

普通高等学校土木工程专业新编系列教材  
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

# 桥梁工程

Q L G C

邵旭东 主编



WUTP

武汉理工大学出版社

普通高等学校土木工程专业新编系列教材  
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

# 桥梁工程

主 编 邵旭东

武汉理工大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

桥梁工程/邵旭东主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2002.8  
ISBN 7-5629-1820-1

I. 桥… II. 邵… III. 桥梁工程-高等学校-教材 IV. TU113.6

**内 容 提 要**

本书重点介绍了中小跨径混凝土梁式桥、拱桥和墩台的结构构造、设计计算和施工方法,简要介绍了大跨径悬臂体系、连续体系梁桥、斜拉桥和悬索桥的主要特点和构造。

本书可作为高等院校土木工程专业学生的教材,也可供从事桥梁工程技术工作的科技人员参考。

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市武昌珞狮路122号 邮政编码:430070)

印刷者:武汉理工大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:14.75

字 数:489千字

版 次:2002年8月第1版

印 次:2002年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1820-1/TU·191

印 数:1—5000册

定 价:20.50元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

# 普通高等学校土木工程专业新编系列教材 编 审 委 员 会

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫  
甘绍熺 施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠  
主 任:江见鲸 吕西林 高鸣涵  
副主任:朱宏亮 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉  
苏三庆 刘立新 赵明华 孙成林

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰	丰定国	毛鹤琴	甘绍熺	白绍良
白晓红	包世华	田道全	成文山	江见鲸
吕西林	刘立新	刘长滨	刘永坚	刘伟庆
朱宏亮	朱彦鹏	孙家齐	孙成林	过静君
李少甫	李世蓉	李必瑜	邵旭东	吴培明
吴炎海	辛克贵	苏三庆	何铭新	汤康民
陈志源	罗福午	周 云	赵明华	赵均海
尚守平	施楚贤	柳炳康	姚甫昌	胡敏良
俞 晓	桂国庆	顾敏煜	徐茂波	袁海庆
高鸣涵	蒋沧如	谢用九	彭少民	覃仁辉
蔡德明	燕柳斌	魏明钟		

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

## 出版说明

1998年7月,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,1999年全国高等学校都已按新的专业目录招生。新的土木工程专业专业面大大拓宽,相应的专业业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的土木工程专业系列教材成为众多院校的翘首之盼。武汉理工大学出版社在中国土木工程学会教育工作委员会的指导和支持下,经过大量的调研,组织国内29所大学的土木工程学科的教授共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问遵照1998年1月建设部全国土木建筑工程专业教学指导委员会昆明会议和1998年5月上海的全国土木工程专业系主任会议的精神,经过充分研讨,决定首批编写出版29种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。中国土木工程学会教育工作委员会组织专家审查了本套教材的编写大纲,决定将其作为“中国土木工程学会教育工作委员会审定教材”出版。作为一套全新的系列教材,本套教材的“新”体现在以下几点:

**体系新**——本套教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列。整套教材的编写除正文外,大多增加了本章提要、本章重点、例题详解、思考题、习题等,以使教材既适合教学需要,又便于学生自学。

**内容新**——本套教材中各门课程教材的主、参编人员特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应21世纪土木工程人才的培育要求。

**规范新**——本套教材中凡涉及土木工程规范的全部采用国家颁布的最新规范。

本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,是面向新世纪、适应新专业的一套全新的教材。能为新世纪土木工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为第一套教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为教育事业的发展作出贡献。

武汉理工大学出版社

2000.2

FB504/04

## 前 言

桥梁工程是土木工程专业学生的专业课。本教材是根据1999年1月全国土木工程专业教学指导委员会三届一次会议制定的培养目标和课程设置方案,按教材编委会制定的教学大纲编写的。为使学生掌握各种桥型的特点和技术要领,了解其发展趋势,本书着重于系统阐明桥梁工程的基本概念、技术理论和方法,并多举实例和算例便于读者理解和领会,同时尽可能地融入了桥梁领域内的新技术和新进展。通过本课程的学习,要求学生熟练掌握中小型桥梁的设计和施工方法,并且能较好地理解大型桥梁的主要受力和结构构造特点。

全书共9章,第1章介绍桥梁工程的基本知识和发展动态,以及规划设计方法和程序,第2、3、4章介绍中小跨径梁式桥和支座的设计方法,第5章介绍大跨径悬臂体系、连续体系梁桥、斜拉桥和悬索桥的主要特点和构造,第6、8章分别介绍混凝土梁桥和拱桥的常用施工方法,第7、9章分别介绍了拱桥和墩台的设计方法。

本教材由湖南大学编写,其中第1章由邵旭东编写(第1.5节由彭旺虎编写),第2、3、4章由金晓勤编写,第5章由李立峰编写,第6、8章由程翔云编写,第7、9章由赵华编写。全书由程翔云教授初审,由邵旭东教授最后修改定稿。

书中插图由秦建军和张伟绘制。

本书若有差错和不当之处,敬请读者指正。

编 者  
2002年6月

# 目 录

<b>1 总论</b> .....	(1)
本章提要 .....	(1)
1.1 概述 .....	(1)
1.2 桥梁的基本组成和分类 .....	(1)
1.2.1 桥梁的基本组成 .....	(1)
1.2.2 桥梁的分类 .....	(3)
1.3 桥梁发展动态 .....	(7)
1.3.1 我国桥梁建设成就 .....	(7)
1.3.2 国外桥梁发展概况 .....	(13)
1.4 桥梁的总体规划与设计步骤 .....	(16)
1.4.1 桥梁的总体规划 .....	(16)
1.4.2 桥梁的设计步骤 .....	(20)
1.4.3 桥梁设计方案的筛选 .....	(21)
1.5 桥梁设计荷载 .....	(22)
1.5.1 永久荷载 .....	(22)
1.5.2 可变荷载 .....	(23)
1.5.3 偶然荷载 .....	(26)
1.5.4 荷载组合 .....	(27)
1.5.5 极限状态设计法 .....	(27)
本章小结 .....	(28)
思考题及习题 .....	(28)
<b>2 混凝土梁桥构造设计</b> .....	<b>(30)</b>
本章提要 .....	(30)
2.1 概述 .....	(30)
2.2 混凝土简支板桥的构造与设计 .....	(30)
2.2.1 整体式简支板桥的构造 .....	(30)
2.2.2 装配式简支板桥的构造 .....	(31)
2.2.3 斜交板桥构造 .....	(34)
2.3 混凝土简支梁桥的构造与设计 .....	(35)
2.3.1 整体式简支T形梁桥 .....	(35)
2.3.2 预制装配式简支T形梁桥 .....	(36)
2.3.3 组合梁桥 .....	(39)
2.4 混凝土梁桥桥面构造 .....	(41)
2.4.1 桥面铺装 .....	(41)
2.4.2 桥面防水和排水设施 .....	(41)
2.4.3 桥梁伸缩装置 .....	(42)
2.4.4 人行道 .....	(43)
2.4.5 栏杆和灯柱 .....	(45)
本章小结 .....	(46)

思考题及习题 .....	(47)
<b>3 混凝土梁桥的计算</b> .....	<b>(48)</b>
本章提要 .....	(48)
3.1 概述 .....	(48)
3.2 桥面板计算 .....	(48)
3.2.1 车轮荷载在板上的分布 .....	(49)
3.2.2 板的有效工作宽度 .....	(49)
3.2.3 行车道板的内力计算 .....	(51)
3.3 主梁内力计算 .....	(54)
3.3.1 恒载内力计算 .....	(54)
3.3.2 活载内力计算 .....	(56)
3.3.3 主梁内力组合 .....	(63)
3.4 横隔梁内力计算 .....	(64)
3.4.1 作用在横梁上的计算荷载 .....	(64)
3.4.2 横隔梁的内力影响线 .....	(64)
3.4.3 横隔梁内力计算 .....	(65)
3.5 挠度、预拱度的计算 .....	(67)
本章小结 .....	(68)
思考题及习题 .....	(69)
<b>4 梁式桥的支座</b> .....	<b>(71)</b>
本章提要 .....	(71)
4.1 概述 .....	(71)
4.2 支座的类型和构造 .....	(71)
4.2.1 简易垫层支座 .....	(71)
4.2.2 橡胶支座 .....	(72)
4.3 支座的计算 .....	(73)
本章小结 .....	(77)
思考题及习题 .....	(77)
<b>5 其它体系梁桥、斜拉桥和悬索桥</b> .....	<b>(78)</b>
本章提要 .....	(78)
5.1 悬臂体系梁桥简介 .....	(78)
5.1.1 悬臂梁桥 .....	(78)
5.1.2 T型刚构桥 .....	(80)
5.1.3 牛腿的构造和计算 .....	(81)
5.2 连续体系梁桥 .....	(83)
5.2.1 预应力混凝土连续体系梁桥的主要类型及受力特点 .....	(83)
5.2.2 横截面形式和尺寸 .....	(87)
5.2.3 预应力筋布置 .....	(88)
5.2.4 设计计算要点 .....	(90)
5.2.5 连续梁桥结构实例 .....	(93)
5.2.6 连续刚构桥实例 .....	(94)
5.3 斜拉桥 .....	(97)
5.3.1 斜拉桥的力学特点 .....	(97)
5.3.2 斜拉桥的结构构造与型式 .....	(98)



5.3.3	斜拉桥的非线性问题和最佳成桥状态的确定 .....	(104)
5.3.4	存在的问题 .....	(105)
5.3.5	斜拉桥实例 .....	(106)
5.4	悬索桥 .....	(107)
5.4.1	结构构造 .....	(107)
5.4.2	悬索桥的基本类型和适用范围 .....	(112)
5.4.3	悬索桥的纵、横断面布置 .....	(113)
5.4.4	悬索桥的计算简介 .....	(114)
	本章小结 .....	(117)
	思考题及习题 .....	(118)
<b>6</b>	<b>混凝土梁桥的施工 .....</b>	<b>(119)</b>
	本章提要 .....	(119)
6.1	混凝土简支梁桥的制造工艺 .....	(119)
6.1.1	简支梁桥的主要施工方法 .....	(119)
6.1.2	基本施工工艺流程 .....	(119)
6.1.3	就地浇筑法施工工艺 .....	(122)
6.1.4	后张法预应力混凝土简支梁的制造工艺特点 .....	(123)
6.1.5	先张法预应力混凝土简支板的制造工艺特点 .....	(125)
6.2	装配式简支梁构件的运输和安装 .....	(127)
6.2.1	预制构件的运输 .....	(127)
6.2.2	预制构件的安装 .....	(127)
6.3	悬臂体系和连续体系梁桥的施工 .....	(130)
6.3.1	逐孔施工法 .....	(130)
6.3.2	节段施工法 .....	(132)
6.3.3	顶推施工法 .....	(134)
	本章小结 .....	(136)
	思考题及习题 .....	(137)
<b>7</b>	<b>拱桥 .....</b>	<b>(138)</b>
	本章提要 .....	(138)
7.1	概述 .....	(138)
7.1.1	拱桥的基本特点 .....	(138)
7.1.2	拱桥的基本组成 .....	(139)
7.1.3	拱桥的主要类型 .....	(140)
7.2	拱桥的构造 .....	(143)
7.2.1	主拱圈的构造 .....	(143)
7.2.2	拱上建筑构造 .....	(148)
7.2.3	其它细部构造 .....	(151)
7.3	拱桥的设计 .....	(154)
7.3.1	拱桥的总体布置 .....	(154)
7.3.2	拱轴线的选择和拱上建筑的布置 .....	(156)
7.4	拱桥的计算 .....	(157)
7.4.1	拱轴方程的建立 .....	(157)
7.4.2	恒载作用下拱的内力计算 .....	(164)
7.4.3	活载作用下拱的内力计算 .....	(168)

7.4.4	裸拱内力计算 .....	(171)
7.4.5	温度变化、混凝土收缩和拱脚变位的内力计算 .....	(172)
7.4.6	主拱验算 .....	(174)
7.5	钢管混凝土拱桥简介 .....	(176)
7.5.1	钢管混凝土结构的特点 .....	(176)
7.5.2	钢管混凝土拱桥的基本组成 .....	(177)
7.5.3	劲性骨架钢管混凝土拱桥示例 .....	(178)
7.6	其它类型拱桥一览 .....	(180)
7.6.1	桁架拱桥 .....	(180)
7.6.2	刚架拱桥 .....	(181)
7.6.3	中、下承式拱桥 .....	(181)
	本章小结 .....	(182)
	思考题及习题 .....	(183)
<b>8</b>	<b>混凝土拱桥的施工 .....</b>	<b>(184)</b>
	本章提要 .....	(184)
8.1	混凝土拱桥施工方法简介 .....	(184)
8.1.1	就地浇筑法 .....	(184)
8.1.2	预制安装法 .....	(185)
8.1.3	转体施工法 .....	(185)
8.2	拱桥有支架施工 .....	(187)
8.2.1	拱架 .....	(187)
8.2.2	拱圈混凝土的浇筑 .....	(188)
8.2.3	拱上建筑的施工 .....	(190)
8.2.4	拱架的卸落 .....	(190)
8.3	拱桥缆索吊装施工 .....	(191)
8.3.1	拱圈节段的预制 .....	(191)
8.3.2	拱肋的吊装 .....	(191)
8.3.3	施工加载程序设计 .....	(193)
	本章小结 .....	(194)
	思考题及习题 .....	(194)
<b>9</b>	<b>桥梁墩台 .....</b>	<b>(195)</b>
	本章提要 .....	(195)
9.1	墩台的构造和设计 .....	(195)
9.1.1	概述 .....	(195)
9.1.2	梁桥墩台 .....	(196)
9.1.3	拱桥墩台 .....	(203)
9.2	桥墩计算 .....	(206)
9.2.1	荷载及其组合 .....	(206)
9.2.2	重力式(圬工)桥墩计算 .....	(208)
9.2.3	桩柱式桥墩计算 .....	(211)
9.2.4	柔性排架墩计算 .....	(212)
9.3	桥台计算 .....	(217)
9.3.1	重力式桥台的计算 .....	(217)
9.3.2	梁桥轻型桥台的计算特点 .....	(218)

本章小结.....	(220)
思考题及习题.....	(221)
参考文献.....	(222)

# 1 总 论

## 本章提要

本章首先介绍桥梁的基本组成和名词术语、桥梁的分类,对桥梁发展动态作了概述,最后介绍了桥梁的总体规划和设计步骤,以及桥梁的设计荷载。

## 1.1 概 述

桥梁工程在学科上属于土木工程的一个分支学科,在功能上是交通工程中的关键性枢纽。

随着我国国民经济的迅速发展和经济的全球化,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,都有非常重要的作用。

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。

桥梁工程在工程规模上约占道路总造价的10%~20%,它同时也是保证全线通车的咽喉,特别在战时,桥梁工程具有非常重要的地位。

桥梁是一种功能性的结构物,但自古以来,人类从未停止过对桥梁美学的追求,很多桥梁被建成为令人赏心悦目的艺术品,具有鲜明的时代特征,至今仍然为人们所赞叹。

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。经过几十年的努力,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。目前随着国家公路国道主干线规则的编制完成,几十公里长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟建设工程已经摆在我们面前,等待去完成,我们广大桥梁工程技术人员将不断面临着建设新颖和复杂桥梁结构的挑战,肩负着光荣而艰巨的任务。

## 1.2 桥梁的基本组成和分类

### 1.2.1 桥梁的基本组成

概括地说,桥梁由四个基本部分组成,即上部结构(superstructure)、下部结构(substructure)、支座(bearing)和附属设施(accessory)。

图1.1为一座公路桥梁的概貌,从图1.1中可见,涉及一般桥梁工程的几个主要名词解释如下:

上部结构是在线路中断时跨越障碍的主要承重结构,是桥梁支座以上(无铰拱起拱线或刚架主梁底线以上)跨越桥孔的总称,当跨越幅度越大时,上部结构的构造也就越复杂,施工难度也相应增加。

下部结构包括桥墩(pier)、桥台(abutment)和基础(foundation)。

桥墩和桥台是支承上部结构并将其传来的恒载和车辆等活载再传至基础的结构物。通常设置在桥两端的称为桥台,设置在桥中间部分的称为桥墩。桥台除了上述作用外,还与路堤相衔接,并抵御路堤土压力,防止路堤填土的坍落。单孔桥只有两端的桥台,而没有中间桥墩。

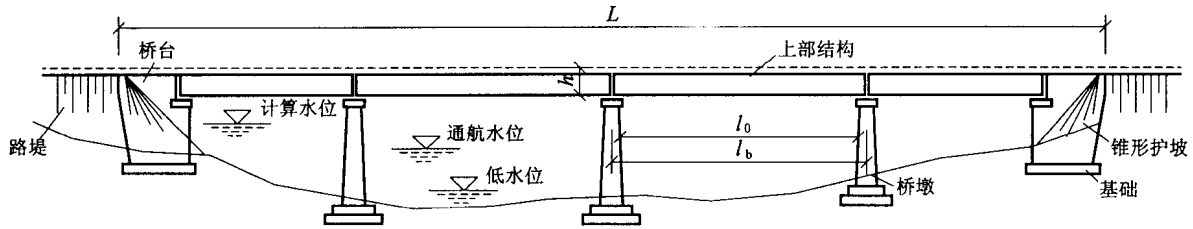


图 1.1 梁式桥概貌

桥墩和桥台底部的奠基部分,称为基础,基础承担了从桥墩和桥台传来的全部荷载,这些荷载包括竖向荷载以及地震、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地基中,在桥梁施工中是难度较大的一个部分,也是确保桥梁安全的关键之一。

支座是设在墩(台)顶,用于支承上部结构的传力装置,它不仅要传递很大的荷载,并且要保证上部结构按设计要求能产生一定的变位。

桥梁的基本附属设施包括桥面系(bridge decking)、伸缩缝(expansion joint)、桥梁与路堤衔接处的桥头搭板(transition slab at bridge head)和锥形护坡(conical slope)等。

河流中的水位是变动的,枯水季节的最低水位称为低水位(low water level),洪峰季节河流中的最高水位称为高水位(high water level)。桥梁设计中按规定的设计洪水频率计算所得的高水位(很多情况下是推算水位),称为设计洪水位(designed flood level),设计洪水位加壅水和浪高,称为计算水位(calculated water level),在各级航道中,能保持船舶正常航行时的水位,称为通航水位(navigable water level)。

下面介绍一些与桥梁布置有关的主要尺寸和名词术语。

净跨径(clear span)对于设支座的桥梁为相邻两墩、台身顶内缘之间的水平净距,不设支座的桥梁为上、下部结构相交处内缘间的水平净距,用 $l_0$ 表示(如图 1.1, 1.2 所示)。

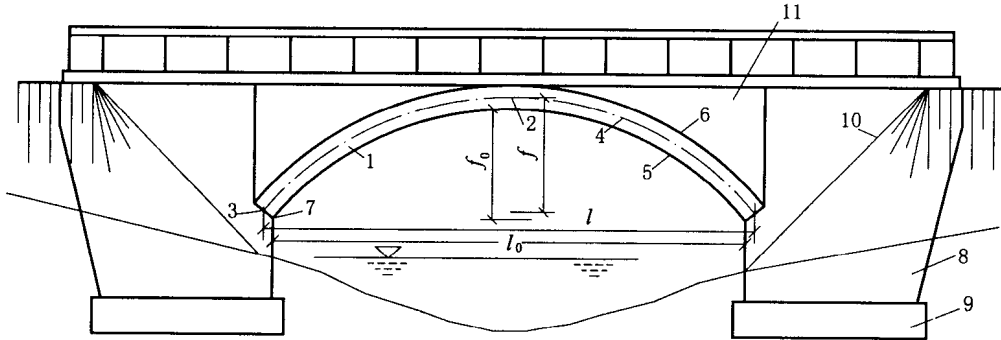


图 1.2 拱桥概貌

1—主拱圈;2—拱顶;3—拱脚;4—拱轴线;5—拱腹;6—拱背;7—起拱线;8—桥台;9—桥台基础;10—锥坡;11—拱上建筑;  
 $l_0$ —净跨径; $l$ —计算跨径; $f_0$ —净矢高; $f$ —计算矢高; $f/l$ (或 $f_0/l_0$ )—矢跨比

总跨径(total span)是多孔桥梁中各孔净跨径的总和( $\sum l_0$ ),它反映了桥下宣泄洪水的能力。

计算跨径(computed span)对于设支座的桥梁,为相邻支座中心的水平距离,对于不设支座的桥梁(如拱桥、刚构桥等),为上、下部结构的相交面之中心间的水平距离,用 $l$ 表示,桥梁结构的力学计算是以 $l$ 为准的。

桥梁全长(total length of bridge)简称桥长,对于有桥台的桥梁为两岸桥台翼墙尾端间的距离,对于无桥台的桥梁为桥面系行车道长度,用 $L$ 表示。

桥下净空(clearance of span)是为满足通航(或行车、行人)的需要和保证桥梁安全而对上部结构底缘以下规定的空间界限。

桥梁建筑高度(construction height of bridge)是上部结构底缘至桥面顶面的垂直距离(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,称为容许建筑高度(allowable construction height),显然,桥梁建筑高度不得大于容许建筑高度,为控制桥梁建筑高度,可以通

过在桥面以上布置结构(如斜拉桥、悬索桥、中、下承式拱桥等)的方式加以解决。

桥面净空(clearance above bridge floor)是桥梁行车道、人行道上方应保持的空间界限,公路、铁路和城市桥梁对桥面净空都有相应的规定。

## 1.2.2 桥梁的分类

### 1.2.2.1 桥梁按受力体系分类

按照受力体系分类,桥梁有梁、拱、吊三大基本体系,其中梁桥以受弯为主,拱桥以受压为主,吊桥以受拉为主,另外,由上述三大基本体系的相互组合,派生出在受力上也具组合特征的多种桥型,如刚架桥和斜拉桥等,下面分别阐述各种桥梁体系的主要特点。

#### (1) 梁式桥

梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构[如图 1.3(a)、(b)],由于外力(恒载和活载)的作用方向与承重结构的轴线接近垂直,因而与同样跨径的其它结构体系相比,梁桥内产生的弯矩最大,通常需用抗弯、抗拉能力强的材料(钢、配筋混凝土、钢-混凝土叠合结构等)来建造,对于中、小跨径桥梁,目前在公路上应用最广的是标准跨径的钢筋混凝土简支梁桥,施工方法有预制装配和现浇两种,这种梁桥的结构简单,施工方便,简支梁对地基承载力的要求也不高,其常用跨径在 25m 以下,当跨径较大时,需采用预应力混凝土简支梁桥,但跨度一般不超过 50m。为了改善受力条件和使用性能,地质条件较好时,中、小跨径梁桥均可修建连续梁桥,如图 1.3(c)所示,对于很大跨径的大桥和特大桥,可采用预应力混凝土梁桥、钢桥和钢-混凝土叠合梁桥,如图 1.3(d)、(e)所示。

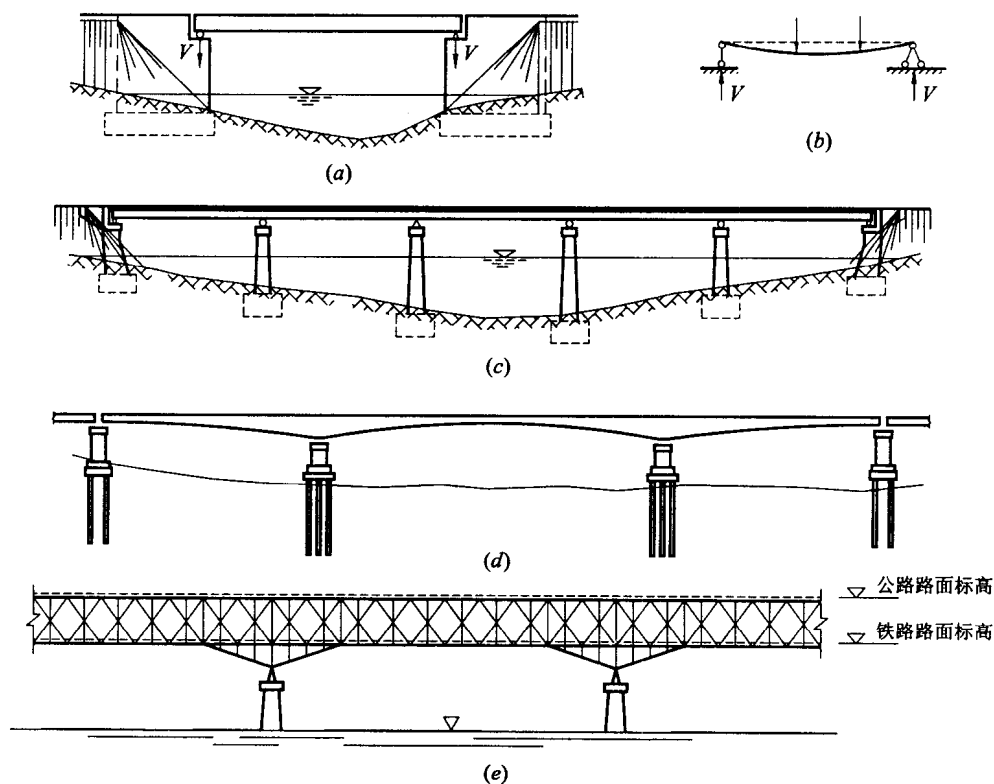


图 1.3 梁式桥

#### (2) 拱式桥

拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋(拱圈横截面设计成分离形式时称为拱肋)。拱结构在竖向荷载作用下,桥墩和桥台将承受水平推力,如图 1.4(b)所示。同时,根据作用力和反作用力原理,墩台向拱圈(或拱肋)提供一对水平反力 $H$ ,这种水平反力将大大抵消在拱圈(或拱肋)内由荷载所引起的弯矩。因此,与同跨径的梁相比,拱的弯矩、剪力和变形都要小得多。鉴于拱桥的承重结构以受压为主,通常可用抗压能力强的圬工

材料(如砖、石、混凝土)和钢筋混凝土等来建造。

拱桥不仅跨越能力很大,而且外形酷似彩虹卧波,十分美观,在条件许可的情况下,修建拱桥往往是经济合理的,一般在跨径500m以内均可作为比选方案。

应当注意,为了确保拱桥的安全,下部结构和地基(特别是桥台)必须能经受住很大的水平推力作用,此外,与梁式桥不同,由于拱圈(或拱肋)在合拢前自身不能维持平衡,因而拱桥在施工过程中的难度和危险性要远大于梁式桥。对于特大跨度的拱桥,也可建造钢桥或钢-混凝土组合截面的拱桥,由自重较轻但强度很高的钢拱首先合拢并承担施工荷载,这样,其施工的难度和风险就可降低。

在地基条件不适合于修建具有很大推力的拱桥的情况下,也可建造水平推力由受拉系杆来承受的系杆拱桥。系杆可由钢、预应力混凝土或高强钢筋做成,如图1.4(d)所示。近年来发展了一种所谓“飞雁式”三跨微小推力拱桥,如图1.4(e)所示,即在边跨的两端施加强大的水平预加力 $H$ ,通过边跨梁传至拱脚,以抵消主跨拱脚处的巨大水平推力。

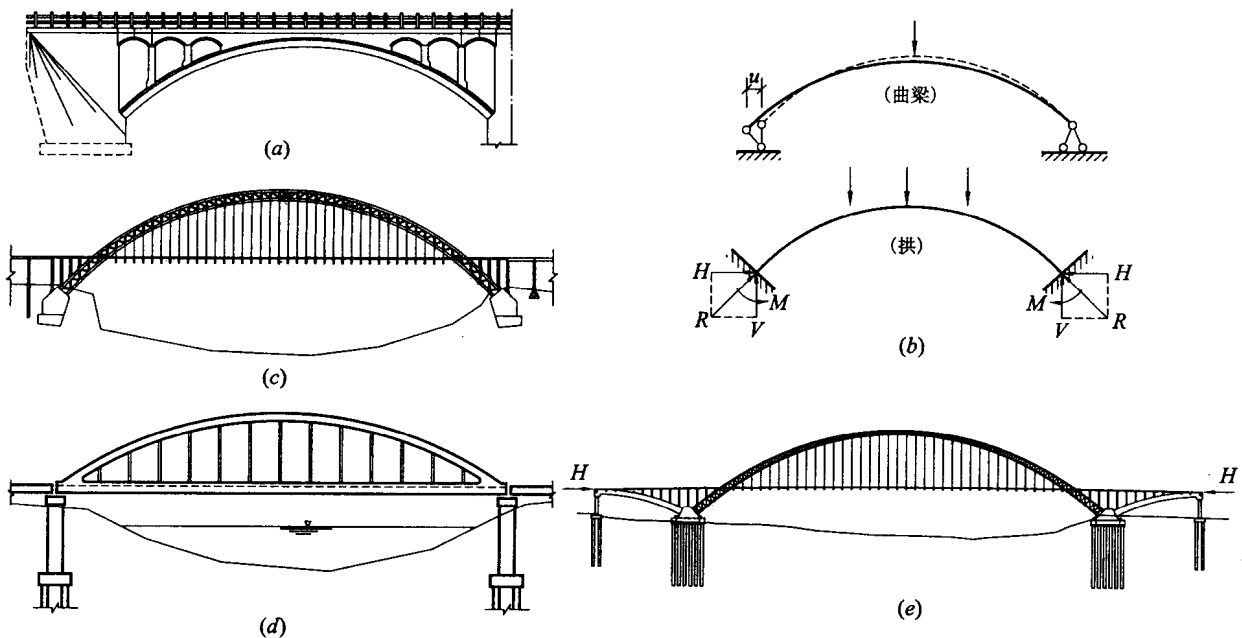


图1.4 拱式桥

(a)上承式拱;(b)曲梁和拱;(c)中承式拱;(d)下承式系杆拱;(e)中承式系杆拱

按照行车道处于主拱圈的不同位置,拱桥分为上承式拱、中承式拱和下承式拱三种。如图1.4所示,“承”代表承受车辆荷载的位置,即行车道位置,“上、中、下”分别代表这个车道位置位于主拱圈的上部、中部和下部。

### (3)刚构桥

刚构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,梁和柱的连结处具有很大的刚性,以承担负弯矩的作用。图1.5(a)所示的门式刚架桥,在竖向荷载作用下,柱脚处具有水平反力,梁部主要受弯,但弯矩值较同跨径的简支梁小,梁内还有轴压力 $H$ ,因而其受力状态介于梁桥与拱桥之间[如图1.5(b)所示]。刚架桥跨中的建筑高度就可做得较小。但普通钢筋混凝土修建的刚架桥在梁柱刚结处较易产生裂缝,需在该处多配钢筋。另外,门式刚架桥在温度变化时,内部易产生较大的附加内力,应引起重视。

图1.5(c)所示的T型刚构桥(带挂孔的或不带挂孔的)是修建较大跨径混凝土桥梁曾采用的桥型,属静定或低次超静定结构。对于这种桥型,由于T构长悬臂处于一种不受约束的自由变形状态,在车辆荷载作用下,悬臂内的弯、扭应力均较大,因而各个方向均易产生裂缝。另外,由于混凝土徐变,会使悬臂端产生一定的下挠,从而在悬臂端部和挂梁的结合处形成一个折角,不仅损坏了伸缩缝,而且车辆在此跳车,给悬臂以附加冲击力,使行车不适,对桥梁受力也不利,目前这种桥型已较少采用。

图1.5(d)所示的连续刚构桥,属于多次超静定结构,在设计中一般应减小墩柱顶端的水平抗推刚度,使得温度变化下在结构内不致产生较大的附加内力。对于很长的桥,为了降低这种附加内力,往往在两侧的一

个或数个边跨上设置滑动支座,从而形成如图 1.5(e)所示的刚构-连续组合体系桥型。

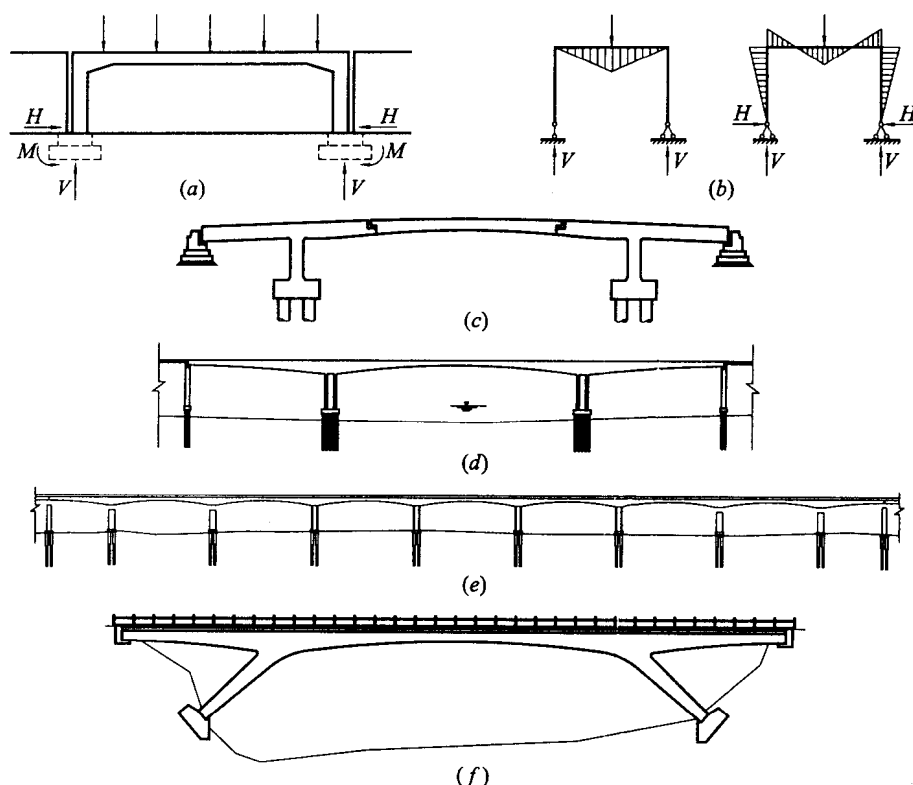


图 1.5 刚构桥

(a) 门式刚架; (b) 受力状态; (c) T 型刚构; (d) 连续刚构; (e) 刚构-连续组合体系; (f) 斜腿刚构

当跨越陡峭河岸和深谷时,修建斜腿式刚构桥往往既经济合理又造型轻巧美观,如图 1.5(f)所示。由于斜腿墩柱置于岸坡上,有较大斜角,中跨梁内的轴压力也很大,因而斜腿刚构桥的跨越能力比门式刚构桥要大得多,但斜腿的施工难度较直腿大些。

刚构桥一般均需承受正负弯矩的交替作用,横截面宜采用箱形截面,连续刚构桥主梁受力与连续梁相近,横截面形式与尺寸也与连续梁基本相同。

#### (4) 斜拉桥

斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索组成,如图 1.6 所示。它的基本受力特点是:受拉的斜索将主梁多点吊起,并将主梁的恒载和车辆等其它荷载传至塔柱,再通过塔柱基础传至地基。塔柱基本上以受压为主。跨度较大的主梁就像一条多点弹性支承(吊起)的连续梁一样工作,从而使主梁内的弯矩大大减小。由于同时受到斜拉索水平分力的作用,主梁截面的基本受力特征是偏心受压构件。斜拉桥属高次超静定结构,主梁所受弯矩大小与斜拉索的初张力密切相关。存在着一定的最优索力分布,使主梁在各种状态下的弯矩(或应力)最小。

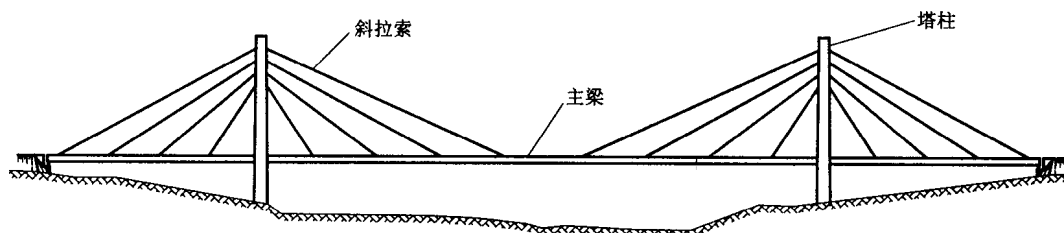


图 1.6 斜拉桥

由于受到斜拉索的弹性支承,弯矩较小,使得主梁尺寸大大减小,结构自重显著减轻,从而大幅度地提高了斜拉桥的跨越能力。此外,由于塔柱、拉索和主梁构成稳定的三角形,斜拉桥的结构刚度较大,斜拉桥的抗风能力较悬索桥要好得多。但是,当跨度很大时,悬臂施工的斜拉桥因主梁悬臂长度过长,承受压力过大,而风险较



大,塔高也过高,外索过长,索垂度的影响使索的刚度大幅下降,这些问题都需要加以认真地研究和解决。

斜拉索的组成和布置、塔柱形式及主梁的截面形状是多种多样的,主梁的截面形状与拉索的布置情况要相互配合。我国常用高强平行钢丝或钢绞线等制成斜拉索,斜拉索按施工工艺有工厂预制(成品索)和现场防护两种,我国20世纪80年代末、90年代初修建的斜拉桥中,斜拉索大多采用现场防护的方法,由于现场防护环境不利,不确定因素多,加上施工技术不够成熟,拉索在使用7~8年后,索内高强钢材均出现了不同程度的锈蚀现象,影响了大桥的安全,近年来已有几座斜拉桥对拉索进行了更换。目前常用的平行钢丝斜拉索系完全在工厂内制成,在钢丝束上包一层高密度(HD)的聚乙烯(PE)外套进行防护,还可用彩色高密度聚乙烯制成彩色素。除防锈外,斜拉索的疲劳和PE套的老化是两个需认真对待的问题。

常用的斜拉桥是三跨双塔式结构,但独塔双跨形式也常见(图1.7),具体形式及布置的选择应根据河流、地形、通航、美观等要求加以论证确定。

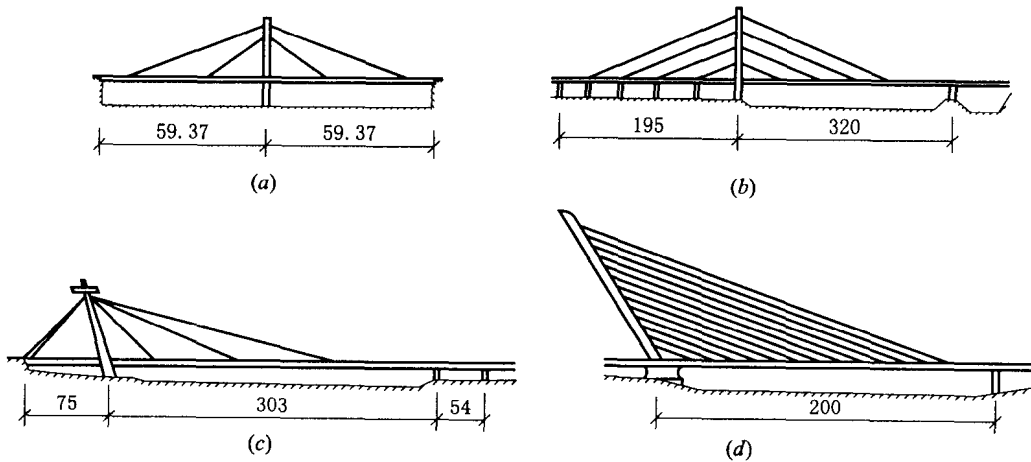


图1.7 独塔式斜拉桥(单位:m)

(5)吊桥(悬索桥)

吊桥是用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构,如图1.8所示。在桥面系竖向荷载作用下,通过吊杆使缆索承受很大的拉力,缆索锚于吊桥两端的锚碇结构中,为了承受巨大的缆索拉力,锚碇结构需做得很大(重力式锚碇),或者依靠天然完整的岩体来承受水平拉力(隧道式锚碇),缆索传至锚碇的拉力可分解为垂直和水平两个分力,因而吊桥也是具有水平反力(拉力)的结构。现代吊桥广泛采用高强度的钢丝成股编制形成钢缆,以充分发挥其优良的抗拉性能。吊桥的承载系统包括缆索、塔柱和锚碇三部分,因此结构自重较轻,能够跨越任何其它桥型无与伦比的特大跨度。吊桥的另一特点是,受力简单明了,成卷的钢缆易于运输,在将缆索架设完成后,便形成了一个强大稳定的结构支承系统,施工过程中的风险相对较小。

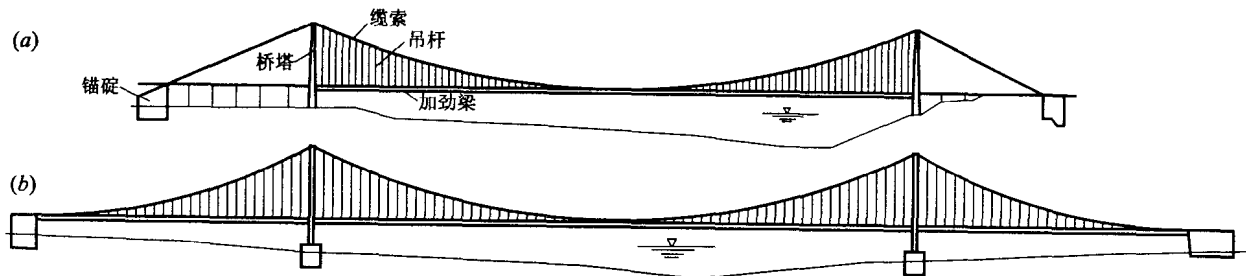


图1.8 吊桥(悬索桥)

(a)单跨式吊桥;(b)三跨式吊桥

图1.8(a)为单跨式吊桥,图1.8(b)则为三跨式吊桥。

相对于前面所说的其它体系桥梁而言,吊桥的刚度最小,属柔性结构,在车辆荷载作用下,吊桥将产生较大的变形,例如跨度1000m的吊桥,在车辆荷载作用下, $l/4$ 区域的最大挠度可达3m左右。另外,吊桥风致振