



1.3 总体施工方案思路

最终确定的总体施工方案是：

- (1)选择沈家湾岛作为箱梁和墩柱的预制场地,总使用面积约 36 万 m²,可利用海岸线长度约 750 m,距离桥址约 18 n mile。
- (2)选择扒杆式浮吊 1000 t 勇士号和 2 500 t 大力号作为墩柱箱梁吊装设备。
- (3)配置月亮湾号多功能海上混凝土搅拌船负责海上墩座和中横梁的施工。

2 新材料、新工艺和新技术的施工应用

2.1 海工高性能混凝土的施工性能研究和应用

海工高性能混凝土通过掺和料（矿渣、粉煤灰、硅粉）替代水泥,提高混凝土致密性,使氯离子抗渗系数要求达到  $1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  以下。其中矿渣主要起提高强度的作用，硅粉可提高抗渗性及耐磨性,粉煤灰可降低水化热。

2.1.1 海工高性能混凝土标准配合比(见表 1)

表 1 海工高性能混凝土标准配合比										
材料	水泥	掺合料	水	砂	石	外加剂	砂率			
配合比	1.00	1.50	0.87	2.06	2.06	2.06	2.06	占胶凝材料 1.0%	40%	
计	每 m³ 混凝土的用量(kg)	176	264	153	362	362	362	4.4	水胶比	0.35

2.1.2 海工高性能混凝土施工性能试验

- (1)含气量:经检测 C40(C50)混凝土含气量为2%。
  - (2)坍落度损失(见表 2):
- | 表 2 坍落度损失  |    |    |    |     |
|------------|----|----|----|-----|
| 混合后时间(min) | 30 | 60 | 90 | 120 |
| 坍落度损失(mm)  | 10 | 40 | 50 | 100 |
- (3)凝结时间:初凝时间 9 h 45 min;终凝时间:12 h 55 min。
  - (4)在不同工况下的力学性能(见表 3)

表 3 不同工况力学性能				
龄期(d)	抗压强度(MPa)		弹性模量(MPa)	
	自然养护	蒸养	自然养护	蒸养
3	34.7	57.2	$1.45 \times 10^4$	$3.02 \times 10^4$
7	52.3	69.5	$2.83 \times 10^4$	$3.15 \times 10^4$
14	65.0	71.2	$3.05 \times 10^4$	$3.19 \times 10^4$
28	71.6	73.0	$3.28 \times 10^4$	$3.33 \times 10^4$

- (5)收缩性能:14 d 的收缩值  $122 \times 10^{-6} \text{ m}$ ;90 d 的收缩值  $238 \times 10^{-6} \text{ m}$ 。

2.1.3 试验成果分析和应用

- (1)海工高性能混凝土比常规混凝土稠密,坍

落度损失较快,施工中泵送坍落度控制在 18+2 cm,并在 30 min 内完成入模和振捣。

- (2)为避免箱梁浇筑时间过长,造成混凝土养护时间差异过大,浇筑时间控制在 12 ~ 14 h 以内。

- (3)预制箱梁采用蒸汽养护 48 h 的方法,3 d 龄期即可进行拆模和张拉。

- (4)高性能海工混凝土在 14 d 早期收缩量占总量的 50%,因此养护是控制收缩裂缝的关键。

2.2 超长液压自动化箱梁模板的应用和蓄热 - 蒸养技术

2.2.1 60 m 箱梁液压自动化模板系统

2.2.1.1 模板系统构造

整体钢模板由底模、外模、外模桁架、端模、内模系统及液压系统等构成。其中,内模系统由内模标准段、内模非标段、散模、模板伸缩油缸、内模小车、轨道、螺旋撑杆等组成,为液压全自动系统。为便于内模操作,共分为 5 段,两端各 13 m 的非标段和中间 3 个 10 m 标准段。模板在横截面上对称分成 5 块:1 块顶模、2 块上侧模、2 块下侧模,采用铰销联接,依靠油缸的伸缩带动模板实现张开与收缩(见图 4、图 5)。

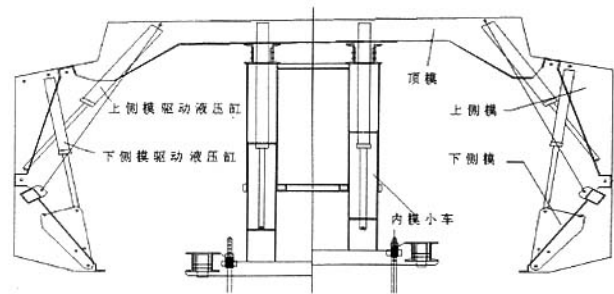


图 4 内模扩张图

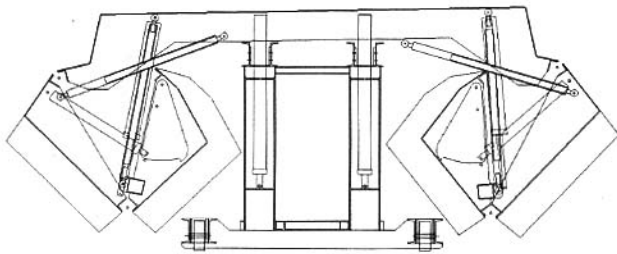


图 5 内模收缩图

2.2.1.2 内模液压自动化子系统的构造及工作原理(见图 6)

内模液压系统由 1 台电机,1 台齿轮泵,5 组手动换向阀,5 组油缸以及液压附件组成,单个油缸可单独启动或同步动作。控制模板油缸伸缩,按下侧模、上侧模、顶模的动作顺序使内模扩张,或按其逆顺序收缩。

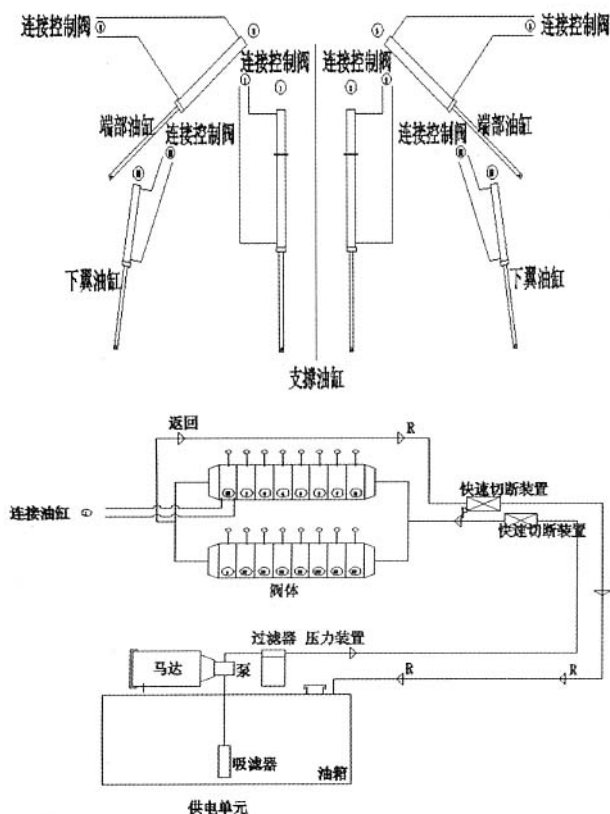


图6 内模液压系统原理图

### 2.2.2 蓄热-蒸养技术的开发

预制箱梁的收缩裂缝控制是施工控制的重点。大体积混凝土施工阶段所产生的温度裂缝,一方面是由于养护期内内外温差引起的,另一方面是结构物的外约束引起的。该工程中通过模板设计很好地解决了第二方面的因素影响,因此裂缝控制的重点在于养护。该工程的预制箱梁养护分两个阶段:前期蒸汽养护和后期自然养护。

#### (1) 蒸养方式

采用蓄热与蒸养结合养护的方法,通过在外模侧壁喷涂绝热材料,起到外部蓄热的作用,集中对顶板和内腔进行蒸护。该方法由于供汽空间减少,养护温度更容易控制和稳定。

#### (2) 蒸养温度和时间的确定

确定合理的蒸养温度是施工的关键因素,我们初定的蒸养温度为  $50 \pm 5^\circ\text{C}$ 。通过对试验梁各部位的温度进行了测量控制:

- 梁体混凝土的入模温度平均在  $33^\circ\text{C}$  左右。
- 梁体混凝土核心最高温度  $79^\circ\text{C}$ 。
- 高温出现最早时间:开始浇筑 24 h ~ 65 h。

可见选择 48 h 的  $45 \pm 5^\circ\text{C}$  的蒸养温度,既可有效控制温度梯度,也可避免降温过程较长。通过对混凝土力学指标的测试,强度和弹性模量未受影响,而裂缝情况得以很大改善。

## 2.3 超大型预制箱梁的陆上运输技术

### 2.3.1 滑道滑移方案的选定

箱梁陆上运输主要考虑大型轨道式龙门吊式系统、滑轮滑移和滑道滑移三种方案比选。最终选定的滑道滑移以顶推或牵引为动力,通过箱梁和滑道之间设置滑动面装置来实现构件的运输,其主要优点有:

(1) 施工安全性高:通过面与面的接触形式,提高了运输系统的安全性和运输过程中的稳定性。

(2) 技术成熟:滑移技术多次成功应用于国内外大型工程。

### 2.3.2 滑移材料 MGE 板的选用

选择 MGE 高分子摩擦材料作为滑移介质,通过在不同工况下的静态摩擦系数试验,发现该材料可有效地减小运输过程中的摩擦系数(干态时为 0.05、水态时约为 0.02 和油脂态时约为 0.05)。实际使用中油脂态最大静摩擦系数达到 0.07,经分析,认为是由于施工现场工况条件无法完全达到试验标准造成的。耐久性方面,MGE 材料的比磨损率( $\text{mg}/\text{Nm}$ )分别为干状 0.75,水态 0.72,油脂态 0.62。施工中平均可以连续滑移 18 片,大大提高了滑移效率。

### 2.3.3 滑移施工试验

为确保箱梁滑移施工的安全,进行了滑板摩擦系数、损耗率、箱梁稳定性、内应力和变形等各项试验。

(1) 由于实际的滑动面与试验室条件的差别,滑移的动静摩擦系数较试验数据大,会加速滑板 and 不锈钢板的磨损。

(2) 动力响应监测结果显示,箱梁的动力响应主要取决于动力施力过程、加载速率和滑道的平整条件,特别是顶推起始阶段保持平缓的加载,对实现平稳安全的滑移是至关重要的。箱梁滑移过程中的动力响应主要以刚性整体运动为主,应力和变形不足以对梁体造成大的伤害。

(3) 随着滑移次数的增加,滑道表面将不可避免的出现磨损,会给梁体带来一些不利影响。

(4) 顶升液压系统采用 4 点顶升,通过把前端的 2 个油缸连通,而后面的 2 个油缸相互独立,可使滑移过程中梁体自动调整平衡。

## 2.4 扒杆式浮吊吊装预制箱梁、墩柱技术

### 2.4.1 扒杆式浮吊的选用

### 2.4.2 两种浮吊的施工性能比较

国外跨海大桥施工中,大型混凝土构件的海上架设多采用了专用起重船来完成,比如挪威的



6500 t“天鹅”号,而该工程采用大型扒杆式浮吊来完成。针对两种不同的浮吊,以 2500 t 的大力号和小天鹅号浮吊比较其施工性能,见表 4。

表 4 施工性能对比表

浮吊	船型	外型尺寸 排水量	吊重 吊高	一个施工 周期效率	码头 条件	造价 (人民币)
大力号	全回转扒杆式浮吊	100 × 38 × 9 m 约 18000 t	2500 t 50 m	多樁	驳岸式 栈桥式	约 3 亿元 (全回转装置约 1 亿元)
小天鹅号	专用工程起重船	84 × 46 × 6 m 约 9000 t	2500 t 41 m	一樁	专用 F 型 栈桥式	约 1 亿元

通过以上比较:专用工程起重船一个施工周期内只能架设一樁箱梁,扒杆式浮吊可通过调整辅助施工船的数量,灵活调整施工进度;扒杆式浮吊在适应恶劣海况和不同工程情况的能力更强;专用工程起重船的造价比扒杆式浮吊更低,特殊的码头条件会增加总体成本,该工程以租赁的形式使用大力号和勇士号浮吊,有效地降低了工程成本。

#### 2.4.3 中、高墩柱分节吊装技术

该工程中、高墩的最大预制高度为 25.3 m、重量为 698 t,其吊高 26.8 m。设计提出中高墩下节预制吊装、上节海上现浇的施工方案。

考虑到充分利用低墩施工设备和成熟的施工经验,最大限度地减少海上施工的环节,按照 1 000 t 勇士号浮吊 32.5 m 的极限吊高,采用了分节预制、海上架设拼装的方案,以加快施工进度和减少结构施工缝。

##### 2.4.3.3 主要解决的技术问题

(1)吊架、吊索设计:在下节墩柱中设置了高强钢绞线 P 型锚作为吊点,吊具采用冷铸墩吊具与门吊或浮吊的吊钩连接,上节通过在墩顶人孔处设置 U 型槽,用 2 组 85 根  $\Phi 7$  mm 平行钢索和冷铸墩头锚具为吊索,配置钢结构吊具进行陆上和海上的吊装。

(2)架设精度控制:中高墩上节预制段在海上拼装的过程中,对架设后的墩柱整体垂直度和轴线精度要求非常严格。采用钢管混凝土柱支撑和外导向器的方法,既能够满足海上架设墩柱产生的冲击力且标高控制精确;而且保证了上节墩柱架设时的精度要求。

#### 2.4.4 箱梁吊架、吊带和液压导向装置的设计和应用

##### 2.4.4.1 箱梁吊架

箱梁钢结构吊架长 50.44 m,由两个箱形梁和水平桁架组成混合结构,最大起重力 2000 t,能够满足箱梁的起吊要求。吊架四角上各设有一个油

缸和一套卷扬机,可通过遥控微调桥面梁的水平、斜度和就位(见图 7)。

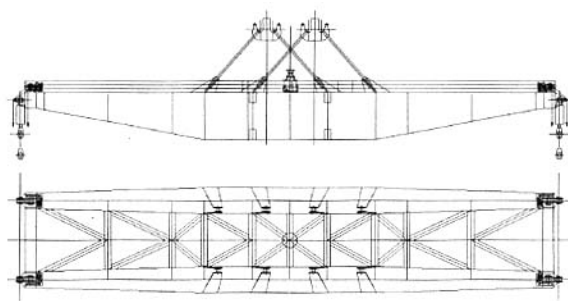


图 7 箱梁专用起吊架图

通过设置吊架改善了浮吊吊钩和箱梁连接的受力状态,增加了箱梁起吊高度约 13 m,并提高了海上施工的自动化程度。

##### 2.4.4.2 软式吊装带

软式吊装带在桥梁工程中首次被采用,材质为 PES□(高强聚脂长丝),承载吨位 500 t,通过试验安全系数可以达到 5:1。

使用软吊带优点是:

- (1)使用时吊带呈扁平状,提供安全的有负载的抱合力,延长使用寿命;
- (2)高强聚脂长丝吊点多且均匀,对吊带和混凝土的受力有利;
- (3)软吊带的强度重量比高,重量轻,轻便柔软在狭小空间也易使用。

##### 2.4.4.3 液压导向定位装置

以往工程中箱梁架设定位,主要采用三向顶推技术,箱梁定位是在架设后通过顶推滑移实现调整精度的目的,操作过程复杂,施工成本也较高。该工程中箱梁架设精度控制采用了液压导向装置,利用落梁的悬空状态进行监控和调整,因此顶推力只需 5 t,施工更简便和安全,施工成本更低。箱梁架设定位见图 8。

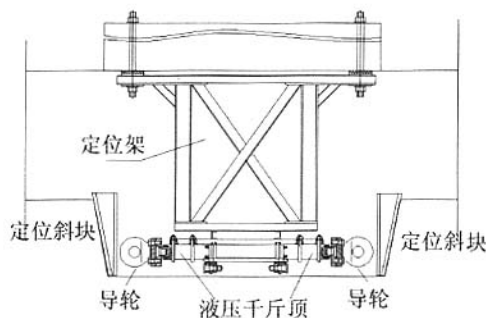


图 8 箱梁架设横向定位装置图

#### 2.5 GPS 技术在海上桥梁施工测量中的应用

东海大桥施工中采用常规的测量相当困难,平均 1 km 设一个控制点,海上的 1 000 个作业点需要频繁地用全站仪放样,受环境因素的影响很

# 吹填围堰技术的应用研究

宋建锋<sup>1</sup>, 张水根<sup>1</sup>, 周理武<sup>2</sup>, 陈雪仙<sup>1</sup>

(1. 杭州市市政工程集团有限公司, 浙江杭州 310014; 2. 丽水市路桥工程公司, 浙江丽水 323000)

**摘要:** 该文介绍了吹填围堰施工技术的优缺点, 对吹填围堰的设计、施工及质量控制三个方面进行了总结, 同时提出了吹填技术在实际工程中亟待解决研究的问题。

**关键词:** 围堰稳定性; 吹填; 施工工艺; 质量控制

**中图分类号:** U445.551 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)04-0036-04

## 1 概述

编织袋内吹填粉砂土筑围堰技术, 实际上是从小型袋装土包围堰发展起来的, 80 年代海塘围垦中已出现了它的雏形, 而随着管袋尺码的加大, 围堰整体稳定性、抗冲、防渗能力也大大提高。采用土工织物制作大型冲填袋, 袋内冲填砂性土, 用以筑成斜坡堤堤心, 并以土工织物或土工膜等制作的土工合成材料逐步替代一般斜坡堤(也可以做成垂直的坡度, 并用桩等在编织袋两侧作为支护)中的碎石倒滤层或粘土防渗层。

## 2 吹填围堰的优缺点

### 2.1 吹填围堰的优点

(1) 工效高。吹填与碾压方法比较, 省去了装土、运土、卸土、碾压四道工序。大大提高了工效, 节省了劳动力, 减轻了劳动强度。碾压方法每工可完成土方 1 ~ 2 m<sup>3</sup>, 而吹填每工可完成 10 ~ 20 m<sup>3</sup>。

(2) 成本低。碾压筑堤的成本平均为吹填筑堤 2 ~ 3 倍。

(3) 质量好。吹填土的泥浆沉积秘水固结后非常密实, 质量较碾压效果好, 平均容重可达 14.8 ~

15.8 kN/m<sup>3</sup>。泥浆具有无孔不入的性质, 吹填土堤与基础、老堤结合较好。

(4) 适用范围广。吹填技术是土方工程机械化施工的好方法, 不论滩地高低、运土距离远近均适用。

(5) 由于袋布的成型作用, 采用泥浆泵就近取砂冲填筑堤, 机械化程度高, 能迅速形成棱体, 对地基适用性好。可全面铺开施工, 施工工作面大, 施工速度快, 周期短。在深水区施工, 比传统的抛石坝, 在施工工艺和工程造价上具有较大的优势。

### 2.2 吹填围堰的缺点

(1) 在施工期间, 围堰体内含水量高, 如不注意脱水固结, 就有可能发生位移、鼓肚、滑坡或围堰漏通形成深沟等质量事故。

(2) 为了脱水固结, 吹填速度不能太快, 施工期也受到一定限制。

(3) 因固结沉降量大, 有时会出现裂缝。

(4) 施工中常受水源、电力的限制。

## 3 吹填围堰设计

### 3.1 吹填围堰内土体力学性质

在软弱地基上修筑围堰, 施工期间围堰的稳定性直接决定了围堰工程的成败。因此, 对软土地基上土工管袋围堰的稳定性研究相当重要, 但由于土工管袋的加筋作用, 使得围堰的稳定性分析

收稿日期: 2006-06-05

作者简介: 宋建锋(1976-), 男, 河北巨鹿人, 工程师, 主要从事市政工程施工研究工作。

容易造成测量误差。因此, 将 GPS 测量技术和常规测量手段相结合应用到海上施工测量中, 使用 GPS 布设控制网, 使平均密度达到 300 m ~ 400 m, 精度应满足国家 GPS 测量 IV 等要求。

通过独立观测边构成闭合图形, 以增加检核条件, 提高网的可靠性。

尽量与原控制网相重合, 重合点不小于 3 个, 且分布均匀。

## 3 总结

在东海大桥 60 m 非通航孔段桥梁施工中, 海工高性能混凝土的应用、大型箱梁整体预制和滑移、扒杆式浮吊的应用和海上 GPS 测量技术的应用等技术创新为工程的顺利开展奠定了坚实的基础, 标段工程提前完成全部结构工程施工, 《跨海大桥大型混凝土构件成套施工技术研究》的课题也通过鉴定达到国际先进, 并申请了两项发明专利。这只是东海大桥工程技术创新的一小部分, 整个工程可为今后其他跨海大桥工程或相关工程的规划、设计和施工提供了借鉴。