

桐柏抽水蓄能电站定子磁化试验技术

牛延东

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610225)

摘要:桐柏抽水蓄能电站定子铁芯通过采用磁通密度 1.15 T 磁化试验技术,检验了铁芯堆装质量并进行了热磁振荡、二次压紧工序以保证铁芯的压紧度,值得同类工程施工时借鉴。

关键词:桐柏抽水蓄能电站;定子;磁化试验;1.15 T 热磁振荡

中图分类号:TV7;TV743;TV522;TV736

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)03-0062-03

1 概述

根据我国规范要求,在现场完成堆装的定子铁芯要进行 90 min 0.8 ~ 1 T(特斯拉)磁化试验(铁损试验),以检验铁芯堆装质量并根据试验数据计算铁芯损耗。国外将该试验称为定子铁芯感应试验(satorcore induction test),其试验时间和试验目的亦与国内有所不同。桐柏抽水蓄能电站发电机由 VATECH 公司提供,在现场进行了定子机架组圆、铁芯堆片以及现场定子铁损试验。试验采用 VATECH 公司标准。

按 VATECH 公司标准进行的铁芯磁化试验的主要目的有两点:首先检查在铁芯硅钢片的制造或现场叠装过程中,片间绝缘损坏是否短路?防止运行中因片间短路引起局部过热而威胁到机组的安全运行。另外,定子铁芯磁化试验还能通过振动和发热使铁芯下沉,达到仅通过外力压紧所不能达到的、进一步压紧铁芯的目的。铁芯磁化试验时间也远远大于 90 min(SIEMENS 公司磁化时间为 24 h;VATECH 公司磁化时间为 12 h)。在进行磁化试验后定子铁芯需要经过再次压紧,根据试验目的的不同采用了不同的磁通密度。磁化试验开始的前 30 min 进行铁芯的片间短路检查,磁通密度选择 1.15 T。热磁振荡过程前 7 h 磁通密度选择 1.15 T,后 5 h 选用 1 T。

2 桐柏抽水蓄能电站定子铁芯参数

- (1) 定子铁芯外径: $D1 = 7\ 600\ \text{mm}$;
- (2) 定子铁芯内径: $D2 = 6\ 500\ \text{mm}$;
- (3) 定子铁芯高度: $H = 2\ 630\ \text{mm}$;
- (4) 频率: $f = 50\ \text{Hz}$;

- (5) 通风槽高度: $l = 6\ \text{mm}$;
- (6) 定子铁芯叠装系数: $K \approx 0.95$;
- (7) 铁芯铁齿高度: $h1 = 187.5\ \text{mm}$;
- (8) 安匝数: $h0 = 2.2$ (安匝/cm);
- (9) 磁通密度: $B = 1.15\ \text{T}$;
- (10) 铁芯总重: 217 t。

3 试验设备的选型及计算

桐柏抽水蓄能电站厂房内配有 10 kV 和 400 V 两个电压等级的施工电源和一台 800 kVA 的 10 kV 变压器。在变压器容量允许的情况下,可以选择 400 V 电源作为试验电源,否则必须以 10 kV 电源作为试验电源。桐柏电站投标时因缺少定子铁芯详实数据而无法确定具体的试验容量,预计将来的磁化试验电源容量可能大于 800 kVA,故 10 kV 施工电源采用 $3 \times 50\ \text{mm}^2$ 的铜芯电缆敷设,留足了容量。试验前,根据已有数据重新进行了计算,计算结果表明试验电源容量为 1 730 kVA,故决定采用 10 kV 电源作为试验电源。试验接线方式见图 1。试验数据的计算如下:

(1) 铁芯有效高度 = $0.95(2\ 630 - 6 \times 55) = 2\ 185(\text{mm})$ 。

(2) 铁芯轭部宽度:

$$h = \frac{D1 - D2}{2} - h1 = \frac{7\ 600 - 6\ 500}{2} - 187.5 = 362.5(\text{mm})。$$

(3) 铁芯截面积 = $2\ 185\ \text{mm} \times 362.5\ \text{mm} = 0.792\ 062\ 5(\text{m}^2)$ 。

(4) 励磁线圈匝数:

$$W1 = \frac{U}{4.44 \times f \times Q \times B}$$

收稿日期:2017-04-23

$$= \frac{10\ 000}{4.44 \times 50 \times 0.792\ 062\ 5 \times 1.15} = 49.452\ 7(\text{匝})$$

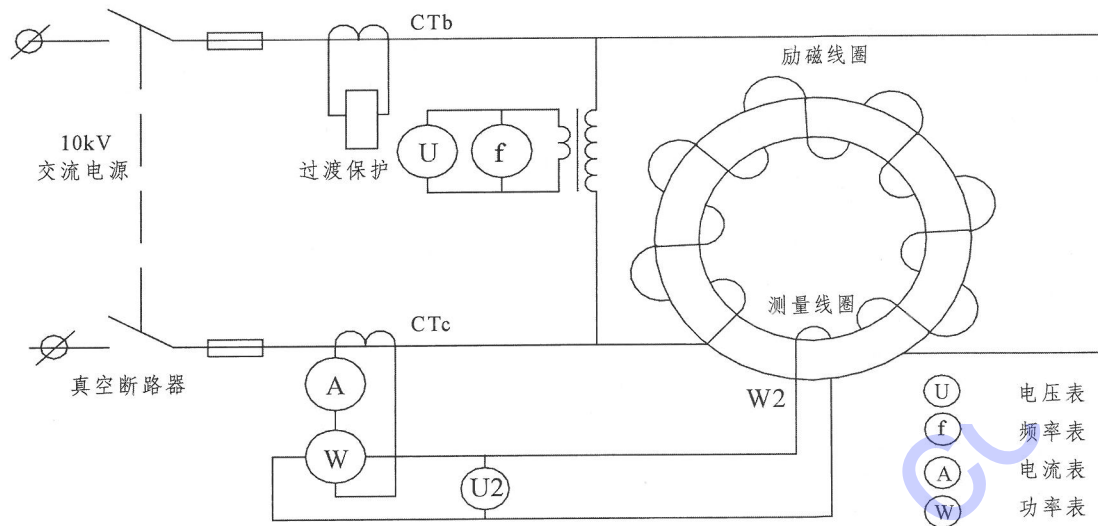


图1 定子磁化试验接线图

故: $W1 \approx 50$ 匝。

(5) 励磁绕组电流。

$$I = \pi \times \frac{D1 - 2 \times h1}{W1} \times h0$$

$$= 3.14 \times \frac{7.6 - 2 \times 0.187\ 5}{50} \times 220$$

$$= 99.824(\text{A})$$

(6) 电源容量。

$$P = \sqrt{3} \times U \times I = 1.73 \times 10 \times 99.82$$

$$= 1\ 727(\text{kVA})$$

(7) 测量电压。

测量线圈取 $W2 = 1$ 匝, 则测量电压为 $U2 = U1 W2 / W1 = 200(\text{V})$ 左右。

励磁线圈导线的选择: 按 $3\ \text{A}/\text{mm}^2$ 载流量计算, 所需励磁电缆芯线截面积为 $99.82/3 = 33.37\ \text{mm}^2$, 最终选用 $50\ \text{mm}^2$ 的 $10\ \text{kV}$ 铜芯软电缆缠绕。

4 试验的基本要求

为达到通过磁化热振荡压紧铁芯的目的, VATECH 公司要求定子铁芯的温度应保持在 $80\ ^\circ\text{C} \pm 10\ \text{K}$ 。定子铁芯和机架的温差不超过 $40\ \text{K}$, 磁化时间保持 $12\ \text{h}$, 磁通密度为 $1.15\ \text{T}$ 。

5 试验步骤

5.1 试验准备

对定子各部位进行彻底的清扫, 全面检查机座和铁芯, 移走所有与试验无关的设备; 检查通风

沟、上下端部位置、各环板间, 保证各处无残留金属物件; 用 2 根 $35\ \text{mm}^2$ 铜线保证定子机座两点接地。试验时, 因定子振动较大, 对定子支墩进行了加固处理。为了保证在磁化试验过程中定子铁芯上、下受热均匀, 在定子机座下部均匀布置了 $2\ \text{kW}$ 电加热器 25 个, 并对定子进行包裹、保温。

在定子铁芯上按相同方向均匀缠绕励磁线圈, 励磁绕组采用 $50\ \text{mm}^2$ 铜芯软电缆。励磁绕组分两部分: 一部分缠绕 50 匝, 另一部分缠绕 6 匝, 其目的是为了变更励磁绕组数方便。励磁线圈缠绕时, 在铁芯和机座棱角处用绝缘衬垫防止损伤电缆绝缘。将高压盘柜布置在定子附近, 要求保证其安全、便于操作。敷设高压盘柜至 $10\ \text{kV}$ 电源的高压电缆 ($\text{YJV} - 3 \times 50\ \text{mm}^2$)。对 $10\ \text{kV}$ 电源电缆和励磁绕组进行直流耐压检查, 对 $10\ \text{kV}$ 盘进行交流耐压检查。在定子铁芯的下部第一层通风槽内安装了两个温度探测器用于检测温度, 在定子机架上安装了 4 个温度探测器用于检测机架温度, 铁芯内埋设的 12 只测温电阻也被引出、接至测温仪。

按试验电流的 1.2 倍整定过流继电器, 定值为 $1.2 \times 173/60 = 3.46(\text{A})$, 电流互感器变比为 $300/5$ 。

根据试验参数要求进行了励磁线圈缠绕, 共缠绕 56 匝。采用 VATECH 公司提供的 $50\ \text{mm}^2$ 单芯电缆均匀缠绕在定子铁芯上, 将绕组两端接

至高压柜的出线端。在定子铁芯 200 槽方向缠绕 1 匝测量线圈。

5.2 试验过程

为了验证试验前推算的试验数据的准确性,先用 56 匝励磁绕组进行了 5 min 试验,检查了仪表及定子无异常并记录了各仪表读数,根据仪表

读数计算出 56 匝励磁绕组时的磁通量为 0.961 2 T。将励磁绕组改为 50 匝,正式开始试验。30 min 后操作人员进入定子内部,用红外线测试仪检查定子铁芯温度均匀、无过热点。继续加热 7 h 后将励磁线圈改为 56 匝,开始热磁振荡过程。磁化试验电量记录见表 1。

表 1 磁化试验电量记录 (试验时间:2004 年 9 月 8 日至 9 日)

时间	励磁电流 /A	励磁电压 /kV	功率 /kW	频率 /Hz	感应电压 /V	磁通密度 /T	备注
21:21	50	10.5	213.22	54.57	189.4	0.961 2	励磁线圈 56 匝,磁通测试
00:45	79.21	10.286	242.7	50.02	203.3	1.151 4	励磁线圈 50 匝,试验开始
01:15	83.48	10.27	246.73	49.98	203.1	1.150 2	15 min 定子检查
02:30	85.85	10.281	254.47	50.02	203.39	1.151 9	加热
03:30	93.52	10.263	260.76	49.99	202.31	1.145 8	加热
04:30	97.96	10.234	263.74	50.02	202.28	1.145 6	加热
05:30	101.61	10.164	264.71	50.03	200.82	1.137 3	加热
06:30	102.22	10.023	262.52	50	195.88	1.109 3	加热
07:15	102.22	10.023	261.46	50	197.98	1.121 2	加热
08:30	73.71	10.136	224.38	50.03	179.31	1.015 5	励磁线圈 56 匝
09:30	78.76	10.13	228.1	49.86	179.12	1.014 4	保温
10:30	73.50	10.179	222.58	50.01	180.05	1.019 7	保温
12:30	78.78	10.382	228.63	49.97	183.65	1.040 1	保温
14:00	76.08	10.204	227.16	50.01	180.47	1.022 1	保温

6 结 语

定子铁芯经过 12 h 磁化和热磁振荡,使铁芯在叠装时产生的各种应力得到了一定的释放。试验结束后,再次对定子铁芯进行压紧,保证了铁芯的压紧系数。桐柏抽水蓄能电站四台机组经过 10 a 商业运行,机组运行正常。

水电工程建设企业逐渐走出国门、适应国际要求已成为必然趋势。在海外许多招标文件中均

恒温状态,因此,可消除温度影响。溧阳抽水蓄能电站校核数值与出厂数据偏差 0.03 mm,精度较高。

溧阳抽水蓄能电站采用该方法在机组总装完成后校核转轮高程,其与安装时计算值相符,说明该方法可行。

4 结 语

笔者详细阐述了定子就位调整的安装工艺及相应的计算方法,并创新使用了在定子内部架设平衡梁、水轮机轴法兰寻求定子中心及采用水轮机轴法兰为基准确定定子高程的新方法,其不仅保证了机组安装质量,还提高了机组安装进度。在机组投产发电后,通过定子空气间隙探测器测得数据反映出定子空气间隙数据全部符合标准且

要求现场完成 1.4 T 磁化试验。过高的磁通量要求为现场试验设置了障碍。目前,还未曾见到现场完成 1.4 T 工频磁化试验的公开报道。桐柏抽水蓄能电站磁化试验方式可为海外同类水电工程提供借鉴。

作者简介:

牛延东(1969-),男,河北辛集人,分局工程管理部主任,高级工程师,从事机电工程技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

数据优良,因此,可以证明溧阳抽水蓄能电站定子就位调整方法可用,可供同类型机组使用。

参考文献:

- [1] GB/T8564-2003,水轮发电机组安装规范[S].
- [2] 张瑞杰,杨 虹.水轮发电机空气间隙监测技术的应用[J].中国水利水电科学院学报,2008,6(1):60-63.
- [3] 赵光宇.水轮发电机组转子磁力中心线偏低的原因查找和监测[J].云南水力发电;2016,32(3):115-118.
- [4] 李 军,王甲荣.精密水准仪在机电安装中的高差传递的使用[J].四川水利;2012,35(6):48-51.
- [5] 陈红梅,梁安平.内径千分尺测量误差影响分析[J].东方电机,1995,23(3):75-80.
- [6] 于兰阶.水轮发电机组安装与检修[M].北京:中国水利水电出版社,1995.

作者简介:

李宏泽(1989-),男,甘肃会宁人,助理工程师,从事水轮发电机组安装测量工作;

吕建国(1986-),男,四川巴中人,助理工程师,从事水轮发电机组安装技术工作。(责任编辑:李燕辉)