

Fault Analysis and Treatment of Interturn Short Circuit of the Main Motor in Jiangdu Third Pumping Station

Weiming Gong¹, Yizhong Lu², Peijiang Zhao³

¹Jiangdu Water Control Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou

²Flood and Drought Disaster Prevention Command Office of Jiangsu Province, Nanjing

³Wujiang Water Resources Bureau, Jiangsu Province, Wujiang

Email: ypmo@yzu.edu.cn

Received: Jul. 10th, 2014; revised: Jul. 21st, 2014; accepted: Aug. 1st, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper introduces the treatment of interturn short circuit of the main motor in Jiangdu third station and analyzes the cause of the malfunction. Fault analysis and treatment of interturn short circuit of the main motor in Jiangdu third station is introduced in this paper. The method of the "lost coil method" is proposed to realize the motor run during the short term. The motor's inner magnetic field is analyzed using ANSOFT. The results show that the "lost coil method" as an emergency treatment is feasible when coil is not damaged too much and the motor is under the case of light load operation.

Keywords

Synchronous Motor, Interturn Short Circuit, Lost Coil Method, ANSOFT

江都三站主电机匝间短路故障分析与处理

龚维明¹, 陆一忠², 赵培江³

¹江苏省江都水利工程管理处, 扬州

²江苏省防汛防旱指挥部办公室, 南京

³江苏省吴江市水利局, 吴江

Email: yppo@yzu.edu.cn

收稿日期：2014年7月10日；修回日期：2014年7月21日；录用日期：2014年8月1日

摘要

介绍了江都三站电机定子绕组匝间短路的故障过程，分析了故障发生的原因。提出采用“丢线圈法”应急处理方法，实现了电机短期内的应急运行。并采用ANSOFT有限元软件分析了丢线圈后电机内部磁场的变化。实践证明：该方法在线圈损坏不多、轻负载运行的情况下，作为应急处理是可行的。

关键词

同步电机，匝间短路，丢线圈法，ANSOFT

1. 引言

江都水利枢纽是南水北调东线工程的源头泵站，共有四座大型泵站。其中三站于1969年建成投产，2006年开始对机电设备进行更新改造，2009年改造主体工程结束。该站安装10台套ZL13.5-7.8型立式全调节轴流泵，配用TL1600-28/2600(TLF526.5-28/2600)同步电动发电机，单机功率1600/600 kW，总装机容量16,000 kW。可逆电机除抗旱排涝外，还可以反转发电。

2. 故障经过

2012年6月28日江都水利枢纽三站所有机组都在抗旱运行。运行人员巡查发现2#机组振动加剧，需潜水员下水检查。为确保人员安全，随即将所有机组停机。放下检修门，清理出树枝等杂物后，再次启动机组运行。3#、4#、5#、6#、7#机组依次运行正常，当8#机组启动时，瞬间故障跳闸，同时引起6 kV总进线跳闸致全站停机。运行人员检查发现，保护装置显示8#主电机速断动作，6 kV总进线速断(过流I段)动作跳闸，同时电机V相，W相电缆引线处各有几匝线圈面线端部熔断(如图1)。经测试人员进行现场检测，发现8#主电机定子对地绝缘为0 MΩ。将8#主电机定子接线首尾桩头拆开，确认B、C相绕组端部短路并接地[1] [2]。

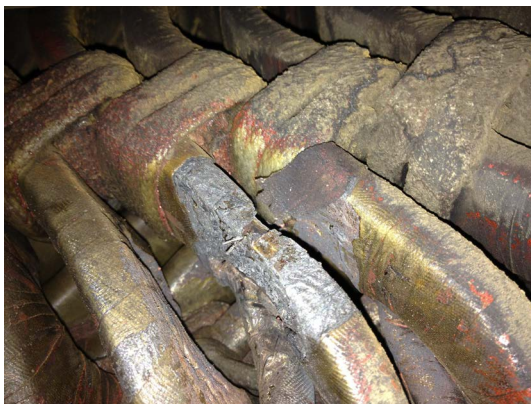


Figure 1. The damaged stator coil
图 1. 损坏的定子线圈

3. 故障分析与处理

3.1. 故障分析

泵站人员反映：该电机尽管是新电机(2007年2月出厂)，但投入使用以来，绝缘电阻一直偏低。检查发现：停机后容易出现吸潮现象。分析认为，事故是由于定子绕组在生产过程中浸漆处理时存在空隙，在潮湿环境下绕组易吸潮，使得绝缘电阻偏低。加之，当日空气湿度较大，在操作过电压作用下，造成电机绝缘损坏，导致本次故障的发生。

3.2. 处理意见

根据现场故障状况，电机生产厂家建议将电机定子返厂更换全部定子线圈。当时正处于抗旱紧张时期，考虑到电机定子返厂更换全部定子线圈所需时间至少两个月。另一意见是临时现场处理，即“丢线圈法”[3][4]。当绝缘强度满足要求时，可应急开机，但隐患还是存在，且处理时间大约需7~10天。考虑到当时旱情紧张，决定采用现场临时处理，等到水情缓解以后再返厂维修。

3.3. 处理方法

经讨论，采用“丢线圈法”对电机定子绕组进行应急处理[5]。所谓的“丢线圈法”是指对绕组中有接地点的线圈进行切除。处理时对绝缘薄弱受损的B相和C相各三个线圈予以切除(该电机每相72个线圈)，重新配接跳线连接并通电烘焙，进行绝缘处理。焊接时用耐火石棉布浸水后对非焊接部位进行保护。同时尽量缩短焊接时间，以防止造成其它部位的绝缘损坏。

4. 修复后的运行情况及分析

在对电机绕组进行“丢线圈法”处理后，最终通过直流耐压及泄漏电流和交流耐压试验。该电机于7月3日上午11:40分开机，运行基本正常。图2为修复后的定子线圈。

电机修复后，机组运行平稳，连续抽水运行33天、发电10天，运行无异常。

表1给出了电机故障前后的相关运行数据。

上表数据不难看出，修复后的电机三相电流不平衡，但小于额定电流180A。三相电流不平衡是由于“丢线圈法”处理破坏了三相绕组原本的对称性，使得定子绕组阻抗不平衡，经实测丢线圈后相间直流电阻最大误差为4.51%。同时，该方法也使得电机振动比正常稍大，运行时噪声稍有增加，并伴有低频噪声。三相绕组不对称产生的谐波电流还引起杂散磁通增加，使得电机运行时定子线圈温度增高，但

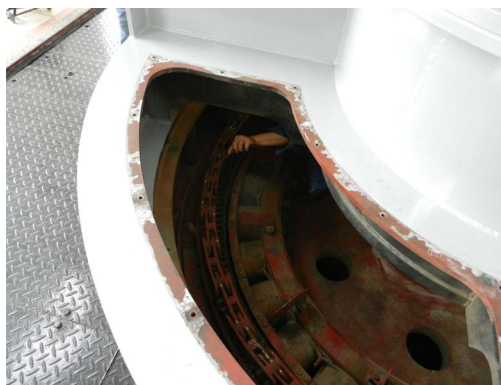


Figure 2. The repaired stator coil

图2. 修复后的定子线圈

增加值不超过 10℃，机座和铁芯表面温度也增加了约 5℃，但没有超过额定温度。

5. 丢线圈前后电机磁场分析

考虑到三相绕组通入电流为三相对称电流，幅值相等，相位互差 120°。因此，在对其磁场分布进行分析时，为 A 相绕组加载电流为 120 A，B 相和 C 相绕组加载电流为-60 A，采用三角形网格分割，并利用 ANSOFT 软件进行有限元分析后[6] [7]，得到其对应的磁场分布如图 3 所示，其最大场强为 3.5163×10^{-2} T。

考虑到出现绕组损坏后，短路了 B 相和 C 相的三个绕组，因此在加载电流不变的情况下，将 B 相和 C 相连续的三个绕组短路(即其上电流为零)，通过磁场分析后得到如图 4 所示的磁场分布，其最大场强为 3.4909×10^{-2} T。

通过对图 3 和图 4 的比较可看出：B 相和 C 相的三个绕组短路时，电机整体磁场强度分布和最大磁场强度值都没有发生太大的变化，只是在短路绕组的局部磁场有一定的影响。因此，从对磁场分布的分析可知，对 B 相和 C 相的三个绕组采用短路去除的方式，没有带了太大的磁场变化，可以继续使用。为进一步了解其带来的电磁力等方面的影响，还需要做进一步的研究和分析。

6. 结语

本次事故发生在防汛抗旱时期，在这种紧急情况下，采用“丢线圈法”对短路故障定子绕组进行应

Table 1. Relevant operation data

表 1. 相关运行数据

	正常运行(6月)		修复后(7月)	
定子电流(A)	$I_A = 119; I_B = 119; I_C = 120$		$I_A = 120; I_B = 130; I_C = 111$	
功率(kW)	1189		1360	
振动(mm/s)	1.85		2.60	
定子线圈温度(℃)	定子 1	定子 2	定子 3	定子 4
正常(6月, 环境 30℃)	42	41	41	41
修复后(7月, 环境 33℃)	54	54	50	53

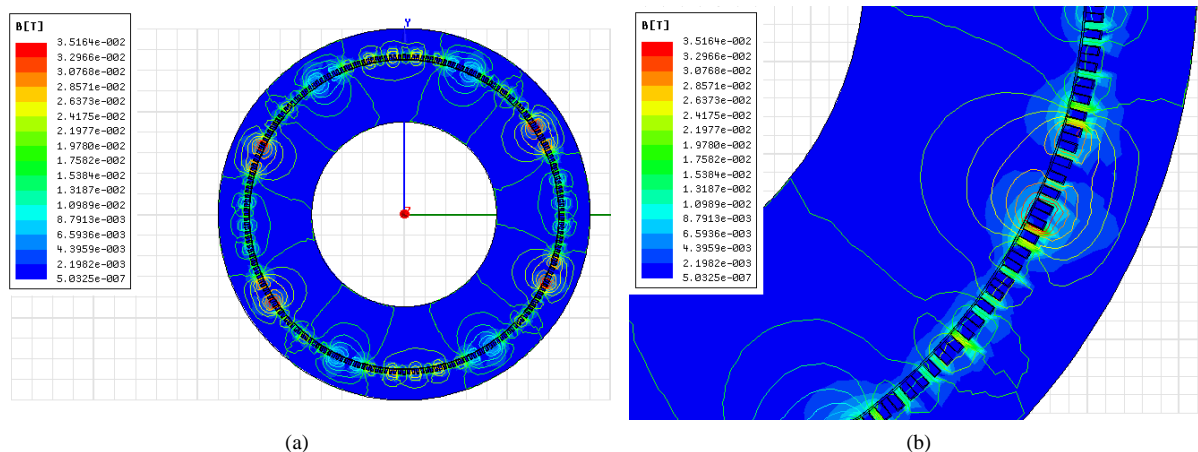


Figure 3. The diagram of all current magnetic field distribution. (a) The overall distribution figure; (b) The partial figure
图 3. 全电流时磁场分布图 (a) 整体分布图 (b) 局部放大图

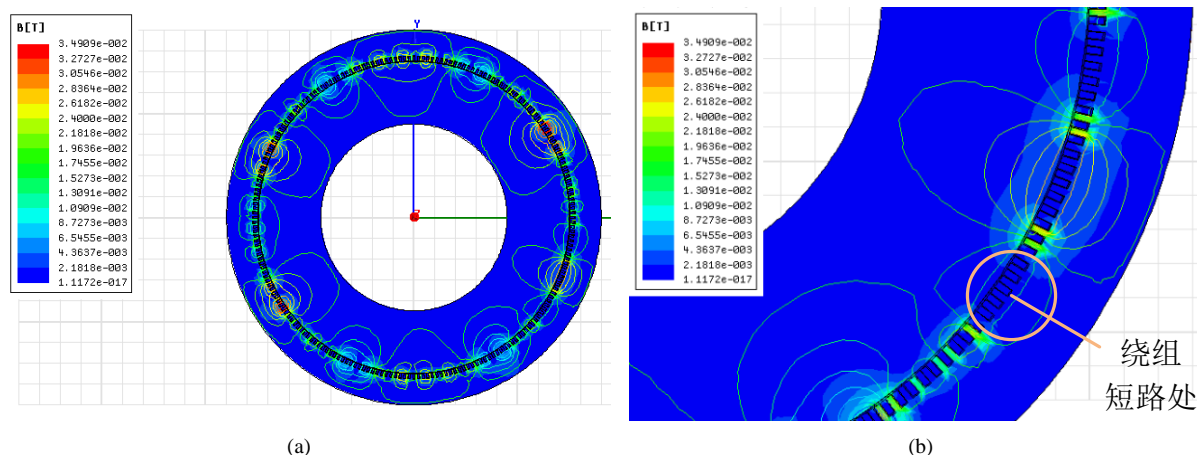


Figure 4. The magnetic field distribution diagram of B and C after short current. (a) The overall distribution figure (b) The partial figure

图 4. B 和 C 相三个线圈短路后磁场分布图。(a) 整体分布图；(b) 局部放大图

急处理。实践证明，这种方法在线圈损坏不多、负载不大的情况下，能使得电机长时间连续稳定运行，是一种较好的应急处理方法。

要注意的是：江都三站电机实际运行时，功率在 1200 KW 左右、电流在 120 A 左右。而该电机的额定功率为 1600 KW、额定电流为 180 A，电机的负载率不到 80%。因此，给“丢线圈法”对电机定子少部分绕组故障进行应急处理留下了空间。如果电机工作在满负荷或接近满负荷的情况下出现部分定子绕组故障时，“丢线圈法”会使得某相电流超过额定电流，同时电机温升可能超过额定温升。所以，“丢线圈法”的应用是有条件的。

参考文献 (References)

- [1] 朱喜华, 李颖辉, 张敬, 李宁 (2010) 基于 Ansoft 的永磁同步电机早期匝间短路故障分析. *大电机技术*, **5**, 35-37.
- [2] 张敬, 李颖辉, 朱喜华 (2010) 基于 Maxwell2D 的同步发电机定子绕组匝间短路故障研究. *微电机*, **11**, 94-96.
- [3] 黄海田, 张顺林 (2000) 泵站同步电机线圈对地短路故障的一种应急处理办法. *排灌机械*, **4**, 19.
- [4] 周云, 王继光 (2000) 跳线法处理故障线圈在临洪西站主电机上的应用. *排灌机械*, **4**, 17-18.
- [5] 魏书荣 (2005) 同步电机定子绕组内部故障分析与诊断的研究. 河海大学, 29-48.
- [6] 刘明, 李颖辉, 雷晓霖, 张敬 (2012) 同步电机绕组匝间短路故障有限元分析. *微电机*, **7**, 21,45.
- [7] 朱少林, 王群京 (2008) 基于 Ansoft 的永磁同步发电机建模与仿真. *电机技术*, **4**, 1-3.