

文章编号: 0451-0712(2006)06-0227-03

中图分类号: U445.3

文献标识码: B

# 160 m<sup>3</sup>/h 水上混凝土搅拌船的设计与应用

罗平生, 黄剑波

(广东省长大公路工程有限公司 广州市 511431)

**摘 要:** 介绍 160 m<sup>3</sup>/h 水上混凝土搅拌船的设计以及该船在杭州湾跨海大桥北航道桥施工中的应用。

**关键词:** 桥梁; 水上混凝土搅拌船; 设计; 应用

随着海上桥梁工程的不断发展, 大型水上混凝土搅拌船已成为跨海桥梁建设中必不可少的主要施工设备, 在杭州湾跨海大桥北航道桥的施工中, 广东省长大公路工程有限公司投入了一艘“长大 18” 160 m<sup>3</sup>/h 水上混凝土搅拌船, 该船在大桥的施工中发挥了巨大的优势, 为大桥建设的质量和进度都提供了有力保障。

## 1 160 m<sup>3</sup>/h 水上混凝土搅拌船的设计

本船在设计的过程中, 对混凝土搅拌设备、泵送设备的选型和配置进行了充分地论证, 对船舶在海上施工中受潮汐和风速的影响也进行了全面地评估。

### 1.1 总体概述

本船按我国沿海航区设计, 符合《钢质海船入级与建造规范(2001)》和《非国际航行海船法定检验技术规则(1999)》, 船舶主要尺度为: 船长 75.60 m, 型宽 23.40 m, 型深 5.45 m, 设计吃水 3.20 m, 结构吃水 3.60 m; 船舶总吨位为 3 751 t, 净吨位为 1 125 t。本船为钢质、单甲板、单底, 具有 2 层居住甲板室的非自航箱形工程船。具有 2 套骨料、粉料储藏设备, 2 条骨料及粉料输送(包括称量)、混凝土搅拌和生产成品混凝土输送灌注系统。本船船体结构强度、稳定性和锚系泊力, 在风力  $\leq 6$  级, 波高  $\leq 2$  m, 流速  $\leq 3$  m/s 时, 能完成上料、搅拌和成品混凝土的输送灌注作业; 在风力  $\leq 8$  级时, 可满足拖航; 在 8 级风力以上时, 可异地锚泊抗风; 在无人封舱的情况下, 能满足近海航区拖航调遣的要求。

本船甲板艏部设有 2 台 350 kN 移船绞车, 2 台

150 kN 领水锚绞车, 艉部设有 2 台 350 kN 移船绞车, 该绞车主卷筒外还各配有一个链轮。为满足船舶作业时的生产及生活用电的正常需要, 本船机舱设置 3 台主柴油发电机组, 每台容量为 250 kW(AC, 3 $\Phi$ , 400 V), 另设应急停泊发电机组 1 台, 容量为 90 kW(AC, 3 $\Phi$ , 400 V)。

### 1.2 搅拌系统

160 m<sup>3</sup>/h 水上混凝土搅拌船搅拌系统是集物料储存、计量、搅拌于一体的大型搅拌设备, 该设备采用 2 台 JS1500 强制式卧轴搅拌机。可搅拌各种类型的混凝土, 适用于桥梁、港口、码头、水电等水上混凝土施工。

该设备的 2 台搅拌主机各有一套独立的骨料、水泥、水、粉煤灰及外加剂计量系统。甲板顶部设有骨料贮料仓, 采用“一”字形排列, 可同时储存 3 种骨料。2 台主机共用一套储料仓, 料仓容积可供搅拌系统连续生产 1 200 m<sup>3</sup> 混凝土。骨料由起重机上料到骨料贮料仓, 在计量斗中计量完毕经平皮带机及挡边斜皮带机分别送到各自骨料贮料斗中。粉料配料系统每台主机配备 2 个水泥仓, 一个粉煤灰仓, 一个矿粉仓。每种粉料分别由各自螺旋输送机送到计量斗中。水由水箱卸到计量斗中, 液状外加剂由外加剂箱卸到计量斗中。控制系统采用 BS2000 微机控制系统, 电子称计量, 具有屏幕显示、配比储存、落差自动补偿、砂含水率自动补偿, 并配有手动系统, 可实现搅拌过程的手动、自动控制。同时, 具有自锁、互锁和故障报警功能, 保证系统准确运行, 并且可用打印机打印各种数据和报表。搅拌系统主要技术参数见表 1。

表 1 搅拌系统主要技术参数

项目	参数
生产率	160 m <sup>3</sup> /h
搅拌主机	2×JS1500
骨料仓容积	石料仓 1 100 m <sup>3</sup> , 砂仓 600 m <sup>3</sup>
水泥仓容积	4×100 t
粉煤灰仓容积	2×40 t
矿粉仓容积	2×40 t
骨料计量精度	±2%
水泥计量精度	±1%
粉煤灰计量精度	±1%
外加剂计量精度	±1%
水计量精度	±1%

搅拌系统的工作原理为:骨料由储料仓卸料皮带机卸入计量称中,每种骨料单独计量,计量好后卸到始终运转的平皮带机和斜皮带机上。斜皮带机将骨料送入楼顶的骨料储料斗中,粉料仓中的料由螺旋输送机送往各自计量斗中计量,水从水箱流到计量斗中,外加剂由外加剂箱流入计量斗中计量,当各种物料计量完毕后,将骨料储料斗卸料门打开,将骨料卸入搅拌机内,延时依次计量好的水、外加剂、水泥、粉煤灰等卸入搅拌机内搅拌,搅拌好的混凝土由主机卸料口卸入混凝土泵中,完成一个工作循环。

### 1.3 泵送系统

混凝土泵的配置应考虑地理环境、施工特点及要求(海工混凝土),与搅拌系统的匹配要求,及高压大排量泵送时的可靠性和安全性。船体上的泵最大理论输送方量应略高于混凝土搅拌系统。本船采用 2 台德国进口的 putzmeister BSA1409-D 型混凝土泵,主要技术参数见表 2,功率性能曲线见图 1 所示。

按照船舶设计规范和布料杆设计规范,针对船用布料杆的工作条件、使用特点,对泵车臂架的设计载荷及组合、设计工况进行重新组合计算,利用三维设计分析软件 I-deas 建立包括整个臂架、支柱和船体的模型,模拟搅拌布料船的各种使用工况,对整个系统进行一体化分析(包括结构静力分析、机构运动分析)计算,得出全面、准确、符合实际的计算结果。

本船采用 2 台中联重工布料机,布料机沿船体纵轴线对称布置,并通过 6 m 高圆柱形底座用高强度螺栓与船体连接。布料机最大布料半径为 40 m,最大骨料粒径为 60 mm,可以满足海风 7 级、船舶横向倾斜度 5°~6°、船体振动的条件下正常工作。

表 2 BSA1409-D 型混凝土泵主要技术参数

项目	参数
排量/(m <sup>3</sup> /h)	91/61 *
输送压力/bar	71/106 *
输料缸直径/mm	200
输料缸冲程长度/mm	1 400
两料缸容积/L	88
冲程次数/min	35/23 *
液压传动比	4.9/3.3 *
发动机功率/kW	135/115
料斗容量/L	600
接料高度/m	1.3
S 阀	S2015DN 型
S 阀换向时间/s	0.2
工作电压/V	24

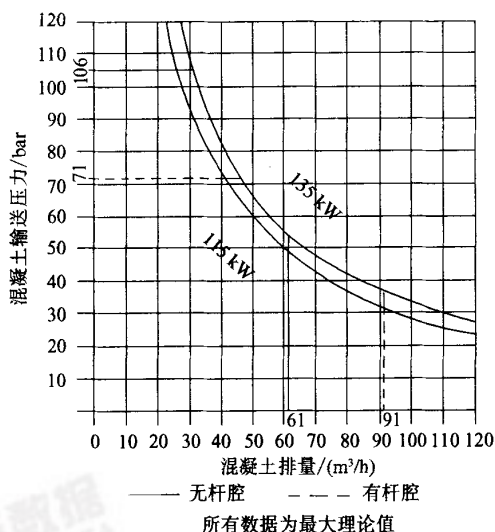


图 1 BSA1409-D 型混凝土泵功率性能曲线

## 2 160 m<sup>3</sup>/h 水上混凝土搅拌船的应用

对于目前国内出海口及跨海桥梁建设施工,采用较多的主要是通过搭设海中平台和铺设海中栈桥的方案进行。搭设海中平台,即在桩基承台等永久结构施工之前先行搭设一海中钢管桩(或钢护筒)支撑平台,用于施工作业及施工材料周转堆放的平台,也考虑用作海上施工基地,同时海工混凝土必需通过混凝土搅拌船生产供应。

### 2.1 工程概况

杭州湾跨海大桥北航道桥及北侧高墩区引桥距北岸海堤约 2.5 km,桩号 K51+579~K52+977,包括北航道桥和北侧高墩区引桥下部结构,桥长 1 398 m。

其中北航道桥为70 m+160 m+448 m+160 m+70 m钻石形双塔空间双索面5跨连续钢箱梁斜拉桥,含B8~B13号墩。索塔为C50混凝土结构,横向呈钻石形,索塔总高度为178.8 m。主墩承台为48.5 m×23.7 m×6 m六边形圆倒角整体式承台,辅助墩及过渡墩承台采用水流适应性强的圆形分离式承台。全桥采用钻孔灌注桩群桩基础,共计152根桩,桩长81~125 m。北航道桥总体布置见图2所示。

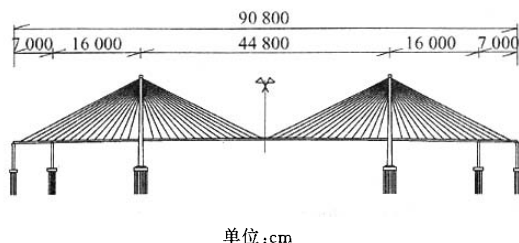


图2 北航道桥总体布置

## 2.2 搅拌船在杭州湾跨海大桥施工中的应用

杭州湾跨海大桥北航道桥B11主墩、B12辅助墩以及B13边墩采用海中平台的施工方案,B10主墩采用海中平台与栈桥相结合的施工方案。“长大18”160 m<sup>3</sup>/h水上混凝土搅拌船主要负责海中平台3个墩的桩基与承台混凝土浇注和墩座、墩身、索塔现浇施工以及B10主墩承台混凝土的浇筑。其中B11主墩共26根桩,桩径为280 cm,桩长125 m,每根钻孔桩的混凝土方量近800 m<sup>3</sup>;B12辅助墩14根桩,桩径为250 cm,桩长为85~96 m,每根钻孔桩的混凝土方量近500 m<sup>3</sup>;B13边墩8根桩,桩径为250 cm,桩长为85~96 m,每根钻孔桩的混凝土方量近500 m<sup>3</sup>;海中3个墩桩基混凝土约需30 000 m<sup>3</sup>。水上混凝土搅拌船桩基混凝土施工见图3所示。

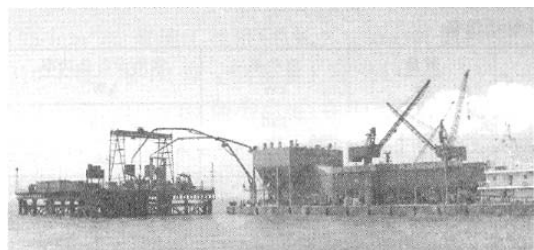


图3 水上混凝土搅拌船桩基混凝土施工

B10及B11主墩承台面标高为+5.2 m,承台厚度为6.0 m,体积约为6 600 m<sup>3</sup>,B13边墩及B12辅助墩承台厚4.0 m,承台体积分别为1 200 m<sup>3</sup>(边墩),1 900 m<sup>3</sup>(辅助墩)。封底混凝土须一次浇筑完成,主

墩封底混凝土厚1.5 m,B13边墩及B12辅助墩封底混凝土厚1 m。主墩封底混凝土面积较大,混凝土多达1 270 m<sup>3</sup>。混凝土坍落度控制在150~200 mm之间,使每盘混凝土灌注后的流动坡度在1:5~1:7范围内,即混凝土的扩散半径约为6 m。为了保证封底混凝土在初凝之前完成,必需有200 m<sup>3</sup>/h的混凝土供应速度。主墩承台高6.0 m,分3次浇筑,第1次浇筑高度为1.5 m,第2次浇筑2.0 m,第3次浇筑2.5 m。边墩、辅助墩承台混凝土分2次浇筑,厚度均为2 m。

在杭州湾跨海大桥超长直径的桩基灌注施工中,“长大18”160 m<sup>3</sup>/h水上混凝土搅拌船采用的putzmeister BSA1409-D型大排量混凝土泵,保证了混凝土的供应速度,确保了混凝土在初凝前灌注完毕。在大体积主墩承台浇筑施工中,本船的大料仓容积以及边生产边上料的生产方式,保证了混凝土长时间、大方量的连续生产。在B10主墩承台浇筑施工中,“长大18”160 m<sup>3</sup>/h水上混凝土搅拌船创造了国内单船连续搅拌时间最长(32 h)、连续生产混凝土方量最多(1 842 m<sup>3</sup>)的记录。该船选用布料半径为40 m的中联重工布料机,在主墩平台面积为70.50 m×41.08 m的情况下,船舶在平台四周施工时,布料臂覆盖了整个平台范围。同时,该船采用的450 m长的钢丝锚索,保证了船舶在主墩与辅助墩、辅助墩与边墩交叉施工时,可以直接通过绞锚进行船舶的移位,而不需要进行拖带作业,方便了施工,也降低了费用。

## 3 结语

在杭州湾跨海大桥的施工中,“长大18”160 m<sup>3</sup>/h水上混凝土搅拌船充分发挥了其移位灵活、上料储料方便、搅拌自动化程度高、生产速度快、泵送范围广等优势,为杭州湾跨海大桥建设的工程质量和进度提供了有力的保障。该船在杭州湾跨海大桥施工中的使用情况,也证明了大型水上混凝土搅拌船目前在出海口及跨海桥梁建设施工中使用是合理的,性能是优越的。

## 参考文献:

- [1] 钢质海船入级与建造规范[S]. 2001.
- [2] 杭州湾大桥工程指挥部,浙江省交通厅工程质量监督站. 杭州湾跨海大桥专用施工技术规范[Z]. 2005.
- [3] 上海佳豪船舶工程设计有限公司. 160 m<sup>3</sup>/h水上混凝土搅拌船方案设计[Z]. 2003.