

文章编号: 0451-0712(2006)03-0068-07

中图分类号: U445.466

文献标识码: B

东海大桥箱梁悬臂施工方案

周先念, 宋超, 聂文英

(路桥华东工程有限公司 上海市 200135)

摘 要: 介绍了东海大桥箱梁施工工艺, 重点介绍了与内陆箱梁悬臂施工的不同之处, 为以后海上箱梁施工提供可借鉴的施工经验。

关键词: 东海大桥; 箱梁; 挂篮; 台风; 真空压浆

1 工程概况

东海大桥是上海国际航运中心的集装箱深水港必不可少的配套工程, 直接为港区大量集装箱陆路集疏运和港区供水、供电、通讯等工程服务。大桥起始于上海市南汇县芦潮港镇客运码头往东约 4 km 南汇咀处, 跨越杭州湾北部海域, 直达浙江省嵊泗县崎岖列岛的小洋山岛, 长约 31 km, 经小乌龟、大乌龟、颍珠山和小洋山等岛屿。

东海大桥三座副航道孔桥梁采用多跨预应力混凝土箱形连续梁, 孔跨组合分别为: K6 航道桥 70 m + 120 m + 120 m + 70 m (500 t 级), K12 航道桥 80 m + 140 m + 140 m + 80 m (1 000 t 级), K24 航道桥 90 m + 160 m + 160 m + 90 m (500 t 级)。设计为分离式上下行两幅桥, 每幅箱梁均为独立的单箱单室断面, 箱梁顶横坡约为 2%; 纵向箱梁梁高由根部向跨中按二次抛物线变化。0 号块采用支架或托架施工, 箱梁块段采用挂篮对称悬浇施工, 主桥箱梁设计为预应力混凝土结构, 采用纵向、横向、竖向三向预应力体系。

东海大桥工程主要有以下特点。

(1) 在施工过程中除受大风限制和台风侵袭外, 还受雷暴、大雾、高温及严寒气候及潮汐等恶劣自然条件的影响。一年中平均有效施工作业天数仅为 210 d 左右, 严重地限制了工程的正常作业。

(2) 海上作业需要船舶多, 且部分处于航道区域, 来往船只频繁, 施工组织难度很大, 必须精心有序地组织安排施工, 统一合理地配置资源。

(3) 海区自然条件恶劣, 施工中不确定风险因素

较多, 施工风险较大。

2 海上连续梁悬浇施工总体方案

(1) 0 号块施工。

0 号块施工采用支架现浇, 同时将 0 号块支架作为箱梁的临时锚固体系。

(2) 挂篮悬浇施工。

用自行设计制造的轻型挂篮悬臂浇注, 挂篮拼装件采用型钢和钢板加工, 驳船运至施工现场, 利用塔吊起吊至 0 号块上拼装成型; 挂篮拼装完毕后, 进行加载试验, 以检查挂篮的可靠性。在施工过程中严格控制非对称荷载, 以保证结构安全。

(3) 非对称块段施工。

为了减少直线段施工支架的搭设长度, 在边跨设置非对称块段, 非对称块段在中跨合拢并张拉合拢段部分预应力束后, 方可前移挂篮进行施工。

(4) 直线段施工。

直线段采用支架现浇, 在支架设计时, 必须考虑在边跨合拢时, 直线段在支架上能自由滑移; 另外, 必须在非对称块段预应力束张拉完成后, 根据非对称块段的实际线形确定直线段的线形。

(5) 合拢段施工。

合拢段采用吊篮施工, 合拢顺序为先中跨后边跨。

3 连续梁悬浇施工设计

3.1 0 号块施工支架设计

0 号块施工支架设计时, 既要满足 0 号块施工的

要求,又要达到连续梁在施工过程中箱梁的临时锚固要求。

3.1.1 设计思路

由于钢管结构的抗压及稳定性较好,支架设计采用钢管结构,如图1所示。0号块支架主要由钢管预埋件、支撑钢管及钢管平联、牛腿、斜撑、纵横梁、钢桁片、临时支座及支座锚固筋组成。

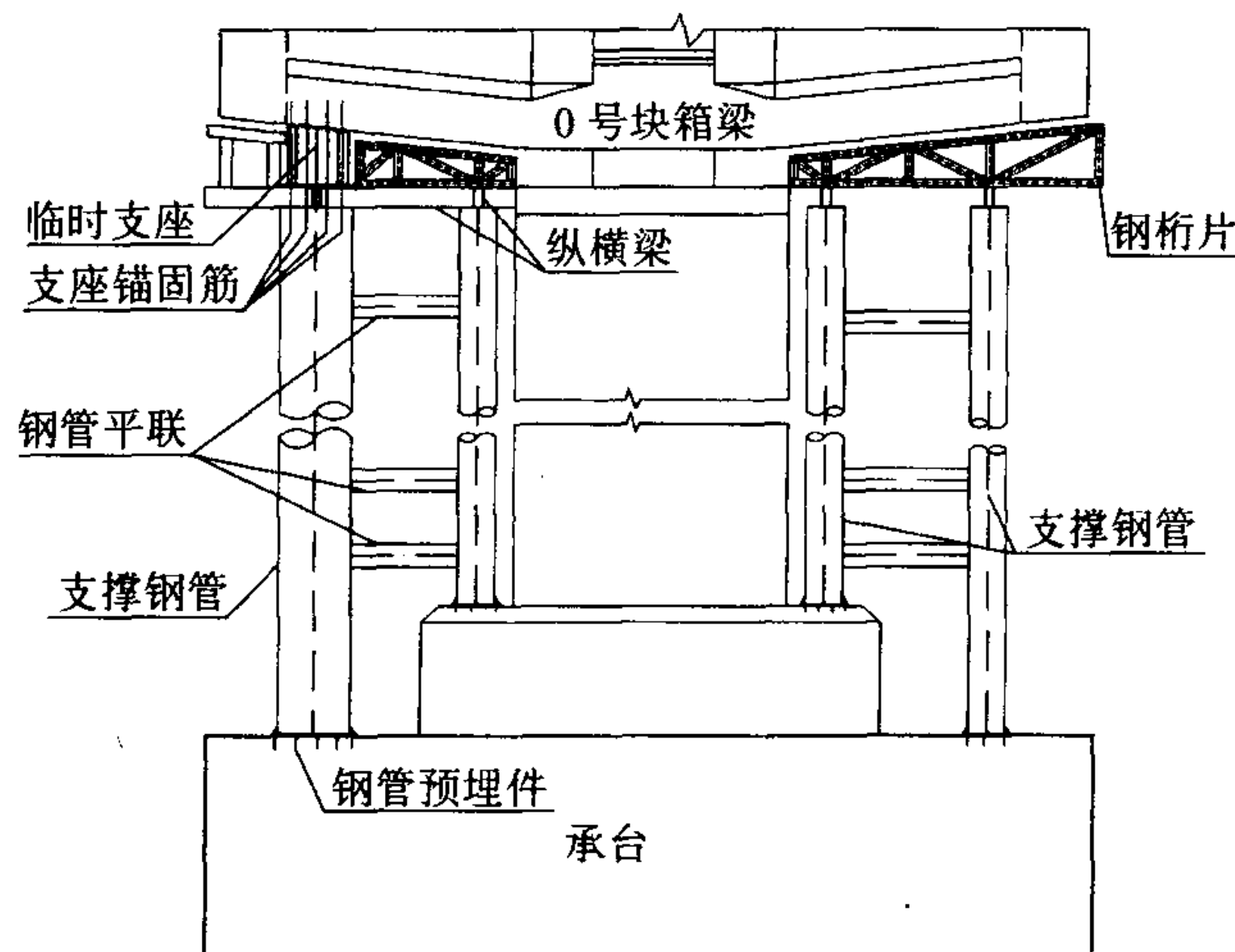


图1 0号块施工支架

3.1.2 设计荷载

0号块支架设计,主要考虑以下荷载:

- (1)0号块箱梁自重,通常还需考虑1.05的胀模系数;
- (2)0号块箱梁施工模板及模板支撑体系的重量;
- (3)风荷载;
- (4)支架结构自重;
- (5)箱梁块段施工过程中最大不平衡弯矩。

3.1.3 注意事项

- (1)0号块内模、外模支架及拉杆。

由于0号块箱梁采用一次浇注,内外模支架较高,在混凝土未浇注之前,支架处于最不利的状态,需进行抗风稳定计算。拉杆设计由混凝土的侧压力控制。

- (2)钢管桩底部与承台锚固。

钢管桩底座预埋件预埋在承台内,用于支撑钢管的底脚锚固,锚筋采用 $\phi 25$ 的精轧螺纹粗钢筋,锚筋外套PVC管。

- (3)临时支座。

临时支座采用由钢板制作而成的钢箱,设在钢管桩顶,在箱梁悬浇施工过程中作为箱梁不平衡荷载的主要传力结构,由块件施工中的最大不平衡弯

矩控制设计。

- (4)支座锚固筋。

支座锚固筋采用 $\phi 32$ 精轧螺纹粗钢筋,通过张拉将支撑钢管与箱梁连接成整体。

3.2 挂篮设计

3.2.1 挂篮选型

- (1)主桥箱梁主要结构特点见表1。

表1 三座桥梁主要结构特点

桥位	箱梁块段 最大重量/t	箱梁块段 最大高度/m	箱梁块段 最大长度/m
K6 航道桥	183.6	6.534	4.5
K12 航道桥	173.2	7.479	4.5
K24 航道桥	199.4	8.979	4.0

- (2)挂篮选型。

根据箱梁结构及海上施工特点,并结合我公司在其他同类型桥的施工经验,设计采用我公司自行研制的菱形挂篮进行箱梁悬臂浇注施工,菱形挂篮重69.5 t(包括模板系统)。

3.2.2 挂篮构造

K6、K12及K24桥挂篮的组成部分基本上相同,挂篮主要由主桁承重系统、底篮及悬吊系统、后锚及行走系统、模板系统等四部分组成,总体布置见图2所示。

3.2.3 挂篮设计验算

- (1)设计参数确定。

箱梁混凝土自重: 2.6 t/m^3 ;

模板重:外侧模及侧模架取 80 kg/m^2 ,内侧模、内模架及顶模板取 70 kg/m^2 ,底模板取 60 kg/m^2 ;

施工人员和材料等堆放荷载: 250 kg/m^2 ;

振捣对水平模板产生的荷载: 200 kg/m^2 ;

胀模系数取1.05;

混凝土超载系数:1.05;

抗倾覆系数:1.50;

挂篮空载纵移时的冲击系数:1.30;

浇注混凝土时的动力系数:1.2。

- (2)计算内容。

挂篮计算内容包括:①主桁的应力及前端最大竖向位移;②上前横梁在最大受力时的应力及跨中最大竖向位移;③上中横梁在挂篮行走时最大竖向位移;④底篮前横梁最大竖向变形;⑤底篮后横梁最大竖向变形;⑥吊带最大伸长量;⑦桁架纵梁最大变形;⑧底篮前横梁最大局部竖向位移。

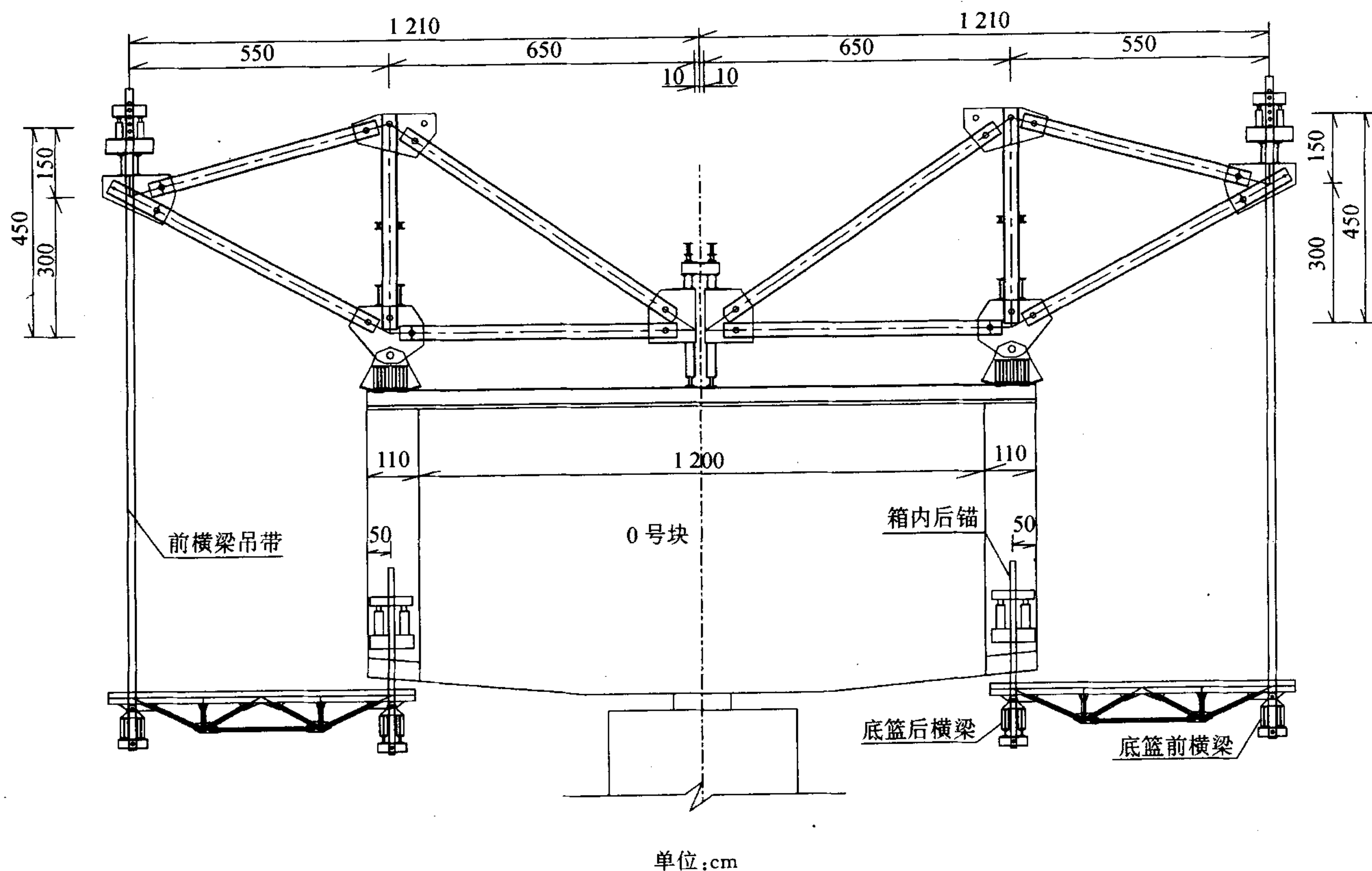


图2 菱形挂篮总体布置示意

要求结构计算应力不能超过材料的允许值,最大变形不能超过施工技术规范要求。

(3) 刚度验算结果。

主桁前端最大竖向位移为6.7 mm,上前横梁在最大受力时底跨中最大竖向位移为2.7 mm,上中横梁在挂篮行走时最大竖向位移为5.1 mm,底篮前横梁最大竖向变形为0.4 mm,底篮后横梁最大竖向变形为1 mm,吊带最大伸长量为2.3 mm,底篮前横梁最大局部竖向位移为9.4 mm,桁架纵梁最大变形为2.4 mm。

3.3 直线段箱梁施工支架设计

支架设计时,既要考虑直线段箱梁施工的要求,又要考虑在边跨合拢时直线段箱梁能在支架上滑移。

3.3.1 设计思路

海上连续梁边跨现浇施工支架的设计思路与常规内河桥直线段施工支架的设计思路主要存在以下区别:

(1) 施工支架难以在海中搭设,而且难以保证支架的可靠性,因此只能利用边墩承台搭设支架;

(2) 若采用三角形托架作为施工支架,方案上可行,但需在墩身上预埋大量构件,这样会影响墩身的

外观质量,同时施工完成后,还需要对预埋件部位进行防腐处理;

(3) 为了保证箱梁能自由伸缩,必须考虑直线段箱梁在边跨合拢时能在支架上自由滑移。

3.3.2 设计计算

综合考虑了各种施工荷载及不利组合,设计中对支架进行了以下计算:(1) 计算模板的变形和应力;(2) 分配梁的计算;(3) 纵梁的计算;(4) 支撑钢管的计算,主要进行应力及稳定性验算。

4 0号块施工

在海洋环境中,为了提高结构的防腐能力,尽量减少施工缝,因此0号块箱梁采用一次性浇注施工。

4.1 0号块支架搭设及模板安装

0号块支架也是箱梁悬浇临时支座支撑架,即该支架在0号块施工过程中作现浇托架用,在箱梁悬浇施工过程中作临时锚固体体系。墩身施工完毕模板拆除后,安装0号块支架,由于采用一次性现浇施工,外模拉杆及支架的可靠性极其重要。

4.2 0号块箱梁施工

(1) 钢筋绑扎及预应力束安装。

0号块支架搭设及模板复测完成后,开始绑扎

钢筋。首先进行底板、腹板和横隔墙钢筋绑扎,同时穿插安装腹板及横隔墙内的竖向预应力筋,待内模、横隔板模板及顶模安装完成后,立即进行顶板钢筋绑扎及纵横向预应力束安装。

钢筋绑扎及预应力束安装应注意以下事项。

①钢筋保护层垫块采用锥形、抗老化性能好、抗压强度大于50 MPa的工程塑料。根据海港钢筋混凝土构件保护层垫块设计要求,保护层垫块按4个/m²布设,保护层垫块设在钢筋交叉点处,同时要求该钢筋交点处点焊。必须确保箱梁净保护层厚度符合设计要求:箱梁内侧及顶板上层钢筋不小于30 mm,其余不小于40 mm。

②预应力束的下料长度应满足张拉要求,预应力束的切割采用砂轮机。

③预应力管道安装前应做抗渗透试验,波纹管与锚垫板接头处用胶布缠裹严密,确保不漏浆。

④预应力管道必须按要求设置定位筋,保证管道顺直和位置准确,混凝土振捣时,应尽量避免振捣棒碰撞预应力管道,以免产生漏浆现象。

(2) 安装预埋件。

混凝土浇注前,必须注意预埋件的安装,根据海上桥梁施工要求,所有预埋件的埋设必须避免形成腐蚀通道。

(3) 浇注0号块箱梁混凝土。

按规范要求将分层混凝土厚度控制在30 cm左右,并要均匀布料,不得堆集。混凝土每浇注一层,必须由专人负责检查模板支架及拉杆,必须保证拉杆受力均匀;若发现问题,应停止浇注并及时处理。

由于0号块钢筋及预应力管道较密,振动棒不能碰振波纹管,同时还必须保证管道四周混凝土振捣密实。

混凝土浇注完毕后,应及时用通孔器检查管道是否畅通,如遇有堵管应及时将管道清理通畅。

(4) 混凝土养护。

混凝土浇注完成至初凝阶段采用喷雾养生;混凝土初凝后在混凝土顶面铺湿麻袋或土工布,并洒水养生15 d;要求在混凝土洒水养生期间,必须始终保持混凝土表面处于湿润状态;若遇突然降温,应加强混凝土的保温养护;在气温较低的季节施工,则按“冬季混凝土施工方案”进行养护。

(5) 0号块预应力束(筋)张拉。

0号块箱梁为三向预应力体系,纵向悬臂束由高强低松弛钢绞线组成大吨位群锚体系,钢束采用

φ15.24 钢绞线,标准强度 $R_y^b=1\ 860$ MPa,竖向预应力筋为高强精轧螺纹粗钢筋,钢筋标准强度 $R_y^b=750$ MPa;箱梁翼板设横向预应力束,均采用φ15.24 低松弛钢绞线,采用两端张拉。

由于东海大桥特殊的气候环境,空气湿度大、含盐高,预应力束(筋)容易锈蚀,因此,三向预应力束(筋)在符合张拉条件后要及时张拉和压浆。

(6) 压浆。

张拉完成后,尽快组织孔道压浆施工。三向预应力管道均采用真空压浆,真空压浆原理如图3所示。

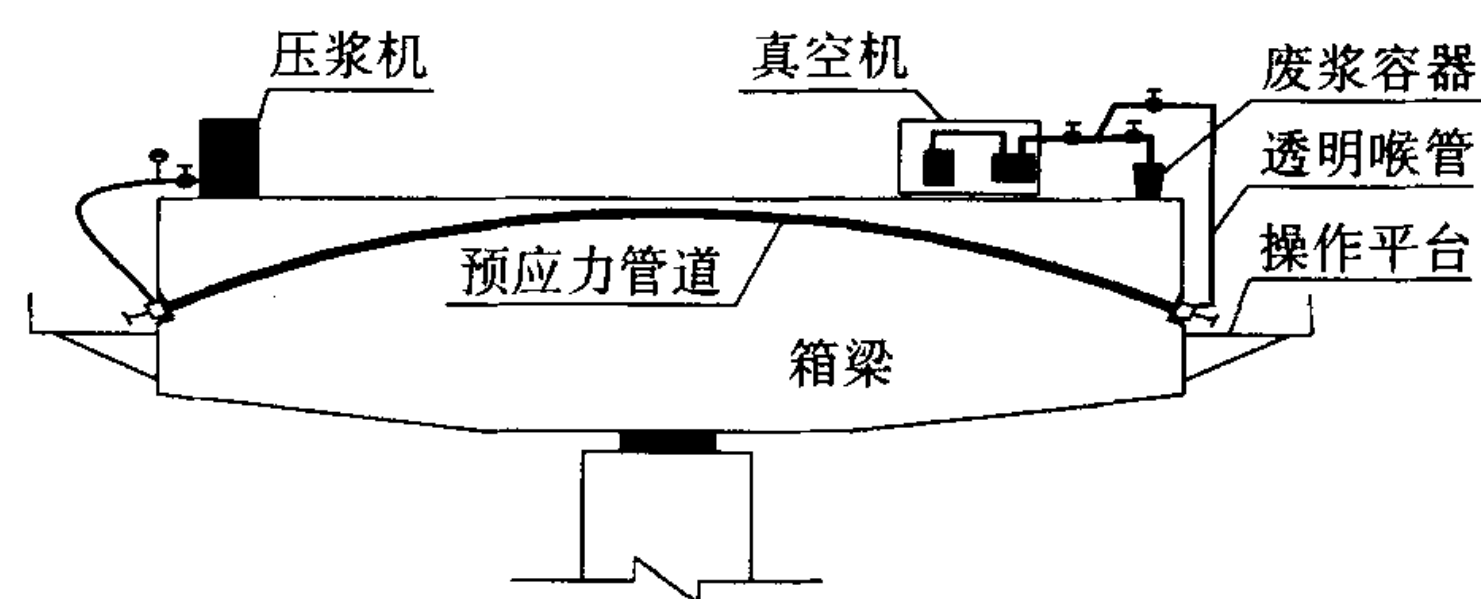


图3 真空压浆原理示意

5 挂篮悬浇施工

5.1 挂篮拼装与加载试验

挂篮组件由海中运输船运至墩位后由塔吊起吊至0号块顶面进行组拼,挂篮的组拼由塔吊配合完成。

挂篮结构的拼装顺序为:测量放样后,依次安装轨道、主桁系统、悬吊系统、底篮系统及模板系统。

在行走轨道上安装前支腿轨道,安装后行走轨道采用扁担梁锚固,安放挂篮主梁的前、后支腿。

安装主梁,施加主梁后锚,安装主梁平联及行走小车,安装立柱、立柱平联及斜拉带,然后安装主桁中横梁及前横梁。主桁系统拼装完成后,主梁、立柱和斜拉带采用千斤顶顶紧,消除非弹性变形。为加强挂篮的整体性、牢固性,立柱平联应与立柱焊接,主梁平联及中横梁应与主梁焊接,然后安装吊带。

内外模均利用已浇0号块的内外模,通过内外模滑梁前移就位。

挂篮加载试验拟采取“水箱加载法”进行,水箱悬挂于底篮前横梁上,以水箱和水的自重作为试验荷载,采取逐级递增加载逐级测量的试验方法。加载总重量为最重块段重量的1.25倍。水箱加载布置见图4所示。

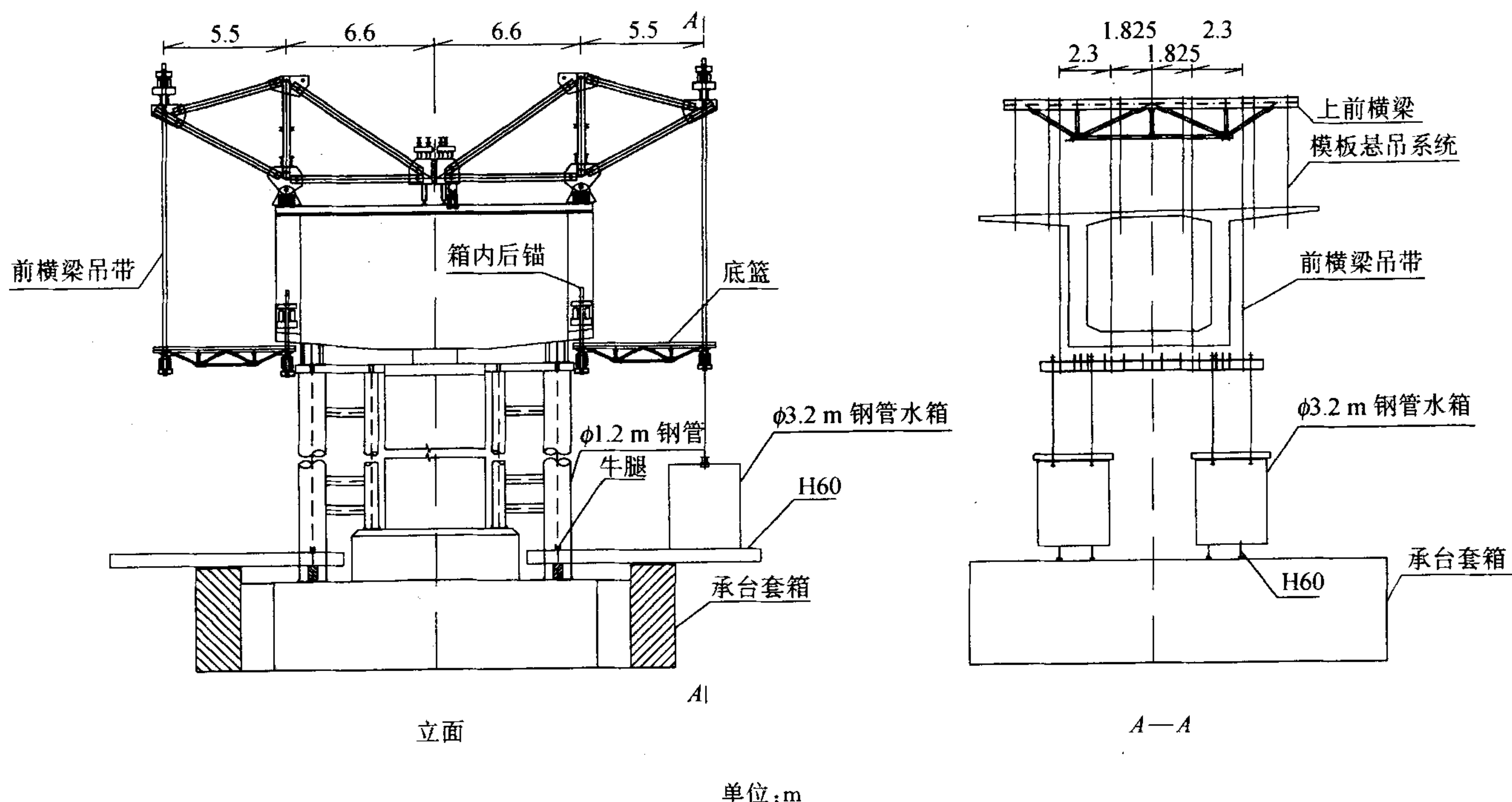


图 4 水箱加载布置示意

利用底篮拼装平台作为挂篮加载试验的操作平台。在平台上放置水箱,一只挂篮共设置 2 个水箱,一个水箱上设置两个吊点。水箱与底篮之间用 2 根精轧螺纹钢筋连接,在未加水前用千斤顶提升水箱脱离平台 30 cm 左右,然后采用水泵逐级加水直至试验完毕。为了能绘制出挂篮总挠度曲线,了解箱梁施工时挂篮前端挠度变化情况,按等代荷载的方法对试验荷载进行分级。

5.2 箱梁悬臂施工

由于海上特殊的气候条件,海上箱梁施工除采用内陆箱梁施工工艺外,还应特别注意台风季节的结构安全,下面将重点介绍台风季节施工。

5.2.1 台风季节施工及应急措施

当风力大于 7 级以上时,不安排箱梁混凝土的施工。

台风季节或大风期挂篮施工工况主要有以下 3 种。

工况一:混凝土浇注完毕,挂篮未前移;

工况二:挂篮前移就位锚固,未绑扎钢筋;

工况三:钢筋绑扎完毕,未浇注混凝土。

针对上述三种工况,对挂篮采取的应急措施如下:

对于工况一,此时挂篮锚固牢靠,模板仍未脱离混凝土,与混凝土之间握裹很好,在此工况条件下,挂篮不需再做任何加固,亦可以抵抗台风荷载;工况

二和工况三为不利工况,需对挂篮做加固处理,加固方案如下。

(1) 主桁加固。

挂篮主桁除了正常锚固以外,在台风或大风期间应增设锚固点,锚固点增设位置和数量为:主桁后部增设 1~2 个锚固点,主桁前支点处增设 2~3 个锚固点。同时,为增加挂篮横桥向稳定,在中横梁上设置撑杆,立柱一侧设置支撑型钢,如图 5 所示。

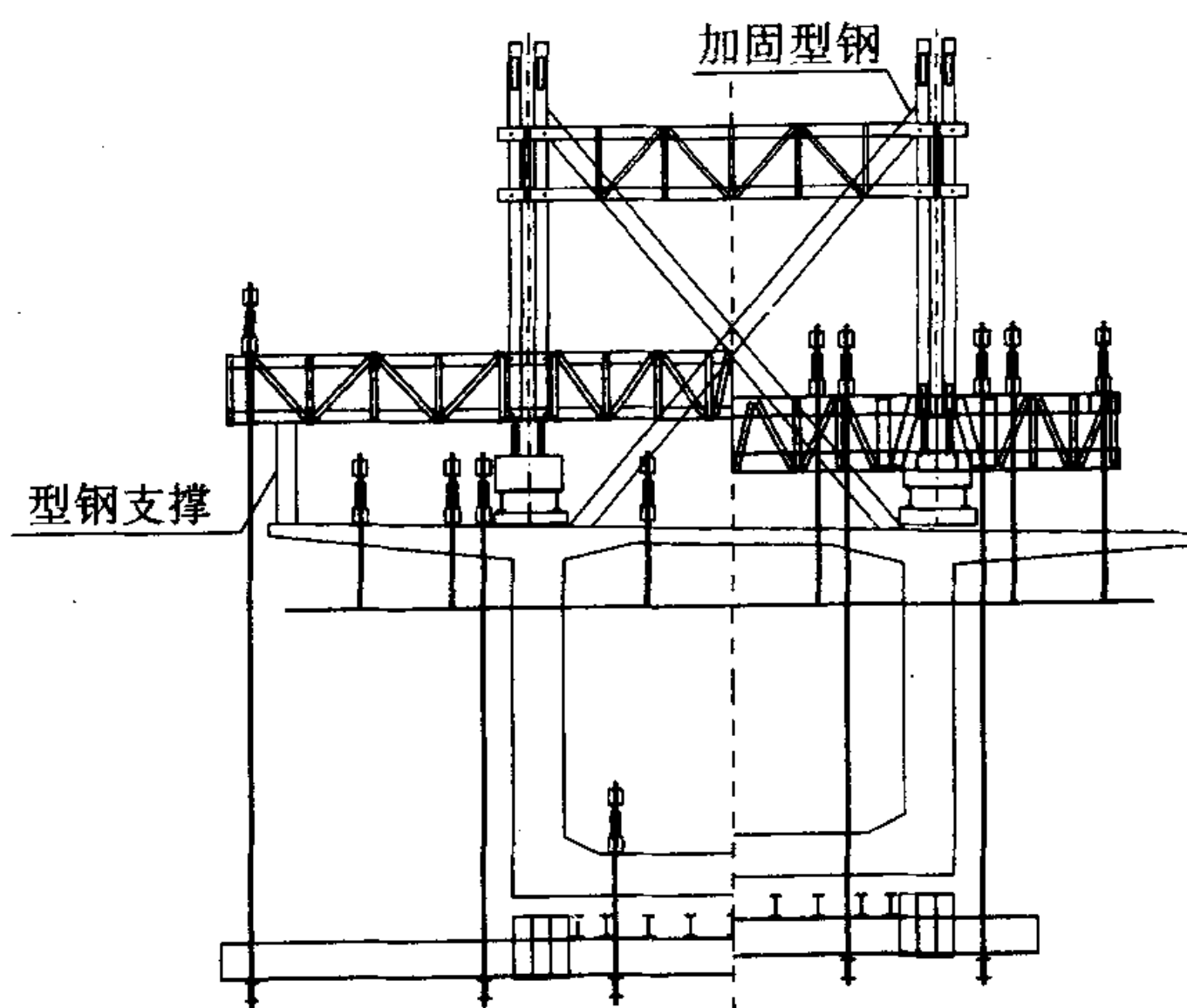


图 5 挂篮主桁加固示意

(2) 底篮加固。

在底篮上设置“剪刀”形式的抗风拉杆,固定于已浇块段箱内,使挂篮整体与已浇箱梁形成固结体系,以抵抗大风荷载,即在底篮前端前横梁上设置锚

点,再利用箱内后锚带预留孔(前两个块段)设置锚点,两个锚固点之间用钢绳通过10 t 葫芦收紧锚固,见图6所示。

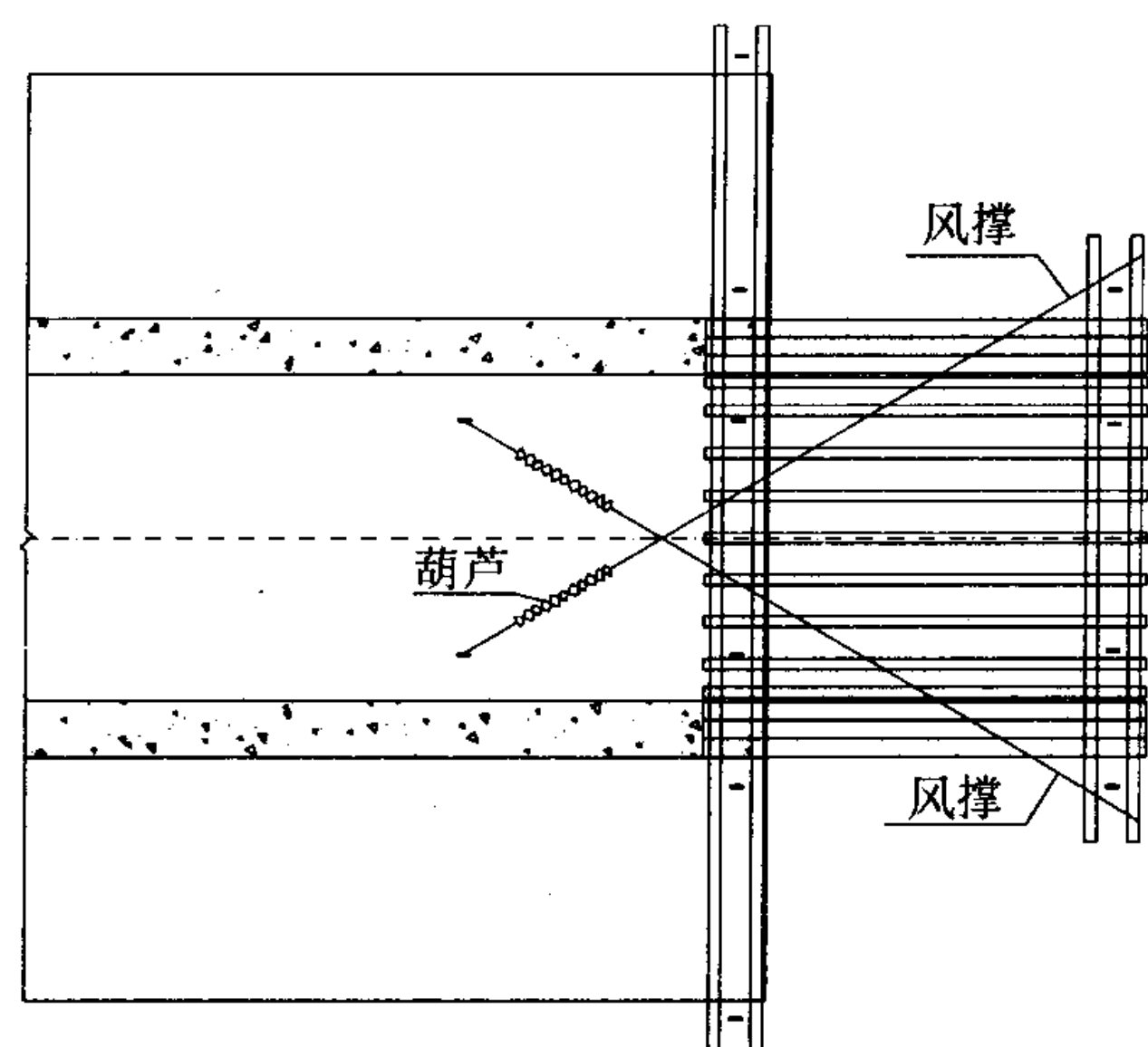


图6 挂篮底篮加固示意

6 非对称块段施工

在常规的内河连续梁施工中,为保证挂篮对称施工,边跨直线段的长度比较长,但在海上施工,边跨直线段过长,在海中搭设施工支架难度较大,为了降低施工难度,采用缩短边跨直线段的施工长度与增加边跨悬臂端非对称块段的方法。待中孔合拢主墩临时固结解除后,前移边跨挂篮,进行非对称块段的施工。

7 边跨直线段施工

7.1 施工工艺

(1)直线段钢管支架可在边墩墩身完成后,在箱梁块段施工中穿插进行;

(2)边跨直线段钢管支架搭设方法及相关技术要求同0号块支架,考虑到边跨直线段支架重量小,施工时可考虑将支撑钢管与平联先在驳船上焊接成整体,然后整体吊装至边墩承台安装;

(3)其余施工参见“0号块施工”方案。

7.2 注意事项

(1)边跨直线段支架必须与边墩墩身连接牢固;

(2)直线段模板及钢筋混凝土不宜提前施工,待非对称块段施工完成后进行,以利箱梁线型控制和施工安全;

(3)直线段施工时应特别注意伸缩缝钢筋的预埋;

(4)直线段的标高应根据非对称块段的施工线形,由监控单位提供;

(5)在施工支架顶面设置滑道,保证直线段能纵向自由滑动。

8 悬臂箱梁合拢段施工

悬臂箱梁合拢顺序为先中跨后边跨,合拢段采用吊篮施工。

(1)安装合拢段吊架。

利用挂篮底篮作为合拢段吊架。

(2)在合拢段两侧加配重。

中跨合拢段两侧的配重采取水箱加水的办法,每个水箱加水重量由监控确定;水箱外侧要求配备有刻度线;加水时,要求中跨两侧的加水速度一致。

(3)安装劲性骨架。

合拢段托架及模板安装调试完成后,安装劲性骨架,安装时仅在合拢段的一端固定,另一端能自由伸缩。

(4)绑扎合拢段钢筋,安装预应力管道。

合拢段模板安装调试完成后,按箱梁块段施工要求,绑扎钢筋并安装预应力管道,与劲性骨架有干扰的钢筋先不要绑扎。

(5)合拢劲性骨架。

劲性骨架在合拢段两端完全固定。

合拢劲性骨架时应注意以下事项:

①劲性骨架施工前应进行24 h 气温观测,观测时间不少于2 d,以找出气温变化规律;

②劲性骨架施工期间的气温应较稳定,避免有骤升或骤降气温出现;

③合拢劲性骨架前,要求同一幅桥中跨两侧的配重已全部加好;

④同一合拢段的劲性骨架要求在一天的较低温度下同时合拢。

(6)张拉临时预应力束。

劲性骨架安装完成后,应及时按设计要求张拉临时预应力束,临时束的张拉力可根据劲性骨架的合拢温度做适当调整。要求张拉时的温度与劲性骨架合拢时的温度保持一致。

(7)调整钢筋。

劲性骨架合拢完毕后,按设计要求调整骨架接头处的钢筋。

(8)混凝土施工。

①合拢段内应采用早强微膨胀混凝土,严格控

制用水量,以减少混凝土的收缩,要求试验室提前做好混凝土配比试验;

②了解天气情况,要求合拢段混凝土在浇注后的5~7 d内应避免气温骤降和寒潮天气,并要求在寒潮到来前张拉一定数量的中跨预应力束;

③混凝土浇注选择在一天中温度最低的时间段内进行,以达到低温合拢的目的;

④同一幅桥对称的中跨合拢段采用拌和船同时对称浇注;

⑤根据混凝土浇注方量,对称释放水箱内的水,同时控制放水量,使放水量与混凝土浇注量保持一致;

⑥适当延长中跨合拢段内外模板的拆除时间,同时加强混凝土的保温、保湿养护。

(9)合拢段预应力束张拉、压浆。

合拢段强度达到设计要求后,按设计要求,进行第一批预应力束的张拉、压浆,其余的预应力束待边跨合拢后再进行张拉、压浆。

(10)释放主墩临时固结。

释放顺序为先边主墩后中主墩。

中跨合拢段第一批预应力束张拉完成后应尽可能快速解除临时约束。

同一墩上应先解除永久支座四周的约束(包括滑动支座的固定螺栓和0号块底模板),然后对称释放箱顶临时固结锚筋;最后同时截割作为临时支座的4只钢箱,永久支座正式受力。

9 施工周期分析

根据海上的施工特点及自然条件的影响,各分项工程的施工周期,见表2。

从实际施工的作业时间来看,最先的几个0号块的施工周期比较长,随着施工技术、施工组织及操作工人的熟练程度的提高,施工周期大大缩短。

表2 各分项施工周期

d

桥位	位置	0号块 筋梁	悬浇箱梁	中跨合拢	边跨合拢
K6桥	左幅	86.3	9.2	11	12
	右幅	69.7	9.4	11	13
K12桥	左幅	65.3	8.7	12	8.5
	右幅	61	8.6	12	8.5
K24桥	左幅	39.7	9.5	13	10
	右幅	41.7	9.3	17	11
平均		60.6	9.1	12.7	10.5

从悬浇箱梁施工周期来看,K6桥与K24桥的施工周期较K12桥的施工周期长,主要是因K6桥处于箱梁施工前期,K24虽然处于施工最后阶段,但由于是处在冬季施工,施工周期有所延长,总的来说,施工周期与最初的计划周期的作业时间基本上是吻合的。

中跨合拢段和边跨合拢段的施工周期也与计划安排的周期,基本吻合。

10 小结

通过在海上进行连续梁的施工,获得了以下施工经验:

(1)0号块箱梁采用一次性整体施工,减少了施工缝,提高了结构的防腐能力;

(2)通过在边跨悬臂端设置非对称块段,减少了边跨直线段的施工长度,降低了边跨直线段的施工难度;

(3)采用0号块施工支架作为箱梁悬臂浇注时的锚固体系,降低了施工造价;

(4)合理利用现有的施工材料、设备,编制施工方案,节约了施工成本;

(5)采取了有效措施,减少了混凝土裂缝的出现。

Cantilevered Construction Scheme for Box Girders of Donghai Sea Crossing Project

ZHOU Xian-nian, SONG Chao, NIE Wen-ying

(Road & Bridge East China Engineering Co., Ltd., Shanghai 200135, China)

Abstract: The building techniques of box girders used in the Donghai Sea Crossing Project are introduced and the difference on box girders construction between maritime bridge and inland bridge is emphasized. The experiences serve as a reference for other potential maritime bridge projects.

Key words: Donghai Sea Crossing Project; box girder; cradle; typhoon; vacuum grouting