



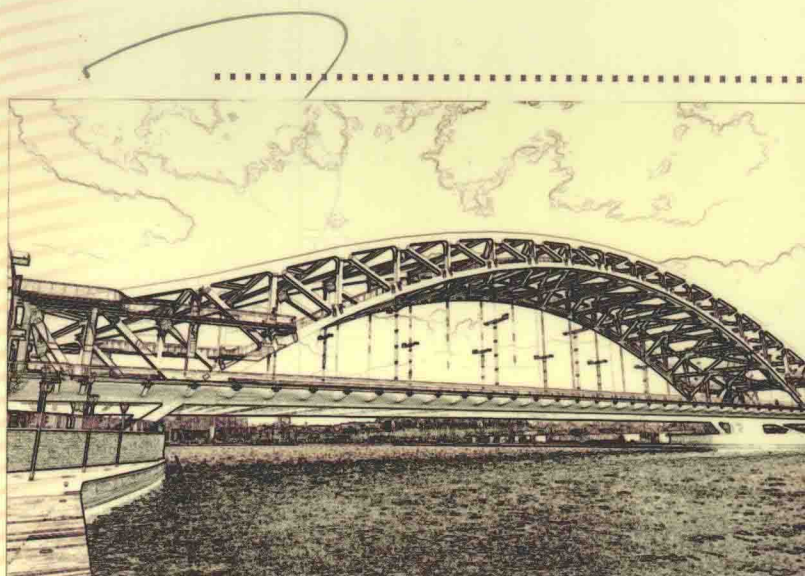
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

桥梁工程

● 李白林 主编

第2版

EDUCATION



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配套教师课件

www.cmpedu.com

U44
28=3

“十二五”普
普通高等教育

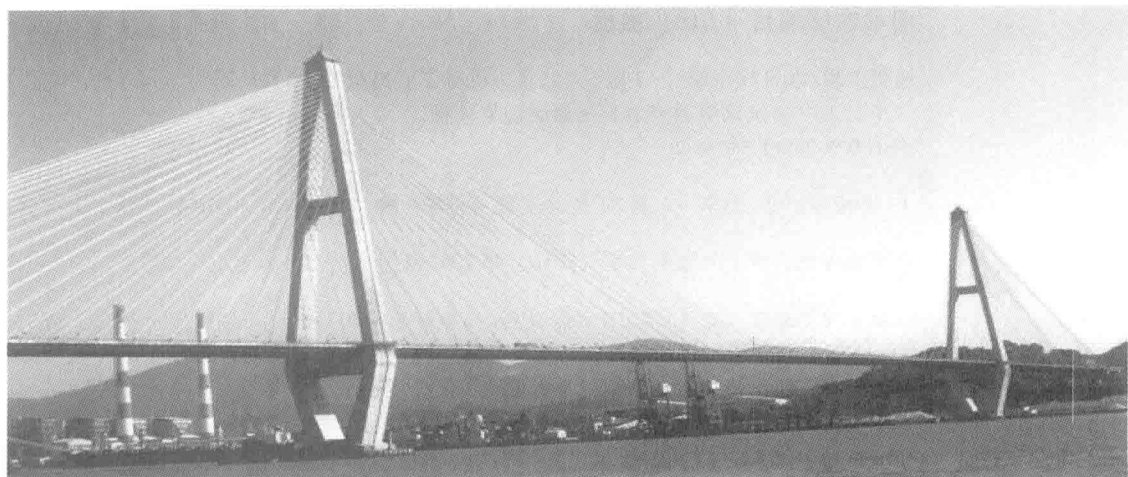


规划教材
规划教材

桥 梁 工 程

第 2 版

主 编 李自林
副主编 秦丽辉 王荣霞
参 编 李文华 郭红梅 高 颖



RFID

机 械 工 业 出 版 社

本书是在第1版的基础上采用 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》、JTG B01—2014《公路工程技术标准》、JTG D61—2005《公路圬工桥涵设计规范》等现行规范修订而成的。本书共9章,包括绪论,桥梁设计一般原则、程序及桥梁的设计荷载,梁(板)桥构造,预应力混凝土连续梁桥和斜交板(梁)桥构造,简支梁桥的设计计算,梁式桥的支座,拱桥构造与设计,桥梁墩台,斜拉桥与悬索桥的施工。每一章中都有算例或丰富的实例,使学生容易系统掌握桥梁知识,并能够应用所学内容独立进行中小型桥梁的设计与施工。

本书可作为土木工程、道路桥梁与渡河工程、交通工程类学生的专业课教材,也可作为相关专业的选修课教材,还可作为从事桥梁工程建设的工程技术人员参考书。

本书配有主编李自林教授的授课视频,读者可登录机工教育服务网(www.cmpedu.com)注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁工程/李自林主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2016.9

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-54731-0

I. ①桥… II. ①李… 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(2016)第209192号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 林辉 责任校对:刘秀芝

封面设计:张静 责任印制:常天培

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016年10月第2版第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·521千字

标准书号:ISBN 978-7-111-54731-0

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

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 天津城建大学 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 天津城建大学 教授

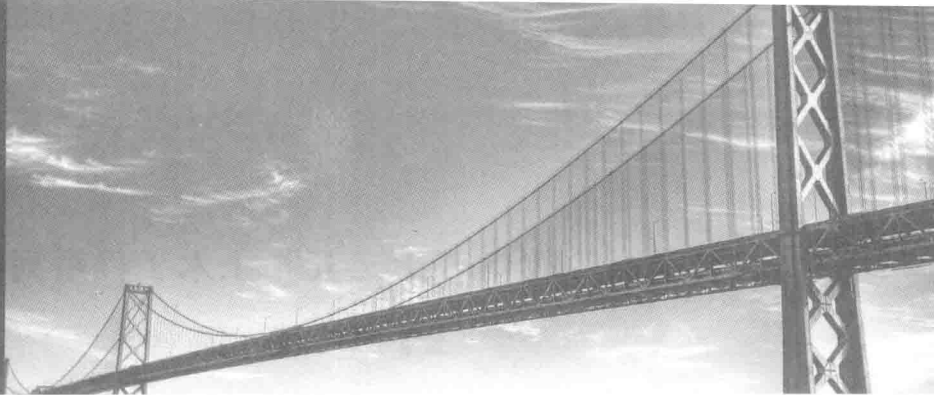
张敏江 沈阳建筑大学 教授

徐世法 北京建筑大学 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



本书第1版被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，本书是在第1版的基础上按照最新颁布的规范修订而成的。

本书编写注重让学生掌握桥梁工程的基本理论，培养学生的实际操作能力，每一章中都有算例或丰富的实例，使学生容易系统掌握桥梁知识，并能够应用所学内容独立进行中小型桥梁的设计与施工。本书的编写结合现行规范并详细地阐述了规范的具体应用。以往的教学实践表明，这样做会收到较好的效果。书中还融入了桥梁领域当前的新技术、新进展和新的施工方法。本书可作为土木工程、道路桥梁与渡河工程、交通工程类学生的专业课教材，同时也可作为其他类专业的选修课教材。本书共9章，具体包括：

第1章 绪论，主要介绍国内外桥梁概况、桥梁的组成和分类、桥梁工程的发展前景。

第2章 桥梁设计一般原则、程序及桥梁的设计荷载，主要介绍桥梁规划和设计原则，重点介绍公路桥梁的设计作用和作用效应组合及城市桥梁的设计荷载及其组合。

第3章 梁（板）桥构造，主要介绍桥面系、梁（板）桥的总体布置、板桥的构造、装配式钢筋混凝土简支T形梁桥构造、装配式预应力混凝土简支T形梁桥构造、组合式梁桥构造。

第4章 预应力混凝土连续梁桥和斜交板（梁）桥构造，主要介绍预应力混凝土连续梁桥的构造特点、斜交板（梁）桥构造。

第5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的计算。

第6章 梁式桥的支座，主要介绍支座的类型和构造以及橡胶支座的选用与计算方法。

第7章 拱桥构造与设计，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，重点介绍悬链线无铰拱的计算方法。

第8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。

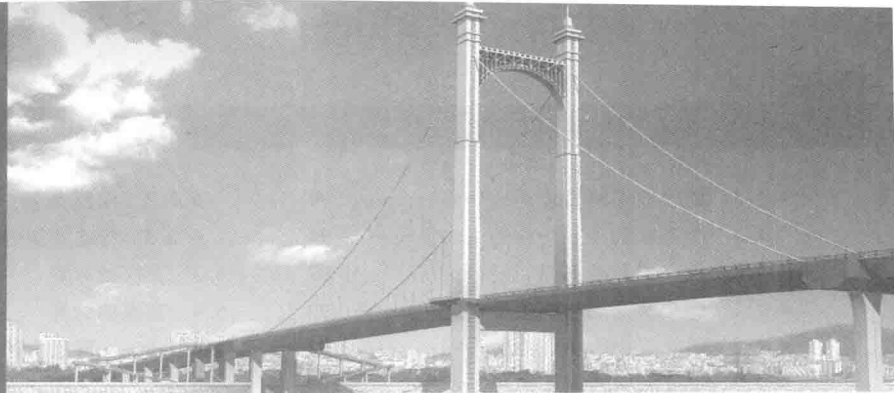
第9章 斜拉桥与悬索桥的施工，重点介绍这两种大跨径桥梁的概念和施工方法。

本书由天津城建大学、河北工业大学、长春工程学院、东北农业大学、河北工程大学共同编写。本书由李自林任主编，秦丽辉、王荣霞任副主编。编写分工如下：第2章第1节、第2节，第5章以及附录I、II由天津城建大学李自林编写；第7章由天津城建大学郭红梅编写；第3章、第4章由河北工业大学王荣霞编写；第1章、第8章由东北农业大学秦丽辉编写；第6章、第9章由长春工程学院李文华编写；第2章第3节由河北工程大学高颖编写。

由于编者水平有限，书中不妥之处，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
1.2.1 桥梁的组成	2
1.2.2 桥梁的分类	5
1.3 桥梁建筑的成就及发展	9
1.3.1 我国桥梁建筑的成就	10
1.3.2 国外桥梁发展概况和桥梁工程的发展前景	14
本章要点	16
思考和练习	17

第 2 章 桥梁设计一般原则、程序及

桥梁的设计荷载

2.1 桥梁规划和设计原则	18
2.1.1 桥梁设计的基本要求	18
2.1.2 设计资料的调查收集	19
2.1.3 桥梁的设计步骤	19
2.1.4 桥梁平、纵、横设计布置	20
2.2 公路桥梁设计作用和作用组合	26
2.2.1 公路桥梁设计作用	28
2.2.2 公路桥梁作用组合	36
2.3 城市桥梁设计荷载及其组合	38
2.3.1 城市桥梁设计荷载	38
2.3.2 城市桥梁荷载组合	41
本章要点	42
思考和练习	42

第 3 章 梁（板）桥构造

3.1 桥面系	43
3.1.1 桥面组成与布置	43
3.1.2 桥面铺装、防水及排水设施	44
3.1.3 伸缩装置	48
3.1.4 人行道	52
3.1.5 栏杆和灯柱	53
3.1.6 桥梁护栏	54

3.1.7 桥头搭板	55
3.2 梁（板）桥的总体布置	56
3.2.1 梁（板）桥的立面布置	56
3.2.2 主梁截面形式	59
3.2.3 装配式简支梁桥的块件划分	61
3.3 板桥构造	63
3.3.1 整体式简支板桥的构造	63
3.3.2 装配式板桥构造	64
3.4 装配式钢筋混凝土简支 T 形梁桥构造	67
3.4.1 构造布置	67
3.4.2 截面尺寸	68
3.4.3 T 形梁钢筋构造	70
3.4.4 主梁钢筋构造实例	72
3.4.5 主梁之间的横向连接	73
3.5 装配式预应力混凝土简支 T 形梁桥构造	75
3.5.1 构造布置	75
3.5.2 截面尺寸	77
3.5.3 装配式预应力混凝土梁的配筋特点	79
3.5.4 装配式预应力混凝土梁桥的配筋示例	83
3.6 组合式梁桥	85
3.6.1 钢筋混凝土组合 T 形梁桥	85
3.6.2 预应力混凝土组合箱形梁桥	86
本章要点	89
思考和练习	90

第 4 章 预应力混凝土连续梁桥和

斜交板（梁）桥构造

4.1 预应力混凝土连续梁桥构造	91
4.1.1 预应力混凝土连续梁桥的构造特点	91
4.1.2 预应力混凝土连续梁桥的立面布置	93

4.1.3 截面形式和尺寸	94	6.2.2 橡胶支座	160
4.1.4 配筋特点	96	6.2.3 特殊功能的支座	162
4.2 斜交板(梁)桥构造	97	6.3 支座的布置	164
4.2.1 斜交桥的基本概念及分类	97	6.4 支座的计算	165
4.2.2 斜交板桥的受力特点	98	6.4.1 支座反力的确定	165
4.2.3 斜交板桥的钢筋构造	100	6.4.2 板式橡胶支座的设计计算	165
4.2.4 斜肋梁桥的受力特点	102	6.4.3 盆式橡胶支座的设计计算	169
本章要点	104	6.4.4 盆式橡胶支座的选用	173
思考和练习	104	本章要点	173
第5章 简支梁桥的设计计算	105	思考和练习	174
5.1 行车道板的计算	105	第7章 拱桥构造与设计	175
5.1.1 行车道板的类型	105	7.1 概述	175
5.1.2 车轮荷载在板上的分布	106	7.1.1 拱桥特点与适用范围	175
5.1.3 板的有效工作宽度	107	7.1.2 拱桥的基本组成	176
5.1.4 行车道板的内力计算	108	7.1.3 拱桥的主要类型	177
5.2 梁桥荷载横向分布计算	112	7.2 拱桥构造	181
5.2.1 横向分布系数的概念	112	7.2.1 主拱的构造	181
5.2.2 杠杆原理法	113	7.2.2 拱上建筑的构造	192
5.2.3 偏心压力法	114	7.2.3 其他细部构造	196
5.2.4 修正的偏心压力法	118	7.3 拱桥设计	200
5.2.5 铰接板(梁)法	119	7.3.1 拱桥的总体布置	200
5.2.6 刚接梁法的计算特点	130	7.3.2 拱轴线的选择和拱上建筑的 布置	203
5.2.7 比拟正交异性板法(G-M法)	133	7.4 拱桥计算	204
5.2.8 荷载横向分布系数沿桥跨的 变化	141	7.4.1 拱桥计算概述	204
5.3 主梁内力计算	142	7.4.2 拱轴方程的建立	205
5.3.1 结构重力引起的内力计算	142	7.4.3 恒载作用下拱的内力计算	211
5.3.2 汽车荷载、人群荷载内力计算	142	7.4.4 活载内力计算	214
5.3.3 综合例题	144	7.4.5 温度变化、混凝土收缩和拱脚 变位的内力计算	219
5.4 横隔梁内力计算	152	7.4.6 拱圈自重作用下的内力计算	223
5.4.1 作用在横隔梁上的计算荷载	152	7.4.7 拱圈内力调整	224
5.4.2 横隔梁的内力影响线	152	7.4.8 主拱强度及稳定性验算	227
5.4.3 横隔梁的内力计算公式	153	7.4.9 连拱计算简介	234
5.5 挠度、预拱度的计算	156	7.5 其他类型拱桥	237
5.5.1 挠度计算的目与要求	156	7.5.1 桁架拱桥	237
5.5.2 刚度和挠度计算	156	7.5.2 刚架拱桥	240
5.5.3 预拱度	157	7.5.3 钢管混凝土拱桥	241
本章要点	157	本章要点	245
思考和练习	158	思考和练习	246
第6章 梁式桥的支座	159	第8章 桥梁墩台	248
6.1 概述	159	8.1 概述	248
6.2 常用支座的类型和构造	160	8.2 桥梁墩台的构造和设计	249
6.2.1 垫层支座	160		



8.2.1 桥墩的类型与构造	249	9.1 斜拉桥的施工	287
8.2.2 桥台的类型与构造	256	9.1.1 主梁施工方法	287
8.3 桥墩计算	264	9.1.2 斜拉桥主梁施工临时固接措施 ...	290
8.3.1 重力式桥墩	264	9.1.3 索塔施工	291
8.3.2 柱式桥墩	267	9.1.4 斜拉索施工	294
8.4 桥台计算	270	9.2 悬索桥的施工	301
8.4.1 重力式桥台计算	270	9.2.1 锚碇的施工	301
8.4.2 轻型桥台计算	272	9.2.2 主缆的架设	304
8.5 石砌重力式桥墩计算示例	275	9.2.3 加劲梁的架设	308
8.5.1 荷载计算	275	本章要点	309
8.5.2 墩身底截面按承载能力极限 状态验算	279	思考和练习	310
8.5.3 地基承载力验算	284	附录	311
8.5.4 桥墩稳定性验算	286	附录 I 铰接板荷载横向分布影响线竖 标表	311
本章要点	286	附录 II G-M 法 K_0 、 K_1 、 μ_0 、 μ_1 值的 计算用图	323
思考和练习	286	参考文献	330
第 9 章 斜拉桥与悬索桥的施工	287		

第1章

绪论

基本内容：桥梁的组成、分类和结构体系划分，国内外桥梁建筑的成就、现状和发展概况，桥梁工程中常见的专业术语，桥梁工程未来的发展趋势。

基本要求：掌握桥梁的基本组成及分类，重点掌握桥梁的结构受力、构造特点及相关专业术语，熟悉国内外桥梁发展的未来趋势，了解桥梁建筑的成就及现状。

1.1 概述

桥梁是当道路路线遇到江河湖泊、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人工构造物。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更多承载力更大，跨度更大的桥梁，以便使一个国家或地区的交通网不断完善，使其对内、对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具有极为重要的作用。

桥梁工程在规模上占道路总造价的 10%~20%，它同时也是保证道路全线通车的咽喉，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。

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、社会文明的进步程度，科学技术的发展水准以及它的工程设计和工业制造的水平。桥梁工程是土木工程中最具挑战性的领域。纵观世界各国的大城市，常以工程雄伟且美观的大桥作为城市的标志与骄傲。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。

原始时期人们利用天然倒下的树木、自然地壳变化和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，出现了原始的建筑技术。可见人类最早开始构思搭架的桥梁，采用的建筑材料是天然的石块（石板）和树木。

随着科学技术的发展、社会的进步,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,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,当工作时的拉应力到达其抗拉强度时就会产生脆性断裂破坏,因而用石头或铸铁这些材料建成的梁桥或板桥,其跨径不能大,也不能承受较大的荷载。随着科学技术的进一步发展,出现了比铸铁抗拉强度大得多的钢材。此后,钢成了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,这主要是我们发扬建桥优良传统,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;广州虎门辅航道桥,是主跨 270m 的预应力混凝土连续刚构桥。这些桥梁都是我国桥梁建筑史上里程碑式的标志,也是世界闻名的桥梁。

根据交通部的规划,2020 年将在全国形成“五纵七横”国道主干线的高等级公路网,形成横连东西、纵贯南北的运输大通道,将修建多座跨越大江河和海湾的长大桥梁。高速公路所建桥梁也是为数众多,如江苏润扬大桥、江苏苏通长江大桥、杭州湾通道工程、南京长江三桥、港珠澳大桥等,有的已经建成通车,有的正在紧张的建设之中。这些都是规模宏伟,任务艰巨,技术难度大的工程。

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,或因荷载增加而需要维修与加固。这就为从事桥梁科学研究、设计、施工的技术人员带来了机遇和挑战,我们应肩负起这个光荣而艰巨的任务,设计和建造出更多新颖的桥梁结构形式,同时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

桥梁一般由四个基本部分组成:上部结构、下部结构、支座和附属设施。

(1) 上部结构(也称桥跨结构) 是指桥梁结构中直接承受车辆荷载和其他作用,并跨越各种障碍物的主要承重结构(图 1-1)。上部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指定的下部结构,同时保证桥上交通能在一定条件下安全正常运营。

(2) 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荷载传至基础的结构物。一座桥梁的桥台只有两个,设在桥的两端;而桥墩设置在中间部分。桥墩两侧均为上部结构,而桥台一侧为上部结构,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,抵御路堤的土压力和防止路堤滑塌等作用。

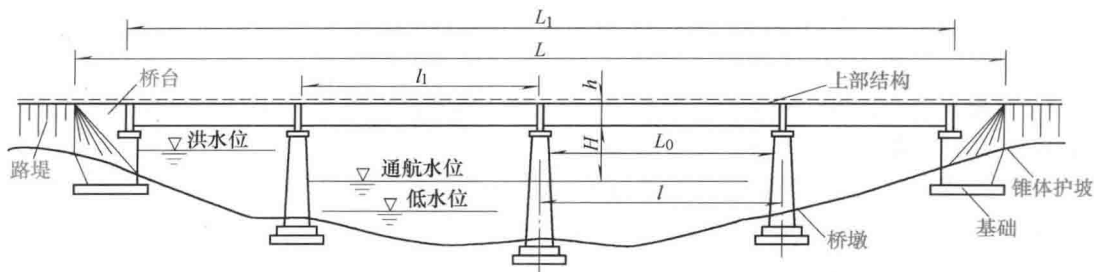


图 1-1 梁式桥的基本组成

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，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，对桥梁结构的安全使用起着举足轻重的作用。这部分是桥梁施工中最复杂、难度最大的结构部分，也是确保桥梁安全的关键之一。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) 桥梁支座 设在墩台顶，用于支承上部结构的传力装置，将桥跨结构上的恒载与活载反力传递到桥梁的墩台，同时保证上部结构所要求的位移与转动，以便使结构的实际受力情况与计算的理论图式相符合。

(4) 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：

(1) 标准跨径 对于梁式桥或板式桥，是指两相邻桥墩中线之间的距离，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。根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》^①：当标准设计或新建桥涵的跨径在 50m 以下时，宜采用标准跨径。桥涵标准跨径规定为 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。铁路桥梁的标准跨径为 4~160m，共 18 级，常用的有 16m、20m、24m、32m、48m、64m、96m 等。

(2) 计算跨径 对于具有支座的桥梁，是指桥跨结构相邻两个支座中心之间的水平距离，用 l_1 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，是指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。

(3) 净跨径 对于梁式桥，是指设计洪水位上两个相邻桥墩（台）之间的净距，以 L_0 表示（图 1-1）；对于拱式桥，是指每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离，用 l_0 表示（图 1-2）。

(4) 总跨径 是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，有桥台的桥梁为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。

① 本书如未做特殊说明，《公路桥涵设计规范》均指 2015 版现行规范。

(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 是为满足通航(或行车、行人)的需要和保证桥梁安全,对上部结构底缘以下规定的空间界限,以 H 表示。

(8) 桥梁建筑高度 桥面(铁路桥梁的轨底)到桥跨结构最下缘之间距离,以 h 表示。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 拱式桥从拱顶截面下缘至相邻两拱脚截面下缘最低点之连线的垂直距离,以 f_0 表示(图 1-2)。

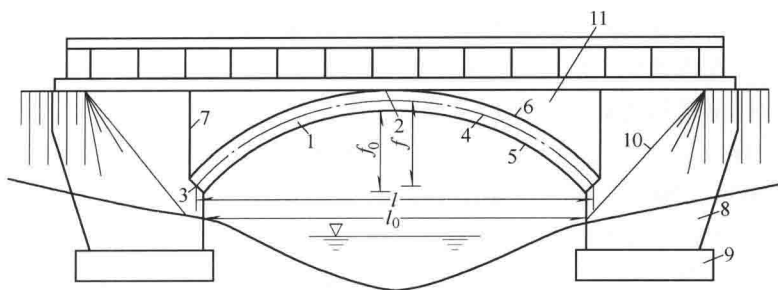


图 1-2 拱桥的基本组成

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

(10) 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 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。

《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	不作规定

《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。例如,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 的称大桥;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) 的称特大桥。

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. 桥梁的基本体系

这是根据桥梁的结构形式及其受力特点来分类的,可分为梁式桥、拱式桥和悬索桥(或称为吊桥),简称为“梁、拱、吊”三大基本体系。另外,有上述三大基本体系相互组合,在受力上形成具有组合特点的桥型,如刚架桥、斜拉桥及系杆拱桥等。

下面分别阐述各种桥梁体系的主要受力特点和适用场合。

(1) 梁式桥 梁式桥(图 1-3)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,通常采用抗弯、抗拉能力强的材料(钢、钢筋混凝土材料等)来建造;计算跨径大于 25m 时,更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跨间支座上负弯矩的存在,使其各跨跨中的弯矩减小,由此提高了其跨越能力,为了改善受力条件和使用性能,当地质条件较好时,中小跨径均可修建连续梁桥。对于大跨径和特大跨径的梁桥,可采用预应力混凝土、钢和钢-混凝土组合梁桥。

(2) 拱式桥 拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋(图 1-4)。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。通常就可用抗压能力强,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拱式桥。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。

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。

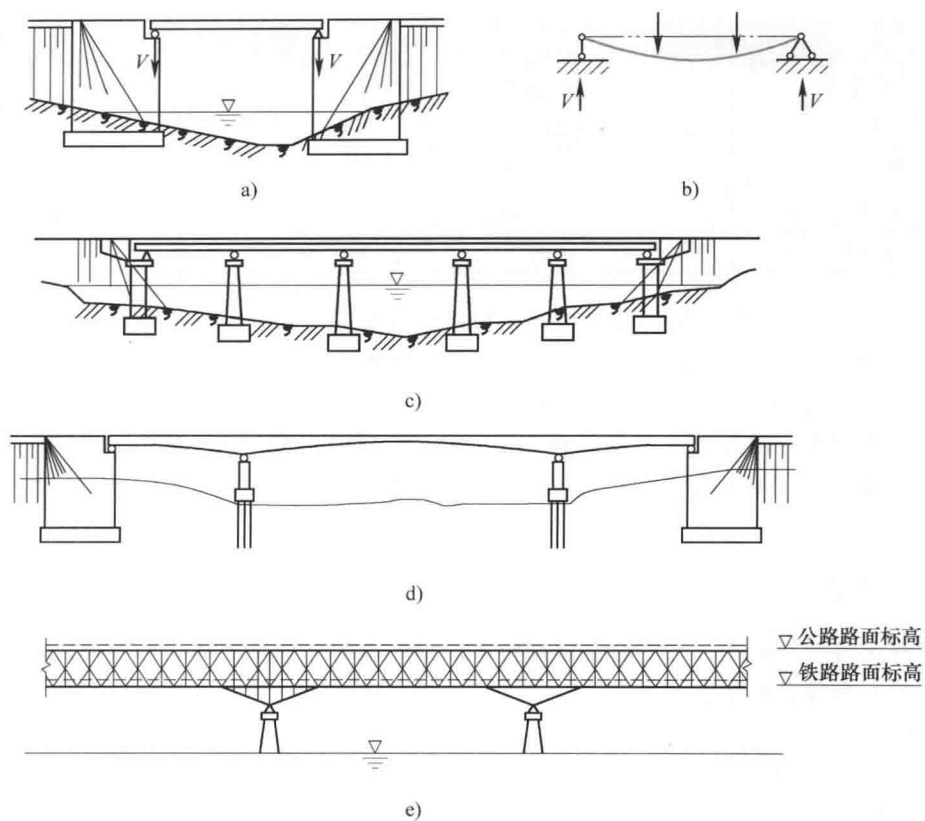


图 1-3 梁式桥

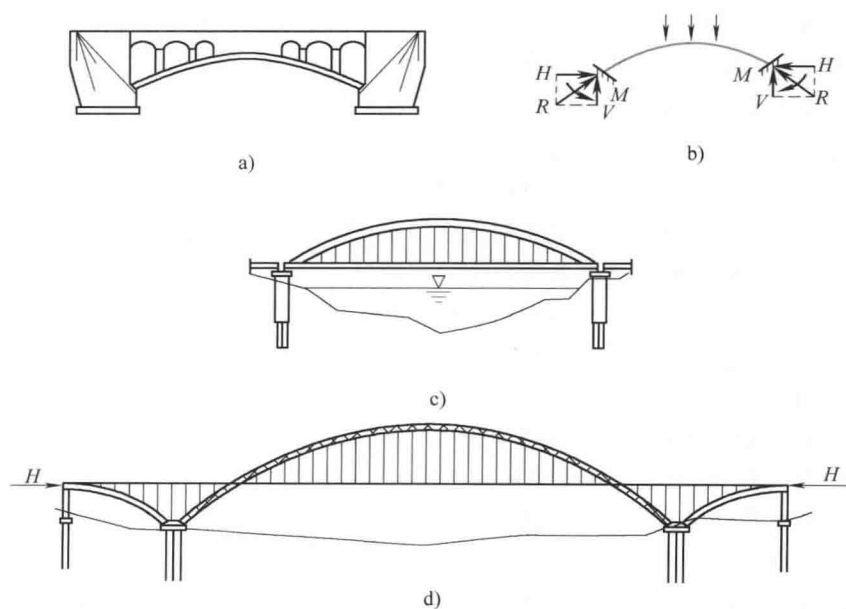


图 1-4 拱式桥

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的作用。一般应选择地质条件好的地域修建拱桥。

当然,在地质条件不适合修建具有很大水平推力的拱桥的情况下,也可采用无水平推力的系杆拱桥,如图 1-4c 所示,其水平推力由系杆承受,系杆可由预应力混凝土、钢等制作。另外,也可修建近年来发展起来的水平推力很小的“飞雁式”三跨自锚式系杆拱桥,如图 1-4d 所示,即在边跨的两端施加强大的水平推力 H ,通过边跨拱传至拱脚,以抵消主跨拱脚处的水平推力。

(3) 刚架桥 刚架桥的主要承重结构是梁或板和立柱或竖墙整体结合在一起的刚架结构。由于梁和柱两者之间是刚性连接,在竖向荷载作用下,将在主梁端部产生负弯矩,在柱脚处产生水平反力,梁和柱的横截面均作用有弯矩、剪力和轴力。梁以受弯为主,但其弯矩较同跨径的简支梁小,跨中截面尺寸也可相应减小,从而降低其建筑高度,使刚架桥的跨径增大,提高其跨越能力;柱为压弯组合构件。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结处较易产生裂缝,所以设计时要多配构造钢筋避免裂缝的产生。图 1-5a 所示的门式刚架桥,其受力状态介于梁桥与拱桥之间,如图 1-5b 所示,由于是超静定结构,由于混凝土收缩、徐变、温度变化或基础的不均匀沉降,其内部将会产生较大的附加应力,设计和施工时也必须考虑到这一点。

除了门式刚架桥外,对于大跨径桥梁可采用 T 形刚架桥,如图 1-5c 所示,它属于静定

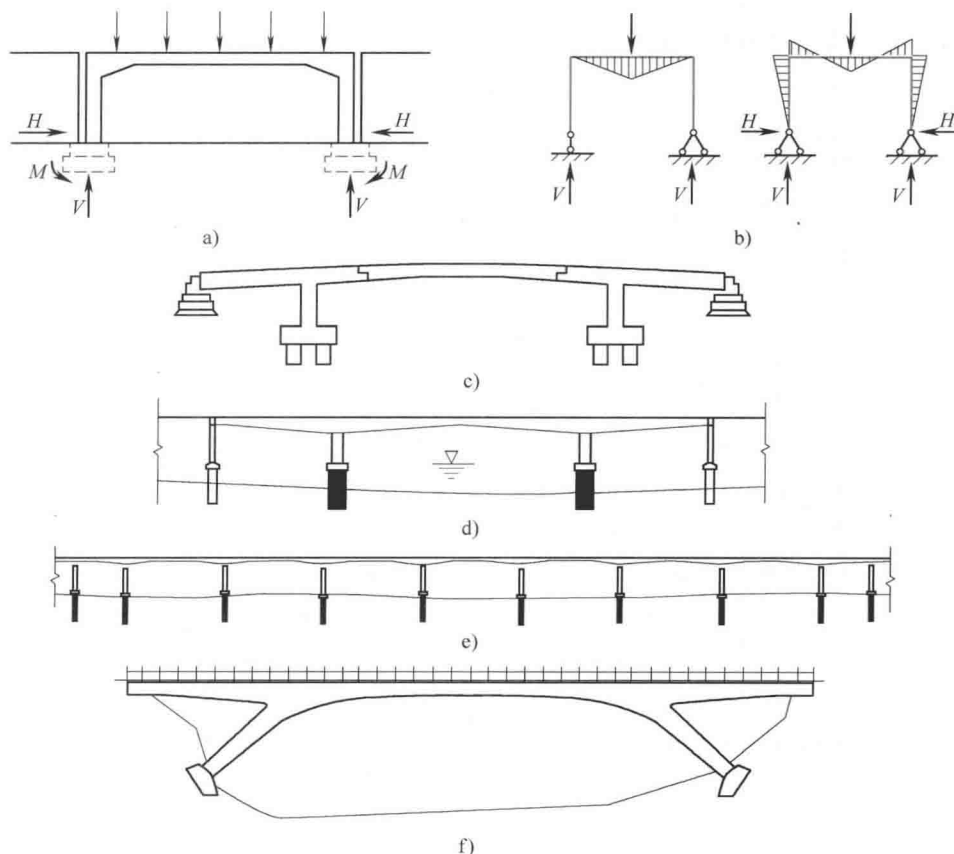


图 1-5 刚架桥

或低次超静定结构。它是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，在剪力铰或挂梁处使行车不舒适，目前采用这种桥型的不多。为了克服上述桥型的缺点，可采用连续刚架桥，如图 1-5d 所示；也可做成刚构-连续组合体系桥型，如图 1-5e 所示。当跨越高速公路、陡峭河岸和深谷时往往采用斜腿刚架桥，如图 1-5f 所示。

(4) 悬索桥 悬索桥也称为吊桥，是指以主缆索为主要承重构件的桥梁结构，如图 1-6 所示，其主要承重结构包括基础、桥塔、锚碇、主缆索、吊索、加劲梁及桥面结构等。在桥梁设计时，当需要桥梁跨径在 600m 及以上时，总是首选悬索桥这一经典桥型。其主要原因是以高强钢丝作为主要承拉结构的悬索桥，具有跨越能力大、受力合理、最能发挥材料强度和造价经济等特点，同时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主缆索。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。现代悬索桥的主缆索用高强度的钢丝成股编制而成，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，结构的刚度差，在车辆动荷载作用下将产生较大的变形。例如，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的振动及稳定性问题在设计和施工中要给予高度重视。

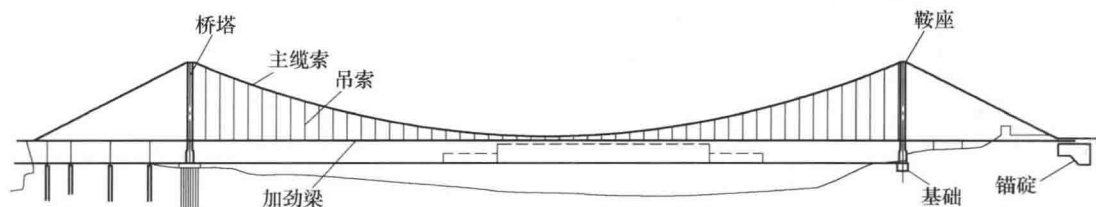


图 1-6 悬索桥

(5) 斜拉桥 斜拉桥是由塔柱、主梁和斜拉索等组成，如图 1-7 所示。斜拉桥实际上是梁式桥与吊桥的组合形式。它的主要受力特点是：斜拉索受拉力，将主梁多点吊起，并将主梁的恒载和车辆等其他荷载传至塔柱，再通过塔柱传至基础和地基。塔柱以受压为主。主要承重的主梁，由于斜拉索将主梁吊住，使主梁变成多点弹性支承的连续梁，由此减少主梁截面尺寸，增加桥跨跨径。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、正交异性钢板梁，以及计算机在结构分析中的广泛

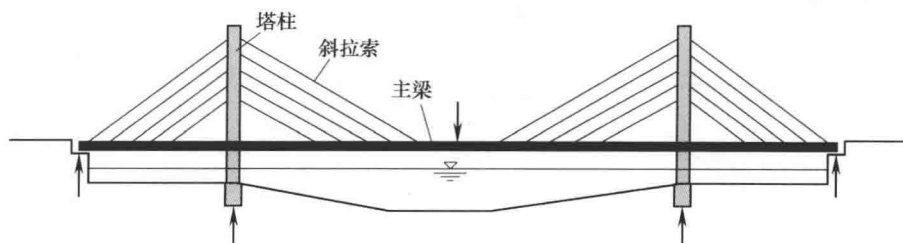


图 1-7 斜拉桥

应用,斜拉桥又蓬勃发展起来。其刚度大,造价低,很快在世界上推广,且跨度越来越大,日本多多罗桥跨径达 890m。我国从 2003 年开始修建,2008 年通车的苏通长江大桥跨径达到 1088m。如从经济上看,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,从而降低索防腐费用;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。

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) 按用途来划分,有公路桥、铁路桥、公铁两用桥、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,有圬工桥(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,木桥一般不用作永久性桥梁。

3) 按桥梁全长和跨径不同,分为特大桥、大桥、中桥和小桥。《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,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(如堆栈、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,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者称为上承式桥;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。不足之处是桥梁的建筑高度较大。

在建筑高度受严格限制的情况下,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) 按特殊使用条件分为开启桥、浮桥、漫水桥等。

除上述的桥梁分类方法外,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

在 17 世纪中期以前,生产力落后,没有动力机械,用于桥梁建筑的材料基本上是木材、砖、石、土等,桥梁的跨径也都比较小。到了 18 世纪,第一次工业革命出现了蒸汽机和动力机械等,生产力得到了较大发展。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。到了 20 世纪,随着钢筋混凝土的应用,以及 20 世纪 30 年代预应力混凝土技术及高强度钢材的出现,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,从而极大地推动了桥梁的发展,我们称之为桥梁建筑的第二