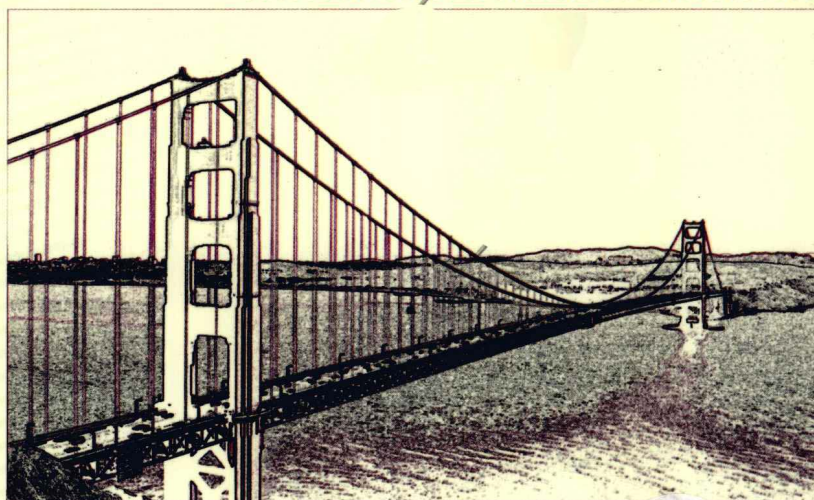


普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

桥梁工程

● 江阿兰 主编

EDUCATION



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

桥梁工程

主 编 江阿兰
主 审 赵颖华



机械工业出版社

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

编 审 委 员 会

主任委员：

姜忻良 天津大学 教授、博导

副主任委员：

张向东 辽宁工程技术大学 教授、博导

李自林 天津城市建设学院 教授、博导

委 员：

李 珠 太原理工大学 教授、博导

魏连雨 河北工业大学 教授、博导

王成华 天津大学 教授

李 斌 内蒙古科技大学 教授

赵根田 内蒙古科技大学 教授

胡启平 河北工程技术大学 教授

张瑞云 石家庄铁道大学 教授

段树金 石家庄铁道大学 教授

段敬民 天津城市建设学院 教授

张敏江 沈阳建筑大学 教授

徐世法 北京建筑工程学院 教授

曹启坤 辽宁工程技术大学 教授

张泽平 太原理工大学 教授

前 言

本书是以高校土木工程专业指导委员会颁发的专业培养目标为依据,按照普通高等院校培养应用型人才的实际需要而编写的,注重于培养学生对桥梁工程基本理论的系统掌握以及实际操作能力。书中每一章都配写了算例或丰富的实例,不仅使学生能系统掌握桥梁知识,并且能应用所学内容独立进行中、小桥梁的设计。

本书有以下特点:

1) 全部采用最新桥梁相关规范(JTG D 60—2004、JTG D 61—2005、JTG D 62—2004等)编写,并详细阐述了新桥规的具体应用。

2) 铁路桥梁与公路桥梁内容并重;铁路桥梁也采用最新桥梁相关规范(TB 10002.1—2005、TB 10002.2—2005、TB 10002.3—2005、TB 10002.4—2005、TB 10002.5—2005等)编写。

3) 书中还融入了当前桥梁领域的新技术、新进展、新施工方法。

4) 适应大跨度桥的发展,将“斜拉桥与悬索桥”单独列为一章,并作了较深入的阐述。

5) 单独设桥梁施工章节,对常用结构的施工方法作了详细的介绍。

本书可作为土木工程、交通工程类学生的专业课教材,同时也可作为其他专业的选修课教材。全书共分10章:第1章绪论,主要介绍国内外桥梁发展概况、桥梁的组成和分类、桥梁规划和设计原则,重点介绍了公路桥梁、城市桥梁及铁路桥梁的设计作用和作用效应组合;第2章梁桥构造,主要介绍桥面系构造、梁(板)桥的总体布置、装配式钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁(板)桥构造;第3章简支梁桥的设计计算,重点介绍行车道板的计算、荷载横向分布计算原理及各种常用的横向分布计算方法、主梁内力计算方法以及挠度和预拱度计算;第4章梁式桥支座,主要介绍常用支座的类型和构造以及橡胶支座的选用与计算方法;第5章拱桥,主要介绍拱桥的特点与适用范围、各类常见拱桥的构造特点和设计要点,重点介绍了悬链线无铰拱的计算方法;第6章斜拉桥与悬索桥,主要介绍大跨度桥梁的发展趋势以及斜拉桥、悬索桥的基本组成、构造特点和设计计算要点。第7章钢桥,主要介绍了钢桥的结构形式、设计计算要点;第8章、第9章桥梁墩台,主要介绍桥梁墩台的构造形式和设计计算方法。第10章桥梁的施工,主要介绍混凝土简支梁桥、连续梁桥和混凝土拱桥的常用施工方法。

本教材由大连交通大学江阿兰主编并统稿,其中第1章、第3章、第5章、第6章由大连交通大学江阿兰编写,第2章、第4章由中南大学任伟新编写,第7章、第10章由青岛理工大学朱亚光编写,第8章、第9章由大连交通大学赵丽华编写。大连海事大学赵颖华教授审阅了本书,并提出了许多有建设性的意见和建议,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 桥梁的组成和分类	2
1.3 桥梁建筑的成就及发展	8
1.4 桥梁规划和设计原则	15
1.5 桥梁设计作用和作用效应 组合	23
1.6 城市桥梁设计荷载及其组合	33
1.7 铁路桥梁的设计荷载	37
【本章要点】	39
【思考与练习】	40
第2章 梁桥构造	41
2.1 桥面系	41
2.2 梁(板)桥的总体布置	52
2.3 板桥的构造	59
2.4 装配式钢筋混凝土简支T形 梁桥构造	62
2.5 装配式预应力混凝土简支 T形梁桥构造	71
2.6 组合式梁桥	79
2.7 预应力混凝土连续梁桥的 构造特点	84
2.8 斜、弯桥构造	89
【本章要点】	95
【思考与练习】	96
第3章 简支梁桥的设计计算	97
3.1 概述	97
3.2 主梁内力计算	97
3.3 桥面板内力计算	141
3.4 横隔梁内力计算	149
3.5 挠度、预拱度计算	153
【本章要点】	156
【思考与练习】	156

第4章 梁式桥支座	158
4.1 支座的类型及布置	158
4.2 支座的构造及工作原理	159
4.3 板式橡胶支座的设计计算	162
【本章要点】	168
【思考与练习】	168
第5章 拱桥	169
5.1 概述	169
5.2 拱桥的构造及设计	176
5.3 拱桥的计算	212
【本章要点】	250
【思考与练习】	250
第6章 斜拉桥与悬索桥	252
6.1 斜拉桥与悬索桥的特点与 发展	252
6.2 斜拉桥的构造	255
6.3 斜拉桥的设计	265
6.4 斜拉桥的计算	269
6.5 斜拉桥施工控制与调整	276
6.6 悬索桥的构造	276
6.7 悬索桥的设计与计算	283
6.8 风振问题	288
【本章要点】	292
【思考与练习】	292
第7章 钢桥	294
7.1 钢桥类型及构造	294
7.2 钢桥的应用及特点	301
7.3 钢桥实例	302
【本章要点】	304
【思考与练习】	304
第8章 桥梁桥墩	305
8.1 桥墩类型及适用条件	305
8.2 桥墩构造与尺寸拟定	310
8.3 桥墩计算	322

8.4 实体桥墩检算算例	335	10.1 概述	370
【本章要点】	349	10.2 梁桥的施工	372
【思考与练习】	349	10.3 拱桥的施工	400
第9章 桥梁桥台	350	【本章要点】	424
9.1 桥台类型及适用条件	350	【思考与练习】	425
9.2 桥台构造与尺寸拟定	355	附录	427
9.3 桥台计算特点	357	附录 I 铰接板荷载横向分布	
9.4 铁路 T 形桥台示例	361	影响线竖标表	427
【本章要点】	369	附录 II G-M 法 K_0 、 K_1 、 μ_0 、 μ_1	
【思考与练习】	369	值的计算用图	438
第10章 桥梁的施工	370	参考文献	443

第1章 绪 论

1.1 概述

桥梁是由于道路路线通过江河湖泊、山谷深沟以及其他线路（公路或铁路）等障碍时，为了保证道路的连续性，充分发挥其正常的运输能力而修建的结构物，因此可以说桥梁是跨越障碍物的结构。桥梁是路线的“延续”，主要起着跨越、承载、传力的作用。桥梁工程在学科分类上是土木工程中的一个分支，它是交通工程中的关键性枢纽。

从古至今交通的发展与桥梁及桥梁工程的发展都是相互促进、密不可分的。交通的发展要求建造承载力更大、跨度更大、数量更多的桥梁，以便使一个国家或地区的交通网不断完善，使其对内、外的各种交流更加便捷，这样就促进了桥梁工程技术的发展。桥梁工程技术的进步则使设计和建造工程难度较大的桥梁（特别是大跨度桥梁）成为现实，进而推动交通向安全、快捷和网络化的高水平发展。这种相辅相成的关系也表明了桥梁及桥梁工程在交通和交通发展中占有极为重要的地位。

交通的发展与不同历史时期社会发展对交通的需求有十分密切的关系，与当时社会生产力的发展水平、工业制造水平以及道路与桥梁的设计和施工水平也有密不可分的关系。一座设计完美的现代化桥梁可以反映一个国家或一个民族的传统文化特点、社会文明进步程度和科学技术发展水平以及其工程设计和工业制造水平。桥梁及桥梁工程的发展反映了社会发展对交通的需求，是交通发展的重要方面之一，它从一定程度上折射出人类社会进步和科学技术发展的程度。

原始时期人们利用天然倒下的树木、自然地壳变化侵蚀而形成的石梁或石拱、溪涧冲流而下的石块或森林里攀缘的藤萝等来搭架人工桥梁。随之也出现了原始的建桥技术。可以说人类最早开始构思搭架的桥梁所采用的建筑材料是天然的石块（石板）和树木。

随着社会的进步和科学技术的发展，出现了比石块抗压强度高的铸铁材料，人们由此又建造了铸铁拱桥。从力学特性来看，石头和铸铁都是脆性材料，其抗压能力强而抗拉能力差，如果做成拱桥并采用合理的拱轴线方程，使荷载作用下的压力线与拱轴线重合，则拱桥的任一横截面上受到的都是轴向压力，不产生弯矩，横截面上每一点就会只产生压应力而不产生拉应力。但如果用这些脆性材料做成梁桥或板桥，桥梁的横截面上就会产生拉应力，当工作时的拉应力达到其抗拉强度时就会产生脆性断裂破坏，因而用石头或铸铁等材料建成的梁桥或板桥，其跨径不能太大，也不可能承受较大的荷载。而当新的建筑材料——钢出现后，它就完全替代了铸铁成为桥梁建筑的主导材料。钢桥的产生以及随后钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥的出现，使桥梁建设有了一个新的飞跃。

经过近几十年的努力，我国桥梁工程建筑取得了辉煌成就，这主要是我国桥梁建设者发扬建桥优良传统，吸取国外先进经验并不断创新的结果。我国已建成的重要桥梁，如江阴长江大桥是主跨 1385m 的悬索桥，南京长江二桥是主跨 628m 的斜拉桥，万县长江大桥是主跨

420m 的劲性骨架混凝土拱桥, 广州丫髻桥是主跨 360m 的钢管混凝土系杆拱桥, 山西丹河桥是主跨 146m 的石拱桥, 广州虎门大桥辅航道桥是主跨 270m 的预应力混凝土连续刚构桥, 这都是我国桥梁建筑的里程碑式的标志, 也是世界闻名的桥梁。

回顾过去, 展望未来, 可以预见, 在今后相当长的历史时期内, 我国迫切需要修建大量的公路、铁路和城市桥梁; 同时还有众多的桥梁或因年代久远, 或荷载增加, 需要维修与加固。这就为从事桥梁科学研究、设计、施工的技术人员创造了机遇并带来了挑战, 需要设计和建造出更多新颖和复杂的桥梁结构形式, 同时还要采用先进的加固方法和材料对旧桥进行维修、加固。

1.2 桥梁的组成和分类

1.2.1 桥梁的组成

一般来讲, 桥梁由四个基本部分组成。

(1) 桥跨结构 (也称上部结构) 桥跨结构是指桥梁结构中直接承受车辆和其他荷载, 并跨越各种障碍物的主要承重结构 (图 1-1)。桥跨结构的主要作用是跨越山谷、河流及各种障碍物, 并将其直接承受的各种荷载通过桥梁支座传递到下部结构, 同时保证桥上交通能在一定条件下安全运营。

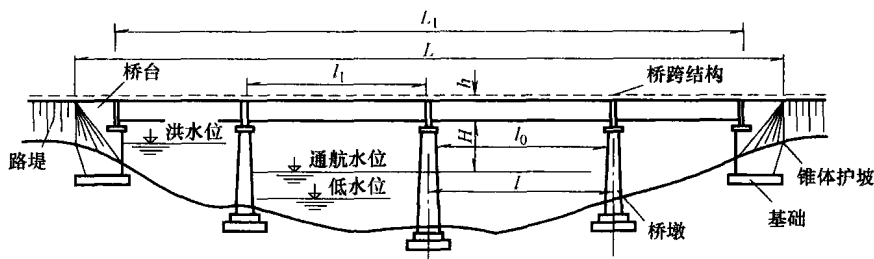


图 1-1 梁式桥的基本组成

(2) 下部结构 下部结构是由桥墩、桥台和基础组成的。桥墩和桥台是支承上部结构并将其恒载和车辆等活载传至基础的构筑物。一座桥梁的桥台只有两个, 设在桥的两端; 而桥墩可以不设或在两桥台之间设一个到数个。桥墩两侧均为桥跨结构, 而桥台一侧为桥跨结构, 另一侧为路堤。桥台除支承桥跨结构外, 还起到衔接桥梁与路堤的作用, 并抵御路堤的土压力, 防止其滑坡坍落。桥梁墩台底部与地基相接触的结构部分称为墩台基础。墩台基础是桥梁结构的根基, 对桥梁结构的使用安全起着举足轻重的作用。这部分是桥梁施工中最复杂、难度最大的环节之一。大量事实证明, 许多桥梁的毁坏都是由于墩台基础的强度或稳定性出现问题而引起的。

(3) 支座 桥梁支座设在墩 (台) 顶。桥梁支座的主要作用是将桥跨结构上的恒载与活载反力传递给桥梁墩台, 同时保证桥跨结构所要求的位移与转动, 以便使结构的实际受力情况与理论计算相符。

(4) 附属设施 桥梁的基本附属设施有桥面系、伸缩缝、桥梁与路堤衔接处的桥头搭

板、桥台的锥形护坡、护岸、挡土墙、导流结构物、检查设备等。

在桥梁工程中，常常用到以下几个基本概念，现说明如下。

(1) 标准跨径 对于梁式桥或板式桥，标准跨径是指两相邻桥墩中心线之间的距离，或桥墩中心线至桥台台背前缘之间的距离；对于拱桥，则是指净跨径。JTG D 60—2004《公路桥涵设计通用规范》规定，当标准设计或新建桥涵的跨径在 50 m 以下时，宜采用标准化跨径。桥涵标准化跨径有 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，共 21 级，常用的有 10m、16m、20m、40m 等。铁路桥梁的标准化跨径从 4m 到 160m，共 18 级，常用的有 16m、20m、24m、32m、48m、64m、96m 等。

(2) 计算跨径 对于带支座的桥梁，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，用 l 表示，如图 1-1 所示；对于不设支座的桥梁，如图 1-2 所示的拱式桥，计算跨径是两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离，或拱轴线两端点之间的水平距离，用 l 表示。桥跨结构的力学计算是以计算跨径为基准的。

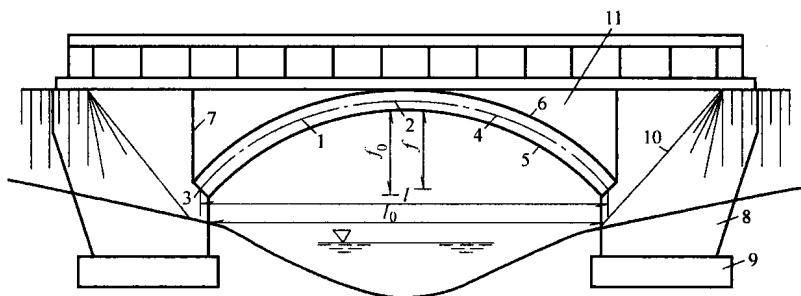


图 1-2 拱桥的基本组成

1—主拱圈 2—拱顶 3—拱脚 4—拱轴线 5—拱腹 6—拱背
7—伸缩缝 8—桥台 9—基础 10—锥坡 11—拱上建筑

(3) 净跨径 对于梁式桥，净跨径是指设计洪水位上两个相邻桥墩（桥台）之间的净距，用 l_0 表示（图 1-1）；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（图 1-2）。

(4) 总跨径 总跨径是指多孔桥梁中各孔净跨径的总和，也称桥梁孔径（ $\sum l_0$ ），它反映了桥下宣泄洪水的能力。

(5) 桥梁全长 简称桥长，对于有桥台的桥梁是指两岸桥台侧墙或八字墙尾端点间的距离；无桥台的桥梁为桥面系的长度，以 L 表示。

(6) 桥梁高度 简称桥高，是指桥面与低水位之间的高差，或为桥面与桥下线路路面之间的距离，以 H_1 表示。

(7) 桥下净空高度 桥下净空高度是指为满足通航（或行车、行人）的需要和保证桥梁安全，对桥跨结构底缘以下规定的空间界限，以 H 表示。

(8) 桥梁建筑高度 桥梁建筑高度是指桥面（铁路桥梁的轨底）到桥跨结构最下缘之间的距离（见图 1-1 中的 h ）。线路定线中所确定的桥面标高与通航（或桥下通车、人）净空界限顶部标高之差，称为允许建筑高度。显然，桥梁的建筑高度不得大于允许建筑高度，为保证桥梁的建筑高度，可以选用不同的桥跨结构形式，如斜拉桥、悬索桥、拱桥等。

(9) 净矢高 对于拱式桥,净矢高是指从拱顶截面下缘至相邻两拱脚截面下缘最低点连线的垂直距离,以 f_0 表示(图 1-2)。

(10) 计算矢高 计算矢高是指从拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心连线的垂直距离,以 f 表示。

(11) 矢跨比 矢跨比是指计算矢高 f 与计算跨径 l 之比(f/l),也称拱矢度。

(12) 低水位、高水位、设计洪水位、通航水位 低水位是指枯水季节的最低水位;高水位是指洪峰季节的最高水位;设计洪水位是指桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得的高水位;通航水位是指在各级航道中能保持船舶正常通行时的水位。

JTG D 60—2004《公路桥涵设计通用规范》规定桥涵设计洪水频率见表 1-1。

表 1-1 桥涵设计洪水频率

公路等级	设计洪水频率				
	特大桥	大桥	中桥	小桥	涵洞及小型排水构造物
高速公路	1/300	1/100	1/100	1/100	1/100
一级公路	1/300	1/100	1/100	1/100	1/100
二级公路	1/100	1/100	1/100	1/50	1/50
三级公路	1/100	1/50	1/50	1/25	1/25
四级公路	1/100	1/50	1/50	1/25	不做规定

JTG D 60—2004《公路桥涵设计通用规范》对特大、大、中、小桥及涵洞按单孔跨径或多孔跨径总长分类规定见表 1-2。

表 1-2 桥梁涵洞分类

桥涵分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_k/m
特大桥	$L > 1000$	$L_k > 150$
大桥	$100 \leq L \leq 1000$	$40 \leq L_k \leq 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$
涵洞	—	$L_k < 5$

从上述分类方法可以看出,特大桥、大桥建设规模大,但并没有显示出桥梁设计和建造的难易、复杂程度。如两座多孔跨径总长同为 1600m 的桥梁,一座是由 300m + 1000m + 300m 三孔组成的斜拉桥,一座是 80 孔跨径为 20m 的简支梁桥,显然前者比后者无论从哪一方面来讲都复杂得多。国际上把单孔跨径小于 150m 的叫中小桥,大于 150m 的叫大桥;单孔跨径大于或等于 1000m (悬索桥)、500m (斜拉桥和钢拱桥)、300m (其他桥型) 的叫特大桥。

1.2.2 桥梁的分类

桥梁有许多分类方式,通常根据桥梁的结构形式、所用材料、所跨越的障碍以及其用途、跨径大小等对桥梁进行不同的分类。

1. 桥梁的基本体系

该体系是根据桥梁的结构形式及其受力特点来分类的,有以下几种类型。

(1) 梁式桥 梁式桥(图 1-1)的特点是其桥跨的承载结构由梁组成。在竖向荷载作用下梁的支承处仅产生竖向反力,而无水平反力(推力)。梁横截面上只产生弯矩和剪力。荷载作用方向通常与梁的轴线相垂直。梁主要通过抗弯来承受荷载,并通过支座将其传递至下部结构。梁式桥可分为简支梁桥、连续梁桥、悬臂梁桥。简支梁桥的计算跨径小于 25m 时,通常采用钢筋混凝土材料。而计算跨径大于 25m 时,多采用预应力混凝土材料。预应力混凝土简支梁桥的经济跨径为 40~50m。连续梁桥和悬臂梁桥由于其跨间支座上的负弯矩使其各跨跨中的弯矩减小,由此提高了跨越能力。

(2) 拱式桥 拱圈或拱肋是拱式桥的主要承重结构(图 1-3)。拱桥在竖向荷载作用下,桥墩或桥台除了承受竖向反力外,还将承受水平推力。水平推力将显著降低荷载引起的拱圈(或拱肋)横截面内的弯矩。在设计时如采用合理的拱轴线,使拱轴线与荷载作用下的压力线重合,则拱的横截面内主要承受轴向压力,而没有弯矩。因此,横截面内每一点只产生压应力,不产生拉应力。通常可用抗压能力强,而抗拉能力差的石料、混凝土等圬工材料和钢筋混凝土等来建造。对于特大跨径的拱桥,也可以建造成钢拱桥、钢-混凝土组合截面的拱桥。

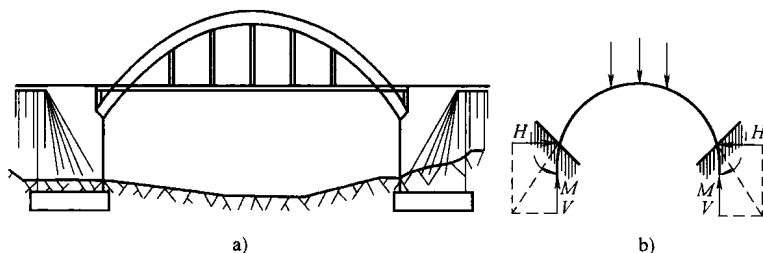


图 1-3 拱式桥

由于拱桥的受力合理,所以其跨径可以做得很大,承载能力高,外形美观,在条件许可的情况下,修建拱桥往往是经济合理的,跨径在 500m 以内都可以作为设计方案进行比选。但为了确保拱桥能安全可靠地工作,墩台基础和地基必须能承受很大的水平推力。

(3) 刚架桥 刚架桥的主要承重结构是梁或板与立柱或竖墙整体结合在一起的刚架结构。这种结构在竖向荷载作用下各部分受力特点为:柱脚处具有竖向反力、反力偶,同时也产生水平反力;梁和柱的横截面均作用有弯矩、剪力和轴力,但梁主要以受弯为主,柱为压弯组合构件。梁和柱节点为刚性连接,梁端部承受负弯矩,使得梁跨中弯矩减小,跨中截面尺寸也可相应减小,从而降低了建筑高度;或使刚架桥的跨径增大,提高其跨越能力。根据刚架桥的受力特点,设计时常常采用钢筋混凝土或预应力混凝土材料建造。实践表明,普通钢筋混凝土刚架桥在梁柱交接处较易产生裂缝,所以设计时要多配构造钢筋避免裂缝的产生。图 1-4a 所示的门式刚架桥,其受力状态介于梁桥与拱桥之间(图 1-4b),因为是超静定结构,温度变化或基础的不均匀沉降会在其内部产生较大的附加应力,所以设计时必须考虑这一点。

对于大跨径桥梁可采用 T 形刚架桥(图 1-4c),它属于静定或低次超静定结构,由单独立柱与主梁连接成整体,形成 T 形,各 T 形刚架之间以剪力铰或挂梁相连,在竖向荷载作用下,无水平推力产生。T 形刚架桥的悬臂部分主要承受负弯矩,预应力筋通常布置在桥

面,与悬臂施工方法实现高度协调一致。但在车辆荷载作用下,T形长悬臂内的弯、扭应力较大,易产生裂缝,在剪力铰或挂梁处行车不舒适,目前这种桥型应用得不多。为了克服上述桥型的缺点,可采用连续刚架桥(图1-4d),也可做成刚构-连续组合体系桥型(图1-4e)。当跨越高速公路、陡峭河岸和深谷时往往采用斜腿刚架桥(图1-4f)。

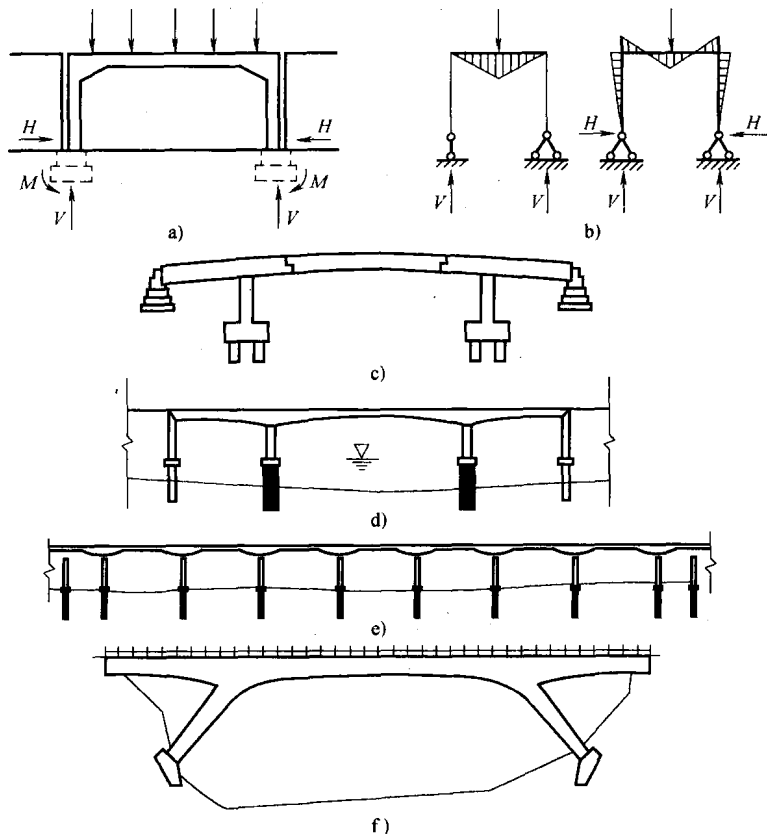


图1-4 刚架桥

- a) 门式刚架桥 b) 门式桥内力图 c) T形刚架桥 d) 连续刚架桥
e) 刚构-连续组合体系桥 f) 斜腿刚架桥

(4) 悬索桥 悬索桥也称为吊桥(图1-5)。悬索桥是指以主缆索为主要承重构件的桥梁结构。其结构构造包括基础、塔墩、锚碇、主缆索、吊索、加劲梁及桥面结构等。在桥梁设计时,当桥梁跨径在600m及以上时,总是首选悬索桥这一经典桥型。以高强钢丝作为主要承拉结构的悬索桥因具有跨越能力大、受力合理、最能发挥材料强度优势和造价经济等特点,同时还以其整体造型流畅美观和施工安全快捷等优势而备受推崇。桥跨上的荷载由加劲梁承受,并通过吊索将其传至缆索。主缆索的拉力通过对桥塔的压力和锚碇结构的拉力传至基础和地基。这种桥型充分发挥了高强钢缆的抗拉性能,使其结构自重较轻,能以较小的建筑高度跨越其他任何桥型无法比拟的特大跨度。目前,悬索桥的最大跨径已达1991m(日本明石海峡大桥)。然而,相对于上述其他体系而言,悬索桥的自重轻,结构的刚度较差。在车辆动荷载作用下将产生较大的变形,如跨度1000m的悬索桥,在车辆动荷载作用下, $L/4$ 区域的最大挠度可达3m左右。另外,悬索桥在风荷载作用下导致的振动以及稳定性的问题

在设计和施工中也要给予高度的重视。

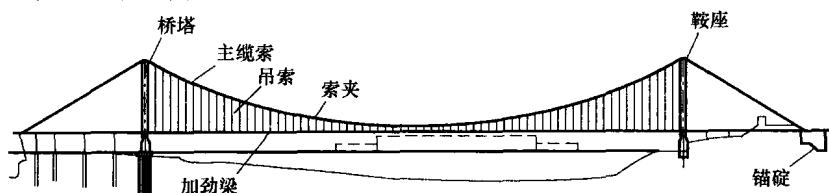


图 1-5 悬索桥

(5) 斜拉桥 斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索等组成(图 1-6)。由于斜拉索将主要承重构件主梁吊住,使主梁变成多点弹性支承的连续梁,由此可减少主梁截面尺寸,增加桥梁跨径。斜拉桥构想起源于 19 世纪,限于当时材料水平,建成不久即被淘汰。20 世纪中叶,出现了高强钢丝、正变异性钢板梁,加之计算机在结构分析中的广泛应用,斜拉桥这种形式又蓬勃发展起来。由于其刚度大,造价低,很快在世界上推广开来,且跨度越来越大。日本多多罗桥跨径达 890m。我国的苏通长江大桥跨径达到 1088m。从经济上看,可以做悬索桥也可做斜拉桥时,斜拉桥总是经济的。因为与悬索桥相比,斜拉桥的优点主要表现在:它是一种自锚体系,不需昂贵的地锚基础;防腐技术要求比悬索桥低,从而降低防腐费用;刚度比悬索桥好,抗风能力也比悬索桥好;可用悬臂法施工,且施工不妨碍通航;钢束用量比悬索桥少。

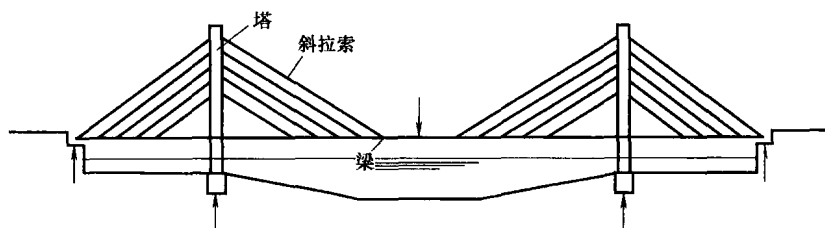


图 1-6 斜拉桥

2. 桥梁的其他分类简述

除了上述按受力特点将桥梁分成不同结构体系外,也可按用途、建桥材料、建桥规模等进行分类。

(1) 按用途划分 可分为公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、水运桥、管线桥等。

(2) 按主要承重结构所用材料划分 可分为圬工桥(包括砖、石、混凝土桥)、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢桥、钢-混凝土组合桥和木桥等。由于木材易腐,而且资源有限,因此除了少数临时性桥和林区桥梁外,木桥一般不用于建造永久性桥梁。

(3) 按桥梁全长和跨径不同划分 可分为特大桥、大桥、中桥和小桥。JTG D 60—2004《公路桥涵设计通用规范》对特大、大、中、小桥及涵洞按单孔跨径或多孔跨径总长分类的规定见表 1-2。

(4) 按跨越障碍的性质划分 可分为跨河桥、跨线桥(立体交叉)、高架桥和栈桥。高架桥一般指跨越深沟峡谷以代替高路堤的桥梁。为将车道升高至周围地面以上并使下面的空

间可以通行车辆或做其他用途(如码头、店铺等)而修建的桥梁,称为栈桥。

(5) 按上部结构的行车位置划分 可分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。桥面布置在主要承重结构之上的称为上承式桥,桥面布置在承重结构之下的称为下承式桥,桥面布置在桥跨结构高度中间的称为中承式桥。上承式桥结构简单,施工方便,主梁和拱肋的数量和间距可按需要调整,且宽度可做得小一些,因而可节省墩台圬工数量。同时,在上承式桥上行车时,视野开阔,视觉舒适。不足之处是上承式桥的建筑高度较大。在建筑高度受严格限制的情况下,就应采用下承式桥或中承式桥。由于桥跨结构在桥面之上,故横向结构宽度相对较大,墩台尺寸也相应有所增加。

(6) 按特殊使用条件划分 可分为开启桥、浮桥、漫水桥等。

除上述桥梁分类方法外,还有按桥梁使用时间长短划分的永久性桥梁和临时性桥梁;按平面形状划分的直线桥、斜桥、弯桥等。

1.3 桥梁建筑的成就及发展

1.3.1 我国桥梁建筑的成就

1. 古代桥梁建筑的成就

我国幅员辽阔,地形东南低而西北高,河道纵横交错,著名的长江、黄河和珠江等流域,孕育了中华民族,创造了灿烂的华夏文化。在历史的长河中,我国人民建造了数以千万计的桥梁,成为华夏文化的重要组成部分。我国古代桥梁的辉煌成就举世瞩目,在东西方桥梁发展史中,占有崇高的地位,为世人所公认。

宋代建造了为数众多的石墩、石梁桥。二百多年间,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,有362孔,桥长5里(2223m),故又名五里桥(现桥长2100m),保持了700余年的桥长纪录。该桥始建于南宋绍兴八年(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,共有47孔,建于洛阳江入海口,桥总长约890m,桥宽3.7m。该桥始建于宋皇佑五年(公元1053年),完成于宋嘉裕四年(公元1059年)。我国现存最早,并且保存良好的是隋代赵州安济桥(图1-7),又称赵州桥。桥为敞肩圆弧石拱,拱圈并列28道,净跨37.02m,矢高7.23m,宽9m。主拱圈等厚1.03m,主拱圈上有护拱石。在主拱圈上两侧,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,栏槛望柱上雕刻着神采飞扬的龙兽。桥始建于隋开皇十五年(公元595年),完工于隋大业元年(公元605年),由李春建造,距今已有1400多年。赵州安济桥制作精良,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,1991年被列为世界文化遗产。

我国石拱桥因南北河道性质及陆上运输工具不同,所以构造也不同。北方大多为平桥(或平坡桥),实腹厚墩厚拱;南方水网地区则为驼峰式薄墩薄拱。北京宛平卢沟桥(图1-8)在北京广安门外15km,跨永定河;桥始建于金大定二十九年(公元1189年),完工于金明昌三年(公元1192年)。桥全长212.2m,共11孔,净跨11.4m至13.45m不等,桥宽9.3m。墩宽6.5m至7.9m不等。拱圈接近半圆形。桥墩迎水面有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。金代原物简单

统一，后历朝改换，制作精良，石狮形态各异，且有诸多小狮，怀抱背负，足抚口噙，趣味横生。

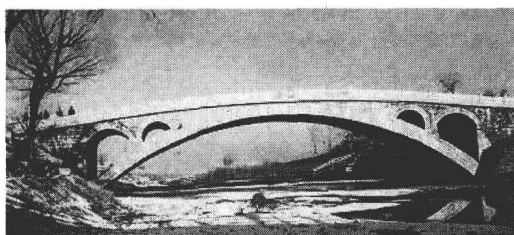


图 1-7 赵州安济桥

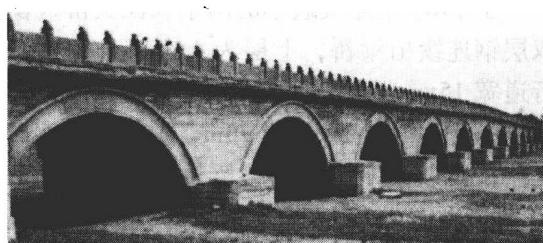


图 1-8 北京宛平卢沟桥

2. 近代桥梁建筑

到了 19 世纪，西方国家工业技术发展较快，我国仍然处于封建社会，封建制度对生产力发展的束缚使我国在科学技术等方面远远落后于西方。至新中国成立以前，我国建造的公路桥梁大多为木桥。

钱塘江大桥在杭州市六和塔附近，横贯钱塘江南北，1934 年 8 月 8 日开始动工兴建，1937 年 9 月 26 日建成，是我国著名桥梁专家茅以升主持设计建造的第一座铁路、公路两用双层大桥。桥长 1453m，分引桥和正桥两个部分。正桥为 16 孔跨径为 67m 的简支钢桁梁，桥墩 15 座。上层公路桥，宽 6.1m，两侧人行道各 1.5m。该桥首次采用气压法沉箱掘泥法打桩成功，打破了外国人认为此处不可能建桥的预言，为中国人民长了志气。后来第二座公路、铁路平行的钱塘江大桥建成并通车，成为浙赣、沪杭铁路复线上的重要枢纽。双虹飞彩，宏伟壮观。

新中国成立以后，特别是改革开放以来，我国社会主义现代化建设和各项事业取得了世人瞩目的成就，交通事业的大发展和西部大开发为桥梁建设带来了良好的机遇。我国大跨径桥梁的建设进入了一个辉煌时期，在中华大地上建设了一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工技术难度大、现代化品位和科技含量高的大跨径斜拉桥、悬索桥、拱桥、PC 连续刚构桥，并积累了丰富的桥梁设计和施工经验，标志着我国桥梁建设水平已跻身世界先进行列。

于 1957 年建成通车的武汉长江大桥（图 1-9），位于湖北省武汉市龟山和蛇山之间，是跨越长江的第一座大桥。正桥为公路、铁路两用的双层钢桁梁桥，上层为公路桥，车行道宽 18m，人行道每侧各宽 2.25m；下层为双线铁路桥。正桥由 3 联（3 孔为一联）9 孔跨度各为 128m 的连续梁组成，共长 1155.5m，连同公路引桥总长



图 1-9 武汉长江大桥

1670.4m。钢桁梁采用菱形腹杆，H 形截面，3 号桥梁钢，伸臂安装，未设临时墩，安装仅用了 10 个月。下部结构首次采用新型管柱基础，管柱直径 1.55m，采用振动打桩机下沉，管柱钻孔深度 2~7m，每桩承载力 1910kN；采用导管法水下混凝土封底，其中一种混凝土

封底在覆盖层内,另一种封底在岩盘上。管柱基础施工仅用了一年时间。这种基础的建成,为特大桥梁的深水基础创造了一种有效的新形式。

于1969年建成通车的南京长江大桥(图1-10)位于江苏省南京市。正桥为公路、铁路双层钢连续桁梁桥,上层为4车道公路桥,车行道宽15m,两侧人行道各宽2.25m;下层为双线铁路桥。正桥长1576m,连同两端引桥,铁路桥总长6772m,公路桥总长4589m。正桥10孔,由1孔128m简支钢桁梁、3联(3孔为一联)9孔跨度各160m连续钢桁梁组成,主桁采用带下加劲弦杆的平行弦菱形桁架。此桥采用悬臂拼装法架设。桥址地质复杂,分别采用

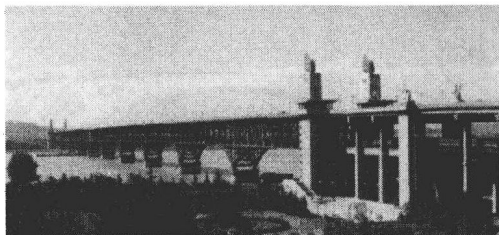


图1-10 南京长江大桥

4种形式的基础:①位于浅水面覆盖层深厚墩址处,采用重型混凝土沉井,穿越深度达54.87m,在国内首创纪录;②在基岩好且覆盖层较厚的墩位处,选用钢板桩围堰管柱基础,并首次采用大直径3.6m先张法预应力混凝土管柱;③在基岩较好,覆盖层较厚,但水位甚深的墩位处,采用首创的浮式钢沉井加管柱的复合基础;④在水深、覆盖层厚,但基岩强度较低的墩位处,采用浮式钢筋混凝土沉井,上部为钢筋混凝土结构,下部为钢与钢筋混凝土组合结构。利用钢气筒充、泄气来浮托纠偏,清基潜水作业深达65m。

于1993年建成通车的九江长江大桥(图1-11)位于鄂、赣两省交界处,南岸为江西省九江市,是双层公路、铁路两用桥。上层为4车道公路桥,车道宽14m,两侧人行道各宽2m;下层为双线铁路桥。正桥长1806.6m,连同两端引桥铁路桥总长7675.4m,公路桥总长4460m。正桥为11孔钢梁,其中主孔为桁拱组合体系,由3跨



图1-11 九江长江大桥

180m+216m+180m连续刚性钢桁梁与柔性钢加劲拱组成,北侧边孔为两联 $3 \times 162\text{m}$ 连续钢桁梁,南侧边孔为一联 $2 \times 126\text{m}$ 连续钢桁梁。主桁采用带下加劲弦杆的平行弦三角形桁架,桁高16m,在支点处加高至32m;加劲拱中孔矢高32m,边孔24m;全部钢梁为栓焊结构,并首次采用高强度15MnVNq钢材(屈服强度为420MPa)与56mm厚板。钢桁梁采用双层吊索架法安装。正桥采用5种形式基础:①位于浅滩的1号墩,采用就地浇筑圆形钢筋混凝土沉井,下沉深度50m,借助泥浆润滑套下沉;②2号墩为浮运钢沉井;③4号墩为浮运钢沉井钻孔基础;④在基岩好、岩面低的深水处,采用施工较简便的双壁钢围堰钻孔基础;⑤在岩面较高,覆盖层不厚的墩位处,采用钢板桩围堰管柱钻孔基础。2001年又建成了芜湖长江大桥,它是公路、铁路两用桥,连续钢桁梁低塔斜拉索加劲的组合体系,全长6080m。

公路建设的主要桥型之一是钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥。20世纪50年代,我国已建成大量小跨径钢筋混凝土桥梁,同时对预应力混凝土桥梁进行了研究与试验,并于1956年建成了第一座跨径为20m的预应力混凝土简支梁桥。随后,这种桥梁得以广泛的推广和应用,最大跨径达40m。1976年建成的洛阳黄河公路大桥,跨径达到50m,全长达3000m。

除了简支梁桥以外,近年来我国还建成了多座现代化的大跨径预应力混凝土 T 形刚构桥、连续梁桥和悬臂梁桥。1980 年 7 月建成的重庆长江大桥(图 1-12),是目前国内跨度最大的预应力混凝土 T 形刚构桥。正桥全长 1120m,分跨为 $86.5\text{m} + 4 \times 138\text{m} + 156\text{m} + 174\text{m} + 104.5\text{m}$,最大跨度 174m,悬臂端梁高 3.2m,根部高 11.0m,吊梁跨度 35m,桥宽 21m。上部结构由两个单室箱梁组成,较三肋式节省材料,施工方便;采用三向预应力,悬臂浇筑法施工,3d 强度要求达到 R30;在国内首次采用带有加劲型钢和氯丁橡胶管的预应力弹性伸缩缝,伸缩量可达 0.2m。桥墩采用等截面空心钢筋混凝土结构,桥墩竖壁与箱梁肋板对应设置,自基础襟边至桥面高 60~70m,采用滑动模板施工,每昼夜可升高 2.8~4.0m。



图 1-12 重庆长江大桥

1991 年建成的云南六库怒江大桥(图 1-13),采用 3 跨变截面箱形梁,分跨为 $85\text{m} + 154\text{m} + 85\text{m}$,箱梁为单箱单室截面,箱宽 5.0m,两侧各挑出伸臂 2.5m。支点处梁高 8.5m,为跨度的 1/18;跨中梁高 2.8m,为跨度的 1/55;全桥仅在 0 号块内设置两道横隔板。采用三向预应力配筋,纵向采用大吨位钢绞线群锚体系,仅于顶底板内配筋而无下弯索和弯起索,既简化了施工,又不为布索而增厚腹板。竖向预应力筋采用四级直径为 32mm 高强度精轧螺纹钢,兼作悬挂挂篮的后锚钢筋。下部结构采用空心墩,钻孔灌注桩基础支承于岩层上。

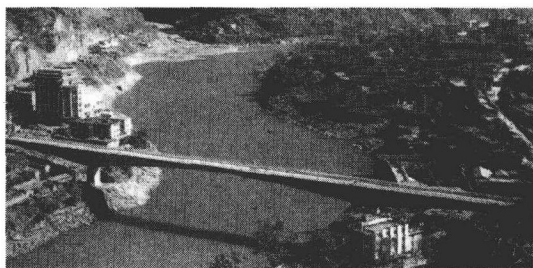


图 1-13 云南六库怒江大桥

2001 年 7 月建成通车的南京长江二桥,其北汊桥跨度为 $90\text{m} + 3 \times 165\text{m} + 90\text{m}$,是目前我国跨度最大的预应力混凝土连续桥梁。

拱桥在我国有着悠久的历史,其受力合理,承载能力高,跨越能力大,造型美观,因此成为大跨径桥梁的主要形式之一。

1991 年建成通车的鸟巢河大桥(图 1-14)全长 241m,该桥因地制宜,就地取材,综合应用并发展了我国近 20 多年来石拱桥建造的经验,建成桥宽 8m、主跨为 120m 的双肋石拱桥,腹拱为 9 孔 13m,南岸引桥 3 孔 13m,北岸引桥 1 孔 15m。主拱圈由两条分离式矩形石肋和 8 条钢筋混凝土横系梁组成。该桥横向稳定,结构轻盈,造型美观。1999 年建成的山西晋城丹河石



图 1-14 鸟巢河大桥

拱桥,跨径 146m,拱圈用 80 号大料石砌成。20 世纪 90 年代开始建造钢管混凝土拱桥。1995 年建成了跨径为 200m 的三山西大桥;1998 年建成了主跨 270m 的广西三岸邕江大桥;2000 年建成了主跨为 360m 的丫髻沙大桥,采用钢管混凝土中承式拱,全桥总长 1084m,主跨径组合 $76\text{m} + 360\text{m} + 76\text{m}$ 。