

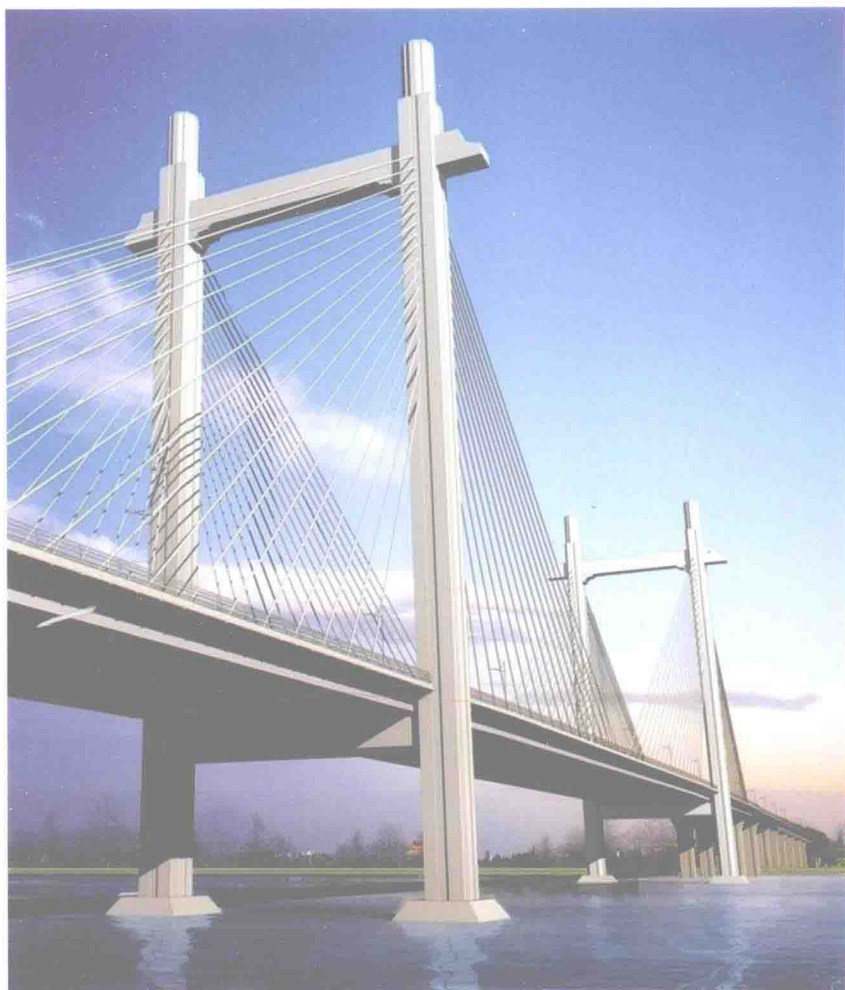
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

桥梁工程

(第4版)

Q L G C

邵旭东 金晓勤 主编



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

桥梁工程

(第4版)

主 编 邵旭东 金晓勤

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书重点介绍了中小跨径混凝土梁式桥、拱桥和墩台的结构构造、设计计算和施工方法,简要介绍了大跨径悬臂体系、连续体系梁桥、斜拉桥和悬索桥的主要特点和构造。

本书可作为高等院校土木工程专业学生的教材,也可供从事桥梁工程技术工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/邵旭东,金晓勤主编.—4版.—武汉:武汉理工大学出版社,2016.8
ISBN 978-7-5629-5203-9

I. ①桥… II. ①邵… ②金… III. ①桥梁工程—高等学校—教材 IV. ①U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 144498 号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全

责任编辑:王利永

责任校对:夏冬琴

装帧设计:语新文化

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北画中画印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:14.5

字 数:459千字

版 次:2002年6月第1版 2016年8月第4版

印 次:2016年8月第1次印刷 总第19次印刷

印 数:1—3000册

定 价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

普通高等学校土木工程专业新编系列教材编审委员会

(第4届)

学术顾问:

吕西林 李杰 罗福午 李少甫 甘绍熺 包世华 毛鹤琴
辛克贵 刘立新 李必瑜 彭少民 何铭新 吴培明 胡敏良

主任委员:

李国强 朱宏亮 田高

副主任委员:

刘伟庆 邹超英 白国良 徐礼华 雷宏刚 贾连光 朱彦鹏
张永兴 张俊平 刘殿忠 缪昇 王岚 周学军 赵明华

委员:(以姓氏笔画为序)

邓铁军 王林 王燕 王天稳 王月明 王社良 王泽云
王新武 王毅红 白晓红 卢文胜 叶献国 过静珺 刘长滨
刘剑飞 孙俊 孙强 孙家齐 陈水生 陈伯望 何培玲
李碧雄 李怀建 李启令 李书进 邵旭东 宋固全 吴炎海
吴雪茹 吴辉琴 张立人 张国强 张科强 周云 段兵廷
姜玉松 柳炳康 饶云刚 俞晓 赵瑞斌 秦建平 徐伟
袁广林 袁海庆 蒋沧如 曾志兴 窦立军 戴国欣 魏瑞演

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘书长:蔡德民

第 4 版前言

本书是根据 2011 年 9 月高等学校土木工程学科专业指导委员会最新颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》制定的培养目标和课程体系,按教材编委会制定的教学大纲编写的。为使学生掌握各种桥型的特点和技术要领,了解其发展趋势,本书着重于系统阐明桥梁工程的基本要领、理论和方法,并多举实例和算例便于读者理解和领会,同时尽可能地融入了桥梁领域内的新技术和新进展。通过本课程的学习,要求学生熟练掌握中小型桥梁的设计和施工方法,并且能较好地理解大型桥梁的主要受力和结构构造特点。

本书是湖南大学编写的《桥梁工程》第 4 版,此版在前三版的基础上,按照《公路工程技术标准》(JTGB01—2014)、《公路桥梁设计通用规范》(JTGD60—2015),对书中所涉及的相关内容作了更新;根据近几年桥梁技术的新发展,修改了部分内容。全书共 9 章,第 1 章介绍桥梁工程的基本知识和发展动态,以及规划设计方法和程序,第 2、3、4 章介绍中小跨径梁式桥和支座的设计方法,第 5 章介绍大跨径悬臂体系、连续体系梁桥、斜拉桥和悬索桥的主要特点和构造,第 6、8 章分别介绍混凝土梁桥和拱桥的常用施工方法,第 7、9 章分别介绍拱桥和墩台的设计方法。

本书第 3 版的编写分工为:第 1 章第 1.1~第 1.4 节(第 1.5 节由彭旺虎编写)、第 5 章由邵旭东编写,第 2、3、4 章由金晓勤编写,第 6、8 章由程翔云编写,第 7、9 章由赵华编写。全书由邵旭东教授最后修改定稿。

本次修订由金晓勤、邵晓东、邓富颖完成。

本书若有差错和不当之处,敬请读者指正。

编 者

2016 年 4 月

目 录

1 总论	(1)
本章提要	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 桥梁的基本组成和分类	(1)
1.2.1 桥梁的基本组成	(1)
1.2.2 桥梁的分类	(3)
1.3 桥梁发展动态	(7)
1.3.1 我国桥梁建设成就	(7)
1.3.2 国外桥梁发展概况	(11)
1.4 桥梁的总体规划与设计步骤	(15)
1.4.1 桥梁的总体规划	(15)
1.4.2 桥梁的设计步骤	(19)
1.4.3 桥梁设计方案的筛选	(20)
1.5 桥梁上的作用	(21)
1.5.1 永久作用	(21)
1.5.2 可变作用	(22)
1.5.3 偶然作用	(27)
1.5.4 地震作用	(27)
1.5.5 作用组合	(27)
本章小结	(28)
思考题及习题	(29)
2 混凝土梁桥构造设计	(30)
本章提要	(30)
2.1 概述	(30)
2.2 混凝土简支板桥的构造与设计	(30)
2.2.1 整体式简支板桥的构造	(30)
2.2.2 装配式简支板桥的构造	(31)
2.2.3 斜交板桥构造	(34)
2.3 混凝土简支梁桥的构造与设计	(35)
2.3.1 整体式简支 T 型梁桥	(35)
2.3.2 预制装配式简支 T 型梁桥	(36)
2.3.3 组合梁桥	(40)
2.4 混凝土梁桥桥面构造	(41)
2.4.1 桥面铺装	(41)
2.4.2 桥面防水和排水设施	(42)
2.4.3 桥梁伸缩装置	(43)
2.4.4 人行道	(45)
2.4.5 栏杆、护栏和灯柱	(46)
本章小结	(47)

思考题及习题	(47)
3 混凝土梁桥的计算	(49)
本章提要	(49)
3.1 概述	(49)
3.2 桥面板计算	(49)
3.2.1 车轮荷载在板上的分布	(50)
3.2.2 板的有效工作宽度	(50)
3.2.3 行车道板的内力计算	(52)
3.3 主梁内力计算	(55)
3.3.1 结构自重内力计算	(55)
3.3.2 汽车、人群荷载产生内力计算	(57)
3.3.3 主梁内力组合	(65)
3.4 横隔梁内力计算	(65)
3.4.1 作用在横梁上的计算荷载	(65)
3.4.2 横隔梁的内力影响线	(66)
3.4.3 横隔梁内力计算	(67)
3.5 挠度、预拱度的计算	(69)
本章小结	(70)
思考题及习题	(70)
4 梁式桥的支座	(72)
本章提要	(72)
4.1 概述	(72)
4.2 支座的类型和构造	(72)
4.2.1 简易垫层支座	(72)
4.2.2 橡胶支座	(73)
4.3 支座的计算	(75)
本章小结	(78)
思考题及习题	(78)
5 其他体系梁桥、斜拉桥和悬索桥	(79)
本章提要	(79)
5.1 悬臂体系梁桥简介	(79)
5.1.1 悬臂梁桥	(79)
5.1.2 T型刚构桥	(81)
5.1.3 牛腿的构造和计算	(82)
5.2 连续体系梁桥	(84)
5.2.1 预应力混凝土连续体系梁桥的主要类型及受力特点	(84)
5.2.2 横截面形式和尺寸	(88)
5.2.3 预应力筋布置	(89)
5.2.4 设计计算要点	(90)
5.2.5 连续梁桥结构实例	(94)
5.2.6 连续刚构桥实例	(95)
5.3 斜拉桥	(97)
5.3.1 斜拉桥的力学特点	(97)
5.3.2 斜拉桥的结构构造与形式	(98)
5.3.3 斜拉桥的非线性问题和最佳成桥状态的确定	(104)

5.3.4	存在的问题	(105)
5.3.5	斜拉桥实例	(105)
5.4	悬索桥	(107)
5.4.1	结构构造	(107)
5.4.2	悬索桥的基本类型和适用范围	(112)
5.4.3	悬索桥的纵、横断面布置	(114)
5.4.4	悬索桥的计算	(114)
	本章小结	(115)
	思考题及习题	(116)
6	混凝土梁桥的施工	(117)
	本章提要	(117)
6.1	混凝土简支梁桥的制造工艺	(117)
6.1.1	简支梁桥的主要施工方法	(117)
6.1.2	基本施工工艺流程	(117)
6.1.3	就地浇筑法施工工艺	(121)
6.1.4	后张法预应力混凝土简支梁的制造工艺特点	(121)
6.1.5	先张法预应力混凝土简支板的制造工艺特点	(123)
6.2	装配式简支梁构件的运输和安装	(125)
6.2.1	预制构件的运输	(126)
6.2.2	预制构件的安装	(126)
6.3	悬臂体系和连续体系梁桥的施工	(128)
6.3.1	逐孔施工法	(129)
6.3.2	节段施工法	(130)
6.3.3	顶推施工法	(132)
	本章小结	(135)
	思考题及习题	(135)
7	拱桥	(136)
	本章提要	(136)
7.1	概述	(136)
7.1.1	拱桥的基本特点	(136)
7.1.2	拱桥的基本组成	(137)
7.1.3	拱桥的主要类型	(138)
7.2	拱桥的构造	(141)
7.2.1	主拱圈的构造	(141)
7.2.2	拱上建筑构造	(146)
7.2.3	其他细部构造	(149)
7.3	拱桥的设计	(152)
7.3.1	拱桥的总体布置	(152)
7.3.2	拱轴线的选择和拱上建筑的布置	(154)
7.4	拱桥的计算	(154)
7.4.1	拱轴方程的建立	(155)
7.4.2	结构自重作用下拱的内力计算	(162)
7.4.3	汽车和人群荷载作用下拱的内力计算	(166)
7.4.4	裸拱内力计算	(169)
7.4.5	均匀温变和拱脚变位的内力计算	(170)

7.4.6	主拱验算	(173)
7.5	钢管混凝土拱桥简介	(175)
7.5.1	钢管混凝土结构的特点	(175)
7.5.2	钢管混凝土拱桥的基本组成	(175)
7.5.3	劲性骨架钢管混凝土拱桥示例	(176)
7.6	其他类型拱桥一览	(178)
7.6.1	桁架拱桥	(178)
7.6.2	刚架拱桥	(179)
7.6.3	中、下承式拱桥	(180)
	本章小结	(181)
	思考题及习题	(181)
8	混凝土拱桥的施工	(183)
	本章提要	(183)
8.1	混凝土拱桥施工方法简介	(183)
8.1.1	就地浇筑法	(183)
8.1.2	预制安装法	(184)
8.1.3	转体施工法	(184)
8.2	拱桥有支架施工	(186)
8.2.1	拱架	(186)
8.2.2	拱圈混凝土的浇筑	(188)
8.2.3	拱上建筑的施工	(189)
8.2.4	拱架的卸落	(189)
8.3	拱桥缆索吊装施工	(190)
8.3.1	拱圈节段的预制	(190)
8.3.2	拱肋的吊装	(191)
8.3.3	施工加载程序设计	(192)
	本章小结	(193)
	思考题及习题	(193)
9	桥梁墩台	(194)
	本章提要	(194)
9.1	墩台的构造和设计	(194)
9.1.1	概述	(194)
9.1.2	梁桥墩台	(195)
9.1.3	拱桥墩台	(203)
9.2	桥墩计算	(205)
9.2.1	作用及其效应组合	(205)
9.2.2	重力式(圬工)桥墩计算	(208)
9.2.3	桩柱式桥墩计算	(211)
9.2.4	柔性排架墩计算	(212)
9.3	桥台计算	(217)
9.3.1	重力式桥台的计算	(217)
9.3.2	梁桥轻型桥台的计算特点	(218)
	本章小结	(220)
	思考题及习题	(221)
	参考文献	(222)

1 总 论

本章提要

本章主要介绍桥梁的基本组成和名词术语、桥梁的分类,对桥梁发展动态作了概述,并介绍了桥梁的总体规划和设计步骤,以及桥梁上的作用。

1.1 概 述

桥梁工程在学科上属于土木工程的分支,在功能上是交通工程中的咽喉。

随着我国国民经济的迅速发展和经济的全球化,大力发展交通运输事业,建立四通八达的现代交通网络,对发展国民经济、促进文化交流、加强民族团结、缩小地区差别、巩固国防等方面,都有非常重要的作用。

我国自改革开放以来,路(特别是高等级公路和城市道路)、桥建设得到了飞速的发展,对改善人民的生活环境、改善投资环境、促进经济的腾飞,起到了关键性的作用。

桥梁工程在工程规模上占道路总造价的10%~20%,同时它也是保证全线通车的咽喉,特别是在战时,桥梁工程具有非常重要的地位。

桥梁是一种功能性的结构物,但自古以来,人类从未停止过对桥梁美学的追求,很多桥梁被建成为令人赏心悦目的艺术品,具有鲜明的时代特征,至今仍然为人们所赞叹。

随着科学技术的进步和经济、社会、文化水平的提高,人们对桥梁建筑提出了更高的要求。经过几十年的努力,我国的桥梁工程无论是在建设规模上,还是在科技水平上,均已跻身世界先进行列。各种功能齐全、造型美观的立交桥、高架桥,横跨长江、黄河等大江大河的特大跨度桥梁,如雨后春笋频频建成。目前随着国家公路国道主干线规则的编制完成,几十千米长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟建设工程已经摆在我们面前,并已逐渐开始建设,广大桥梁工程技术人员将不断面临着建设新颖和复杂桥梁结构的挑战,肩负着光荣而艰巨的任务。

1.2 桥梁的基本组成和分类

1.2.1 桥梁的基本组成

概括地说,桥梁由四个基本部分组成,即上部结构(superstructure)、下部结构(substructure)、支座(bearing)和附属设施(accessory)。

图 1.1 为一座公路桥梁的概貌,从图 1.1 中可见,涉及一般桥梁工程的几个主要名词解释如下:

上部结构是在线路中断时跨越障碍的主要承重结构,是桥梁支座以上(无铰拱起拱线或刚架主梁底线以上)跨越桥孔的总称,当跨越幅度越大时,上部结构的构造也就越复杂,施工难度也相应增加。

下部结构包括桥墩(pier)、桥台(abutment)和基础(foundation)。

桥墩和桥台是支承上部结构并将其传来的恒载和车辆等活载再传至基础的结构物。通常设置在桥两端的称为桥台,设置在桥中间部分的称为桥墩。桥台除了具有上述作用外,还与路堤相衔接,并抵御路堤土压力,防止路堤填土的坍方。单孔桥只有两端的桥台,而没有中间的桥墩。

桥墩和桥台底部的奠基部分,称为基础,基础承担了从桥墩和桥台传来的全部荷载,这些荷载包括竖向

荷载以及地震、船舶撞击墩身等引起的水平荷载。由于基础往往深埋于水下地基中，在桥梁施工中是难度较大的一个部分，也是确保桥梁安全的关键之一。

支座是设在墩(台)顶，用于支承上部结构的传力装置，它不仅要传递很大的荷载，而且要保证上部结构按设计要求能产生一定的变形。

桥梁的基本附属设施包括桥面系(bridge decking)、伸缩缝(expansion joint)、桥梁与路堤衔接处的桥头搭板(transition slab at bridge head)和锥形护坡(conical slope)等。

河流中的水位是变动的，枯水季节的最低水位称为低水位(low water level)，洪峰季节河流中的最高水位称为高水位(high water level)。桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得的高水位(很多情况下是推算水位)，称为设计洪水位(designed flood level)；设计洪水位加壅水和浪高，称为计算水位(calculated water level)；在各级航道中，能保持船舶正常航行时的水位，称为通航水位(navigable water level)。

下面介绍一些与桥梁布置有关的主要尺寸和名词术语。

净跨径(clear span)，对于设支座的桥梁为相邻两墩、台身顶内缘之间的水平净距，对于不设支座的桥梁为上、下部结构相交处内缘间的水平净距，用 l_0 表示(见图 1.1、图 1.2)。

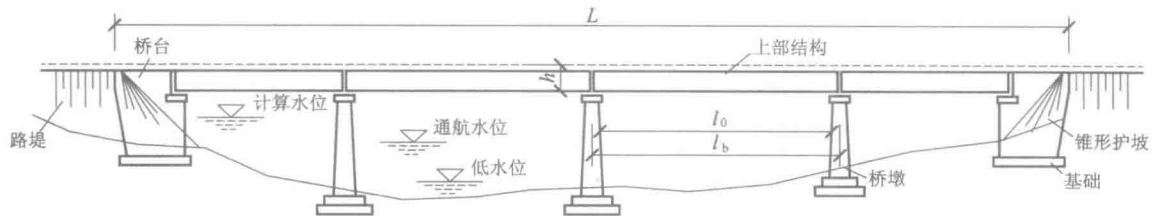


图 1.1 梁式桥概貌

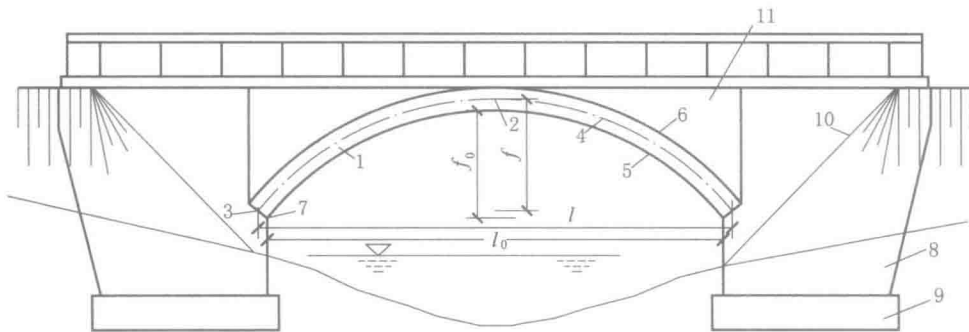


图 1.2 拱桥概貌

1—主拱圈；2—拱顶；3—拱脚；4—拱轴线；5—拱腹；6—拱背；7—起拱线；8—桥台；9—桥台基础；10—锥坡；11—拱上建筑；

l_0 —净跨径； l —计算跨径； f_0 —净矢高； f —计算矢高； f/l (或 f_0/l_0)—矢跨比

总跨径(total span)是多孔桥梁中各孔净跨径的总和($\sum l_0$)，它反映了桥下宣泄洪水的能力。

计算跨径(computed span)，对于设支座的桥梁，为相邻支座中心的水平距离，对于不设支座的桥梁(如拱桥、刚构桥等)，为上、下部结构的相交面之中心间的水平距离，用 l 表示，桥梁结构的力学计算是以 l 为准的。

标准跨径(standard span)，对于梁式桥、板式桥，以两桥墩中线之间桥中心线长度或桥墩中线与桥台台背前缘线之间桥中心线长度为准；对于拱式桥和涵洞，以净跨径为准。

桥梁全长(total length of bridge)简称桥长，对于有桥台的桥梁为两岸桥台翼墙尾端间的距离，对于无桥台的桥梁为桥面系行车道长度，用 L 表示。

桥下净空(clearance of span)是为满足通航(或行车、行人)的需要和保证桥梁安全而对上部结构底缘以下规定的空间界限。

桥梁建筑高度(construction height of bridge)是上部结构底缘至桥面顶面的垂直距离(图 1.1 中的 h)，线路定线中所确定的桥面标高，与通航(或桥下通车、人)净空界限顶部标高之差，称为容许建筑高度(allowable construction height)。显然，桥梁建筑高度不得大于容许建筑高度。为控制桥梁建筑高度，可以通

过在桥面以上布置结构(如斜拉桥,悬索桥,中、下承式拱桥等)的方式加以解决。

桥面净空(clearance above bridge floor)是桥梁行车道、人行道上应保持的空间界限,公路、铁路和城市桥梁对桥面净空都有相应的规定。

我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)(以下简称《桥规》)规定了特大、大、中、小桥的划分,如表 1.1 所示。

桥梁按总长 L 和标准跨径 L_k 分类

表 1.1

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

1.2.2 桥梁的分类

1.2.2.1 桥梁按受力体系分类

按照受力体系分类,桥梁有梁、拱、吊三大基本体系,其中梁桥以受弯为主,拱桥以受压为主,吊桥以受拉为主。另外,由上述三大基本体系的相互组合,派生出在受力上也具组合特征的多种桥型,如刚架桥和斜拉桥等,下面分别阐述各种桥梁体系的主要特点。

(1) 梁式桥(beam bridge)

梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构[见图 1.3(a)、图 1.3(b)],由于外力(恒载和活载)的作用方向与承重结构的轴线接近垂直,因而与同样跨径的其他结构体系相比,梁桥内产生的弯矩最大,通常需用抗弯、抗拉能力强的材料(钢、配筋混凝土、钢-混凝土叠合结构等)来建造。对于中、小跨径桥梁,目前在公路上应用最广的是标准跨径的钢筋混凝土简支梁桥,施工方法有预制装配和现浇两种。这种梁桥结构简单,施工方便,简支梁对地基承载力的要求也不高,其常用跨径在 25m 以下,当跨径较大时,需采用预应力混凝土简支梁桥,但跨度一般不超过 50m。为了改善受力条件和使用性能,地质条件较好时,中、小跨径梁桥均可修建连续梁桥,如图 1.3(c) 所示;对于跨径很大的大桥和特大桥,可采用预应力混凝土梁桥、钢桥和钢-混凝土叠合梁桥,如图 1.3(d)、图 1.3(e) 所示。

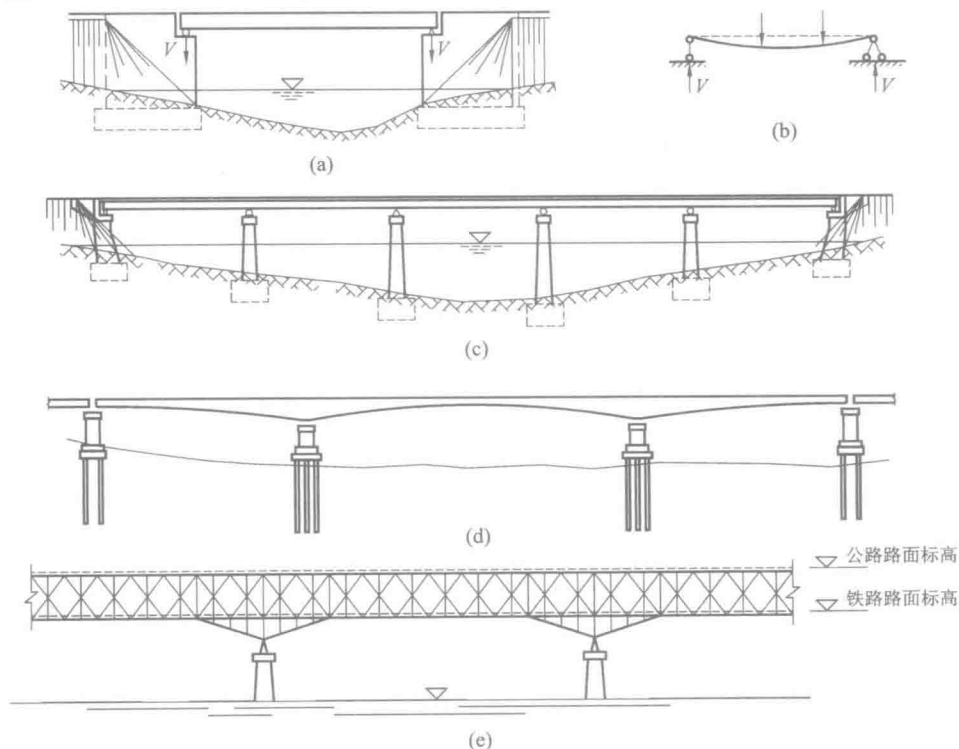


图 1.3 梁式桥

(2) 拱式桥(arch bridge)

拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋(拱圈横截面设计成分离形式时称为拱肋)。拱结构在竖向荷载作用下,桥墩和桥台将承受水平推力,如图 1.4(b) 所示。同时,根据作用力和反作用力原理,墩台向拱圈(或拱肋)提供一对水平反力 H ,这种水平反力将大大抵消在拱圈(或拱肋)内由荷载所引起的弯矩。因此,与同跨径的梁相比,拱的弯矩、剪力和变形都要小得多。鉴于拱桥的承重结构以受压为主,通常可用抗压能力强的圬工材料(如砖、石、混凝土)和钢筋混凝土等来建造。

拱桥不仅跨越能力很大,而且外形酷似彩虹卧波,十分美观,在条件许可的情况下,修建拱桥往往是经济合理的,一般在跨径 500m 以内均可作为比选方案。

应当注意,为了确保拱桥的安全,下部结构和地基(特别是桥台)必须能经受住很大的水平推力作用,此外,与梁式桥不同,由于拱圈(或拱肋)在合拢前自身不能维持平衡,因而拱桥在施工过程中的难度和危险性要远大于梁式桥。对于跨度特别大的拱桥,也可建造钢桥或钢-混凝土组合截面的拱桥,由自重较轻但强度很高的钢拱首先合拢并承担施工荷载,这样,其施工的难度和风险就可降低。

在地基条件不适合修建具有很大推力的拱桥的情况下,也可建造水平推力由受拉系杆来承受的系杆拱桥。系杆可由钢、预应力混凝土或高强钢筋做成,如图 1.4(d) 所示。近年来发展了一种所谓“飞雁式”的三跨微小推力拱桥,如图 1.4(e) 所示,即在边跨的两端施加强大的水平预加力 H ,通过边跨梁传至拱脚,以抵消主跨拱脚处的巨大水平推力。

按照行车道处于主拱圈的不同位置,拱桥分为上承式拱、中承式拱和下承式拱三种。如图 1.4 所示,“承”代表承受车辆荷载的位置,即行车道位置,“上、中、下”分别代表这个车道位于主拱圈的上部、中部和下部。

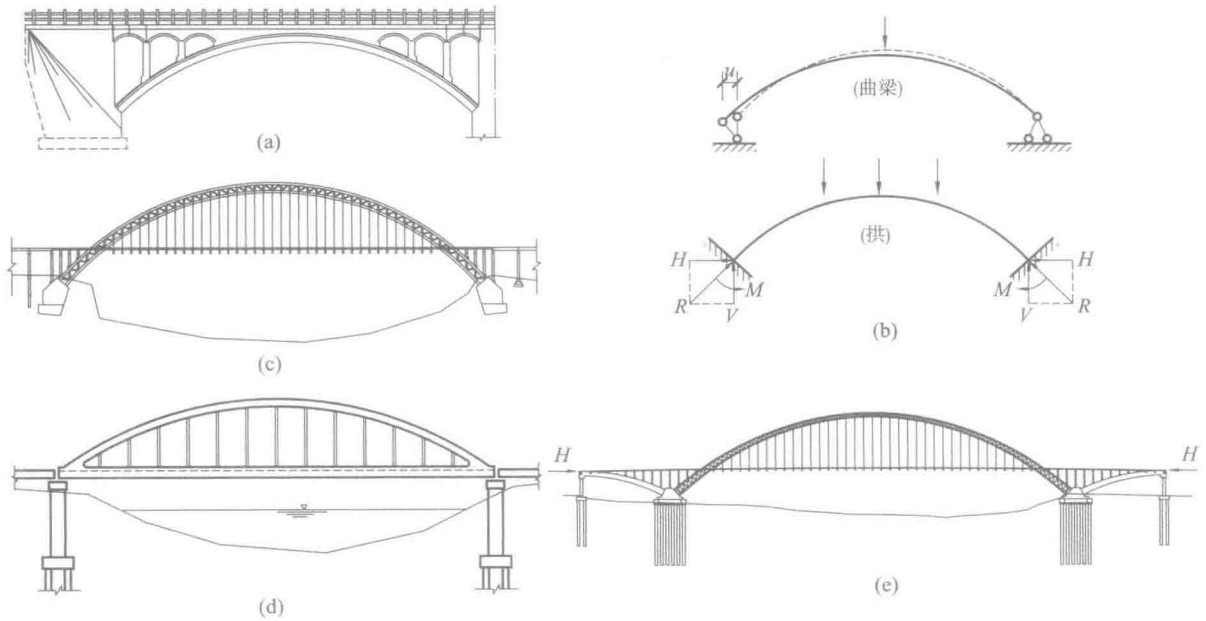


图 1.4 拱式桥

(a) 上承式拱;(b) 曲梁和拱;(c) 中承式拱;(d) 下承式系杆拱;(e) 中承式系杆拱

(3) 刚构桥(rigid frame bridge)

刚构桥的主要承重结构是梁(或板)与立柱(或竖墙)整体结合在一起的刚架结构,梁和柱的联接处具有很大的刚性,以承受负弯矩的作用。图 1.5(a) 所示的门式刚架桥,在竖向荷载作用下,柱脚处具有水平反力,梁部主要受弯,但弯矩值较同跨径的简支梁小,梁内还有轴压力 H ,因而其受力状态介于梁桥与拱桥之间[见图 1.5(b)]。刚架桥跨中的建筑高度就可做得较小。但普通钢筋混凝土修建的刚架桥在梁柱联接处较易产生裂缝,需在该处多配钢筋。另外,门式刚架桥在温度变化时,内部易产生较大的附加内力,应引起重视。

图 1.5(c) 所示的 T 型刚构桥(带挂孔的或不带挂孔的)是修建跨径较大的混凝土桥梁曾采用的桥型,属静定或低次超静定结构。对于这种桥型,由于 T 构长悬臂处于一种不受约束的自由变形状态,在车辆荷载作用下,悬臂内的弯、扭应力均较大,因而各个方向均易产生裂缝。另外,由于混凝土徐变,会使悬臂端产生一定

的下挠,从而在悬臂端部和挂梁的结合处形成一个折角,不仅损坏了伸缩缝,而且车辆在此跳车,给悬臂以附加冲击力,使行车不适,对桥梁受力也不利,目前这种桥型已较少采用。

图 1.5(d) 所示的连续刚构桥,属于多次超静定结构,在设计中一般应减小墩柱顶端的水平抗推刚度,使得温度变化时在结构内不致产生较大的附加内力。对于很长的桥,为了降低这种附加内力,往往在两侧的一个或数个边跨上设置滑动支座,从而形成图 1.5(e) 所示的刚构-连续组合体系桥型。

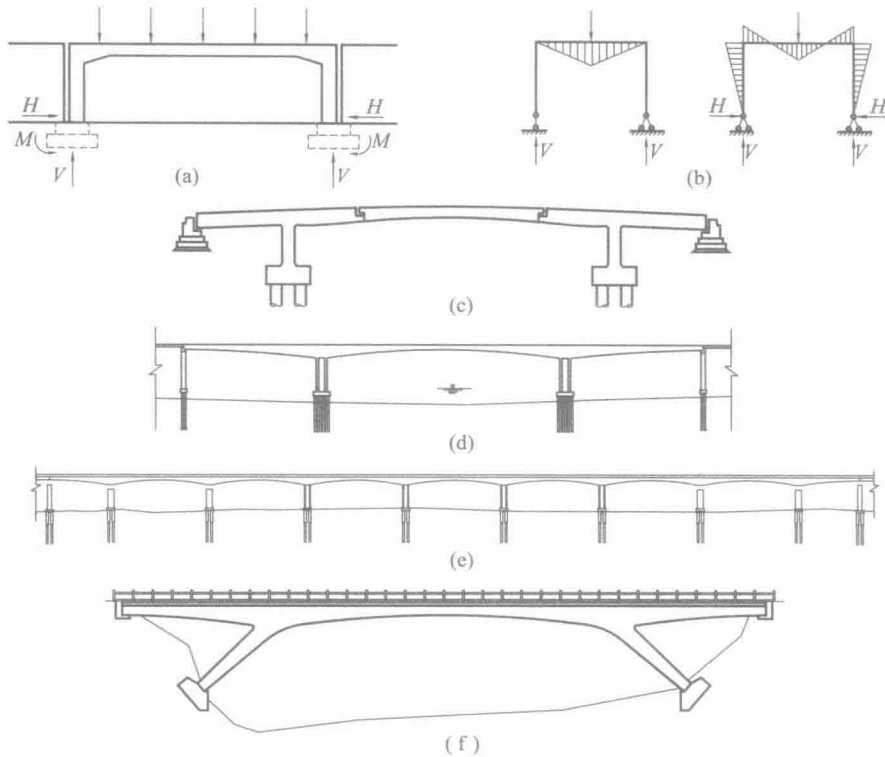


图 1.5 刚构桥

(a) 门式刚架;(b) 受力状态;(c) T 型刚构;(d) 连续刚构;(e) 刚构-连续组合体系;(f) 斜腿刚构

当跨越陡峭的河岸和深谷时,修建斜腿刚构桥往往既经济合理又造型轻巧美观,如图 1.5(f) 所示。由于斜腿墩柱置于岸坡上,有较大斜角,中跨梁内的轴压力也很大,因而斜腿刚构桥的跨越能力比门式刚构桥要大得多,但斜腿的施工难度较直腿大些。

刚构桥一般均需承受正负弯矩的交替作用,横截面宜采用箱形截面。连续刚构桥主梁受力情况与连续梁相近,横截面形式与尺寸也与连续梁基本相同。

(4) 斜拉桥(cable stayed bridge)

斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索组成,如图 1.6 所示。它的基本受力特点是:受拉的斜索将主梁多点吊起,并将主梁的恒载和车辆等其他荷载传至塔柱,再通过塔柱基础传至地基,塔柱基本上以受压为主。跨度较大的主梁就像一条多点弹性支承(吊起)的连续梁一样工作,从而使主梁内的弯矩大大减小。由于同时受到斜拉索水平分力的作用,主梁截面的基本受力特征是偏心受压。斜拉桥属高次超静定结构,主梁所受弯矩大小与斜拉索的初张力密切相关,存在着一定的最优索力分布,使主梁在各种状态下的弯矩(或应力)最小。

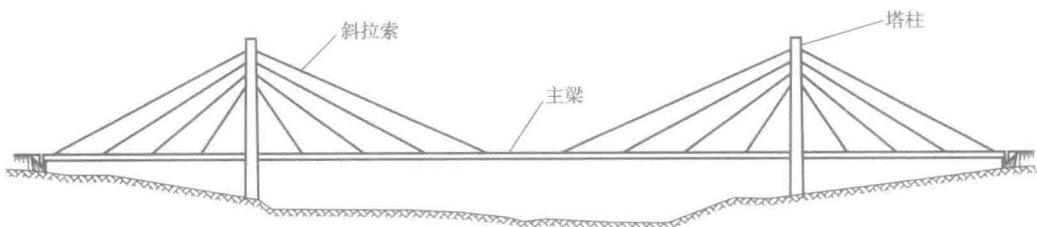


图 1.6 斜拉桥

由于受到斜拉索的弹性支承,弯矩较小,使得主梁尺寸大大减小,结构自重显著减轻,从而大幅度地提高了斜拉桥的跨越能力。此外,由于塔柱、拉索和主梁构成稳定的三角形,斜拉桥的结构刚度较大,斜拉桥的抗风能力较悬索桥要好得多。但是,当跨度很大时,悬臂施工的斜拉桥因主梁悬臂长度过长,承受压力过大,而使得风险较大,塔高也过高,外索过长,索垂度的影响使索的刚度大幅下降,这些问题都需要加以认真地研究和解决。

斜拉索的组成和布置、塔柱形式及主梁的截面形状是多种多样的,主梁的截面形状与拉索的布置情况要相互配合。我国常将高强平行钢丝或钢绞线等制成斜拉索,斜拉索按施工工艺有工厂预制(成品索)和现场防护两种。我国20世纪80年代末、90年代初修建的斜拉桥中,斜拉索大多采用现场防护的方法。由于现场防护环境较差,不确定因素较多,加上施工技术不够成熟,拉索在使用7~8年后,索内高强钢材均出现了不同程度的锈蚀现象,影响了大桥的安全,近年来已有几座斜拉桥对拉索进行了更换。目前常用的平行钢丝斜拉索系完全在工厂内制成,在钢丝束上包一层高密度(HD)聚乙烯(PE)外套进行防护,还可用彩色高密度聚乙烯制成彩色索。除防锈外,斜拉索的疲劳和PE套的老化是两个需认真对待的问题。

常用的斜拉桥是三跨双塔式结构,但独塔双跨形式也常见(图1.7),具体形式及布置的选择应根据河流、地形、通航、美观等要求加以论证确定。

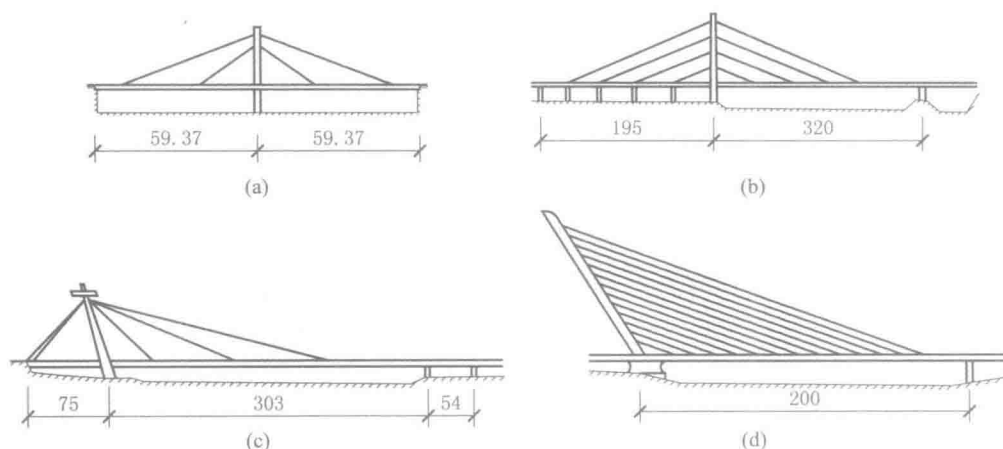


图 1.7 独塔式斜拉桥(单位:m)

(5) 悬索桥(suspension bridge)

悬索桥(吊桥)是用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构,如图1.8所示。在桥面系竖向荷载作用下,通过吊杆使缆索承受很大的拉力,缆索锚于悬索桥两端的锚碇结构中。为了承受巨大的缆索拉力,锚碇结构需做得很大(重力式锚碇),或者依靠天然完整的岩体来承受水平拉力(隧道式锚碇)。缆索传至锚碇的拉力可分解为垂直和水平两个分力,因而悬索桥也是具有水平反力(拉力)的结构。现代悬索桥广泛采用高强度的钢丝成股编制形成钢缆,以充分发挥其优良的抗拉性能。悬索桥的承载系统包括缆索、塔柱和锚碇三部分,因此结构自重较轻,能够跨越任何其他桥型无法跨越的特大跨度。悬索桥的另一特点是,受力简单明了,成卷的钢缆易于运输,在将缆索架设完成后,便形成了一个强大、稳定的结构支承系统,施工过程中的风险相对较小。

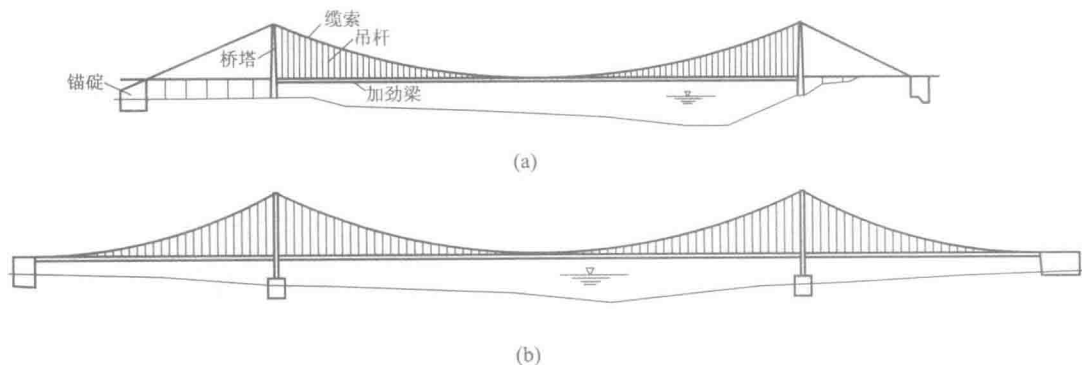


图 1.8 悬索桥

(a) 单跨式悬索桥;(b) 三跨式悬索桥

相对于前面所说的其他体系桥梁而言,悬索桥的刚度最小,属柔性结构,在车辆荷载作用下,悬索桥将产生较大的变形。例如跨度为 1000m 的悬索桥,在车辆荷载作用下, $l/4$ 区域的最大挠度可达 3m 左右。另外,悬索桥的风致振动及稳定性在设计 and 施工中也需予以特别的重视。

1.2.2.2 桥梁的其他分类简述

除了上述按受力特点分成不同的结构体系外,人们还习惯性地按桥梁的用途、大小规模和建桥材料等其他方面对桥梁进行分类。

(1) 按用途来划分,有公路桥(highway bridge)、铁路桥(railway bridge)、公铁两用桥(highway and rail transit bridge)、农桥(rural bridge,或机耕道桥)、人行桥(foot bridge)、水运桥(aqueduct bridge,或渡槽)、管线桥(pipeline bridge)等。

(2) 按桥梁全长和跨径的不同,分为特殊大桥(super major bridge)、大桥(major bridge)、中桥(medium bridge)、小桥(small bridge)和涵洞(culvert)。

(3) 按照主要承重结构所用的材料划分,有圬工桥(masonry bridge,包括砖、石、混凝土桥)、钢筋混凝土桥(reinforced concrete bridge)、预应力混凝土桥(prestressed concrete bridge)、钢桥(steel bridge)、钢-混凝土组合桥(steel-concrete composite bridge)和木桥(timber bridge)等。木材易腐,且资源有限,一般不用于永久性桥梁。

(4) 按跨越障碍的性质,可分为跨河桥(river bridge)、跨海桥(sea-crossing bridge)、立交桥(inter-change)、高架桥(viaduct)和栈桥(trestle bridge)。高架桥一般指跨越深沟峡谷以替代高路堤的桥梁,以及在城市中跨越道路的桥梁。

(5) 按桥跨结构的平面布置,可分为正交桥(right bridge)、斜交桥(skew bridge)和弯桥(curved bridge)。

(6) 按上部结构的行车道位置,可分为上承式桥(deck bridge)、中承式桥(half-through bridge)和下承式桥(through bridge)。

(7) 按照桥梁的可移动性,可分为固定桥(fixed bridge)和活动桥(movable bridge),活动桥包括开启桥(basculer bridge)、升降桥(lift bridge)、旋转桥(swing bridge)和浮桥(floating bridge)等。

1.3 桥梁发展动态

1.3.1 我国桥梁建设成就

中国是一个文明古国,有着悠久的历史 and 灿烂的文化,我们的祖先在世界桥梁史上也写下了许多不朽的篇章。

天然石料是大自然赋予人类最早的、强度高又经久耐用的建筑材料,几千年来修建的古代桥梁以石桥居多。下面介绍几座我国闻名中外的古代石桥。

福建泉州的万安桥,又称洛阳桥,建于 1053—1059 年,该桥全长 1106m,共 47 孔,跨径 11 ~ 17m,桥宽 3.7m,是世界上尚存的最长和工程最艰巨的石梁桥。万安桥位于洛阳江的入海口处,桥下江底以磐石铺遍,并且独具匠心地用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基形成整体,不仅世界上绝无仅有,而且千年风雨已经证明了此法的奇妙和可靠。

河北赵县的赵州桥(图 1.9),又称安济桥,为隋大业初年(约公元 605 年)李春所建。赵州桥是一座空腹式圆弧形石拱桥,净跨 37.02m,宽 9m,矢高 7.23m,在拱背上设有 4 个跨度不等的腹拱,这样做既减轻了桥身自重,又便于排洪,并且增加了美感。赵州桥因其构思和工艺的精巧而举世闻名。

著名的古代石桥还有福建漳州的虎渡桥、北京永定河上的卢沟桥、颐和园内的玉带桥和十七孔桥(图 1.10),以及苏州的枫桥等。



图 1.9 河北赵县赵州桥

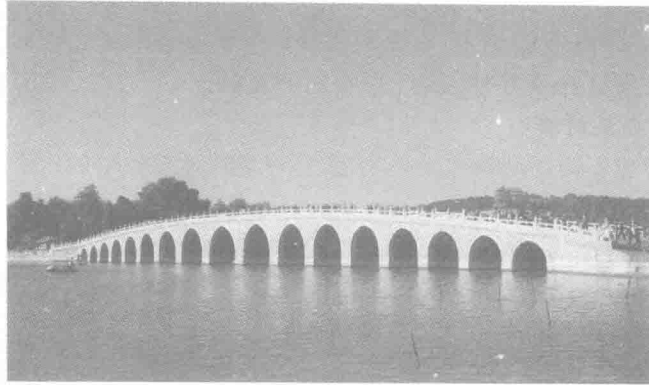


图 1.10 北京颐和园十七孔桥

但是,封建制度的长期存在,严重束缚了生产力的发展。进入 19 世纪以后,中国在综合国力、科学技术等方面,已经远远落后于西方列强,至新中国成立前,公路桥梁绝大多数为木桥,且年久失修,破烂不堪。

新中国成立以后,特别是改革开放以来,随着我国国力的迅速增强,交通事业的快速发展,尤其是 20 世纪 90 年代以来国家对高等级公路的大力投入,我国的桥梁事业得到了空前的大发展,取得了举世瞩目的成就,目前我国在大跨径桥梁方面,已经跻身世界先进行列。

1.3.1.1 混凝土梁桥

我国跨径最大的简支梁桥,是 1997 年建成的昆明南过境干道高架桥,跨径 63m。

进入 20 世纪 80 年代,对称平衡悬臂法施工的大跨度预应力混凝土箱形截面连续梁得到了迅速的发展,1991 年建成的云南六库怒江大桥,其主桥跨径为 $85\text{m}+154\text{m}+85\text{m}$ 预应力混凝土连续梁;2001 年 7 月建成通车的南京长江二桥北汊桥(图 1.11),其主桥跨径为 $90\text{m}+3\times 165\text{m}+90\text{m}$,是我国目前跨度最大的预应力混凝土连续梁桥。



图 1.11 南京长江二桥北汊桥

连续刚构的特点是梁保持连续,墩梁固结。这样既保持了连续梁无伸缩缝、行车平顺的优点,又保持了 T 型刚构不设支座的优点,同时避免了连续梁和 T 型刚构的缺点,因而连续刚构桥在我国发展很快。

1988 年建成的广东番禺洛溪大桥是我国第一座大跨径连续刚构桥,跨径组合为 $65\text{m}+125\text{m}+180\text{m}+110\text{m}$,采用双肢箱形薄壁墩,箱梁高在墩顶处 10m,在跨中处 3m。1996 年又建成湖北黄石长江大桥,主跨为 245m,主桥连续长达 1060m。特别是 1997 年建成的广东虎门辅航道桥(图 1.12),跨径组合为 $150\text{m}+270\text{m}+150\text{m}$,主桥位于半径等于 7000m 的平曲线上,建成时跨径居世界同类桥首位。

1.3.1.2 拱桥

拱桥在我国有着悠久的历史,由于拱桥造型优美,跨越能力大,长期以来一直是大跨径桥梁的主要形式之一。20 世纪 60 年代拱桥无支架施工方法的应用与发展,使混凝土拱桥竞争力大大提高。

著名的石拱桥,有 1991 年建成的湖南凤凰县鸟巢河桥,跨径 120m,它的拱圈由两条宽 2.5m 的石板拱圈成,板间用钢筋混凝土横梁联系。