



新世纪土木工程系列教材

# 桥梁工程

(上册)

强士中 主编 邵旭东 副主编



高等教育出版社

新世纪土木工程系列教材

# 桥梁工程

---

(上册)

强士中 主编 邵旭东 副主编



高等教育出版社

## 内容简介

本教材是新世纪土木工程系列教材之一,是根据教育部关于拓宽专业面、教材要面向 21 世纪的要求编写的。根据高等学校土木工程专业教学指导委员会制定的该专业培养方案,“桥梁工程”为一门专业课。本教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业课程内容。本教材分上、下两册,上册适用于土木工程专业本科生修习,通过学习使学生能基本掌握城市道路、公路及铁路常用中、小跨度桥梁设计和施工的基本知识。下册适用于土木工程专业选修桥梁课群组的本科生使用,各章内容相对独立,可根据需要选学,学习之后使学生能基本掌握大、中跨度桥梁设计与施工的基本知识。

本书既可作为土木工程专业及相关专业的专业课程教材,也可供从事桥梁工程研究、设计和施工的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程(上册)/强士中主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7-04-014491-3

I. 桥... II. 强... III. 桥梁工程-高等学校-教材 IV. TU44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050920 号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 李 澈 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静  
版式设计 张 岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
排 版 高等教育出版社照排中心  
印 刷 天津新华印刷二厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 17.75  
字 数 430 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版  
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷  
定 价 22.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 教育部高等教育出版社土建类系列教材

## 编辑委员会委员名单

**主任委员:**沈蒲生(湖南大学)

**副主任委员:**(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

**委 员:**(排名先后以姓氏笔画为序)

卫 军(华中科技大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘 明(沈阳建筑工程学院)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

尚守平(湖南大学)

胡长顺(长安大学)

黄醒春(上海交通大学)

焦兆平(广州大学)

霍 达(北京工业大学)

王 健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(甘肃工业大学)

张家良(辽宁工学院)

杨和礼(武汉大学)

周 云(广州大学)

赵明华(湖南大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

廖红建(西安交通大学)

## 出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编辑委员会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本部门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审定教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写大纲和初稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

2001年3月

# 前 言

为了适应我国经济体制改革的需要,也是为了与国际教育体制接轨,近年来,我国的原建筑工程、桥梁与地下工程、岩土工程、矿井建设工程、公路和铁道工程等专业已调整归并为土木工程专业。高等学校土木工程专业教学指导委员会相继成立。

根据高等学校土木工程专业教学指导委员会制订的该专业培养方案,“桥梁工程”为一门专业课。本教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业课程内容。本教材分上、下两册:上册适用于土木工程专业本科生修习,约需40左右学时讲授,通过学习使学生能基本掌握城市、公路及铁路常用中、小跨径桥梁设计和施工的基本知识;下册适用于土木工程专业选修桥梁课群组的本科生使用,各章内容相对独立,可根据需要灵活选学,用36~72学时讲授。学习之后,使学生能掌握较复杂的大、中跨桥梁设计与施工的基本知识,并了解各种桥梁设计规范的区别和联系。

本课程的先修技术基础课包括“结构力学”、“结构设计原理(含钢结构)”、“土力学”及“基础工程”。

《桥梁工程》上册共分九章。第一章绪论介绍桥梁工程的基本属性、桥梁的组成、分类和基本结构体系,国内外桥梁发展概况。第二章简要介绍桥梁的设计程序、设计内容及方案比选等,使学生对桥梁设计程序、建设过程及桥梁美学的一般内容等有一个概括的了解。第三章介绍城市、公路及铁路桥梁设计荷载。第四章介绍桥梁结构用材。第五章讲授桥面构造的一般内容。第六、七、八、九章分别介绍混凝土简支桥梁、简支钢桥、桥梁支座、桥梁墩台及基础的构造、设计及计算方法。这些内容是《桥梁工程》上册的重点,以期通过学习使学生能掌握中、小跨径桥梁设计的基本内容、一般设计过程及计算分析方法。第八章还包括对桥梁支座的介绍。

《桥梁工程》下册主要介绍预应力混凝土连续梁(刚构)桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥等大跨径桥梁的结构构造特点、设计的基本内容、计算分析方法及其建造过程和特点。通过学习,使学生能掌握较复杂的大、中跨桥梁设计特点及计算分析方法。这些内容是《桥梁工程》下册的重点。

本教材是在国内原有城市道路工程、公路工程 and 铁道工程专业各自独立发行的“桥梁工程”教材基础上,结合现行规范编写而成的。本书由西南交通大学强士中(第一章、第七章),湖南大学邵旭东、秦建军、彭旺虎、张伟(第二章至第六章),长安大学贺栓海(第八章、第九章)共同编写。全书由强士中统稿,并对各章内容作了适当增、减和调整。西南交通大学研究生任伟平和李贞新参加了本书文稿整理及部分图表绘制。

北京交通大学夏禾教授审阅了全书,并提出了许多宝贵的修改意见,使本书增色不少,在此表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,同时将不同的桥梁设计规范在一本教材中使用,也是初次尝试,不足之处在所难免,真诚地欢迎使用者批评指正。

编者

2003年9月



# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1	4.1 钢材 .....	46
1.1 桥梁概述 .....	1	4.1.1 结构钢材 .....	46
1.2 桥梁的分类 .....	2	4.1.2 钢筋 .....	53
1.3 桥梁建设的成就与展望 .....	4	4.2 混凝土 .....	57
本章小结 .....	12	4.2.1 混凝土的强度 .....	57
思考题与习题 .....	13	4.2.2 混凝土的弹性模量及变形性能 .....	58
<b>第2章 桥梁的设计与规划</b> .....	14	4.2.3 混凝土技术的新发展 .....	59
2.1 桥梁设计的基本原则 .....	14	本章小结 .....	61
2.2 桥梁平面设计、桥孔和桥上净空要求 .....	15	思考题与习题 .....	61
2.2.1 桥梁的平面设计 .....	15	<b>第5章 桥面构造</b> .....	63
2.2.2 桥跨、孔径 .....	15	5.1 桥面铺装及排水、防水系统 .....	63
2.2.3 桥上净空 .....	19	5.1.1 桥面铺装 .....	63
2.3 桥梁设计与建设程序 .....	21	5.1.2 桥面纵横坡 .....	64
2.4 桥梁设计方案的比选 .....	22	5.1.3 桥面防水和排水设施 .....	65
本章小结 .....	24	5.2 桥梁伸缩装置与桥面连续 .....	67
思考题与习题 .....	24	5.2.1 桥梁伸缩装置的作用、要求和 伸缩量计算 .....	67
<b>第3章 桥梁设计荷载</b> .....	25	5.2.2 伸缩装置的类型 .....	69
3.1 永久荷载 .....	27	5.2.3 桥面连续 .....	73
3.2 可变荷载 .....	27	5.3 安全带、人行道、照明灯柱、栏杆及护栏 .....	74
3.2.1 基本可变荷载 .....	27	5.3.1 人行道或安全带 .....	74
3.2.2 其他可变荷载 .....	35	5.3.2 栏杆与护栏 .....	76
3.3 偶然荷载 .....	39	5.3.3 照明灯柱 .....	80
3.3.1 地震力 .....	40	5.4 铁路桥面构造 .....	81
3.3.2 静力法 .....	40	5.4.1 道床 .....	81
3.3.3 反应谱法 .....	41	5.4.2 排水防水系统 .....	82
3.3.4 船只或漂流物撞击力 .....	43	5.4.3 梁缝处理 .....	82
3.4 荷载组合 .....	44	5.4.4 人行道与栏杆 .....	83
3.4.1 荷载组合 .....	44	本章小结 .....	83
3.4.2 极限状态设计法 .....	44	思考题与习题 .....	84
本章小结 .....	45	<b>第6章 混凝土简支梁桥</b> .....	85
思考题与习题 .....	45	6.1 混凝土简支梁桥的设计与构造特点 .....	85
<b>第4章 桥梁材料</b> .....	46	6.1.1 公路混凝土简支板桥 .....	85

6.1.2 公路混凝土简支梁桥 .....	89	思考题与习题 .....	186
6.1.3 公路混凝土箱形简支梁桥 .....	97	<b>第8章 桥梁支座</b> .....	187
6.1.4 铁路混凝土简支梁桥 .....	98	8.1 概述 .....	187
6.1.5 其他类型简支梁桥 .....	109	8.2 桥梁支座的类型和构造 .....	188
6.2 混凝土简支梁桥的制造和架设 .....	112	8.2.1 简易垫层支座 .....	188
6.2.1 混凝土简支梁桥的制造工艺 .....	113	8.2.2 钢支座 .....	188
6.2.2 装配式混凝土简支梁桥的安装 .....	121	8.2.3 钢筋混凝土支座 .....	191
6.3 混凝土简支梁的设计与计算 .....	126	8.2.4 橡胶支座 .....	192
6.3.1 结构尺寸的拟定 .....	126	8.2.5 拉力支座 .....	195
6.3.2 公路桥面板(行车道板)的计算 .....	127	8.2.6 常用支座在应用时应注意的 几个问题 .....	196
6.3.3 铁路桥面板(道碴槽板)的计算 .....	136	8.3 桥梁支座的设计和计算 .....	198
6.3.4 公路梁桥荷载横向分布计算 .....	138	8.3.1 支座的受力与位移分析 .....	198
6.3.5 公路和铁路主梁内力计算 .....	146	8.3.2 弧形钢板支座的设计与计算 .....	199
6.3.6 横隔梁内力计算 .....	149	8.3.3 板式橡胶支座的设计与计算 .....	202
6.3.7 挠度、预拱度的计算 .....	151	8.3.4 盆式橡胶支座的设计与计算 .....	204
本章小结 .....	152	8.3.5 板式橡胶支座算例 .....	208
思考题与习题 .....	153	8.3.6 盆式橡胶支座算例 .....	209
<b>第7章 钢桥</b> .....	155	本章小结 .....	211
7.1 钢桥的发展 .....	155	思考题 .....	212
7.2 钢桥的结构形式 .....	157	<b>第9章 桥梁墩台</b> .....	213
7.3 钢桥的构造 .....	159	9.1 梁桥墩台 .....	213
7.3.1 上承式焊接钢板梁桥 .....	159	9.1.1 概述 .....	213
7.3.2 铁路下承式焊接板梁 .....	163	9.1.2 梁桥桥墩的类型与构造 .....	214
7.3.3 结合梁桥 .....	163	9.1.3 梁桥桥台的类型与构造 .....	223
7.3.4 桁架桥梁 .....	164	9.1.4 梁桥桥梁墩台的设计与计算 .....	230
7.3.5 钢箱梁桥 .....	176	9.2 拱桥墩台 .....	257
7.4 钢桥计算 .....	177	9.2.1 概述 .....	257
7.4.1 钢板梁桥计算 .....	177	9.2.2 拱桥墩台类型与构造 .....	257
7.4.2 钢桁架桥的计算 .....	177	9.2.3 拱桥墩台计算 .....	264
7.4.3 钢桥的稳定分析和设计 .....	178	本章小结 .....	271
7.4.4 钢桥疲劳 .....	180	思考题 .....	271
7.5 钢桥的连接 .....	181	<b>参考文献</b> .....	272
7.6 钢桥制造 .....	183		
本章小结 .....	185		



## 1.2 桥梁的分类

桥梁(如图 1.2.1 所示)通常分为上部结构和下部结构。

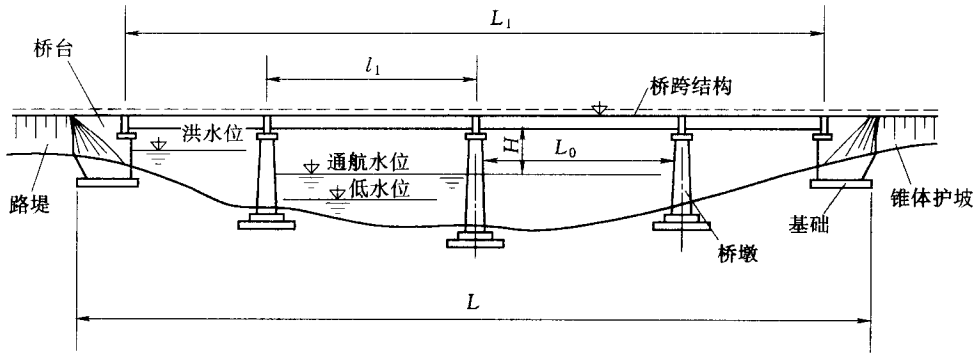


图 1.2.1 桥梁的基本组成

上部结构指桥梁位于支座以上的部分,通常包括桥跨结构(梁)和桥面构造两大部分。梁的作用是跨越障碍并承受其上的桥面荷载和交通荷载。桥面构造是指公路桥的行车道铺装,铁路桥的道碴、枕木、轨道,以及伸缩缝、排水防水系统、人行道、安全带、路缘石、栏杆、照明系统等。

下部结构指桥梁支座以下的支承结构,它包括桥墩、桥台和桥墩台之下的基础,是将上部结构及其承受的交通荷载传入大地的结构物。桥台设在桥跨结构的两端,它除了支承上部结构之外,还起到桥梁和路堤衔接并防止路堤下滑和坍塌的作用,为此常在桥台两侧修建一些防护设施和导流设施。

桥跨结构与墩、台之间还设置支座,桥上还应设伸缩缝,通航河流还常设防止船只撞击墩台的防撞结构等等。

除上述基本结构外,桥梁有时还修建一些附属结构物,如通航河流中的导航装置、检查维修设备等等。

对桥梁工程常用的名词和术语,摘要说明如下:

**正桥与引桥。**对于规模较大的桥梁,通常把跨越主要障碍物(如大江大河)的桥跨称为正桥。由于通航等原因,正桥常需有一定的高度和跨径,一般要采用跨越能力较大的结构体系,是整个桥梁工程中的重点。把较高的正桥和较低的路堤以合理的坡度连接起来的这一部分桥梁叫做引桥。引桥建在河滩和岸上,其跨径一般较小。有时还常在正桥和引桥的分界处修建雄伟壮观的桥头建筑物(桥头堡)。

**跨度,也叫跨径。**它是桥梁两相邻墩支座间的距离,是桥梁结构计算分析所必需的数据。对多跨桥梁,最大跨度称为主跨(main span)。一般来说,跨径越大修建难度越大。对梁式桥,设计洪水水位线上相邻两桥墩(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,它与通航标准及泄洪能力有关。桥跨结构两支点间的距离  $l$ ,称为计算跨径(也称单孔跨径),是对桥跨结构进行计算分析所必需的数据。

公路和铁路的中小跨度桥梁常在工厂按系列标准制造,然后运到桥址,用架桥机吊装就位。标准梁制作成本低、质量好、易于更换维修,也有利于战备需要,其优点是显而易见的。公路桥梁标准跨径从 0.75 m 至 60 m,分为 22 级,常用的有 10 m、16 m、20 m、40 m 等。铁路桥梁的标准跨径从 4 m 到 160 m,共 18 级,常用的有 16 m、20 m、24 m、32 m、48 m、64 m、96 m 等。公路桥梁标准跨径是指两桥墩中线间距离或桥墩中线至桥台背前缘的间距。铁路桥梁标准跨径是指计算跨径,梁的实际长度要比标准跨径稍大一些。

桥长。两桥台侧墙或八字墙尾端之间的距离  $L$  为桥梁全长。两桥台台背前缘(铁路桥为两桥台挡碴前墙)之间的距离  $L_1$  为桥梁总长。

桥下净空高度。设计通航水位与桥梁结构最下缘标高之间的垂直距离  $H$  称为桥下净空高度,其值应根据通航及排洪要求确定。

桥梁建筑高度。桥面(铁路桥梁的轨底)到桥梁结构下缘底的距离  $h$  称为桥梁建筑高度。公路桥面或铁路轨底标高减去设计洪水水位标高,再减去通航(或排洪)所要求的梁底净空高度为桥梁的容许建筑高度。显然桥梁建筑高度不得大于容许建筑高度。

桥梁的分类方式多种多样,主要有以下几种:

(1) 按工程规模分类。桥梁总长和单孔跨径都是桥梁建设规模的标志,其分类见表 1.2.1。

表 1.2.1 桥梁规模与长度

规模分类	公路桥		铁路桥
	桥梁总长 $L_1$ /m	单孔跨径 $l$ /m	桥梁总长 $L_1$ /m
特大桥	$L_1 \geq 500$	$l \geq 100$	$L_1 > 500$
大桥	$L_1 \geq 100$	$l \geq 40$	$100 < L_1 \leq 500$
中桥	$30 < L_1 < 100$	$20 \leq l < 40$	$20 < L_1 \leq 100$
小桥	$5 < L_1 < 30$	$5 \leq l < 20$	$L_1 \leq 20$
涵洞	$L_1 < 8$	$l < 5$	$L_1 < 6$ 且顶上有填土

(2) 按桥梁主体结构用材分类,有钢桥、混凝土桥、钢筋混凝土结合梁桥、石桥、木桥等。混凝土桥又分为钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、部分预应力混凝土桥等。工程上常把混凝土桥和砖石桥通称为圬工桥。

(3) 按桥梁用途划分,有铁路桥、公路桥、城市道路桥、公铁两用桥、人行及自行车桥、输水桥、农桥等。

(4) 按结构体系划分,最基本的有梁桥、拱桥和索桥等。这三种基本桥型是大自然赋予人类的,经人们在生产中不断发掘、改造、完善,形成了千姿百态的梁、拱、索及其与墩、塔、柱等构件合成的各种组合体系桥梁。例如,仅梁桥就有简支梁、连续梁、用杆件拼成的桁梁,以及梁与墩柱刚性连接而形成的刚架桥、梁与索组合构成的斜拉桥等等;梁的截面又可做成矩形、T形、箱形等等。上述主要桥型在以后的章节中都要做详细论述。

(5) 桥梁按平面布置分类,有正桥(直桥)、斜桥、弯桥(曲线梁桥)、坡桥和匝道桥等。正桥是指桥梁所在线路与所跨河流或线路正交的情况,绝大多数桥梁都做成正桥。当桥梁与所跨河

流或线路斜交时,桥梁在平面上设计成平行四边形,谓之斜桥;曲线线路上常把桥梁设计成与线路一致的曲梁(弯桥)。斜桥和弯桥的设计与施工都比较麻烦,其好处是给线路设计带来较多的方便和自由。城市立交桥常设坡度很大的坡桥和匝道桥,使高处的主车道与低处的另一线路在占地不多的情况下迅速相连。所谓匝道桥就是呈螺旋状下降的空间曲线桥。

此外,还有其他很多分类方式,如:按行车道设在桥跨结构的上、中、下部分为上承式桥、中承式桥、下承式桥;按梁的截面形式分为 T 梁桥、箱梁桥等;按跨越对象分为跨河桥、跨谷桥、跨线桥、旱桥等。有时也按桥梁施工及架设方法分类;桥梁还有固定式桥梁、开放桥和活动桥(如浮桥、舟桥)之分。另外,还有军用桥、渡槽或水道桥、码头的栈桥等不一而足。

## 1.3 桥梁建设的成就与展望

### 1. 桥的形成与发展

古人云“横木为梁”,也就是说倒在小溪小沟上的树木,是大自然赋予人们的便利交通的最早最原始的梁桥;石灰岩容易被含二氧化碳的水溶解,在一定的条件下石灰岩山体会在这种化学过程中被侵蚀而溶穿,形成天然的拱桥,在我国黔、滇、桂地区均可见这类“天生桥”;热带和亚热带地区森林中旺盛的藤蔓交织成网,人们稍加“梳理”便可借其越过山谷,这便是最原始的“天生索桥”,现在在我国的澜沧江流域仍可见到这种索桥。显然,最基本的桥型:梁桥、拱桥和索桥,它们都是大自然的产物。当这些“天生桥”不能满足人们经济活动的需要时,人类便开始仿造,随后就有了“人造桥”。随着经济的发展、文化的交流、科学技术的进步,人类的建桥水平也不断提高,桥梁的跨越能力越来越大,桥梁的结构形式更加丰富多彩,人们开始更加注重桥梁的功能和美观,使桥梁既满足越来越高的交通需求,又成为点缀、美化桥址区域的人文景观。

桥梁是道路的重要组成部分。桥梁的发展与运输业的发展密不可分,每当运输工具发生重大变化,就对桥梁在承载能力、结构布局和跨越能力等方面提出新的要求,于是推动了桥梁工程技术的发展。另一方面,整个社会的进步、结构力学和计算力学的发展乃至近年来电子技术的发展都有力地促进了建桥技术水平的不断发展与提高,使之更好地适应交通运输的发展要求。

### 2. 人类造桥的成就

在 19 世纪 20 年代铁路出现以前,人们用来建桥的主要材料是木材和石料,后来也偶尔使用铸铁和锻钢。

木桥。早在公元前 2000 多年前,巴比伦曾在幼发拉底河上建石墩木梁桥,是一座军事用桥,为了防止敌人偷袭,可随时拆除。公元前 55 年,在罗马,G. J. 恺撒因行军的需要,在莱茵河上修建了一座长达 300 多米的木排架桥。到了中世纪,那时时兴在木桥上造屋,屋内有画,加之造型各异,因此具有一定的艺术价值。1815 年美国在宾夕法尼亚州所建麦考尔渡口桥,是一座跨径达 110 m 的木桥,这在当时是空前绝后的记录。

在我国,民间故事也记述有公元前 2000 多年前人们建造的用墩柱支撑的木梁桥。从东周之后,史书、文献对桥梁的记载就没有间断过,文人骚客借桥抒情的佳句传下来的也不少。如“伊洛广且深,欲济川无梁”(东汉·曹植);“二十四桥明月夜,玉人何处教吹箫”(唐·杜牧);“绿浪西南北水,红栏三百九十桥”(唐·白居易)等都与桥有关,或抱怨,或抒情,或赞颂,都说明了桥在社会生活中的重要地位及其在诗人情绪中的作用。

在拱式木桥中,我国宋代虹桥构造奇特。在宋代名画《清明上河图》上绘有汴京的虹桥。其承重结构由两套多铰木拱组成,配以横木,以篾索扎成。

石桥。在秦汉以前,我国就有以石建桥的记载,到隋唐以后用石材建造的梁桥、板梁桥和各种各样的石拱桥缤纷纷呈,成为桥梁的主体。我国在这一时期所取得的许多成就都为世界各国所称道,大体代表了这一时期的世界水平。如世界著名的赵州桥(图 1.3.1),位于河北省赵县南,桥成于隋大业元年(公元 594—605 年),比欧洲早创建 1200 年。跨洹河,单孔圆弧石拱桥,跨径 37.02 m,全长桥 50.82 m,为世界最古老的圆弧敞肩拱。该地区曾历 14 次破坏性地震及多次洪水,均安然无恙,为我国经历 1400 年硕果仅存的唯一古桥。明昌三年(1192 年)在今北京西南建成的卢沟桥(图 1.3.2),为十一孔不等跨石拱桥,桥长 266 m,世界著名旅行家马可·波罗在他的游记中对卢沟桥的造型之美赞叹不已,誉为世所罕见。北京颐和园的十七孔桥(图 1.3.3)和玉带桥(图 1.3.4)建于清乾隆年间,前者的拱洞随桥面缓和的上下坡从桥中向两端逐渐收小,桥身微降如初月,甚是壮观;后者则以两端有反弯曲线玉石穹背高出绿丛,桥身用汉白玉雕砌,堂皇秀丽,两者以同环境协调,使湖山增辉见称。在长江以南,从唐代以来修建了许多以弧形板石和横向长条锁石结成拱圈的石拱桥,以及巨型石梁桥。弧板石拱桥自重轻,对地基承载力要求不高。如唐代在苏州修建的宝带桥(见图 1.3.5)(公元 816—819 年)有 53 孔,长 317 m,宽 4.1 m;福建长汀的水东桥(公元 1195—1200 年)和浙江杭州的拱宸桥(见图 1.3.6)(公元 1631 年)等都是著名的板石拱桥。福建泉州万安桥(见图 1.3.7)也称洛阳桥,为石梁桥,47 孔共 834 m 长,建于宋嘉祐四年(1059 年),在建桥时先顺着桥的轴线抛投大量块石,形成一条约 3 万立方长堤,然后在堤上养殖牡蛎,待蛎壳与堤石相胶结后在堤上用大条石纵横叠置形成桥墩,然后再架石梁。这种独特的架桥技术至今仍为世人称道。福建漳州的虎渡桥(见图 1.3.8)又叫江东桥,建于南宋嘉熙元年(1237 年),其所用巨型条石尺寸达 1.7 m × 1.9 m × 23.7 m,重约 200 t。按当时的生产力水平,很难想像如此重的石块是如何开采、运输和架设的。建于宋绍兴八年(公元 1138 年)的泉州安平桥(见图 1.3.9),也是石梁桥,长达 2 500 m。古人赞曰“此间有佛宗斯佛,天下无桥长此桥”。

在 18 世纪,欧洲石拱桥达到最高水平。这个时期的桥梁专家当以法国的 J. R. 佩罗内为代表,他是巴黎路桥学校创办时(1747 年)的校长和老师。他的代表作是跨越瓦兹河的圣马克桑斯桥,共三孔,跨径各为 21.8 m,矢高 1.98 m,桥墩各有两对石柱构成,该桥已于 1870 年毁于战火。

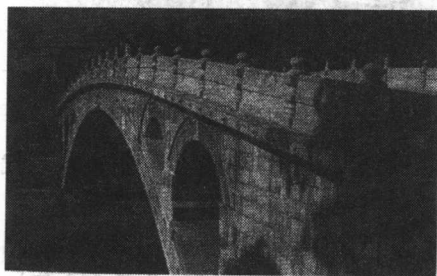


图 1.3.1 赵州桥

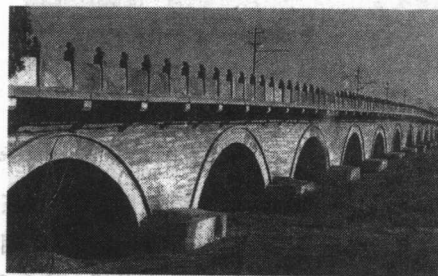


图 1.3.2 卢沟桥

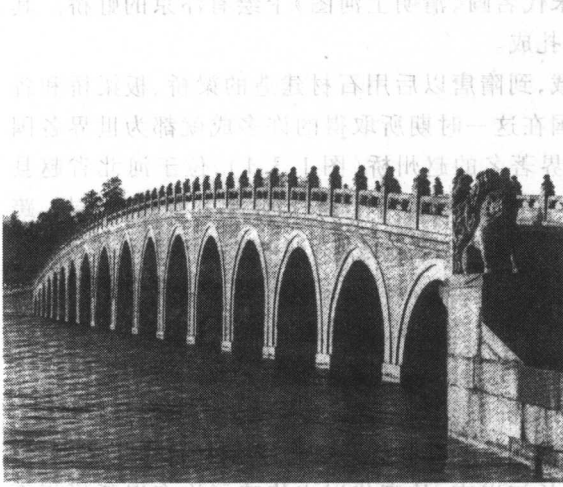


图 1.3.3 北京颐和园十七孔桥

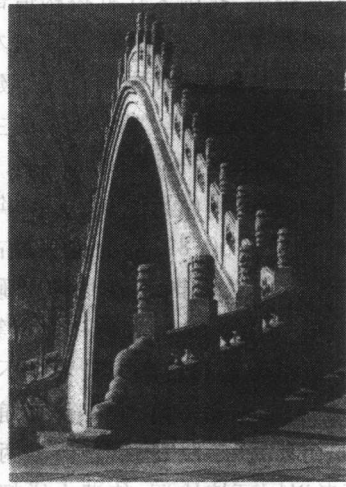


图 1.3.4 北京颐和园玉带桥

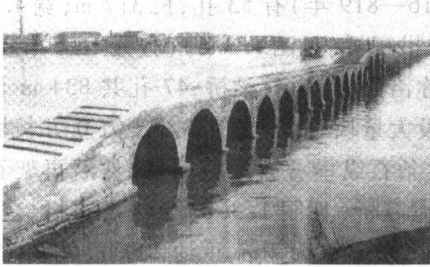


图 1.3.5 江苏苏州宝带桥

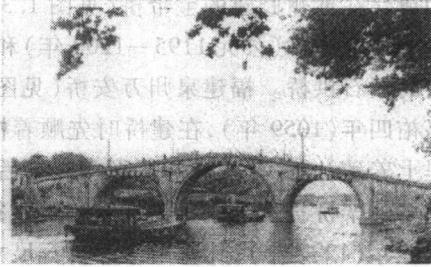


图 1.3.6 浙江杭州拱宸桥

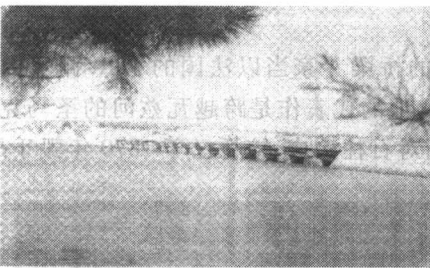


图 1.3.7 福建泉州万安桥

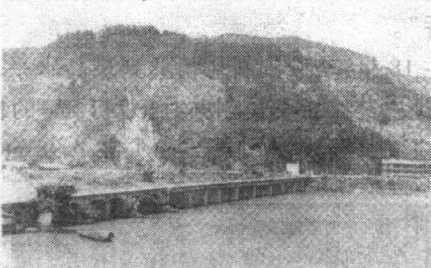


图 1.3.8 福建漳州虎渡桥

铸铁拱桥。当冶炼业使用焦炭而能生产大型铸件时,英国人于1779年在科尔布鲁克代尔首次建成一座主跨30.5 m的铸铁拱桥。该桥使用了170年后退役,现已作为文物保存。

索桥。我国西南和华北地区索桥相当普遍,较为世人瞩目的是四川灌县的安澜桥(图1.3.10)和泸定的大渡河铁索桥(图1.3.11),前者建于宋太宗淳化元年(公元990年),大缆用竹索编成,桥长340 m,分为8孔,最大跨径61 m,竹索现已换成钢丝绳;后者建于清康熙四十五年(公元1706年),净跨100 m,现作为文物保存。英国人在1820—1826年在梅奈海峡建造的跨径达177 m的锻铁连杆柔式悬索桥,使用百年后才将链杆换成低合金钢眼杆。



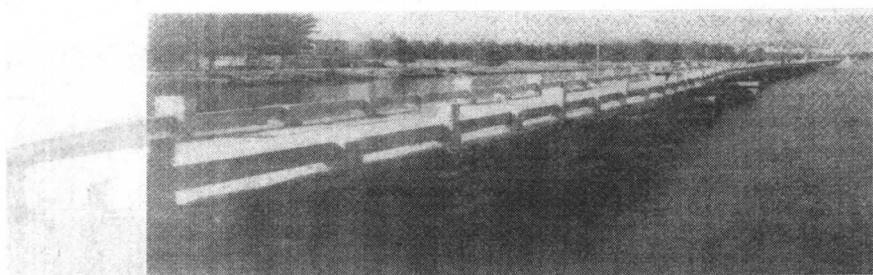


图 1.3.9 福建泉州安平桥



图 1.3.10 四川灌县安澜桥



图 1.3.11 四川泸定大渡河铁索桥

19 世纪 20 年代至 19 世纪末,随着铁路的出现和发展,列车荷载大,动力效应明显,给桥梁建造提出了更新、更高的要求。虽然法国学者 H. 纳维于 1842 年已提出弹性梁理论,但还没有被工程界所广泛采用,故新的设计构思主要靠试验印证。到 19 世纪 50 年代,静定桁架梁的内力分析方法逐步被工程界所掌握。为了适应铁路荷载的需要,在桥梁用材方面,先是用锻铁,继而用钢材替代以前的木料和石料;就桥式而言,桁架桥、钢板梁桥开始被广泛应用。这一时期的另一个重要进步是对桥梁基础的改进和提高。1845 年,英国 J. 内史密斯发明的蒸汽打桩机,1851 年英国在罗彻斯特一座桥的施工中使用气压沉箱基础,下沉深度达 18.5 m,从此结束了深水江河不能修桥的历史。

1845—1850 年,英国建成跨越梅纳海峡的大跨铁路桥,跨径为 70 m + 140 m + 140 m + 70 m。该桥是用锻铁型材做成的箱管连续梁桥,火车从箱内通过。1880—1890 年英国人用德国 H. 格贝尔的模式——净空悬臂桁架梁建成了跨径空前(达 521.2 m)的福斯湾铁路钢桥(图 1.3.12),该桥总长 1 620 m,支承处桁架的高度达 110 m。1867—1874 年美国建成了圣路易斯钢桁桥,主跨 158 m,两边各为 153 m。其特点是用小截面杆件拼装成刚度很大的铁路桥。1869—1883 年,美国建成布鲁克林悬索桥(图 1.3.13),跨径达 487 m,至今仍在用,为悬索桥向更大跨径发展开创了先例。欧、美在桥梁建设中取得的这些巨大成就与其在这一时期相继完成的工业革命密切相关。而当时我国国难深重,内忧外患,战事频仍,民不聊生,桥梁建设几乎无所建树。

20 世纪初结构力学分析方法被广泛用于桥梁结构的设计计算,结束了桥梁设计主要靠经验和试验的历史,使建造长跨桥梁有了可靠的科学依据,加之钢产量的增加和钢材品质的提高,在这一时期许多长跨钢桥应运而生。1916 年美国建造了主跨 298 m 的鬼门桥,它为两铰钢桁拱桥(4 线重载铁路,道碴桥面);1918 年加拿大建成魁北克铁路桥(主跨为 548.6 m 的悬臂钢桁架