



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

大跨桥梁

主 编 王解军 周先雁
主 审 姚玲森

赠送电子课件

- 参照最新版公路桥涵施工技术规范
- 介绍大量大跨桥型工程实例及图片
- 反映桥梁科学技术与工程建设水平



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

大跨桥梁

主 编 王解军 周先雁
主 审 姚玲森



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据国家教育部、住建部及交通部土木工程专业教学指导委员会审定的土木工程专业培养方案要求编写的桥梁工程课程系列教材之一。本书的编写着重于让学生能够掌握大跨径混凝土梁桥、拱桥、悬索桥及斜拉桥的基本构造、设计原理、结构分析、设计计算方法及施工要点。本书介绍了各种主要大跨径桥型的工程实例,反映了桥梁科学技术与工程建设的发展水平。

本书共 12 章,主要内容包括:概述,大跨径混凝土梁桥的构造与设计,大跨径混凝土梁桥的计算,梁桥实例,大跨径拱桥的构造与设计,拱桥实例,悬索桥的构造与设计,悬索桥的计算,悬索桥实例,斜拉桥的构造与设计,斜拉桥的计算,斜拉桥实例。

本书可作为高等学校土木工程专业桥梁工程方向本科生的专业课程教材,也可作为从事桥梁工程设计、施工、监理及管理工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大跨桥梁/王解军,周先雁主编. —北京:北京大学出版社,2012.9

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-21261-5

I. ①大… II. ①王…②周… III. ①长跨桥—桥梁工程—高等学校—教材 IV. ①U448.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 222073 号

书 名: 大跨桥梁

著作责任者: 王解军 周先雁 主编

策 划 编 辑: 吴 迪 卢 东

责 任 编 辑: 伍大维

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-21261-5/TU·0285

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 336 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

“大跨桥梁”是土木工程专业的一门专业课，本书是根据国家教育部、住建部及交通部土木工程专业指导委员会审定的教学大纲和最新的桥梁设计施工技术规范编写的。考虑到各学校桥梁工程课程实际的教学学时不同，我们在《桥梁工程》(第1版)的基础上，编写修订成《桥梁工程》(第2版)、《大跨桥梁》与《桥梁施工》共3本教材，可供土木工程专业的学生选用。

本书的编写着重于让学生能够掌握大跨径混凝土梁桥、拱桥、悬索桥及斜拉桥的基本构造、设计原理、结构分析、设计计算方法及施工要点。本书介绍了各种主要大跨径桥型的工程实例，反映了桥梁科学技术与工程建设的发展水平。

本书共12章，第1章概述，讲述大跨径桥梁的分类、设计计算、施工方法要点及建设成就；第2章大跨径混凝土梁桥的构造与设计，着重介绍预应力混凝土连续梁桥与刚构桥的构造及设计；第3章大跨径混凝土梁桥的计算，详细介绍恒载、汽车活载、预应力、混凝土收缩徐变及温度作用下的内力计算；第4章梁桥实例；第5章大跨径拱桥的构造与设计，主要介绍中、下承式拱桥的构造与设计；第6章拱桥实例；第7章悬索桥的构造与设计，介绍总体布置、主缆系统、桥塔、锚碇及加劲梁的构造与设计；第8章悬索桥的计算，介绍悬索桥设计分析和施工状态的精确分析方法；第9章悬索桥实例；第10章斜拉桥的构造与设计，介绍普通斜拉桥与矮塔斜拉桥的构造与设计；第11章斜拉桥的计算，主要介绍了斜拉桥的计算特点、施工过程计算及拉索的初拟与优化计算；第12章斜拉桥实例。

本书的第1~4章由王解军编写；第5~6章由杨仕若编写；第7~9章由张伟编写；第10章由周先雁、黄民元编写；第11章由贺国京编写；第12章及第9~12章的教学目标与教学要求由张宇辉编写；第1~8章的教学目标与教学要求由占雪芳编写。全书由中南林业科技大学王解军、周先雁统稿并担任主编，同济大学姚玲森教授担任主审。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

第 1 章 概述	1	3.1.2 悬臂浇筑法施工时连续梁的 恒载内力计算	34
1.1 大跨径桥梁的分类	2	3.1.3 顶推法施工连续梁恒载 内力计算	36
1.1.1 按结构体系划分	2	3.2 活载内力计算	38
1.1.2 按跨径大小划分	3	3.2.1 荷载横向分布计算的 等代简支梁法	38
1.2 大跨径桥梁设计计算与 施工方法概要	4	3.2.2 荷载增大系数 η	40
1.2.1 大跨径桥梁设计 计算概要	4	3.3 预应力内力计算的等效荷载法 ...	41
1.2.2 大跨径桥梁施工方法 概要	5	3.3.1 预应力内力的概念	41
1.3 大跨径桥梁建设成就	7	3.3.2 等效荷载法的基本原理 ...	42
本章小结	15	3.3.3 等效荷载法的应用	45
本章习题	15	3.3.4 吻合束的概念	47
第 2 章 大跨径混凝土梁桥的 构造与设计	16	3.4 混凝土徐变内力计算	47
2.1 连续梁桥的构造与设计	17	3.4.1 基本概念	47
2.1.1 连续梁桥的受力特点	17	3.4.2 静定结构的徐变变形 计算	49
2.1.2 连续梁桥施工方法概要 ...	18	3.4.3 超静定结构的徐变内力与 变形计算	49
2.1.3 等截面连续梁桥	20	3.5 混凝土收缩内力计算	55
2.1.4 变截面连续梁桥	20	3.5.1 收缩应变	55
2.1.5 截面设计	22	3.5.2 收缩变形	55
2.1.6 预应力筋布置	25	3.5.3 收缩内力计算	56
2.2 刚构桥的构造与设计	27	3.6 基础沉降内力计算	58
2.2.1 连续刚构桥	27	3.7 温度内力计算	58
2.2.2 斜腿刚构桥与门式 刚构桥的构造要点	29	3.7.1 基本概念	58
本章小结	31	3.7.2 简支梁温度自应力计算 ...	60
本章习题	31	3.7.3 连续梁温度次应力计算 ...	63
第 3 章 大跨径混凝土梁桥的计算	32	3.8 挠度、预拱度计算及施工控制 ...	65
3.1 结构恒载内力计算	33	本章小结	66
3.1.1 恒载内力计算特点	33	本章习题	66
		第 4 章 梁桥实例	68
		4.1 湖南泸溪沅水大桥	68

4.2 湖北龙潭河大桥	70	7.3.4 鞍座	118
4.3 贵州新寨河大桥	72	7.3.5 吊索与索夹	120
4.4 挪威 Stolma 桥	74	7.3.6 主缆的防锈	123
4.5 湖北凉台河大桥	75	7.4 桥塔的构造	124
本章小结	77	7.4.1 桥塔的组成	124
本章习题	78	7.4.2 桥塔的基本形式	124
第 5 章 大跨径拱桥的构造与设计	79	7.5 锚碇的构造	126
5.1 中、下承式混凝土拱桥的构造与设计	80	7.5.1 重力式锚碇的构造	126
5.1.1 中、下承式拱桥的总体布置与适用情况	80	7.5.2 隧道式锚碇的构造	128
5.1.2 中、下承式拱桥的基本组成和构造	81	7.6 加劲梁的构造	128
5.2 拱式组合体系桥的构造	87	7.6.1 钢箱梁的构造	129
5.2.1 拱式组合体系桥的分类与特点	87	7.6.2 钢桁梁的构造	131
5.2.2 系杆拱桥的构造	90	本章小结	134
本章小结	92	本章习题	134
本章习题	92	第 8 章 悬索桥的计算	136
第 6 章 拱桥实例	93	8.1 悬索桥的设计与分析理论	136
6.1 湖南益阳茅草街大桥	93	8.1.1 悬索桥受力特征	137
6.2 重庆万州长江大桥	96	8.1.2 悬索桥作为连续体的静力分析	138
6.3 重庆朝天门大桥	99	8.2 悬索桥施工至成桥状态的精确分析	139
6.4 湖北张家湾大桥	103	8.2.1 恒载作用下吊索内力计算	139
本章小结	106	8.2.2 真实索形计算	139
本章习题	107	8.2.3 施工状态计算	141
第 7 章 悬索桥的构造与设计	108	8.2.4 悬索桥在工作荷载作用下的精细分析	143
7.1 悬索桥的组成与分类	109	本章小结	143
7.1.1 悬索桥的组成与受力特点	109	本章习题	144
7.1.2 悬索桥的分类	111	第 9 章 悬索桥实例	145
7.2 悬索桥的总体布置	113	9.1 厦门海沧大桥	146
7.3 主缆的构造	114	9.2 日本明石海峡大桥	148
7.3.1 主缆的布置形式	114	9.3 西堍门大桥	150
7.3.2 主缆的截面组成	114	9.4 润扬长江大桥	152
7.3.3 主缆的线形和最大拉力	116	9.5 湖南矮寨大桥	156
		本章小结	160
		本章习题	160
		第 10 章 斜拉桥的构造与设计	161
		10.1 概述	162

10.1.1	斜拉桥的组成与主要特点	162
10.1.2	斜拉桥的分类	163
10.2	总体布置	166
10.2.1	跨径布置与分孔	166
10.2.2	索塔布置	168
10.2.3	拉索布置	169
10.2.4	主梁布置	170
10.3	主梁的构造	170
10.3.1	主梁的截面形式	170
10.3.2	梁高的确定	173
10.4	主塔的构造	173
10.4.1	塔的组成	173
10.4.2	索塔的截面形式与锚固方式	174
10.5	拉索的构造	175
10.5.1	拉索的类型与锚具	175
10.5.2	拉索的锚固	178
10.5.3	拉索的减振	178
10.6	矮塔斜拉桥	180
10.6.1	矮塔斜拉桥的历史	180
10.6.2	矮塔斜拉桥的特点及优势	181
10.6.3	矮塔斜拉桥的总体布置	182
10.6.4	索塔与拉索的布置	182
10.6.5	矮塔斜拉桥的结构体系	183

10.6.6	矮塔斜拉桥的主梁	184
10.6.7	矮塔斜拉桥实例	184
	本章小结	190
	本章习题	190

第 11 章 斜拉桥的计算

11.1	斜拉桥计算的主要特点	192
11.1.1	按施工过程分析	193
11.1.2	结构分析的有限元模型建立	197
11.2	斜拉索的垂度效应计算	199
11.3	索力的初拟和优化	200
11.3.1	索力初拟	200
11.3.2	斜拉桥恒载状态索力的优化	201
11.4	斜拉桥非线性计算	204
	本章小结	205
	本章习题	206

第 12 章 斜拉桥实例

12.1	宜昌夷陵长江大桥	208
12.2	日本多多罗大桥	209
12.3	苏通长江大桥	211
12.4	湖北鄂东长江大桥	217
	本章小结	220
	本章习题	221

参考文献

第1章

概述

教学目标

本章主要介绍大跨径桥梁的分类、大跨径桥梁设计计算与施工方法及国内外大跨径桥梁建设成就。通过本章的学习，应达到以下目标：

- (1) 熟悉大跨径桥梁的各种分类；
- (2) 掌握大跨径桥梁设计计算与施工方法；
- (3) 了解国内外大跨径桥梁建设成就。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
大跨径桥梁的分类	(1) 了解按结构体系分类 (2) 了解按跨径大小分类	(1) 梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥及其他组合体系桥 (2) 特大、大、中、小桥
大跨径桥梁设计计算与施工方法	(1) 掌握大跨径桥梁设计计算要点 (2) 掌握大跨径桥梁施工方法	(1) 包括静力计算与动力计算 (2) 有限元法及相应的计算软件 (3) 考虑几何、材料及时变非线性影响 (4) 整体施工法和分段施工法

基本概念

梁桥；拱桥；悬索桥；斜拉桥；组合体系桥；悬臂施工法；逐跨施工法；顶推施工法；拱架施工法；缆索吊装法；转体施工法。

引例

大跨径桥梁一般是指采用高强钢材、预应力混凝土等现代土木工程材料建造的跨径大于 40m 的桥梁（按中国公路工程技术标准）。目前我国已建成的最大跨径桥是浙江西堠门大桥，主跨 1650m，于 2009 年建成；世界上最大跨径桥为日本 1998 年建成的明石海峡大桥（Akashi Kaikyo），主跨 1991m。大跨径桥梁的结构形式主要有预应力混凝土连续梁桥与刚构桥、混凝土拱桥与钢拱桥、悬索桥以及斜拉桥等组合体系桥。

1.1 大跨径桥梁的分类

1.1.1 按结构体系划分

大跨径桥梁按结构体系,可分为梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥及其他组合体系桥。

1. 混凝土梁桥

混凝土刚构与连续梁桥属于梁桥的范畴,其主要承重构件是梁与墩台,梁主要受弯,墩台主要受压。刚构桥与一般梁桥的区别仅在于其墩与梁之间固结,固结处传递弯矩、竖向力与水平力,而一般梁桥的梁与墩台之间设置支座,支座一般仅承受竖向力与水平力,不传递弯矩;刚构桥的梁和墩受力与连续梁桥的梁和墩相比,没有本质上的区别。因此,刚构桥也属于梁桥。梁桥包括简支梁(板)、悬臂梁、连续梁及刚构(刚架)桥等主要结构体系,其中刚构桥又可分为连续刚构桥、T形刚构桥、斜腿刚构桥及门式刚构桥等多种结构形式。简支梁(板)、悬臂梁及单跨门式刚构桥的跨越能力受到限制,仅适用于中小跨径;T形刚构桥与斜腿刚构桥虽然跨越能力较大,但这两种桥型均存在局部受力不利的缺陷,前者在牛腿处(挂梁支承处)、后者是斜腿受力不利,目前这两种桥型在大跨径桥梁中较少使用。因此,目前大跨径混凝土梁桥主要采用预应力混凝土连续刚构与连续梁桥,并且由于墩梁固结,连续刚构桥的跨越能力一般大于连续梁桥。

本书所指的大跨径桥梁含大跨径及特大跨径桥梁。

2. 拱桥

拱桥按照是否对墩台产生水平推力,可分为有推力拱桥和无推力拱桥两种基本结构体系。有推力拱桥的主要承重构件是主拱肋(圈),受压为主;无推力拱桥也称为系杆拱桥,是梁—拱组合体系桥,其主要承重构件是拱肋与系杆,拱肋主要受压,系杆受拉。拱桥按照桥面的位置可分为上承式、中承式和下承式3种结构形式,这3种结构形式均适应于有推力和无推力拱桥。主拱肋可采用圬工(石砌、素混凝土)、钢—混凝土结构(钢筋混凝土、钢管混凝土、劲性骨架混凝土等)及钢结构。除了圬工拱桥一般用于中小跨径桥外,采用钢—混凝土结构和钢结构的有推力及无推力体系拱桥均适用于大跨径桥。

3. 悬索桥

悬索桥也称吊桥,属于柔性结构,受力简单明确,相对其他体系桥而言,跨越能力最大。其主要承重构件为主缆、锚碇、塔柱及吊索、加劲梁;主缆受拉,锚碇主要承受主缆传来的巨大拉力,塔柱受压为主。悬索桥按主缆的锚固方式不同,可分为地锚式悬索桥和自锚式悬索桥两种基本体系。地锚式是悬索桥的主要结构体系,目前世界上已建成的最大跨径桥梁就是采用这种结构体系;自锚式悬索桥由于主缆锚固在梁的两端,加劲梁受到主缆传来的巨大轴向压力,其稳定问题较突出,跨径一般不宜太大。悬索桥一般采用双塔单跨和双塔三跨的结构形式,多于三跨的悬索桥,由于结构柔性大,一般不宜采用,目前世

界上尚无建成的先例。

4. 斜拉桥

斜拉桥是梁桥与悬索桥的组合体系,属柔性结构,其主要承重构件是斜拉索、主梁和塔。拉索受拉,梁是压弯构件,塔主要受压。根据塔高与跨径之比的大小,斜拉桥可分为普通斜拉桥与矮塔斜拉桥两种主要桥型。矮塔斜拉桥是介于普通斜拉桥与连续梁桥之间的一种桥型,塔比普通斜拉桥矮,其斜拉索的竖向荷载承担率小于普通斜拉桥;矮塔斜拉桥的结构刚度比普通斜拉桥大,但跨越能力比普通斜拉桥小。根据拉索的锚固方式不同,斜拉桥有自锚式和地锚式两种结构体系。自锚式结构体系是斜拉桥最普通、最普遍采用的结构形式,全部拉索都锚固在主梁上;地锚式斜拉桥是将边跨的全部拉索或部分拉索直接锚固在锚碇上,拉索的索力通过锚碇直接传给地基。地锚式斜拉桥由于经济指标差、施工复杂,只有在特殊地形条件下或者出于桥梁造型需要时才可能被选用,一般很少使用。斜拉桥的主梁可采用预应力混凝土、钢—混凝土结合梁或混合梁及钢结构等,均适用于大跨径桥梁。

5. 其他组合体系桥

斜拉与悬索组合体系、斜拉与拱组合体系等大跨径桥梁在实践中也有应用,但这些组合体系桥由于在力学性能与经济指标上没有明显的优势,使用较少。

1.1.2 按跨径大小划分

1. 我国桥梁按跨径大小分类

我国《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60—2004)按桥梁总长和跨径将桥梁分为特大、大、中、小桥,见表1-1。

表 1-1 中国公路工程技术标准桥梁分类

桥梁分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_k/m
特大桥	$L \geq 1000$	$L_k \geq 150$
大桥	$100 \leq L < 1000$	$40 \leq L_k < 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$
涵洞		$L_k < 5$

2. 国际特大跨径桥梁分类

根据不同桥型,国际特大跨径桥梁的分类见表1-2。

表 1-2 国际特大跨径桥梁分类

桥型	跨径 L_k/m	桥型	跨径 L_k/m
悬索桥	$L_k \geq 1000$	混凝土拱桥	$L_k \geq 300$
斜拉桥	$L_k \geq 500$	混凝土梁桥	$L_k \geq 200$
钢拱桥	$L_k \geq 500$		

1.2 大跨径桥梁设计计算与施工方法概要

1.2.1 大跨径桥梁设计计算概要

大跨径桥梁设计计算一般包括静力计算与动力计算两方面的内容,这里主要介绍静力计算。静力计算可分为整体和局部分析两个层次,其中整体分析以整座桥梁为对象,计算施工和使用过程中的结构最大变形与最不利内力,验算结构的强度、刚度与稳定性;而局部分析则以结构的某一部分为对象,应用相对较精细的模型分析构件的局部受力,为优化局部构造设计提供依据。动力计算包括地震、风等动力荷载作用下的结构响应与安全分析。

结构计算方法主要采用有限元法及相应的计算软件。整体分析时,一般建立平面有限元模型,主要采用杆单元和梁单元;局部分析则建立平面或空间模型,采用板单元、块体单元等。采用影响线加载方法,计算使用荷载(活载)作用下的整体结构最不利内力;由于大跨径桥梁的桥面宽度与跨径之比(宽跨比)一般远小于中小跨径桥梁的宽跨比,车辆荷载横向分布效应对整体受力影响较小,因此,大跨径桥梁的荷载横向分布系数可近似计算。

另外,大跨径桥梁结构计算一般需考虑非线性影响,主要包括几何、材料及时变非线性。其中几何非线性就是结构的变形较大,应变与位移为非线性关系,且平衡方程必须建立在变形后的状态以考虑变形对平衡的影响。几何非线性效应主要考虑结构大位移、初应力及拉索垂度的影响;材料非线性是材料的应力与应变为非线性关系,如混凝土结构开裂或钢结构的应力达到屈服极限以后的受力就是材料非线性关系;时变非线性就是在恒定荷载作用下,结构变形或应变随时间而增长的非线性关系,如混凝土收缩、徐变等。

大跨径桥梁施工与正常使用期间,无论是钢材还是混凝土材料一般均处于弹性阶段,材料的应力与应变也都满足线弹性假定,因此,桥梁设计计算时材料非线性问题一般不需考虑;对于混凝土结构,无论是大跨径桥还是中小跨径桥,设计计算必须考虑混凝土收缩、徐变引起的时变非线性效应;相对于中小跨径桥而言,大跨径桥梁在荷载作用下的结构变形较大,几何非线性效应较为明显。

对于大跨径桥梁的不同体系,设计计算的要点有所不同,分述如下。

1. 大跨混凝土梁桥设计计算要点

大跨混凝土梁桥因预应力、混凝土收缩徐变及温度作用产生的结构次内力较大,设计计算中不可忽视;使用过程中混凝土梁的开裂与下挠问题应予以重视。大跨径混凝土梁桥的设计计算主要包括以下内容。

(1) 结构自重与使用荷载作用下的内力与变形计算。

(2) 预应力作用、混凝土收缩徐变、温度效应及基础不均匀沉降引起的结构次内力与变形计算。

(3) 高墩刚构桥悬臂施工过程及使用阶段的结构稳定分析。

2. 拱桥的设计计算要点

拱桥属于受压结构,施工与使用阶段的结构稳定问题较突出。大跨径拱桥的设计计算

要点如下。

- (1) 考虑非线性影响的施工过程和使用阶段的结构内力与变形计算。
- (2) 考虑非线性影响的施工过程和使用阶段的结构稳定分析。
- (3) 进行中、下承式拱桥吊杆轴力的调整计算,以优化成桥状态的线形与结构内力。

3. 斜拉桥设计计算要点

大跨径斜拉桥属于柔性结构,几何非线性影响较为明显;斜拉索的索力直接影响到整体结构的内力分布,索力的优化是斜拉桥设计计算的重要内容。大跨径斜拉桥设计计算的要点如下。

- (1) 斜拉桥成桥状态与施工阶段的索力优化计算。
- (2) 考虑非线性影响,斜拉桥荷载作用下施工过程与使用阶段的结构内力与变形计算。
- (3) 斜拉桥成桥状态与施工阶段的结构整体与局部稳定分析。

4. 悬索桥设计计算要点

大跨径悬索桥是典型的柔性结构。主缆是主要承重构件,是几何可变体,主要受拉,可以通过自身的弹性变形和几何形状的改变来影响结构体系的平衡,大位移效应非常显著。悬索桥的设计计算具有明显的循环迭代特点,其计算要点如下。

- (1) 成桥状态的主缆线形以及结构内力与变形计算。
- (2) 施工阶段的主缆线形以及结构内力与变形计算。

1.2.2 大跨径桥梁施工方法概要

桥梁施工方法可分为两大类:整体施工法和分段施工法。其中整体施工法或满堂支架施工法一般主要适用于中、小跨径桥,大跨径桥梁则主要采用分段施工法。在分段施工中,桥梁结构分为有限个梁段,梁段可以是钢构件或混凝土构件,采用焊接与螺栓连接或预应力钢筋将梁段连成整体。桥梁分段施工有3种基本形式,即纵向分段、横向分段及竖向分层施工。在实际工程中,横向分段施工通常称为装配式桥梁施工,主要用于中小跨径桥;竖向分层施工一般是组合桥梁施工,也用于大跨拱桥主拱肋的现浇或安装;纵向分段施工才是真正意义上的分段施工。

分段施工法可分为悬臂施工法、逐跨施工法及顶推施工法等,这些方法在不同体系大跨径桥中的应用有所不同。这里结合各种不同体系桥梁简述如下。

1. 大跨混凝土梁桥施工方法概要

1) 悬臂施工法

悬臂施工法是以平衡对称的形式由墩顶连续向两边悬伸,逐段施工,最后完成整个上部结构的施工。悬臂施工法可分为悬臂浇注法和悬臂拼装法两种。其中,悬臂浇注法是利用挂篮在桥墩两侧对称浇注梁段混凝土,待已浇梁段混凝土达到张拉强度后进行预应力张拉,然后移动挂篮进行下一阶段施工,直至全桥合龙;悬臂拼装法是在预制场先预制梁段,通过吊装梁段,逐节对称拼装,完成上部结构施工,吊装方法有缆索吊装、扒杆吊装及提升法等。大跨混凝土刚构与连续梁桥主要采用悬臂浇注法施工;悬臂拼装法主要用于

钢桥施工,混凝土桥也有使用,但相对较少。

2) 逐跨施工法与顶推施工法

逐跨施工法与顶推施工法主要用于混凝土连续梁桥,先简支后连续施工法属于逐跨施工法。

2. 拱桥施工方法概要

大跨径拱桥施工的关键之处,对于有推力拱桥是主拱肋(圈)的施工,而无推力拱桥(系杆拱)则是主拱肋与系杆的施工。这里仅介绍主拱肋(圈)的施工方法。

1) 拱架施工法

拱架施工法是先搭设拱架,在拱架上分段分环分层现浇混凝土或分段拼装预制节段,直至整个主拱圈施工完成,然后拆除拱架,再施工拱上结构。劲性骨架混凝土和钢管混凝土拱桥的主拱圈施工,一般先吊装施工劲性骨架或钢管成拱,然后利用劲性骨架或钢管作为支架,现浇拱箱或钢管内的混凝土,此时的劲性骨架或钢管可看做拱架。

2) 缆索吊装法

缆索吊装法是先架设缆吊系统,将主拱圈分为许多节段,在预制场先预制好这些节段,然后通过缆索吊装、拼接成拱。缆索吊装法在拱桥施工中应用较广,可用于大跨径混凝土拱桥和钢拱桥的施工,也可用于劲性骨架混凝土拱桥及钢管混凝土拱桥的劲性骨架与钢管的吊装,还可用于一般拱架施工法中的拱架吊装等。

3) 悬臂施工法

拱桥的悬臂施工一般采用塔架斜拉扣挂方式,即在墩台处设立临时塔架,采用斜拉索扣挂已浇梁段或已拼装梁段,直至拱肋合龙。拱桥悬臂施工也有悬臂浇注和悬臂拼装两种方法,悬臂浇注采用挂篮现浇;悬臂拼装则一般通过缆索吊装已预制的节段,预制节段可以是混凝土或钢结构。

4) 转体施工法

转体施工法是利用地形,先在两岸制作半拱,然后通过拱座作水平或竖向转动,直至合龙成拱。该方法施工的拱桥跨径也可较大。

3. 斜拉桥施工方法概要

斜拉桥施工主要包括塔墩施工、主梁施工及斜拉索的制作与安装三大部分。斜拉桥主梁施工一般可采用支架法、顶推法、转体法及悬臂法。对于大跨径斜拉桥主要采用悬臂法施工,悬臂法又分为悬臂浇注和悬臂拼装法两种。

1) 悬臂浇注法

悬臂浇注法是在塔柱两侧用挂篮对称逐段浇注主梁混凝土,直至合龙。悬臂浇注过程中,对于漂浮体系、半漂浮体系及塔梁固结体系(塔与墩不固结),需采取墩梁临时固结措施。悬臂浇注法主要用于混凝土斜拉桥。

2) 悬臂拼装法

斜拉桥施工的悬臂拼装法,是利用合适的吊装设备从塔柱两侧平衡对称逐节拼装预制梁段,直至合龙。与悬臂浇注法相同,施工中对塔、梁、墩非固结的斜拉桥也要做临时固结处理。悬臂拼装法多用于钢或结合梁斜拉桥,混凝土斜拉桥相对使用较少。

4. 悬索桥施工方法概要

悬索桥施工包括锚碇、索塔、主缆、吊杆及加劲梁等几个主要部分的施工。锚碇一般

属大体积混凝土结构, 施工中应特别注意水化热引起的混凝土内部温度控制。

悬索桥的索塔与斜拉桥的索塔施工方法基本相同。混凝土索塔通常采用滑模、爬模、翻模并配以塔吊或泵送浇注混凝土; 钢索塔一般采用吊装施工。索塔施工中应加强测量与塔的垂直度控制。

主缆架设方法主要有空中编缆法(Air Spinning, AS)和预制平行索股法(Parallel Wire Strand, PWS)两种。AS法是以钢丝为单元, 先在空中编成绳股, 然后再由绳股组成主缆; PWS法则是以工厂预制成的股缆在空中组成主缆。

加劲梁的架设方法按架设顺序, 可分为两种: ①从跨中节段开始, 向两侧主塔方向推进; ②从主塔附近的节段开始, 向跨中及桥台推进。对于钢箱梁, 一般采用分段预制吊装法; 而对于钢桁梁, 可以采用分段预制或分片(桁架片)预制吊装法等。

1.3 大跨径桥梁建设成就

1. 混凝土梁桥

1997年建成的广东虎门辅航道桥, 连续刚构跨径为 $150\text{m}+270\text{m}+150\text{m}$, 该桥为我国已建成的最大跨径预应力混凝土连续刚构桥(图 1-1); 2003年建成的云南元江连续刚构桥, 主跨 265m (图 1-2)。挪威 1998 年底竣工通车的 Stolma 桥(跨径布置: $94\text{m}+301\text{m}+72\text{m}$)和 Raftsundet 桥(跨径布置: $86\text{m}+202\text{m}+298\text{m}+125\text{m}$)在目前世界上预应力混凝土刚构桥中主跨分别列第 1 位与第 2 位(图 1-3、图 1-4)。

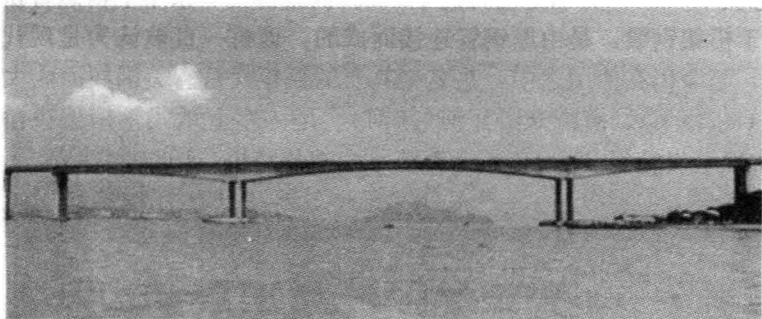


图 1-1 广东虎门辅航道桥(1997 年)

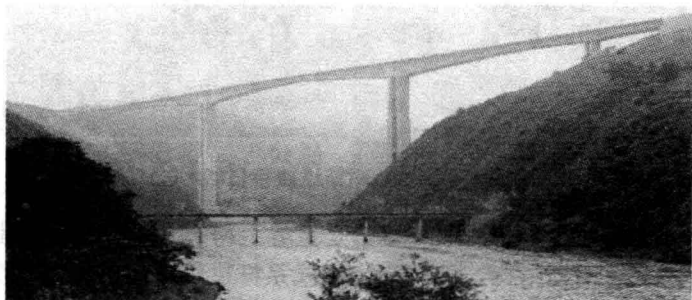


图 1-2 云南元江大桥(2003 年)



图 1-3 挪威斯托尔马桥(Stolma)(1998 年)

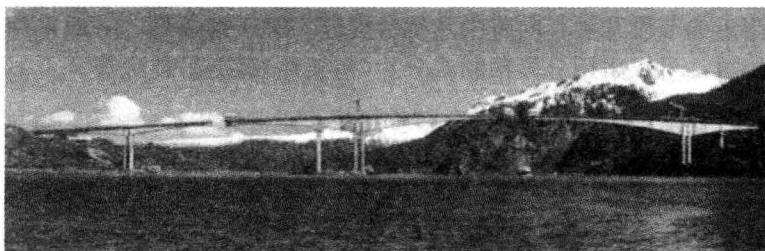


图 1-4 挪威拉脱圣德桥(Raftsundet)(1998 年)

2. 拱桥

拱桥是最常用的桥型之一，其式样之多，数量之大，为各种桥型之冠，也是大跨径桥梁的主要形式之一。

福斯铁路桥是世界上第一座大跨钢拱桥(图 1-5)，1890 年建成于苏格兰，该桥主跨达 521.2m，总长 1620m，支承处桁高达 110m。铁路桥由一条中平衡悬臂桥和两条悬跨组成。悬臂梁属于桁架钢梁，是由厚钢管连接而成的。该桥一直被认为是现代桥梁史上的一个重要里程碑，至今仍在使用之中，是名副其实的百年大桥。美国新河峡大桥(New River Gorge Bridge)(图 1-6)，横跨卡诺瓦河(新河)，是一座上承式钢桁架拱桥，桥长 924m，跨径 518m，桥面高出峡谷 267m，是全美第一高的公路桥，1977 年建成。

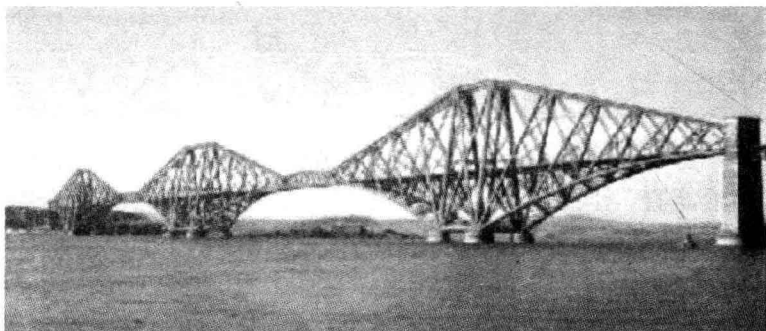


图 1-5 苏格兰福斯铁路桥(1890 年)

2003 年建成的上海卢浦大桥(图 1-7)，是世界上跨径最大的钢箱拱桥，主拱截面 9m 高、5m 宽，拱肋为全焊钢箱结构，该桥为中承式系杆拱桥，主跨跨径达到 550m。重庆跨长江的朝天门大桥(图 1-8)，2009 年建成通车，朝天门大桥从设计之初就定位为重庆的江上门户，采用中承式钢桁架拱桥形式，主跨达 552m，为当今世界上最大跨径的拱桥。

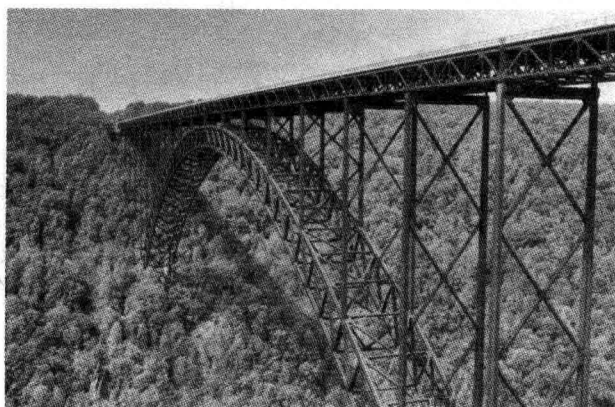


图 1-6 美国新河峡桥(1977 年)

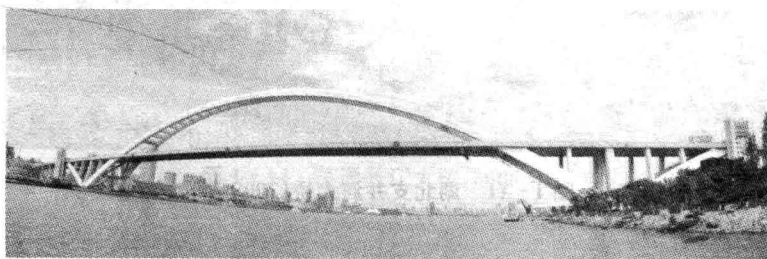


图 1-7 上海卢浦大桥(2003 年)



图 1-8 重庆朝天门大桥(2009 年)

四川合江长江一桥(图 1-9), 桥长 838m、宽 28m, 主跨为 518m 钢管混凝土中承式拱桥, 是目前在建的最大跨度混凝土拱桥, 预计 2013 年建成。2005 年建成通车的重庆巫山长江大桥(图 1-10), 是一座主跨 492m 的中承式钢管混凝土公路拱桥。湖北支井河大桥(图 1-11), 为主跨 430m 的上承式钢管混凝土拱桥, 位于沪蓉西高速公路湖北恩施巴东野三关, 跨越支井河, 2009 年建成通车。

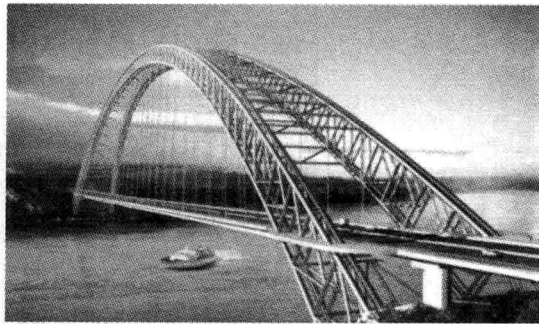


图 1-9 四川合江长江一桥(在建)

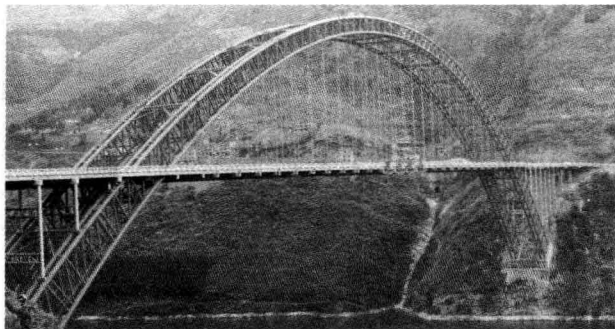


图 1-10 重庆巫山长江大桥(2005 年)



图 1-11 湖北支井河大桥(2009 年)

3. 斜拉桥

1995 年建成的法国诺曼底大桥(图 1-12), 主跨为 856m, 位居国外斜拉桥第二。1999 年建成的日本多多罗桥(图 1-13), 其主跨为 890m, 是目前国外已建成的跨径最大的斜拉桥。

2008 年建成通车的苏通长江大桥主跨跨径达到 1088m(图 1-14), 是目前世界上最大跨径的斜拉桥; 其主塔高度达到 300.4m, 主桥两个主墩基础分别采用 131 根直径 2.5~2.85m、长约 120m 的灌注桩, 是目前世界上最大规模的群桩基础, 主桥最长的斜拉索长达 577m。

昂船洲大桥(图 1-15)位于香港, 是目前世界上第二大跨径的双塔斜拉桥, 大桥主跨长 1018m, 桥塔高度为 290m, 于 2008 年建成通车。



图 1-12 法国诺曼底(Nuomandi)大桥(1995 年)