

桥梁工程技术

(第2版)

主 编 申 建 磊 平
主 审 于 辉

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

桥梁工程技术

(第2版)

主 编 申 建 慕 平
副主编 孟凡成 郭 梅 于澜涛
 钱雪松 郭丰敏
参 编 李月姝 范庆华 李海波
 李瑞涛 李 博 崔晓义
 赵万英 李志刚
主 审 于 辉

内 容 提 要

本书以道路桥梁工程技术专业教学标准和课程标准为依据,紧紧围绕桥梁结构的设计与施工过程进行编写。重点培养学生认识桥梁结构构造,熟悉设计程序和步骤,使学生能够达到“懂设计、精施工、会管理”的人才培养目标。全书共二十三章,主要内容包括桥梁基本知识、桥梁总体设计、桥梁设计荷载、桥面布置与构造、梁式桥的一般特点及分类、板桥的构造、装配式简支梁桥的构造、简支梁桥上部结构的计算、桥梁支座、超静定混凝土梁桥的构造设计要点、拱桥的构造、拱桥的设计要点、桥梁墩台的构造、桥墩计算、桥台计算、涵洞的类型与构造、涵洞的设计计算、桥梁施工准备与测量、梁式桥上部结构的施工、圬工和钢筋混凝土拱桥的施工、桥梁墩台施工、涵洞的施工和桥面系及附属工程施工等。

本书可作为高等院校道路桥梁工程技术等相关专业的教材,也可供从事公路与桥梁工程专业技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程技术 / 申建, 慕平主编. —2版. —北京: 北京理工大学出版社, 2021.1
ISBN 978-7-5682-7933-8

I. ①桥… II. ①申…②慕… 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 (2019) 第 253281 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 25

字 数 / 654千字

版 次 / 2021年1月第2版 2021年1月第1次印刷

定 价 / 82.00元

责任编辑 / 李玉昌

文案编辑 / 李玉昌

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

第2版前言

QIANYAN



“桥梁工程技术”是道路桥梁工程技术等交通土建类专业的一门专业核心课程。本课程的目标是使学生在熟悉桥梁工程的基本概念、基本构造以及掌握桥梁结构设计原理的基础上，能运用桥梁设计相关标准规范、设计手册、标准图集和施工手册等设计资料进行一般中小型桥梁结构的设计，能运用施工技术标准规范及相关技术资料组织一般中、小型桥梁结构的施工，使学生能够达到“懂设计、精施工、会管理”的人才培养目标，为毕业后能够从事桥梁工程施工工作打下坚实的基础。

本书是以道路桥梁工程技术专业教学标准和课程标准为依据，在第1版的基础上进行修订编写，内容基本覆盖了课程标准中给出的知识内容要求和技能内容要求。本次修订以国家和交通运输部颁布的现行有关专业技术标准规范等为依据，以职业岗位工作目标为切入点，紧紧围绕桥梁结构的设计与施工过程来编写。本书编写过程中遵循了“工学结合”原则，使教材的内容具有针对性和实用性，重点培养学生认识桥梁结构构造，熟悉设计程序和步骤，套用标准图集进行施工图设计、掌握梁桥和拱桥施工方法，具备编制桥梁工程施工方案和现场组织施工的能力。

本书由吉林交通职业技术学院申建、慕平担任主编，由吉林交通职业技术学院孟凡成、郭梅、于澜涛、钱雪松、郭丰敏担任副主编，吉林交通职业技术学院李月姝、范庆华、李瑞涛、李博、崔晓义、赵万英、李志刚和中交第四公路工程局有限公司李海波参考编写。具体编写分工如下：第一章、第二章、第三章、第八章、第十一章、第十九章由申建编写，第六章、第七章、第二十章由慕平编写，第二十一章由郭梅编写，第十三章由钱雪松编写，第十四章、十五章由孟凡成编写，第五章、第十二章由于澜涛编写，第九章由郭丰敏编写，第二十二章由李月姝编写，第十六章由范庆华编写，第十七章由李海波编写，第四章由李瑞涛和李博编写，第十八章崔晓义编写，第二十三章赵万英编写，第十章由李志刚编写。全书由申建统稿，由于辉主审。在编写过程中，编者参考和引用了大量有关文献资料，在此向原作者顺致谢意。

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，即使经过反复修改，书中内容仍难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编者



第1版前言

QIANYAN

桥梁工程技术是土木工程专业的一门重要的专业课。本书是根据全国交通高等教育路桥工程学科委员会制定的土木工程专业学生培养目标、培养方案，以及相应的教材编写大纲而编写的。考虑到目前交通路桥专业高等教育的实际情况，在教材编写过程中以“理论上够用为度，注重实践”为原则。

本书共六篇二十二章，第一篇为总论（第一章至第四章），介绍桥梁的发展概况、桥梁的分类、设计程序和设计原则、作用及其分类和确定方法、桥面组成和布置；第二篇为钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥（第五章至第十章），介绍梁桥的一般特点及分类、板桥的构造、装配式简支梁桥的构造、简支梁桥的计算、桥梁支座超静定梁桥的构造设计要点；第三篇为圬工和钢筋混凝土拱桥（第十一章至第十二章），介绍拱桥构造和设计要点；第四篇为桥梁墩台（第十三章至第十五章），介绍桥梁墩台的构造、墩台的设计计算要点；第五篇为涵洞（第十六章至第十七章），介绍涵洞的类型和构造、涵洞的分类和有关计算；第六篇为桥梁施工技术（第十八章至第二十二章），介绍了桥梁上部结构和下部结构施工工艺和方法、涵洞的施工等。

参与本书编写的人员有：吉林交通职业技术学院申建、李辅元、于辉、郭梅、慕平、孟凡成、汤宏丽、徐静涛、范庆华、朱春风、王东杰、李长成、李月姝、钟沂平、王雨楠、赵金云、李瑞涛、徐词、张月、钱雪松，吉林交建集团于文瑞，吉林省高速公路管理局李岩松。本书由申建、李辅元担任主编，于辉、郭梅、慕平、孟凡成担任副主编。全书由吉林交通职业技术学院王连威教授主审。具体分工情况如下：第一章、第二章、第三章、第八章、第十八章、第二十二章由申建编写，第十六章由李辅元编写，第四章、第五章由郭梅编写，第六章、第九章由于辉编写，第七章、第十章由慕平编写，第十九章由孟凡成编写，第十一章由汤宏丽和徐静涛编写，第十二章由范庆华和朱春风编写，第十三章由王东杰和李瑞涛编写，第十四章由李长成和李月姝编写，第十五章由钟沂平和王雨楠编写，第二十章由赵金云和于文瑞编写，第二十一章由徐词和张月编写，第十七章由钱雪松和李岩松编写。全书由申建统稿。

在教材编写过程中，得到了北京理工大学出版社刘翠英和孟丽华的大力支持和帮助，同时，附于书后的主要参考文献的作者们对本书的完成给予了巨大支持，在此一并致以诚挚的谢意！

由于编者水平有限，编写时间也较紧迫，书中若有不妥和谬误之处，敬请读者批评指正，在此表示衷心感谢。

编者



CONTENTS

目录

第一篇 总论

第一章 桥梁基本知识..... 1	第一节 钢筋混凝土和预应力混凝土 梁式桥的一般特点..... 43
第一节 国内外桥梁的建筑概况..... 1	第二节 梁式桥的主要类型及适用条件..... 44
第二节 桥梁的基本组成和分类..... 8	第六章 板桥的构造..... 49
第二章 桥梁总体设计..... 14	第一节 板桥的特点及分类..... 49
第一节 桥梁总体规划原则及基本设计 资料..... 14	第二节 简支板桥的构造..... 50
第二节 桥梁纵、横断面设计和平面 布置..... 15	第三节 斜交板桥的受力特征与构造 特点..... 55
第三节 桥梁设计与建设程序..... 20	第七章 装配式简支梁桥的构造..... 59
第四节 桥梁设计方案比选..... 22	第一节 装配式简支梁桥的构造类型..... 59
第三章 桥梁设计荷载..... 25	第二节 装配式钢筋混凝土简支梁桥..... 62
第四章 桥面布置与构造..... 31	第三节 装配式预应力混凝土简支 T 形 梁桥..... 70
第一节 桥面组成与布置..... 31	第八章 简支梁桥上部结构的计算..... 83
第二节 桥面铺装..... 33	第一节 行车道板的计算..... 83
第三节 桥面防水排水设施..... 34	第二节 荷载横向分布系数的计算..... 90
第四节 桥面伸缩装置和桥面连续..... 36	第三节 主梁内力计算..... 99
第五节 人行道、栏杆与灯柱..... 40	第九章 桥梁支座..... 110
第二篇 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥	第一节 概述..... 110
第五章 梁式桥的一般特点及分类..... 43	第二节 桥梁支座的设置原则..... 111
	第三节 桥梁支座的类型和构造..... 113

第四节	板式橡胶支座的设计计算	116
第十章	超静定混凝土梁桥的构造设计	
要点		122
第一节	钢筋混凝土悬臂和连续体系梁桥的构造和设计要点	122
第二节	预应力混凝土连续梁桥	124

第三篇 圬工和钢筋混凝土拱桥

第十一章	拱桥的构造	127
第一节	拱桥的受力特点及适用范围	127
第二节	拱桥的构造和主要类型	128
第三节	主拱圈的构造	130
第四节	拱上建筑的构造	140
第十二章	拱桥的设计要点	148
第一节	拱桥的总体设计	148
第二节	拱轴线形的选择和拱上建筑的布置	149
第三节	拱桥主要尺寸的拟定	150
第四节	拱桥上部构造体积计算	152

第四篇 桥梁墩台

第十三章	桥梁墩台的构造	154
第一节	概述	154
第二节	桥墩构造	155
第三节	桥台构造	162
第十四章	桥墩计算	171
第一节	作用及其作用效应组合	171
第二节	重力式桥墩计算	175
第三节	桩柱式桥墩的计算	189
第十五章	桥台计算	192
第一节	重力式桥台的计算	192
第二节	梁桥轻型桥台的计算特点	194

第五篇 涵洞

第十六章	涵洞的类型与构造	198
第一节	涵洞的分类	198
第二节	涵洞的洞身和洞口构造	199
第三节	涵洞勘测设计	206
第十七章	涵洞的设计计算	210
第一节	涵洞长度计算	210
第二节	洞口建筑工程数量计算	212

第六篇 桥梁施工技术

第十八章	桥梁施工准备与测量	216
第一节	概述	216
第二节	桥梁施工方法的分类与选择	218
第三节	桥梁施工准备工作	223
第四节	桥位施工测量	226
第十九章	梁式桥上部结构的施工	234
第一节	钢筋混凝土简支梁桥的施工工艺	234
第二节	装配式简支梁的运输、安装和连接	248
第三节	预应力混凝土简支梁桥的施工工艺	261
第四节	悬臂施工法	275
第二十章	圬工和钢筋混凝土拱桥的施工	292
第一节	拱桥的有支架施工	292
第二节	拱桥的悬臂浇筑施工	300
第三节	拱桥的装配式施工	302
第四节	钢管混凝土拱桥的施工	313
第五节	拱桥的转体施工	319
第二十一章	桥梁墩台施工	326
第一节	明挖扩大基础施工	326

第二节	桩基础施工	335	第二十三章	桥面系及附属工程施工	385
第三节	混凝土和石砌墩台的施工	349	第一节	桥面铺装施工	385
第四节	桩柱式墩台施工	357	第二节	桥面防水与排水施工	386
第五节	特殊模板系统下的高墩施工	361	第三节	桥梁伸缩缝的施工	388
第二十二章	涵洞的施工	368	第四节	支座安装	390
第一节	施工准备工作和施工放样	368	参考文献		392
第二节	各种类型涵洞施工技术	369			

第一篇 总论

第一章 桥梁基本知识

· 学习要点 ·

主要阐述了桥梁的基本组成部分、主要尺寸和术语名称、桥梁的类型和结构体系，国内外桥梁发展的概况。

第一节 国内外桥梁的建筑概况

一、桥梁发展的基本历程

在 17 世纪中期以前，由于生产力的落后，没有动力机械，当时用于桥梁的材料基本上是木材、砖、石、土等。由于当时生产力和材料的限制，桥梁跨径都比较小。18 世纪，第一次工业革命，出现蒸汽机和动力机械等，生产力得到了较大的发展。19 世纪出现了钢材，使桥梁工程的发展出现了第一次飞跃，桥梁的跨径从几十米发展到了几百米。发展到 20 世纪，钢筋混凝土的应用，以及 20 世纪 30 年代预应力混凝土技术与高强度钢材的出现，使桥梁建筑获得了廉价、耐久，且刚度和承载力均较大的建筑材料，从而大大推动了桥梁的发展，称之为桥梁建设的第二次飞跃。20 世纪 50 年代之后，随着计算机和有限元计算方法的出现，大大提高了计算能力，使得大规模的结构计算变为可能，从而推动了桥梁工程向更大跨径方向发展，实现了桥梁建设的第三次飞跃。

桥梁建设发展至今，经历了以上三次飞跃，它是伴随着建筑材料、生产力水平和计算能力的发展而不断发展的。

二、我国桥梁建设成就

我国有着悠久的历史文化，是世界文明发达最早的国家之一。在桥梁建设方面，我们的祖先在世界桥梁建筑史上写下了许多光辉灿烂的篇章。

根据史料记载，在距今约三千年的周朝，我国就已在宽阔的渭河上架设过大型浮桥。在春秋战国时期(公元前 332 年)已在黄河流域和其他地区修建了多孔桩柱式桥梁，用木材作为墩柱，上置木梁、石梁等。

在我国古代，修建的桥梁用材最多的是石桥，举世闻名的河北赵县的赵州桥，如图 1-1 所示，又称安济桥，是我国古代石拱桥的杰出代表，为隋大业初年(公元 605 年左右)李春所创建。

该桥是一座空腹式圆弧形石拱桥，净跨为 37.02 m，宽为 9.0 m，拱矢高为 7.23 m，在拱圈两肩上各设有两个不等跨的腹拱，这样既减轻了桥身自重、节省了材料，又便于泄洪和增加美观。赵州桥的设计构思和工艺，在当时不仅在我国首屈一指，在世界上也处于领先水平，像这样的敞肩式拱桥，欧洲到 19 世纪中叶才出现，比我国晚了一千两百多年。该桥桥头关帝阁有一副对联为“船从碧玉环中过，人在苍龙背上行”，这是对该桥的一个真实写照，它不愧为我国文物宝库中的艺术珍品，1991 年被列为世界文化遗产。

我国福建泉州建筑的万安桥，也称洛阳桥，建于 1053—1059 年，是世界上现存的最长、工程最艰巨的石梁桥，该桥长达 834 m，共 47 孔，位于波涛汹涌的海口江面上。此桥以磐石铺遍桥位的江底，是建桥史上筏形基础的首创。并且用养殖海生牡蛎的方法胶固桥梁基础成为整体，此属世界上绝无仅有的建桥技术。近千年前，就能在如此复杂的水文条件下建成这样的长桥，也是世界上罕见的。

1240 年建造的福建漳州虎渡桥，也是令人惊奇的一座梁式石桥，如图 1-2 所示，该桥总长为 335 m，其中某些石梁长达 23.7 m。

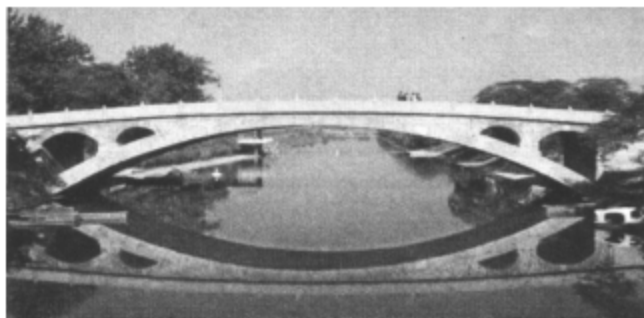


图 1-1 河北赵县赵州桥



图 1-2 福建漳州虎渡桥

建于中唐时代的宝带桥，如图 1-3 所示，是世界上现存最长的多孔薄墩连拱桥，共 53 孔，全长为 316.8 m，犹如千尺卧虹，技艺巧夺天工。

另外，还有许多著名的石拱桥，如北京永定河上的卢沟桥、颐和园内的玉带桥、十七孔桥和苏州的枫桥等。

然而，由于我国封建社会的长期统治，严重束缚了生产力的发展。18 世纪和 19 世纪西方资本主义国家产生了第一次工业革命和第二次工业革命，纷纷进入了工业化的快速发展阶段，而我国却仍然闭关自守，导致我国生产力的发展远远落后于西方国家。在桥梁建设方面，由于生产力的落后，其发展处于停滞不前的状态。到新中国成立前，我国绝大多数桥梁仍为木桥、石桥等，且年久失修、破烂不堪。虽然那时我国也修建过一些钢桁架桥、吊桥和钢筋混凝土桥等，但与当时世界上桥梁建筑技术相比，已是处于非常落后的状态。

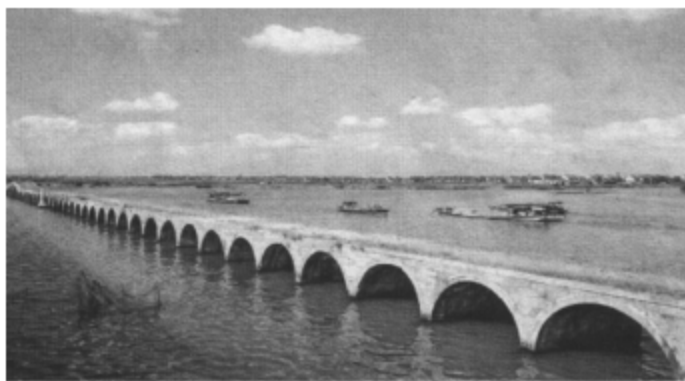


图 1-3 宝带桥

中华人民共和国成立以后，尤其是 20 世纪 80 年代改革开放以来，我国的综合国力及生产力得到了迅速增强，科技水平迅速提高，我国的交通事业也随之得到快速发展。特别是 20 世纪 90 年代以来大力发展高等级公路建设，使得我国的桥梁工程得到了空前的发展，取得了巨大的成就，并跨入了世界前列。

1. 混凝土梁桥

混凝土梁桥主要有简支梁桥、连续梁桥、连续刚构桥等。

我国跨径最大的简支梁桥，是于1997年建成的昆明南过境干道高架桥——预应力混凝土简支梁桥，跨径为63 m。

1991年建成的云南六库怒江大桥，为预应力混凝土箱形截面连续梁桥，主跨跨径为85 m+154 m+85 m；2001年7月建成的南京长江第二大桥北汊桥(图1-4)，主跨为90 m+3×165 m+90 m，是我国目前跨径最大的预应力混凝土连续梁桥，在同类型中居亚洲第一。



图 1-4 南京长江第二大桥北汊桥

连续刚构桥既保持了连续梁无伸缩缝、行车平顺的优点，又保持了 T 形刚构不设支座和方便对称平衡悬臂施工的优点，同时，又避免了连续梁和 T 形刚构的缺点。因此，连续刚构桥在我国得到快速发展。

早在1988年建成的广东番禺洛溪大桥，是我国第一座大跨径连续刚构桥，跨径为65 m+125 m+180 m+110 m。1996年又建成了湖北黄石长江大桥，主跨为245 m，主桥连续长达1 060 m。1997年建成的广东虎门辅航道桥，连续刚构跨径为150 m+270 m+150 m，该桥建成时居同类桥世界第一。

2003年建成的云南元江大桥(连续刚构)，如图1-5所示，主跨为265 m，中墩高为123.5 m，称为同类型桥世界第一高桥。

2. 拱桥

拱桥是我国最常用的桥型之一，其式样之多，数量之大，为各种桥型之冠，也是大跨径桥梁的主要形式之一。1990年建成的湖南凤凰鸟巢河桥如图1-6所示，跨径为120 m，其主拱圈由两条宽为2.5 m的石板拱组成，板肋之间用钢筋混凝土横梁联系，该桥为当时我国的石拱桥之最。



图 1-5 云南元江大桥



图 1-6 湖南凤凰鸟巢河桥

1999年建成的山西晋城至河南焦作高速公路上的新丹河大桥，该桥跨径为146 m，主拱圈用80号大料石砌成，为当今世界第二大跨径的石拱桥。

钢管混凝土拱桥是在我国20世纪90年代兴起的一种大跨径拱桥。该桥是先合拢质量轻、强度高的钢管拱圈，并将其用作施工拱架，再往钢管内压注高强度混凝土，形成承载能力大的主拱圈。1995年建成的广东南海三山西大桥，跨径为200 m；于1998年建成的广西三岸邕江大桥，主跨为270 m；于2000年建成的广州丫髻沙大桥，主跨为360 m；于2005年1月竣工通车

的重庆巫山长江大桥，主跨为 492 m，如图 1-7 所示，为该类桥型世界第一。于 2006 年年底建成的湖南益阳茅草街大桥，是主跨为 368 m 的自锚式中承钢管混凝土拱桥。

1997 年建成的重庆万县长江大桥，主跨为 420 m，如图 1-8 所示，是世界上跨径最大的用钢管混凝土作为劲性骨架的钢筋混凝土拱桥。

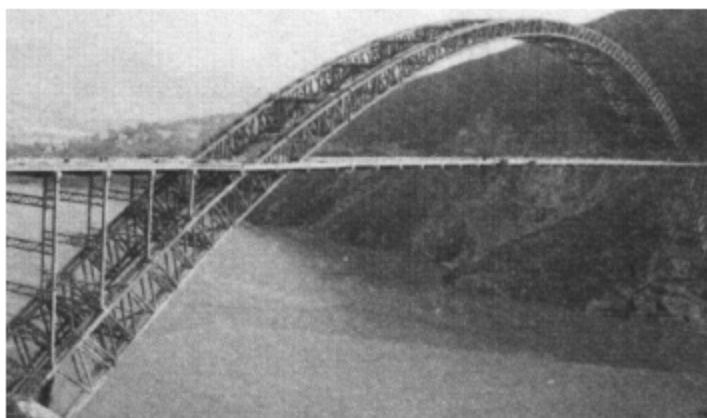


图 1-7 重庆巫山长江大桥



图 1-8 重庆万县长江大桥

2003 年建成的上海卢浦大桥，如图 1-9 所示，是世界上跨径最大的拱桥，拱肋为全焊钢箱结构，是中承式系杆拱桥，主跨跨径达到了 550 m。

1995 年建成的贵州江界河大桥，如图 1-10 所示，是一座跨度达 330 m 的桁架式组合拱桥，居世界同类桥型之首。

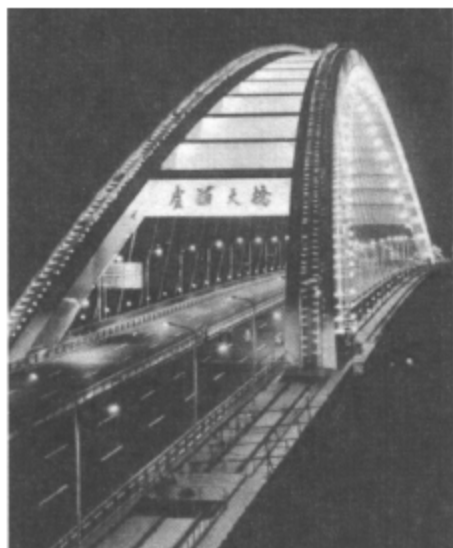


图 1-9 上海卢浦大桥

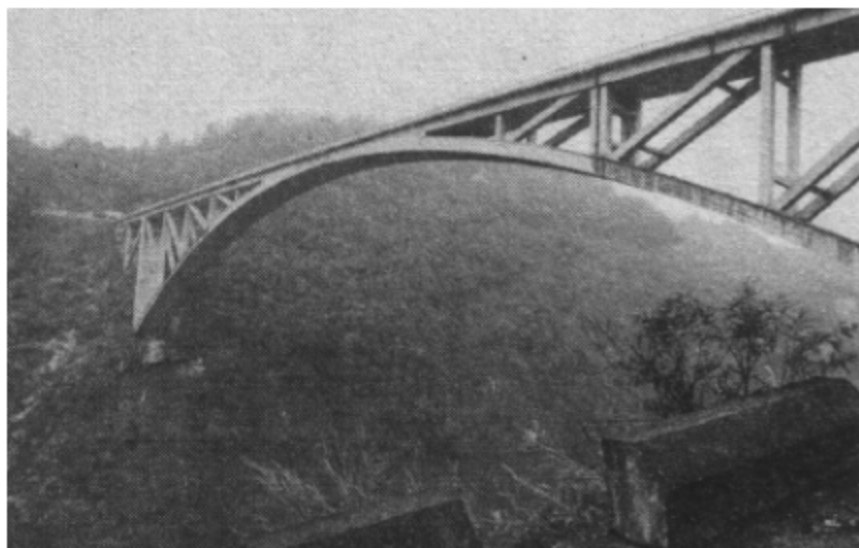


图 1-10 贵州江界河大桥

3. 斜拉桥

预应力混凝土斜拉桥，由于结构合理，跨度能力大，用材指标低和外形美观而迅速发展。斜拉桥的应用与发展在我国起步较晚，1975 年建成的跨径为 76 m 的四川云阳桥是我国第一座斜拉桥。20 世纪 90 年代之后，斜拉桥在我国得到了迅速的发展，修建了一系列跨大江河流的特大跨径斜拉桥。据不完全统计，我国已建成的斜拉桥有 100 余座，其中跨径大于 400 m 的已达 20 余座，为世界之首。1993 年建成的上海杨浦大桥，跨径为 602 m(在当时属世界第一)；1998 年建成的香港汀九桥为一座三塔斜拉桥，主跨跨径为 448 m+475 m；2001 年建成的福建青州闽江大桥，如图 1-11 所示，主跨跨径为 605 m，均为钢-混凝土组合梁斜拉桥(即中跨为钢结构，

边跨为混凝土结构)。其中青州闽江大桥为组合梁斜拉桥跨径的世界第一。

混凝土主梁的斜拉桥有 1993 建成的湖北郟阳汉江大桥，跨径为 414 m；1995 年建成的安徽铜陵长江大桥，跨径为 432 m；1996 年建成的重庆长江二桥，跨径为 444 m；2001 年建成的重庆大佛寺长江大桥，跨径为 450 m；2002 年建成的湖北荆州长江大桥，如图 1-12 所示，跨径达 500 m。

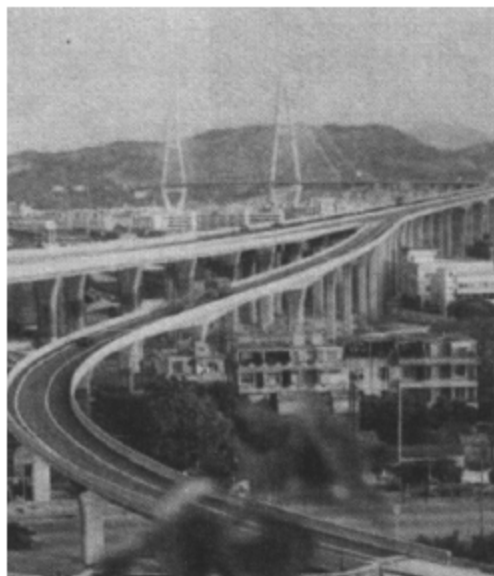


图 1-11 福建青州闽江大桥

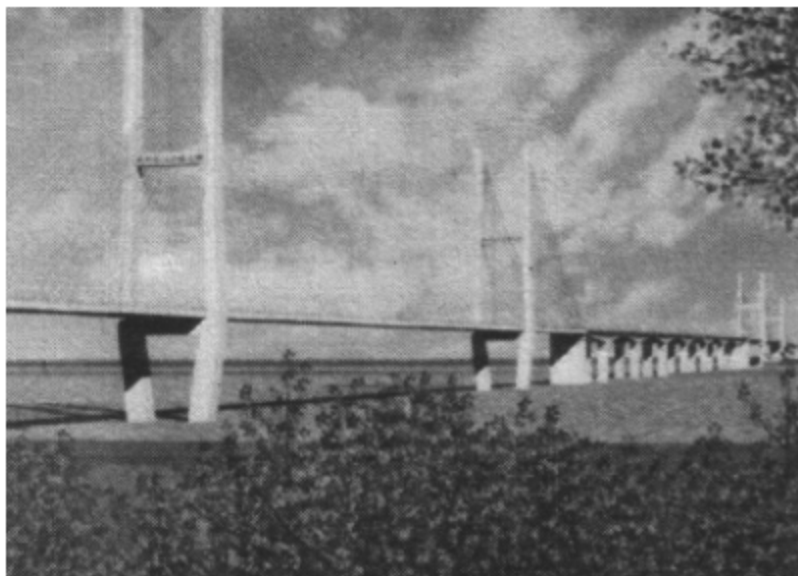


图 1-12 湖北荆州长江大桥

2000 年完工的南京长江二桥，主跨为 628 m，当时居世界第三；南京长江三桥位于现南京长江大桥上游约 19 km 处，2005 年 10 月，建成通车，如图 1-13 所示，主桥采用主跨为 648 m 的双塔钢箱梁斜拉桥，桥塔采用钢结构，为国内第一座钢塔斜拉桥，也是世界上第一座弧线形钢塔斜拉桥。2008 年 6 月 30 日全线通车的苏通长江大桥，主跨为 1 088 m，工程总投资约为 64.5 亿元，西距江阴长江公路大桥 82 km，东距长江入海口 108 km，苏通长江公路大桥创造了斜拉桥型的四项世界之最，即在同类桥型中，主塔最高、群桩基础规模最大、斜拉索最长、跨径最大，如图 1-14 所示。

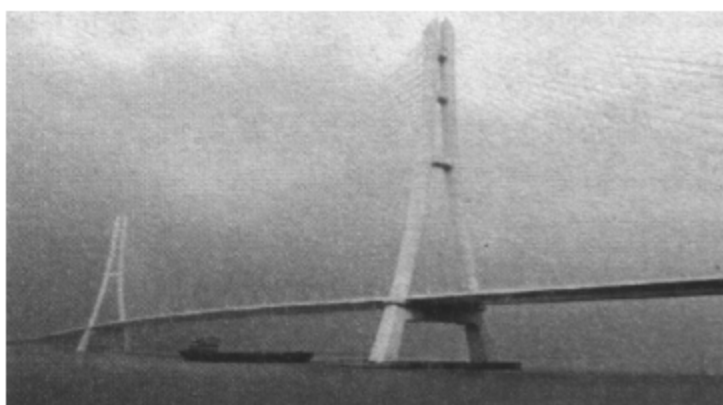


图 1-13 南京长江三桥



图 1-14 苏通长江大桥

4. 悬索桥(吊桥)

悬索桥的跨越能力在各类桥型中是最大的。我国于 1999 年 9 月建成通车的江阴长江大桥，主跨为 1 385 m，是我国第一座跨度超过千米的钢箱梁悬索桥，世界排名第四。该桥在沉井、地下连结墙、锚锭、挂索等工程施工中创造的经验，将会推动我国悬索桥施工技术的进一步发展。

我国香港的青马大桥，全长为 2.16 km，主跨为 1 377 m，为公铁两用双层悬索桥，是香港 21 世纪标志性建筑。润扬长江大桥于 2000 年 10 月 20 日开工建设，2005 年 10 月 1 日前建成通车。大桥建设创造了多项国内第一，综合体现了目前我国公路桥梁建设的最高水平，如图 1-15 所示。大桥南汊悬索桥主跨为 1 490 m，当时为我国第一世界第三大跨径；悬索桥主塔高为 227.21 m，为国内第一高塔；悬索桥主缆长为 2 600 m，为国内第一长缆；大桥钢箱梁总重为 34 000 t，为国内第一重；钢桥面铺装面积达 71 400 m²，为国内第一大面积钢桥面铺装；悬索桥锚碇锚体浇筑混凝土近 6 万 m³，为国内第一大锚碇。桥下最大通航净宽为 700 m、最大通航净高为 50 m，可通行 5 万吨级货轮。舟山大陆连岛工程西堠门大桥，如图 1-16 所示，2009 年 12 月 25 日正式通车。大桥主跨为 1 650 m，是世界上跨径最大的钢箱梁悬索桥。西堠门大桥是世界上抗风要求最高的桥梁之一，采用了世界上尚无先例的分体式钢箱加劲梁，满足了抗风稳定性要求，颤振临界风速达到 88 m/s 以上，可抗 17 级超强台风。在大桥建设过程中，是国内首次采用直升机牵引先导索过海，其中放索系统与直升机分离的模式为国际首创，首次实现了先导索过海不封航作业。

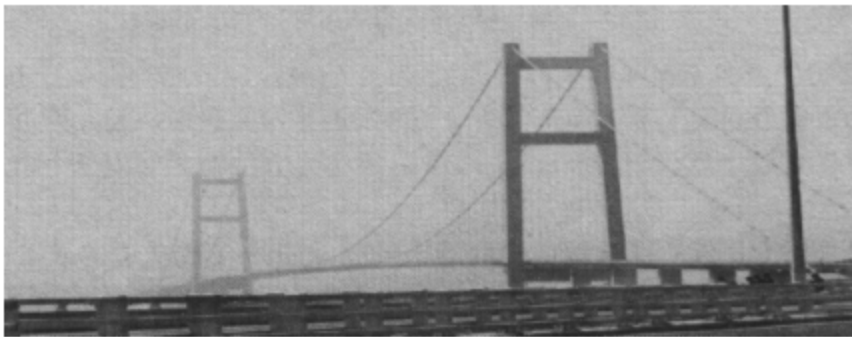


图 1-15 江苏润扬长江大桥



图 1-16 西堠门大桥

三、国外桥梁发展概况

国外桥梁建筑的发展历史，对于促进和发展现代桥梁有着深远的影响，继意大利文艺复兴之后，英国、法国和其他西欧国家冲破封建贵族制度，开始进入资本主义时代，尤其是 18 世纪的工业革命促进了生产力的快速发展，推动了工业革命，从而也促进了桥梁建筑的空前发展。

1855 年，法国建造了第一批采用水泥砂浆砌筑的石拱桥；1899—1903 年，卢森堡建成了跨度达 84 m 的石拱桥；20 世纪初，法国建成的戴拉卡混凝土箱形拱桥，其跨度达 139.80 m；1946 年，瑞典建成的绥依纳松特桥，跨径达 155 m，是世界上迄今为止最大跨径的石拱桥。

钢筋混凝土桥的出现，要追溯到 1873 年法国的约瑟夫莫尼尔首创建成的一座用钢筋混凝土材料建造的拱式人行桥。钢筋混凝土拱桥的兴起，推动了拱桥向更大跨径方向发展，1930 年法国建成了三孔跨径为 186 m 的拱桥；1940 年瑞典建成了跨径达 264 m 的桑独桥。直到 1979 年，因支架施工问题，钢筋混凝土桥的应用受到一定的限制。南斯拉夫首次用无支架悬臂施工方法，建成了跨度达 390 m 的克尔克大桥，该桥跨径保持了 18 年世界纪录。目前，无支架悬臂施工法在大跨度拱桥施工中被广泛采用。

著名的澳大利亚悉尼港湾大桥，如图 1-17 所示，是一座跨径为 503 m 的中承式钢桁架拱桥，建于 1932 年。

1928 年法国的著名工程师弗莱西奈经过 20 年研究，使预应力混凝土技术付诸实现。此后，新颖的预应力混凝土桥梁首先在法国和德国迅速发展起来，大大推进了梁式桥的发展。第二次世界大战之后(1948 年)，法国应用预应力方法修复了马恩河上的五座桥梁，跨径约为 74 m。

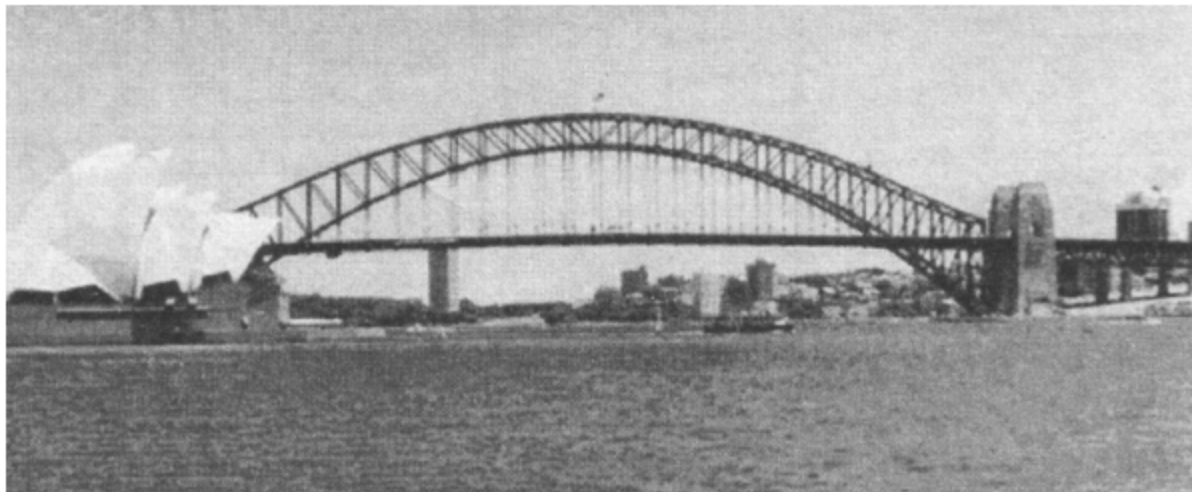


图 1-17 悉尼港湾大桥

西德最早采用全悬臂法建造预应力混凝土桥梁，1952 年成功地建成莱茵河上的沃伦斯桥（跨度为 101.65 m+114.20 m+104.20 m，具有跨中剪力铰的连续刚构桥）后，该施工方法传遍全世界，可以说是桥梁施工方法的一次革命。10 年后，莱茵河上另一座桥——本道尔夫桥的问世，将预应力混凝土桥的跨度增至 208 m，使悬臂施工技术日臻完善。目前，世界上跨度最大的预应力混凝土连续梁桥是挪威的伐罗德桥（ $l=260$ m，1994 年建）；最大跨度的连续刚构桥是挪威的斯托尔马桥（ $l=301$ m，1998 年建）。

世界上第一座具有钢筋混凝土主梁的斜拉桥，是 1925 年在西班牙修建的跨越坦波尔河的水道桥，其主跨为 60.35 m。世界上第一座现代化斜拉桥，是 1955 年瑞典建成的斯特罗姆海峡桥，其主跨为 182.6 m。美国在 1978 年建成的 P-K 桥，其跨径为 299 m，是世界上第一座密索体系的预应力混凝土斜拉桥。1995 年建成的法国诺曼底（Normandy）大桥，如图 1-18 所示，其主跨为 856 m，目前位于斜拉桥世界第二。于 1999 年建成日本多多罗（Tatara）桥，如图 1-19 所示，其主跨为 890 m，是目前世界上最大跨径的斜拉桥。



图 1-18 法国(Normandy)大桥



图 1-19 日本多多罗桥

在悬索桥方面，美国在 19 世纪 50 年代从法国引进了近代悬索桥技术后，于 19 世纪 70 年代发明了“空中架线法”编纺主缆，1883 年建成了纽约布鲁克林桥，跨径达 483 m，开创了现代悬索桥的先河。1937 年建成的旧金山金门大桥，如图 1-20 所示，主跨达 1 280 m，该桥保持了 27 年桥梁最大跨径的世界纪录。

英国 1974 年建成的亨伯尔桥，跨径为 1 410 m，是当时世界上悬索桥之冠。1996 年建成的丹麦大带桥，其跨径为 1 624 m。

目前世界上跨径最大的悬索桥，是日本 1998 年建成的明石海峡大桥，如图 1-21 所示，其跨径为 1 990 m，后因阪神大地震，地壳位移，目前其跨径为 1 991 m。



图 1-20 美国旧金山金门大桥

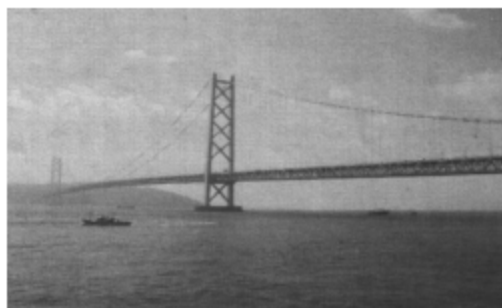


图 1-21 日本明石海峡大桥

第二节 桥梁的基本组成和分类

一、桥梁的基本组成

桥梁一般由四个基本部分组成，即上部结构、下部结构、支座和附属设施。如图 1-22 和图 1-23 所示，分别为公路桥中的梁式桥和拱式桥的概貌。

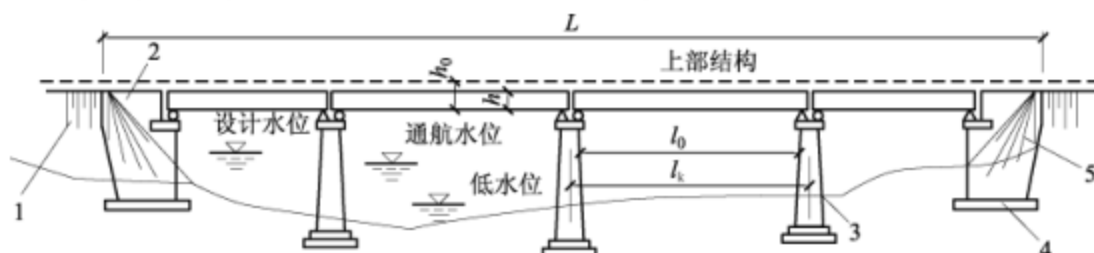


图 1-22 梁式桥概貌

1—路堤；2—桥台；3—桥墩；4—基础；5—锥体护坡

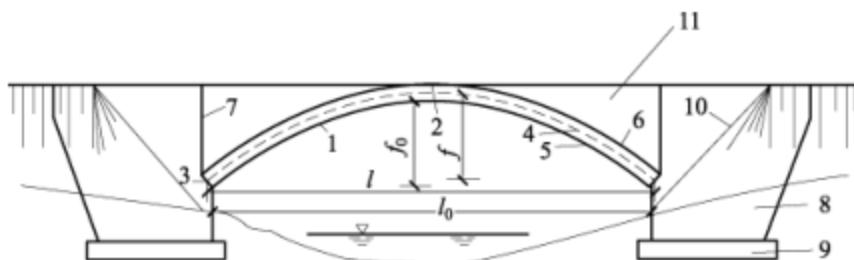


图 1-23 拱式桥概貌

1—拱圈；2—拱顶；3—拱脚；4—拱轴线；5—拱腹；6—拱背；
7—变形缝；8—桥台；9—基础；10—锥坡；11—拱上结构

上部结构(或称桥跨结构)是桥梁支座以上(拱桥起拱线或刚架桥主梁底线以上)跨越桥孔的总称，是承担荷载、跨越障碍的主要承重结构。其作用是承担上部结构所受的全部荷载，并通过支座传递给下部结构。

下部结构包括桥墩、桥台和基础。其作用是支撑桥跨结构并将荷载传递给地基。

一般将设置在桥跨中间部分的支承建筑物称为桥墩；设置在桥跨两端与路堤相衔接的建筑物称为桥台。桥台除上述作用外，还起到了抵御路堤的土压力及防止路堤的滑塌等作用。单孔桥只有两端的桥台，没有中间的桥墩。

桥墩和桥台底部与地基相接触的部分，称为基础。基础承受从桥墩或桥台传来的全部荷载，包括竖向荷载以及地震力、船舶撞击墩身等引起的水平荷载。由于基础往往深埋于水下土层之中，是桥梁施工中难度较大且施工复杂的部分，也是确保桥梁安全的关键之一。

支座设置在墩台的顶部，用于支承上部结构的传力装置，它不仅要传递很大的荷载，还要保证上部结构能按设计要求产生一定的变位。

附属设施包括桥面系、桥头搭板、护坡、导流堤等。如在路堤与桥台衔接处，一般在桥台两侧设置石砌的锥形护坡，如图 1-22 所示，以保证迎水部分路堤边坡的稳定。

下面介绍桥梁中的一些术语名词及基本概念。

1. 水位

河流中的水位是变动的，河流中枯水季节的最低水位称为低水位；洪峰季节河流中的最高水位称为高水位；桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得出的高水位，称为设计水位（或称设计洪水位）；在各级航道中，能保持船舶正常航行的水位称为通航水位。

2. 跨径与桥长

(1) 净跨径。对于梁式桥，净跨径是指设计洪水位上相邻两个桥墩（或桥台）之间的水平净距，用 l_0 表示，如图 1-22 所示；对于拱式桥，净跨径是指每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离，如图 1-23 所示。

(2) 总跨径。总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和（ $\sum l_0$ ），它反映了桥梁排泄洪水的能力。

(3) 计算跨径。对于设有支座的桥梁，计算跨径是指桥跨结构相邻两个支座中心之间的水平距离；对于不设支座的桥梁，为上下部结构的相交面之中心间的水平距离；拱式桥，是指两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离，用 l 表示，桥跨结构的力学计算是以计算跨径为基准的。

(4) 标准跨径。对于梁式桥、板式桥，标准跨径是指两桥墩中线之间或桥墩中线与桥台台背前缘之间的水平距离（如图 1-22 中的 l_k ）；对于拱桥和涵洞，则是指净跨径。根据《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2015）规定，当桥涵跨径在 50 m 及以下时，宜采用标准化跨径。桥涵标准跨径有 0.75 m、1.0 m、1.25 m、1.5 m、2.0 m、2.5 m、3.0 m、4.0 m、5.0 m、6.0 m、8.0 m、10 m、13 m、16 m、20 m、25 m、30 m、35 m、40 m、45 m、50 m。

(5) 桥梁全长（简称桥长）。对于有桥台的桥梁，桥梁全长是指两岸桥台侧墙或八字墙尾端之间的水平距离；对于无桥台的桥梁，则是指桥面系行车道的长度，用 L 表示。

3. 高度和净空

(1) 桥梁高度（简称桥高）。桥梁高度是指桥面路拱中心顶点与低水位或桥下线路路面之间的垂直距离。桥高在某种程度上反映了桥梁施工的难易性。

(2) 桥下净空高度。桥下净空高度是指设计洪水位或计算通航水位与桥跨结构最下缘之间的高差。桥下净空高度应满足排洪、通航或通车要求。

(3) 桥梁建筑高度。桥梁建筑高度是指桥面路拱中心顶点到桥跨结构最下缘（拱式桥为拱脚线）的高差，如图 1-22 中所示的 h_0 。

(4) 净矢高。净矢高是指从拱顶截面下缘至相邻两跨拱脚截面下缘最低点连线的垂直距离，用 f_0 表示，如图 1-23 所示。

(5) 计算矢高。计算矢高是指拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心之连线的垂直距离，用 f 表示，如图 1-23 所示。

(6) 矢跨比。矢跨比是指拱桥中拱圈（或拱肋）的计算矢高与计算跨径之比，也称拱矢度。其是反映拱桥受力特性的一个重要指标。