

# 沙陀水电站升船机上下闸首工作门门叶制作关键技术

李友明, 黄猛

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

**摘要:** 贵州沙陀水电站 500 t 升船机上下闸首工作门为 U 形大门带卧倒小门的平板门, 是升船机上下游的挡水设备, 过船时船箱通过其与上下游水域对接。介绍了上下闸首门的结构特点与采取的主要工艺技术措施, 可为同类构件制作提供借鉴。

**关键词:** 升船机; 闸首; 拼焊; 预拼装; 实验; 沙陀水电站

**中图分类号:** TV7; TV547; TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2016)06-0045-04

## 1 概述

贵州沙陀水电站 500 t 级升船机上下闸首工作门为 U 形大门带卧倒小门的平板门结构形式。门叶尺寸大, 外形尺寸为 3 420 mm(厚) × 19 600 mm(宽) × 18 100 mm(长)。门叶分 6 节, 其第 1 至 3 节节间为连接板高强螺栓连接形式, 第 3 节至第 6 节节间为焊接形式。

门叶所用主要材料为 Q345B + 1Cr18Ni9Ti, 重量大, 总重量约为 320 t, 最重一节门叶为 62.3 t。双面板结构, 边梁处焊缝布置多且隔板与隔板之间的距离较大(达 3.1 m), 隔板间连接筋较少, 门叶整体刚性不是很好, 在第 1, 2, 3 节门叶面板上需贴焊大面积的 1Cr18Ni9Ti 材质密封框止水板, 从而导致焊接变形控制难度大, 对过程控制要求高, 闸首工作门结构见图 1。

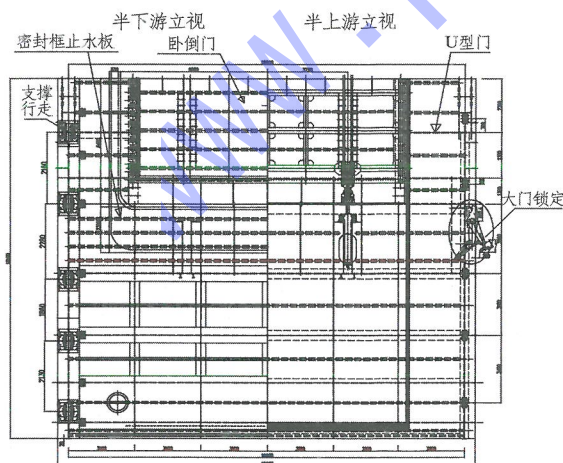


图 1 闸首工作门主视图

收稿日期: 2016-10-28

## 2 闸门特点与难点分析

闸门制作按照《水电水利工程钢闸门制造、安装及验收规范》(DL/T5018-2004)及思林水电站升船机技术要求执行

### 2.1 主要技术指标

(1) U 型门两边梁中心距偏差为  $\pm 5$  mm。U 型门第 1, 2, 3 节节间板结合面平面度  $\leq 0.5$  mm。

(2) U 型门所有支承行走滚轮应在同一平面内, 平面度误差不大于 1 mm。

(3) U 形门门叶侧止水座面平面度  $\leq 2$  mm。密封框止水座面平面度  $\leq 3$  mm。

(4) U 型大门两锁定轴中心距闸门中心线的距离偏差  $\leq 1$  mm。

(5) U 形门与卧倒门在同一断面上, 主滑块工作面与止水工作面的距离允许偏差为  $\pm 1.5$  mm。

(6) U 型门门叶吊耳孔纵、横向中心线的距离允许偏差为  $\pm 2$  mm, 轴孔同轴度偏差  $\leq 0.5$  mm, 其倾斜度应  $\leq 1/1000$ 。

(7) U 型门两启闭点及两支铰的中心距偏差  $\leq 2$  mm。卧倒门安装后支铰轴应同轴, 同轴度偏差  $\leq 0.5$  mm。

(8) 卧倒门所有主滑块以止水座面为基准进行调整, 工作面应在同一平面内, 其平面度允许公差  $\leq 1$  mm。

### 2.2 制作难点分析

(1) U 形门叶 1, 2, 3 节节间的连接主要靠连接板螺栓连接, 连接板面积较大, 达到 3.3 m × 3.4 m 且其背后无加强筋, 而图纸要求连接板连

接面的平面度 $\leq 0.5$  mm,既要保证间隙要求,又要保证连接板螺栓孔不错位,故难度极大。

(2)由于门叶结构尺寸大,结构形式又不对称,边梁位置焊缝集中且全部为全熔透焊缝,正常拼装后会形成一个密闭的箱体,在钢性较差的情况下,对焊接控制要求较高。

(3)第1,2,3节面板需大面积贴焊不锈钢材质为1Cr18Ni9Ti的密封框止水板,尺寸为14 820 mm(长) $\times$ 8 750 mm(宽) $\times$ 5 mm(高),密封框止水板的粗糙度为3.2,经加工后达到该要求。如何保证不锈钢板能顺利地加工成为制作成功的关键。

(4)U形门叶中各座板面的平面度要求较高。为保证平面度要求,减小构件节间错位,最大程度地减小制作工期,划线拼焊方式的选择至关重要。

(5)卧倒门结构同样存在钢性差的特点且面板只有10 mm厚,焊接变形大,对焊接收缩量的预留值与焊接变形控制提出了高要求。

### 3 采取的制作工艺措施

上下闸首门厂内制造需经备料、部件组拼、机加工、厂内整体预拼装与卧倒门动作实验等阶段,制造工序多,过程长。制作前,须进行总体技术工艺方案规划,分解与明确各阶段控制重点与工艺措施,确保最终交货满足合同技术条款和规范要求。通过仔细分析与研究,制定出合理的工艺方案并在生产制造过程中实行全过程质量控制。

#### 3.1 下料阶段控制

焊接收缩量预留值的多少是保证构件拼焊后尺寸的关键,在下料阶段就应严格控制。门叶结构中的关键零件之一为主梁腹板。根据U形门门体结构特点,主梁腹板长度为18 600 mm,经经验与计算核定,对于主梁腹板的下料尺寸按 $+0.6\%$ 下料,长度方向焊接收缩量为10 mm,同时严格控制下料零件的长宽与对角线尺寸误差 $\leq 2$  mm。

卧倒小门的面板厚度为10 mm。根据经验,10 mm的钢板焊接收缩量较多,同时,卧倒门中边梁处的焊缝较多,主梁间距与隔板间距较大,门叶整体刚性不是很好,故焊接变形大。零件下料时应考虑二次焊接收缩量,即焊接收缩量与修校收缩量。在考虑焊接收缩量的预留值时,不能再按常规 $1\%$ 预留,经综合考虑,按 $2\%$ 的余量进行预留。

考虑到卧倒门中主梁腹板长度为125 80 mm,故在下料时按 $+24$  mm焊接收缩量下料。

#### 3.2 拼焊控制

##### 3.2.1 U形门门体拼装顺序及尺寸控制

为控制构件质量,应尽可能地将各个工序分解,小拼焊成单个构件后再组拼在一起。传统的主梁、边梁小拼只拼焊成丁字梁或工字梁以使其能过校直机修校,考虑到边梁上的筋板较多,特别是第3节门叶的边梁还布置有大门锁定吊耳板且焊缝要求为全熔透焊缝,焊接量大、造成焊接收缩量较多,如果在拼焊时再进行焊接,容易造成上下节边梁节间、板间隙超标,变形不易控制,故在边梁小拼焊时将筋板、吊耳板等预先参与拼焊,从而有效地预防了中拼的焊接变形。

U形门叶组拼时以上游面板为底平面,采取6节门叶整体放样拼焊,严格控制放样矩形的对角线 $\leq 2$  mm,同时,在拼装下游面板时需检测门体的厚度,保证门体下游面板的平面度 $\leq 2$  mm。

##### 3.2.2 U形门门体第1,2,3节节间控制

针对高要求的第1,2,3节节间板间隙并防止节间高强螺栓孔错位的要求,采用配焊+扩孔方法予以解决。具体为各节间板预开制单 $V45^\circ/2$  mm钝边坡口,坡口朝向门叶两侧,即坡口面背靠背结合,可使节间焊缝焊完之后保持平整,不会干涉节间的组合,同时达到拆解前多焊接的目的,防止了拆解后过多的焊接影响构件质量。第1,2节门叶拼焊时不拆解,整体翻身焊接,以达到减小变形的目的。焊接时,先焊接第3节门叶节间连接板,第2节与第3节配焊的节间连接板暂不焊接,待第一次组拼划线时配焊。在门叶预拼装时对节间间隙进行检查,除中间软边局部间隙达到1.5 mm外(中间软边可用工装卡子卡严),其余贴合面的间隙均在0.5 mm之内。

对于节间高强螺栓连接孔,图纸标注为 $\varphi 21$ 孔,采取将两件节间连接板预先点焊在一起、然后预钻孔的方式,预钻孔径为17 mm。在门叶厂内预拼装,各节门叶调整合格后再扩孔至 $\varphi 21$ ,该工艺措施的实施保证了节间板连接螺栓孔不错位。U型门节间连接板型式见图2。

##### 3.2.3 U形门门叶焊接控制

门叶拼装后形成一个密闭的箱体,造成第3节与第4节门叶焊接时的焊接烟尘无法排除,为

此,对第1,2节门叶加固完成后将其移开再进行剩余门叶的焊接。

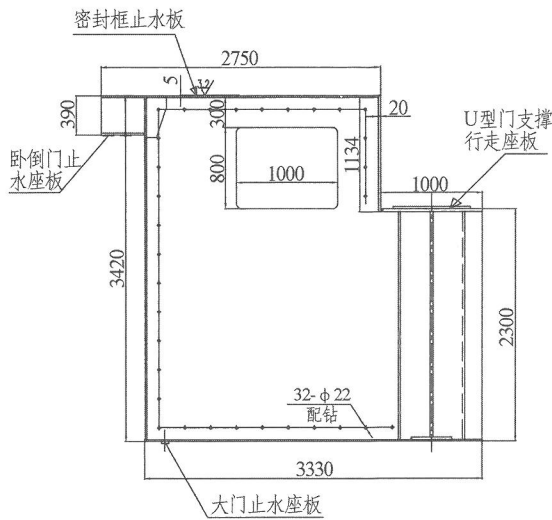


图2 U型门第1,2,3节门叶节间连接板示意图

焊接要求:挑选具有一、二类焊接资质的焊工,安排偶数对称焊接,从中间往两端分段退焊,实行多层多道焊接。由于门叶厚度达到3.4m,因此,所有立焊分3段,先中段,再下段,最后上段施焊。焊前加固,对隔板实施立焊,单面焊完且仰焊加固后方可翻身进行余下焊缝的焊接。第6节门叶主梁为箱梁,主梁前翼板预先钻有塞焊孔,为保证主梁前翼板与门叶面板贴严,先焊接主梁前翼与面板的塞焊孔,再进行其余焊缝的焊接。

在门叶焊接中充分利用CO<sub>2</sub>气保焊能量密度高的特点,采用CO<sub>2</sub>气保焊进行焊接。立焊电

流为150~200A,电压为21~23V,平焊焊接电流为210~250A,电压为25~27V。

实践证明:在焊接过程中采取以上工艺措施减小焊接变形是非常有效的,同时,在焊接过程中随时监控构件的变形情况,发现异常情况及时进行处理,避免了焊接后的尺寸误差超出控制要求的范围。

### 3.2.4 U形门门叶止水与滑块等座板的拼焊

U型门中水封、支撑行走、反向滑块、密封框止水等座板的平面度与粗糙度通过加工的方式达到要求。虽然在单节门叶拼焊时采取了严格的控制措施,但每节门叶的变形与收缩亦不能完全一致,因此,必须提供一个统一的基准并按此加工,方能保证门叶节间的错位与所有座板加工后均在规范要求的范围内。因此,要求将所有的门叶组合在一起画加工线。但止水、滑块等座板何时拼装却关系到能否顺利地画出加工线。因加工面较多并综合考虑质量与工期要求,最终采取了在单节门叶修整好之后暂时不拼焊水封、密封框止水板等座板,待门叶第一次整体组拼时画线拼焊的方式。各座板之间的关系见图3。

U型门中6节门叶第一次组拼时预先搭好了工装,工装高度要求为1.2m以上操作者方能正常操作。工装搭设时,应预先考虑到门叶加工完后厂内交验的状态为水封座板朝上,故工装宽度尺寸以不干涉侧轮的试拼为宜。水封座板、反向滑块体积小、重量轻,仰着即能拼装,而密封框止水板体积大、重量重,其只能正面拼装,故第一次

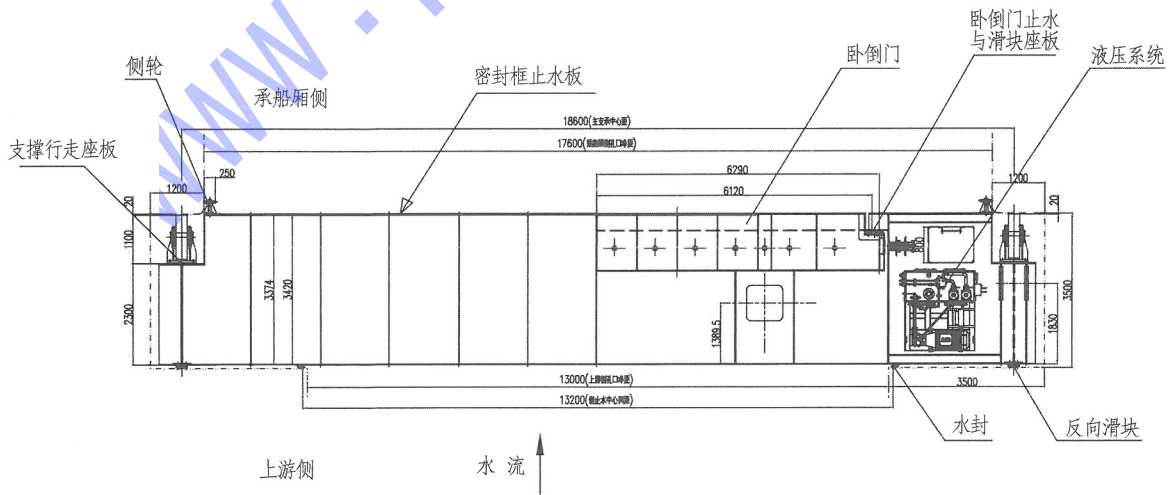


图3 闸首工作门俯视图

组拼状态与交付验收的状态恰恰相反,为密封框止水板朝上,水封座板朝下的状态。对于U型门中与卧倒门连接的止水座板先不拼装,待检测记录好对应处的面板直线度、其余座板焊接完、画完加工线之后再翻身单独拼焊。因第3节门叶有大面积的不锈钢密封框止水板,因此,在焊接完座板后需单独复测。以上措施有效地保证了构件的各项尺寸要求,加快了制作进度。

### 3.2.5 U形门密封框止水板加工前的控制措施

U型门中第1,2,3节面板上需大面积贴焊不锈钢材质为1Cr18Ni9Ti的密封框止水板,面积约为 $41\text{ m}^2$ ,工艺板厚度为 $10\text{ mm}$ ,设计理论厚度为 $5\text{ mm}$ 。如此大面积的不锈钢、板厚又较薄的情况下加工时极易出现以下问题:加工后的平面度超差或钢板被加工穿。为能正常进行加工,采取了以下控制措施:

(1) 严格控制密封框止水板下面板的平面度在 $3\text{ mm}$ 范围内,同时面板不允许下挠;

(2) 针对构件刚性较差的情况,拼装密封框止水板前,在相对应的面板适当位置增加工字钢支撑以增加构件的刚性;

(3) 考虑到上下闸首门的实际情况,适当增加塞焊孔的数量,由传统的 $250\text{ mm}$ 间距钻一个塞焊孔减小到 $125\text{ mm}$ 间距,防止加工时出现倒吸现象;

(4) 加工时采用水冷措施,以降低加工过程中密封框止水板的热变形。

经过采取以上四项措施,保证了加工过程的顺利进行,构件达到了图纸尺寸及精度要求。

### 3.3 卧倒门的拼焊控制

卧倒门拼装时同样采取整体放样拼焊,同时针对门叶刚性差的情况分别对节间与底水封座板处采取工字钢加固的措施。在严格控制焊接变形的同时预留了一侧的边梁腹板先不焊接,在门叶其余焊缝焊接完成后,再检测门叶尺寸及变形情况,经过修校、调整合格后再决定是否焊接另一侧边梁焊缝。经过采取以上措施,保证了门叶的各项尺寸在技术要求范围内。

## 4 闸门厂内预拼装

为确保上下闸首门结构与设备组装后能够满足设计与运行要求,上下闸首门需在厂内进行结构预拼装和设备组装,以检查各部件的形状、位

置、性能是否满足设计要求,各部件的连接是否正确、可靠并进行相应的检验与实验。

上下闸首门厂内预拼装同样在先前第一次组拼的工装上进行,状态为水封座板朝上,密封框止水板朝下。预拼装的主要程序与步骤如下:

(1) 从第6节门叶开始,依次摆好U型门叶,待检测各项数据符合技术要求后配钻水封压板孔后试配支撑行走主轮、侧轮等装置。

(2) 组装大门锁定装置,保证铰链转动灵活,无卡阻现象。

(3) 组装卧倒门液压油缸,对卧倒门进行动作实验。实验过程中,要求油缸伸缩平稳,小门两侧油缸伸出距离需达到同步要求。

(4) 进行闸门翻转实验,现场检测达到了设计要求。卧倒门翻转情况见图4。

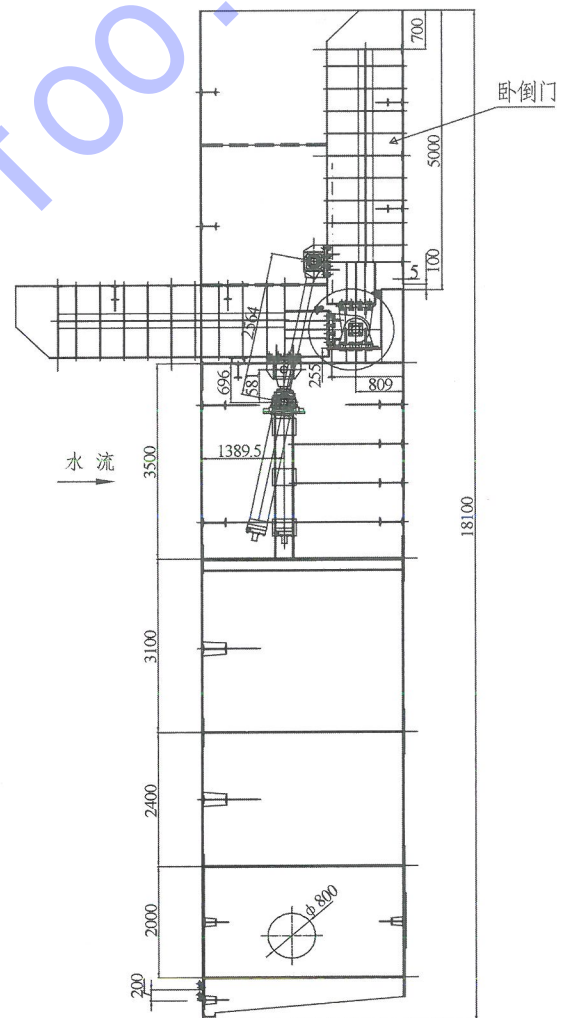


图4 卧倒门翻转示意图

(下转第87页)

图4为左岸建基面高程1765~1750m梯段Jv等值线图中截取的一小部分。

将各梯段结构面分布图拼接在一起,即可获得整个建基面结构面分布情况。根据结构面分布图,对断层、裂隙密集带和绿片岩带等软弱岩带即可一目了然。这些大坝建基面出露的软弱岩带多为Ⅲ2级或Ⅳ级岩体,已成为大坝建基面

地质缺陷,若其大面积出露则必须采取清除或置换等处理措施,通过结构面分布图即可对软弱岩带做到有的放矢的处置。

根据各梯段Jv等值线图,对Jv值进行各区段面积频度统计。笔者仅附左、右岸大坝建基面部分梯段统计结果作为代表(表1)进行分析论证。

表1 建基面部分梯段Jv分布频度汇总表

岸别	工程部位		梯段面积/m <sup>2</sup>	Jv值区段面积所占百分比/%				备注
	高程/m	桩号		<8	8~15	15~20	>20	
右岸	1610~1600	00-45~00+35	591	99.7	0.3	-	-	Ⅱ级,2(3)层大理岩
	1690~1680	00-40~00+35	745	96.9	2.6	0.5	-	Ⅱ级,2(4)层大理岩
	1700~1690	00-35~00+30	543	93.4	6.1	0.5	-	Ⅱ级岩体,2(4)层大理岩
	1640~1620	00-30~00+45	1423	100	-	-	-	Ⅱ级,2(5)层大理岩
左岸	1730~1710	00-30~00+35	985	22.5	75	2.5	-	Ⅲ1级,2(6)层大理岩
	1744~1735	00-30~00+50	574	25.7	36.2	2.8	35.3	Ⅲ2级,局部Ⅳ、Ⅴ级(f5、f8),2(7)层大理岩

从表1中Jv值区段面积所占百分比可以得出以下结论:

(1)Ⅱ级岩体中Jv值普遍小于8,按大理岩层位2(6)层→2(5)层→2(4)层→2(3)层,Jv值总体呈逐渐减小的趋势,亦即岩体中裂隙发育趋弱,岩体更加完整;

(2)断层及影响带附近岩体Jv值明显较大;

(3)按Jv数值判断岩体结构类型:Ⅱ级岩体结构以厚层状结构或块状结构为主,Ⅲ1级岩体以次块状为主,Ⅲ2级岩体结构以次块~镶嵌结构为主。

#### 4 结 语

将三维激光扫描技术应用于工程地质领域,可以快速、高效地获取测绘目标的三维影像数据,通过适当解译、分析,可以获得结构面分布、产状等重要地质信息,进而突破了传统的测绘方法。

(上接第48页)

#### 5 结 语

沙陀水电站升船机上下闸首门的成功制作,标志着中国水电七局公司制造能力的提升,为同类构件的制作积累了经验。

#### 参考文献:

[1] DL/T5018-2004,水电水利工程钢闸门制造、安装及验收规范[S].

锦屏一级水电站施工期间对开挖揭示的坝基岩体结构面调查测绘采用了地面三维激光扫描技术,并对所取得的数据资料进行了分析处理,获得了结构面分布图和Jv等值线图,实现了快速编录。在外业三维激光扫描过程中,需要克服上述章节提及的激光扫描技术存在的不足之处。但三维激光扫描技术具有众多的优点,这些是传统测绘方法难以比拟的,因此而其具有更加广阔的应用前景。

#### 参考文献:

[1] 马立广.地面三维激光扫描仪的分类与应用[J].地理空间信息,2005,3(3):60-62.  
[2] 毛方儒,王 磊.三维激光扫描测量技术[J].宇航计测技术,2005,25(2):1-6.

#### 作者简介:

李小波(1976-),男,四川邻水人,高级工程师,硕士,从事水电工程项目管理与地质工作。(责任编辑:李燕辉)

[2] 陈祝年.焊接工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2002.

#### 作者简介:

李友明(1983-),男,四川德阳人,助理工程师,学士,从事水利水电工程机械生产技术与管理工作;  
黄 猛(1972-),男,四川广汉人,金结分厂副厂长,高级技师,从事金结分厂生产技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)