

# 两河口水电站发电机定子铁芯磁化试验及分析

李刚 张钊凡 卜康 陈坤邦 程伟  
两河口水力发电厂 四川甘孜 626000

**摘要:** 发电机定子铁芯磁化试验是定子在机坑内进行机座组圆、合缝焊接、铁心叠装等工作完成后, 为检查发电机定子冲片间是否压紧、是否有故障而进行的试验。介绍发电机定子铁芯进行磁化试验的过程和计算方法, 试验结束后统计数据, 并将试验数据换算到磁通密度为1T的情况下, 判定定子铁心温升、温差和单位铁损符合设计标准。

**关键词:** 水轮发电机; 定子铁心; 磁化试验

## 一、试验目的

大型水轮发电机定子铁心叠片完成后需进行磁化试验, 由于定子铁心是由硅钢片叠压组装而成, 硅钢片的制造和现场叠装过程中可能存在片间绝缘损坏, 此情况会造成短路引起局部过热, 威胁机组的安全运行。磁化试验以测量铁心整体温升值、相同部位(定子齿或槽)不同测点的温差值、单位质量铁损来检查硅钢片间绝缘情况和铁心叠压质量的好坏。

## 二、试验原理

### 1. 工频试验原理

铁损试验的基本原理: 在叠装完成的发电机定子铁心上缠绕励磁绕组, 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。同时, 使铁心中片间绝缘受损或劣化部分产生较大的涡流, 温度很快升高。用酒精温度计测量铁心、上、下压板温度, 计算出温升和温差; 用红外线测温仪查找局部过热点及辅助测温; 在铁心上缠绕测量绕组, 测量其感应电压, 计算出铁心总的有功损耗。根据测量结果与设计要求比较, 来判断定子铁心的制造、安装质量。

### 2. 试验接线图

试验电源接入安装间临时施工变压器高压侧, 再引至额定电压10kV、额定电流为630A的真空断路器的高压开关柜上端, 断路器下端连接励磁电缆。试验接线图如下图1所示。

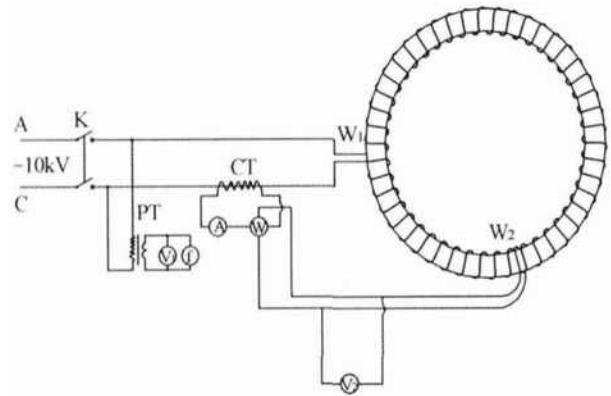


图1 定子铁心磁化试验接线图

电压表  $V_1$ : 励磁线圈PT二次侧电压记为  $U_2'$ ; 电压表  $V_2$ : 测量线圈端电压记为  $U_2$ , 频率表测实际频率记为  $f_1$ ; 电流表A: 励磁线圈CT二次侧电流记为  $I_1'$ ; 励磁电源侧CT变比  $n$  为80; 励磁电源侧PT变比为100。

## 三、试验计算

### 1. 发电机定子铁心有关参数

表1 发电机铁心有关参数

铁心外径 $D_1/m$	铁心内径 $D_i/m$	定子铁心槽深 $h_s/m$	铁心叠片系数 $K_{Fe}$	定子铁心高度 $L/m$	铁心通风沟层数 $n_v$	铁心通风沟高度 $b_v/m$	铁心比重 $\rho /kg/m^3$	定子冲片厚度/mm	定子冲片标准损耗 $P_s(1, 0) /W/kg$
11.940	10.870	0.2009	0.94	2.720	60	0.005	$7.6 \times 10^3$	0.50	1.05

## 作者简介:

- 李刚 (1989.9-), 男, 四川武胜人士, 雅砻江流域水电开发有限公司两河口水力发电厂员工, 主要从事水电站运行与管理方面的研究工作。
- 张钊凡 (1997.4-), 男, 陕西汉中人士, 雅砻江流域水电开发有限公司两河口水力发电厂员工, 主要从事水电站运行与管理方面的研究工作。

## 2. 试验准备计算

### (1) 励磁线圈安匝数计算 $IW_1$

$IW_1 = \pi (D_1 - h_{ys}) \times H$ , 式中:  $h_{ys}$ —定子铁心轭高 (m);  $H$ —定子轭部磁场强度, 硅钢片磁通在 1T 时, 取 200 (A/m);  $h_{ys} = (D_1 - D_{11}) / 2 - h_s = 0.3341$  (m);  $IW_1 \approx 7292.0$  (安匝)。

### (2) 计算励磁绕组匝数 $W_1$

$K_{Fe}$ —定子铁心叠压系数, 当硅钢片厚度为 0.50mm 时  $K_{Fe}$  取 0.94。轭部的有效截面积  $Q = K_{Fe} \times (L - n_s \times b_v) \times h_{ys} = 0.7600$  (m<sup>2</sup>)。励磁绕组匝数  $W_1 = U_1 / 4.44fQB$ ;  $U_1 = 10$ kV, 试验时铁心轭部磁通密度  $B = 1$ T, 频率  $f = 50$ Hz, 因此  $W_1 = U_1 / 4.44fQB \approx 59.3$ , 励磁绕组匝数取 59 匝。

### (3) 励磁绕组电流 $I_1$ (全电流) 计算

$I_1 = IW_1 / W_1 \approx 123.6$  (A)。载流系数  $\beta$  取 3.0A/mm<sup>2</sup>, 励磁电缆截面积  $SL = I_1 / \beta \approx 41$  (mm<sup>2</sup>); 励磁电缆采用单心 10kV 无屏蔽电力电缆, 根据励磁电流的大小, 选择型号规格: 1 × 70mm<sup>2</sup>。

### (4) 三相电源容量计算

三相供电系统电源容量  $S$  近似计算:  $S = \sqrt{3} K_s U_1 I_1 \times 10^{-3} \approx 2355$ kVA

### (5) 实际磁通密度测量

当定子轭部磁通密度为  $B = 1$ T 时, 单匝测量线圈的感应电势为:  $U_2 = 4.44BQfW_2 \approx 168.7$  (V) 电压表选用 300V 档位测量。实际磁通密度  $B = U_2 / 4.44Qf_1 W_2$ 。通过单匝测量线圈测量出来的感应电势计算实际的磁通密度。

## 3. 试验结果计算

试验结束后, 将试验数据换算到 1T 时, 温升、温差和单位铁损是否合格。

(1) 铁心重量:  $m = \pi (D_1 - h_{ys}) Q \rho \approx 210599.3$ kg

(2) 换算到磁通密度 1T 和基准频率  $f_0$  (50Hz) 时定子铁心比损耗  $P_1 (1.0) = P \times (W_1 / W_2) \times n \times (1/B)^2 \times \left( \frac{f_0}{f_1} \right)^{1.3} / m$ ,  $P_1 (1.0) \leq 1.47$ W/kg。

(3) 铁心最大温升限值: 在规定的磁通密度下, 试验经过规定时间后, 发电机铁心最大温升限值  $\leq 25$ K。铁心最高温差: 在规定的磁通密度下, 经过规定试验时间后, 发电机相同部位 (定子齿或槽) 温差限值  $\leq 15$ K。

## 四、试验前准备

### 1. 清扫及检查

试验前对定子铁心进行彻底清扫, 全面检查机座和铁心; 检查通风沟、上下端部无残留金属物件和其他杂物, 并用不小于 300mm<sup>2</sup> 铜心线使定子机座可靠接地。

### 2. 线圈缠绕

由于发电机定子直径较大, 为降低由于磁密不均所引起的误差, 励磁线圈采用 1 个支路均匀缠绕分布, 选用 1 根 10kV 单心无屏蔽电力电缆缠绕, 励磁线圈紧贴于铁心表面, 缠绕励磁线圈 59 匝。测量线圈 1 匝, 用 2.5mm<sup>2</sup> 的多心软铜线缠绕在铁心适当位置紧贴于槽底。

### 3. 绝缘检查

检查励磁线圈电缆绝缘, 用 2500V 摇表, 绝缘应不小于 100M $\Omega$ , 同时励磁电缆做直流耐压试验 (34.8kV/1min), 试验过程中, 试验电压稳定, 泄露电流不应随时间延长而增大同时电缆不应有亮点、放电、击穿现象。检查测量绕组电缆绝缘, 用 1000V 摇表, 绝缘应不小于 10M $\Omega$ 。

### 4. 测温点布置

铁心上按 45° 方向的分上、中、下部各安装一个酒精温度计 (总计 24 支), 同时在定子上/下齿压板 90° 方向处安装 4 个酒精温度计; 定子机座上按 180° 对称压板处安装 2 个酒精温度计, 总共安装 34 支酒精温度计。

在仪表测量桌上放置一个温湿度传感器, 测量环境温度和环境湿度。另外, 辅之以红外线成像仪和红外测温枪巡检铁心内外各个部位温度。铁心测温布置如下所示:



图2 铁心测温布置图

## 五、试验过程

试验人员就位, 记录各测温点原始温度。

合上断路器 (注意首次通电后要根据测量线圈读数校核磁化试验磁通密度在 1T 左右), 全面检查铁心各部位有否过热现象, 如发现冒烟、局部过热、发红、冒火花, 应立即分闸停止试验, 查明原因。测量人员每隔 10 分钟同时记录一次铁心各部分温度及表计读数。

## 六、试验数据及结论

本次实验结果在平均磁通密度为 0.94T 时, 定子铁心初始温度为 16℃, 最高温度 24℃, 铁心最大温升 8℃, 折算为 8.92K  $\leq 25$ K; 定子铁心最低温升温度为 19.2℃, 铁心最高温差为 4.8℃, 折算为 5.35K  $\leq 15$ K, 满足设计标准要求。

单位铁损的数据及计算如下所示 (见表 2):

表2 两河口6号机磁化试验计算表

时间/ min	U1' (V) 励磁 电压二次	U1 (V) 励磁 线圈电压	I1' (A) 励磁 电流二次	I1 (A) 励磁 线圈电流	U2 (V) 测量 线圈电压	f1 (Hz) 实测频率	B (T) 实际 磁通密度	P (W) 实测功率	PFe (W) 实测铁芯 总损耗	$\Delta P$ (W/ kg) 单位 质量铁损
初始	95.0	9500	1.0375	83.00	160.00	50.00	0.9483	55.00	259600	1.335568
10	95.0	9500	1.0500	84.00	160.00	49.95	0.9493	55.00	259600	1.334633
20	95.0	9500	1.0750	86.00	160.00	50.00	0.9483	55.00	259600	1.335568
30	95.0	9500	1.1000	88.00	160.00	50.00	0.9483	56.00	264320	1.359851
40	95.0	9500	1.1250	90.00	160.00	49.98	0.9487	56.00	264320	1.359470
50	94.9	9490	1.1375	91.00	160.00	49.92	0.9498	57.00	269040	1.382584
60	94.9	9490	1.1550	92.40	159.50	49.92	0.9469	57.00	269040	1.391265

f1平均值为49.97, B平均值0.9473T,  $\Delta P$ 平均值 $1.37 \leq 1.47 \text{W/kg}$ 。试验结果表明, 本次定子铁心最大温升、最高温差、铁心的单位损耗均满足要求。可以判定硅钢片间绝缘良好, 铁心的叠装质量良好, 能保障发电机组的稳定运行。

#### 参考文献:

- [1]吴细梅. 戈兰滩水电站1#发电机定子铁芯磁化试验研究[J]. 陕西水利, 2018 (S1): 167-169.  
[2]GB/T 20835-2016, 发电机定子铁芯磁化试验导则[S].  
[3]熊荣, 黄绍洪, 孙涛, 郑勇. 枕头坝一级水电站发电机定子磁化试验[J]. 水电与新能源, 2015 (09): 54-57.  
[4]丁世全, 王承, 李佳佳, 李兴易. 锦屏二级水电

站1号机定子铁芯磁化试验[J]. 水电站设计, 2012, 28 (S1): 85-87.

- [5]颜昌明. 水电站定子铁芯磁化试验简析[J]. 科技与企业, 2012 (17): 302.  
[6]谭大均. 三里坪水电站发电机定子铁芯磁化试验[J]. 人民长江, 2012, 43 (06): 79-80+89.  
[7]符其寿, 张文. 浅谈锦屏一级电站水轮发电机定子铁芯磁化试验[J]. 四川水力发电, 2013, 32 (S1): 166-168.  
[8]杨晓玲, 李有春, 李尹光. 锦屏水电站发电机定子铁芯磁化试验[J]. 水电与新能源, 2013 (06): 38-41.  
[9]杨晓玲, 李有春, 李尹光. 大型水轮发电机定子铁芯磁化试验[J]. 水电站机电技术, 2013, 36 (04): 15-17.