



高等学校土木工程专业规划教材
卓越工程师教育培养计划试用教材

桥梁施工

Bridges Construction

(第二版)

徐 伟 主 编
郭征红 骆艳斌
夏乔网 黄 丁 副主编



人民交通出版社
China Communications Press

U445
06-2

014035404

高等学校土木工程专业规划教材

卓越工程师教育培养计划试用教材

Bridges Construction 桥梁施工

(第二版)

徐 伟 主 编
郭征红 骆艳斌
夏乔网 黄 丁 副主编



人民交通出版社
China Communications Press



北航

C1715327

U 445

06-2

内 容 提 要

本书是在土木工程专业课程体系改革的基础上,根据面向 21 世纪土木类人才培养目标和“卓越工程师”的培养要求组织编写的。在编写中,本书注重对基本原理和基本方法的阐述,并结合当前桥梁工程领域新的施工技术和施工方法,强调技术发展及其实用性,力求做到理论联系实际,较全面地反映当前桥梁工程施工的先进水平和科技成果。同时,综合现行设计施工规范、规程和标准,以培养学生在桥梁工程领域的技术工作能力和专业水平为目的。在编写中,努力做到图文并茂、深入浅出、通俗易懂。

全书共 16 章,全面、系统地介绍了铁路、公路桥梁各种桥跨结构、墩台及各种形式基础的施工方法、施工控制技术、施工组织与施工管理,并给出了几种典型桥梁的施工实例。

本书可作为高等院校土木工程专业桥梁工程专业课教材,也可供桥梁设计、施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁施工/徐伟主编. —2 版. —北京:人民交通出版社,2013. 6

ISBN 978-7-114-10542-5

I. ①桥... II. ①徐... III. ①桥梁施工—高等学校—教材 IV. ①U445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 069748 号

高等学校土木工程专业规划教材

卓越工程师教育培养计划试用教材

书 名:桥梁施工(第二版)

著 作 者:徐 伟

责任编辑:曲 乐 黎小东

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

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:25.5

字 数:650 千

版 次:2008 年 7 月 第 1 版

2013 年 6 月 第 2 版

印 次:2013 年 6 月 第 1 次印刷 总第 4 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10542-5

定 价:49.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

第二版前言

随着我国交通事业的蓬勃发展,一大批跨越大江大河、甚至跨海湾的特大型桥梁正不断地建立起来。自本书第一版出版后,我国桥梁建设事业方兴未艾,推动了桥梁施工技术的创新与发展。尽管我国已在基础设施建设和城市建设等各个方面取得了重要成就,但在祖国建设中未来桥梁工程事业的发展对桥梁工程师提出了更高的要求。与世界发达国家相比,我国土木工程师的培养还存在一定差距。我们有必要改变传统的教育理念和培养模式,把科学素养、技术能力、工程素养、人文精神、领导才能、活动能力、创新潜质等融合在一起,培养能够针对不同工程问题制定最佳规划、设计和建设方案,并负责实施的卓越土木工程人才。围绕着这个卓越工程师的培养目标,我们进行了本书第二版的修改。

本书第二版在前一版的基础上,结合我国最新的桥梁施工技术规范、工程实例、相关文献对近几年国内外桥梁施工新技术、新工艺进行了汇编,补充到本书的各章节中。主要参考文献为《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)及《〈公路桥涵施工技术规范〉实施手册》。

第二版修订工作第1~4章由李洋洋完成;第5~8章由代鑫完成;第9~11章由夏乔网完成;第12~16章由黄丁完成。徐伟对全书进行了校审和统编。

由于桥梁施工技术和管理的日新月异,限于编者的水平,书中可能存在不足之处,诚挚地希望读者提出宝贵意见,不吝赐教。

编 者

2013年春于同济大学

第一版前言

大力发展交通运输事业,建立四通八达的现代化交通网,对于发展国民经济,加强全国各族人民的团结,促进文化交流和巩固国防等方面,都具有非常重要的作用。桥梁是交通线中的重要组成部分,它飞越深沟峡谷、跨越江河湖海,使天堑变通途。世界各大城市,常以雄伟壮丽、简约美观的大桥作为城市的标志与骄傲。因而桥梁结构已不仅仅被视为交通线上重要的工程实体,而且常作为一个国家科学技术、综合国力的体现。进入 21 世纪以来,为适应经济全球化和生产力的高速发展,随着科学技术的突飞猛进,更大跨度和更大规模的跨江工程、跨海工程,推动了桥梁结构向高强、轻型、大跨度的方向发展。

桥梁施工技术,特别是大跨度桥梁施工技术要求较高,施工难度较大。随着科学技术的进步,施工机具、设备和土木工程材料的发展,桥梁施工技术得到不断改进、提高并逐步发展和丰富起来。目前,桥梁施工技术的发展主要体现在大型深水基础施工技术、无支架施工技术、大型施工机具、大型构件的高精度制造技术和施工全过程的控制技术等方面。经过改革开放后 30 年来的发展,我国桥梁的建造技术达到了世界先进水平,进入了世界桥梁强国之列。

《桥梁施工》是土木工程专业桥梁方向的一门限定选修专业课,其目的是使学生通过学习能了解桥梁施工的基本方法和关键技术,初步具有拟订桥梁施工方案的能力以及掌握施工技术、施工组织计划的基本知识,为毕业后从事桥梁工程设计、施工和管理等工作奠定基础。鉴于《桥梁施工》实践性强、综合性大和社会性广,桥梁施工中许多技术问题的解决和管理系统的建立,均要涉及有关学科知识的综合应用。因此,本书依据土木工程专业教学指导委员会课程大纲,力求拓宽学生的专业知识面,注重相关学科的基本理论和知识的综合运用,使学生达到理论联系实际的学习效果。在编写中,我们在极力反映国际桥梁施工先进技术的同时,也尽可能介绍我国成熟的施工技术和创新发展的高新技术及管理的新成果。

本教材由徐伟担任主编,郭征红、骆艳斌担任副主编。参加编写的其他人员有:谢小松、陈灿、宋灿、李劭晖、孙旻、胡晓依、赵飞、谭萍、关雪梅、时春霞、李明雨、高吉龙、刘海、吕茫茫、徐蓉、席永慧。限于编者水平有限,本书难免会有错误和遗漏之处,诚挚地希望读者对此来函、来电,不吝赐教,我们对此表示深深的感谢。

编 者

2008 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 桥梁工程施工技术的发展概况	1
第三节 桥梁结构类型	4
第四节 桥梁工程施工方法及选择	7
第五节 桥梁工程施工课程的“教”与“学”	12
第二章 桥梁施工的常用设备	14
第一节 概述	14
第二节 常备式结构及应用	14
第三节 架设安装常用机具设备及应用	20
第四节 混凝土施工设备及应用	25
第五节 预应力张拉设备及应用	31
第六节 其他常用机具及设备	37
思考题	40
第三章 桥梁基础施工	41
第一节 概述	41
第二节 明挖扩大基础施工	42
第三节 沉入桩基础施工	52
第四节 钻(挖)孔桩基础施工	63
第五节 沉井基础施工	72
第六节 地下连续墙基础施工	80
第七节 组合式基础施工	85
思考题	90
第四章 桥梁墩台施工	91
第一节 概述	91
第二节 墩台模板的类型与构造	92
第三节 模板设计	95
第四节 墩台混凝土浇筑	102
第五节 高墩施工	108
思考题	113
第五章 混凝土简支梁的制造与架设	114
第一节 概述	114
第二节 支架、模板的构造与计算	116
第三节 钢筋工程	119

第四节	混凝土工程	124
第五节	预应力工艺	127
第六节	混凝土简支梁的架设	133
思考题		136
第六章	混凝土连续梁的施工	137
第一节	概述	137
第二节	逐孔施工法	137
第三节	悬臂浇筑施工法	141
第四节	顶推法架梁	148
思考题		154
第七章	钢梁制造及架设	155
第一节	概述	155
第二节	构件的制作	155
第三节	膺架架梁	159
第四节	悬臂拼装架梁	161
第五节	拖拉法架梁	164
思考题		167
第八章	拱桥施工	168
第一节	概述	168
第二节	就地砌筑与浇筑施工	173
第三节	悬臂法施工	178
第四节	转体施工法	179
第五节	钢管混凝土拱桥施工	183
思考题		188
第九章	桥塔施工	189
第一节	概述	189
第二节	桥塔模板工程施工	195
第三节	桥塔钢筋工程施工	200
第四节	桥塔混凝土工程施工	209
思考题		214
第十章	索的施工	215
第一节	概述	215
第二节	索的张拉技术	215
第三节	悬索桥索施工	221
第四节	斜拉桥索施工	229
思考题		234
第十一章	桥梁施工测量	235
第一节	概述	235
第二节	桥梁测量仪器	235
第三节	桥梁平面控制网测量与布置	241
第四节	桥梁施工的高程测量	249

第五节 桥梁基础定位与轴线测量..... 253

第六节 桥梁墩台定位与轴线测量..... 259

第七节 梁制造与架设中的测量..... 261

第八节 引桥施工测量..... 266

思考题..... 270

第十二章 桥面及附属工程施工..... 271

第一节 概述..... 271

第二节 支座施工..... 271

第三节 伸缩装置及其安装..... 276

第四节 桥面铺装层施工..... 282

第五节 其他附属工程施工..... 288

思考题..... 292

第十三章 桥梁施工控制技术简介..... 293

第一节 概述..... 293

第二节 桥梁施工控制的任务与工作内容..... 295

第三节 桥梁施工控制方法..... 303

第四节 各种桥型施工控制特点..... 304

第五节 施工监测与仪器..... 318

思考题..... 324

第十四章 施工组织设计..... 325

第一节 概述..... 325

第二节 施工准备..... 325

第三节 施工组织设计..... 332

第四节 施工场地布置..... 347

思考题..... 350

第十五章 桥梁工程施工管理..... 352

第一节 概述..... 352

第二节 桥梁施工的进度管理..... 352

第三节 桥梁施工的质量管理..... 354

第四节 桥梁施工的成本管理..... 361

第五节 桥梁施工的合同管理..... 365

第六节 桥梁施工的安全管理..... 370

第七节 桥梁施工的信息管理..... 375

思考题..... 381

第十六章 桥梁工程施工实例..... 382

第一节 梁式桥施工实例..... 382

第二节 拱桥施工实例..... 385

第三节 斜拉桥施工实例..... 387

第四节 悬索桥施工实例..... 389

第五节 大跨预应力混凝土桥施工实例..... 392

参考文献..... 395

第一章 绪 论

第一节 概 述

桥梁是交通的重要设施之一,是跨越山沟、河流、道路、海峡和海湾的大型结构工程。不仅如此,一座功能完备、设计优良的桥梁还是一个城市的象征与骄傲,如我国的南京长江大桥和美国的旧金山金门大桥等。桥梁建设的历史悠久,最早可以追溯到三千年前出现的粗石桥。经过几千年的时间沉淀,桥梁的结构形式从以木桥、石板桥、石拱桥为主发展到现在的多种材料建造而成的大跨径拱桥、斜拉桥和悬索桥。随着人类进步与社会经济的发展,人们对于桥梁的设计要求不仅仅局限于其交通功能,更是提出了桥梁的造型艺术美观与周围环境相协调等人文理念,进而使得现代桥梁的发展越来越具有人性化和美学价值。

随着科学技术的进步,以及施工机具、设备和建筑材料的更新与发展,对于桥梁施工技术的要求也就越来越高。以桥梁下部结构为例,自钢筋混凝土推广使用以来,桥梁墩台的结构形式趋于多样化。除了传统的重力墩台外,还发展了空心墩、桩柱式墩台、构架式墩台、框架式墩台、双柱式墩、拼装墩台及预应力钢筋混凝土薄壁墩等新型墩台,并日趋轻型、柔性化。与此同时,桥梁基础发展迅速。20世纪50年代以后,以中国、日本为首的跨江、跨海峡大桥的兴建,大力发展了深水基础技术。如20世纪50年代在武汉长江大桥中首创了管柱基础,60年代在南京长江大桥中发展了重型沉井、深水钢筋混凝土沉井和钢沉井,70年代在九江长江大桥中创造了双壁钢围堰钻孔桩基础,80年代后进一步发展了复合基础。进入21世纪以来,钢吊箱围堰加钻孔灌注桩高桩承台式结构在特大型桥梁基础工程中逐渐推广应用,相应地出现了我国原创的深水区大型群桩基础施工技术。在日本,由于本四联络线工程的建设,近20年来,其深水基础技术发展很快,以地下连续墙、设置沉井和无人沉箱技术最为突出。

由此可见,桥梁结构形式众多,相应地对对应着多种不同的施工方法、施工设备和施工技术,这些也就决定了桥梁施工技术相对复杂、控制难度相对加大。桥梁工程施工的特点主要体现在:①施工生产的流动性和地区性;②施工周期长、占用流动资金多;③露天作业、水中作业及高空作业多;④工程的单一性;⑤施工生产组织的复杂性。因此,对于桥梁结构而言,除了正确设计外,选择合适的桥梁施工技术,将施工方法与施工过程相结合,并贯穿于桥梁结构的设计中也尤为重要。

第二节 桥梁工程施工技术的发展概况

我国桥梁的施工技术有过非常辉煌的历史,早在距今约三千年的周文王时,我国就已在宽阔的渭河上架设过大型浮桥。后陆续涌现了一大批以石料、铁为建材的桥梁建筑,其中以被称为国宝桥的河北“赵州桥”为代表。赵州桥(图1-1)已经有1400年的历史,是当今世界上跨径最大、建造最早的单孔敞肩型石拱桥,经历了10次水灾、8次战乱和多次地震都没有造成破

坏。1991 年 9 月,赵州桥被美国土木工程师学会选定为第十二个“国际土木工程里程碑”。

18 世纪以后,欧洲率先进入工业社会,从根本上改变了 200 年西方文明的历史,促进了大规模的铁路桥梁建设。迄今,以英国不列颠尼亚箱梁桥(跨度 141m,1850 年)、美国布鲁克林悬索桥(跨度 486m,1883 年)及英国福斯悬臂桁架桥(跨度 520m,1890 年)为标志的桥梁建筑仍散发着西方工业文明的气息。

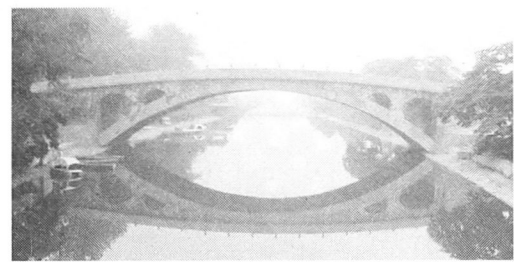


图 1-1 赵州桥

20 世纪初期,西方工业社会获得空前发展。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,从而促进了中小跨径的钢筋混凝土桥和大跨径钢桁架桥、钢拱桥和钢悬索桥的大量兴建。由于养护方便,在 100m 以内的中小跨径桥梁范围内,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径钢桥,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径悬索桥和拱桥的发展和创新,以美国纽约华盛顿桥(跨度 1 067m,1931 年)、旧金山金门大桥(见图 1-2,跨度 1 280m,1937 年)为代表显示其在桥梁领域的垄断实力。

二次世界大战后,德国、日本再度崛起。20 世纪 50 年代起,联邦德国经济的复苏推动了德国桥梁工程的发展,斜拉桥结构得以初露锋芒,并很快波及世界桥梁工程界。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。1958 年建造的 SC 莱茵河桥(图 1-3),全长 1 281.6m,主跨 205m,主跨悬臂施工,边跨施工时采用辅助墩,使预应力混凝土梁式桥第一次突破了 200m。



图 1-2 金门大桥

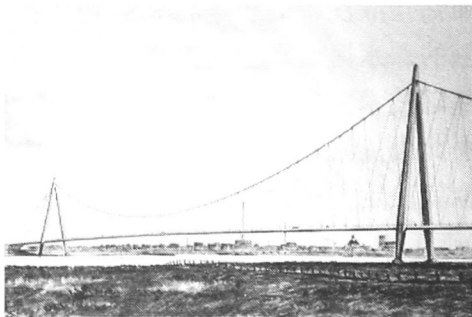


图 1-3 SC 莱茵河桥

20 世纪 60 年代,欧美各国在兴建高速公路的高潮中建造了许多桥梁,进入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,以及在移动托架上或用架桥机悬挂的拼装工艺,是预应力技术发展的高峰时期。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径钢桥的新形式。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,这一年代是斜拉桥发展的第一个高峰期。还有一些创始于 20 世纪 50 年代,在 60 年代

趋于成熟的先进施工技术,如预应力混凝土悬臂梁桥的挂篮现浇施工、上层移动支架进行预制构件节段的悬拼施工等。

20 世纪 70 年代可以说是预应力技术发展的成熟期,与此同时,斜拉桥已开始由前联邦德国向欧洲各国以及加拿大、美国、日本等国推广。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。一种创新的顶推法施工工艺在这一年代获得了成功。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工法。以后又发展到曲线长桥的顶推施工。

20 世纪 80 年代,日本、丹麦开辟了兴建跨海工程的先河。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。20 世纪 80 年代初,我国迎来了改革开放的新时期,率先在广东省掀起了桥梁建设的高潮,但基本上是一种跟踪性的发展和提高。如 1988 年建成的广东江门外海桥(图 1-4),主桥为 9 孔一联预应力混凝土变截面连续梁桥,采用悬臂施工法。

20 世纪 90 年代,世界桥梁工程进入了一个崭新阶段,一批高水平的大桥相继完成,如法国诺曼底大桥(图 1-5)、中国万县长江大桥、日本明石海峡大桥(图 1-6)等。这一时期的技术创新主要表现在实施上述大跨径桥梁的建设中所采用的一些新材料和新工艺上,如法国诺曼底大桥的平行钢绞线拉索和施工控制技术、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、日本明石海峡大桥塔墩深水基础和钢桥塔减振技术等。

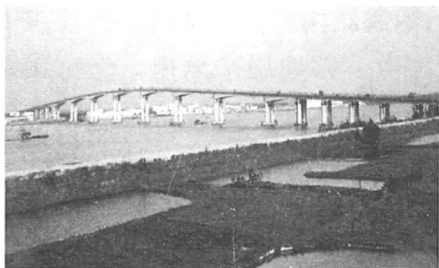


图 1-4 江门外海桥



图 1-5 诺曼底桥



图 1-6 日本明石海峡大桥

经过 20 多年的发展,我国经济突飞猛进,国力显著增强。同时,我国也加快了基础建设的步伐,一大批桥梁如雨后春笋,层出不穷。特别是近十年来建成的代表当今世界桥梁最高发展水平的一大批斜拉桥、悬索桥,更是确定了中国桥梁的世界地位。如苏通长江公路大桥(图 1-7),是我国建桥史上工程规模最大、综合建设条件最复杂的特大型桥梁工程,全长

32.4km,主桥采用双塔双索面钢箱梁斜拉桥。苏通长江公路大桥,斜拉桥主孔跨径 1 088m,列世界第一;主塔高度 306m,列世界第一;斜拉索的长度 580m,列世界第一;群桩基础平面尺寸 113.75m×48.1m,列世界第一。专用航道桥采用 140m+268m+140m=548m 的 T 型刚构梁桥,为同类桥梁工程世界第二。苏通长江公路大桥工程规模之大,建设标准和科技含量之高,施工技术和条件之复杂,代表了当今世界桥梁建设的最高水平。

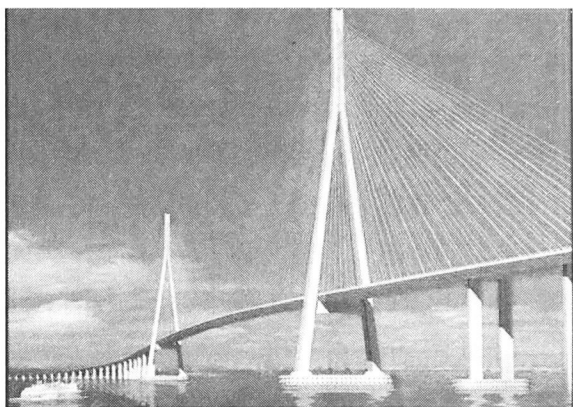


图 1-7 苏通长江公路大桥

第三节 桥梁结构类型

一般桥梁通常由桥梁的上部结构、下部结构以及附属结构组成。其中,桥梁上部结构为桥跨结构,而下部结构包括桥墩、桥台及其基础,如图 1-8 所示;附属结构包括桥头路堤护坡、护岸等。

桥梁都建造在一定的地层上,桥梁结构的全部荷载都由下部地层来承担。受桥梁结构影响的那一部分地层称为地基,桥梁下部结构与地基接触的部分称为基础。桥墩、桥台,一可以支承上部结构荷载,二可以将上部荷载传递给地基。

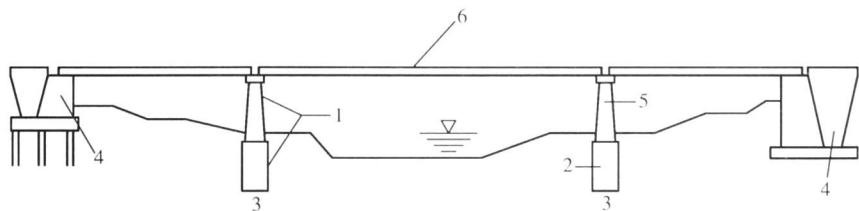


图 1-8 桥梁结构各部位立面示意图

1-下部结构;2-基础;3-地基;4-桥台;5-桥墩;6-上部结构

按照受力特点的不同,桥梁结构可以分为五大类:梁式桥、拱式桥、悬索桥、斜拉桥和刚构桥,还有一种梁式和拱式的组合形式,如图 1-9 所示。前三者是古老的桥梁结构形式,后两者是近代特别是 20 世纪 50 年代以来发展较快的两种结构形式。

一、梁式桥

梁式桥是一种使用最广泛的桥梁类型,是桥梁家族中最古老、最基本的成员。其他桥型结构组成部分也少不了梁或以梁作为结构的重要组成部分,如斜拉桥和悬索桥,可以说是由悬吊起来的梁组成。

早期,梁式桥构造简单、施工方便,但是建筑高度小,不经济,一般适用跨径只有 5~15m。随着近代高强钢材和水泥的出现,使钢梁桥、钢筋混凝土梁桥和预应力混凝土梁桥得到迅速的

发展。结构形式也随着材料和技术的进步而不断演进,由简支梁发展到悬臂梁和连续梁,由实腹板梁发展到桁梁和箱梁,由单一材料和单一结构体系的梁桥发展到结合梁或组合梁。在施工方法上除采用现场浇筑外,大量采用预制的装配式桥梁,实现制造安装工业化和设计标准化。

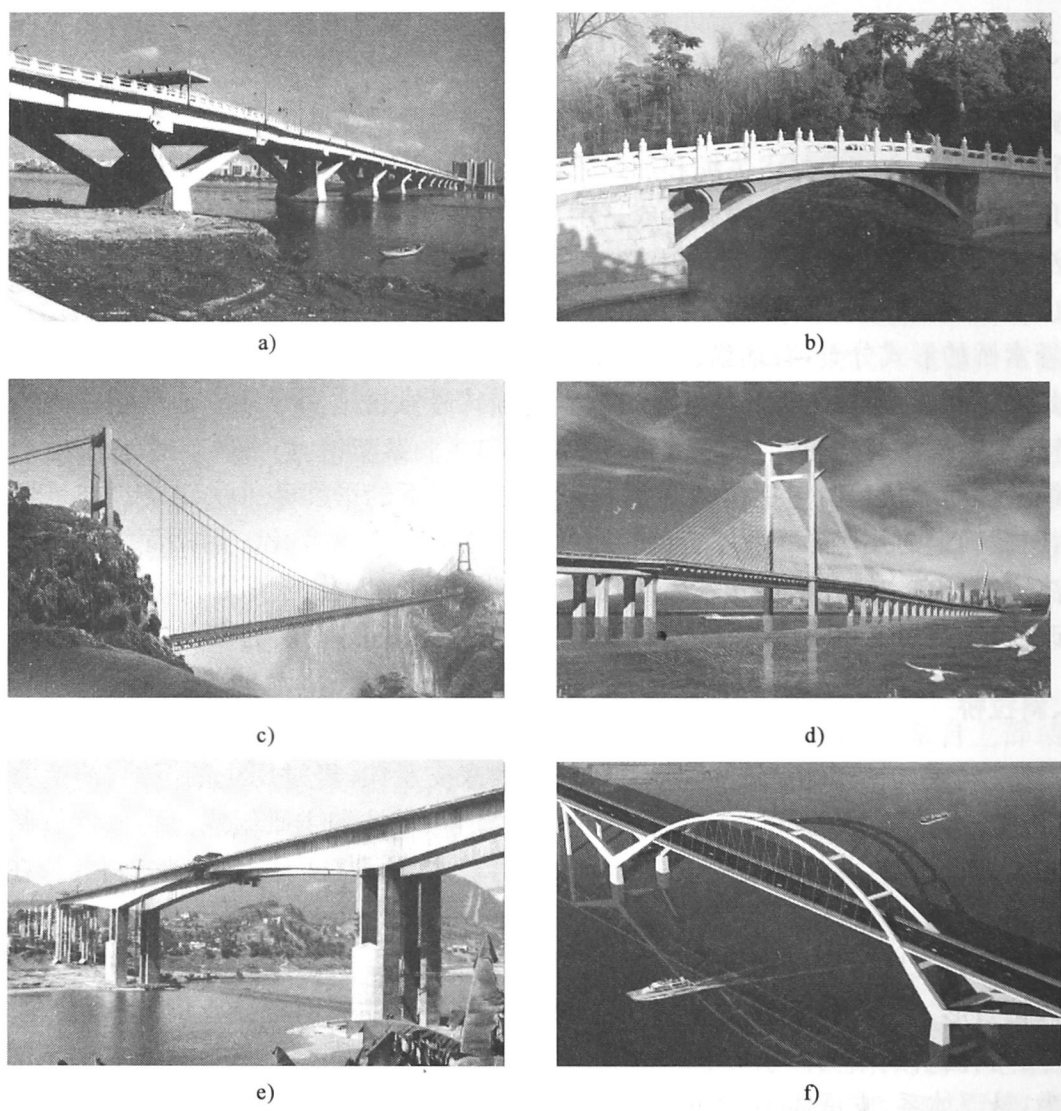


图 1-9 桥梁结构类型
a)梁式桥;b)拱式桥;c)悬索桥;d)斜拉桥;e)刚构桥;f)拱梁组合体系桥

二、拱式桥

拱式桥是在竖向荷载作用下,产生水平推力的结构物,因此,一般为弧形结构桥,形式多样,构造各异。按所使用的建筑材料可分为:石拱桥、钢筋混凝土拱桥、木拱桥及钢拱桥。按拱上建筑形式可分为实腹式拱桥和空腹式拱桥,前者构造简单、施工方便,但重力大,适合中、小跨径;后者圬工体积小,桥形美观,但施工复杂,一般适用于大、中跨径。按主拱轴线的线形可分为圆弧拱、抛物线拱及悬链线拱等。按桥面位置可分为上承式拱桥、下承式拱桥和中承式拱桥。将拱脚用系杆连接或与行车道系组合共同受力,可以形成系杆拱。

除此以外,按照我国工程界习惯,还可将拱桥按材料和结构形式分为:石拱桥(包括混凝土拱桥)、双曲拱桥、钢筋混凝土箱形拱桥、钢筋混凝土肋拱桥、钢筋混凝土桁架拱桥、钢筋混凝土

刚架拱桥、钢管混凝土拱桥、劲性骨架混凝土拱桥和钢拱桥。1997年建成的万县长江大桥,主跨420m,为世界最大跨径的混凝土拱桥。2000年建成的广州丫髻沙珠江大桥,主跨360m,为世界第一钢管混凝土拱桥。2002年合龙的上海卢浦大桥,主跨550m,被誉为“世界第一拱”,为全焊接钢结构拱桥。我国在建设大跨径拱桥技术方面居世界领先地位。

三、悬索桥

悬索桥是特大跨径桥梁的主要形式之一,被公认为桥梁领域中最优美的桥型,人们常将其称为“桥梁皇后”。它一般是由主缆和加劲梁成一体桥面、用来连接加劲梁和主缆的吊杆、变换拉索角度的塔和锚固拉索的锚碇构成。现在主缆一般用许多根高强钢丝做成,按AS法(空中选丝法)或PPWS法(预制束股法)制造。主缆两端由锚碇固定,锚碇由大体积混凝土做成,也有在山体中开挖隧道,然后浇筑混凝土形成。

按悬索桥的形式分类,有地锚式悬索桥、自锚式悬索桥和双链式悬索桥。绝大部分大跨径悬索桥是地锚式悬索桥,施工简单,安全度高;自锚式悬索桥适用于两岸地基承载力较差的软土;双链式悬索桥荷载均匀,但构件数量多,不经济。

主缆的几何形状是由包括恒载和活载等外力作用下的平衡条件决定的。如果恒载相当大,则由恒载确定的几何形状就不会因较小的活载而引起多大变化。而桥面线形是通过吊杆由主缆决定的。在主缆几何形状不因活载上桥面发生多大变化的情况下,桥面的线形也就没有多大改变,于是对活载来讲,桥面就有了刚度,这就是“重力刚度”的概念。

四、斜拉桥

斜拉桥构思起于吊索桥,从塔架上悬挂斜拉索来支承梁,经过历史的沉淀,演变成为一种用斜拉索(或斜拉杆)悬吊桥面的桥梁。斜拉桥由斜拉索、塔柱和主梁组成。高强钢材制成的斜拉索将主梁多点吊起,并将主梁的恒载和活载传给塔柱,再由塔柱传给基础。斜拉桥在可达到的跨径内较悬索桥经济、刚度大、空气动力性能好。

斜拉索常布置成单索面和双索面,主要形式有辐射形、竖琴形、扇形等。塔柱有柱式、门式、A形、钻石形、倒Y形等,按数量有独塔、双塔或多塔。主梁有混凝土梁、钢箱梁、组合梁和混合梁等。斜拉桥的结构体系可能的选择范围宽广,按斜拉索、塔柱和主梁三者的不同结合方式可分为:悬浮体系、支承体系、塔梁固结体系、刚构体系和协作体系等。正是由于其斜拉索、塔柱和主梁的不同变化和组合,可以构成不同结构性能、力学特点和美学效果的斜拉桥,给工程师提供了广阔的想像和创造空间。

五、刚构桥

将主梁与墩台刚性固结,连接成整体,则主梁的弯矩可以传递给墩台,使其同时弯曲又受压力作用,这种桥型称为刚构桥。刚构桥是静不定结构,受力情况比较复杂,除恒载与活载外力外,土压力、温度变化、混凝土收缩改变、不均匀沉降等均引起结构内力。刚构桥按支承方式分为无铰刚构桥和有铰刚构桥。工程上习惯将刚构桥分为:单跨刚构桥、多跨刚构桥、斜腿刚构桥、预应力混凝土(PC)T形刚构桥、PC连续刚构桥等。

预应力混凝土T形刚构桥,是由于悬臂施工法的衍生而发展出的一种新桥型。施工时主梁自桥墩向两侧平衡悬伸,一般分段悬臂浇筑或悬臂拼装,逐段施加预应力以支承自身结构及施工荷载。T形刚构施工阶段与运营阶段受力图式基本相同,能充分发挥材料性能,故可增大

跨度。但因主梁跨中设铰,跨中挠度较大,且铰也不易制造安装和养护,因此近年来较少采用。PC 连续刚构桥适合于高桥墩、大跨径的情况,主梁与桥墩固结,跨中不设铰,行车舒顺。桥墩一般采用柔性薄壁墩,作用如同摆柱,利用其柔性以适应各种外力引起的纵向位移。墩身柔度大(刚度小)对梁的嵌固作用小,梁的受力就接近于连续梁桥。柔性墩需考虑主梁的纵向变形与转动方向的影响和墩身偏心受压时的稳定性。近年来,各国修建 PC 连续刚构桥很多。

第四节 桥梁工程施工方法及选择

一、桥梁基础施工

根据目前国内外已建成的桥梁基础情况,其类型主要有:直接基础(明挖扩大基础)、桩基础(包括打入桩基础和钻孔桩基础)、管柱基础、沉井基础、组合基础(包括沉井加管柱基础和沉井加钻孔桩基础)和特殊基础(包括双承台管柱基础、锁口管柱基础、多柱基础、连续墙基础、沉箱基础和设置基础)。一般来说,桥梁基础工程发展到今天,已经不受水文、地质条件的控制,所重视的是工程结构本身和经济效益。目前国内已经拥有了合乎我国国情的一整套施工工艺及相应的设备,从面向特大型桥梁基础已经向“组合基础”发展。如苏通长江公路大桥塔墩基础采用高桩承台式结构,其深水基础施工技术条件复杂,施工难度大,在诸如钢吊箱施工、钻孔灌注桩施工中创造了许多先进和独特的施工工艺,许多技术具有独创性。

1. 扩大基础和明挖基础施工

扩大基础或明挖基础,属直接基础,是将基础底板设在直接承载地基上,来自上部结构的荷载通过基础底板直接传递给承载地基。扩大基础的施工方法通常是采用明挖的方式,其主要内容包括:基础的定位放样、基坑开挖、基坑排水、坑壁支撑、基底处理以及砌筑(浇筑)基础结构物等。一般,明挖扩大基础用于基础不深,土层稳定,有排水条件,对于机具要求不高的情况。根据水文资料和现场实际情况,选择排水挖基或水中挖基,同时根据土质情况和基坑深度选择相应的支撑方式,基底挖至设计高程时,及时进行检验。

2. 桩基础施工

当地基浅层土质较差,持力土层埋藏较深,需要采用深基础才能满足结构物对地基强度、变形和稳定性要求时,可用桩基础。基桩按材料分类有木桩、钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩与钢桩。桥梁基础中应用较多的是中间两种。按制作方法分为预制桩和钻(挖)孔灌注桩。按施工方法分为锤击沉桩、振动沉桩、射水沉桩、静力压桩、就地灌注桩与钻孔埋置桩等,前四种又统称为沉入桩。应该依据地质条件、设计荷载、施工设备、工期限制及对附近建筑物产生的影响等来选择桩基的施工方法。

沉桩前应做好工程地质钻探资料、打桩资料,确定打桩方法、试桩等工作。桩基础轴线的定位点应设置在不受沉桩影响处,施工过程中如发现地质情况与勘测报告有出入时,应根据具体情况进行补充钻探。

灌注桩是采用人工或机械钻孔,在土中形成一定直径的孔,达到设计高程后,将钢筋骨架(笼)吊入孔中,灌注混凝土形成为桩基础。钻孔灌注桩的关键是钻孔。钻孔的方法可归纳为三种类型:冲击法、冲抓法和旋转法。冲击法系用冲击钻机(我国常用的是 Z-30 钻机)或卷扬机带动冲锥,借助锥头自重下落产生的冲击力反复冲击破碎土石或把土石挤入孔壁中,用泥浆浮起钻渣,或用抽渣筒或空气吸泥机排出钻渣而形成钻孔,适用于各种土。冲抓法是用冲抓锥

靠自重产生冲击力切入土层破碎土层,叶瓣抓土、弃土以形成钻孔,适用于黏性土、砂黏土类碎石,但不宜在强度较大的基岩中钻孔。旋转法是用人力或钻机,通过钻杆带动锥或钻头旋转切削土,用泥浆浮起排出钻渣形成钻孔,用于较厚的黏土层、砂土层、砂软层等。

3. 管柱与沉井基础施工

管柱基础适用于各种土质的基底,尤其是在深水、岩面不平、无覆盖层或覆盖层很厚的自然条件下,不宜修建其他类型基础时。管柱基础的结构,可采用单根或多根形式,使之穿过覆盖层或空洞、孤石,支承于较密实的土或新鲜岩面。管柱基础施工是在水面上进行的,不受季节性限制,能尽量使用机械操作,从而改善劳动条件,提高工作效率,加快工程进度,相应地降低工程成本。管柱基础按条件不同,施工方法可分为两种:需要设置防水围堰的低承台或高承台基础、不需要设置防水围堰的低承台或高承台基础。这两种施工方法以设防水围堰的比较复杂。管柱基础施工时,必须设置控制管柱倾斜和防止位移的导向结构,导向结构的布置应便于下沉和接高管柱。

沉井是用钢筋混凝土制成的井筒(下有刃脚,以利下沉和封底)结构物,一般由刃脚、井壁、隔墙、封底混凝土、井孔顶盖板等组成。一般,在表层地基土的承载力不足、地下深处有较好的持力层,或山区河流中冲刷大,或河中有较大卵石不便于桩基施工;或岩层表面较平坦、覆盖层不厚,但河水较深等条件下,即当水文地质条件不宜修筑天然地基和桩基时,根据经济比较分析,可考虑采用沉井基础。沉井的类型,根据其施工工艺,分为就地制作沉井和浮式沉井。沉井基础的特点是埋置深度可以很大、整体性强、稳定性好、刚度大、能承受较大的荷载作用。沉井本身既是基础,又是施工时的挡土、防水围堰结构物,且施工设备简单,工艺不复杂,可以几个沉井同时施工,场地紧凑,所需净空高度较低,故在桥梁工程中得到较广泛的应用。但沉井施工工期较长;对粉砂类土在井内抽水易发生流沙现象,造成沉井倾斜;下沉时如遇有大孤石、沉船、落梁、大树根或井底岩层表面倾斜过大,均会给施工带来很大困难。因此要求在施工前,应事先详细钻探,探明地层情况及获取有关资料,以利于制订沉井下沉方案。沉井下沉前,须对附近构筑物、建筑物和施工设备采取有效的防护措施,并在下沉过程中,经常进行沉降观测以及精度控制。出现不正常变化或危险情况,应及时进行加固支撑等,确保安全,避免事故。

4. 地下连续墙施工

地下连续墙是一种新型的桥梁基础形式。其主要施工工艺是在基础结构物的周边,在地基中开挖出一个具有一定宽度与深度的槽孔,泥浆护壁,然后在槽内安放钢筋笼,浇筑混凝土,逐段施工,最终形成的一道连续的地下钢筋混凝土墙。当混凝土强度达到要求时,可以将地下连续墙作为挡土帷幕墙、减少对邻近建筑物影响以及承受垂直荷载的基础的一部分。

地下连续墙施工前,必须具备工程地质资料、区域内障碍物资料、必要的试验资料等。地下连续墙施工工艺,包括准备开挖的地下墙深槽、用专用机械进行深槽开挖、安放接头管、吊放钢筋笼下入槽内、下灌注导管并灌注混凝土、拔出接头管和单元墙段完成几部分。

二、桥梁上部结构施工

1. 就地浇筑法

就地浇筑法是在桥位处搭设支架,在支架上浇筑桥体混凝土,达到强度后拆除模板、支架。就地浇筑法施工不需要预制场地,也不需要大型起吊、运输设备,梁体的主筋可不中断,桥梁整体性好。它的缺点主要是工期长,施工质量不容易控制;对预应力混凝土梁由于混凝土的收缩、徐变引起的应力损失比较大;施工中的支架、模板耗用量大,施工费用高;搭设支架影响排

洪、通航,施工期间可能受到洪水和漂流物的威胁。因此,一般用于小跨径桥梁建造。

2. 预制安装法

在预制工厂或在运输方便的桥址附近设置预制场进行梁的预制工作,运输到现场后,采用一定的架设方法进行安装。预制安装法施工,一般是指钢筋混凝土或预应力混凝土简支梁的预制安装。

预制构件安装的方法很多,各需不同的安装设备,可根据施工的实际情况合理选择。预制安装法施工的主要特点如下:

(1)由于是工厂生产制作,构件质量好,有利于确保构件的质量和尺寸精度,并尽可能多地采用机械化施工。

(2)上、下部结构可以平行作业,因而可缩短现场工期。

(3)能有效利用劳动力,并由此而降低了工程造价。

(4)由于施工速度快,可适用于紧急施工工程。

(5)将构件预制后由于要存放一段时间,因此在安装时已有一定龄期,可减少混凝土收缩、徐变引起的变形。

3. 悬臂施工法

悬臂施工法是从桥墩开始,两侧对称进行现浇梁段或将预制节段对称进行拼装。前者称为悬臂浇筑施工,后者称为悬臂拼装施工。

悬臂浇筑混凝土分2次或3次浇筑时,为使后浇的混凝土重力不致引起挂篮变形,从而避免混凝土开裂,可采取相应措施,如浇筑混凝土前,先用水箱灌以相当于混凝土重的水,代替混凝土重,然后在浇筑混凝土过程中,逐渐放水使挂篮的负荷和挠度基本不变。一般,大跨径桥梁均采用悬臂浇筑法,因此,其施工工艺日趋成熟。对于连续梁,一般有逐跨连续悬臂施工法、T-单悬臂梁-连续梁施工法、T-双悬臂梁-连续梁施工法。在浇筑混凝土时,应注意浇筑方法、拆模时间等。

悬臂拼装法施工的主要工序包括:块件预制,移运、整修、吊装定位、预应力张拉、施工缝接缝处理等,各道工序均有不同要求,并对整个拼装质量具有密切影响。块件拼装接缝一般分为湿接缝与胶接缝;湿接缝用高强细石混凝土,胶接缝则用环氧树脂胶为接缝料。

悬臂施工的主要特点如下:

(1)桥梁在施工过程中产生负弯矩,桥墩也要承受由施工而产生的弯矩,因此悬臂施工宜在营运状态的结构受力与施工阶段的受力状态比较接近的桥梁中选用,如预应力混凝土T形刚构桥、变截面连续梁桥和斜拉桥等。

(2)非墩梁固接的预应力混凝土梁桥,采用悬臂施工时应采取措施,使墩、梁临时固结,因而在施工过程中有结构体系的转换。

(3)采用悬臂施工的机具设备种类很多,就挂篮而言,也有桁架式、斜拉式等多种形式,可根据实际情况选用。

(4)悬臂浇筑施工简便、结构整体性好,施工中可不断调整位置,常在跨径大于100m的桥梁上选用。悬臂拼装法施工速度快,桥梁上、下部结构可平行作业,但施工精度要求比较高,可在跨径100m以下的大桥中选用。

(5)采用悬臂施工法可不用或少用支架,施工同时不会影响通航或桥下交通。

4. 转体施工法

转体施工法是将桥梁构件先在桥位处岸边(或路边及适当位置)进行预制,待混凝土达到