

文章编号: 0451-0712(2006)01-0033-08

中图分类号: U445.557

文献标识码: B

苏通长江大桥北主墩超大型钢吊箱的设计与施工

张 鸿^{1,2}, 张永涛²

(1. 华中科技大学 武汉市 430000; 2. 中港二航局 武汉市 430014)

摘 要: 苏通大桥北主墩基础位于长江深泓区, 江面宽阔, 通航繁忙, 流速最大至 3 m/s, 属潮汐影响区域, 采用超大型双壁钢吊箱作为基础承台混凝土干施工的围护结构, 钢吊箱为哑铃形异型结构, 总长 117.95 m, 宽 52.30 m, 高 16.50 m, 总重约 6 180 t, 如此大尺寸、大重量的超大型钢吊箱结构设计施工是一个前所未有的难题, 本文将详细介绍该墩钢吊箱的设计与施工技术。

关键词: 苏通大桥; 北主墩; 承台; 钢吊箱

1 苏通大桥主墩概况

苏通长江公路大桥北起江苏省东部南通市境内小海互通立交, 南至常熟市境内董浜互通立交, 西距江阴大桥约 80 km。主桥为双塔双索面斜拉桥, 主跨为 1 088 m, 跨径比目前世界第一大跨径日本多多罗大桥长 198 m, 居同类型桥梁世界第一。

主桥基础北主墩位于长江深泓地段, 距南北两岸均为 3 km, 为世界上最大的高桩承台式群桩基

础, 桩基由 131 根桩径由 2.8 m 变至 2.5 m 的变径钻孔灌注桩组成。承台呈哑铃形, 总体平面尺寸为 113.75 m × 48.10 m, 单个塔柱下承台平面尺寸为 51.35 m × 48.10 m, 厚度为 5~13.324 m, 两承台间系梁平面尺寸为 11.05 m × 28.1 m, 厚 6.0 m, 其基础结构形式见图 1 所示。采用双壁钢吊箱进行承台和系梁施工。钢吊箱总重约 6 180 t。

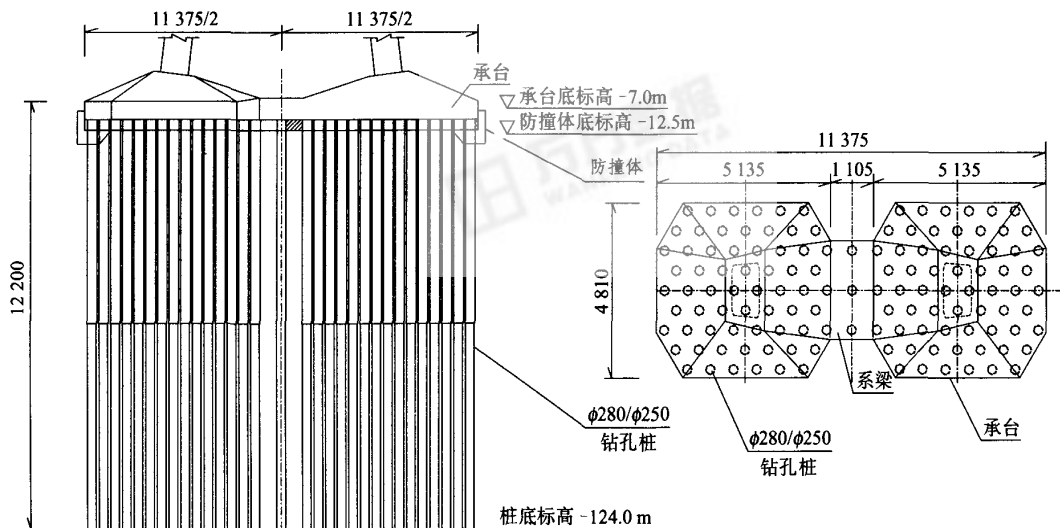


图 1 北主墩结构

本工程钢吊箱施工具有以下特点。

(1) 钢吊箱结构满足两项功能: 承台施工期挡水; 部分结构作为永久结构防撞体的一部分。

(2) 墩位区水深流急, 航运繁忙, 且为台风影响区, 针对钢吊箱尺寸和重量都很大的特点, 制定了安全可靠、快速有效的制作、拼装、下放、定位方法。

(3) 首节钢吊箱整体下放, 其重量超过 3 000 t, 采用国际先进的微机系统控制 16 台 450 t 液压连续式千斤顶同步下放。

(4) 钢吊箱结构长高之比为 6.4, 首节钢吊箱长高之比达 17.9, 结构柔性大, 安装百余个监测元件, 确保钢吊箱结构受力和变形满足要求。

2 水文、气候条件

苏通大桥桥址位于长江下游临近长江入海口处, 地处中纬度地带。根据进度, 钢吊箱施工时间为 2004 年 6 月~12 月, 该期间正处于台风活动期。在钢吊箱施工期间, 常伴有西北风, 风力大多在 4~6 级, 偶有 7~8 级大风。

3 钢吊箱设计

3.1 设计条件

水文条件取 20 年一遇, 风速取 30 年一遇。据此要求, 钢吊箱设计条件如下。

设计高潮位: +4.3 m;

设计低潮位: -1.26 m;

波高: 2.0 m;

设计水流流速: 2.75 m/s;

设计风速: 35.4 m/s;

混凝土与钢护筒间握裹力: 100 kN/m²;

吊箱顶标高: +4.0 m;

承台底标高: -7.0 m;

承台四周封底混凝土厚度: 5.5 m;

承台内中间封底混凝土厚度: 3.0 m。

3.2 结构形式特点

钢吊箱为哑铃形, 由底板、壁体、内撑、吊装吊耳及拉杆等 5 大部分组成, 在竖向分为 3 节, 总高度为 16.5 m, 第 1 节高为 6.6 m, 第 2 节高为 3.9 m, 第 3 节高为 6 m, 结构形式见图 2 所示。钢吊箱构造有以下特点。

(1) 低水位时为防止满载船舶与桩基碰撞, 承台底四周设 4 m 宽封底混凝土作为防撞体, 厚 5.5 m, 低标高为 -12.5 m; 承台底中间设 3 m 厚封底混凝土,

底标高为 -10 m。由于封底混凝土厚度不均, 钢吊箱底板为异型结构, 呈“头盔状”。防撞体处钢吊箱细部构造见图 3 所示。

(2) 底板面积大, 其上设置纵横向加劲桁架, 确保首节钢吊箱底板的整体刚度; 加劲桁架埋设在封底混凝土内, 可增强封底混凝土与承台结构的整体性, 同时对封底混凝土加劲, 以提高抵抗船舶撞击能力。

3.3 结构分析计算

根据施工工艺过程分析, 钢吊箱结构计算分为 6 个工况, 采用空间有限元模型, 见图 4、图 5 所示。

工况一: 第 1 节用 16 台千斤顶同步下放时;

工况二: 钢吊箱下沉到位时;

工况三: 浇水下封底混凝土 5.5 m/3.0 m (底板、拉杆控制工况);

工况四: 抽水 (壁体、封底混凝土控制工况) 在高水位 (+4.3 m) 的情况下;

工况五: 浇第 1 层承台 3.0 m 厚;

工况六: 第 3 层承台浇筑后, 钢吊箱内加二次撑, 内钢管支撑拆除时整体结构计算。

经过计算表明, 首节钢吊箱下放时, 各千斤顶有 10 mm 不同步时, 最大吊点力为 2 482 kN; 单个千斤顶失效, 最大吊点力为 3 410 kN, 6 个工况下吊箱结构强度、刚度和稳定性满足施工阶段的受力要求。封底混凝土的强度满足受力要求。计算结果见表 1。

4 钢吊箱施工

4.1 施工流程

总体施工流程见图 6 所示。

4.2 关键施工技术

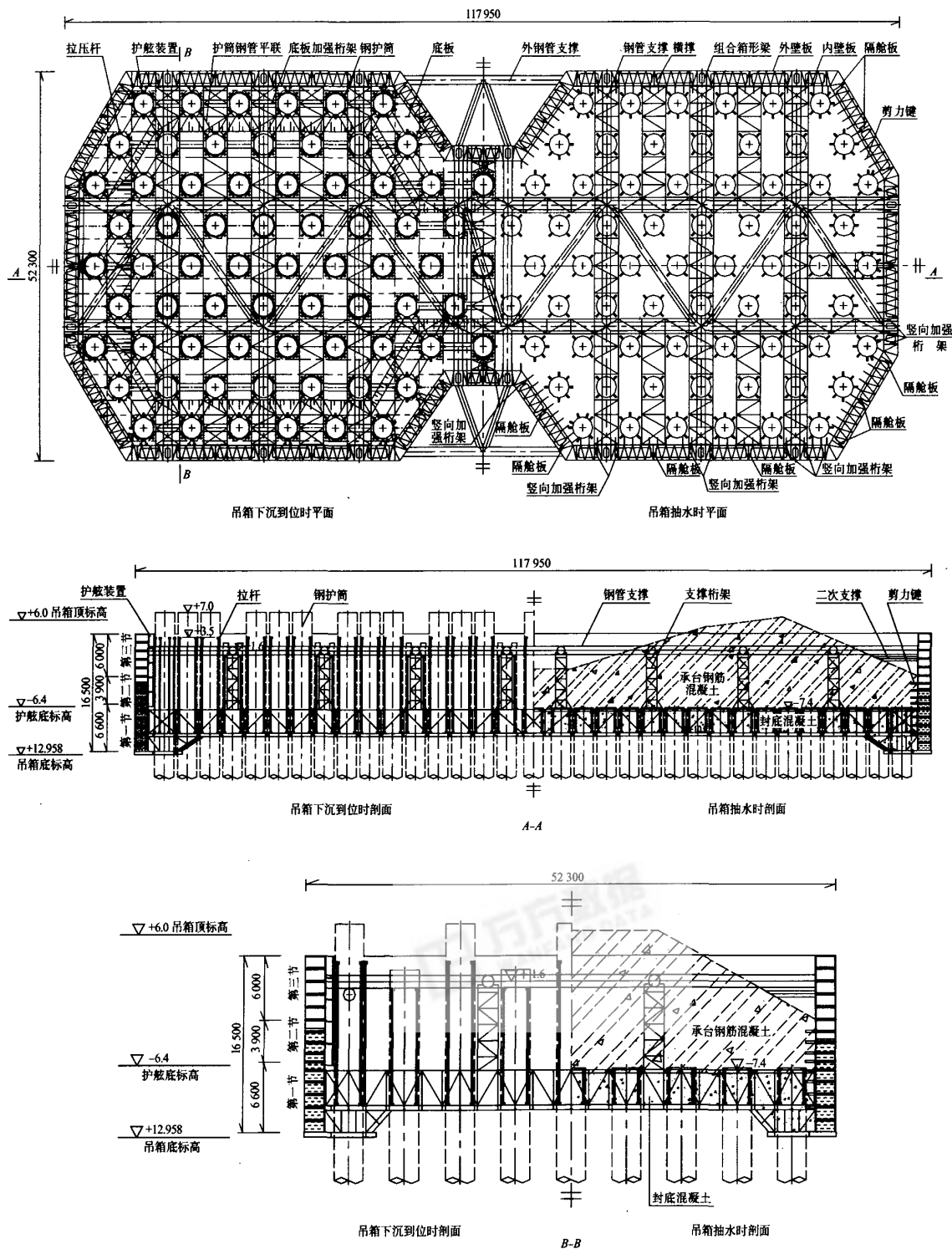
4.2.1 首节钢吊箱制作

主 4 号墩钢吊箱底板采用工厂分块加工, 起重设备现场拼装施工, 见图 7 所示。在钢护筒上设置钢牛腿及支撑梁, 以此为支撑面, 先拼装钢吊箱周边底板底层及竖杆, 后拼装中间底板。面板穿过钢护筒时割孔半径为 3 150 mm, 较钢护筒直径放大 300 mm。

4.2.2 首节钢吊箱下放

(1) 下放方案比选。

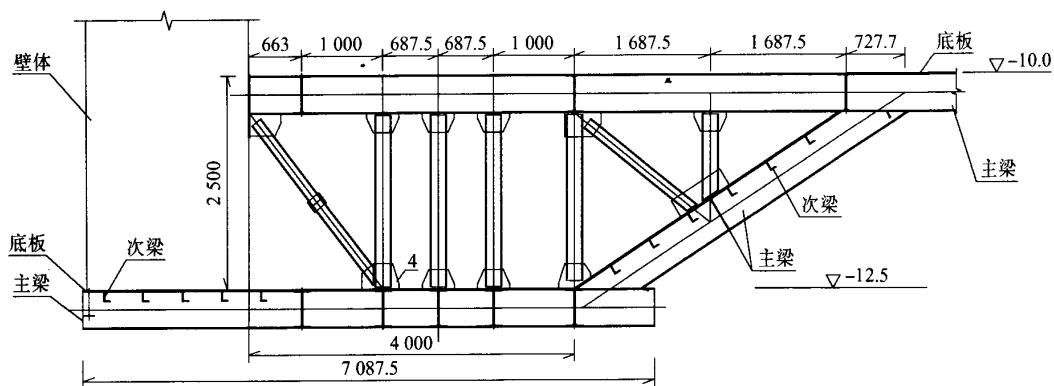
钢吊箱结构尺寸和重量都远远超过了以往国内基础施工用钢吊箱, 在综合分析当前国内各领域巨型结构的安装经验后, 提出了以下两种方案。



单位:mm
图 2 钢吊箱结构

方案一:采用 3 000 t 级以上的大型浮吊整体
安装;

方案二:采用多台连续式千斤顶整体下放。
方案一,采用大型浮吊整体安装钢吊箱属国内



单位:mm

图3 防撞体处钢吊箱细部构造

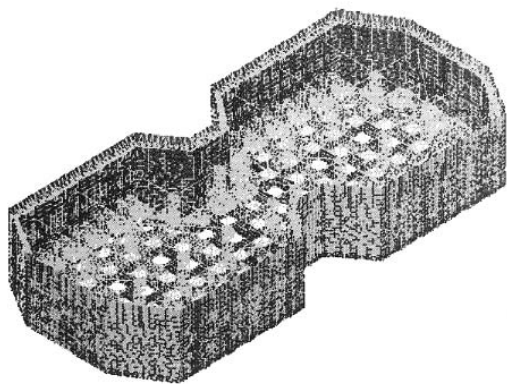


图4 钢吊箱整体计算模型

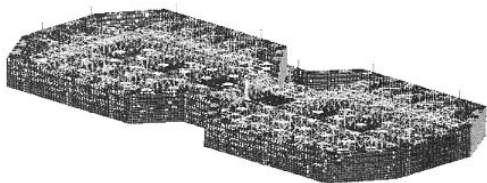


图5 首节钢吊箱计算模型

较为成熟的工艺,均成功应用在润扬大桥、南京三桥等主塔基础施工中,但对于北主墩基础首节钢吊箱,存在很多问题,国内没有起重能力在3 000 t以上的浮吊,要从国外租赁,使用成本很高;采用8点起吊钢吊箱,经过技术分析,现有结构的受力和变形不能

表1 计算结果

工况	钢绞线拉力 kN	拉杆应力 MPa	底板主梁应力 MPa	底板变形 mm	壁板应力 MPa	壁板变形 mm	底板桁架/钢管支撑应力 MPa	封底混凝土应力 MPa
工况一	3 410	/	-113	46.8	111	/	-93.9/	/
工况二	/	/	-78.1	6.6	131	/	-54.8/	/
工况三	/	143	163	15	/	/	/	/
工况四	/	/	/	/	155	23	/-58.8	2.28/-3.91
工况五	/	/	/	/	50	7.3	/-11.5	0.48/-4.3
工况六	/	/	/	/	125	7.4	/	/

满足要求,需要对结构进行补强。

方案二:可增加下放的吊点,确保结构受力和变形。最大的问题在于解决千斤顶下放的同步性,经过调研,一套操作系统可同时控制多台千斤顶同步工作,各吊点的不同步性误差对结构影响不大,技术上是可行的。

通过比较,决定采用方案二实施首节钢吊箱的下放。

(2)下放系统组成。

采用HVM—LSD主从随动液压提升系统同时控制16台450 t液压千斤顶整体下放,该下放系统的特点在于工作的连续性与同步性,多台LSD型千斤顶在泵站及控制系统的控制下,将钢吊箱平稳地下放到预定位置。HVM—LSD液压系统采用4台LSDB液压泵站,每个泵站可控制4台千斤顶。为保证千斤顶各油缸动作的协调与统一,4个泵站与

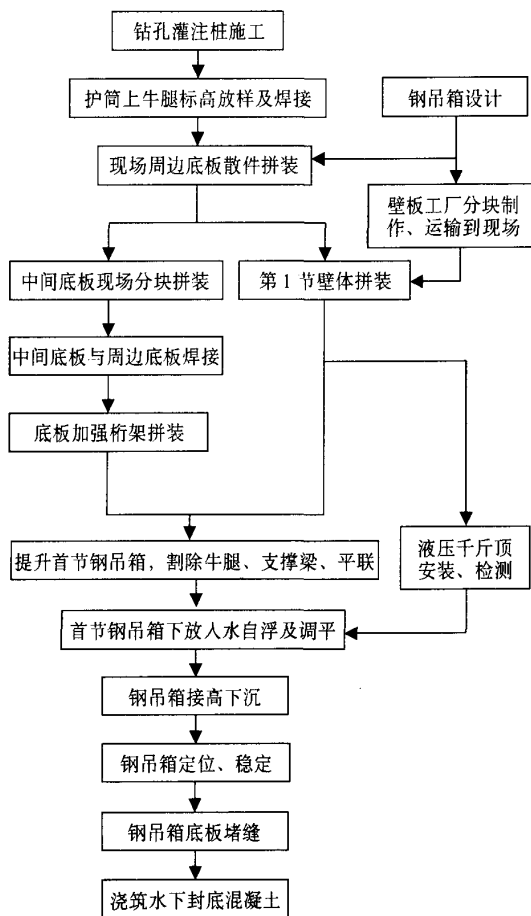


图6 钢吊箱总体施工工艺流程



图7 钢吊箱现场拼装

千斤顶的动作协调是通过1台LSDKC主控台来完成的。为保证安全下放,在千斤顶下端安装安全夹持器,在下放过程中当系统出现故障时,利用夹持器实施人工锚固,以便更换设备或排除故障。

操作由DL-P40计算机控制系统进行。控制

系统采用CAN网络,在千斤顶、液压泵站、计算机控制系统之间进行数据传输。由于钢套箱壁结构抗弯刚度较大,相邻吊点间若有10 mm的位移偏差就会致使千斤顶受力重新分布达35%,因此,对各千斤顶间同步工作性能的要求很高,否则就可能造成套箱结构或千斤顶出现超载现象。千斤顶的单个行程及其累计行程则由DL-P40计算机控制系统记录,并指示液压泵站调节油量,控制千斤顶运行速度,保证所有千斤顶同步工作,控制系统示意图8所示,千斤顶系统见图9所示。控制标准为相邻吊点的不同步 <10 mm。

(3)下放系统控制原理。

在千斤顶、泵站和控制台安装到位后,将钢绞线的一头穿过千斤顶、安全夹持器后安装接头,使安全夹持器处于打开状态,下放钢绞线,锚固在钢吊箱底板。下放前先根据各千斤顶在吊箱平衡下放时的荷载进行逐一预拉。所有的千斤顶预拉后,锁紧下夹持器,将主顶活塞向下缩回到统一的高度位置,作为整个系统的下放起点。将吊箱提起3~5 cm,检查吊箱上的锚固点及千斤顶夹持器的锚固和吊箱结构是否正常,检查无误后开始下放。

钢吊箱下放时,先由千斤顶的下夹持器夹紧钢绞线,主顶活塞向上前进,活塞到位后夹紧上夹持器,主顶活塞继续向上前进3 cm,打开下夹持器,主顶活塞向下回缩,钢吊箱下放,主顶活塞回缩到位后,下夹持器再次夹紧钢绞线,完成一次下放循环。通过液压系统周而复始的动作,使钢吊箱下放到预定的位置。下放时液压泵站是千斤顶的动力源,由于每台泵站供给各个千斤顶的油量相等,且在千斤顶上装有行程开关,因而各千斤顶具有良好的同步性能。此外,在吊箱的壁体上设置若干个高差测量计并配备水准仪,随时观察吊箱下放的同步性,当发现某点的标高超过最大允许偏差时,立即对系统进行调整,以保证吊箱的平衡下放。

(4)沉放步骤。

①启动控制系统,收紧所有钢绞线,使其受力均匀一致;

②顶升千斤顶,当钢吊箱吊离钢牛腿10 cm后停止顶升;

③拆除吊挂钢牛腿及其他有碍下沉的构件;

④反向操纵千斤顶,使钢吊箱平稳下落,直至走完千斤顶行程,钢绞线自锁;

⑤顶升千斤顶(此时钢绞线已自锁、钢吊箱不

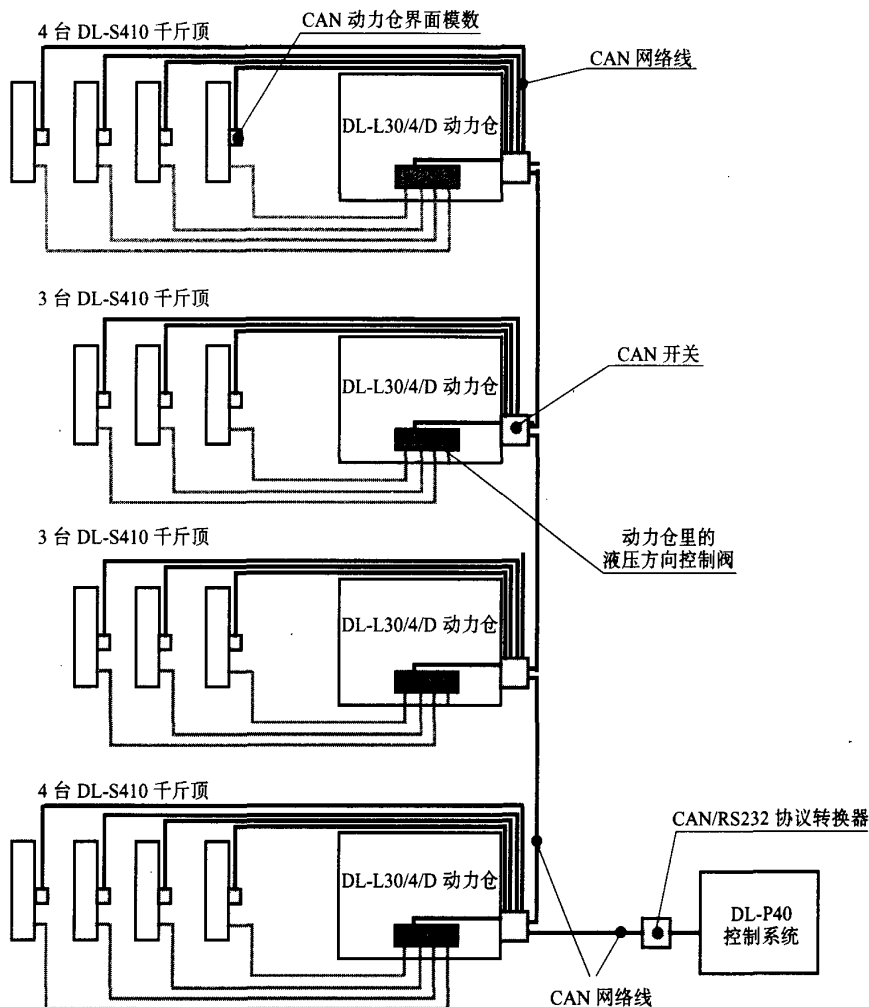


图8 控制系统

随之上升)到位后,钢绞线开锁;

⑥ 重复④~⑤的操作,直至钢吊箱入水自浮后,收紧钢绞线。

首节钢吊箱下沉示意如图10所示,首节钢吊箱下沉到位见图11。

在首节钢吊箱入水自浮后,收紧钢吊箱定位用卷扬机及手拉葫芦,拆除千斤顶等下放设备。

4.2.3 钢吊箱的接高下沉

钢吊箱分3次接高下沉。钢吊箱水上接高采用桅杆吊和浮吊船进行对称分块拼装,壁体内对称均匀注水下沉。

4.2.4 钢吊箱的调整定位

(1)平面控制。

钢吊箱平面控制包括以下两个方面。①粗控。钢吊箱平面位置粗控是通过在钢吊箱壁体内壁板与

最外围钢护筒间设置导向装置(橡胶护舷)来实现。在每节钢吊箱壁体内壁板顶面10 cm以下设置D型H200×2000橡胶护舷,橡胶护舷底板焊固在钢吊箱壁体内壁板上。在钢吊箱壁体内壁板同一标高平面位置周围共布置28个橡胶护舷。导向装置平面布置见图11所示。②精控。钢吊箱平面位置控制主要是通过吊箱外4台8 t卷扬机和4台5 t卷扬机系统实现,同时在上下游的平台设置8台20 t手拉葫芦,在平台的四周(标高为+2.00 m)布设16台32 t的螺旋千斤顶,作为卷扬机调整的补充。上述设备所构成的钢吊箱平面位置调整系统,用以对钢吊箱下沉过程及下沉到位后的平面位置及倾斜度进行精确调整。定位系统布置见图12所示。

(2)标高及垂直度控制。

在平面控制的同时进行标高控制,钢吊箱标高

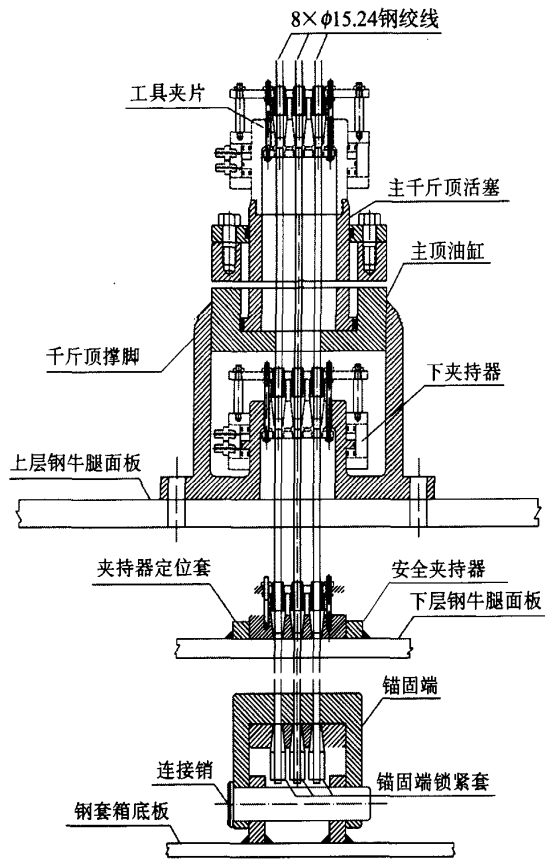
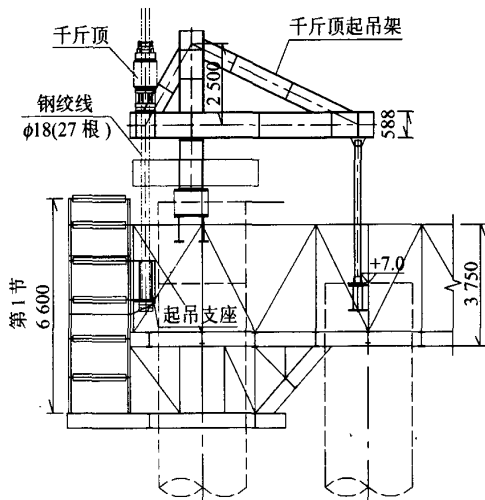
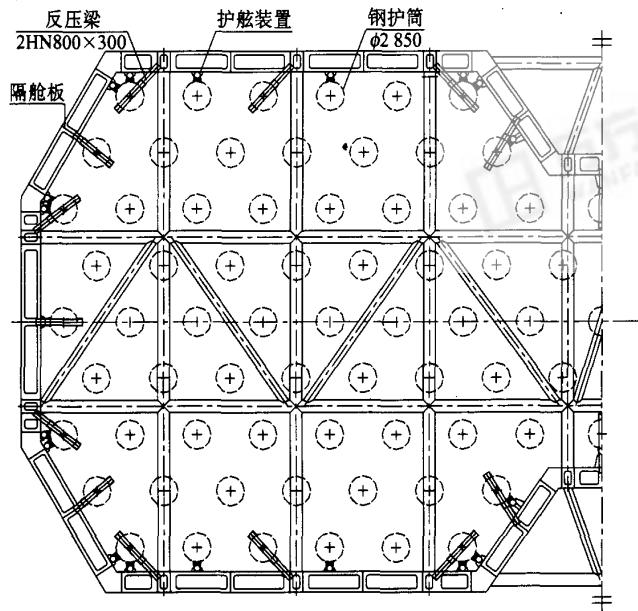
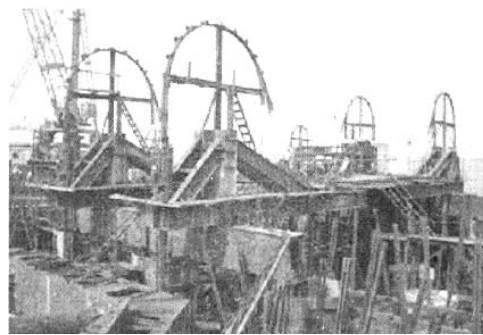


图 9 千斤顶立面安放示意

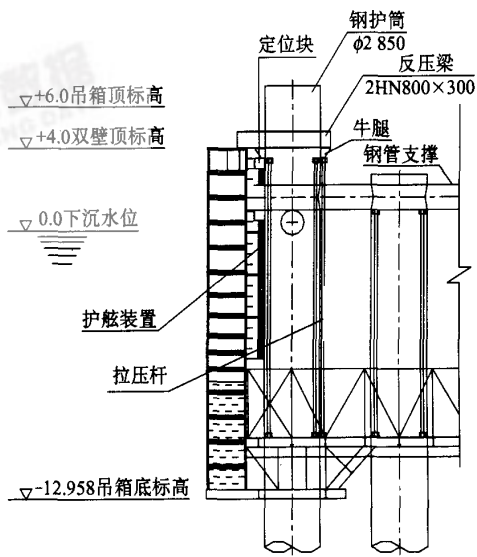


单位:mm

图 10 首节钢吊箱下放示意



吊箱下沉到位时平面



吊箱下沉到位时立面

图 11 导向装置平面布置及结构

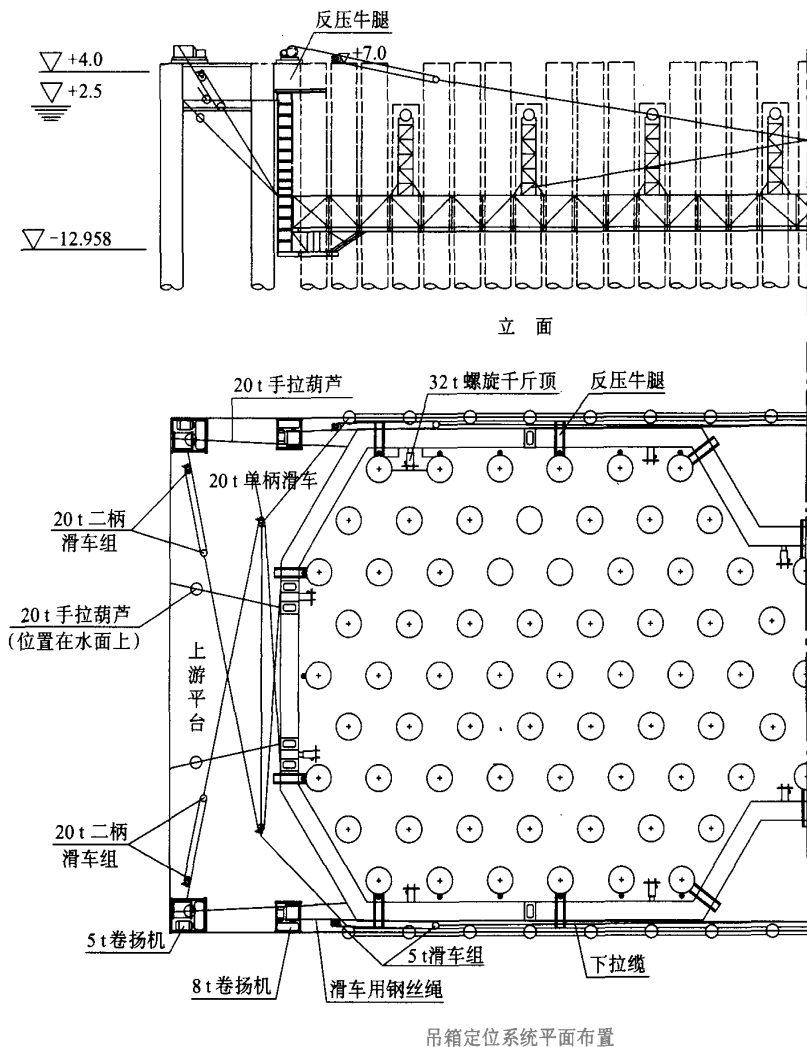


图 12 钢吊箱定位系统设置

控制主要是通过向夹壁内注水来进行调整,当钢吊箱标高到位后,在钢吊箱四周尽快安装反压牛腿。在涨潮时,待潮位达到平均潮位差的一半时,经注水调整至设计标高,使其钢吊箱顶口略为顶压反压牛腿下表面,钢吊箱顶口与反压牛腿进行焊接。钢吊箱在定位完成后,将上拉杆上口端与钢护筒的铰支座连接,完成钢吊箱定位及受力转换。

5 首节钢吊箱沉放控制

为了更好地掌握首节钢吊箱在下放过程中每台千斤顶及吊箱的受力情况,以便及时进行调整,在每台千斤顶下方吊耳板表面、底板主梁及其他应力较大的位置贴应变片,对钢吊箱实际受力及变形情况进行监测,以便调整千斤顶的受力。同时,安装部分

传感器,作为钢吊箱下放、抽水、承台施工时各时段的受力监控。

首节钢吊箱开始下沉时,千斤顶略为顶起钢吊箱,检查每个千斤顶的受力情况,并通过控制台手动操作对单一千斤顶进行调整,使每台千斤顶最大受力不超过该点理论计算荷载的120%。在下放过程中如因水流、波浪或未进行匀速下放而造成千斤顶的受力不均,使某一千斤顶出现受力过大的情况,应及时停止,重新调整后继续下放。

首节钢吊箱整体起吊下放监测结论如下。

(1)从现场实测结果分析,各起吊支座受力不完全相同,但构件强度有足够的安全储备。在100%荷载作用下,观测到的最大压应力为19.10 MPa,最大拉应力为33.75 MPa;调平后的最大压应力为

文章编号: 0451-0712(2006)01-0041-03

中图分类号: U448.216

文献标识码: B

红星街桥——连续梁拱组合体系桥的设计简介

朱英磊, 王国安

(石家庄铁道学院土木分院 石家庄市 050043)

摘 要: 红星街桥, 上部结构型式为上承式连续梁拱组合体系, 该桥具有节省材料、降低造价、对地基要求低、适应性强、施工工艺简单、外形美观等优点。主要介绍该桥设计构造上的一些特点, 可为同类桥型的设计提供有益的借鉴。

关键词: 梁拱组合桥; 设计

中小跨径混凝土拱桥由于节省材料、施工技术要求不高、能充分发挥混凝土受压性能等优点, 因而造价低廉。但在平原及软土地基上, 有两个主要问题限制了混凝土拱桥的应用: 一是在满足通航净空要求的同时要压缩引道长度或降低填土高度; 二是超静定拱桥对地基要求较高。为了有效解决上述问题, 可以在桥梁的结构型式上采取措施, 其中梁拱组合体系桥是目前发展较快的一种桥型, 是一种经济、实用、美观的桥型, 在我国南方某些地区已有一些应用的实例, 但在北方地区应用还很少。

收稿日期: 2005-11-20

26.81 MPa, 最大拉应力为 43.20 MPa。

(2) 底板主梁的结构强度有较大的安全储备, 在 100% 荷载作用下最大压应力为 15.74 MPa, 最大拉应力为 34.71 MPa; 调平后最大压应力为 20.79 MPa, 最大拉应力为 52.88 MPa。

(3) 桁架结构强度也有一定的安全储备, 在 100% 荷载作用下最大压应力为 57.80 MPa, 最大拉应力为 37.57 MPa; 调平后最大压应力为 98.11 MPa, 最大拉应力为 38.75 MPa。

(4) 从总体上看, 加强桁架对维持钢吊箱刚度和稳定具有重要的作用。

6 结语

苏通大桥北主墩钢吊箱从现场底板制作到分节

1 工程概况及主要技术指标

1.1 工程概况

红星街桥是滹沱河石家庄市区段防洪工程及河道生态恢复汉河整治一期工程中的一个重要组成部分。该桥位于石家庄市北部, 规划红星路跨汉河处, 与汉河正交, 设计常水位高 71.50 m。设计勘察最大深度 30 m 范围内所揭露的地层主要为冲积形成中砂及砂砾。由于设计水位较高, 并对该桥的景观设计有一定要求, 且需降低造价, 故采用了连续梁拱组合体系桥型, 以满足各方面的要求。

全桥总体布置见图 1 所示。

下沉定位总历时 3 个月。平面位置和高程分别控制在 ± 100 mm、 ± 50 mm 以内, 满足规范要求。采用了国际上先进控制系统同时驱动 16 台千斤顶整体下放 3 000 t 首节钢吊箱, 克服了江中风大浪急及过往船舶等不利条件, 高质量安全地完成了吊箱的定位, 这在世界上尚属首例, 对桥梁基础施工极具推广意义。

参考文献:

- [1] 河海大学. 苏通大桥主 4 号墩特大型钢吊箱施工安全监测成果分析报告[R]. 2005.
- [2] 武汉港湾工程设计研究院. 苏通长江公路大桥(C1)标 4 号墩钢吊箱设计计算书[Z]. 2004.