



桥梁

Qiaoliang
Gongcheng

工程



孙永明 主编



电子科技大学出版社

桥梁

Qiaoliang
Gongcheng

工程



常州大学图书馆
藏书永霸 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁工程 / 孙永明主编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2016.11
ISBN 978-7-5647-3979-9

I. ①桥… II. ①孙… III. ①桥梁工程 IV. ①U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 245860 号

桥 梁 工 程

孙永明 主 编

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 罗 雅
责任编辑: 王 坤 唐祖琴
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 四川永先数码印刷有限公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 17 字数 435 千字
版 次: 2016 年 11 月第一版
印 次: 2016 年 11 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-5647-3979-9
定 价: 50.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

桥梁工程指桥梁勘测、设计、施工、养护和检定等工作过程，以及研究这一过程的科学和工程技术，它是土木工程的一个分支。桥梁工程学的发展主要取决于交通运输对它的需要。随着科技的发展、新材料的开发和应用，桥梁工程施工开始向以大跨、新型、轻质和美观为特点的方向发展。桥梁工程在生产发展与各类科学技术进步的综合影响下，会不断地向前发展。

本书在内容的安排上以基础知识为纲，以实践内容为目，使使用者能够掌握桥梁工程基础知识的同时还能应对复杂的桥梁工程。

全书内容共分为十章，具体如下。

第一章介绍了桥梁的基本情况，对桥梁的历史、现状及发展做了概要说明。

第二、三章介绍了桥梁的总体规划设计及设计作用。

第四、五章分别对混凝土简支梁桥的构造特点与施工、混凝土简支梁桥的计算进行了介绍。

第六、七章分别对刚架桥的基本类型与梁式桥的支座进行了分析介绍。

第八~十章介绍了拱桥的设计、构造与计算，并对斜拉桥、悬索桥进行了简单介绍。

由于编者的水平和经验有限，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正，以便今后完善。

编 者

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 桥梁的组成与分类	(2)
第二节 桥梁建筑的历史、现状及发展	(11)
第二章 桥梁的总体规划设计	(38)
第一节 桥梁设计的基本原则	(38)
第二节 桥梁平、纵、横断面设计	(39)
第三节 桥梁设计与建设程序	(44)
第四节 桥梁建筑美学	(50)
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	(57)
第三节 可变作用	(57)
第四节 偶然作用	(67)
第五节 作用效用组合	(69)
第四章 混凝土简支梁桥	(74)
第一节 混凝土简支梁桥的设计与构造特点	(74)
第二节 简支梁(板)桥的桥墩和桥台	(91)
第三节 简支梁(板)桥施工	(108)
第五章 混凝土简支梁桥的计算	(119)
第一节 桥面板计算	(119)
第二节 主梁结构内力计算	(126)
第三节 荷载横向分布计算	(132)
第四节 结构挠度及预拱度计算	(141)
第六章 刚架桥简介	(150)
第一节 门式刚架桥	(150)
第二节 斜腿刚架桥	(153)

· 桥梁工程 ·

第七章 梁式桥的支座	(161)
第一节 常用支座的类型和构造	(161)
第二节 支座的布置	(166)
第三节 支座的计算	(167)
第八章 拱桥的设计与构造	(173)
第一节 拱桥总体布置与设计	(173)
第二节 简单体系拱桥的构造	(176)
第三节 拱式组合体系桥的设计与构造	(194)
第九章 拱桥的计算	(200)
第一节 上承式拱桥的计算	(200)
第二节 中、下承式钢筋混凝土拱桥计算	(224)
第三节 其他类型拱桥的计算特点	(229)
第十章 其他桥型	(239)
第一节 斜拉桥	(239)
第二节 悬索桥	(252)
参考文献	(265)

第一章 概 论

桥梁 (bridge) 是跨越江河、山涧, 供人、车通行的人工构造物, 是道路的重要组成部分。在工程建设中, 一般来说桥梁与涵洞的造价平均占公路总造价的 10% ~ 20%, 在山区高等级公路中, 所占的比例会更大。随着道路等级的提高, 其所占比例还会增大。在技术方面, 桥梁技术难度一般比公路土石方工程大, 机械设备使用多, 对技术工种、技术工人的数量和要求也较高。在工期方面, 一般来说一些大桥或特大桥往往成为一条线路中的工期控制点。从维修方面来说, 战争、地震等造成的桥梁损坏, 修复难度大, 持续时间长, 引起的直接损失和间接损失均很大。

桥梁作为交通的重要组成部分, 与政治、经济、军事、科技、文化、艺术等也都有密切的关系。政治安定、经济繁荣, 桥梁事业就得到发展, 反之, 桥梁事业就会停滞不前。而战争, 一方面促进了桥梁技术的进步, 另一方面也带来极大的破坏。桥梁与科技的关系自不待言, 与文化、艺术的关系也可从桥梁建筑的风格、装饰等方面看出。

早期的桥梁均利用天然材料, 简易而跨越能力极弱, 且耐久性差。砖的发明开始了人工材料应用的历史, 而铁的发现一方面为开采矿石扩大其应用提供了可能, 另一方面铁用于桥梁也引起了桥梁技术的极大进步。19 世纪混凝土的发明、钢的应用, 使桥梁技术产生了革命性的飞跃, 从此进入了预应力混凝土桥与钢桥并驾齐驱的新时代。

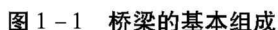
新材料的应用是桥梁技术前进的巨大动力之一, 而计算理论的发展是桥梁技术进步的另一个重要因素。从远古的经验积累, 到后来的材料力学、结构力学、弹塑性力学等计算理论, 容许应力法、极限状态法以及全概率设计的设计理论, 以及当今计算机应用的普及, 这些都不断地推动着桥梁技术的进步。施工技术的进步和创新更使得当今的桥梁结构日新月异。可以说桥梁建筑从古到今得到了极大的发展, 现在已经进入技术全面进步的时代。

桥梁技术的进步与各个领域新的理论与技术成果不断地被应用是分不开的。例如, 桥梁建筑设备机具的进步、施工方法的改进、新工艺的产生等, 都是桥梁技术进步的重要因素。因而, 桥梁技术进步反映着一国一地的综合能力和科技水平。另一方面, 随着人类交往的日益增加, 人类文明成果更快更广泛地得以传播, 加速了桥梁技术进步的进程。因此, 桥梁技术是伴随着人类文明的发展而不断进步的, 它反过来也不断促进着工程技术的进步, 它在一定程度上成为人类文明的表征, 代表着一个时期和一个地区的文化与科学技术的水平, 还经常成为一城一地的象征, 如美国旧金山的金门大桥, 英国伦敦的塔桥, 澳大利亚悉尼的钢拱桥, 上海的南浦、杨浦和卢浦大桥。

桥梁还与宗教有着密切的联系, 有趣的是, 历史上中西方的宗教大都把建桥看成积功德之事, 许多牧师和僧人都积极参与了桥梁的建设, 其中有些还是杰出的桥梁技术人员, 为推动桥梁的进步, 做出了积极的贡献。由于桥梁的重要性, “桥梁”二字除指物质的桥梁外, 早已有了更深刻的内涵。

一、桥梁的组成

图 1-1 给出了最常见的梁式桥, 一些与桥梁布置和结构有关的主要尺寸和名称术语。



心间的水平距离，用 l 表示。

净跨径 (clear span)：梁式桥的净跨径是指设计洪水位上相邻两个桥墩（或桥台）之间的净距，用 l_0 表示。

桥面净空 (clearance above bridge floor)：桥梁行车道、人行道上方应保持的空间界限。其中，净宽 (clear width) 指行车道、人行道有效的使用宽度。行车道净宽与车道数、行车速度有关。

桥梁高度 (height of bridge)：是指桥面与低水位之间的高度差，或为桥面与桥下线路路面之间的距离。

桥下净空 (clearance of span)：为满足桥下通航（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。其中，桥下净空高度是设计洪水位或计算通航水位至桥跨结构最下缘之间的距离，用 H 表示，它应保证能安全排洪，并不得小于对该河流通航所规定的净空高度。对于跨线桥或立交桥，桥下净空对于保证所跨越线路的通行能力至关重要。

桥梁建筑高度 (construction height of bridge)：是指桥上行车路面（或轨顶）高程至桥跨结构最下缘之间的距离，用 h 表示。桥梁的建筑高度不得大于其容许建筑高度，否则就不能保证桥下的通航要求或其他交通的通行要求。

涵洞 (culvert)：是用来宣泄路堤下水流的构造物，有时还起到灌溉、过人或车及过管线的作用。通常在建造涵洞处路堤不中断。我国公路桥梁中，凡是多孔跨径的全长不到 8m 和单孔跨径不到 5m 的结构物，均称为涵洞。

2. 桥梁组成

桥梁结构一般分为上部结构 (superstructure) 与下部结构 (substructure)。上部结构包括桥面铺装 (deck pavement)、桥面系 (bridge decking)、承重结构 (main structure)，以及联结部件 (bracings)；下部结构为桥墩 (pier)、桥台 (abutment) 和基础 (foundation)，有时下部结构仅含桥墩与桥台，将桥梁基础单列。桥梁上、下部结构之间常采用支座 (support; bearing) 联结。表 1-1 给出了一座桥梁各组成部分及其作用。

表 1-1 桥梁的组成部分及各部分的作用

桥梁的组成部分			各组成部分的作用
上部结构	桥面铺装	公（铁）路面、人行道	车辆或行人行走部分
	桥面系	纵梁、横梁或其他形式	支承桥面，将荷载传给承重结构
	承重结构	主梁（或拱、索）	支承桥道结构，架立在支座上，将荷载传给支座
	联结部件	纵向及横向	位于主梁之间，承受水平荷载
下部结构	支座	固定支座、活动支座 (或全约束支座，鞍座)	支承上部结构，将荷载传给墩台；将上部结构固定在墩台上；保证上部结构的伸缩、弯曲等变形
	墩台	桥台（位于岸边） 桥墩（位于中间）	支承上部结构，将上部结构荷载传至基础（桥台兼起挡墙作用）
	基础	浅基础或深基础 (桩、沉井或沉箱)	将桥墩（桥台）传来的荷载分布到地基（土壤或基岩）中去

(1) 上部结构

桥梁上部结构（或称桥跨结构、桥孔结构），是在线路遇到障碍（如河流、山谷或其他线路等）而中断时，跨越这类障碍的主要承载结构。按结构类型将桥梁分为梁桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等，这里不再赘述。

(2) 桥墩与桥台

桥墩、桥台及其基础统称下部结构，它的主要作用是承受上部结构传来的荷载，并将它及本身的自重传给地基。

桥墩支承相邻的两孔桥跨，居于桥梁的中间部位。桥台居于全桥的两端，前端支承桥跨，后端与路基衔接，起着支挡台后路基填土并把桥跨与路基连接起来的作用。桥梁墩台除承受上部结构的作用力外，桥墩还受到风力、流水压力及可能发生的冰压力、船只和漂流物的撞击力，桥台还需承受台背填土及填土上车辆荷载产生的附加侧压力。因此，桥梁墩台不仅本身应具有足够的强度、刚度和稳定性，而且对地基的承载能力、沉降量、地基与基础之间的摩阻力等也都提出一定的要求。

桥梁墩台的结构形式多种多样。随着桥梁建设事业的发展，特别是高等级公路桥梁和城市桥梁的兴起，出现了许多造型新颖、轻巧美观的墩台结构形式，如图 1-2 所示。优秀的桥梁设计方案，往往注重展现下部结构的功能和造型，使上、下部结构协调一致，互为点缀，进而烘托出桥梁方案的整体效果。桥梁下部结构的发展方向是轻型、薄壁、造型美观等。

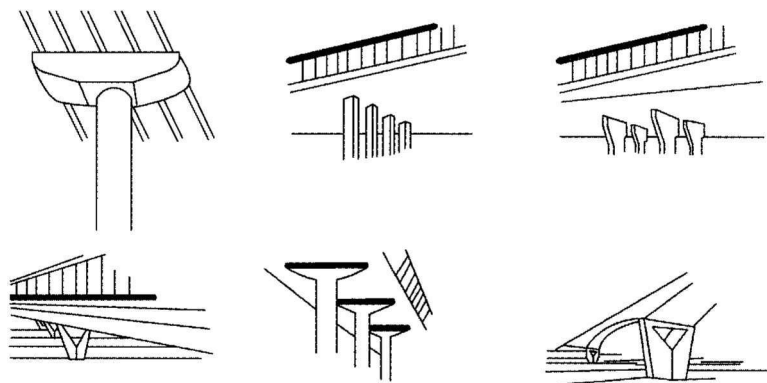


图 1-2 各种轻型桥墩形式

桥梁下部结构的选型，应遵循安全耐久，满足交通要求，造价低，维修养护少，预制施工方便，工期短，与周围环境协调，造型美观等原则。桥梁的墩台设计与结构受力有关，与土质构造和地质条件有关，与水文、流速及河床性质有关。因此桥梁墩台要置于稳定可靠的地基上，并通过设计和计算确定基础形式和埋置深度。桥梁下部结构经受洪水、地震、桥梁活载等动力作用，要确保安全、耐久，就必须充分考虑上述各种因素的组合作用。

桥梁是一个整体，上、下部结构共同工作、互相影响，要重视下部结构与上部结构的合理组成，特别是在墩梁固结的连续刚构桥中。在某些情况下，桥梁的下部结构很难与上部结构截然分开。同时还要求桥梁下部结构的造型与周围的地形、地物条件密切相关，使桥梁与环境和谐、匀称。

墩台的施工方法与结构形式有关，桥梁墩台的施工，主要有在桥位处就地施工与预制

装配两种。就桥墩来说，目前较多的采用滑动横板连续浇筑施工，它适用于高桥墩、薄壁直墩和无横隔板的空心墩。而装配式墩常在带有横隔板的空心墩、V形墩、Y形墩等形式中采用。在墩台施工中，应从实际情况出发，因地制宜地提高机械化程度，大力采用工业化、自动化和施加预应力的施工工艺，提高工程质量，加快施工速度。

(3) 墩台基础

墩台基础是使桥上全部荷载传至地基的结构部分。基础工程在整个桥梁工程施工中是比较困难的部位，而且经常需要在水中施工，因而遇到的问题也很复杂。

(4) 支座

在桥跨结构与桥墩、桥台的支承处所设置的传力装置，称为支座，它不仅传递很大的荷载，并且要保证桥跨结构能产生一定的变位。支座的类型与构造、设计与计算见第二章介绍。

(5) 桥梁与路的连接

路堤与桥台衔接处，一般在桥台两侧设置石砌的锥形护坡，以保证迎水部分路堤边坡的稳定，相关内容在《基础工程》课程中介绍。

二、桥梁的分类

1. 分类简述

桥梁的分类可按其功能、使用的材料和结构形式等进行分类。

按跨越的障碍类型，桥梁可分为跨河桥、跨谷桥、跨线桥（立交桥）、高架桥等。跨河桥（river-crossing bridge）最常见。跨谷桥（gorge-crossing bridge）是指跨越谷地的桥梁，对于较窄的河谷，可以采用一跨大拱或斜腿刚构跨越；对于较开阔的谷地，可采用多跨高墩梁式桥，此时的跨谷桥也是高架桥（viaduct）。当然，高架桥还常常用于城市多层道路之中。跨越其他线路（公路、铁路、城市道路）的桥梁称为跨线桥（overpass bridge），当桥梁所在的线路还要与其他线路互通时，就形成立交桥（flyover bridge）。

按桥面（通道）与桥跨结构（承重结构）的相对位置，桥梁可分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。桥面布置在桥跨结构之上的，称为上承式桥（deck bridge）；桥面布置在桥跨结构下面的称为下承式桥（through bridge）；而一部分桥面在桥跨结构上面、另一部分桥面在桥跨结构下面的，称为中承式桥（half-through bridge）。一般来说，混凝土梁桥为上承式桥，斜拉桥、悬索桥为下承式，钢桁梁桥上、下承式都有，拱桥上、中、下承式都很常用。

按平面形状，桥梁可分为正桥、斜桥和曲线桥。绝大部分桥梁为正桥（正交桥，right bridge）。斜桥（skew bridge）指桥轴线与桥台、桥墩或两者不呈直角相交的桥梁。桥梁轴线在平面上呈曲线的桥称为平面曲线桥，简称为曲线桥（curve bridge）。与曲线桥相对应的是直桥，指桥梁纵轴线是直线，它包含了正桥与斜桥。在高等级公路中，为服从线路线形的需要，斜桥和曲线桥采用得较多，立交桥的匝道桥更是少不了曲线桥。斜桥与曲线桥的受力有其特殊之处。

此外，将桥面高程较低的桥梁修成可以开启一部分为通航的，称之为开启桥或活动桥（movable bridge），相对的，一般意义上的桥梁就是固定桥。为军事目的而修的桥梁称为军用桥（military bridge），而一般的桥称为民用桥。军用桥为了修建快速，常用船或浮箱浮

· 桥梁工程 ·

在水面，代替桥墩，上面架设贝雷梁（bailey beam）成为浮桥或舟桥（floating bridge）。浮桥一般属于临时性桥梁。施工或特殊情况时，也常修建临时性桥梁，一旦短期内的任务完成，就拆除掉。相对于临时桥，一般的桥梁则为永久性桥（虽然也有服务年限）。

2. 按用途分类

桥梁按用途分类，可分为公路桥（highway bridge）、城市桥（municipal bridge）、铁路桥（railway bridge）、公铁两用桥（highway and railway bridges）、人行桥（pedstrain bridge；foot bridge）以及管道桥、水路桥、机场跑道桥等。

公路桥与城市桥均以通行汽车为主，与专供铁路列车行驶的铁路桥相比，活载相对较轻，桥的宽度相对较大（其中，城市桥的宽度相对较宽）。公铁两用桥指能同时承受公路和铁路荷载的桥梁，一般规模较大。它可做成双层桥面桥（double deck bridge），如我国武汉长江大桥、南京长江大桥等；也可做成同一平面的，如澳大利亚的悉尼港钢拱桥。人行桥指专供行人通过的桥梁，活载较小、桥面较窄，结构造型较灵活，对美学要求较高，总造价也不高，因此常采用一些造型独特、新颖的结构。

我国的桥梁按其用途与所属管理部门主要分为公路桥、城市（市政）桥、铁路桥和其他专用桥。公路桥属交通部门（交通系统）管理，城市桥属市政部门（建设系统）管理，铁路桥属铁道部门（铁道系统）管理，其他专用桥则根据其用途和业主分属于矿山、林业、港口等部门。不同用途桥梁的设计、施工、管理等规范、标准等不同，主要有公路、市政与铁路三大体系。

3. 按结构类型分类

作为一种结构，对工程师来说，从力学的角度出发，桥梁的结构体系的划分在桥梁的分类中有着特别重要的意义。工程结构上的受力构件，总离不开拉、压和弯曲三种基本受力方式。由基本构件所组成的各种结构物，在力学上也可归结为梁式、拱式、悬吊式三种基本体系以及它们之间的各种组合。

梁式桥、拱式桥和吊桥是三种古老的桥梁结构形式。随着桥梁结构形式的发展，一些新的桥型不断出现，这些新桥型可以看成梁式、拱式和悬吊式的组合，比如斜拉桥和刚构桥。由于斜拉桥和刚构桥在近代得到很大的发展，目前常将这两种结构与梁式、拱式、悬吊式三种传统的桥梁形式并列，因此我国常将桥梁按结构划分为五种桥式，即梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥、刚构桥等。在国外钢桁梁桥应用很多，桁梁常独立于梁桥之外作为一种桥型，桥梁结构就可分成六种，即梁桥、桁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥、刚构桥等。除这些基本桥型外，还有一些其他类型的组合体系桥梁，但由于数量不是很多，本书将不作特别介绍。

本书将按梁桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥来叙述。

（1）梁桥（beam bridge）

梁式体系是古老的结构体系。梁桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力、以受弯为主的结构（如图 1-1 所示）。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，故与同样跨径的其他结构体系相比，梁内产生的弯矩最大，通常需要抗弯能力强的材料（钢、木、钢筋混凝土等）来建造，跨越能力也比较有限。目前我国公路上应用最广的是预制装配式的钢筋混凝土和预应力混凝土简支桥梁。这种梁桥的结构简单，施工方便，对地基承载力的要求也不高，其常用跨径在 50m 以下。当跨度较大时，为了达到经济

省料的目的,可根据地质条件等修建悬臂式或连续式的梁桥。对于很大的跨径,以及对于承受很大荷载的特大桥梁可建造钢桥。

(2) 拱桥 (arch bridge)

拱桥的主要承重结构是拱圈或拱肋。这种结构在竖向荷载作用下,桥墩或桥台将承受水平推力(如图 1-3 所示)。同时,这种水平推力将显著抵消荷载所引起的在拱圈(或拱肋)内的弯矩作用。

因此,与同跨径的梁相比,拱的弯矩和挠度要小得多。鉴于拱桥的承重结构以受压为主,通常就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。

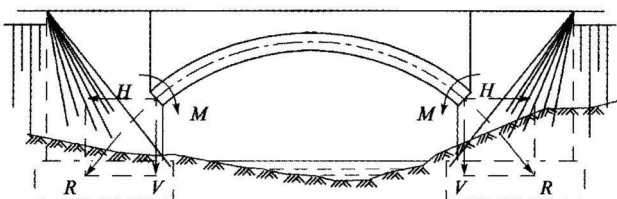


图 1-3 拱式桥梁

拱桥的跨越能力很大,外形也较美观,在条件许可的情况下,修建圬工、钢筋混凝土或钢管混凝土拱桥往往是经济合理的。但为了确保拱桥能安全使用,下部结构和地基必须能经受住很大水平推力的作用。跨径很大时,可建造钢拱桥。拱桥由于主拱在合龙之前不能发挥拱的作用,因此其施工常需要其他辅助设施或构造,与其他桥型相比,一般来说拱桥的施工难度较大。

(3) 刚构桥 (rigid frame bridge)

刚构桥的主要承重结构是梁(或板)和立柱(或竖墙)整体结合在一起的刚架结构,梁和柱的连接处具有很大的刚性(如图 1-4 所示)。在竖向荷载作用下,梁部主要受弯,而在柱脚处也具有水平反力,其受力状态介于梁桥与拱桥之间。斜腿刚构的受力特点与拱相近,直腿刚构则与梁相近。对于同样的跨径,在相同的荷载作用下,刚构桥的跨中正弯矩要比一般梁桥的小。根据这一特点,刚构桥跨中的建筑高度就可以做得较小。在城市中当遇到线路立体交叉或需要跨越通航江河时,采用这种桥型能尽量降低线路高程以改善纵坡并能减少路堤土方量。当桥面高程已确定时,能增加桥下净空。本书没有将刚构桥单独列出,将无推力刚构桥归入梁式桥中,有推力的刚构桥归入拱桥中。

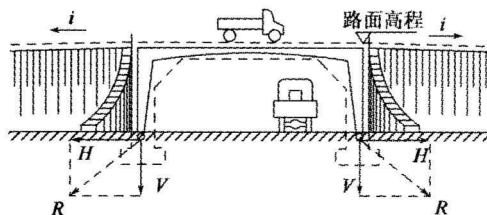


图 1-4 刚构桥

(4) 悬索桥 (suspension bridge)

现代悬索桥(如图 1-5 所示),通常由桥塔、锚碇、缆索、吊杆、加劲梁及索鞍等主要部分组成。主缆广泛采用高强度钢丝编制的钢缆,以充分发挥其优异的抗拉性能,因此结构自重较轻,能以较小的建筑高度跨越其他任何桥型所不能及的特大跨度,其经济跨径在 500m 以上。悬索桥的另一特点是主缆可以通过细小的钢丝或钢丝束集合而成,桥梁所

用的大直径缆索能够通过小型安装设备完成。主缆架设完成后，主缆是一个现成的悬吊式脚手架，因此同其他桥型所用的施工方法相比，风险较小。

桥塔承受缆索通过索鞍传来的垂直荷载和水平荷载以及加劲梁支承在塔身上的反力，并将各种荷载传递到下部的塔墩和基础。桥塔同时还受到风力与地震的作用。桥塔的高度主要由垂跨比确定。已建成的大跨度悬索桥中大多数桥塔采用钢结构，随着预应力技术和爬模技术的发展，造价经济的混凝土桥塔已有了较多的应用。

悬索桥，由于悬索是柔性结构，刚度较小，当活载作用时，悬索会改变几何形状，引起桥跨结构产生较大的挠曲变形，在风荷载、车辆冲击荷载等动荷载作用下容易产生振动。历史上悬索桥发生破坏的事故较多，但从 1940 年后开展桥梁抗风稳定性研究以来，暴风损毁桥梁的事故已可避免，但对于其动力响应（车振响应，风振及地震响应）方面则应继续开展研究。

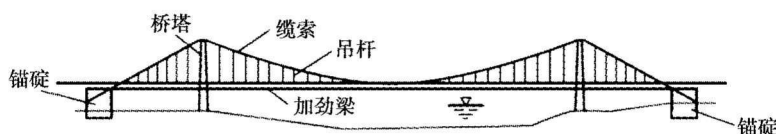


图 1-5 悬索桥

(5) 斜拉桥 (cable-stayed bridge)

斜拉桥（如图 1-6 所示）是由承压的塔、受拉的索与受压弯的梁体组合起来的一种结构体系。主要承重的主梁，由于斜拉索将主梁吊住，使主梁变成多点弹性支承连梁工作，并承受斜拉索水平分力施加的压力作用，由此减小了主梁截面，增强了跨越能力。斜拉桥的跨越能力大于梁桥和拱桥，仅次于悬索桥。在技术可达的跨径范围内，一般来说斜拉桥的经济性能优于悬索桥。斜拉桥与悬索桥相比，是一种自锚体系，不需造价昂贵的锚碇；防腐技术要求也低些，刚度大，钢束用量少。

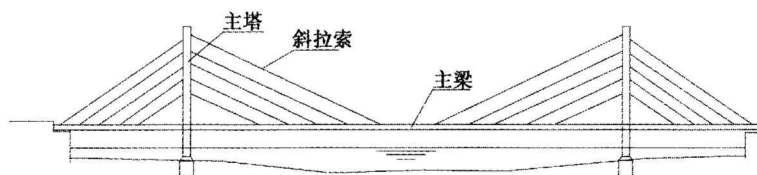


图 1-6 斜拉桥

斜拉桥构想，起源于 19 世纪，限于材料水平，建成不久即被淘汰。20 世纪中叶，由于出现了高强钢丝、正交异性钢板梁，加上计算机在结构分析中得到广泛应用，斜拉桥又蓬勃发展起来，结构形式越来越丰富、跨越能力也越来越大，成为当代世界大跨度桥梁的主要桥型。斜拉桥的最大跨径已达 1104m（俄罗斯的俄罗斯岛大桥）。

上述几种基本桥型之间还可以组合起来，产生新的桥型，如拱与梁的组合成为拱梁组合桥，连续梁与刚架的组合成为连续刚构桥等。

4. 按材料分类

桥梁也可以按上部结构的主要建造材料划分，如木桥、石桥、混凝土桥、钢桥等。这种划分并不意味着整座桥都用某一种材料建造，而是指其主要材料或主结构所用的材料。实际上一座桥经常是由不同的材料建成的，例如一座钢梁桥，其主梁是由钢材制成，但其墩台和桥面板可能用的是钢筋混凝土材料。

在现代桥梁中,钢和混凝土是两种最主要的建筑用材。在石材丰富的发展中国家,因为劳动力和原材料价格比较便宜,石材在现代也还被广泛应用于桥梁结构中,尤其是在桥梁的下部结构(墩台)中。此外,木材、铝材、不锈钢等也有被用于现代桥梁的建造。近十年来,碳纤维等新型的高级组合材料在桥梁结构的维修中应用越来越广泛。

桥梁技术的进步与新材料在桥梁中的应用是分不开的。随着桥梁建筑材料从木、石、藤等天然的材料,到铁、钢和钢筋混凝土、预应力混凝土材料的发展,桥型不断丰富、跨径也不断突破。新材料的发展使得桥梁工程师可以建造更好、跨径更大、更牢固的桥梁,反过来,材料也将制约桥梁跨径的发展。

(1) 混凝土桥 (concrete bridge)

混凝土桥包括钢筋混凝土桥 (reinforced concrete bridge, 简称 RC bridge) 和预应力混凝土桥 (prestressed concrete bridge, 简称 PC bridge)。它们将抗压性能好的混凝土和抗拉能力强的钢筋结合起来,所建造的桥梁具有能就地取材、施工工业化、耐久性好、养护费用低、适应性强、整体性好等特点。但它与钢桥相比,自重较大,跨径能力受到制约。对于预制的构件,架设难度大;对于现浇的混凝土桥施工周期长、支架和模板费用较高。

对于量大面广的中小跨径桥梁,混凝土梁(板)桥在国内外都占有主导地位。对于跨径小于 20m 以下的桥梁,可以用钢筋混凝土简支板桥或梁桥;跨径为 30 ~ 50m,采用预应力混凝土简支梁桥;更大跨径则可以用连续梁或连续刚构桥。大跨径的预应力混凝土梁桥通常采用箱形断面。

以受压为主的拱桥也经常采用钢筋混凝土来修建,跨径最大已达 420m。斜拉桥也可以采用预应力混凝土主梁。

混凝土桥是目前应用最为广泛的桥梁,在中小跨径中已逐步取代钢桥,在大跨度范围内也有较强的竞争力。

(2) 钢桥 (steel bridge)

钢材相对于混凝土来说虽然重度大,但其强度高,其重度与强度的比值比混凝土小很多,因此构件的自重轻,跨越能力强,是大跨径桥梁的理想材料。

钢材便于工厂化加工,运输、架设方便、施工速度快,因此,对于要求工期短、对现场干扰小、施工条件差的桥梁建设中,钢桥常常是很好的选择。

钢材的主要缺点是易受腐蚀,养护费用高,尤其对于处于易腐蚀环境的桥梁。钢桥腐蚀、受拉疲劳、受压失稳是其破坏的最主要原因。同时,与混凝土桥梁相比,钢桥的材料费用与加工费用高,虽然架设费用可能会低些,但总体来说往往还是高于混凝土桥梁,这在发展中国家更为突出。相对而言,发达国家钢桥应用较多。

用于桥梁的钢材主要是钢板、型钢和高强度钢索。最常见的钢桥有钢板梁桥和钢桁梁桥。钢板梁桥通常是由主要受力的钢板主梁和支承于其上的钢筋混凝土桥面板组成,这种不考虑桥面板与主梁共同作用的钢板梁桥现在越来越多地被考虑两者相互作用的钢-混凝土组合梁桥所代替。钢桁梁桥的跨越能力比钢板梁桥大,在我国的公路桥中较少采用,主要应用于铁路桥中,如武汉长江大桥、南京长江大桥;跨径更大则可以与拱或索加劲,如九江长江大桥为柔拱钢桁梁桥、芜湖长江大桥为斜拉钢桁梁桥。

对于大跨度的钢桥,如悬索桥和斜拉桥,则可能是全钢结构,加劲梁用钢桁梁或钢箱梁。拱桥也可以用钢建造,它的跨径可以比混凝土拱桥大,但其造价较高。

(3) 组合桥与复合桥

组合桥 (composite bridge) 是指主要受力构件的截面上由两种或两种以上材料组成的桥梁, 最常见的是钢 - 混凝土组合桥 (steel - concrete composite bridge), 它能发挥钢与混凝土的各自优势, 取得整体结构的合理性与经济性, 组合材料应用是桥梁工程发展的一个重要方向。

组合桥中最常见的是钢梁与钢筋混凝土桥面板组合成的组合梁桥 (composite beam bridge)。这种组合梁也可以应用于大跨度的斜拉桥中, 称为组合梁或叠合梁斜拉桥, 如前述介绍的上海南浦大桥、杨浦大桥等。还有一种钢 - 混凝土组合梁是用波形钢腹板或钢 (桁) 腹杆代替预应力箱梁的混凝土腹板的组合梁, 称为波形钢腹板预应力混凝土梁 (PC girder with corrugated steel webs) 和钢桁腹杆预应力混凝土梁 (PC girder with steel truss webs)。

组合结构还被大量应用于以受压为主的桥墩和拱结构之中, 如型钢混凝土柱 (shape steel reinforced concrete column, 简称 SRC 柱)、钢管混凝土柱 (concrete filled steel tubular column, 简称 CFST column) 和钢管混凝土拱 (CFST arch) 等。

除钢与混凝土组合外, 长期在航空航天和国防领域应用的高级复合材料 (advanced composite materials, 简称 ACMs), 现在也被开始应用于桥梁之中。这些材料包括加劲塑料 (reinforced plastics, 简称 RP)、纤维加劲塑料 (fiberglass - reinforced plastics, 简称 FRP)、碳纤维加劲塑料 (carbon - fiber - reinforced plastics, 简称 CFRP) 和玻璃纤维加劲塑料 (即玻璃钢, glass - fiber - rein - forced plastics, 简称 GFRP)。目前这些材料还主要用于旧桥的维修加固中, 还未大量的作为主要材料用于新建桥梁中。

复合桥 (hybrid bridge), 也称为混合结构桥 (mixed structure bridge) 是指桥梁主要受力构件在长度方向由两种或两种以上不同材料构成的截面组成的桥梁, 如边跨混凝土梁、主跨钢梁的刚构桥或斜拉桥, 它能增大主跨的跨径而保持主边跨的平衡、降低造价、施工方便等。复合结构还经常被用于桥梁塔柱上, 如南京长江三桥的桥塔, 下部为钢筋混凝土、上部为钢。

(4) 圬工桥 (masonry bridge)

圬工材料包括砖、石和素混凝土, 它们被广泛应用于桥梁基础、墩台等工程中, 但用于上部结构则主要是以受压为主的拱桥中。

圬工拱桥曾在历史上大量地修建。在欧洲的铁路桥梁中约占 60%, 在我国公路桥梁中也曾占主导地位, 在我国的许多省份它仍是地方道路中数量最多的桥型之一。它虽然材料费用低, 但架设困难、人工费用和施工费用高, 跨越能力弱, 竞争能力越来越低。现在除在少量富有石材的山区和公园中建造外, 已极少修建。

(5) 其他材料

木材曾在桥梁中得到广泛的应用, 修建了大量的木桥 (timber bridge)。然而今天则仅限于公园、临时性桥梁或木材极其丰富的山区, 而且用的是胶合木而非原木。

铝合金具有质量轻、耐久性好、易于养护、容易加工等一系列特点, 因此, 桥梁中也有铝结构桥 (简称铝桥, aluminum bridge)。用铝合金作为上部结构的铝桥修建得极少。铝合金在桥梁工程中较多的是用于桥梁附属构造, 如栏杆、防护栏、桥面板等局部受力构件。铝合金具有良好的耐腐性能, 易于回收, 有利于环保, 但其造价较高。

此外, 不锈钢、特种玻璃、工程塑料、竹等材料, 也有用于建设桥梁, 但由于各种原因, 都修建极少或仍在探索之中。

5. 按跨径大小分类

桥梁还经常根据规模与技术难度的不同, 将其分为特大桥、大桥、中桥和小桥。表 1-2 给出了《公桥通规》的桥梁分类的标准。该标准对桥梁分类采用了两个指标, 即单孔跨径 L_k 和多孔跨径总长 L , 前者用以反映技术复杂程度, 后者用以反映工程建设规模。

表 1-2 桥涵按跨径分类

桥涵分类	多孔桥梁总长 L (m)	单孔跨径 L_k (m)
特大桥	$L \geq 1000$	$L_k \geq 150$
大桥	$100 \leq L < 1000$	$40 \leq L_k < 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$
涵洞	—	$L_k < 5$

此外, 我国《公桥通规》还规定, 当标准设计或新建桥涵跨径在 50m 以下时, 一般均应尽量采用标准跨径 (l_b), 即 0.75m、1.0m、1.25m、1.5m、2.0m、2.5m、3.0m、4.0m、5.0m、6.0m、8.0m、10m、13m、16m、20m、25m、30m、35m、40m、45m、50m。

铁道工程中的桥涵分类, 《铁桥基规》中只考虑了总长一个因素, 而没有考虑单孔跨径的指标。铁路桥梁按其长度分类为

- 特大桥——桥长 500m 以上;
- 大桥——桥长 100 ~ 500m;
- 中桥——桥长 20 ~ 100m;
- 小桥——桥长 20m 及以下。

铁路桥梁的桥长, 梁桥是指桥台挡渣前墙之间的长度; 拱桥是指拱上侧墙与桥台侧墙间两伸缩缝外端之间的长度; 刚架桥是指刚架顺跨度方向外侧间的长度。

第二节 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, 以及竹索、藤索、铁索、铸铁和锻铁。在桥式方面, 有梁、拱和索三大类。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