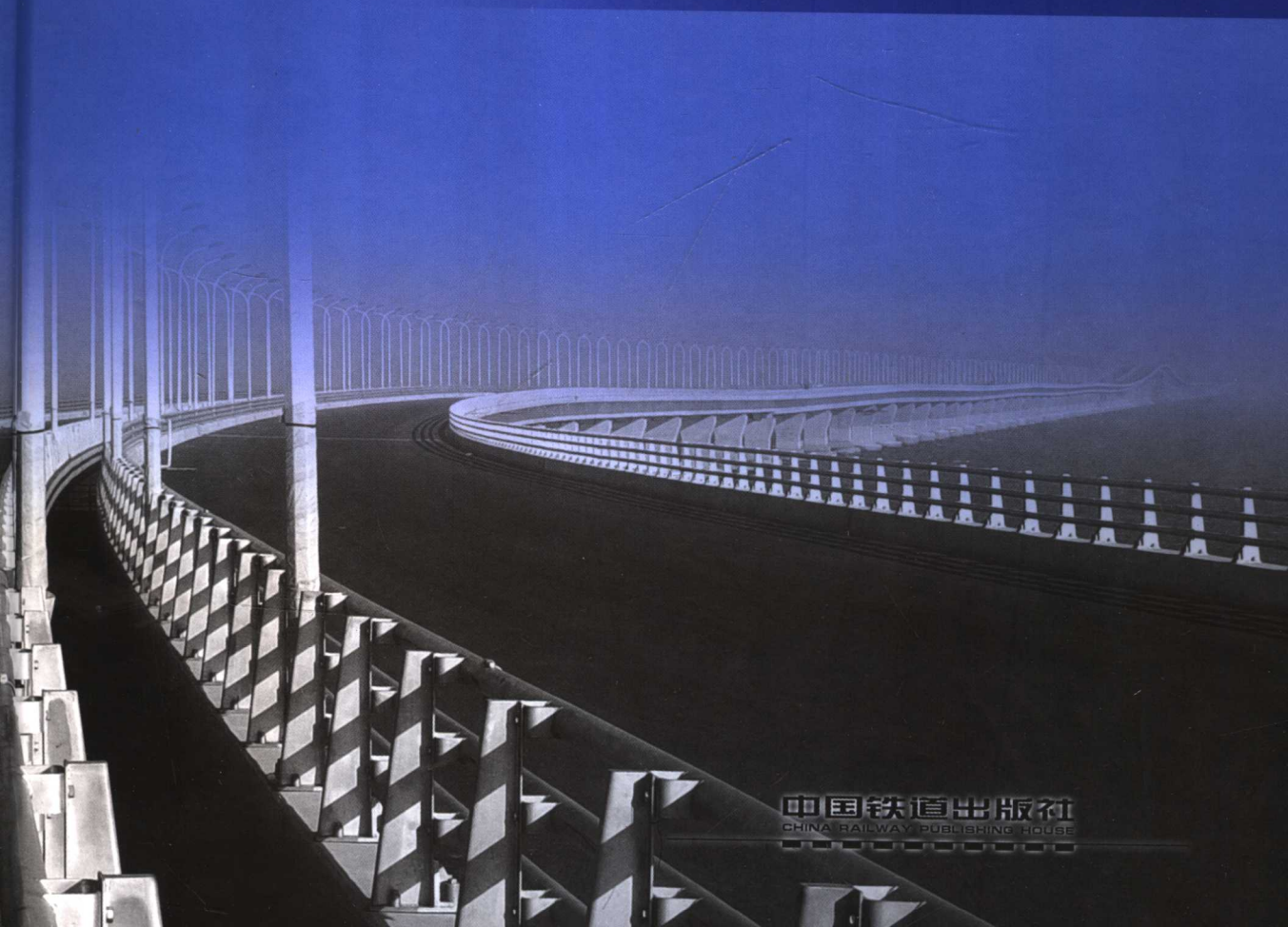




秦顺全 编著

海上长桥整孔箱梁 预制架设技术



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

海上长桥整孔箱梁预制架设技术

秦顺全 编著

中国铁道出版社

2006·北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了跨海长桥的建设特点和我国东南沿海各桥址处的建桥条件,提出了跨海长桥非通航孔采用整孔预制架设的中等跨度的预应力混凝土连续箱梁的结构方案。在此基础上,对中等跨度预制架设的整孔预应力混凝土箱梁结构设计、运输、架设备研究制造,整孔箱梁预制工艺和整孔箱梁海上运输架设工艺等关键技术进行了论述。

本书可供从事桥梁工程设计和施工的有关技术人员、科研工作者、工程管理人员以及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海上长桥整孔箱梁预制架设技术/秦顺全编著. —北京:中国铁道出版社,2006.10

ISBN 7-113-07504-5

I. 海... II. 秦... III. 跨海峡桥:箱梁桥—桥梁架设 IV. U448.195.46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 121578 号

书 名:海上长桥整孔箱梁预制架设技术

作 者:秦顺全

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:傅希刚

责任编辑:傅希刚 李丽娟 编辑部电话:路(021)73142,市(010)51873142

封面设计:田 蕾

印 刷:北京盛通彩色印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:23 插页:1 字数:526 千

版 本:2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~1 500 册

书 号:ISBN 7-113-07504-5/TU·858

定 价:78.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:市(010)63545969,路(021)73169

网址:<http://www.tdpress.com>

序

进入 21 世纪以来，在大规模的铁路、高速公路及市政建设得到迅速展开的同时，随着东海大桥和杭州湾跨海大桥建设，我国即将迎来跨海大桥建设的高潮。

国外，日本和丹麦两个岛国从 20 世纪 70 年代起开始实施联岛工程的宏伟计划，于 20 世纪末得以实现，在跨海大桥建设方面积累了丰富的经验。大型跨海工程建设涉及在大海洋环境下超长的桥梁建设，以及陆地桥梁的建造技术不能解决跨海通道的建设问题，我国在这一方面成熟的工程建造经验较少。东海大桥非通航孔采用整孔预制架设中等跨海的预应力混凝土连续箱梁，其预应力混凝土连续箱梁的预制、海上整孔箱梁运输、架设大规模拼装的集成施工技术，为后续更大规模的跨江海工程建设积累经验。

秦顺全同志长期从事大型桥梁设计、科研和施工技术管理工作，所著《海上长桥整孔箱梁预制架设技术》一书，对中等跨海预制架设的整孔预应力混凝土箱梁结构设计、运输、架设设备制造，以及整孔箱梁预制工艺和整孔箱梁海上运输架设工艺等关键技术内容进行了系统论述。

跨海桥梁建设在我国才刚刚起步，在世界上也是方兴未艾，《海上长桥整孔箱梁预制架设技术》一书正好填补了跨海桥梁专著方面的空白，可供相关桥梁研究、设计、施工技术人员阅读和参考，这必将有助于促进我国跨海桥梁的发展，很值得欢迎。

范立础

2006 年 9 月

前 言

跨海大桥规模大，施工期作业和桥梁建成后运营等条件恶劣，这些显著特点决定了跨海大桥的建设不宜采用传统的建桥技术，必须研究一种能够提高施工作业效率、保证结构的整体性和耐久性的建桥方案。桥梁大型结构构件的预制，整体安装是一种较优的选择。

要解决跨海大桥建设中的大型构件的预制、安装问题，必须对如下三个方面进行系统的研究：

1. 研究技术经济合理，满足桥梁结构使用期耐久性要求，目前的工艺及装备能适应的桥梁结构方案；
2. 研究与结构和施工方案相配套的，经济合理的，适应海上风况、波浪和潮涌条件的关键施工装备；
3. 研究桥梁大型预制构件在预制场内纵横移动和运架作业工艺方法。

海上运架梁专用起重船建造费用昂贵，为了使装备具有更强的通用性，本书对沿海跨海大桥非通航孔桥梁的合理结构型式进行了系统的研究，目的是使专用起重船的作业方式和运输、架设能力尽可能地适应不同的工程，通过对不同海域的风浪、潮汐等条件的研究和归纳，以及对专用起重船进行较系统的耐波性检算，使专用起重船适应的作业海域更加广泛。

与国外的跨海大桥相比，我国东南沿海跨海大桥非通航孔经济跨度小，整孔预应力混凝土箱梁的重量仅在 2 000 t 左右，但孔跨数多，运输、架设装备的作业频次高，这就要求专用起重船具有更好的操控灵活性，同时，由于桥址处非通航孔水域水深浅、涨落潮潮差大，运架梁专用起重船必须具备搁滩施工和座底避风功能。

大型预制混凝土构件的早期开裂是整孔箱梁预制工程实践中的最大难题。研究和实践表明，用良好的混凝土配合比降低混凝土内部的水化热升温的峰值，混凝土低强时的预应力早期预张拉和严密的混凝土早期养护措施可以有效地防止大型预制预应力构件的早期开裂。

中铁大桥局关于“跨海长桥整孔箱梁预制架设技术及装备”的研究始于2000年，2001年在杭州湾大桥工程施工组织和桥型优化方案征集时正式提出。我的同事在这项研究中做了大量的工作，作者在此深表感谢。同时，本书在撰写过程中引用了部分杭州湾跨海大桥和东海大桥的相关资料，在此一并表示感谢。

秦顺全

二〇〇六年七月十八日

目 录

第一篇 绪 论

第一章 跨海大桥工程特点及对策	3
第一节 跨海大桥工程特点	3
第二节 工程对策	4
第二章 架桥机运架整孔箱梁	7
第一节 600 t 下导梁架桥机及轨道式运梁车	7
第二节 900 t 下导梁架桥机	13
第三节 公路 50 m 跨度整孔箱梁运架方案	41
第三章 国外跨海大桥工程实践	46
第一节 沙特阿拉伯——巴林水道桥	46
第二节 丹麦大带海峡西桥	47
第三节 加拿大诺森伯兰海峡桥	48
第四节 日本关西空港联络桥	50

第二篇 非通航孔桥梁结构形式研究

第一章 建桥条件研究	57
第一节 东海大桥建桥条件	57
第二节 杭州湾大桥建桥条件	66
第三节 珠江口海域建桥条件	77
第二章 桥梁结构研究	79
第一节 跨度比较	79
第二节 施工方案比较	85
第三节 60 m 和 70 m 跨度综合比较	92
第三章 主梁架设方式及对设备的要求	100
第一节 主梁架设方式研究	100
第二节 箱梁架设对设备的要求	101
第四章 70 m 跨度箱梁设计	102
第一节 设计参数	102
第二节 70 m 跨度箱梁设计	105

第三节	70 m 预制箱梁吊点结构研究	111
第四节	70 m 预制箱梁湿接头及临时支座构造研究	118
第五章	结构耐久性设计与防腐措施	125
第一节	钢结构的耐久性研究	125
第二节	混凝土结构的耐久性研究	129
第三节	桥梁结构耐久性设计	134

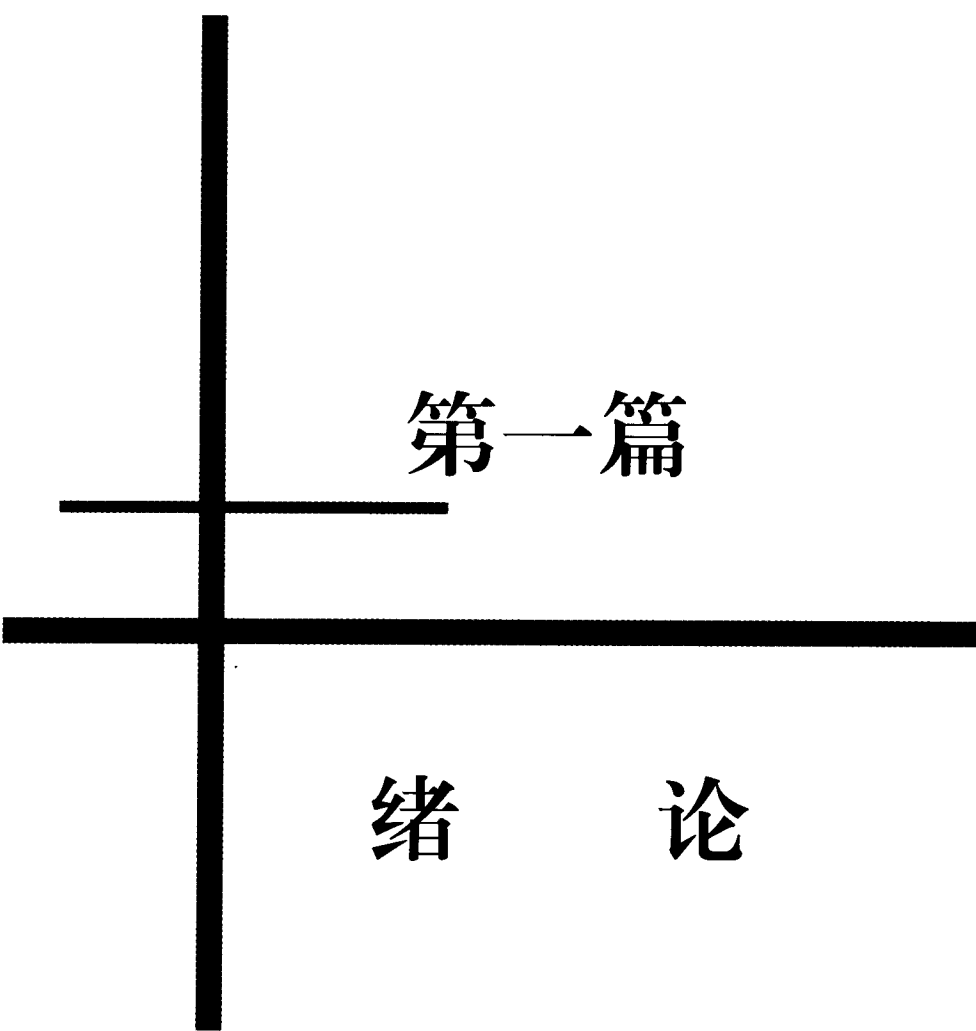
第三篇 海上整孔箱梁运输及架设设备研制

第一章	运架梁起重船结构形式研究	145
第二章	2500 t 海上自航运架梁起重船总体设计	149
第一节	2500 t 起重船总体技术要求	149
第二节	技术方案研究	150
第三章	起重船耐波性研究	158
第一节	作业海况研究	158
第二节	运动响应预报	160
第四章	船体设计与制造	163
第一节	船体总体设计	163
第二节	船体结构	166
第三节	舾 装	167
第四节	船体设计中若干问题研究	168
第五节	轮机系统	172
第六节	电气系统	176
第七节	起重船船体制造	178
第五章	起重机设计及制造	180
第一节	起重机设计	180
第二节	起重架制造	190
第六章	起重船载梁航行及架梁试验	193
第一节	试验准备	193
第二节	载梁航行试验	195
第三节	架梁试验	223
第四节	试验结论	242

第四篇 整孔预应力混凝土箱梁预制及架设

第一章	预制场地	247
第一节	预制场地布置	247
第二节	预制场及箱梁出海码头施工	249

第二章 海工耐久性混凝土研究	255
第一节 原材料进场检验及性能检测.....	255
第二节 混凝土配合比设计.....	261
第三节 混凝土长期性能.....	270
第三章 70 m 整孔预应力混凝土箱梁预制	273
第一节 原材料的技术要求.....	273
第二节 钢筋工程.....	277
第三节 模 板.....	281
第四节 混凝土施工.....	284
第五节 模板拆除.....	289
第六节 预应力张拉拖工.....	290
第七节 孔道压浆.....	295
第八节 箱梁预制质量控制措施.....	299
第四章 70 m 箱梁测试研究	301
第一节 预应力损失试验.....	301
第二节 梁体温度场测试.....	306
第三节 箱梁养护期间开裂问题研究.....	321
第五章 70 m 箱梁预制场内纵横移	330
第一节 箱梁在预制场内横移.....	331
第二节 箱梁在预制场内纵移.....	333
第六章 70 m 整孔箱梁架设	344
第一节 施工总体方案.....	344
第二节 运架设备及架梁准备.....	345
第三节 70 m 预制箱梁海上运输和架设	350
第四节 箱梁湿接头施工及体系转换.....	355
参考文献	359



第一篇

绪 论

第一章 跨海大桥工程特点及对策

第一节 跨海大桥工程特点

随着技术及经济的迅速发展,我国东南沿海正在兴建和规划修建多座跨海长桥,如东海大桥(图 1-1-1)、杭州湾大桥、舟山连岛工程全塘大桥等。综合各方面建桥条件考虑,在这些桥址处除少数通航孔和岸边滩地外,其余孔跨以采用跨度 50~70 m 的预应力混凝土连续梁布置较为合理。

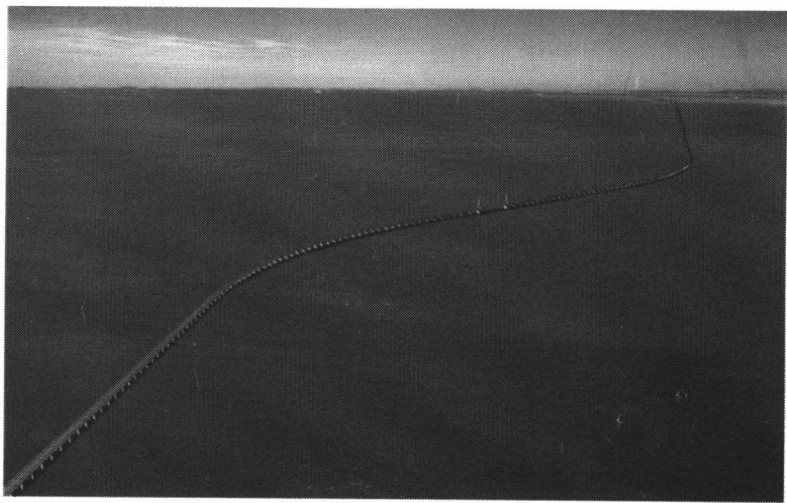


图 1-1-1 东海大桥

我国沿海跨海大桥的特点:

- 1. 桥长,规模大,孔跨数多。

我国沿海跨海大桥规模宏大,上海东海大桥全长 32.4 km,杭州湾大桥全长 36.0 km,舟山连岛工程全塘大桥全长 21.0 km。要在较短的时间内完成跨海大桥工程,必须研究工厂化预制、现场拼装的快速建桥方法。

- 2. 运营期结构长期暴露于海洋环境,耐久性要求高。

跨海大桥结构长期暴露于海洋环境,环境中的氯离子对结构有强烈的腐蚀作用。各规划桥位处环境中的氯离子含量(表 1-1-1)均达到或超过非常严重和极端严重的水平(表 1-1-2)。

表 1-1-1 海洋环境氯离子含量

海 域	氯离子含量(g/L)
秦皇岛	18.14
烟 台	18.21
厦 门	16.78
东海大桥	11.42
杭州湾大桥	9.74

要解决海洋环境中桥梁结构的耐久性问题,确保结构的使用寿命,应主要从以下三方面入手:

(1)研究耐久性混凝土,提高混凝土的密实度;(2)用结构措施和施工工艺措施防止混凝土开裂;(3)采用工厂化、大块件预制来提高混凝土预制构件质量,并尽可能减少桥位现场接缝。

3. 施工条件恶劣,气象水文多变,有效作业时间短。

我国东南沿海风大、浪高、流急,且桥位作业远离岸边基地,桥位现场施工作业时间都不超过 200 d。表 1-1-3 列举了我国东南沿海桥址典型气象条件参数。从表中列举的参数可以看出,海上施工作业条件恶劣,气象水文多变。要确保桥梁工程的建设质量,缩短建设工期,应尽可能减少桥位现场施工作业的工作量。

4. 桥位处水深较浅,涨落潮潮差大。

各规划桥址处水深较浅,如杭州湾大桥最大水深 13.6 m,水深小于 5 m 的浅滩区长度超过 10 km(表 1-1-4)。大部分海域潮汐类型属非正规半日浅海潮型,涨落潮潮差大。

由于海区水深浅,涨落潮潮差大,施工作业船舶应尽可能满足以下两个条件:(1)较浅的满载吃水深度;(2)若遇施工作业意外时,具备搁滩施工和座底避风功能。

5. 跨海大桥非通航区桥范围长。

跨海大桥分为通航区桥和非通航区桥。位于主要船舶航道范围内的桥为通航区桥,该区域须用大跨度桥梁结构以满足通航的需要,但该部分范围小;除此以外的海上其余部分桥梁均称为非通航区桥,该部分桥梁桥墩不高,范围大。东海大桥非通航区桥占全桥长度的 78%,杭州湾大桥非通航区桥占全桥长度的 86%。

非通航区桥梁桥长范围大,工程量巨大,是跨海大桥建设的关键。

表 1-1-2 腐蚀环境等级

腐蚀环境等级	氯离子含量(g/L)
D 严重	0.5~5
E 非常严重	5~10
F 极端严重	>10

表 1-1-3 典型气象参数表

参 数	东海大桥	杭州湾大桥
最大潮差(m)	5.92	7.57
最大风速(m/s)	42.2	39.0
大风日(d/年)	66	67
最大浪高(m)	6.06	6.1
雾天(d/年)	40	36

注:大风为风力大于 7 级。

表 1-1-4 杭州湾大桥桥位处水深及潮差表

项 目	数 值
最大水深(m)	13.6
水深小于 5 m 的浅滩长(km)	10.46
平均海平面(m)	0.25
最大潮差(m)	7.57
平均潮差(m)	4.65

第二节 工程对策

由于我国沿海跨海大桥规模大,施工作业条件差,为确保海上长桥的建设质量,必须研究适应跨海长桥建设的桥梁结构形式和与之配套的施工作业工艺方法。跨海长桥非通航孔桥跨数量众多,这类桥梁的建设必须首先解决的是大规模的非通航孔桥梁建设的技术问题。

非通航孔桥一般跨度不大,如果采用钢结构,结构的造价过高,而且长期的维修养护也成为问题。如果采用预应力混凝土结构能够解决建桥技术上的问题,应首选预应力混凝土结构。

采用混凝土作为建桥材料,必须解决混凝土的施工灌注问题。一种方式是混凝土的灌注施工在岸上预制厂进行,先形成预制混凝土构件,预制构件运输至桥位处拼装。另一种方式是在桥位现场灌注混凝土。跨海大桥的桥梁结构构件大多远离岸边基地,气候条件复杂多变,作业条件差,混凝土的灌注和养生条件差,质量难以控制,同时在海上大规模灌注混凝土,人员及设备的投入也非常大,所以海上预应力混凝土桥梁施工必须优先采用预制拼装的工艺方法。

目前,预应力混凝土桥梁的预制拼装方法大致分为两类:一类是整孔预制预应力混凝土梁体运输至桥位架设;另一类是在岸上预制工厂预制梁体节段,预制梁体节段运输至桥位后,采用施加纵向预应力的办法形成整孔预应力混凝土梁体。

公路桥梁整孔预制梁体大多采用预应力混凝土 T 形梁和空心板梁。预制预应力混凝土 T 梁最大跨度在 50 m 左右,单片 T 梁的重量不超过 200 t。铁路小跨度预应力梁也大多采用预制预应力 T 梁技术,最大跨度 50 m,单片 T 梁梁重不超过 300 t。采用预制预应力混凝土 T 梁的最大优点是单片 T 梁重量轻,运输和架设比较简单,容易实现。但是由于桥梁横桥向由若干片 T 梁组成,桥梁的整体横向刚度偏弱,T 梁横向的横隔板连接也是桥梁运营过程中的重要病害之一,同时多片 T 梁在外观上也比箱梁要差。为了改善预制预应力 T 梁的不足,目前在公路桥梁和铁路桥梁上都在积极研究整孔箱梁运架技术。秦沈客运专线研究并实施了 24 m 双线整孔箱梁预制架设技术,24 m 跨度双线铁路箱梁重达 560 t。新一轮铁路客运专线建设提出了 32 m 双线铁路整孔箱梁预制架设技术,32 m 跨度双线铁路箱梁重约 900 t。整孔箱梁的预制架设除需解决大体积梁体的预制问题外,还必须重点解决大吨位梁体的运输和架设问题。当预制梁体的重量至一定数量时,运梁平车和架设设备都会非常庞大,甚至梁体的陆上(桥上)运输都难以解决。杭州湾跨海大桥南岸滩涂区由于无水上运架梁条件,需使用运梁车运输 50 m 跨度重约 1450 t 的预制预应力混凝土箱梁。为了解决运梁车在已架完梁体上行走时已架梁体承载力不足的问题,运梁车运载单孔、单幅梁体必须在双幅、双孔梁上行走,运梁台车规模庞大。

预应力混凝土箱梁也可采用预制节段拼装法建造,在岸上预制工厂先预制成 3~5 m 长的预制箱梁节段,运至桥位后采用预应力技术形成整孔箱梁。此方法可有效解决大吨位梁体运输架设上的难题,但是由于预制节段较短,预制节段数量众多,桥位现场拼装作业工作量大,同时节段之间的拼接缝又是海洋环境下各种腐蚀介质侵入梁体结构的薄弱环节,桥梁结构耐久性问题突出,所以预制节段拼装技术也不适合海上长桥的建设。

为了解决海上长桥的建设问题,必须研究大型预应力混凝土构件的工厂化预制、桥位现场安装的技术方案,以尽可能减少海上作业的工作量,规避海上作业风险,保证工程质量。系统的分析研究表明,我国海上长桥非通航孔技术经济合理的跨度均超过 50 m,跨度超过 50 m 的整孔箱梁梁体重量较重,传统的陆上(桥上)运输和架设方法已很难解决,根据国外类似的工程经验,必须研究海上运架设备和配套的工艺方法。由于我国东南沿海跨海大桥规模大、桥长、孔跨数多的特点,海上运架设备必须有更高的运架作业效率和更高的架梁精度。为适应我国沿海水浅、潮差大的特点,运架梁起重船还必须具备满载吃水小、能适应搁

滩施工和座底避风的功能。

综上所述,针对我国东南沿海跨海大桥的特点,对于非通航孔桥梁上部结构,必须采用工厂化、预制化的手段,尽可能将海上作业转化为岸上工厂化作业,规避海上作业风险,确保工程质量。超大型预制预应力混凝土构件的预制安装必须解决如下技术问题:

(1)研究海上长桥非通航孔桥技术、经济合理并满足结构耐久性要求的结构形式;

(2)我国东南沿海环境中,氯离子对预应力混凝土结构耐久性的危害最大,除应对混凝土结构的保护层厚度进行研究外,还必须研制满足预制施工工艺的耐久性混凝土,提高混凝土的密实度;

(3)采用工厂化、大块件预制来提高混凝土构件的质量,用结构措施和施工工艺措施防止混凝土开裂,同时研究解决超大型预制构件在预制厂内从制梁台座到存梁台座再到出海码头的移运问题;

(4)研究解决海上运架设备和运架工艺问题。

第二章 架桥机运架整孔箱梁

预应力混凝土桥梁采用整孔预制架设技术建造,在国内外都有大量的实践。在国内,公路桥梁和铁路桥梁上都大量使用小跨度的预制预应力混凝土简支 T 梁。T 梁在预制场集中预制,运输至桥位后用架桥机安装,T 梁最大跨度为 50 m,最大重量约 300 t。为了克服简支 T 梁整体性和外观差的弱点,对采用架桥机架设的整孔箱梁也有过工程实践。秦沈客运专线采用跨度 24 m 的双线铁路整孔箱梁,梁重 560 t;时速 200 km 以上客运专线大规模采用跨度 32 m 的双线铁路整孔箱梁,梁重约 900 t;公路跨度 50 m(单幅宽 16 m)的整孔预制预应力混凝土箱梁重约 1450 t。由于整孔混凝土箱梁重量大,使用架桥机架设整孔的预应力混凝土箱梁必须解决运架设备和箱梁运输对已架梁体的影响问题。

第一节 600 t 下导梁架桥机及轨道式运梁车

秦沈客运专线设计速度 160 km/h 以上,为增加梁体结构的整体性,提高桥梁的横向刚度,24 m 简支梁全部采用预制的整孔箱梁。24 m 双线铁路箱梁梁顶宽度为 12.4 m,梁高为 2.0 m,梁体总重量为 560 t。箱梁在预制场集中预制,使用轮轨式运梁台车运输,架桥机在桥位处架设。

一、概 述

秦沈客运专线 24 m 双线铁路箱梁总重 560 t,全长 24.6 m 的铁路整孔箱梁在制梁厂预制,跨桥龙门提升站提梁至桥面,YL600 型运梁车将混凝土箱梁运至架桥机后部,由 JQ600 型架桥机完成架梁。架桥机选择采用轮轨式下导梁架桥机形式,运梁车也采用轮轨式。箱梁在预制场的提升见图 1-2-1,桥位架梁见图 1-2-2。



图 1-2-1 箱梁提升

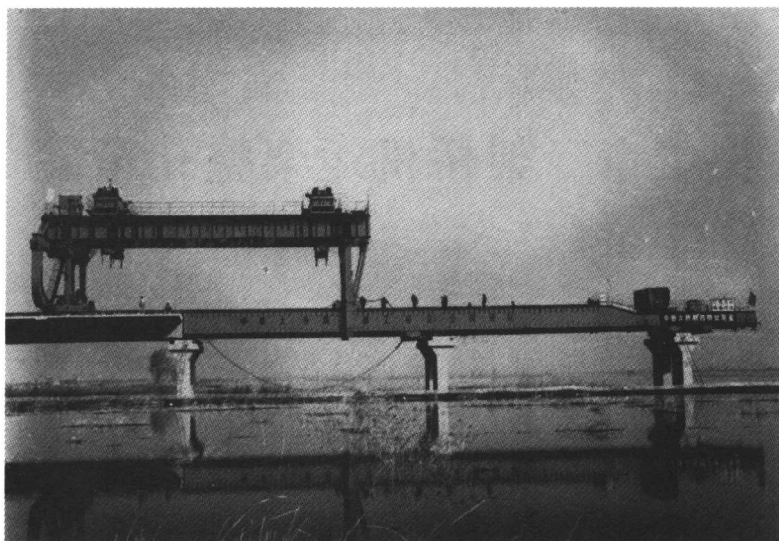


图 1-2-2 JQ600 架桥机

二、架桥机特点

JQ600 型下导梁架桥机采用在下导梁上喂梁、起升机构不吊梁走行而是定点起落梁的方式架梁,突破了传统架桥机吊梁走行的概念,解决了架桥机喂梁、起升载荷均衡、架梁精确定位、施工荷载对桥梁的不利影响等技术难题,结构简单,重量轻,布局合理,稳定性好,对坡道和弯道适应性强。该设备具有以下优点:

- (1)在总体设计上将喂梁与架梁分成两部分,避免起升机构提梁走行,实现了一种全新的运梁到位、定点起吊、微调落梁就位的运架模式;
- (2)专用运梁台车销铰与球铰组合结构,实现车体结构适应坡弯道及轮压均衡,液压变速驱动技术实现弯道车轮轮速自动调节;
- (3)提升机支腿形式构思巧妙,箱梁可顺利喂入提升机腹腔内;
- (4)提升机起升系统将超静定的八吊点转换成静定的四吊点,轮轨运梁车将超静定的四点支承转换成静定的四点支承,提供了一种解决超静问题的简便可靠的新方法;
- (5)下导梁与提升机分离,可微调,以适应曲线桥梁的架设;
- (6)运梁台车采用悬挂式车架结构,降低了运梁重心,运梁时稳定、安全。

三、主要技术参数

JQ600 型架桥机主要技术参数见表 1-2-1。

表 1-2-1 JQ600 型架桥机主要技术参数表

适应梁型	双线单箱梁	适应梁型	双线单箱梁
适应桥跨	24 m、20 m	适应曲线半径	$\geq 3\,000\text{ m}$
额定起重量	$\leq 600\text{ t}$	适应坡度	$\leq 12\text{‰}$