



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Bridge Engineering Construction Technology

桥梁工程施工技术

· 道路与桥梁工程方向 ·



主编 申爱国



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

桥梁工程施工技术

主 编 申爱国



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程施工技术/申爱国主编. —武汉:武汉大学出版社,2016. 11
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材
ISBN 978-7-307-12517-9

I. 桥… II. 申… III. 桥梁施工—高等学校—教材 IV. U445.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 006940 号

责任编辑:王亚明 责任校对:杨赛君 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉市金港彩印有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:16 字数:514 千字

版次:2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12517-9 定价:56.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方 志 叶列平 何若全 沙爱民 范 峰 周铁军 魏庆朝

委 员:王 辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周 云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程 桦 靖洪文

编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高 波

委 员:丁克伟 丁建国 马昆林 王 成 王 湛 王 媛 王 薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方 俊

龙广成 申爱国 付 钢 付厚利 白晓红 冯 鹏 曲成平

吕 平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅

刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁 皑 许 伟 许程洁 许婷华

阮 波 杜 咏 李 波 李 斌 李东平 李远富 李炎锋

李耀庄 杨 杨 杨志勇 杨淑娟 吴 昊 吴 明 吴 轶

吴 涛 何亚伯 何旭辉 余 锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全

张 红 张 纯 张飞澹 张向京 张运良 张学富 张晋元

张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰

胡世阳 侯建国 姜清辉 娄 平 袁广林 桂国庆 贾连光

夏元友 夏军武 钱晓倩 高 飞 高 玮 郭东军 唐柏鉴

黄 华 黄声享 曹平周 康 明 阎奇武 董 军 蒋 刚

韩 峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾 珂 雷宏刚

廖 莎 廖海黎 蒲小琼 黎 冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王 睿 白立华 曲生伟 蔡 巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动土木传媒”微信公众号!



丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

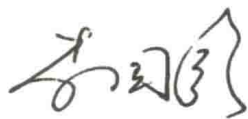
2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程专业本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程专业本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以为序。



2014年3月于同济大学四平路校区

前 言

教育部“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和规划纲要(2010—2020年)》和《国家中长期人才发展规划纲要(2010—2020年)》的重大改革项目,也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。经调研,与该计划相配套的教材尚未出版。针对土木工程学科道路与桥梁专业方向本科生卓越工程师培养计划,编写与之相配套的《桥梁工程施工技术》教材,不仅能弥补目前图书市场对卓越工程师教材的需要,也能及时满足卓越工程师相关专业学生的教学需求。

教材立足卓越工程师培养这一中心任务,以应用型人才目标为指导,以就业为导向,以增强应用技能为目的,从课堂教学、课外培训、实训锻炼及施工安全等各方面予以考虑。本教材既突出系统性和实用性,优化结构,做到重点突出、内容精炼,确保本科教学的必要深度,又强调前瞻性和创新性,紧跟新规范、新技术和国内外行业的发展形势。本书内容深入企业,贴近实际应用,及时、具体、全面地论述了学科、行业及专业发展与职业岗位要求,并补充了相关演练项目或实训计划。

本书共分为7章。桥梁工程施工技术概述主要介绍了桥梁工程施工技术的发展历史和主要施工技术、方法;第1章为桥梁工程基础施工,主要介绍了桥梁工程基础的施工技术;第2章为桥梁墩台,介绍了桥梁墩台的构造特点及施工技术;第3章为简支梁桥施工,主要介绍了简支梁的相关概念及施工技术;第4章为连续梁桥施工,主要介绍了相关概念和施工技术、方法;第5章为拱桥施工,主要介绍了拱桥的构造特点、结构形式和相关施工技术;第6章为斜拉桥施工,主要介绍了斜拉桥的构造特点、结构形式和相关施工技术。

本书由西南交通大学申爱国主编。

由于编者水平有限,编写时间也较紧迫,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2015年7月

目 录

0 桥梁工程施工技术概述	(1)	1.5.5 地下连续墙施工实例图	(32)
0.1 我国桥梁建造的辉煌历史	(2)	知识归纳	(36)
0.2 新中国桥梁建造技术的进步	(2)	独立思考	(36)
0.3 现代钢筋混凝土与预应力技术 简述	(3)	2 桥梁墩台	(37)
0.4 桥梁工程施工方法概述	(4)	2.1 概述	(38)
0.4.1 桥梁基础施工	(4)	2.2 桥墩和桥台的构造特点	(38)
0.4.2 桥墩施工	(4)	2.2.1 桥墩	(39)
0.4.3 桥梁上部结构施工	(5)	2.2.2 桥台	(46)
0.5 桥梁工程施工技术的发展趋势	(5)	2.3 桥梁墩台施工	(52)
1 桥梁工程基础施工	(7)	2.3.1 钢筋混凝土墩台施工	(52)
1.1 概述	(8)	2.3.2 装配式墩台施工	(55)
1.1.1 地基分类	(8)	2.3.3 滑升模板施工	(58)
1.1.2 基础分类	(9)	2.3.4 V形墩施工	(63)
1.1.3 基础工程的重要性	(9)	知识归纳	(70)
1.2 浅基础	(9)	独立思考	(70)
1.2.1 浅基础的构造形式	(10)	3 简支梁桥施工	(71)
1.2.2 基础埋置深度的确定	(12)	3.1 简支梁的分类和特点	(72)
1.2.3 地基、基础验算	(12)	3.1.1 板式梁	(72)
1.2.4 浅基础施工	(14)	3.1.2 装配式肋形梁	(75)
1.3 桩基础	(17)	3.1.3 箱形梁	(79)
1.3.1 摩擦桩的施工	(17)	3.1.4 钢-混组合梁	(81)
1.3.2 钻孔桩的质量标准	(25)	3.2 简支梁桥的就地浇筑	(84)
1.4 沉井基础	(26)	3.2.1 支架、模板及预拱度的设置与 计算	(86)
1.4.1 沉井的类型	(26)	3.2.2 施工工序	(99)
1.4.2 沉井的构成	(27)	3.2.3 施工要点	(99)
1.4.3 沉井施工方法	(27)	3.3 简支梁的预制与安装	(101)
1.5 地下连续墙	(29)	3.3.1 简支梁的预制	(101)
1.5.1 概述	(29)	3.3.2 预制简支梁的安装	(105)
1.5.2 地下连续墙与钻孔桩施工方法 的比较	(29)	3.4 桥梁支座和伸缩装置的安装 施工	(129)
1.5.3 地下连续墙的施工方法和 重点	(31)	3.4.1 概述	(129)
1.5.4 地下连续墙的特点	(32)	3.4.2 桥梁支座	(129)

5	拱桥施工	(179)
5.1	拱桥的结构形式、受力特点及施工方法	(180)
5.1.1	拱桥的结构形式	(180)
5.1.2	拱桥的受力特点	(181)
5.1.3	拱桥的施工方法	(181)
5.2	拱桥有支架施工	(182)
5.2.1	常见的支架形式	(182)
5.2.2	预拱度	(185)
5.2.3	拱桥主拱圈的砌筑施工	(186)
5.3	拱桥无支架就地浇筑施工	(190)
5.3.1	劲性骨架施工法	(190)
5.3.2	塔架扣索悬臂浇筑施工法	(192)
5.3.3	斜吊式悬臂浇筑施工法	(193)
5.3.4	装配式悬臂拼装施工法	(194)
5.4	拱桥转体施工法	(196)
5.4.1	概述	(196)
5.4.2	有平衡重转体施工	(197)
5.4.3	无平衡重转体施工	(198)
	知识归纳	(200)
	独立思考	(200)
6	斜拉桥施工	(201)
6.1	斜拉桥的结构体系和构造特点	(202)
6.1.1	斜拉桥的类型	(202)
6.1.2	斜拉桥的主要构件	(204)
6.2	斜拉桥的施工方法	(221)
6.2.1	主塔施工	(222)
6.2.2	横梁施工	(226)
6.2.3	塔柱施工时应注意的事项	(226)
6.2.4	主梁施工	(227)
6.2.5	斜拉索施工	(236)
	知识归纳	(242)
	独立思考	(243)
	参考文献	(244)

参考文献 (244)

数字资源目录

0 桥梁工程施工技术概述	(1)
桥梁工程知识问答	(1)
1 桥梁工程基础施工	(7)
重难点	(7)
浅基础施工图	(14)
钢板桩围堰视频	(15)
预制桩图	(18)
锤击打桩法视频	(19)
钻孔灌注桩施工动画	(21)
人工挖孔桩视频	(21)
地下连续墙施工简介动画	(29)
思考题答案	(36)
2 桥梁墩台	(37)
重难点	(37)
重力式桥墩图	(40)
空心桥墩图	(40)
V形桥墩图	(42)
滑升模板施工动画	(58)
思考题答案	(70)
3 简支梁桥施工	(71)
重难点	(71)
后张法简支梁的预制视频	(102)
预制简支梁的安装视频	(105)
导梁式架桥机运架动画	(114)
导梁式运架一体式架桥机动画	(116)
浮吊架设法动画	(122)
思考题答案	(134)
4 连续梁桥施工	(135)
重难点	(135)
悬臂施工图	(144)
挂篮施工方案动画	(144)
连续梁节段悬臂拼装动画	(154)
转体施工动画	(168)
转体桥梁的施工动画	(175)
思考题答案	(178)
5 拱桥施工	(179)
重难点	(179)
拱桥施工案例图	(180)
拱桥施工图	(180)

有平衡重转体施工动画	(197)
思考题答案	(200)
6 斜拉桥施工	(201)
重难点	(201)
斜拉桥案例图	(202)
桥塔动画	(204)
斜拉索动画	(209)
苏通长江公路大桥施工工艺动画	(221)
思考题答案	(243)

桥梁工程施工技术概述

课前导读

内容提要

本章的主要内容包括我国桥梁建造的辉煌历史、新中国桥梁建造技术的进步、桥梁工程施工方法概述及桥梁工程施工技术的发展趋势。本章的教学重点及教学难点为桥梁工程施工方法。

能力要求

通过本章的学习，学生应了解我国桥梁建造的辉煌历史、新中国桥梁建造技术的进步，掌握桥梁工程具体施工方法与桥梁工程施工技术的发展趋势。

数字资源



桥梁工程
知识问答

0.1 我国桥梁建造的辉煌历史



中华民族是一个勤劳、善良、智慧而且富有创造性的民族,不但开创了 5000 多年的中华文明,而且在世界建桥史上书写下了极其辉煌的篇章。据考证,早在 3000 多年前的周文王时期,我国古代工匠就已经在渭水之上架设过大型浮桥。在秦汉时期,我国已广泛修建石梁桥,目前世界上尚存的长度最长、建造时间最早、工程最艰巨的石梁桥就是我国于 1053—1059 年在福建泉州建造的万安桥,如图 0-1 所示。隋唐时期是我国古代桥梁建造的兴盛时期,在此期间,建桥工匠们运用自己的智慧和经验,创造出了丰富的桥型和结构形式。宋代以后,我国在桥梁建造方面涌现出了大批能工巧匠,工匠们的建桥技术日益成熟。该时期不但桥梁的建造数量达到了前所未有的规模,涌现出了很多以小桥流水为典型景观的村镇、城市,而且桥梁的跨越能力和表现能力也大大提高了。与此同时,桥梁的造型和功能更趋向多元化,几乎包括了所有近代桥梁中的最主要形式,并建造了很多在世界建桥史上具有深远影响的精品,如举世闻名的河北赵州桥(图 0-2),它是我国古代石拱桥的杰出代表。这些古老的桥梁已经成为我国乃至世界桥梁建造史上的宝贵财富,充分展示了我国古代工匠的聪明才智和高超的技术水平。



图 0-1 福建泉州万安桥



图 0-2 河北赵州桥

我国还是最早建造吊桥的国家。据有关文献记载,我国最早的吊桥建造于 3000 多年前。到了唐朝中期,我国吊桥所采用的缆索和吊索材料就已经完成了由藤索、竹索向铁链的转变,并建造出了当时世界上最先进的铁链吊桥;而西方在 16 世纪才开始建造铁链吊桥,比我国晚了近千年。

0.2 新中国桥梁建造技术的进步



新中国成立初期,为了发展我国的交通事业,建设部门通过改造和新建的方法建造了数量可观的桥梁,使得我国的通车里程比新中国成立前有了成倍的增长。但由于受起重设备的限制,装配式桥仅在简支梁桥上使用,而其他类型桥梁的施工仍多采用土牛拱胎、竹木支架、拱架现浇或砌筑施工等手段。随着经济的不断发展,我国科学技术取得了显著进步,尤其是各类施工机具、施工设备和建筑材料的发展,以及现代桥梁工程施工技术的不断进步,为我国建造现代化大型桥梁创造了条件。

1957 年,我国第一座长江大桥——武汉长江大桥胜利建成,结束了我国万里长江千百年来没有一座现代化公路或铁路桥梁的状况,标志着我国采用现代化建桥技术建造大跨度钢桥的能力提高到了一个历史性的新起点;1969 年,我国又建成了举世瞩目的南京长江大桥,这是我国自主设计、制造、施工并使用国产高强度钢材建成的又一座现代化大型桥梁,标志着我国建桥技术已达到了世界先进水平。

在南京长江大桥施工中,我国桥梁工程技术人员通过试验研究,设计制造了一系列关键性的施工机具和设备,并创造了一些新的施工工艺,如管桩下沉、钻孔洗壁、循环压浆、悬拼调整、高强度螺栓安装等,保证

了南京长江大桥能够按照质量与工期目标的要求顺利完成。

20 世纪 60 年代中期,悬臂施工方法从钢桥施工中引入到预应力混凝土桥的施工中,从而摆脱了建造预应力混凝土梁桥时只能采用预制装配或在支架上现浇施工的传统施工方法,大大促进了预应力混凝土技术在大跨度桥梁无支架施工中的应用。运用该方法,我国各地先后建造了大量的预应力混凝土刚构桥、预应力混凝土连续梁桥、预应力混凝土斜拉桥等。自此之后,大跨度预应力混凝土桥梁如雨后春笋般在全国各地不断出现,从而使预应力混凝土桥成为我国桥梁工程的主要类型。

进入 20 世纪 70 年代以后,伴随着预应力混凝土技术的发展,转体、顶推、逐孔施工、横移及浮运等丰富多彩的桥梁工程施工方法不断出现在我国桥梁建设领域。经过大批工程技术人员的不完善,这些各具特色的桥梁工程施工方法很快在应用中得到发展,并逐步成熟起来。特别是进入 20 世纪 90 年代以后,随着我国改革开放的深化,我国在桥梁科研、桥梁创新、桥梁设计、桥梁建材、桥梁施工、桥梁管理与维护等诸多领域取得了前所未有的进步。通过学习、吸收和消化国际先进桥梁建设理论与技术,引进国外桥梁工程施工的先进设备,我国的交通事业和桥梁建设进入一个全新时期。我国在桥梁工程设计理论与桥梁工程施工技术方面的突出进步集中体现在高速公路建设,国道系统的畅通以及桥梁技术、桥型、跨越能力和施工管理水平的提升上,在桥梁形态、桥梁跨度以及桥梁长度方面创造了一项又一项世界桥梁建造史上的纪录。例如,苏通长江大桥、东海大桥、杭州湾跨海大桥、武汉天兴洲长江大桥、南京大胜关长江大桥等都是在国际上具有影响力的杰出作品。这使得我国跨入世界桥梁建造领域的先进行列,在世界桥梁建造先进国家中占据了重要一席。目前,我国在国际桥梁建造领域已经具有极强竞争力,这是我国改革开放过程中取得的一项了不起的成就。

0.3 现代钢筋混凝土与预应力技术简述



无论建造何种形式的桥梁,钢筋混凝土都是最常用的建筑材料。钢筋混凝土具有很多优点,如机械化施工程度高,耐久性好,可模性好,适应性强,整体性好及外形整洁等,但是它的不足之处也很明显,最主要的不足是结构自重大,占全部设计荷载的 30%~60%,随着跨度的增加,结构自重所占的比例更大。由于材料强度大部分被用于平衡结构自重,故大大限制了钢筋混凝土梁式桥的跨越能力。此外,在采用就地浇筑法施工钢筋混凝土桥时施工工期长,支架和模板要耗损很多木料或钢材,结构抗裂性能差,修补也比较困难;特别是在寒冷地区及雨季建造整体式钢筋混凝土桥梁时,施工比较困难。钢筋混凝土材料的先天不足促进了预应力混凝土结构的出现。

预应力混凝土可看作一种预先储存了足够压应力的混凝土材料。对混凝土施加预压力的高强度钢筋(或称为力筋)既是加力钢筋,又是抵抗结构内力的受力钢筋。考虑混凝土与时间相关的收缩和徐变作用会导致相当多的预应力损失,预应力钢筋必须采用低松弛、高强度的钢材制造,这样才能使预应力混凝土获得良好的使用效果。预应力混凝土除了具有普通钢筋混凝土的所有优点外,还有下述重要特点:

① 预应力技术能最有效地利用现代高强度材料(高强度混凝土、高强度钢材),减小桥梁主要构件的截面尺寸,显著降低梁体自重所产生的不利作用,增强混凝土桥梁的跨越能力,扩大混凝土结构的适用范围。

② 与钢筋混凝土相比,预应力混凝土一般可以节省 30%~40% 的钢材,跨径越大,节省效果越明显。

③ 全预应力混凝土梁在使用荷载下不会出现裂缝。即便是部分预应力混凝土梁,在常遇荷载作用下也不会出现裂缝,整个截面能全面参与工作。因此,预应力混凝土梁的刚度比易开裂的钢筋混凝土梁大得多,从而可显著减小建筑高度,使得大跨径桥梁的外观看起来更加轻巧、美观。预应力混凝土能够消除裂缝,这就扩大了预应力混凝土在多种桥型中的应用范围,进一步增强了桥梁结构的耐久性。

④ 预应力技术为现代装配式结构提供了最有效的连接与拼装手段,并可以根据需要在不同方向施加预应力,将装配式构件结合成整体,从而在保证运营安全的前提下,大大拓展了装配式桥梁的使用范围。

0.4 桥梁工程施工方法概述



总的来说,桥梁工程可以划分为三个相对独立的部分:① 基础工程(主要指承台及承台以下的基础);② 桥墩及塔柱;③ 上部结构(主要包括梁、拱、索等)。由于这三个部分在外部环境、结构形式以及建筑材料等方面存在巨大差异,因此相关施工技术、施工工艺、施工设备、施工组织等方面往往表现出完全不同的特征,但它们都在随着科学技术的不断进步沿着各自的轨道快速发展着。正是由于桥梁各部分施工技术的极大提升,人类不仅能够突破各类复杂自然环境(如深水、近海、深谷、宽大峡谷、宽大河流、岩溶发育充分的石灰岩地区、软土沉积深厚地区、高海拔地区、高寒地区等)的制约,还能跨越各类已经存在的工程环境或城市环境(如交通繁忙的高速公路、高速铁路、城市交通干道、大型铁路站场、大型水利工程,甚至已建成的各类公路、铁路或城市桥梁等),建造出形态多姿、跨越能力和承载能力极强的桥梁。这不但满足了车辆或行人的交通需要,而且造就了一道道靓丽的风景。

0.4.1 桥梁基础施工

桥梁基础主要是指承台及承台以下的部分。桥梁基础工程施工技术发展至今,一个最显著的进步就是已经不受水文及地质条件的制约。

桥梁基础工程修建在地面以下或深水以下的地基中,涉及极为复杂的水、岩土、流沙甚至岩溶等问题,大大增加了基础工程施工的复杂性,使得桥梁基础施工无法采用统一的模式。根据桥梁基础的形式,桥梁基础大致可以分为扩大基础、桩或管桩基础、沉井基础、地下连续墙基础和组合基础等几大类。目前,国内已经拥有了符合我国国情的一整套桥梁基础施工工艺及相应的施工设备,能够根据不同的水文、地质的具体情况,灵活运用扩大基础、桩基础和沉井基础等多种基础形式。其既可以单独发挥各种基础形式的特点,又可以利用各种基础形式的优势实现彼此的联合,从而使特大桥梁的基础向着组合基础的方向发展,使桥梁基础工程展现出丰富多彩的形式,适应了各类桥梁建设的需要。

0.4.2 桥墩施工

在早期的梁式桥中,桥墩及桥台主要采用块石类圬工材料建造,施工方法主要是堆砌,其稳定性主要依靠其巨大的自重来维持。由于块石砌筑的桥墩及桥台变形协调能力差,而且圬工量比较大,因此难以建造较高的桥墩及桥台。混凝土出现以后,桥墩的建造材料发生了革命性的变化。虽然素混凝土材料的强度较高,但依然没有从根本上改变其变形能力较差的性质,圬工量依然较大。这类桥墩仍属于重力式桥墩,因此只适合建造实心桥墩,然而由于其具有良好的模塑性而获得了建设者们的极大偏爱。利用混凝土不但可建造截面形状多变的桥墩,而且能建造出砌块桥墩所达不到高度的桥墩,从而在一定程度上满足了某些现代桥梁工程的需要。

采用混凝土材料建造桥墩时必须采用模板浇筑的方法施工,这与早期块石砌筑施工方法完全不同。特别是当钢筋被引入混凝土材料中后,形成了目前使用极为广泛的钢筋混凝土。钢筋混凝土不仅保留了混凝土材料的强度和模塑性特性,还能够充分发挥钢材的柔韧性和对混凝土材料的约束性,使得钢筋混凝土材料成为刚柔兼备、性能优良的现代建筑材料。钢筋混凝土材料的优越性能使得各种情况下各类桥墩的建造成可能,从而大大提升了人类在各种自然环境中建造桥梁工程的能力。现在人们不仅可以根据桥梁工程的实际情况建造实心桥墩,还能建造高耸的薄壁空心柔性桥墩。这为各种高空或大跨等复杂环境下的桥梁建造提供了强大支撑。

由于素混凝土桥墩或钢筋混凝土桥墩均需要采用模板浇筑的方法施工,但随着桥墩高度的不断增加,模板施工难度越来越大,因此自混凝土材料被用于桥墩以及其他结构物的建造以来,人们就一直在探索更

先进的模板施工技术。特别是对于钢筋混凝土薄壁空心高墩或超高墩,只有采用更先进的模板施工技术才能得以实现。早期,比较低的实心墩通常采用木板拼装的方式制作模板并浇筑混凝土。木模通常需要在现场加工与拼装,不可能实现工厂化制作。由于木板刚度较小,需要搭设大量支架并增设多道环向加劲构件以及内部对拉筋等以支撑模板;木模表面光洁度不高,模板纵横接缝处容易漏浆甚至爆模,导致混凝土成型后的外观质量不尽如人意,故很难用于高桥墩的混凝土灌注。当钢板被大量应用于模板制造之后,钢模不但强度大大提高,而且模板制作可以实现工厂化,现场安装效率高,模板之间的接缝更加严密,也不需要搭设模板支架。在浇筑较低的桥墩时,模板可以一次性整体制作和安装,混凝土可一次性浇筑完成,但是对于很高的桥墩甚至超高桥墩,墩身只能分段浇筑完成,因此模板上移和支撑便成为高墩施工中必须解决的问题。高墩施工技术的发展也主要是围绕此问题的解决而展开的,并促使了以翻模、爬模、滑模等为代表的桥墩施工技术的出现。爬模和滑模技术的最大特点是只需要预制、拼装 2~3 环模板,模板拼装完成之后可利用自爬升系统逐段爬升、逐段浇筑,直至完成整个高墩墩身的浇筑。特别是滑模技术,不但模板系统可以实现自爬升,而且模板爬升依靠的支撑体系是埋置于混凝土内部的钢杆件,不依赖于下层混凝土,对于下层混凝土的强度并无特别要求,也不会在下层混凝土表面留下爬升的痕迹。因此,利用滑模技术浇筑的混凝土连续性更好,不会留下明显的冷缝,施工效率更高。由此可见,滑模技术是一种特别适合现代高耸桥墩的施工方法。

0.4.3 桥梁上部结构施工

20 世纪 70 年代以后,随着预应力混凝土的广泛应用,桥梁上部结构施工方法得到了迅速发展,并发生了重大的变革。在钢筋混凝土桥梁时代,桥梁上部结构的施工主要采用现场浇筑的方法,预应力混凝土技术的诞生、构件生产的预制化、结构设计方法的进步以及机械设备的发展,大大促进了桥梁上部结构施工方法的进步和发展,形成了多种多样的施工方法。其中,主要施工方法有就地浇筑法、预制安装法、悬臂施工法、转体施工法、顶推施工法、移动模架逐孔施工法、横移施工法和提升与浮运施工法等。这使得混凝土材料可建造的桥梁类型不断增加,桥梁跨径也越来越大。

0.5 桥梁工程施工技术的发展趋势 >>>

21 世纪以来,随着高强度钢、玻璃钢、铝合金、碳纤维、纳米材料等轻质材料的大量采用,桥梁工程的主要建设材料取得了重大进步。同时,桥梁施工设备的研究与制造也获得了极大进展,与其相适应的桥梁工程施工技术不断取得进步和创新,因而促使桥梁结构向着跨度更大、高度更高、结构形式更美、承载能力更强、耐久性更好的方向不断发展。桥梁工程施工技术有如下发展趋势:

① 建筑材料、施工设备、施工技术、试验手段和分析方法的不断进步,使得桥梁的跨度不断增大。今后,各类大跨度桥梁施工技术的不断进步仍然是人们关注的重点。

② 由于人们希望在近海深水环境或内陆大江大河上建造更多的大桥,因此大桥深水基础工程施工技术的发展仍将是人们关注的重点。

③ 跨海大桥结构中通常包含大量的简支梁,为了不影响近海水域的通航环境,简支梁的跨度往往较陆地上简支梁的跨度大很多。因此,研制具有更大跨度且超强承载能力的简支梁便成为人们关注的重点。

④ 跨海大桥中的简支梁不但跨度大、自重大,而且架设高度远远超过了陆地简支梁,因此研制具有更大起吊重量、更强起吊能力的浮吊船会更加引起人们的关注。

⑤ 对于大跨度斜拉桥或悬索桥来说,建造能够承载斜拉索或缆索的高耸桥塔是难度很大的工程。目前,桥塔的建造倾向于上部为钢塔,下部为钢筋混凝土桥墩,因此如何更好地实现钢塔与混凝土桥墩之间的结合必然会受到人们的重视。

⑥ 随着国家基础建设的不断发展,后续建设的道路工程(包括公路、铁路等)必然会经常性地跨越既有道路工程。因此,转体施工技术将大量被应用。出于道路工程建设的需要,人们难免会遇到超大重量转体桥梁的施工,故对于相关施工技术的研究也将引起重视。

⑦ 每一类桥梁结构都有自身的受力特点。将不同受力特点的桥梁结构进行组合,充分发挥每一类桥梁结构的优点,不但可以使得组合桥梁具备更强的跨越能力和承载能力,而且可以使组合桥梁的造型更加美观。因此,进一步开展组合桥梁的研究也是当前桥梁工程发展的一个方向,与其相关的施工技术研究也同样会受到人们的重视。

⑧ 在一个城市的中心地带或附近区域,桥梁工程已经不仅仅被看作用于交通的结构,其交通功能以外的其他功能也常常被考虑,尤其是其景观效果日益受到重视。因此,研究各类造型新颖的多功能景观桥梁变得越来越重要,同时对于这类桥梁的施工技术提出了许多新的要求,促进了施工设备和施工技术的不断进步。

⑨ 由于城市桥梁的景观效果日益受到重视,因此在很多情况下,投资商因追求景观效果而增加的投入已经远远超过了实现通行目的所需的投入,其中相当一部分费用用在了施工方面。

总之,桥梁工程的不断发展对施工设备和施工技术提出了更多、更高的要求,桥梁工程的进步是推动桥梁施工设备与施工技术进步的根本动力;另一方面,桥梁施工设备和施工技术的进步,也大大激发了桥梁设计人员设计更大跨度、更大高度、更加美观、更加宏伟桥梁的热情。我们期待着桥梁工程施工技术的进一步创新与发展,期待着我国出现更多在世界上有影响力的桥梁结构,让中国大地更加美丽。