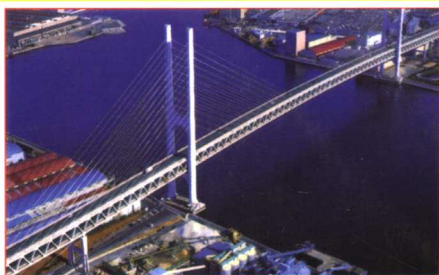




高等学校教材

桥梁工程

邵旭东 主编
顾安邦 主审



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校教材

Qiaoliang Gongcheng

桥 梁 工 程

(土木工程、交通工程专业用)

邵旭东 主编

顾安邦 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材共有6篇,第一篇总论;第二篇混凝土梁桥和刚架桥;第三篇混凝土拱桥;第四篇混凝土斜拉桥;第五篇桥梁墩台;第六篇桥梁结构分析计算机方法。

本书为高等院校宽口径土木、交通类学生的专业课教材,也可供从事桥梁建设的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/邵旭东主编. —北京:人民交通出版社,
2003.10

ISBN 7-114-04796-7

I.桥... II.邵... 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(2003)第075336号

高等学校教材

书 名:桥梁工程

著 者:邵旭东 主编

责任编辑:曲 乐

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:36

字 数:888千

插 页:1

版 次:2004年1月 第1版

印 次:2005年3月 第1版 第2次印刷

书 号:ISBN 7-114-04796-7

印 数:5001~9000册

定 价:52.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

面向 21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符锌砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程、桥梁工程、隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向 21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

前 言

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“面向 21 世纪交通版高等学校教材编审委员会”审定的大纲编写的。可作为宽口径土木、交通类学生的专业课教材。

按照新世纪本科生培养的的总体目标,本教材的编写注重于培养学生掌握基本理论和实际操作的能力,书中对桥梁基本知识力求阐述清楚,而对于若干复杂的理论问题则省略了中间的推导过程,通过多给算例,使学生能掌握要领,并能自如地解决各种工程计算问题,同时书中融入了桥梁领域当前的新技术和新进展,以及近几年来工程技术人员所普遍关心的问题(如耐久性、电算方法等)。

全书共 6 篇 31 章,第一篇介绍了桥梁工程的基本知识和发展动态,以及规划设计的方法和程序;第二篇重点介绍了简支、悬臂和连续体系混凝土桥梁的设计计算方法和施工要点,而对刚架桥和斜弯桥仅作简介;第三篇主要介绍上承式拱桥,对中、下承式拱桥仅作简介;第四篇介绍混凝土斜拉桥的设计计算和施工方法;第五篇介绍了桥梁墩台的设计和计算;第六篇阐述了桥梁结构分析的计算机方法,包括简支梁桥横向分布影响线计算和平面杆系有限元计算,通过实例介绍了各种桥型的计算机建模方法。

本教材由湖南大学编写,其中第一篇第一、二、三章和第四篇由邵旭东编写,第一篇第四章由彭旺虎、邵旭东编写,第一篇第五章和第二篇第一、二、三、六、十章由金晓勤编写,第二篇第五、七、八、九章和第三篇第四章由程翔云编写,第二篇第四章由程翔云、邵旭东编写,第三篇第一、二、三、五章和第五篇由赵华编写,第六篇由李立峰、邵旭东编写,朱平编写了部分实例和算例。全书由邵旭东教授修正定稿,由重庆交通学院顾安邦教授主审。

书中若有差错和不当之处,敬请读者指正。

编者

2003 年 10 月

补充说明

本书第 2 次印刷时,在原书的基础上,根据反馈意见及新颁布的桥梁设计规范,对相关内容作了局部修改:

1. 更新了部分内容,并适当压缩了篇幅;

2. 书中体现了《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)的有关规定。

另外,由于其它桥涵设计新规范及新标准图尚未颁布,因而相应部分未作修订,例如第五篇桥梁墩台。

邵旭东、金晓勤、程翔云、彭旺虎、张志田和刘志文参加了本书的修改订正工作,周里鸣和夏红波修订了部分算例。

编者

2005 年 3 月

目 录

第一篇 总 论

第一章 概述	1
第一节 桥梁的基本组成和分类	1
第二节 桥梁发展动态	8
第二章 桥梁的总体规划设计	21
第一节 桥梁设计的基本原则	21
第二节 桥梁平、纵、横断面设计	22
第三节 桥梁设计与建设程序	27
第四节 桥梁设计方案的比选	29
第三章 桥梁上的作用	31
第一节 永久作用	32
第二节 可变作用	33
第三节 偶然作用	42
第四节 作用效应组合	43
第四章 桥面布置与构造	46

第二篇 混凝土梁桥和刚架桥

第一章 概述	57
第二章 混凝土梁式桥构造与设计要点	58
第一节 板桥的构造	58
第二节 简支梁桥的构造	63
第三节 悬臂体系和连续体系梁桥的构造	70
第三章 混凝土简支梁桥的计算	91
第一节 桥面板计算	91
第二节 主梁内力计算	98
第三节 横隔梁内力计算	110
第四节 挠度、预拱度的计算	113
第四章 混凝土悬臂体系和连续体系梁桥的计算	116
第一节 结构恒载内力计算	116
第二节 箱梁剪力滞效应计算的有效宽度法	123
第三节 活载内力计算	128
第四节 预应力效应计算的等效荷载法	139
第五节 混凝土徐变次内力计算的换算弹性模量法	145

第六节	混凝土收缩次内力计算	155
第七节	基础沉降次内力计算	156
第八节	温度次内力和自应力计算	156
第九节	悬臂施工时挠度和预拱度计算	163
第五章	刚架桥简介	165
第一节	门式刚架桥	166
第二节	斜腿刚架桥	169
第三节	全无缝式连续刚构桥	176
第六章	梁式桥的支座	180
第一节	常用支座的类型和构造	180
第二节	支座的布置	183
第三节	支座的计算	185
第七章	混凝土斜、弯梁桥简介	189
第一节	斜梁桥	189
第二节	弯梁桥	209
第八章	混凝土梁桥的施工	221
第一节	就地现浇的钢筋混凝土简支梁桥施工	221
第二节	预制钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁桥施工	227
第三节	悬臂体系和连续体系梁桥的施工	236
第九章	梁式桥实例	243
第一节	简支—连续梁桥实例——大登 III 号大桥简介	243
第二节	变截面连续梁桥实例*——湖南白沙大桥简介	246
第三节	连续刚构桥实例——广东虎门大桥辅航道桥、挪威 Stolma 桥简介	250

第三篇 混凝土拱桥

第一章	概述	254
第一节	拱桥的主要特点	254
第二节	拱桥的组成及主要类型	255
第二章	拱桥的构造及设计	260
第一节	上承式拱桥的构造与设计	260
第二节	中、下承式钢筋混凝土拱桥的设计与构造	284
第三节	拱式组合体系桥的设计与构造	291
第三章	拱桥的计算	296
第一节	上承式拱桥的计算	296
第二节	中、下承式钢筋混凝土拱桥计算	323
第三节	其它类型拱桥的计算特点	327
第四章	拱桥的施工	336
第一节	混凝土拱桥施工方法简介	336
第二节	上承式拱桥的有支架施工	341
第三节	上承式拱桥缆索吊装施工	346

第四节	中、下承式拱桥的施工	350
第五节	拱式组合体系桥的施工要点	354
第五章	实例	357
第一节	四川金沙江大桥	357
第二节	广州丫髻沙大桥	361
第三节	四川万县长江大桥	365
第四节	贵州江界河大桥	368
第五节	浙江苏嘉河桥	371

第四篇 混凝土斜拉桥

第一章	总体布置	376
第一节	概述	376
第二节	孔跨布局	377
第三节	索塔布置	379
第四节	拉索布置	381
第五节	主要结构体系	382
第二章	斜拉桥的构造	387
第一节	主梁的构造	387
第二节	索塔	392
第三节	拉索	394
第三章	斜拉桥的计算	400
第一节	结构分析计算图式	400
第二节	斜拉索的垂度效应计算	401
第三节	索力的初拟和调整	403
第四节	温度和徐变次内力计算	407
第五节	非线性问题的计算	408
第四章	斜拉桥的施工	409
第一节	主梁施工方法	409
第二节	索塔施工要点	413
第三节	拉索施工	416
第五章	实例	419
第一节	铜陵长江公路大桥	419
第二节	杭州钱塘江三桥	421
第三节	武汉白沙洲长江公路大桥	423
第四节	南京长江二桥南汊桥	425
第五节	日本多多罗大桥	428

第五篇 桥梁墩台

第一章	桥梁墩台的设计和构造	431
第一节	概述	431

第二节	梁桥墩台	432
第三节	拱桥墩台	446
第二章	桥梁墩台计算	451
第一节	荷载及其组合	451
第二节	重力式桥墩计算与验算	454
第三节	桩柱式桥墩计算	458
第四节	柔性排架墩计算	460
第五节	桥台计算	468

第六篇 桥梁结构分析计算机方法

第一章	绪论	479
第一节	有限单元法概述	479
第二节	两个问题的基本算法	481
第二章	简支梁桥横向分布影响线通用计算	494
第一节	概述	494
第二节	基本原理	494
第三节	计算机方法	498
第四节	总框图和源程序	505
第五节	算例	512
第三章	桥梁结构分析的有限元法	515
第一节	桥梁结构分析的杆系有限元法	515
第二节	桥梁结构分析的内容和特点	523
第三节	桥梁结构分析的建模方法	526
第四章	计算实例	529
第一节	等截面连续梁桥	529
第二节	变截面连续梁桥	532
第三节	V 撑连续梁桥	535
第四节	连续刚构桥	539
第五节	T 型刚构桥	541
第六节	刚架拱桥	544
第七节	斜拉桥	547
参考文献	553

第一篇 总 论

第一章 概 述

桥梁工程在学科上属于土木工程的分支,在功能上是交通工程的咽喉。

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,这不仅有利于经济的进一步发展,同时对促进文化交流、加强民族团结、缩小地区差别、巩固国防等方面,也都有非常重要的意义。

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,即便是高技术战争,桥梁工程仍具有非常重要的地位。

桥梁是一种功能性的结构物,但从古至今,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。目前随着国家公路五纵七横国道主干线的规划和实施,几十公里长的跨海湾、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,例如 2003 年 6 月开工建设的浙江宁波杭州湾跨海大桥,全长达 36km,是目前世界上最长的桥梁,杭州湾大桥的建设使上海至宁波的公路距离缩短了 120km。

回顾过去,展望未来,可以预见,在今后相当长的一个时期内,我们广大的桥梁建设者将不断面临着建设新颖和复杂桥梁结构的挑战,肩负着国家光荣而艰巨的任务。

第一节 桥梁的基本组成和分类

一、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 1-1-1 为一座公路桥梁的概貌,从图中可见,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。

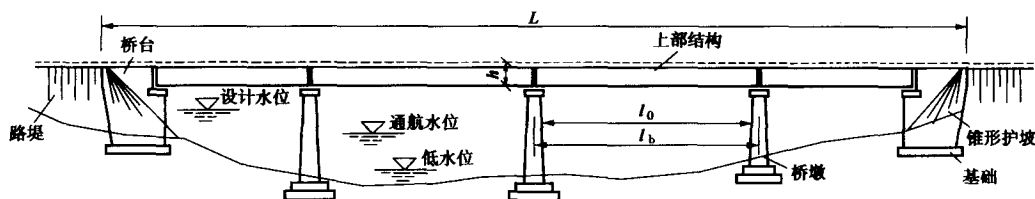


图 1-1-1 梁式桥概貌

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。

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), 称为设计水位 (designed 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 和图 1-1-2 所示)。

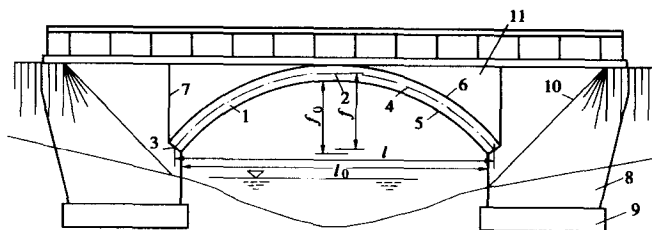


图 1-1-2 拱桥概貌

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

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 为准则的。

标准跨径 (standard span) 用 L_k 表示, 对于梁式桥、板式桥, 以两桥墩中线之间桥中心线长

度或桥墩中线与桥台台背前缘线之间桥中心线长度为准,拱式桥和涵洞以净跨径为准。

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 1-1-1 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。

我国《公路桥梁设计通用规范》(JTG D60—2004)规定了特大、大、中、小桥按总长和跨径的划分,见表 1-1-1 所示。

桥梁按总长 L 和标准跨径 L_k 分类

表 1-1-1

桥梁分类	多孔跨径总长 L (m)	单孔跨径 L_k (m)	桥梁分类	多孔跨径总长 L (m)	单孔跨径 L_k (m)
特大桥	$L > 1000$	$L_k > 150$	中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
大桥	$100 \leq L \leq 1000$	$40 \leq L_k \leq 150$	小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$

上述分类在一定程度上反映了桥梁的建设规模,但不反映桥梁的复杂性。国际上一般认为单孔跨径小于 150m 的属于中小桥,大于 150m 即为大桥,而特大桥的起点跨径与桥型有关,悬索桥为 1000m,斜拉桥和钢拱桥为 500m,其它桥型为 300m。

二、桥梁的分类

1. 桥梁按受力体系分类

按照受力体系分类,桥梁有梁、拱、索三大基本体系,其中梁桥以受弯为主,拱桥以受压为主,悬索桥以受拉为主。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 (beam bridge)

梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构[如图 1-1-3a)、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—混凝土组合结构等)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 1-1-3c)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—混凝土组合梁桥,如图 1-1-3d)、e)所示。

(2) 拱式桥 (arch bridge)

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 1-1-4b)所示。同时,根据作用力和反作

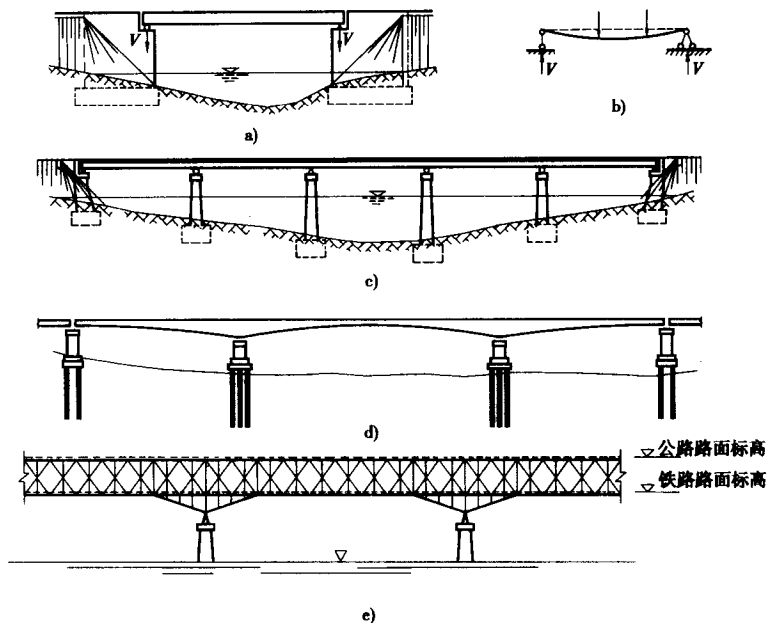


图 1-1-3 梁式桥

用力原理,墩台向拱圈(或拱肋)提供一对水平反力,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)在合龙前自身不能维持平衡,因而拱桥在

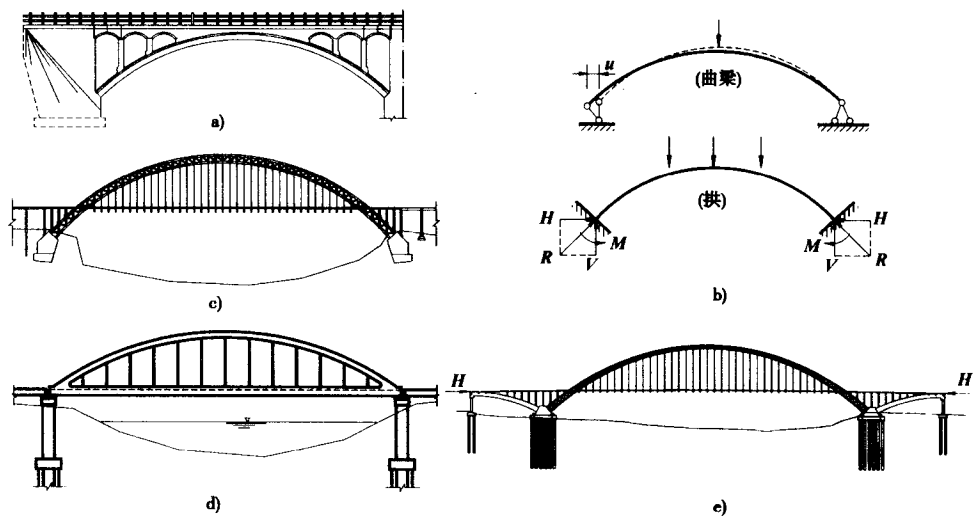


图 1-1-4 拱式桥

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龙并承担施工荷载,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 1-1-4d)所示。近年来发展了一种所谓“飞雁式”三跨自锚式微小推力拱桥,如图 1-1-4e)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。

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 1-1-4 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 (rigid frame bridge)

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 1-1-5a)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 1-1-5b)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。

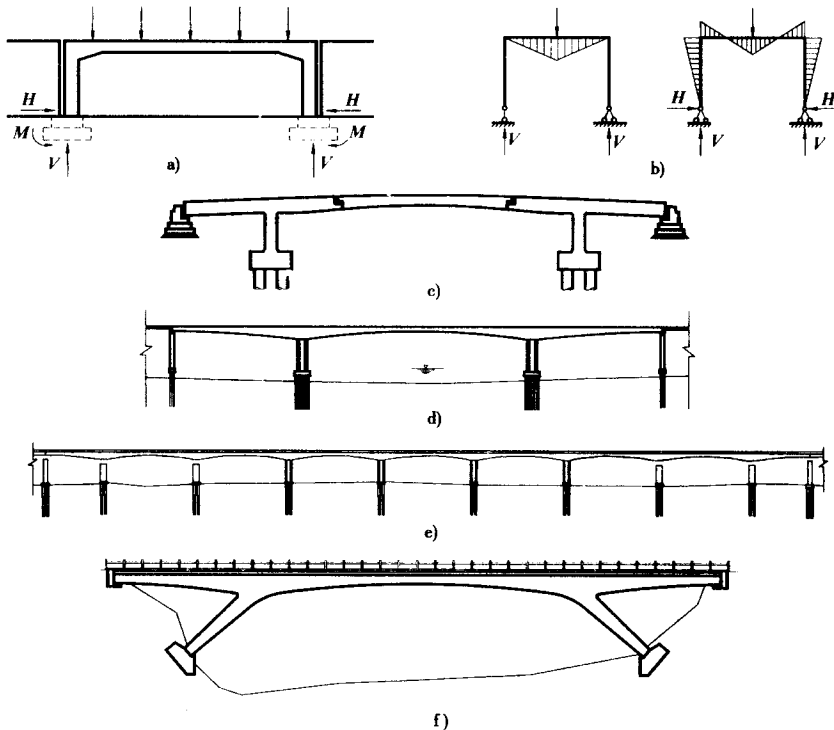


图 1-1-5 刚构桥

图 1-1-5c)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 1-1-5d)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 1-1-5e)所示的刚构—连续组合体系桥型。

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 1-1-5f)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(cable stayed bridge)

斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索组成,如图 1-1-6 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,存在着一定最优的索力分布,使主梁在各种状态下的弯矩(或应力)最小。

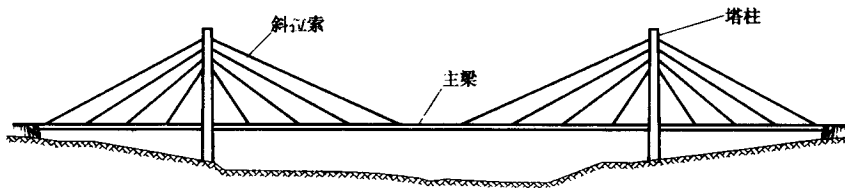


图 1-1-6 斜拉桥

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,大幅度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,主梁的截面形态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,不确定因素较多,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,近年来有几座斜拉桥已对拉索进行了更换。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索。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 1-1-7),具体形式及布置的