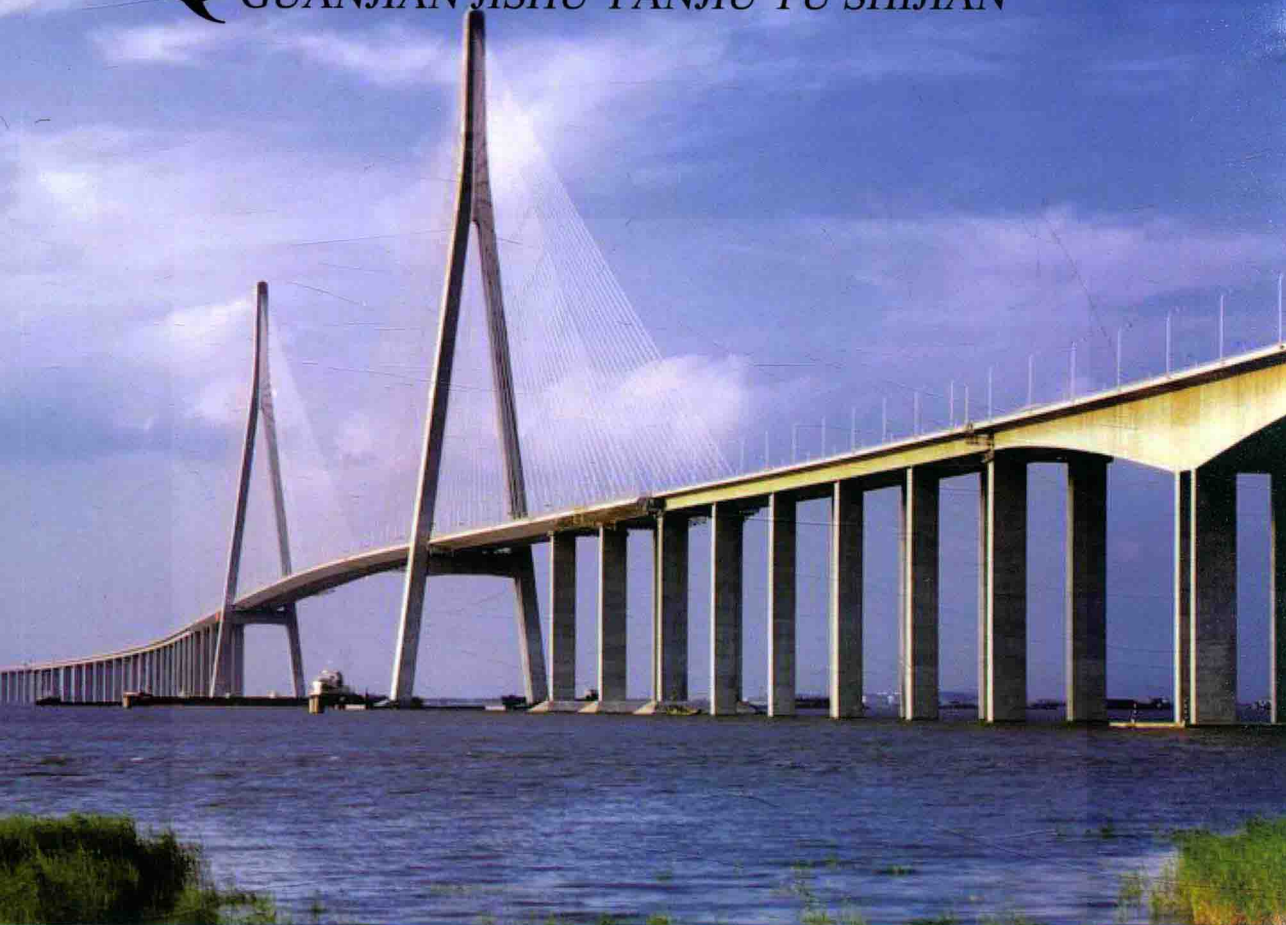


QIANMIJI XIELAQIAO SHIGONG
GUANJIAN JISHU YANJIU YU SHIJIAN



千米级斜拉桥施工 关键技术研究与实践

张 鸿◎著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

Qianmiji Xielaqiao Shigong Guanjian Jishu Yanjiu yu Shijian
千米级斜拉桥施工关键技术研究与实践

张 鸿 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书全面系统介绍了苏通大桥施工技术及管理理论研究和工程实践过程,内容涵盖基础、索塔、上部结构施工、施工控制等。结合苏通大桥施工过程中大量的理论分析、工艺试验以及现场测试数据,本书向读者披露了世界上首座千米级斜拉桥建设中各项重大方案决策背后所做的大量细致研究工作,也展示了苏通大桥现场实施情况和成就。

本书可供土木工程专业广大师生、学者、工程师及对大跨度斜拉桥感兴趣的人士参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

千米级斜拉桥施工关键技术研究与实践/张鸿著

北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.5

ISBN 978-7-114-12207-1

I. ①千… II. ①张… III. ①大跨度结构-斜拉桥-桥梁施工-研究 IV. ①U448.27

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第083119号

书 名:千米级斜拉桥施工关键技术研究与实践

著 作 者:张 鸿

责任编辑:赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.75

字 数:320千

版 次:2015年5月 第1版

印 次:2015年5月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12207-1

定 价:48.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

大跨径桥梁作为国民经济和社会发展的重要基础设施,综合体现了交通行业新技术集中应用与创新。根据国务院发布的《国家高速公路网规划》,沈阳—海口沿海高速公路大通道将要修建跨越渤海湾、长江、杭州湾、台湾海峡等大型桥梁(隧道)工程。针对建设条件的复杂性和高标准的技术需求,超大跨径桥梁建设技术的成功研发,将为我国桥梁以及土木工程技术提供广阔的发展前景。

苏通长江公路大桥(以下简称苏通大桥)位于江苏省东部的南通市和苏州(常熟)市之间,主桥采用主跨为1 088m的双塔双索面钢箱梁斜拉桥,桥长达到8 146m。2008年6月苏通大桥正式通车,它的建成不仅是中国也是世界斜拉桥历史上的一个里程碑,标志着斜拉桥由大跨径和特大跨径向超大跨径的发展趋势。

本书是作者从事大跨径斜拉桥施工技术理论研究和工程实践的成果总结,针对苏通大桥具有的跨径大,桥面宽,架设高及水文、气象条件恶劣等特点,重点讨论了苏通大桥建造过程中所面临的技术问题及所取得的科技成果,这些成果在大桥建造中得到了成功的应用。本书第1章对大跨径斜拉桥发展现状和建造技术问题进行了概述;第2章着重介绍了大型深水群桩基础施工技术;第3章阐述了超高混凝土索塔施工技术,涉及索塔总体施工和控制技术、钢锚箱安装和自动监测系统等方面;第4章阐述了千米级斜拉桥上部结构架设关键技术,包括了施工期结构体系、塔梁临时固结设计、主梁架设技术和斜拉索架设技术;第5章概述了千米级斜拉桥施工控制技术,包括了千米级斜拉桥几何控制体系、精度控制指标、现场安装控制体系等内容;第6章系统总结了千米级斜拉桥建造关键技术的创新之处。

在本书编写过程中,罗承斌、张永涛、吴启和、田唯、游新鹏、黄灿等参加了部分内容的编写工作。

衷心感谢江苏省苏通大桥建设指挥部、中交公路规划设计院有限公司、科威

公司、茂盛公司、中铁山桥集团有限公司、同济大学、西南交通大学、南京水利科学研究院等单位在理论研究与工程项目实施中所提供的支持。本书中用到上述单位提供的部分图、表和照片,在此一并致谢。

由于时间仓促,书中存在不妥之处在所难免,望读者见谅。

著 者

2014 年 6 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 现代斜拉桥发展现状	1
1.3 千米级的跨越——苏通长江公路大桥	3
1.4 千米级斜拉桥适宜的施工方法	6
1.5 千米级斜拉桥施工关键技术研究主要内容	11
第2章 深水基础施工关键技术	13
2.1 概述	13
2.2 深水钻孔平台搭设技术	14
2.3 大型双壁钢吊箱设计与施工技术	28
2.4 深水基础防护与施工技术	41
第3章 索塔施工关键技术	55
3.1 概述	55
3.2 钢筋混凝土索塔施工控制技术	57
3.3 钢锚箱安装控制技术	74
3.4 全站仪竖直高程传递技术	87
3.5 索塔施工期抗风	90
第4章 上部结构架设关键技术	99
4.1 概述	99
4.2 主梁施工期结构体系	100
4.3 主梁架设技术研究	114
4.4 斜拉索架设技术	143
4.5 施工期风振研究	152
第5章 施工控制	167
5.1 概述	167

5.2	几何控制法的基本思想及理论基础	167
5.3	控制参数及响应特性	175
5.4	控制精度标准	180
5.5	构件制造控制	187
5.6	现场安装控制系统	193
5.7	自动化、智能化动态几何监测系统	198
5.8	苏通大桥应用成果	205
第6章	结论与展望	210
6.1	总结	210
6.2	展望	211
参考文献		213

第 1 章 绪 论

1.1 引言

交通运输基础设施不仅作为保证社会经济正常运行的公共服务系统的重要组成部分,也对国民经济的健康快速持续发展起着至关重要的作用。改革开放 30 年来,大跨径桥梁的修建规模和数量与日俱增,与此同时,大跨径桥梁综合体现了交通行业新技术集中应用与创新。斜拉桥作为大跨径桥梁最为重要的形式之一,发展势头迅猛。据统计,目前国内斜拉桥数目已超过 200 座,数量约占全世界斜拉桥总数的 35%,并表现出向大跨径和特大跨径发展的趋势,其中世界首座主跨超过千米的斜拉桥——苏通大桥(主跨 1 088m)已经建成通车。

苏通大桥的建成,标志着斜拉桥开始由大跨径向超大跨径发展的进程。作为斜拉桥发展史上具有里程碑意义的超大跨径桥梁,大桥具有结构体系复杂、施工工序繁多、施工控制难度大、施工过程中结构安全性问题突出等特点,因而研发先进的成套施工技术是保障其高质量建成的关键,也是大桥顺利建成最为重要的前提条件之一。为此,本书以苏通大桥建造为研究对象,对千米级斜拉桥建造关键技术进行了系统研究,结合成功实施的多座大跨径斜拉桥施工与控制技术,提出并形成千米级钢箱梁斜拉桥建造关键技术。

1.2 现代斜拉桥发展现状

斜拉桥的上部结构由梁、索、塔三类构件组成,它是一种桥面体系以加劲梁受压(密索)或受弯(稀索)为主、支承体系以斜索受拉及桥塔受压的桥梁。

斜拉桥的构思可以追溯到 1617 年意大利人 Faustus Verantius 设计的九根平行拉链悬桥的略图。限于当时的材料性能及桥梁理论水平,18 世纪初期世界上发生过几座桥梁坍塌事故,法国工程师纳维(Navier)调查事故原因后,得出悬索桥比斜拉桥在力学上具有优势的结论,之后斜拉桥发展处于停滞状态。1949 年德国工程师迪辛格(F. Dischinger)发表了斜拉桥的研究成果,对德国乃至整个桥梁界影响深远。具有真正意义的现代第一座斜拉桥——瑞典的斯特洛姆桑特(Strömsund)桥于 1956 年建成通车。

随着桥梁结构分析理论的完善、各种新材料和新设备的涌现、电子计算机计算技术的发展,斜拉桥技术从 20 世纪 70 年代至今,得到了快速发展。斜拉桥技术发展经历了四个时代:第一个时代的斜拉桥为稀索体系;第二个时代的斜拉桥为密索体系;第三个时代的斜拉桥以主梁柔薄化为主要特征;第四个时代的斜拉桥以向大跨径和特大跨径进军为特征。在跨径为 200 ~ 600m 范围内,斜拉桥是最具竞争力的桥型,在 600 ~ 1 000m 的跨径范围内,钢



梁、结合梁和混合梁斜拉桥有相当的竞争优势,在这一跨径范围内,梁桥和拱桥是难以修建的,悬索桥有时会因锚碇难以修建或其他特殊原因也不得不让位于斜拉桥。其次,由于斜拉索材料性能的改进、设计理论与计算分析技术的进步、施工技术的提升、柔轻美观多变的造型,使得斜拉桥在现代大跨径桥梁中脱颖而出。

截至 2013 年,世界前十大跨径斜拉桥如表 1.2-1 所示,其中,前三大跨径斜拉桥如图 1.2-1 ~ 图 1.2-3 所示。

世界前十大跨斜拉桥(截至 2013 年)

表 1.2-1

桥梁名称	国 家	主跨(m)	塔形与塔高	主梁形式	拉索种类	建成时间(年)
俄罗斯岛大桥	俄罗斯	1 104	倒 Y 形混凝土塔 320m	钢箱梁	钢绞线	2012
苏通大桥	中国	1 088	倒 Y 形混凝土塔 300.4m	钢箱梁	平行钢丝	2008
昂船洲大桥	中国	1 018	独柱形混凝土塔 298m	分离式 混合梁	平行钢丝	2008
鄂东长江大桥	中国	926	A 形混凝土塔 242.5m	分离式 混合梁	平行钢丝	2010
多多罗大桥	日本	890	倒 Y 形钢塔 220m	混合梁	平行钢丝	1999
诺曼底大桥	法国	856	倒 Y 形混凝土塔 202.7m	混合梁	钢绞线	1995
九江长江大桥	中国	818	H 形混凝土塔 242.308m	混合梁	平行钢丝	2013
荆岳长江大桥	中国	816	H 形混凝土塔 265.5m	混合梁	平行钢丝	2010
上海长江大桥	中国	730	独柱形混凝土塔 209.32m	钢箱梁	平行钢丝	2009
上海闵浦大桥	中国	708	H 形混凝土塔 210m	钢桁梁	平行钢丝	2010



图 1.2-1 俄罗斯岛大桥(俄罗斯,主跨 1 104m)



图 1.2-2 苏通长江公路大桥(中国,主跨 1 088m)

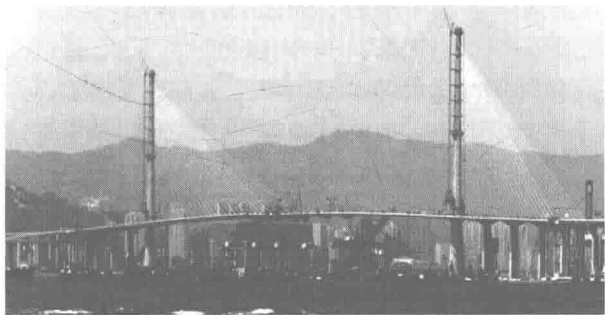


图 1.2-3 昂船洲大桥(中国香港,主跨 1 018m)

1.3 千米级的跨越——苏通长江公路大桥

1.3.1 工程概述

苏通长江公路大桥位于江苏省东部的苏州(常熟)市和南通市之间,东距长江入海口 108km,西距江阴长江大桥 82km,是国家“十一五”期间的重点建设工程项目,是《国家高速公路网规划》中沈阳至海口高速公路沿海大通道跨越长江天堑的重点工程。大桥由北接线、跨江大桥和南接线组成,其中跨江大桥长 8 146m,桥型采用主跨为 1 088m 的七跨双塔双索面钢箱梁斜拉桥。

大桥主桥总体布置如图 1.3-1 所示,主桥钢箱梁共分为 17 种类型,共 141 个梁段,节段标准长度为 16m,边跨尾索区长度为 12m。桥面按双向六车道布置,桥面纵坡为 1.5%。主跨和边跨标准梁段最大起吊重量达到 450t,最大起吊高度达到 80m,钢箱梁全宽 41m(包括风嘴),不含风嘴的情况下顶板宽 35.4m,中心线处梁高 4m,桥面横坡为 2%。标准钢箱梁横断面如图 1.3-2 所示。

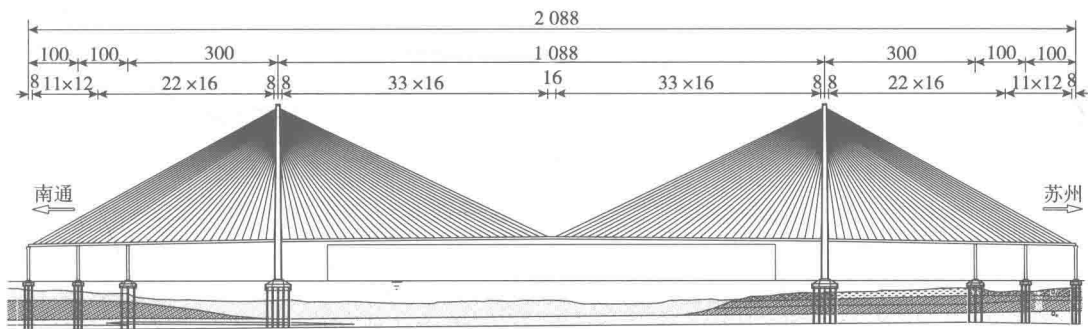


图 1.3-1 苏通大桥总体布置图(尺寸单位:m)

索塔塔柱采用倒 Y 形结构,其塔柱结构分为下塔肢、中塔肢、横梁和上塔肢四部分。索塔中塔肢和下塔肢结构为钢筋混凝土结构,索塔上塔肢为钢锚箱—混凝土的钢混组合结构;钢锚箱分为 A、B、C 三种类型,共 30 节;索塔基础为 131 根直径 2.85/2.5m 的钻孔灌注桩群桩基础;斜拉索采用 $\phi 7$ 平行钢丝体系,全桥共 $34 \times 8 = 272$ 根斜拉索。索塔结构形式如图 1.3-3 所示。

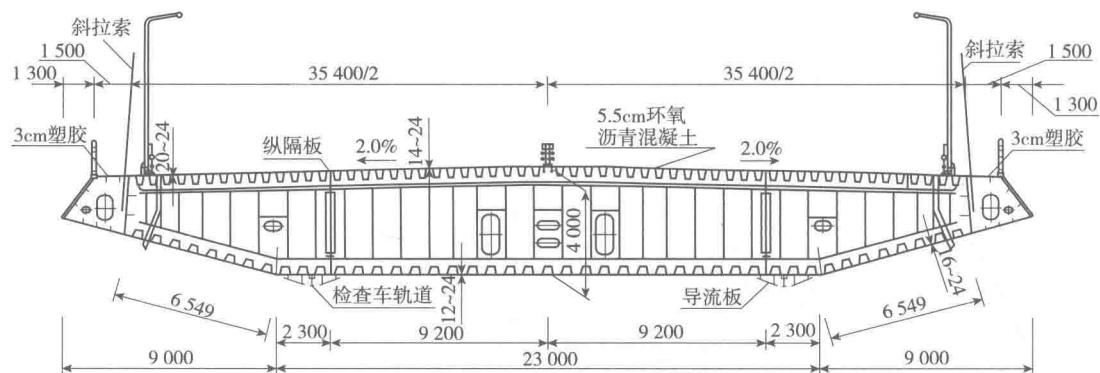


图 1.3-2 苏通大桥主桥标准钢箱梁截面图(尺寸单位:mm)

大桥建设条件方面存在四大特点和难点,即气象条件差、水文条件复杂、基岩埋藏深和通航要求高。同时,工程中的超大规模群桩基础、300m 超高索塔、超长斜拉索和超大跨径悬臂施工是设计、施工、监控将面临的关键技术难题。

1.3.2 千米级斜拉桥建造特性

作为最为复杂的桥型之一,千米级斜拉桥建造具有如下鲜明特点:

- (1) 桥址处水文条件极为复杂,深水基础施工难度突出。
- (2) 超高索塔的柔性特征表现明显,根部超大面积混凝土温控和上塔柱几何线形精确定位等均面临巨大挑战。
- (3) 超大跨径上部结构属于高次超静定结构,几何非线性效应十分明显,主梁架设及超长拉索安装工艺复杂。
- (4) 施工过程误差具有累积性和延续性,结构响应易受到施工和环境因素影响。

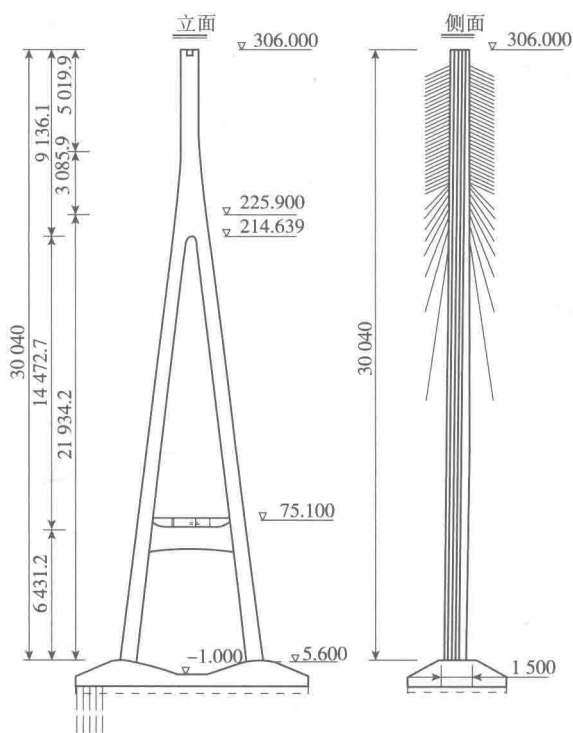


图 1.3-3 苏通大桥索塔结构图

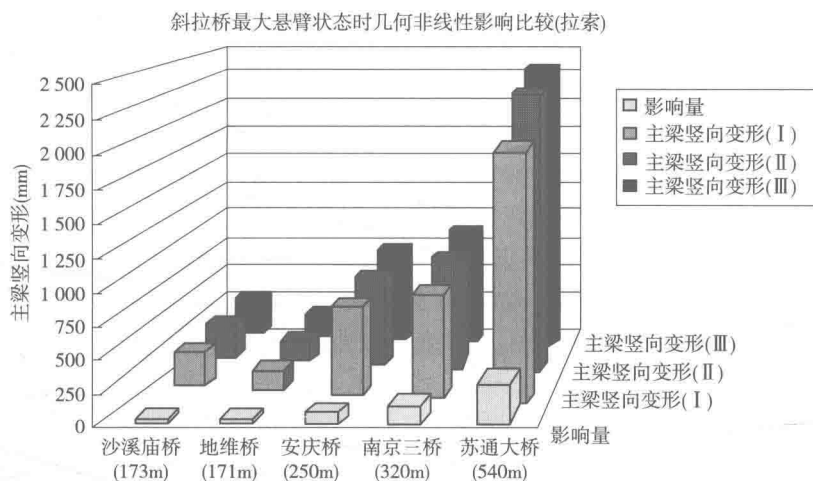
(高程单位:m;尺寸单位:cm)

性,结构响应易受到施工和环境因素影响。

通过对国内 5 座不同跨径斜拉桥在悬臂施工过程中结构变形以及几何非线性效应的分析研究,得到非线性效应随跨径的变化情况,如图 1.3-4 所示。图中 I 对应线性分析结果,II 对应部分非线性分析结果(只考虑垂度效应),III 对应完全非线性分析结果。

由图 1.3-4 可以得知,随着悬臂长度的不断增大,主梁的变形不断地增大,几何非线性的影响效应随之增加,其中斜拉索垂度效应的影响也逐渐变大。主跨为 180m 的沙溪庙桥最大悬臂状态时完全非线性的影响量为 22mm,其中垂度效应的影响量为 11mm,占整个几何非线性影响效应的 50%;主跨达到 1 088m 苏通大桥最大悬臂状态时,几何非线性的影响量已

达到 415mm,其中垂度效应的影响量为 302mm,占整个几何非线性影响效应的 72.8%。可见,对于不同跨径的斜拉桥,随着跨径的增大,几何非线性的影响效应不断增大,而且增大的趋势逐渐显著,垂度效应在整个几何非线性中所占的比重也随着跨径的不断增大而变大,跨径超过千米的斜拉桥,垂度效应所占的比重超过 70%。因而,对于千米级斜拉桥而言,非线性效应不容忽视。相对于大跨径斜拉桥($l=600\sim 800\text{m}$)而言,跨径的增加导致超大跨径斜拉桥的力学行为经历了从量变到质变的过程。



	沙溪庙桥 (173m)	地维桥 (171m)	安庆桥 (250m)	南京三桥 (320m)	苏通桥 (540m)
影响量	24	27	83	137	415
主梁竖向变形(I)	271	153	688	831	1 954
主梁竖向变形(II)	282	282	735	917	2 256
主梁竖向变形(III)	293	293	774	968	2 369

图 1.3-4 不同跨径斜拉桥最大悬臂状态时几何非线性比较

同时,随着斜拉桥跨度的不断增大,斜拉桥结构形式逐渐向“深基高塔超大跨”、箱梁薄壁化及轻柔化的方向发展。超长斜拉索的非线性效应突出,柔性结构变形量大,大位移效应显著,同时大跨密索引起的索塔及主梁轴向压力大、结构几何刚度在总刚度中所占比例更大,这些因素效应都要求在千米级斜拉桥在建造过程必须予以重视。

1.3.3 工程特点及挑战

苏通大桥临近长江入海口,是世界上首座超千米斜拉桥,具有跨径大、桥面宽、架设高度高及水文、气象条件恶劣等特点。作为典型的超大跨径斜拉桥,大桥施工不仅具备大跨径斜拉桥的普遍特点,又有其鲜明的技术特色,面临更多的困难与挑战。概括而言,苏通大桥施工面临的困难与挑战主要包括以下方面。

(1) 桥位地处长江风口,气象、水文条件恶劣

桥区气象条件的长期监测研究表明,桥位处一年中有将近 200d 有 6 级以上的大风,实测桥位江面 10min 平均风速大于 10m/s 的天数每年超过 170d,约占全年的 48%,桥梁结构风致振动和抗风安全问题突出。一年中降雨天气达 4 个月,大雾天气 31d,施工过程中构件



几何状态及结构力学状态等测试困难,测试数据的可靠性和准确性难以得到有效保障。

(2) 桥位处为黄金航道,对施工进度及施工期安全性提出了更高要求

桥位处航道为亚洲最繁忙的黄金航道之一,桥区通航密度高,大吨位船舶平均日通过船只2 300多艘,高峰期日通过船只接近5 000艘。航运与施工的安全矛盾突出。主跨标准梁段悬臂拼装时需封航,受封航时间限制,需在尽量短的时间内高质量、高效率地完成预定的施工是大桥上部结构施工的客观要求。

(3) 大型深水群桩基础施工难度大

主塔墩基础采用131根直径2.8/2.5m、长117m和114m的钻孔灌注桩群桩基础,为世界上最大规模的深水群桩基础,桥位处潮差大2~4m,波浪高1~3m,水深35m,流急(一般2.0m/s,最大达4.47m/s),河床松软、易冲刷,深水潮汐河段钻孔平台搭设、超长直径钻孔灌注桩施工、大型钢筋混凝土承台施工、河床冲刷防护等存在前所未有的困难和挑战。

(4) 超高索塔施工与监测面临巨大挑战

索塔高度达到300.4m,已远超出国内索塔最高纪录。随着索塔高度增大,其柔性特征表现尤为突出,对施工临时荷载、环境因素的变化较为敏感,风振效应显著;同时,宽阔水面大大限制了放样基准点的布设,水面大气折光影响严重,不利于施工定位工作的开展。此外,大桥索塔锚固区首次采用钢锚箱结构,首节钢锚箱底高程为+225.9m,高空条件下的钢锚箱安装精度控制和测量面临巨大挑战。

(5) 主梁及拉索架设施工难度大

由于苏通大桥为超大跨径斜拉桥,主梁构件数量多、重量大,斜拉索最大长度达577m,施工架设难度大;主梁悬臂长度大、施工周期长、施工工序多,施工调控困难,施工误差累计易导致更为严重的施工质量风险和施工过程安全风险。

(6) 施工控制面临前所未有的挑战

大跨径斜拉桥施工控制难度大,施工误差更易于导致发散的控制结果,会对结构运营带来隐患,甚至导致施工过程重大安全事故。超大跨径斜拉桥架设精度与全过程安全管控,对施工控制方法的科学性、有效性、合理性、完备性也提出了全面挑战。由于施工控制对于斜拉桥建设的极端重要性,斜拉桥从大跨径向超大跨径推进的发展趋势客观要求在传统控制方法的基础上发展更为有效的施工控制成套技术。

(7) 施工过程安全性问题突出

由于千米级跨径斜拉桥变形大,结构更为纤柔,施工过程的稳定性问题、抗风安全性问题极为突出。因此,客观上要求建立完备的施工过程安全保障系统以规避施工过程风险,保障施工过程的安全性。

1.4 千米级斜拉桥适宜的施工方法

1.4.1 索塔基础施工方法

处于深水区域的大跨度缆索承重桥梁索塔基础,主要有沉(箱)井基础和钻孔灌注桩基础两种形式。国外处于深水区域的缆索承载桥梁索塔大多采用预制沉放的沉井或沉箱基础,而国内大多数采用钻孔桩群桩基础。

(1) 沉井、沉箱基础

水中沉井基础和沉箱基础施工略有不同,沉井基础一般采用在岸上进行首节段或整体预制,然后采用浮运、驳船运输或浮吊吊运等方式运至设计位置,利用事前施工完成的定位系统进行定位下沉。首节沉井下沉至稳定深度后,进行余下节段拼接(钢沉井)或现浇接高(混凝土沉井),然后进行吸泥下沉,再接高,依次循环施工,直至沉井下沉至设计高程,最后进行沉井封底施工,浇筑井内结构物,直至基础施工完成。泰州长江公路大桥中塔沉井基础如图 1.4-1 所示。

水中沉箱基础一般先对河(海)床进行开挖,必要时还需对基床进行地基处理(如希腊里翁—安蒂里翁大桥),再进行抛填垫层和整平,形成沉箱基础,然后将在陆上预制好的沉箱结构采用浮运、驳船托运或浮吊吊运等方式运至设计位置,利用事先实施好的定位系统进行定位沉放,直接将沉箱基础放置于处理好的地基上,形成索塔基础,如日本的明石海峡大桥主塔基础,见图 1.4-2。

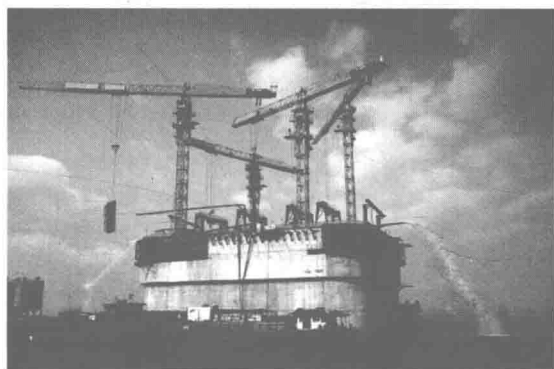


图 1.4-1 泰州公路大桥中塔沉井基础



图 1.4-2 明石海峡大桥沉箱基础

(2) 钻孔桩群桩基础

钻孔灌注桩基础施工关键技术主要包括钻孔平台搭设、成孔技术和承台围堰施工三个方面。

目前,钻孔平台搭设技术主要有:以钢管桩为支撑的钻孔平台施工技术,国内大多数水中大型钻孔桩基础均采用该方法进行钻孔平台搭设,如鄂黄长江公路大桥、南京长江第三大桥(以下简称:南京三桥);以钢围堰为支撑的钻孔平台施工技术,如黄石长江大桥、重庆忠县长江大桥等;还有采用驳船或浮箱拼装成浮式平台,进行钻孔桩施工,该类平台一般用于水深较深且无覆盖层的情况,如泰和赣江特大桥、女姑山特大桥等。

水中钻孔灌注桩的成孔主要采用机械成孔,先后发展了冲击成孔、螺旋钻成孔、旋转式钻机成孔、冲抓式成孔、取土斗成孔等成孔工艺;在成孔过程中,钻孔护壁也形成了泥浆护壁和全护筒护壁等工艺方法,而泥浆护壁又分为正循环、反循环和非循环等形式,上述钻孔灌注桩成孔工艺在国内外的桥梁工程中均有应用。

在承台施工方面,先后发展了钢套箱、钢吊箱、混凝土套箱、混凝土吊箱等施工方法,并形成了以钢护筒为支撑导向的钢围堰沉放施工方法、以上下游拉靠墩为定位系统的钢围堰施工方法、以定位船与重力锚组合定位系统的钢围堰施工方法等。



1.4.2 索塔施工方法

索塔是大跨径斜拉桥的重要组成部分,主要由塔座、塔肢和横梁组成,按照建造材料可以分为两大类,一类为钢筋混凝土索塔,另一类为钢塔。国内大跨径斜拉桥大多采用钢筋混凝土索塔,而南京三桥采用了钢索塔;国外大多采用钢塔,也在一些大跨径斜拉桥中采用混凝土索塔,如法国诺曼底大桥。

(1) 钢索塔

钢索塔一般采用工厂预制加工,现场拼装的施工方法。有成桥后对维护保养要求高,施工过程中对起重设备能力及施工精度要求高等特点。

钢索塔施工一般包括工厂分段预制加工和现场吊装两个施工阶段。在制订施工方案时,应对水平运输就位、垂直运输、超重设备吊装高度、起吊吨位大小等施工因素进行充分的考虑。钢索塔现场架设的施工方法有以下几种:

①逐节段拼装法,采用塔式起重机或爬升式起重机现场安装,如中国南京三桥、日本多多罗大桥等。

②整体或大节段吊装法,大多采用大型浮吊安装,起吊塔高控制在 100m 左右,如日本生口大桥、名港东大桥等。

③逐节段拼装和大节段吊装结合的施工方法,如中国泰州大桥等。

④其他方法,如转体法、门吊安装法等。

现场安装时,一般采用现场焊接接头、高强度螺栓连接或焊接和螺栓连接混合连接的方式对钢索塔块段进行拼装连接。经过工厂加工制造和立体试拼合格的钢索塔块段,在正式安装时还应进行严格的施工测量控制,并及时用拼接板螺栓孔位调整或增设调整段以调整索塔的轴线和方位,防止制造误差、安装误差、测量误差及环境效应的积累。

钢塔是相对柔细的直立悬臂结构。钢塔架设中常常在低风速时发生较大的面外(沿桥轴向)振动。有必要开展风洞试验,根据分析结果考虑适宜的减振对策。减振措施主要有改变塔柱断面形状和增设阻尼器等,如在中国南京三桥钢塔架设时增加了 TMD 和 TLD 等阻尼器。

(2) 混凝土索塔

混凝土索塔通常由基础、承台、塔柱、横梁、上塔柱拉索锚固区等组成。混凝土索塔塔柱一般采用支架法、滑模法、爬模法、翻模法分段施工,施工节段大小划分与塔柱构造、施工设备性能、施工方法、施工环境条件等多方面因素有关。中交二航局在润扬长江大桥悬索桥率先引进、吸收、创新了液压爬模法施工桥塔工法,并迅速在全国得到了推广,目前国内大跨径桥梁索塔塔柱施工均采用液压爬模法。

在高空进行大跨度、大断面现浇预应力混凝土横梁施工难度大,通常采用落地支架法、托架法等进行横梁施工。根据横梁结构和混凝土浇筑能力不同,横梁可整体或分次浇筑。在索塔施工中,由于塔柱的倾斜,自重会使塔柱横桥向侧产生拉应力,需要在施工过程中在两塔柱间设置横向水平支撑。需要注意的是,随着桥梁跨径增加,塔柱越来越高,受日照、风等环境影响,索塔线形控制和抗风安全将成为突出问题。

1.4.3 主梁施工方法

根据斜拉桥主梁结构形式的不同,架设方法有所差异。

(1) 针对混凝土主梁,通常采用悬臂浇筑法或悬臂拼装法架设,如我国湖北鄂黄大桥和荆沙大桥、广州珠海淇澳大桥等。

(2) 针对钢混组合主梁,较多采用散件悬臂拼装、预制桥面板现场结合工法,如我国上海南浦大桥、杨浦大桥、武汉二七长江大桥等。目前开始研究整节段工厂预制、现场拼接工法,如在建的安徽望东大桥、福建泉州湾大桥等。

(3) 针对扁平钢箱主梁或板桁结合主梁,通常采用悬臂拼装法,如中国武汉军山大桥、中国南京三桥、法国诺曼底大桥、日本多多罗大桥、中国江苏苏通大桥、中国香港昂船洲大桥、俄罗斯岛大桥等。

(4) 针对钢桁架主梁,可采用散件拼装法、分片桁架拼装法及整节段拼装法等,均在中国大跨径公铁两用大桥中广泛采用。除以上施工方法外,还有顶推法、支架现浇或拼装法、平转法等。

钢箱梁成为超大跨径斜拉桥首选的主梁结构形式,在超大跨径斜拉桥主梁悬臂拼装时,施工控制、抗风安全、施工期结构体系及结构稳定性将成为亟待解决的关键问题。世界上部分已建成斜拉桥架设方法如表 1.4-1 所示。

钢箱梁斜拉桥主要架设方法

表 1.4-1

序 号	桥 名	主 梁 架 设 方 法
1	法国圣纳泽尔桥	边跨:千斤顶逐渐顶起;中跨:履带吊伸臂
2	西班牙兰德桥	平衡伸臂
3	美国卢灵桥	边跨:支架及履带吊;中跨:浮吊伸臂
4	瑞典乔恩桥	边跨:钢筋混凝土主梁;中跨:活动吊机伸臂
5	韩国真岛桥	边跨:支架及轨道吊;中跨:伸臂法
6	澳大利亚西门桥	德立克吊机
7	阿根廷萨拉特巴拉那桥	德立克吊机伸臂
8	德国科尔布兰德桥	浮吊或轨道吊平衡伸臂
9	德国克尼桥	德立克吊机伸臂
10	英国埃尔斯凯桥	架设梁伸臂
11	捷克布拉迪斯拉发桥	驳船伸臂
12	德国塞维林桥	支架及德立克伸臂
13	德国德根瑙桥	德立克吊机伸臂
14	韩国突山桥	边跨:支架;中跨:德立克吊机伸臂
15	德国勒费库森桥	支架伸臂
16	德国费里德里克桥	德立克吊机伸臂
17	德国施佩耶桥	德立克吊机伸臂
18	荷兰埃韦克桥	架设梁伸臂



续上表

序 号	桥 名	主 梁 架 设 方 法
19	德国上卡赛尔桥	活动吊机伸臂
20	德国里斯桥	边跨:支架及活动吊机;中跨:活动吊机伸臂
21	南斯拉夫萨尔河桥	支架上伸臂
22	加拿大帕比诺——勒布朗桥	活动吊机伸臂
23	英国怀河桥	伸臂
24	澳大利亚巴特曼桥	架设吊机
25	奥地利林茨桥	活动吊机伸臂
26	德国艾伯特桥	德立克吊机伸臂
27	日本横滨港横断桥	边跨:支架及浮吊;中跨:伸臂
28	日本柜石岛·岩黑岛桥	边跨:支架及浮吊;中跨:伸臂
29	日本名港西桥	边跨:支架及浮吊;中跨:伸臂
30	日本大和川桥	边跨:平衡架设;中跨:履带吊机架设
31	日本安治川桥	边跨:浮吊整体架设;中跨:伸臂
32	日本尾道桥	中跨:缆索吊机伸臂
33	日本海鸥桥	支架及浮吊架设
34	日本丰里桥	支架及轨道吊架设
35	日本六甲桥	支架及浮吊架设
36	日本水乡桥	支架及伸臂
37	日本大黑桥	支架及浮吊架设
38	日本荒川桥	边跨:支架及浮吊;中跨:伸臂
39	日本石狩河口桥	边跨:支架及浮吊;中跨:缆索吊机
40	日本秋父桥	伸臂
41	日本藤户桥	支架及轨道吊
42	中国南京长江二桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
43	中国武汉白沙洲桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
44	中国汕头礮石大桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
45	中国上海杨浦大桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
46	中国武汉军山大桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
47	中国润扬长江大桥北沙斜拉桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
48	中国芜湖长江大桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
49	中国南京三桥	0号块:支架及浮吊;其余吊机悬拼
50	中国苏通大桥	0号块:支架及浮吊;边跨大节段安装,其余吊机悬拼
51	中国昂船洲大桥	0号块:整体液压提升;其余吊机悬拼
52	中国俄罗斯岛大桥	0号块:支架及起重机;其余吊机悬拼