下硐水电站 1#发电机的定子改造

邢 建 模

（国家电投集团重庆狮子滩发电有限公司，重庆 长寿　401220）

摘　要：阐述了下硐水电站 1#水轮发电机定子改造中的方案选择，分析了发电机组改造前定子铁芯发热严重、运行温度持续上升的原因，详细描述了改造实施过程中针对定子铁芯圆度超差等问题采取的处理方法及改造前后取得的实际效果比对，对同行业定子铁芯技术改造具有借鉴和参考作用。

关键词：水轮发电机组；定子改造；发热严重；圆度超差；定位筋断裂；下硐水电站

中图分类号：TV7；TV734；TV738　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2018)05-0154-04

1　概　述

下硐水电站 1#发电机组为哈尔滨电机厂于 1957 年生产的产品，发电机型号为：TS－550/79－28，机组容量为 15 MW，其定子绕组绝缘结构为沥青云母绝缘。1994 年，定子绕组更换为 B 级环氧云母黄绝缘。2002 年 2 月，在机组同轴加装了一台 1 500 kW 副发电机，至此，该机组增容至 16.5 MW。因主发电机经多年运行其铁芯发热严重、运行温度持续上升，给安全稳定运行带来严重威胁，必须对其进行技术改造。

原发电机定子的基本参数：

定子铁芯外径 /mm　5 500

定子铁芯内径 /mm　4 930

定子铁芯长度 /mm　790

定子通风沟高度 /mm　10

定子通风沟数量　13

定子槽数　264

定子槽形尺寸 /mm　$b_n \times h_n = 24.5^{0}_{-0.5} \times 128^{0}_{-0.2}$

定子绕组相数　3

定子绕组并联支路数　2

定子绕组型式　圈式叠绕组

每槽导体数　6

绝缘等级　B 级

定转子间气隙 /mm　14

2　定子改造整体方案的制定

（1）定子冲片：槽形不变，仍为 24.4 × 128，冲片材料选用单位损耗较小的 50W270 优质硅钢片。

（2）定子铁芯。

①将原来的磁性端箍改换成材质为 1Cr18Ni9Ti 的非磁性端箍；

②将原来的磁性齿压板压指更改为非磁性扁钢 40Mn18Cr4V。

①②两项的改进目的是减小端部漏磁损耗。

③为防止铁芯装压后其上、下端部产生齿涨，对铁芯上、下端部采用了端部粘接工艺（6 mm/段，共 3 段的阶梯结构）。

④原机组定子通风沟高度为 10 mm，通风沟个数为 13。经综合考虑，为保证定子铁芯通风冷却效果，又确保定子铁芯拥有足够的有效长度，确保定子较低的温升，将本次改造方案中的设计通风沟高度定为 8 mm，通风沟个数定为 23。

（3）定子绕组。

①将线圈绝缘由原 B 级绝缘更改为 F 级绝缘；

②为了减小股线环流引起的定子绕组温升，下线时在各相绕组支路的 1/2Y 处进行了“R－T”连接换位接线；

③线圈在槽内的径向固定由原来的槽楔固定改为槽楔加楔下波纹板的固定结构。该结构依靠弹性波纹板强有力的弹性使定子线圈在冷、热状态下均承受一定的压力，既能补偿线圈绝缘老化的收缩，又使线圈、槽楔长期运行时牢固不松动；

④为了防止线圈因受电磁振动而磨损绝缘，在线圈出槽口处设置了槽口垫块，槽口垫块安装时浸胶适形毡并与上层或下层一起绑扎，绝缘固化后，槽口垫块与线圈形成一个牢固的整体。

收稿日期：2018-03-08

www.powerfoo.com

3　机组原铁芯拆除后的状况及存在的问题

(1)因该机组为 1957 年的产品,机座分三辨,上、下端齿压板为小齿压板结构。定子在出厂前叠片、下线、运至电站现场组圆,因受当时机械加工能力所限,机座内圆并未机加工,仅靠挂鸽尾筋通过手工测绘的方式找正内圆。作为铁芯叠片的基准,因没有加工基准面从而给找机座中心带来极大的困难。

(2)定子铁芯拆除前定子圆度的测量。

按 GB 8564 – 2003《水轮发电机组安装技术规范》(以下简称 GB 8564 – 2003 规范)规定:"定子圆度测量,各半径与设计半径之差不应大于设计空气间隙值的 ±5% ……",本机组的允许偏差为 14 × ±5% = ±0.7(mm)。

据此计算,上段半径最大值为 15.54 mm ,最小值为 14.14 mm。其 1、2、8、24、12、13、14、15、17、18 测点超标。中段半径最大值为 14.86 mm,最小值为 13.46mm, 1、9、10、13、14、15、16、17 测点超标。下段半径最大值为 14.9 mm,最小值为 13.5 mm, 14、15、16 测点超标。

(3)旧铁芯拆除后,对定位筋上、中、下段分别进行圆度测量,平均半径相对值上段为 8.53 mm、中段为 8 mm、下段为 7.89 mm。测量结果表明:定位筋半径布圆上、下端圆度存在较大的锥度。

(4)定位筋情况。

48 根定位筋其弦距、垂直度、直线度差别较大、严重超标,多处弦距差别大于 1.28 mm。为避免相邻冲片边缘搭叠,有意将冲片接缝处的间隙放大,设计成 0.8 mm(现在的设计值一般选 0.2 ~0.25 mm)。其中一根定位筋下端出现断裂翘起的情况。有 15 根定位筋下端面未超出下环板下平面,最大值为 3 mm。

(5)原机组所有上齿压板压指的下平面均堆焊有 10 mm 高的增高层。

(6)原冲片质量差,其上下表面绝缘层脱落较严重。

(7)定子铁芯沿圆周方向高度不等,最小值为 780 mm,最大值为 785 mm,均未达到设计值 790 mm。

4　原机组存在的问题及影响机组运行的原因分析

(1)定子铁芯圆度严重超差。

从定子铁芯圆度测量值看,因原机组定位筋装配质量较差,定位筋半径分布圆上、下端圆度存在较大的锥度,且弦距、垂直度、直线度严重超标,导致定子铁芯圆度超差且其平均半径均小于设计值,从而使定子气隙值变小。由于电机短路比 Kc 与气隙值 δ 成正比,故电机的气隙值变小使得短路比有所下降,将影响到发电机的过载能力和电压变化率,同时亦影响到电力系统的静态稳定性。上、中、下段铁芯各半径不均匀而造成气隙不均匀、磁路不对称,故所产生的磁拉力亦不平衡,将导致发电机组运行时摆度及振动增大,机组输出电压波形变差,谐波成份亦增大。

(2)铁芯松动问题。

原机组在长达数十年的运行过程中,铁芯受热膨胀及附加压力等多种因素的作用,使铁芯冲片漆膜变薄,加之冲片漆膜绝缘老化收缩,使其片间的紧密度降低,产生了松动现象。铁芯松动会产生振动,导致冲片绝缘漆膜进一步磨损、松动进一步加剧。铁芯冲片的电磁振动及噪声亦将大幅增大。铁芯冲片的强烈振动将使冲片的绝缘层严重脱落,这一点可以从拆除的旧冲片的生锈情况看出。铁芯松动加剧后还将磨损定子绕组的绝缘。

该机组于 1994 年更换定子绕组时对定子铁芯进行过一次压紧处理。由于当时没有备用冲片,故无法用增加冲片的方法重压铁芯,只是在上齿压板压指下平面堆焊金属用于增加压紧行程、再进行铁芯压紧。重压后铁芯沿圆周方向的高度不等,最小值为 780 mm,最大值为 785 mm,均小于设计值 790 mm。因下齿压板压指的上平面未堆焊金属,此时定子铁芯磁力中心线较铁芯重压前有所下降,相当于定子机座整体下沉,从而增加了推力瓦承受的机械推力负荷,导致推力瓦温度上升,对机组安全运行极为不利。

铁芯重压后,电磁噪声仍然存在,只是有所减小。因冲片绝缘层已严重脱落,铁芯压紧力增大后冲片片间短路点剧增,铁芯涡流损耗上升,导致铁芯发热更为严重,铁芯运行温度持续上升。

(3)相邻冲片轭部接缝处的间隙较大(0.8 mm),定子轭部圆周方向磁路磁阻增大,磁位降增大,使发电机运行时的励磁电流增大,励磁损耗亦增大,发电机运行效率下降。

(4)定位筋的主要作用是承受电磁扭矩和冲

www.powerfo.com

片定位。定位筋焊接在三个托块上,托块再焊接在机座上、中、下环板之上。因定位筋与中间托块早已脱焊,本来由三个托块承受的切向扭力现在落在两个托块上,其下部托块处的定位筋因承受不了增大的扭力而出现断裂。

5　对定子改造过程中存在问题采用的处理方法

5.1　对定位筋的处理

考虑到施工工期、发电等诸多因素,采取对定位筋半径偏小的部位进行适量修磨、使其圆度及锥度等满足叠片基本要求的措施。

(1)定子铁芯中心点的确定。

从发电机上机架轴心处挂钢琴线并以座环找中心,从发电机定子定位筋中段测量其半径的相对读数,+Y 方向(5#定位筋)为 8.14 mm、-Y 方向(29#定位筋)为 8.1 mm、+X 方向(17#定位筋)为 7.86 mm、-X 方向(41#定位筋)为 7.78 mm。+Y、-Y 方向及 +X、-X 方向定位筋半径相对读数较为对称,故可将其作为定子中心的基准点。

(2)定子测圆中心柱的安装。

用钢卷尺测出定位筋中段上述四个点大致的对称中点位置,并使中心柱的轴线与该点位大致重合。中心柱安装完毕,分别在中心柱的 +Y 及 +X 方向各挂一组钢琴线,先调整中心柱的垂直度,其方法是:先在中心柱 +Y 及 +X 两个方向分别画一条素线并确定上下两个端点(相距约 1 m),用内径千分尺分别测量中心柱 +Y、+X 方向上素线的两个端点至 +Y 及 +X 方向钢琴线的距离,反复调整中心柱使其分别相等。垂直度合格后,再调整中心柱的中心。其方法是:用内径千分尺分别测量中心柱至 +Y、-Y 及 +X、-X 方向定位筋的半径,调整中心柱底板上的调整螺栓,使定位筋上述四点上半径对称,如此反复调整垂直度及中心,最终使中心柱垂直度及中心均满足要求。

(3)定位筋修磨量的确定。

根据水轮发电机定子现场装配工艺导则(SD287-88)4.7.5 款“定位筋在各环板处的半径偏差应在设计值的在 ±0.5 mm 以内”的规定,半径合格范围应为:7.75 ~ 8.75 mm,以 7.75 mm 为修磨下限,对于半径读数小于 7.75 mm 的定位筋进行修磨。修磨时,尽量使修磨面与半径垂直,并用平尺靠修磨面使修磨部分与原始面平滑过渡。

(4)更换断裂翘起的定位筋。

对断裂损坏的定位筋进行现场测绘并按设计图生产制造,现场焊接。

(5)对 15 根长度不符合要求的定位筋进行加长处理。

将更换的定位筋用线切割横切成 3 mm 和 5 mm 厚两种规格的块,并在鸽尾槽的后部钻 φ16 塞焊孔。对长度偏差小于 0.5 mm 和 1 mm 者垫入厚度为 3 mm 的定位筋切块,共 12 处。对长度偏差小于 2 mm 和 3 mm 者,垫入厚度为 5 mm 的定位筋切块,共 3 处。焊接方法:将定位筋切块垫入对应编号的定位筋下端面,对齐后通过 φ16 塞焊孔塞焊定位。定位后在定位筋切块与原定位筋(除鸽尾槽)的结合处施焊加固,焊后将焊接处打磨平整。通过上述方法,将定位筋下端面接长,使其对下端冲片能够起到有效的定位作用。

对所有的定位筋进行修磨、加长处理后进行一次着色探伤检查,避免再有断裂的定位筋存在。

5.2　定子铁芯叠片时阶梯冲片边缘搭叠的处理

原机组定子铁芯半径上、下端存在较大的锥度和椭圆度,即上端半径大、下端半径小的情况。虽然对定位筋进行修磨处理、减小了锥度和椭圆度,但在铁芯试叠片时,还是出现了部分相邻阶梯冲片边缘搭叠和翘曲的情况。具体处理方法如下:

(1)对相邻阶梯冲片边缘搭叠和结合缝无间隙对应的定位筋再次进行适量的修磨,以消除阶梯冲片片间无间隙及搭叠的情况,使其满足下线要求并使冲片间结合缝产生一定的间隙(间隙不小于 0.1 mm)。

(2)对于阶梯冲片的鸽尾槽及相邻冲片的结合缝处,用锉刀修磨以消除结合缝无间隙及阶梯冲片边缘搭叠冲片的情况。修磨时用大力钳垫橡胶板或棉布将冲片夹紧以确保漆膜不受到损伤,粘结冲片不分层。修磨后去除毛刺,最后对修磨部分进行补漆处理,避免冲片片间短路。

(3)对于新设计制造的冲片,其相邻冲片接缝处的单边间隙按标准值设计,其值为 0.2 mm,而原冲片为 0.8 mm。对于减小励磁电流及励磁损耗大为有利。

6　定子改造过程验收

www.powerfo.com

(1)定子重新叠片后定子铁芯高度的测量。

定子铁芯安装完毕,对定子铁芯高度进行了全面测量复核,其值均大于铁芯高度设计值 793 mm,满足要求。

(2)定子重新叠片后定子铁芯圆度的测量。

采用吊钢琴的方法,按 GB 8564 - 2003 进行验证。

从定子铁芯上、中、下内半径测量数据看,其圆度满足 GB 8564 - 2003 规范要求,气隙长度亦趋于均匀。

(3)定子铁芯叠片完成后相关参数的验证情况。

定子铁芯叠片完成后,所有的铁芯槽用通槽棒能顺利通过,满足下差的要求。

①定子铁芯压紧紧度的验证:采用 1 400 N 扭力的扭力扳手检验拉紧螺杆;用紧度刀片检查定子铁芯,方法是单手插入深度不大于 3 mm。铁芯紧度验证符合要求。

②定子铁芯端部齿涨为 0.5 mm,定子铁芯的波浪度小于 10 mm,合格。

③定子铁芯改造前后定子与转子安装高程对比情况。

实测定子铁芯平均中心线高程为 5 887.5 mm,转子磁极中心高程为 5 885.75 mm,即定子铁芯磁力中心较转子部分磁力中心高 1.75 mm。

按 GB 8564 - 2003 规范第 7.5.4b 款要求,定子铁芯平均中心线高程高于转子磁极中心,其数值小于定子铁芯有效高度的 0.4%,新安装的定子铁芯有效长度为 584.8 mm,584.8 × 0.4% = 2.336(mm),故其满足规范要求。

(4)定子铁芯铁损试验。

①试验参数计算值。

经计算,该 50W270; 50W270 冲片在 10 000 GS 时单位铁损应≤1.56 W/kg。

②铁损试验结果。

铁损试验磁密为 8 986 GS,换算至 10 000GS 时单位铁损为 1.26 W/kg,小于 1.56 W/kg;齿部及轭部最高温升为 6.066 ℃ < 15 ℃(相关标准的允许温升值)。结论:合格。

(5)改造效果比较(改造前、后的环境温度均为 30℃)。

表 1　改造效果比较表

项目	空冷器 /℃						定子线圈 /℃						定子铁芯 /℃		
	冷风 1	冷风 2	冷风 3	热风 1	热风 2	热风 3	143 槽	137 槽	140 槽	1 槽	89 槽	5 槽	2 槽	4 槽	262 槽
改造前	37	36	35	54	55	55	87	87	89	82	83	84	81	79	82
改造后	28	29	29	44	44	44	52	52	54	49	50	51	49	44	46

通过对定子进行更换、定子铁芯圆度超差处理后,试验数据合格,机组各轴承瓦温、定子线圈及铁芯温度运行良好,达到了改造的目的。

参考文献:

[1]　GB 8564 - 2003,水轮发电机组安装技术规范[S].

[2]　SD287 - 88,水轮发电机定子现场装配工艺导则[S].

作者简介:

邢建模(1974-),男,重庆大足人,副总经理,工程师,从事水电厂安全生产管理及运行检修技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 70 页)

量的部分特征点导入 91 卫图软件进行三维数据解算,提取卫图上采剥区域和排土区域堆浸场及矿区道路的三维数据,再根据解算数据在 Auto CAD 文件内进行展点处理,即可得到三维立体图,既节省了测量人员的劳动强度,又加快了出图时间。

为了更直观的展现整个矿区的面貌,根据解算数据和截取的卫星图,在 Auto CAD 里进行矿区测量数据展绘和地图影像套合使用,可对整个矿区进行实时三维动态控制。

6　结　语

随着科学技术的发展,矿山测量将会越来越智能化,通过卫图助手和制图软件的结合使用,实现了矿山测量管理的三维动态化,对矿区采矿进度,质量安全可以进行实时动态监控管理。莱比塘铜矿在测量实践中不断发展和完善卫图助手与制图软件的结合使用,对推动整个矿区的管理体系进步起到了积极的作用。

作者简介:

刘　李(1984-),男,陕西商洛人,工程师,从事建设工程施工技术与测量工作;

张利梅(1985-),女,陕西商洛人,助理工程师,从事党群管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

www.powerfco.com