

桥巩水电站机电安装中的变形问题

韩 强, 钟小华

(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 探讨特大型灯泡贯流式机组机电安装中的变形问题, 包括: 构件吊装变形问题、焊接变形问题、温度变形问题、力作用变形问题等。对于构件吊装变形问题, 采用加装支撑和尽量缩短吊装时间的方法; 对于焊接变形问题采用分段、跳开、对称、退步等焊接新工艺; 对于混凝土浇筑中的变形问题, 主要采用分层、分块、增加养护时间等方法。指出力的影响变形极其复杂, 在调整发电机组推力轴承和水轮机组水导轴承周向间隙时, 要进行计算并预估计出水力作用后灯泡头和转轮的上浮量及水力和重力作用下的转轮室的下沉量, 留出轴承间隙的调整余量。

关键词 灯泡贯流式水轮机; 焊接; 温度变形; 机电安装; 桥巩水电站

中图分类号: TK730.6

文献标识码: B

文章编号: 1006-764X(2008)S2-0012-04

桥巩水电站电站装设 8 台灯泡贯流式水轮发电机组, 总装机容量为 8×57 MW。机组支撑采用管形座为主支撑, 发电机侧设辅助支撑。管形座由内环、外环、外环里衬、上部竖井和下部竖井、上下导流板等组成。内环 X-X 方向分上下两瓣结构供货, 外环和外环里衬为分瓣结构供货。管形座与混凝土接触面设有锚具及拉杆, 下部竖井支撑与基础之间设有安装调整装置。管形座现场组装所需焊条和埋设在混凝土中的全部筋板和锚具、浇筑混凝土时内外管形壳之间的支撑以及和配水环连接用的螺栓、螺母等加固材料均由主机制造厂家供货。管形壳底部开一定数量的混凝土浇筑孔和灌浆孔, 并带堵板。

管型座使用普通钢材(Q235A/B)焊接而成。管型座外环直径分别为 $\varnothing 10\,870$ mm 和 $\varnothing 12\,806$ mm, 上、下梯形柱的柱端面相距 21 350 mm, 管型座的总质量约为 235 t。管型座分为 12 大件运至工地进行组装和焊接。上下梯形柱各 1 件, 内环分为 2 瓣, 外环分为 4 瓣, 外环里衬分为 4 瓣。内环与上下梯形柱采用螺栓组合, 并焊接组合焊缝。2 瓣内环组合缝采用螺栓连接, 并封焊组合缝。4 瓣外环组合缝采用螺栓连接结构, 封焊组合缝。4 瓣外环里衬组合缝及与外环连接的环缝均采用焊接结构。外环及外环里衬在安装时采用支撑钢管固定在内环上。

灯泡贯流式水轮机的许多结构上的特点给机组的安装带来难点: 一是支撑方式上, 整个灯泡是一个

大型薄壳外压容器, 除承受机组转动部分重量外, 还要承受水压力、浮力、正向水推力、反向水推力、振动力矩、电磁力矩等荷载, 因此灯泡机组的支撑体起着举足轻重的作用。主支撑由管型座(俗称座环)承担。管型座由内外两部分组成, 上下支柱为管型座的主要组成部分, 各种荷载主要通过管型座传递给基础, 支柱中为空心, 作为运行检修人员的上下通道。在灯泡头的底部设有 1 个球形支撑, 其特点是允许灯泡头有微小的变形, 并可减少振动。另外灯泡头的两侧还装有 2 个横向支撑, 与管型座及球支撑共同对灯泡形成一个稳定的支撑结构; 二是轴承结构为二支点双悬臂结构, 设有发电机组轴承和水导轴承, 2 套轴承共用 1 套轴承润滑油装置。组合轴承位于发电机的下游侧, 由正推力轴承、反推力轴承和发导轴承组成, 水导轴承在水轮机大轴密封的上游侧。

1 吊装变形问题

1.1 尾水管埋设件

尾水管安装必须在二期混凝土工程已经完成, 预埋管件、地脚螺钉孔、各支墩尺寸、标高均均安装完毕、进水流道及尾水管混凝土符合设计要求后进行。尾水管分 3 节瓣制成, 工地组焊。按要求进行分节组装, 最后组装成整体。尾水管检测合格后, 焊接尾水管内部支撑。配制 $\varnothing 630$ 尾水管进入门。

6个底座、斜楔、地脚螺栓等的具体位置可根据实际情况调整。由于尾水管埋件尺寸大,吊起过程中变形难免,而且尾水管进口法兰将来要和水轮机转轮室出口法兰联结,因此对尾水管埋件的安装精度要求非常高,必须在中心高程、圆度、波浪度等方面都满足要求。所以尾水管埋件的安装吊装中,在尾水管内部必须焊接足够的支撑,吊空时间必须尽可能短。

1.2 锥形管(座环)

①根据厂家图纸《埋入部分装配》示意,将下梯形柱与前期预埋的基础板焊接加固在一起;②安装内外环之间的所有钢管支撑并焊接牢靠;③安装外环法兰与尾水管之间的9根间距管并焊接牢靠;④利用前期在管型座侧墙上埋设的基础板对外环进行支撑加固;⑤根据厂家提供的图纸,在管型座上下梯形柱及外环外侧焊接锚钩;⑥根据厂家图纸及提供的材料,在内环、外环、外环里衬及过渡里衬内部进行支撑加固;⑦根据现场实际情况,在适当位置利用厂家提供的材料对管型座进行加固;⑧在进行管型座加固焊接时,应监测内环法兰面、外环法兰面的变形情况。

1.3 导水机构

灯泡贯流式水轮机的导水机构是水轮机的重要组成部分。由于尺寸比较大,且导叶要求在内外环中可以转动,这样导叶的轴端必然与内外环之间存在间隙,在起吊过程中内外环必然发生变形。由于导水机构进口法兰要和座环的出口法兰联结,而导水机构的出口法兰要和水轮机的转轮室的进口法兰联结,所以导水机构吊在空中的时间比较长,这样导水机构极易产生不可回复的塑性变形。

1.4 发电机定子

灯泡贯流式水轮发电机组定子上游端与灯泡头相连,下游端与水轮机管型座(座环)相连,整个灯泡头和发电机定子是一个悬臂梁。由于自重的作用,静止时前端会向下弯曲,而流道充水后灯泡头和发电机定子又会上浮。这样,为了防止运行时转子扫膛,对定子变形的要求就特别高。由于安装的需要,定子滞空时间可能比较长,定子一旦在起吊过程中发生变形,特别是发生不可回复的塑性变形,那么在运行时定子的圆度极易不满足要求,导致发生扫膛。

2 焊接变形问题

2.1 锥形管焊接变形问题

2.1.1 内环与梯形柱焊接

管型座梯形柱为梯形板式焊接结构,其截面靠上游(上底边)2000mm,靠下游(下底边)1291.3mm,梯形的高度为2320mm(见图1)。梯形柱与内环组

合后的焊接坡口形式见图2。

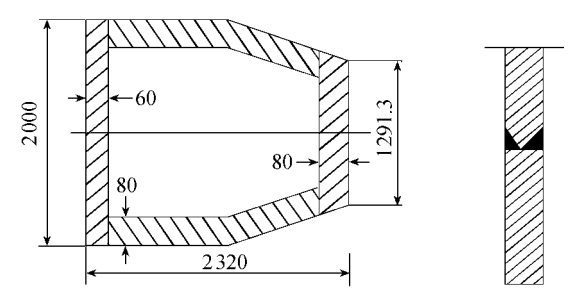


图1 梯形柱截面(单位:mm)

图2 焊缝结构

2.1.1.1 焊接准备

- a. 焊前必须将坡口两侧的油污、油脂、潮气、铁锈、油漆或其他任何影响焊接质量的杂物清理干净,坡口内的氧化皮、铁锈必须打磨显露出金属光泽。
- b. 焊条在焊前必须在焊条烘干箱内进行350℃烘焙2h后使用,工作面使用时需使用保温筒,且保温随用随取。
- c. 焊接方法采用手工电弧焊。
- d. 焊接材料为J507焊条,规格为 $\varnothing 3.2$ mm, $\varnothing 4$ mm, $\varnothing 5$ mm共3种。
- e. 焊接人员4人,必须持有电力部或锅炉压力容器合格证书,经监理工程师认可,并挂牌上岗。
- f. 焊接加热方式采用远红外加热装置进行加热。

2.1.1.2 梯形柱与内环焊缝定位焊

- a. 定位焊、梯形柱装配点焊使用的焊条应与正式焊接的焊条相同,点焊长度控制在60~80mm范围内,点焊厚度控制在5mm以内。
- b. 焊接前,根据厂家焊接工艺要求进行预热(60~80mm钢板一般采取在焊缝两侧大于或等于200mm位置,设置履带加热片进行加热,加热温度控制在120℃范围内)。

- c. 在焊接过程中,因层间温度下降,还需在焊接的外侧加热,最高层间温度控制在280℃。

2.1.1.3 梯形柱与内环焊缝正式焊接

- a. 焊接工序:①焊前预热温度为120℃。②内侧焊接首先进行封底焊,检查合格后再继续焊接到50%内坡口深度。③外侧清根、检查要求外侧碳弧气刨进行清根,并使用砂轮修整,作100%磁粉探伤。④外侧焊接至坡口50%深度为止,然后使用砂轮修整,作100%磁粉探伤。⑤内、外侧焊缝对称、平衡、交替焊接,将焊缝坡口焊满。
- b. 焊接方式:焊接采用分段、跳焊、退步方式进行,见图3。

- c. 焊接工艺要求:①焊缝焊接采用多层、多道焊,封底和盖面使用 $\varnothing 3.2$ mm焊条,其余各层采用 $\varnothing 4.0$ mm和 $\varnothing 5.0$ mm焊条。②各层焊接厚度控制

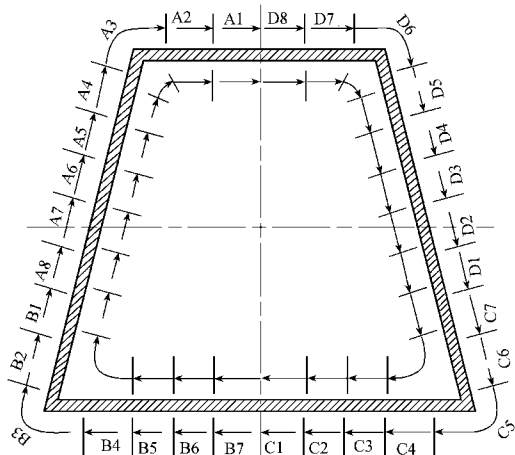


图3 管型座梯形柱焊接顺序示意图

在 5 ~ 7 mm , 上下层焊道的接头应错开 50 mm 以上 , 焊条摆动的宽度不得大于 12 mm。对于焊接方向 , 除根部 2 层焊道方向一致外 , 其余各层交替相反。③焊缝盖面时须从坡口的一侧开始 , 最后的 1 条焊道不允许与母材相接。④焊接过程中须有技术人员和质检员监测焊接变形 , 并根据焊接变形情况随时调整焊接顺序。

d. 焊后去应力退火 ①梯形柱与内环对接焊缝焊后都必须做去应力退火处理。②退火及加热时应缓慢均匀升温 , 达到温度 560 ~ 590℃ 范围 , 保温 2 h 然后缓冷。③加热及冷却时最大速度 150℃/h , 隔热体宽度必须是加热区域宽度的 2 倍以上 , 整条焊缝必须同时进行热处理。

e. 焊缝检查 梯形柱与内环对接焊缝图纸编号为① , 检查按照厂家安装说明书的要求执行 , 但不低于国家规范的要求 , 做 100% 的 UT 和 100% 的 PT。

2.1.2 外环里衬和过渡里衬的纵缝、环缝焊接

a. 外环里衬和过渡里衬的钢板厚度均在 20 mm 以下 , 根据广西地区的气温 , 焊接时不需要预热 , 可以按照厂家焊接技术要求和常规的焊接工艺要求进行焊接。

b. 焊缝焊接 2 遍后在背面进行清根 , 并根据角变形情况调整焊接顺序和焊接工艺。

c. 环缝应根据焊缝长度确定焊工人数 , 采用对称、分段、退焊以控制焊接变形 , 工装拉板应在焊缝焊接完毕后割除 , 同时 , 在焊接过程中需利用百分表监视外环法兰面的变形情况 , 及时调整焊接工艺。

d. 外环里衬和过渡里衬的纵缝、环缝应按照图纸编号③的要求 , 进行 100% PT 和 10% 的 UT 检查。

2.1.3 其余管型座组装焊缝

其余管型座组装焊缝均为三类焊缝 , 按照厂家安装说明书的要求做 PT 检查及外观检查 , 并做好检查记录。

2.2 导水机构组装焊接变形问题

导水机构内、外环各分 2 瓣 , 到现场需焊接整圆。由于强度的需要 , 导水机构的内外环具有一定的厚度 , 虽然焊接时采用一定的工艺 , 但是焊接过程中的变形几乎是不可避免的。导水机构内、外环一旦发生变形 , 那么进口端与管型座法兰连接的法兰以及出口端与水轮机转轮室连接的法兰均会发生变形 , 同时 , 安装在内外环之间的导叶极易产生卡阻。

2.3 尾水管埋设件组装焊接变形问题

a. 焊接坡口边缘至少 50 mm 范围内的油、漆、垢、锈等应除净 , 水汽应烤干。

b. 使用的焊条为 J507 , 焊接时进行烘干保温和取用。

c. 参加锥管焊接的焊工应是全位置合格并持证上岗 , 评定焊缝质量的检验人员应有 II 级以上的探伤资格证书。

d. 焊工必须携带刨锤、扁铲、保温筒等焊接工具 , 每层焊前必须将上一层的焊渣彻底清除净 , 层间接头错开 30 ~ 50 mm。

e. 焊缝装配间隙为 2 ~ 5 mm , 局部大于 5 mm 时应先进行堆焊至符合要求再进行封底焊接。

f. V 形坡口纵缝焊接 2 遍后进行清根 , 再根据角变形情况调整焊接顺序和焊接工艺。

g. 环缝应根据焊缝长度确定焊工人数 , 采用对称、分段、退焊以控制焊接变形。

h. 吊装使用的吊耳必须由合格焊工按施工详图焊接 , 吊耳焊缝外观检查应合格。

i. 焊缝外观检查和内部质量探伤按制造厂工艺要求进行 , 焊缝应按 ASME-VIII-APP(磁粉探伤) 进行焊缝质量检查。

j. 焊缝返修一般不超过 2 次 , 第 2 次返修应事先由焊接技术人员编制返修工艺 , 并有专人监督实施。返修后再作探伤扩大范围检查。

3 温度变形问题

3.1 混凝土浇筑温度变形对尾水管埋设件的影响

a. 灯泡贯流式机组 , 尤其有法兰面的尾水锥管将是整台水力机组安装的一个重要基准 , 故对尾水锥管的中心、高程、水平的安装精度要求很高 , 特别是水平度偏差 , 如尾水锥管的水平度超差 , 将会影响整台水力机组的安装质量。浇筑混凝土时应注意 : ①混凝土下料点应对称、均匀分布。②建议混凝土浇筑上升速度不应超过 300 mm/h。③建议每层浇筑混凝土的高度不大于 2.5 m。

b. 对尾水锥管法兰面的监测及控制 ①利用水准仪对尾水锥管法兰面进行监控。混凝土浇筑之前 ,

测量法兰面处的 8 点水平值 ,并做好记录。②当混凝土浇筑第 1 个 2.5 m 高度时 ,测量尾水管法兰的水平 ,做好记录 ,根据水平的变化情况调整各位置的浇筑量。③当混凝土浇筑上升到第 2 个 2.5 m 高度时 ,第 2 次测量尾水管法兰的水平并做好记录 ,根据水平的变化情况 ,调整混凝土浇筑方位、速度和浇筑量。④第 3 次、第 4 次直至尾水锥管二期混凝土浇筑完毕。

3.2 混凝土浇筑温度变形对锥形管的影响

管型座安装验收后 ,就可进行钢筋绑扎、混凝土回填工作。因管型座的安装质量要求相当严格 ,混凝土浇筑时稍有不慎就会造成设备的位移或变形 ,所以对混凝土浇筑提出一些要求。另外 ,混凝土浇筑完毕后 ,还有工作需要完善。

a. 对混凝土浇筑的要求 :①吊运钢筋、模板及浇筑时 ,不能碰撞管型座、间距管、线加及其他与管型座连接的加固材料。②浇筑混凝土时尽量采取溜筒 ,避免用混凝土罐直接排灌。③使用振捣器时不要触动外环衬板。④建议管型座周围混凝土浇筑速度 ,管型座安装中心高程 52.6 m 以下时 ,最大浇筑速度 300 mm/h ,每层浇筑高度 1000 m ,管型座安装中心高程 52.6 m 以上时 ,最大浇筑速度 500 mm/h ,每层浇筑高度 2000 m ;每浇筑 1 层的养护时间根据规范要求与监理协商决定。

b. 对管型座外环法兰面的监测及控制 :①在管型座外环法兰面上沿圆周方向均匀设置 4 ~ 8 个测点 ,利用全站仪对管型座外环法兰面进行监控 ,根据现场情况 ,架设百分表配合监测)。②混凝土浇筑之

前 ,测量法兰面处的 4 ~ 8 点水平值 ,并做好记录。当混凝土浇筑第 1 层时 ,测量管型座外环法兰的水平 ,做好记录 ,根据水平的变化情况及时调整各位置的浇筑量。③当混凝土浇筑上升到第 2 层时 ,第 2 次测量管型座外环法兰的水平 ,并做好记录 ,根据水平的变化情况 ,调整混凝土浇筑方位、速度和浇筑量。④第 3 次、第 4 次直至管型座二期混凝土浇筑完毕。

c. 混凝土浇筑后管型座的完善工作 :①外环如果浇筑不实 ,需钻孔灌浆。②下导流板位置的灌浆孔及排气孔在浇筑完毕后进行堵板的焊接。③对内环及外环法兰的有关尺寸、控制数据进行复测检查。④当混凝土强度达到 80% 以后 ,割除所有内部支撑、拆除间距管。⑤管型座内部清扫、打磨光滑 ,缺陷处进行补焊。⑥在所有焊接打磨的区域涂防锈漆 ,在法兰上涂防锈油脂。

4 结 语

大型灯泡贯流式机组机电安装中的变形问题是一个非常复杂的问题 ,除了上述变形问题外还有力作用变形问题 ,包括灯泡头在水力作用下上浮、转轮在水力作用下上浮、转轮室在水力和重力作用下下沉等。这些变形问题影响因素多 ,有时是交叉影响 ,具有不可预测性 ,而且有许多变形问题是各种因素综合影响的结果 ,变形问题关系到机组的安装质量及机组能否长期、安全、高效运行 ,是一个需要深入研究的问题。

(收稿日期 2008-11-28 编辑 高建群)

· 简讯 ·

《水利水电科技进展》再次入选中文核心期刊

据《中文核心期刊要目总览》2008 年版编委会通知 ,依据文献计量学的原理和方法 ,经研究人员对相关文献的检索、计算和分析 ,以及学科专家评审《水利水电科技进展》已入选《中文核心期刊要目总览》2008 年版(即第五版)之水利工程类的核心期刊。据《中文核心期刊要目总览》2008 年版编委会介绍 ,这次核心期刊的评选工作 ,是由北京地区十几所高校图书馆、中国科学院国家科学图书馆、中国社会科学院文献信息中心、中国人民大学书报资料中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国农业科学院农业信息研究所等相关单位的百余名专家和期刊工作者研究完成的。这次对中文核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、获奖或被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web 下载量等 9 个评价指标。选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 80 余种 ,统计到的文献数量共计 32 400 余万篇次。最终从我国出版的 9 800 多种正式期刊中评选出 1 980 余种中文核心期刊。

目前 ,在我国自然科学领域较有影响的核心期刊评定主要有中国科学院文献信息中心的《中国科学引文数据库》(CSCD)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国科技信息研究所的《中国科技论文统计源期刊》(中国科技核心期刊)三大体系。社会科学领域较有影响的核心期刊评定主要有南京大学中国社会科学研究评价中心的《中文社会科学引文索引》(CSSCI)、北京大学图书馆的《中文核心期刊要目总览》、中国社会科学院文献信息中心的《中国人文社会科学核心期刊要览》三大体系。其中《中文核心期刊要目总览》分别于 1992 年、1996 年、2000 年、2004 年、2008 年共出版 5 次。

(本刊编辑部供稿)