



高等职业教育规划教材配套教材

高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

桥涵施工

主编 王运周 副主编 王 勇 主审 王永生



人民交通出版社

China Communications Press

高等职业教育规划教材配套教材 容 内

高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

本书是根据教育部颁布的《道路桥梁工程技术专业教学大纲》和《道路桥梁工程技术专业教学大纲》的要求，结合当前道路桥梁工程技术的实际情况，由长期从事道路桥梁工程教学和科研工作的教师共同编写而成的。本书可作为道路桥梁工程技术专业及相关专业的教学用书，也可供从事道路桥梁工程技术的工程技术人员参考。

桥涵施工

Qiaohan Shigong

主 编 王运周

副主编 王 勇

主 审 王永生

人民交通出版社

内 容 提 要

本书包括桥涵施工基础知识、桥涵上部结构施工技术、桥涵下部结构施工技术、桥涵施工控制技术等内容,系统地阐述了桥涵上、下部结构维修与加固等主要施工技术要点和施工常用机具的基础知识。

本书为高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材的配套教材,亦可供交通中等职业教育土建专业师生及各类干部培训学习,以及供从事桥梁施工、工程监理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥涵施工/王运周主编. —北京:人民交通出版社,
2007.10

ISBN 978-7-114-06833-1

I. 桥… II. 王… III. 桥涵工程—施工技术 IV. U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 144799 号

书 名: 桥涵施工

著 作 者: 王运周

责任编辑: 侯素燕

出版发行: 人民交通出版社

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) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 22.25

字 数: 530 千

版 次: 2007 年 10 月第 1 版

印 次: 2007 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06833-1

印 数: 0001~3000 册

定 价: 41.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

桥涵施工是从事公路工程施工的技术人员必须要了解和掌握的一项技术,桥涵施工技术的高低直接影响桥涵工程建设的发展,特别是随着我国高等级公路的大规模兴建,在一条公路上桥涵所占的比例急剧增加,因而科学合理地进行桥涵的施工是现场技术人员进行施工验算、施工操作必不可少且十分重要的环节。

《桥涵施工》课程是道路与桥梁工程专业的必修专业课程。为适应高职教育应用型人才的培养目标,我们从交通行业岗位群对人才的知识结构和技能要求出发,结合对学生创新能力、职业道德方面的培养,将道路桥梁工程技术专业的课程体系和教学内容进行了全面整合和改革,突出课程改革、理论教学与实践教学一体化建设,重新梳理道路桥梁专业的理论教学内容和实践教学内容体系,配合学院精品课程建设,构建适应在交通土建工程生产、建设第一线从事施工、管理、维护工作的系统化、模块化课程内容体系。

本书包括桥涵施工基础知识、桥涵上部结构施工技术、桥涵下部结构施工技术、桥涵施工控制技术等内容,阐述了桥涵上、下部结构维修与加固等主要施工技术要点和施工常用机具的基础知识。

本书由甘肃交通职业技术学院王运周担任主编,王勇担任副主编。其中第一篇第一章、第三篇第二章,第四篇由王运周编写;第一篇第二章、第三章、第四章、第五章、第六章,第三篇第一章由陈彪来编写;第二篇第一章、第二章、第三章由王勇编写;第三篇第三章由刘建林编写;第二篇第五章第三节由卢伟荣编写;第二篇第四章,第五章第一、二节由王博编写。

甘肃交通职业技术学院院长、高级工程师王永生博士担任主审。王永生院长认真审核了本书,提出了许多宝贵的修改建议,使本书更加完善,在此向其表示深深的谢意!

本书在编写过程中得到了甘肃交通职业技术学院公路与桥梁工程系的领导和同事的大力支持,在此一并向他们表示诚挚的感谢!

由于编者的水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2007年8月

目 录

MULU

第一篇 桥涵施工基础知识

第一章 国内外桥梁施工主要技术发展动态	3
第一节 国外桥梁施工主要技术发展动态	3
第二节 国内桥梁施工主要技术发展动态	11
第三节 桥梁施工方法的分卷	19
复习思考题	28
第二章 桥梁施工准备和施工测量	29
第一节 桥梁施工准备	29
第二节 桥梁施工测量	32
复习思考题	37
第三章 模板工程	39
第一节 模板类型	39
第二节 模板设计、制作及安装	45
第三节 模板拆除	47
复习思考题	48
第四章 钢筋工程	49
第一节 概述	49
第二节 钢筋工作	49
第三节 钢筋骨架和钢筋网的组成及安装	53
复习思考题	54
第五章 混凝土工程	55
第一节 混凝土的材料	55
第二节 混凝土的拌制	57
第三节 混凝土的运输	59
第四节 混凝土的浇筑和振捣	60
第五节 混凝土的养护	63
复习思考题	64

第六章 预应力混凝土工程	65
第一节 概述	65
第二节 预应力混凝土材料	65
第三节 预应力筋锚固体系	67
第四节 张拉设备	71
第五节 预应力施工方法	72
复习思考题	90

第二篇 桥涵上部结构施工技术

第一章 梁式桥施工技术	93
第一节 固定支架就地浇筑施工	93
第二节 移动模架逐孔现浇施工	99
第三节 悬臂浇筑施工	104
第四节 悬臂拼装施工	113
第五节 顶推安装施工	127
第六节 预制梁安装施工	136
第七节 逐孔架设施工	145
复习思考题	149
第二章 拱桥施工技术	150
第一节 拱桥有支架就地浇筑、砌筑施工	150
第二节 装配式拱桥施工	162
第三节 钢管混凝土拱桥施工	177
第四节 劲性骨架施工技术	182
第五节 转体施工技术	187
复习思考题	194
第三章 桥面及附属工程施工技术	195
第一节 支座安装	195
第二节 伸缩装置	197
第三节 桥面防水与排水	200
第四节 桥面铺装	201
第五节 人行道板及栏杆的安装	202
复习思考题	203
第四章 上部结构加固技术	204
第一节 概述	204
第二节 上部结构加固技术	205

1 复习思考题	223
第五章 桥涵施工其他专项技术	224
1 第一节 斜拉桥施工简介	224
8 第二节 悬索桥施工简介	229
8 第三节 涵洞施工技术	232
1 复习思考题	248

第三篇 桥涵下部结构施工技术

第一章 桥梁基础施工技术	251
第一节 概述	251
第二节 明挖扩大基础施工	252
第三节 桩基础施工	257
复习思考题	267
第二章 桥梁墩台施工	268
第一节 混凝土墩台、石砌墩台施工	268
第二节 装配式墩台施工	275
第三节 高桥墩施工	281
第四节 墩台附属工程施工	290
复习思考题	292
第三章 桥梁(涵洞)下部结构加固技术	293
第一节 桥梁(涵洞)墩台裂缝的维修与加固	293
第二节 桥梁墩台水下部分和基础的维修与加固	301
复习思考题	308

第四篇 桥涵施工控制技术

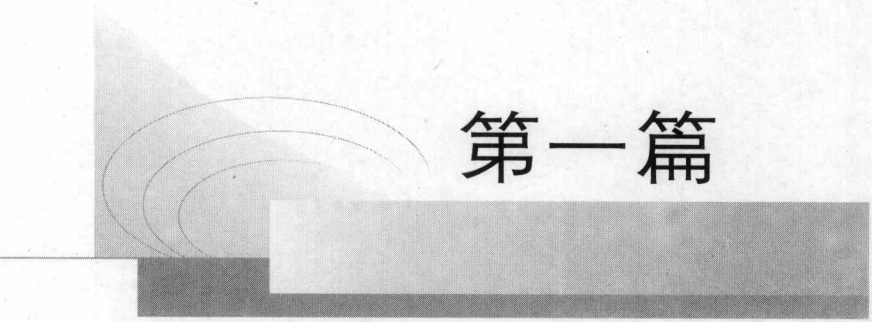
第一章 概述	311
第一节 桥梁施工控制的概念和任务	311
第二节 桥梁施工控制方法及影响因素	313
复习思考题	315
第二章 梁式桥的施工控制技术	316
第一节 连续梁桥顶推施工控制	316
第二节 连续梁、连续 T 构桥悬臂施工控制	317
复习思考题	319
第三章 拱桥施工控制技术	321

第一节 施工控制系统	321
第二节 拱桥的施工控制目标、内容及方法	325
复习思考题	327
第四章 斜拉桥及悬索桥施工控制技术	328
第一节 概述	328
第二节 斜拉桥施工控制技术	331
第三节 悬索桥施工控制技术	335
复习思考题	343
参考文献	344

1.2.1	木桥工桥基架桥	第一章
1.2.2	木桥工桥基架桥	第二章
1.2.3	木桥工桥基架桥	第三章
1.2.4	木桥工桥基架桥	第四章
1.2.5	木桥工桥基架桥	第五章
1.2.6	木桥工桥基架桥	第六章
1.2.7	木桥工桥基架桥	第七章
1.2.8	木桥工桥基架桥	第八章
1.2.9	木桥工桥基架桥	第九章
1.2.10	木桥工桥基架桥	第十章
1.2.11	木桥工桥基架桥	第十一章
1.2.12	木桥工桥基架桥	第十二章
1.2.13	木桥工桥基架桥	第十三章
1.2.14	木桥工桥基架桥	第十四章
1.2.15	木桥工桥基架桥	第十五章
1.2.16	木桥工桥基架桥	第十六章
1.2.17	木桥工桥基架桥	第十七章
1.2.18	木桥工桥基架桥	第十八章
1.2.19	木桥工桥基架桥	第十九章
1.2.20	木桥工桥基架桥	第二十章

木桥工桥基架桥 第四章

1.4.1	木桥工桥基架桥	第一章
1.4.2	木桥工桥基架桥	第二章
1.4.3	木桥工桥基架桥	第三章
1.4.4	木桥工桥基架桥	第四章
1.4.5	木桥工桥基架桥	第五章
1.4.6	木桥工桥基架桥	第六章
1.4.7	木桥工桥基架桥	第七章
1.4.8	木桥工桥基架桥	第八章
1.4.9	木桥工桥基架桥	第九章
1.4.10	木桥工桥基架桥	第十章
1.4.11	木桥工桥基架桥	第十一章
1.4.12	木桥工桥基架桥	第十二章
1.4.13	木桥工桥基架桥	第十三章
1.4.14	木桥工桥基架桥	第十四章
1.4.15	木桥工桥基架桥	第十五章
1.4.16	木桥工桥基架桥	第十六章
1.4.17	木桥工桥基架桥	第十七章
1.4.18	木桥工桥基架桥	第十八章
1.4.19	木桥工桥基架桥	第十九章
1.4.20	木桥工桥基架桥	第二十章



第一篇

桥涵施工基础知识

第一章

国内外桥梁施工主要技术发展动态

教学要点

1. 国外桥梁施工主要技术;

2. 国内桥梁施工主要技术;

3. 桥梁施工方法的类型。

第一节 国外桥梁施工主要技术发展动态

一、19 世纪以前的桥梁技术

在 18 世纪以前,世界各国的桥梁都是采用天然材料,如石料、木材以及由泥土烧制的砖所建造,石拱桥的跨度大都在 30m 以内。公元 599 年建成的跨度为 37m 的中国赵州桥,可以说是这种桥型的佼佼者。木梁桥的跨度更小些,而且防火和耐久性差,不可能留存到今日,北宋清明上河图中的大木桥应该是中国先辈的杰作。这些古代的桥梁依靠经验施工,没有力学知识的指导,材料采用天然或简单加工的木材、石材、竹索、藤索、铁索、铸铁、锻铁等,桥式主要为梁、拱和索桥三大类。桥梁基础结构简单,建造技术相对落后、工具简陋。

1779 年,英国第一座跨度 30.65m 的铸铁拱桥——Coalbrookdale 桥的问世,标志着西方用木石建造桥梁时期的终结。而在中国,早在唐朝中叶,即公元六世纪已出现的铁链索桥可以说是东方结束木石时代的另一种表现形式,比西方早了 1 000 多年。

1760 年开始的英国工业革命造就了现代科学技术,也包括现代炼钢法的诞生,使 19 世纪成为铁路和钢桥的时代。19 世纪中叶钢材出现,随后又出现高强度钢材,使桥梁工程的发展获得了第一次飞跃,桥梁跨度不断加大。1850 年,英国第一座跨度 141m 的钢箱梁桥 Britannia 桥问世。在木桁架的启发下,1857 年德国工程师 Gerber 建造了跨度 131m 的第一座钢桁架桥。与此同时,记载中国铁索桥的文献也传入欧洲,出现了西方用钢缆为主索的柔性钢悬索桥,成为现代大跨度悬索桥的雏形。1883 年建成的美国纽约布鲁克林桥——主跨 486m 的公路悬索桥和 1890 年建成的苏格兰福思湾桥——主跨 520m 的铁路悬臂钢桁架桥,代表了 19 世纪钢桥的最高成就。它们标志着桥梁的跨度从 1801 年建成的伦敦泰晤士河跨度 183m(600ft)的铁拱桥,到 19 世纪末的钢桥已突破了 500m 的跨度。这是一个了不起的成就,凝聚了许多桥梁先驱者的智慧和艰辛。

二、20 世纪上半叶的桥梁技术

人类进入 20 世纪后,电气、汽车和飞机相继被发明和投入使用,使生活方式发生了巨大变

化。桥梁施工普遍运用力学计算、检验、控制,各国都颁布实施了桥涵施工规范,桥梁工程专业知识研究发展迅猛;建桥材料以钢材逐步取代木材、石材、铸铁和锻铁,出现钢筋混凝土;施工机具开始应用蒸汽机、打桩机、电动工具、风动工具、起重机具、铆钉机;桥梁形式主要有梁、拱、悬索桥、刚架;基础结构广泛采用沉井、压气沉箱、大直径的桩。

1867年发明的钢筋混凝土20世纪初逐步从房屋建筑进入桥梁界,成为广泛应用的新型建桥材料,1905年建成了第一座钢筋混凝土桥。20世纪20年代,美国率先出现了兴建高速公路和城市交通基础设施的高潮,中小跨度的钢筋混凝土桥和大跨度钢桁架桥、钢拱桥和钢悬索桥大量兴建。欧洲各国在30年代也建造了许多公路桥,以适应日益增多的汽车交通。

钢筋混凝土的应用,以及20世纪30年代兴起的预应力混凝土技术,使桥梁建设获得了廉价、耐久且刚度和承载力均很大的建筑材料,从而推动桥梁的发展,产生了第二次飞跃。

由于养护方便,在100m以内的中小跨度桥梁范围内,钢筋混凝土简支梁桥、带挂孔的悬臂梁桥以及拱桥逐步代替了小跨度钢桥,成为20世纪上半叶中小跨度桥梁的主流桥型。

石拱桥施工过去都采用满堂支架。在水流湍急的山谷中和有洪汛的大河上建造拱桥,常常会因支架被冲毁而造成事故。20世纪30年代欧洲的一座拱桥首创一种不用支架的钢筋混凝土拱肋分段悬拼施工技术获得成功,这种被称为“米兰法”的无支架施工工艺是桥梁史上一次重要的创新,改变了过去在支架上施工、最后落架的传统方式。

20世纪30年代的另一个重要成就是大跨度悬索桥和拱桥的发展和创新。悬索桥的跨度从19世纪末的不足500m,到1931年的华盛顿桥($L=1\,006\text{m}$),已突破了千米。1937年建成的旧金山金门大桥更达到了1280m的跨度。美国悬索桥的发展不能忘记移居美国的两位瑞士桥梁大师的贡献:他们是19世纪的Roebing和20世纪的Ammann,前者发明了主缆施工的“空中纺线法”,并建造了10座悬索桥,其中包括布鲁克林桥;后者则设计了华盛顿桥和主跨达503.6m的Bayonne钢拱桥,他同时又是金门大桥的顾问工程师。

三、20世纪中叶以后的桥梁技术

20世纪中叶以后,大跨径桥梁都普遍运用仿真模拟技术、实验技术进行结构安全试验、检测;钢筋混凝土、预应力混凝土、高强钢材、复合材料等建桥材料向轻质高强方向发展;焊接机、张拉千斤顶、振动打桩机、水上平台、大吨位起重机和浮吊、钻孔机等的结合使用帮助工程技术人员逐步解决深水基础、大跨径桥梁的施工难度;桥梁形式丰富多彩,梁、拱、索及刚架、连续刚构桥、斜拉桥、梁拱组合体系桥梁层出不穷;出现箱形梁、正交异性钢板面板构造;新施工方法,如悬臂施工、转体施工、顶推施工、浮运施工以及整件吊装技术日趋成熟;公路和城市道路桥梁是桥梁建设的主流。

法国Freyssinet于1928年首创了预应力混凝土的概念和设计理论,开发了一整套预应力材料、锚固、防腐、施工张拉设备等体系,为预应力混凝土结构的发展奠定了基础。

1953年,德国工程师Finsterwald在建造跨越莱茵河的Worms桥时,首创了预应力混凝土悬臂梁桥挂篮悬浇的节段施工新技术取得成功,这一新技术使预应力混凝土梁式桥突破了100m跨度。采用这种施工工艺的另一杰作是建于1964年的主跨为208m的德国Bendorf莱茵河桥,使预应力混凝土梁式桥跨度第一次突破了200m。

德国工程师Dishinger于1956年在瑞典成功地建造了第一座现代斜拉桥——主跨182.6m

的 Stromsund 桥后,在德国得到了推广,建造了一系列莱茵河桥,如杜塞尔多夫北桥($L=260\text{m}$, 1958 年)和科隆 Severin 桥($L=301\text{m}$, 1960 年)。钢斜拉桥这一桥型以其便于悬臂拼装、经济及美观在许多桥梁设计竞赛中战胜了其他桥型,并迅速在欧美各国推广,跨度从 100 余米逐步向 300m 发展,到 20 世纪 60 年代末已建成了主跨 319m 的杜塞尔多夫 Knie 桥。

德国 Leonhardt 教授在 20 世纪 50 年代首创了各向异性钢桥面板,他将船上甲板的构造经过改造以适应车辆荷载,代替了二战前钢桥上较笨重的叠置式钢筋混凝土桥面,大大减轻了自重。另一方面,也可以保留钢筋混凝土桥面,但与钢梁通过剪力器共同工作的结合梁桥是另一种创新体系,对于中小跨度桥梁也是施工十分简便和经济的新桥型。

欧美各国在 20 世纪 60 年代兴建高速公路的高潮中建造了许多桥梁,出现了桥梁建设的黄金时代。

预应力夹片锚和抗疲劳的高应力幅冷铸镦头锚的问世,预应力混凝土的节段施工工艺在挂篮悬浇法以后又出现了预制节段悬拼工艺,以及在移动托架上用架桥机悬挂的拼装工艺,是预应力技术发展的高峰时期。

在钢桥方面,高强度螺栓的摩擦型连接取代了传统的铆钉连接,从此栓焊结构成为大跨度钢桥的新形式。

德国 Leonhardt 教授首创的斜拉桥工程控制的“倒退分析法”在 20 世纪 50 年代的 Düsseldorf 北桥中首先得到了成功应用,使斜拉桥这一高次超静定结构的线形和内力状态控制建立在科学分析的基础上,进一步促进了 20 世纪 60 年代斜拉桥的推广和发展。

20 世纪 60 年代建造的斜拉桥中,著名的有:

- (1) 委内瑞拉 Maracaibo 桥,意大利 Morandi 设计, $L=235\text{m}$,1962 年。
- (2) 德国波恩市 F. Ebert 莱茵河桥,单索面密索体系, $L=280\text{m}$,1967 年。
- (3) 德国杜塞尔多夫市 Knie 莱茵河桥,双索面,塔柱无风撑, $L=320\text{m}$,1969 年。
- (4) 德国汉堡市易北河北桥, $L=367\text{m}$,1970 年。

这些桥梁充分显示出斜拉桥的多姿多态及其在美学造型方面的创新价值。斜拉桥从稀索体系发展到密索体系以便于拼装;另一方面,从钢桥面发展到预应力混凝土桥面以及两种材料结合(竖向、横向和纵向)的多种形式,使斜拉桥在很大的跨度范围内都成为最有竞争力的桥梁。可以说,20 世纪 60 年代是斜拉桥发展的第一个高峰期。

采用先进创新施工技术建造的大跨度桥梁有:

- (1) 德国 Bendorf 桥($L=208\text{m}$)预应力混凝土悬臂梁桥,挂篮现浇施工(1964 年)。
- (2) 法国 Oleron 岛跨海大桥,全长 3km 的预应力混凝土连续梁桥,用上层移动支架(又称造桥机)进行预制构件节段的悬拼施工(1964 年)。

(3) 下层移动托架法施工,这种技术特别适合于跨越深谷的高桥墩连续梁桥。在桥墩顶部开槽,使下承的移动托架穿行向前形成施工支架,在托架上进行上部结构拼装或浇筑。

以上的先进施工技术都创始于 20 世纪 50 年代,但在 60 年代趋于成熟,并开始运用于大跨度桥梁的施工。

20 世纪 60 年代的另一个重大创新是英国式流线型箱梁桥面悬索桥的问世。英国 Freeman and Fox 公司在设计主跨 988m 的 Severn 桥时最初采用的仍是美国传统悬索桥的桁架加劲梁桥面,但在进行节段模型风洞试验时不慎将桁架模型吹断,有一位工程师建议尝试一下制

作简单的流线型扁箱桥面。风洞试验证明:这种流线型扁平钢箱桥面具有很好的气动性能,而且由于自重轻,不仅节省造价,又便于施工安装,加上用钢筋混凝土桥塔替代原来的钢塔,于是就诞生了新一代的英国式悬索桥,并且成为以后悬索桥结构形式的主流。

20 世纪 70 年代可以说是预应力施工技术发展的成熟期。与此同时,斜拉桥已开始由前联邦德国向欧洲各国以及加、美、日等国推广,特别是在法国,斜拉桥和预应力技术的结合出现了采用预应力混凝土桥塔和桥面的 P.C 斜拉桥。其中最著名的是法国 J. Müller 设计的 Brot-tonne 桥(1977 年),主跨为 320m,它采用 P.C 箱梁和单索面体系,塔梁固结置于万吨级的盆式支座上。最大的拉索达到一千吨级的索力,创造了另一种刚梁柔塔的法国风格 P.C 斜拉桥。德国则在 20 世纪 60 年代建造了许多钢斜拉桥的基础上,于 1979 年建成了主跨达 368m 的杜塞尔多夫市 Flehe 桥,这是一座采用混合桥面的独塔不对称斜拉桥。岸跨的 P.C 梁和主跨的钢梁在塔位处对接,悬拼的长度是创纪录的,可以说在 20 世纪 70 年代前联邦德国的斜拉桥技术已经突破了 700m。

在施工技术上,一种创新的顶推法施工工艺获得了成功。这种将节段预制工厂设置在桥头,在前端钢鼻梁的帮助下,逐段向前顶推,直至完成全部多跨连续梁的浇筑和架设。所有工作都在桥头工厂中完成,在运输和安装条件比较困难的山谷地区是一种经济合理的施工法。以后又发展到曲线长桥的顶推施工。

(4) 连续刚架桥。这种免去庞大的支座,利用双薄壁桥的柔性克服温度效应,同时又可削去负弯矩的尖峰的新体系,使预应力混凝土梁式桥的跨越能力突破了 200m。最著名的是 1983 年建成的主跨达 260m 的澳大利亚门道桥。

20 世纪 60 年代末,日本和丹麦两个岛国开始实施宏伟的跨海工程计划。日本以 1973 年建成的主跨 712m 关门桥为起点,同时建设东、中、西三条线的本四联络线工程。丹麦则从 1970 建成的主跨 600m 的小海带桥开始,将丹麦的几个岛连成一片。日本和丹麦作为新崛起的两个桥梁大国,在 20 世纪 80 年代的跨海工程建设高潮中成为技术发展的主角。

20 世纪 80 年代中,由于预应力索在水泥灌浆防腐的管道内发生严重锈蚀,引起了国际桥梁界的关注。一种原用于加固桥梁的体外预应力索新技术得到了发展,并逐渐代替了体内预应力配索。在箱梁内侧布置预应力索具有可检查、易更换的优点,并且由于取消了箱壁中的预留管道,使壁厚减薄,自重减轻,又提高了混凝土的质量,是一种具有竞争力的预应力新技术。

与此同时,沿用水泥灌浆防腐工艺的斜拉桥拉索也出现了管内的水泥保护层因收缩和后期活载作用发生断裂,使防腐失效的问题。为解决这一问题,日本在 20 世纪 80 年代初借鉴电缆外热挤绝缘 PE 保护层的工艺,开发了一种采用防老化的高密度聚乙烯材料的热挤防腐索套的平行钢丝索,这一新型斜拉索是完全在工厂中制成的成品索,得到了施工单位的欢迎,为推动斜拉桥向大跨度发展做出了贡献。

美国和英国悬索桥的主缆施工一直沿用 19 世纪由 Roebling 发明的“空中纺缆法”工艺。20 世纪 80 年代,日本在建造本四联络桥中的悬索桥时,首创预制平行钢丝索股的施工技术,将排成正六边形的 127 根钢丝索股一次牵拉就位,大大提高了主缆施工效率。

在 20 世纪 80 年代的技术发展中还应当提到的有:

(1) 高性能混凝土的应用

随着预应力技术在混凝土桥梁中占据主要地位,高性能混凝土也得到了较大的发展。混

混凝土的强度等级从 20 世纪 50 年代的 C20 和 C25, 通过水泥磨细和掺加硅粉等技术逐渐提高到 80 年代的 C60 和 C80, 80 年代末已出现采用 C100 和 C130 的试验结构。高性能混凝土的使用不但减轻了自重、增大了桥梁的跨越能力, 同时也提高了混凝土抗腐蚀、抗风化等耐久性指标, 成为了推进预应力桥梁发展的重要动力。

(2) 脊骨梁大挑臂城市高架桥

美国在 20 世纪 70 年代就出现第一代装配式脊梁桥。小型的预制中间脊梁和独柱墩形成城市立交桥的骨架, 然后安装两侧的预制悬臂板并用横向预应力索形成二车道 ($B \approx 8 \sim 10\text{m}$) 的桥面。到 20 世纪 80 年代已发展到第三代四车道 ($B = 18 \sim 20\text{m}$) 的中间脊骨小箱梁和大挑臂的高架桥。这种桥型可以在不影响原有地面交通条件下施工, 而且造型美观, 适合于曲线形的跨城市高架桥。

(3) 用纤维加筋塑料 (FRP) 的加固技术

20 世纪 80 年代初发现了许多混凝土桥梁的裂缝, 影响了桥梁的耐久性。为了进行加固和维护, 发明了一种用纤维加筋的塑料薄片条的维修技术以替代用钢板粘贴、钢筋混凝土护层以及布置体外预应力索的传统方法, 取得了很好的效果。

(4) 混合结构的新发展

在传统的结合梁基础上发展了在支点处可用双层上下结合的连续组合梁桥、钢筋混凝土边梁和钢横梁的横向结合桥面和斜拉桥岸跨 PC 梁和中跨钢梁纵向结合的桥面结构等多种混合结构形式, 把钢和混凝土两种材料的优点结合起来发挥各自的特长。此外, 为了减轻自重用钢腹板或钢桁架替代全混凝土实腹板, 形成一种既经济又便于施工的混合结构桥梁。

四、20 世纪 90 年代的桥梁施工技术

在 20 世纪末的 90 年代, 世界桥梁工程进入了一个冲刺阶段, 标志着 20 世纪桥梁建设最高水平和跨度纪录的几座大桥相继完成。它们是:

① 法国诺曼底大桥, $L = 856\text{m}$, 斜拉桥, 1995 年。

② 丹麦大海带桥, $L = 1\,624\text{m}$, 悬索桥, 1998 年。

③ 中国万县长江大桥, $L = 420\text{m}$, 钢筋混凝土拱桥, 1997 年。

④ 日本明石海峡大桥, $L = 1\,991\text{m}$, 悬索桥, 1998 年。

⑤ 挪威 Stolmasundet 桥, $L = 301\text{m}$, P. C 连续刚架桥, 1998 年。

⑥ 瑞典厄勒松海峡大桥, $L = 490\text{m}$, 公铁两用斜拉桥, 1998 年。

⑦ 日本多多罗大桥, $L = 890\text{m}$, 斜拉桥, 1999 年。

20 世纪 90 年代的技术发展主要表现在实施上述纪录跨度桥梁的建设中所采用的一些新材料和新工艺上, 如:

① 1995 年, 法国诺曼底斜拉桥的混合桥面, 超长悬臂施工控制、新型平行钢绞线拉索及其防雨振的螺旋线表面处理和阻尼器等。

② 1998 年, 丹麦大海带桥西桥 110m 箱梁的整体化施工, 预制件的最大质量达 6 500t, 以及为保证耐久性在混凝土箱梁的配筋中预埋 450 个锈蚀传感器; 东桥 1 624m 悬索桥桥塔和锚碇的新颖艺术处理、桥面箱梁内部的除湿系统以及防船撞系统的研究等。

③ 1998 年, 主跨 1 991m 的日本明石海峡大桥首次采用 180MPa 级超高强钢丝, 使主缆直径缩小并简化了连接构造, 首创的悬索桥主缆除湿系统、水深达 50m 的预制混凝土沉井基础

以及在钢桥塔中设置了多层减振阻尼器以抵抗桥位处的强烈地震作用等。

④1999年,主跨890m的日本多多罗斜拉桥采用平行钢丝、热挤防腐索套外的凹点表面处理以防止雨振、超长悬臂拼装的施工控制技术等。

⑤2000年,丹麦和瑞典联合建设的长达16km的厄勒松海峡桥采用高度整体的预制吊装,140m跨度公铁两用钢桁架梁,重8700t一次吊运安装就位以及严格的质量管理体系等。以上五座桥梁被公认为是代表20世纪桥梁施工最高水平的杰作。

⑥中国万县长江大桥的钢管混凝土劲性拱架及其悬拼悬浇控制技术。

⑦挪威Stolmasundet连续刚架桥的预应力悬臂施工技术。

⑧大桥的健康监测和振动控制技术。

五、21世纪桥梁施工技术展望

日本和丹麦率先起步的跨海工程建设把世界桥梁工程带入了规划建设跨海大桥工程的前期工作热潮之中,展示出21世纪世界桥梁的宏伟发展前景。例如:

①意大利墨西拿海峡桥工程。

②欧非直布罗陀海峡工程。

③英伦三岛之间的跨海工程。

④欧亚白令海峡工程。

⑤日本第二国土轴工程(太平洋沿岸高速公路),包括6个跨海工程(跨越纪淡海峡、丰予海峡、长岛海峡、津轻海峡、东京湾和伊势湾)。

⑥日韩朝鲜海峡工程。

⑦日俄拉彼鲁兹海峡工程和鞑靼海峡工程。

⑧马来西亚—印尼马六甲海峡工程。

⑨印尼连岛工程(如爪哇和巴厘之间)、菲律宾连岛工程等。

以上这些规划都有可能在21世纪中实现,人类将通过征服海峡使世界五大洲能用陆路相连,以形成全球交通网。

进入21世纪后国外又建造了几座具有创意的大桥,现分述如下:

(1)希腊Rion-Antirion桥(2003)。该桥连接希腊大陆和伯罗奔尼撒半岛之间的科林斯海湾(图1-1-1)。桥位处岩床深度超过500m,2000年重现期的地震最大峰加速度达 $1.2g$,且半岛以每年8~11mm速度漂离大陆,因此抗震安全是设计最主要的控制因素。

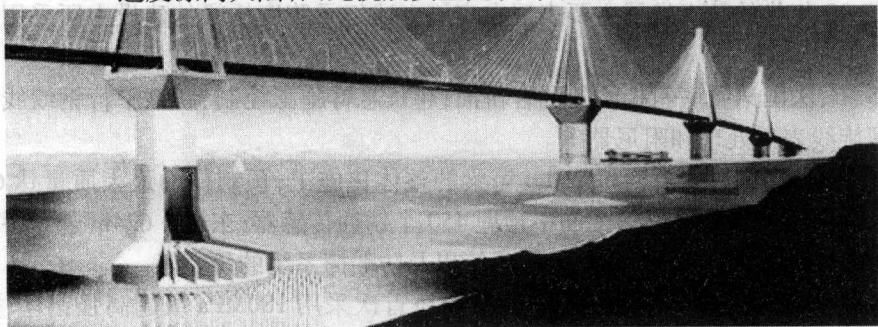


图1-1-1 Rion-Antirion桥总体布置图

为了避免强大的地震力作用,该桥选用五跨连续的全飘浮体系斜拉桥,并且将高 65m、墩底基座直径为 90m 的圆形桥墩放在由 $\phi 2\text{m}$ 直径、深 25 ~ 30m 钢管桩加固,上面铺以砂、卵石和碎石组成的 3m 厚垫层,形成可相对滑动的“加筋土隔震基础”(Reinforced Soil Foundation)上,这是一种创新的基础形式(图 1-1-2)。上部结构为结合梁桥面,墩梁之间设置五个固定阻尼器,当发生大地震时容许中间阻尼器破坏并消能,其余四个阻尼器将起到缓冲的作用以保护桥塔的安全。

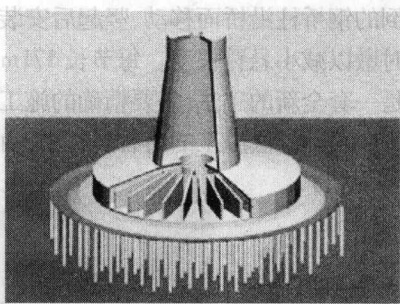


图 1-1-2 隔震基础

(2) 法国 Millau 高架桥(2004)。该桥是法国南部通往西班牙马德里的大桥(图 1-1-3)。河谷深 300 余米,线路要求 2.5km 长的新桥将是一座在 3% 坡道上的曲线桥。山谷中的最大阵风风速达 250km/h(约等于 70m/s)。该桥采用多跨连续单索面斜拉桥,每跨 342m,共设 7 个桥墩,其中 2 号桥墩高达 245m,加上桥面上高 90m 的桥塔,总高达 343m。

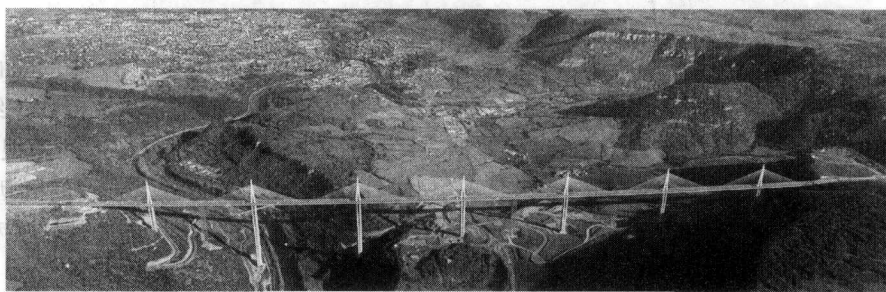


图 1-1-3 Millau 桥总体图

为减小风荷载,桥面采用流线型带风嘴的断面,并设置 3m 高的风障以改善桥面行车环境(图 1-1-4)。

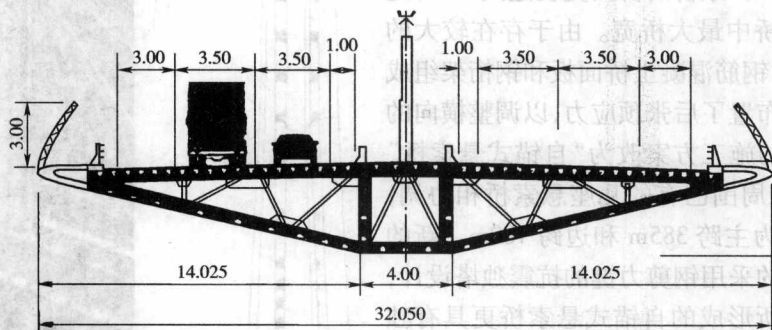


图 1-1-4 横断面图(尺寸单位:m)

桥横断面图单索面的桥塔采用纵向 A 字形,相应地,高桥墩在 165m 以上也设 Y 形分叉,形成薄壁墩和塔柱相对接。这样既保证了塔顶的刚度,又减少了温度影响,同时也富有美感。塔的断面也经过美学处理。桥梁施工采用 GPS 定位,用顶推法施工(图 1-1-5)。桥面箱梁在岸边拼好后,将放