

整体式钢浮箱在跨海大桥桥墩施工中的综合运用

张洪光, 陈礼忠

(上海市基础工程公司, 上海市 200002)

摘要: 在水中进行墩基础和防撞设施施工, 搭设操作平台是关键, 在风大浪急的外海, 施工难度更大。该文结合东海大桥主通航孔辅助墩及其防撞墩施工的成功经验, 为平台设计和搭设、承台吊箱围堰设计和防撞墩施工等提供了一揽子解决方案, 可供类似工程参考和借鉴。

关键词: 跨海大桥; 防撞墩; 钢浮箱; 接高下沉; 有限元分析

中图分类号: U443.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)05-0105-04

1 工程概况

已建成的东海大桥是我国第一座外海大型桥梁, 北起南汇芦潮港, 跨越杭州湾北部海域, 止于洋山岛, 是洋山深水港的重要配套设施, 工程全长 30.5 km。主通航孔为主跨 420 m 的单索面钢-混结合梁斜拉桥。

辅助墩承台平面尺寸 30.6 m × 16.6 m, 高 4.0 m, 底标高 +0.0 m, 基础为 14 根直径 2.5 m、桩长 85 m 的钻孔灌注桩; 防撞墩基础为 12 根直径 1.3 m、长度 48 m 的钢管桩, 防撞结构为实心承台和空心隔栅结构(内灌海砂)。结构均采用高性能海工混凝土(桩基础为水下 C30、承台为 C40、墩座和墩柱为 C50)。辅助墩及防撞墩设计见图 1。

工程所在位置海区属非正规半日浅海潮区, 海水深度在 9.5 m~12.7 m 左右, 河床面标高 -11 m, 最大潮差为 5.14 m, 平均潮位为 +0.34 m, 年平均浪高 0.8 m, 区内最大风力一般为 7~8 级, 最大风速 23 m/s, 年平均可作业天数不足 180 d。

该工程基础施工的主要特点是: 风大浪急, 平台搭设难度大, 施工条件差, 水上施工周期长, 工

期难以保证。

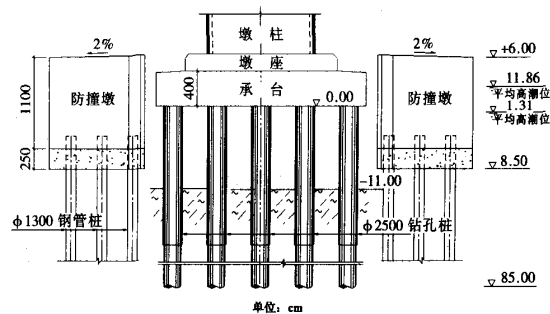


图 1 辅助墩及防撞墩设计图

2 技术方案的确定

水中桥墩和防撞墩施工的常规技术方案一般为: 搭设高桩平台→打设钢护筒→钻孔桩施工→部分平台拆除→安装钢套箱围堰→封底混凝土、承台施工→安装防撞墩钢套箱→防撞墩结构施工。通过深入分析和研究后, 意识到常规方案的实施有较大困难:

(1) 在环境恶劣的海区搭设高桩平台施工难度大, 钢护筒打设精度无法保证, 对打桩船设备的要求较高。

(2) 平台拆除和钢套箱围堰安装占用大量时间, 钻孔桩完成后不能迅速转入承台施工, 时间跨拉桥施工工艺更臻成熟。

收稿日期: 2006-07-31

作者简介: 张洪光(1957-), 男, 上海人, 高级工程师, 副总经理, 从事桥梁施工管理工作。

并对总体工期目标进行全面分析, 合理安排每关键环节节点, 选择最优施工方案, 及时组织施工, 才能做到经济合理、安全可靠。

海上施工条件恶劣, 必须认真抓好每道施工工艺。在主塔施工中, 重点是要保证模板系统在风力作用下的稳定性, 劲性骨架的应用和模板系统的选择尤其重要, 对于裸塔施工期间临时抗风支撑的设置必须根据计算和施工安排确定。

由于海上施工条件复杂, 还需不断摸索, 吸取教训, 总结经验, 进一步优化工艺流程, 使海上斜

参考文献

- [1] 抗风设计规范, JTG/TD60-01-2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004
- [2] 路桥国际东海大桥 VII 标项目部. 明珠山大桥总体施工组织设计[Z]. 2004
- [3] 陈明宪. 斜拉桥建造技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003
- [4] 刘士林, 梁智涛等. 斜拉桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002
- [5] 周孟波. 斜拉桥手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004

度大,增加了很多不确定因素。

(3)辅助墩和防撞墩独立施工,将存在两次安装钢套箱围堰现象,设备和材料需求量较大、周转时间长,施工成本高。

经过方案比选,最终构思了一个与传统工艺相对的全新的工艺方案——整体式钢自浮套箱方案,即:(1)将辅助墩和防撞墩平台设计成整体式钢浮箱,采用在陆上船台制作、浮运至现场定位安装;(2)钢护筒和防撞桩通过钢浮箱预留的导管孔插打完成,解决了钢护筒定位问题;(3)浮箱上部的甲板用作钻孔桩和上部结构的施工场所,浮箱下部用作辅助墩和防撞墩承台施工时的模板支撑;(4)钻孔桩施工完毕,对浮箱进行适当改造后可立即转入承台施工,以加快施工进度;(5)将防撞墩套箱体与主体浮箱平台割开,接高下沉即可进行防撞墩施工。

3 钢浮箱设计及计算分析

3.1 钢浮箱设计

钢浮箱的主尺度为:型长 62.66 m、型宽 21.0 m、高 7.0 m。甲板以下部分为首尾呈菱形,中间为平行段的浮体。取 20 年一遇的有效波高确定平台面标高为 +6.0 m。钢浮箱平台结构见图 2。

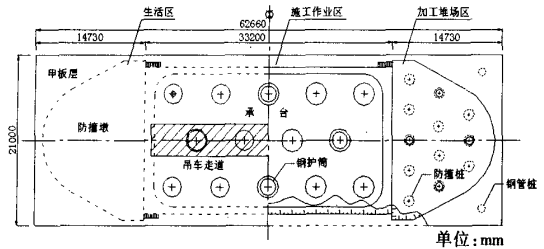


图 2 钢浮箱平台结构图

浮箱的结构采用单底、单壁,横骨架式,内部设置 4 道横舱壁、2 道纵舱壁;面板 8 mm,主龙骨为 T 排(—500 × 12/200 × 16),次骨为 L75 × 75 × 8,甲板主梁为 I40a。浮箱设有用于打设护筒桩和防撞桩的钢套管和预留孔洞。甲板层根据各部位的功能要求其设计荷载分别为 2 t/m² ~ 4 t/m²。钢浮箱包括甲板及其附属重量约 850 t,空舱吃水约 1.5 m。

3.2 有限元计算分析

3.2.1 钢浮箱整体受力阶段

根据钢浮箱结构设计图,建立有限元模型,在建模过程中采用分组建模技术。

浮箱板材大部分采用四节点的板壳元模拟,在局部特殊连接的部分采用三节点板壳元模拟。钢护筒、钻孔桩、防撞桩及措施桩均采用梁单元模

拟,钢管混凝土采用组合截面的梁单元进行模拟。对于浮箱的强横梁、纵桁、肋骨用梁单元模拟,并且采用偏心梁的设置。桩底考虑在泥面以下 5 倍桩径处固结。钢浮箱整体有限元计算模型见图 3。

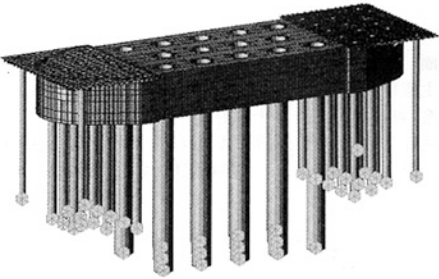


图 3 钢浮箱整体有限元计算模型

主要计算的不利工况:

- (1)工况 1:插打定位桩。验算内容:定位桩及箱体的强度和变形。
- (2)工况 2:钻孔桩施工。验算内容:钢护筒、桩、箱体及甲板层的强度和变形。
- (3)工况 3:体系转换及承台施工。工况 3a:高潮位时,验算空浮箱的侧壁强度和变形(混凝土未浇筑)。工况 3b:低潮位时,验算侧壁的强度和变形(混凝土已浇筑)。

各个工况下结构的最大应力如表 1 所示。

表 1 钢浮箱结构的应力表(MPa)

部 位	工况 1	工况 2	工况 3a	工况 3b
钢护筒及桩	-59.0	-163.0		
骨架	111.9	285.1	-101.4	181.4
板	51.0	278.5	94.3	164.3

结论:在钢护筒(桩)与浮箱顶底板的连接处出现应力集中现象,但在连接区域外的应力几乎都在容许范围内,故对这些区域进行局部加强或采取构造措施以改善受力状况。

3.2.2 防撞墩箱体分离下沉阶段

防撞墩箱体有限元计算模型见图 4。

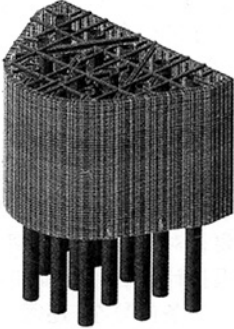


图 4 防撞墩箱体有限元计算模型

主要计算的不利工况：

(1)套箱下沉到标高。验算内容：底板、侧壁的强度和变形。

(2)浇筑水下封底混凝土。验算内容：底板、侧壁的强度和变形。

(3)抽水完成。验算内容：底板、侧壁的强度和变形，底板与钢管桩铰接点支反力。

(4)浇筑承台混凝土。验算内容：侧壁的强度和变形，底板与钢管桩铰接点支反力。

结论：各工况下防撞套箱体的底板和侧壁应力都在容许范围内，满足使用功能；工况（3）和（4）状态下浮箱底板和钢管桩将承受最大为 190 t 的支反力，应通过设置抗浮牛腿传递到钢管桩上。

4 钢浮箱施工

4.1 钢浮箱制作和浮运

钢浮箱在船厂的船台上进行加工制作，采用零件拼装、分散组装、船台总装的工艺流程。钢浮箱整体制作完成后，进行最终检验，随后安装附属设施，最后用平车沿轨道下水。

浮运选择在小潮汛期间，6 级风以下进行，利用浮箱自身的浮力拖运，由三艘拖轮（一艘 1670 HP、两艘 900 HP）拖带至施工海域。为了保证拖运安全，在浮箱上设置警示旗帜、安装警戒灯。

4.2 钢浮箱就位安装

浮箱根据“DGPS”导航进行初步定位，初定位依靠自身的锚泊系统。二次精定位时在钢浮箱的强制对中架上安装棱镜，利用主墩平台上的控制点上架设全站仪对浮箱平台安装进行测量，并根据测量结果进行绞锚纠偏，控制浮箱平面位置偏差小于 50 mm；二次定位由 4 根定位钢护筒、8 根定位防撞桩共同参与。定位桩打好后将其他防撞桩也全部打入并与浮箱焊接固定后，锚泊系统即可解除（见图 5）。

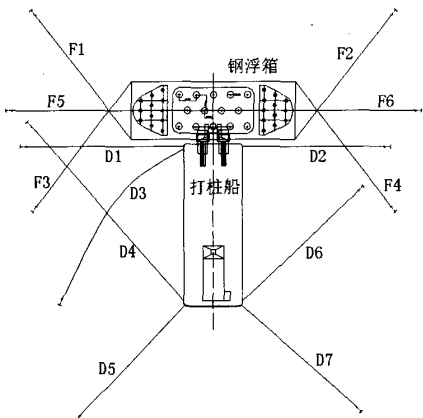


图 5 钢浮箱锚泊定位

定位桩的插入和打设由“建基 1501”打桩船挂 D100 锤实施。打桩作业完成后，在定位桩设计位置焊接限位牛腿，待涨潮时进行抽水起浮，当浮箱甲板顶住限位牛腿后，将甲板层用承剪板和桩焊接，最后利用低潮位将箱底与桩连接，完成钢浮箱标高的固定。

4.3 防撞墩套箱体下沉就位

辅助墩施工完毕后，将防撞墩范围钢套箱接高，与承台切割脱离，下沉至设计标高后即可进行防撞墩施工。

原防撞墩套箱侧壁高度仅 7 m，根据施工需要接高至 14.6 m。上下共设 4 道水平内支撑，其中第 2 道支撑利用原平台甲板层，其余支撑采用 $\Phi 325 \times 8$ 钢管。

根据计算，钢套箱自重（包括内部支撑及附件）共 300 t。在防撞桩上搭设 H588 横梁，安装 4 台 10 t 卷扬机（钢丝绳走 12），作为钢套箱下沉时的动力设备。在底板上安装吊装横梁，与底板 T 排焊接成整体。利用套箱底板和第二道水平支撑设置下沉导向。

防撞墩套箱接高下沉示意图 6。

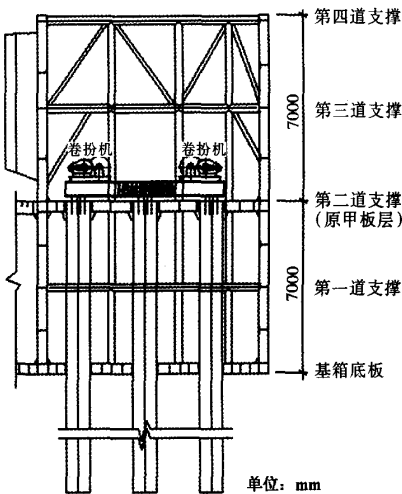


图 6 防撞墩套箱接高下沉示意图

带紧卷扬机钢丝绳，先将防撞墩套箱与承台区域的钢浮箱平台割离，随后割除甲板层与防撞桩的连接板，利用高平潮或低平潮流速较慢时缓慢下沉至设计标高。卷扬机限位固定后，用型钢水平撑和斜撑将钢管桩与侧壁连接，保证套箱体不发生水平位移，并将套箱体的自重传递到钢管桩上。将防撞墩套箱体重新与承台钢浮箱平台连接，以克服水流和波浪对套箱的破坏作用，维持施工期间套箱的稳定性。

5 结构施工

5.1 钻孔桩

成孔设备选择2台QJ-250型钻机,钻头选用防斜梳齿钻头,钻头配配重“减压悬吊钻进”,以防止孔斜与提高钻进效率。采用气举反循环的成孔工艺、主筋直螺纹套筒机械的钢筋笼制作连接工艺、水上搅拌船拌制混凝土、导管法水下灌注混凝土成桩的施工工艺。

钢筋笼总重量49 t,单节钢筋笼定长9 m,主筋 $\Phi 32$,采用滚压直螺纹机械连接,具有操作简便、连接速度快、下笼迅速等优点。每个平台配1台100 t履带吊机,负责钻机就位、钢筋笼吊装。钢筋笼采用两点起吊,对接下笼设计固定架(挂4只20 t葫芦)进行微调对中。

5.2 承台和墩柱

在低潮时将钢护筒和浮箱底板的间隙用钢板密闭,随后浇筑一层混凝土垫层。承台厚度4 m,一次浇筑成型,混凝土采取内散外蓄养护。

墩柱施工垂直运输采用ZSC4025高吊,混凝土由搅拌船提供。墩柱为分节现浇混凝土,分节高度5 m,采用定型钢模板“翻模法施工”,由塔吊提升。

5.3 防撞墩

为保证封底混凝土摊铺效果,将钢套箱底板T排面用薄钢板封盖。封底混凝土采用多导管点连续灌注,每个导管点应在混凝土摊铺到该点前完成初灌。灌注过程中应对所有导管定时循环供料,防止堵管。

封底混凝土达到强度后关闭连通管,抽水,焊接抗浮(重)反力牛腿,分层浇筑承台混凝土和格栅混凝土。钢套箱内的四道水平支撑在混凝土浇筑过程中逐步拆除。

防撞墩封底混凝土底标高-8.5 m,平均水深

约9 m,加上桥址海况复杂,风浪较大,故封底质量是防撞墩施工的关键点。封底混凝土施工中应注意以下事项:

(1)连通管。钢套箱应设置足够过水能力的连通管,维持封底混凝土养护期间套箱内水位平衡。连通管根据施工期间最大涨落潮落差设计,过水速度应小于平均涨落潮速度。

(2)止水。应将钢管桩与套箱底板的间隙用两“哈夫”抱箍封闭,防止混凝土漏失;派潜水员将钢管桩上附着的生物、杂质清理干净,保证与混凝土的粘结效果;钢管桩和钢套箱侧壁设一道止水钢带,防止海水从薄弱的交界面上窜,止水带设在封底混凝土中部。

(3)抗风浪措施。为克服施工海区风浪对封底混凝土浇筑质量的影响,必须将防撞墩钢套箱与承台结构可靠连接,将所有钢管桩与套箱连成整体,共同抵抗风浪的巨大的破坏作用。

6 结语

实践证明,整体式钢自浮套箱技术,在承台基础和防撞墩施工中的运用是非常成功的。它对传统的水中墩基础施工工序进行了有机的整合,省去了大量的水上作业工序,克服不利自然条件的影响,解决了钢护筒施打精度问题,有效地缩短了水中墩基础的施工周期。东海大桥辅助墩整体式钢浮箱技术为水中墩基础施工提供了一个成功的典范,值得推广和借鉴。

参考文献

- [1]陆云等.东海大桥主通航孔主塔墩蜂窝状钢浮套箱平台的设计研究与应用[J].上海:建筑施工,2004(7).
- [2]铁路桥梁钢结构设计规范[S].2000.
- [3]海港水文规范[S].1998.

新疆3个高速公路建设项目开工

近日,连-霍国家高速公路赛里木湖-果子沟口、果子沟口-霍尔果斯及218国道清水河-伊宁三个高速公路建设项目开工仪式在霍城县清水河镇举行。

连-霍国家高速公路赛里木湖-果子沟口公路改建工程全长56 km,采用高速公路标准建设,总工期4年,初步设计总概算为23.9亿元;果子沟口-霍尔果斯高速公路建设项目全长50 km,另建辅道38公里,总工期3年,初步设计总概算为9.13亿元。218国道清水河-伊宁高速公路项目全长56 km,总工期3年,初步设计总概算为12.60亿元。