验时没有达到相关规范所要求的电压时即发生放电现象,该现象将对机组在后续运行中造成一定的安全隐患。

2 试验过程中的放电现象

铜街子水电站 14 号机组的新磁极运行电压为 480 V,根据磁极生产厂家的安装指导书,磁极在现场组装时需要进行 3 次绝缘测试和交流耐压试验^[1-6]。具体要求如表 1 所示。

表 1 磁极试验条件

工序	耐压前绝缘要求/MΩ	试验电压/V
打磁极键前	单个磁极绝缘电阻不小于 5	单磁极 6300 (10U _L + 1500)
打完磁极键后	单个磁极绝缘电阻不小于 5	分组 5800
整体装配完成	转子整体绝缘电阻不小于 5	4800

2.1 磁极安装前的耐压试验

在现场打磁极键前,对单个磁极测量绝缘电阻时,发现最小值为 50 MΩ,符合耐压试验的要求。随后,对 68 个磁极分别进行了耐压试验,结果在对 58 号磁极进行试验的过程中,电压升高至 3 000 V 左右时发生了放电现象,但是其他磁极未见异常。

2.2 磁极安装后的耐压试验

在对放电的 58 号磁极实施处理以后,对 68 个磁极进行了整体挂装,打完键后进行第 2 次耐压试验。在进行试验之前,对 68 个磁极先进行串联,然后按规定,运用 2 500 V 兆欧表测试绝缘电阻,结果为零。这就表明绝缘电阻不合格。

随后,再将转子磁极划分成了 3 等分,对 3 等分均利用 2 500 V 兆欧表来测试绝缘电阻,测试结果均在 4 ~8 MΩ 之间。根据该测试结果可以做出判断:磁极

可能存在整体受潮的情况,从而导致磁极绝缘电阻较低。基于该判断,现场借助于盘车柜对转子进行干燥处理。在处理过程中,所用的干燥电流在 600 A 左右,干燥温度为 63℃,持续时间为 15 h。

干燥处理以后,运用 2 500 V 档的兆欧表对绝缘电阻进行了测量,结果为 5 MΩ。表明绝缘电阻符合生产厂家规定的绝缘电阻值。随后对磁极进行了耐压试验。在试验的过程中,当电压升至 5 800 V 时,19, 11 号和 66 号磁极分别在 3 000,4 800 V 和 5 300 V 时发出了放电声,其中 11 号和 66 号磁极被击穿,击穿后的 11 号和 66 号绝缘电阻为零。试验结果表明,绝缘条件不符合规范要求。

3 放电原因分析

在对安装前的 58 号磁极进行检查的过程中,发现在磁极背面的表面、铁芯与线圈的接触面上有铁屑等金属杂质,从而导致在实施耐压试验的过程中发生了放电现象。

然而,在对安装后的 11 号磁极进行检查时,发现此次放电现象有别于一般的放电现象,它是磁极铁芯与磁极线圈的接缝处对磁轭进行放电,如图 1 所示。放电磁极对应磁轭上的放电痕迹示于图 2 中。

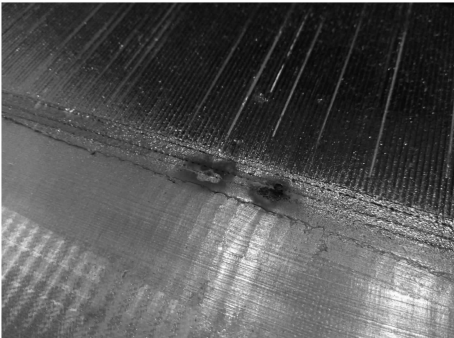


图 1 磁极上的放电点



图 2 放电磁极对应磁轭上的放电痕迹

根据检查结果,决定对问题磁极作进一步分解检查。分解后的检查发现,磁极铁芯与磁极线圈之间的

环氧板存在放电通道,如图 3 和图 4 所示。对磁极线圈与铁芯进行了检查,发现线圈内部的洁净情况较差,存在一定程度的粉尘及其他杂质(见图 5)。另外,在分解中还发现磁极线圈与铁芯之间的密封情况比较差,存在一定的间隙;随后,在对发生问题的另外 2 个磁极进行分解检查的过程中,也发现了类似的问题。

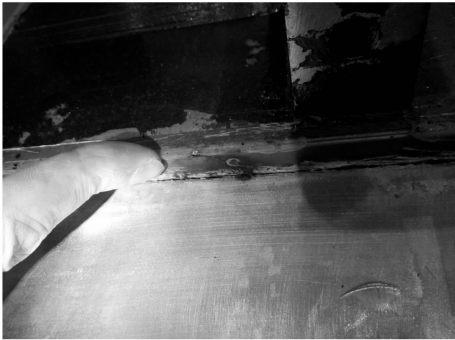


图 3 线圈与铁芯间环氧板上的放电通道

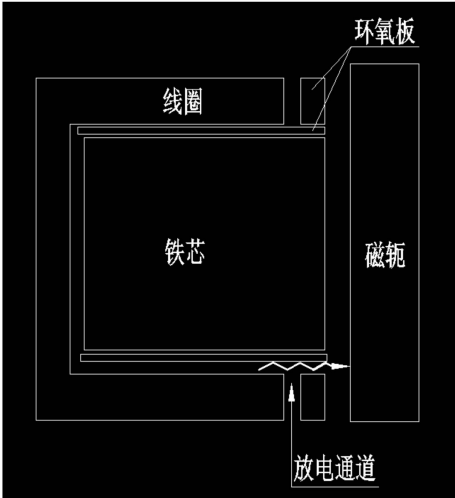


图 4 放电示意

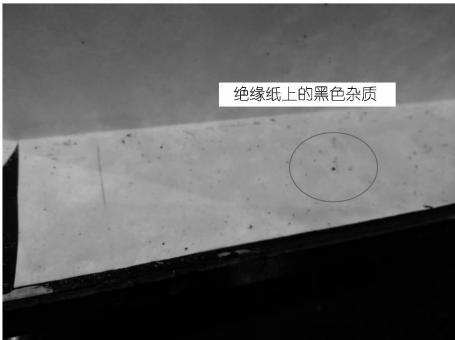


图 5 磁极内部杂质

综上所述,通过对磁极实施分解检查,不难发现,此次放电现象的发生,最主要的原因是磁极在生产过程中并没有执行严格的现场洁净条件要求,从而导致磁极铁芯与线圈之间进入了一些金属性杂质而产生的放电现象。另外,磁极铁芯与线圈之间存在一定的缝

隙,由于没有对这些缝隙进行严格的密封,因而在后续安装或者运行的过程中,使线圈内部进入异物杂质或碳粉的概率增加,从而对投运后的机组产生极大的安全隐患。

4 对放电磁极的处理

本次磁极放电现象的发生主要是由于在磁极生产过程中对环境洁净把控不严而导致杂质的进入。在后续处理过程中,主要是采用了对现场环境的控制、磁极的清理,以及对磁极线圈与铁芯之间,线圈、铁芯及环氧托板之间的间隙进行严格密封等措施。具体处理方法及措施叙述如下。

(1) 对磁极进行分解,用酒精全面清洗环氧托板、线圈及铁芯等部件。

(2) 对以上绝缘件打磨部位补刷室温固化环氧胶;去除磁极铁芯的极身部位,围包 $\text{Nome} \times 410$ 型纤维纸。

(3) 使用 0.06×50 聚酰亚胺薄膜粘带 6240 绕磁极铁芯一圈、沿极靴的角部处(极身与极靴接触处)呈“L”型进行粘接。

(4) 套入外托板,将外托板与磁极铁芯之间的间隙调整均匀。

(5) 按图 6 所示,用硅橡胶速纳星 68 封堵磁极铁芯极身与外托板之间的间隙。



图 6 对线圈密封

(6) 线圈套入后,使用 F 级高强度层压玻璃布板将铁芯极身与线圈之间的间隙塞紧,以此作为极身的绝缘。

(7) 在磁极线圈铜排上表面靠近铁芯侧,用硅橡胶速纳星 68 封一圈后,再装磁极内托板,完成以后,按图 7 所示,再用硅橡胶速纳星 68 封堵内托板与磁极铁芯之间的间隙;在封堵的过程中,注意磁极两端头装线圈压块的部位,在此处也需要先使用硅橡胶速纳星 68 进行封堵,然后再安装线圈压块。

在对被击穿的磁极实施处理以后进行了测试,测

试结果表明,其绝缘电阻均达到了 $400 \text{ M}\Omega$ 以上,而且后续的耐压试验结果也正常。

5 建议及结语

被测试品在做耐压试验时发生了放电现象,说明其存在绝缘薄弱点。

正如本文前面所述,转子磁极在安装前的耐压试验过程中并没有发现这一薄弱点,而在磁极挂装完成以后才暴露出来,这就表明,在安装之前进行磁极耐压试验时并没有包含磁极对磁轭间的绝缘薄弱点。前文提到的 19 号磁极,在对其实施耐压试验的过程中听到放电声音以后,试验人员即刻中断了试验,并对磁极进行绝缘测试,结果发现绝缘电阻值为 $2 \text{ M}\Omega$;但是在将磁极拔出以后,再次对该磁极进行绝缘测试,此时发现绝缘电阻值达到了 $70 \text{ M}\Omega$ 。为此试验人员在磁极铁芯与线圈的接缝处紧贴了一张锡箔纸,再次测量绝缘后,结果发现绝缘电阻值为 $5 \text{ M}\Omega$ 。由此不难得出磁极绝缘薄弱点所在。



图 7 完善后的耐压试验方法

综上所述,建议在后续开展的相关试验中可采用本文所描述的试验方法来试验,从而确保能够更加全面地反映被测试品的绝缘状况。

参考文献:

- [1] DL/T 596-2005 电力预防性试验规程[S].
- [2] 周若愚. 大型水轮发电机定子铁损试验技术研究[J]. 人民长江, 2011, 42(5): 99-102.
- [3] 唐鹏程,王效安. ELCLD 铁芯损耗试验在水电机组检测中的应用[J]. 人民长江, 2011, 42(21): 99-92, 99.
- [4] 梁建行,高光华,易先举,等. 大型发电机灭磁系统设计的几个主要问题[J]. 人民长江, 2011, 42(15): 86-91.
- [5] GBT 8564-2003 水轮发电机安装技术规范[S].
- [6] GB 50150-91 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].

(编辑:赵秋云)

Cause analysis of electrical discharge in voltage endurance test of generator rotor magnetic pole and treatment

LI Xiaofei, RAN Yinkang

(Maintenance and Installation Co., Ltd., China Guodian Dadu River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610064, China)

Abstract: As No. 14 generator unit of Tongjiezi Hydropower Station has operated for a long period, the generator stator and rotor were decided to be upgraded, with 68 magnetic poles replaced as well. The new magnetic poles are manufactured by Dongfang Electric Machinery Co., Ltd.. In voltage endurance test while assembling of the rotor magnetic poles, electrical discharge phenomenon was found for four magnetic poles. The discharge phenomena of single magnetic pole voltage – endurance test before assembling and in the integral voltage – endurance test of the magnetic poles after assembling were compared and analyzed and it was found that the excessive impure substance was the cause of the discharge. According to the analysis results, the effective treatment measures are put forward. Innovative suggestions are also proposed for the follow – up similar tests of related devices.

Key words: assembling of magnetic poles; electrical discharge of magnetic poles; voltage endurance test; insulation treatment; generator rotor; Tongjiezi Hydropower Station

(上接第 87 页)

- [9] Bathe K J, Bouzinov P A. On the Constraint Function Method for Contact Problems[J]. Computers and Structures, 1997, 64 (5 – 6): 1069 – 1085. [10] DLT5018 – 2004 水电水利工程钢闸门制造安装及验收规范[S]. (编辑:徐诗银)

Numerical analysis on imbalanced uplifting force of an arc gate in service

QIAN Shengyuan^{1,2}, TIAN Hongji³, WANG Jiaqi⁴, DU Juan¹

(1. Chenxian College, Southeast University, Nanjing 210088, China; 2. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Shanghai Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd, Shanghai 200434, China; 4. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The normal operation of arc gate is influenced by the imbalanced uplifting force. Taking a practical project for example, a 3D finite element contact model of an arc gate with uplifting force and water seal at the bottom was established based on ADINA. The maximum uplifting force under the opening of 0 (being about to open) was calculated by FEM with constraint – function algorithm and re – start technique of ADINA, and the results were compared with the testing data. The transient dynamic response of the gate under the imbalanced uplifting force was analyzed respectively to research the stress and stain under different openings, which provides references for safe opening and closing of arc gates and its design.

Key words: imbalanced opening force; contact analysis; restart; ADINA; arc gate in service

(上接第 90 页)

- [4] 李正安. 漫湾水电站圆筒阀的安装与调试[J]. 水力发电, 1994, (2): 49 – 51. (编辑:徐诗银)

Experiment of dynamic closing process of cylindrical valve at Jinping Power Station II and simulation analysis

WANG Delou, FANG Jie, WU Shenghua, HUANG Jingqian, CAO Chunjian

(HydroChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to test the actual operation condition of cylindrical valve in hydro – power station with long – distance water delivery system, the change of state variables of the unit under partial load in the dynamic closing process of the cylindrical valve was detected by the field test method. The dynamic closing process of cylindrical valve was simulated numerically on the basis of the test data. The comparison results showed that the two were highly consistent, which proved the accuracy of the numerical simulation. The prediction for the extreme modes of cylindrical valve closing process by the numerical simulation method indicated that the pressure at the inlet of the spiral case in 100% load met the requirements of the contract. It provides basis for ensuring the safe operation of mechanical and electrical equipment of hydropower stations.

Key words: cylindrical valve; closing law; numerical simulation; extreme value forecast; error correction