

大型汽轮发电机定子铁心磁化试验 研究与应用

杨世强, 刘冲, 倪继文, 何信林, 王团结, 张钢

(西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对华能某电厂 2 号发电机定子铁心磁化试验时出现的过热情况, 对产生铁心过热点的原因进行了详细分析, 详细介绍了发电机定子铁心磁化试验的基本原理, 并及时对故障点进行处理, 处理后铁心质量符合规程要求。本次试验案例可为汽轮发电机定子铁心磁化试验的实际应用提供相关经验及依据。

关键词: 铁心; 发电机; 磁化

Research and application of magnetization test for stator core of large turbogenerator

YANG Shiqiang, LIU Chong, NI Jiwen, HE Xinlin, WANG Tuanjie, ZHANG Gang

(Xi'an Thermal Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: In view of the overheating of the stator core of No.2 generator in Huaneng power plant, the causes of the hot spot are analyzed in detail, the basic principle of the magnetization test of the generator stator core is introduced in detail, and the fault points are treated in time. After treatment, the quality of the iron core meets the requirements of the regulations. This test case can provide relevant experience and basis for the practical application of the stator core magnetization test of turbogenerator.

Key words: core; generator; magnetization

0 引言

发电机作为发电厂的核心设备, 对电力系统的安全生产起着至关重要的作用。多年来的事故统计结果表明, 对发电机事故的早期先兆缺乏认识或没有给予足够的重视, 未能及时处理, 消灭故障于萌芽状态。有时甚至会因故障的发展而导致恶性事故的发生, 给电力生产乃至国民经济带来巨大的经济损失。因此, 提高发电机的安全运行水平、对发电机进行综合故障诊断及状态评估具有十分重要的意义。

定子铁心是发电机磁路的重要组成部分, 它和转子铁心、定子和转子之间的气隙一起组成发电机的完整磁路。定子铁心是用硅钢片冲成扇形片叠装于定位筋上, 定位筋通过托板焊于机座环板上, 并通过上、下齿压板用拉紧螺栓将铁心压

紧成整体而成。铁心也是安放绕组的重要部分, 发电机运行时, 铁心将受到机械力、热应力及电磁力的综合作用。所以随着发电机运行年限的积累, 定子铁心将会出现松动、绝缘劣化等故障, 当硅钢片叠片间存在短路故障时, 在强磁通的作用下, 将产生较大的涡流, 使得铁心温度局部升高。同时, 局部过热点又会扩展, 破坏周围铁心绝缘与槽内定子绕组绝缘, 绝缘材料在长期的热作用下, 会出现不可修复的劣化, 最终会导致绕组绝缘损坏或铁心烧损等^[1-2]。

因此, 在发电机预防性试验或交接试验、局部或全部更换定子绕组前后以及在发现定子铁心有损伤、松动等缺陷时, 必须对定子进行铁心磁化试验, 以检测铁心质量。

本文的试验案例背景来源于华能某电厂 2 号机组, 该机组已运行 10 年之久, 尚未对定子铁心

进行系统性检测。依据我国电力行业国家标准 GB/T 20835—2016《发电机定子铁心磁化试验导则》，试验时，隐极同步发电机的磁通密度在 1.4 T 左右，最低不应低于 1.26 T^[3]。

1 发电机定子铁心磁化试验基本原理

发电机定子铁心磁化试验以发电机定子铁心为磁通回路，缠绕励磁绕组作为一次侧，测量线圈为二次侧。励磁绕组中通入交流电流，使之在铁心内部产生接近饱和状态的交变磁通，从而在铁心中产生涡流和磁滞损耗，使铁心发热。当有硅钢片间绝缘受损或劣化缺陷时，将产生较大的涡流，使得此处温度升高较快。在试验过程中，全程使用红外线热成像仪实时监测发电机定子铁心温度变化情况^[4-5]。

试验布线时，励磁线圈应在整个铁心圆周上均匀缠绕或对称布置，各励磁线圈的包绕方向应相同。励磁线圈与铁心接触的棱角部位应垫设绝缘材料。励磁线圈与定子铁心及机座之间应有足够的绝缘。测量线圈的布置，对于励磁线圈在铁心上均匀排绕的，可布置在圆周上任意位置；对于励磁线圈为对称布置的，应布置在相邻两励磁线圈的中间位置；对于励磁线圈是单匝的，测量线圈应放置在正交位置。测量线圈宜只包绕定子铁心。发电机定子铁心磁化试验原理如图 1 所示。

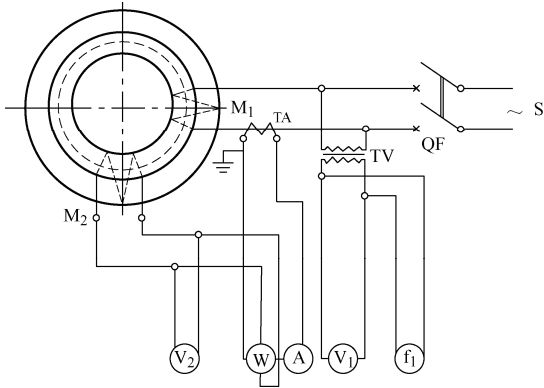


图 1 试验接线原理
Fig. 1 Test wiring principle

在图 1 中：S 为交流电源；QF 为断路器；M₁ 为励磁线圈；M₂ 为测量线圈；TV 为测量用电压

互感器；TA 为测量用电流互感器；f₁ 为测量用频率表；V₁、V₂ 为电压表；A 为电流表；W 为低功率因数功率表。

励磁线圈采用绝缘等级为 10 kV、线径为 120 mm² 的铜芯无铠装电缆。长度 240 m。测量线圈采用绝缘等级为 2 kV，线径为 2.5 mm² 普通高压绝缘软线，长度为 35 m。交流电源取自 6 kV 厂用电。试验仪器详细参数如表 1 所示。

表 1 试验仪器参数
Tab. 1 Test instrument parameters

名称	参数	级别	数量
电压互感器	1 000/100 V	0.2 级	1 块
电压表	0~600 V	0.5 级	1 块
电流互感器	500/5 A	0.2 级	1 块
电流表	0~5 A	0.5 级	1 块
功率表	cos φ=0.1 75~600 V 2.5~5 A	0.5 级	1 块
谐波分析仪	FLUKE 43B	-	1 台
红外热像仪	FLUKE 520TiX	-	1 台

2 试验参数理论计算

参数计算依据 GB/T 20835—2016《发电机定子铁心磁化试验导则》。在进行试验前，根据发电机铁心参数，首先应计算出励磁线圈匝数、励磁电流等。以此计算结果为依据准备电缆布线、电源容量等试验工作。本次试验对象为哈尔滨电机厂生产的 QFSN-330-2 型发电机。其铁心详细参数如表 2 所示。

表 2 发电机铁心参数
Tab. 2 Generator core parameters

名称	参数
定子铁心长 L/cm	520.0
定子铁心外径 D ₁ /cm	253.7
定子铁心内径 D ₁₁ /cm	125.0
定子齿高 h _s /cm	16.3
定子风道宽 b _s /cm	0.8
定子风道数 n _s /cm	63
铁心有效长度 L ₀ /cm	441.424
铁心轭高 h _{ys} /cm	48
磁场强度 H/(A/cm)	5.1

励磁线圈匝数 W_1 由励磁线圈电压 U_1 确定,按照式(1)计算后取整。

$$W_1 = \frac{U_1}{4.44fQB} \tag{1}$$

式中, W_1 为励磁线圈匝数; U_1 为励磁线圈电压; f 为试验电流频率,取 50 Hz; Q 为铁心轭部截面积, $Q=L_uh_{ys}$; B 为试验时铁心磁通密度,取 1.4T。

励磁线圈电流计算公式为

$$I = \frac{\pi(D_1 - h_{ys})H}{W_1} \tag{2}$$

式中, I 为励磁线圈电流; D_1 为定子铁心外径; h_{ys} 为铁心轭高; H 为磁场强度。

试验时,在励磁线圈中施加工频交流电源。按测量绕组感应电压值计算实际磁通密度 B_1 ,计算公式为

$$B_1 = \frac{U_2}{4.44fQW_2} \tag{3}$$

式中, B_1 为实际的磁通密度; U_2 为测量线圈电压; W_2 为测量线圈匝数。

当试验磁通密度不满足 1.4 T 规定时,可按式(4)对试验时间进行修正

$$t = \left(\frac{1.4}{B_1}\right)^2 \times 45 \tag{4}$$

根据铁心参数及相关计算公式,可以计算出试验所需要的相关数据,计算结果如表 3 所示。

表 3 计算结果
Tab. 3 Calculation results

名称	参数
励磁线圈匝数/匝	9.6 (实际取 10)
励磁线圈电流/A	271.3
实际磁通密度/T	1.27
试验时间修正值/min	54

3 现场试验结果分析

3.1 处理前试验结果

按照上述计算结果,将 10 匝励磁线圈按照顺时针方向依次绕制进发电机堂内。将测量线圈悬空与发电机堂内正中心位置。由于在合闸瞬间会

有冲击电流,为此需要将电源断路器保护定值进行修改,设置一段 2 500 A, 0 s; 二段 500 A, 1 s。

试验前的措施:停止发电机的内冷水系统运行及其他冷却措施,且保证铁心与环境起始温差小于 5 K;将发电机定子出口三相短路接地,绕组处于开路状态;定子膛内不得遗留金属物体;定子膛内水平放置干燥的 10 根木棍,承载试验电缆,在电缆拐弯处用绝缘垫保护电缆。

断路器合上后开始计时,每隔 15 min 记录一次电流、电压和功率,同时用红外热像仪检查定子铁心的温度分布,寻找局部过热点。试验数据如表 4 和表 5 所示。图 2 为定子铁心热像图。

表 4 处理前试验数据
Tab. 4 Test data before treatment

项目	时间	F /Hz	U_2 /V	B_1 /T	P_1 /kW
	0	50	598	1.27	210
	15	50	598	1.27	210
	30	50	598	1.27	210
	45	50	598	1.27	210
	54	50	598	1.27	210

表 5 红热显像检测数据 (修前)
Tab. 5 Red heat imaging test data (before repair)

最高温度/℃	初始温度/℃	最大温升/℃	最大温差/℃
60.2	29	31.2	5

由试验数据可知,定子铁心最大温升为 31.2 ℃、最大温差为 5 ℃。最大温升不满足 GB/T 20835—2016《发电机定子铁心磁化试验导则》中关于发电机定子铁心最大温升不超过 25 ℃的规定,需要对图 2 中两个热点进行处理。



图 2 定子铁心热像图 (修前)
Fig. 2 Thermal image of stator core (before repair)

经过对过热点仔细检查发现，该处硅钢片间的绝缘已严重损坏，经酸洗后，在硅钢片间插入厂家提供的专用云母片，以恢复硅钢片间的绝缘。

3.2 处理后试验结果

经过对发电机铁心缺陷处理后，再对其进行修后检查试验，试验结果如表 5 和表 6 所示。图 3 为维修后的定子铁心热像图。

表 5 处理后试验数据
Tab. 5 Test data after treatment

时间 项目	F /Hz	U_2 /V	B_1 /T	P_1 /kW
0	50	601	1.27	210
15	50	601	1.27	210
30	50	601	1.27	210
45	50	601	1.27	210
54	50	601	1.27	210

表 6 红热显像检测数据（修后）
Tab. 6 Red heat imaging test data (after repair)

最高温度/℃	初始温度/℃	最大温升/℃	最大温差/℃
41.0	25.8	15.2	4



图 3 定子铁心热像图（修后）
Fig. 3 Thermal image of stator core (after repair)

定子铁心最大温升 15.2℃、最大温差为 4℃。试验数据满足 GB/T 20835—2016《发电机定子铁

心磁化试验导则》规定。但处理过的铁心位置区域温度较其他部位温度仍较高，因此在以后检修中仍需要进行相关检查以对铁心质量进行跟踪。

4 结束语

发电机定子铁心磁化试验是一项重要的电气试验，用于检验铁心的绝缘状态。本文通过该试验案例详细介绍了铁心磁化试验试验过程的注意事项，包括试验前的技术措施，以及相关的计算过程，希望能够对同行提供借鉴与帮助。EA

参考文献

[1] 杨世强, 何信林, 程帅, 等. 发电机定子绕组高压介质损耗及电容增量试验研究[J]. 电气应用, 2019(11): 35-39.

[2] 于存湛, 刘开培, 王健军, 等. 大型发电机 1.4 T 下定子铁心试验方法研究与应用[J]. 中国电力, 2003(36): 34-37.

[3] 中华人民共和国国家标准. 发电机定子铁心磁化试验导则: GB/T 20835—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

[4] 中华人民共和国电力行业标准. 发电机红外检测方法及其评定导则: DL/T 1524—2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

作者简介:



杨世强

杨世强(1990—), 男, 工学硕士, 工程师, 主要从事电气设备特殊性试验研究工作。

(收稿日期: 2020-11-11)