

瀑布沟水电站发电机定子下线工艺

冯培均, 青绍林

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局 四川 彭山 620860)

摘要 介绍瀑布沟水轮发电机组定子绕组安装工序和安装工艺技术更新, 分析施工中遇到的主要问题, 并提出了处理的方法。

关键词 定子绕组 技术更新 瀑布沟水电站

中图分类号 : TM303.1

文献标识码 : B

文章编号 : 1006-764X(2011)S2-0032-02

1 概述

瀑布沟水电站位于大渡河中游, 地处四川省西部汉源县及甘洛县交界处, 水电站枢纽位于大渡河与尼日河交汇处上游, 坝址上游距汉源县城约 29 km。该水电站为地下式厂房, 地下厂房共装设 6 台立轴混流式水轮发电机组, 单机额定容量为 600 MW, 电站 500 kV 侧接线方式为 4 串 4/3 断路器接线, 6 进 6 出, 500 kV 一级电压接入电力系统, 电站按无人值班原则设计, 采用计算机监控系统, 由流域梯级调度中心统一调度运行。发电机定子主要技术参数如下: 额定电压为 20 kV, 额定电流为 19 244.5 A, 额定转速为 125 r/min, 定子槽数为 540 槽, 定子绕组绝缘等级为 F, 额定功率因数为 0.9, 额定频率为 50 Hz。

2 定子下线的主要工序

主要的施工工艺流程: 施工准备工作→下线平台安装、现场风水电照明、清点到货材料→线棒画中心线、交流耐压抽样、检查下线工装、铁芯清理、标高、编号→嵌装下层线棒→下层线棒绑扎→下层线棒交流耐压→安装层间测温电阻或层间垫条→嵌装上层线棒→装配槽楔和绑扎→下层、上层线棒交流耐压试验→并头块焊接→铜环引线装配、绝缘盒灌注→定子整体检查、清扫和干燥→定子整体直流、交流耐压验收→定子喷漆。

3 工序工艺的更新

该施工工艺是一般空冷式机组安装流程, 根据新疆吉林台、龙滩水电站定子下线经验, 瀑布沟水电

站定子下线在施工工序上进行了相应的调整, 并对部分工艺进行了更新。

a. 边下线边塞斜边垫块, 边包扎边刷绝缘胶。

①按照常规工艺, 在线棒嵌装完成后, 再组织人员对斜边垫块进行塞放和绑扎。调整后, 有效防止线棒的下沉。②斜边垫块与端箍之间的涤纶毡能完全组合成一个整体。③涤纶毡未固化, 斜边垫块能顺利塞放进去。同时在保证质量的情况下, 能更有效地缩短工期, 在本层线棒嵌装完毕后斜边垫块的绑扎和刷绝缘胶工作已基本同步完成, 缩短 1 个工序的时间。

b. 下层单根线棒嵌装的同时直接安装层间测温电阻元件及层间垫条。将放置层间测温电阻元件及层间垫条工序提前, 其效果是: ①替代下线临时黄垫条, 减少更换时间, 一次到位。②更有效地使槽内导电腻子成型, 减少槽内导电腻子的堆积和后续槽内清理工作。

c. 上端并头块焊接的同时焊接铜环引线头。并头块焊接采用银铜焊接, 待上端并头块焊接验收完毕, 对上端灌注绝缘盒后, 再对铜环引线及引线头进行对装焊接。但是, 焊接引线头是在上端跨线包扎, 上端并头块绝缘盒灌注之后, 由于引线头两侧距离较小, 银铜焊机夹钳无法伸入到位, 只能采取烤枪加温方式, 这种方式不仅防护困难, 而且加温时间太长, 线棒的绝缘、质量要求很难保证。将引线头焊接工序提前的好处是在焊接并头块时同时对跨线及引线头进行焊接, 不用来回倒焊机, 一次焊接到位, 线棒的绝缘和质量得到了保证。

d. 铜环引线整体摆放到位再进行调节。铜环

引线安装根据定子安装工艺要求,厂内需预装,因此有利于铜环引线整体摆放到位后再进行调节。施工步骤:①将铜环引线支撑基础定位,将基础角钢点焊2点,不满焊,便于后续调整。②根据施工图纸,将全部铜环摆放到位,用 $\varnothing 5\text{ mm}$ 玻璃丝绳临时固定,避免铜环掉落。③先将中性点汇流板定位,将每相各个分支逐一进行对装调节,调节好一分支便可以安排专业焊工对铜环引线接头进行焊接,前提是做好防护工作。对装顺序是先从汇流板往引线头方向对装,预留最后一节铜环引线暂时不对装,便于后续调整。主引出线汇流盒采用同样的方法进行对装调节,对装和焊接人员可同时连贯作业,大幅度缩短了施工时间。

e. 下端绝缘盒灌注采用耐温橡胶条固定。绝缘盒灌注方法有很多,如用千斤顶调节、制作临时支撑等。但这些方法都比较繁琐,很难保证绝缘盒的整齐美观。采用耐高温橡胶条就可以解决这个问题,根据下端并头块焊接完后的宽度,以及绝缘盒底部的宽度,算出间隙大小来选择橡胶条规格,将选好的橡胶条截成120 mm左右(2根),待绝缘盒灌入合适灌注胶后,将2根橡胶条放置在绝缘盒开口处两端,再将绝缘盒慢慢往上套,直至并头块接近绝缘盒底部。

4 施工中遇到的主要问题分析及处理方法

根据3台机组定子槽电位数据显示,定子上层线棒与下层线棒相比较,上层线棒局部槽电位大于10 V,超出了估计,下层线棒符合规范要求。针对此现象分析可能存在以下因素:①J301 半导体腻子不均匀。刮J301 半导体腻子厚薄是凭个人经验,在涂刮过程中难免会出现不均匀现象,使之在线棒嵌入槽内后有间隙。②槽衬纸破裂。在线棒嵌入槽内

过程中,采用人力使线棒上下端部受力,受力不均匀,同时线棒在嵌入过程中产生轴向窜动,以及槽内喷涂槽底漆厚薄不一致、定子叠片质量、J301 腻子厚薄度等,都会使槽衬纸产生破裂。③下层线棒紧靠槽底部,底部先放置半导体玻璃布板,下层线棒与之接触相对较为光滑,间隙小,靠上层线棒的是层间垫条,当下完下层线棒后,J301 腻子溢出、槽衬纸局部重叠,使层间垫条与上层线棒不能完全紧靠在一起,间隙较大。④线棒嵌装完毕后下坠。下线过程采用流水线作业,即线棒的嵌装—斜边垫块塞放—绑扎—取压线工具。由于压线工具数量有限,需循环使用,因此在绑扎完毕后就把压线工具拆掉,J301 腻子未能及时固化,线棒难免会有下坠现象。

处理方法:用塞尺检查线棒侧面与铁芯的间隙,若间隙大于0.25 mm、长度超过100 mm、且深度大于线棒径向厚度时,在相应位置画出记号,根据间隙大小选择塞半导体垫条,再用低电阻半导体漆涂刷在发电机铁芯壁与线棒之间的间隙内,以保证线棒与铁芯壁严密结合。通过这样处理后,可以消除槽电位不合格而带来的线棒电晕问题,降低发电机定子铁芯槽电位减弱甚至消灭发电机定子槽内电晕腐蚀,延长发电机定子线棒运行寿命,保证发电机运行安全的效果。

5 结 语

瀑布沟水电站4台机组定子下线交、直流耐压均一次性通过,工期时间大幅度缩短,现3台水轮机发电机组也投入商业运行,实际运行效果良好,证明瀑布沟水电站定子下线工艺不仅在技术上是可行的,而且效果是显著的。

(收稿日期 2011-08-12 编辑 方字形)

(上接第31页)加大穿心螺杆的压紧力矩,使其最终的压紧力矩分别达到设计扭力值。每次使用穿心螺杆端部螺纹均应涂上二硫化钼,同时,严禁铁芯压紧过程中使用风动扳手。在叠装过程中,每大段定子铁芯叠装完成后,在压紧状态下,应测量定子铁芯轭部背部高度及槽底、槽口铁芯高度尺寸和定子铁芯的半径和圆周波浪度。铁心预压检查:第1次预压:铁心波浪度小于或等于5 mm,高度公差为 $-1 \sim +5\text{ mm}$,最终的压紧力矩分别达到设计值;第2次预压:铁心波浪度小于或等于5 mm,高度公差为 $-1 \sim +6\text{ mm}$,最终的压紧力矩分别达到设计值;第3次预压:铁心波浪度小于或等于6 mm,高度公差为 $-1 \sim +6$

mm,最终的压紧力矩分别达到设计值;第4次预压:铁心波浪度小于或等于6 mm,高度公差为 $-1 \sim +7\text{ mm}$,最终的压紧力矩分别达到设计值;第5次预压:铁心波浪度小于或等于6 mm,高度公差为 $-2 \sim +8\text{ mm}$,最终的压紧力矩分别达到设计值。

5 结 语

瀑布沟水电站6号发电机定子叠装完成后,经检查铁芯圆度、高度、波浪度和铁芯压紧程度均满足技术要求。6号发电机定子组装为同类机组积累了丰富的经验,对其他发电机定子组装有一定参考价值。

(收稿日期 2011-08-12 编辑 方字形)

瀑布沟水电站发电机转子组装工艺

刘 吕玉忠 朱庆锋

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局 四川 彭山 620860)

摘要 介绍瀑布沟水电站发电机转子组装工艺,并针对转子圆盘支架焊接、立筋加工、磁轭叠片、冷打键、热打键等关键技术进行探讨。

关键词 瀑布沟水电站;发电机转子;组装工艺;圆盘支架;焊接;叠片;打键

中图分类号:TV734.2 文献标识码:B 文章编号:1006-7647(2011)S2-0034-05

1 概 述

瀑布沟水电站 1~6 号发电机转子由东方电机股份有限公司制造。转子由中心体、圆盘式支臂、磁轭、磁极及其他附件组成,转子上部与上端轴联接,下部与发电机主轴联接。转子支架分 4 瓣运输至现场组装成整体,转子共有 16 个立筋,立筋在转子支架焊接完毕后,现场配刨。转子支架下部设 52 块制动闸板。转子磁轭由 2.5 mm 厚的高强度冲片现场叠压而成,磁轭冲片每 2 张搭叠一层,采用变极距错位叠装。磁轭与转子支架采取磁轭弹性键和磁轭主键的连接方式,通过热打键的方式使磁轭与转子支架形成一个整体,48 个转子磁极挂装于磁轭外侧。瀑布沟水电站发电机转子主要参数见表 1,发电机转子组装程序见图 1。

表 1 瀑布沟水电站发电机转子主要参数

转子装配 质量/t	转子中心 体质量/t	转子支架装 配质量/t	扇形支臂单 瓣质量/t	转子磁轭装 配质量/t
1 160	46.24	162.49	28.73(共 4 瓣)	617.3
磁极装配 质量/t	加工后立筋 半径/mm	磁轭半径/ mm	转子直径/ mm	磁轭高度/ mm
381.6	5 291	6 120.5	13 111	3 310

2 转子支架的组装与焊接

2.1 转子中心体安装

转子中心体安装要求如下:

- a. 均匀对称把紧把合螺栓,将转子中心体固定在中心体支墩上,中心体支墩上平面与转子中心体下法兰面之间的间隙应满足设计要求。
- b. 中心体上法兰水平度不大于 0.02 mm/m。

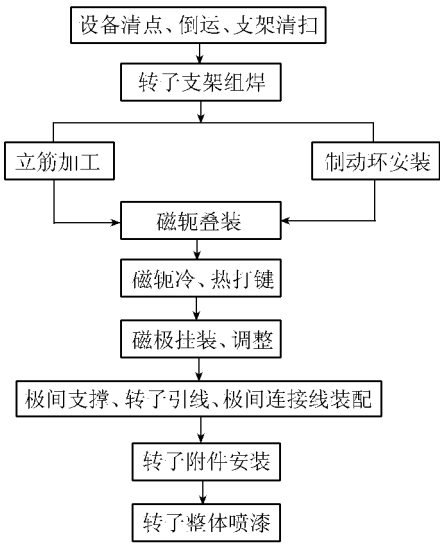


图 1 瀑布沟水电站发电机转子组装流程

c. 以中心体下法兰面止口内侧面为基准,利用吊钢琴线的方法检查中心体上下法兰止口的同心度。

2.2 转子支架组合

中心体质量为 46.24 t,扇形支臂分 4 瓣到货,每瓣 28.73 t,支架组装后总高 3 480 mm,质量为 162.49 t。由于支架在焊接过程中要产生一定程度径向和周向收缩,因此在组装时需对转子支架立筋的外径尺寸适当放大(厂家要求放大 5 mm),以保证焊后尺寸在设计允许范围内。转子支架组装(图 2)步骤如下:

- a. 对转子支架的焊接坡口进行清理,清理范围为坡口面及距离坡口边缘 50 mm 范围内表面的氧化物、油污、熔渣等杂物,焊接区域应打磨出金属光泽。
- b. 将转子中心体上法兰面和测圆架中心柱法兰面清理干净,并检查转子中心体水平应不大于

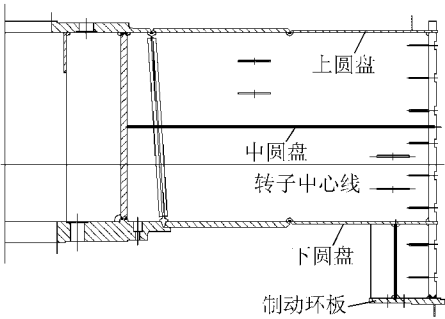


图 2 转子支架组合示意

0.02 mm/m。吊装测圆架中心柱,用连接螺栓将中心柱初步固定在中心体上法兰面上,以中心体下法兰面止口内圆为基准,将测圆架与中心体下法兰面止口内圆的同心度调整到 0.05 mm 以内,将连接螺栓均匀把紧,并复测中心柱与中心体同心度应不大于 0.05 mm。

c. 根据制造厂预装时的标记挂装各支臂,用组合螺栓先将转子扇形支臂与转子中心体之间的切向组合块组合螺栓打紧,然后,将扇形支臂间的径向组合块组合螺栓按从内到外的顺序对称打紧。注意合缝螺栓不可一次拧紧,要分次逐渐合拢转子支臂、拧紧合缝螺栓。

d. 全面检查转子支架组装后各主要尺寸允许公差(表 2),应满足设计要求。

表 2 组合后的转子支架尺寸

项 目	测点位置	允许公差
制动环把合面至中心体下法兰面高差	闸板、下法兰面	75 $\pm$ (-1.5δ)mm
中心体水平	法兰面	0.02 mm/m
闸板水平度 1	接缝处错位	0.05 mm
闸板水平度 2	沿环任一点	< 1.5 mm
立筋垂直度	立筋面	0.5 mm
立筋半径	立筋面	按半径放大计算
立筋弦长	立筋顶部	按半径放大计算,公差 ± 2.0 mm
测圆架与中心体同心度	止口间隙	0.05 mm

2.3 转子支架焊接

2.3.1 焊接前的准备工作

a. 清理焊缝,在焊缝两侧 100 mm 范围内应无油污、油漆及铁锈等杂物。

b. 复查中心体上法兰面水平度和测圆架的准确度。测圆架调整后,中心测圆架转臂重复测量圆周上任意点的半径误差不得大于 0.02 mm,旋转一周测头的上下跳动量不得大于 0.20 mm。

c. 在适当位置安装焊接引弧板,以保证焊接质量,在焊缝两侧打上测量焊接收缩变形的参考点(用游标卡尺测量),在挂钩底部用百分表监测挂钩变形情况。

d. 根据支架不同部位的母材厚度,制作各焊缝处的骑马板。骑马板厚度为 20 ~ 35 mm,对于母材较厚的焊缝,骑马板厚度相应增加,但其厚度不应超过母材厚度的 1/2,骑马板的内侧开口尺寸应能满足施焊要求,其高度以及开口两侧与母材搭焊长度应满足母材焊接要求。

e. 在中心体与支臂间的切向环形焊缝以及扇形支臂间的径向焊缝位置处,沿焊接时焊缝收缩方向按不同母材厚度搭焊相应的骑马板,搭焊骑马板时,搭焊间距为 300 ~ 500 mm 且便于施焊,并保证一定的搭焊角,以防止焊缝收缩过大。

f. 在中心体与支架腹板之间的轴向搭接焊缝以及转子圆盘支架上、下扇形板与中心体切向环形对接环焊缝间打入一定数量小钢楔。钢楔的尺寸根据焊缝实际宽度配制。

2.3.2 减小焊接变形的措施

a. 预热转子支架,预热温度见表 3。

表 3 转子支架预热温度

板厚 δ /mm	预热温度/℃
< 40	10
40 $\leq$ δ < 60	80 ~ 110
≥ 60	80 ~ 110

b. 在各焊缝处焊接骑马板,以防焊接过程中焊缝收缩过大:①上下环缝处每支臂 2 块;②每条径向焊缝处 5 块;③制动环接缝处 3 块,板厚为母板 1/3 ~ 1/2。

c. 控制焊接电流和焊接速度,焊接参数见表 4。

表 4 焊接参数

焊 条	电流/A	电压/V	气体流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
$\varnothing 3.2$	80 ~ 120	22 ~ 26	< 5
$\varnothing 4.0$	150 ~ 180	22 ~ 26	< 5

d. 对间隙较大的焊缝,采用镶边堆焊,并采用多层多道分段退步焊。

e. 采用对称施焊方式,焊接速度应尽可能一致。对焊接过程进行监测和记录,并根据焊接变形,及时调整焊接有关工艺、参数等。

f. 焊接过程中应及时采用有效措施消除部分焊接应力。

2.3.3 焊接顺序

转子支架焊接顺序为:①闸板对接径向焊缝焊接(焊接 70%);②支架上、下圆盘与中心体周向焊缝焊接(50%);③支架上、中、下圆盘径向对接焊缝焊接(支架通风孔内侧段);④支架上、中、下圆盘径向对接焊缝焊接(支架通风孔外侧段);⑤闸板对接径向焊缝焊接(焊接 30%);⑥支架上、下圆盘与中心体周向焊缝焊接(50%);⑦支架中圆盘与中心体

周向焊缝焊接 ;⑧中心体与支架腹板间的连接板搭接角焊缝的焊接(中心体侧);⑨中心体与支架腹板间的连接板搭接角焊缝的焊接(支架侧);⑩焊接中心体与支架下翼板间的圆周段焊缝 ;⑪闸板座板加强板焊接。

2.3.4 焊接注意事项

支架焊接过程中应重点关注 :①严格控制中心体止口椭圆度 ;②防止中心体下法兰面上的推力头把合面变形 ,并与主轴把合面间形成夹角 ,使得主轴相对于镜板工作面出现倾斜。

支架焊接完后 ,应全面清理支架 ,打磨各焊缝表面、通风孔配割面以及支架切向和径向组合块焊疤等。并复查中心体上法兰面的水平度以及上、下法兰面的同心度 ,利用内径千分尺等专用工具 ,检测转子支架焊接后各合缝处的立筋半径及弦距 ,复查制动环把合面的波浪度和制动环把合面与中心体下法兰面间高程差等。要求如下 :①支架焊接后半径为 $5318(-1 \sim 0)$ mm ;②立筋弦长公差 ± 2.0 mm 范围内 ;③挂钩水平不大于 1 mm ;④制动环把合面水平不大于 1.5 mm ,制动环把合面错牙不大于 0.05 mm。

3 立筋现场加工

支架焊接完成后 ,应复测支架各立筋半径及垂直度 ,确定立筋(图 3)的加工余量。支架立筋加工尺寸控制要求如下 :

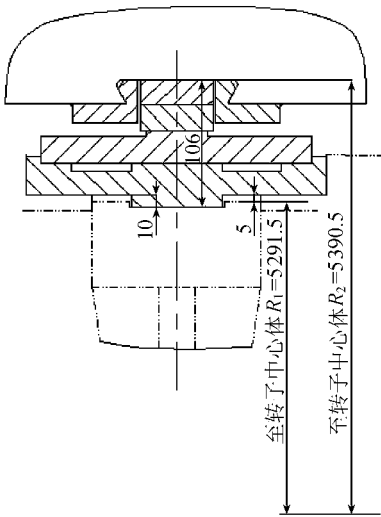


图 3 立筋及键装配

a. 支架立筋正式加工前 ,应复测中心体水平 ,应确保支架立筋的加工工艺、测量方法及手段正确可靠 ,加工设备和测量仪器性能可靠。

b. 支架立筋外径尺寸 ,必须确保磁轭冷、热打键的要求 ,主要控制支架立筋上弹性键安装凹槽绝对半径(绝对半径 $R = 528(0 \sim 0.5)$ mm)。

c. 支架立筋上弹性键安装槽的轴向、周向垂直

度一般不大于 0.05 mm/m ,最大不超过 0.15 mm。

d. 支架立筋上弹性键安装槽中心线的弦距应控制在 2075.2 ± 1 mm。

4 制动环安装

制动环安装于转子支架下侧 ,共有 52 块闸板 ,用螺栓把合。根据厂家的称重标记对称布置并且编号 ,制动环安装时 ,外圆应紧靠支架止口 ,穿入 1/2 数量的把合螺栓 ,并用电动扳手将螺栓把紧。

测量制动环水平 ,以中心体下法兰面为基准 ,测量制动环的高度 ,考虑转子组装完成并将支墩拆除后转子将下沉 ,因此制动环安装高度要比设计高 1 ~ 2 mm。根据测量数据计算出制动环配创量或制动环的加垫量。制动环加工后 ,安装并复测制动闸板数据 ,对个别超差的进行打磨处理 ,直至制动环周向水平在 1.5 mm 以内 ,径向水平不大于 0.50 mm ,并且后一瓣不应高于前一瓣。

各制动闸板间隙应分布均匀。检验合格后 ,将螺栓与制动环点焊。

5 转子装配

磁轭分两大段进行叠装 ,磁轭冲片厚 2.5 mm ,整圆为 12 张扇形片(每张磁轭冲片上有 4 个磁极)组成 ,由圆柱销和临时叠片键定位进行叠装。磁轭叠片按每 2 张冲片为一层搭叠 ,层间相错一个极距并正反向叠片。另外在预压后测定磁轭冲片高度 ,必要时插入调整垫片(图 4)。

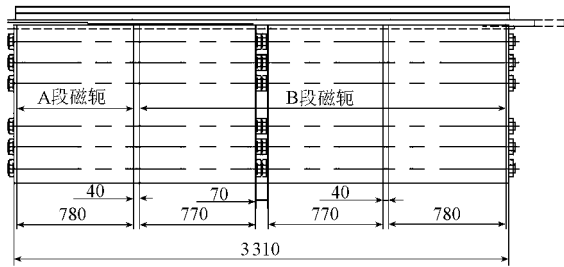


图 4 磁轭装配示意

5.1 磁轭叠装前准备

a. 将磁轭冲片分类堆放 ,并抽检磁轭冲片的分类、清洗情况 ,检查冲片表面是否有油、锈迹和毛刺等 ,并用干净抹布将冲片表面清擦干净。

b. 抽检各等级磁轭冲片各部位厚度 ,计算出每类冲片的实际平均厚度 ,确定磁轭叠装表 ,并要求通风槽片参与配重。

c. 检查中心体上法兰面水平 ,应不大于 0.02 mm/m ;支臂各立筋挂钩水平偏差应不大于 1 mm ,对立筋挂钩超差可采取堆焊或打磨处理。

d. 安放磁轭叠片支墩 ,在每个支墩上摆放 2 对

键,注意其位置不能影响磁轭拉紧螺杆插入,并初步调整其顶部高程和水平。

5.2 第一大段磁轭叠装

a. 安装 8 根磁轭弹性键及磁轭临时叠片键,调整临时叠片导键的切向、径向垂直度,均不大于 0.05 mm/m ,半径为 $5390.5 \pm 0.15\text{ mm}$,调整合格后将临时叠片键固定在支架上。

b. 安装磁轭下压板,调整磁轭下压板圆周波浪度不得大于 2 mm ,其径向水平不得大于 1 mm ;测量磁轭下压板水平并检查磁轭下压板与挂钩间隙,压板与挂钩间应无间隙,局部间隙应不大于 0.50 mm 。合格后将磁轭压板与立筋两侧点焊固定,并用拉伸器将磁轭压板与基础固定。

每张冲片利用 4 根临时圆柱销(圆柱销尺寸根据磁轭拉紧螺栓孔加工)定位,先在磁轭压板上先试叠装 5 层磁轭冲片,将磁轭冲片上的磁轭主键安装“T”型槽中心线与支架立筋上弹性键安装“U”型槽中心线对正,中心线偏差不得大于 1 mm ;调整下磁轭压板,以保证具有“V”型焊坡口的下磁轭压板的拉紧螺杆孔与磁轭拉紧螺杆孔同心,对磁轭压板与磁轭冲片螺孔偏差较大者可采取扩孔处理;调整所叠冲片的外径、圆度,要求其圆度不大于 0.4 mm ,偏心不得大于 0.2 mm 。

按图纸要求插入转子磁轭叠片圆柱销,每张磁轭冲片上插入圆柱销数目不得少于 4 个($\varnothing 20 \times 150$ 、 $\varnothing 20 \times 350$ 各 2 个),继续叠片至约 150 mm 高,调整所叠冲片的外径、圆度,其圆度不应大于 0.4 mm ,偏心不得大于 0.20 mm 。

继续叠片至 530 mm 高,调整所叠冲片的外径、圆度满足要求后,用专用圆拉刀逐一拉铣螺孔,换装永久螺杆,换装时注意要跳跃进行,全部永久螺栓换装完毕后,进行第一次压紧,并装焊磁轭下部切向键,其步骤如下:①在各切向主键的配合面上,抹上清洁的二硫化钼油脂,将位于支架下部 16 组切向主键初步安装就位;②调整各切向主键的径向垂直度,要求其不大于 0.05 mm/m ;将切向主键的每对配对键对称均匀地打入其键槽中,要求每对切向配对键打入键槽中的长度应基本一致,以确保各切向主键轴向中心线正对于其对应的磁轭“T”型槽轴向中心线;③安装各切向主键搭块,合格后,将各搭块与切向主键点焊固定,并将各切向主键搭块对称点焊到转子支架翼板就位;④焊接各切向主键与卡板间焊缝;⑤将各切向主键卡板焊到支架翼缘板上;⑥装焊各切向主键的加强板;⑦焊接完成后,将各切向主键的每对配对键取出,并将各切向主键装配的焊接部位按要求进行刷漆。

c. 按照图纸要求,进行磁轭叠片、压紧等工序,第一段磁轭每 530 mm 压紧 1 次,共 3 次,在叠片、压紧过程中应注意以下几点:①叠片过程中应随时检查冲片的叠放顺序,避免叠错。②叠片过程中应注意整形,不断用铜锤整理磁轭外圆,并对冲片不整齐的部位进行及时处理。③当叠片至通风槽片位置时,应进行通风槽片叠装,并按要求装焊衬口环。④定期用测圆架检查磁轭圆度、同心度应符合规范要求,并用挂钢琴线的方法,每叠 200 mm 高调整磁轭外圆磁极鸽尾槽的周向倾斜,应不大于 0.10 mm/m 。⑤每次压紧后应仔细检查下压板的水平,必要时调整。⑥每次压紧后根据磁轭高度测量结果确定加补偿片位置。⑦利用专用压紧工具进行压紧过程中,应按 50% 、 75% 、 100% 逐渐加大压紧力矩,最终力矩为 $2200\text{ N}\cdot\text{m}$,采用中圈→内圈→外圈→中圈的把紧顺序进行对称多次压紧。⑧每段磁轭压紧后,在磁轭内、外侧搭焊拉筋。⑨最后一次压紧后,复测测圆架的中心和水平合格后,测量磁轭高度以及分上、中、下三个断面测量磁轭圆度,要求:磁轭圆度不大于 0.4 mm ,磁轭整体偏心值不大于 0.2 mm ;磁轭平均高度不得低于设计高度;波浪度不大于 3 mm ,径向水平不大于 1 mm ;磁轭的叠压系数不小于 0.99 ,磁轭垂直度偏差不得大于 0.66 mm 。

d. 用 1 m 平尺检查磁轭与磁极间的接触面,接触面应平直且接触良好,如出现局部高点应进行打磨处理。

e. 第一大段磁轭最终按设计要求压紧后,其拉紧螺杆伸出上部螺母的长度应符合图纸要求,并将上部压紧螺母点焊固定。

5.3 第二大段磁轭叠装

a. 复测中心体的水平以及中心体上、下法兰的同心度,复查临时叠片键的半径及切向、径向垂直度和各叠片键间的弦距,应符合叠片要求,检查测圆架水平及中心应满足叠片要求。

b. 间隔块安装 ①将间隔块安放在第一段磁轭的正确位置处,见图 5。②测量间隔块顶面波浪度

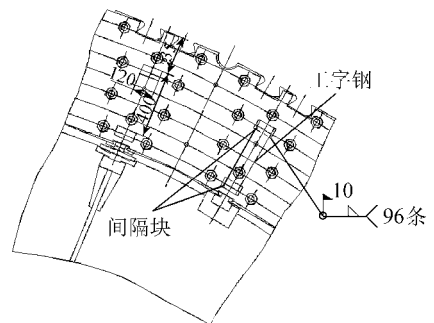


图 5 间隔块及工字钢安装示意

和相邻间隔块的高差,利用在间隔块下方加垫以及配刨间隔块的方法进行调整,使间隔块径向高差不大于 1 mm,所有间隔块的波浪度在 2 mm 以内,周向任意相邻间隔块间高差不大于 1 mm 后,按图纸要求焊接间隔块。

c. 在间隔块上部均布 48 根工字钢,工字钢的高度以便于点焊第二段磁轭下方压紧螺母为原则,测量并调整工字钢顶面的波浪度和相邻高差,利用在工字钢下方加垫以及加工工字钢的方法进行调整,要求径向工字钢的高差不大于 1 mm,所有工字钢的波浪度在 2 mm 以内,周向任意相邻工字钢间高差不大于 1 mm。

d. 在已配好对的扭矩键的配合面上涂清洁的二硫化钼,沿磁轭内侧“T”型槽打入(主要起到定位作用,防止两段磁轭错位)。

e. 将磁轭下压板吊放在工字钢上面,测量并调整磁轭下压板周向波浪度及径向水平应满足叠片要求。

f. 第二段磁轭叠装顺序与预压与第一段磁轭叠装采取一样的工艺。

g. 第二段磁轭最终压紧后,其磁轭圆度、高度及圆周波浪度等要求同第一段磁轭最终压紧后的质量标准,其拉紧螺杆伸出下端螺母的长度应符合图纸要求,并将其下端压紧螺母点焊固定。

h. 按图纸及工艺要求,根据磁轭键槽中心线在转子支架上环板配割缺口,配割完毕后装焊支架上部的 16 组切向键。装焊完成后,将各切向键的配对副键取出。

5.4 第二段磁轭整体就位

a. 在每隔一个磁极的“T”尾下方放置一个 50 t 千斤顶,在千斤顶上放置一根顶杆和一块钢板支撑在第二段磁轭“T”尾处。在每个千斤顶的活塞上标出行程,以便于磁轭下放。

b. 所有千斤顶同时用力将第二段磁轭向上顶起,使第二段磁轭与工字钢之间有均匀的 1 mm 左右间隙,将工字钢取出,对两段磁轭之间进行彻底清扫。

c. 所有千斤顶活塞同时下降,每落下 5 mm 应暂停,在确定所有千斤顶活塞均已降落 5 mm 后,才能再次同时下降,直至第二段磁轭落至间隔块上为止。

d. 全面检测磁轭主要控制参数,其质量标准同磁轭第一段压紧后的质量标准。

5.5 磁轭冷打键

a. 复测中心体下法兰面水平及测圆架中心,按图纸及工艺要求,安装磁轭加强键、磁轭键及挡块等。

b. 用 18 磅大锤在冷态将磁轭键打紧,其打紧后剩余长度应满足热打键的要求。在打紧过程中,应利用冷打键进一步调整磁轭圆度、垂直度以及磁轭偏心。打紧后,检查中心体水平及测圆架应满足要求,测量磁轭圆度不大于 0.40 mm。

c. 冷态打紧磁轭键后,根据磁轭热打键及磁轭圆度调整要求,在相应位置磁轭键上划出磁轭热打键长度标记并作好胀量测量标记。

5.6 磁轭热打键

a. 加热前准备工作 ①在磁轭铁芯的通风沟共布置超薄型硅晶片加热器(4.5 mm × 90 mm × 600 mm)2112 片,其中在每个极点的上段布置 23 片,下段布置 19 片,两段之间布置 2 片,每个加热器功率 500 W;在转子底部布置磁性加热器 12 片,每个加热器功率 10 kW,各加热器用 $\varnothing 16 \times 20$ m 耐高温电线输入,加热总功率 1 200 kW。②磁轭铁芯中均匀布置测量热电偶(0 ~ 800℃)108 支,用 K 型测温补偿导线连接到温控制柜;在磁轭上下段均匀布置 2 圈共 96 支酒精温度计。③磁轭用耐高温、防火保温毯包裹。④选用 4 台自动控温系统,每台功率 300 kW,控温精度 $\pm 5^\circ\text{C}$,手动设定自动检测,数码显示。

b. 热打键 ①先投入磁轭底部 12 个加热片,2 h 后全部投入极点加热片,使铁芯能够逐步、均匀预热,每小时记录 1 次温度和电流。②定期检查电缆与磁轭接触部分是否有异常过热,对加温电流和电压全过程监控。③温度每升高 10℃时检查 1 次每个立筋和磁轭键之间的上下间隙。最终膨胀间隙必须大于 4 mm。④待间隙达到规定值时,将所有磁轭键迅速打入,达到标记位置。热打键完成后关闭电源。⑤将磁轭下部和内圈保温毯打开,其余部分保持不变,每 1 小时记录 1 次温度,转子磁轭自然冷却至接近室温(自然冷却到室温的时间不得小于 48 h)后小心拆除全部保温毯、加热器、热电偶、电线并分类存放。⑥磁轭冷却后,用扭矩扳手全面核查磁轭压紧螺杆扭矩值,合格后,按要求点焊所有磁轭压紧螺杆螺母。检查中心测圆架应满足要求后,全面检查磁轭圆度、波浪度;复查中心体下法兰面水平度以及中心体上下法兰止口的同心度,其质量要求为:磁轭圆度不大于 0.5 mm;磁轭整体偏心值不大于 0.2 mm;磁轭垂直度偏差不得大于 0.66 mm。

5.7 磁极挂装

a. 挂装前准备工作 ①按要求检查各磁极直流电阻、交流阻抗并对每一个磁极进行交流耐压试验,试验合格后方可挂装磁极。②根据磁极的极性和重量编制磁极挂装位置表格,并在磁极两端作上标记。③以中心体下法兰面为基准, (下转第 41 页)

是 200 mm 和 500 mm 长度临时定位销钉,每张冲片均布 4 个。为方便磁轭叠装,在调整叠片导键时,也只是对称调整 2 根叠片导键周向和径向垂直度在 0.10 mm 以内,并且这 2 根叠片导键中心对准键槽中心,其他叠片导键随组叠片高度进行调整。这一定位方式的更改不仅有效保证叠片质量,而且还缩短了转子叠片工期。其中 6 号机就是采用这一定位方式,但在第 1 段 500 mm 高度压紧前换成永久螺杆时,遇到这样的一个难题:将临时定位销钉换成永久螺杆后,个别位置磁轭圆度偏差较大,并且在第 1 段 500 mm 高度叠装过程中,整形比较困难。但在 500 mm 以上高度叠装过程中,就比较顺利且基本上不用调圆,主要原因是下部基础圆度比较好,加上全部用永久螺栓来定位,调整量比较小。所以后续机组在磁轭定位上又进一步优化,在 300 mm 以下高度用临时销钉和叠片导键定位,压板定位后将临时定位销钉换成永久螺栓。这一改进使后续机组比 6 号机组叠装工期提前。

2.4 下部切向键安装

厂家安装工艺说明书中要求切向键安装径向垂直度在 0.05 mm/m,且切向键和键槽紧靠,由于现场空间受限,无法直接用内径千分尺测量切向键径向垂直度。6 号机组只是与键槽紧靠在一起,在焊接过程中,由于焊接变形,切向键上部向键槽方向倾

斜,导致后期圆度调整困难,个别切向键通过打磨后才能保证磁轭圆度,在一定程度上延缓了转子组装机工期。在后续机组安装时,将这更改为在切向键上部预留 0.20 mm 左右的间隙,并且焊接方向由外向内焊接。改进后,后续 3 台机组磁轭叠装时就没出现因焊接变形导致叠片困难的现象。

2.5 增设转子支架清扫孔

转子支架下环板靠近磁轭位置只有 2 个 $\varnothing 300$ mm 孔,这样中间位置是否有杂物根本无法检查到,更谈不上清扫彻底,给机组安全启动带来安全隐患。后征得厂家现场代表同意在中间位置割 $\varnothing 300$ mm 的孔,有效解决了清扫问题,又基本上影响不到转子支架强度,杜绝了机组启动以及运行安全隐患。

3 结 语

瀑布沟水电站转子结构虽然比较复杂,但对其结构了解清楚后,结合现场状况,进行施工工艺优化后,转子组装非常顺利,且组装质量远远优于整体磁轭的叠装,其中 5 号、6 号机组转子组装后磁极圆度不大于 0.70 mm,远小于国家规范标准要求,其中 5 号机组就磁轭叠装一项比 6 号机组节约转子组装机工期近 15 d,确保了 2009 年底机组双投目标。

(收稿日期 2011-08-12 编辑:方字形)

(上接第 38 页)并参考定子铁芯的实际平均中心高程,确定出磁极挂装中心高程。

b. 磁极挂装:①检查成对磁极键在压紧状态下的厚度尺寸,除去磁极键上毛刺、尖角,并在磁极键之间涂抹二硫化钼。②利用磁极吊装工具挂装磁极,先将磁极副键插入到位,后插入主键,以下法兰面为基准测量磁极中心高程符合设计要求后,用 18 磅大锤打紧磁极键,注意第 1 号磁极与第 48 号磁极挂装位置要与转子引线的位置相对应,按照图纸焊接磁极键挡块,焊接完毕后检查焊缝应无飞溅、裂纹等,检查合格后将磁轭清扫干净。③所有磁极的磁极键打紧后,测量单个磁极的绝缘电阻、交流阻抗及进行挂装后的耐压试验。④复测转子磁极的挂装高程,各磁极挂装高程与平均高程之差不应大于 ± 2 mm,其质量要求为:磁极圆度不大于 0.7 mm;磁极半径偏差不大于 1 mm;磁极偏心不大于 0.2 mm;磁极垂直度不大于 0.66 mm。

6 结 语

在完成上述工序后,安装转子其余附件,如阻尼

环、极间支撑、极间连接线等。转子装配完毕后,应检查各个部件是否按要求装配并可靠固定,并检查各焊缝外观应满足设计要求,全面清扫转子,清扫干净后并按要求对转子喷 188 漆。

根据瀑布沟水电站发电机转子的结构特点和施工现场实际情况,安装过程中对转子支架焊接、立筋加工、磁轭定位等工艺进行了改进,不但提高了工作效率,而且保证了转子装配的质量。运行表明,机组的运行指标均符合或优于设计及相关规程规范技术文件要求,实现了主要机电设备运行稳定、安全、可靠的预期目标。

(收稿日期 2011-07-10 编辑:马敏峰)

