

# 不锈钢复合钢衬制作施工工艺研究

李欣威

中国水利水电第四工程局有限公司

**摘要:**水电站建设过程中,钢衬制作施工是一种重要的施工工艺,钢衬材料为双相奥氏体不锈钢复合钢板,该材料施工难度大、质量难以控制。针对钢衬制作制定进行施工技术研究,有利于推动该项施工技术发展,在更多的水电工程项目上推广应用,充分发挥钢衬泄洪消能作用,对行业的推动发展和降低工程造价具有深远意义。基于此,本文详细分析了不锈钢复合钢衬制作工艺施工策略,希望能对相关研究做出参考性建议。

**关键词:** 不锈钢复合钢衬; 专用吊卡具; 反变形工装; 新型纵缝坡口; 弧形钢衬成型装置; 工艺施工

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2022.04.243

## 引言

在水电站泄洪深孔钢衬制作施工中,对钢衬制作技术进行优化和创新,经过优化的不锈钢复合钢衬制作施工方法,在制作过程中可有效保护不锈钢面,在生产过程中,提高了坡口开设速度,解决了异种钢之间的焊接难题,提高了制作效率因此,需要结合工程项目的实际情况制定出科学、合理的施工工艺方案,确保不锈钢复合钢衬制作施工质量。

### 一、钢板下料

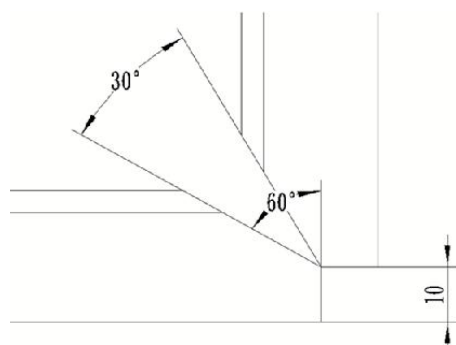
钢板到货验收合格后,在使用前将表面油污、溶渣及氧化铁皮等清除干净。划线下料前,对钢板进行校平。根据设计图纸及数控火焰/等离子切割机的加工性能绘制钢板排料图,数控下料完成后,根据设计技术要求以及相关规范要求检查下料零件尺寸。

在生产过程中,复合钢板会出现多次吊运机翻身,传统吊卡具会造成不锈钢面出现卡痕,为了保护不锈钢面,专门设计了不锈钢复合钢板专用吊卡具,复合钢板的底端前后两侧均卡接有翻身挂钩,所述翻身挂钩的顶端固定贯穿有连接轴,所述连接轴的外壁左右两侧均套接有圆环,两个所述圆环的顶端固定装配有弓形卸扣,所述弓形卸扣的顶端套接有钢丝绳,所述钢丝绳的外壁套接有定位卡。通过翻身挂钩和弓形卸扣的配合,通过定位卡和钢丝绳的配合,在对不锈钢复合钢板的起吊及翻身过程中,翻身挂钩和定位卡的厚度均大于复合钢板,有效的保护了不锈钢面,避免复合钢板的表面被划伤及卡痕,钢板翻身挂钩及钢丝绳定位卡能够牢牢固定住钢板,提高了实际使用中的安全系数,实用性能强。

### 二、坡口加工

制作过程中,技术要求不允许在不锈钢侧清根,避免造成不锈钢面污染锈蚀,为此,研究出新型纵缝坡口,在钢衬组装单片的坡口开设中采用新型坡口,为不锈钢复合钢衬纵缝首次应用该坡口形式,有效解决不锈钢侧不清跟的技术要求。使用半自动等离子切割机进行坡口开设,加工后打磨。

(1) 切割及坡口制备在具有足够刚度的切割平台上进行,为确保切割精度,切割平台平面度一般不超过2mm。



新型纵缝坡口形式

(2) 钢板气割前清除切割边缘50mm范围内的锈斑、油污等杂物,气割后清除熔渣和飞溅物等。加劲肋板、异型面板及附件均采用数控切割机及多枪头半自动切割机下料。

(3) 切割时采用中性焰,正确控制工艺参数。氧气、乙炔需确保其压力稳定、充足,纯度满足切割要求。数控切割机进行切割时,注意严格监控切割机行走轨迹和程序的运行状况,否则并及时进行纠偏。采用数控对钢板切割之前,均需要空程预演一次,确保程序无误后,方可进行切割。

(4) 对于异型件坡口采用割嘴倾斜一定角度后用数控切割机切割,不锈钢复层采用等离子电弧切割,然后用角磨机打磨修整处理。

(5) 切割面的熔渣、毛刺和缺口,采用砂轮机打磨去除,确保加工后的边缘无裂纹、夹层和夹渣等缺陷。

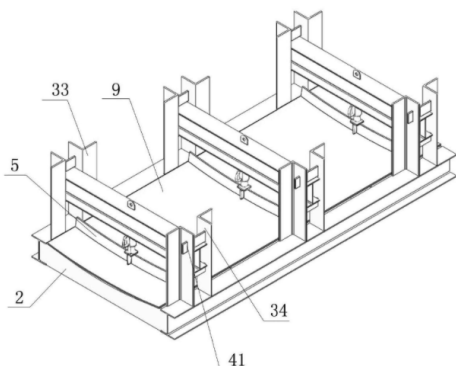
(6) 坡口制备完成后,在基层侧坡口两侧各200mm范围立即涂刷一层不影响焊接的车间底漆以防止坡口生锈。

### 三、曲面钢衬板卷制、弧形钢板成型

曲面钢衬板采取设计的弧形钢衬成型装置进行曲率控制,制作样板进行弧度检查:直径小于8m圆弧形部位采用弦长1.5m样板检查,其间隙应 $\leq 2.5$ mm;直径大于8m圆弧形部位采用弦长2.0m样板检查,其间隙应 $\leq 3.0$ mm。

钢衬进水口端存在一段曲线型钢衬,因为是不锈钢

复合钢板，不能用传统工艺进行卷制，为此，设计了一种弧形钢衬成型装置，通过该装置有效的完成了弧形钢衬的制作，提高了生产效率。



弧形钢衬成型装置

#### 四、单片钢衬组装、焊接

(1) 钢衬面瓦片板采用整张定尺钢板加工而成，部分衬板需采取对接以保证长度，对接采用手工焊接，探伤合格后利用卷板机进行校正。

(2) 面板、加强肋板下料完成后，在拼焊平台上（平台不平度 $\leq 2\text{mm}$ ）进行面板、加劲肋板拼装。弧形钢衬拼装前需用型钢或中厚钢板搭设弧形工作台，其弧度偏差控制不超过 $1.5\text{mm}$ 。

(3) 纵、横向肋板的加工按设计图纸进行，避免焊缝的立体交叉。当纵横肋与钢衬面板的角焊缝与钢衬面板对接缝相交时，在纵横肋上开设过焊孔。

(4) 钢衬的单件组装包括顶底板、纵横肋、侧板的单件组装。拼装时先将面板铺设于平台上，调整水平度并固定，然后用笔划出肋板的位置线，按照先环肋后纵肋、从中间往两边的方向依次组装加强肋板。组装时需注意板与板之间的垂直度。为减小焊接变形，板与板之间均为顶紧装配。单片钢衬在制作过程中，容易出现凸起或凹陷的缺陷，影响平面度的质量，同时校正过程中又浪费大量人力物力财力，研究反变形控制工艺，解决单片焊接变形的问题。

(5) 为减少吊装、运输对单片拼装质量的影响，面板、加劲肋板组拼完成并经检验合格后，直接在原位进行焊接，加固焊接前必须采取防止焊接变形的控制措施。焊接完成进行变形检测、变形矫正，检验合格方可进入单节拼装工序。焊接前对钢衬周边按间隔约 $500\text{mm}$ 用压码和楔铁进行压紧控制焊接变形。

(6) 纵、横肋与钢衬组装偏差符合下表要求。

肋板与肋板、肋板与钢衬组装极限偏差

| 序号 | 项目             | 极限偏差 (mm)                  |
|----|----------------|----------------------------|
| 1  | 肋板与钢衬的垂直度      | $\leq 0.2H$ 且不大于5 (H为肋板高度) |
| 2  | 相邻两横肋的间距偏差     | $\pm 50$                   |
| 3  | 相邻两纵肋的间距偏差     | $\pm 50$                   |
| 4  | 纵肋端头与横肋的间距     | $\leq 2$                   |
| 5  | 肋板与钢衬外壁的局部组装间隙 | $\leq 2$                   |

(7) 检查合格后焊接肋板与面板的焊缝，纵、横肋与钢衬之间的角焊缝。焊接时将构件固定牢靠，为减少焊接变形及焊接应力，焊接时采用偶数焊工对称施焊，分段退步焊法，避免焊接后构件变形，并可根据结构的特点，采取合理的焊接顺序。

(8) 纵横肋与面板的焊接顺序为：点焊组装纵横肋，组装完成后进行加固焊，焊接顺序为：①先焊接纵肋与横肋交接的立面角焊缝；②再焊接衬板与纵肋板间的平面角焊缝；③后焊接横向肋板与衬板的平面焊缝；总的焊接顺序为：由中间框格向四周扩展，由中间向两侧施焊，且靠近衬板纵缝边缘的两条环向加劲肋焊缝暂留，目的是防止瓦片翘边，最终待现场安装完成后焊接。

(9) 焊接完成后，要检查焊接变形情况，局部变形使用火焰校正，不能直接在复合板上进行火焰校正，应在肋板上进行，由肋板的物理变化带动瓦片进行。

#### 五、钢衬单节组装、装内支撑及焊接

顶、侧、底板等部件制作完成后，在钢平台进行组成为单节钢衬。

(1) 单片钢衬制作完成并检验合格后，再组装单节钢衬。

(2) 钢衬组装在搭设好的平台上进行。平台使用前调整其平面度，允许偏差小于 $2\text{mm}$ 。

(3) 并在制作好的钢平台上按照该管节钢衬截面图进行放样放点，控制偏差在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，然后分别将顶底板和侧板垂立在平台上，两侧用固定，并检测，确保衬板与平台角度垂直，两侧用角钢支撑。

钢衬内侧采用钢管和型钢进行固定，加固时两道竖撑五道横撑，竖撑采用 $\phi 159 \times 4.5\text{mm}$ 的钢管，横撑采用 $\phi 102 \times 3.5\text{mm}$ 的钢管，采用 $\angle 50 \times 4\text{mm}$ 的角钢进行加固，调整相对尺寸。

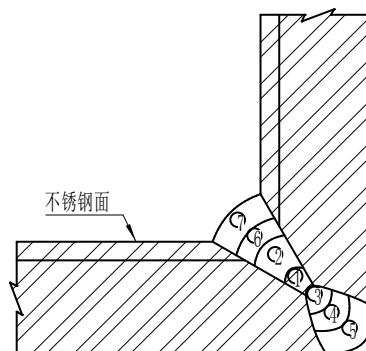
(4) 按图样放出各部件控制线，并预放焊接收缩量。

(5) 拼装时控制各几何形体尺寸。所有单节钢衬整体完成组装后，记录相邻单节钢衬尺寸。

(6) 单节钢衬拼装完成后，复测各尺寸，合格后，设计可调节式内支撑进行支撑，顶紧。

(7) 拼装合格的单节钢衬，应在平台上采取整装整焊。

焊接顺序及控制点



焊接顺序

### 1) 复层侧坡口的基层部位①、②焊接

采用J507焊条手工电弧焊焊接。先焊接图示部位①, 保证熔深, 且不得触及过渡层与不锈钢面, 再焊接图示部位②, 该部位焊接速度稍微慢一点, 保证焊高, 但是不能超过过渡层, 与过渡层间距控制在2~4mm。

### 2) 基层侧清根并进行部位③、④、⑤焊接

利用碳弧气刨机碳棒对基层侧进行清根, 注意清根深度, 一是保证清根彻底, 确保焊缝质量, 二是避免清根过深, 造成背部焊缝开裂。清根完成后采用角磨机打磨坡口, 坡口需平整圆滑, 呈U型, 然后焊条手工电弧焊焊接。先焊接图示部位③, 保证熔深, 再焊接图示部位④, 保证熔深及填充量, 最后焊接图示部位⑤, 控制小电流焊接, 保证焊缝外观成形。

### 3) 复层侧过渡层及不锈钢面⑥、⑦焊接

首先利用角磨机对复层侧焊缝表面进行打磨, 两侧喷涂防飞溅液, 然后焊接过渡层, 即图示部位⑥, 采用不锈钢焊条手工电弧焊焊接, 焊接过程中注意焊接电流不要过大, 避免造成线能量过大而出现裂纹, 焊接完成后, 利用角磨机进行坡口打磨, 待坡口打磨光滑后进行PT检测, 无裂纹、无气孔后, 再进行不锈钢盖面, 采用不锈钢焊条手工电弧焊焊接, 为保证双相不锈钢焊接质量, 严格控制双相不锈钢盖面采用小电流、多层多道焊接, 保证焊接质量。

### 4) 焊缝表面消缺

焊缝焊接完成后, 复层侧面焊缝进行抛光打磨, 检查是否存在表面气孔、咬边及裂纹等缺陷, 并及时进行消缺处理, 基层侧焊缝外观进行打磨, 并对飞溅、咬边等缺陷进行处理。

### 5) 焊缝无损检测

对表面消缺完成且外观检查合格的焊缝, 基层侧先进行100%UT探伤, 无缺陷后, 然后对复层焊缝表面进行100%PT检查, 按照相关标准规定评定合格。

### 6) 支腿、吊耳等附件装焊

由于钢衬锚筋长度较长, 为了便于厂内倒运需设计支腿, 并在肋板上设计吊耳孔。

### 7) 单节验收

按单节钢衬的制作要求进行单节验收。单节钢衬检查合格后, 方可进行安装单元的擦节。

## 六、钢衬预拼装、擦节、焊接

为便于现场安装, 加快安装速度, 进一步检验制作质量, 钢衬箱形结构制作完成后, 渐变段和弯段相临管节进行预拼装。预拼装内容包括: 相临管节拼装、安装基准线标识、节间定位块固定焊接等。

为了保障进度和节约现场安装时间, 钢衬在厂内完成擦节, 擦节后高度要满足运输的需要。擦节前需搭设支墩, 控制支墩顶面整体平面度不大于2mm, 擦节采取

水流方向与实际安装就位一致的方式, 两节擦节焊缝为平焊位置焊接, 现场第三节擦节和安装时焊接位置相同。

拼装前复核两两对接口钢衬尺寸, 保障对接口尺寸能够相互对接。用旋转式压缝工装对周边进行压缝, 保障间隙及各偏差复合技术要求, 经过监理验收合格后, 进行环缝焊接。

## 七、钢衬除锈、防腐

表面预处理前, 将钢板表面污物用不锈钢刷、角磨机等工具清理干净。

埋入混凝土的钢衬及其肋板应进行表面预处理, 用手工除锈的方式进行表面预处理, 除锈等级达到《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB8923.1规定的Sa1级, 钢衬外壁均匀涂刷一层50-100微米厚度的环氧富锌底漆。

## 八、钢衬出厂验收

钢衬外形尺寸、焊缝外观质量、焊缝内部质量、附件、防腐质量、产品标识、验收资料齐全等各项指标全部合格后, 在钢衬表面将孔号、钢衬节号、水流方向、轴线等标记清楚, 并提交单元制作验收资料申请监理人验收, 经监理人的检查验收认可, 方可出厂安装。

## 结语

综上所述, 在水电工程建设过程中, 钢衬制作施工是必不可少的一环, 其特殊的不锈钢复合钢板材质的使用也越来越频繁, 研究不锈钢复合钢衬施工工艺, 可极大的降低了生产成本, 提高生产效率, 同时确保生产质量, 其施工经验的推广有利于提升不锈钢复合钢衬领域的施工技术水平, 该施工工艺技术也适用于水电站深孔、中孔、底孔等不锈钢复合钢衬制作施工, 推广应用也适用于使用不锈钢复合钢板制作的其他施工项目。本文中针对不锈钢复合钢衬制作施工技术进行了分析和研究, 提出了一些切实可行的对策和措施。希望本文的研究能够为提升不锈钢复合钢衬制作工艺施工质量提供一定帮助。

## 参考文献

- [1] 李海强, 赵炎. 拉西瓦水电站深孔有压段钢衬安装技术[J]. 青海水力发电, 2011(3): 67-71.
- [2] 董贵林, 彭凌云, 朱镡年. 小湾水电站坝身钢衬制造安装工艺设计[J]. 能源与节能, 2011(10).
- [3] 苏伟. 不锈钢复合钢板浆塔的制作安装工艺[J]. 中华纸业, 2013(18): 63-65.
- [4] 中国水电四局(兰州)机械装备有限公司. 一种新型不锈钢复合钢板吊卡具装置: CN201920662546.1[P]. 2020-01-10.
- [5] 洪健凯, 王玉孝. 拉西瓦水电站深孔有压段钢衬安装技术[J]. 西北水电, 2013(2): 41-45.