

# 三峡升船机船厢室段混凝土浇筑设备布置研究

黄家权, 马少甫, 余永俊

(中国葛洲坝集团股份有限公司三峡分公司, 湖北宜昌, 443002)

**[摘要]** 本文详细介绍了三峡升船机船厢室段混凝土施工设备的选型过程, 包括船厢室段混凝土施工特性分析, 投标阶段浇筑设备选型论证, 施工阶段对设备选型的系统调整和优化。施工设备的工程实践效果表明, 三峡升船机船厢室段混凝土浇筑设备布置方案有效覆盖了所有浇筑面, 满足浇筑高峰期混凝土入仓强度的要求, 施工进度、成本、安全均得到有效控制。三峡升船机船厢室段混凝土浇筑设备经过前期的合理规划, 以及后期的系统调整与优化, 对三峡升船机工程的顺利完建发挥了重要作用, 具有较高的推广应用价值。

**[关键词]** 施工设备; 设备布置; 混凝土浇筑; 船厢室; 三峡升船机

**[中图分类号]** TU721 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)09-0059-05

## 1 前言

三峡升船机船厢室段由4个塔柱筒体组成, 塔柱筒体在船厢底部的高程为50.00 m, 在船厢顶部的高程为196.00 m, 高差达到146 m, 为对称布置的薄壁钢筋混凝土筒体结构。单个塔柱的平面结构总体上呈“凹形”, 塔柱墙壁的厚度一般为1.0 m。塔柱之间以及塔柱上下游侧均设有剪力墙, 并在剪力墙与筒体之间的不同高程设置了纵向联系梁, 通过剪力墙与纵向联系梁将塔柱两两联系在一起。左侧、右侧塔柱在顶部196.00 m高程处由7根横梁和两个平台连接, 左侧、右侧塔柱之间的水平距离为25.8 m, 船厢室段宽度为57.8 m<sup>[1,2]</sup>。三峡升船机船厢室段结构布置见图1。

升船机塔柱顺流向设4条施工缝, 将一侧塔柱分成轴1墙和纵向联系梁、上游筒体、轴7墙和纵向联系梁、下游筒体、纵向联系梁和轴13墙共5个浇筑块, 两侧塔柱共有10个浇筑块。在上述分缝处, 塔柱筒体外侧预留宽为1.0 m的后浇筑带, 将其安排在低温季节浇筑(10月至次年4月), 且应滞后筒体相应部位混凝土至少2~3个月浇筑。塔柱纵向联系梁和横向联系梁在筒体侧预留0.3~0.5 m的后浇筑

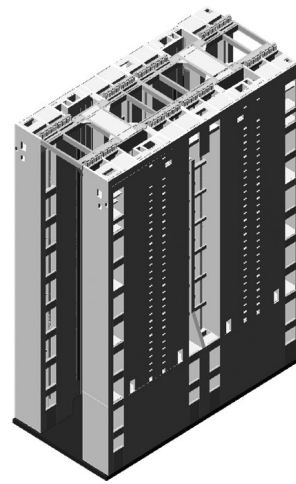


图1 三峡升船机船厢室段结构布置图

Fig.1 Structure layout of boat cab segment in Three Gorges Project ship lift

带, 也安排在低温季节浇筑(11月至次年3月)<sup>[3]</sup>。

升船机的主要施工道路布置为: 通往船厢50.00 m高程底板处的下航道施工道路, 左侧、右侧84.50 m高程的下航一路、下航二路上, 由此可以联通下航一路与下航二路的临时围堰以及由185.00 m坝顶高程通往1#筒体、2#筒体的道路。

**[收稿日期]** 2013-06-29

**[作者简介]** 黄家权(1965—), 男, 重庆市忠县人, 高级工程师, 主要从事水利水电施工技术工作; E-mail: gzb\_hjq@126.com

## 2 船厢室段混凝土施工特性分析

船厢室段混凝土施工特性为。a. 工程左右两侧均为高边坡,总体施工场地为狭长形,建筑物高度大,垂直运输设备布置较为困难。b. 塔柱垂直高度大,工作面多,混凝土浇筑与埋件安装绝大部分处于高空作业环境中,减少干扰是确保高空作业安全的重点和难点。c. 4个塔柱结构左右向对称布置,为薄壁钢筋混凝土结构,具有施工高度大、施工部位集中、钢筋、模板及一期埋件安装工程工作量和相关辅助工作量大等特点。d. 由于施工仓面大,筒体结构狭窄,在对船厢室段混凝土施工时对混凝土浇筑工艺、精度控制要求高。e. 施工过程中塔柱整体上升、塔柱浇筑与剪力墙浇筑相互间的关系、剪力梁的连接方式、顶部跨航槽横梁和平台模板架立与浇筑方式等,均为本工程难点。

## 3 船厢室段混凝土浇筑设备选型及布置

### 3.1 投标阶段的设备选型与布置

投标阶段设备选型主要是对船厢室段混凝土浇筑是采用混凝土泵车、高压拖泵还是塔机浇筑混凝土等几种浇筑方案的比选。混凝土泵车的垂直浇筑高度是受到限制的,同时由于船厢室每月总体浇筑强度不高,因而采用混凝土泵车方案难以充分发挥混凝土泵车的效率。更重要的是,混凝土泵车在下航一路84.50 m高程和中隔墩84.50 m高程没有占位位置(下航一路和中隔墩主要布置有4台塔机、4台垂直升降机和4座转梯,基本没有泵车占位位置)。因而采用混凝土泵车方案是不适用的。

通过上述设备方案比选,最后设备选型定为在上闸首布置两台F0/23B附壁式塔机,在船厢室段布置4台型号为C7030的附臂式塔机,用于钢筋、一期埋件、模板吊装及仓面其他辅助作业,混凝土浇筑采用高压拖泵与布料机接力进行浇筑。

混凝土拖泵布置根据不同施工时段,先后在底板50.00 m高程,左侧、右侧84.50 m高程的下航一路、中隔墩、上闸首航槽底板141.00 m高程(通过布置,实现与上闸首141.00~185.00 m高程的BOX管一起给泵机喂料)和上闸首185.00 m高程布置。

布置在船厢室段两侧的泵机泵管,沿侧墙转梯上升,提前一层由疏散通道进入浇筑层的电梯井内给布料机供料浇筑。每节泵管采用两个管卡固定在侧墙上。泵管随布料机的提升逐段加高,随泵机位置的改变逐段拆除。

BOX管布置在上闸首185.00 m高程,在上闸首搭设型钢操作平台,BOX管采用反吊钢丝绳反吊在型钢平台上进行固定,BOX管底部正对着位于上闸首航槽底板141.00 m高程的泵机,搅拌车开至185.00 m高程平台为BOX管供料,BOX管则为泵机供料。

布料机采用HGY32型内爬式布料机,4台布料杆分别布置在4个塔柱筒体的电梯井内,每台布料机的回转半径为32 m,4台布料机能覆盖整个船厢室段。布料机自身配置有自动爬升机构,可以利用自带的液压油缸,在电梯井内自动上升。因而随着塔柱筒体的不断升高,布料杆与塔柱筒体的爬模一起上升。三峡升船机船厢室段施工总布置见图2。

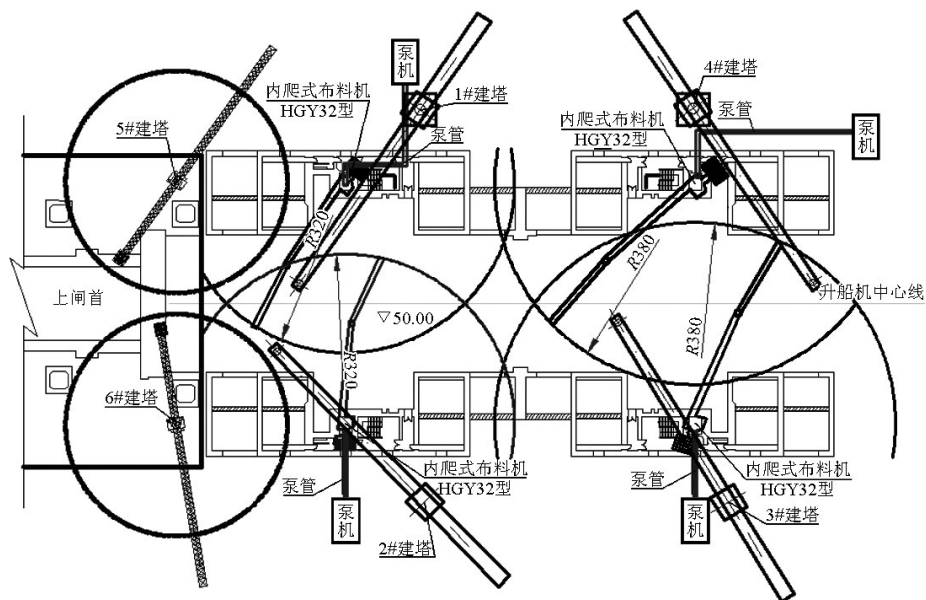


图2 三峡升船机船厢室段施工总布置图(单位:dm)

Fig.2 Construction general arrangement of Three Gorges Project ship lift boat cab section(unit:dm)

### 3.2 施工阶段浇筑设备的选型与布置优化

在施工阶段,上闸首布置有两台F0/23B附壁式塔机;船厢室段左右84.50 m高程平台布置有4台附臂式塔机。其中左侧为两台K40/26附壁式塔机,右侧为两台C7030附壁式塔机,用于挂罐浇筑、钢筋、一期埋件、模板的吊装以及仓面其他辅助作业的施工。

在不同的施工时段,混凝土拖泵布置在不同位置。在塔柱筒体处于84.50 m高程以下时,拖泵布置在船厢室50.00 m高程底板处。泵机泵管沿侧墙转梯上升,提前一层由疏散通道进入浇筑层的电梯井内给布料机供料浇筑。在塔柱筒体超过84.50 m高程以后,拖泵布置在左侧、右侧84.50 m高程平台。泵机泵管布置在电梯井内,随布料机的提升逐段加高,随泵机位置的改变逐段拆除。施工过程中采用的布料机为HGY32型内爬式布料机。

在上闸首航槽底板141.00 m高程处布置泵机,并用布置在上闸首185.00 m高程处的BOX管为泵机供料的施工方案,在后期研究中发现其存在如下问题:砼料从185.00 m高程处由BOX管下至141.00 m高程后,混凝土坍落度损失较大,和易性差,极易堵管。同时从141.00 m高程航槽内将泵管铺设至船厢室段管路时搭设操作平台十分不便,故该方案未予以施行。

下面介绍在施工过程中各部位、各阶段详细的浇筑手段布置。

内部楼板、楼梯间在前期采取了预留凹槽的形式以便于滞后筒体施工,故塔柱筒体的混凝土分成了一期混凝土、二期混凝土来进行浇筑。其中塔柱筒体的墙体为二期混凝土,以3.5 m为一个升层甩开楼板、楼梯间稳步上升,纵向联系梁与剪力墙同步上升,也属于二期混凝土。内部楼板、楼梯间为二期混凝土,待塔柱筒体墙体上升后,后续跟进施工。另外,筒体上升后,平衡重、齿条螺母柱、纵导向开始安装,也需要进行混凝土的浇筑,也属于二期混凝土。

#### 3.2.1 一期混凝土浇筑设备布置

一期混凝土包括:塔柱筒体、剪力墙及纵向联系梁。

塔柱筒体采用分别布置在4个筒体电梯井部位的HGY32型内爬式布料机浇筑,每台布料机回转半径为32 m,4台布料机能覆盖整个船厢室段,满足筒体的浇筑要求。利用布置在船厢50.00 m高程底板或左侧、右侧84.50 m高程平台的高压拖泵为布料

机供料。在塔柱筒体的高程超过189.00 m后,由于泵管的扬程过大,容易出现堵泵的现象,在调整混凝土的骨料级配后,该问题得到了很好的解决。

纵向联系梁与剪力墙是同步上升的,由于剪力墙滞后于筒体浇筑,因而其无法用布料机浇筑,最后采用建塔挂罐的方式进行剪力墙的浇筑。轴1剪力墙及剪力墙上的纵向联系梁采用布置在上闸首的两台F0/23B附壁式塔机挂吊罐浇筑;轴7剪力墙及剪力墙上的纵向联系梁采用布置在左侧、右侧84.50 m高程平台的1#、2#塔机挂吊罐浇筑;轴13剪力墙及剪力墙上的纵向联系梁采用布置在左侧、右侧84.50 m高程平台的3#、4#塔机挂吊罐浇筑。

#### 3.2.2 二期混凝土浇筑设备布置

二期混凝土包括:内部楼板、楼梯间、平衡重、齿条、螺母柱及纵导向二期混凝土。内部楼板采用建塔挂吊罐浇筑,185.00 m平台及高程超过185.00 m的内部楼板采用泵机在上闸首打料浇筑。楼梯间采用泵机浇筑。平衡重及齿条、螺母柱二期混凝土采用建塔挂罐浇筑自密实混凝土,搭设滑槽入仓。

#### 3.2.3 筒体封顶阶段浇筑设备布置

根据升船机结构图设计要求以及筒体施工技术要求,升船机船厢室段筒体封顶仓192.65~196.00 m高程之间的墙体、楼板、楼板梁及跨航槽横梁牛腿部分、纵梁混凝土需一起浇筑,总体积达到876 m<sup>3</sup>,远远超过筒体前期单仓最大混凝土浇筑体积550 m<sup>3</sup>。筒体封顶仓混凝土体积大、高度高,为高层薄壁混凝土结构,现有浇筑设备的浇筑强度及范围难以满足其浇筑要求。

常规泵机+泵管铺设至浇筑部位的施工方法,由于泵管搭设的距离过远、弯头多极易造成堵管,且泵管在现场接拆的工作量巨大而难以实施。同时,由于封顶仓仓位面积大、结构复杂、狭小,混凝土接头覆盖强度难以满足要求。在封顶仓浇筑时,可采用C30、C35两种标号的混凝土。在采用不同标号的混凝土进行浇筑时,需要对泵机进行来回转换,现场实施困难。由于封顶仓内钢筋密集,且混凝土下料难度较大,混凝土振捣困难,混凝土的密实性难以保证。

为加快混凝土入仓速度,避免反复换料,同时确保混凝土具有良好的流动性,将所有混凝土标号调整为R28 350 # F200 W8,为一级配混凝土。由于布料杆和建塔在同时使用时彼此相互干扰,因而



考虑只采用一种设备单独进行浇筑。鉴于单台建塔(入仓强度约为 $5\text{ m}^3/\text{h}$ )和单台布料杆(入仓强度 $22\text{ m}^3/\text{h}$ )均不满足筒体浇筑强度需要,且建塔入仓强度较低,仅能作为应急手段,采取如下布置方案。

1)1#~4#筒体浇筑时,采用现有布料杆加一台半径为 $12\text{ m}$ 的移动式手动布料杆进行浇筑。现有布料杆的泵管布置不变,移动式手动布料杆的泵管由各筒体电梯井前厅布置的垂直泵管接入,利用布置在 $84.50\text{ m}$ 高程外部连接平台上的泵机为布料杆供料。

臂长为 $12\text{ m}$ 的移动式手动布料杆,其整机重量

为 $1\,000\text{ kg}$ ,配重为 $1\,200\text{ kg}$ ,泵管管径为 $125\text{ mm}$ 。根据仓内浇筑面积的需要,该移动式手动布料杆可在 $12\text{ m}$ 半径内进行无盲区浇筑。该移动布料杆的支腿采用 $\phi 25\text{ mm}$ 钢筋支撑,在浇筑一期混凝土时,支撑钢筋不拆除;当浇筑至楼板面层钢筋时,支腿部位的移动式布料杆将被转走,在将支撑钢筋顶部的钢板拆除后,采用固定式布料杆完成浇筑。

2)轴1、轴13剪力墙封顶仓采用单台布料杆浇筑,轴7剪力墙采用3#、4#布料杆浇筑。

升船机塔柱封顶阶段设备布置见图3。

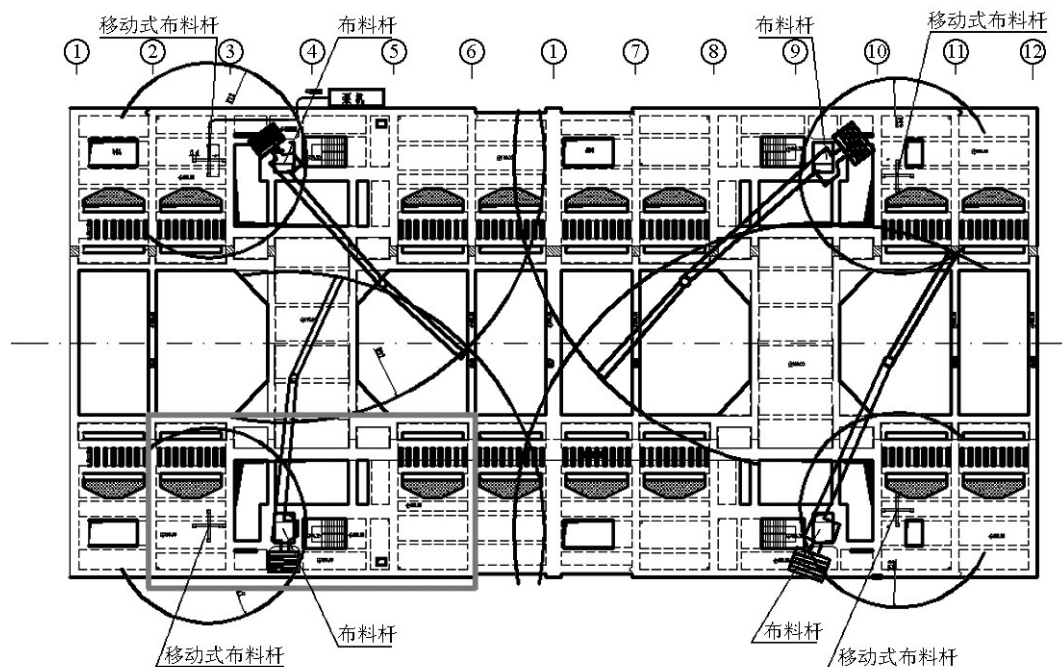


图3 升船机塔柱封顶阶段设备布置图

Fig.3 Equipment layout of ship lift tower at capped stage

### 3.2.4 横梁浇筑设备布置

三峡升船机塔柱在顶部 $196.00\text{ m}$ 高程由11根跨航槽横梁和两个平台将左侧、右侧筒体连接在一起。其中7根横梁单独布置,两个平台部位各有两根横梁和两根纵梁。7根单独布置的横梁两端布置基础梁进行连接。筒体浇筑到 $192.65\sim 196.00\text{ m}$ 高程时,将横梁牛腿部分和纵梁与筒体混凝土一起浇筑。横梁、基础梁、中控室和观光平台在筒体混凝土浇筑至 $196.00\text{ m}$ 高程后单独浇筑,均为现浇混凝土,浇筑总体积约为 $1\,578\text{ m}^3$ ,浇筑总面积约为 $500\text{ m}^2$ ,筒体混凝土浇筑量大,结构特殊,因而对浇筑质量要求高。因而,横梁的浇筑手段布置如下所述。

在船厢室段两侧各布置一个 $38\text{ m}$ 臂长的布料杆和一个 $32\text{ m}$ 臂长的布料杆,基本能全部覆盖横梁范围。泵机布置在上闸首 $185.00\text{ m}$ 高程平台上,泵管顺流向从 $196\text{ m}$ 塔柱顶部接到布料杆上。

在上闸首两侧各布置两台F0/23B型移动式塔机,在船厢室段两侧各布置4台C7030型附臂式塔机作为混凝土浇筑辅助手段。上闸首建塔取料点设在上闸首 $185.00\text{ m}$ 高程平台上,船厢室段建塔取料点设在左侧、右侧 $84.50\text{ m}$ 高程平台上。同时在上闸首布置有1台备用泵机,泵管顺流向布置在塔柱顶部 $196.00\text{ m}$ 高程。

根据现阶段施工实际情况,单台布料杆入仓强

度为22 m<sup>3</sup>/h,单台建塔入仓强度约为5 m<sup>3</sup>/h。

#### 4 船厢室段混凝土浇筑设备实施效果

船厢室段塔柱一期混凝土采取布料机浇筑,布料机浇筑范围能覆盖到塔柱一期混凝土的所有部位。在塔柱筒体浇筑高程超过189.00 m后,由于布料机扬程过高,开始出现堵泵现象,在调整混凝土骨料级配后,该问题得到了解决。剪力墙为建塔挂罐浇筑,1#、2#建塔覆盖轴1剪力墙,3#、4#及5#、6#建塔覆盖轴7剪力墙,5#、6#建塔覆盖轴13剪力墙,即建塔能覆盖到所有剪力墙。内部楼板采取建塔挂罐浇筑,该浇筑设备基本满足混凝土浇筑要求。单台建塔入仓强度约为5 m<sup>3</sup>/h、单台布料机入仓强度为22 m<sup>3</sup>/h,在浇筑过程中均能满足入仓强度要求。

通过对三峡升船机船厢室段混凝土浇筑设备前期的合理规划,以及后期的合理布置和及时调整,对混凝土浇筑标准和要求均极高的三峡升船机的浇筑质量、外观、进度起到了非常重要的作用。

#### 5 结语

本文详细介绍了三峡升船机船厢室段混凝土

施工设备的选型过程。通过分析船厢室段混凝土施工特性,在投标阶段通过方案比选对施工设备进行了初步选型,在施工阶段中进一步根据施工过程中遇到的问题对施工设备选型做进一步的调整,最后确定了合理的选型布置。实施效果表明,三峡升船机船厢室段混凝土浇筑设备布置,在施工过程中能覆盖所有浇筑面,并能满足浇筑高峰期入仓强度的要求。三峡升船机船厢室段混凝土浇筑设备在前期合理规划,以及后期的合理布置与优化,有效地确保了升船机工程施工的顺利实施,对推进升船机的形象进度发挥了重要作用,具有较高的推广价值。

#### 参考文献

- [1] 孙精石,周兴华,赵德志,等.关于升船机的调查研究[J].水道港口,2001,22(3):141-145.
- [2] 朱虹,邓润兴.三峡升船机总体布置设计[J].人民长江,2009,40(27):48-50.
- [3] 梁仁强,李锋.三峡升船机施工技术研究与实践[J].人民长江,2011,42(16):51-55.

## Research on concreting equipment planning of ship lift boat cab segment in Three Gorges Project

Huang Jiaquan, Ma Shaofu, Yu Yongjun

(China Gezhouba Group Co., Ltd. Three Gorges Company, Yichang, Hubei 443002, China)

**[Abstract]** This paper describes the selection process on concrete construction equipment of ship lift boat cab segment in Three Gorges Project in detail, including analysis on the characteristics of concrete construction in boat cab segment, selection argumentation of construction equipment at the tender stage and system adjustment and optimization of equipment selection at the construction stage. The engineering practice effect of construction equipment indicates that the concrete pouring equipment layout plan for Three Gorges Project ship lift boat cab section effectively covers all pouring surface, meeting the warehousing strength requirements in concrete pouring peak, and the construction schedule, cost, safety, can be effectively controlled. The concreting equipments of Three Gorges Project ship lift boat cab segment have been pre-rational planned, post-system adjusted and optimized, they play an important role in the successful end of construction of Three Gorges ship lift project, and they have high promotion and application value.

**[Key words]** construction equipment; equipment layout; concrete pouring; boat cab; Three Gorges Project ship lift