

超大容量回转吊门机设计之关键技术

范如谷, 吴思够

(中国水利水电夹江水工机械有限公司, 四川 夹江 614100)

摘要:金沙江乌东德水电站左、右岸进水口 $2 \times 2\,000/1\,100/1\,100$ kN双向门式启闭机为目前国内在建及投入运行中最大容量回转吊的水电站门机。通过多方面的技术研究,在设计中采取了一系列的关键技术工艺措施,解决了门式启闭机超大容量回转吊、悬臂梁与主梁连接处易拉裂、扬程高、吊具易旋转使钢丝绳打结等诸多技术难点,并在水电行业内首次设计采用了超大容量回转吊特殊门架结构形式,填补了行业空白。

关键词:乌东德水电站;超大容量回转吊;钢丝绳打结;特殊门架结构形式

中图分类号:TV52;TV53;TV51

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)06-0033-03

1 概述

乌东德水电站位于云南省禄劝县和四川省会东县交界的金沙江干流上,是金沙江下游河段四个水电梯级——乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝中的第一个梯级。乌东德水电站大坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程988 m,最大坝高270 m,拱冠梁底厚46.25 m,厚高比为0.168,为世界上最薄的300 m级双曲拱坝。乌东德水电站主厂房开挖高度高达89.8 m,是目前世界上最高的地下电站厂房;装机容量为1 020万kW,是中国目前已经核准建设的第三大水电站、世界已建和在建的第七大水电站,也是“西电东送”的骨干电源点。

金沙江乌东德水电站左、右岸进水口 $2 \times 2\,000/1\,100/1\,100$ kN双向门式启闭机(以下简称门机)为该电站关键启闭设备,也是目前国内水电站启闭机中最大容量回转吊的门机。门机共2台,分别装设在左、右岸电站进水塔顶988 m高程平台上。门机设有独立运行的 $2 \times 2\,000$ kN小车,上游左侧和右侧各布置了一台主钩1 100 kN、副钩100 kN的双钩回转吊,并在门架左右两侧设有100 kN电动葫芦检修吊。小车用于操作进水口检修闸门及快速闸门和液压启闭机的安装、检修。上游侧双回转吊用于操作进水口拦污栅、分层取水闸门和清污抓斗的水中清污。葫芦检修吊用于闸门和液压启闭机检修时小件及其它零星物品的吊运。门机主要由小车、门架、回转吊、大车行走机构、门机轨道和阻进器及二期埋件、防风

夹轮器、防风锚定装置及埋件、电力拖动和控制设备、门机安全监控管理及视频监控设备等组成。门机构配置为全变频控制、全封闭传动(图1)。

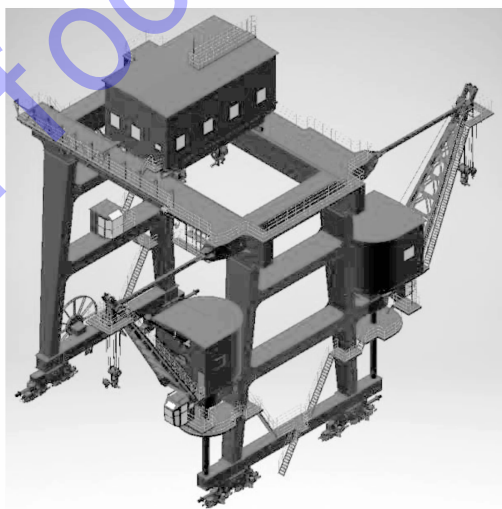


图1 门机示意图

门机的主要技术指标:

- (1) 小车额定启门力为 $2 \times 2\,000$ kN,总扬程90 m,轨上扬程24.5 m,起升速度为0.25~5 m/min(变频调速),小车运行速度为0.25~2.5 m/min(变频调速);
- (2) 回转吊主起升额定载荷为1 100 kN,扬程94 m,起升速度为0.5~10 m/min(变频调速);
- (3) 回转吊副起升额定载荷为100 kN,扬程94 m,起升速度为0.5~10 m/min(变频调速);
- (4) 回转机构的回转速度为0.04~0.4 r/min

收稿日期:2018-09-15

(变频调速),回转角度为 $180^{\circ} \sim 200^{\circ}$;

(5)门机行走载荷为 $2 \times 1\ 600\ \text{kN}$,大车行走速度为 $2 \sim 20\ \text{m/min}$ (变频调速);

(6)门机跨度为 $22\ \text{m}$ 。

2 门机具有的主要特点和难点

因该门机的参数配置与常规门机有较大差别(特别是 $1\ 100\ \text{kN}$ 超大容量双回转吊),必须根据该门机的特点进行研制与创新,以保证门机的可靠性。门机的主要特点和难点均集中在目前国内水电站启闭机中最大容量的回转吊上:(1)超大容量回转吊悬臂梁与主梁连接处易拉裂;(2)超大容量回转吊扬程为 $94\ \text{m}$ 的高扬程,吊具易旋转而使钢丝绳打结。

3 超大容量回转吊悬臂梁与主梁连接处易拉裂的防治技术措施

该回转吊采用转盘式回转吊结构形式(图1),主副起升机构和回转驱动机构均设置在回转平台上,回转平台上设有回转吊机房,对起升机构和回转驱动机构进行保护;回转吊臂架一端与回转平台铰接,另一端与拉杆铰接,而拉杆的另一端铰接在门架悬臂梁上;回转平台又通过回转支撑与安装在门架外伸梁上的大开式齿轮连接,大开齿与装设在回转驱动机构轴端的小开齿啮合;在驱动机构带动下,小开齿绕大开齿转动,带动回转平台、臂架及拉杆转动,实现回转吊的回转。

回转吊受力情况见图2。回转吊的受力主要集中在其下部的回转平台及回转支撑,然后传递到门架外伸梁上,其上部的拉杆拉力通过拉杆传递到门架的悬臂梁上。

其下部受力传递到门架外伸梁上,外伸梁连接到回转吊侧门腿,又通过立柱连接到下横梁。采用专业结构有限元软件分析得知,此处受力通过加强回转吊侧门腿及外伸梁很容易解决回转吊起吊额定载荷 $1\ 100\ \text{kN}$ 并旋转到各个角度时外伸梁的受力问题;同样也有助于门机大跨度受力。其上部受力传递到门架悬臂梁上。当回转吊旋转到垂直于悬臂梁时,悬臂梁与门架主梁连接处受力很大。传统的连接形式一般是悬臂梁通过高强螺栓与连接板连接,连接板与门架主梁焊接(图3)。

连接板与主梁焊接处为高受力区域,此处焊缝为对接焊缝。因连接板与主梁翼缘板成直角,转角处又为高集中应力区域,特别是大吨位的回

转吊此处受力更大,很容易拉裂该处的焊缝,进而造成事故(图4)。

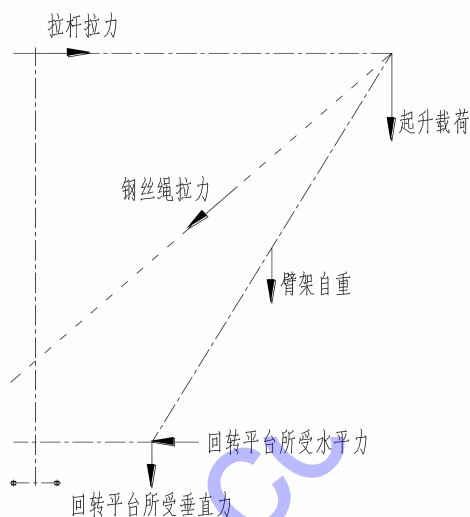


图2 回转吊受力示意图

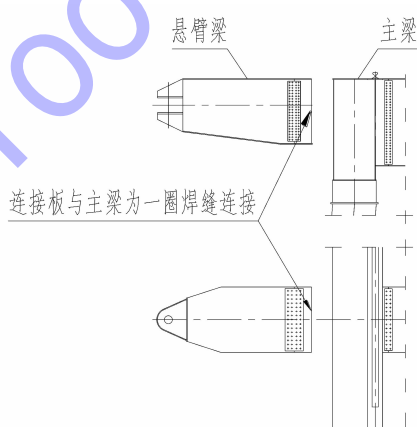


图3 悬臂梁传统连接形式示意图

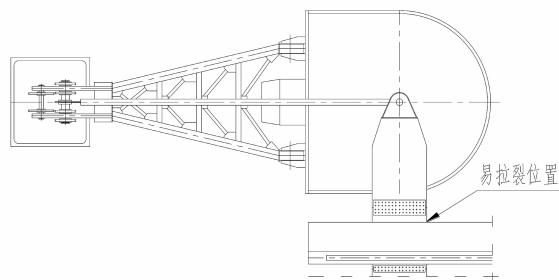


图4 悬臂梁传统连接形式易拉裂位置图

为解决超大容量回转吊门架结构受力难题,针对这种工况,设计人员采用专业结构有限元计算软件进行了门架结构整体和局部受力分析研究,总结出一种安全可靠的解决方案并已申请专利,该方案能使超大容量回转吊在各个回转角度

安全可靠运行。这种全新的结构形式见图5。

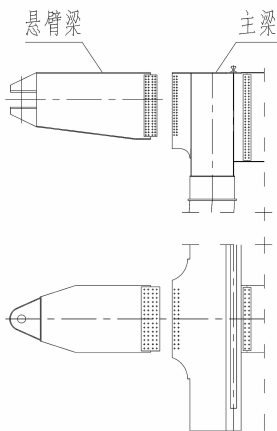


图5 超大容量回转吊特殊门架结构形式示意图

这种超大容量回转吊特殊门架结构形式,避免了在高受力区域的焊缝连接,取消了连接板,改进为悬臂梁直接和主梁通过高强螺栓连接。而高受力区域变为一块整的钢板而不是原来的焊缝,并且有大圆弧以避免高集中应力区域出现,从根本上避免了高集中应力引起的拉裂破坏,从而使回转吊在各个角度均能安全可靠的运行。

4 超大容量高扬程、吊具易旋转使钢丝绳打结的解决措施

该回转吊由主、副起升两套卷扬系统组成,每套卷扬系统由变频电动机通过齿轮联轴器、硬齿面减速器带动卷筒转动,卷筒上的钢丝绳又通过动、定滑轮和平衡滑轮带动吊具的起升实现闸门启闭。主、副起升采用电气位置同步控制实现同步启闭。由PLC程序通过计算分析分别设在主、副起升的高度编码器数据实时控制主、副起升吊点高度,如果一个吊点速度过快,通过高度编码器数据反馈,PLC会控制该吊点减速或控制另一个吊点加速,以保证主、副起升吊点同步运行。

起升机构采用折线卷筒多层缠绕的方式解决高扬程问题。为便于钢丝绳层间顺利过渡,在过渡处设有过渡环。钢丝绳的层间返回偏角均在 $0.5^\circ \sim 1.5^\circ$ 范围内,上极限时的偏角小于 2.5° ,这是一个很理想的结果,可以确保钢丝绳缠绕整齐。

但是,扬程高意味着动滑轮吊钩下降高度高,动滑轮吊钩在如此高的高度运行,加上钢丝绳自身的旋转力以及动滑轮吊钩自身重量等因素,很容易使动滑轮吊钩晃动旋转而造成钢丝绳打结(图6)。针对这种情况,该回转吊通过设计优化,

从设计上采用了以下针对性措施:首先,合理布置主、副起升机构位于拉杆端部的导向滑轮,使主、副起升机构的钢丝绳分开,避免在启闭过程中出现主副起升钢丝绳交叉干涉、相互摩擦的现象,有效增加了钢丝绳的使用寿命;其次,在钢丝绳设计选型时选用特殊钢丝绳。这种钢丝绳能够极大地减小自身的旋转力,能够有效避免动滑轮吊钩因钢丝绳自身旋转力产生的旋转,从根本上避免了钢丝绳出现打结现象;最后,在设计动滑轮吊钩组时,针对不同吨位的动滑轮吊钩组自身重量,采用了不同的措施,如果动滑轮吊钩组自身的重量不能满足设计需要,则在动滑轮吊钩组上增加一定重量的配重块,避免因动滑轮吊钩组过轻而使钢丝绳下放不到位、使动滑轮吊钩组摆动而产生的钢丝绳打结现象。



图6 超大容量回转吊钢丝绳打结示意图

5 结语

金沙江乌东德水电站左、右岸进水口 $2 \times 2000/1100/1100$ kN双向门式启闭机的成功研制、在水电行业内首次设计采用超大容量回转吊特殊门架结构形式,填补了行业空白,对今后类似超大容量回转吊门机的设计制造具有一定的借鉴作用。

作者简介:

范如谷(1982-),男,四川乐山人,设计院总工程师,工程师,学士,

从事水工金属结构及启闭起重设备制造设计与管理工作;

吴思够(1973-),男,四川乐山人,主任,教授级高级工程师,学士,

从事水工金属结构及启闭起重设备制造设计与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)