

液压顶升高速皮带机在丰满水电站的设计及应用

朱晓秦 谢辉 董绍红

(中国水利水电第十六工程局有限公司, 福建 福州 350003)

摘要:丰满重建工程大坝为碾压混凝土重力坝,全长1068.00m,坝高94.50m,溢流坝段共9孔,布置于主河床,为10#~19#溢流坝段,进口前缘总宽158.00m,堰顶高程249.60m,每孔净宽14.00m,闸墩混凝土总量55000m³。设计可以随仓面升高而升高液压顶升高速皮带机,大大提高了混凝土入仓能力,又确保混凝土质量,为丰满水电站的建设提供了有力保障。本文介绍丰满水电站液压顶升高速皮带机的设计及应用。

关键词: 液压顶升; 高速皮带机; 丰满水电站; 设计及应用

Design and application of high speed hydraulic jacking belt conveyor in Fengman Hydropower Station

Zhu Xiaoqin, Xie Hui, Dong Shaohong

(Sinohydro Bureau 16 Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350003)

Abstract:The dam of Fengman reconstruction project is a roller compacted concrete gravity dam, with a total length of 1068.00m and a height of 94.50m. The overflow dam section has nine holes, which are arranged in the main river bed. It is a 10×10~19×10 overflow dam section, with a total width of 158.00m at the front edge of the inlet, a crest elevation of 249.60m, a clear width of 14.00m for each hole, and a total amount of 55000m³ of pier concrete. The design can raise the hydraulic jacking high-speed belt conveyor with the rise of the warehouse surface, which greatly improves the concrete warehousing capacity and ensures the concrete quality, providing a strong guarantee for the construction of Fengman Hydropower Station. This paper introduces the design and application of high-speed hydraulic jacking belt conveyor in Fengman Hydropower Station.

Keywords:Hydraulic jacking; high speed belt conveyor; Fengman Hydropower Station; design and Application

1 工程概况

丰满重建工程大坝为碾压混凝土重力坝,全长1068.00m,坝高94.50m,碾压混凝土量约195万m³,常态混凝土量约85万m³。坝身泄洪系统采用坝顶开敞式溢流表孔,共9孔,布置于主河床,为10#~19#溢流坝段,进口前缘总宽158.00m,堰顶高程249.60m,每孔净宽14.00m,闸墩混凝土总量55000m³。

2 设计背景

传统的大坝浇筑多采用自卸汽车配合门塔机或缆索起重机等间歇式物料搬运设备,与这些设备相比,液压顶升高速皮带机的输送能力很高。间歇式物料搬运设备,由于不可避免地存在空回行程,浪费了时间,导致其生产效率降低。其次,物料起升速度及回转、变幅速度的上限值都会受到操作人员技术水平以及运行空间中其他设备、建筑物干扰的限制,无法根据生产效率的需要自由地提高。这些固有的特点导致其生产效率比较低下:单台门塔机小时入仓方量约40m³左右,单台缆索

收稿日期:

作者简介:朱晓秦(1984-),男,湖北荆州人,高级工程师,主要从事水利水电施工与项目管理。

通讯地址:福建省福州市湖东路82号中国水利水电第十六工程局有限公司。手机:18672124972。E_mail:83722396@.com

起重机小时入仓方量最大120m³左右。而高速皮带机,可以将混凝土连续不断地以很高的速度输送至仓面,且运送过程中无空间干扰,可以根据需要采用不同的带宽及带速匹配以获得更高的输送能力。

丰满溢流坝段闸墩高度20m，若布置常规皮带机，皮带顶面至仓面高差太大，尽管设置了橡皮管缓降装置，但对常态混凝土均匀性还是会有较大影响，不利于工程质量。

考虑到既要满足施工强度，又要确保混凝土质量，笔者通过探索与研究，设计了可以随仓面上升而升高的液压顶升高速皮带机，并在丰满工程成功应用。丰满水电站液压高速皮带机小时运输强度500m³，大大提高了混凝土入仓能力，为丰满水电站的建设提供了有力保障。

3 液压顶升高速皮带机的布置设计

溢流坝段布置180m长自动顶升皮带机，横跨10#~19#溢流坝段9孔，10#坝段安装四管柱及接料斗，采用自卸汽车运输混凝土入仓。具体布置见图1。

溢流坝段混凝土入仓皮带机采用分料小车进行分料，在皮带机上安装可移动的两边分料小车，分料小车下部接有落料溜槽，混凝土通过溜槽入仓。液压顶升高速皮带机分为两大部分，即液压顶升机构和高速皮带机装置。

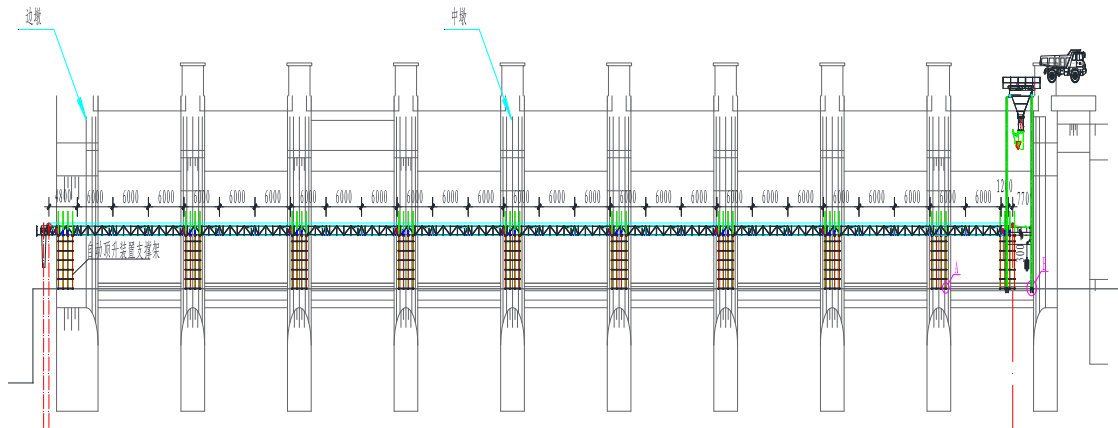


图1 溢流坝段液压顶升皮带机立面布置图

3.1 皮带机液压顶升部分的构造和组成

本皮带机液压顶升装置主要由顶升支架、液压提升及控制系统、施工精度控制系统、水电配套系统和辅助系统组成。

3.1.1 顶升支架

顶升支架主要是由[14#槽钢焊接而成的平面桁架，GYD-60型穿心式千斤顶连接在顶升支架上，顶升支架与皮带机桁架之间通过螺栓连接。

整个皮带机坐在顶升支架上，每个顶升支架设计安装4个液压千斤顶，最多可安装8个千斤顶。

3.1.2 液压提升及控制系统

液压提升及控制系统主要由液压控制站、油路、液压千斤顶、支撑杆和支撑杆回收辅助机构等组成。

1、液压控制站

液压控制站是液压传动系统的控制中心。选用的液压控制站（YKD-36型，公称流量36L/min，额定工作压力8MPa，可配套多达60个千斤顶，外形尺寸850×695×1090mm，整机重量300kg，控制方

式既可自动亦可手动) 主要由一个7.5KW的三相异步电动机、中压CBFA/0-C-H型齿轮油泵、电磁换向阀、溢流阀、液压分配器和油箱(容积60L)组成。

液压站的工作过程为: 电动机带动油泵运转, 将油箱中的油液通过溢流阀控制压力后, 经换向阀送到液压分配器, 然后经油管将油液输入千斤顶, 使千斤顶沿支撑杆爬升。当活塞走满行程后, 换向阀变换油液的流向, 千斤顶中的油液从输油管、液压分配器, 经换向阀返回油箱。每一个工作循环, 可使千斤顶带动皮带系统爬升一个行程。

液压控制系统安装完毕, 应进行试运转, 首先进行充油排气, 然后加压至120MPa, 每次持压5min, 重复3次, 全面检查各密封处有无渗漏, 待各工作部分工作正常后, 插入支撑杆。

2、油路

油路是连接液压控制站与千斤顶的液压通路, 主要由油管、管接头、液压分配器和单向截止阀等元器件组成。主油为高压橡胶管, 管公称内径19mm, 分油管公称内径12.5mm, 连接千斤顶的油管公称内径8mm。

3、千斤顶

顶升的动力装置采用GYD-60型滚珠穿心式液压千斤顶。其额定起重量为60kN, 工作起重量30kN, 理论行程35mm, 实际行程20~30mm, 工作压力8MPa, 自重25kg, 外形尺寸160×160×400mm, 适用于 $\phi 48 \times 3.5mm$ 钢管支撑杆, 千斤顶安装在提升架横梁上, 位置在闸墩混凝土内, 千斤顶中心的 $\phi 48 \times 3.5mm$ 钢管插在混凝土中。

GYD-60型滚珠穿心式液压千斤顶中间穿过的 $\phi 48 \times 3.5mm$ 钢管用接头连接接长。皮带机的顶升就是靠千斤顶夹紧钢管而提升上去的, 每次提升约20~30mm, 以便观察闸墩混凝土保护层是否脱落, 如果达到工程要求就连续提升, 使皮带机上升20~30cm。

4、支撑杆

支撑杆采用 $\phi 48 \times 3.5mm$ 焊接钢管, 管径允许偏差为 $-0.2 \sim -0.5mm$;

支撑杆接长方法采用焊接方法, 接头处进入千斤顶前, 先点焊三点以上并磨平焊点, 通过千斤顶后进行围焊;

所有支撑杆均设置在混凝土结构体内, 不回收。

第一批插入千斤顶的支撑杆其长度分5种, 长度分别是3.3m、3.0m、2.7m、2.4m、和2.1m, 两相邻接头高差应不小于1m, 支撑杆接头高度位置尽可能错开。

3.1.3 施工精度控制系统

施工精度控制系统主要包括: 限位调平器、调平靶座、对心线锤和激光扫平仪等。

限位调平器可控制千斤顶每次的爬升高度, 设置在千斤顶的上端一定距离处; 激光扫平仪可保证限位调平器的高度一致性, 确保千斤顶每次爬升的高度相同; 调平靶座与对心线锤配合, 调整整个液压顶升系统的水平度。

调平靶座和对心线锤均安装在中心鼓圈里头, 激光扫平仪安装在中心鼓圈上面。

3.2 皮带机皮带机系统支撑杆稳定复核计算

溢流坝段闸墩共有中墩8个, 左、右边墩各一个, 中墩间距18m, 净空14m。混凝土以皮带机输送, 皮带机搁置在桁架上, 桁架的爬升由GYD-60型穿心式液压千斤顶顶升, GYD-60型穿心式液压千斤顶

顺 $\Phi 48 \times 3.5\text{mm}$ 钢管爬升，每行程 3cm ， $\Phi 48 \times 3.5\text{mm}$ 钢管下端埋置于已浇混凝土里，每个闸墩共有8根 $\Phi 48 \times 3.5\text{mm}$ 钢管，横向间距 0.7m ，纵向间距 3.01m ，见图2。

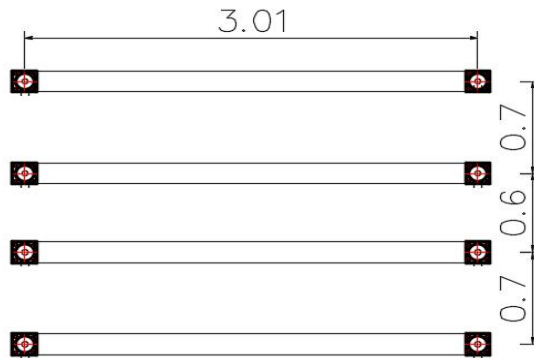


图2 支撑钢管平面布置图

钢管最大脱空长度 10m ，建议施工时，临时用钢管扣件每间距 1.2m 加一道横杆，必要时，设剪刀撑。

3.2.1 皮带机桁架支撑设计计算

通过对皮带机桁架支撑的结构进行分析可知，皮带机桁架支撑设计计算的主要内容是支撑杆的刚度计算。

3.2.2 施工荷载计算

溢流坝段皮带机总荷载为 92.78t ，具体见下表：

表1 溢流坝段皮带机荷载工程量表

序号	部位	单位	工程量	备注
1	皮带机桁架	t	17.83	
2	顶升支架	t	10	10个
3	皮带机设备	t	22.95	
4	皮带机遮盖	t	25	
5	皮带机底部挡板	t	7	
6	混凝土重量	t	10	
总重		t	92.78	

每个闸墩的8根支撑杆钢管承受的荷载为：

$$P_{\text{单墩max}} = \frac{92.78\text{吨}}{10} = 9.278\text{吨}$$

3.2.3 单个闸墩8根钢管整体刚度计算

单个闸墩8根钢管脱空长度最大值为 $l_{\text{脱空max}} = 10\text{m}$ ，下端埋在混凝土里，上端为自由端，中间每间距1.2m用钢管扣件连接横杆，形成整体受力，见图2，支撑钢管形心在8根钢管的对称中心，各钢管

$$a_1 = \frac{3.01}{2} = 1.505\text{m} = 150.5\text{cm}$$

管横向距形心竖轴，竖向中间4根钢管距水平形心轴

$$a_2 = \frac{0.6}{2} = 0.3\text{m} = 30\text{cm}, a_3 = a_2 + 0.7 = 1\text{m} = 100\text{cm}$$

，其横向和纵向截面惯性矩计算如下：

$$\phi 48 \times 3.5\text{mm} \text{ 钢管的截面积 } A = \frac{\pi(4.8^2 - 4.1^2)}{4} \approx 4.893\text{cm}^2$$

$$\phi 48 \times 3.5\text{mm} \text{ 钢管的截面惯性矩 } I_{\phi 48 \times 3.5 \text{ 钢管}} = \frac{\pi(4.8^4 - 4.1^4)}{64} \approx 12.187\text{cm}^4$$

8根钢管整体横向截面惯性矩：

$$I_{\text{整体横向}} = 8(a_1^2 \cdot A + I_{\phi 48 \times 3.5 \text{ 钢管}}) = 8 \times (150.5^2 \times 4.893 + 12.187)$$

$$= 886718.88\text{cm}^4$$

8根钢管整体纵向截面惯性矩：

$$I_{\text{整体纵向}} = 4(a_2^2 \cdot A + I_{\phi 48 \times 3.5 \text{ 钢管}}) + 4(a_3^2 \cdot A + I_{\phi 48 \times 3.5 \text{ 钢管}})$$

$$= 4 \times (30^2 \times 4.893 + 12.187) + 4 \times (100^2 \times 4.893 + 12.187)$$

$$= 17663.548 + 195768.748 = 213432.296\text{cm}^4$$

$$P_{\text{临界压力}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{min}}}{(\mu l_{\text{脱空max}})^2} \quad (1)$$

根据细长压杆稳定性计算公式——即欧拉公式：

$$E = 2.06 \times 10^{11} (\text{N}/\text{m}^2)$$

式(1)中，钢材的弹性模量，截面惯性矩取

$$I_{\text{min}} = I_{\text{整体纵向}} = 213432.296(\text{cm}^4), l_{\text{脱空max}} = 10\text{m}$$

，长度系数（按1端固定，一端自由）取 $\mu=2$ ，

故：

$$P_{\text{临界压力}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{min}}}{(\mu l_{\text{脱空max}})^2} = \frac{3.14^2 \times 2.06 \times 10^{11} \times 213432.296 \times 10^{-8}}{(2 \times 10)^2}$$

$$\approx 10837.439 \times 10^3 \text{ N} = 10837.439\text{kN} \approx 1083.7\text{吨}$$

$$k = \frac{P_{\text{临界压力}}}{P_{\text{单墩max}}} = \frac{1083.7}{9.278} \approx 116.8$$

安全系数

可见，安全系数足够，使用安全稳定。

3.2.4 千斤顶的顶升力验算

每个闸墩设4个GYD-60型千斤顶，每个千斤顶承受的荷载为：

$$P_{\text{单个千斤顶}} = \frac{P_{\text{单墩max}}}{4} = \frac{9.278\text{吨}}{4} = 2.3195\text{吨}$$

GYD-60型千斤顶的最大顶升力60kN，额定顶升力30kN(约3吨)，因此，本工程所采用的千斤顶的顶升力足够。

从以上的计算可知，皮带机桁架支撑的设计可行，使用安全可靠。

4 液压顶升高速皮带机的安装与运行

4.1 液压顶升高速皮带机的安装

皮带机金属结构制作→皮带机设备及顶升设备采购→预埋件安装→立柱安装→顶升支架及千斤顶安装→皮带机桁架安装→皮带机设备及顶升设备安装→皮带机顶棚安装。

4.1.1 皮带机金属结构制作及安装

大坝混凝土入仓皮带机系统主要在金结加工车间加工制作完成，采用倒运车运至大坝上游侧门机平台，采用厂房坝段及溢流坝段门机进行吊装。

4.1.2 预埋件安装

大坝混凝土入仓皮带机系统所有立柱均采用预埋件进行安装，在混凝土浇筑达到安装高程后预埋钢板。

4.1.3 立柱安装

当混凝土强度达到安装要求后开始安装立柱，溢流坝皮带机立柱安装在中墩及边墩内部，安装时避开锚索位置，厂房坝段皮带机立柱安装时避开闸门门孔位置。具体安装位置见图3《皮带机立柱布置图》。

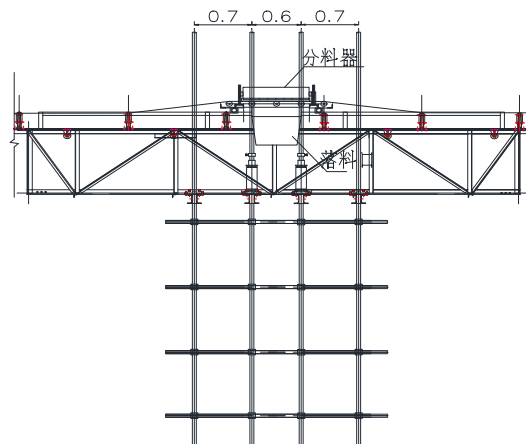


图3 皮带机立柱布置图

4.1.4 顶升支架及千斤顶安装

皮带机立柱安装完成后开始安装顶升支架及千斤顶安装，安装前需在已安装完成的立柱间增加足够的横撑，保证立柱的稳定性。

4.1.5 皮带机桁架及上下安全通道安装

顶升支架及千斤顶安装完成后开始安装皮带机桁架，皮带机桁架与顶升支架采用螺栓连接，桁架在安装前应进行拼装，安装时先吊放在两个顶升支架上部。

皮带机桁架一侧安装有上下安全通道，桁架及安全走道安装完成后施工及运行人员由此上下皮带机系统。

4.1.6 皮带机设备及顶升设备安装

皮带机桁架安装完成后开始安装皮带机设备及顶升设备，主要安装设备为皮带机托辊、皮带机电机滚筒、皮带、清扫器及液压站等。

4.1.7 皮带机顶棚安装

为保证混凝土浇筑质量，皮带机系统安装完成后需在顶部安装顶棚，顶棚采用角钢支架及彩钢瓦组成。

4.2 液压顶升高速皮带机的运行

4.2.1 顶升系统运行

在完成安装与调试后即可进行浇筑。由于皮带机施工的技术需求，混凝土浇筑要连续的进行。先浇筑一层混凝土，振捣时用11公斤的变频振动器，振捣时注意次数以免翻砂或爆模。在混凝土强度达到0.2Mpa左右(混凝土出模强度宜控制在0.2~0.4MPa)的情况下，将皮带机提升20cm左右高，检查浇筑质量。用仪器观测皮带机是否出现倾斜或偏移，在各项参数达到技术要求后继续浇筑，进入正常升阶段。

4.2.2 皮带系统运行

开机后，应先空转3~5min，经检查各部位正常后，方能载负荷运转。对于多条皮带串联，开机顺序应为从卸料端至喂料端依次启动。运行人员在皮带运转过程中应勤于巡视，若发现皮带跑偏、打滑、跳动等异常情况时，应及时进行调整；打滑时，严禁往转轮上加砂土等杂物。皮带松紧不合适，应及时调整拉紧装置。

5 结语

液压顶升高速皮带机在丰满的设计研究，并取得了成功应用，可以适应混凝土大坝的各个部位浇筑，同时，输送能力较强，完全能达到混凝土浇筑强度要求，结构简单，现场安装方便，高速皮带机

实现随仓面上升而升高的液压自由顶升，小落差下料高度又确保了混凝土质量，充分表明了顶升皮带机在大体积常态混凝土浇筑中是一种快速经济的入仓手段，可为今后类似工程施工提供借鉴与参考。

参 考 文 献：

- [1] 刘红玉. 高速皮带机在碾压混凝土高拱坝中的规划布置研究[J]. 水利建设, 2018(49):284-287.
- [2] 翟佳, 薛磊. 观音岩水电工程自升式高速混凝土输送系统的设计及特点[J]. 发电与空调, 2013(04):44-47.
- [3] 李小群, 翟佳, 李建华, 彭继川. 国产自升式高速混凝土供料线在观音岩水电站中的应用. 水力发电, 2017 (1): 75-79.