

浅谈大坝中孔闸门安装方案

——以刚果（金）布桑加水电站大坝及水垫塘工程大坝为例

赵 峰

中国水利水电第一工程局有限公司 广东广州 510000

摘 要：布桑加水电站枢纽建筑物主要由碾压混凝土抛物线双曲拱坝（坝身设2个表孔和2个中孔）、水垫塘和二道坝等组成，大坝坝顶高程885.0m，建基高程743.5m，最大坝高141.5m，坝顶长263.7m，坝顶宽8.0m，坝底宽36m。根据闸门安装施工规范要求，结合布桑加水电站碾压混凝土坝结构特点，本文主要重点分析和阐述了大坝中控孔闸门安装过程中的施工工艺、安装技术方案、控制重点以及实际应用等相关内容。

关键词：大坝；中孔闸门；安装技术；应用

A brief discussion on the installation scheme of the gate in the dam

— Taking the Busanga hydropower dam and the reservoir dam in the Democratic Republic of Congo (DRC) as an example

Zhao Feng

China Water Conservancy and Hydropower First Engineering Bureau Limited Guangzhou Guangdong 510000

Abstract: The Busanga hydropower station is mainly composed of the roller-compacted concrete parabolic hyperbolic arch dam (two surface holes and two middle holes in the dam body), a water cushion pond, and two DAMS. The top elevation of the dam is 885.0m, the foundation elevation is 743.5m, the maximum height of the dam is 141.5m, the length of the top is 263.7m, the width of the top is 8.0m and the width of the bottom is 36m. According to the requirements of gate installation and construction specifications, combined with the structural characteristics of the roller compacted concrete dam of Busangjia hydropower station, this paper mainly analyzes and expounds the construction technology, installation technical scheme, control key points and practical application of the dam central control gate installation process.

Keywords: dam; middle hole gate; installation technology; application

一、工程概述

大坝中孔设有两孔检修闸门和两孔工作闸门。

中孔工作闸门为潜孔式直支臂弧形闸门，球铰支承型式，底槛高程为810.00m，孔口尺寸为3m×3.5m，设计水头73.21m，运行方式为动水启闭。闸门侧水封采用P60-B型水封，门顶设置两道水封。中孔工作弧形闸门采用双作用单缸摇摆式液压启闭机，液压启闭机配备有可靠备用电源，配置两套油泵电机组，一用一备。启闭机总体布置形式为单吊点，中部摆动机架支承，双作用油缸。中孔工作弧门特性见弧形闸门特性表，弧门安装工程量见主要工程量表。

中孔孔进口处各布置1扇事故闸门。闸门底槛高程810.00m，孔口尺寸3.5m×4.85m，设计水头72.32m，结构形式为潜孔式平面闸门，总水压力11457kN。闸门运行方式为利用自重和配重动水闭门，充水阀充水平压后静水启门。该门采用上游侧止水，定轮式支承，自润滑轴套。事故闸门特性见事故闸门特性表。

弧形闸门特性表

序号	名称	特性
1	弧门型式	浅孔式
2	孔口尺寸（宽×高）	3×3.5m
3	荷载尺寸（宽×高）	3×4.25m

序号	名称	特性
4	设计水头	73.21m
5	总水压力	13606.9kN
6	闸门型式	主纵梁、球铰弧形闸门
7	门叶结构	焊接、整体制作
8	弧面半径	7m
9	孔口数量	2孔
10	闸门吊点	单吊点
11	闸门重量	41.2t
12	闸门操作方式	动水启闭
13	启闭机型式及容量	液压机 1250kN/500kN
14	启闭机行程	6.4m

事故闸门特性表

序号	名称	特性
1	孔口型式	浅孔
2	孔口净宽	3m
3	孔口净高	4.54m
4	设计水头	72.32m
5	总水压力	11456.78kN
6	孔口数量	2孔
7	闸门数量	2扇
8	闸门重量	30.2t
9	加重重量	47.4t
10	操作条件	动水闭门, 充水阀充水平压后静水启门(启门压差4m)
11	操作机械	1000kN 固定卷扬机
12	启闭机扬程	77m
13	底槛高程	810.00m
14	检修平台高程	885.00m

弧形闸门安装主要工程量表

序号	项目	数量	材料	单重 kg	总重 kg	备注
1	门叶结构	1	焊接件	12656	12656	
2	支臂结构	1	焊接件	12860	12860	
3	支铰	2	4.8级	6998	13996	
4	门体水封装置	1	组合件	690	690	
5	侧轮装置	4	组合件	66	264	
6	栏杆	2	焊接件	65	130	
7	其他				595	螺栓、螺母、垫圈

注: 单孔弧形闸门安装主要工程量, 总重 41.2t, 最大单重 12.7t

事故闸门安装主要工程量表

序号	项目	数量	材料	单重 kg	总重 kg	备注
1	门叶结构	1	焊接件	22973	22973	
2	水封装置	1	组合件	339.5	339.5	
3	φ150侧轮装置	8	组合件	16.8	134.4	
4	充水阀装置	1	组合件	1633.1	1633.1	
5	φ600定轮装置	10	组合件	482.1	4821	
6	配重块	1824	HT150	26	47424	
7	其他				233	滑块、定位卡板、螺栓等

注: 单孔事故闸门安装主要工程量, 总重 77.56t, 最大单重 22.97t

二、施工布置

1. 施工运输

安装运输主要道路具体路线如下: 物资仓库→场内1#路→左岸上坝公路→左坝肩 885 平台附近→20t 缆机吊运至作业面。

2. 施工供电及照明

施工现场照明线路全部采用电缆, 利用大坝施工区现有供电系统主线路接引点, 根据需要接引至作业面合适位置。

三、安装进度计划

中孔弧形闸门安装及调试 80 天。中孔事故闸门安装及调试 90 天。

四、闸门安装

1. 安装程序

(1) 弧门安装程序

安装准备→底槛、侧轨、门楣、支铰座埋件清点及安装→二期混凝土浇筑→支铰安装→下支腿安装→弧门门叶安装→上支腿安装→支腿支架连接→侧轮安装→弧门启闭试验→顶、侧、底水封安装→检查验收→无水启闭试验→清理、油漆

(2) 事故门安装程序

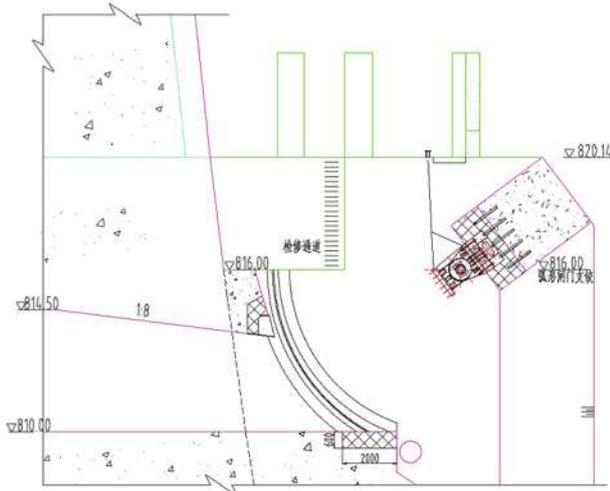
安装准备→底槛、侧轨、反轨、门楣埋件清点及安装→二期混凝土浇筑→门叶组装→门叶焊接→水封安装→起落试验

2. 埋件安装

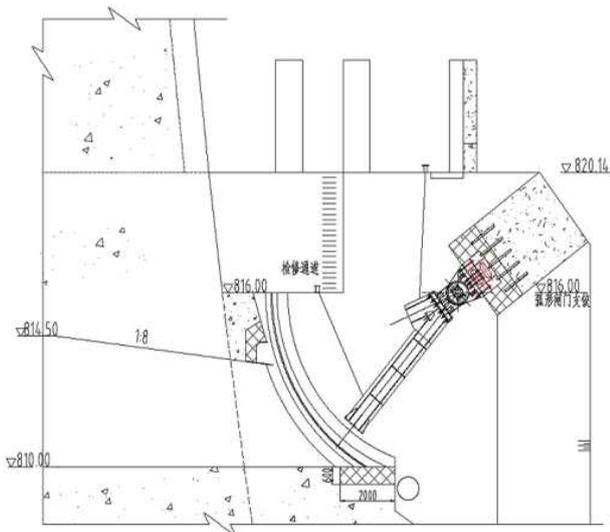
埋件安装主要采用 20t 缆机吊装, 安装顺序从下至上依次安装。埋件安装的主要工作内容为基础螺栓调整、埋件就位、调整、固定、检查、验收、接头焊接、磨平、复测等。

弧门埋件与平板门埋件安装方法基本相同。

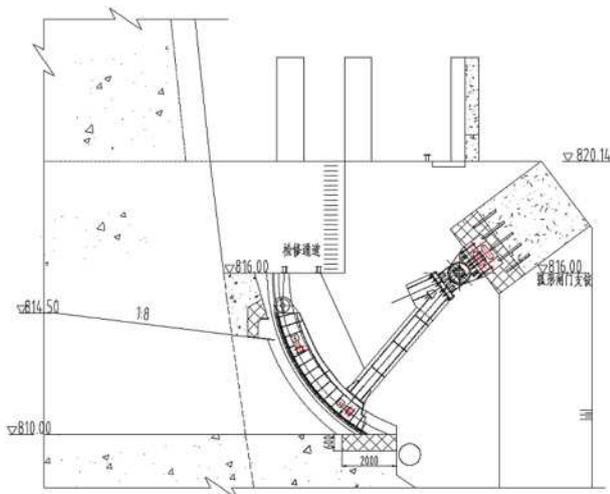
3. 弧门安装



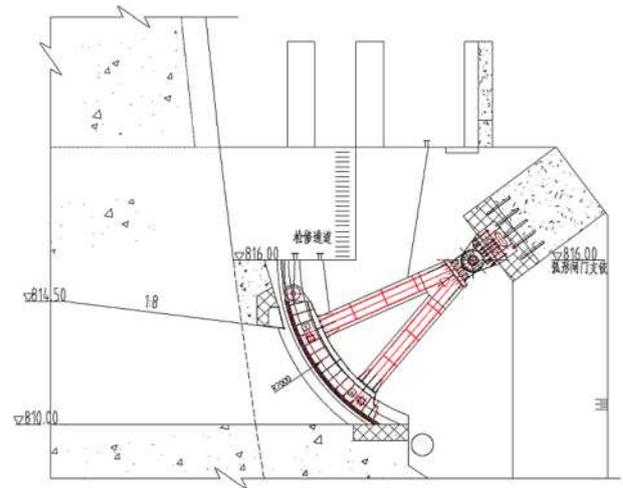
步骤一



步骤二



步骤三



步骤四

弧门安装时按照上图所示步骤进行安装。

安装准备工作：确保运输道路畅通；施工平台及通道搭设完成；施工人员熟悉图纸，并进行现场交底；制定好安全措施；确定关键高程、坐标控制点，做好标识；埋件安装完毕，门槽内杂物清理干净；施工电源、焊机等机具、起吊设备及机具到位，状态完好；做好安全警戒，无关人员禁止入内。

支铰安装：支铰安装前首先用20t缆机将支铰运输至中孔底部，然后通过自制吊具将支铰起吊到支铰座附近，手动葫芦或导链配合移至安装位置，支铰角度调整到设计角度，将支铰套进螺栓，随即将螺母初步拧紧，支铰中心确定无误后进行紧固。

下肢腿安装：利用吊具将下支腿吊起，靠近支铰后，通过手动葫芦或导链等工具调整支臂就位，与支铰螺栓孔位一一对接好，确认轴线无误后螺栓拧紧固定。

门叶安装：利用吊具将门叶和支臂调整到闭合位置，必要时门叶和支臂下部做钢支墩进行临时支撑。然后利用千斤顶、手动葫芦或导链进行位置调整，使支臂顶端与门叶主梁后翼板螺孔对位，并穿上螺栓。确认门叶半径、角度等位置无误后拧紧固定。

上支腿安装：与下肢腿安装方法基本相同，将上支腿与门叶和支腿头焊接部位进行对位，确保门叶位置正确后，进行上支腿螺栓及焊接固定。

水封安装：水封安装质量的好坏直接影响弧门止水效果。安装时以实测埋件止水面与门叶水封座板间距为依据进行控制。安装顺序：当门叶提起1米多后，即可安装底水封，闸门提出门槽后安装侧水封、顶水封。

4. 事故门安装

吊装方式：采用现场20t门机进行吊装。

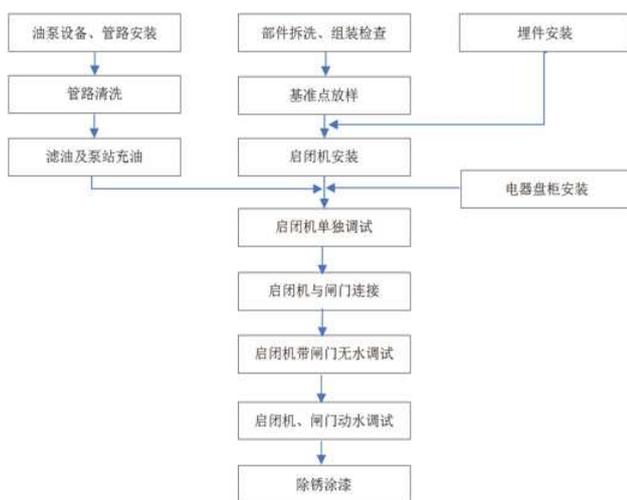
闸门安装在埋件安装完成验收合格后进行。闸门安装前进行清扫,焊缝坡口位置清除铁锈、油漆及油污。先将滑块、定轮、侧轮等组件按图纸安装到闸门相关位置,然后用缆机将底节闸门门叶吊至安装平台,在两节门叶焊缝处搭设焊接平台,然后再将上节门叶吊装至首节门叶上,调整闸门整体垂直度、平面度,尺寸符合设计要求后对其进行点焊临时加固,然后进行焊接。

闸门焊接:闸门组装完毕后,经检查合格后方可施焊。在焊接前用磨光机打磨焊缝,将坡口及两侧10~20mm范围内的铁锈、油垢、水迹等清理干净。焊接时由两名焊工对称施焊完成边梁的对接焊缝,焊接中采用多层多道分段退步焊法。焊接完成后对所有焊缝都要进行外观检查。

5. 液压启闭机安装及调试

液压启闭机在启闭机房825平台施工及埋件安装完成后进行。

(1) 安装程序



液压启闭机安装程序

(2) 液压启闭机安装

机架、油缸基础:机架基础高程由水准仪进行控制并用调节螺栓加以调整,支架的中心及里程依据所投放的基准点控制。液压启闭机油缸支承机架的安装偏差应符合施工图纸的规定,若施工图纸未规定时,油缸支承中心点坐标偏差不大于 $\pm 2\text{mm}$;高程偏差不大于 $\pm 5\text{mm}$;浮动支承的油缸,其推力座环的水平偏差不大于 $0.2/1000$ 。调整其安装尺寸合格后报请监理人验收,验收合格后进行加固并浇筑二期砼。

油缸安装:安装前应对油缸总成进行外观检查,并对照制造厂技术说明书的规定时限,确定是否应进

行解体清洗。如因超期存放,经检查需解体清洗时,应将解体清洗方案报监理人批准后实施。现场解体清洗必须在制造厂技术服务人员的全面指导下进行。使用吊具将液压油缸立起后,将油缸吊到安装位置并与油缸支承基础相连后对油缸采取有效措施,防止活塞杆意外滑落。

管路安装:配管前,油缸总成、液压站及液控系统设备已正确就位,所有的管夹基础埋件完好。按施工图纸要求进行配管和弯管,管路凑合段长度段根据现场实际情况确定。管路布置应尽量减少阻力,布局应清晰合理,排列整齐。预安装合适后,拆下管路,正式焊接好管接头或法兰,清除管路的氧化皮和焊渣,并对管路进行酸洗、中和、干燥及钝化处理。液压管路系统安装完毕后,应使用冲洗泵进行油液循环冲洗。循环冲洗时将管路系统与液压缸、阀组、泵组隔离(或短接),循环冲洗流速应大于 5m/s 。

(3) 弧形闸门启闭调试

液压启闭机安装完毕后,应会同监理人进行以下项目的试验。

①对液压系统进行耐压试验:液压管路试验压力: $P_{\text{试}}=1.25 P_{\text{额}}$ 。其余试验压力分别按各种设计工况选定。在各试验压力下保压10min,检查压力变化和管路系统漏油、渗油情况,整定好各溢流阀的溢流压力。

②在活塞杆吊头不与闸门连接的情况下,作全行程空载往复试验三次,用以排除油缸和管路中的空气,检验泵组、阀组及电气操作系统的正确性,检测油缸启动压力和系统阻力,活塞杆运动应无爬行现象。

③在活塞杆吊头与闸门连接而闸门不承受水压力的情况下,进行启门和闭门工况的全行程往复动作试验三次,整定和调整好闸门开度传感器、行程极限开关和电、液组件的设定值,检测电动机的电流、电压和油压的数据及全行程启、闭的运行时间。

④在闸门承受水压力的情况下,进行液压启闭机额定负荷下的启闭运行试验。检测电动机的电流、电压和系统压力及全行程启、闭的运行时间;检查启闭过程应无超常振动,启停应无剧烈冲击现象。

⑤电气控制设备应进行模拟动作试验正确后,再作联机试验。

6. 卷扬启闭机安装及调试

固定卷扬式启闭机安装时间要和闸门安装一同考虑,如果安装条件允许,应先装启闭机,这样可以省去一套吊装闸门的临时起吊设施。



卷扬启闭机安装程序

设备安装前应编制安装技术措施，并对到货设备按有关要求进行全面检查，合格后方可进行安装。

减速器应进行清洗检查，并按要求加注合格的润滑油。减速器应转动灵活，其油封和结合面不得漏油。检查启闭机平台基础高程偏差不超过 $\pm 5\text{mm}$ ，水平偏差不应大于 $0.5/1000$ 。安装后启闭机吊点纵、横向中心线偏差不应超过 $\pm 3\text{mm}$ 。

试运转接电试验前应认真检查全部接线、回路绝缘电阻。

无负荷试验上下全行程往返数次，按图纸及规范检查并调整电气和机械部分。

高度指示器，负荷限制器等装置应动作灵敏可靠，满足设计各项技术指标。

检查电动机和电气元件温升不得超过允许值。

检查所有机械运转部件，均不应有异常声响；钢丝绳不允许与其他部件相摩擦。制动器闸瓦间隙符合图纸及规范要求。

启闭机的负荷试验应在设计水头工况下进行，将闸门在门槽内升降两次。事故闸门有条件时还应在设计水头下水工况下作升降试验。检查机构各部分不得有破裂、永久变形、连接松动或损坏；电气部分应无异常发热现象等影响性能和安全质量问题出现。

五、安装质量技术要求

支铰装置安装允许偏差

序号	检测项目	允许偏差
1	铰座孔中心的里程	± 2.0
2	铰座孔中心的高程	± 2.0
3	支铰中心至孔口中心线的距离	± 0.5
4	两铰座轴孔同轴度	≤ 1.0
5	单个铰座轴孔倾斜度	$\leq 1/1000$

门体安装允许偏差

序号	检测项目	允许偏差	备注	
1	门叶高度	± 12.0	G	
2	门叶宽度	+1.0 -2.0	G	
3	主梁与支臂组合处对角线相差 $ D1-D2 $	≤ 5.0	G	
4	扭曲	在主梁与支臂组合处测量	≤ 4.0	G
		在门叶四角测量	≤ 5.0	G
5	门叶横向直线度（通过各主、次横梁中心线）	≤ 2.0	H	
6	铰轴中心至面板外缘曲率半径	± 1.5	T	
7	两侧曲率半径相对差	≤ 1.0		
8	门叶弧面焊缝处与3.0m弦长样板间隙	≤ 3.0	G	
9	面板组装时组合处错位	≤ 0.5	H	
10	门叶底缘倾斜度	≤ 0.5	H	
11	连接螺栓紧固后，支臂节间连接板间及支臂两端与门叶、活动支铰组合面之间的间隙	接触面 $\geq 75\%$ ，0.3mm塞尺检查，连续插入部位 $\leq 100\text{mm}$ ，累计长度不大于周长的75%，极少数点最大间隙 $\leq 0.8\text{mm}$ 。		
12	支臂中心至门叶中心距离	± 1.5	SDJ249-88	
13	支臂中心与支铰中心的不吻合度	≤ 1.5	G	
14	支臂中心至门叶中心距离	± 1.5	G	
15	支臂与主梁组合处的中心至支臂与铰链组合处的中心对角线相对差	≤ 3.0	G	
16	支臂的侧面扭曲	≤ 2.0	G	
17	吊耳孔中心至支铰中心距离	± 1.5	T	

管路系统及油液的清洁度

污染度	系统类别	一般系统	比例系统	伺服系统
	标准 等级			
	ISO/DIN 4406	18/15	16/12	15/12
	NAS 1638	9	7	6
	GB/T 14039	18/15	16/12	15/12

闸门安装除了满足表中质量要求外，还应注意以下技术要求：

(1) 门叶组装成整体后，其各项尺寸应符合DL/T 5018规范有关规定要求。

(2) 节间如采用螺栓连接, 则螺栓应均匀拧紧, 节间橡皮的压缩量应符合设计要求。

(3) 节间如采用焊接, 则应采用已经评定合格的焊接工艺, 焊接并检验, 焊接应采取措施控制变形。

(4) 闸门滚轮和滑道应在同一平面内, 其平面度应符合规范要求, 滚轮转动灵活, 无卡滞现象。

(5) 闸门入槽前应作静平衡试验, 试验方法为: 将闸门吊离地面100mm, 通过滚轮或滑道的中心测量上、下游与左、右方向的倾斜, 一般单吊点平面闸门的倾斜不应超过门高1/1000, 且不大于8.0mm; 当超过上述规定时, 应进行调整。

(6) 止水橡皮的螺孔位置应与门叶或止水板上螺孔位置一致; 孔径应比螺栓直径小1.0mm, 严禁使用烫孔, 当均匀拧紧螺栓后, 螺栓其端部至少应低于止水橡皮自由表面8.0mm。

(7) 止水橡皮接头可采用生胶热压等方法胶合, 胶合接头处不得有错位, 凹凸不平和疏松现象。

(8) 止水橡皮安装后, 两侧止水中心距离和顶止水中心至底止水底缘距离的允许偏差 $\pm 3.0\text{mm}$, 止水表面的平面度为2.0mm, 闸门处于工作状态时, 止水橡皮压缩量应符合图样规定, 其允许偏差为-1.0~+2.0mm。

(9) 工、卡具等构件焊接时, 引弧和熄弧点应在工卡具等构件上; 工卡具等构件拆除时, 严禁用锤击法, 应用氧气、乙炔火焰或碳弧气刨在离工件母材表面3mm左右切除, 不得损伤工件母材, 切除后再用砂轮机磨平, 并认真检查有无微裂纹。

(10) 闸门焊接时, 如遇有风速超过10m/s的大风,

空气相对湿度大于90%时, 焊接处应有可靠的防护屏障和保护措施, 否则严禁施焊。

(11) 闸门组装经检查合格, 方可施焊。施焊前, 应将坡口及其两侧20mm范围内清理出金属本色。

(12) 施工现场应建立二级焊条库, 焊条由专人保管、烘焙、发放和回收, 并应及时做好烘焙温度控制和焊条发放及回收记录, 烘焙温度和时间应严格按焊条说明书规定进行, 施焊时, 待用的焊条应放在加热的保温筒内, 随焊随取, 并随手盖好筒盖。焊条在保温筒内的时间不宜超过4h, 否则应重新烘焙, 重复烘焙次数不宜超过2次。

(13) 连接用螺栓、螺母和垫圈都应妥善保管, 防止锈蚀和丝口损伤。使用高强度螺栓时应做好专用标记, 以防与普通螺栓混杂。

(14) 高强度螺栓应用测力扳手拧紧, 一般分初拧和终拧。初拧力矩为规定力矩值的50%, 终拧达到规定力矩。拧紧螺栓应从中部开始对称向两端进行。测力扳手在使用前应检测其力矩值, 并在使用过程中定期复验。

(15) 闸门吊入门槽后, 应将门槽孔口加盖封闭, 防止杂物掉入, 影响闸门启闭。

参考文献:

[1]徐斌.PLC技术在水电站控制系统中的应用[J].现代冶金.2010(04).

[2]张健, 赵旭春.小浪底电站快速闸门控制系统[J].水电自动化与大坝监测.2003(06).

[3]龙川.浅谈水电站AGC控制系统的投运调试[J].水电站机电技术.2016(02).