

高等学校
土木工程类
系列教材

桥梁工程

主 编 吴 鸣
副主编 曹国辉 陈爱军

武汉大学出版社



高等学校土木工程类系列教材

桥梁工程

- 主 编 吴 鸣
- 副主编 曹国辉 陈爱军



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高等学校土木建筑工程类系列教材

桥梁工程

- 主 编 吴 鸣
- 副主编 曹国辉 陈爱军
- 主 审 邵旭东
- 参 编 胡若邻 许诗霞



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/吴鸣主编;曹国辉,陈爱军副主编. —武汉:武汉大学出版社,
2009. 11

高等学校土木建筑工程类系列教材

ISBN 978-7-307-07302-9

I. 桥… II. ①吴… ②曹… ③陈… 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(2009)第 156628 号

责任编辑:李汉保

责任校对:黄添生

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:31.75 字数:765千字 插页:1

版次:2009年11月第1版 2009年11月第1次印刷

ISBN 978-7-307-07302-9/U·11 定价:44.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木建筑工程类系列教材

编 委 会

主 任	何亚伯	武汉大学土木建筑工程学院，教授、博士生导师
副 主 任	吴贤国	华中科技大学土木工程与力学学院，教授、博士生导师
	吴 瑾	南京航空航天大学土木系，教授，副系主任
	夏广政	湖北工业大学土木建筑工程学院，教授
	陆小华	汕头大学工学院，副教授，副处长
编 委	(按姓氏笔画为序)	
	王海霞	南通大学建筑工程学院，讲师
	刘红梅	南通大学建筑工程学院，副教授，副院长
	杜国锋	长江大学城市建设学院，副教授，副院长
	肖胜文	江西理工大学建筑工程系，讲师
	张海涛	江汉大学建筑工程学院，讲师
	张国栋	三峡大学土木建筑工程学院，副教授
	陈友华	孝感学院教务处，讲师
	姚金星	长江大学城市建设学院，副教授
	程赫明	昆明理工大学土木建筑工程学院，教授，院长
执行编委	李汉保	武汉大学出版社，副编审

内 容 简 介

本书是高等院校土木工程专业和交通土建工程专业的专业教材。全书共分十二章，重点介绍了包括钢筋混凝土梁式桥、刚架桥、混凝土拱桥等常用的中小型桥梁和桥梁下部结构—墩台的构造原理、设计计算方法和施工方法。书中还简要介绍了斜拉桥和悬索桥的构造、设计和施工要点，以及各种桥型的审美原则。最后还介绍了桥梁耐久性相关知识。全书按国家交通部颁布的最新桥梁设计规范编写。

本书可以作为高等院校交通工程、桥梁工程、工程管理等相关专业本科生的教材，也可以供从事桥梁设计、科研、施工及管理人员以及高等院校相关专业教师学习参考。

序

建筑业是国民经济的支柱产业，就业容量大，产业关联度高，全社会 50% 以上固定资产投资要通过建筑业才能形成新的生产能力或使用价值，建筑业增加值占国内生产总值较高比率。土木建筑工程专业人才的培养质量直接影响建筑业的可持续发展，乃至影响国民经济的发展。高等学校是培养高新科学技术人才的摇篮，同时也是培养土木建筑工程专业高级人才的重要基地，土木建筑工程类教材建设始终应是一项不容忽视的重要工作。

为了提高高等学校土木建筑工程类课程教材建设水平，由武汉大学土木建筑工程学院与武汉大学出版社联合倡议、策划，组建高等学校土木建筑工程类课程系列教材编委会，在一定范围内，联合多所高校合作编写土木建筑工程类课程系列教材，为高等学校从事土木建筑工程类教学和科研的教师，特别是长期从事土木建筑工程类教学且具有丰富教学经验的广大教师搭建一个交流和编写土木建筑工程类教材的平台。通过该平台，联合编写教材，交流教学经验，确保教材的编写质量，同时提高教材的编写与出版速度，有利于教材的不断更新，极力打造精品教材。

本着上述指导思想，我们组织编撰出版了这套高等学校土木建筑工程类课程系列教材，旨在提高高等学校土木建筑工程类课程的教育质量和教材建设水平。

参加高等学校土木建筑工程类系列教材编委会的高校有：武汉大学、华中科技大学、南京航空航天大学、湖北工业大学、汕头大学、南通大学、江汉大学、三峡大学、孝感学院、长江大学、昆明理工大学、江西理工大学 12 所院校。

高等学校土木建筑工程类系列教材涵盖土木工程专业的力学、建筑、结构、施工组织与管理等教学领域。本系列教材的定位，编委会全体成员在充分讨论、商榷的基础上，一致认为在遵循高等学校土木建筑工程类人才培养规律，满足土木建筑工程类人才培养方案的前提下，突出以实用为主，切实达到培养和提高学生的实际工作能力的目标。本教材编委会明确了近 30 门专业主干课程作为今后一个时期的编撰、出版工作计划。我们深切期望这套系列教材能对我国土木建筑事业的发展 and 人才培养有所贡献。

武汉大学出版社是中共中央宣传部与国家新闻出版署联合授予的全国优秀出版社之一，在国内有较高的知名度和社会影响力。武汉大学出版社愿尽其所能为国内高校的教学与科研服务。我们愿与各位朋友真诚合作，力争使该系列教材打造成为国内同类教材中的精品教材，为高等教育的发展贡献力量！

高等学校土木建筑工程类系列教材编委会

2008 年 8 月

前 言

以能力培养为目标的 CDIO (Conceiving-Designing-Implementing-Operation) 教学大纲是当今国际工程教育的共识, CDIO 课程大纲强调加强专业基础教育的同时, 关注工程实践, 加强实践环节; 强调综合创新能力, 与社会大环境协调发展, 突出培养学生的创新精神、实践能力、自学能力、综合能力和对大系统的适应与调控能力。本教材即根据 CDIO 培养大纲制定的培养目标和课程大纲编写而成, 亦符合国家教育部高等学校土木工程专业教学指导委员会制定的培养目标。教材编写的总体思路是“厚基础, 重能力, 求创新, 以培养应用型人才为主”。本书可以作为宽口径土木工程、交通类本科生的专业课教材。

本教材的编写注重于培养学生掌握基本理论、实际操作和自学的能力, 书中对桥梁基本知识力求阐述清楚, 简化若干复杂理论问题的中间推导过程。在编写中尽量以实际工程的图片结合理论内容进行讲解, 增强学生对桥梁工程的感性认识, 并由此加深对桥梁工程理论的理解, 尤其是对各种类型桥梁结构的构造要求、受力特点、计算方法和桥规规定等有一定的认知, 使学生学习之后能掌握我国常用桥梁的构造原理和设计计算方法, 熟悉有关桥梁施工方面的知识, 了解现代各种大跨度桥梁的构造、计算原理和施工特点, 并能运用已学知识, 具有解决大跨度、较复杂桥梁问题的能力。书中融入了桥梁领域当前的新技术和新进展, 并全部按照 2004 年和 2005 年国家交通部新颁布的《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTGD61—2005)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007) 和《内河通航标准》(GB 50139—2004) 编写的。

虽然利用计算机程序进行计算分析已极为普遍, 但为了突出力学概念、方法和步骤的理解, 我们在编写中还是较详细地介绍了荷载横向分布的原理。

全书共 12 章。第 1 章绪论简述桥梁在公路交通中的重要作用及其在社会经济和文化发展中的重要地位, 介绍桥梁的组成与分类、国内外桥梁建筑的发展概况、桥梁的设计程序和设计基本原则, 并简要介绍了桥梁的造型与美学原则; 第 2 章介绍了学生应掌握的作用的分类及各类作用的计算方法、作用效应的组合方法; 第 3 章介绍了桥面的构造要求和设置原则; 第 4 章详细介绍了学生应掌握的简支梁桥的构造要求和受力特点、设计计算方法、横向分布系数的计算等; 第 5 章介绍了梁桥支座的类型、构造和布置, 学生应重点掌握的公路常用的橡胶支座的构造、工作原理以及在桥梁中的应用; 第 6 章分别介绍了悬臂梁桥、连续体系梁桥和刚构桥的主要特点和一般构造, 了解结构设计计算方法、产生次内力的因素及计算方法, 并介绍了梁桥的审美; 第 7 章、第 9 章详细介绍了混凝土梁桥和拱桥的常用施工方法。第 8 章详细介绍了拱桥的结构特点和受力特点、拱桥的分类、中小跨径拱桥的结构设计计算方法。并介绍了拱桥的审美; 第 10 章介绍了斜拉桥和悬索桥的受力特点、孔跨布置、结构设计、各主要部件的作用和主要的施工方法及两种桥型的审美; 第 11 章介绍了常用桥墩、桥台

的结构类型及设计计算方法;第12章介绍了桥梁的耐久性和结构试验。

本教材第1、3、7、9章和第10章中的§10.1~§10.6、§10.9由汕头大学吴鸣编写,第2、11、12章由湖南城市学院曹国辉编写,第4、8章由中南林业科技大学陈爱军编写,第5、6章由华南理工大学胡若邻编写,第10章中的§10.7~§10.8由汕头大学许诗霞编写,许诗霞还参加了本书文稿的整理及部分插图的绘制。全书由吴鸣统稿并任主编,曹国辉和陈爱军任副主编,湖南大学邵旭东教授主审,另外吴鸣还对各章的内容作了适当的增减和调整。在本书编写过程中,汕头大学熊光晶教授、陆小华副教授提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中定有差错和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
本章提要	1
§ 1.1 漫话桥梁	1
§ 1.2 桥梁的组成与分类	23
§ 1.3 桥梁总体规划与设计程序	33
§ 1.4 桥梁审美原理与法则	44
本章小结	55
思考题及习题	56
第 2 章 桥梁上的作用	58
本章提要	58
§ 2.1 永久作用	59
§ 2.2 可变作用	60
§ 2.3 偶然作用	70
§ 2.4 作用效应组合	72
本章小结	75
思考题及习题	76
第 3 章 桥面布置与构造	77
本章提要	77
§ 3.1 桥面铺装	77
§ 3.2 桥面排水与防水系统	81
§ 3.3 桥梁伸缩缝	84
§ 3.4 人行道、栏杆、护栏与灯柱	92
本章小结	100
思考题及习题	101
第 4 章 混凝土简支梁桥	102
本章提要	102
§ 4.1 概述	102
§ 4.2 混凝土简支板桥的构造与设计	102

§ 4.3 混凝土简支梁桥的构造与设计	112
§ 4.4 混凝土简支梁桥的计算	125
本章小结	165
思考题及习题	166
第 5 章 梁式桥支座	168
本章提要	168
§ 5.1 支座的类型与构造	168
§ 5.2 支座的布置	173
§ 5.3 支座的计算	175
本章小结	178
思考题及习题	179
第 6 章 其他体系梁桥	180
本章提要	180
§ 6.1 悬臂体系梁桥	180
§ 6.2 连续体系梁桥	184
§ 6.3 刚构桥	196
§ 6.4 梁式桥审美	203
本章小结	212
思考题及习题	213
第 7 章 混凝土梁桥的施工	214
本章提要	214
§ 7.1 混凝土简支梁桥的制造工艺	215
§ 7.2 装配式简支梁桥的运输和安装	228
§ 7.3 悬臂体系和连续体系梁桥的施工	232
本章小结	243
思考题及习题	244
第 8 章 拱桥	245
本章提要	245
§ 8.1 概述	245
§ 8.2 拱桥的构造	251
§ 8.3 拱桥的设计	284
§ 8.4 拱桥的计算	287
§ 8.5 拱桥的审美	323

目 录	3
本章小结	324
思考题及习题	325
第 9 章 拱桥的施工	327
本章提要	327
§ 9.1 拱桥有支架施工	327
§ 9.2 拱桥缆索吊装施工	332
§ 9.3 其他施工方法简介	337
本章小结	350
思考题及习题	351
第 10 章 斜拉桥和悬索桥	352
本章提要	352
§ 10.1 概述	352
§ 10.2 斜拉桥的布置与构造	358
§ 10.3 斜拉桥的计算分析要点	381
§ 10.4 斜拉桥审美	384
§ 10.5 悬索桥的基本类型和总体布置	389
§ 10.6 悬索桥构造	393
§ 10.7 悬索桥审美	402
§ 10.8 斜拉桥和悬索桥施工	408
§ 10.9 桥梁实例	421
本章小结	433
思考题及习题	433
第 11 章 桥梁墩台	435
本章提要	435
§ 11.1 概述	435
§ 11.2 桥墩的构造和设计	436
§ 11.3 桥台的构造和设计	444
§ 11.4 桥梁墩台计算	452
本章小结	470
思考题及习题	471
第 12 章 桥梁耐久性及结构试验	472
本章提要	472
§ 12.1 概述	472

§ 12.2 桥梁的耐久性.....	473
§ 12.3 桥梁结构试验.....	478
本章小结.....	490
思考题及习题.....	491
 参考文献.....	 492

第1章 绪 论

本章提要

本章简述桥梁在公路交通中的重要作用及其在社会经济和文化发展中的重要地位,说明桥梁的组成、结构体系和分类,桥梁的发展,以及国内外桥梁建设的成就。简要介绍桥梁的平、纵、横设计与建设的程序和设计步骤,以及各种桥型的审美原理和法则。

§ 1.1 漫话桥梁

1.1.1 概述

桥梁工程在学科上属于土木工程的分支。桥梁工程与房屋工程一样,也是用石、砖、木、混凝土、钢筋混凝土和各种金属材料建造的结构工程,如果说一座现代化高层建筑具有高耸挺拔的雄姿,则一座大跨度桥梁具有凌空宏伟的魅力。

桥梁是一种功能性的结构物,也往往是一座立体的造型艺术工程,是一处景观,具有时代的特征。从古至今,人类从未停止过对桥梁美学的追求,许多桥梁被建成为令人赏心悦目的艺术品,使人们产生美的感受,激发人们的自豪感,成为人们生活环境中使人印象深刻的标志性建筑物,比如1937年建成通车的美国旧金山金门大桥,至今仍然为人们所赞叹。

大力发展交通运输事业,建立四通八达的现代交通网络,对于国民经济的发展,促进文化交流,加强民族团结,缩小地区差别,巩固国防等方面,都具有非常重要的作用。特别是我国自改革开放以来,路(特别是高等级公路和城市道路)、桥建设得到了飞速的发展,对改善人民的生活环境,改善投资环境,促进经济的腾飞,起到了关键性的作用。

桥梁的发展与运输业的发展密不可分,一方面,每当运输工具发生重大变化,就对桥梁在承载能力、结构型式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。

桥梁工程在工程规模上约占道路总造价的10%~20%,桥梁工程同时也是保证全线早日通车的关键,特别在战争期间,即便是高技术战争,桥梁工程仍具有非常重要的地位。

随着科学技术的进步和经济、社会、文化水平的提高,人们对桥梁建筑提出了更高的要求。经过数十年的努力,我国的桥梁工程无论在建设规模上,还是在科技水平上,均已跻身世界先进行列。各种功能齐全、造型美观的立交桥、高架桥,横跨长江、黄河等大江

大河的特大跨度桥梁，如雨后春笋频频建成。目前随着国家公路五纵七横国道主干线、高速公路网“7918”战略的规划和实施，数十公里长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟工程已经摆在我们面前，并已逐渐开始建设，广大的桥梁工程技术人员正面临着不断设计和建造新颖、复杂桥梁结构的挑战，肩负着国家光荣而艰巨的任务。

1.1.2 古代桥梁

1. 概述

桥梁是人类在生活和生产活动中，为克服天然障碍而建造的建筑物，也是有史以来人类所建造的最古老、最壮观和最美丽的建筑工程，桥梁体现了一个时代的文明与进步，也从一个侧面反映一个国家生产、经济与科学技术的发展程度。中国古代桥梁的辉煌成就举世瞩目，曾在东西方桥梁发展史中，占有崇高的地位，为世人所公认。被誉为世界桥梁博物馆。

可以推测，人们学会建造各式桥梁，最初是受到自然界各种景象的启发。例如：从倒下而横卧在溪流上的树干，就可以衍生建造桥梁的想法（见图 1.1）；从天然形成的石穹、石洞，就知道修建拱桥；受崖壁或树丛间攀爬和飘荡的藤蔓的启发，而学会建造索桥，等等。考古发掘出的世界上最早的桥梁遗迹是公元前 6000 年至公元前 4000 年现今小亚细亚一带。我国 1954 年发掘出的西安半坡村的公元前 4000 年左右的新石器时代氏族村落遗址（见图 1.2），是我国已发现的最早出现桥梁的地方。



图 1.1 倾于河上的雷击树木

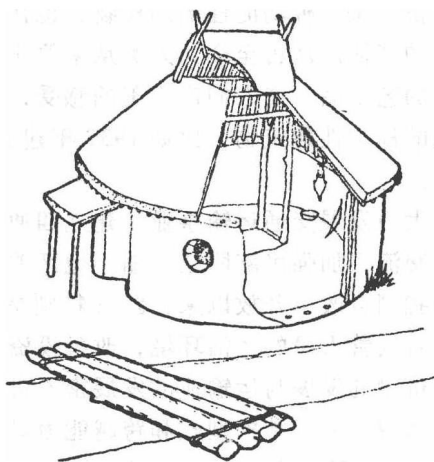


图 1.2 西安半坡村遗址想象图

古代桥梁所用材料，多为木、石、藤、竹之类的天然材料。锻铁出现以后，开始建筑简单的铁链吊桥。由于当时的材料强度较低，人们力学知识的不足，古代桥梁的跨度都很小。木、藤、竹类材料易腐烂，致使能保留至今的古代桥梁，多为石桥。世界上现存最古老的石桥在今希腊的伯罗奔尼撒半岛，是一座用石块干砌的单孔石拱桥（公元前 1500 年左右）。

我国历史文化悠久，是世界上文明发达最早的国家之一。在人类文明的发展史中，桥

梁占有重要的一页。中国古代木桥、石桥和铁索桥都长时间保持世界领先水平，在桥梁发展史上曾占据重要地位，为世人所公认。例如，据相关文献记载，中国早在公元前 50 年（汉宣帝甘露四年）就建成了跨度达百米的铁索桥，而欧美直到 17 世纪尚出现铁索桥。我国幅员辽阔，山多河多，古代桥梁不但数量惊人，而且类型也丰富多彩，几乎包含了所有近代桥梁中的最主要形式。

2. 古代桥梁类型简介

中国古代桥梁不外乎梁、拱、索、浮等类型。下面简要介绍各种桥型中闻名中外的几座古代桥梁。

(1) 梁桥

我国历史上最早记载的梁桥为钜桥，桥建于商代（公元前 16 世纪 ~ 公元前 11 世纪）。周武王伐纣，克商都朝歌（今河北省曲周县东北），发钜桥头积粟，以赈济贫民。自周代起到秦汉，中国多造石柱、木梁桥。

宋代建造为数众多的石墩、石梁桥。200 多年间，仅泉州一地，见于古籍的桥梁就有 110 座，其中名桥 10 座。如安平桥（见图 1.3），有 362 孔，桥长 5 里（2223m），故又名五里桥（现桥长 2100m），保持了 700 余年的桥长记录，该桥始建于宋代，绍兴八年（公元 1138 年），成于绍兴二十一年（公元 1151 年），历时 13 年。又如泉州万安桥，俗称洛阳桥（见图 1.4），共有 47 孔，建于洛阳江入海口，桥总长约 890m，桥宽 3.7m。桥始建于宋代，皇佑五年（公元 1053 年），完成于宋代，嘉裕四年（公元 1059 年）。两桥均为国家重点文物保护单位。



图 1.3 安平桥

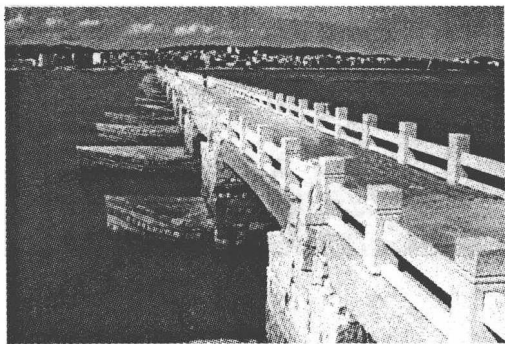


图 1.4 洛阳桥

福建漳州江东桥（虎渡桥）的石梁最为巨大（世界最大）（见图 1.5）。该桥于宋·嘉熙元年（公元 1237 年）由木梁桥改为石梁桥，计有 15 孔，每孔三片石梁。石桥现存 5 孔，其中最大的石梁长 23.7m，宽 1.7m，高 1.9m，重量达 2 000kN。这样巨大的石梁，在没有重型起重设备的古时，其采、运、安装等工作都是十分艰巨的。

木梁桥上一般建有桥屋或桥廊，侗族风雨桥就是一种桥屋。广西三江侗族自治县的程阳永济桥（见图 1.6），是一座 4 孔 5 墩的木伸臂桥屋，全长 644m，建于 1916 年，5 座墩台上均有桥亭，用桥廊把桥亭相互贯通。桥亭起着重力平衡作用，把装饰与功能有机结合在一起。这里特别值得一提的是廊桥的故乡浙江省泰顺县，位于该县的廊桥造型古朴别

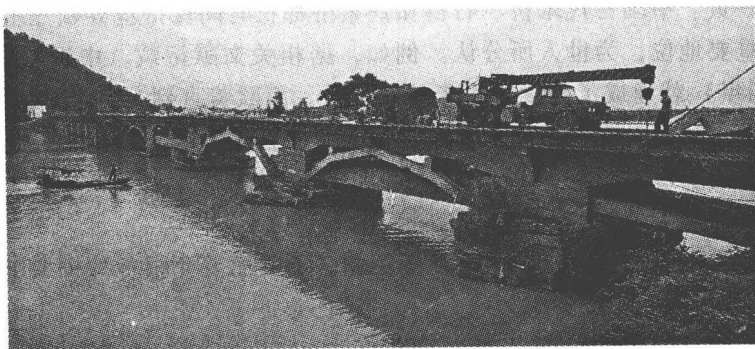


图 1.5 江东桥

致、典雅大方，同周边的青山绿水和古民居融为一体，具有很高的历史、艺术和科学价值。经许多桥梁专家论证，泰顺的木拱廊桥（俗称蜈蚣桥）其结构与《清明上河图》中的汴水虹桥非常接近，但其技术远远超过汴水虹桥；因影片《廊桥遗梦》而一夜成名的美国国家级历史文物保护单位麦迪逊廊桥，无论是单孔跨度、年代久远、外形美观还是科技含量，都不能与泰顺廊桥相提并论。目前泰顺县境内保存完好的木结构古廊桥有 32 座。图 1.7 为位于泰顺县仙稔乡仙居村水尾的仙居桥。

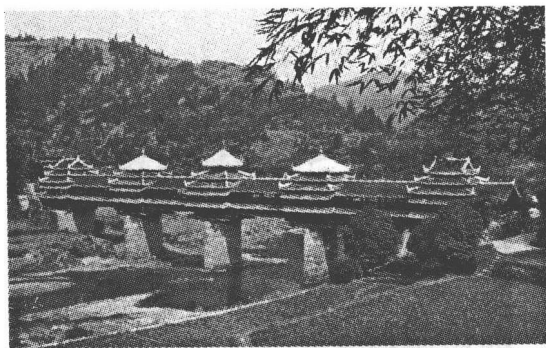


图 1.6 程阳永济桥

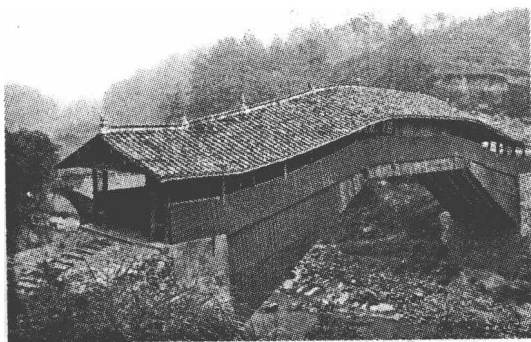


图 1.7 泰顺县仙居桥

(2) 拱桥

世界上对拱结构的起源众说不一。或认为导源于自然界溶洞天然拱；或认为起自崩落的堆石拱；或认为由于砌墙开洞，逐渐由“假拱”演变而成。在中国，从墓葬结构及仅存实物，显示出拱是由梁与侧柱逐渐演变为三、五、七等折边拱，然后演变为圆拱。

中国的木拱桥始自宋代。宋代·张择端《清明上河图》中的虹桥（见图 1.8），为了漕运，水中无桥墩，桥采用了宋·明道年间（公元 1032 ~ 1033 年）有一守卒子发明的“贯木”架桥，即大木穿插叠架为木拱。虹桥桥跨约 18.5m，拱矢约 4.2m，桥面总宽 9.6m，桥毁于金元之际，数百年来一直认为已是绝唱。

中国现存最早，并且保存良好的是隋代赵州安济桥（见图 1.9），又称赵州桥。桥为敞间圆弧石拱，拱券并列 28 道，净跨 37.02m，矢高 7.23m，主拱券等厚 1.03m。在主拱

券上两侧,各开两个净跨分别为3.8m和2.85m的小拱,以宣泄洪水,减轻自重。桥面呈弧形,栏槛望柱,雕刻着龙兽,神采飞扬。桥始建于隋·开皇15年(公元595年),完工于隋·大业元年(公元605年)。安济桥制作精良,结构独创,造型匀称美丽,雕刻细致生动,历代都予重视和保护,不但是中国的重点保护文物,同时是世界公认的“国际历史土木工程里程碑”。

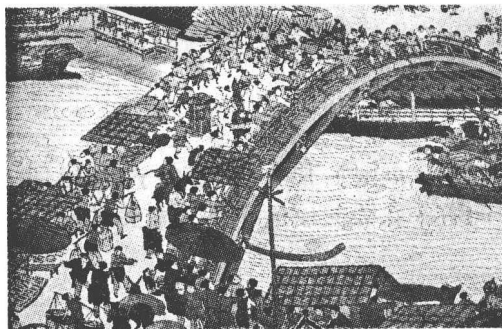


图 1.8 《清明上河图》虹桥

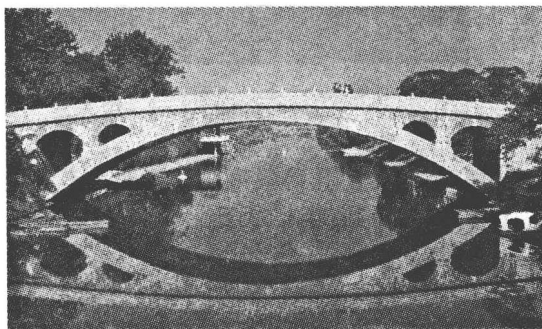


图 1.9 河北赵县赵州桥

北京宛平卢沟桥,在北京广安门外30里,跨永定河。桥始建于金·大定28年(公元1188年),完工于金·明昌三年(公元1192年)。桥全长212.2m,共11孔,净跨不等,自11.4~13.45m,桥宽9.3m。墩宽自6.5~7.9m。桥墩迎水面尖端镶有三角铁柱的分水尖,背水面为削角方形。桥面上石栏杆共269间,各望柱头上,雕刻有石狮(见图1.10),已成为鉴赏重点,亦是统一变化的美学原则的具体应用。



图 1.10 卢沟桥上的石狮

南方江浙一带水网地区,以舟行为主。潮汐河流,软土地基,因此即使是石拱桥亦尽量减轻重量建造为薄墩薄拱。桥孔自单孔多到85孔(江苏吴江垂虹桥,已塌,尚存残孔8孔)。薄墩之薄,相邻两拱券拱石相接,特别是三拱薄墩桥,中孔大、边孔小,两岸以踏步上桥。桥成驼峰形,造型美观。如浙江杭州拱宸桥(见图1.11),创建于明·崇祯4年(公