

# 大型水轮发电机组下机架组装焊接工艺浅析

何涛

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i3.6218

**[摘要]** 下机架作为负荷机架,承受所有转动部件的重量、水轮机轴向水推力、下机架自重、推力轴承和导轴承重量以及各种工况下作用在下机架上的径向和切向负荷,下机架通过基础板地脚螺栓将下机架固定在基础上。对于大型水轮发电机组来说,其组装焊接工艺要求更高。因此,下机架的组装焊接质量对水轮发电机组的安全稳定运行起着关键作用。本文详细介绍水电站发电机下机架现场组装焊接的工艺措施,通过对焊接过程中的变形进行监测,并实时调整焊接顺序,能够有效控制焊接变形;为大型水轮发电机组下机架的现场组装焊接提供了借鉴参考。

**[关键词]** 下机架; 现场组装; 焊接; 工艺

**中图分类号:** TG43 **文献标识码:** A

Analysis on the assembly and welding process of the lower frame of large hydro generator unit

Tao He

PowerChina East China survey, design and Research Institute Co., Ltd

**[Abstract]** as a load frame, the lower frame bears the weight of all rotating parts, the axial hydraulic thrust of the turbine, the weight of the lower frame, the weight of thrust bearings and guide bearings, and the radial and tangential loads acting on the lower frame under various working conditions. The lower frame is fixed on the foundation by foundation plate anchor bolts. For large hydro generator units, the requirements for assembly and welding process are higher. Therefore, the assembly and welding quality of the lower frame plays a key role in the safe and stable operation of the hydro generator unit. This paper introduces in detail the process measures of on-site assembly and welding of generator lower frame in hydropower station. Through monitoring the deformation in the welding process and adjusting the welding sequence in real time, the welding deformation can be effectively controlled; It provides a reference for the field assembly and welding of the lower frame of large hydro generator units.

**[Key words]** lower frame; Field assembly; Welding; technology

## 引言

水电站发电机下机架的现场组装焊接是确保机组稳定运行的关键环节。本文详细探讨了该工艺的具体措施,重点介绍了通过实时监测焊接过程中的变形情况,并动态调整焊接顺序,从而有效控制焊接变形的技术方法。这些措施不仅提升了焊接质量,还为大型水轮发电机组下机架的现场组装焊接提供了宝贵的实践经验和参考依据。

## 1 概述

某水电站发电机下机架总重82000kg,分为1个中心体和10个支臂组成的辐射型钢板(Q345B)焊接结构,中心体及10个支臂运至工地进行组装焊接。

## 2 主要设备及工、器具

自备工具与设备:

自备主要工具与设备见表1。

## 3 工艺过程

### 3.1 下机架组装

#### 3.1.1 场地准备

下机架的装焊场地应整洁、无杂物影响下机架的装配、焊接、测量等工序。在装配场地上划出下机架的坐标基准线及轮廓线,划线完成后在中心体底部位置均布四个钢支墩、在每个中心体外圆支臂处布置1个钢支墩,所有钢支墩上部要摆放一对楔子板用于下机架中心体及支臂水平调整使用。

#### 3.1.2 下机架清扫

(1) 坡口清理,对下机架的工地焊接坡口进行清理,清理范围为坡口面及距离坡口边缘至少100mm范围内的表面。该区域内应无氧化物、油污、熔渣等杂物,焊接区域应打磨出金属光泽。

表1 自备主要工具与设备

| 序号 | 名称       | 规格型号                | 单位 | 数量 | 备注 |
|----|----------|---------------------|----|----|----|
| 1  | 逆变焊机     | 630A                | 台  | 10 |    |
| 2  | 空气压缩机    |                     | 台  | 3  |    |
| 3  | 焊条烘箱     |                     | 台  | 1  |    |
| 4  | 角尺       |                     | 把  | 2  |    |
| 6  | 钢卷尺      | 15m                 | 把  | 2  |    |
| 7  | 水准仪      |                     | 台  | 1  |    |
| 9  | 框式水平仪    | 250mm×250mm0.02mm/m | 台  | 1  |    |
| 10 | 千斤顶      | 50t                 | 台  | 6  |    |
| 11 | 千斤顶      | 25t                 | 台  | 6  |    |
| 12 | 砂轮机      | φ150、180            | 台  | 各3 |    |
| 13 | 直磨机      |                     | 台  | 2  |    |
| 14 | 求心器      |                     | 台  | 1  | 自制 |
| 15 | 求心器水平梁   |                     | 套  | 1  | 自制 |
| 16 | 钢支墩      | 1000mm              | 套  | 14 |    |
| 17 | 磁力表座及百分表 |                     | 套  | 24 |    |
| 18 | 大锤       |                     | 把  | 2  |    |
| 19 | 油桶       |                     | 套  | 1  |    |
| 20 | 内径千分尺    | 0-2000 mm           | 套  | 1  |    |

(2) 设备加工面清扫, 对下机架中心体上平面进行清扫, 采用油污清洗剂去除加工面的防锈层, 并将高点及毛刺打磨平整。利用丝锥对螺栓孔螺纹进行清理。

(3) 在安装场地的中心体位置布置4个钢支墩, 支墩参考高度1000mm; 在每个支臂的位置布置1个钢支墩, 支墩采用钢板焊接结构, 上下采用厚25mm的钢板焊接成一体; 在支墩上平面布置一对楔子板用于调整平面度。(如图1所示)

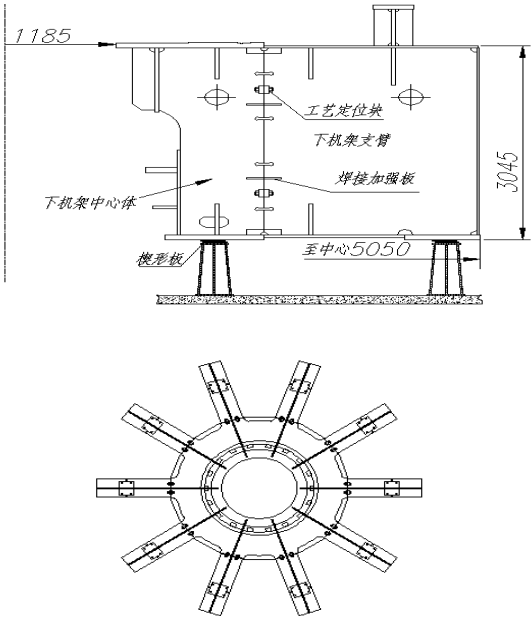


图1 下机架组焊支墩布置图

(4) 将中心体吊放在钢支墩上, 以中心体的上平面加工面为基准, 使用精密水准仪调整水平, 平面度不大于0.02mm/m, 垫稳钢支墩并与中心体用搭板临时点焊固定。

(5) 按制造厂在下机架上所做的标记, 利用厂房桥机吊装各支臂, 吊装前首先将支臂支墩布置到位, 吊装时首先穿入支臂上部工艺定位块把合块螺栓, 然后穿入支臂下部工艺定位块把合块螺栓, 基本定位后先用千斤顶临时支撑, 然后根据实际测量值, 利用楔子板调整支臂水平。

(6) 为防止下机架中心体水平发生变化, 在下机架支臂挂装时需对称进行支臂挂装。

(7) 支臂挂装完成后, 在下机架中心体上部布置平衡梁和求心器; 通过求心器引出一钢琴线, 下部悬挂重锤置于油桶中, 以中心体上平面的加工面为基准, 找出下机架的实际中心, 并以此为中心基准对各支臂的主要尺寸的进行调整。

(如图2所示)

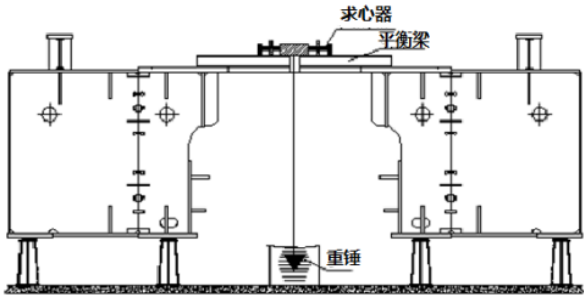


图2 下机架调整示意图

(8) 根据调整结果, 考虑到焊接收缩等因素, 需要对下机架的支臂的半径尺寸进行放大。支臂半径尺寸放大主要依靠在支臂与中心体连接的各工艺定位块之间增减垫片来实现, 一般所加垫片后各半径尺寸应比设计尺寸大3~4mm。

(9) 在下机架支臂外端的水平、径向各放置一块百分表, 用样冲打上标记以便在焊接过程中测量变化值。百分表的指针调至1/2最大量程。

(10) 对下机架的尺寸调整符合要求后, 在上、下翼板的每条合缝处各装焊2件焊接加强板, 在立筋板的合缝处装2件焊接加强板, (焊接加强板尺寸为: 350mm×200mm×25mm) 焊接加强板与筋板的焊角为12mm。装焊焊接加强板时, 为防止下机架的焊接变形先将加强板一侧的角焊缝焊接完成且冷却至室温后, 再进行另一侧角焊缝的焊接。

加强板焊接时应先焊接立筋板处的加强板、然后焊接上、下翼板处的加强板, 加强板焊接时应根据百分表的监控数据及时调整焊接顺序。(注: 如焊缝为非对称坡口加强板应安装在焊缝坡口较小的一侧, 正式焊接焊缝时先焊接焊缝坡口较大的一侧)。

(11) 焊前尺寸调整(如图3所示)

- a. 推力轴承座安装面水平度 (E1)  $\geq 0.02\text{mm/m}^{[1]}$ ;
- b. 推力油槽安装面水平度 (E2)  $\geq 0.02\text{mm/m}^{[1]}$ ;
- c. 制动器安装座水平度 (E3) 整圈3mm (2mm);

- d. 下机架安装基础面水平度 (E4) 整圈3mm (2mm);
- e. 制动器安装座与推力轴承座安装面高度 (H)  $590 \pm 1.5$  mm;
- f. 下机架支臂至中心值 (B)  $5050 \pm 4$  mm; 下机架支臂外侧弦距均匀弦长误差控制在  $\pm 4$  mm;
- g. 下机架支臂中心线垂直度2mm;
- h. 各焊缝接头处错口:  $\leq 1.0$  mm;

各4个百分表监控焊接变形

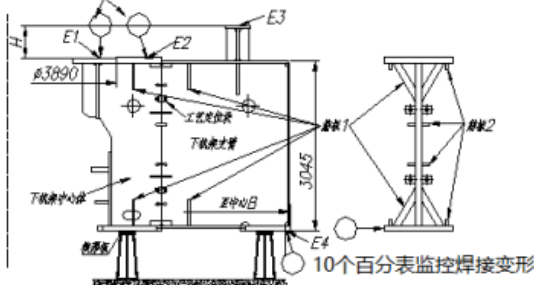


图3 下机架各部尺寸测量示意图

### 3.2 下机架焊接

现场焊接采用手工电弧焊, 全位置焊接; 采用直流电源, 极性DCEP; 焊接时需用短弧操作, 以窄道焊接为宜。下机架焊接工艺及参数如下:

#### 3.2.1 下机架中心体与支臂之间的定位焊接

(1) 焊前准备: 在焊缝坡口处放置陶瓷加热器, 做好焊前预热准备工作。正式开始焊接前需将支臂下方的楔子板松开, 约2mm~3mm使支臂处于自由状态。

(2) 定位焊的顺序: 立焊缝定位焊→上、下翼板定位焊。

(3) 定位焊要求: 定位焊与正式焊缝的焊接要求相同, 焊接前要对板厚大于25mm的焊缝两侧100mm范围内进行焊前预热, 预热温度为100~150℃, 焊条使用前严格按焊条使用说明书进行烘干, 焊条使用时放于保温筒内, 随用随取, 焊接过程焊条保温桶要通电保温。

(4) 定位焊原则: 先焊焊缝的中间部位, 再焊两侧位置。定位焊缝长60mm~80mm, 厚度在10mm~15mm范围内, 每隔300mm~400mm焊一段, 上下层错20mm~30mm, 立焊缝至少3点定位焊, 根据焊缝的长度适当增加定位焊处数。定位焊过程中应随时监视百分表的数值变化以便及时调整焊接顺序。(定位焊接前对焊缝间隙大于3mm的焊缝, 首先进行镶边焊接, 焊接后对缺陷部位进行打磨处理并按要求进行无损检测合格。

(5) 立焊缝定位焊接完毕后待焊缝冷却至室温时, 对下机架中心体水平、支臂水平、支臂半径等相关数据进行测量, 根据测量结果确定先进行上翼板的定位焊接还是下翼板的定位焊接。上、下翼板的定位焊接原则同样是先定位焊缝中间段然后定位焊缝两侧。

(6) 定位焊接完成后, 测量下机架各主要尺寸并作好详细的记录作为正式焊接时焊接顺序的参考依据。

(7) 所有参与下机架焊接的人员必须具备焊接资格认证按规定持证上岗, 在焊接前焊工应参加现场组织的焊接考试, 通过

现场焊接考试对焊工的焊接技能进行综合评估, 经考试合格的焊工方可进行下机架的焊接工作。

#### (8) 下机架正式焊接

①焊接顺序: 立焊缝接→上、下翼板焊接。

②焊接要求: 焊接前要对板厚大于25mm的焊缝两侧100mm范围内进行焊前预热, 预热温度为100~150℃, 焊接过程需控制层间温度不大于250℃。

焊条使用前严格按焊条使用说明书进行烘干, 使用时放于保温筒内, 随用随取, 焊接过程焊条保温桶要通电保温。

下机架焊接由10名焊工对称分布在每个支臂处负责各区间内的焊缝焊接工作, 所有焊工需采取相同的工艺和参数, 同时、同向、同速、分段退步、多层多道的方法焊接。焊接过程中焊接工艺员要时刻观察百分表的测量值变化和焊工的作业程序是否符合工艺要求。

焊缝锤击应在焊缝每个小分段焊接完一层后立即趁热锤击。焊接过程中除底层焊缝和盖面层焊缝不进行锤击外, 对其余各层焊缝应逐层进行锤击, 以降低焊缝的残余应力。(注: 焊缝锤击工具的锤击头不应尖锐, 锤击头应为  $\Phi 3$  mm的圆头。)

焊接过程中上、下层的焊缝接头要错开30mm~50mm, 对于接头处间隙超过3mm的位置需对坡口进行堆焊。

③变形监测: 在中心体上法兰面, 支臂下层轴向、径向方向采用刚性支架固定多个百分表, 并在焊缝打底及填充过程中连续监测半径及弦距的变化量。在焊前、定位焊、焊缝的底层、中间层、表层5个阶段填写下机架尺寸检查记录, 用以记录焊缝收缩量变化, 如发现异常及时调整焊接顺序。

#### ④填充金属材料

- a. 焊条牌号J507标准号 中国标准(GB)GB/T 5117 E5015;
- b. 焊条规格:  $\Phi 3.2$  mm、 $\Phi 4.0$  mm;
- c. 母材: Q345-B、Q235-B;
- d. 焊接规范: 见表2<sup>[2]</sup>。

表2 焊接工艺规范

| 焊条直径          | 电压(V) | 平焊(A)   | 立焊(A)   | 仰焊(A)   | V(mm/min) |
|---------------|-------|---------|---------|---------|-----------|
| $\Phi 3.2$ mm | 20~28 | 100~150 | 80~120  | 80~120  | 60~200    |
| $\Phi 4.0$ mm | 22~28 | 150~190 | 130~170 | 140~180 | 60~200    |

#### ⑤焊接顺序及调整焊接顺序的原则, 如下:

a. 先焊立焊缝, 将大面坡口的焊缝焊至2/3时割除焊缝上安装的焊接加强板, 然后用碳弧气刨对焊缝进行清根; 立焊缝清根完成后用磨光机将清根后的渗碳层打磨出金属光泽并做PT探伤检查。

立焊缝清根完成后待焊缝冷却至室温后对下机架相关数据进行一次测量, 根据测量结果及时调整背缝的焊接顺序。当背缝焊接至2/3后, 交替焊完焊缝的正反两面, 立焊缝的纵向焊接顺序见图4<sup>[3]</sup>。

b. 焊接上、下翼板, 将上、下翼板的大面坡口侧的焊缝均交

替焊至2/3时割除焊缝上安装的焊接加强板,用碳弧气刨对焊缝的背缝进行清根;焊缝清根完成后用磨光机将焊缝上的渗碳层打磨出金属光泽并做PT探伤检查,PT检测合格后进行背缝焊接,当上、下翼板的背缝交替焊接至2/3时,将焊缝的正、反两面焊缝交替填满。

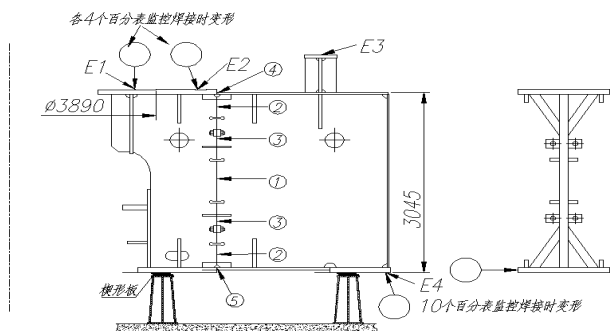


图4 下机架焊接顺序示意图

⑥焊后尺寸检查:

- 推力轴承座安装面水平度 (E1)  $\geq 0.03\text{mm/m}^{[1]}$ ;
- 推力油槽安装面水平度 (E2)  $\geq 0.03\text{mm/m}^{[1]}$ ;
- 制动器安装座水平度 (E3) 整圈3mm (2mm);
- 下机架安装基础面水平度 (E4) 整圈3mm (2mm);
- 制动器安装座与推力轴承座安装面高度 (H)  $590 \pm 1.5\text{mm}$ ;
- 下机架支臂至中心值 (B)  $5050 \pm 4\text{mm}$ ; 下机架支臂外侧弦距应均匀弦长误差控制在  $\pm 5\text{mm}$ ;
- 下机架支臂中心线垂直度2mm。

⑦焊缝全部焊接完成后打磨焊缝表面及附近区域,在焊接完成48h以后按图纸技术要求对焊缝进行100%PT和100%UT检测,确认焊缝缺陷是否除尽。

⑧探伤检测合格后按要求对焊缝进行补刷油漆。

⑨组织下机架焊后验收。

#### 4 下机架组装焊接重点、难点控制

水轮发电机组下机架为负荷机架,承受所有转动部件的重量、水轮机轴向水推力、下机架和推力轴承自重,以及各种工况下作用在下机架上的径向和切向负荷,因此,对于直径大、重量重、支臂多的大型下机架,对其组装和焊接工艺提出了苛刻要求,在装焊过程中,需要注意以下环节:下机架组装精度的控制:包括中心体水平度、支臂半径、支臂弦长、支臂水平度、支臂垂直度、焊缝错边量等相关尺寸的控制;支臂焊接工艺确定及焊接过程下机架焊接变形控制,是下机架装焊的关键技术。

#### 5 结论

大型水轮发电机组的下机架部件受运输条件限制,需要在现场进行组装焊接,因此下机架的焊接质量是整个水轮发电机组安装质量控制的重中之重;下机架组装焊接过程中,重点对中心体调整,支臂挂装及焊接进行严格的质量控制,尤其在装焊的每一步工序中,需反复测量验证下机架中心体水平,支臂水平、半径、弦距等相关尺寸,确保下机架组装、焊接质量,为后期机组安全稳定运行奠定良好基础。

#### [参考文献]

- [1]付元初.GB/T8564-2023《水轮发电机组安装技术规范》国家标准总论[J].水电站机电技术,2024,47(3):1-12.
- [2]张玲,李章贵.下机架现场焊接工艺指导[J].现代机械,2012(5):65-67.
- [3]李明奎,贺涵.水轮发电机下机架组装及焊接工艺技术分析[J].百科论坛电子杂志,2021(7):2894.

#### 作者简介:

何涛(1983—)男,汉族,陕西西安人,本科,职称工程师。研究方向:水电站机电设备安装。