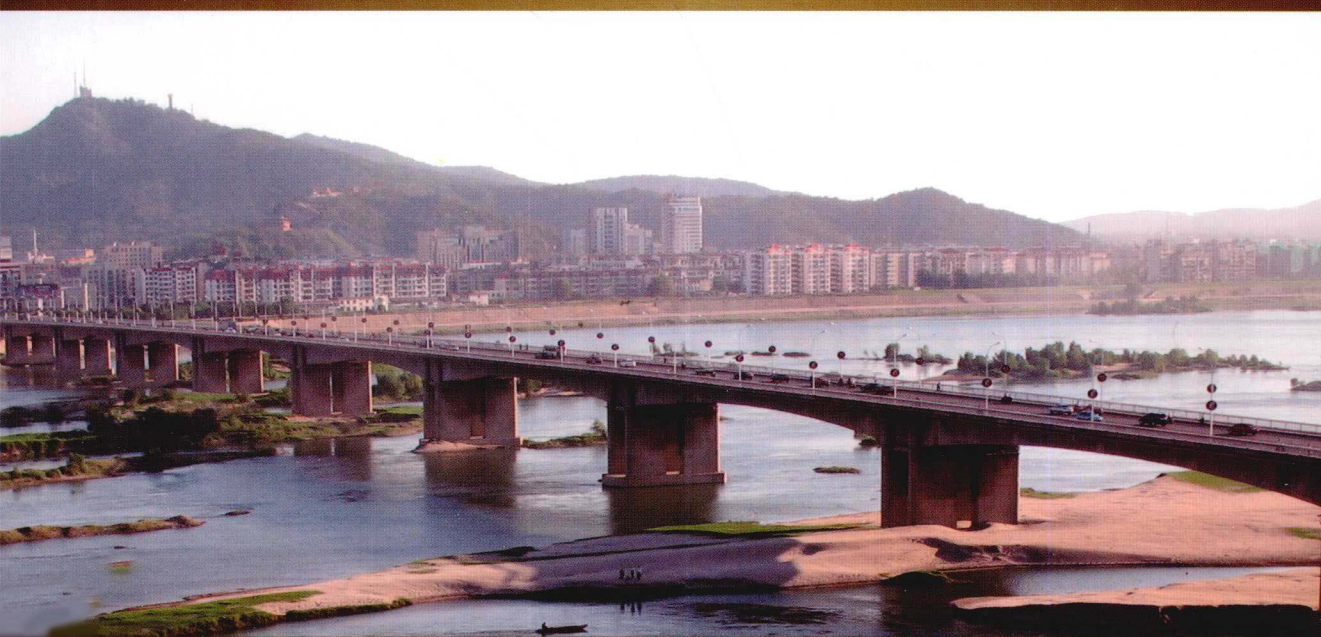


桥涵工程 设计与实例

● 李继业 主编

● 张建刚 钱淑香 刘 栋 副主编



化学工业出版社

桥涵工程设计与实例

李继业 主 编
张建刚 钱淑香 刘 栋 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书介绍了桥涵工程设计与实例的相关知识。具体内容包括桥涵工程设计概述,桥涵的总体规划与设计,混凝土桥涵结构的设计原理,梁式混凝土桥的设计,混凝土拱式桥的设计,悬臂和连续体系梁桥设计,悬索桥的设计,斜拉桥的设计,涵洞的设计,桥面布置与构造,桥梁墩台的构造与设计。

本书具有实用性强、技术先进、通俗易懂、使用方便等特点,可供路桥工程设计单位的设计人员、管理人员参考,也可供高等学校路桥专业的师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

桥涵工程设计与实例/李继业主编. —北京:化学工业出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-122-09363-9

I. 桥… II. 李… III. 桥涵工程-设计 IV. U442.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 164500 号

责任编辑:刘兴春

文字编辑:颜克俭

责任校对:蒋宇

装帧设计:周遥

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张21½ 字数578千字 2011年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前 言

21 世纪是我国国民经济发展的关键时期，也是全面推进交通新的跨越式发展的关键时期。随着国民经济的持续、稳定、快速、健康发展，公路交通建设和城市道路基础设施建设，均以前所未有的规模、标准与速度向前推进，在公路与桥梁设计和施工方面的新材料、新工艺、新技术、新设备和新标准，也得到了广泛的采用，大大促进了我国公路与桥梁建设事业的现代化进程。

根据我国的基本国情，我国提出了公路交通发展的宏伟蓝图，当时预计 2010 年前全国公路通车里程将达到 230 万公里，高速公路总里程达到 5 万公里，基本建成西部 8 条省际通道，东部地区基本形成高速公路网，国省干线公路等级全面提高，农村公路交通条件得到明显改善。再经过 15 年的努力，全国公路总里程将达到 300 万公里，高速公路总里程达到 7 万公里以上，基本形成国家高速公路网。

我国国民经济、科学技术的发展和综合国力的提高，有力地促进了我国交通运输事业飞速发展，使我国建成了不同结构形式的公路简支梁桥、悬索桥、斜拉桥、拱式桥、连续刚架桥等。公路桥梁工程作为交通建设的重要组成部分，在加快公路桥梁建设的同时，必须依靠科学技术，科学地进行施工组织和质量控制，这样才能确保所建桥梁在运营期的安全可靠。

桥梁是公路工程确保交通畅通的生命线，其承载能力和通行能力是沟通全线的关键。桥梁工程的设计质量、安全紧系国计民生。桥梁工程的美观、耐用体现了施工技术工艺水平，这也是每一个桥梁建设者的追求，对于每一座桥梁都需要一丝不苟地、精心地进行设计。

交通部（现交通运输部）颁布的《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）、《公路圬工桥涵设计规范》（JTG D61—2005）、《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63—2007）、《公路桥梁抗风设计规范》（JTG/T D60-01—2004）等，为桥梁事业的健康发展制定了具体标准和规定。

本书结合桥梁工程设计实际，采用最新规范和最新标准，以桥梁工程设计应用和实践为主题，特别强调桥梁工程的设计理论和应用。因此具有实用性强、技术先进、通俗易懂、使用方便等特点，是桥梁工程设计和施工单位非常实用的技术书，也是高等院校公路与桥梁工程及相关专业的辅助教材。

本书由李继业担任主编，由张建刚、钱淑香、刘栋担任副主编，高树清、林建军、张玉民、吴军参加了编写。李继业负责全书的统稿，张建刚负责资料的收集，钱淑香负责全书的校对，刘栋负责工程实例的收集。

本书的具体分工为：张建刚编写第三章；钱淑香编写第一章、第十一章；刘栋编写第五章、第十章；高树清编写第四章；林建军编写第六章、第八章；张玉民编写第二章、第九章；吴军编写第七章。

在本书编写过程中，我们参考了很多专家的成果，在此我们表示衷心的感谢。由于编者水平有限，不足和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 7 月

目 录

第一章 桥涵工程设计概述	1
第一节 桥涵工程的地位和作用	1
第二节 桥涵的结构组成与分类	2
一、桥涵的组成	2
二、桥涵的分类	3
三、桥梁设计时的术语	8
第三节 桥涵建设成就与发展趋势	9
一、桥梁的发展历史	9
二、我国桥梁发展与现状	13
第二章 桥涵的总体规划与设计	18
第一节 桥涵总体规划 and 建设程序	18
一、桥涵设计的前期工作	18
二、桥涵设计的基本程序	19
第二节 桥涵结构设计的一般原则	19
一、桥涵设计的基本原则	19
二、桥梁设计的基本要求	20
三、外业设计的要求	21
第三节 桥涵设计的主要内容	22
第四节 桥涵设计方案的选择	26
一、桥涵设计方案比选步骤	26
二、桥梁设计方案比选实例	27
第三章 混凝土桥涵结构的设计原理	29
第一节 我国公路桥涵设计规范的计算原则	29
一、结构功能的要求	29
二、极限状态设计表达式	30
三、桥梁上的作用	32
四、作用的代表值与作用效应组合	40
第二节 钢筋混凝土受弯构件的计算	42
一、梁和板的一般构造	42
二、正截面受弯承载力计算	45
三、斜截面受剪承载力的计算	48
四、钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形验算	49
第三节 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	54
一、矩形截面纯扭构件的计算	54
二、弯、剪、扭构件的配筋计算	55
三、T形、I形和箱形截面受扭构件	57
第四节 钢筋混凝土受压构件承载力计算	58
一、轴心受压构件正截面承载力计算	58

二、偏心受压构件正截面承载力计算	60
三、矩形截面偏心受压构件构造要求	66
第五节 钢筋混凝土构件承载力计算示例	67
一、钢筋混凝土受弯构件的计算示例	67
二、钢筋混凝土受扭构件的计算示例	77
三、钢筋混凝土受压构件的计算示例	78
第四章 梁式混凝土桥的设计	81
第一节 梁式混凝土桥概述	81
一、梁桥的主要类型及适用条件	81
二、钢筋混凝土与预应力混凝土梁桥的特点	83
第二节 板桥的设计与构造	84
一、板桥的类型和特点	84
二、简支板的构造组成	86
第三节 装配式简支梁桥设计与构造	90
一、装配式简支梁桥的构造类型与截面形式	90
二、装配式钢筋混凝土简支梁桥的构造特点	91
三、装配式预应力混凝土简支梁桥构造特点	96
第四节 简支梁桥的计算	99
一、桥面板的计算	100
二、主梁内力的计算	105
三、横隔梁内力计算	106
四、挠度与预拱度计算	109
第五节 梁式桥支座设计与选用	110
一、支座的布置形式	110
二、支座类型和构造	111
三、支座设计与选用	113
第六节 梁式混凝土桥设计实例	116
一、桥面板的计算示例	116
二、某 T 形主梁的设计计算示例	117
三、简支梁中横隔梁的计算	121
第五章 混凝土拱式桥的设计	124
第一节 混凝土拱式桥概述	124
一、拱桥的类型与选型	124
二、拱桥基本组成与选择	128
三、拱桥的总体布置	129
第二节 拱桥的构造与设计	133
一、拱桥的构造	133
二、拱桥横截面设计	138
第三节 拱桥的结构计算	141
一、拱轴方程的建立	142
二、拱桥的内力计算	145
三、主拱强度与稳定性验算	153
第四节 混凝土拱桥设计实例	157

一、设计基本资料·····	157
二、主拱圈截面尺寸的拟定及几何特性计算·····	157
三、拱轴系数的确定·····	158
四、荷载组合及拱圈强度验算·····	165
五、桥墩强度及稳定性验算·····	166
第六章 悬臂和连续体系梁桥设计 ·····	168
第一节 悬臂和连续体系梁桥的设计·····	168
一、悬臂和连续体系桥梁的特点·····	168
二、悬臂梁桥和连续梁桥的立面设计·····	169
三、悬臂和连续体系梁桥的横断面设计·····	172
第二节 主梁预应力筋的布置·····	174
一、纵向预应力筋的布置·····	175
二、横向和竖向预应力筋的布置·····	176
第三节 其他构造的布置·····	177
一、横隔梁的布置与构造·····	177
二、牛腿的布置与构造·····	178
第四节 悬臂和连续体系梁桥计算要点·····	179
一、恒载内力计算·····	179
二、活载内力计算·····	182
三、预应力混凝土连续梁桥次内力计算·····	185
四、桥梁的内力组合及包络图·····	192
五、桥梁牛腿部分的计算要点·····	192
第五节 悬臂梁桥与连续梁桥实例·····	193
第七章 悬索桥的设计 ·····	197
第一节 悬索桥的概述·····	197
第二节 悬索桥的基本类型·····	198
一、按主缆的锚固形式不同分类·····	198
二、按孔跨的布置形式不同分类·····	199
三、按悬索桥的流派不同分类·····	200
第三节 悬索桥的总体布置·····	201
一、悬索桥的跨度比·····	201
二、悬索桥的垂跨比·····	201
三、悬索桥的宽跨比·····	202
四、悬索桥的高跨比·····	202
五、加劲梁支撑体系·····	202
第四节 悬索桥的基本构造·····	202
一、悬索桥的桥塔·····	202
二、悬索桥的锚锭·····	203
三、悬索桥的主缆·····	204
四、悬索桥的吊索·····	205
五、悬索桥的加劲梁·····	206
六、悬索桥的鞍座·····	207
第五节 悬索桥的设计与计算·····	208

一、悬索桥的设计要点	208
二、悬索桥的计算理论	208
三、悬索桥各组成部分设计	212
第六节 悬索桥的工程实例	224
第八章 斜拉桥的设计	240
第一节 斜拉桥的概述	240
一、斜拉索的主要特点	240
二、悬索桥与斜拉桥的比较	241
第二节 斜拉桥的总体布置与构造	242
一、斜拉桥的孔跨布置	242
二、斜拉索的布置与构造	244
第三节 斜拉桥的结构体系与分类	253
一、按塔、梁、墩之间的不同结合方式分类	253
二、按拉索的不同锚固方式分类	254
三、按斜拉桥索塔的高度不同分类	255
第四节 斜拉桥的设计计算要点	255
一、斜拉桥的设计要点	256
二、斜拉桥的计算图式	257
三、斜拉桥的非线性问题	257
四、斜拉桥的垂度效应计算	257
五、斜拉桥的内力分析	257
六、斜拉桥稳定性分析	258
七、斜拉桥的动力分析	259
第五节 斜拉桥的工程实例	259
一、工程概况	259
二、技术标准	259
三、主梁设计	260
四、索塔设计	260
五、斜拉索设计	261
六、斜拉索锚固设计	261
七、群桩基础设计	262
第九章 涵洞的设计	263
第一节 涵洞的类型及构造	263
一、涵洞的类型	263
二、涵洞的构造	264
第二节 涵洞的设计与计算	276
一、涵洞的勘测工作	277
二、涵洞的设计工作	278
三、涵洞基础的设计	281
四、涵洞的长度计算	285
第三节 涵洞的设计实例	287
第十章 桥面布置与构造	291
第一节 桥面组成与布置	291

一、桥面的组成	291
二、桥面的布置	291
三、桥面的构造	292
第二节 桥面的铺装	292
一、桥面铺装的作用	292
二、桥面铺装的类型	292
三、桥面横坡的设置	293
第三节 桥面防水与排水设施	293
一、桥面防水设施	294
二、桥面排水设施	294
第四节 桥面的伸缩缝	296
一、对桥梁伸缩缝的要求	296
二、桥面伸缩缝的类型	297
三、桥面连续构造	300
第五节 桥面其他附属设施	300
一、人行道和安全带	301
二、栏杆与护栏布置	302
三、照明灯柱的布置	304
第十一章 桥梁墩台的构造与设计	306
第一节 桥梁墩台的概述	306
一、墩台的区别与要求	306
二、桥梁墩台的组成	306
三、桥梁墩台的发展趋势	307
第二节 桥墩的类型、构造与计算	307
一、桥墩的类型与构造	307
二、桥梁桥墩的计算	316
第三节 桥台的类型、构造与计算	320
一、梁桥桥台	320
二、拱桥桥台	325
三、桥台的计算	327
第四节 桥墩设计实例	329
一、桥墩设计资料	329
二、拟定桥墩尺寸	330
三、桥墩荷载计算	330
参考文献	336

第一章 桥涵工程设计概述

我国是有着悠久历史的伟大国家，幅员辽阔，地形西高东低，河道纵横交错，有著名的长江、黄河和珠江等流域，这里孕育了中华民族，创造了灿烂的华夏文化。在历史的长河中，中华民族建设了数以千万计的桥梁，成为华夏文化的重要组成部分。中国古代桥梁的辉煌成就举世瞩目，曾在东西方桥梁发展史中占有崇高的地位，为世人所公认，被外国旅行家赞誉为奇妙的桥梁之乡。

第一节 桥涵工程的地位和作用

国内外经济建设实践证明，发展交通运输事业，建立四通八达的现代交通网，对于发展国民经济、促进民族团结和文化交流、提高国家经济实力等都具有非常重要的意义。桥梁和涵洞是交通运输中的重要组成部分，在公路、铁路、城市和农村道路以及水利等工程建设中，往往成为全线通车的关键。

桥涵是供汽车、火车、各种车辆和行人跨越障碍（河流、海湾、湖泊、山谷或其线路等）的建筑物，在学科上是土木工程的一个分支，在功能上是交通工程的连接结构；尤其是在国防、抢险救灾及应对突发事件方面，桥涵显示出是交通运输咽喉的作用，是抗震减灾、确保人民正常生活的生命线工程，具有其他工程不可替代的重要地位。

桥涵是随着历史的演进和社会的进步而逐渐发展起来的。综观近代历史，每当陆地交通工具（汽车、火车等）发生重大变化，对桥涵在载重、型式、跨度等方面提出新的要求时，便推动桥涵工程设计和施工技术的发展。桥涵科学技术的发展，必然会推动国民经济的发展，从而也必将推动社会物质文明的进步。

近年来，随着公路和铁路建设的发展，道路技术等级的不断提高，桥涵构造物在道路工程中所占比重越来越大，在山岭地区公路中，桥涵构造物投资所占比例能够达到全线的30%以上。桥涵构造物在公路全线建设中所处的地位越来越重要，桥梁构造物的安全和良好使用性能成为公路全线畅通的重要保证因素，因此，桥梁构造物的建设质量对整条公路的建设质量起着关键性的作用。

桥涵需要大量建造，而人力、物力和财力是有限的，不断提高技术水平，采用新结构、新材料、新工艺、新桥型，对桥涵结构进行更准确的数值分析，采用更精确的结构试验进行验证，以使桥涵建设的经济效益不断提高，建造出符合新时代要求的桥涵，已成为现代交通对桥涵工程提出的更高要求。桥涵构造物设计的优劣是控制工程造价、保证工程建设质量的首要决定因素，因此在公路建设中，桥涵设计的质量问题应当受到足够的重视。

随着科学技术的进步和经济、社会、文化水平的不断提高，也使人们对桥涵建筑提出了更高的要求。经过几十年的努力，我国的桥涵工程无论在建设规模上，还是在科学技术水平上，均已跻身于世界先进行列。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桥梁，如雨后春笋般相继建成。

2004年12月，《国家高速公路网规划》（以下简称规划）已经国务院审议通过，规划的出台标志着中国高速公路发展进入了新的历史阶段。规划确定的国家高速公路网采用放射线与纵横网格相结合的布局形态，构成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的公路交通大通道，包括7条首都放射线、9条南北纵向线和18条东西横向线，可以简称为“7918网”，总规模大约为8万5千公里。

《国家高速公路网规划》计划用 30 年的时间完成，前 20 年是规划的重点，前 20 年的前 10 年更是重中之重。2010 年前，年均投资大约在 1400 亿~1500 亿元人民币，每年增加 3000km 左右。2010 年以后到 2020 年之间，年均投资大约在 1000 亿元人民币。国家高速公路网规划建成后，可以形成“首都连接省会、省会彼此相通、连接主要地市、覆盖重要县市”的高速公路网络。

《国家高速公路网规划》的实施，标志着跨海湾、海峡特大桥梁的工程和数以万计的各类桥涵已经摆在我们面前，并逐渐开始建设。一幅桥涵建设的宏伟蓝图，已成为国民经济建设的重要组成部分。

第二节 桥涵的结构组成与分类

桥涵是交通工程中极其重要的组成部分，是跨越河流和山谷等不可缺少的连接建筑物。桥涵的作用不同，其结构组成也不相同。

一、桥涵的组成

桥涵分类采用两个指标，一个是单孔跨径，另一个是多孔跨径总长。桥涵的划分，无论有无填土，均以跨径大小为界：凡单孔跨径小于 5m 或多孔跨径总长小于 8m，一律称为涵洞。

（一）桥梁的组成

桥梁组成部分的划分与桥梁结构体系密切相关。常见的梁式桥如图 1.1 所示，通常由上部结构、下部结构和桥面结构三部分组成。

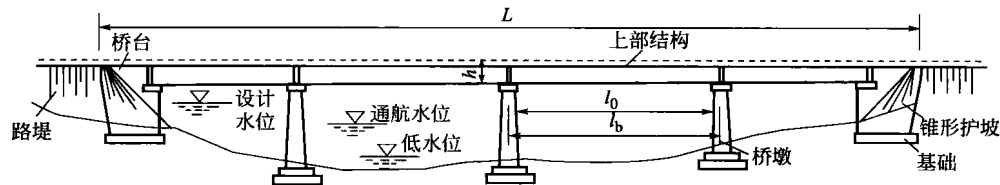


图 1.1 常见的梁式桥

1. 上部结构

桥梁的上部结构主要包括桥跨结构和支座系统两部分。桥跨结构是指桥梁中直接承受桥上交通荷载并且架空的部分；支座系统是指支撑上部结构并把荷载传递于桥梁的墩台上的部分。对于支座系统应满足上部结构在荷载、温度变化或其他因素作用下预计产生的位移大小。

2. 下部结构

桥梁的下部结构主要包括桥墩、桥台和墩台的基础，它是支撑上部结构、向下传递荷载的结构物。桥梁墩台的布置是与桥跨结构相对应的，桥台设在桥跨结构的两端，桥墩则设在两个桥台之间。桥台除了起到支撑和传力作用外，另外还起到与路堤衔接、防止路堤滑塌的作用。因此，通常需在桥台周围设置锥体护坡。

墩台基础是承受桥梁中由上至下的全部荷载作用（包括交通荷载和结构自重），并将其传递给地基的结构物。墩台基础通常埋入土层中或建筑在基岩之上，时常需要在水中施工，因此在设计和施工中遇到的问题比较复杂。

3. 桥面结构

桥面结构是与桥梁服务功能有关的部分。随着现代化、工业化水平的提高，人类的文明水平也随之提高，人们对桥梁行车的舒适性和结构物的观赏水平要求也愈来愈高，因此在桥梁设计中非常重视桥面构造。桥面结构主要包括：桥面铺装、排水防水、防撞栏杆、伸缩缝

和灯光照明等。

(1) 桥面铺装 桥面铺装又称车道铺装,指的是为保护桥面板和分布车轮的集中荷载,用沥青混凝土、水泥混凝土、高分子聚合物等材料铺筑在桥面板上的保护层。其作用是保护桥面板防止车轮或履带直接磨耗面,保护主梁免受雨水侵蚀,并借以分散车轮的集中荷载。桥面铺装的平整性、耐磨性、不翘曲、不渗水是保证行车舒适和耐久的关键。

(2) 排水防水 桥面排水防水系统是桥面结构中的重要组成部分,在降雨后应迅速排除桥面上的积水,并使渗水的可能性降至最小限度。城市桥梁的排水防水系统还应保证桥下无滴水 and 结构上无漏水现象。

(3) 防撞栏杆 防撞栏杆是一种交通安全基础设施,对减轻交通事故的严重度,排除各种纵、横干扰,提高道路的服务水平、提高视觉诱导、增强道路景观等都起到重要作用。因此,桥面上的防撞栏杆既是保证行车安全的构造措施,又是有利于观赏、表现桥梁特色的一个组成部分。

(4) 伸缩缝 伸缩缝在桥跨上部结构之间,或在桥跨上部结构与桥台端墙之间所设置的缝隙,以保证适应结构在各种因素作用下的变位。为使路面上行车顺适,不颠簸,在缝隙处设置伸缩装置。特别是大桥和城市桥梁的伸缩装置,不但要结构牢固、外观光洁,而且需要经常扫除掉入伸缩装置中的杂物,以保证伸缩装置的使用功能。

(5) 灯光照明 高等级公路上的灯光照明,是交通工程中非常重要的组成,是确保车辆安全、高速行驶的必要设施。尤其是在现代城市中,大型桥梁通常是一个城市的标志性建筑,大多数非常重视灯光照明系统的设计,并使其成为构成城市夜景的组成部分。

(二) 涵洞的组成

涵洞是设于路基下的排水孔道,通常由洞身、洞口建筑两大部分组成。

1. 涵洞洞身

洞身形成过水孔道的主体,它应当具有保证设计流量通过的必要孔径,同时又要求本身坚固而稳定。因此,洞身的作用一方面是保证水流通过,另一方面也直接承受荷载压力和填土压力,并将其传递给地基。

洞身通常由承重结构(如拱圈、盖板等)、涵台、基础以及防水层、伸缩缝等部分组成。钢筋混凝土箱涵及圆管涵为封闭结构,涵台、盖板、基础联成整体,其涵身断面由箱节或管节组成,为了便于排水,涵洞涵身还应有适当的纵坡,其最小坡度为 0.3%。

2. 洞口建筑

洞口是洞身、路基、河道三者的连接构造物。洞口建筑由进水口、出水口和沟床加固三部分组成。洞口的作用是:一方面使涵洞与河道顺接,使水流进出顺畅;另一方面确保路基边坡稳定,使之免受水流冲刷。沟床加固包括进出口调治构造物、减冲防冲设施等。

二、桥涵的分类

(一) 桥梁的分类

桥梁的分类方法很多,如按结构体系分类、按用途不同分类、按桥梁跨径分类、按建筑材料分类、按跨越障碍分类、按平面布置分类等,最常见的是按结构体系分类。

1. 按结构体系分类

按结构体系分类是以桥梁结构的力学特征为基本着眼点对桥梁进行分类,这样有利于把握各种桥梁的基本特点,也是桥梁工程设计掌握的重点。以主要的受力构件为基本依据,桥梁可分为梁式桥、拱式桥、刚架桥、斜拉桥、悬索桥五大类。

(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 1.2(a)、(b)所示。由于外力的作用方向与梁式桥承重结构的轴线接近垂直,与同样跨径的其他结构体系相比,梁式桥内产生的弯矩最大,因此,主梁为主要承重构件,受力特点为主梁受弯。建造

梁式桥需要用抗弯、抗拉能力较强的材料，主要材料为钢筋混凝土、预应力混凝土等。

梁式桥又可分为简支梁、悬臂梁、固端梁和连续梁等，悬臂梁、固端梁和连续梁都是利用支座上的卸载弯矩减少其跨中弯矩，使桥梁内的内力分配更加合理，以同等抗弯能力的构件断面建成更大路径的桥梁。

对于中、小跨径桥梁，目前在公路上应用最广泛的是钢筋混凝土简支梁，施工方法有预制装配和现场浇筑两种，一般其跨径在 25m 以下。当跨径较大时，需采用预应力混凝土简支梁。为了改善受力条件和使用性能，当地质条件较好时，小跨径的桥梁也可修建成连续梁桥，如图 1.2(c) 所示，我国修建的连续梁最大跨径已达 200m。

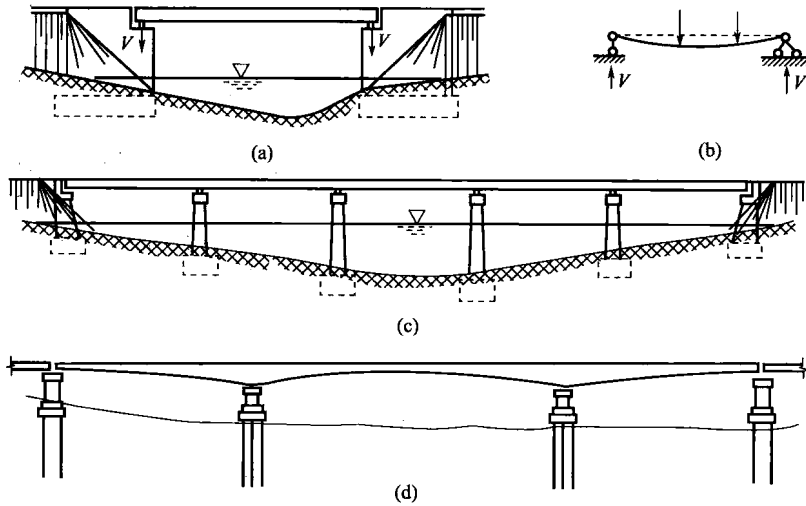


图 1.2 梁式桥组成示意

采用钢筋混凝土建造的梁式桥，不仅具有就地取材、工业化施工、耐久性好、适应性强、整体性好、造型美观等特点，而且这种桥型在设计理论及施工技术上都发展得比较成熟。但是，桥梁结构本身的自重大，约占全部设计荷载的 30%~60%，且跨度越大其自重所占的比值更显著增大，这样就大大限制了其跨越能力。

(2) 拱式桥 拱式桥在竖向荷载作用下，桥墩和桥台将承受较大的水平推力，拱桥的拱肋为主要承重构件，其受力特点为拱肋承压、支撑处有水平推力。由于水平反力的作用，大大抵消了拱肋（或拱圈）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，是一种受力合理的结构。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，适用范围视材料而定。

拱式拱跨越能力较大；与钢桥及钢筋混凝土梁桥相比，可以节省大量钢材和水泥；养护、维修费用少；外形比较美观；构造比较简单，有利于广泛采用。由于它是一种推力结构，对地基要求较高；对多孔连续拱桥，为防止一孔破坏而影响全桥，要采取特殊措施或设置单向推力墩以承受不平衡的推力，增加了工程造价；在平原区修拱桥，由于建筑高度较大，使两头的接线工程和桥面纵坡量增大，对行车极为不利。

拱可以分为单铰拱、双铰拱、三铰拱和无铰拱。按照行车道处于主拱圈的位置不同，拱桥可分为上承式拱桥、中承式拱桥和下承式拱桥 3 种，如图 1.3 所示。

(3) 刚架桥 刚架桥是一种介于梁桥与拱桥之间的结构体系，它是由桥跨结构和墩台结构整体相连的桥梁。其支柱与主梁共同受力，受力特点为支柱与主梁刚性连接，在主梁端部产生负弯矩，减少了跨中截面正弯矩，而支座不仅提供竖向力还承受弯矩。由于梁与柱的刚性连接，梁因柱的抗弯刚度而得到卸载作用，整个体系不仅成为压弯结构，同时也是推力

结构。

刚架分为直腿刚架与斜腿刚架。图 1.4(a) 所示的门式刚架桥，在竖向荷载的作用下，柱脚处具有水平反力，梁主要受弯，但弯矩值较同跨径的简支梁小，梁内还有轴向力，如图 1.4(b) 所示。刚架桥的桥下净空比拱桥大，在同样净空要求下可修建较小的跨径。刚架桥的主要材料为钢筋混凝土，适宜于中、小跨度的桥梁，常用于需要较大的桥下净空和建筑高度受到限制的情况，如立交桥、高架桥等。

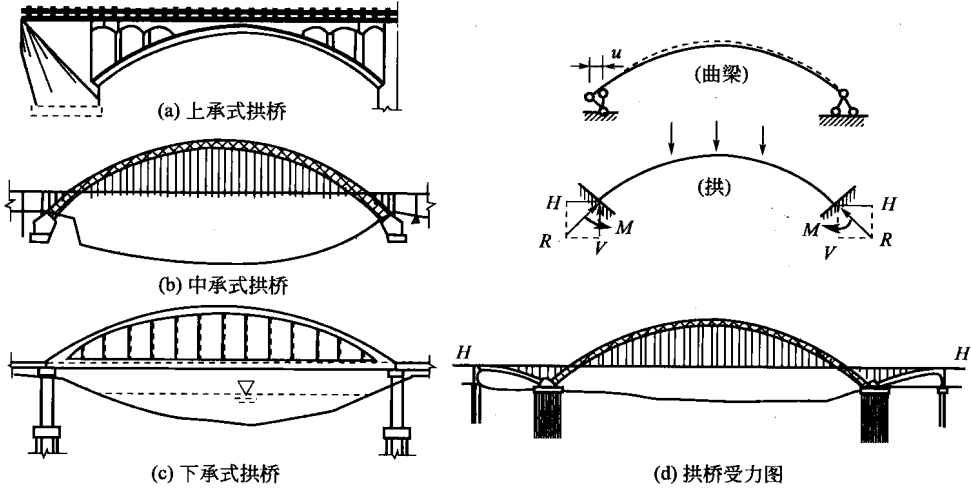


图 1.3 拱式拱类型及受力示意

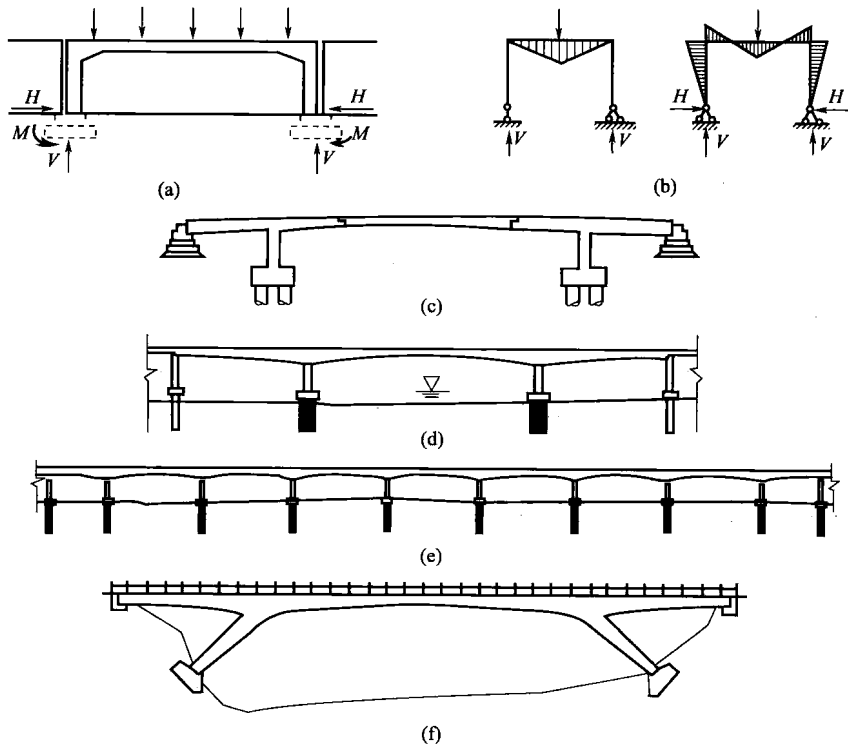


图 1.4 刚架桥受力及类型示意

当跨越陡峭河岸和深谷时，修建斜腿式刚架桥往往既经济合理又造型轻巧美观，如图 1.4(f) 所示。斜腿刚架的跨越能力比门式刚架桥要大得多，但斜腿部分的施工难度比较大。近年来，刚架桥采用预应力混凝土结构和悬臂施工法，在城市桥梁设计中也是有竞争力的方案，有的跨度已超过 300m。

刚架桥具有外形尺寸小、桥下净空大、桥空视野开阔、混凝土用量少、上部结构造价低等优点；但是刚架桥的基础造价较高，钢筋的用量较大，且会成为超静定结构，容易产生次内力，有的施工难度也比较大。

(4) 斜拉桥 斜拉桥是由承压的塔柱、受拉的斜索与承弯的梁体组合而成的一种结构体系，如图 1.5 所示。梁、索、塔为主要承重构件。其受力特点是斜索将主梁多点吊起，并将外荷载从梁传递到斜索，由斜索再传递到塔柱，再通过塔柱基础传至地基。

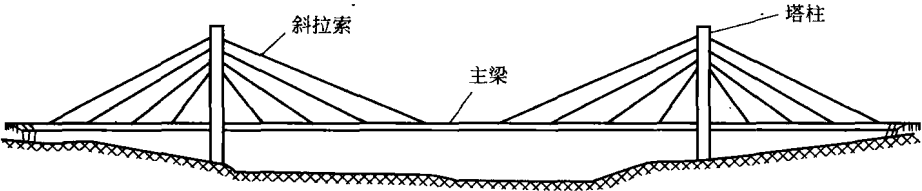


图 1.5 斜拉桥组成示意

主梁如同多点弹性支撑的连续梁，使主梁内弯矩大大减小，桥体结构自重显著减轻，从而可大幅度提高斜拉桥的跨越能力。由于同时受到斜索水平分力的作用，主梁截面的基本受力特征是偏心受压构件。此外，由于塔柱、拉索和主梁可以构成稳定的三角形，斜拉桥的结构刚度较大，世界最长跨径斜拉桥苏（州）（南）通大桥主跨跨径达 1088m。

斜拉桥的主要材料为预应力钢索、混凝土和钢材，特别适宜于中等或大型桥梁。具有梁体尺寸较小，使桥梁的跨越能力增大；受桥下净空和桥面标高的限制小；抗风稳定性优于悬索桥，且不需要集中锚碇构造；便于无支架施工等优点。但是，由于斜拉桥是多次超静定结构，计算非常复杂；斜索与主梁或塔的连接构造比较复杂；施工中高空作业较多，施工技术要求非常严格。

(5) 悬索桥 悬索桥也称为吊桥，其承载系统包括缆索、塔柱和锚碇三部分。主缆为主要承重构件，在桥面系竖向荷载的作用下，通过吊杆使缆索承受很大的拉力，缆索锚固于悬索桥两端的锚碇结构中，如图 1.6 所示。悬索桥的受力特点为外荷载从梁经过系杆传递到主缆，由主缆再到两端锚碇。

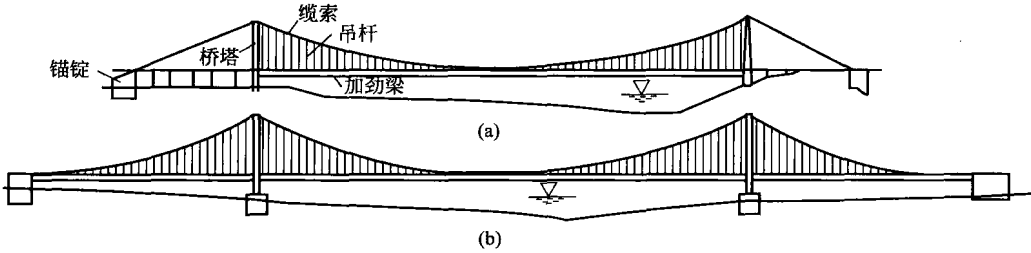


图 1.6 悬索桥组成示意

为了承受巨大的缆索拉力，锚碇结构需要做得很大（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）。由于缆索传至锚碇的拉力可分解为垂直和水平两个分力，因此，悬索桥也是具有水平反力（拉力）的作用。现代悬索桥广泛采用高强度的多股钢丝编织而成的钢缆，以充分发挥钢索高强度优良的抗拉性能。

悬索桥由于主要材料为预应力钢索、混凝土、钢材，特别适宜于大型及超大型桥梁。悬索桥以其受力均匀、跨越能力大、轻型美观、抗震性能好等优良特点，而成为跨越大江大河、海峡港湾的首选桥型。日本于 1998 年建成了世界最大跨度的明石海峡悬索桥，其主跨跨径达 1991m；在世界 10 大著名斜拉桥排名榜上，中国就有 6 座；跨度在 600m 以上的斜拉桥世界上仅有 6 座，中国就有 4 座。但是，悬索桥的整体刚度较小，抗风稳定性不佳；两端需要极大的锚锭，工程费用较高，施工难度较大。

(6) 组合体系

① T 形刚构与连续刚构。T 形刚构、连续刚构都是由梁和刚架相结合的体系，它们是预应力混凝土结构采用悬臂施工法而发展起来的一种新体系。结构的上部梁在墩上向两边采用平衡悬臂施工，首先形成一个 T 形的悬臂结构。相邻的两个 T 形悬臂在跨中可用剪力铰或跨径较小的挂梁连成一体，称为带铰或带挂梁的 T 形刚构。如果在结构跨中采用预应力筋和现浇混凝土区段连成整体，即成为连续刚构。它们又可派生出不同的组合形式。

不管体系如何进行组合，刚构桥上部的梁主要是承弯构件。由于采用悬臂施工法施工，施工机具简单，施工速度较快，加上结构在悬臂施工时的受力状态与使用时的受力状态基本一致，所以省料、省工、省时，使其应用范围得到迅速发展。

据有关资料统计表明，在预应力混凝土桥梁中，这种结构体系（包括连续梁）约占 50% 以上。如图 1.4(c) 所示为 T 形刚构桥；图 1.4(d) 所示为连续刚构桥；图 1.4(e) 所示为刚构-连续组合体系桥型。

② 梁、拱组合体系。梁、拱组合体系中有系杆拱、桁架拱、多跨拱梁结构等。它们利用梁的受弯与拱的承压特点组成联合结构。在预应力混凝土结构中，因梁体内可储备巨大的压力来承受拱的水平推力，使这类结构既具有拱的特点，又非推力结构，对地基要求不高。这种组合结构施工比较复杂，一般多用于城市跨河桥上，最大跨径已达到 150m。

2. 桥梁其他分类方法

除了上述按结构受力特点将桥梁分成不同的结构体系外，还可以按桥梁的用途不同、规模大小和建桥材料等将桥梁进行分类。

① 按桥梁的用途不同分类。有铁路桥、公路桥、公路铁路两用桥、农桥（或机耕道桥）、人行桥、水运桥（或渡槽）、管线桥等。

② 按桥梁的规模大小分类。主要是按桥梁全长和跨径大小进行分类，分为特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞，具体分类标准见表 1.1。

表 1.1 桥梁按总长和跨径分类标准 单位：m

桥涵分类	多孔跨径总长 L	单孔跨径 L_0	桥涵分类	多孔跨径总长 L	单孔跨径 L_0
特大桥	$L > 1000$	$L_0 \geq 150$	小桥	$8 < L \leq 30$	$5 \leq L_0 < 20$
大桥	$100 < L < 1000$	$40 \leq L_0 < 150$	涵洞	$8 < L$	$5 < L_0$
中桥	$30 < L \leq 100$	$20 \leq L_0 < 40$			

③ 按桥梁的建桥材料分类。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。由于木材易于腐朽，且资源有限，一般不用于永久性桥梁。

④ 按桥梁的跨越障碍分类。可分为跨河桥、立交桥、高架桥和栈桥。高架桥一般指跨越深沟峡谷以替代高堤路的桥梁，以及在城市桥梁中跨越道路的桥梁。

⑤ 按桥跨的平面布置分类。可分为正交桥、斜交桥和曲线桥。

⑥ 按上部行车道位置分类。可分为上承式桥、中承式桥和下承式桥。

（二）涵洞的分类

涵洞的分类方法主要有以下几种：a. 按建筑材料分类，砌石涵洞、混凝土涵洞、钢筋混凝土涵洞、砌砖涵洞；b. 按构造形式分类，管式涵洞、盖板式涵洞、拱式涵洞；c. 按洞顶填土情况分类，明式涵洞和暗式涵洞；d. 按水力性质分类，无压力式涵洞、半压力式涵洞、有压力式涵洞。

三、桥梁设计时的术语

1. 净跨径

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；对于不设支座的桥梁（如拱桥、刚构桥等）为上、下部结构相交处内缘间的水平净距。桥梁的净跨径一般用 l_0 表示。如图 1.1 和图 1.7 所示。

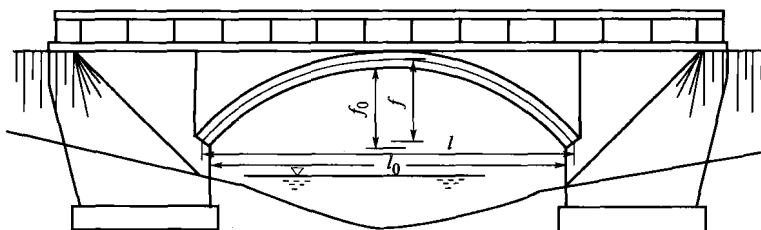


图 1.7 拱桥有关尺寸示意

2. 总跨径

总跨径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。

3. 计算跨径

对于设支座的桥梁，是指相邻支座中心的水平距离；对于不设支座的桥梁（如拱桥、刚架桥等），是指上、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 为标准的。

我国在《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004) 中规定，当标准设计或新建桥涵的跨径在 50m 及其以下时，宜采用标准化跨径。桥涵标准化跨径规定如下：0.75m、1.00m、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。

《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60—2004) 中也规定了特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞的具体标准，见表 1.1。

4. 桥梁全长

桥梁全长简称桥长，对于有桥台的桥梁为两岸侧墙或八字墙原端点之间的距离；对于无桥台的桥梁为桥面系行车道的全长，用 L 表示。

5. 桥下净空

桥下净空指的是为满足桥下通航（行车、行人）的需要，对上部结构底缘以下规定的空间限界。通常指桥孔范围内，从设计通航水位（或设计洪水位）至桥跨结构最下缘的净空高度。桥下净空高度不得小于因排洪所要求的，以及对该河流通航所规定的净空高度。

6. 桥梁建筑高度

桥梁建筑高度指的是上部结构底缘至桥面顶面的竖直距离（如图 1.1 中的 h ）。桥梁建筑高度是桥上行车路面（或轨顶）标高至桥跨结构最下缘之间的距离，它不仅与桥梁结构的体系和跨径的大小有关，而且还随行车部分在桥上布置的高度位置而异。公路（或铁路）定线中所确定的桥面（或轨顶）标高，对通航净空顶部标高之差，又称为容许建筑高度。桥梁