

厦门海沧大桥建设丛书·第二册

THE COLLECTION OF XIAMEN HAICANG BRIDGE CONSTRUCTION 2

潘世建

杨盛福

主编

SCIENCE INVESTIGATION TEST SPECIAL
科研·试验·专用技术标准
TECHNOLOGY STANDARD

人民交通出版社
China Communications Press

厦门海沧大桥建设丛书

第二册

科研·试验·专用技术标准

潘世建 杨盛福 主编

人民交通出版社

2001·北京

内 容 提 要

本书是《厦门海沧大桥建设丛书》分册之一,该分册全面介绍厦门海沧大桥建设单位在海沧大桥工程预可行性研究、工程可行性研究、初步设计、施工图设计阶段和施工阶段,委托有关单位完成的桥下通航净空研究、桥址气象及风力观测研究、桥址工程地质及工程地震稳定性研究、水文泥沙分析、工程测量控制网、环境影响评估、双掺混凝土及膨胀混凝土试验研究;以及海沧大桥施工过程中,由海沧大桥指挥部组织各参建单位开展的重大试验研究成果,制定的专用技术标准、施工规程、工程质量检验评定标准以及海沧大桥建成后,进行的荷载试验成果。

图书在版编目(CIP)数据

科研·试验·专用技术标准 / 潘世建, 杨盛福主编.
北京: 人民交通出版社, 2001. 10
(厦门海沧大桥建设丛书; 2)
ISBN 7-114-04051-2

I. 科... II. ①潘...②杨... III. ①公路桥-桥梁工程-科学研究-厦门市②公路桥-桥梁工程-实验-厦门市③公路桥-桥梁工程-工程技术-标准-厦门市
IV. U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 060839 号

厦门海沧大桥建设丛书

第二册

科研·试验·专用技术标准

潘世建 杨盛福 主编

正文设计:王静红 责任校对:尹 静 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:880×1230 $\frac{1}{16}$ 印张:24.75 插页:1 字数:744 千

2002 年 1 月 第 1 版

2002 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001~3000 册 定价:60.00 元

ISBN 7-114-04051-2
U·02957

海
滄
大
橋

江
澤
民

江泽民总书记于一九九九年春为海沧大桥题写桥名，现已镶刻在悬索桥索塔上横梁正中并用霓虹灯装饰，极目可望。



《厦门海沧大桥建设丛书》编委会

主 编

潘世建 杨盛福

执行副主编

曾 超 徐风云

副 主 编

黄灵强 彭宝华 侯金龙 刘刚亮 刘元豹 张 力 程正明

编 委

(按姓氏笔画排序)

王庆棠	王国锋	王保君	文 杰	王 寅	石国彬
江孔雀	汤文杰	李会强	李志伟	汤 敏	刘德全
孟凡超	张亚明	张志宏	杨思民	余海泉	陈德荣
罗国强	林树人	赵 勇	钟俊芳	洪德昌	唐功杰
袁 洪	黄和宾	梁 超	韩道均	薛光雄	缪鲁萍

编 审 组

陈德荣(组长) 曾 超 徐风云 余海泉

序 言

这是一部情意浓浓的回忆录，
它把我们带回到漫长的建设历程。
这是一部展示现代桥梁技术的教科书，
它引导我们去攀登新的高峰。
这是一部人与自然、梦想与现实的画卷，
它让我们品味到工程与艺术的和谐韵律。
这是一部用数据写成的史诗，
它记载着艰苦的耕耘和丰收的喜悦。
这是一份特殊的礼物，
它包含了建设者们向新世纪献礼的全部心意。

《厦门海沧大桥建设丛书》共计九册。第一册《工程建设与管理》、第二册《科研·试验·专用技术标准》、第三册《桥梁景观》、第四册《东航道悬索桥》、第五册《西航道连续刚构桥》、第六册《互通立交·引道·引桥》、第七册《交通工程》、第八册《桥路面铺装工程》、《摄影专集》。

建设海沧大桥曾经是厦门人民多年的梦想。直到邓小平同志南巡厦门之后，海沧大桥才被正式列入《厦门市城市总体规划调整方案》和《厦门市对外交通发展规划》中。海沧大桥筹建工作于1984年11月正式启动，至1996年12月18日开工奠基，历时12年。先后完成了工程地质勘探、地形测量、交通量调查分析、桥下通航净空分析；其间，开展了大量的前期科学试验、材料试验、桥梁景观研究、风况监测、大气环境监测；多次组织了有国内外专家参加的技术论证会；编制了专用技术标准。所取得的成果为预可行性研究、工程可行性研究、初步设计、施工图设计和工程决策提供了科学依据和技术支持。在此期间，还解决了建设资金筹措及资金运行问题。

1997年至1999年是海沧大桥施工阶段。由于海沧大桥主桥是我国第一座三跨连续漂浮体系钢箱梁悬索桥，技术含量高，施工难度大，为了保证工程质量，实现“创精品工程”的目标，各参建单位又开展科技攻关，依靠科技进步解决施工中的技术问题，确保工程质量，加快建设速度。在施工阶段，各参建单位还摸索出了各种大型公路基本建设工程建设管理经验，其中包括：“工程建设管理模式”、“五级质量管理体系”、政府在现场设置“质量监督办公室”、“二级社会监理模式”、“招投标模式”、“建设资金筹措与管理模式”、“大宗建筑材料及商品混凝土供应模式”等。

2000年1月1日海沧大桥如期建成通车之后，组建了厦门市路桥管理有限公司，专职

负责海沧大桥运营管理及维护工作,并与丹麦公路局合作开展现代化大型桥梁养护维修系统研究,把海沧大桥维护管理工作建立在科学的基础上,同时摸索并开拓了适应社会主义市场经济的桥梁管理模式。此外还组建了“海沧大桥旅游区经营分公司”专司海沧大桥旅游资源的开发利用。建设了“桥梁博物馆”、“厦门市青少年科技馆”,作为科普教育基地。

海沧大桥的建设最富特色之处在于:

一、突破了传统的桥梁工程建设观念。在初步设计阶段就同步开展系统的桥梁景观工程研究与设计,提出了“创一流景观”、“建设适应二十一世纪的现代化桥梁”等建设目标,统筹考虑工程建设、景观建设、环境保护和环境建设。此后,又提出了发展桥梁文化、开发桥梁旅游资源、建设桥梁科普基地等先进观念。

二、把桥梁艺术造型美作为选择桥型方案的主要条件。撰写了国内第一部《桥梁景观》专著。

三、在吸取国内外桥梁建设成就的基础上,组织科技攻关,大力引进和发展当代最先进的桥梁科学技术。包括采用“三跨连续漂浮体系悬索桥”,建立先进的交通监控系统,建立完整的防雷系统,研究中国式双层 SMA 改性沥青混凝土钢桥面铺装技术,研究采用“先缠丝后铺装”施工方案等。

四、进行资产重组,把海沧大桥推向资本运作市场。

从筹建至今的 17 年中,海沧大桥在我国改革开放、深入开展社会主义市场经济体制改革的大潮推动下,在交通部、福建省、厦门市政府的领导下,在国内外桥梁界的支持下,在社会各界的关心下,通过各参建单位的辛勤努力与艰苦奋斗,在 21 世纪到来之际如期建成通车,并实现了预定的质量、工期、投资控制目标。借此机会,我代表海沧大桥建设单位向所有直接或间接参加、支持、关心海沧大桥建设的同志们致以最诚挚地感谢。

厦门海沧大桥工程现场指挥部指挥长 潘世建

2000 年 1 月 1 日

厦门海沧大桥建设丛书

第二册《科研·试验·专用技术标准》编委会

主 编

陈德荣

副主编

徐风云 曾 超

主 审

徐风云 曾 超

编写人员

陈德荣	张 宁	沈锐利	张遂彩	张兆胜
刘建萍	潘世建	杨盛福	曾 超	侯金龙
孟凡超	周军辉	杨恩民	程正明	王仁贵
薛光雄				

厦门海沧大桥建设丛书

第二册《科研·试验·专用技术标准》编写人员

- 第一章 桥址气象及风力观测、设计风速计算——陈德荣
- 第二章 海沧大桥通航净空分析研究——陈德荣
- 第三章 桥址工程地质条件及评价——张 宁
- 第四章 地震危险性及工程抗震分析——陈德荣
- 第五章 水文泥沙分析——陈德荣
- 第六章 工程测量控制网——陈德荣
- 第七章 环境影响评估——陈德荣
- 第八章 东航道悬索桥抗风稳定性试验研究——陈德荣
- 第九章 双掺混凝土及膨胀混凝土的试验研究及其应用
- 第一节 概述——陈德荣
- 第二节 双掺混凝土的试验研究——陈德荣
- 第三节 锚碇后浇段膨胀混凝土试验研究——陈德荣
- 第四节 NF 与 561 外加剂对比试验——陈德荣
- 第五节 混凝土施工配合比试验与应用——张遂彩 张兆胜 刘建萍
- 第十章 锚碇大体积混凝土温度控制设计及实施水相逢——陈德荣
- 第十一章 锚碇预应力锚固系统的试验研究及技术规程——陈德荣
- 第十二章 悬索桥重大施工工序的革新
- “先缠丝后铺装”施工新技术的研究——潘世建 杨盛福 曾 超
- 陈德荣 侯金龙 孟凡超
- 周军辉 杨思民 程正明
- 王仁贵 薛光辉 徐风云
- 第十三章 东航道悬索桥施工监测与控制——沈锐利
- 第十四章 东航道悬索桥荷载试验——陈德荣
- 第十五章 西航道连续刚构桥荷载试验——陈德荣
- 第十六章 东渡互通立交主线桥荷载试验——陈德荣
- 第十七章 锚碇大体积混凝土技术规程——陈德荣
- 第十八章 厦门海沧大桥工程质量检验评定标准——陈德荣

前 言

厦门海沧大桥于1996年12月18日奠基,1999年12月28日通过交工验收,2000年1月1日通车,实际工期不到三年,工程质量优良,全面实现了预定的质量、工期、投资控制目标。日本著名悬索桥专家、海沧大桥名誉副总监森田泰生先生在通车典礼上接受厦门电视台采访时说:“类似海沧大桥规模的工程,在日本至少要六年才能建成,海沧大桥的建设经验值得日本借鉴”。海沧大桥能够优质、高效地建成,其主要原因之一是:从工程筹建阶段至工程施工过程,开展了大量的科研、试验、监测和技术论证工作。在此基础上,编制出各种专用技术标准,以科技进步推动桥梁建设,用先进科技成果指导工程决策,解决施工技术问题。现以如下三个示例说明如下:

其一,重力式锚碇大体积混凝土浇筑是悬索桥工程中尚未完全解决的重大技术问题,国内外一般采用低水化热矿渣水泥拌制大体积混凝土,但锚体开裂现象仍然屡见不鲜。受水泥国际招标条件限制,海沧大桥必须采用水化热高的525R硅酸盐水泥拌制C30大体积混凝土,为了防止锚碇开裂,海沧大桥建设者们进行了大体积混凝土温度控制设计研究、“双掺”混凝土试验研究,开展了现场科学试验和温控监测,编制了《锚碇大体积混凝土施工技术规程》。从而保证了锚碇工程质量,解决了锚碇开裂问题。

其二,自1883年美国设计师John A. Roebling设计并建成第一座使用钢丝做主缆的悬索桥(纽约Brooklyn桥)以来,一百多年中,国内外的悬索桥一直采用“先铺装桥面,后进行主缆缠丝防护”的施工程序,其主要原因是为确保主缆缠丝紧密、保证主缆涂装防护效果。海沧大桥从既要保证主缆防护效果,又要确保桥面铺装质量、保证施工连续性的目的出发,开展了“先缠丝防护、后铺装桥面”的专项研究工作,用所取得的成果指导施工,获得了很好的效果。这是对传统的悬索桥施工技术的一次重大技术突破。

其三,一般说来,单跨悬索桥钢箱梁架设完一半以上梁段后,主缆线形便趋于平顺,钢箱梁线形接近设计线形,线形控制比较简单。而三跨连续漂浮体系钢箱梁悬索桥,钢箱梁架设顺序及焊接顺序比较复杂,钢箱梁线形不仅受中跨梁段架设段数、还受边跨、锚碇无索区和塔区无索区梁段架设的影响,全桥梁段就位后,线形才符合设计要求。实施施工监控的科研人员提出梁段连接顺序与体系转换方法,保证结构内力与设计一致;提出塔区无索区梁段的线形连接方法,圆满解决了三跨连续漂浮体系悬索桥在一期恒载下桥面线形不连续的施工难题,保证了成桥线形的连续平顺;提出锚碇无索区梁段的连接线形,顺利完成全桥合龙。所以,海沧大桥施工监控成果具有较高的学术水平和实用价值,为现代化悬索桥建设积累了丰富经验。

此外,本册还系统、全面地介绍了其它重大科研、试验成果及专用技术标准。

本册各章由厦门海沧大桥工程现场指挥部委托有关专家根据各相关单位提交的各类相关报告撰写,由《丛书》执行副主编曾超、徐风云审定。由于编写时间较紧,编者水平所限,书中难免有不全面之处或错漏之处,敬请读者指正。

厦门海沧大桥总监理工程师办公室副总监 陈德荣

1999年12月29日

目 录

第一章 桥址气象及风力观测、设计风速计算	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 厦门市气候特征	(1)
一、温度、降雨、湿度	(1)
二、厦门灾害性天气及危害情况	(1)
三、厦门降水量的年际变化、季节分配特点、历史暴雨灾害情况	(4)
第三节 历年风况资料	(4)
一、大风	(4)
二、台风	(5)
三、飑线	(7)
第四节 桥位风速观测及设计风速计算	(7)
一、风速、风向观测	(7)
二、设计风速计算	(9)
三、几点说明	(11)
第二章 海沧大桥通航净空分析研究	(12)
第一节 现有船舶调查及船型发展预测	(12)
一、现有船舶调查	(12)
二、船型发展回顾和预测	(13)
第二节 通航净高分析	(14)
一、通航净高裕度的确定	(14)
二、船舶空载过桥时水面上高度调查分析	(15)
三、通航净高限制条件	(15)
第三节 通航净宽分析	(15)
一、通航净宽确定原则	(15)
二、通航净宽讨论	(16)
第四节 结论	(16)
附表 2-1 国内部分远洋运输船舶调查资料	(17)
附表 2-2 在中国港口停靠的国外(部分)船舶调查资料	(25)
第三章 桥址工程地质条件及评价	(27)
第一节 工程地质	(27)
一、地质概况	(27)
二、主要工程地质问题	(28)
三、工程地质评价	(28)
第二节 锚坑的平板载荷试验及地基承载力评价	(30)
一、试验原理、方法及步骤	(30)
二、典型试验点试验数据分析及计算	(32)

三、试验成果·····	(34)
四、结论·····	(34)
第三节 地质稳定性分析·····	(34)
第四章 地震危险性 & 工程抗震分析·····	(36)
第一节 区域地震构造及特征·····	(36)
一、区域地震构造·····	(36)
二、现代构造应力场特征·····	(39)
三、近场区地震构造·····	(41)
第二节 区域地震活动特征·····	(44)
一、地震资料·····	(44)
二、地震空间分布特征·····	(44)
三、地震带的划分·····	(45)
四、地震时间分布特征及未来地震趋势分析·····	(46)
五、历史地震的影响·····	(47)
六、近场区现代小震活动特征·····	(49)
第三节 地震危险性分析·····	(49)
一、分析方法概述·····	(49)
二、划分潜在震源区·····	(50)
三、地震危险性分析结果·····	(52)
第四节 场址设计地震动参数估计·····	(53)
一、牛粪礁的地震动反应分析·····	(53)
二、场址区设计地震动参数的确定·····	(54)
第五节 工程抗震分析·····	(55)
一、桥址地震地质构造及地震危险性分析参数·····	(55)
二、计算模式·····	(56)
三、动力特性分析结果·····	(58)
四、结构地震反应分析·····	(58)
五、结论·····	(62)
第五章 水文泥沙分析·····	(63)
第一节 概述·····	(63)
第二节 海流·····	(63)
一、实测海流·····	(63)
二、潮流·····	(65)
三、余流·····	(65)
四、断面流量·····	(65)
第三节 潮位·····	(73)
一、潮汐特性值·····	(73)
二、火烧屿验潮站潮位与厦门海洋站潮位相关计算·····	(74)
第四节 盐度及悬沙·····	(74)
一、盐度·····	(74)
二、悬沙·····	(74)
第六章 工程测量控制网·····	(78)

第一节 概述	(78)
第二节 三等工程测量控制网	(78)
一、桥轴线及引道控制测量	(78)
二、地形测量	(80)
第三节 定线测量	(81)
一、定线测量项目	(81)
二、全桥路线定线测量、纵断面测量及西引道横断面测量	(81)
三、桥轴桩的测设	(81)
第四节 施工测量控制网	(82)
一、建网的目的与意义	(82)
二、网型设计	(82)
三、控制网精度设计	(84)
四、GPS 观测方案设计	(84)
五、二等水准观测方案设计	(85)
六、电磁波测距与三角高程测量外业观测方案设计	(86)
七、GPS 网成果和测边网成果的比较与分析	(87)
八、水准网成果和三角高程网成果的比较	(87)
九、三角高程网成果与 GPS 网水准成果的比较	(87)
十、施工控制网和原测图控制网重合点新旧坐标比较	(88)
十一、新旧控制网测量的桥轴线控制桩坐标比较	(89)
第七章 环境影响评估	(91)
第一节 概论	(91)
一、重点评价内容和评价因子	(91)
二、评价标准和环境质量目标	(91)
三、大桥工程主要环境问题分析结论	(92)
第二节 环境影响评价	(92)
一、大气环境影响评价	(92)
二、噪声影响评价	(93)
三、生态环境影响评价	(94)
四、海域环境影响预测评价	(95)
第八章 东航道悬索桥抗风稳定性试验研究	(96)
第一节 悬索桥静力抗风性能及结构动力特性计算分析	(96)
一、原始数据及资料	(96)
二、结构动力特性分析	(100)
三、静风荷载作用下的内力及位移计算	(101)
四、静力稳定性计算	(102)
五、结论	(103)
第二节 悬索桥全桥模型及施工猫道模型风洞试验	(104)
一、气动弹性全桥模型及试验条件	(104)
二、成桥状态气动弹性全桥模型试验	(106)
三、施工阶段气动弹性全桥模型试验	(109)
四、施工猫道模型试验	(110)

五、结论	(112)
第九章 双掺混凝土及膨胀混凝土的试验研究及其应用	(114)
第一节 海沧大桥工程混凝土的技术特点	(114)
一、前言	(114)
二、海沧大桥对混凝土性能的技术要求	(114)
第二节 双掺混凝土的试验研究	(115)
一、混凝土防海蚀方案选定	(115)
二、混凝土配合比设计	(117)
三、混凝土性能试验及结果	(119)
四、技术经济分析	(125)
五、结论	(125)
第三节 锚碇后浇段膨胀混凝土试验研究	(126)
一、C30 膨胀混凝土配合比设计	(126)
二、C30 膨胀混凝土配合比试验	(126)
三、C30 膨胀混凝土性能试验	(130)
四、结论	(133)
第四节 NF 与 561 外加剂对比试验	(134)
一、试验材料和配合比	(134)
二、试验结果	(134)
三、结论	(136)
第五节 混凝土施工配合比试验与应用	(136)
一、混凝土的分类及特点	(136)
二、试验原材料	(137)
三、混凝土施工配合比及复检、调整应用情况	(139)
四、施工混凝土品质控制	(142)
第十章 锚碇大体积混凝土温度控制设计及实施	(144)
第一节 温度控制设计及计算	(144)
一、概述	(144)
二、基本资料	(144)
三、温度控制计算方案和结果	(146)
四、温度控制标准	(149)
第二节 混凝土浇筑入仓温度控制措施	(149)
一、出机口温度控制措施	(149)
二、入仓温度控制措施	(150)
第三节 大体积混凝土施工监测	(150)
一、施工监测目的及设计原则	(150)
二、混凝土温度监测	(151)
三、混凝土应力应变监测	(151)
四、施工技术要求	(151)
五、观测要求	(152)
第四节 东锚碇浇筑层厚 1.2m 时的温度应力计算	(153)
一、基本资料	(153)

二、温度应力计算	(154)
三、结论与说明	(155)
第五节 最佳浇筑分层厚度的研讨	(156)
一、概述	(156)
二、分析内容	(156)
第十一章 锚碇预应力锚固系统的试验研究及技术规程	(159)
第一节 前言	(159)
第二节 锚碇预应力锚固系统(OVM.MD15-7)技术规程	(159)
一、使用范围	(159)
二、技术要求	(159)
三、制造要求	(160)
四、试验要求	(161)
五、检验规则	(161)
六、安装要求	(162)
七、标志、包装、运输、贮存	(163)
八、交货时应提供的文件	(163)
第三节 MD15-7 锚碇拉杆静载试验	(163)
一、试验目的	(163)
二、试验设备	(163)
三、试验标准	(164)
四、试验步骤	(164)
五、试验结果及结论	(164)
第四节 MD15-7 锚碇拉杆组件动载试验	(165)
一、试件	(165)
二、试验设备	(165)
三、试验方法	(166)
四、试验结果	(166)
第十二章 悬索桥重大施工工序的革新——“先缠丝后铺装”施工新技术的研究	(167)
第一节 概述	(167)
一、立题背景	(167)
二、研究意义	(168)
三、关键技术问题和技术路线	(169)
四、国内外研究现状	(169)
第二节 主缆缠丝拉力导入值的研究	(172)
一、缠丝的作用	(172)
二、缠丝拉力与主缆拉力的本构关系	(172)
三、缠丝拉力计算公式的推证	(173)
四、导入缠丝拉力	(174)
五、主缆拉力的计算	(175)
六、系统温差对缠丝拉力的影响	(175)
七、确定主缆缠丝拉力的原则和计算方法	(176)
八、索夹紧固螺栓拉力损失与补偿的研究	(176)

第三节 海沧大桥主缆缠丝拉力计算	(177)
一、基本参数	(177)
二、恒载集度及汽车活荷载集度计算	(177)
三、主缆拉力增量计算	(178)
四、理论缠丝拉力及施工导入缠丝拉力计算	(178)
五、缠丝圈与主缆介面压应力验算	(179)
六、缠丝圈强度验算	(179)
七、缠丝圈“松弛”效应验算	(179)
八、索夹螺栓紧固力损失验算	(179)
九、悬索桥缠丝拉力比较	(179)
第四节 缠丝机研制及缠丝施工工艺研究	(180)
一、缠丝机研制	(180)
二、缠绕钢丝	(181)
三、缠丝施工技术研究	(181)
四、缠绕钢丝固焊	(183)
第五节 主缆涂装防护	(183)
一、对涂装防护的要求	(183)
二、涂装工艺流程	(183)
三、涂装新材料	(185)
四、涂装新技术、新工艺	(185)
五、涂料老化性能跟踪检测	(185)
第六节 施工组织管理	(187)
第七节 可靠度及效益评估	(187)
参考文献	(188)
附录一 厦门海沧大桥主缆缠丝涂装施工实测成果	(189)
附录二 厦门海沧大桥索夹螺栓紧固力实测成果	(190)
第十三章 东航道悬索桥施工监测与控制	(193)
第一节 悬索桥主缆内力与线形的计算方法	(193)
一、概述	(193)
二、悬索桥成桥线形的计算方法	(194)
三、主缆空缆线形及预偏量计算	(196)
四、架设钢箱梁阶段结构线形计算	(196)
五、程序及应用	(198)
第二节 施工监控计算	(199)
一、猫道架设过程的计算	(199)
二、基准索股架设的计算	(201)
三、主缆成缆线形的计算	(203)
四、索夹安装位置的计算	(203)
五、吊索下料长度的计算	(203)
六、钢箱梁施工架设过程的计算	(205)
第三节 线形监测与控制	(207)
一、猫道架设过程的监控	(207)