

瀑布沟水电站发电机转子支架组焊工艺

龙绍飞 李金明

(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 介绍瀑布沟水电站水轮发电机组转子结构特点、组装方法、圆盘式转子支架焊接工艺及焊接变形控制措施,取得了良好结果,为后续机组的转子支架焊接变形控制提供了经验。

关键词 圆盘式转子支架;转子支架焊接;变形控制;瀑布沟水电站

中图分类号: 文献标识码: B 文章编号: 1006-764X(2011)S2-0044-04

圆盘式转子支架常用于水电站中,圆盘式转子支架具有质量轻、节约材料成本和制造成本、刚度较大、传递力矩大、通风损耗小等特点。同时圆盘式转子支架尺寸大、焊接量大,焊接变形控制难度大。因此,必须采取有效的工地焊接工艺,才能保证焊接质量和控制焊接变形,达到工艺要求,满足尺寸精度的需要。

瀑布沟水电站位于大渡河中游与尼日河交汇处上游,地处四川省西部汉源县及甘洛县交界处,距汉源县城公路里程约 29 km,距成都市直线距离约 200 km。水电站装机 6 台立轴混流式水轮发电机组,单机额定容量为 600 MW,水轮发电机均由东方电机股份有限公司提供。发电机转子由转子支架、磁轭、磁极组成,转子总质量为 1 160 t。

1 转子支架的组装

瀑布沟水电站水轮发电机转子支架为圆盘式支架结构,由中心体和 4 瓣扇形支臂(4 × 28.73 t)组成,转子支架组装后总高 3 480 mm,质量约 162.49 g。

由于转子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(放大 5 mm),以保证焊后结构尺寸在设计允许范围内。转子支架组装步骤如下:

a. 中心体支墩安装。在转子组装平台上吊放中心体支墩,检查支墩上平面水平应小于或等于 0.05 mm/m;支墩与基础板间隙符合要求后,将支墩与基础板固定。在每个外圆支臂的位置布置 2 个支墩,在支墩上布置楔子板用于调整支臂的高程。

b. 对转子支架的工地焊接坡口进行清理,清理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。

c. 将中心体吊放到支墩上,对正中心体的基准线与地样线,以转子中心体下法兰面为基准,调整中心体水平小于或等于 0.02 mm/m,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,检查中心体支墩上平面与转子中心体下法兰面之间间隙应满足要求,中心体上法兰水平度应小于或等于 0.02 mm/m。调整合格后,用吊钢琴线方法检查中心体上法兰、下法兰同心度并记录。

d. 支臂挂装。根据制造厂预装时标记,吊装转子各支臂与中心体对应把合,支臂与地样线对正,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由内到外的打紧顺序对称打紧。注意各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。

e. 回转中心柱安装。回转中心柱安装前,将转子中心体上法兰面和转子中心柱法兰面清理干净,并检查转子中心体水平应小于或等于 0.02 mm/m。吊装转子中心柱,利用连接螺栓将中心柱初步固定在转子中心体上法兰面上,以转子中心体下法兰面止口内圆为基准,将转子测圆架与中心体上法兰面止口内圆的同心度调整到 0.05 mm 以内后,再将连接螺栓均匀把紧,并复测中心柱与转子中心体同心度应小于或等于 0.05 mm。

按图纸全面检查各主要尺寸并记录,见表 1。

2 转子支架的焊接

根据瀑布沟水电站转子支架的特点和现场施工

表1 转子支架的尺寸调整目标

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	755 mm(-1.5 ϕ)
中心体水平	法兰面	0.02 mm/m
闸板水平度	接缝处错位沿环任一点	0.05 mm <1.5 mm
立筋垂直度	立筋面	0.5
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

条件, 支架的焊接方法选用手工电弧焊, 手工电弧焊具有操作灵活、焊接质量稳定等特点。焊接材料选用自贡大西牌 E5015 焊条。

转子支架为传统圆盘式结构, 中心体与圆盘支架间有径向对接缝和环向对接缝, 且焊缝离中心体的距离较近, 故焊接时对中心体加工后的形位公差影响比较大, 单边“V”形坡口的厚板环向对接焊缝, 其焊接变形对挂钩的上翘和立筋的垂直度、圆度及中心体和制动环水平影响是一个控制难点, 为减小焊接变形, 焊缝上应加焊骑马板, 间隔距离为 500 mm 左右。

2.1 转子支架焊接工艺流程

转子支架焊接工艺流程见图 1。

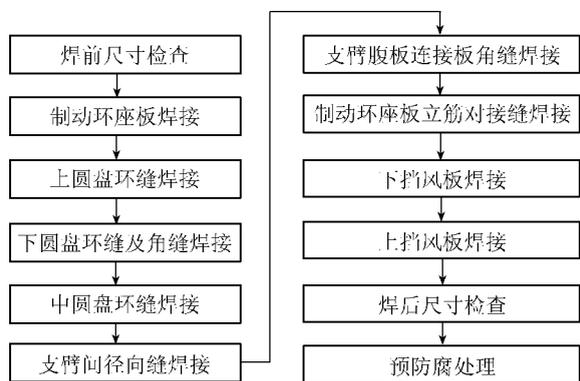


图1 转子支架焊接工艺流程

2.2 焊接工艺

a. 焊接现场布置。转子支架的焊接工作在安装间进行。在安装间适当位置布置焊机、刨机、空压机、温控仪、焊条烘干箱等焊接设备, 必须整齐, 把线、电缆走向整齐, 满足文明施工要求。脚手架搭设牢固, 灭火器配置到位, 符合安全施工要求。

b. 焊前尺寸检查。在测圆架支臂端部悬挂的钢丝线, 检查立筋的半径、垂直度和同心度。用精密水准仪检查制动环(闸板座板)与中心体下法兰的高差及中心体下法兰的水平。所有的部件和中心体装配在指定的位置, 检查测量精加工面的基准点, 以保证组装符合转子支架装配尺寸。做好变形监控点位

标识, 记录原始数据。所有控制尺寸检查完后, 应在图纸及标准的规范内进行焊前的准备工作。在径向焊缝的端部安装引熄弧板, 以保证焊缝端部的内部质量。焊前在各焊缝两侧打上测量焊接变形(收缩)的参考点(洋冲点, 用游标卡尺测量); 挂钩的上翘可在每瓣支臂挂钩底部安装 3 个千分表监测。在支臂焊缝位置加“U”形搭板加固(骑马板); “U”形板间隔距离为 500 mm 左右, 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, 焊后重新检查转子支架的各项控制尺寸。

c. 焊接。对组装间隙大的焊缝采用镶边焊, 先进行坡口堆焊, 尽量保证各条焊缝的间隙一致, 防止由于间隙不均匀、焊接量不一致引起焊接变形。焊接过程对称进行, 焊接速度尽可能一致, 并采取多层多道分段退步焊。板厚度大于 40 mm 时, 在焊接前应加温, 加温温度为 50~80℃ 左右, 焊接过程中的层间温度应保持在 150℃ 左右。对焊接过程进行监测和记录, 根据变形情况, 及时调整焊接的有关工艺参数和焊工的人数, 必须严格控制预热温度、层间温度及焊接热输入量。每班(每天)开始焊接前必须进行测量, 根据测量情况随时调整焊接顺序。

除第 1 层和最后一层焊缝外, 在焊完每层焊缝后, 用风铲锤击焊缝, 以消除部分焊接应力。

焊接顺序如图 2 所示。

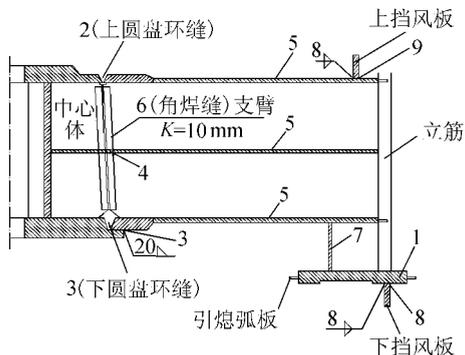


图2 焊缝编号及整体焊接顺序示意图

第 1 步 焊接制动环座板对接缝(坡口形式见图 3) 即焊缝编号为 1 的焊缝, 缝长为 4×0.82 m, 4 名焊工对称施焊, 先焊平焊位置即大坡口侧, 焊接 3 层, 仰焊位置清根打磨 PT 检查。确认没有问题后进行仰焊

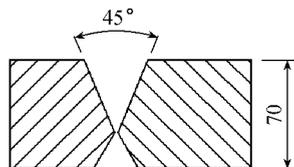


图3 座板对接缝坡口示意图(单位: mm)

位置焊接。根据测量制动环座板变形情况调整焊接顺序。焊接厚度为板厚的 $2/3$ 时进行第 2 步。

第 2 步 焊接上圆盘环缝(坡口形式见图 4),缝长为 11.341 m ,为带垫板的单面坡口,焊接变形大,注意控制。4 名焊工对称均布(见图 5),分段退步跳焊。焊接厚度为板厚的 $1/2$ 时进行第三步。

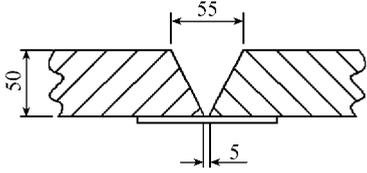


图 4 上圆盘环缝坡口示意图(单位 mm)

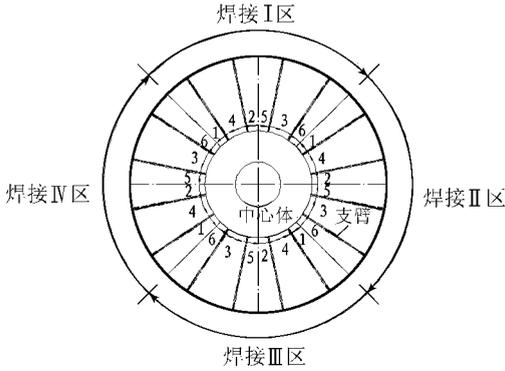


图 5 圆盘环缝焊接区分布示意图

第 3 步 焊接下圆盘环缝(坡口形式见图 6),焊缝长度 12.284 m ,为带垫板的单面坡口,焊接变形大,注意控制。4 名焊工对称均布(见图 5),分段退步跳焊。焊接厚度为板厚的 $1/2$ 时,根据测量结果,进行制动环、上圆盘、下圆盘的剩余焊缝的焊接,至焊接完成。焊接下圆盘环角焊缝(坡口形式见图 6)焊缝长 12.755 m ,焊脚 $K = 20\text{ mm}$ 4 名焊工对称均布(图 5),分段退步跳焊。

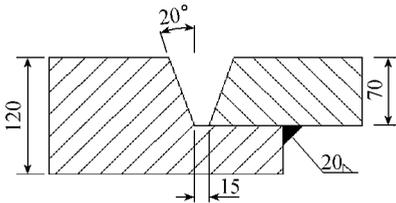


图 6 上圆盘环缝坡口示意图(单位 mm)

第 4 步 焊接中圆盘环缝(坡口形式见图 7),焊缝长 11.341 m ,坡口为对称 X 形 4 名焊工对称均布

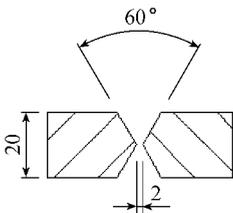


图 7 中圆盘环缝坡口示意图(单位 mm)

(图 5),分段退步跳焊。

第 5 步 焊接支臂间径向焊缝(坡口形式见图 8),中间层焊缝长为 $4 \times 2.9\text{ m}$,上层焊缝长 $(1.82\text{ m} + 1.69\text{ m}) \times 4$,下层焊缝长 $(1.82\text{ m} + 1.53\text{ m}) \times 4$,每条焊缝 2 名焊工施焊,共 8 名焊工焊接,分段退步跳焊。先焊中间层,再下层,最后上层,3 层交替进行。

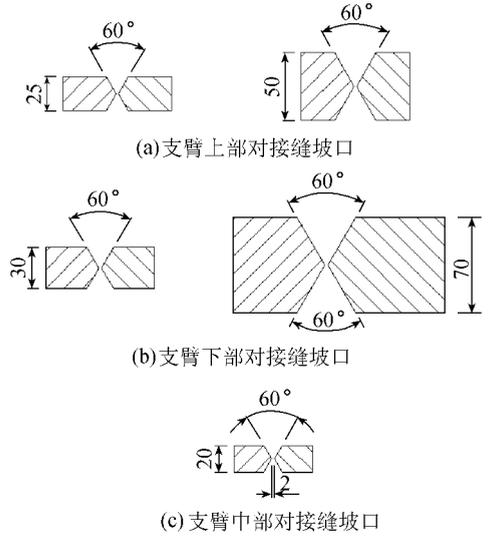


图 8 支臂对接缝坡口示意图(单位 mm)

第 6 步 焊接支臂与中心体的立板对接角焊缝(坡口形式见图 9)焊缝长度为 140.8 m 8 名焊工对称均布,分段退步跳焊。

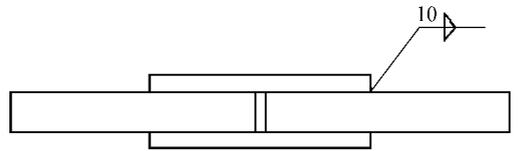


图 9 立板角焊缝示意图(单位 mm)

第 7 步 焊接制动环座板立筋对接缝(坡口形式见图 10)焊缝长为 $4 \times 0.86\text{ m}$ 4 名焊工焊接,分段退步焊。

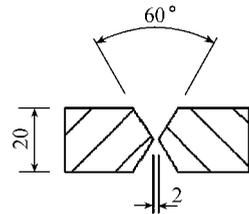


图 10 制动环座板立筋对接缝坡口示意图(单位 mm)

第 8 步 焊接下挡风板,焊缝长为 33.238 m ,焊脚 $K = 8\text{ mm}$ 8 名焊工焊接,分段退步焊。

第 9 步 焊接上挡风板,焊缝长为 31.479 m ,焊脚 $K = 8\text{ mm}$ 8 名焊工焊接,分段退步焊。

带背面垫板的对接焊缝的焊接如图 11 所示。为保证焊缝根部充分熔合,应使用小直径焊条。X 形对接焊缝的焊接如图 12 所示。焊接深度的 $1/3$,但不小于 20 mm 。用碳弧气刨对背焊位置进行清

根 清理焊缝 用 PT 检查焊缝根部。根据变形的情况交替焊接 ,直到焊完整条焊缝。焊接工艺参数见表 2。

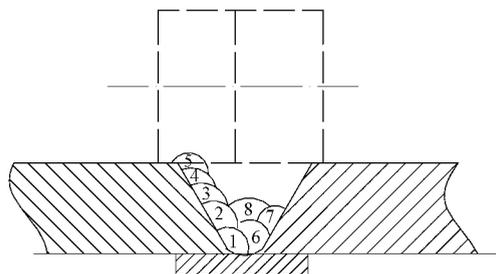


图 11 带背面垫板的对接焊缝的焊接示意图

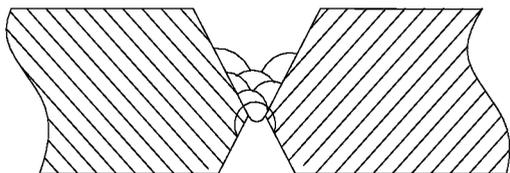


图 12 X 形对接焊缝的焊接示意图

表 2 焊接工艺参数

焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V
3.2	80 ~ 120	23 ~ 25
4.0	150 ~ 180	25 ~ 28

2.3 监控项目

为控制焊接变形尺寸 ,在中心体的上法兰面 4 个方向打上标记 ,并在标记处装上合象水平仪 ,监控中心体水平 ,在底部架设水准仪监测制动闸板的水平和倾斜度 ,在径向合缝处做好标记 ,监控径向收缩量。当完成下述每道工序时 ,要对各项数据进行测量并作记录。①转子支架中心体和外环组件组装后 ,定位板焊前 ;②定位板全部焊完 ;③制动闸板焊接 1/3 2/3 ,清根、背缝焊接 ;④上环缝焊接 1/2 , 2/3 3/3 ;⑤下环缝焊缝 1/2 2/3 3/3 ;⑥中环缝焊接 1/3 2/3 3/3 ;⑦转子支架径向缝焊接 ;⑧转子支架立缝焊接 ;⑨转子支架所有焊缝焊完后冷却。

发机班和焊工班需配合好 ,每次测量后数据及时反映到监控负责人处 ,及时根据变形情况调整焊接顺序。

2.4 转子支架焊接后检查结果

所有一类、二类焊缝采用 UT 检查 ,一次合格率为 99.89%。

3 结 语

a. 转子支架组装焊接质量直接影响转子的整体组装质量。通过本工艺的有效控制 ,转子支架组装焊接后 ,各项焊后技术要求均达到了设计及规范标准 ,不仅为转子整体组装创造了良好条件 ,同时也

为机组的安全运行奠定了基础。

b. 加强焊接过程的监控力度 ,所有参与人员配合好 ,根据变形情况及时调整焊接顺序 ,转子支架的焊接变形控制在技术要求范围内。

c. 对焊接人员的要求 ,既要控制好焊接变形 ,还得控制好焊缝内部质量。如果一次合格率低于 95% ,局部返修 ,直接影响整体变形控制效果。

(收稿日期 2011-08-12 编辑 :方宇彤)

(上接第 10 页)

座环平面加工时 ,水平面倾斜或波浪度达不到设计要求。分析原因主要是由于机床本身以及其他振动的影响。因此 ,要随时跟踪检查加工进刀量的变化情况 ,并且每加工完一遍必须检查加工面的水平情况并进行相应的处理。

4 结 语

通过加工前的精确调整和加工中的跟踪控制、及时分析和工艺调整 ,瀑布沟电站 6 号机组座环最终的加工质量达到了优良标准 ,表面粗糙度也完全满足设计图纸的要求。加工工期比原计划提前了 15 d ,并且为后期的机组安装提供了良好的基础 ,大幅度减小了机组运行的振动。

(收稿日期 2011-07-10 编辑 :高建群)

(上接第 43 页)

d. 加热过程中应有足够的钳工、电工、消防人员值班。

e. 高处作业应遵守有关规定 ,上下层交叉作业必须有良好的防护措施 ,严禁上下抛掷工具、杂物等。

8 环境保护措施

a. 工作地点及通道必须保持整洁通畅 ,物件堆放必须整齐、稳固 ,每天下班前应清扫场地 ,保持场地清洁 ,做到工完、料尽、场地清。

b. 避免使用石棉制品等对人体有害的物质。

c. 施工中应注意对环境的保护 ,施工垃圾应集中处理。

d. 地下厂房临时通风设备应连续运行。

9 结 语

瀑布沟电站的 6 号、5 号、4 号、3 号机组转子磁轭热打键的热胀量均匀 ,所用时间均在 8 ~ 10 h 以内 ,笔者认为瀑布沟水电站转子磁轭加温的技术比较成熟 ,值得推广。

(收稿日期 2010-08-12 编辑 :方宇彤)