

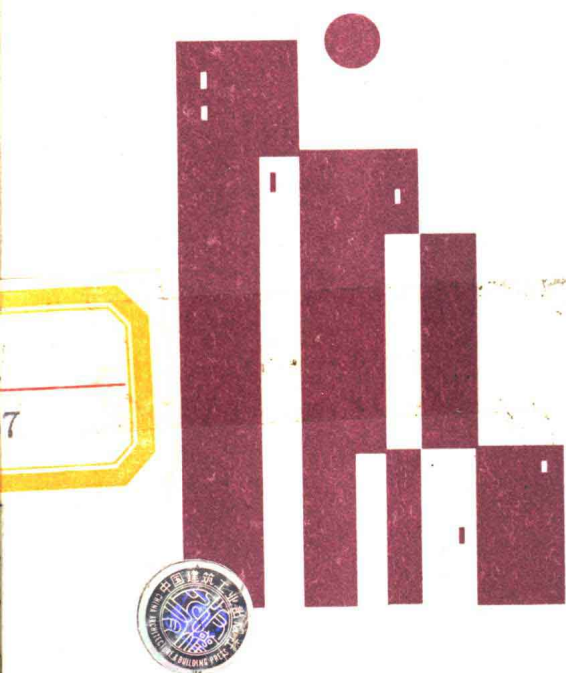
高等学校土木工程专业系列选修课教材

桥梁工程 导论

1004343

本系列教材编委会组织编写

■ 中国建筑工业出版社



高等学校土木工程专业系列选修课教材

桥梁工程导论

本系列教材编委会组织编写

罗韧 主编

中国建筑工业出版社 

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁工程导论/罗韧主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2000.12
高等学校土木工程专业系列选修课教材
ISBN-7-112-04207-0

I. 桥... II. 罗... III. 桥梁工程 IV. U44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 55469 号

本书是土木工程专业系列选修课教材之一。是为土木工程专业非交通土建方向的学生编写的关于桥梁工程方面的选修教材。本教材着重介绍桥梁工程的基本概念与知识、桥梁结构的构造和设计方法以及桥梁结构计算的基本理论。全书共 6 章, 第 1 章绪论, 介绍桥梁的历史及其发展、桥梁的作用、组成和分类; 第 2 章桥梁设计概述及桥梁设计荷载; 第 3 章钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥; 第 4 章圬工与钢筋混凝土拱桥; 第 5 章其他类型桥梁简介, 主要介绍刚架桥、斜拉桥和悬索桥; 第 6 章桥梁墩台与基础。本书亦可供有关专业人员学习参考。

高等学校土木工程专业系列选修课教材

桥梁工程导论

本系列教材编委会组织编写

罗 韧 主编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 字数: 289 千字

2000 年 12 月第一版 2000 年 12 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 14.80 元

ISBN 7-112-04207-0

TU·3316 (9688)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校土木工程专业系列选修课教材

编委会名单

主任委员：宰金珉

副主任委员：刘伟庆

委员（按姓氏笔划为序）：

王国体	艾 军	刘 平	孙伟民	刘伟庆
刘 瑞	朱聘儒	陈忠汉	陈国兴	吴胜兴
完海鹰	李 琪	柳炳康	宰金珉	章定国

前 言

近年来随着高等教育体制的改革,高等院校的专业学科分类与设置发生了深刻变化,专业学科划分逐渐趋于粗分类、广覆盖,以便培养基础知识深厚,专业适应广泛的科学和技术人才。土木工程专业包含了建筑工程、交通土建工程和水利工程等专业分支学科。

本书是土木工程专业系列选修课教材之一。是为土木工程专业非交通土建方向的学生编写的关于桥梁工程方面的选修教材。本教材着重介绍桥梁工程的基本概念与知识、桥梁结构的构造和设计方法、桥梁结构计算的基本理论。全书共分6章,第1章绪论主要介绍桥梁的历史及其发展、桥梁的作用、组成和分类;第2章桥梁规划设计概述及桥梁设计荷载讲述桥梁设计的一般过程及桥梁设计荷载;第3章钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥着重介绍钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥的构造、设计和计算方法;第4章圬工与钢筋混凝土拱桥主要介绍圬工与钢筋混凝土拱桥的构造和计算;第5章其他类型桥梁简介主要介绍刚架桥、斜拉桥和悬索桥的构造特点及其计算要点;第6章桥梁墩台与基础着重介绍常用的桥梁墩台基础的类型、构造及计算方法。

本书第1、5章由南京建筑工程学院罗韧编写,第2章由合肥工业大学汪莲编写,第3章由罗韧和扬州大学张静编写,第4章由河海大学何良德编写,第6章由苏州城建学院陈建兵编写。全书由罗韧主编,吴冲博士主审。在编写过程中,苏州城建学院的艾军教授对编写的内容提出了许多宝贵建议,在此表示感谢。

由于编写时间较紧,编者业务水平有限,书中难免不出现谬误之处,敬请读者不吝指正,并将意见寄至南京建筑工程学院土木系道桥教研室(南京中山北路200号50号信箱邮编210009)。

编 者

2000年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 桥梁在交通和交通发展中的作用及桥梁工程发展简史	1
1.1.1 桥梁在交通和交通发展中的作用	1
1.1.2 桥梁工程发展简史	1
1.2 桥梁的基本组成及分类	6
1.2.1 桥梁的基本组成部分	7
1.2.2 桥梁的分类	8
思考题	11
第 2 章 桥梁规划设计概述及桥梁设计荷载	12
2.1 桥梁的总体设计	12
2.1.1 桥梁设计的基本原则和要求	12
2.1.2 桥梁设计的基本资料	12
2.1.3 桥梁设计程序	13
2.1.4 桥位及桥型选择	13
2.1.5 桥梁的纵断面和横断面设计	14
2.2 桥面构造布置及细部	17
2.2.1 桥面构造组成与布置	17
2.2.2 桥面铺装及排水、防水系统	18
2.2.3 伸缩缝	20
2.2.4 人行道、栏杆、灯柱	21
2.3 桥梁的设计荷载及荷载组合	23
2.3.1 永久荷载	23
2.3.2 可变荷载	23
2.3.3 偶然荷载	28
2.3.4 荷载组合	29
思考题	29
第 3 章 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥	30
3.1 概述	30
3.1.1 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥的特点	30
3.1.2 梁式桥承载结构体系的类型及应用范围	30
3.1.3 梁式桥承载结构体系的截面类型	33
3.2 简支梁式桥的设计与构造	36
3.2.1 简支板桥的设计与构造	36
3.2.2 装配式简支梁桥的设计与构造	40
3.3 简支梁式桥的计算	50
3.3.1 简支梁式桥的计算内容	50

3.3.2	行车道板的计算	50
3.3.3	荷载横向分布计算方法	56
3.3.4	主梁内力计算	69
3.3.5	横隔梁内力计算	79
3.4	梁式桥支座	81
3.4.1	支座的作用与要求	81
3.4.2	支座的常用类型与构造	82
3.5	其他梁式桥的构造特点与计算要点	84
3.5.1	其他梁式桥的构造特点	85
3.5.2	其他梁式桥的计算特点	87
	思考题	91
第4章	圬工与钢筋混凝土拱桥	92
4.1	概述	92
4.1.1	拱桥的基本特点及其适用范围	92
4.1.2	拱桥的组成	92
4.1.3	拱桥分类	93
4.2	拱桥设计和构造	96
4.2.1	拱桥总体设计	96
4.2.2	简单体系拱桥构造	98
4.2.3	组合体系拱桥设计和构造	102
4.3	拱桥计算	106
4.3.1	简单体系拱桥的计算	106
4.3.2	组合体系拱桥计算要点	112
	思考题	114
第5章	其他类型桥梁简介	115
5.1	刚构桥的类型、构造及计算要点	115
5.1.1	刚构桥的类型与构造特点	115
5.1.2	刚构桥的计算要点	118
5.2	斜拉桥的类型、构造及计算要点	120
5.2.1	斜拉桥的类型及构造特点	120
5.2.2	斜拉桥的计算要点	125
5.3	悬索桥的类型、构造及计算要点	128
5.3.1	悬索桥的类型及其构造特点	128
5.3.2	悬索桥的计算要点	131
	思考题	134
第6章	桥梁墩台与基础	135
6.1	概述	135
6.1.1	墩台、基础	135
6.1.2	荷载及其组合	136
6.2	桥墩	137
6.2.1	概述	137
6.2.2	重力式桥墩计算	139

6.2.3 墩柱式桥墩的计算	140
6.3 桥台	142
6.3.1 概述	142
6.3.2 重力式桥台计算特点	144
6.3.3 梁桥轻型桥台的计算特点	144
6.3.4 拱桥轻型桥台的计算要点	146
6.4 桥梁刚性浅基础	148
6.4.1 概述	148
6.4.2 基础埋置深度的确定	149
6.4.3 刚性扩大基础尺寸的拟定	150
6.4.4 基底应力验算	150
6.4.5 基础稳定性验算	152
6.4.6 基础沉降验算	153
6.5 桩基础	153
6.5.1 概述	153
6.5.2 桩基础的类型与构造	154
6.5.3 桩基础的设计	156
6.5.4 单桩承载力	158
6.5.5 桩基础的计算	162
6.6 沉井基础	166
6.6.1 概述	166
6.6.2 沉井的类型和构造	166
6.6.3 沉井基础的设计与计算	168
6.6.4 沉井施工过程中的结构强度计算	170
思考题	172
附录	173
参考文献	183

第1章 绪 论

桥梁工程是有关桥梁勘测、设计、施工、养护、维修和检定以及与桥梁相关的科学研究和工程技术的总称。它是土木工程的一个重要组成部分。桥梁工程导论主要介绍有关桥梁结构设计和施工的基本概念和基本理论以及桥梁工程的一些基础知识和基本内容。

1.1 桥梁在交通和交通发展中的作用及桥梁工程发展简史

1.1.1 桥梁在交通和交通发展中的作用

桥梁是最重要的交通设施之一。它在交通和交通发展中起着非常重要的作用，随着陆路交通的发展，它的这种作用变得越来越明显。现代化交通需要四通八达的交通网，这种交通网对一个国家和地区的经济、文化交流和国防建设都具有非常重要的作用。由于自然地理环境的原因，构成交通网的道路常常会遇到各种障碍，如河流、山谷或其他交通线路等，通常跨越这些障碍必须建设各种类型的桥梁。因而桥梁成为交通网上十分重要的环节，是某一区域的交通能否真正形成网络的关键。桥梁经常位于交通的咽喉部位，往往是不同地区相互来往的必经之路，其经济和战略地位十分重要，直接影响到当地的社会进步、经济发展和文化交流。良好的交通设施、完善的交通网络是现代文明的重要标志之一。

从古至今交通的发展与桥梁及桥梁工程的发展是相互促进密不可分的。交通的发展要求建设承载力更大、跨度更大和更多的桥梁，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恰恰反映了桥梁及桥梁工程在交通和交通发展中的极为重要的作用。

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准以及它的工程设计和工业制造的水平。桥梁及桥梁工程的发展反映了社会发展对交通的需求，是交通发展的最重要方面之一，它从一定程度上折射出人类社会进步和科学技术发展的过程。

1.1.2 桥梁工程发展简史

1. 古代桥梁工程的成就

中国是有着悠久历史和灿烂文化的文明古国，造桥的历史同样相当久远。根据有关史料记载，早在公元前1135年周文王为迎亲，在渭河上架设浮桥；春秋战国时期（公元前770~221年）秦国都城在咸阳，其咸阳宫在渭河之北，行乐宫在渭河之南，为便利两宫

之间的交往，秦王在渭河上架设木柱木梁桥；公元前 256~251 年秦国蜀太守李冰在岷江中游修筑了都江堰，为方便岷江两岸之间交往，宋淳化元年（990 年）在都江堰鱼嘴处建造跨内外江的竹索桥，即世界著名的安澜桥，此桥全长 340m，分 8 孔，最大跨径达 61m；公元前 206 年西汉大将樊哙建樊河铁链桥，至今桥址尚存石条桥基和铁链。

古代的桥梁主要以木材、石料和铁链以及用粘土烧制的砖作为建筑材料。保留至今的古代桥梁主要有石拱桥、石梁桥和铁链桥。我国保存至今的古代桥梁足以说明我国古代桥梁工程的辉煌成就，充分展示了中华民族的聪明才智。



图 1-1 河北赵县赵州桥
(公元 605 年)

举世闻名的赵州桥（图 1-1）是世界现存最早、跨度最大的空腹式单孔圆弧石拱桥，尽管经历了近 1400 年，至今仍能正常使用。此桥建成于隋大业初年（公元 605 年），由李春所建，桥全长 64.40m，宽 9m，拱的矢高为 7.23m，拱的净跨 37.20m。由于拱圈两肩上各设两个跨度不等的腹拱，不仅减轻了桥身的自重、节省了石料，而且提高了其泄洪能力、使其造型更加优美。赵州桥的结构设计完全符合现代拱桥结构设计的原则，其结构的受力非常合理。除赵州桥外，我国现存还有建于 816

~819 年的苏州宝带桥和建成于 1192 年的卢沟桥（均为多孔石拱桥）以及颐和园内的玉带桥和十七孔桥等。这些富有民族风格的古代石拱桥不仅结构构思巧妙，而且艺术造型丰富多采，桥梁建筑艺术达到相当高的水平。

除石拱桥外，我国尚保存有世界上最长的石梁桥，建于 1053~1059 年的福建泉州的万安桥。此桥现长达 834m，共 47 孔，以磐石遍铺桥位江底为桥基，在其上养殖海生牡蛎使江底磐石胶固成整体，然后在磐石桥基之上垒纵横石条成桥墩，再架设石梁，每孔花岗岩石梁有 7 根，每根梁高约 0.5m，宽 0.6m，长约 12m。万安桥开现代筏形基础之先河，创世界绝无仅有之造桥方法，成就惊人。建于 1240 年的福建漳州虎渡桥是现存的又一座令人惊奇的石梁桥。其全长为 335m，共 25 孔，桥宽 5.6m，跨径大小不一，最大石梁长 23.7m，宽 1.7m，高 1.9m，重达 207 吨。据史料记载，如此重的巨大石梁是利用潮水涨落浮运架设，足见我国古代工匠的聪明和智慧。

我国西南地区山高林密，坡陡谷深，早就建有悬索吊桥，迄今至少有三千年左右的历史。早期以竹、藤为悬索和吊索，称为竹索桥或藤索桥。春秋战国时期拥有冶铁、锻铁技术之后，逐渐以铁链作为悬索和吊索，称为铁链桥。这类桥是现代斜索桥和斜拉桥的原始桥型。霁虹桥是我国现存最早的铁链桥之一。位于云南永平的“澜沧古渡”，横跨澜沧江，自汉朝就建有竹索桥，1465~1487 年改建为铁链桥。桥全长为 113.4m，桥宽 3.7m，净跨径为 57.3m，全桥共 18 条铁链，2 条扶栏铁链，每侧各一条，12 条承重底铁链，锚固于两岸的桥台上，底铁链上铺设纵横木板，此桥至今仍在使使用。此外保留至今的尚有建于 1706 年的四川泸定横跨大渡河的铁链桥，净跨 100m，桥宽 2.8m，由 13 条铁链组成。

国外保留至今的古代桥梁大多为石拱桥。最为著名的一座是位于法国南部尼姆（Nimes）附近，始建于公元前 19 年古罗马时代的加尔德（Pont du Gard）输水桥（图

1-2)。全桥由三层圆弧拱组成，底层和二层分别有6孔和11孔大拱，顶层为36孔小拱，拱上支承带有盖板的输水槽。意大利罗马台伯河(Tiber)上的天使桥建于公元136年，也是古罗马时代留下的、至今仍在使用的多孔圆弧拱桥。古罗马时代的石拱桥至今尚有许多遗存，其建筑技术和结构造型对拱桥的历史发展有着极为深远的影响。



图 1-2 加尔德输水桥
(公元前 63~13 年)

2. 近代桥梁工程的成就

始于意大利的欧洲文艺复兴运动是人类历史上一次最伟大的思想解放运动，孕育诞生了近代科学体系。随后的资产阶级革命和工业革命进一步解放了生产力，推动了科学技术的发展，建立和完善了近代科学体系。桥梁及桥梁工程在这一时期得到空前的发展。在桥梁结构分析和设计中普遍应用了以材料力学、结构力学和弹性力学为基础的结构设计理论，结束了仅靠传统的经验和技术造桥的历史。

桥梁建筑材料也有了新的突破，19 世纪初发明了水泥，随后又发明了钢材和钢筋混凝土，使桥梁及桥梁工程的发展出现质的飞跃。新的运输工具火车和汽车的出现也对这一发展产生了重大影响。1855 年起法国建造了第一批应用水泥砂浆砌筑的石拱桥。1870 年德国建造了第一批采用硅酸盐水泥的混凝土拱桥。美国在 1874 年建成了主跨径为 158m 的 (St. Louis) 钢桁架拱桥；1883 年建成了主跨为 487m 的布鲁克林悬索桥；1890 年英国建成主跨度为 512m 的福斯湾悬臂钢桁架梁桥；桥梁的跨度有了较大提高。随着本世纪初钢筋混凝土材料的广泛应用，钢材的质量和强度大幅度提高，以及随后预应力混凝土的出现和广泛使用，使桥梁和桥梁工程进入了新的发展时期，不断有新的结构形式出现，桥梁结构设计理论逐渐趋于成熟和完善。本世纪初的 50 年钢桥和钢筋混凝土桥发展迅速。加拿大在 1917 年建成主跨为 549m、世界上跨径最大的钢悬臂桁架梁桥 (第二魁北克桥)；澳大利亚在 1932 年建成主跨为 503m 的钢桁架拱桥 (悉尼海港大桥)；美国在 1917 年建成主跨为 219m、当时为世界上跨径最大的 (Metropolis) 简支钢桁架梁桥，在 1931 年建成主跨为 504m、当时为世界上跨径最大的 (Bayonne) 钢桁架拱桥，在 1937 年建成主跨为 1280m、当时为世界上跨径最大的悬索桥 (金门大桥)。由于钢筋混凝土材料固有的力学特性，人们主要用它建造拱式桥和小跨度梁式桥。法国在 1930 年建成三孔跨径为 186m 的 (Plougastel) 钢筋混凝土拱桥，并用 28 只液压千斤顶在拱顶处对拱圈内力进行调整；瑞典在 1943 年建成主跨为 264m、当时为世界上跨径最大的 (Sandoe) 钢筋混凝土拱桥。

3. 现代桥梁工程的发展

二次世界大战之后，世界上大多数国家结束战乱进入和平建设时期，不仅大量被战争毁坏的桥梁需要重建，而且经济恢复和发展需要新建更多的各种各样桥梁，包括许多大跨度桥梁。社会发展的需要、计算机的发明和应用、预应力混凝土技术的普及和广泛使用以及更多新的大跨度桥梁施工方法的发明和施工机械的进步，使桥梁和桥梁工程进入了现代化高速发展时期。

在桥梁设计理论方面，大多数国家普遍采用极限状态设计法代替了以弹性理论为基础的允许应力法。在桥梁设计中不仅考虑结构的正常使用极限状态，而且也考虑结构的承载能力

极限状态。由于越来越多的大跨度桥梁结构出现,结构振动、稳定、疲劳和结构的非线性理论已经在桥梁设计中得到普遍运用。桥梁结构的受力性能分析充分利用了计算机技术和结构分析的有限元方法,随着相应的计算机软件的开发和完善,不仅简单的桥梁结构分析可由计算机完成,而且许多非常复杂桥梁结构分析也可由计算机完成,不仅可按简化的结构平面计算图式进行分析,还可按较为精确的实际结构空间计算图式进行分析,甚至可以进行结构优化设计。计算机的应用不仅极大地提高了设计的效率和质量,也大大促进了结构设计理论及其应用的发展,使桥梁设计中考虑结构振动、稳定、疲劳和结构的非线性性能成为可能。此外桥梁结构设计方面各国都在向桥梁设计、计算、制图一体化方向发展。

在桥梁结构施工技术方面,法国著名工程师弗莱西奈经过长期研究,在1928年使预应力技术付诸实施,但真正用于桥梁工程是在二战后的1948年,法国利用预应力技术通过先预制梁段,再张拉预应力筋使各梁段结合成整体的方法修复了马恩河上的五座桥梁。德国最早利用预应力技术把悬臂施工技术成功地用于预应力混凝土桥梁的施工,特别是在T形刚架桥和连续刚架桥施工中的应用,克服了大跨度桥梁施工的难题。从而使悬臂施工技术和预应力混凝土桥梁得以迅速发展。此后悬臂施工技术的不断完善,使其成为大跨度桥梁施工广泛采用的施工方法,不仅用于预应力混凝土桥梁,也用于其他大跨度桥梁。此外桥梁施工的顶推法由于其施工安全、设备简单、工程费用低,而得到广泛应用,同时促进了预应力混凝土连续梁桥的发展。

20世纪50年代至今是桥梁和桥梁工程发展最为迅速的时期,特别是预应力混凝土桥梁和以斜拉桥为代表的组合体系桥梁以及大跨度的现代悬索桥尤为突出。1952年德国成功地采用悬臂施工法建成了跨莱茵河的带铰连续刚架桥(Worms桥),其主跨达到114.2m,由此这一施工方法逐渐在全世界广泛应用。1962年德国又用同一方法建成了另一座跨莱茵河的同类桥梁(Bendorf桥),其跨



图 1-3 (前南斯拉夫 KRK-II 桥)



图 1-4 (贵州江界河桥)

度达到208m,标志着悬臂施工方法更臻完善。采用这一施工方法建造的连续刚架桥其最大跨径已达301m,即位于挪威艾于斯特沃尔的Stomasundet桥,1998年建成。1997年我国建成的这类桥梁虎门大桥辅航道桥,其跨度也已达270m。悬臂施工方法和其他无支架施工方法应用于大跨度钢筋混凝土拱桥,使这一古老桥型跻身于现代化桥梁的行列,前南斯拉夫在1980年采用悬臂施工方法建成了跨度为390m的钢筋混凝土箱型拱桥(KRK-II桥)。

我国在1995年用类似的施工方法建成了跨度为330m的桁式组合箱型拱桥(贵州江界河);在1998年采用刚性骨架施工法建成了目前世界第一大跨度为420m的钢筋混凝土箱型拱桥(重庆万州长江大桥)。这些表明我国在大跨度钢筋混凝土拱桥的设计和施工领域已经达到国际先进水平。

为适应战后桥梁重建和发展的需要，德国桥梁专家利用悬索桥和拉索桥的受力原理在 1952 年设计完成了第一座主跨为 260m 的现代钢斜拉桥（杜塞尔多夫北桥），该桥于 1958 年开始动工兴建。建成的第一座现代钢斜拉桥是由德国工程师设计，而在瑞典于 1955 年架设完成的主跨为 183m 的斯特罗姆松德（Stroömsund）桥；第一座独塔且跨度达到 302m 的钢斜拉桥是德国科隆的 Severin 桥；第一座预应力混凝土现代斜拉桥是于 1962 在委内瑞拉建成的马拉卡波湖大桥其主桥跨径为 $160\text{m} + 5 \times 235\text{m} + 160\text{m}$ 。由于这一桥型结构充分利用了材料的力学性能和斜拉索、主梁及桥塔的各自受力特点，使组合后的结构受力更为合理。近几十年来，这一新型组合体系桥梁发展很快，其最大跨度已接近 1000m。已建成的最大跨度的钢斜拉桥是日本在 1999 年施工完成的多多罗大桥，其主跨已达 890m。其次是法国的诺曼底大桥，其主跨径为 856m 的钢箱梁。最大跨度的预应力混凝土斜拉桥是主跨为 530m 的挪威斯卡尔桑德大桥。我国上海于 1993 年建成的杨浦大桥主跨为 602m，是第一座跨越 600m 的斜拉桥；预计在 2001 年完成的南京长江二桥主跨达到 628m。我国在建的许多大跨度桥梁都采用了这一桥型，说明我国在斜拉桥设计和施工领域已接近国际先进水平。

除了斜拉桥外，其他组合体系也有很大发展。典型的桥梁结构有：于 1963 年建成的钢拱、梁组合体系主跨为 249m 的德国费马恩桥（图 1-5），其特点是两条柔性拱肋在拱顶交叉形成 X 形，与正交异性板的钢箱梁通过斜交叉的吊索网一起形成空间结构；于 1976 年建成的主跨为 175m 的日本大阪府泉北联络桥，其特点是单片拱肋与钢箱梁通过钢吊杆组成空间体系并且整体浮吊安装。



图 1-5 费马恩海峡桥

其他类型桥梁结构在这一时期也有不同程度的发展，其中悬索桥的发展最为引人注目。目前最大跨径的钢桁架拱是 1977 年建成的主跨为 518m 的美国新河峡谷桥；最大跨径的连续钢桁架梁桥是 1991 年建成的主跨为 400m 的日本生月大桥；最大跨度的钢箱梁桥是 1974 年建成的主跨为 300m 的巴西科斯塔席瓦尔桥；最大简支钢桁架梁桥是 1973 年建成的主跨为 227 的美国切斯特桥；

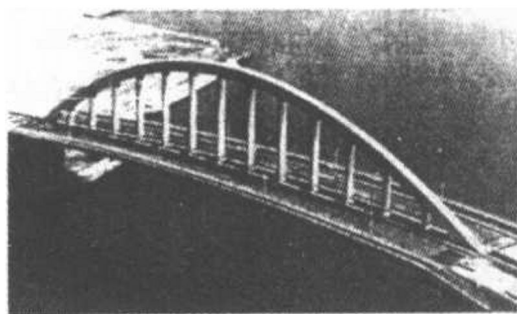


图 1-6 泉北联络桥

最大跨径的悬索桥是 1998 年建成的主跨为 1991m 的日本明石海峡大桥，远远超过 1981 年建成的主跨为 1410m 的英国恒比尔桥和 1998 年建成的主跨为 1624m 的丹麦大贝尔特东桥。明石海峡大桥主梁采用了连续钢桁架梁，而恒比尔桥和大贝尔特东桥主梁采用流线型钢箱梁。我国 1999 年建成的主跨为 1385m 的江阴长江大桥，主梁同样采用流线型钢箱梁。表明我国在悬索桥的设计、施工方面已经接近国际先进水平。

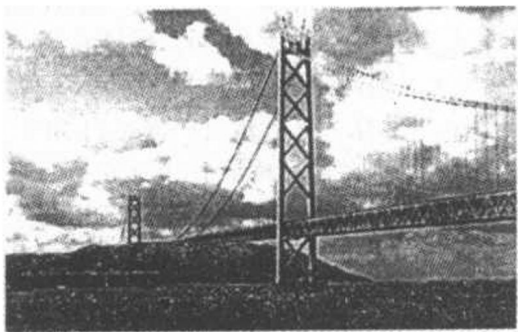


图 1-7 明石海峡大桥

这一时期桥梁基础的施工技术发展很快，特别是桩基础施工技术。基础类型的选用也发生较大变化。对于一般桥梁更多的采用扩大基础和桩基础，大跨度桥梁多采用沉井基础和大直径桩基础。桩基础占的比例越来越大，而桩基础中钻（挖）孔灌注桩已超过一半，其桩径已达 3~4m，有些桩长超过百米。

4. 桥梁工程未来的发展方向

在桥梁工程中，中小跨度的桥梁占的比例非常大、而且在技术方面比较容易实现标准化设计。对中小跨度的桥梁主要应向标准化设计

方向发展。采用标准设计可以大大提高其经济效益和桥梁设计与施工的质量。同时为提高桥梁的行车舒适性和抗震性能，对中小跨度的桥梁还应考虑向连续化方向发展，尽可能不用或少用伸缩缝。大跨度的桥梁结构将逐渐向轻巧和纤细方向发展。随着载重和跨度的不断增长，高强、轻型材料在桥梁结构工程上的使用将越来越广泛。在城市立交桥、高架桥等结构复杂的桥梁和大跨度桥梁方面，钢结构和钢与混凝土复合结构的采用将越来越多。

在桥梁设计的概念和理论方面，今后将需要采用更符合实际、更完善的设计概念和理论、更合理的结构计算图式和更可靠的计算方法。不仅要考虑桥梁结构的静力特性，还需从桥梁结构的动力特性、稳定性、耐久性和桥梁振动产生的噪声等多方面给予考虑。在设计方法和计算手段方面，将会以计算机应用为主，并且朝着设计、计算、绘图一体化的方向发展。同时，对桥梁在地震作用和撞击荷载等破坏性极大的偶然荷载作用下的非线性结构特性和破坏阶段的变形性能人们会越来越重视，并进行更深入的研究，以便设计和采取更有效的防护措施，减少和避免由此带来巨大损失。

在桥梁施工方面，中小跨度桥梁主要由标准化工厂预制、现场安装方向发展，而且大型吊装设备的采用越来越广泛。对大跨度桥梁则向无支架施工方法发展。基础施工将普遍采用钻孔灌注桩施工方法，尤其在软土基础和深水基础的桥位。为满足大跨度桥梁的承载需要，钻孔灌注桩的直径会越来越大，且桩身更长，其施工技术要求会更高。

总之，我国是一个地域辽阔，山脉和江河湖泊纵横的国家，同时又是一个人口众多的国家，未来的现代化交通建设和城市化趋势需要修建大量的各种桥梁，尤其是结构复杂、规模宏大的城市立交桥，因此在未来的桥梁设计和施工中会遇到许多复杂的问题。尽管我国的桥梁和桥梁工程在新中国成立后有了很大发展，尤其是 20 世纪最后 20 年发展尤为迅速，在许多方面已接近和达到国际先进水平，但是仍然面临诸如：计算机在桥梁设计和施工中的应用；符合实际结构受力状态的结构分析方法和设计理论的革新；桥梁施工技术的创新与发展等一系列难题。因此需要桥梁科技人员坚持不懈的努力，使我国的桥梁和桥梁工程在 21 世纪有更大的进步，达到国际领先水平。

1.2 桥梁的基本组成及分类

桥梁是由能够满足其功能要求的各种不同结构物组成的。它有许多类型，不同类型的

总长是指桥梁两端桥台台背前缘间的距离。桥梁的单孔跨径是指桥墩中线间距离或桥墩中线与桥台背前缘的间距。对于拱式桥是指其净跨径。

桥梁的净跨径 l_0 和总跨径 $\sum l_0$ 是反映桥梁宣泄洪水能力的指标。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）之间的净距，而拱式桥是指每孔拱跨拱脚截面内边缘之间的距离。总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和，也称桥梁孔径。通常桥梁孔径应满足宣泄设计洪水流量的要求。

桥跨结构的力学计算常常使用计算跨径。桥跨结构两个支点间的距离称为计算跨径。对于梁式桥是指桥跨两端相邻支座中心之间的距离。对于拱式桥是指拱轴线两端点之间的距离，通常用 l 表示。

桥梁建筑高度 h 是指桥上行车路面（或轨顶）与桥跨结构下边缘之间的高差。通常桥梁建筑高度应小于其容许建筑高度，既桥面标高与通航净空顶部标高之差。

桥下净空高度是指设计洪水位或计算通航水位至桥跨结构下边缘之间的距离。该距离应满足安全排洪和通航的要求。

桥梁高度是指低水位至桥面的高差。对于跨线桥是指桥下道路路面至桥面的高差。桥高的不同对桥梁施工的要求也不同，其施工的方法和难度会有很大差异。

在桥梁工程中，中小跨度的桥梁占的比例非常大。这部分桥梁如果采用标准设计，其工程设计和施工质量将大大提高，其经济效益也是非常可观的，因而我国《公路工程技术标准》中规定，标准设计或新建桥涵跨径在 60m 以下时，均应采用标准跨径（ l_b ）。对于梁式桥，标准跨径是指两相邻桥墩中线间的距离，或桥墩中线与桥台台背前缘间的距离；而对拱式桥，是指其净跨径。公路桥涵的标准跨径从 0.75m 至 60m，共计 22 种跨径。当单孔跨径 $< 5m$ 或多孔跨径的全长 $< 8m$ 时，通常采用涵洞结构。涵洞结构是用来宣泄路堤下水流的构造物，简称涵洞。在涵洞处路堤一般是不中断的。

1.2.2 桥梁的分类

桥梁有许多分类方式，人们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分类：

(1) 根据桥梁主跨结构所用材料，桥梁可划分为木桥、圬工桥（包括砖、石、混凝土桥）、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥和钢桥。在现代桥梁工程中较少采用木材。其原因是木材资源有限，且易腐烂。目前仅少数临时性桥梁使用木材建造。现代桥梁大部分采用钢筋混凝土、预应力混凝土材料和钢材建造。在我国，钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁占大多数。

(2) 根据桥梁所跨越的障碍物，桥梁可划分为跨河桥、跨海峡桥、立交桥（包括跨线桥）、高架桥等等。

(3) 根据桥梁的用途，可将其划分为公路桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、运水桥、农桥以及管道桥等等。

(4) 根据桥梁跨径总长 L 和单孔跨径 L_0 的不同，桥梁可分为特大桥 $L \geq 500m$ 或 $L_0 \geq 100m$ 、大桥 $L \geq 100m$ 或 $L_0 \geq 40m$ 、中桥 $100m > L > 30m$ 或 $40m > L_0 \geq 20m$ 、小桥 $30m \geq L \geq 8m$ 或 $20m > L_0 \geq 5m$ 。而当 $L < 8m$ 或 $L_0 < 5m$ 时，一般采用涵洞结构。

1. 根据桥面在桥跨结构中的位置，桥梁可分为上承式、中承式和下承式桥。上承式桥结构简单，施工方便，桥上视野开阔。但当桥梁的容许建筑高度较小时，常常采用中承

式和下承式桥。

2. 根据桥梁的结构形式划分。在桥梁结构设计中,一般按桥梁的结构形式(也称结构体系)将其分为四个基本类型以及这些基本类型的组合形式(图 1-9)。这一分类方式以力学计算模式为基础,以受力方式明显差异为特征,广泛用于桥梁的结构计算分析和设计中。其四种基本结构类型是:①梁式桥;②拱式桥;③刚架桥;④悬吊式桥。其组合形式有多种多样,如斜拉桥,系杆拱桥等。各种结构形式其受力特点、适应范围都有很大差异。以下简要说明各种结构形式的特点。

(1) 梁式桥 梁式桥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)。梁的内力以弯矩和剪力为主,水平轴力和扭矩相对很小。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 $<25\text{m}$ 时,通常采用钢筋混凝土材料。而计算跨径 $>25\text{m}$ 时,更多采用预应力混凝土材料。目前预应力混凝土简支梁桥的最大跨径已达到 76m ,但其经济跨径在 $40\sim 50\text{m}$ 。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,由此提高了其跨越能力。预应力混凝土连续梁桥常用的跨径为 $40\sim 200\text{m}$,其最大跨径已达 260m 。而预应力混凝土悬臂梁桥常用跨径为 $40\sim 100\text{m}$,其最大跨径已达 150m 。

(2) 拱式桥 拱式桥的特点是其桥跨的承载结构以拱圈或拱肋为主。在竖向荷载作用下,两拱脚处不仅产生竖向反力,还产生水平反力(推力)。由于水平推力的作用使拱中的弯矩和剪力大大地降低。设计合理的拱主要承受拱轴压力,拱截面内弯矩和剪力均较小,因此可充分利用石料或混凝土等抗压能力强而抗拉能力差的圬工材料。由此可见,拱式桥是钢筋混凝土桥和圬工桥最合理的结构形式之一。拱式桥的基本结构体系可分为有铰拱和无铰拱。由于有铰拱的铰结构复杂、施工困难,且维护费用很高,因而工程中较多采用无铰拱。拱式桥良好的受力状态,使其具有很大的跨越能力。目前钢拱桥的最大跨径已达 518m ,钢筋混凝土箱形拱桥已达 420m ,石拱桥已达 155m 。拱式桥是推力结构,其墩台基础必须承受强大的拱脚推力。因此拱式桥对地基要求很高,适于建在地质和地基条件良好的桥址。拱式桥构造简单,承载能力大,造型优美,是桥梁工程中广泛采用的桥型之一。

(3) 刚架桥 刚架桥是由桥跨结构(主梁)与墩台(支柱、板墙)整体相连而形成的结构体系,其梁柱结点为刚结。刚架桥的特点是在竖向荷载作用下,其柱支承处不仅产生

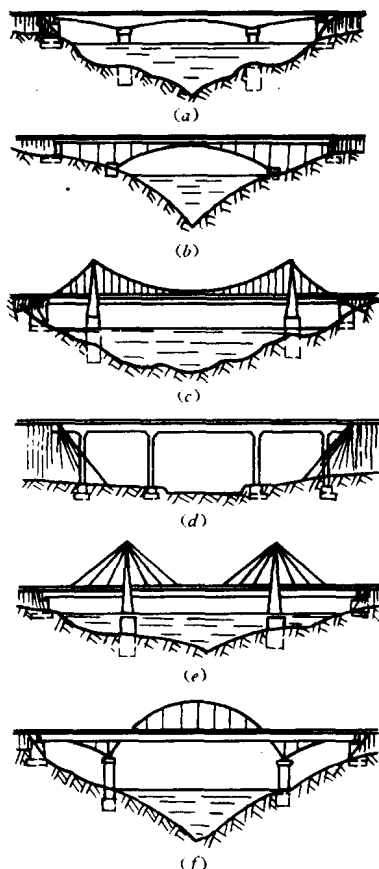


图 1-9 不同结构体系的桥梁
(a)梁式桥;(b)拱式桥;(c)悬索桥;
(d)刚架桥;(e)斜拉桥;(f)拱梁组合体系桥