

21世纪全国应用型本科 土木建筑 系列实用规划教材

桥梁工程

〔第2版〕

主 编◎周先雁 王解军

主 审◎姚玲森



- 依据最新教学大纲及行业发展情况编写，简化双曲拱桥、悬臂梁桥等老桥型内容
- 添加桥梁结构计算的有限单元法等桥梁领域的新技术



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据国家教育部、住建部及交通运输部土木工程专业教学指导委员会审定的《桥梁工程》教学大纲编写的。本书的编写着重于让学生能够掌握桥梁工程的基本设计理论,混凝土梁式桥、拱桥以及桥梁支座与墩台的构造与设计原理、设计计算方法和施工技术。随着科学技术的进步与桥梁建设的发展,本书对一些现在较少使用的、老的桥型及相关的知识仅作简单的介绍(如双曲拱桥、悬臂梁桥、T形刚构等),并增加桥梁领域的新技术及新进展内容(如桥梁结构计算的有限元法等)。

本书可作为高等学校土木工程专业(含桥梁工程方向)本科生必修课的教材,也可作为从事桥梁工程设计、施工、监理及管理等相关工作的工程技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/周先雁,王解军主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2012.8

(21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-21122-9

I. ①桥… II. ①周…②王… 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(2012)第 189520 号

书 名: 桥梁工程(第2版)

著作责任者: 周先雁 王解军 主编

策划编辑: 卢东 吴迪

责任编辑: 卢东 林章波

标准书号: ISBN 978-7-301-21122-9/TU·0258

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 19.25 印张 453 千字

2008 年 1 月第 1 版

2012 年 8 月第 2 版 2012 年 8 月第 1 次印刷(总第 3 次印刷)

定 价: 37.00 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

第 2 版前言

《桥梁工程》(第 2 版)是土木工程专业的一门专业课教材,是根据国家教育部、住建部及交通运输部土木工程专业指导委员会审定的《桥梁工程》教学大纲编写的。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》3 本教材,可供土木工程专业(含桥梁工程方向)的学生选用。

本书的编写着重于让学生能够掌握桥梁工程的基本设计理论,混凝土梁式桥、拱桥以及桥梁支座与墩台的构造与设计原理、设计计算方法和施工技术。随着科学技术的进步与桥梁建设的发展,本书对一些现在较少使用的、老的桥型及相关的知识仅作简单的介绍(如双曲拱桥、悬臂梁桥、T 形刚构等),并增加桥梁领域的新技术及新进展内容(如桥梁结构分析的有限元法等)。

本书共 13 章,第 1 章为概述,第 2 章为桥梁的总体规划设计,第 3 章为桥梁设计作用,第 4 章为桥面布置与构造,第 5 章为混凝土梁桥概述,第 6 章为混凝土梁桥的构造及设计,第 7 章为简支梁桥的计算,第 8 章为梁式桥的支座,第 9 章为拱桥概述,第 10 章为拱桥的设计与构造,第 11 章为拱桥的计算,第 12 章为桥梁墩台的构造与设计,第 13 章为桥梁墩台的计算。

本书由中南林业科技大学周先雁、王解军任主编,湖南城市学院文国华、河北工业大学宋娃丽任副主编。其中第 1 章由周先雁、王智丰修订;第 2 章及 6.4 节由湛发益修订;第 3 章由宋娃丽、李媛媛修订;第 4、8 章由郑大伟修订;第 5 章由王解军修订;6.1~6.3 节由宋娃丽、余玲玲修订;第 7 章由余玲玲修订;第 9、10 章由杨仕若修订,第 11 章由陈爱军修订,第 12、13 章由文国华修订。全书由同济大学姚玲森教授主审。

由于编者时间及水平所限,疏漏之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2012 年 4 月

第 1 版前言

桥梁工程作为土木工程的专业课,本教材根据全国土木工程专业教学指导委员会和交通部路桥及交通工程专业教学指导委员会审定的《桥梁工程》教学大纲进行编写,并且在此基础上增加了悬索桥部分内容,可供土木工程专业(包括桥梁工程方向)的学生使用。

本教材侧重于学生掌握桥梁工程的基本理论,主要桥梁型式的设计、构造原理与施工方法。对现在较少使用的、老的桥型及相关的知识仅作简单介绍(如:双曲拱桥、悬臂梁桥、T形刚构等)。同时,对桥梁领域的新技术及新进展(如:桥梁结构分析的有限元法及悬索桥等内容)作了阐述。

全书分 5 篇共有 25 章,第一篇总论。介绍了桥梁的基本组成和分类及国内外桥梁发展动态;桥梁总体规划设计的原则、方法和程序;桥梁设计荷载、桥梁材料及桥面系的布置与构造。第二篇混凝土梁桥与刚构桥。主要阐述混凝土板桥、简支梁桥及连续梁桥的构造原理、设计计算及施工方法;简要介绍了悬臂梁桥、刚构桥、曲线梁桥的构造与设计,梁式桥的支座。第三篇拱桥。着重介绍了拱桥的特点、组成和主要类型;上承式拱桥的构造原理、计算及施工方法;对中、下承式拱桥仅作了简要阐述。第四篇斜拉桥与悬索桥。主要阐述斜拉桥与悬索桥的构造原理及施工方法,并简要介绍了斜拉桥与悬索桥的计算特点与方法。第五篇桥梁墩台。介绍了常用墩台的构造及设计计算。

本教材由中南林业科技大学周先雁、王解军主编,河北工业大学宋娃丽、湖南城市学院文国华、宁波工程学院施晓春为副主编。其中第 1、18 章由周先雁编写,第 2 章及 7.6 节由湛发益编写,第 3、8 章及 7.1、7.2、7.3 节由宋娃丽编写,第 4 章由姚宏旭编写,第 5、10 章由郑大伟编写,第 6、9、12 章及 7.4、7.5 节由王解军编写,第 11 章由张玥编写,第 13、14 章由杨仕若编写,第 15、17 章由陈爱军编写,第 16 章由陈强编写,第 19 章由黄民元编写,第 20 章由贺国京编写,第 21 章及 22.2 节由施晓春编写,22.1 节由陈建英编写,第 23 章由张宇辉编写,第 24、25 章由文国华编写。余玲玲、李媛媛、王智丰、王兰彩、唐灿完成了部分图形绘制、文字打印及校对工作。全书由同济大学姚玲森教授主审。

由于编写时间所限,疏漏之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2007 年 12 月

目 录

第 1 章 概述	1	第 5 章 混凝土梁桥概述	80
1.1 桥梁的基本组成与分类	2	5.1 混凝土梁桥的基本体系	81
1.2 桥梁发展状况	9	5.2 梁桥的主要截面形式	84
本章小结	19	5.3 梁桥的主要施工方法	85
习题	19	本章小结	85
第 2 章 桥梁的总体规划设计	20	习题	86
2.1 桥梁设计的原则、步骤和 基本资料	21	第 6 章 混凝土梁桥的构造及设计	87
2.2 桥梁平、纵、横断面设计	24	6.1 板桥的构造与设计	88
2.3 桥梁设计方案的选择	31	6.2 简支梁桥的构造与设计	96
本章小结	43	6.3 悬臂梁桥的构造与设计	110
习题	44	6.4 曲线梁桥的构造与设计	116
第 3 章 桥梁设计作用	45	本章小结	126
3.1 作用分类、代表值和作用 效应组合	46	习题	127
3.2 永久作用	51	第 7 章 简支梁桥的计算	128
3.3 可变作用	52	7.1 桥面板计算	129
3.4 偶然作用	62	7.2 主梁内力计算	138
本章小结	63	7.3 横隔梁内力计算	160
习题	63	7.4 挠度和预拱度计算	164
第 4 章 桥面布置与构造	65	本章小结	166
4.1 桥面布置	66	习题	166
4.2 桥面铺装	68	第 8 章 梁式桥的支座	168
4.3 桥面防水和排水	69	8.1 常用支座的类型和构造	169
4.4 桥面伸缩缝	72	8.2 支座的布置	174
4.5 人行道、栏杆与灯柱、 护栏	74	8.3 支座的计算	175
本章小结	78	本章小结	180
习题	79	习题	180
		第 9 章 拱桥概述	181
		9.1 拱桥的主要特点	182



9.2 拱桥的组成及主要类型	183		
本章小结	188		
习题	189		
第10章 拱桥的设计与构造	190	第12章 桥梁墩台的构造与设计	247
10.1 上承式拱桥的设计与构造	191	12.1 概述	248
10.2 上承式拱桥主拱的构造与 尺寸拟定	193	12.2 梁桥墩台	250
10.3 拱上建筑构造	203	12.3 拱桥墩台	265
10.4 其他细部构造	207	本章小结	271
本章小结	212	习题	271
习题	212	第13章 桥梁墩台的计算	272
第11章 拱桥的计算	213	13.1 作用及作用效应组合	273
11.1 悬链线拱的计算	214	13.2 重力式桥墩计算	278
11.2 拱桥计算的有限元法	220	13.3 柱式桥墩计算	282
11.3 主拱的验算	239	13.4 柔性排架桩墩计算	286
本章小结	245	13.5 桥台计算	291
习题	245	本章小结	299
		习题	300
		参考文献	301



第 4 章

概 述

教学目标

本章主要介绍桥梁的基本组成、分类及国内外桥梁发展状况。通过本章的学习，应达到以下目标。

- (1) 掌握桥梁的基本组成。
- (2) 掌握桥梁的分类。
- (3) 了解桥梁发展状况。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
桥梁的基本组成	(1) 掌握桥梁的基本组成部分 (2) 掌握桥梁中的一些术语名称及基本概念	(1) 桥梁的上部结构、下部结构和支座 (2) 梁(拱)式桥概貌 (3) 水位、跨径与桥长、高度和净空
桥梁的分类	(1) 掌握桥梁按受力体系分类 (2) 了解桥梁按用途分类 (3) 了解桥梁按主要承重结构采用的材料分类 (4) 掌握桥梁按总长和跨径分类 (5) 了解桥梁的其他分类	(1) 梁式桥的受力特点及适用场合 (2) 拱式桥的受力特点及适用场合 (3) 悬索桥的受力特点及适用场合 (4) 斜拉桥的受力特点及适用场合
桥梁发展状况	(1) 了解桥梁发展的基本历程 (2) 了解我国桥梁建设成就 (3) 了解国外桥梁发展概况	(1) 我国的桥梁建设已处于世界先进水平 (2) 世界桥梁朝着大跨径、新材料、新工艺和新技术的方向发展



基本概念

上部结构、下部结构、支座、水位、净跨径、总跨径、计算跨径、桥梁全长、桥梁高度、桥下净空、桥面净空、桥梁建筑高度、净矢高、计算矢高、梁桥、拱桥



引例

我国幅员辽阔,大小山脉和江河湖泽纵横全国,桥梁成为跨越各种障碍(如河流、沟谷或其他线路等)必须修造的建筑物。桥梁在外观上形式多样,梁桥线条明了,拱桥气势如虹,那么桥梁是如何分类的,桥梁有哪些基本组成部分,桥梁的发展状况如何,这些都是本章要讲述的内容。

大力发展交通运输事业,建立四通八达的交通运输网络,不仅对加速国民经济的发展,同时对促进文化交流、加强民族团结、巩固国防建设、缩小地区差别等方面,都有着十分重要的意义。

自从20世纪80年代改革开放以来,我国道路(特别是高速公路和城市道路)、桥梁建设得到了飞速的发展,使我国的交通运输环境和能力得到了非常大的改变,这对改善投资环境、促进经济腾飞、改善人民生活环境都起到了关键性的作用。

在公路、铁路、城市和农村道路交通建设以及水利建设中,为了跨越各种障碍(如河流、沟谷或其他线路等)必须修建各种类型的桥梁。在工程规模上,桥梁约占道路总价的10%~20%,它同时也是保证全线贯通的咽喉,特别是在战争时期,桥梁工程具有非常重要的战略意义。

纵观世界各大城市,常以工程雄伟且美观的大桥作为城市的标志与骄傲。因而桥梁建筑已不单纯作为交通线上重要的工程实体,也常作为一种空间艺术品存在于社会之中,且被人们传颂。

近二十几年来,我国的桥梁无论是在建设规模上,还是技术水平上,均已跻身于世界先进行列。各种功能齐全、造型美观的高架桥、立交桥,横跨江河、湖泊、海湾等特大跨径桥梁,在全国各地如雨后春笋般出现。

尽管我国的道路与桥梁已具相当规模,但要彻底改变交通运输的面貌,赶上西方发达国家的水平,我国道路与桥梁的建设任务仍然十分繁重和艰巨。广大的桥梁建设者将面临着新颖和复杂桥梁结构及新工艺、新材料的挑战,肩负着促进我国建设的光荣而艰巨的历史使命。

1.1 桥梁的基本组成与分类

1.1.1 桥梁的基本组成

桥梁一般由3个基本部分组成,即上部结构、下部结构和支座。图1.1和图1.2所示分别为公路桥的梁桥和拱桥的概貌。

(1) 上部结构(或称桥跨结构)是桥梁支座以上(拱桥起拱线或刚架桥主梁底线以上)跨越桥孔的总称,是线路中断时跨越障碍的主要承重结构。

(2) 下部结构包括桥墩、桥台和基础。

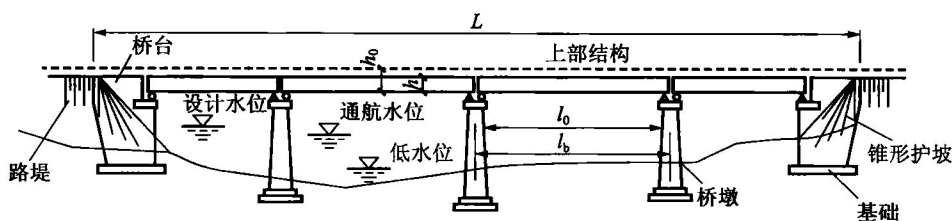


图 1.1 梁桥概貌

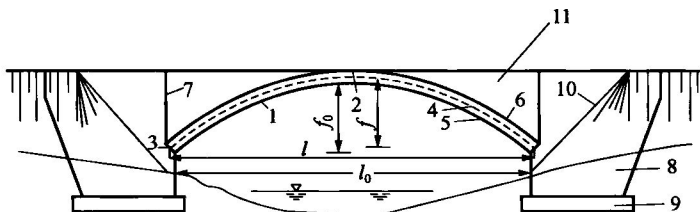


图 1.2 拱桥概貌

- 1—拱圈；2—拱顶；3—拱脚；4—拱轴线；5—拱腹；6—拱背；
7—变形缝；8—桥墩；9—基础；10—锥坡；11—拱上结构

桥墩和桥台用来支承上部结构并将其传来的恒载和车辆活载传至基础。设置在桥跨中间部分的称为桥墩，设置在桥跨两端与路堤相衔接的称为桥台。桥台除了上述作用外，还起到抵御路堤土压力及防止路堤的滑塌等作用。单孔桥只有两端的桥台，没有中间的桥墩。

桥墩和桥台底部并与地基相接触的部分，称为基础。基础承受从桥墩或桥台传来的全部荷载，它包括竖向荷载以及地震力、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土层之中，是桥梁施工中难度较大且施工复杂的部分，也是确保桥梁安全的关键环节之一。

(3) 支座是设置在墩台的顶部，用于支承上部结构的传力装置。它不仅要传递很大的荷载，并且要保证上部结构能按设计要求产生一定的变位。

在桥梁建筑工程中，除了上述基本组成部分外，在路堤与桥台衔接处，一般在桥台两侧设置石砌的锥形护坡(图 1.1)，以保证迎水部分路堤边坡的稳定。另外，根据需要还常常修筑护岸、导流结构物等附属设施。

下面介绍桥梁中的一些术语名称及基本概念。

1. 水位

河流中的水位是变动的，河流中枯水季节的最低水位称为低水位；洪峰季节河流中的最高水位称为高水位；桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得出的高水位称为设计洪水位；在各级航道中，能保持船舶正常航行的水位称为通航水位。

2. 跨径与桥长

净跨径：对于梁式桥是指设计洪水位相邻两个桥墩(或桥台)之间的净距，用 l_0 表示(图 1.1)；对于拱式桥是指每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离(图 1.2)。



总跨径:是指多孔桥梁中各净跨径的总和($\sum l_0$),它反映了桥下排洪的能力。

计算跨径:对于设有支座的桥梁,是指桥跨结构相邻两个支座中心之间的距离;对于拱式桥,是指两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离,用 l 表示。桥跨结构的力学计算是以 l 为基准的。

桥梁全长(简称桥长):有桥台的桥梁为两岸桥台后端点之间水平距离;无桥台的桥梁则为桥面行车道长度,用 L 表示。

3. 高度和净空

桥梁高度(简称桥高):是指桥面与低水位之间的高差,或指桥面与桥下线路路面之间的距离(指跨线桥)。桥高在某种程度上反映了桥梁施工的难易性。

桥下净空:是指为了满足通航(或行车、行人等)需要和保证桥梁结构安全而对上部结构底缘以下所规定的净空间的界限,对此,规范中有专门的规定。

桥面净空:是指桥梁行车道、人行道上应保持的净空间界限,对于公路、铁路和城市桥梁,规范中也有相应的规定。

桥梁建筑高度:是指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桥下净空界限顶部标高之差,称为桥梁的容许建筑高度。桥梁设计的建筑高度不得大于容许建筑高度,否则,就不能满足桥下的通航或行车等要求。

净矢高(对拱桥而言):是指从拱顶截面下缘至相邻两跨拱脚截面下缘最低点之连线的垂直距离,用 f_0 表示(图 1.2)。

计算矢高:是指拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心连线的垂直距离,用 f 表示(图 1.2)。

1.1.2 桥梁的分类

目前,所建造的桥梁种类繁多,按照桥梁的受力、用途、材料、规模等有不同的分类方法,下面分别加以介绍。

1. 按桥梁受力体系分

按照桥梁受力体系分类,可分为梁式桥、拱式桥和悬索桥(或称为吊桥),简称“梁、拱、吊”三大基本体系。另外,由上述三大基本体系相互组合,在受力上形成具有组合特征的桥型,如刚架桥、斜拉桥及系杆拱桥等。

下面分别阐述各种桥梁体系的主要受力特点及适用场合。

1) 梁桥

梁桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构 [图 1.3(a)、(b)],由于外力(恒载和活载)的作用方向与桥梁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,即梁式桥以受弯为主。因此,通常需用抗弯、抗拉能力强的材料(如钢、钢筋混凝土等)来建造。对于中、小跨径的公路桥梁,目前应用最广泛的是标准跨径钢筋混凝土或预应力混凝土简支梁(板)桥,其施工方法一般有预制装配式和现浇两种。这种梁桥结构简单、施工方便,且对地基承载力的要求也不高,对于钢筋混凝土简支梁桥跨径一般小于 25m,当跨径较大时,采用预应力混凝土,但其跨径一般不宜超过 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。对于大跨径和特大跨径的梁桥,可采用预应力混凝土、钢和钢-混凝土组合梁桥,如图 1.3(d)、(e)所示。

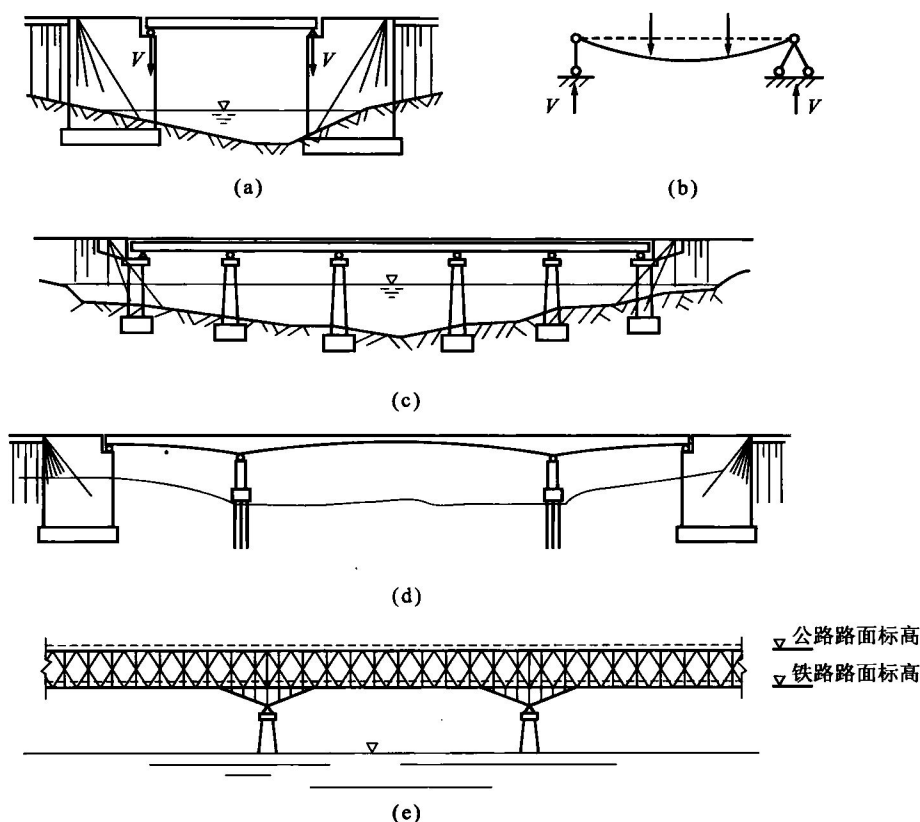


图 1.3 梁桥

2) 拱桥

拱桥的主要承重结构是主拱圈或拱肋(拱圈横截面设计成分离形式时称为拱肋),如图 1.4 所示,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,墩台向拱圈或拱肋提供水平反力,这将大大抵消在拱圈或拱肋中由荷载引起的弯矩。因此,与同跨径的梁式桥相比,拱桥的弯矩、剪力和变形却要小得多,拱圈或拱肋以受压为主。拱桥对墩台有水平推力及承受重结构以受压为主,这是拱桥的主要受力特点。因此,通常可采用抗压能力强的圬工材料(如砖、石、混凝土等)和钢筋混凝土来建筑。但应当注意,由于拱桥往往有较大的水平推力,为了确保拱桥的安全,下部结构(特别是桥台)和地基必须能承受很大水平推力的能力。一般选择地质条件较好的地域修建拱桥。

当然,在地质条件不适合于修建具有很大水平推力拱桥的情况下,也可采用无水平推力的系杆拱桥,如图 1.4(c)所示,其水平推力由系杆承受,系杆可由预应力混凝土、钢等做成。另外,也可修建近年来发展起来的水平推力很小的“飞雁式”三跨自锚式系杆拱桥,如图 1.4(d)所示,即在边跨的两端施加强大的水平预加力 H ,通过边跨拱传至拱脚,以抵消主跨拱脚处的水平推力。

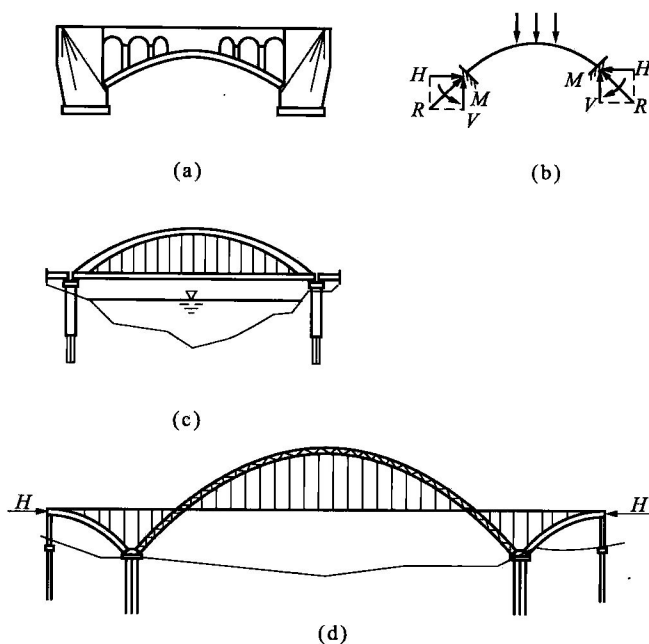


图 1.4 拱桥

拱桥不仅跨越能力大,而且外形也较美观,在条件允许的情况下,修建拱桥往往是经济合理的。

按照行车道处于主拱圈的不同位置,拱桥可分为上承式拱 [图 1.4(a)]、中承式拱 [图 1.4(d)]、下承式拱 [图 1.4(c)] 三种。

3) 悬索桥(也称吊桥)

悬索桥的承重结构包括主缆、塔柱、加劲梁、锚碇及吊杆,如图 1.5 所示。在桥面竖向荷载作用下,通过吊杆使主缆承受巨大的拉力,主缆悬跨在两边塔柱上,锚固于两端的锚碇结构中;锚碇承受主缆传来的巨大拉力,该拉力可分解为垂直和水平分力,因此,悬索桥也是具有水平反力(拉力)的结构。现代悬索桥的主缆用高强度的钢丝成股编制而成,以充分发挥其优良的抗拉性能。悬索桥结构自重轻,是目前为止跨越能力最大的桥型。另外,悬索桥受力简单明确,在将主缆架设完成之后,便形成了强大稳定的结构支承系统,使得加劲梁的施工安全方便,施工过程中的风险相对较小。

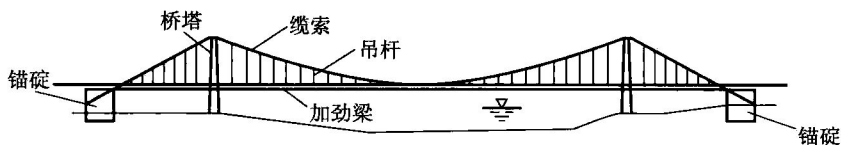


图 1.5 悬索桥

相对于其他体系的桥梁而言,悬索桥的刚度最小,属于柔性结构,在车辆荷载作用下,悬索桥将产生较大的变形。由于悬索桥的刚度小,其静、动力(如抗风等)稳定性应在设计和施工过程中予以高度的重视。

4) 刚架桥(或刚构桥)

桥跨结构主梁或板与墩台(或立柱)整体相连的桥梁称为刚架桥。由于梁和柱两者之间是刚性连接,在竖向荷载作用下,将在主梁端部产生负弯矩,在柱脚处产生水平反力。图 1.6(a)所示的门式刚架桥,梁部主要受弯,但其弯矩较同跨径的简支梁小,梁内还有轴力 H 作用,因此,刚架桥的受力状态介于梁桥与拱桥之间,如图 1.6(b)所示。刚架桥的跨中建筑高度可做得较小,因此,通常适用于需要较大的桥下净空和建筑高度受到限制的情况,如跨线桥、立交桥和高架桥等。

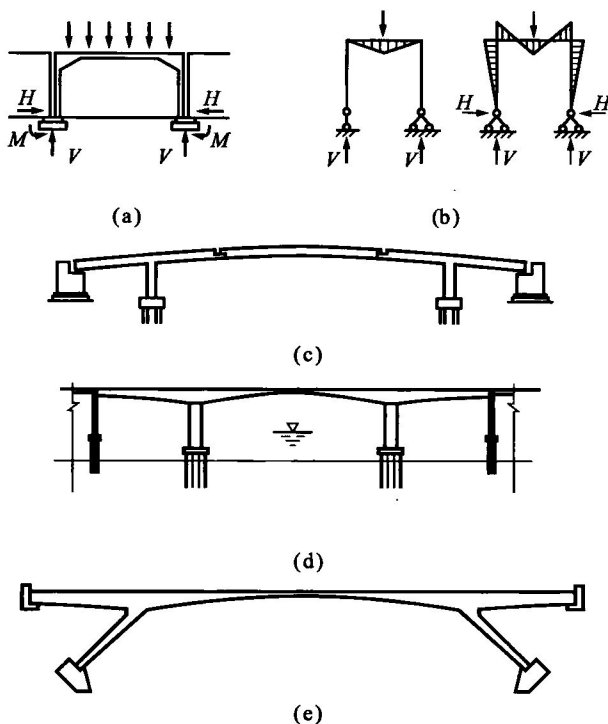


图 1.6 刚架桥

刚架桥在竖向荷载的作用下,一般都会产生水平推力,为此,必须要有良好的地质条件或用较深的基础,也可用特殊的构造措施来抵抗水平推力的作用。另外,刚架桥大多数为超静定结构,因此在混凝土收缩、徐变、温度变化及墩台不均匀沉陷和预应力等因素作用下,均会产生较大的附加内力,应在设计和施工中引起注意。

除了门式刚架桥外,另外还有 T 型刚架桥 [图 1.6(c)], 连续刚构桥 [图 1.6(d)], 斜腿刚架桥 [图 1.6(e)]。

对于大跨径的刚架桥一般均要承受正负弯矩的交替作用,主梁横截面宜采用箱形截面。

5) 斜拉桥

斜拉桥的上部结构由塔柱、主梁和斜拉索组成,如图 1.7 所示,斜拉桥实际上是梁式桥与吊桥的组合形式。它的主要受力特点是:斜拉索受拉力,它将主梁多点吊起(类式吊桥),将主梁的恒载和车辆等其他荷载传至塔柱,再通过塔柱传至基础和地基。塔柱以受



压为主。主梁由于被斜拉索吊起,它如同一多点弹性支承的连续梁,从而使主梁内的弯矩较一般梁式桥大大减小,这也是斜拉桥具较大跨越能力的主要原因。主梁由于同时受斜拉索水平力的作用,其基本受力特点为偏心受压构件。

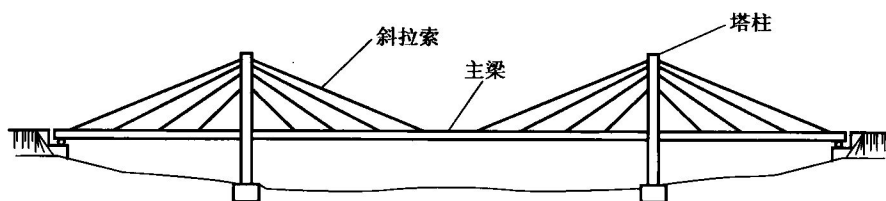


图 1.7 斜拉桥

斜拉桥的塔柱、拉索和主梁在纵向面内形成了稳定的三角形,因此,斜拉桥的结构刚度较悬索桥大,其抗风稳定性较悬索桥好。在目前所有的桥型中,斜拉桥的跨越能力仅次于悬索桥。但是,当斜拉桥的跨度很大时,悬臂施工的斜拉桥因主梁悬臂过长,承受斜拉索传来的水平压力过大,因而风险较大,塔也过高,外侧斜拉索过长,这也是斜拉桥跨越能力不能与悬索桥相比的主要原因。

2. 桥梁的其他分类

桥梁除了上述按受力特点分类外,另外还有按桥梁的用途、建桥的材料、大小规模等进行分类。

(1) 按用途来划分,可分为公路桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、水运桥(或渡桥)和管线桥等。

(2) 按主要承重结构用的材料来划分,有钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、圬工桥(包括砖、石、混凝土)、钢桥、钢—混凝土组合桥和木桥等。木材易腐,而且资源有限,因此,除了少数用于临时性桥梁外,一般不采用。

(3) 按桥梁总长跨径的不同来划分,有特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞。

我国《公路桥梁设计通用规范》(JTG D60—2004)规定了特大、大、中、小桥按总长和跨径的划分,见表 1-1。

表 1-1 桥梁按总长和跨径分类

桥梁分类	多孔跨径总长 L /m	单孔跨径 L_0 /m	桥梁分类	多孔跨径总长 L /m	单孔跨径 L_0 /m
特大桥	$L > 1000$	$L_0 > 150$	中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_0 < 40$
大桥	$100 \leq L \leq 1000$	$40 \leq L_0 \leq 150$	小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_0 < 20$

凡是多孔跨径的总长不到 8m 和单孔跨径不到 5m 的泄水结构物,均称为涵洞。

(4) 按跨越障碍的性质,可分为跨河桥、跨线桥(或立交桥)、高架桥和栈桥,高架桥一般指跨越深沟峡谷以代替高路堤的桥梁,以及在城市中跨越道路的桥梁。

(5) 按上部结构的行车道位置,分为上承式桥、中承式桥和下承式桥。桥面布置在承重结构上的称为上承式桥;桥面布置在承重结构之下的称为下承式桥;桥面布置在桥跨结构高度中间的称为中承式桥。

(6) 按桥跨结构的平面布置,可分为正立桥、斜交桥和弯桥(或曲线桥)等。

1.2 桥梁发展状况

1.2.1 桥梁发展的基本历程

纵观世界桥梁建筑的发展史，它同社会上的其他事物一样，也是随着社会生产力的发展而发展的。

17 世纪中期以前，人们主要运用木材、砖、石等建造桥梁，并且受到当时生产力的限制，其跨径较小。到了 18 世纪，第一次工业革命出现了蒸汽机和动力机械等，生产力得到了较大的发展。18 世纪，第一次工业革命，尤其是 19 世纪中叶钢材的出现，使桥梁的发展获得了第一次飞跃，跨度不断增加。到了 20 世纪，钢筋混凝土的应用，以及 20 世纪 30 年代预应力混凝土技术及高强钢材的出现，使桥梁建筑获得了廉价、耐久，且刚度和承载力均较大的建筑材料，从而推动桥梁的发展产生第二次飞跃。20 世纪 50 年代之后，随着计算机和有限元计算方法的出现，大大提高了人们的计算能力，使得大规模的结构计算变为可能，从而推动了桥梁工程向更大跨径方向发展，实现了桥梁建设的第三次飞跃。

总之，桥梁建设发展至今，经历了以上 3 次飞跃，它是伴随着建筑材料、生产力水平和计算能力的发展，而不断发展的。

1.2.2 我国桥梁建设成就

我国作为世界四大文明古国之一，拥有着悠久的历史文化。我们的祖先在世界桥梁史上谱写了许多光辉灿烂的篇章。

根据史料记载，在距今约三千年的周文王时期，我国就已在宽阔的渭河上架设过大型浮桥。在春秋战国时期(公元前 332 年)已在黄河流域和其他地区修建了多孔桩柱式桥梁，以木材为墩柱，上置木梁、石梁等。

在古代，我国的桥梁以石桥居多。举世闻名的河北赵县的赵州桥(图 1.8)，又称安济桥，是隋大业初年(公元 605 年李春所建)。它是我国古代石拱桥的杰出代表。该桥是一座空腹式圆弧形石拱桥，净跨 37.02m，宽 9.0m，拱矢高 7.23m，在拱圈两肩上各设有两个不等跨的腹拱，这样既减轻了桥身自重、节省材料，又便于排洪并且增加美观。赵州桥设计构思和施工工艺，当时不仅在我国首屈一指，且在世界上为领先水平，像这样敞肩式拱桥，欧洲到 19 世纪中叶才出现，比我国晚了 1200 多年，该桥桥头关帝阁有一副对联为“船从碧玉环中过，人在苍龙背上行”，这是对该桥的一个真

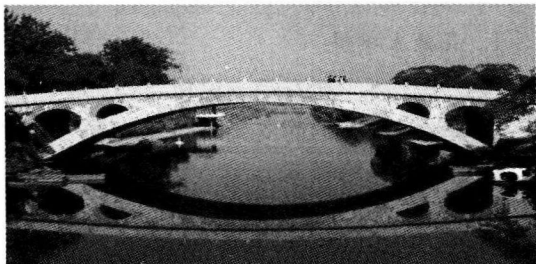


图 1.8 河北赵县赵州桥



实写照,它不愧为我国文物宝库中的艺术珍品。

我国于1053—1059年在福建泉州建筑的万安桥,也称洛阳桥,是世界上现存的最长、工程最艰巨的石梁桥,该桥长达1106m,共47孔。万安桥位于波涛汹涌的海口江面上,以磐石铺遍桥位的江底,是建桥史上筏形基础的首创,并且用养殖海生牡蛎的方法胶固桥梁基础成为整体,此属世界上绝无仅有的建桥技术。近千年来,能在如此复杂的水文条件下建成如此的长桥,也是世界上罕见的。

1240年建造的福建漳州虎渡桥,也是令人惊奇的一座梁式石桥(图1.9),该桥总长335m,其中石梁长达23.7m。

建于中唐时代的宝带桥(图1.10),是现存世界上最长的条孔薄墩连拱桥,共53孔,全长316.8m,如千尺卧虹,巧夺天工。

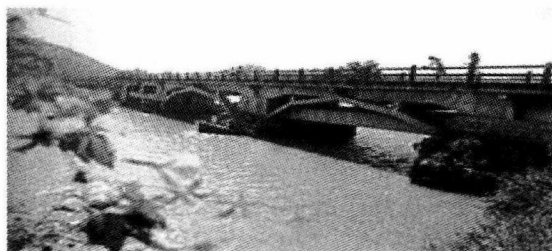


图1.9 福建漳州虎渡桥



图1.10 宝带桥

著名的石拱桥还有北京永定河上的卢沟桥、颐和园内的玉带桥、十七孔桥和苏州的枫桥等。

然而,由于我国封建社会的长期统治,严重束缚了生产力的发展。到了18世纪和19世纪西方资本主义国家出现了第一次工业革命和第二次工业革命,纷纷进入了工业化的快速发展阶段,而我国都仍然闭关自守,导致我国生产力的发展远远落后于西方国家。在桥梁建设方面,由于生产力的落后,处于停滞不前状态。到解放前,我国绝大多数桥梁仍为木桥、石桥等,且年久失修、破烂不堪。即使不时也修过一些钢桁架桥、吊桥和钢筋混凝土桥等,但与当时世界上桥梁建筑技术相比,已是处于非常落后的状态。

解放以后,尤其是20世纪80年代改革开放以来,我国的综合国力及生产力得到了迅速增强,科技水平迅速提高,我国的交通事业也随之得到快速发展。特别是20世纪90年代以来大力发展高等级公路建设,使得我国的桥梁工程得到了空前的发展,取得了巨大的成就。目前我国在桥梁建设方面,已经跻身世界先进行列。

1. 混凝土梁桥

混凝土梁桥主要有简支梁桥、连续梁桥、连续刚构桥等。

我国跨径最大的简支梁桥是于1997年建成的,昆明南过境干道高架桥——预应力混凝土简支梁桥,跨径63m。

1991年建成的云南库怒江大桥,为预应力混凝土箱形截面连续梁桥,主跨跨径为 $(85+154+85)\text{m}$;2001年7月建成的南京长江第二大桥北汊桥,主跨为 $(90+3\times 165+90)\text{m}$,是我国目前跨径最大的预应力混凝土连续梁桥(图1.11),在同类型中居亚洲第一。

连续刚构桥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、方便对称平衡悬臂施工的优点,同时又避免了连续梁和T型刚构的缺点,因此,连续刚构桥在我国得到了快速发展。

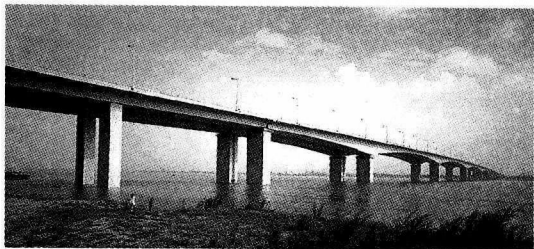


图 1.11 南京长江第二大桥北汉桥

早在 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,跨径为 $(65+125+180+110)\text{m}$ 。1996 年又建成了湖北黄石长江大桥,主跨为 245m,主桥连续长达 1060m。1997 年建成的广东虎门辅航道桥,连续刚构跨径为 $(150+270+150)\text{m}$,该桥建成时居同类桥世界第一。

2003 年建成的云南元江大桥(连续刚构)如图 1.12 所示,主跨 265m,中墩高 123.5m,成为同类型桥世界第一高桥。

2. 拱桥

拱桥是我国最常用的桥型之一,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。

1990 年建成的湖南凤凰鸟巢河桥(图 1.13),主跨 120m,其主拱圈由两条宽 2.5m 的石板拱组成,板肋间用钢筋混凝土横梁联系,该桥为是当时世界最大跨径的石拱桥。



图 1.12 云南元江大桥

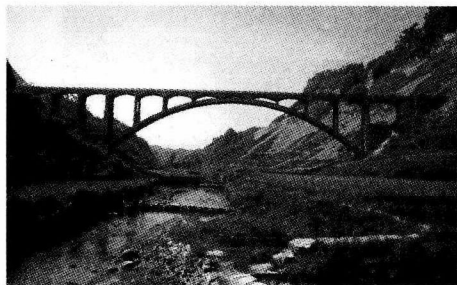


图 1.13 湖南凤凰鸟巢河桥

1999 年建成的山西晋城至河南焦作高速公路上的新丹河大桥,该桥跨径 146m,桥梁全长 425.6m,主跨 146m,主拱圈采用 80 号大料石砌成。该单跨跨径居世界同类桥型首位。

钢管混凝土拱桥是在我国 20 世纪 90 年代兴起的一种大跨径拱桥。该桥型是先合龙自重轻、强度高的钢管拱圈,并将其用作施工拱架,再往钢管内压注高强混凝土,形成承载能力大的主拱圈。用该方法分别于 1995 年建成了广东南海三山西大桥,跨径为 200m;1998 年建成了广西三岸邕江大桥,主跨为 270m;2000 年建成了广州丫髻沙大桥,主跨为 360m;2005 年 1 月 8 日竣工通车了重庆巫山长江大桥,主跨为 492m(图 1.14),为该类桥型的世界第一;2006 年底建成了湖南益阳茅草街大桥,是主跨为 368m 的自锚式中承钢管混凝土拱桥。

1997 年建成了重庆万县长江大桥,主跨为 420m(图 1.15),为世界上跨径最大的以钢管混凝土作为劲性骨架的钢筋混凝土拱桥。