



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

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

(第三版)

李亚东 主编



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

014032246

U44
06-3



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校土木工程专业系列教材——桥梁工程

桥梁工程概论

(第三版)

李亚东 主编

本书 2006 年荣获第七届全国高校出版社优秀畅销书二等奖



西南交通大学出版社

· 成 都 ·



北航

C1720544

U44
06-3

图书在版编目 (C I P) 数据

桥梁工程概论 / 李亚东主编. —3 版. — 成都:
西南交通大学出版社, 2014.2
高等学校土木工程专业系列教材. 桥梁工程
ISBN 978-7-5643-2908-2

I. ①桥… II. ①李… 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 (2014) 第 026052 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校土木工程专业系列教材——桥梁工程

桥梁工程概论

(第三版)

李亚东 主编

责任编辑	张 波
封面设计	肖 勤
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	20.5
字 数	512 千字
版 次	2014 年 2 月第 3 版
印 次	2014 年 2 月第 13 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2908-2
定 价	42.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第三版前言

本教材在 2001 年 1 月初版, 2006 年再版, 后多次重印。2009 年, 基于本教材的“桥梁工程概论”和“桥梁工程(网络版)”两门课程被评为国家精品课程; 2012 年, 本教材入选四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材; 2013 年, 基于本教材的“桥梁工程概论”课程被评为国家精品资源共享课程。

近 10 多年来, 我国桥梁工程保持着持续迅猛的发展势头, 高铁桥梁的建设日新月异, 新结构、新技术、新材料的应用层出不穷, 设计新理念以及相关的桥梁技术规范也在更新。在此背景下, 有必要对本教材进行修编再版。

在这次修编中, 仍保持原教材的基本框架不变, 即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。

修编内容主要包括: 在第一章增加了反映桥梁工程最新进展的信息, 在第二章中反映出设计理念的一些变化, 在第三章中增加了高铁桥梁所用的活载标准, 在第四章中补充了高铁桥梁的桥面构造并对本章的内容编排进行了合理调整, 在第六章中较大幅度地补充了一些钢桥的构造。除此之外, 对各章习题进行了适当增删, 根据最新信息调整了附录, 还对全书的文字内容和插图再次进行审核和订正。

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。

参加本次修编的教师有: 李亚东(第一章, 第二章, 第五章, 第十章), 何畏(第四章, 第八章), 姚昌荣(第三章, 第七章, 附录), 张清华(第六章)和郑史雄(第九章)。全书由李亚东最后统一定稿。

在教材修编中, 参考引用了国内外大量有关桥梁工程的专著、教材和期刊文献中的信息, 难以在参考文献中一一列出。借修编再版之际, 诚挚地向这些专著、教材和期刊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, 以便改正完善。

李亚东

2014 年 1 月于西南交通大学东园

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

Email: ydli@home.swjtu.edu.cn

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	12
思考题	35
第二章 桥梁工程的规划与设计	36
第一节 桥梁设计原则和科学依据	36
第二节 桥梁立面、断面和平面布置	40
第三节 桥梁设计与建设程序	44
第四节 桥梁建筑美学的基本观点	51
思考题	52
第三章 桥梁的设计作用（荷载）	54
第一节 作用分类和作用代表值	54
第二节 永久作用	56
第三节 可变作用	57
第四节 偶然作用	69
第五节 作用效应组合	71
思考题	74
第四章 桥面构造	76
第一节 桥面组成	76
第二节 桥面铺装及排水防水系统	78
第三节 桥梁伸缩装置	83
第四节 其它桥面构造	89
思考题	93
第五章 混凝土简支梁桥	94
第一节 混凝土简支梁桥的设计与构造特点	94
第二节 混凝土简支梁桥的制造和施工方法	112
第三节 混凝土简支梁桥的设计计算	121
思考题	141

第六章 简支钢板梁和钢桁梁桥	143
第一节 钢桥概述	143
第二节 钢板梁桥	149
第三节 简支钢桁梁桥	158
第四节 钢桥制造及架设	168
思考题	174
第七章 桥梁支座、墩台与基础	175
第一节 桥梁支座	175
第二节 桥墩和桥台	186
第三节 桥梁基础	201
思考题	212
第八章 其他桥型	213
第一节 预应力混凝土连续梁(刚构)桥	213
第二节 拱桥	232
第三节 斜拉桥	244
第四节 悬索桥	259
思考题	276
第九章 桥梁抗震与抗风	277
第一节 桥梁抗震	277
第二节 桥梁抗风	285
思考题	292
第十章 结构设计理论与桥梁设计规范	293
第一节 结构设计方法的演进	293
第二节 结构可靠性理论要点	300
第三节 桥梁设计规范的一般特点和内容	307
思考题	315
附录 各类桥梁的跨度排名(前10名)	316
参考文献	320

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科技与生产活动。土木工程是其分支之一。

土木工程 (civil engineering) 是以桥梁、道路、房屋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作用 (荷载) 的结构物。土木工程既指工程设施本身, 也指与其相关的各种科技活动。

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, 包括桥梁的应用基础理论, 以及桥梁的规划、设计、施工、运营、管理和养护维修等专门技术知识。

桥梁 (bridge) 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。

桥梁是服务于线路的。从线路 (公路、铁路或城市道路) 的角度讲, 桥梁就是线路在延伸至上述障碍时的跨越部分或连接部分。近年来修建的高速铁路中, 为安全通过既有交通路网、人口稠密地区和地质不良路段, 大量采用中小跨度的混凝土高架桥梁结构。这样的桥梁, 可视其为高铁轨道系统的支撑结构。

桥梁的起源与人类社会的发展相伴随行。当原始人类尚不知如何造桥时, 会利用自然界的物体 (天生桥, natural bridge), 如天然倒下的树干 (梁的雏形)、山体因受自然环境长期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。人类的生存需求、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, 例如汀步桥、圆木桥、踏板桥等。汀步桥 (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块, 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)。这些原始桥 (primitive bridge) 的共同特点是建桥材料不用加工, 搭设简便, 使用时间不长。

到人类已能够聚族而居、拥有简单生产劳动工具的时候, 桥梁也得到发展。根据距今约 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, 在居住区四周有用于防御的宽 7 ~ 8 m、深 5 ~ 6 m 的大围沟, 当时的居民已能用树木搭设房屋, 想必必可以搭设方便进出围沟的通道 (木梁桥)。在公元前 4000 年左右, 阿尔卑斯地区的史前湖上桩屋, 大量采用

木桩结构。同一时期,生活在两河流域的苏美尔人开始采用泥砖建造墓穴、宫殿和庙宇等,创造出叠涩拱(corbel arch,指用砖石层层堆叠延伸合拢形成的拱状物),其逐渐演变成今天大家熟知的拱形结构。由此可以合理地推断,大约在公元前4000年前后,人类就具备了建造简陋的木桥、石桥和拱形结构的能力。

以木、石等作为建桥材料,古代桥梁经历了几千年漫长的发展过程。从中国远古时代的浮桥,到古巴比伦的石墩木梁桥;从古罗马时代的拱桥,到中国秦朝的索桥;从欧洲文艺复兴时期的廊桥,到18世纪的铁桥;人类创造出了丰富多彩的桥梁遗产。

进入19世纪,钢材和混凝土可大量生产,结构分析和设计方法为工程界所掌握,桥梁工程开始进入现代工业的行列。100多年的现代桥梁史,就是伴随着历史的演进和社会的进步而逐渐发展起来的。综观历史,可以认为,每当一个国家或地区的经济及基础设施建设发展迅猛,每当陆地交通运输工具和运输方式发生重大变化(例如,从步行、马车发展到火车、汽车,从常规公路、铁路发展到高速公路、高速铁路),每当工程材料(从木、石到钢材、混凝土)产生重大进步,就对桥梁在载重、跨度、运营等方面提出了新的要求,便推动了桥梁工程的技术进步。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,结构形式更加丰富多彩,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土木工程设计建造、建筑材料和制造工艺等方面的水平。从数量上讲,一条线路中桥涵的长度通常要占到线路总长度的5%~10%(视线路地区而变,对山区线路或高速线路,这一比值会更高。例如,我国目前已建的约1.3万千米长的高速铁路中,仅桥梁的延长就为0.5万千米,约占40%)。从建筑美学上讲,桥梁不仅仅是满足跨越通行这一实用功能要求的工程结构物,还常作为建筑实体长久地存在于社会生活之中。那些工程宏大、雄伟壮观的大桥,往往成为一座城市的标志和骄傲;那些造型别致、建筑精良的中小桥,往往成为人们日常生活中必不可少的通道和景观。桥梁发展到21世纪,已成为跨越承载的工程结构,开放公共的大众建筑,造型多样的人工景观,沟通交流的社会通道。

我国幅员辽阔,大小山脉纵横,江河湖泊众多。至今,我国已建成70万余座、延长约3.7万千米的公路桥梁,以及6万余座、延长约1.1万千米的铁路桥梁。随着国家经济建设的进一步发展,仍需要大力加强包括公路、铁路和城市道路在内的基础设施建设,需要新建和管理养护大量的公路、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。

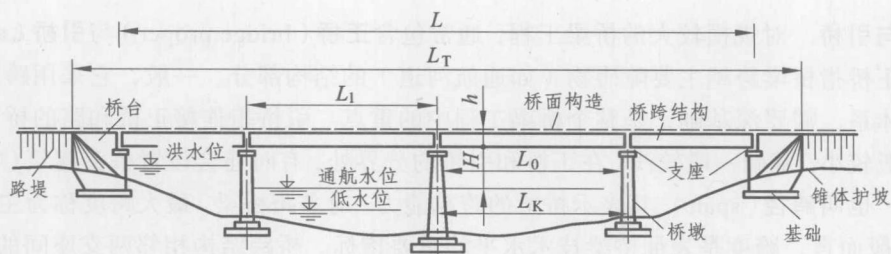


图 1.1 桥梁的基本组成

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：前者指桥梁中能直接承受桥上交通荷载的、架空的主体结构部分；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。

桥面构造是指公路桥的行车道铺装，铁路桥的道砟 (道床)、桥枕、钢轨，以及伸缩装置，排水防水系统，人行道与栏杆，安全带或安全护栏，路缘石，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)。桥梁墩台的布置需与桥跨结构的布置相对应。桥台分设在桥跨结构的两端，桥墩则设在两桥台之间。对只有一个孔跨的桥梁，则无需设置桥墩。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 (abutment slope protection)。墩台之下需设置基础，其是承受由上至下的全部荷载 (包括交通荷载和结构重力) 并将荷载传递给地基 (subgrade) 的结构物。它通常埋入在土层中或构筑在基岩上，时常需要在水中施工。

架空的桥跨结构与支承结构一起，组成承重结构 (load-bearing structure)。承重结构由梁、墩台、拱、塔、缆、拉索等构件组成，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、跨越障碍并支承在基础之上。承重结构的任何一部分破坏，桥梁就可能发生结构局部或整体破坏；而非承重结构或附属结构的破坏，则不会导致桥梁的彻底破坏。

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，适应结构变位要求 (见第七章)。

支座提供的约束影响着上部结构的受力行为，因此，也可视其为上部结构的一部分。

根据具体情况，与桥梁配套建造的附属结构物或设备可能有：挡墙、护坡、导流堤、检查设备、台阶扶梯、导航装置等。

参照图 1.1，对桥梁工程常用的专业名词和技术术语，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),其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 ,称为桥梁全长。它标志桥梁的长度规模。两桥台台背前缘 (对铁路桥,指桥台挡砟前墙) 之间的距离 L ,称为多孔跨径总长 (对公路桥) 或桥梁总长 (对铁路桥)。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。

表 1.1 桥涵按跨径分类

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	②	$L_K < 5$	③

注: ① 当公路或铁路线路与沟渠相交时,为使水流从路下通过而修建的跨度较小的结构物,称为涵洞。涵洞的作用与桥类似,构造形式有圆管涵、盖板涵、拱涵、箱涵等,可采用砖石、混凝土、钢筋混凝土等材料建造。

② 对管涵和箱涵,不论孔数多少和跨径大小,均称为涵洞;

③ 一般指 $L < 6\text{ m}$ 且顶上有填土者。

水位 指河流、湖泊等水体的自由水面离某一基本水准面 (简称基面) 的高程,以米计。我国桥梁设计中通常采用的是黄海基面。经过长时期对桥位处水位 (water level) 的观测后,可得出该处的最高或最低水位。汛期内因降雨或融雪引起的河流急剧上升的水位,称为洪水位。能保持船舶正常航行时的最高和最低水位,称为通航水位。

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 公路桥面 (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 (construction depth)。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程之差,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。

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的特征。

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**,**城市桥**等。

铁路桥 (railway bridge) 专供铁路列车行驶,桥的宽度(由线路数决定,多为单线或双线)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更换。与铁路桥相比,**公路桥** (highway bridge) 的车辆活载相对较小,桥的宽度和跨度布置根据实际需要确定。

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。我国早期在长江上建造的主要特大桥(如在武汉、南京、枝城、九江、芜湖等地的大桥)大多如此。公铁两用桥中通常布置双线铁路,近年来,随着城际客运专线铁路的迅猛发展,城市区域内的公铁两用桥的线路数常常达到 4 线。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),将公路桥、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。

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,或市区内河流,或封闭的高速公路,为行人及非机动车提供便利。除高速公(铁)路上的桥梁外,其他桥梁通常提供行人过桥的通道。

相对于公路桥和铁路桥而言,在城市范围内的桥梁(包括立交桥及人行桥,但不包括铁路桥)也被称为**城市桥** (municipal bridge),其设计荷载标准(见第三章)与公路桥者有所差别,桥梁的造型和景观也需适当考虑城市环境因素。

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跨越河流沟渠而建的中小规模的桥梁。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**,以及**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(见第六章)较多。近年来,随着大跨度公路悬索桥、斜拉桥及城市桥梁的发展,公路和城市钢桥的应用也越来越普遍。

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。

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。随着桥梁工程的技术发展,桥梁结构的材料组合也有更多的形式,例如,钢梁与混凝土梁连接形成的混合梁,钢管内灌注混凝土形成的**钢管混凝土**(多用于拱桥),**钢塔段与混凝土塔段组合形成的混合塔**等。

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。**木桥** (timber bridge) 多采用梁桥形式,主要用于一些临时性桥梁和林区桥梁。

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，修建过铸铁拱桥和锻铁梁桥。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，以及由两种基本体系或一种基本体系与梁、柱、塔及斜索等构件形成的组合体系，如系杆拱桥（tied arch bridge）和斜拉桥（cable-stayed bridge）。图 1.2 所示为按结构体系划分的主要桥梁结构类型，详细论述见后续有关章节。

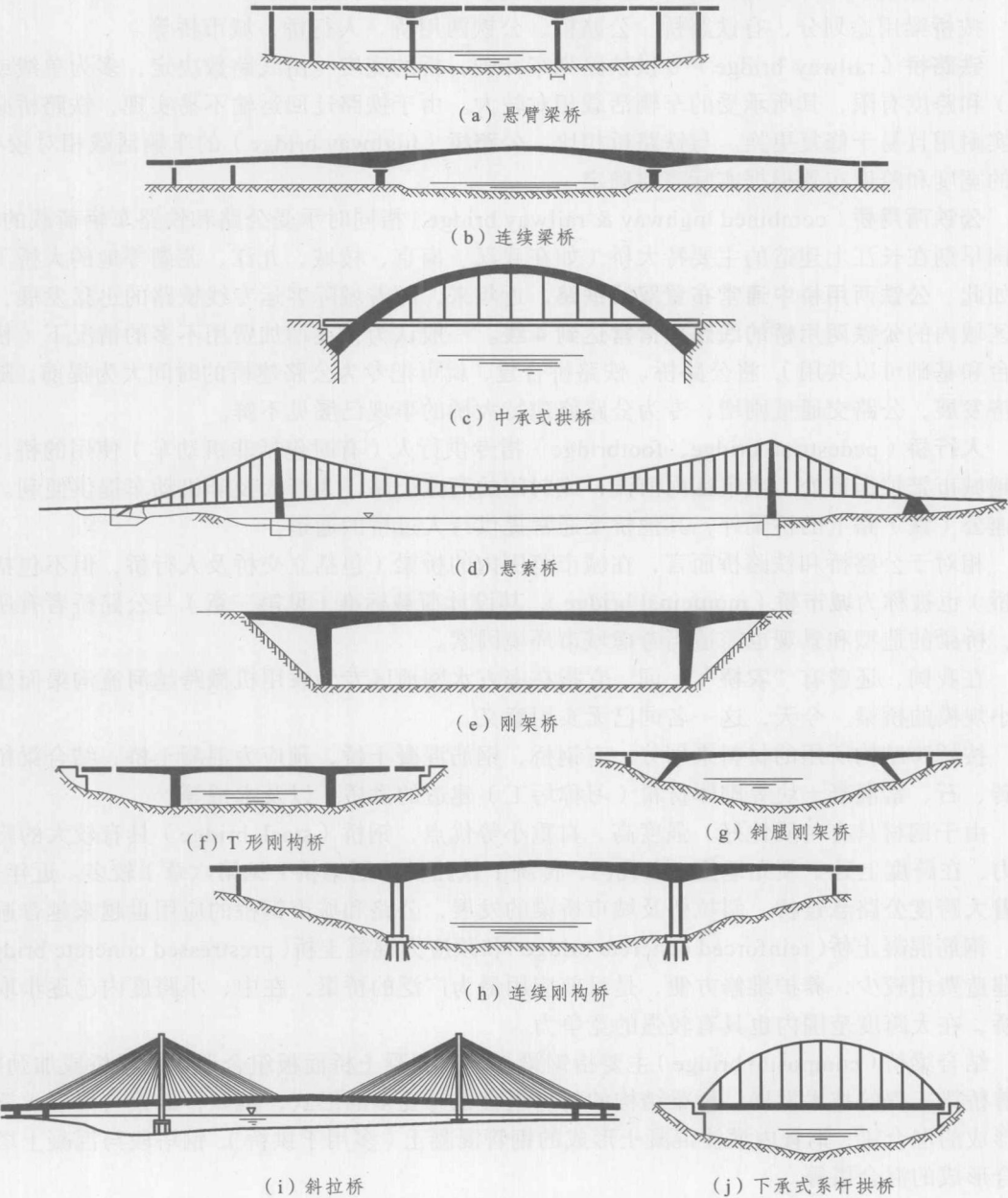


图 1.2 桥梁结构体系分类

按桥跨结构与桥面的上下相对位置划分，有上承式桥、下承式桥和中承式桥。

对梁桥和拱桥,桥面(deck)布置在桥跨结构顶面的,为上承式桥(deck bridge);相应地,布置在底面的称为下承式桥(through bridge,如图1.2(j)所示),布置在中间位置的称为中承式桥(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要求,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;为使桥面宽度满足行车要求,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。

另外,在同一座桥中,桥跨结构与桥面的相对位置也可有所变化。

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,必须遵循相关设计规范(如《铁路工程水文勘测设计规范》《公路工程水文勘测设计规范》)的要求,使桥的孔径、跨度、桥面高程、基础埋深等的设计既能保证桥在排洪和通航时的安全,又不得及河流的功能。

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、高墩多的结构型式。通常,对于较窄的河谷,可考虑采用一跨结构(如拱、斜腿刚架或悬索桥)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、多塔斜拉桥或悬索桥。

直接跨越其他线路(公路、铁路、城市道路等)的桥称为跨线桥(overpass, flyover),其中跨越城市街道的人行桥,也叫天桥(overpass)。当跨线桥还需要与其所跨越的线路互通时,就形成立交桥(grade separation 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较小的桥跨结构。

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(underpass bridge)。旱桥(dry bridge)指建在无水地面的桥。其跨度一般不大,其桥墩截面形状无需适应河流要求。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向海上建造的桥。在通航频繁的海峡或海上航道处,需采用大跨度的悬索桥或斜拉桥作为通航孔桥;对水域宽阔的海面,多采用跨度适中的多跨预应力混凝土梁作为非通航孔桥。跨海桥的长度,从几千米到几十千米,需在自然条件复杂的近海环境中施工,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和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,为保证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,称为弯桥或曲线桥(curved bridge)。当桥位于线路的曲线区段、且跨度不大时,可将多跨直梁按折线布置,仅让桥面适应曲线要

求；若跨度较大，便应改变梁的平面形状，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。永久性桥梁指用钢材、混凝土、石材等耐久材料所修建的桥梁，其设计和施工应该遵照适用的规范办理，期在经济合理，使用寿命在百年左右。临时性桥梁也称为便桥（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。建桥材料可用木材、钢材和制式设备（如万能杆件等），孔径和跨度可以基本上不考虑洪水影响；使用时，通常还会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，可称为固定式桥梁；在特殊情况下，为兼顾陆路交通要求和河流通航要求，也修建开启桥或活动桥（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、竖转或其他转动方式）的桥，而提升或转动的目的则是为了让桥下可通过吨位较大的船舶。与固定式桥梁相比，开启桥的桥面高程可降低，桥长可缩短，规模可减小，由此建造费用可节省，但其陆路交通和桥下航运均会受到一定限制，且后期维修管理费用也较高。

专为军事目的而修建的桥，可称之为军用桥（military bridge）。军用桥多为临时性桥梁，常用者之一就是贝雷桥（Bailey bridge），其由贝雷桁架组成，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），其用船或浮箱浮在水面代替桥梁。现代军用桥多采用高强钢材制造，种类繁多，构造各异，可由制式装备载运，具有自行性、装拆快速、承载力大的特点。

伴随着城市交通的发展，需要修建高架桥（viaduct）或高架路。其主要目的是让新增线路高出于地面，从而增加通行能力。高架桥也指跨越陆地或地势较平坦的河谷、桥面高程起伏不大的长桥。在山区修建高架桥，主要目的则是为了避开山地灾害（如滑坡，落石，泥石流等）频发区，保护森林植被，减少大面积挖填对自然环境的破坏。

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）。传统的栈桥采用木质桩柱与梁形成的小跨度梁柱结构，因其与古代栈道相似而得名。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。

廊桥或风雨桥（covered bridge）是指在桥面之上设有顶盖的人行桥。古代廊桥的顶盖构造各异，起到遮阳避雨、保护结构、彰显传统特色等作用。现代廊桥多采用钢或混凝土梁式结构，作为城市跨街天桥或建筑之间的通道。

为输水而修建的架空渠道称为渡槽或水道桥（aqueduct），而为通过管道输送天然气、水、电力等而建造的桥，统称为管线桥（pipeline bridge）。为让人工运河跨越河流等障碍而修建的桥，称为运河桥（canal bridge, water bridge），桥上可行船。

漫水桥（low water crossing）允许洪水从桥面漫过，常修建在低等级公路上，适于洪水持续时间较短、允许交通暂时中断的情况。堤道桥（causeway）越过宽阔水面或湿地，一指跨度较小、桥面尽量接近水面的长桥，也指由路堤加高的线路。摆运桥（transporter bridge, ferry bridge）是一种跨越河流的架空缆车，适于河流不宜摆渡、而建桥投资又较高的情况。

另外，还可根据桥梁的构造特点进行分类，详见后续各章，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，例如，预应力混凝土简支梁的跨度通常不超过 40 m；为加大跨度，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，更合理地利用材料并分配内力，加大跨越能力。悬臂梁（cantilever beam）采用铰结或一跨简支梁（称为挂孔）来连接其两个悬臂端，结构静定，受力明确，计算简便，但因结构变形在接头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）因桥跨结构连续无断缝，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。不论实腹式还是空腹式，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，常采用等高度混凝土 T 形梁（见第五章）或 I 形钢梁（见第六章）；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，并配合悬臂法施工（见第八章）。

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。拱脚（arch springing）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，故通常建在地基良好之处。

拱桥的型式多样，构造各异。其取决于拱桥的建筑材料，拱圈与桥面的相对位置，拱圈是否有推力，拱圈的静力图式、截面型式和拱轴线等。广泛应用的是上承式钢筋混凝土无铰拱桥，大跨度拱桥则多采用钢箱、钢桁架或钢管混凝土构造。详见第八章。

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、大件转移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, tower）、锚碇（anchorage）、加劲梁（stiffening girder）、吊索（hanger）等组成，见图 1.2（d）示意。对跨度较小（通常小于 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。对大跨度悬索桥，其主要承重结构为缆，组合体系的效应可以忽略。在竖向荷载作用下，缆受拉，塔受压，锚碇处会承受较大的竖向力（向上）和水平力（向河心）。大缆通常用高强度钢丝制成，加劲梁多采用钢桁架梁或扁平钢箱梁，桥塔可采用钢筋混凝土或钢或两者。因缆的抗拉性能得以充分发挥且其截面尺寸基本上不受制造限制，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