

景洪水电站成品骨料罐结构与滑模施工

黄登成 吴 姿

(中国水利水电第三工程局,云南 景洪 666100)

摘要 介绍景洪水电站右岸混凝土拌和及制冷系统成品骨料罐的选型、罐壁结构设计以及滑模选型方法和滑模混凝土施工质量控制方法.罐壁采用钢筋混凝土圆形结构,采用桁架式滑模施工,通过施工及运行证明,骨料罐结构经济合理,采用滑模浇筑混凝土,大大加快了工程进度,并确保了混凝土施工质量.

关键词 混凝土拌和系统;骨料罐;结构设计;滑模施工;景洪水电站

中图分类号 TV528.06 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2005)06-0052-04

Structure design and slip form construction for finished aggregate tins at Jinghong Hydropower Station//HUANG Deng-cheng, WU Zi(*Sinohydro Engineering Bureau 3, Jinghong 666100, China*)

Abstract : An introduction was given to the type selection of finished aggregate tins for concrete mixing and cooling system at the right bank of the Jinghong Hydropower Station and the methods for tin wall structure design, type selection for slip form, and construction quality control. A rounded reinforced concrete structure was adopted in tin wall design, and the truss-type slip form was adopted in the construction. The construction and operation of the project show that the aggregate tin structure is economical, and that the adoption of slip form in concrete placement greatly shortens the working schedule of the project, and ensures the quality of concrete construction.

Key words : concrete mixing system; aggregate tin; structure design; slip form construction; Jinghong Hydropower Station

1 工程概况

景洪水电站位于云南省澜沧江下游河段,西双版纳傣族自治州境内,坝址距下游景洪市约 5 km,工程所在地为低热河谷区.景洪水电站为碾压混凝土重力坝,两岸采用混凝土坝接头,坝高 110 m,坝顶高程 612.00 m,坝顶总长 704.5 m.正常蓄水位 602.00 m,总库容 $11.39 \times 10^8 \text{ m}^3$.工程以发电为主,装机 5 台,总装机容量 1 750 MW,兼有防洪、航运及其他综合利用效益.

右岸混凝土拌和及制冷系统布置于右岸下游上坝公路右侧,系统场地狭窄,呈台阶式布置,高程 592.00~624.00 m,距右坝头约 400 m,供应基坑所需碾压混凝土和常态混凝土.配强制式拌和楼及自落式拌和楼各 1 座,混凝土生产高峰月生产强度 $9.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,系统全年生产温控混凝土.成品骨料罐共 9 个,一字形布置于高程 611.40 m 的平台上.

右岸混凝土拌和及制冷系统建筑安装工程合同工期 4 个月,由于一期开挖滞后约 1 个月,系统建筑安装总工期仅为 3 个月,而同规模系统建筑安装施工

正常工期为半年以上,滑模施工是本系统按期建成并创国内同行业施工进度新纪录的主要原因之一.

2 成品骨料罐设计

2.1 成品骨料罐选型

混凝土生产高峰月生产强度为 $9.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,则混凝土日生产强度为

$$Q = Q_{\max} k_0 / M \tag{1}$$

式中: $Q_{\max}$ 为混凝土生产高峰月生产强度; k_0 为不均衡生产系数,取 $k_0 = 1.1$; M 为每月施工天数, $M = 25 \text{ d}$.由式(1)计算得, $Q = 4\,224 \text{ m}^3/\text{d}$.常规每立方米混凝土含 1.35 m^3 骨料,则骨料日需用量为 $5\,702 \text{ m}^3$.

选用钢筋混凝土圆形骨料罐储存骨料能较好地适应现场地形条件,可采用滑模快速施工罐壁混凝土.骨料罐内径 $D_0 = 12 \text{ m}$,净高度 $H = 15.2 \text{ m}$,每个骨料罐容积 $1\,719 \text{ m}^3$,系统设 9 个骨料罐,总容积 $15\,471 \text{ m}^3$,可满足系统 2.7 d 的生产需要.

2.2 成品骨料罐配筋计算

成品骨料罐高径比 $H/D_0 = 1.27 < 1.5$,属浅仓.设计罐壁时按浅仓进行计算,按深仓进行校核^[1].骨

料容重 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, 骨料休止角 $\varphi = 35^\circ$ 相应储料侧压力系数 $K = 0.271^{[1]}$. 采用 C25 混凝土, II 级钢筋, 混凝土容重取为 25 kN/m^3 . 根据《混凝土结构设计规范》 $^{[2]}$, C25 混凝土轴心抗压强度设计值 $f_c = 11.9 \text{ MPa}$, 轴心抗拉强度设计值 $f_t = 1.27 \text{ MPa}$, II 级钢筋抗拉强度 f_y 、抗压强度设计值 f_y' 均为 300 MPa .

罐壁沿高度方向从上向下, 第一段高 0.2 m , 其余各段高度均为 3 m , 取单位长度(环向 1 m)按浅仓进行受力及配筋计算, 见表 1(罐壁纵向钢筋按构造配 $12@200$), 其中环向拉力 N 和环向钢筋面积 A_g 的计算公式如下:

$$N = k_1 \gamma h (R_0 + d_2) \tag{2}$$

$$A_g = k_1 N / f_y \tag{3}$$

式中: R_0 为料仓内半径, $R_0 = 6 \text{ m}$; d_2 为料仓壁厚, $d_2 = 0.3 \text{ m}$; k_1 为荷载分项系数, 取 $k_1 = 1.4$; γ 为骨料容重.

表 1 罐壁内力及配筋计算

区段	各段至罐顶深度 h/m	环向拉力 $N/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	环向钢筋面积 $A_g/(\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1})$	环向配筋
1	0.2	6.15	29	12@200
2	3.2	98.34	459	14@200
3	6.2	190.53	889	18@200
4	9.2	282.73	1319	20@200
5	12.2	374.92	1750	22@200
6	15.2	467.12	2180	25@200

罐壁按深仓校核计算, 其垂直储料压力 P_v 和水平储料压力 P_h 按式 (4) 和式 (5) 计算 $^{[1]}$:

$$P_v = \frac{C_v \gamma \rho}{\mu K} [1 - \exp(-\frac{\mu K h}{\rho})] \tag{4}$$

$$P_h = \frac{C_h \gamma \rho}{\mu} [1 - \exp(-\frac{\mu K h}{\rho})] \tag{5}$$

式中: C_v 为储料垂直压力修正系数, 查表 $^{[1]}$ 得 $C_v = 1.4$; ρ 为料罐水平截面的水力半径, $\rho = D_0/4 = 3 \text{ m}$; μ 为储料与罐壁的摩擦系数, 取 $\mu = 0.5$; C_h 为储料水平压力修正系数, 查表 $^{[1]}$ 偏安全取 $C_h = 2$.

经校核计算, 成品骨料罐壁的安全裕度是足够的.

2.3 成品骨料罐结构设计成果

成品骨料罐外径 12.6 m , 壁厚 0.3 m , 总高度 16 m , 成品骨料罐底板厚 0.8 m , 每个骨料罐设 $750 \text{ mm} \times 750 \text{ mm}$ 的放料口 6 个; 骨料罐底部设双线取料廊道, 廊道净高 2.9 m , 净宽 3.1 m , 底板厚 0.5 m , 边墙厚 0.6 m , 中间设 0.6 m 厚 C25 钢筋混凝土隔墙, 廊道建基面高程 607.90 m . 成品骨料罐体型及施工分层见图 1.

3 成品骨料罐施工

根据骨料罐结构特点及工期要求, 罐壁采用滑

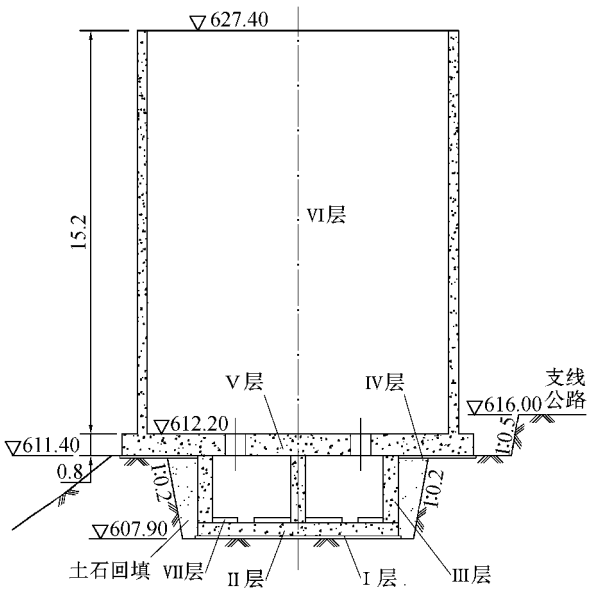


图 1 骨料罐体型及施工分层(单位: m)

模连续施工. 其最大优点是可加快工程进度同时不留施工缝, 对结构有利, 并能较好地控制中心度及垂直度, 避免混凝土浇筑中跑模、蜂窝麻面等质量通病, 提高罐壁的内部和外观质量.

3.1 滑模施工工艺简介

9 个骨料罐罐壁滑模混凝土施工分为 5 个单元进行, 1 号和 2 号、3 号和 4 号、5 号和 6 号、8 号和 9 号罐各为 1 个单元, 7 号罐为 1 个单元, 各单元采用桁架(辐射式)刚性操作平台连接为一体, 一起滑升. 各单元施工顺序为: 1 号和 2 号罐→3 号和 4 号罐→8 号和 9 号罐→5 号和 6 号罐→7 号罐.

HB60 型混凝土泵从临时拌和站放料口直接接料, 泵送混凝土至滑模内操作平台, 混凝土泵管从两骨料罐壁间上引至操作平台, 手推车分料至各铺料点. 在滑模内平台上布置 2 辆手推车接料, 人工配合将混凝土送入罐壁仓号.

一个浇灌层滑模施工工艺流程: 绑扎钢筋焊接支承→浇混凝土 30 cm →滑升→检测纠偏→找平、移限位卡→出模混凝土加浆粉刷→混凝土养护.

3.2 滑模设计

3.2.1 滑模计算

a. 千斤顶数量确定. 按单个罐壁计算千斤顶数量. 千斤顶承担荷载为: 施工平台荷载、施工荷载及模板的摩擦阻力. 各种荷载取值如下: 单位面积上平台模板重量 0.4 kN , 操作平台自重 0.6 kN , 吊脚手架自重 0.4 kN , 施工荷载 1.2 kN , 模板的摩擦阻力 2 kN . 计算得千斤顶总荷载为 335.73 kN , 而千斤顶(GYD60 滚珠式)单个承载力为 30 kN , 故所需千斤顶数量为 12 台. 根据提升架间距构造要求, 实际布置 20 台, 大于 12 台, 安全可靠.

b. 支承杆数量确定. 支承杆选用 48 脚手架钢管 提空 1.8 m 时其承载力为 46.5 kN ,按总荷载 335.75 kN 计算 ,需 9 根支撑杆(安全系数取 0.8). 根据千斤顶数量 ,选用 20 根 ,安全可靠.

c. 液压提升系统设计(2 个罐一起滑升). 所需齿轮泵工作压力 A 为

$$A = \frac{P_{总} + P}{BF} \tag{6}$$

式中 : $P_{总}$ 为滑模总荷载 672 kN ; P 为千斤顶排油弹簧总压力 240 kN ; B 为工作效率 ,取 0.6 ; F 为千斤顶活塞总面积 2536 cm^2 .计算得 A 约为 6 MPa ,选用 YKJ-56 型液压控制台则可满足要求 ,工作压力为 10 MPa ,最高压力为 12 MPa .

3.2.2 模板、围圈、提升架选择

a. 骨料罐模板选用可调弧形钢模板 ,模板宽以 1200 mm 为主 ,不足部分以 100 mm 和 150 mm 补充 ,拼装时如不足 50 mm ,用 100 mm 宽模板改制 . 外钢模高为 1200 mm ,内模高 900 mm . 内外模板上、下相差 300 mm . 模板与模板之间用 M12 螺栓连接 ,中间夹 10 mm 厚的海绵条 ,模板与围圈用特制钩头螺栓连接 .

b. 为增强围圈的刚度和传力的均匀可靠 ,上下围圈均用 10 号槽钢 ,现场用 48 钢管焊接成垂直拉杆 ,拉杆之间用 48 钢管焊接成斜撑腹杆 ,相互连接成桁架式围圈 .

c. 提升架是滑模施工最重要的受力构件 ,滑模装置上所有荷载都集中在提升架上 ,通过千斤顶传递给支承杆 ,最后传到混凝土墙体上 . 选用井型桁架式提升架 ,千斤顶支座为 12 号槽钢 ,竖向提升杆为

48 钢管 .

3.2.3 操作平台选择

桁架(辐射式)刚性操作平台辐射梁数量与支承杆数量同等 ,每个罐 20 根 ,中心用鼓圈(14 号槽钢 , $\varnothing 3.5$ m)连接 . 各单元骨料罐之间采用桁架连接成一个刚性平台 ,一起滑升 ,刚性操作平台刚度好 ,不易变形 ,水平、垂直度容易控制 . 滑模结构布置见图 2 .

3.3 滑模组装

模板组装偏差控制在规范^[3]允许范围内 ,模板放 0.2% ~ 0.3% 锥度 ,不允许反锥 .

平台组装顺序如下 :放线找平→骨架、内平台桁架安装→围圈提升架安装→挂外模板→绑扎钢筋→千斤顶、支承杆安装→内模板安装→平台板铺设→液压系统安装→检查调试→全面检查验收→分层浇筑混凝土→初滑→检查混凝土出模强度→正常滑升 .

3.4 滑模混凝土施工

滑模平台组装完毕 ,液压、电气试车后 ,清除模板内杂物 ,即可浇筑混凝土 . 混凝土分层厚度为 30 cm ,依此循环直到将混凝土浇至模板上口 ,待第一层混凝土强度达 0.2 ~ 0.4 MPa 初升后即进入正常滑升 . 出模强度控制在 0.2 ~ 0.4 MPa ,通过试验确定滑升间隔时间 ,分白天、夜间根据气温进行控制 .

出模混凝土用原浆或加少量减水剂的 1:2 水泥浆进行表面修饰 ,修饰混凝土配合比要准确 ,以保持修饰面色泽一致 .

3.5 滑模混凝土施工质量控制

3.5.1 垂直度控制

滑升垂直度控制采用吊锤 ,整个平台设 2 只重

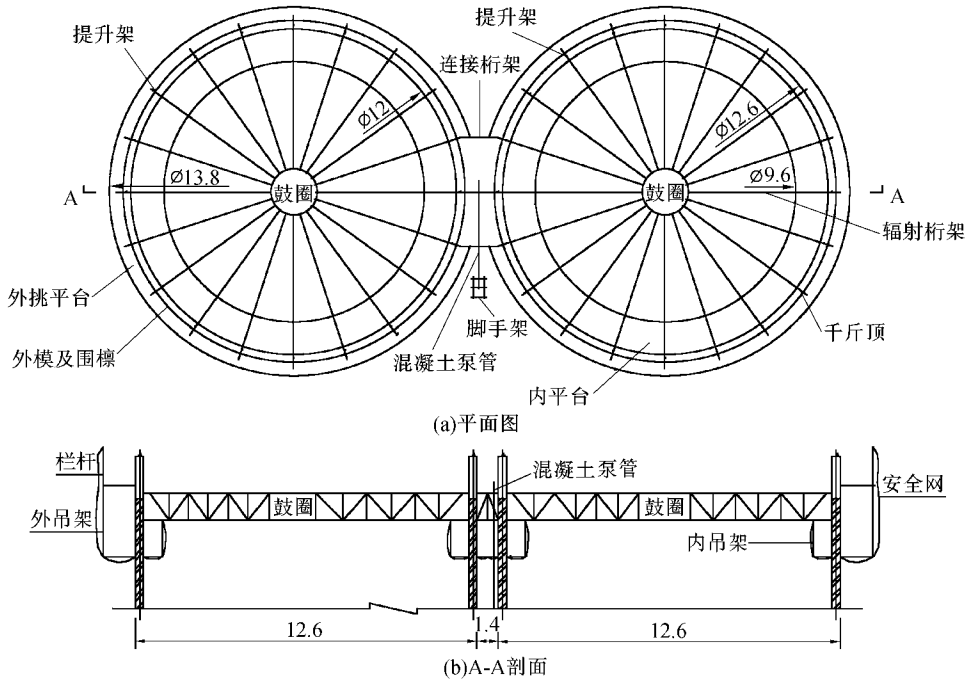


图2 骨料罐混凝土浇筑滑模结构(单位:m)

锤,呈 90°布置在罐壁外 0.6 m 处,随时记录、检查观测数据。当垂直偏差大于 1 cm 时,应进行平台纠偏,采用停、供液压油的方法提升偏移方向的千斤顶。当垂直观测记录发现两吊点向某一方向扭动时,采用局部千斤顶加垫片使其反向倾斜,反斜度约 1/40 ~ 1/20。

3.5.2 中心位移控制

在内操作平台上固定安装吊线盘,用直径 3 mm 钢丝绳悬挂重锤,锤尖对准基础板上预埋的钢板刻度盘中心,当平台上升吊锤空悬时,用卷筒调整高度,即可观测数据。每滑升一次,观测一次,根据位移及扭转值及时进行调整。

当中心位移超过 0.5 cm 时,利用平台倾斜法进行纠偏,在中心位移方向增加千斤顶提升次数,提高平台来纠正中心偏移。纠偏过程平台呈斜平面状态,而不要产生折平面状态。操作平台的倾斜控制在 1/500 以内。较大的中心位移逐步纠正,不能一次纠正,以免罐壁产生明显突变。

3.5.3 水平控制

滑模平台水平控制采用液压千斤顶限位卡,限位卡每次固定在同一标高,使平台滑升时始终处于水平状态。千斤顶到位后再往上移限位卡,每次移动 60 cm,如此循环直至罐壁滑升完毕。罐壁滑升前,用水准仪将标高测量在支承杆上,并用红油漆画三角点标明标高,以使用钢尺在支承杆上量标高,每隔 5 m 用水准仪抄平一次,以消除上引标高的误差。

从测量观测记录上发现平台向一个方向扭转已形成定向趋势时,可在千斤顶支座下部加楔形铁垫片,垫片位置与扭转成反方向,迫使支承杆反方向止

扭。垫铁厚度根据反斜度而定,一般为 1/40 ~ 1/20。

4 实施情况

骨料罐壁采用常规方法浇筑,3 m 浇筑层,7 d 上升一层,需总工期 35 d。1 个单元(2 个罐)滑模实际安装工期 6 d,罐壁滑升 5 d。2 d 后拆除滑模投入其他单元的滑模安装。与常规方法相比,滑模施工可加快速度 20 d。

滑模施工平台与模板一起滑升,模板、脚手架管投入大大减少。根据一般情况测算,9 个骨料罐罐壁施工共节省模板、脚手架约 120 t。

滑模施工的骨料罐混凝土外观及内在质量均达到优良标准。

5 结 语

景洪水电站半年多来的运行表明,本工程骨料罐结构技术先进、经济合理,满足系统运行要求。成品骨料罐选用钢筋混凝土圆形结构,适宜采用桁架式滑模施工。滑模施工在进度方面有较为明显的优势,其施工质量控制简单、易行、有效,外观及内在质量均能达到优良标准。滑模用于体型变化不大的混凝土结构施工是一种较好的选择。

参考文献:

- [1] 康世荣,陈东山.水利水电工程施工组织设计手册[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [2] GB50010-2002 混凝土结构设计规范[S].
- [3] SL32-92 水工建筑物滑动模板施工技术规范[S].

(收稿日期 2004-09-01 编辑 骆超)

《水资源保护》征订启事

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊

《水资源保护》是由环境水利研究会与河海大学共同主办的,以技术性为主,兼顾学术性和管理性的技术性期刊。本刊 1985 年创刊,是全国唯一的水资源保护方面的专业性期刊。国内外公开发行。其主要任务是探讨我国水资源保护的技术政策、科学技术、宏观管理及实践中的重大问题;及时反映国内外在水资源保护领域中的新颖实用技术和科技信息;推广全国各地在水资源保护工作中的成果和经验;报导有关国内外学术会议、技术交流等消息动态。

主要刊登内容:与水资源保护有关的科技政策、综述述评、研究探讨、工程技术及措施、成果推广及经验交流,专题讲座、国外动态、书刊评介、科技简讯,水资源管理、评价、监测、优化配置,节水技术,水环境污染控制以及水环境监测仪器等。主要读者对象:全国从事水资源保护工作的水利、环保及相关领域的工作者,有关工程技术、科研人员、管理干部以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号 28-298,双月刊,2006 年 8 元/期,全年 48 元,每逢单月 30 日出版。欲订购者,请直接向当地邮局订购。若无法从邮局订阅,亦可与编辑部联系索取征订单。

编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号 河海大学 电话 (025) 83786642 电子信箱 jh@hhu.edu.cn