



21世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

桥梁 工程技术

Qiaoliang
Gongcheng Jishu

◇主编 申 建 李辅元



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

桥梁工程技术

主 编 申 建 李辅元
副主编 于 辉 郭 梅 慕 平 孟凡成
主 审 王连威



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

前言

桥梁工程技术是土木工程专业的一门重要的专业课。本书是根据全国交通高等教育路桥工程学科委员会制定的土木工程专业学生培养目标、培养方案,以及相应的教材编写大纲而编写的。考虑到目前交通路桥专业高等教育的实际情况,在教材编写过程中以“理论上够用为度,注重实践”为原则。

本书共六篇二十二章,第一篇为总论(第一章至第四章),介绍桥梁的发展概况、桥梁的分类、设计程序和设计原则、作用及其分类和确定方法、桥面组成和布置;第二篇为钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥(第五章至第十章),介绍梁桥的一般特点及分类、板桥的构造、装配式简支梁桥的构造、简支梁桥的计算、桥梁支座超静定梁桥的构造设计要点;第三篇为圬工和钢筋混凝土拱桥(第十一章至第十二章),介绍拱桥构造和设计要点;第四篇为桥梁墩台(第十三章至第十五章),介绍桥梁墩台的构造、墩台的设计计算要点;第五篇为涵洞(第十六章至第十七章),介绍涵洞的类型和构造、涵洞的分类和有关计算;第六篇为桥梁施工技术(第十八章至第二十二章),介绍了桥梁上部结构和下部结构施工工艺和方法、涵洞的施工等。

参与本书编写的人员有:申建、李辅元、于辉、郭梅、慕平、孟凡成、汤宏丽、徐静涛、范庆华、朱春风、王东杰、李长成、李月姝、钟沂平、王雨楠、赵金云、李瑞涛、徐词、张月、于文瑞。本书由申建、李辅元担任主编,于辉、郭梅、慕平、孟凡成担任副主编。全书由王连威教授主审。具体分工情况为:第一章、第二章、第三章、第八章、第十八章、第二十二章由申建编写,第十六章、第十七章由李辅元编写,第四章、第五章由郭梅编写,第六章、第九章由于辉编写,第七章、第十章由慕平编写,第十九章由孟凡成编写,第十一章由汤宏丽和徐静涛编写,第十二章由范庆华和朱春风编写,第十三章由王东杰和李瑞涛编写,第十四章由李长成和李月姝编写,第十五章由钟沂平和王雨楠编写,第二十章由赵金云和于文瑞编写,第二十一章由徐词和张月编写。全书由申建统稿。

在教材编写过程中,得到了北京理工大学出版社刘翠英和孟丽华的大力支持和帮助,同时,附于书后的主要参考文献的作者们对本书的完成给予了巨大支持,在此一并致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,编写时间也较紧迫,书中若有不妥和谬误之处,敬请读者批评指正,在此表示衷心感谢。

编者

目 录

第一篇 总 论

第一章 概述.....	1
第一节 桥梁的基本组成和分类.....	1
第二节 桥梁发展状况.....	7
第二章 桥梁总体设计	14
第一节 桥梁总体规划原则及基本设计资料	14
第二节 桥梁纵、横断面设计和平面布置	15
第三节 桥梁设计与建设程序	20
第四节 桥梁设计方案比选	22
第三章 公路桥梁上的作用及作用效应组合	26
第一节 作用的分类	26
第二节 作用的选定和作用效应组合	27
第三节 作用的规定与计算	31
第四章 桥面布置与构造	44
第一节 桥面组成与布置	44
第二节 桥面铺装	45
第三节 桥面防水排水设施	47
第四节 桥面伸缩装置和桥面连续	49
第五节 人行道、栏杆与灯柱	53

第二篇 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥

第五章 梁式桥的一般特点及分类	56
第一节 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥的一般特点	56
第二节 梁式桥的主要类型及适用条件	57
第六章 板桥的构造	62
第一节 板桥的特点及分类	62
第二节 简支板桥的构造	63
第三节 斜交板桥的受力特征与构造特点	68

第七章 装配式简支梁桥的构造	72
第一节 装配式简支梁桥的构造类型	72
第二节 装配式钢筋混凝土简支梁桥	75
第三节 装配式预应力混凝土简支梁桥	84
第八章 简支梁桥的计算	90
第一节 行车道板的计算	90
第二节 荷载横向分布系数的计算	98
第三节 主梁内力计算	114
第九章 桥梁支座	119
第一节 概述	119
第二节 桥梁支座的设置原则	120
第三节 桥梁支座的类型和构造	121
第四节 板式橡胶支座的设计计算	125
第十章 超静定混凝土梁桥的构造设计要点	131
第一节 钢筋混凝土悬臂和连续体系梁桥的构造和设计要点	131
第二节 预应力混凝土连续梁桥	132

第三篇 圬工和钢筋混凝土拱桥

第十一章 拱桥的构造	135
第一节 拱桥的受力特点及适用范围	135
第二节 拱桥的构造和主要类型	136
第三节 主拱圈的构造	138
第四节 拱上建筑的构造	149
第十二章 拱桥的设计要点	156
第一节 拱桥的总体设计	156
第二节 拱轴线形的选择和拱上建筑的布置	157
第三节 拱桥主要尺寸的拟定	158
第四节 拱桥上部构造体积计算	160

第四篇 桥梁墩台

第十三章 桥梁墩台的构造	162
第一节 概述	162
第二节 桥墩构造	163
第三节 桥台构造	170

第十四章 桥墩计算	179
第一节 作用及其作用效应组合.....	179
第二节 重力式桥墩计算.....	183
第三节 桩柱式桥墩的计算.....	197
第十五章 桥台计算	200
第一节 重力式桥台的计算.....	200
第二节 梁桥轻型桥台的计算特点.....	202

第五篇 涵 洞

第十六章 涵洞的类型与构造	206
第一节 涵洞的分类.....	206
第二节 涵洞的洞身和洞口构造.....	207
第三节 涵洞勘测设计.....	213
第十七章 涵洞的设计计算	217
第一节 涵洞长度计算.....	217
第二节 洞口建筑工程数量计算.....	219

第六篇 桥梁施工技术

第十八章 桥梁施工准备与测量	223
第一节 概述.....	223
第二节 桥梁施工方法的分类与选择.....	225
第三节 桥梁施工准备工作.....	230
第四节 桥位施工测量.....	233
第十九章 梁式桥上部结构的施工	241
第一节 钢筋混凝土简支梁桥的施工工艺.....	241
第二节 装配式简支梁的运输、安装和连接.....	252
第三节 预应力混凝土简支梁桥的施工工艺.....	266
第四节 悬臂施工法.....	280
第二十章 圬工和钢筋混凝土拱桥的施工	298
第一节 拱桥的有支架施工.....	298
第二节 拱桥的悬臂浇筑施工.....	307
第三节 拱桥的装配式施工.....	309
第四节 钢管混凝土拱桥的施工.....	320
第五节 拱桥的转体施工.....	326

第二十一章 桥梁墩台施工	334
第一节 明挖扩大基础施工.....	334
第二节 桩基础施工.....	338
第三节 混凝土和石砌墩台的施工.....	347
第二十二章 涵洞的施工	357
第一节 施工准备工作和施工放样.....	357
第二节 各种类型涵洞施工技术.....	358
参考文献	374

第一篇 总 论

第一章

概 述

学习要点：主要阐述了桥梁的基本组成部分、主要尺寸和术语名称、桥梁的类型和结构体系，国内外桥梁发展的概况。

自 20 世纪 80 年代以来，我国道路、桥梁建设得到了飞速的发展，交通运输环境 and 能力得到了巨大的改善，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非常重要的作用。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。桥梁是保证道路全线贯通的咽喉，“一桥飞架南北，天堑变通途”，特别是在战争时期，桥梁具有非常重要的战略地位。

桥梁工程是土木工程中最具挑战性的领域。纵观世界各国的大城市，常以工程雄伟且美观的大桥作为城市的标志与骄傲。因而，桥梁建筑已不单纯是作为交通线上重要的工程实体，而是常常作为一种空间艺术品存在于社会之中，并被人们传颂。

近二十几年来，我国的桥梁无论是在建设规模方面，还是在技术水平方面，均已跻身于世界先进行列。各种功能齐全、造型美观的高架桥和立交桥，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涌现。

我国幅员辽阔，大小山脉和江河湖泊纵横全国。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，我国的道路与桥梁建设任务仍然十分艰巨。广大桥梁建设者将面临新结构、新工艺及新材料的挑战，肩负着促进我国建设光荣而艰巨的历史使命。

第一节 桥梁的基本组成和分类

一、桥梁的基本组成

桥梁一般由三个基本部分组成，即上部结构、下部结构和支座。图 1-1 和图 1-2 所示，分别为公路桥中的梁式桥和拱式桥的概貌。

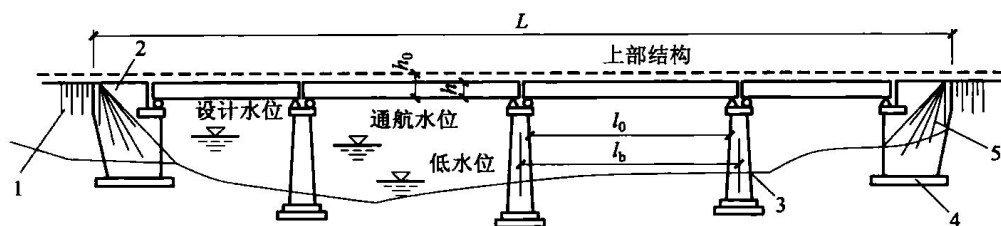


图 1-1 梁式桥概貌

1—路堤；2—桥台；3—桥墩；4—基础；5—锥形护坡

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。

下部结构包括桥墩、桥台和基础。

桥墩和桥台用来支撑上部结构，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，还起到了抵御路堤的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。

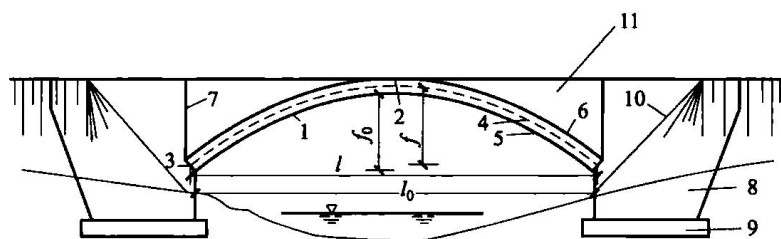


图 1-2 拱式桥概貌

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

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，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之一。

支座设置在墩台的顶部，用于支撑上部结构的传力装置，它不仅要传递很大的荷载，还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，如图 1-1 所示，以保证迎水部分路堤边坡的稳定。另外，根据需要还常常要进行修筑护岸、导流结构物等附属工程。

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，称为设计水位（或称设计洪水位）；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

(1) 净跨径。对于梁式桥，是指设计水位相邻两个桥墩（或桥台）之间的水平净距，用 l_0 表示，如图 1-1 中所示；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,如图 1-2 所示。

(2) 总跨径。总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径之总和 ($\sum l_0$),它反映了桥下泄洪的能力。

(3) 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水平距离;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。

(4) 标准跨径 L_k 。对于梁式桥、板式桥是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(如图 1-1 中的 l_b);拱桥和涵洞以净跨径为准。根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定,我国公路桥涵当标准设计或新建桥涵的跨径在 50 m 及以下时,宜采用标准化跨径。桥涵标准跨径为 0.75 m、1.0 m、1.25 m、1.5 m、2.0 m、2.5 m、3.0 m、4.0 m、5.0 m、6.0 m、8.0 m、10 m、13 m、16 m、20 m、25 m、30 m、35 m、40 m、45 m、50 m。

(5) 桥梁全长(简称桥长)。对于有桥台的桥梁,是指两岸桥台后端点之间的水平距离;对于无桥台的桥梁,则是指桥面系行车道的长度,用 L 表示。

3. 高度和净空

(1) 桥梁高度(简称桥高)。桥梁高度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。

(2) 桥下净空。为了满足通航、行车或行人等需要,并保证桥梁结构安全,而对上部结构底缘以下所规定的净空间的界限,《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中有专门的规定。

(3) 桥面净空。桥面净空是指桥梁行车道、人行道上方应保持的净空间界限,对于公路、铁路和城市桥梁,《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中也有相应的规定。

(4) 桥梁建筑高度。桥梁建筑高度是指上部结构底缘至桥面顶面的垂直距离,如图 1-1 中所示的 h_0 。

(5) 桥梁的容许建筑高度。桥梁的容许建筑高度是指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。因此,桥梁设计的建筑高度不得大于容许建筑高度,否则,就不能保证桥下通航或行车等要求。

(6) 净矢高(对拱桥而言)。净矢高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,如图 1-2 所示。

(7) 计算矢高。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,如图 1-2 所示。

二、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、材料和规模等的区别,有不同的桥梁分类方法,下面分别加以介绍。

(一) 按桥梁受力体系

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,可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. 梁式桥

梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构,如图 1-3 (a)、(b) 所示,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,其跨径一般不大于 25 m,当跨径较大时,应采用预应力混凝土,但其跨径一般不宜超过 50 m。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。

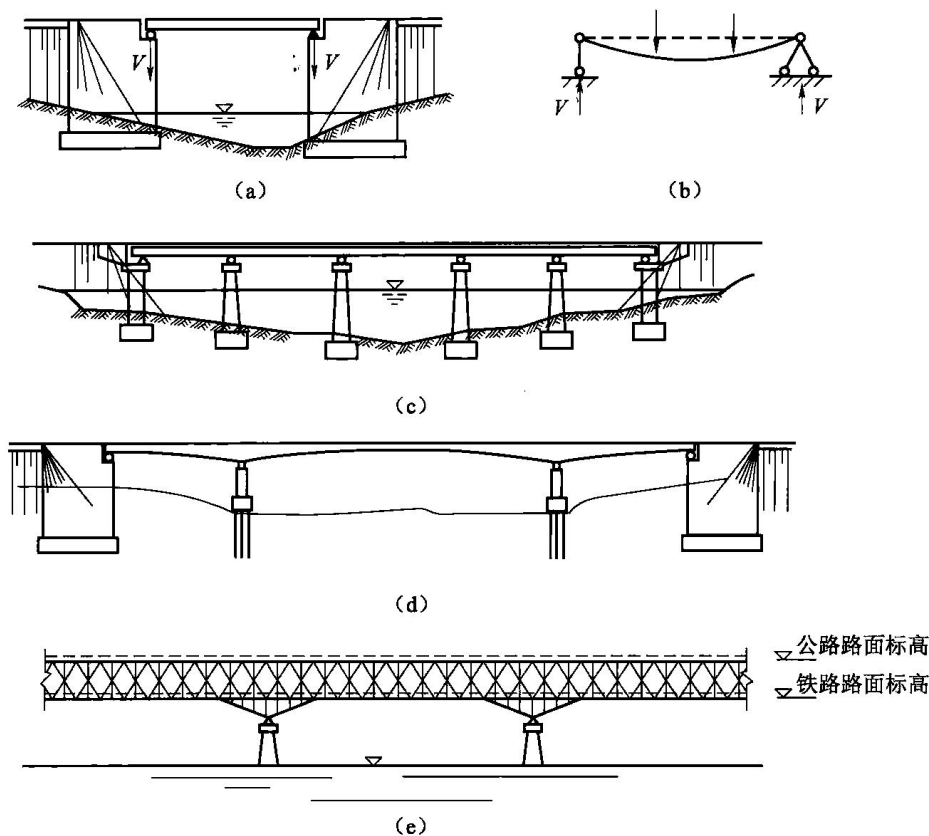


图 1-3 梁式桥

2. 拱式桥

拱式桥的主要承重结构是主拱圈或拱肋,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,与同等跨径的梁式桥相比,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)和钢筋混凝土来建造。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)和地基必须具备能承受很大水平推力的能力。一般应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、钢材等制作。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。

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(拱肋)的不同位置,拱桥可分为3种:上承式,如图1-4(a)所示;中承式,如图1-4(d)所示;下承式,如图1-4(c)所示。

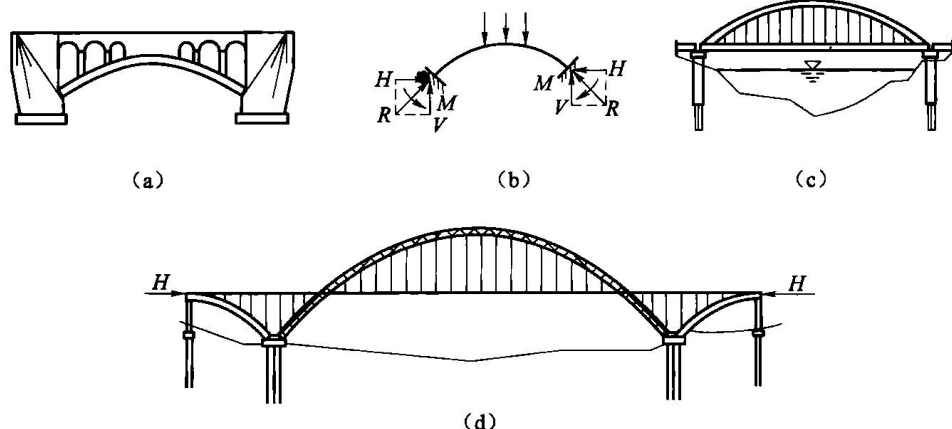


图1-4 拱式桥

3. 悬索桥(也称吊桥)

悬索桥的承重结构,包括缆索、桥塔、加劲梁、锚碇及吊杆,如图1-5所示。在桥面系竖向荷载作用下,通过吊杆使缆索承受巨大的拉力,缆索悬跨在两边塔柱上,锚固于两端的锚碇结构中,锚碇承受缆索传来的巨大拉力,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。现代悬索桥的缆索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,在将缆索架设完成之后,便形成了强大稳定的结构支撑系统,使得加劲梁的施工安全方便,施工过程中的风险相对较小。

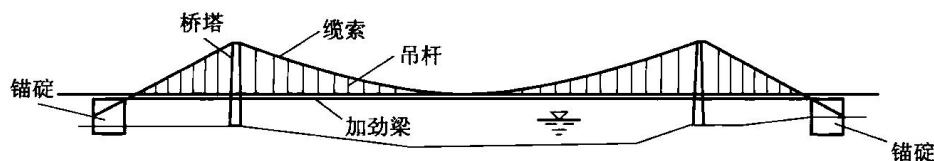


图1-5 悬索桥

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

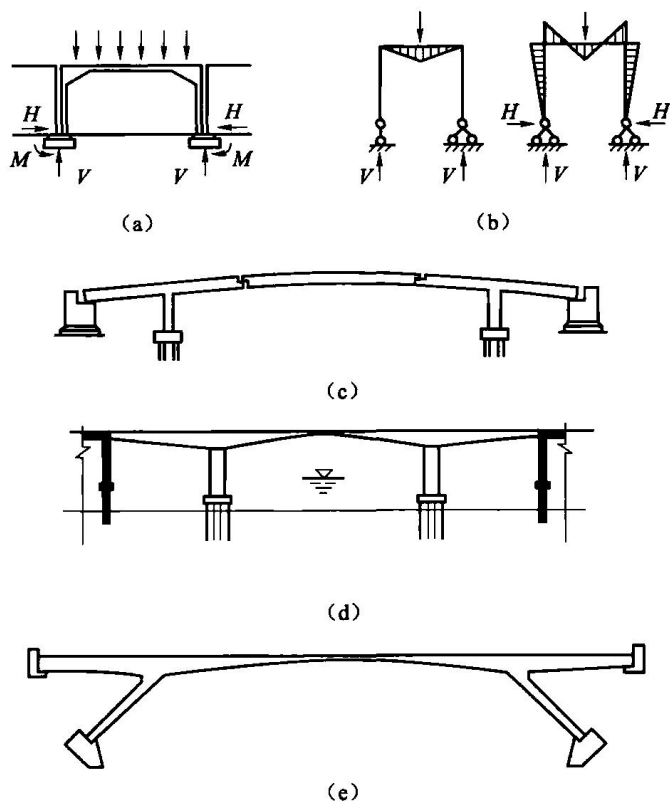


图 1-6 刚架桥

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，如图 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。

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，故在混凝土收缩、徐变、温度变化、墩台不均匀沉降和预应力

等因素的作用下，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 形刚架桥，如图 1-6 (c) 所示；连续刚构桥，如图 1-6 (d) 所示；斜腿刚架桥，如图 1-6 (e) 所示。

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（类似吊桥），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撑的连续梁，从而使主梁内的弯矩较一般梁式桥大大减小，这也是斜拉桥具有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，因此为压弯构件。

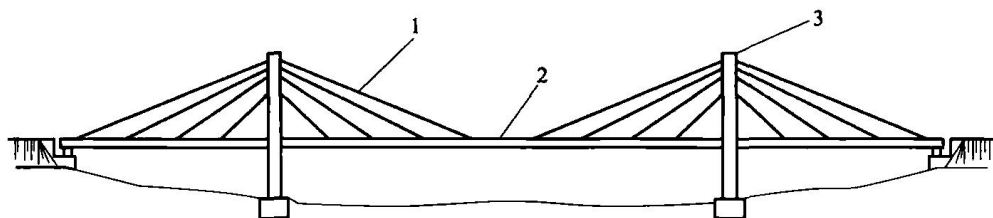


图 1-7 斜拉桥

1—斜拉索；2—主梁；3—塔柱

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。

(二) 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) 按主要承重结构采用的材料来划分，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) 按桥梁总长和跨径的不同来划分，有特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞。

我国《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)，规定了特大、大、中、小桥按总长和跨径的分类，如表 1－1 所示。

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_k/m
特大桥	$L > 1\,000$	$L_k > 150$
大桥	$100 \leq L \leq 1\,000$	$40 \leq L_k \leq 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$
涵洞	—	$L_k < 5$

凡是多孔跨径的总长不到 8 m 和单孔跨径不到 5 m 的泄水结构物，均称为涵洞。管涵和箱涵不管孔数多少、跨径多大都只能叫涵洞。

(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。桥面布置在主要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，可分为正交桥、斜交桥和弯桥（或曲线桥）。

(7) 按特殊使用条件分为开启桥、浮桥、漫水桥等。

第二节 桥梁发展状况

一、桥梁发展的基本历程

在 17 世纪中期以前，由于生产力的落后，没有动力机械，当时用于桥梁的材料基本上

是木材、砖、石、土等。由于当时生产力和材料的限制,桥梁跨径都比较小。到了18世纪,第一次工业革命,出现蒸汽机和动力机械等,生产力得到了较大的发展。后来19世纪又出现了钢材,使桥梁工程的发展出现了第一次飞跃,桥梁的跨径从几十米发展到了几百米。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,从而大大推动了桥梁的发展,我们称之为桥梁建设的第二次飞跃。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。

桥梁建设发展至今,经历了以上三次飞跃,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。

二、我国桥梁建设成就

我国有着悠久的历史文化,是世界文明发达最早的国家之一。在桥梁建设方面,我们的祖先在世界桥梁建筑史上写下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,用木材作为墩柱,上置木梁、石梁等。

在我国古代,修建的桥梁用材最多的是石桥,举世闻名的河北赵县的赵州桥,又称安济桥,是我国古代石拱桥的杰出代表,为隋大业初年(公元605年左右)李春所创建。该桥是一座空腹式圆弧形石拱桥,净跨37.02 m,宽9.0 m,拱矢高7.23 m,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、节省了材料,又便于泄洪和增加美观。赵州桥的设计构思和工艺,在当时不仅在我国首屈一指,在世界上也处于领先水平,像这样的敞肩式拱桥,欧洲到19世纪中叶才出现,比我国晚了一千二百多年。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实写照,它不愧为我国文物宝库中的艺术珍品。

我国于1053年至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800多米,共47孔,位于波涛汹涌的海口江面上。此桥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。近千年前,就能在如此复杂的水文条件下建成这样的长桥,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,该桥总长335 m,其中某些石梁长达23.7 m。

建于中唐时代的宝带桥,是世界上现存最长的多孔薄墩连拱桥,共53孔,全长316.8 m,犹如千尺卧虹,技艺巧夺天工。

另外,还有许多著名的石拱桥,如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。18世纪和19世纪西方资本主义国家产生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,而我国却仍然闭关自守,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,其发展处于停滞不前的状态。到新中国成立前,我国绝大多数桥梁

仍为木桥、石桥等,且年久失修、破烂不堪。虽然那时我国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。

新中国成立以后,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,并跨入了世界前列。

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63 m。

1991年建成的云南六库怒江大桥,为预应力混凝土箱形截面连续梁桥,主跨跨径为85 m + 154 m + 85 m; 2001年7月建成的南京长江第二大桥——北汊桥,主跨为90 m + 3 × 165 m + 90 m,是我国目前跨径最大的预应力混凝土连续梁桥,在同类桥型中居亚洲第一。

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形刚构不设支座和方便对称平衡悬臂施工的优点,同时又避免了连续梁和T形刚构的缺点。因此,连续刚构桥在我国得到快速发展。

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 m + 125 m + 180 m + 110 m。1996年又建成了湖北黄石长江大桥,主跨为245 m,主桥连续长达1 060 m。1997年建成的广东虎门辅航道桥,连续刚构跨径为150 m + 270 m + 150 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),主跨265 m,中墩高123.5 m,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,跨径120 m,其主拱圈由两条宽2.5 m的石板拱组成,板肋间用钢筋混凝土横梁联系,该桥为当时我国的石拱桥之最。

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146 m,主拱圈用80号大料石砌成,为当今世界第二大跨径的石拱桥。

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。该种桥是先合龙、自重轻、强度高的钢管拱圈,并将其用做施工拱架,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200 m;于1998年建成了广西三岸邕江大桥,主跨为270 m;于2000年建成了广州丫髻沙大桥,主跨360 m;于2005年1月竣工通车的重庆巫山长江大桥,主跨492 m,如图1-8所示,为该类型世界第一;于2006年年底建成的湖南益阳茅草街大桥,是主跨为368 m的自锚式中承钢管混凝土拱桥。

1997年建成的重庆万县长江大桥,主跨420 m,如图1-9所示,为世界上跨径最大的用钢管混凝土作为劲性骨架的钢筋混凝土拱桥。

2003年建成的上海卢浦大桥,如图1-10所示,是世界上跨径最大的拱桥,拱肋为全焊钢箱结构,是中承式系杆拱桥,主跨跨径达到了550 m。

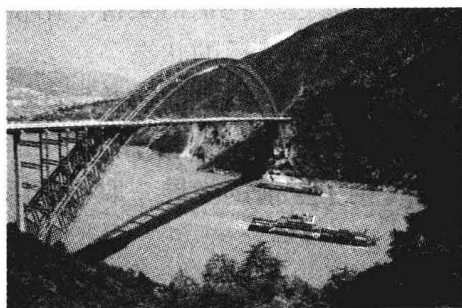


图 1-8 重庆巫山长江大桥

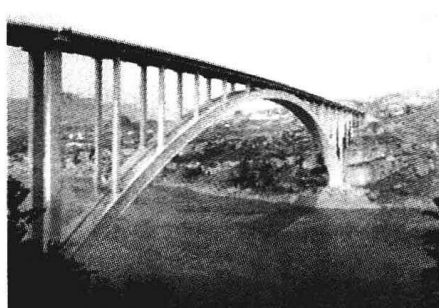


图 1-9 重庆万县长江大桥

1995 年建成的贵州江界河大桥, 如图 1-11 所示, 是一座跨度达 330 m 的桁架式组合拱桥, 居世界同类桥型之首。



图 1-10 上海卢浦大桥

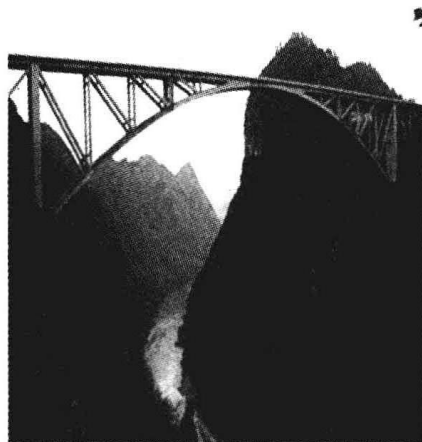


图 1-11 贵州江界河大桥

3. 斜拉桥

斜拉桥的应用与发展在我国起步较晚, 1975 年建成的跨径为 76 m 的四川云阳桥是我国第一座斜拉桥。20 世纪 90 年代之后, 斜拉桥在我国得到了迅速的发展, 修建了一系列跨大江河流的特大跨径斜拉桥。据不完全统计, 我国已建成的斜拉桥有 100 余座, 其中跨径大于 400 m 的已达 20 余座, 为世界之首。1993 年建成的上海杨浦大桥, 跨径 602 m (在当时属世界第一); 1998 年建成的香港汀九桥为一座三塔斜拉桥, 主跨跨径为 448 m + 475 m; 2001 年建成的福建青州闽江大桥, 主跨跨径为 605 m, 均为钢-混凝土组合梁斜拉桥 (即中跨为钢结构, 边跨为混凝土结构)。其中青州闽江大桥为组合梁斜拉桥跨径的世界第一。

混凝土主梁的斜拉桥有 1993 年建成的湖北郧阳汉江大桥, 跨径 414 m; 1995 年建成的安徽铜陵长江大桥, 跨径 432 m; 1996 年建成的重庆长江二桥, 跨径 444 m; 2001 年建成的重庆大佛寺长江大桥, 跨径 450 m; 2002 年建成的湖北荆州长江大桥, 跨径达 500 m。

2001 年分别建成的跨径 628 m 的南京长江二桥和跨径为 460 m 的武汉军山大桥, 均为钢主梁斜拉桥。2005 年竣工通车的南京长江三桥跨径为 648 m 钢箱形梁、钢塔斜拉桥。于 2003 年开发建设的江苏苏通长江大桥, 主跨 1 088 m。香港昂船洲大桥, 主跨 1 018 m, 将