

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

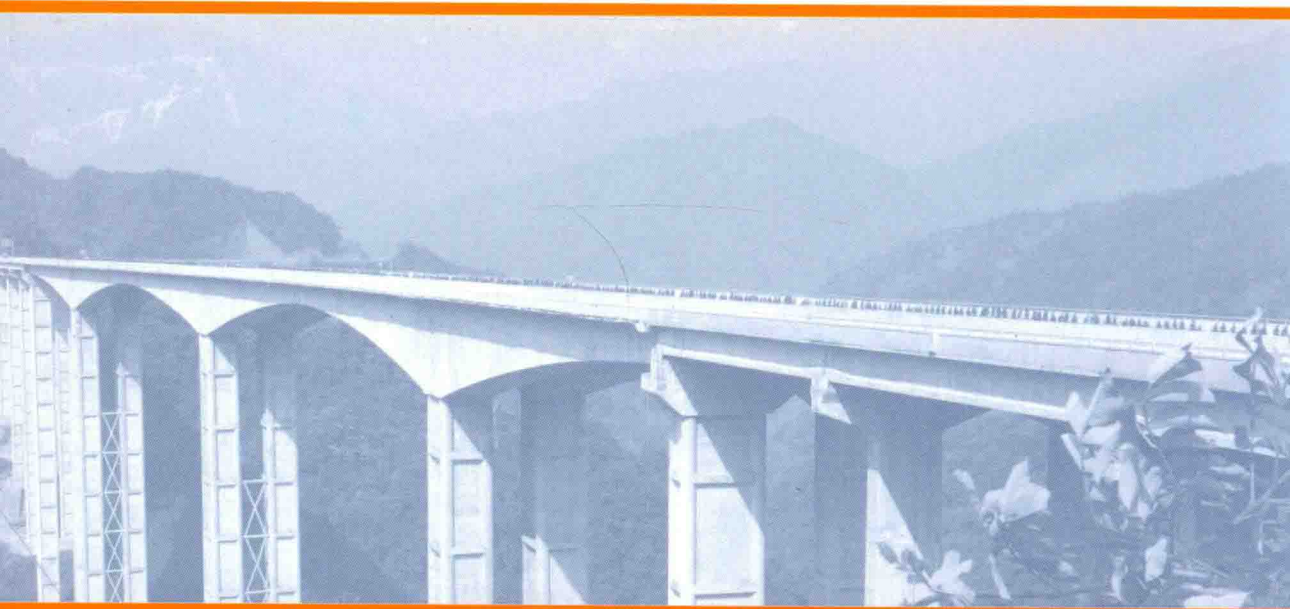
桥梁工程

Bridge Engineering

(第四版)

邵旭东 主编

顾安邦 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

Bridge Engineering

桥梁工程

(第四版)

(土木工程、交通工程、道路桥梁与渡河工程专业用)

邵旭东 主编

顾安邦 主审



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

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. — 4版. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.3

ISBN 978-7-114-12823-3

I. ①桥… II. ①邵… 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028768号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名: 桥梁工程(第四版)(土木工程、交通工程、道路桥梁与渡河工程专业用)

著 者: 邵旭东

责任编辑: 曲 乐 卢俊丽

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 39.5

插 页: 1

字 数: 967千

版 次: 2004年1月 第1版

2007年2月 第2版

2014年6月 第3版

2016年3月 第4版

印 次: 2016年3月 第1次印刷 总第20次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12823-3

定 价: 65.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员: 沙爱民 (长安大学)

副主任委员: 梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员: (按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴卫国 (武汉理工大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

黄亚新 (解放军理工大学)

符锌砂 (华南理工大学)

葛耀君 (同济大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长: 孙玺 (人民交通出版社股份有限公司)

第四版前言

本书是湖南大学编写的《桥梁工程》第四版,在第三版的基础上,作了如下修订:

1. 按照《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)、《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015),对所涉及的全部相关内容做了更新。

2. 根据近两年桥梁技术的新发展,修改了部分内容。

此版由邵旭东、邓富颢、李芳园修订。

书中若有错漏,敬请读者指正。

邵旭东

2016年元月

第三版前言

本书是湖南大学编著的《桥梁工程》第三版,在第二版的基础上,作了如下修改和补充:

1. 根据最近7年来桥梁技术的发展,更新了相关内容。
2. 按照《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007),重写了第五篇的部分内容。
3. 根据人民交通出版社的教材调研报告返回意见,修订了部分细节,并在每篇后增加了涉及本篇核心内容的若干思考题。
4. 补充了部分热点问题的分析和阐述,如大跨度预应力混凝土箱梁桥的开裂与下挠防治、桥墩防撞设计要点等。

樊伟博士生导师编写了新增的第五篇第一章第四节以及部分更新的桥例,张龙威更新了第一、五、六篇的部分内容,其余部分由邵旭东教授编写并全书修正定稿。朱平、熊满华、吴佳佳、管亚萍、孔令方、黄细军、郑晗、李召辉、张士红、彭勃校订了部分书稿。

刘安双、张欣提供了部分资料,在此表示感谢。

书中若有差错之处,敬请读者指正。

编著者

2014年元月

第二版前言

本书是湖南大学编写的《桥梁工程》第二版,承蒙国内众多高校采用本教材,并提出了许多宝贵的意见,本次第二版在第一版的基础上,作了以下修订:

1. 根据桥梁技术的新发展,更新了部分相关内容。
2. 删除了部分属于研究生阶段学习的内容,如箱梁的扭转、畸变计算等。
3. 所有涉及桥梁设计规范的内容,除桥梁实例外,均以 2004 年及以后颁布的桥梁设计规范为准。

第二版主要编写人员如下:第一篇第一、二章和第四篇由邵旭东编写;第一篇第三章由彭旺虎编写;第一篇第四章和第二篇第一、二、三、六、九章由金晓勤编写;第二篇第五、七、八章和第三篇第四章由程翔云、刘志文编写;第二篇第四章由程翔云、邵旭东编写;第三篇第一、二、三、五章由赵华、张志田编写;第五篇由晏班夫、赵华编写;第六篇由李立峰、邵旭东编写,周里鸣和夏红波修订了部分算例。全书由邵旭东教授修正定稿,由重庆交通大学顾安邦教授主审。

同济大学陈艾荣教授、东南大学叶见曙教授、浙江大学项贻强教授和长沙理工大学颜东煌教授对本书第二版修订提出了很多好的建议,特致谢忱!

编者

2007 年元月

第一版前言

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订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

目 录

第一篇 总 论

第一章 概述	3
第一节 桥梁的基本组成和分类	3
第二节 桥梁发展动态	10
第二章 桥梁的总体规划设计	25
第一节 桥梁设计的基本原则	25
第二节 桥梁平、纵、横断面设计	26
第三节 桥梁设计与建设程序	31
第四节 桥梁设计方案的比选	33
第三章 桥梁上的作用	36
第一节 永久作用	37
第二节 可变作用	37
第三节 偶然作用与地震作用	47
第四节 作用效应组合	48
第四章 桥面布置与构造	52
思考题	62

第二篇 混凝土梁桥和刚架桥

第一章 概述	65
第二章 混凝土梁式桥构造与设计要点	67
第一节 板桥的构造	67
第二节 简支梁桥的构造	72
第三节 悬臂体系和连续体系梁桥的构造	78
第四节 无缝桥梁的构造	99
第三章 混凝土简支梁桥的计算	104
第一节 桥面板计算	104
第二节 主梁内力计算	111
第三节 横隔梁内力计算	123
第四节 挠度、预拱度的计算	127
第四章 混凝土悬臂体系和连续体系梁桥的计算	130
第一节 结构恒载内力计算	130
第二节 箱梁剪力滞效应计算的有效宽度法	137

第三节	活载内力计算	143
第四节	预应力效应计算的等效荷载法	154
第五节	混凝土徐变次内力计算的换算弹性模量法	159
第六节	混凝土收缩次内力计算	170
第七节	基础沉降次内力计算	171
第八节	温度次内力和自应力计算	171
第九节	悬臂施工时挠度和预拱度计算	178
第十节	主梁下挠、开裂的原因和对策	181
第五章	刚架桥简介	186
第一节	门式刚架桥	186
第二节	斜腿刚架桥	189
第六章	梁式桥的支座	197
第一节	常用支座的类型和构造	197
第二节	支座的布置	201
第三节	支座的计算	202
第七章	混凝土斜、弯梁桥简介	208
第一节	斜梁桥	208
第二节	弯梁桥	226
第八章	混凝土梁桥的施工	240
第一节	就地现浇的钢筋混凝土简支梁桥施工	241
第二节	预制钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁桥施工	246
第三节	悬臂体系和连续体系梁桥的施工	256
第九章	梁式桥实例	264
第一节	简支—连续梁桥实例——大登Ⅲ号大桥简介	264
第二节	变截面连续梁桥实例*——湖南白沙大桥简介	267
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	271
第四节	重庆石板坡长江大桥复线桥	275
思考题	279

第三篇 混凝土拱桥

第一章	概述	283
第一节	拱桥的主要特点	283
第二节	拱桥的组成及主要类型	284
第二章	拱桥的构造及设计	290
第一节	上承式拱桥的构造与设计	290
第二节	中、下承式钢筋混凝土拱桥的设计与构造	313
第三节	拱式组合体系桥的设计与构造	321
第三章	拱桥的计算	327
第一节	上承式拱桥的计算	327

第二节	中、下承式钢筋混凝土拱桥计算	353
第三节	其他类型拱桥的计算特点	358
第四章	拱桥的施工	368
第一节	混凝土拱桥施工方法简介	368
第二节	上承式拱桥的有支架施工	373
第三节	上承式拱桥缆索吊装施工	378
第四节	中、下承式拱桥的施工	382
第五节	拱式组合体系桥的施工要点	386
第五章	实例	390
第一节	四川金沙江大桥	390
第二节	广州丫髻沙大桥	394
第三节	四川万县长江大桥	397
第四节	浙江苏嘉河桥	401
第五节	重庆朝天门大桥	405
思考题	410

第四篇 混凝土斜拉桥

第一章	总体布置	413
第一节	概述	413
第二节	孔跨布局	414
第三节	索塔布置	416
第四节	拉索布置	418
第五节	主要结构体系	419
第二章	斜拉桥的构造	424
第一节	主梁的构造	424
第二节	索塔	429
第三节	拉索	431
第三章	斜拉桥的计算	438
第一节	结构分析计算图式	438
第二节	斜拉索的垂度效应计算	439
第三节	索力的初拟和调整	440
第四节	温度和徐变内力计算	445
第五节	非线性问题的计算	446
第四章	斜拉桥的施工	448
第一节	主梁施工方法	448
第二节	索塔施工要点	451
第三节	拉索施工	455
第五章	实例	458
第一节	铜陵长江公路大桥	458
第二节	赤石大桥	461

第三节 武汉白沙洲长江公路大桥	464
第四节 苏通长江公路大桥	466
第五节 日本多多罗大桥	470
思考题	472

第五篇 桥梁墩台

第一章 桥梁墩台的设计和构造	477
第一节 概述	477
第二节 梁桥墩台	478
第三节 拱桥墩台	492
第四节 桥墩防撞设计要点	497
第二章 桥梁墩台计算	504
第一节 作用及其效应组合	504
第二节 重力式桥墩计算与验算	507
第三节 桩柱式桥墩计算	512
第四节 柔性排架墩计算	513
第五节 桥台计算	521
思考题	526

第六篇 桥梁结构分析计算机方法

第一章 绪论	529
第一节 有限单元法概述	529
第二节 两个问题的基本算法	531
第二章 简支梁桥横向分布影响线通用计算	545
第一节 概述	545
第二节 基本原理	545
第三节 计算机方法	549
第四节 总框图和源程序	556
第五节 算例	564
第三章 桥梁结构分析的有限元法	568
第一节 桥梁结构分析的杆系有限元法	568
第二节 桥梁结构分析的内容和特点	576
第三节 桥梁结构分析的建模方法	579
第四章 计算实例	583
第一节 连续梁桥	583
第二节 连续刚构	588
第三节 拱桥	595
第四节 斜拉桥	603
参考文献	610

PART 1 | 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。

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。各种横跨长江、黄河等大江大河的特大型桥梁,以及功能齐全、造型美观的立交桥、高架桥,如雨后春笋般建成。目前全国公路桥梁已达 70 余万座,随着总规模达 8.5 万公里的国家高速公路网“7918”工程的实施,几十公里长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟工程将摆在我们面前。例如 2009 年 12 月开工建设的港珠澳大桥,东接香港特别行政区,西接广东省(珠海市)和澳门特别行政区,全长约 35.6km,将形成连接珠江东西两岸新的公路运输通道,港珠澳大桥对于促进香港、澳门和珠江三角洲西岸地区经济的进一步发展具有重要的战略意义。

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。

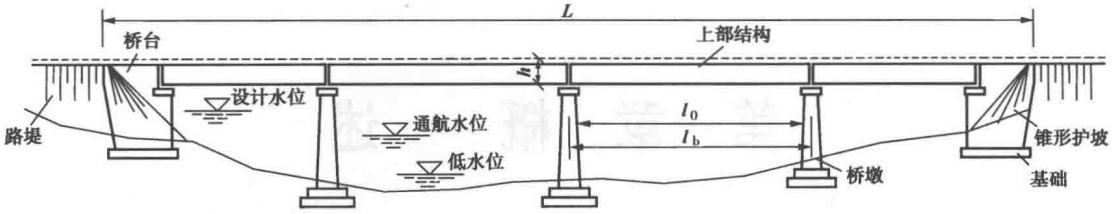


图 1-1-1 梁式桥概貌

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在设计洪水水位线上相邻两墩、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(图 1-1-1 和图 1-1-2)。

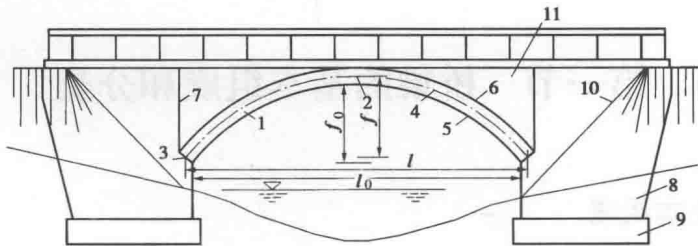


图 1-1-2 拱桥概貌

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高程,与通航(或桥下通车、人)净空界限顶部高程之差,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《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)(以下简称《桥规 JTG D60》)规定了特大、大、中、小桥按总长和跨径的划分,见表 1-1-1。

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	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$

注:1. 单孔跨径系指标准跨径。

2. 梁式桥、板式桥的多孔跨径总长为多孔标准跨径的总长;拱式桥为两岸桥台内起拱线间的距离;其他形式桥梁为桥面系行车道长度。

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,其他桥型为 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[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他结构体系相比,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