

# 龙滩水电工程施工设备系统布置与使用综述

初曰亭,熊 雄,卢致景

(龙滩水电开发有限公司,南宁 530023)

**摘 要:**龙滩水电站大坝为碾压混凝土重力坝,大坝混凝土总量约 736 万  $\text{m}^3$ ,其中碾压混凝土约 480 万  $\text{m}^3$ 。因工程混凝土总量大,混凝土持续浇筑高峰时间长(约 10 个月),混凝土持续浇筑强度高(最高年浇筑强度为 340 万  $\text{m}^3$ )的特点,与大坝浇筑相关的砂石骨料加工系统、混凝土生产系统、混凝土垂直和水平运输系统的规模和生产能力都居在建电站的前列,为保证上述系统的稳定生产,龙滩水电开发有限公司采购了一批具有世界先进水平的设备与之配套。文章对上述系统设备的布置进行了详细的介绍,并对运行中发现的问题和采取的措施也进行了阐述,其经验对今后大型水电站的施工有一定的借鉴作用。

**关键词:**施工设备;设备布置;设备配置;设备改造;运行管理;龙滩水电工程

**中图分类号:**TU731.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-408X(2006)04-0013-09

## 1 工程概述

龙滩水电站位于广西壮族自治区天峨县境内的红水河上,距天峨县城 15 km。工程开发以发电为主,兼有防洪、航运等综合功能。工程按正常蓄水位 400.00 m 设计,库容 273 亿  $\text{m}^3$ ,电站设计装机容量 6 300 MW,初期按正常蓄水位 375.00 m 建设,库容 162 亿  $\text{m}^3$ ,装机容量为 4 200 MW。电站主要由碾压混凝土重力坝、左岸地下厂房、右岸通航建筑物 3 大部分组成。

碾压混凝土重力坝设计坝顶高程 406.50 m,最大坝高 216.5 m,最大坝底宽 168.58 m,坝轴线长为 849.34 m,共分 35 个坝段,设计混凝土量为约 736 万  $\text{m}^3$ ,其中,碾压混凝土 480 万  $\text{m}^3$ ,常态混凝土 256 万  $\text{m}^3$ 。初期按 375 m 正常蓄水建设时,坝顶高程 382.00 m,最低建基面高程 190.00 m,最大坝高 192 m,最大坝底宽度 168.58 m,坝顶轴线长度 761.26 m,共分 32 个坝段,设计混凝土量 658.8 万  $\text{m}^3$ ,其中,碾压混凝土 441.8 万  $\text{m}^3$ ,常态混凝土 217 万  $\text{m}^3$ 。

大坝总体布置呈“八”字形,左岸 21 号坝段以左和右岸 4 号坝段以右向上游偏斜。22 号~30 号坝段为发电引水坝段,设计布置有 9 个引水发电取

水口;12 号~19 号坝段为溢流坝段,设计布置有 2 个底孔和 7 个表孔;5 号坝段为通航坝段,布置有 1 个升船机闸室;其余均为常规的挡水坝段。5 号坝段、24 号~35 号坝段全断面设计为常态混凝土坝段,22 号~23 号坝段除 244~300 m 高程设计为碾压混凝土外其余为常态混凝土,其它坝段除坝基垫层、坝顶、结构为常态混凝土外,其余部位全部为碾压混凝土。

## 2 大坝混凝土施工设备能力配置要求

根据龙滩水电工程施工总进度计划 2007 年 7 月首台机组发电的目标要求,大坝混凝土的施工时段安排在 2004 年 3 月~2008 年 12 月底。分年的浇筑量为:2004 年 60 万  $\text{m}^3$ ,2005 年 280 万  $\text{m}^3$ ,2006 年 220 万  $\text{m}^3$ ,2007 年 80 万  $\text{m}^3$ ,2008 年 18.8 万  $\text{m}^3$ 。高峰施工时段发生在 2004 年 10 月~2005 年 4 月和 2005 年 10 月,预估最高的月浇筑强度为 35 万  $\text{m}^3$ 。为便于施工管理,发包人将大坝浇筑施工分为两个标,混凝土生产和运输系统在布置方面应能保持两个标段的独立性。

### 2.1 Ⅲ-1 标混凝土拌制设备配置要求

Ⅲ-1 标混凝土量为 539.9 万  $\text{m}^3$ ,其中碾压混

收稿日期:2006-07-13

作者简介:初曰亭(1964-),男,山东烟台人,高级工程师,硕士,龙滩水电开发有限公司副总经理,一直从事机电设备管理工作;

熊 雄(1964-),男,河南邓州人,高级工程师,硕士,龙滩水电开发有限公司副总工程师,一直从事机电设备管理工作;

卢致景(1937-),男,江西省赣州市人,教授级高级工程师,曾任中国葛洲坝集团公司机械厂总工程师,一直从事水电工程施工机械、水工金结、起重机械的设计、制造、安装、管理工作。

混凝土 422 万  $\text{m}^3$ , 常态混凝土 117.9 万  $\text{m}^3$ 。高峰期平均月浇筑强度 26 万  $\text{m}^3$ , 考虑施工不均衡因素, 则月高峰强度按 30 万  $\text{m}^3$  考虑, 其中常态混凝土月强度 4 万  $\text{m}^3$ 。根据龙滩总体进度安排, 夏季必须浇筑混凝土, 要求常态混凝土出机口温度小于  $10^\circ\text{C}$ , 碾压混凝土出机口温度小于  $12^\circ\text{C}$ , 预冷混凝土强度应按 22 万  $\text{m}^3$ /月考虑。

## 2.2 III-2 标混凝土拌制设备配置要求

III-2 标混凝土量 122.6 万  $\text{m}^3$ , 其中碾压混凝土 23.5 万  $\text{m}^3$ , 常态混凝土 99.1 万  $\text{m}^3$ 。高峰期平均月浇筑强度 4 万  $\text{m}^3$ , 考虑压力钢管安装、引水洞回填交叉施工及其它因素, 则月高峰强度按 8 万  $\text{m}^3$  考虑, 其中碾压混凝土月强度 4 万  $\text{m}^3$ 。根据龙滩总体进度安排, 夏季必须浇筑混凝土, 要求常态混凝土出机口温度小于  $10^\circ\text{C}$ , 预冷常态混凝土能力应按 4 万  $\text{m}^3$ /月考虑。

## 3 施工设备的布置

### 3.1 工程特点

因混凝土总量大, 混凝土持续浇筑高峰时间长(约 10 个月), 混凝土持续浇筑强度高(最高年浇筑强度为 340 万  $\text{m}^3$ ), 加之金结安装工期紧, 大件吊装的荷载量也较大, 且场地狭窄。因此大坝施工设备的总体布置方案将决定龙滩工程能否按期完成。

### 3.2 施工设备的组成

龙滩水电工程的施工设备主要由 3 个系统的设备组成, 即砂石骨料加工系统、混凝土生产系统、大坝混凝土垂直和水平运输系统。

砂石骨料加工系统包含大法坪砂石系统和麻村砂石系统。混凝土拌和系统按照左右岸布置, 其中右岸由高程 308.5 m 混凝土生产系统和高程 360 m 混凝土生产系统组成, 主要为 III-1 标提供混凝土; 4 km 长距离胶带机连接大法坪砂石系统和右岸混凝土生产系统, 使之组成一体。左岸由高程 382 m 混凝土生产系统和高程 345 m 混凝土生产系统组成, 主要为 III-2 标提供混凝土。大坝垂直和水平运输系统包括直接向上游围堰和右岸坝段输送混凝土入仓的供料线系统、塔(顶)带机系统和 2 台缆机、2 台塔机以及根据施工组织设计要求布置的门机等设备。

#### 3.2.1 砂石骨料加工系统

##### 3.2.1.1 大法坪砂石加工系统

大法坪砂石加工系统位于龙滩水电站右岸下游约 4.5 km 处(天峨至八腊公路), 系统占地面积约

10 万  $\text{m}^2$ , 主要担负龙滩水电工程 III 标(大坝和围堰工程)约 1 410 万 t 砂石料的供应。加工系统根据大坝所需混凝土骨料级配的要求, 以生产三级配骨料为主, 同时也可以生产四级配骨料。

加工系统由毛料开采运输、粗碎车间(移动破碎站、溜井)、预筛分洗石车间、中细碎车间、筛分车间、超细碎车间、三筛分车间、棒磨机制砂车间、细砂石粉回收车间、给排水系统、污水处理系统、供配电系统、中间调节料仓、成品料堆场、电子皮带秤计量装置以及辅助设施等组成。该系统于 2002 年 7 月 1 日正式开工; 2003 年 9 月 23 日开始带料试运行; 2003 年 11 月 30 日完成满负荷运行; 2003 年 12 月 1 日系统建安工程竣工验收正式投产。

系统原设计毛料处理能力为 2 000 t/h, 成品料生产能力为 1 600 t/h(高程 375 方案)。后龙滩公司根据工程进展情况于 2004 年 6 月开始对该系统生产能力按混凝土最高月浇筑强度 30 万  $\text{m}^3$ (高程 400 方案)进行扩容, 即毛料处理能力为 2 500 t/h, 成品料生产能力为 2 000 t/h(验收实测平均生产能力达到 2 165 t/h)。2005 年 11 月 21 日~12 月 20 日砂石料生产和销售均超过 95 万 t。

##### 3.2.1.2 麻村砂石加工系统

麻村砂石加工系统位于坝址右岸下游 4 km 处麻村山脚下 12 号公路两侧。主要担负龙滩 I、II、IV、V 标以及临建工程混凝土需要的约 420 万 t 骨料的供应。系统按混凝土浇筑强度 3 万  $\text{m}^3$ /月设计, 砂石系统生产处理能力为 300 t/h。系统以生产二级配骨料为主, 同时也能生产三级配骨料。

砂石系统由麻村灰岩砂石料场(含溜井)、料场进场公路、粗碎车间、半成品堆场、预筛分与中碎车间、筛分车间、细碎车间(制砂)、成品料堆场、给排水工程、废水处理工程、供配电工程及辅助设施等组成。

因系统加工工艺粗碎采用开路, 中碎与预筛分, 细碎与筛分构成闭路, 骨料生产级配和需用量可根据生产需要进行随意调整。系统于 2002 年 8 月 21 日正式生产。

为满足龙滩工程混凝土浇筑高峰期所需砂石料的需要, 2003 年对麻村砂石加工系统进行了扩容改造。砂石系统经改造后, 以 2005 年 4 月份为例, 系统生产销售砂石料为 114 763 t, 平均生产能力达 326 t/h, 较原系统设计生产能力提高了 35.8%。

#### 3.2.2 混凝土生产系统

##### 3.2.2.1 右岸混凝土生产系统

右岸混凝土生产系统布置于右岸坝线下游约

350 m处(直线距离),共布置了2个混凝土生产系统。高程308.5 m混凝土生产系统(图1)和高程

360 m混凝土生产系统(图2)。右岸混凝土生产系统均于2004年底投产运行。

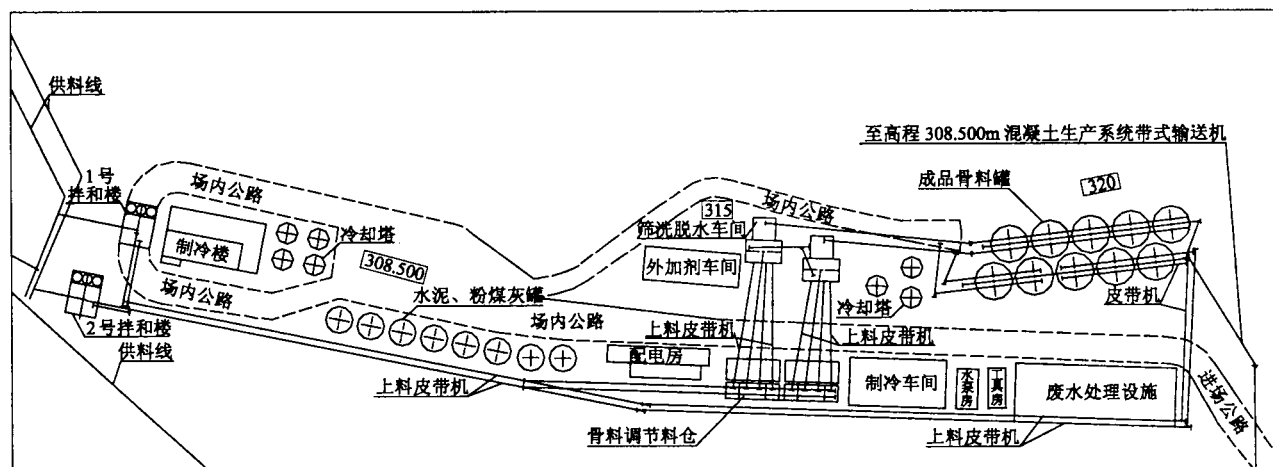


图1 高程308.5 m混凝土生产系统平面布置图

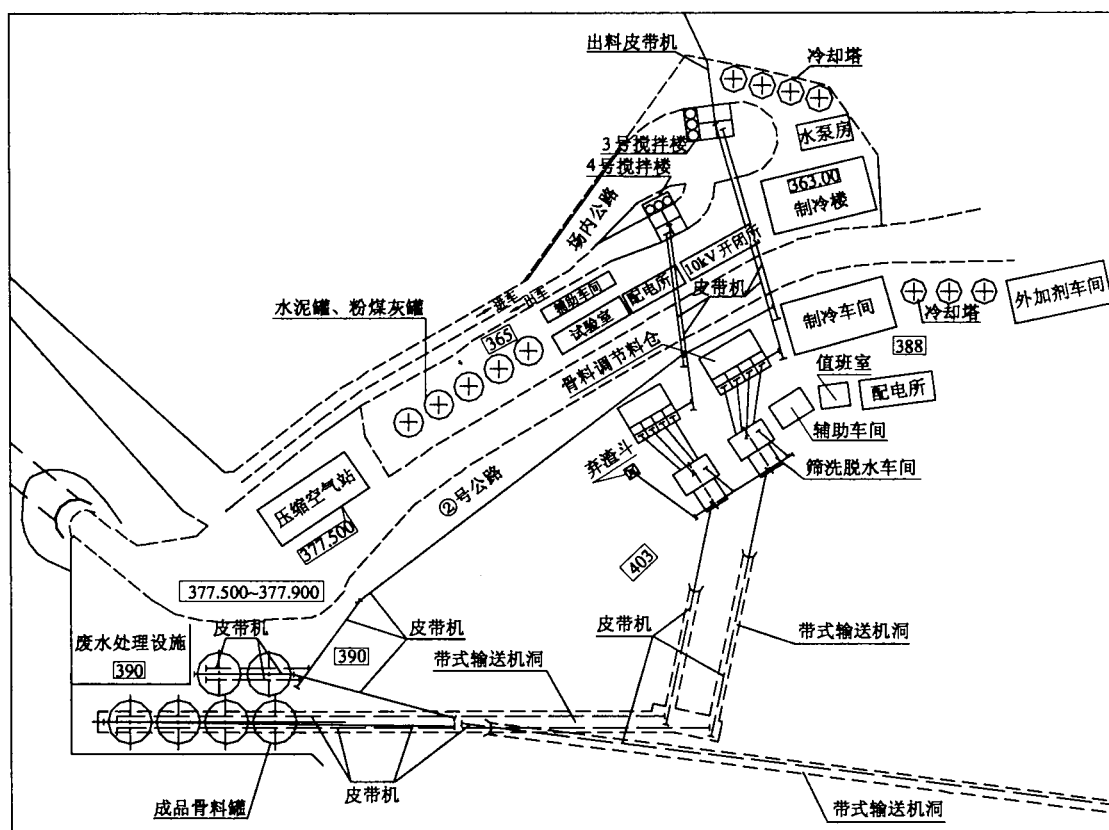


图2 高程360 m混凝土生产系统平面布置图

高程308.5 m混凝土生产系统设计生产能力660 m<sup>3</sup>/h(碾压混凝土)。配备2座2×6.0 m<sup>3</sup>双卧轴强制式搅拌楼。主要用于生产碾压混凝土,同时也可生产常态混凝土(设计生产能力:常态混凝土2

×360 m<sup>3</sup>/h,碾压混凝土2×330 m<sup>3</sup>/h, 12℃三级配碾压混凝土2×230 m<sup>3</sup>/h, 12℃二级配碾压混凝土2×170 m<sup>3</sup>/h, 12℃四级配常态混凝土2×230 m<sup>3</sup>/h)。

高程 360 m 混凝土生产系统设计生产能力 570  $\text{m}^3/\text{h}$  (其中碾压混凝土 330  $\text{m}^3/\text{h}$ , 常态混凝土 240  $\text{m}^3/\text{h}$ )。配备 1 座  $2 \times 6.0 \text{ m}^3$  双卧轴强制式搅拌楼和 1 座  $4 \times 3.0 \text{ m}^3$  自落式搅拌楼。强制式搅拌楼主要生产碾压混凝土 (设计生产能力 330  $\text{m}^3/\text{h}$ ), 同时也可生产常态混凝土 (设计生产能力 360  $\text{m}^3/\text{h}$ ), 自落式搅拌楼主要生产常态混凝土 (设计生产能力 240  $\text{m}^3/\text{h}$ )。

### 3.2.2.2 右岸混凝土预冷系统

根据混凝土温控要求, 右岸 2 个混凝土生产系统均配备相应的预冷系统。混凝土预冷系统是按照高温季节生产出机口温度  $12^\circ\text{C}$  的碾压混凝土 (三级配为主) 和出机口温度  $10^\circ\text{C}$  的常态混凝土 (四级配为主) 进行设计的。2 个混凝土生产系统的工艺流程及温控标准相同, 仅在布置上有所区别。预冷系统由骨料调节料仓一次风冷、搅拌楼料仓二次风冷、制冰、储冰、输冰等设施及相应的制冷系统组成。右岸混凝土预冷系统于 2004 年 6 月中旬完工并投产。

高程 360 m 混凝土生产系统配备的预冷系统的一次风冷布置在搅拌楼右下侧的高程 388 m 平台上, 二次风冷 (含制冰、制冰水) 紧邻 2 座搅拌楼布置在高程 360 m、高程 363 m 平台上。制冷楼分 5 层布置制冷设备。

高程 308.5 m 混凝土生产系统配备的预冷系统的一次风冷布置在搅拌楼下侧的高程 308.5 m 和高程 315 m 平台上, 二次风冷 (含制冰、制冰水) 紧邻搅拌楼布置在高程 308.5 m 平台上。制冷楼分 5 层布置制冷设备。

### 3.2.2.3 左岸混凝土生产系统

左岸高程 382 m 混凝土生产系统选取 2 座 HL120-3F1500L 自落式搅拌楼, 设计生产能力常态混凝土 220  $\text{m}^3/\text{h}$ , 碾压混凝土 170  $\text{m}^3/\text{h}$ 。

左岸高程 345 m 混凝土生产系统是根据左岸工程施工强度需要, 在 2005 年新增的一个拌和系统, 选取一个 HL120-2S1500L 强制式搅拌楼。

### 3.2.3 长距离带式输送机

因龙滩水电工程的成品砂石料供应强度较高, 大法坪砂石生产系统和混凝土生产系统距离较远, 加之运输道路和地方道路为一条共用公路, 很难满足高强度混凝土浇筑需要, 故决定采用长距离带式输送机。

该带式输送机布置在高低起伏的地形上, 穿 3 个隧洞, 跨越龙滩沟、那边沟明段。从尾部起下运, 下运高差为 50 m, 中部为水平运行, 然后为上运, 上

运高差为 30 m。设计输送能力 3 000  $\text{t}/\text{h}$ , 单机长度 3 945.419 m, 速度  $V=4 \text{ m/s}$ , 带宽  $B=1\,200 \text{ mm}$ , 主驱动方式为头部双滚筒三驱动, 驱动装置采用鼠笼电机 + CST 可控起动装置, 电机功率为  $3 \times 560 \text{ kW}$ , 电压 10 kV, 采用液压自动张紧装置。由供电系统、驱动装置、滚筒组、托辊组、拉紧装置、胶带、导料槽、除水装置、清扫器、制动器、各种保护装置及机架和支腿等主要部件组成。皮带机运转可采用手动和自动二种方式, 安装有跑偏、打滑、堵塞、防撕裂及急停 (拉绳) 开关等防护报警装置。

该胶带机的布置使右岸 2 大系统连成一体, 彻底解决了骨料输送问题, 这也是在中国水电史上首次采用长距离带式输送机成功的尝试。

### 3.2.4 大坝混凝土垂直和水平运输系统

如图 3 所示, 龙滩水电工程大坝混凝土输送系统的设备主要由拌和楼出料皮带机和系统连接皮带机、3 条高速皮带机供料线、3 条负压溜槽、2 台塔式布料机、1 台移动式塔式起重机、1 台固定式塔式起重机及 2 台缆索式起重机等设备组成。

#### 3.2.4.1 缆机、塔机输送系统

(1) 缆机。2 台 20/25 t 平移式缆索式起重机布置在同一平台上, 主塔布置在右岸高程 450.00 m 平台上, 副塔布置在左岸高程 480.00 m 平台上, 缆机最低控制高程为 425.00 m, 主塔高 45 m, 副塔高 10 m, 主索控制范围为  $0-020.00 \sim 0+122.5 \text{ m}$ , 主要用于通航坝段、溢流坝段的溢流面、闸墩及部分基础常规混凝土的浇筑。混凝土由自卸汽车从 360.0 m 混凝土生产系统的  $4 \times 3$  拌和楼接料运至坝头高程 320.0 m 平台, 卸入 6  $\text{m}^3$  混凝土卧罐, 由缆机吊运入仓。

(2) 塔机。在左岸进水口坝段布置了 2 台 POTAINE 公司生产的大型塔机, 一台为 MD1800 移动式塔机 (图 4 所示), 一台为 MD2200 固定式塔机 (图 5 所示)。主要负责左岸进水口坝段的混凝土浇筑、金结安装等工作。为满足混凝土浇筑强度要求, 在左岸增加了两台门机和一台 CC200 型胎带机。

MD1800 移动式塔机布置在进水口坝段上游侧的高程 301 m 平台上, 轨道长度 140 m, 可基本覆盖进水口坝段。MD2200 固定式塔机布置在 24 号坝段靠 23 号坝段一侧, 塔身布置在坝内, 随着大坝的升高其部分塔身被埋在坝内, 可覆盖 22~26 号坝段。混凝土由左岸高程 382.0 m 混凝土生产系统和高程 345.0 m 混凝土生产系统供应。

#### 3.2.4.2 供料线、塔 (顶) 带机输送系统

如图3所示,在3座 $2 \times 6.0 \text{ m}^3$ 强制式拌和楼的出料口分别布置一条出料皮带机,通过对拌和楼出料皮带机和系统连接皮带机的调控,可分别由1号、2号、3号拌和楼为1号、2号供料线供料(上游

围堰碾压混凝土浇筑及 TB1、TB2 塔式布料机浇筑); 由 3 号拌和楼给 3 号供料线供料(初期给负压溜槽供料, 后期转自卸汽车入仓)。供料线、塔(顶)带机输送系统的设计输送能力为  $330 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

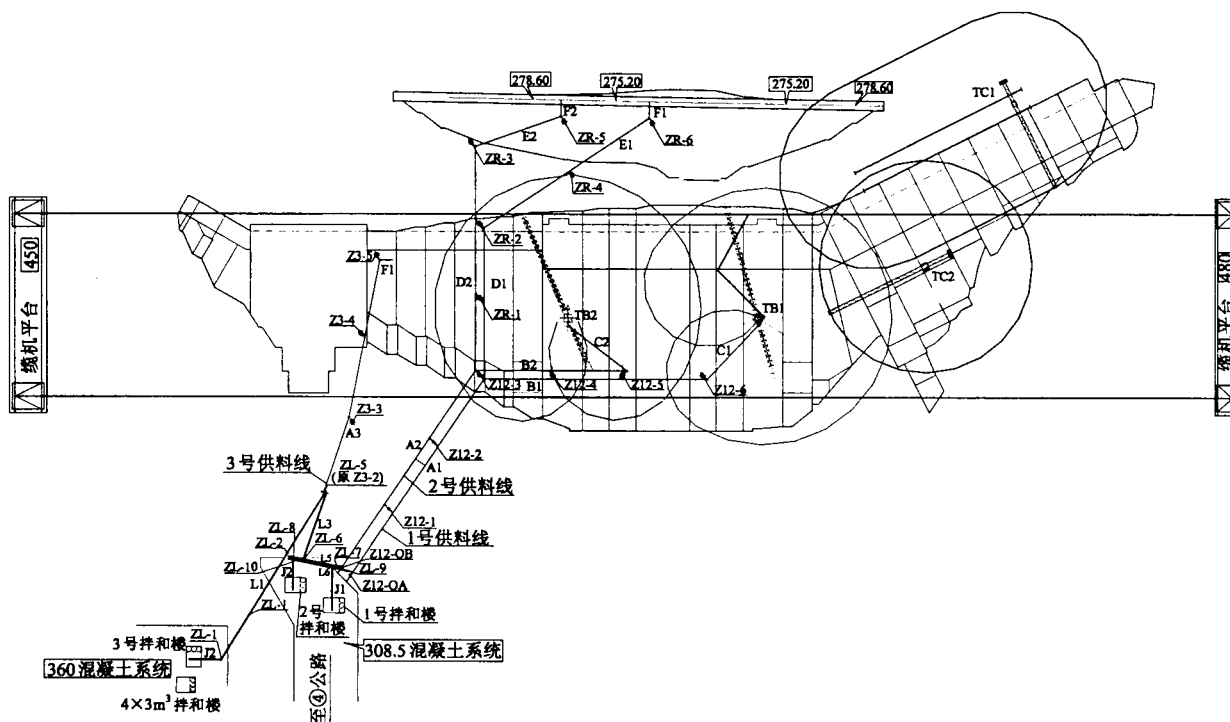


图3 大坝混凝土运输系统平面布置图

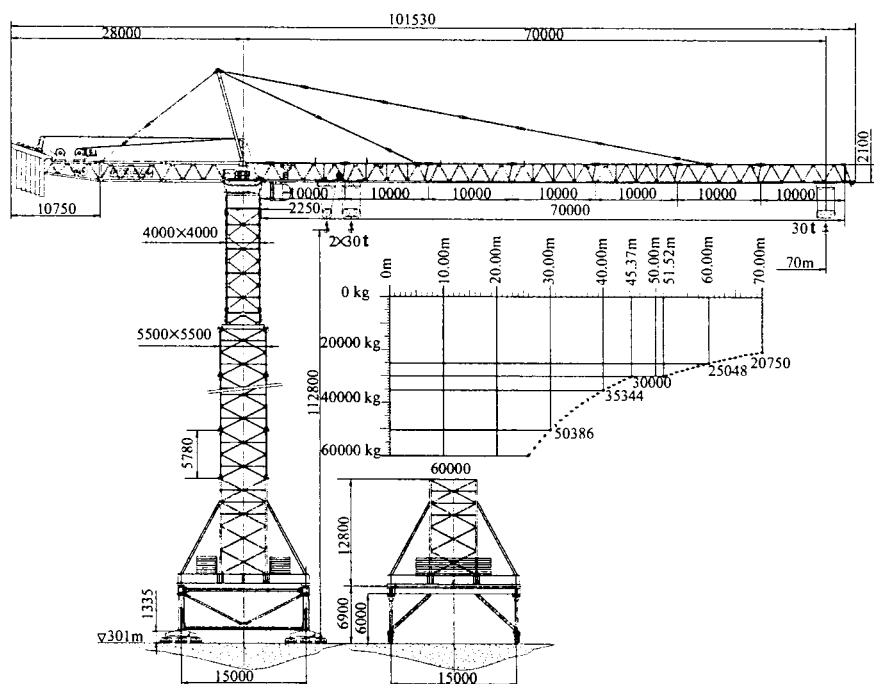


图 4 MD1800 移动式塔机简图

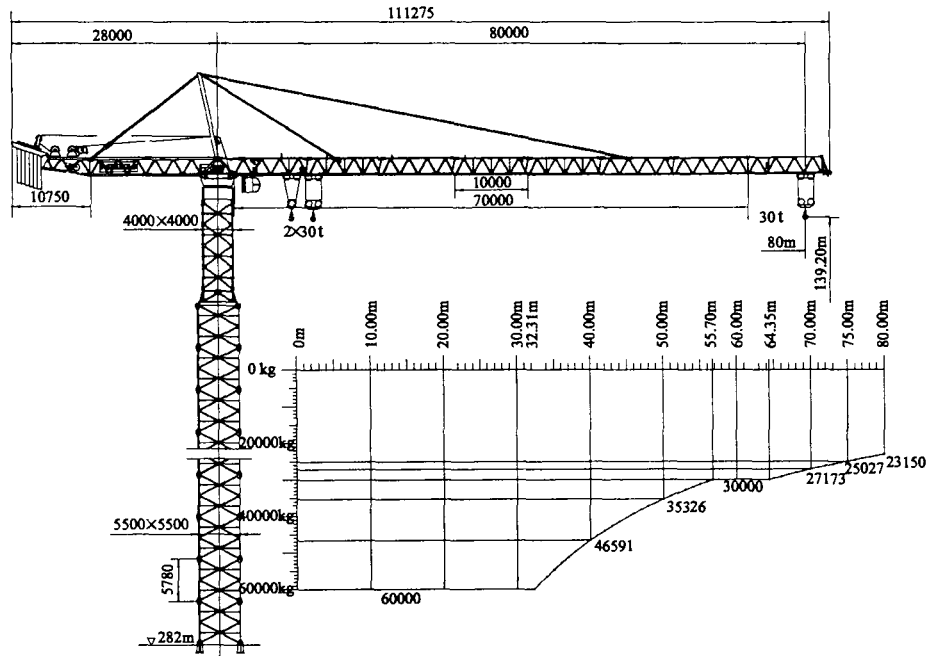


图 5 MD2200 固定式塔机简图

(1) 皮带机供料线。拌合楼出料皮带机分别由 J1、J2、J3 皮带机组成,它是整个高速皮带机供料线系统的供料设备。出料皮带机为可左右移动的上下两条皮带机组成的伸缩式皮带机,通过控制皮带机的伸缩,可以使拌和楼的一个或两个出料口直接向汽车供料,或者控制出料皮带机下一级的受料对象。系统连接皮带机由 L1、L3、L5、L6 和 2 套回转分料装置组成,与出料皮带机配合使用可实现 3 座拌和楼与 3 条供料线之间的相互连接、切换及互补的功能:1 号拌和楼及 2 号拌和楼通过出料皮带机 J1~J1-2 的前后移动可分别向系统连接皮带机 L5、L6 供料,再经 L5、L6 分别向 1 号、2 号供料线供料。3 号拌合楼通过 J3 皮带机向系统连接皮带机 L1 供料,再经 L1 向 3 号供料线供料;或者通过皮带机 L1 机头的回转分料装置向皮带机 L3 供料,经 L3 皮带机的回转分料装置可分别向 L5、L6 供料,由此实现对 1 号、2 号供料线供料(见图 3)。

工程前期布置 2 条皮带机供料线,即 1 号、2 号围堰供料线,采用“一柱两挂”形式,共用部分立柱,为上游碾压混凝土围堰输送混凝土。围堰浇筑完成后,围堰供料线拆除转移至大坝,用于大坝混凝土浇筑,为布置在 19 号、12 号底孔坝段的 2 台塔式布料机 TB1、TB2 供料。3 号供料线向布置在右岸坝肩的负压溜槽供料,承担右岸非溢流坝段和右岸底孔坝段部分碾压混凝土的入仓任务,控制浇筑高程

230.0 m 至 290.0 m,当坝体上升到 290.0 m 以后,3 号供料线可自升,转自卸汽车入仓。

围堰 RCC 供料线总重约 1 710 t。桁架梁水平投影总长约 890 m。2004 年 3 月 18 日全部安装调试完成,并投入 RCC 围堰混凝土输送。6 月 1 日完成 RCC 围堰混凝土输送后,开始设备的拆除工作,拆除的工程量为 1 090 t。大坝供料线总重约为 1 770 t,3 条大坝供料线的总长度为 975 m(水平投影)。

供料线的出料皮带机和系统连接皮带机由 J1、J2、J3、L1、L3、L5 和 L6 共 7 条皮带机组成,由国内设计制造;其余供料线是利用美国 ROTEC 公司制造的在三峡工程使用过的转让设备。围堰和大坝供料线的一个共同特点是均可随着围堰和坝体上升而自行爬升,正是这个特点使混凝土的连续输送得以实现。

(2) 塔(顶)带机(塔式布料机)。塔(顶)带机是将输送皮带与塔式起重机相结合而组成的“塔式布料机”。其中 TB1 是美国 ROTEC 公司生产的在三峡工程中使用过的 TC2400 塔带机, TB2 是龙滩公司为工程新采购的 POTAIN 公司生产的 MD2200-TB30 顶带机。这 2 台设备和大坝 1 号、2 号供料线配合使用,可以将拌和楼生产的混凝土连续不断地直接送入仓内。

TC2400 塔带机布置在左底孔坝段共安装 20

节标准节,初次安装 9 节,以后顶升 11 节;MD2200 顶带机布置在右底孔坝段共安装 31 节标准节,初次安装 12 节,以后顶升 19 节。两台设备负责 9 号~21 号坝段的混凝土输送。

## 4 系统设备的改造

上述系统设备投产后,经过围堰施工期的运行表明,系统设备性能都达到了设计要求,但仍有部分设备存在缺陷及各系统之间的联动匹配需要完善。于是,在围堰施工结束后,对上述系统和系统的设备进行了 8 项改造,历时 4 个月,于 2004 年 12 月完工。主要改造情况如下。

### 4.1 长距离皮带机机头的改造

大法坪砂石生产系统的砂石料通过长距离皮带机输送至右岸混凝土生产系统,在原混凝土生产系统的设计中,长距离皮带机直接向混凝土生产系统的皮带机供料。而为了使长距离皮带机停机过程平稳且无冲击,在突然停电或紧急停机状态下,发出停机指令后,长距离皮带机还要运行 40 s 皮带才能停止运动。这就要求在机头下面要有一定的容积来盛装带式输送机运行 40 s 运输的砂石料,否则,经常会发生机斗被堵死,造成皮带撕裂或自动拉紧装置钢丝绳断裂事故。为此,在机头下方装一带 UPS 电源的电动回转卸料斗,并与系统连锁,当突然停电或紧急停机指令发出后,回转卸料斗转动一角度,把长距离皮带机运行 40 s 运输的砂石料卸到受料坑内,避免发生机头堵料现象。

### 4.2 拌和楼液压站改造

高程 308.5 m 混凝土生产系统的 2 座  $2 \times 6.0 \text{ m}^3$  强制式拌和楼的搅拌机是由日本 IHI 公司提供的液压驱动的搅拌机,该机投入运行后,拌和楼拌和层震动异常,且噪音高达 109 分贝。生产约 5 万  $\text{m}^3$  混凝土后搅拌机液压系统的油管(钢管)频繁爆管,每次处理故障时间约 6 h,严重影响了工程进度。为此针对搅拌器液压系统高频液压振动问题,通过增加液压站装机功率,改变原系统控制变量泵的排量调节曲线,消除了原液压系统的高频振动现象,保证了液压系统的安全稳定运行,并提高了生产效率。

### 4.3 拌和楼放料改造

为了提高皮带机供料线的输送能力,必须保证拌和楼出料口的放料均匀。原控制拌和楼放料弧门的启闭装置设计为按键式,控制台放置于出料平台控制室内,操作员通过手指点动按键仅能控制放料

弧门的开和闭,且在控制室内也不易观察拌和楼的出料情况,不能进行实时放料,控制拌和楼的放料量。为此,对 1 号、2 号、3 号拌和楼的放料控制装置进行改造,增设了一套拌和楼放料弧门液压控制系统,弧门开闭控制由按键式改为手柄式,并且将控制台放置于出料平台两个出料斗之间,操作员可以随时观察出料口的放料情况,调节放料弧门开闭的大小,使拌和楼放料流量适中,也避免出料量过大造成下级皮带机堵料。实践表明每罐料放料时间控制在 55 s 左右,料流量与皮带机供料线的匹配较理想。

### 4.4 二次筛分冲洗改造

由于大法坪砂石料的岩石特性问题,成品骨料经长距离皮带机、右岸混凝土生产系统皮带机和骨料仓后,骨料超逊径和裹粉严重,需对原设计的冲洗方式进行改造,以保证上楼的骨料质量。

### 4.5 供料线系统的改造

龙滩工地高温季节较长,特别是夏季气温较高,因此原施工设计中夏季混凝土的浇筑量较小。为实现提前发电目标,加快施工进度,在高温季节也安排了较高强度的混凝土浇筑任务,对供料线输送混凝土的温升提出了严格的要求。由于供料线输送混凝土从拌和楼到仓内运行距离较远,其中从 3 号楼到 TB1 的运距最远共 782 m,运行时间较长,混凝土在供料线上转接次数多达 9 次。经多次生产测试表明,当环境温度为  $32^\circ\text{C}$  左右时,混凝土平均温升为  $3 \sim 5^\circ\text{C}$ 。为了保证混凝土的入仓温度小于  $17^\circ\text{C}$ ,必须对供料线采取降低温升的措施。由于不能对皮带机供料线的桁架进行封闭保温,因此在供料线桁架的镀锌薄铁板上铺盖聚乙烯保温层,并在顶层粘贴反射膜,起到隔热、遮阳的效果;同时在供料线桁架与上皮带之间形成相对封闭的环境,并在其间铺设冷风管道,对供料线上形成相对密闭环境的混凝土进行再次风冷,确保混凝土入仓时温度升高不超过  $3^\circ\text{C}$ 。

为了便于观察供料线的运行情况和施工调度,增加了一套供料线及仓面监控系统。

### 4.6 防碰撞预警系统

龙滩水电工程施工作业面窄、大型施工设备较多、设备布置相对密集。由于工程施工任务繁重,工期较紧,大型设备施工作业相互干扰情况较为严重,大坝开浇以来,已发生了缆机与塔带机、顶带机等大型设备间碰撞事件数起,安全问题较严重。为此在 2 台缆机、塔带机、顶带机等设备间增加了 GPS 防

碰撞预警系统。

该系统可实时地自动检测各施工设备及其相关部件(如起重臂、塔架及吊钩等)的位置、运动方向和速度,将采集到的信息传输给中央控制系统,中央控制系统经过分析和计算,就可得到该施工设备的立体位置(包括吊钩、起重臂等)及其运动趋势,若设备相互距离过近(包括吊钩),可能发生相互碰撞时,预警系统即可向该设备的操作人员发出有可能发生碰撞的提示,操作人员即可停机或采取其它避让措施。系统设定设备间最小的安全距离为 10 m,检测点的定位精度为: $X-Y$  即平面方向  $1\text{ m}(\pm 0.5\text{ m})$ ,  $Z$  即高程方向  $3\text{ m}(\pm 1.5\text{ m})$ 。该系统投入使用后,对大型施工设备的运行安全起到了较为明显的警示作用,有效地避免了恶性碰撞事故的发生。

#### 4.7 圆筒洗石机改造

大法坪砂石料生产系统的 2 台圆筒洗石机于 2003 年 12 月 22 日投入运行后,1 号机运行 2 284 h 2 号机运行 2 045 h 后先后出现以下故障:①支撑轮移位、涨套螺栓断裂,进料端钢圈移位;②链条非正常磨损严重,节距变大,跳链现象严重;③驱动装置滑架经常开裂,螺栓被全部剪断;④整机振动较大,噪音严重超标等现象。致使圆筒洗石机经常停机。为此:①将电机和减速机底座从钢架底座分离,独立用混凝土支柱和铸铁底座支承,分散振动力,同时将托轮底座改为铸铁底座独立支承(用钢筋混凝土支柱支承);②更换 2 根磨损的链条并增加对销轴的润滑,定时调整链条垂度。对驱动装置的安装进行调整,尽可能地使驱动装置满足或接近链轮链条的安装技术规范。对链条从动轮的弹簧张紧装置进行改造,使其具有自动补偿功能;③调整小支撑轮位置、前后挡轮与滚道间隙,保证筒体无轴向位移;同时将小支撑轮改为整体结构,避免由于轴向力作用,涨圈螺栓被剪断的问题再次发生。通过调整小支撑轮组对钢圈产生轴向推力,将钢圈恢复到初始位置,然后在钢圈与筒体之间沿径向方向,每间隔  $90^\circ$  夹角安装一直径为  $\Phi 30\text{ mm}$  的定位销,同时在钢圈沿筒体圆周位置焊接 24 块厚度为  $\delta = 20\text{ mm}$  的限位挡板,有效防止钢圈再次轴向窜动。

#### 4.8 砂石料皮带机运输系统计算机集中控制

由于标段划分的原因,造成大法坪砂石料生产系统成品料仓下的放料弧门及出料皮带机、长距离皮带机、右岸混凝土生产系统的砂石料输送皮带机的控制相对独立,不能连锁控制,不便于成品料砂石

料的运输调度。为此,将上述 3 个控制系统组成网络,实现自动控制,这样整个骨料输送系统实现了集中控制,提高了输送效率。

## 5 结束语

龙滩工程的施工设备经过 2 年的工程考验,在工程参建各方的共同努力下,解决了大量的安装及运行中暴露的问题,经受了高强度的施工考验,证明设备的布置、选型和管理是成功的。大法坪砂石料生产系统 2005 年 11 月向大坝供应砂石骨料 84.82 万 t、12 月向大坝供应砂石骨料 95.48 万 t,大大地超过了招标文件要求及系统设计能力;碾压混凝土的施工屡创记录,创造了日浇筑碾压混凝土 20 078  $\text{m}^3$ 、月浇筑碾压混凝土 38 万  $\text{m}^3$  的记录;皮带机供料线的输送强度屡创新高,2 条供料线最高日产达 13 050.5  $\text{m}^3$ ,当天单机平均强度为 326.3  $\text{m}^3/\text{h}$ (以 20 h 运行时间计),创造了单条供料线最高班产达 3 680  $\text{m}^3$ ,单条供料线月输送 110 554.5  $\text{m}^3$  混凝土的世界记录等。

由于长距离皮带机为输送砂石料的生命线,而皮带机供料线、塔(顶)机则为输送混凝土的生命线,都具有手段的唯一性,无形中给业主、监理和承包商带来较大的压力。大坝浇筑初期,承包商和部分专家怀疑这 2 条生命线的输送能力,龙滩公司设备管理部门承受着较大的压力,在龙滩公司领导、监理和运行单位的支持下,通过一系列的生产试验表明,皮带机供料线、塔(顶)机的最高小时强度为 340  $\text{m}^3$ ,平均小时强度为 329  $\text{m}^3$ 。但由于前期大坝仓位低,仓面面积大等原因,大坝仍然采用了以汽车入仓为主的手段,因而至今供料线、塔(顶)带机实际大规模的生产仅一年时间。因大型塔机可以吊着皮带机完成仓位布料作业,将混凝土的水平运输和垂直运输以及仓位布料功能合三为一,加上这种设备可以根据坝体上升而上升,下部的塔身直接埋入已经浇筑好的坝体里,作业覆盖面大(105 m)、生产效率高(330  $\text{m}^3/\text{h}$ ),因此适合于现代大型水利水电工程碾压混凝土大坝的大体积、高强度连续快速施工,使传统的碾压混凝土施工方法、施工工艺、施工组织、施工设备配备与管理发生了重大的变革。而长距离皮带机的最高小时强度达 3 200 t,平均小时强度为 2 800 t,已安全运行 2 年多,从未发生因设备本身问题停机的现象,证明其可靠性较高。

龙滩水电工程举世瞩目,为了按期建成龙滩水电站,龙滩水电开发公司结合龙滩水电工程的特点,



在详细调研和充分论证的基础上,大胆创新,在国内水电建设史上率先使用长距离皮带机、世界上生产能力最大的拌和楼和浇筑碾压混凝土大坝的塔(顶)带机、供料线等特大型设备,为龙滩水电工程的顺利

施工,发挥了巨大作用。龙滩水电工程施工设备的布置、使用的经验和运行中存在问题的解决措施对今后大型水电工程施工方案的设计、设备的选型和管理具有重要的借鉴作用。

## An Overview on Layout and Utilization of Construction Equipment System for Longtan Hydropower Project

CHU Yue-ting, XIONG Xiong, LU Zhi-jing

(Longtan Hydropower Development Co., Ltd, Nanning, 530023)

**Abstract:** The dam for Longtan Hydropower Project is a RCC gravity dam. The total amount of concrete used for the dam is  $7,360,000\text{m}^3$ , among which there is  $4,800,000\text{m}^3$  of RCC. Given the characteristics of large amount of concrete to be used, long peak hours of concrete pouring (about ten months), and high intensity of continuous concrete pouring (the maximum annual pouring intensity is  $3,400,000\text{m}^3$ ), the scales and productivities of artificial aggregate processing system, concrete production system, as well as vertical and horizontal concrete conveyance system related to dam pouring take the lead in a number of hydropower projects under construction. In order to ensure the stable production of aforementioned systems, Longtan Hydropower Development Co., Ltd purchases a number of internationally advanced equipments configured with these systems. This paper presents a detailed account of aforementioned systems and equipments as well as problems found and measures adopted in operation, whose experiences may be referred to for large-scale hydropower station construction in the future.

**Key words:** construction equipment; equipment layout; equipment configuration; equipment modification; operation management; Longtan Hydropower Project

## 欢迎订阅《水电自动化与大坝监测》

《水电自动化与大坝监测》(双月刊)是水电自动化与大坝监测领域国内外公开发行的专业性技术期刊,目前已入选《中国科技核心期刊》和“中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊”,同时被《中国学术期刊(光盘版)》、“中国期刊网”、“万方数据资源系统数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”全文收录,每双月 20 日出版。

本刊专业范围为:水电厂、抽水蓄能电站、梯级水电站及泵站自动化;大坝安全监测与资料分析;水情测报与水调自动化;各类仪器仪表、信息技术在水电自动化及大坝监测领域中的应用。

本刊主要栏目有:理论与算法研究;发电控制技术及设备;状态检修;辅机控制及自动化元件;设备保护;水情测报与水调自动化;大坝监测仪器及自动化;大坝安全监控技术;运行与管理自动化;泵站自动化;闸门控制;水电与电力市场等,以及相关的专家论坛、专题报告和综述等。

本刊读者对象为:水电自动化、大坝监测及相关专业从事科研、设计、运行、管理、试验、制造和营销的专业人员、产品用户和大院校师生等。

本刊已全文上网([www.aeps-info.com](http://www.aeps-info.com)),除最近 3 年网刊需收费(每期 5 元)外,其余过刊文章均可免费查阅、下载。

2007 年每期定价 8 元,全年 6 期共计 48 元。

邮发代号:28-39,全国各地邮局(所)均可订阅。亦可向本刊直接订阅。

欢迎投稿,欢迎刊登广告,欢迎免费索取样刊。

通信地址:南京市南瑞路 8 号电力系统自动化杂志社(210003)

电话:(025)83092053(社长) (025)83092055(编辑部)

(025)83092057(广告部) (025)83092051(发行部)

传真:(025)83421949 E-mail: [hadm@nari-china.com](mailto:hadm@nari-china.com)