

职业教育规划教材——公路与桥梁类

桥涵工程施工

忠
岩

主 编 高培山 曲元梅 杨万

主 审 张 燕 徐大众

副主编 刘新翠 陈文超 高咏

参 编 赵显亮 李 静

丁雪松 张 多



本书数字资源



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

桥涵工程施工 / 高培山, 曲元梅, 杨万忠主编. —
成都: 西南交通大学出版社, 2022.10
职业教育规划教材. 公路与桥梁类
ISBN 978-7-5643-8962-8

I. ①桥… II. ①高… ②曲… ③杨… III. ①桥涵工
程 - 工程施工 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U445.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 195160 号

职业教育规划教材——公路与桥梁类

Qiaohan Gongcheng Shigong

桥涵工程施工

主 编 高培山 曲元梅 杨万忠

责任编辑 姜锡伟

封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 成都蓉军广告印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 20.75

字数 479 千

版次 2022 年 10 月第 1 版

印次 2022 年 10 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8962-8

定价 55.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562



近年来，我国交通基础设施建设快速发展，桥梁在公路、铁路及城市交通中所占的比例越来越大。巨大的建设规模，需要大量的既有理论知识又有实际能力的桥梁工程专业技术人员作为支撑。由于新技术、新工艺、新规范、新设备的不断推广和应用，《公路桥涵施工技术规范》也作了全面修订，为适应现代桥梁建设要求和交通职业教育教学需求，特编写本书。

本书考察了许多已建和在建高等级公路、铁路的桥梁施工现场，收集了大量工程资料和图片等，组织了具有多年工程实践及教学经验的教师编写，聘请了常年从事工程施工的专家担任主审。为更好地体现“安全、耐久、环保、节能减排、可持续发展”的桥涵工程建设理念，国家也在努力推行装配化施工，本书在知识拓展和数字化资源中也增加了相应知识的介绍。在数字化资源部分引用了一些施工动画和施工介绍，在此对动画的制作单位和个人，表示真诚的感谢。

根据多年的工程实践和教学经验，结合近几年我院在教学模式上的不断改革尝试以及企业、毕业学生的信息反馈，教学模式必须作一些创新和改革，使学生能够掌握一定的理论知识和必要的技能，与工程实际接轨；教学内容应形象、生动，强化技能培训，使学生能够尽快适应工程实际和市场的需要。

本书具有理论联系实际、深入浅出、图文并茂等特点，同时具有前瞻性、实用性、指导性和广泛性等优点。与以往的教材相比，本书的突破点：其一是插入了大量工程实例图片和施工实例，便于学生学习，有亲临工程现场之感；其二是以“任务驱动”为导向，简化教师讲解，强化学生“学、

做”的主体，培养学生协作、动手、学习能力和综合能力，符合技能型人才教育的特点；《桥涵工程施工工作页》作为本书的配套教材，也可以工作页为主导，更好地体现“任务驱动”和以学为主的理念。

全书由山东公路技师学院高培山、曲元梅、杨万忠主编；由山东公路技师学院张燕、山东省路桥集团徐大众担任主审；山东公路技师学院刘新翠、陈文超、高咏岩担任副主编；莱西市公路事业发展中心赵显亮，山东公路技师学院李静、丁雪松、张多参与编写。

本书单元一由山东公路技师学院杨万忠、高培山、陈文超编写；单元二由山东公路技师学院高培山、曲元梅编写；单元三由山东公路技师学院曲元梅、高咏岩、丁雪松、高培山编写；单元四由山东公路技师学院刘新翠、高培山、李静、杨万忠，莱西市公路事业发展中心赵显亮编写；单元五由曲元梅、陈文超、张多编写。

本书可作为公路施工与养护管理专业与从业人员自学、培训用书，也可作为职业院校公路施工与养护及桥梁施工与养护专业中、高级工和技师教材使用。本教材为山东公路技师学院与山东省路桥集团、莱西市公路事业发展中心等企业联合开发的一体化课程教材。本书涉及内容较多，尽管我们在编写过程中反复推敲、精琢细雕，但由于时间仓促且水平有限，书中遗漏、不足之处在所难免，敬请广大读者批评、指正，提出宝贵意见，以便进一步修改完善。

编 者

2022年9月



单元一 桥梁基础知识

项目一 桥梁组成与类型	1
任务1 桥梁的组成及常用名词	1
任务2 桥梁的类型及常用桥型介绍	12

单元二 桥梁施工的基础内容

项目二 施工准备	43
任务1 施工准备	43
项目三 钢筋工程	47
任务1 钢筋进场检验与管理	47
任务2 钢筋加工	52
任务3 钢筋连接	57
项目四 混凝土工程	66
任务1 原材料的选择与配制	66
任务2 混凝土拌制运输与浇筑	73
任务3 混凝土养护与检验	79
任务4 混凝土冬期、雨期、热期施工	83
项目五 支架与模板	88
任务1 桥梁支架	88
任务2 桥梁模板	108
任务3 拱架	125
项目六 桥梁图识读	127
任务1 识图方法	127

任务 2 梁式桥施工图	130
-------------------	-----

单元三 桥梁下部结构施工

项目七 桥梁扩大基础施工	133
任务 1 基坑开挖	133
任务 2 基底检验与扩大基础施工	140
项目八 桩基础施工	144
任务 1 桩基础施工准备工作	144
任务 2 钻孔施工	148
任务 3 成孔检查与清孔	154
任务 4 钢筋骨架与导管安装	157
任务 5 灌注水下混凝土	161
任务 6 承台（系梁）施工	168
项目九 桥梁墩台施工	174
任务 1 砌体墩台施工	174
任务 2 混凝土墩台施工	179
任务 3 墩（台）帽、盖梁施工	183

单元四 桥梁上部结构施工

项目十 预应力混凝土工程	189
任务 1 先张法施工	189
任务 2 后张法施工	208
项目十一 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥	226
任务 1 装配式桥施工	226
任务 2 现浇梁式桥施工	250
项目十二 桥面系施工	261
任务 1 桥面系施工	261
项目十三 拱桥施工	272
任务 1 拱桥施工	272
项目十四 斜拉桥、悬索桥施工	288
任务 1 斜拉桥、悬索桥施工	288

单元五 涵洞施工

项目十五 涵洞施工	294
任务 1 拱涵、盖板涵施工	294
任务 2 圆管涵、箱涵施工	300
工程案例	307
参考文献	324



单元一 桥梁基础知识

项目一 桥梁组成与类型

任务 1 桥梁的组成及常用名词

◆任务 1-1 桥梁的组成

【工作任务】

指出某桥的组成，简单叙述各组成部分的作用。

【任务目标】

知识目标：

掌握桥梁的基本组成结构。
熟悉各构件的作用。
了解各构件的主要形式。

技能目标：

能够认识桥梁的各结构构件。

【建议课时】

6 课时。

【任务相关理论】

桥梁是一种跨越河流、山谷、道路等的结构物。随着经济和现代交通的发展，桥梁不仅在路线跨越山谷、河流、道路的立体交叉中必不可少，而且在占地、使用土方、保护自然环境、美观等方面具有较大的优势。桥梁在交通中的地位越来越重要，在公路、铁路、城市道路中所占的比例也越来越大，尤其在高速铁路、高速公路、城市轻轨、高架桥中占绝对的比例。

桥梁由上部结构、下部结构、附属结构及支座组成，如图 1-1-1 所示。

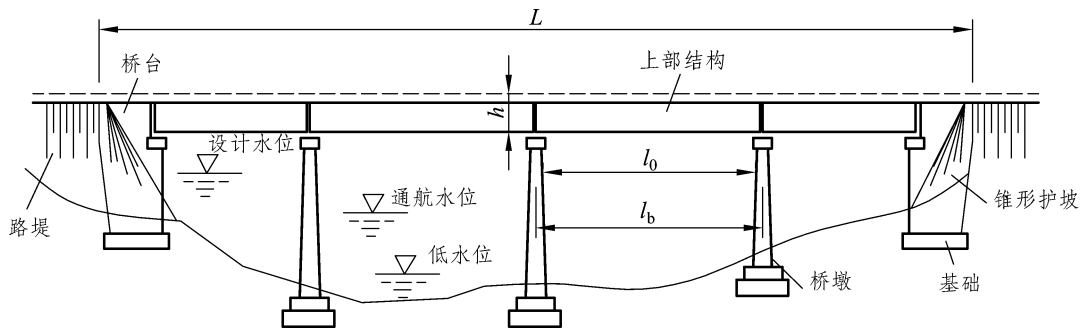


图 1-1-1 桥梁的基本组成

一、上部结构

桥梁的上部结构由承重构件和桥面系组成。

1. 桥梁的承重构件

桥梁的承重构件为梁式桥的梁或板、拱桥的拱圈、悬索桥及斜拉桥的索和梁、刚架桥的刚架等，主要承受构件的自重和桥梁的活载。

2. 桥面系

桥面系由桥面铺装、防水、排水设施、人行道或安全带、栏杆、伸缩缝等组成，如图 1-1-2 所示。

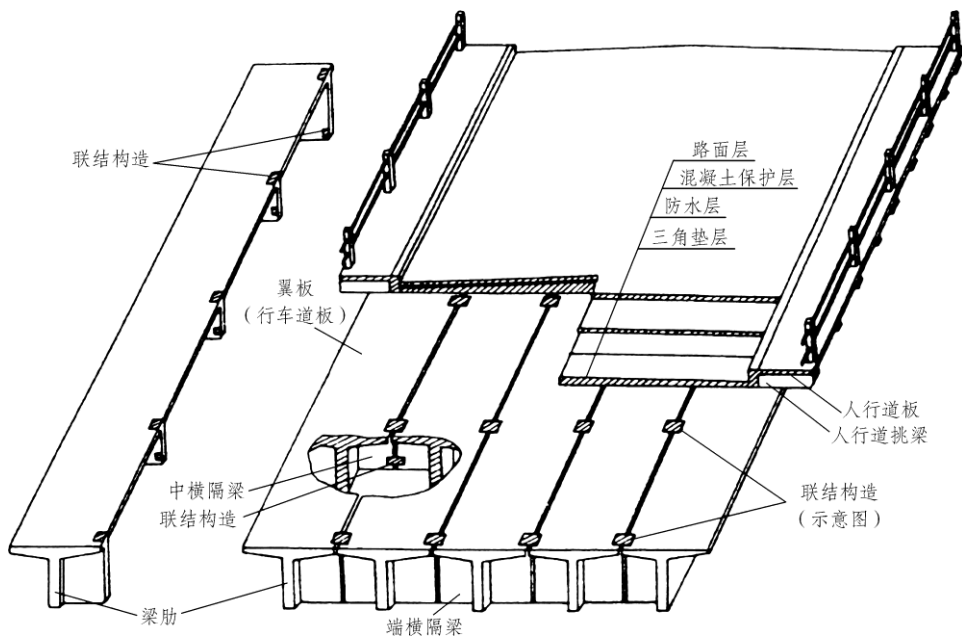


图 1-1-2 T 梁及桥面系

二、下部结构

桥梁的下部结构主要由桥墩、桥台及基础组成。桥梁的桥墩与桥台合称墩台，墩台从总体上分为两种。一种是重力式墩台，这类墩台的主要特点是靠自身重力来平衡外力而保

持其稳定，因此，这种墩台身体积大、质量大，可以不用钢筋，而用砌体石材砌筑、片石混凝土或混凝土浇筑；另一种是轻型墩台，这类墩台的刚度小，受力后允许在一定的范围内发生弹性变形，其建筑材料大都以钢筋混凝土和少筋混凝土为主，但也有一些轻型墩台通过验算后可用石料砌筑。

确定桥梁下部结构应遵循满足交通要求、安全耐久、造价低、维修养护费用小、施工方便、工期短、与周围环境协调和造型美观等原则。近年来，国内外的城市桥梁涌现出丰富多彩的构造形式，主要有：

(1) 单柱式[图 1-1-3 (a)]，其截面可以是圆形、矩形、多角形等，这种桥墩的外形轻盈，视野开阔，造价经济。

(2) 多柱式墩[图 1-1-3 (b)]，其柱顶各自直接支撑在上部结构的箱梁底板上，柱间不设横系梁，显得挺拔有力，干净利索。

(3) 矩形薄壁墩[图 1-1-3 (c)、(d)]，这种墩常将表面做成纹理，从而收到美观的效果；

(4) 双叉形和多叉形[图 1-1-3 (e)、(f)]。

(5) T形、V形、X形[图 1-1-3 (g)、(h)、(i)]等，这些形式除满足结构受力的要求外，还达到了造型美观的目的。

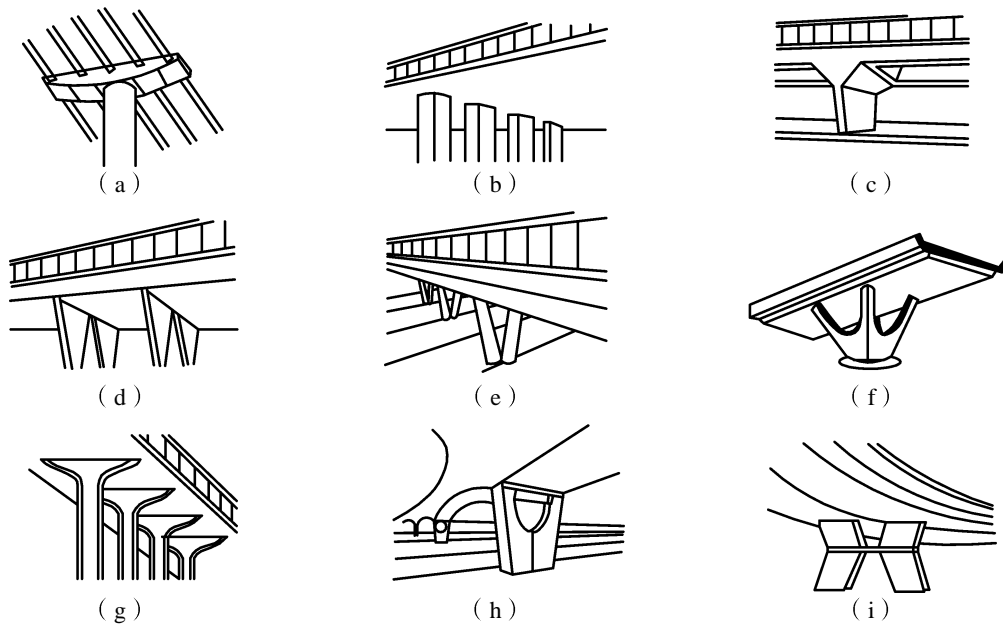


图 1-1-3 各种轻型桥墩形式

1. 桥墩

桥梁的墩台是桥梁的重要组成部分。桥墩是指多跨（两跨以上）桥梁的中间支承结构物，它除承受上部结构传来的荷载外，还要承受流水、流冰的压力、冲击力及船舶的撞击力等。

桥墩有多种形式，根据上部结构传递的荷载大小，桥墩所处的地理环境、地质状况和水文条件等设置。桥墩按其构造可分为空心墩、实体墩。其墩身横截面形状可分为矩形、圆形、圆端形、尖端形等多种形式，如图 1-1-4 所示。

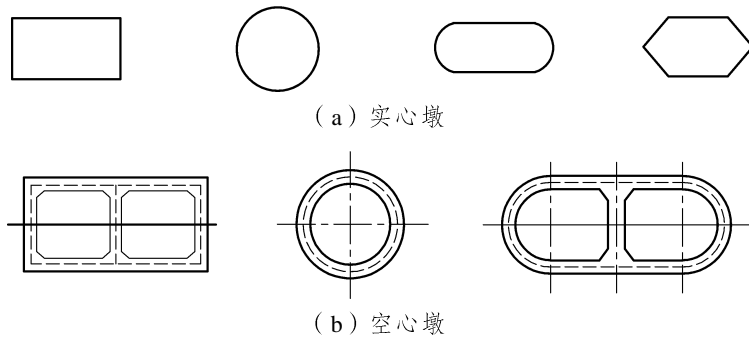


图 1-1-4 桥墩截面形式

墩身侧面可做成垂直的，亦可做成斜坡式或流线型等多种形式（图 1-1-5）。

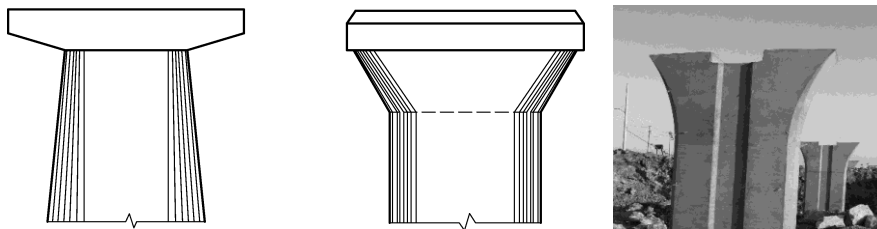


图 1-1-5 墩身侧面的变化

混凝土柱式桥墩为轻型桥墩中的常用形式。该类桥墩一般多在水深不大的浅基础或高桩承台中采用，避免在深水、深基础及漂浮物多、有木筏的河道上采用。钢筋混凝土柱式桥墩的受力主钢筋设置在墩的周边，钢筋下部插入扩大基础、承台或者与桩基础的钢筋相连，钢筋上部插入盖梁，多数柱式墩在底部桩柱连接处设置横向联系梁，在高墩、变截面墩的中部也多数加设横向联系梁（横系梁或称系梁），墩柱的顶部设置盖梁，如图 1-1-6、图 1-1-7 所示。

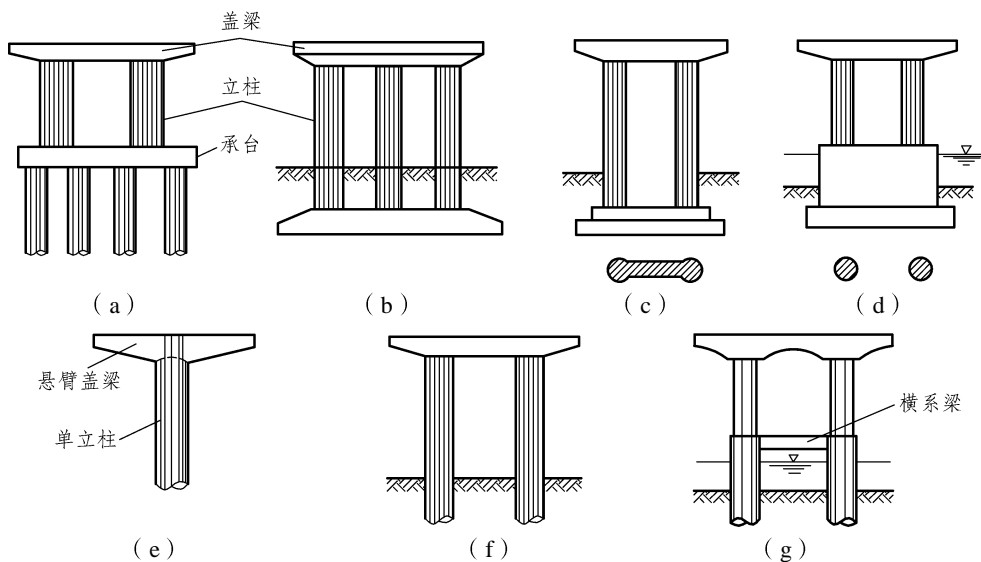


图 1-1-6 柱式桥墩



图 1-1-7 柱式桥墩实例图

重力式桥墩一般由墩帽、墩身和基础组成，如图 1-1-8 所示。

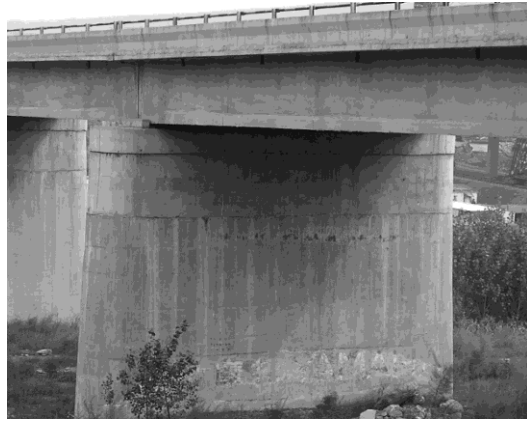
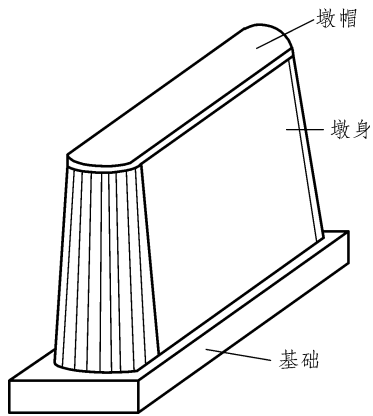


图 1-1-8 重力式桥墩

2. 桥台

桥台设置在桥梁的两端，与路基相连，不但承受上部荷载的自重及汽车、火车等活载，还承担路基侧的土侧压力，防止路堤填土塌落；单孔桥只有两端的桥台，而没有中间的桥墩。常用的桥台为 U 形桥台、肋板式埋置桥台，如图 1-1-9 ~ 图 1-1-11 所示。

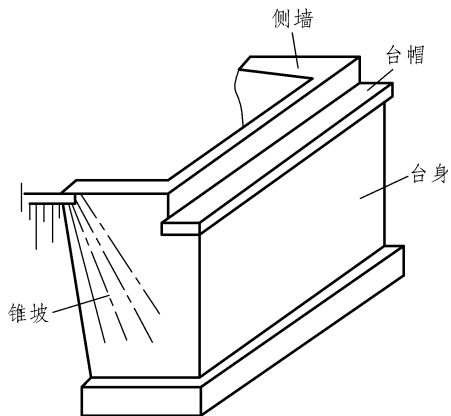


图 1-1-9 重力式 U 形桥台

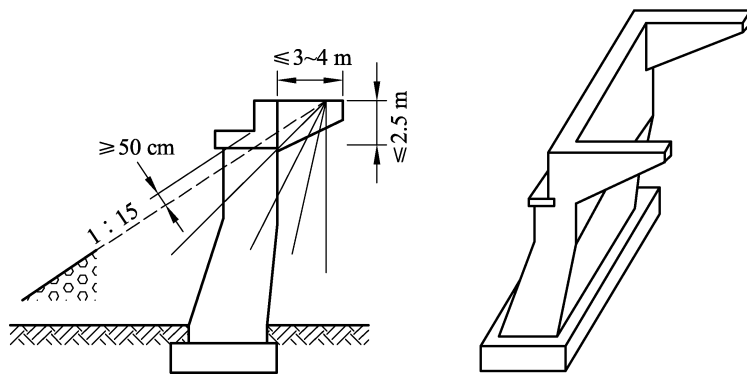


图 1-1-10 后倾式埋置桥台



图 1-1-11 肋形（肋板式）埋置桥台

3. 基础

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（墩台、上部结构自重、车辆荷载等）、水平向荷载（汽车等产生的水平向冲击力、地震力，船舶撞击墩身等引起的水平荷载等）。

桥梁基础是桥梁的重要组成部分，基础质量的好坏（本身的刚度强度不足、倾斜、位移、不均匀沉降、开裂等）将直接影响到整个桥梁的使用性、安全性和耐久性。基础属地下工程、隐蔽工程，施工中受气候、环境、地质土质、水文等的影响，以及不可预判的因素较多，增加了施工难度。因此，桥梁设计和施工都应对基础给予足够的重视。

在桥梁工程中，通常采用的基础类型有扩大基础、桩基础、沉井基础、管柱基础和地下连续墙基础等。

（1）扩大基础。

扩大基础属直接基础，是将基础底板直接设置在承载地基上，来自墩台和上部结构的荷载通过基础底板直接传递给承载地基。其属于浅基础，通常是采用明挖的方式施工，故

也称明挖基础，如图 1-1-12 所示。



图 1-1-12 扩大基础

(2) 桩基础。

桩是深入土层的柱形构件，其作用是将作用于桩顶以上的荷载传递到土体中的较深处。当地基浅层土质较差，持力土层埋藏较深，需要采用深基础才能满足结构物对地基强度、变形和稳定性的要求时，可采用桩基础。桥梁基础中用得较多的桩是钢筋混凝土桩。

① 按制作方法分为预制桩和钻（挖）孔灌注桩。

预制桩又称沉入桩，沉入方法一般为锤击下沉、振动下沉、射水下沉、静力压入。

灌注桩是在现场采用钻孔机械（或人工）将地层钻挖成预定孔径和深度的孔后，将预制一定形状的钢筋骨架放入孔内，然后在孔内灌入流动的混凝土而形成的桩基础。水下混凝土多采用垂直导管法灌注，如图 1-1-13 所示。

② 按传递荷载的形式分为摩擦桩和端承桩。

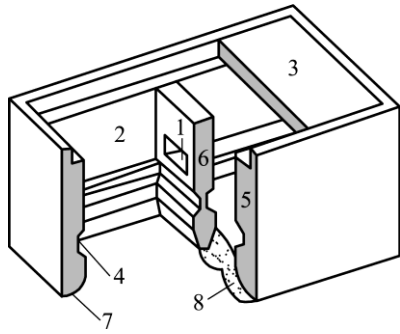
端承桩又称柱桩、支承桩，主要靠桩底地基的支撑力来支承墩台及上部结构传来的荷载，一般要嵌入坚硬的岩层一定深度。摩擦桩主要靠桩土的摩阻力来支承墩台传来的荷载。



图 1-1-13 灌注桩

(3) 沉井基础。

沉井基础又称开口沉箱基础，是由开口的井筒构成的地下承重结构物。沉井基础一般为深基础，适用于持力层较深或河床冲刷严重等水文地质条件，具有很高的承载力和抗震性能。这种基础由井筒、封底混凝土和顶盖等组成，其平面形状可以是圆形、矩形或圆端形，立面多为垂直边，井孔为单孔或多孔，井壁为钢筋、木筋或竹筋混凝土，甚至由钢壳中填充混凝土等建成，如图 1-1-14 所示。



1—人孔；2—取土井；3—顶盖；4—凹槽；5—井壁；6—内隔墙；7—刃脚；8—封底。

图 1-1-14 沉井基础

沉井基础若为陆地基础，则在地表建造，由取土井排土以减少刃脚土的阻力，一般借自重下沉；若为水中基础，则沉井基础可采用筑岛建造下沉，或陆地建造后浮运至基础位置下沉。在下沉过程中，如侧摩阻力过大，可采用高压射水法、泥浆套法或井壁后压气法等使其加速下沉。

三、附属结构

为保证路堤边坡稳定、防止水流冲刷，在路堤与桥台衔接处，一般设置护坡；桥梁与路堤衔接处设桥头搭板；为引导和改变水流方向，使水流平顺通过桥孔并减缓水流对桥位附近河床、河岸的冲刷而设置护岸、导流坝等水工构造物。护坡、桥头搭板、护岸、导流坝等结构称为附属结构，如图 1-1-15 所示。



(a) 护坡



(b) 桥头搭板

图 1-1-15 附属结构

四、支 座

支座是桥梁在上部结构与桥墩或桥台的支承处所设置的传力装置。支座的主要作用是：将上部结构的荷载传递到桥梁墩台；保证结构在活载、温度变化、混凝土收缩和徐变等因素作用下能自由变形，使上部结构的实际受力情况符合结构的设计受力图式（图 1-1-16）。梁桥的支座有固定支座和活动支座两种。支座在桥梁中的位置如图 1-1-17 所示。

公路桥梁上常用的支座有板式橡胶支座、盆式橡胶支座、球形钢支座等，如图 1-1-18 所示。

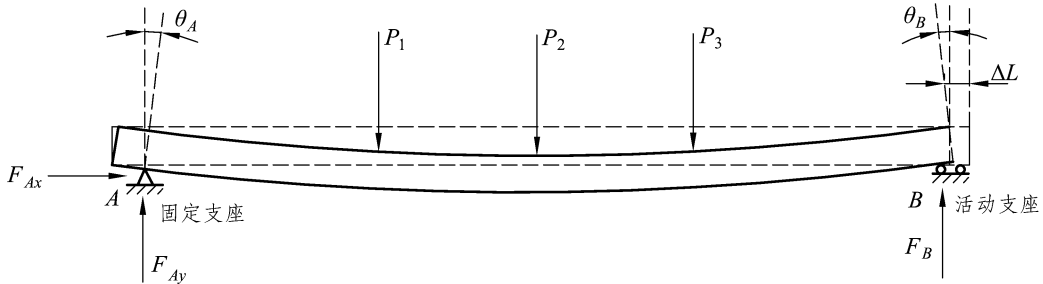


图 1-1-16 简支梁桥的受力图式

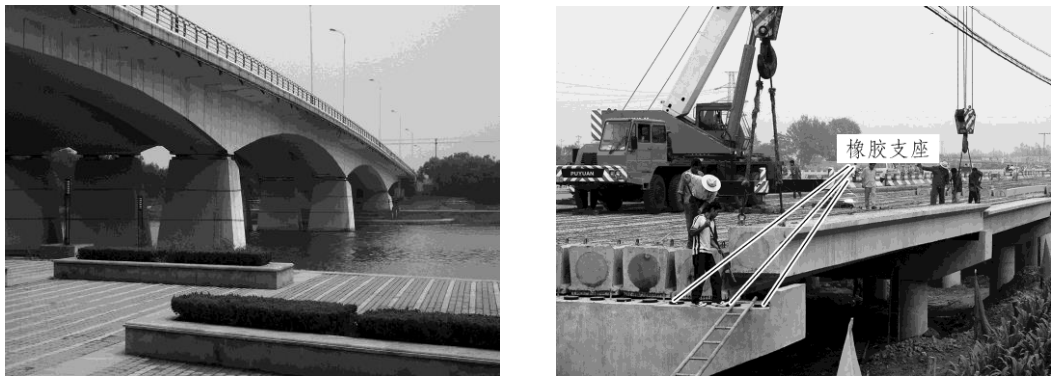


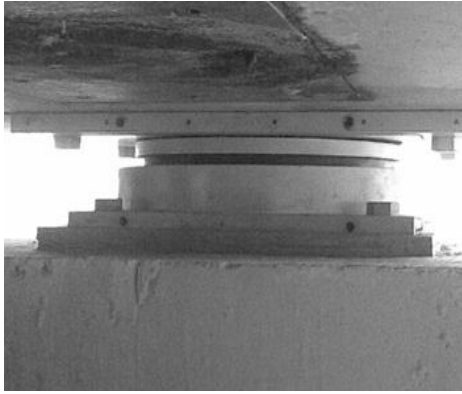
图 1-1-17 支座的位置



(a) 板式橡胶支座



(b) 聚四氟乙烯板式（四氟滑板）支座



(c) 盆式橡胶支座



(d) 球形钢支座

图 1-1-18 常用桥梁支座

◆任务 1-2 桥梁的常用名词

【工作任务】

指出桥梁某些常用名词所指的部位及含义。

【任务目标】

知识目标：

掌握桥梁的基本术语。
熟悉基本术语的用途或作用。

技能目标：

能够描绘出基本术语所指的位置。

【建议课时】

2 课时。

【任务相关理论】

河流中的水位是变动的。在枯水季节的最低水位，称为低水位；洪峰季节河流中的最高水位，称为高水位。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；通航水位，包括设计最高通航水位和最低通航水位，是各级航道代表性船舶队正常运行、航道维护管理和有关工程建筑物的水位设计依据。

下面介绍桥梁的常用术语及名词。

一、长度尺寸或术语

(1) 桥梁的净跨径：对于梁式桥是设计洪水位线上相邻两个桥墩（或桥墩与桥台或桥

台与桥台)之间的水平净距,用 l_0 表示;对于拱式桥,则是每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离。

(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距离,用 l 表示;对于拱式桥,是两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离。桥跨结构的力学计算是以计算跨径为准的。

(3) 标准跨径:梁桥为相邻两桥墩中线间或桥墩中线与桥台台背前缘间的距离;拱桥为净跨径,用 l_b 表示。

(4) 总跨径:多孔桥梁中各孔净跨径的总和。桥梁的总跨径反映它排泄洪水的能力。

(5) 桥梁总长(多孔跨径总长):通常把梁式桥、板式桥两桥台台背前缘间的水平距离,拱式桥两岸桥台起拱线间的水平距离,其他形式桥的行车道长度称为桥梁总长,用 L_1 表示。

(6) 桥梁全长(简称桥长):桥梁两端两个桥台的侧墙或八字墙后端点之间的距离,以 L_q 表示;对无桥台的桥梁,为桥面系行车道的全长。

桥梁结构尺寸如图 1-1-19 所示。

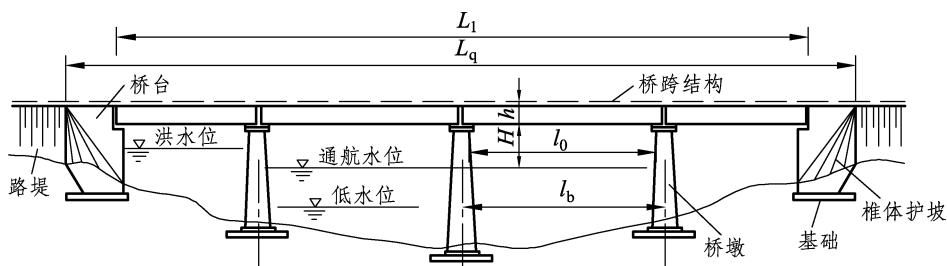


图 1-1-19 梁桥结构尺寸

二、高度尺寸术语

(1) 桥梁高度(简称桥高):桥面(行车道的顶面)与低水位之间的高差,或为桥面与桥下路线路面之间的距离。

(2) 桥下净空高度:设计洪水位或计算通航水位或桥下线路路面至桥跨结构最下缘之间的距离,以 H_0 表示。

(3) 建筑高度:桥上行车路面顶至桥跨结构最下缘之间的距离。(容许建筑高度:公路定线中所确定的桥面高程,对通航净空顶部高程之差。)

(4) 净矢高:从拱顶截面下缘至相邻两拱脚截面下缘最低点连线间的垂直距离(f_0),如图 1-1-20 所示。

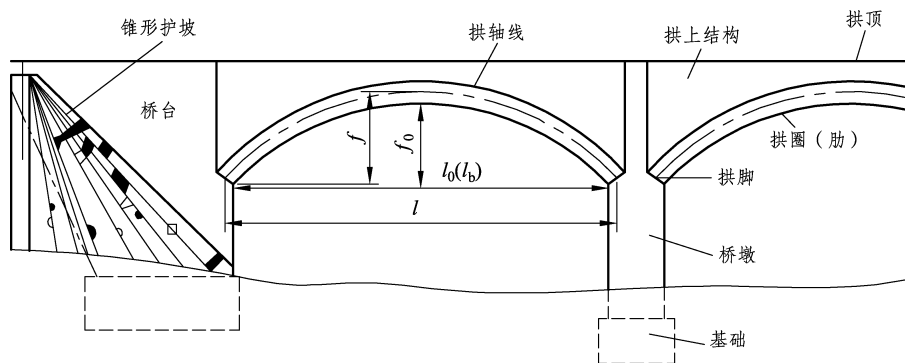


图 1-1-20 拱桥结构

(5) 计算矢高：从拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心连线间的垂直距离 (f)。

(6) 矢跨比：计算矢高与计算跨径之比 (f/L)。

三、宽度尺寸

桥面净宽：两侧人行道内缘间的宽度，包括桥面行车道宽度、中间带宽度和慢行道宽度。

任务 2 桥梁的类型及常用桥型介绍

◆任务 2-1 梁桥的类型

【工作任务】

认识梁桥的各种类型及其特点。

【任务目标】

知识目标：

掌握梁桥的类型特点。
熟悉梁桥的种类。

技能目标：

能够认识各种梁桥。

【建议课时】

4 课时。

【任务相关理论】

桥梁有多种分类方法，如按承重结构的受力分、按上部结构的材料分、按承重结构的横断面形式分、按桥梁的规模和长度分、按行车道的位置分、按功能分、按施工方法分等等。其中，最主要的分类方式是按承重结构的受力分类，因为不同的受力特点决定着桥梁所使用的材料、采用的横断面形式、桥梁的跨越能力、施工方法和施工难度等。

一、桥梁按受力体系分（桥梁的基本体系）

桥梁按受力体系分为梁桥、拱桥、刚架桥（刚构桥）、悬索桥、斜拉桥、组合体系桥六种类型。

按照受力体系分类，桥梁有梁、拱、索三大基本体系，其中梁桥（图 1-2-1）以受弯为主，拱桥（图 1-2-2）以受压为主，悬索桥（图 1-2-3）以受拉为主，也就是结构受力的拉、压、弯三种基本受力方式。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。

梁索组合体系强调主梁的受力作用，而斜拉桥（图 1-2-4）尽管也是梁索组合，但不强调主梁结构的受力作用，所以作为单独体系提出。也有将刚架桥（图 1-2-5）划归梁式桥范围的。

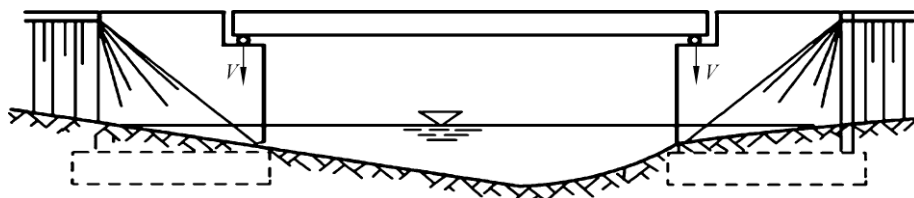


图 1-2-1 梁桥

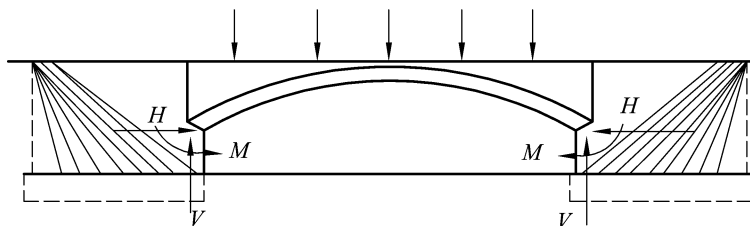


图 1-2-2 拱桥

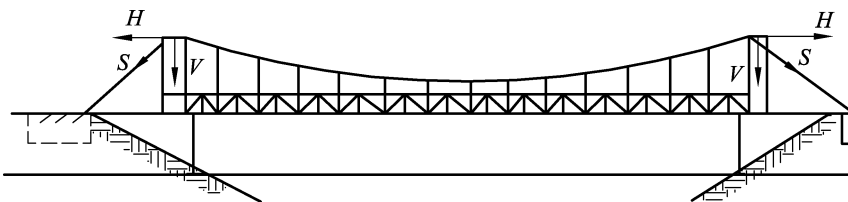


图 1-2-3 悬索桥

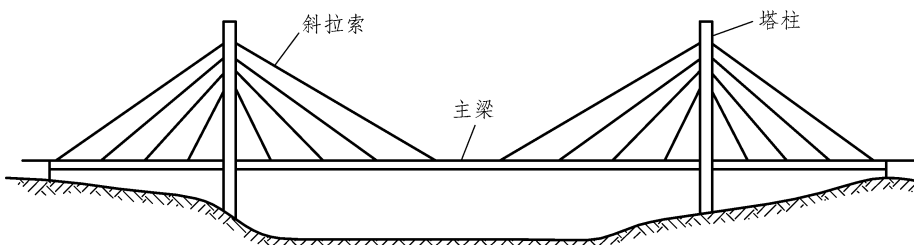


图 1-2-4 斜拉桥

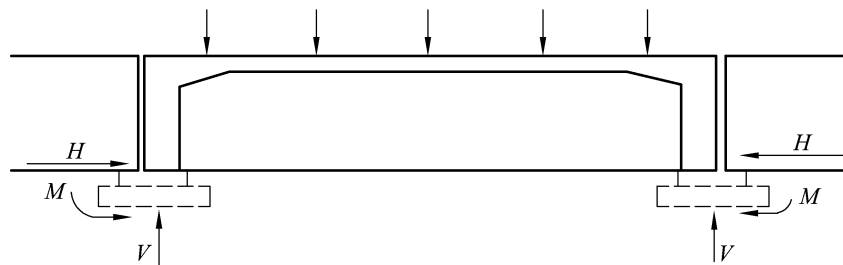


图 1-2-5 刚架桥

二、桥梁的其他分类

除了上述按受力特点将桥梁分成不同结构的体系外，人们还习惯按桥梁的用途、长度规模、建桥材料等其他方面对桥梁进行分类。

(1) 按用途来划分，有公路桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、水运桥以及管道桥等。

(2) 按桥梁多孔跨径总长以及单孔最大跨径的不同，分为特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞，见表 1-2-1。

表 1-2-1 桥涵分类

桥涵分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_k/m
特大桥	$L > 1\,000$	$L_k > 150$
大桥	$100 \leq L \leq 1\,000$	$40 \leq L_k \leq 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$
涵洞	—	$L_k < 5$

注：单孔跨径系指标准跨径。

(3) 按照主要承重结构所用的材料划分，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（钢桁架、钢箱等）、钢-混凝土组合桥、钢管混凝土桥、木桥等。

(4) 按跨越障碍的性质，可分为跨河桥、跨海桥、跨线桥（立交桥）、互通立交桥、高架桥、栈桥。

(5) 按桥梁结构的平面布置，可分为正交桥、斜交桥、弯桥。

(6) 按行车道在上部结构的位置，分为上承式桥、中承式桥、下承式桥。

三、梁桥的类型

公路桥、铁路桥和城市桥梁中，应用最广泛的是钢筋混凝土或预应力混凝土梁式桥。

梁式体系是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构，梁作为承重结构是以它的抗弯能力来承受荷载的。由于外力的作用方向与承重结构的轴线接近垂直，故与同样跨径的其他结构体系相比，梁内产生的弯矩最大，通常需要用抗弯能力强的材料（钢、钢筋混凝土、预应力混凝土、钢-混凝土组合结构等）来建造。

1. 梁桥按静力体系分类

梁式桥根据受力分为简支梁（板）桥、连续梁（板）桥和悬臂梁（板）桥，如图 1-2-6 所示。

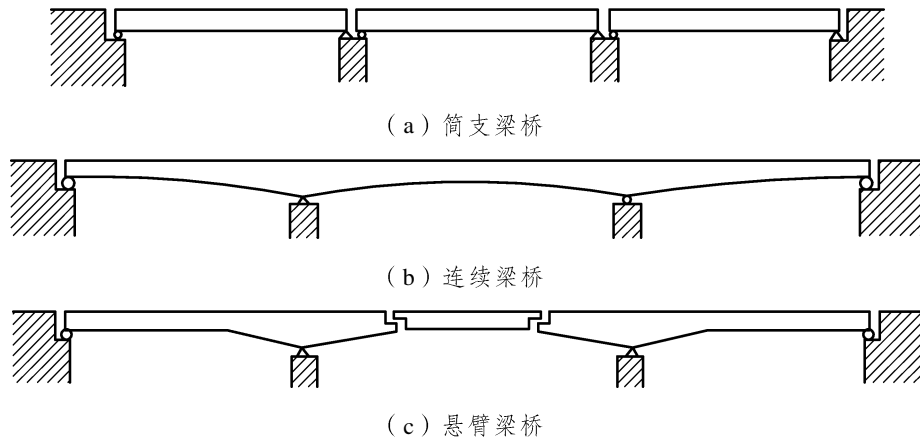


图 1-2-6 梁式桥的基本体系

简支梁桥各孔单独受力，受力和构造简单，属于静定结构，便于装配化施工，在中小跨径桥梁中应用最广泛。装配式钢筋混凝土简支梁的常用跨径是 5.0~13.0 m，高跨比一般在 1/11~1/18，跨径超过 13 m 时一般采用预应力混凝土简支梁桥，通常其高跨比为 1/15~1/25。

连续梁桥（图 1-2-7）属于超静定结构，在竖向荷载作用下，支点截面产生负弯矩，从而能大大减小跨中的正弯矩，因而能缩小断面尺寸、减轻自重，增大跨越能力；由于其为超静定结构，温度变化、墩台不均匀沉降等会在梁内产生附加内力，故适用于地基良好的场合。



(a) 连续梁桥



(b) 连续板（梁）桥

图 1-2-7 连续梁桥

悬臂梁桥属于静定结构，受力类似连续梁，跨越能力比简支梁大，逊于连续梁桥，因行车不良，已较少使用。

2. 按横截面形式分类

从承重结构的横截面形式来看，梁式桥可分为板梁桥、肋梁桥和箱梁桥，如图 1-2-8 所示。板桥是最简单的构造形式，施工方便，分实心板和空心板，如图 1-2-9 所示。

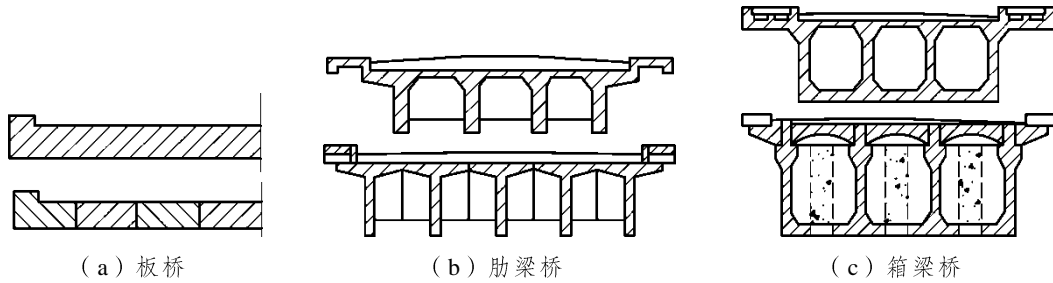


图 1-2-8 典型混凝土梁桥横截面

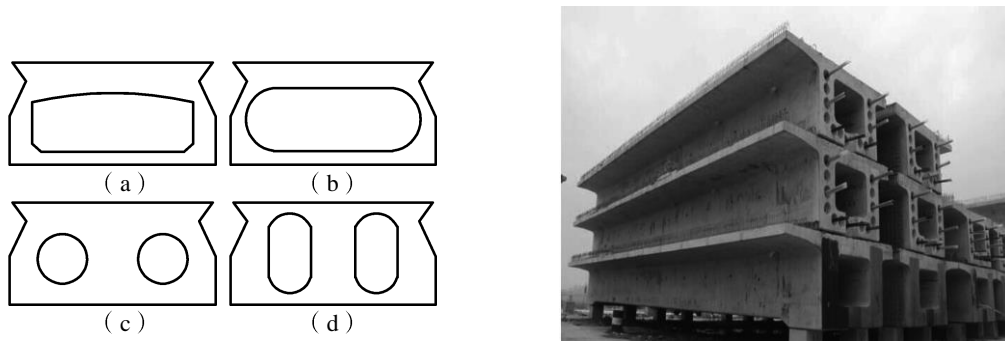


图 1-2-9 空心板桥横截面形式及实体图

肋梁桥是在板桥截面的基础上，将梁下缘受拉区混凝土很大程度地挖空，从而显著减轻了结构自重；拉、压区的距离增大，使梁的有效高度增加，因而提高了桥的跨越能力[图 1-2-8 (b)、图 1-2-10]。因肋梁桥不能同时提供沿桥跨方向的正、负弯矩受压区混凝土，所以该截面只适用于简支结构。



图 1-2-10 肋梁桥（T形梁）横断面

箱形截面不仅能为梁板的正弯矩区段提供受压区,还能为支点负弯矩区提供足够的混凝土受压区,此为其相对其他截面的优势。同时,箱形截面的抗弯、抗扭能力强,因而适用于较大跨径的悬臂梁桥和连续梁桥[图 1-2-8 (c)、图 1-2-11]。

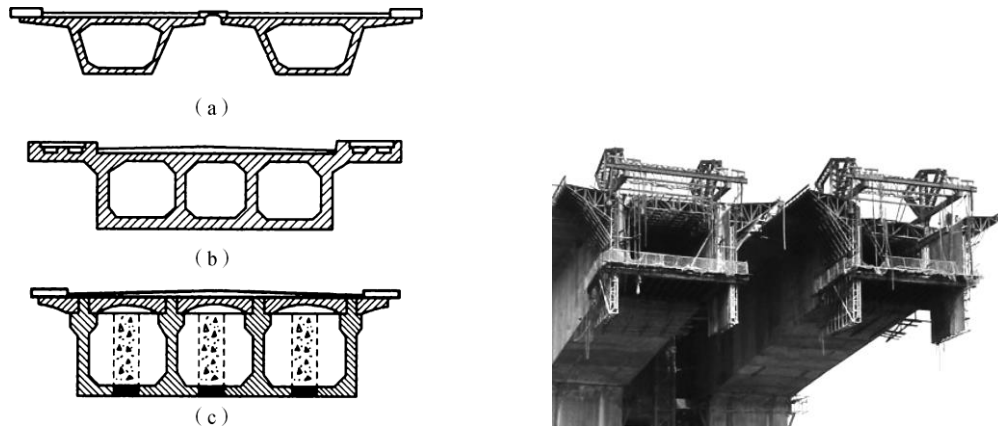


图 1-2-11 箱梁桥横截面形式及实体图

3. 按施工方法分类

梁桥按施工方法分为现浇梁桥、装配式梁桥和组合式梁桥。

现浇梁即为施工现场浇筑梁,分为整体现浇和节段现浇,如图 1-2-12 所示。整体现浇梁,即桥跨结构混凝土沿全跨、全宽都在现场进行施工。由于整体现浇,所以其整体性好,可以做成任何外形;但施工进度慢,工业化程度低,耗费较多的支架和模板材料。节段现浇不需支架,克服了桥下有水、整平场地等问题,但每一节段混凝土都需达到足够强度后才能进行下一节段施工。

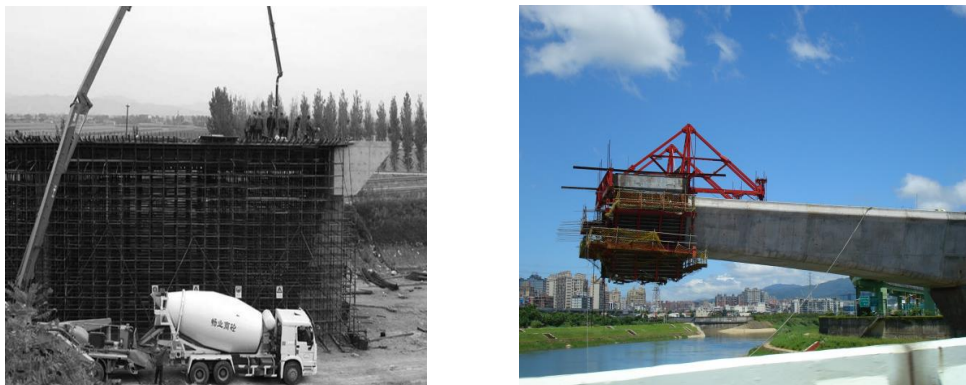


图 1-2-12 现浇梁施工

装配式梁桥(图 1-2-13):上部结构在预制工厂或工地预制场分块预制,再运至现场吊装就位,最后通过铰缝细粒式混凝土灌缝施工、钢筋混凝土层施工等把构件连接成整体(图 1-2-14)。由于预制构件采用工厂化施工,受季节影响小,质量易于保证,而且还能与下部结构工程同时施工,既加快了施工进度,又能节约支架和模板材料;其缺点是需吊装和运输设备。



图 1-2-13 装配式梁桥施工



(a) 铰缝施工

(b) 桥面层施工

图 1-2-14 预制梁连接施工

组合式梁桥（图 1-2-15）：组合式梁桥的特点是整个截面分两个（或几个）阶段组合施工而成，也即部分预制、部分现浇。工形梁、I 字梁或开口槽形梁等预制、吊装，通过现浇混凝土接头或以弧形薄板（平板）作为现浇桥面混凝土的模板，通过现浇混凝土使各部分结合成整体。也可将此类施工方法归为预制安装施工（装配施工）的一种。



图 1-2-15 组合式梁桥

◆任务 2-2 刚架桥、悬索桥与斜拉桥

【工作任务】

认识刚架桥、悬索桥及斜拉桥。

【任务目标】

知识目标：

熟悉刚架桥、悬索桥及斜拉桥。

技能目标：

能够认识各种刚架桥、悬索桥及斜拉桥。

【建议课时】

4 课时。

【任务相关理论】

我们前边已经叙述了桥梁的各种分类方法及梁桥的类型，现介绍刚架桥、悬索桥及斜拉桥。

一、刚架桥

刚架桥（也称刚构桥）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。梁和柱的结合处有很大的刚性，以起到承担负弯矩的作用；在竖向荷载的作用下，柱脚处具有水平推力，使梁内产生轴向压力，较拱桥小；梁内主要受弯，但弯矩值较同跨径的简支梁小，所以其受力介于梁桥和拱桥之间。

总体而言，刚架桥刚度大，行车平顺，节省支座费用，在悬臂施工过程中无体系转换等优点。其劣势是：

（1）薄壁台身(或立柱)除承受轴向压力外，还承受横向弯矩，并且在基脚处还产生水平推力。因此，必须要求有良好的地基条件，或者采用较深的基础或特殊的构造措施来抵抗水平推力的作用。

（2）基脚处会因预应力松弛、混凝土徐变、收缩、温度变化以及基础变位等因素影响而产生较大的次内力。

刚架桥有门式刚架桥、T形刚构桥（带挂孔的或不带挂孔的）、连续刚构桥、斜腿刚构桥等，如图 1-2-16 所示。刚构-连续组合体系桥为刚构和连续梁的组合体系桥，如图 1-2-17 所示。

T形刚构桥（带挂孔的或不带挂孔的），如图 1-2-18 所示，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。由于 T 构长悬臂处于一种不受约束的自由变形状态，在车辆荷载的作用下，悬臂内的弯、扭应力较大，因而各个方向均易产生裂缝，且

由于混凝土徐变使悬臂端产生一定的下挠，对行车和梁的受力都不利，目前这种结构已经较少使用。

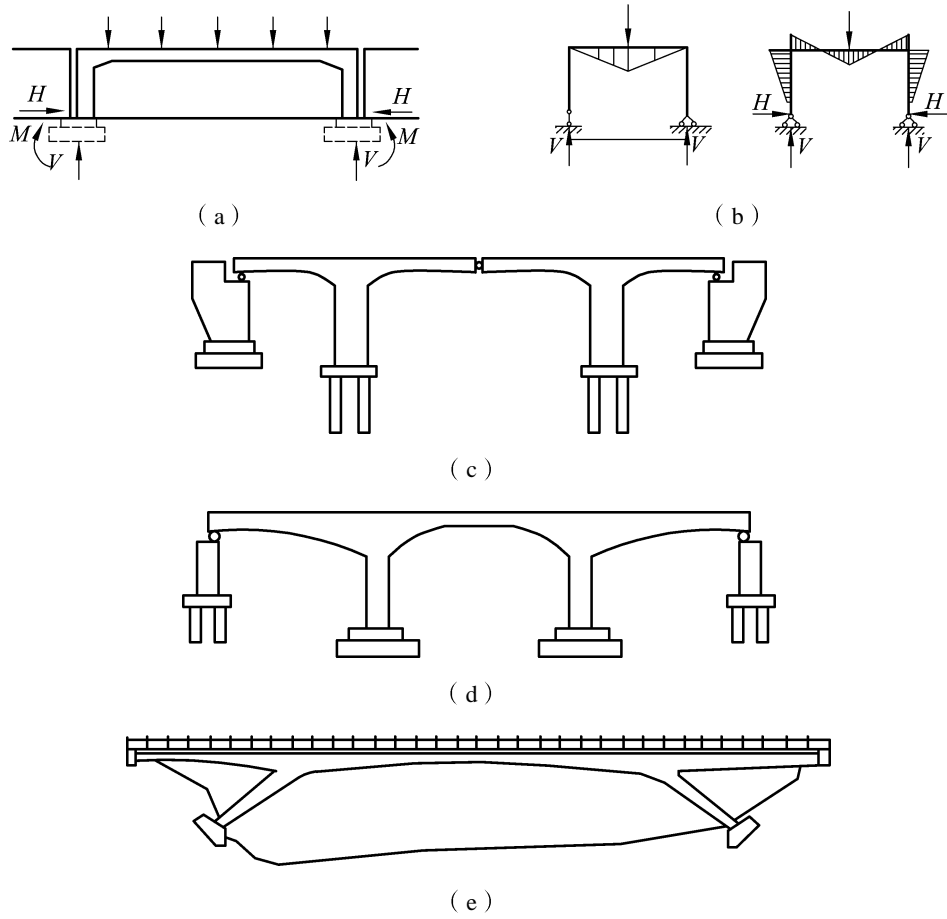


图 1-2-16 刚架桥



图 1-2-17 刚构-连续组合体系桥

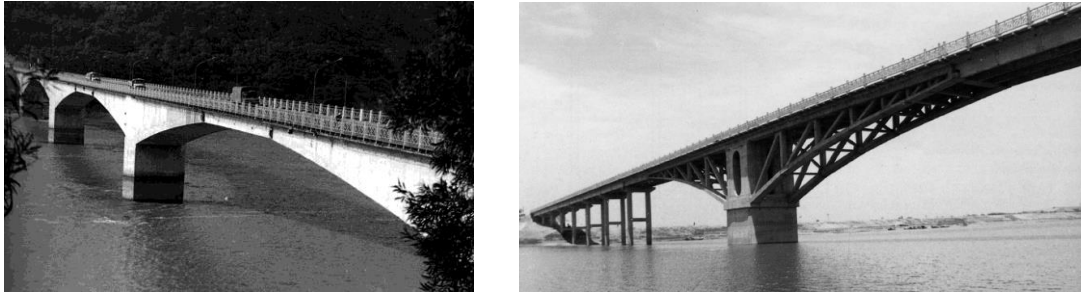


图 1-2-18 T形刚构桥

连续刚构桥(图 1-2-19),属于多次超静定,设计中一般应减小柱顶端的水平抗推刚度,使得在温度变化下结构内不致产生较大的附加内力。对于很长的桥,为了降低附加内力,相关单位往往在两侧的一个或数个边跨上设置活动支座,从而形成如图 1-2-17 所示的刚构-连续组合体系桥。

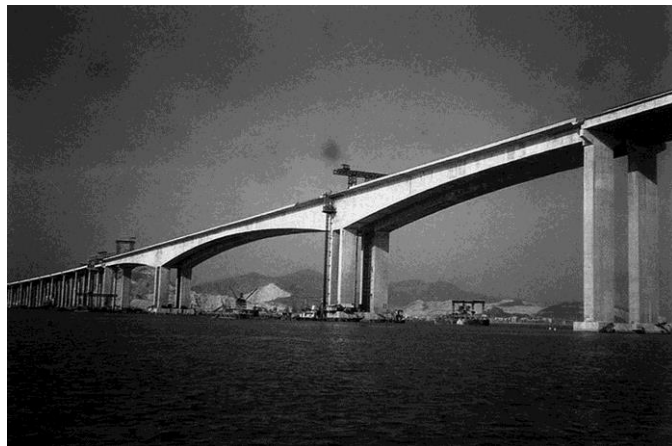


图 1-2-19 连续刚构桥

二、斜拉桥

斜拉桥(图 1-2-20)主要受力部件由承压的塔柱、承弯的主梁和受拉的斜拉索组成,其他部件有基础、辅助墩等。主梁被受拉的斜拉索多点吊起,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,可减小主梁尺寸、降低结构自重、大幅提高斜拉桥的跨越能力,梁的高跨比可做成 $1/50 \sim 1/200$,甚至更小。斜拉索水平分力的存在,增加了梁的稳定性,塔、索、梁构成稳定的三角形,所以斜拉桥的刚度、抗风能力较悬索桥好;但随着跨径的增大,塔高过高、外索过长也限制了其跨越能力。

斜拉桥主梁一般采用预应力混凝土结构、钢-混凝土组合结构或钢结构,索塔大多采用混凝土结构,斜拉索用钢丝、钢绞线等高强抗拉材料。

索面形状主要有三种基本类型:辐射形、竖琴形和扇形(图 1-2-21)。



图 1-2-20 斜拉桥

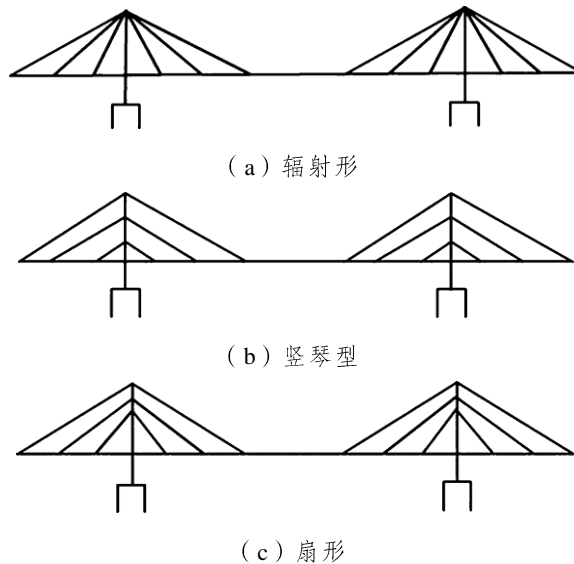


图 1-2-21 斜拉桥的索面形状

斜拉桥的结构体系按照塔、梁、墩的结合方式，可划分为漂浮体系、半漂浮体系、塔梁固结体系和刚构体系。

漂浮体系[图 1-2-22 (a)]：塔墩固结、塔梁分离。主梁除两端有支承外，其余全部用拉索悬吊，属于一种在纵向可稍作浮动的多跨弹性支承连续梁。

半漂浮体系[图 1-2-22 (b)]：塔墩固结，主梁在塔墩上设置竖向支承，成为具有多点弹性支承的连续梁。半漂浮支撑体系的特点是有负弯矩，塔墩处设置支座，主梁施工时比漂浮体系方便。

塔梁固结体系[图 1-2-22 (c)]：塔梁固结并支承在墩上。固结体系最大的特点是主梁的力分布最为有利，其内力与挠度直接同主梁与索塔的弯曲刚度比值有关。一般只在一个塔柱处设置固定支座，其余为纵向活动支座。

刚构体系、T 构体系的特点是塔、梁、墩相互固结，如图 1-2-22 (d) 所示。

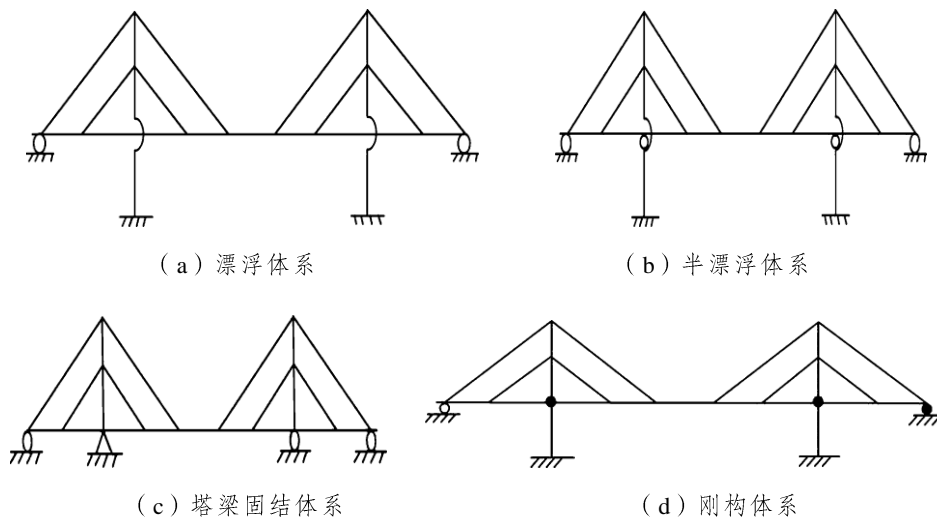


图 1-2-22 斜拉桥的结构体系

按照斜拉桥外部约束的锚固方式不同，斜拉桥可以分为地锚式、自锚式和部分地锚式三类。斜拉桥一般多采用自锚式体系；受地形、地质结构的限制，也采用地锚式斜拉桥。部分地锚式斜拉桥由边跨主梁和地锚共同承担主跨自重及活载；而全地锚斜拉桥边跨不设置拉索或不设置边跨，由地锚承担全部主跨自重及活载。

部分地锚式斜拉桥的锚碇相对于整体桥梁结构来说，其承受的外部荷载较小，拉索根数较少且分散锚固，一般可采用钢筋混凝土矩形实体结构，其构造较为简单。相关研究及试验表明：与全自锚式斜拉桥相比，部分地锚式斜拉桥主梁承受的压力和截面积大幅降低，大大节约了主梁和拉索材料的用量；在极限静横风、纵风工况下，其结构受力也有较大改善；同时，由于增加了地锚，结构总体刚度与静力稳定性均有较大幅度的提高。图 1-2-23 所示为即将竣工的丹江口水库特大桥，为部分地锚式特大斜拉桥，中跨 760 m，边跨 152 m，边中跨比仅为 0.2，远达不到普通双塔三跨斜拉桥的边中跨比 0.3 ~ 0.45。



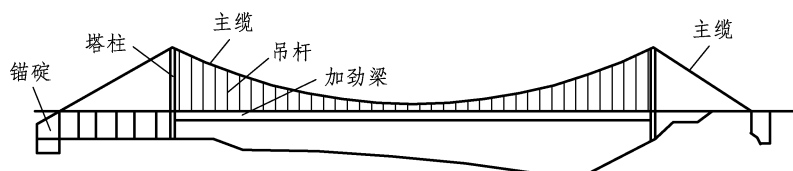
图 1-2-23 丹江口水库特大桥

三、悬索桥

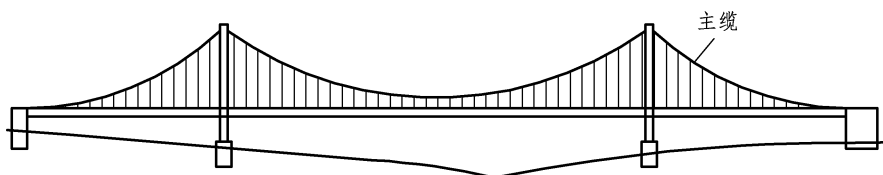
悬索桥又名吊桥[图 1-2-24 (a)], 是指以通过索塔悬挂并锚固于两岸 (或桥两端) 的缆索 (或钢链) 作为上部结构主要承重构件的桥梁。悬索桥的主要受力构件由缆索、塔柱和锚碇组成, 与加劲梁、吊索、鞍座、索夹等一起构成悬索桥。主梁被多点吊起, 可大大减小梁内弯矩, 减轻自重, 同时, 可充分发挥高强索的抗拉性能, 其跨越能力是其他桥型无法相比的, 如图 1-2-24 (b)(c) 所示。



(a) 坝陵河大桥



(b) 单跨式悬索桥简图



(c) 三跨式悬索桥简图

图 1-2-24 悬索桥

自锚式悬索桥: 一般悬索桥的主缆都锚固在锚碇上, 在少数情况下, 可将主缆直接锚固在加劲梁上, 从而取消了庞大的锚碇, 变成了自锚式悬索桥。

自锚式悬索桥有很多优点: 由于不需要修建大体积的锚碇, 所以特别适用于地质条件很差的地区; 对于钢筋混凝土材料的加劲梁, 由于需要承受主缆传递的压力, 刚度会提高,

节省了大量预应力构造及装置，也克服了钢在较大轴向力下容易压屈的缺点；同时，自锚式悬索桥保留了传统悬索桥的外形，在中小跨径桥梁中是很有竞争力的方案。当然，自锚式悬索桥也有很多缺点：由于主缆直接锚固在加劲梁上，梁承受了很大的轴向力，为此需加大梁的截面；锚固区局部受力复杂，也加大了施工难度。

◆任务 2-3 拱桥的构造及类型

【工作任务】

认识各种拱桥，熟悉一般拱桥的结构及特点。

【任务目标】

知识目标：

熟悉拱桥的基本特点。

熟悉拱桥的组成、类型。

掌握拱桥的基本构造要求。

技能目标：

能认识各种拱桥。

能了解常用拱桥类型的构造要求。

【建议课时】

4 课时。

【任务相关理论】

一、拱桥的基本特点

拱桥也是应用比较广泛的一种桥型，其类型也较多。拱式结构在竖向荷载作用下，墩台承受竖向压力和水平推力，而拱圈两端截面除了承受竖向反力外，还承受水平推力产生的反力以及弯矩。水平反力的存在使拱内产生轴向压力，从而大大减小了拱圈的截面弯矩，使拱桥截面上的应力分布较梁桥均匀（图 1-2-25），因而拱桥可以充分利用主拱截面材料强度，使其跨越能力大大增强。

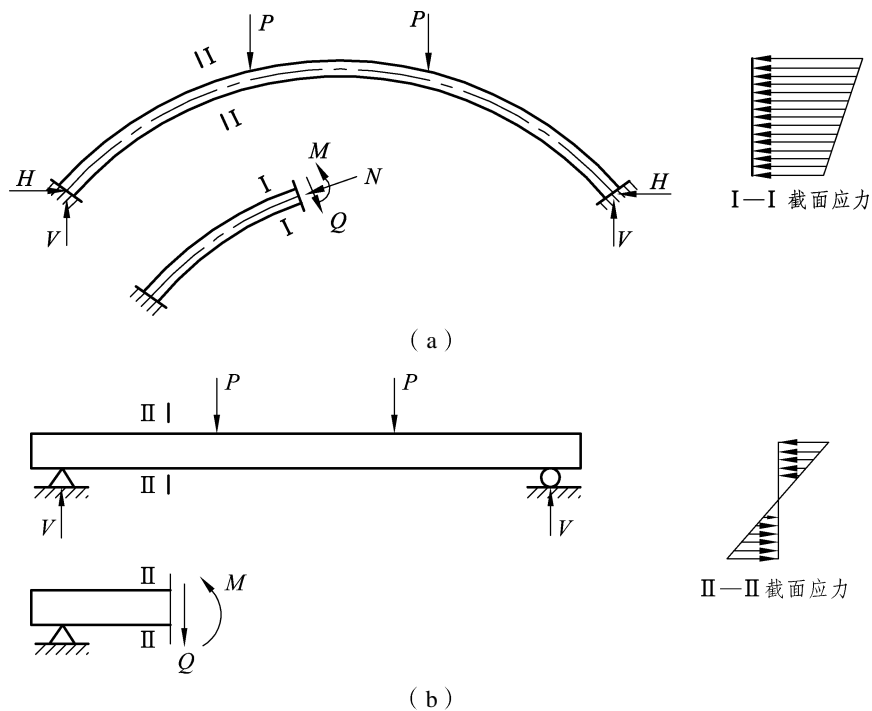


图 1-2-25 拱和梁的应力分布对比

1. 拱桥的优点

- (1) 具有较大的跨越能力，能充分发挥圬工及其他材料的抗压性能。
- (2) 构造较简单，受力明确简洁。
- (3) 形式多样、外形美观。

2. 拱桥的缺点

- (1) 有水平推力的拱桥，对地基基础要求较高，多孔连续时，为防止一孔破坏而影响全桥的安全，需要设置单向推力墩等设施，增加造价。
- (2) 自重较大，相应的水平推力也较大，增加了下部结构的工程量；对施工工艺等要求较高。
- (3) 建筑高度较高，对稳定不利；同时，在城市立交及平原地区时，因桥面标高的提高，使两岸接线长度和工程量增加。

二、拱桥的组成

拱桥上部结构一般由主拱圈和拱上建筑组成，主拱圈是拱桥的主要承重结构；下部结构由桥墩、桥台和基础组成，如图 1-2-26 所示。一般把拱圈的上曲面称为拱背，下曲面称为拱腹，拱圈截面形心的连线称为拱轴线。

矢跨比 (f/L) 是反映拱桥受力特性的重要指标，在同样的条件下，矢跨比大的拱桥产生的水平力小。一般将矢跨比大于等于 $1/5$ 的拱桥称为陡拱，矢跨比小于 $1/5$ 的称为坦拱。

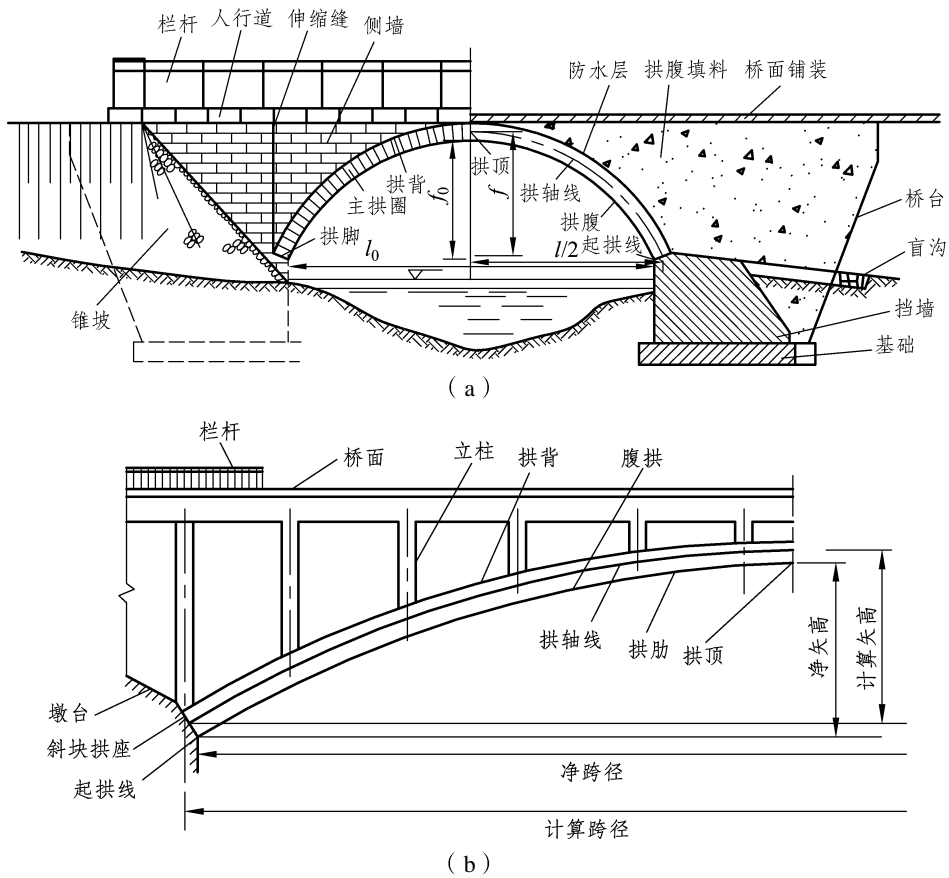


图 1-2-26 拱桥的组成

三、拱桥分类

(1) 按主拱圈使用的建筑材料分：圬工拱桥、钢拱桥、钢筋混凝土拱桥、钢管混凝土拱桥、型钢混凝土拱桥等。

(2) 按行车道位置分：上承式拱桥、中承式拱桥、下承式拱桥，如图 1-2-27 ~ 图 1-2-29 所示。



图 1-2-27 上承式拱桥



图 1-2-28 中承式拱桥

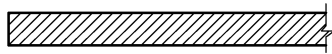


图 1-2-29 下承式拱桥

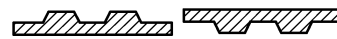
- (3) 按拱轴线形式分：圆弧拱桥、抛物线拱桥、悬链线拱桥。
- (4) 按拱上结构形式分：实腹式拱桥、空腹式拱桥。
- (5) 按拱圈横截面形式分：板拱桥、肋拱桥、箱形拱桥、双曲拱桥。
- (6) 按结构受力图式分：简单体系拱桥、组合体系拱桥和拱片桥。
- (7) 按有无铰分：三铰拱、两铰拱、无铰拱。

四、主拱圈构造

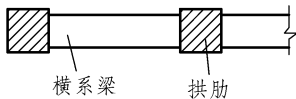
拱圈是拱桥的主要承重构件，可用块石、混凝土、钢筋混凝土、钢、钢管混凝土等材料做成，拱轴线根据跨径、材料等的不同，可选择抛物线、悬链线、圆弧线等形式；主拱圈沿拱轴线可做成等截面或变截面的，其横截面形状可以是矩形、箱形等，我们可按主拱圈横截面形式把拱桥分为板拱、肋拱、箱形拱、双曲拱等，如图 1-2-30 所示。



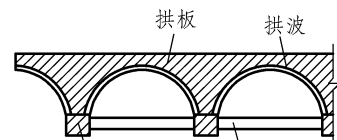
(a) 板拱



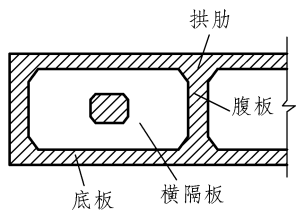
(b) 板肋拱



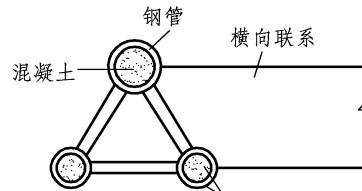
(c) 肋拱



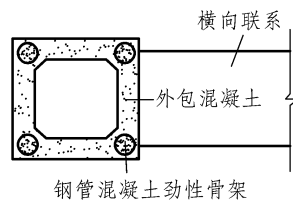
(d) 双曲拱



(e) 箱形拱



(f) 钢管混凝土拱



(g) 劲性骨架混凝土拱

图 1-2-30 主拱圈横截面形式

1. 板拱桥

主拱圈采用矩形实体截面的拱桥称为板拱桥，其构造简单、施工方便，但在相同截面面积的条件下，实体矩形截面抵抗矩比其他形式截面的小。板拱桥有石板拱、混凝土板拱、钢筋混凝土板拱等，如图 1-2-31 所示。

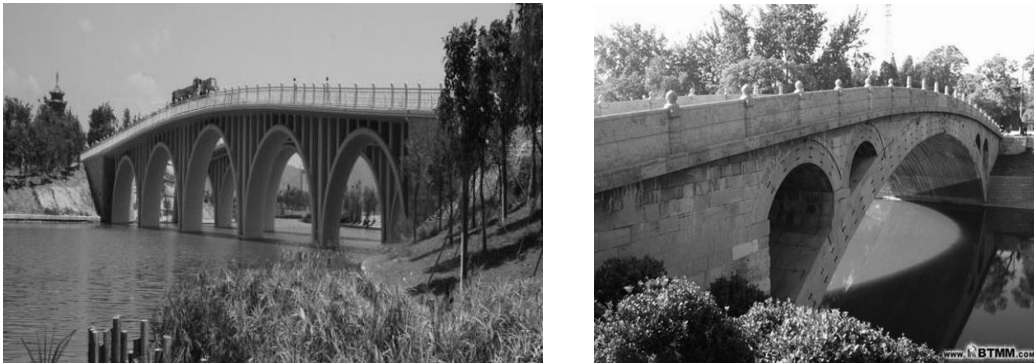


图 1-2-31 板拱桥

2. 肋拱桥

肋拱桥是在板拱桥的基础上发展形成的，为获得较大的抵抗矩，将板拱分成两条或多条分离的、高度较大的拱肋，肋与肋间用横系梁相联，肋上设立柱，立柱上设横梁以支承行车道部分，共同组成肋拱桥的上部结构，如图 1-2-32、图 1-2-33 所示。

拱肋是主要承重结构，可由混凝土、钢筋混凝土、钢管混凝土、劲性骨架混凝土等材料做成。拱肋的截面形式可分为实体矩形、工字形、箱形、管形等，如图 1-2-34 所示。

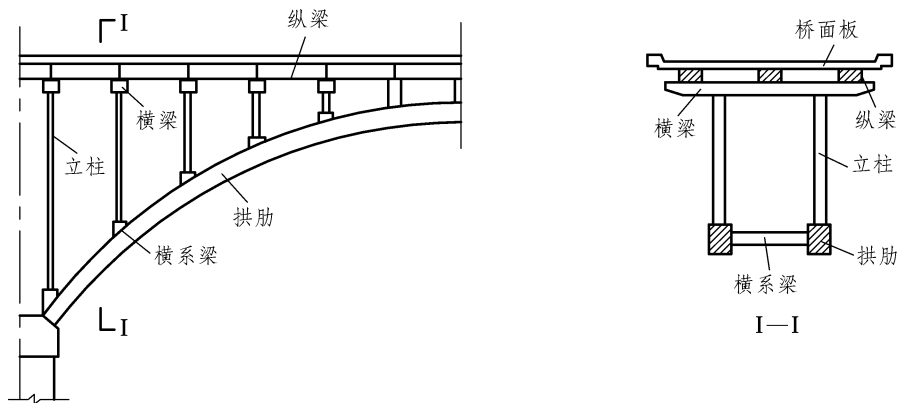


图 1-2-32 肋拱桥布置图



图 1-2-33 肋拱桥

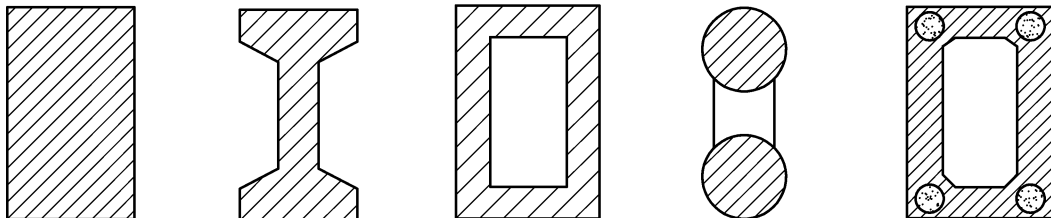


图 1-2-34 肋拱拱肋截面形式

矩形截面构造简单、施工方便，一般仅用于中小跨径的肋拱。肋高可取跨径的 $1/40 \sim 1/60$ ，肋宽为肋高的 $0.5 \sim 2.0$ 倍。工字形截面，常用于大、中跨径的肋拱桥，肋高一般为跨径的 $1/25 \sim 1/35$ ，肋宽为肋高的 $0.4 \sim 0.5$ 倍。管形肋拱是指采用钢管混凝土结构作为拱肋的拱桥，其肋高与跨径之比常在 $1/45 \sim 1/65$ 。

3. 箱形拱桥

箱形拱桥截面挖空率大，节省材料；形心轴靠中适应主拱正负弯矩变化；主拱整体性好，抗扭刚度大，稳定性好；便于预制拼装施工，适合大跨径拱桥。图 1-2-35 为箱形拱桥截面示意图，图 1-2-36 为箱形拱闭合箱的构造图。

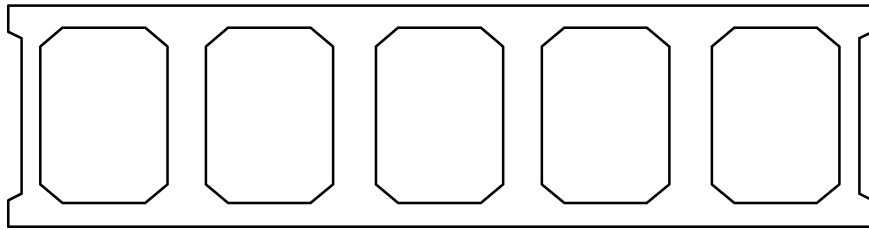


图 1-2-35 箱型截面形式

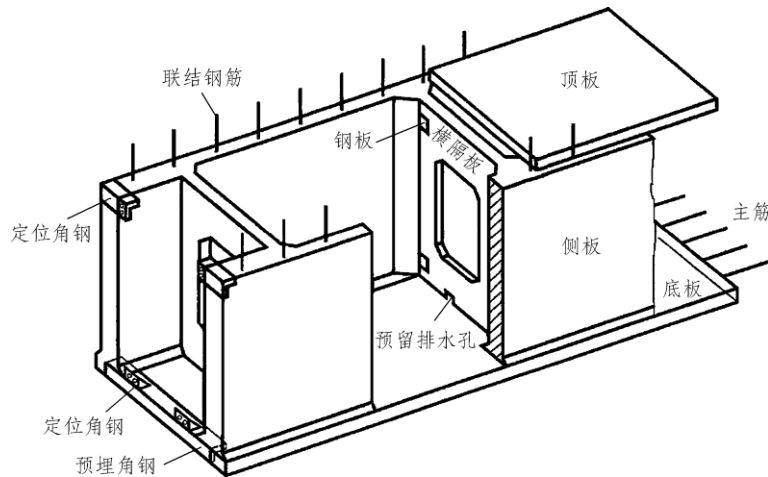


图 1-2-36 箱形拱闭合箱构造

箱形主拱圈的形式有：多条 U 形肋组成的多室箱形截面、多条工字形肋组成的多室箱形截面、多条闭合箱肋组成的多室箱形截面和整体式单箱多室截面，如图 1-2-37 所示。

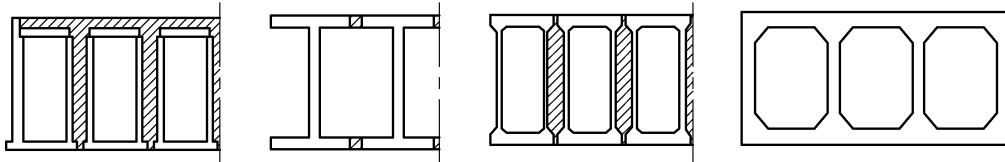


图 1-2-37 箱形截面组成方式

4. 双曲拱桥

双曲拱桥的主拱圈截面由一个或数个横向小拱单元组成，由于主拱圈的纵向和横向均呈曲线形，故称之为双曲拱桥，如图 1-2-38 所示。双曲拱桥通常由拱肋、拱波、拱板和横向联系几部分组成。施工时，先将拱圈划分为拱肋、拱波、拱板及横向联系，并分别预制其中的拱肋、拱波和横向联系部分，即为化整为零；然后吊装钢筋混凝土拱肋成拱并与横向联系构件组成拱形框架，在拱肋间安装拱波，然后浇筑拱板混凝土，形成主拱圈，即集零为整。本桥型是我国独创的桥型结构，但由于施工工序多、组合截面整体性较差和易开裂等，寿命很短，后续维修费用过高，已经基本停用。

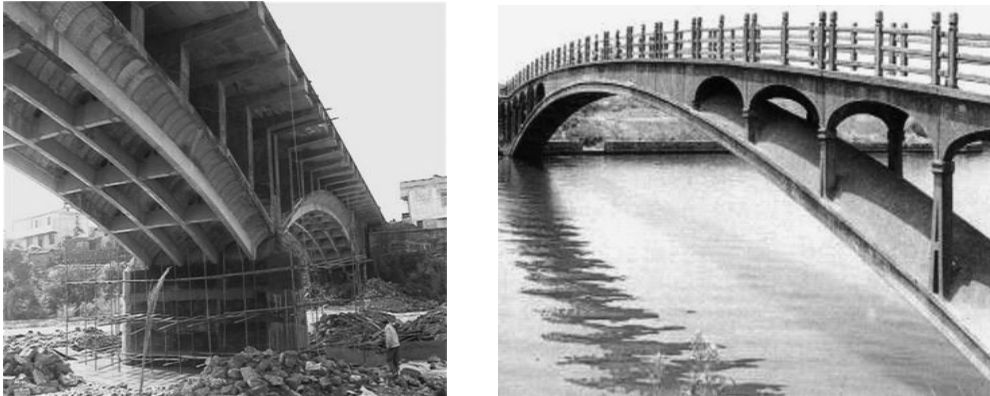


图 1-2-38 双曲拱桥

5. 钢管混凝土拱桥与劲性骨架混凝土拱桥

这两种拱桥是按材料来分的。

钢管混凝土拱桥：钢管混凝土属于钢-混凝土组合结构中的一种，它借助于内填混凝土增强钢管壁的稳定性，同时又利用钢管对核心混凝土的套箍作用，使核心混凝土处于三向受压状态，从而使混凝土具有更高的抗压强度和抵抗变形的能力。

钢管混凝土的优点是承载能力大，正常使用状态是以应力控制设计，外表不存在混凝土裂缝问题，因而可以使主拱圈截面及其宽度相对减小，这样便可以减小桥面上由承重结构所占的宽度，提高了中、下承式拱桥桥面宽度的使用效率。施工时，钢管本身相当于混凝土的外模板，它具有强度高、质量轻、适宜吊装或转体的特点，可以先将空管拱肋合龙，再压注管内混凝土，从而大大降低了大跨径拱桥施工的难度，省去了支模、拆模等工序，并可适应相对先进的泵送混凝土工艺。

与所有材料一样，钢管混凝土材料也有它自身的缺点。对于管壁外露的钢管混凝土，在阳光照射下，钢管膨胀，容易造成钢管与内填混凝土之间出现脱空现象；另外，施工时钢管先于管内混凝土受力，往往造成钢管应力偏高而混凝土不能发挥应有的作用，泵送管内混凝土时也常出现不能完全饱满的情况，这会引引起拱圈受力不够明确、安全度降低等问题，这些都需要予以解决。

钢管混凝土拱桥适用于各种大跨径拱桥，再加上组合形式的多样性和桥型的美观，近年来各种钢管混凝土拱桥在我国得以蓬勃发展，如图 1-2-39 所示。





图 1-2-39 钢管混凝土拱桥

劲性骨架混凝土拱桥：劲性骨架混凝土拱桥与普通钢筋混凝土拱桥的区别在于，前者是以钢骨桁架作为受力筋，它可以是型钢组成的刚性桁架，也可以是钢管，采用钢管作劲性骨架的混凝土拱亦称为内填外包型钢管混凝土拱；施工时，先架设重量较轻的钢管，在钢管内压注混凝土，形成钢管混凝土，再以它为支架外挂模板，浇筑外包混凝土，形成劲性骨架混凝土结构。劲性骨架混凝土拱解决了大跨度拱桥的“自行架设”问题，该类桥跨越能力大、超载潜力大、施工方便，是一种极具发展前途的拱桥结构形式。

我国著名的万州长江大桥原名万县长江大桥，是长江上第一座单孔跨江公路大桥，全长 814 m、宽 23 m，桥拱净跨 420 m，桥面距江面高 140 m。主拱轴线为悬链线，矢跨比为 1/5，拱轴系数为 1.6。拱圈为单箱三室截面，箱高 7 m、宽 16 m，拱箱标准段顶、底板各厚 0.4 m，腹板厚 0.3 m，拱脚段顶、底板各厚 0.8 m，腹板厚 0.6 m。拱上及引桥为同一孔跨贯通布置，共 27 孔 30.668 m 预应力混凝土 T 梁，桥面连续。拱圈采用钢管混凝土劲性骨架外包 C60 高强混凝土复合结构。其中钢管混凝土劲性骨架先期是施工构架，在拱圈形成后它就成为拱圈内的劲性“钢筋”，是当时世界上跨径和规模最大的钢筋混凝土拱桥，如图 1-2-40 所示。

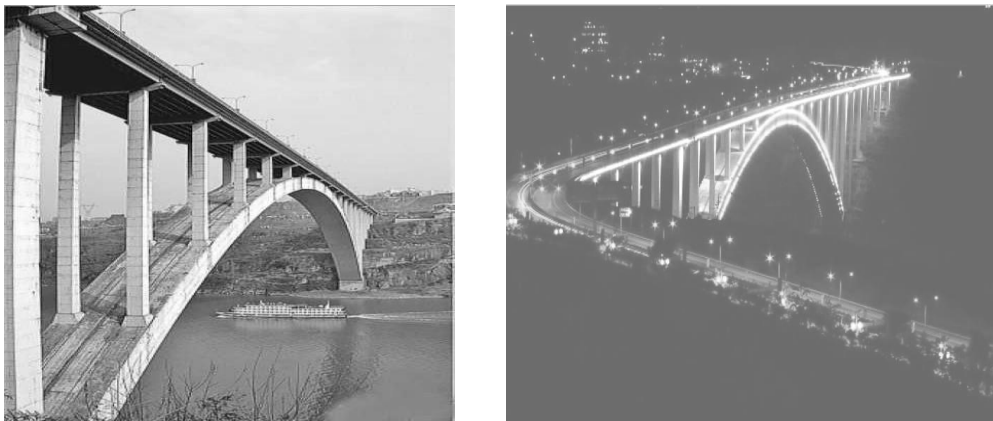


图 1-2-40 万州长江公路桥

五、拱上建筑

拱上建筑是上承式拱桥桥面系与主拱圈间的结构。它的作用是分散和传递荷载。根据

拱上建筑采用的构造方式不同，可将拱桥分为实腹式和空腹式两种。

实腹式拱上建筑由拱腹填料、侧墙、护拱、变形缝、防水层、泄水管及桥面系等组成。实腹式适用于小跨径拱桥，恒载较大，如图 1-2-41 所示。

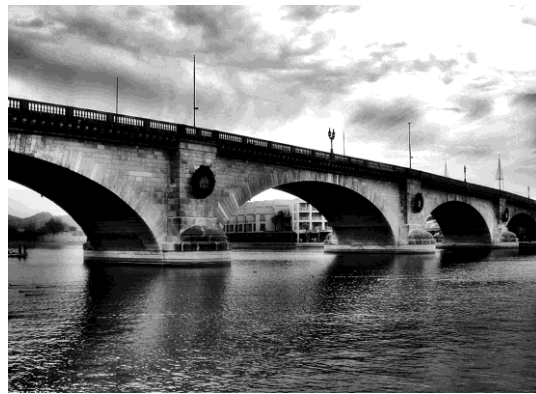
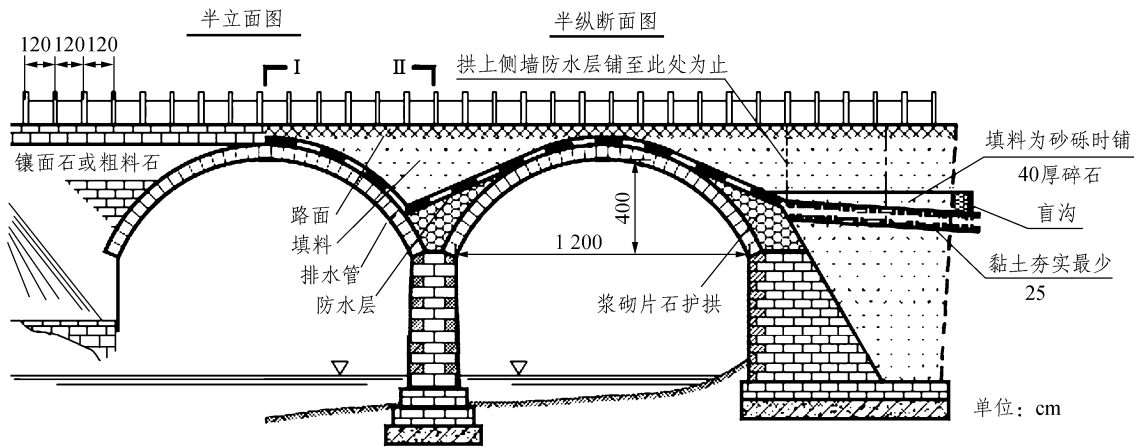


图 1-2-41 实腹式拱桥

大、中跨径拱桥（矢高较大）采用空腹式，即在桥面系与主拱间设腹孔和腹孔墩；腹孔的布置应结合主拱的类型、构造、施工方法等综合考虑。

腹孔分为拱式腹孔及梁板式腹孔。腹孔一般等跨对称布置在主拱圈两侧。腹拱跨径：对中小跨径拱桥一般选用 2.5 ~ 5.5 m，矢跨比 $1/2 \sim 1/6$ ；对较大跨径拱桥则控制在主拱圈跨径的 $1/8 \sim 1/15$ 。现代交通的大跨径拱桥，为减小拱桥的自重，多采用增加空腹部分，不再设置拱顶实腹段，腹孔墩可采用立墙式或立柱式，如图 1-2-42 所示。

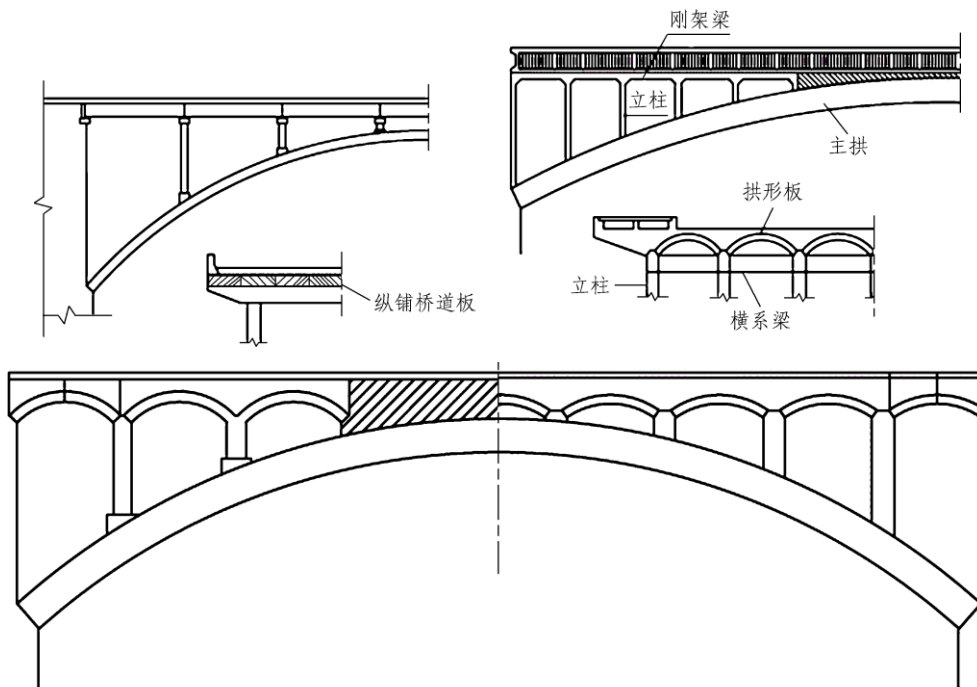


图 1-2-42 空腹式腹式拱桥

六、拱桥的其他细部构造

(1) 拱腹填料：拱腹填料的设置可以扩大车辆荷载的支承面积，同时还可以减小车辆荷载对拱圈的冲击。当拱上填料厚度等于或者大于 50 cm 时，设计计算中不计汽车荷载的冲击力。拱腹填料有填充式和砌筑式两种。填充式填料通常采用透水性好砂砾石等材料，也可采用其他轻质材料。

砌筑式拱腹填料是在散粒料不易取得时才采用的一种干砌施工方式。侧墙用来围护拱腹上的散粒填料，设置在拱圈两侧，通常采用浆砌块、片石，若有特殊的美观要求，则可用料石镶面。对混凝土或钢筋混凝土板拱，也可用钢筋混凝土护壁式侧墙。这种侧墙可以与主拱浇筑为一体。侧墙一般要求承受填料土侧压力和车辆作用下的土侧压力，故按挡土墙进行设计。对浆砌施工侧墙，顶面厚度一般为 50 ~ 70 cm，向下逐渐增厚，墙脚厚度取用该处墙高的 0.4 倍。护拱设于拱脚段，以便加强拱脚段的拱圈，同时，便于在多孔拱桥上设置防水层和泄水管，通常采用浆砌块石、片石结构。

(2) 伸缩缝与变形缝：为保证结构的安全性与耐久性，相对变形较大的位置设伸缩缝，相对变形较小处设变形缝，使拱上建筑适应主拱圈的变形；一般情况下，在实腹式拱桥的拱脚截面上方的侧墙上设伸缩缝，对空腹式拱桥，靠近墩台的第一个腹孔一般做成三铰拱，其余腹孔做成两铰拱或无铰拱，第一个三铰腹孔靠近墩台的铰上方设伸缩缝，其余铰的上方设变形缝，如图 1-2-43 所示。

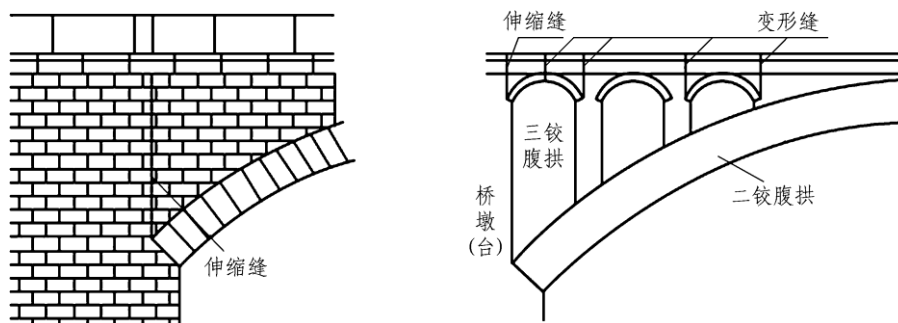


图 1-2-43 拱桥伸缩缝及变形缝的布置

伸缩缝缝宽 2~3 cm，其缝内填料可用锯末沥青按 1:1 的质量比制成预制板，施工时嵌入，并在上缘设置能活动而不透水的覆盖层。变形缝不留缝宽，其缝可干砌、用油毛毡隔开或者低强度等级砂浆砌筑。

(3) 铰的设置，拱桥需设铰的情况有：主拱圈按两铰或三铰拱设计；空腹式腹拱圈按构造设铰、腹孔墩上下端设铰；施工过程中的临时铰。铰的形式有：弧形铰、平铰及假铰等。

(4) 排水及防水层。除桥面排水外，应对渗入到拱腹内的积水作排除处理，防水层的设置一般如图 1-2-44 所示。

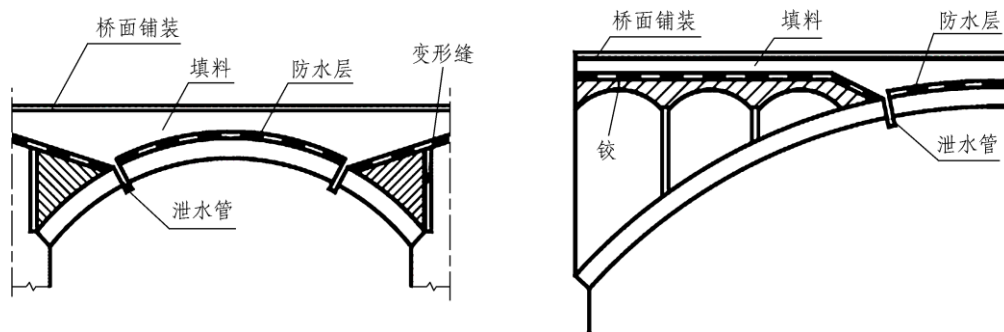


图 1-2-44 防水层与泄水管的布置

七、拱桥的类型

拱桥的类型较多，分类可从不同的维度进行，因而较为复杂。就结构体系而言，拱桥体系分类可参照表 1-2-2 所示。下面就部分拱桥类型做简要介绍。

表 1-2-2 拱桥结构体系分类

结构形式	结构受力性能		
	外部约束	内部连接方式	刚度分配
单跨拱桥	有推力体系	三铰拱	刚梁柔拱
多跨拱桥	无推力体系	拱梁固结	刚梁刚拱
上承式、中承式、下承式拱桥	无铰拱体系	拱梁铰接	柔梁刚拱

竖直吊杆拱桥 斜吊杆拱桥 网状吊杆拱桥 桁架拱桥 刚架拱桥 空腹式拱桥 实腹式拱桥	双铰拱体系	拱梁自由连接 简单体系拱桥 组合体系拱桥	
--	-------	----------------------------	--

1. 简单体系拱桥

简单体系拱桥只考虑主拱圈的承重能力，即主拱圈以裸拱的形式作为主要承重结构，拱的水平推力由墩台或基础承受。

简单体系拱桥均为有推力拱，可以做成上承式、中承式和下承式。简单体系拱桥按主拱的受力体系可分成三铰拱、两铰拱和无铰拱，如图 1-2-45 所示。

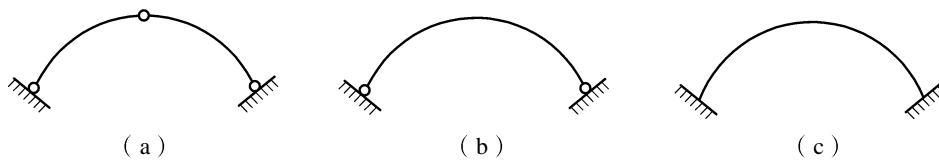


图 1-2-45 简单体系拱的三铰拱、两铰拱和无铰拱

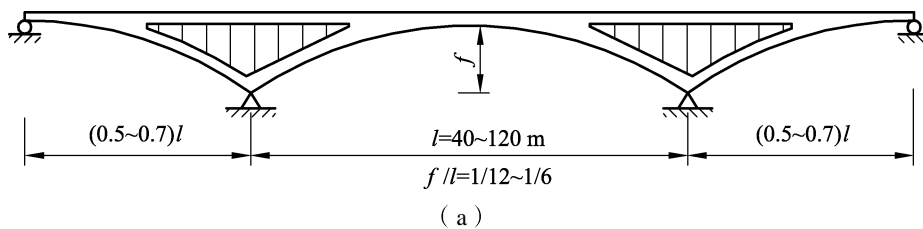
三铰拱属外部静定结构，温度变化、混凝土收缩徐变、支座沉陷等因素引起的变形不会在结构内产生附加内力，但结构的整体刚度较小且拱顶铰极易损坏，行车平顺性差，现已较少采用。两铰拱属一次超静定结构。无铰拱属外部三次超静定结构，拱内的弯矩分布均匀，整体刚度大、用料省、施工方便；但由于超静定次数高，温度变化等会在拱内产生较大的附加内力。

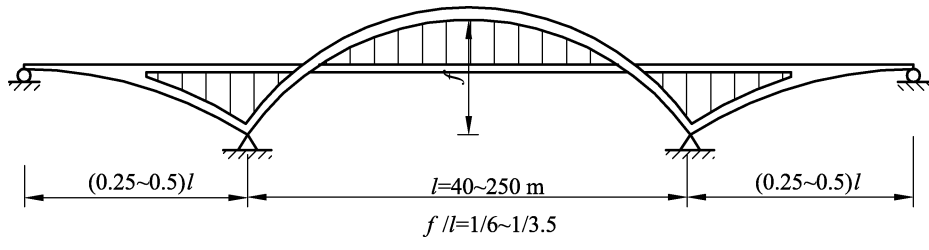
2. 组合体系拱桥

组合体系拱桥主要是梁拱组合，即将梁和拱两种基本结构组合起来，共同承受荷载，充分发挥梁受弯、拱受压的结构特性及其组合作用，达到节省材料的目的。

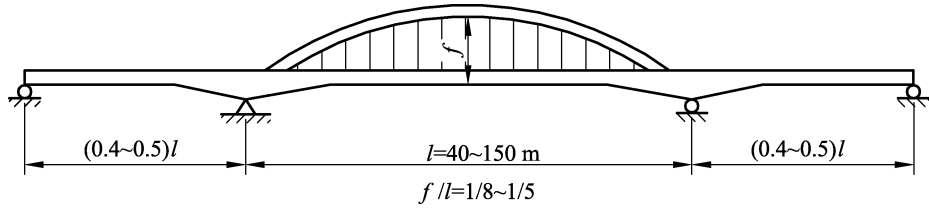
组合体系拱桥一般由拱肋、系杆（加劲梁）、吊杆（或立柱）、行车道梁（板）及桥面系组成。

按梁拱组合的基本形式，拱式组合体系桥分为简支梁拱组合式桥梁（图 1-2-49、图 1-2-50）、连续梁拱组合式桥梁和单悬臂梁拱组合式桥梁，如图 1-2-46 ~ 图 1-2-48 所示。





(b)



(c)

图 1-2-46 连续梁拱组合体系示意图

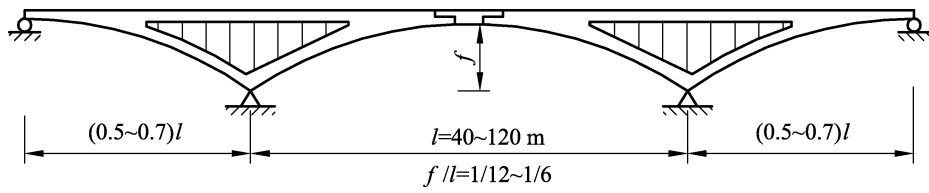
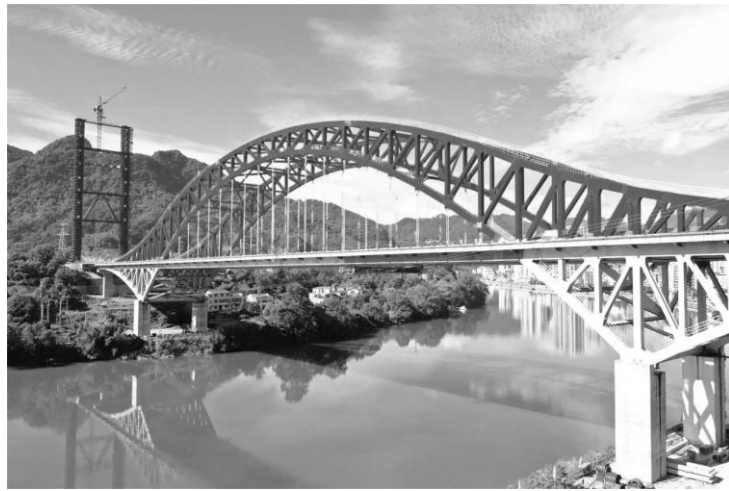


图 1-2-47 悬臂梁拱组合体系示意图



(a)



(b)

图 1-2-48 连续梁拱组合体系

拱式组合体系桥根据其受力不同，可分为有推力拱和无推力拱两种类型。

(1) 无推力组合体系拱桥。

无推力组合体系拱桥（图 1-2-49），即在竖向荷载作用下拱脚对墩台无水平推力作用的拱桥，其推力由刚性梁或柔性杆件承受，属于内部超静定、外部静定的组合体系拱桥。它适用于地质不良的桥位处，墩台与梁式桥基本相似，不承受水平推力，形成“自平衡体系”，对地基要求低。同时，其建筑高度很小，桥面标高可设计得很低，降低了纵坡，减小了引桥长度，因此可以节约材料。



图 1-2-49 无推力组合体系拱桥

系杆拱桥属无推力拱式组合体系桥，其拱的推力由系杆承受，系杆的含义即一个将两拱脚联系在一起的水平构件。根据拱肋和系杆相对刚度的大小及吊杆的布置形式，系杆拱桥，可以分为：

具有竖直吊杆的柔性系杆刚性拱 ($\frac{EI_{\text{系杆}}}{EI_{\text{拱肋}}} \leq 1/80$)，称为系杆拱，如图 1-2-50 (a) 所示；

具有竖直吊杆的刚性系杆柔性拱 ($\frac{EI_{\text{系杆}}}{EI_{\text{拱肋}}} \geq 80$)，称为蓝格尔拱，如图 1-2-50 (b) 所示；

具有竖直吊杆的刚性系杆刚性拱 ($1/80 < \frac{EI_{\text{系杆}}}{EI_{\text{拱肋}}} < 80$)，称为洛泽拱，如图 1-2-50 (c) 所示；

当用斜杆来代替直杆时，称为尼尔森体系，统称尼尔森拱。

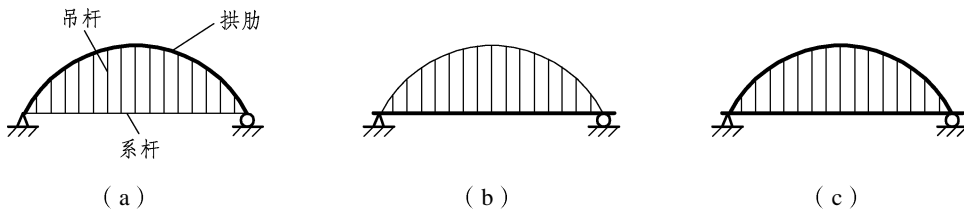


图 1-2-50 简支梁拱组合体系拱

(2) 有水平推力的组合体系拱。

有水平推力的组合体系拱，即在竖向荷载作用下拱脚对墩台有水平推力作用的拱桥。水平推力可减小跨中弯矩，能建成大跨度的桥梁。其造型美观，城市桥梁一般优先选用，可做成上承式、中承式桥。也有的组合体系拱没有系杆，由单独的梁和拱共同受力，拱的推力仍由墩台承受。刚性梁柔性拱称为倒蓝格尔拱，刚性梁刚性拱称为倒洛泽拱，如图 1-2-51、图 1-2-52 所示。

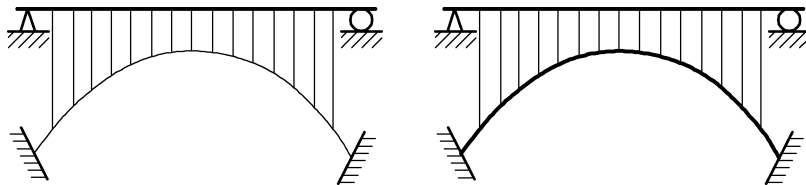


图 1-2-51 有水平推力的组合体系拱桥



图 1-2-52 有推力梁拱组合体系桥

3. 拱片桥

上边缘与桥面纵向平行，下边缘是拱形的有推力结构，称为拱片，拱片由两片或多片组成，用横向联结系将各拱片联成整体，行车道板支承在拱片上，推力仍由墩台承受，如图 1-2-53 所示。

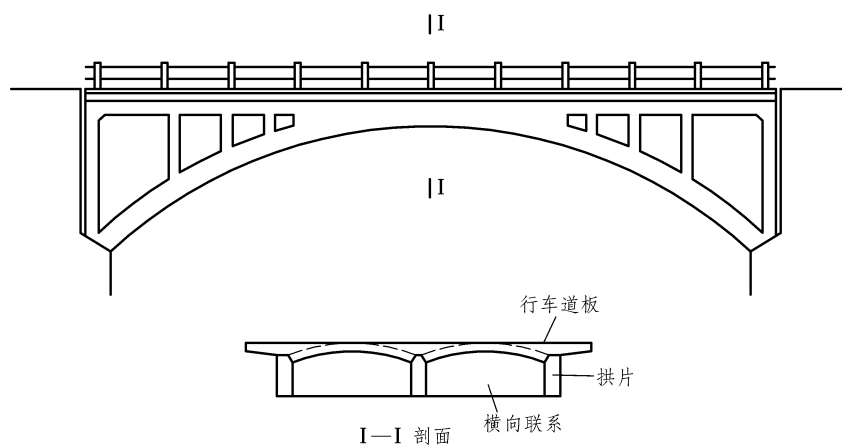


图 1-2-53 拱片桥

(1) 桁架拱桥。

桁架拱桥又称拱形桁架桥，如图 1-2-54 所示，是一种有水平推力的桁架结构，其上部结构由桁架拱片、横向联结系和桥面组成。桁架拱片是主要承重结构，由上、下弦杆、腹杆和实腹段组成。



图 1-2-54 桁架拱桥（安城桥，主跨 65 m 的预应力混凝土斜压杆式桁架拱桥）

根据其构造不同，桁架拱桥可分为斜（腹）杆式（有三角形腹杆、带竖杆的三角形桁架拱，如图 1-2-55 所示）、竖（腹）杆式、桁肋式和组合式四种，如图 1-2-56、图 1-2-57 所示。

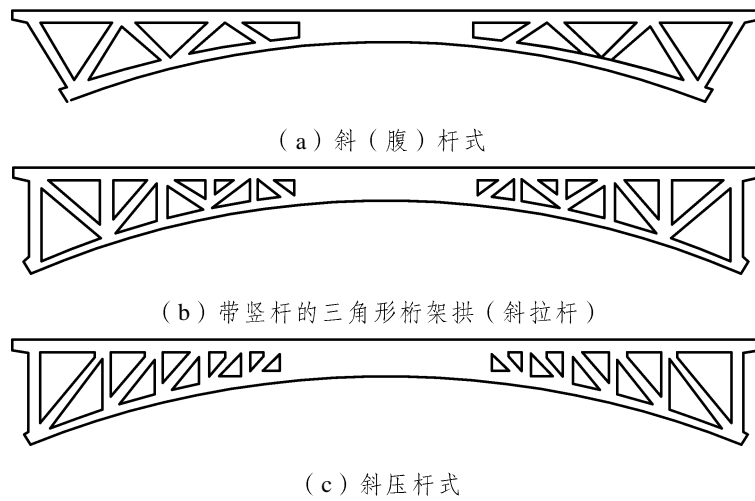


图 1-2-55 斜杆式桁架拱桥

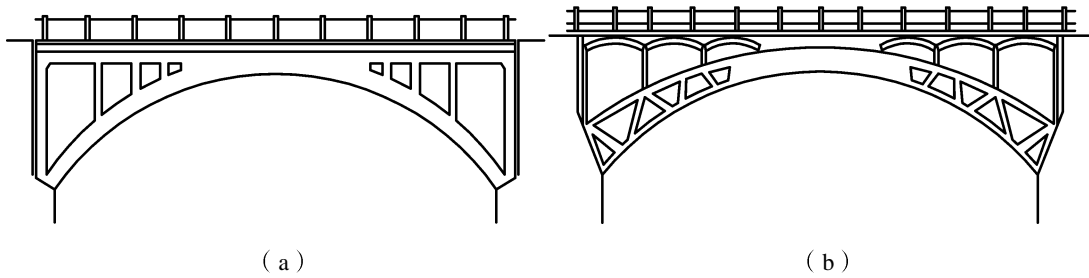
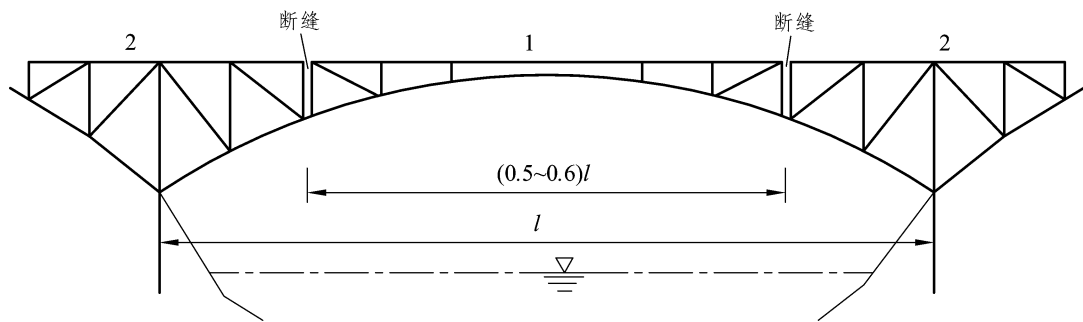


图 1-2-56 竖杆式和桁肋式拱桥



1—桁架拱部分；2—悬臂桁梁部分。

图 1-2-57 桁式组合拱桥的组成

(2) 刚架拱桥。

刚架拱桥是在桁架拱桥、斜腿刚构桥等基础上发展而来的，是一种具有刚架特点的拱桥，也是一种有推力的拱桥。其主结构由拱肋构成主拱，拱上建筑取斜腿刚构的形式，并联结成整体，故名刚架拱桥。

刚架拱桥的上部结构由刚架拱片、横向联结系和桥面等部分组成（图 1-2-58）。

刚架拱片是拱肋与拱上建筑组成整体的承重结构，立面上略呈拱形，是刚架拱桥的主要承重结构，由跨中实腹段的主梁、空腹段的次梁、主拱腿（主斜撑）、次拱腿（次斜撑）

等构成。根据跨径的不同，次拱腿可不设或多设。

刚架拱桥属有推力的高次超静定结构，具有构件少、自重小、整体性好、结构刚度大、施工方便等优点，被广泛用于跨度为 25 ~ 70 m 的桥梁中（图 1-2-59）。

1/2跨刚架拱片立面布置

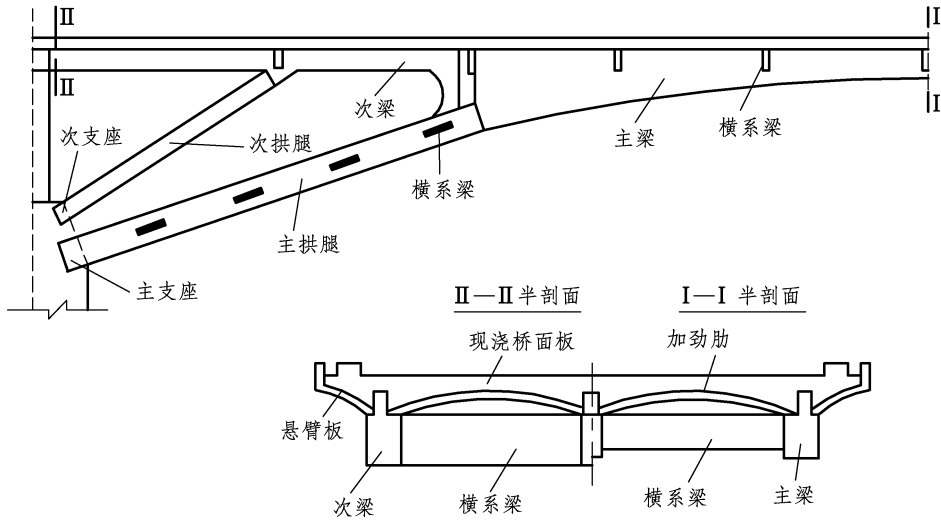


图 1-2-58 刚架拱桥的组成



图 1-2-59 刚架拱桥