



Qiaoliang
Gongcheng Gailun



高等学校土木工程专业系列教材 —— 桥梁工程

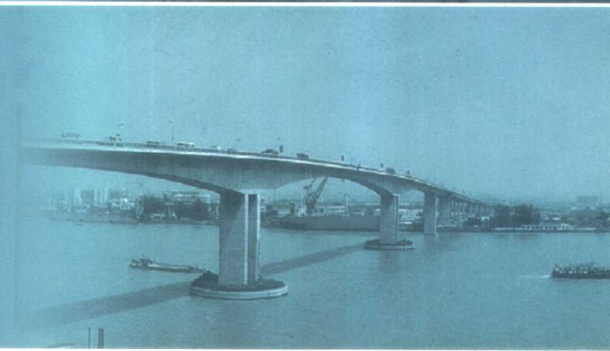
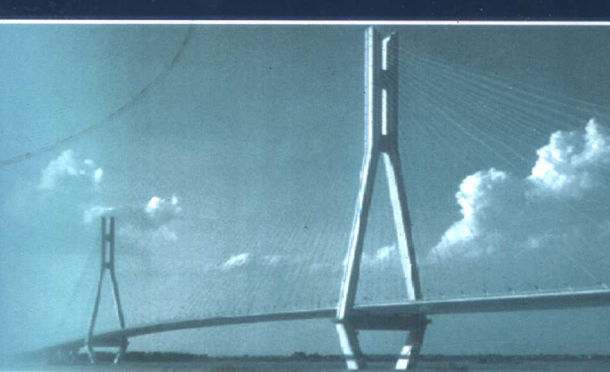
桥梁工程概论

(第二版)

李亚东 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



高等学校土木工程专业系列教材——桥梁工程

桥梁工程概论

(第二版)

李亚东 主编



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

本书是桥梁工程的一本入门教材。全书共分十章,较广泛地介绍了公路、铁路桥梁工程的基本特点、主要构造特征、设计和计算理论要点以及施工建造方面的知识。本书除可作为土木工程专业的本科教学用书外,亦可供从事于桥梁工程的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程概论 / 李亚东主编. —2版. —成都: 西南交通大学出版社, 2006.2
(高等学校土木工程专业系列教材. 桥梁工程)
ISBN 7-81104-196-0

I. 桥... II. 李... III. 桥梁工程—高等学校—教材 IV. U44

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第004437号

高等学校土木工程专业系列教材——桥梁工程

桥 梁 工 程 概 论

(第二版)

李亚东 主编

*

责任编辑 张 波

责任校对 韩松云

封面设计 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 18.75

字数: 460千字 印数: 19 001—23 000册

2006年2月第2版 2006年2月第6次印刷

ISBN 7-81104-196-0/U·020

定价: 30.00元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

再 版 前 言

本教材在 2001 年 1 月初版, 后多次重印。近年来, 随着桥梁工程的迅猛发展, 尤其是我国新一代公路桥梁设计规范的颁布, 有必要对教材进行适时修订。

再版教材仍着重于综合介绍桥梁工程的基本特点、主要构造特征、设计和计算理论要点以及桥梁施工方面的知识, 并保持了原教材在编排上的三个特点: 即在内容上兼容公路和铁路桥梁的知识, 在叙述上注重强调基本原理和概念, 在信息上注意介绍桥梁工程的最新成果和新技术的应用。

主要修订内容包括: 在第一章中增加了反映桥梁工程最新进展的信息; 按新的公路桥梁设计规范修订了第三章; 对调了原第九章与第十章的位置; 删除了原教材中的第十一章(计算机辅助桥梁设计); 增加了各类桥梁的跨度排序作为附录。除此之外, 还对全书文字内容和插图进行了增删、订正和调整。

本教材的授课学时可采用 34 或 51, 教师可根据实际情况对讲授内容进行取舍或增删。对部分专业名词, 列出其英文名称, 以便对照。每章后附有若干思考题, 供学生练习。

在教材编写中, 参考引用了国内外大量有关桥梁工程的专著、教材和文献。借修订再版之际, 再次向这些专著、教材和文献的作者们表示敬意和谢意。

由于编者水平有限, 编写时间紧迫, 教材中谬误或不当之处在所难免, 恳望读者批评指正, 以便今后完善。

李 亚 东

2005 年 12 月于西南交通大学东园

Homepage: <http://bridge.swjtu.edu.cn>

Email: ydli@home.swjtu.edu.cn

第一版前言

为适应和配合目前进行的专业调整、课程体系和教学内容的修订,结合国家教委在土木类教学改革方面的研究和试点工作,编写了该教材。

《桥梁工程概论》是土木工程专业的一门必修课,是桥梁工程的入门教材。学生在学习了《结构力学》、《结构设计原理》等课程的基础上,通过本课程的学习,能达到了解和掌握桥梁工程的基本特点、主要构造特征、设计和计算理论要点以及桥梁施工方面的知识的目的。

本教材在编排上有以下几个特点:一是在内容上包括了公路和铁路桥梁的知识,避免了以往教材偏重于公路或铁路桥梁的情况,并在内容选编上注意公、铁路桥梁的共性与个性的关系;二是因教材篇幅有限,在论述上注重阐述基本原理和概念,避免对规范条文和计算公式作冗长的解释,突出常规桥梁(公、铁路简支梁桥上、下部结构)的设计与施工内容;三是力图较全面地介绍桥梁工程的最新进展和新技术的应用。

本教材共分十一章。在第一章概论中,主要介绍桥梁的组成、分类和结构体系以及桥梁建筑的成就、现状和发展。第二章桥梁的规划与设计包括桥梁设计原则和科学依据、建桥程序、规划设计和初步设计以及桥梁结构的造型和美学观点等内容。这两章内容的学习,可使学生在学习后续内容之前,对桥梁工程有一个全局的、概括的了解。第三章介绍桥梁的设计荷载。第四章讨论桥面构造。第五章、第六章和第七章分别介绍混凝土简支梁桥上部结构、简支钢板梁和钢桁梁桥以及桥梁支座、墩台和基础。这三章从结构类型、构造特点、设计方法以及施工技术等方面介绍了常见简支梁桥的上、下部结构,是学生需要掌握的基础知识。在第八章其他桥型中,简要论述了预应力混凝土连续梁(刚构)桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥的一般构造、施工和设计特点。第九章为结构设计理论和桥梁设计规范,结合桥梁工程介绍结构设计方法的演进、结构可靠性理论基础以及桥梁设计规范的主要内容和特点,以帮助学生正确理解和使用规范。在第十章中,简要介绍了桥梁抗震与抗风的基本概念和方法。计算机辅助桥梁设计的内容列在第十一章。书的最后附上主要参考书目和文献,供读者查阅。

本教材初稿的编写人员如下:李亚东(第一章至第三章,第八章第一节,第九章),周厚斌(第四章,第七章),武守信(第五章),唐继舜(第六章),周述华(第八章第二节、第三节,第十章),沈锐利(第八章第四节),唐亮(第十一章)。在教材试用两年后编写此教材,由李亚东担任本书的全面修订工作。

本教材的授课学时可采用 34 或 51,教师可根据实际情况对讲授内容进行取舍或增删。对部分专业名词,列出其英文名称,以便对照。每章后附有若干思考题,供学生练习。

在教材编写中,参考引用了国内外大量有关桥梁工程的专著、教材和文献。在此,谨向这些专著、教材和文献的作者们表示敬意和谢意。

由于编者水平有限,教材中谬误之处在所难免,敬请读者批评指正,以便修订。

编者于西南交通大学
2000 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 桥梁概说	1
第二节 桥梁的组成、分类和结构体系	2
第三节 桥梁建筑的历史、现状及发展	10
思考题	30
第二章 桥梁工程的规划与设计	31
第一节 桥梁设计原则和科学依据	31
第二节 桥梁立面、断面和平面布置	35
第三节 桥梁设计与建设程序	39
第四节 桥梁建筑美学的基本观点	44
思考题	46
第三章 桥梁的设计作用 (荷载)	47
第一节 作用分类和作用代表值	47
第二节 永久作用	49
第三节 可变作用	50
第四节 偶然作用	60
第五节 作用效应组合	62
思考题	65
第四章 桥面构造	67
第一节 桥面组成	67
第二节 桥面铺装及排水防水系统	68
第三节 桥梁伸缩装置	71
第四节 安全带、人行道、栏杆、灯柱和安全护栏	76
思考题	79
第五章 混凝土简支梁桥	80
第一节 混凝土简支梁桥的设计与构造特点	80
第二节 混凝土简支梁桥的预制和施工方法	97
第三节 混凝土简支梁桥的设计计算	106
思考题	126

第六章 简支钢板梁和钢桁梁桥	128
第一节 钢桥概述	128
第二节 钢板梁桥	133
第三节 简支钢桁梁桥	140
第四节 钢桥制造及架设	145
思考题	150
第七章 桥梁支座、墩台与基础	151
第一节 桥梁支座	151
第二节 桥墩和桥台	161
第三节 桥梁基础	175
思考题	186
第八章 其他桥型	187
第一节 预应力混凝土连续梁(刚构)桥	187
第二节 拱桥	205
第三节 斜拉桥	216
第四节 悬索桥	231
思考题	248
第九章 桥梁抗震与抗风	250
第一节 桥梁抗震	250
第二节 桥梁抗风	258
思考题	264
第十章 结构设计理论与桥梁设计规范	265
第一节 结构设计方法的演进	265
第二节 结构可靠性理论要点	272
第三节 桥梁设计规范的一般特点和内容	278
思考题	286
附录 各类桥梁的跨度排名(前10名)	287
参考文献	291

第一章 绪 论

第一节 桥梁概说

工程 (engineering) 是指应用科学知识和实践经验, 采用指定材料制造出具备某种功能、满足人类需求的产品的技术。土木工程是其分支之一。

土木工程 (civil engineering) 是以房屋、桥梁、道路等工程设施为研究对象的学科, 是建造各类工程设施的科学技术的统称。所谓工程设施, 指由若干构件组成并固定于地面, 能为人们提供服务且能安全承受各种荷载的建筑结构物。土木工程既指工程设施本身, 也指与其相关的各种技术活动。

桥梁工程 (bridge engineering) 是土木工程的一个分支。“桥梁工程”一词通常有两层含义: 一是指桥梁建筑的实体; 二是指建造桥梁所需的科技知识, 包括桥梁的基础理论和研究, 以及桥梁的规划、设计、施工、运营、管理和养护维修等。

桥梁 (bridge) 就是供车辆 (汽车、列车) 和行人等跨越障碍 (河流、山谷、海湾或其他线路等) 的工程建筑物。简而言之, 桥梁就是跨越障碍的通道。“跨越”一词, 突出表现出桥梁不同于其他土木建筑的结构特征。从线路 (公路或铁路) 的角度讲, 桥梁就是线路在跨越上述障碍时的延伸部分或连接部分。

当原始人类尚不知如何造桥时, 会利用自然界的物体, 如天然倒下的树干 (梁的雏形)、因自然地壳变化侵蚀而形成的拱状物 (拱的雏形)、森林里攀缠悬挂的藤萝 (索的雏形) 等, 来帮助他们跨越溪流、山涧和峡谷。人类的学习和创造能力, 会逐渐促使他们在遇到溪流山涧时自己动手建造简陋的桥梁, 例如**碇步桥**、**圆木桥**、**踏板桥**等。**碇步桥 (step-stone bridge)** 可能是桥梁起源的标志, 它是沿河道横向间断摆放的高出水面的一连串的石头, 以便帮助人们在水流较小时踏石过河。将未经刨削加工的树干搭放在小溪两岸而成的桥, 为**圆木桥**或**独木桥 (log bridge)**。将稍长稍平坦的石板搁放在石堆上, 就形成**踏板桥 (clapper bridge)**。这些桥的共同特点是建桥材料不用加工, 使用时间不长。等到人类已能够聚族而居、拥有简单生产劳动工具的时候, 桥梁也势必得到发展。例如, 对距今约 6 800~6 300 年的陕西西安半坡村新石器时代遗址的考古发现, 在居住区四周有宽 7~8 m、深约 5~6 m 的大围沟 (用于防御)。当时的居民已能用木柱、草泥盖成圆形的房屋, 则出入这样的围沟时不可能没有搭设桥梁。由此可以合理地推断, 在公元前 4000 年左右, 人类就具备了建造简陋的木桥、**索桥 (rope bridge)**, 指用藤蔓为材料, 上下布置两根, 下面的用来踏脚, 上面的用来扶手) 和拱状结构 (如圆形屋顶) 的能力。

对桥梁起源的详细考察和论证是考古学家的事。可以确定的是, 桥梁是随着历史的演进和社会的进步而逐渐发展起来的。综观近代历史, 可以认为, 每当陆地交通运输工具 (火车、

汽车)发生重大变化(这对桥梁在载重、跨度方面提出新的要求),每当工程材料(钢材,混凝土)产生重大进步,便推动了桥梁工程技术的发展。桥梁发展到今天,其基本类型虽仍是梁桥、拱桥和悬索桥,但设计建造更加先进合理,建筑材料更加坚固耐用,结构型式更加丰富多彩,使用功能更加完备齐全。

在当今社会中,大力发展交通运输事业,建立四通八达的公路、铁路交通网,对促进交流、发展经济、提高国力,具有非常重要的意义。在公路、铁路线路中,桥梁以及涵洞(culvert)是其重要组成部分。从技术上讲,一座重要的特大跨度桥梁通常会集中体现出一个国家在工程设计、建筑材料和制造工艺等方面的水平。从经济上讲,一条线路中桥涵的造价通常要占到线路总造价的10%~20%(对山区铁路,这一比值会更高)。从美学上讲,桥梁不仅仅是满足实用要求的工程结构物,还常作为建筑艺术实体长久地存在于社会生活之中。那些工程宏大、结构造型雄伟壮观的大桥,往往成为一座城市的标志和骄傲。

我国幅员辽阔,大小山脉纵横,江河湖泊众多。随着国家经济建设的发展,需要大力加强基础设施(包括铁路、公路工程)建设,迫切需要修建大量的公路、铁路和城市桥梁。

第二节 桥梁的组成、分类和结构体系

一、桥梁的组成

桥梁组成部分的划分与桥梁结构体系有关。常见的简支梁桥(图1.1),通常由以下几部分组成。

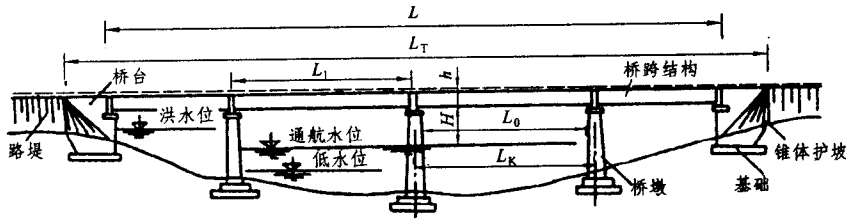


图 1.1 桥梁的基本组成

1. 上部结构

上部结构(superstructure)指桥梁位于支座以上的部分。它包括桥跨结构和桥面构造两部分:前者指桥梁中直接承受桥上交通荷载的、架空的结构主体部分;后者则指为保证桥跨结构能正常使用而需要建造的桥上各种附属结构或设施。

桥跨结构的型式多样。对梁桥而言,其主体结构是梁;对拱桥而言,其主体结构是拱;对悬索桥而言,其主体结构是缆。详见后述。

附属结构或构造是指公路桥的行车道铺装,铁路桥的道碴、枕木、钢轨,伸缩装置,排水防水系统,人行道,安全带(护栏),路缘石,栏杆,照明等(见第四章)。

2. 下部结构

下部结构(substructure)指桥梁位于支座以下的部分,也叫支承结构。它包括桥墩(pier)、

桥台 (abutment) 以及墩台的基础 (foundation), 是支承上部结构、向下传递荷载的结构物, 见第七章。桥梁墩台的布置是与桥跨结构相对应的。桥台设在桥跨结构的两端, 桥墩则分设在两桥台之间。桥台除起到支承和传力作用外, 还起到与路堤衔接、防止路堤滑塌的作用。为此, 通常需在桥台周围设置锥体护坡。墩台基础是承受由上至下的全部荷载 (包括交通荷载和结构重力) 并将其传递给地基的结构物。它通常埋入土层之中或建筑在基岩之上, 时常需要在水中施工。

架空的主体结构 with 支承结构一起, 组成承重结构 (load-bearing structure)。承重结构由梁、墩或柱、拱、塔、缆等构件组成, 例如由梁、桥墩、桥台组成的梁桥, 由塔、缆、锚碇组成的悬索桥等。承重结构承受荷载、跨越空间并支承在基础之上。承重结构的任何一部分破坏, 结构就破坏; 而结构附属部分的破坏, 则不会导致结构的彻底破坏。

3. 支 座

在桥跨结构与墩台之间, 还需要设置支座 (bearing), 以连接桥跨结构与桥梁墩台, 提供荷载传递途径 (见第七章)。

除此之外, 根据具体情况, 与桥梁配套建造的附属结构物可能有: 挡土墙、护坡、导流堤、检查设备、台阶扶梯、导航装置等。

结合图 1.1, 对桥梁工程常用的专有名词和技术术语, 择要说明如下。

正桥与引桥 对规模较大的桥梁工程, 通常包含正桥 (bridge proper) 与引桥 (approach) 两部分。正桥指桥梁跨越主要障碍物 (如通航河道) 的结构部分。一般, 它采用跨越能力较大的结构体系, 需要深基础, 是整个桥梁工程中的重点。引桥指连接正桥和路的桥梁区段, 其跨度一般较小, 基础一般较浅。在正桥和引桥的分界处, 有时还会设置桥头建筑 (桥头堡)。

跨度 也叫跨径 (span), 表示桥梁的跨越能力。对多跨桥梁, 最大跨度称为主跨 (main span)。一般而言, 跨度是表征桥梁技术水平的重要指标。桥跨结构相邻两支座间的距离 L_1 , 称为计算跨径。桥梁结构的分析计算以计算跨径为准。对梁式桥, 设计洪水位线上相邻两桥墩 (或桥台) 间的水平净距 L_0 , 称为桥梁的净跨径。各孔净跨径之和, 称为总跨径, 它反映出桥位处泄洪能力的大小。

对公路梁桥, 把两桥墩中线间距离或桥墩中线与台背前缘的间距, 称为标准跨径 L_K (也称之为单孔跨径)。当跨径在 50 m 以下时, 通常采用标准跨径 (从 0.75 m 至 50 m, 共 21 级, 常用者为 10 m、16 m、20 m、40 m 等) 设计。对铁路梁桥, 则以计算跨径作为标准跨径 (从 4 m 至 168 m, 共 18 级, 常用者为 20 m、24 m、32 m、48 m、64 m、96 m 等)。采用标准跨径设计, 有利于桥梁制造和施工的机械化, 也有利于桥梁养护维修和战备需要。

桥长 对梁桥, 两桥台侧墙或八字墙尾端之间的距离 L_T , 可称为桥梁全长。它标志桥梁工程的长度规模。两桥台台背前缘 (对铁路桥, 指桥台挡碴前墙) 之间的距离 L , 可称为多孔跨径总长 (公路) 或桥梁总长 (铁路)。它仅作为划分特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞的一个指标, 见表 1.1。

桥下净空高度 设计洪水位或设计通航水位对桥跨结构最下缘的高差 H , 称为桥下净空 (clear opening) 高度。桥下净空高度应大于通航及排洪要求所规定者。

桥梁建筑高度与容许建筑高度 桥面（或铁路桥梁的轨底）至桥跨结构最下缘的垂直高度 h ，称为桥梁建筑高度。公路或铁路桥梁线路设计中所确定的桥面（或轨底）高程与通航及排洪要求所规定的净空高度之差，为容许建筑高度。显然，桥梁建筑高度不得大于容许建筑高度。

表 1.1 桥梁涵洞按跨径分类

桥涵分类	公 路 桥 涵		铁路桥涵
	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_K/m	桥长 L/m
特大桥	$L > 1\,000$	$L_K > 150$	$L > 500$
大桥	$100 \leq L \leq 1\,000$	$40 \leq L_K \leq 150$	$100 < L \leq 500$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_K < 40$	$20 < L \leq 100$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_K < 20$	$L \leq 20$
涵洞	①	$L_K < 5$	②

注：① 对管涵和箱涵，不论孔数多少和跨径大小，均称为涵洞；

② 一般指 $L < 6\text{ m}$ 且顶上有填土。

二、桥梁的分类

桥梁有各种不同的分类方式，每一种分类方式均反映出桥梁在某一方面特征。

按工程规模划分，有特大桥、大桥、中桥、小桥等，见表 1.1。

按桥梁用途划分，有铁路桥、公路桥、公铁两用桥、人行桥等。**铁路桥** (railway bridge) 专供铁路列车行驶，桥的宽度和跨度有限，其所承受的车辆活载相对较大。由于铁路迂回运输不易实现，铁路桥必须结实耐用且易于修复。与铁路桥相比，**公路桥** (highway bridge) 的车辆活载相对较小，桥的宽度和跨度相对较大。**公铁两用桥** (combined highway & railway bridge) 指同时承受公路和铁路车辆荷载的桥。我国长江上的主要特大桥（如武汉、南京、枝城、九江、芜湖等大桥）都是如此。一般认为：在增加费用不多的情况下（桥的墩台和基础可以共用），将公路、铁路桥合建，就可把专为公路建桥的时间大为提前。随着经济发展，公路交通量剧增，专为公路修建特大桥的事现已屡见不鲜。通常，除高速公（铁）路上的桥梁外，其他桥梁均具备行人过桥的通道。**人行桥** (pedestrian bridge, footbridge) 指专供行人（有时包括非机动车）使用的桥。它跨越城市繁忙街道处（也叫**天桥**, overpass），或市区内河流，或封闭的高速公路，为行人（及行车）提供方便。在我国，还曾有**农桥**一词，它指在南方水网地区专为农用机械越过沟渠而建的小桥。今天，这一名词已无实用意义。

按桥跨结构所用的材料来划分，有钢桥，钢筋混凝土桥，预应力混凝土桥，结合梁桥，用砖、石、素混凝土块等砌体材料（习称**圬工**）建造的拱桥，木桥等。由于钢材具有匀质性好、强度高、自重小等优点，**钢桥** (steel bridge) 具有较大的跨越能力，在跨度上处于领先地位。在我国，传统上铁路桥采用钢桥（钢板梁桥、钢桁梁桥）较多。近年来随着大跨度公路悬索桥和斜拉桥的发展，公路桥采用钢桥也越来越多。**钢筋混凝土桥** (reinforced concrete bridge) 和**预应力混凝土桥** (prestressed concrete bridge) 的建造费用较少，养护维修方便，是目前应用最为广泛的桥梁，在中、小跨度内已逐步取代钢桥，在大跨度范围内也具有较强的竞争力。钢与混凝土形成的**结合梁桥** (composite bridge) 主要指钢梁与钢筋混凝土桥面板组合形成的梁桥或加劲梁。**圬工桥** (masonry bridge) 主要指石拱桥，其取材方便，构造简单，

适用于跨度不大、取材方便的山区拱桥。除临时性桥梁和林区桥梁外，一般不采用木桥 (timber bridge)。在历史上，还曾先后采用过铸铁 (cast iron) 和锻铁 (wrought iron) 作为建桥材料，在结构钢 (structural steel) 出现之后，这类桥梁就不再修建了。

按结构体系 (结构受力特征及立面形状) 划分，有梁桥 (beam bridge, girder bridge)、拱桥 (arch bridge)、悬索桥 (suspension bridge) 三种基本体系，以及由基本体系组合或一种基本体系与梁、塔、斜索等构件形成的组合体系，如图 1.2 (i) 所示的斜拉桥 (cable-stayed bridge)，详细论述见后续有关章节。

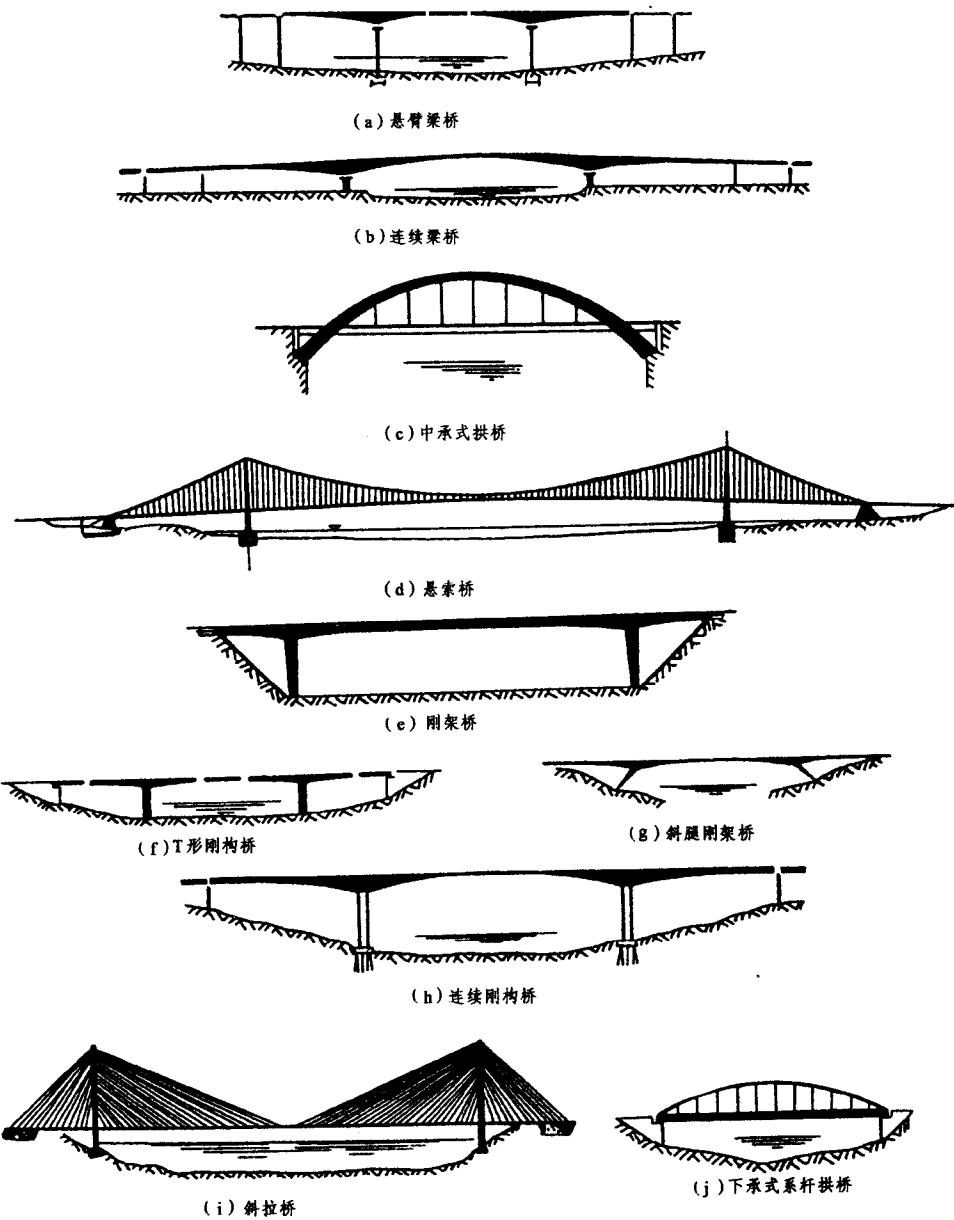


图 1.2 桥梁结构体系分类

按桥跨结构与桥面的相对位置划分,有上承式、下承式和中承式桥。对梁桥和拱桥,桥面(deck)布置在桥跨结构上面的,为上承式桥(deck bridge);相应地,布置在下面的称为下承式桥(through bridge,如图1.2(j)所示),布置在中间的称为中承式桥(half through bridge,如图1.2(c)所示)。桥面位置的选择与容许建筑高度和实际需要有关。上承式桥被广泛采用,适用于容许建筑高度较大的情况,其特点是上部结构的宽度较小,墩台的材料用量有所节省,桥面视野开阔等。在容许建筑高度很小、布置上承式桥困难时,可采用下承式桥。由于桥跨结构在桥面之上且需要满足桥面净空的要求,故结构横向宽度相对较大,墩台尺寸也相应有所增加。有时因地形限制或结构造型需要把桥面布置在桥跨结构高度的中间部位,形成中承式桥。因承重结构有一部分是位于桥面之上,占用了桥面宽度;为使桥面宽度满足要求,必需加宽两片拱肋或桁梁的中心距,这将使横梁跨度增加,用料偏多。在一座桥中,桥跨结构与桥面的相对位置可有不同型式。

按桥梁所跨越的对象划分,有跨河桥、跨谷桥、跨线桥、立交桥、地道桥、旱桥、跨海桥等。大部分桥梁是跨越河流的。修建跨河桥(river-crossing bridge),不可使河流功能受到损害。为此,必须遵循桥渡勘测设计规范的要求,使桥的孔径、跨度、桥面高程、基础埋深等既能保证桥在排洪和通航时的安全,又不碍及河流的功能。跨谷桥(gorge-crossing bridge)指跨越谷地的桥梁。谷地的特点是地形变化大、地质变化大、水流变化大,谷底至桥面较高,不适于采用跨度小、跨数多、桥墩高的结构型式。通常,对于较窄的河谷,可考虑采用一跨结构(如拱或斜腿刚架)作为正桥越过,避免修建高桥墩;对于较为开阔平坦的河谷,可考虑采用跨度较大的多跨连续梁(刚构)桥。直接跨越其他线路(公路、铁路、城市道路等)的桥称为跨线桥(grade separation bridge)。当跨线桥还需要与其所跨越的线路互通时,就形成立交桥(flyover bridge)。跨线桥和立交桥多建于城区,囿于桥下净空和桥面高程的要求,容许建筑高度有限,需考虑采用建筑高度小的桥跨结构。当桥梁采用下降方式(而不是架空方式),从被跨越线路的下方穿过时,因其主要部分是位于地下,便称为地道桥(underground bridge)。旱桥(dry bridge)指建在无水地面的桥。其跨度一般不大,其桥墩截面形状不需适应水流需要。对于引桥的不过水区段,有时用此名称。跨海桥泛指跨越海峡(straits)、海湾(gulf, bay)或为连接近海岛屿而在海上建造的桥。在通航频繁的狭窄海峡或海上航道处,多采用特大跨度的悬索桥或斜拉桥作为正桥;对水域相对宽阔的海面,引桥可采用多跨的预应力混凝土梁。跨海桥的长度,从几千米到几十千米,需在自然条件复杂的海洋环境中施工,对质量(尤其对材料耐久性和防腐蚀)的要求高,应采用以大吨位预制浮运架设为主的施工方法,尽量减少海上作业量及对海洋环境的影响。

按桥梁的平面形状划分,有直桥、斜桥、弯桥。绝大部分桥梁为直桥或正交桥(right bridge),其纵轴线方向同水流方向(或所跨越的线路方向)基本正交。斜桥(skew bridge)指水流方向(或所跨越的线路方向)同桥的纵轴线不呈直角相交的桥。由于斜桥所提供的桥下净空的有效宽度比直桥所提供者小,为提供同样的桥下有效宽度,斜桥的跨度就需加大,因此,不宜使桥梁斜交过甚。在水平面上呈曲线状的桥,就称为弯桥或曲线桥(curved bridge)。当桥位于线路的曲线区段,则在桥的跨度小时,可以仍用多跨直线梁(按折线布置),仅让桥面适应曲线要求;但当跨度较大时,便应改变桥梁的形状,使桥跨结构本身呈曲线状。

按预计使用时间的长短划分,有永久性桥梁和临时性桥梁。永久性桥梁(permanent bridge)指用钢材、混凝土、石材等耐久材料所修建的桥梁。桥梁的设计和施工应该遵照适用的规范办理,期在经济合理,期望的使用寿命在100年左右。临时性桥梁(temporary bridge)

也称为**便桥** (detour bridge), 指为了使线路早日开通, 对使用寿命不作长久打算的桥。其材料可用木材、钢材和制式设备 (如万能杆件等), 孔径和跨度可以不考虑洪水影响; 当造桥物资不充足时, 还可以对桥上的行车提出一些限制。

绝大部分的桥梁在建成后不可移动, 称为**固定式桥梁**; 在特殊情况下, 为同时满足线路高程要求和河流通航要求, 也修建**开启桥**或**活动桥** (basculer bridge, movable bridge)。开启桥指一部分桥跨结构 (通常为钢梁) 可以提升或转动 (平转或竖转) 的桥, 而升高或转动的目的则是为了让桥下可通过较高的船舶。与固定式桥梁相比, 开启桥的建造费用可以节省, 但其交通量将受限制, 而维修管理费用也较高。

为军事目的而修建的桥, 可称之为**军用桥** (military bridge)。军事上常用的临时性桥梁之一就是**贝雷桥** (Bailey Bridge), 其由桁架组成, 拆装简便, 运输方便, 承载力大; 另一种就是**浮桥**或**舟桥** (floating bridge, pontoon bridge), 其用船或浮箱代替桥墩, 浮在水面。在军用的制式舟桥中, 为增加其机动性, 每让其具有自行性。

伴随着城市交通的发展, 也需要修建**高架桥** (viaduct) 或**高架路**。其主要目的是让线路高出地面, 从而保持线路畅通或增加其通行能力。在山区修建高架桥, 主要目的则是为了保护森林植被, 减少对自然环境的破坏。高架桥也指跨越深谷或宽谷的高桥。

在码头上用于沟通河岸与轮船, 以装卸货物或上下旅客的通道, 称为**栈桥** (trestle bridge)。栈桥采用桩和梁作为承重结构, 因其与古代栈道相似而得名。在桥梁施工中, 为在河岸与水中桥墩之间建立通道, 往往也搭建临时性栈桥。

专为输水而修建的架空渠道称为**渡槽**或**水道桥** (aqueduct), 而为输送天然气、煤气、自来水、电力等而建造的桥, 统称为**管线桥** (pipeline bridge)。连接运河的桥称为**运河桥** (canal bridge), 桥上可行船。

另外, 还可根据桥梁的突出构造特点进行命名和分类, 在此不一一列举。

三、桥梁的结构体系

按结构体系及其受力特点, 桥梁可划分为梁、拱、索三种基本体系和组合体系。不同的结构体系具有不同的结构型式和受力特点, 简述如下。

1. 梁 桥

梁桥是古老的结构体系之一。梁作为承重结构, 主要是以其抗弯能力来承受荷载的。在竖向荷载作用下, 其支承反力也是竖直的; 简支的梁部结构只受弯、剪, 不承受轴向力。

常用的简支梁 (simply-supported beam, 见图 1.1) 的跨越能力有限, 跨度通常不超过 40 m, 因此, 悬臂梁和连续梁 (图 1.2 (a) 和图 1.2 (b)) 得到发展。它们都是利用增加中间支承以减少跨中正弯矩, 更合理地利用材料和分配内力, 加大跨越能力。悬臂梁 (cantilever beam) 采用铰结或一简支跨 (称为挂孔) 来连接其两个端头, 其为静定结构, 受力明确, 计算简便; 因结构变形在连接处不连续而对行车和桥面养护产生不利影响, 近年来已很少采用。连续梁 (continuous beam) 因桥跨结构连续, 克服了悬臂梁的不足, 是目前采用得较多的梁式桥型。

梁桥分实腹式和空腹式。实腹梁的横截面形式多为 T 形、I 字形和箱形等, 空腹梁主要指桁架 (truss) 式桥跨结构。梁的高度和截面尺寸可在桥长方向保持一致或随之变化。对中

小跨度的实腹梁桥，常采用等高度 T 形梁（混凝土）或 I 形梁（钢）；跨度较大时，可采用变高度（在中间支承处增大梁高）的箱形截面预应力混凝土连续梁（刚构）桥或钢桁架梁，并配合悬臂方法施工。

2. 拱 桥

拱桥（图 1.2 (c)）的主要承重结构是具有曲线外形的拱圈（arch ring）。在竖向荷载作用下，拱圈主要承受轴向压力，但也受弯、受剪。拱趾处的支承反力除了竖向反力外，还有较大的水平推力（thrust）。

根据拱的受力特点，多采用抗压能力较强且经济合算的砌体材料（石材等）和钢筋混凝土来修建拱桥；也因拱是有推力的结构，对地基的要求较高，故一般宜建于地基良好之处。按照静力学划分，拱分成单铰拱、双铰拱、三铰拱和无铰拱。因铰的构造较为复杂，一般常采用无铰拱体系。

随着施工方法的进步，除了传统的满堂支架或拱架施工方法外，现可采用悬臂施工、转体施工、劲性骨架施工等无支架施工新技术，这对拱桥在更大跨度范围内的应用，起到了重要的促进作用。

3. 悬索桥

悬索桥主要由缆（又称索，cable）、塔（pylon）、锚碇（anchorage）、加劲梁（stiffening girder）等组成，见图 1.2 (d) 示意。对跨度较小（如小于 300 m）、活载较大且加劲梁较刚劲的悬索桥，可以视其为缆与梁的组合体系。但大跨度悬索桥的主要承重结构为缆，组合体系的效应可以忽略。在竖向荷载作用下，其悬索受拉，锚碇处会承受较大的竖向（向上）和水平（向河心）力。悬索通常用高强度钢丝制成圆形大缆，加劲梁多采用钢桁架梁或扁平箱梁，桥塔可采用钢筋混凝土或钢。因缆的抗拉性能得以充分发挥且其尺寸基本上不受限制，故悬索桥的跨越能力一直在各种桥型中名列前茅。不过，由于结构较柔，悬索桥较难满足当代铁路桥的要求。

在修建跨度相对较小（通常不大于 300 m）的悬索桥，当两岸用地受到限制而无法布置锚碇时或出于景观需要，可采用自锚式悬索桥（self-anchored suspension bridge）。其特点是：将大缆的两端固定在加劲梁的两端，省略了大尺寸的锚碇，但导致了梁的材料用量的增加，也增加了施工难度。

4. 组合体系

组合体系桥（combined system bridge）指承重结构采用两种基本体系，或一种基本体系与某些构件（梁、塔、柱、斜索等）组合在一起的桥。在两种结构体系中，梁经常是其中一种；与梁组合的，则可以是柱、拱、缆或塔、斜索。代表性的组合体系有以下几种。

（1）刚架桥

刚架桥（portal bridge）是梁与立柱（或称为墩柱）的组合体系。刚架桥中的梁与立柱刚性连接，形成刚架，见图 1.2 (e)。其主要特点是：立柱具有相当的抗弯刚度，故可有效分担梁部跨中正弯矩，达到降低梁高、增大桥下净空的目的。在竖向荷载作用下，主梁与立柱的连接处会产生负弯矩；主梁、立柱承受弯矩，也承受轴力和剪力；柱底约束处既有竖直反力，也有水平反力。刚架桥多采用立柱直立的、单跨或多跨的门形框架，柱底约束可以是铰结或

固结。钢筋混凝土刚架桥适用于中小跨度的、建筑高度要求较严的城市或公路跨线桥。

立柱斜向布置的刚架桥称为斜腿刚架桥 (portal bridge with inclined legs, 图 1.2 (g)), 其受力特点与刚架桥大致相同。在竖向荷载作用下, 斜腿以承压为主, 两斜腿之间的梁部受到一定的轴向力。斜腿底部可采用铰结或固结形式, 并受到较大的水平推力。对跨越深沟峡谷、两侧地形不宜建造直立式墩柱的情况, 斜腿刚架桥表现出其独特之处。另外, 墩柱在立面上呈 V 形并与梁部固结的桥梁, 称为 V 形刚架桥, 其在受力上具有连续梁和斜腿刚架的特点。由于 V 形支撑的作用, 支点负弯矩及梁高可适当减小, 跨度可适当加大, 外形也较美观。

(2) T 形刚构桥和连续刚构桥

随着预应力技术和悬臂施工方法的发展, 具有刚架形式和特点的桥梁可用于跨径更大的情况, 如 T 形刚构桥 (T-shaped rigid frame bridge), 见图 1.2 (f)。预应力混凝土 T 形刚构桥是因悬臂施工方法的发展而衍生出来的一种桥型。其桥墩的尺寸及刚度较大, 墩顶与梁部固结, 墩底与基础固结; 仍在跨中设铰或挂孔来连接邻近两 T 构。它融合了悬臂梁桥和刚架桥的部分特点: 因是静定结构, 能减少次内力、简化主梁配筋; T 构有利于对称悬臂施工, 但粗大的桥墩因承受弯矩较大而费料; 桥面线形不连续而影响行车。目前, 已很少采用这种桥式。

在连续梁桥的基础上, 把主跨内较柔细的桥墩与梁部固结起来, 就形成所谓的连续刚构桥 (continuous rigid frame bridge, 图 1.2 (h))。其特点是: 桥墩 (为单墩或双薄壁墩) 较为纤细, 以承受轴向压力 (而不是弯矩) 为主, 表现出柔性墩的特性, 这就使得梁部受力仍然体现出连续梁的受力特点 (主跨梁部仅受到较小轴向力作用)。这种桥式除保持了连续梁的受力优点外, 还节省了大型支座的费用, 减少了桥墩及基础的工程量, 改善了结构在水平荷载下的受力性能, 有利于简化施工工序, 适用于需要布置大跨、高墩的桥位。近年来, 预应力混凝土连续刚构体系在桥梁工程中的应用越来越普遍, 公路桥的跨度已超过 300 m。

为突出结构造型上的不同, 将 T 形刚构桥和连续刚构桥划归为组合体系。但从主要受力特点上看, T 形刚构桥和连续刚构桥仍主要表现出梁的受力特点。字面上, “刚构”一词可以理解为墩梁刚性连接形成的桥跨结构。

(3) 梁、拱组合体系

梁、拱组合体系同时具备梁的受弯和拱的承压特点。组合形式可以是刚性拱及柔性拉杆 (称为系杆拱), 也可以是柔性拱及刚性梁 (见图 1.2 (j))。这类结构的主要优点是: 利用梁部受拉 (若是混凝土梁部则对其施加预应力) 来承受和抵消拱在竖向荷载下产生的水平推力。这样, 桥跨结构既具有拱的外形和承压特点, 但又不存在大的水平推力, 可在一般地基条件下修建。相对而言, 梁、拱组合体系的施工较为复杂。

(4) 斜拉桥

斜拉桥 (cable-stayed bridge, 见图 1.2 (i)) 是梁与塔、斜索组成的组合体系, 结构型式多样, 造型优美壮观。在竖向荷载作用下, 梁以受弯为主, 塔以受压为主, 斜索则承受拉力。梁体被斜索多点扣住, 表现出弹性支承连续梁的特点; 这样, 梁所承受的恒载弯矩减小, 梁高可以降低, 结构自重可以减轻, 跨度可以增加; 另外, 塔和斜索的材料性能也能得到较充分地发挥。因此, 斜拉桥的跨越能力仅次于悬索桥, 是近几十年来发展很快的一种桥式。由于刚度问题, 斜拉桥在铁路桥梁上的应用极为有限。

(5) 其他组合体系

其他组合体系主要包括斜拉体系 (塔及斜索) 与梁、拱、索的组合。例如, ①矮塔、斜

索与变截面预应力混凝土连续梁或连续刚构形成的组合体系 (extradosed prestressing bridge, 国内称为矮塔斜拉桥或部分斜拉桥)。这种桥型将原来置于梁体内的一部分预应力钢筋外置, 以便提高预应力效率; 外形上与斜拉桥相近, 但受力上介于传统梁桥和斜拉桥之间。典型的桥例是: 瑞士的甘特桥 (主跨 174 m, 1980 年), 日本的 Ibigawa 桥 (主跨 271.5 m, 2001 年), 中国的柳州三门江桥 (主跨 160 m, 在建)。斜拉体系也可与大跨度钢桁架梁组合。在这种体系中, 主要承重结构是钢桁架梁, 斜拉体系只起到辅助施工和分担荷载的“加劲”作用, 如芜湖长江大桥。② 斜拉体系与拱的组合, 形成斜拉拱桥 (cable-stayed arch bridge)。在这种桥式中, 将斜索下端锚于桥面以分担荷载, 如马来西亚的 Seri Saujana 桥 (主跨 300 m, 2002 年)。③ 将斜索布置在悬索桥桥塔两侧, 形成斜拉—悬索组合体系 (cable-stayed-suspension hybrid bridge)。这一桥式现主要用于悬索桥加固, 也曾作为一些跨海峡特大桥 (如直布罗陀大桥, 印尼的爪哇—巴厘桥等) 方案。

对结构体系的分类, 无一定之规 (例如, 悬索桥和斜拉桥可划分为缆索承重桥一类), 上述分类也不可能包容式样繁多的桥型。需要强调的是, 仅仅对桥梁的 (纵向) 结构体系有所了解, 还远不能完全把握住桥梁的结构特点。在结合桥位情况选择某种结构体系的同时, 还需要对这一结构体系相适应的建桥材料 (钢, 混凝土或两者)、结构横截面形状及布置 (多主梁, 或箱梁, 或桁架梁)、结构的横向和立面布置 (如斜拉桥的塔及索面的布置和造型)、重要构造细节 (如预应力配筋方式, 节点处理)、施工方法 (如浮运、顶推、悬臂施工等) 等进行比较、分析和选择。这样, 才能建造出符合工程规律、具有经济效益的桥梁。

第三节 桥梁建筑的历史、现状及发展

在介绍国内外桥梁建筑的历史、现状及发展之前, 有必要论述按时间划分的古代桥梁、现代桥梁和当代桥梁的主要特征。

古代桥梁 (ancient bridge) 大致指 19 世纪中叶以前所修建的桥梁。这些桥梁的设计和施工完全依靠建造者的经验, 没有力学知识的指导。建桥材料以天然的或加工过的木材、石材为主, 及竹索、藤索、铁索、铸铁, 乃至锻铁。在桥式方面, 有梁、拱和索桥三大类。当时技术落后, 工具简陋, 不会修建深水基础, 施工周期也长。

现代桥梁 (modern bridge) 指 19 世纪后期以来, 由工程师使用工程力学、设计规范及桥梁工程知识所兴建的桥梁。19 世纪 20 年代, 世界上出现铁路。现代桥梁主要是为适应铁路建设的需要, 在 19 世纪后期逐步发展起来的。在铁路发展的初期, 建桥材料仍是木材、石材、铸铁和锻铁等。后来钢材逐步占据主导地位。20 世纪初, 钢筋混凝土也逐渐受到桥梁界重视, 开始用于中、小跨度桥梁。建桥工具得到很大发展, 出现了蒸汽机、打桩机、电动工具、风动工具、起重机具、铆钉机等。在深水基础方面, 可以施工沉井、压气沉箱和大直径的桩。从这时起, 铁路方才改变“见大河就断”的现象。从 20 世纪 30 年代起, 随着汽车工业的发展, 公路桥梁也开始大力发展。

可以把在 20 世纪 50 年代左右发展起来的、主要为公路和城市道路服务的桥梁称之为当代桥梁 (contemporary bridge)。在材料方面, 除常规钢材和钢筋混凝土外, 还有预应力混凝土、高强螺栓、高强钢丝、低合金钢以及其他新型材料。用于桥梁建造的机具和设备有焊接