

第一篇 桥梁上部

第一章 总论

第一节 概述

一、桥梁在交通事业中的地位和国内外桥梁的发展概况

（一）桥梁在交通事业中的地位

建立四通八达的现代化交通网，大力发展交通运输事业，对于加强全国各族人民的团结，发展国民经济，促进各地经济发展，促进文化交流和巩固国防，都具有非常重要的意义。在公路、铁路、城市和农村道路以及水利建设中，为了跨越各种障碍（如河流、沟谷或其他线路等），必须修建各种类型的桥梁与涵洞，因此桥涵是交通线中的重要组成部分。在经济上，一般说来桥梁和涵洞的造价平均占公路总造价的 10%~20%。随着公路等级的提高，其所占比例将会增大。

由于科技的进步，工业水平的提高，社会生产力的高速发展，人们对桥梁建筑提出了更高的要求。现代高速公路上迂回交叉的立交桥、高架桥不但是规模巨大的工程实体，而且犹如一道地上“彩虹”。纵观世界各国的大城市，常以工程雄伟的大桥作为城市的标志与骄傲。

（二）我国桥梁建筑的成就

根据史料记载，在距今约三千年的周文王时，我国就已在宽阔的渭河上架过大型浮桥。由于浮桥的架设具有简便快速的特点，所以它常被用于军事活动。汉唐以后，浮桥的运用日趋普遍。

现代桥梁中广为修建的多孔桩柱式桥梁，在我国春秋战国时期（公元前 332 年）就已普遍在黄河流域和其他地区采用，不同的只是古桥多以木桩为墩桩，上置木梁、石梁。

近代的大跨径吊桥和斜拉桥也是由古代的藤、竹吊桥发展而来的，在各国有关桥梁的历史书上，大都承认我国是最早建造吊桥的国家。据记载，至迟在唐朝中期，我国就从藤索、竹索发展到用铁链建造吊桥，而西方在 16 世纪才开始建造铁链吊桥，比我国晚了近千年。至今尚保留下来的古代吊桥有四川泸定县的大渡河铁索桥（1706 年），以及灌县的安澜竹索桥（1803 年）等。泸定铁索桥跨长约 100m，宽约 2.8m，由 13 条锚固于两岸的铁链组成。安澜桥是世界上最著名的竹索桥，全长 340 余米，分 8 孔，最大跨径约 61m，全桥由用细竹蔑编成粗五寸的 24 根竹索组成，其中桥面索和扶栏索各半。

在秦汉时期，我国已广泛修建石梁桥。世界上现在尚保存着的最长、工程最艰巨的石梁桥就是我国于 1053 年，1059 年在福建泉州建造的万安桥，也称洛阳桥。此桥长达 800m，共

47 孔，位于“波涛汹涌，水深不可址”的海口江面上。此桥以磐石铺遍桥位江底，是近代筏形基础的开端，并且独具匠心地用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基，使之成为整体，此亦是世界上绝无仅有的造桥方法。近千年前就能在这种艰难复杂的水文条件下建成如此的长桥，实为中外桥梁史上一个奇迹。

1240 年建造的福建漳州虎渡桥，也是最令人惊奇的一座梁式石桥。此桥总长约 335m 某些石梁长达 23.7m 沿宽度用三根石梁组成 每根宽 1.7m 高 1.9m 重量达 200t 该桥一直保存至今。历史记载，这些巨大石梁是利用潮水涨落浮运架设的。

举世闻名的河北省赵县的赵州桥（又称安济桥），是我国古代石拱桥的杰出代表（图 1-1-1）。该桥在隋大业初年（公元 605 年左右）为李春所创建，是一座空腹式的圆弧形石拱桥，净跨 37.02m，宽 9m 拱矢高度 7.23m。在拱圈两肩各设有二个跨度不等的腹拱，这样既能减轻自重，节省材料，又便于排洪，增加美观。



图 1-1-1 河北赵县赵州桥（公元 605 年）

除赵州桥外，我国还有其它著名的石拱桥，如北京永定河上的芦沟桥，颐和园内的玉带桥和十七孔桥、苏州的枫桥等。我国石拱桥的建造技术在明朝时曾流传到日本等国，促进了与世界各国人民的文化交流，并增进了友谊。

在我国古桥建筑中，尚值得一提的是广东潮安县横跨韩江的湘子桥（又名广济桥）。此桥始建于公元 1169 年 全桥长 517.95m 总共 20 个墩台 19 孔 上部结构有石拱、木梁、石梁等多种型式 还有用 18 条浮船组成的长达 97.30m 的开合式浮桥。设置浮桥的目的，一方面适应大型商船和上游木排的通过，并且也避免了过多的桥墩阻塞河道，以致加剧桥基冲刷而造成水害。这座世界上最早开合式桥，论石桥之长、石墩之大、桥型之多以及施工条件之难、工程历时之久，都是古代建桥史上所罕见的。

新中国成立后，在政治上取得了独立和解放的我国人民，以大无畏的英雄气概，迅速地医治了战争的创伤，恢复了经济。随着社会主义建设的向前发展，桥梁建设同其他各条战线一

样，也出现了突飞猛进的局面。

1957年第一座长江大桥——武汉长江大桥的胜利建成，结束了我国万里长江无桥的状况。从此，“一桥飞架南北，天堑变通途”。大桥的正桥为三联 $3 \times 128\text{m}$ 的连续钢桁梁，双线铁路，上层公路桥面宽 18m ，两侧各设 2.25m 人行道，包括引桥在内全桥总长 1670.4m 。大型钢梁的制造和架设、深水管柱基础的施工等，为发展我国现代桥梁技术开创了新路。

1969年我国又胜利建成了举世瞩目的南京长江大桥（图 1-1-2）这是我国自行设计、制造、施工，并使用国产高强钢材的现代化大型桥梁。正桥除北岸第一孔为 128m 简支钢桁梁外，其余为 9 孔 3 联，每联为 $3 \times 160\text{m}$ 的连续钢桁梁。上层为公路桥面，下层为双线铁路。包括引桥在内，铁路桥部分全长 6772m ，公路桥部分为 4589m 。桥址处水深流急，河床地质极为复杂，大桥桥墩基础的施工非常困难。南京长江大桥的建成，显示出我国的建桥事业已达到了世界先进水平，也是我国桥梁史上又一个重要标志。

我国还创造和推广了不少新颖的拱桥结构，如 1964 年创建的双曲拱桥，它具有用料省、造价低、施工简便和外形美观等优点，很快在全国公路上得到应用和推广，对加快我国公路桥梁的建设速度，曾起了很大作用。此外，全国各地还因地制宜创建了其他一些各具特色的拱式桥型，其中推广较快的有江、浙一带建的钢筋混凝土桁架拱桥和刚架拱桥，其特点是上部结构自重小，适合于软土地基上建造拱桥。山东的两铰平板拱，河南的双曲扁拱，山西与甘肃的扁壳拱，广东的悬砌拱，广西的薄壳石拱，湖南的圬工箱形拱和石砌肋板拱等，这些新桥型在结构或施工上各具特色。

在拱桥的施工技术方面，除了有支架施工外，对于大跨拱桥，目前已广泛采用无支架施工、转体施工、刚性骨架施工法等。图 1-1-3 所示是国道 318 线上的万县长江大桥。此桥全长 856.12m ，主跨为 420m 的刚性骨架钢筋混凝土拱桥，跨度居目前世界同类型桥梁之冠。矢跨比 $1/5$ ，拱上结构为 14 孔 30m 预应力简支 T 梁，引桥为 13 孔 30m 预应力简支 T 梁（南 5 孔，北 8 孔），桥面连续，宽 24m ，设 $2 \times 7.5\text{m}$ 行车道和 $2 \times 3.0\text{m}$ 人行道。设计荷载为汽车超 20 级，挂车 120 级，人群 3.5kN/m^2 。主桥下为 1-(2) 级航道。

钢筋混凝土与预应力混凝土的梁式桥，在我国也获得了很大的发展。对于中小跨径的梁桥，已广泛采用装配式的钢筋混凝土及预应力混凝土板式或 T 形梁桥的定型设计，它不但经济适用，并且施工方便，能加快建桥速度。1976 年建成的洛阳黄河公路大桥，跨径为 50m 的预应力混凝土简支梁桥，全长达 3.4km 。

除简支梁桥以外，近年来我国还修建了多座现代化的大跨径预应力混凝土 T 型刚架桥、连续梁桥和悬臂梁桥。已建成的黄石长江公路大桥，全桥总长约 2580.08m ，其中主桥长 1060m ，为 $(162.5 + 3 \times 245 + 162.5)\text{m}$ 五跨预应力混凝土连续刚构桥（图 1-1-4）。采用钢围堰加大直径钻孔灌注桩基础。桥面净宽 19.5m ，其中分向行驶四个机动车道宽 15m ，两侧各设 2.25m 宽的非机动车道。

近年来在世界桥梁建筑中蓬勃兴起的现代斜拉桥，是结构合理，跨越能力大，用材指标低且外型美观的先进桥型。1975 年我国开始了建造斜拉桥。从四川省云阳汤溪河桥到上海市的南浦大桥、杨浦大桥，历时 18 年建造了 30 余座，跨径从 76m 到 602m ，而且建成了世界上跨度最大的叠合梁斜拉桥杨浦大桥，主桥跨径为 $40\text{m} + 99\text{m} + 144\text{m} + 602\text{m} + 144\text{m} + 90\text{m} + 44\text{m} = 1172\text{m}$ 。杨浦大桥的成功兴建，使我国的斜拉桥技术已迅速赶上了世界先进水平。它不但促进了全国范围内建造大跨度斜拉桥的新高潮，同时迎来了建造大跨度悬索桥的新形势。

广东虎门大桥由东引桥、主航道桥、中引桥、辅航道桥及西引桥五部分组成。大桥全长 4

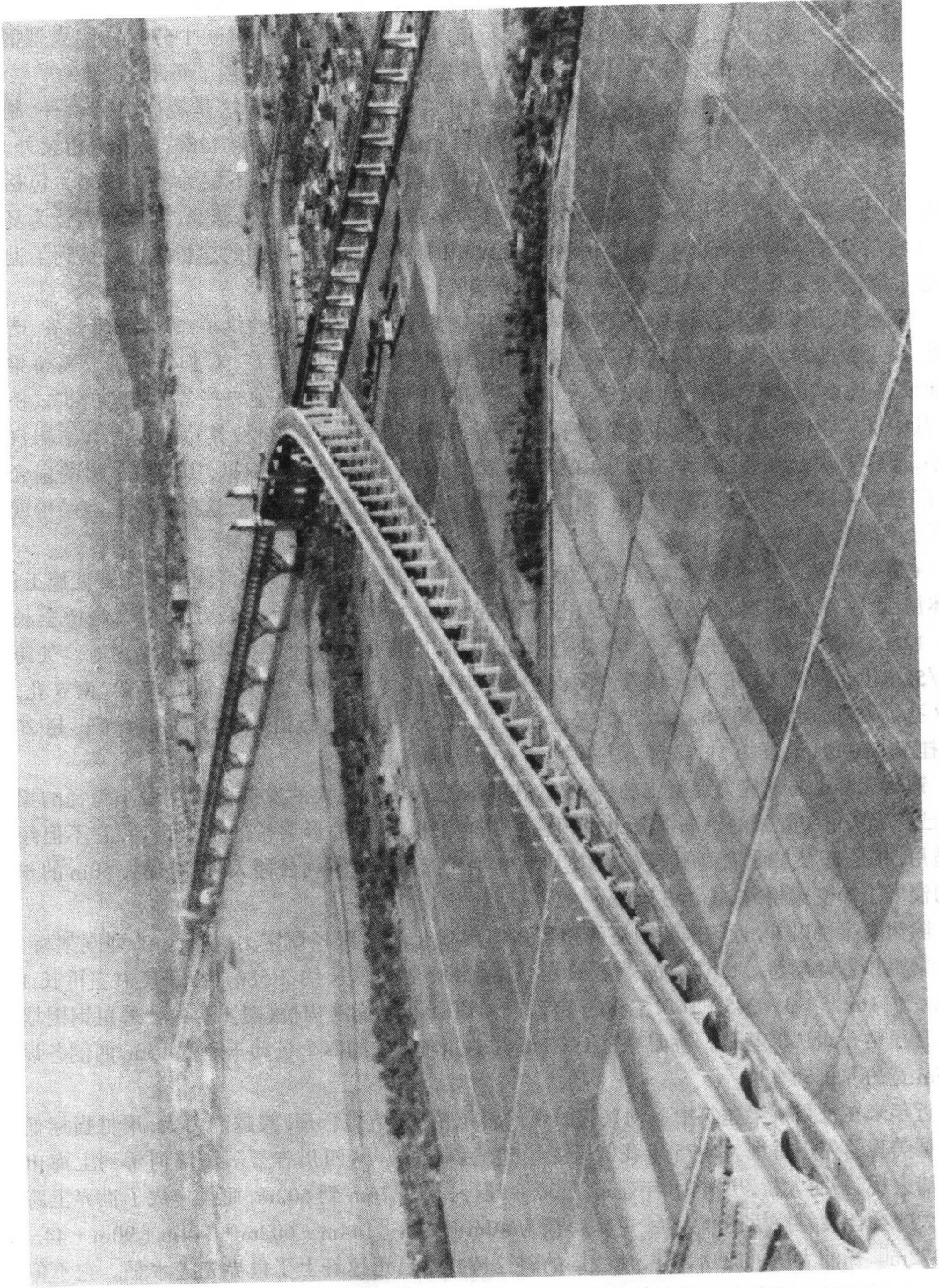


图 1-1-2 南京长江大桥(1969 年)

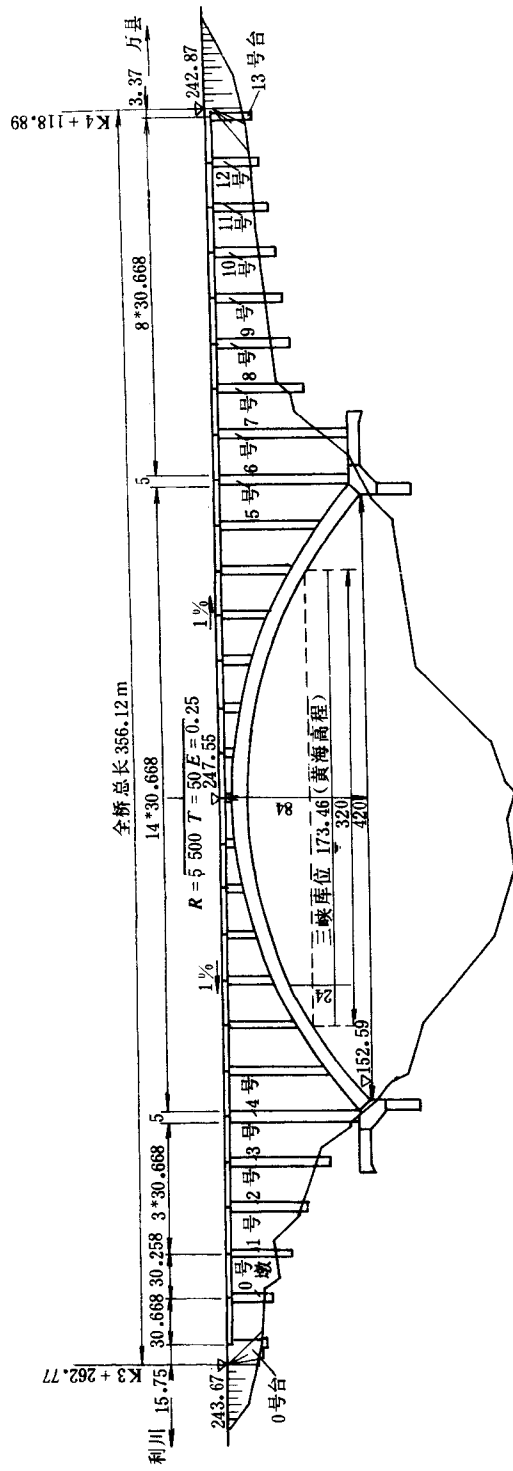


图 1-1-3 万县长江大桥

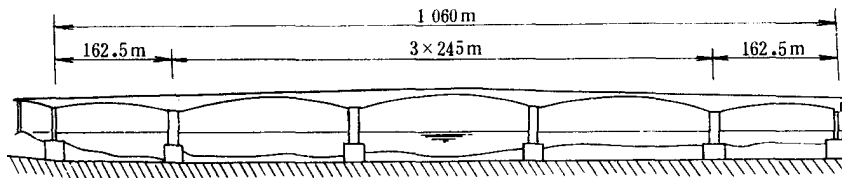


图 1-1-4 黄石长江公路大桥 (主桥)

588m 桥宽 32m。辅航道桥为主跨 270m 的连续刚构桥，为目前同类型桥梁的世界最大跨径；主航道为单跨简支钢加劲梁悬索桥，跨径 888m(图 1-1-5)。主缆跨径 302.0m + 888m + 348.5m。

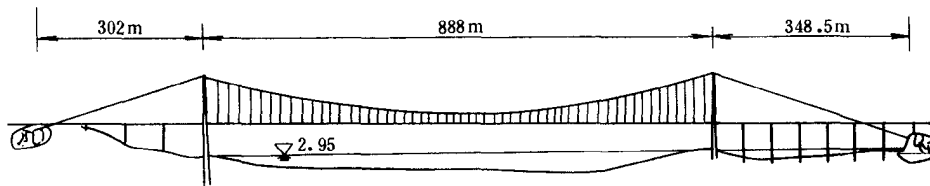


图 1-1-5 虎门大桥 (1997 年)

江阴长江大桥是我国首座千米以上的特大跨径公路桥梁。采用 336.5m + 1385m + 309.4m 的单孔简支钢悬索桥结构(图 1-1-6)。南引桥为 43m + 3 × 40m，北引桥为 (50 + 75 + 50)m + 19 × 50m + 8 × 30m 组成，桥梁总长 3km。全桥总宽度 36.9m，桥面六车道净宽度 29.5m(包括中间分隔带)该桥已于 1994 年底开工，预计建设期 5 年该桥建成后 将是我国最大跨径的桥梁。

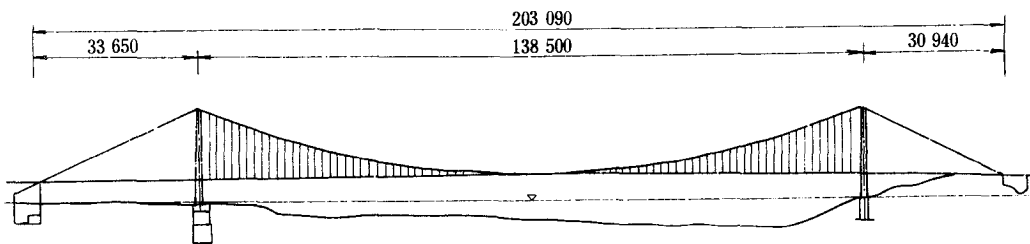


图 1-1-6 江阴长江大桥

在桥梁基础方面，除了广泛采用的明挖基础、桩基、沉井等之外，对于深水中的大桥建设，目前在大型管柱的施工技术方面已积累了丰富的经验。在深沉井施工方面，由于成功地采用了先进的触变泥浆套下沉技术，大幅度地减小了基础圪工数量，并使下沉速度加快 3~11 倍。此外，我国还广泛采用和推广了钻孔灌注桩基础。与国外的同类型基础相比，所要求的施工机械少，动力设备简易，操作方便迅速，易为群众掌握，且能钻入很深的土层。

(三) 国外桥梁建设简述和发展趋向

纵观国外桥梁建设发展的历史，对于促进和发展现代桥梁有深远影响的，是继意大利文艺复兴后 18 世纪在英国、法国和其他西欧国家兴起的工业革命，推动了工业的发达，从而也促进了桥梁建筑技术方面空前的发展。

1855 年起，法国建造了第一批应用水泥砂浆砌筑的石拱桥。法国谢儒奈教授在拱架结构，拱圈砌筑方法以及减少圪工裂缝等的方面的研究和改进，对现代石拱桥的发展起了重要作用。大约在 1870 年时，德国建造了第一批采用硅酸盐水泥作为胶结材料的混凝土拱桥。之后在 20 世纪初，法国建成的戴拉卡混凝土箱形拱桥跨度达 139.80m。目前最大跨度的石拱桥是

1946年瑞典建成的绥依纳松特桥，跨度为 155m。

钢筋混凝土桥的崛起，要追溯到 1873 年法国的约瑟夫莫尼尔首创建成的一座拱式人行桥。由于有石拱桥的技术和建筑艺术为基础，加之钢筋混凝土突出的受压性能，所以钢筋混凝土拱桥的兴起，一开始就十分引人注目。从 19 世纪末到 20 世纪 50 年代间，钢筋混凝土拱桥无论在跨越能力、结构体系和主拱圈的截面形式上均有很大的发展。法国弗莱西奈教授设计，于 1930 年建成的三孔 186m 拱桥(图 1-1-7)和 1940 年瑞典建造的跨径 264m 的桑独桥均达到了很高的水平。后者作为此种拱桥的跨度纪录，一直保持到 1964 年澳大利亚悉尼港柏拉马塔河桥的问世。鉴于修建钢筋混凝土拱桥时支架、模板的复杂性，加之耗费大量劳力，故在以后 10 多年中，国外较少采用。直至 1980 年，在前南斯拉夫用无支架悬臂施工方法建成了跨度达 390m 的克尔克 KRK-II 桥(图 1-1-8)突破了 305m 的前世界纪录。

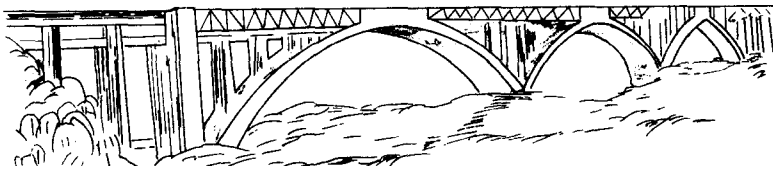


图 1-1-7 法国博浪加斯脱桥(1930 年)



图 1-1-8 前南斯拉夫克尔克桥

国外在发展钢筋混凝土拱桥的同时，也修建了一些钢筋混凝土梁式桥，但限于材料本身所固有的力学特性，梁式桥的跨径远逊色于拱桥。直至 1928 年法国著名工程师弗莱西奈经过 20 年研究使预应力混凝土技术付诸实现后，新颖的预应力混凝土桥梁首先在法国和德国以异乎寻常的速度发展起来。德国最早用全悬臂法建造预应力混凝土桥梁，特别是在 1952 年成功地建成了莱茵河上的沃伦姆斯桥(跨度为 101.65m + 114.20m + 104.20m 具有跨中剪力铰的连续刚架桥)后这个方法就传播到全世界。10 年后莱茵河上另一座本道尔夫桥的问世，将预应力混凝土桥的跨度推进到 208m 悬臂施工技术也日臻完善。日本于 1976 年建成了当时世界上跨度最大的连续刚架桥——浜名大桥，主跨径为 55m + 140m + 240m + 140m + 55m(图 1-1-9)。

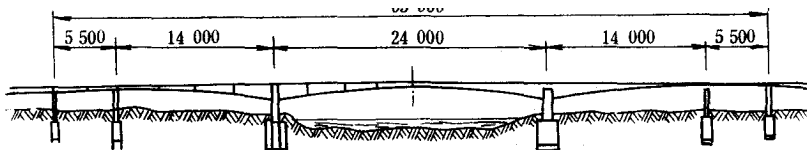


图 1-1-9 日本国浜名大桥(1976 年)

世界上第一座具有钢筋混凝土主梁的斜拉桥，是 1925 年在西班牙修建跨越坦波尔河的水道桥(主跨 60.35m)。直至 1962 年在委内瑞拉成功地建成了宏伟的马拉卡波湖大桥后，为现

代大跨度预应力混凝土斜拉桥的蓬勃兴起开辟了道路。该桥的主跨跨径为 $160\text{m} + 5 \times 235\text{m} + 160\text{m}$ ，总长达 9km (图 1-1-10)。目前世界上跨径最大的斜拉桥——法国的诺曼底大桥全长 $2\,141.25\text{m}$ 跨越塞纳河，大桥从南至北布孔： $27.75\text{m} + 32.5\text{m} + 9 \times 43.5\text{m} + 96\text{m} + 856\text{m} + 96\text{m} + 14 \times 43.5\text{m} + 32.5\text{m}$ (图 1-1-11)。

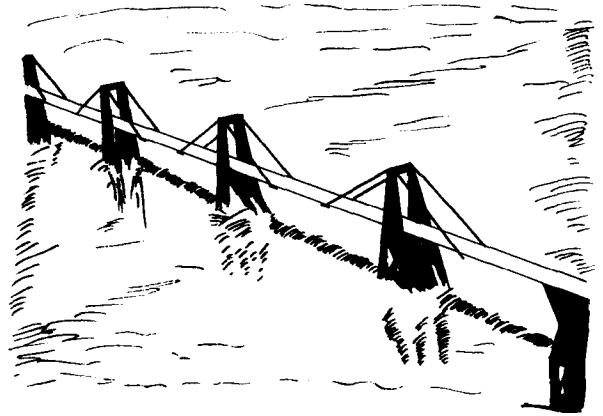


图 1-1-10 马拉卡波湖公路桥

吊桥是能够充分发挥钢材优越性能的一种桥型。美国在 19 世纪 50 年代从法国引进了近代吊桥技术后，于 19 世纪 70 年代就发明了“空中架线法”编纺桥缆。1937

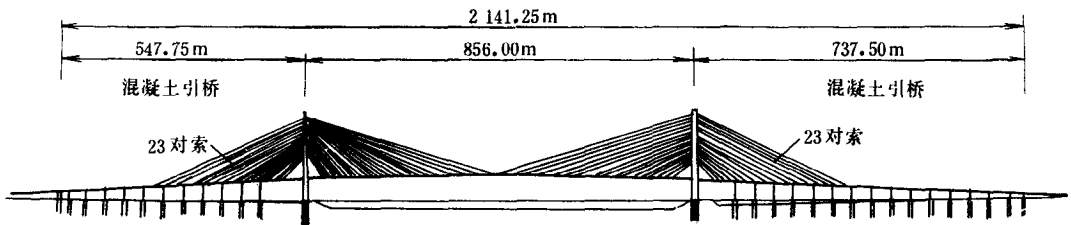


图 1-1-11 法国诺曼底大桥 (1995 年)

年建成的旧金山金门大桥，主跨径 $1\,280.2\text{m}$ 曾保持了 27 年桥梁最大跨径的世界纪录(图 1-1-12)。桥跨布置为 $342.9\text{m} + 1\,280.2\text{m} + 342.9\text{m} = 1\,966\text{m}$ 桥面宽 27.43m 。

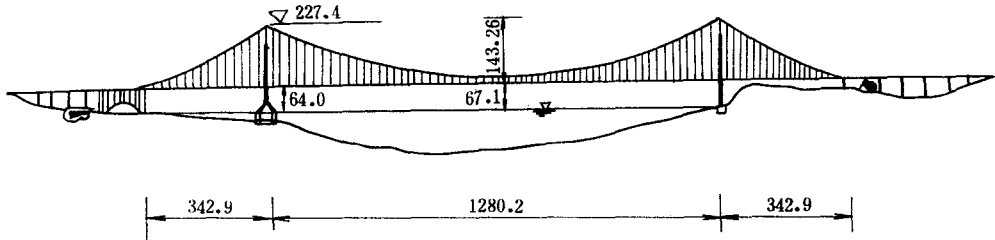


图 1-1-12 金门桥总体布置 (1937 年)

英国 1981 年建成的恒伯尔桥，主跨径 $1\,410\text{m}$ ，是目前已建成桥梁中最大跨径的桥梁。现在已破土动工的日本明石海峡大桥，全长 $3\,910\text{m}$ 主跨径 $1\,990\text{m}$ 桥跨布置 $960\text{m} + 1\,990\text{m} + 960\text{m}$ (图 1-1-13) 桥宽 35.5m ，于 1988 年开始施工 计划于 1998 年完成 工期长达 10 年。此桥规模之巨大是创记录的。大桥竣工后，将成为世界上最大跨径的桥梁。

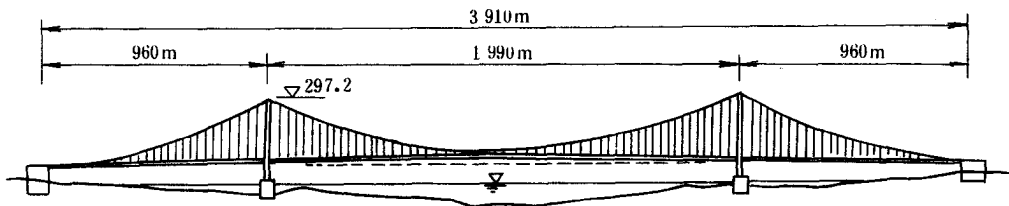


图 1-1-13 明石海峡大桥

可以看出，近年来的桥梁结构逐步向轻巧、纤细方面发展，但桥梁的载重、跨长却不断增

长。为了适应社会生产力发展所提出的愈来愈高的要求，需要建造大量的承受更大荷载、跨越海湾、大江等跨径和总长更大的桥梁，这就推动了桥梁结构向高强、轻型、大跨度的方向发展。在结构理论上研究更符合实际状态的力学分析方法与新的设计理论。充分发挥结构潜在的承载力，充分利用建筑材料的强度，力求工程结构的安全度更为科学和可靠；在大跨度桥梁的设计中，愈来愈重视空气动力学、振动、稳定、疲劳、非线性等研究成果的应用，并广泛应用计算机辅助设计。在施工上，力求高度机械化、工厂化、自动化。在工程管理上，则力争高度科学化、自动化。

二、桥梁的组成和分类

道路路线遇到江河湖泊、山谷深沟以及其他障碍（如公路或铁路）等时，为了保持道路的连续性，充分发挥其正常的运输能力，就需要建造专门的人工构造物——桥梁来跨越障碍。桥梁一方面要保证桥上的交通运行，通常也要保证桥下水流的宣泄、船只的通航或车辆的通行。

（一）桥梁的基本组成部分

图 1-1-14 表示一座桥梁的概貌。从图中可见，桥梁一般由以下几部分组成：

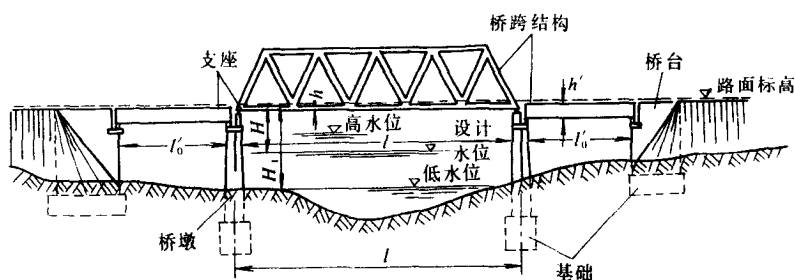


图 1-1-14 梁式桥概貌

1. 桥跨结构（或称桥孔结构、上部结构）是在线路遇到障碍（如河流、山谷或其他线路等）而中断时，跨越这类障碍的主要承载结构。

2. 桥墩、桥台（统称下部结构），是支承桥跨结构并将恒载和车辆活载传至地基的建筑物。桥台设在桥梁两端，桥墩则在两桥台之间。桥墩的作用是支承桥跨结构；而桥台除了起支承桥跨结构的作用外，还要与路堤衔接，并防止路堤滑塌。为保护桥台和路堤填土，桥台两侧常做一些防护和导流工程。

3. 墩台基础，是使桥上全部荷载传至地基的底部奠基的结构部分。基础工程在整个桥梁工程施工中是比较困难的部位，而且是常常需要在水中施工，因而遇到的问题也很复杂。

在桥跨结构与桥墩、桥台的支承处所设置的传力装置，称为支座，它不仅传递很大的荷载，并且要保证桥跨结构能产生一定的变位。

在路堤与桥台衔接处，一般还在桥台两侧设置石砌的锥形护坡，以保证迎水部分路堤边坡的稳定。

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，称为设计洪水位。

下面介绍一些与桥梁布置和结构有关的主要尺寸和名称术语。

梁式桥的净跨径是设计洪水水位上相邻两个桥墩（或桥台）之间的净距，用 l_0 表示（图 1-1-14）；对于拱式桥是每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离为净跨径（图 1-1-15）。

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。

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。对于图 1-1-15 所示的拱式桥,是两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离。因为拱圈(或拱肋)各截面形心点的连线称为拱轴线,故也就是拱轴线两 endpoints 之间的水平距离。

桥梁全长简称桥长,是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 表示。对于无桥台的桥梁为桥面行车道的全长(见图 1-1-16)。在一条线路中,桥梁和涵洞占总长的比重反映它们在整段线路建设中的重要程度。

桥梁高度简称桥高,是指桥面与低水位之间的高差,如图 1-1-14 中的 H_1 或为桥面与桥下线路路面之间的距离(见图 1-1-16)。桥高在某种程度上反映了桥梁施工的难易性。

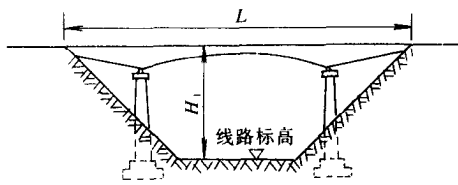


图 1-1-16 带悬臂的桥梁

桥下净空高度是设计洪水位或计算通航水位至桥跨结构最下缘之间的距离,以 H 表示,它应保证能安全排洪,并不得小于对该河流通航所规定的净空高度。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(图 1-1-14 中 h)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)标高与通航净空顶部标高之差,又称为容许建筑高度。显然,桥梁的建筑高度不得大于其容许建筑高度,否则就不能保证桥下的通航要求。

净矢高是拱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(见图 1-1-15)。

计算矢高是从拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心之连线的垂直距离,以 f 表示(见图 1-1-15)。

矢跨比是拱桥中拱圈(或拱肋)的计算矢高 f 与计算跨径 l 之比(f/l)也称拱矢度它是反映拱桥受力特性的一个重要指标。

此外我国《公路工程技术标准》中规定当标准设计或新建桥涵跨径在 60m 以下时,一般均应尽量采用标准跨径(l_b)。对于梁式桥,它是指相邻两桥墩中线之间的距离,或墩中线至桥台台背前缘之间的距离;对于拱桥,则是指净跨径。我国规定的公路桥涵标准跨径从 0.75m 起至 60m 共分 22 种。

涵洞是用来宣泄路堤下水流的构造物。通常在建造涵洞处路堤不中断。为了区别于桥梁,《公路工程技术标准》中规定凡是多孔跨径的全长不到 8m 和单孔跨径不到 5m 的泄水结构物,均称为涵洞。

(二) 桥梁的主要类型

1. 桥梁的基本体系

工程结构上的受力构件,总离不开拉、压和弯曲三种基本受力方式。由基本构件所组成的各种结构物,在力学上也可归结为梁式、拱式、悬吊式三种基本体系以及它们之间的各种组合。现代的桥梁结构也一样,不过其内容更丰富,形式更多样。

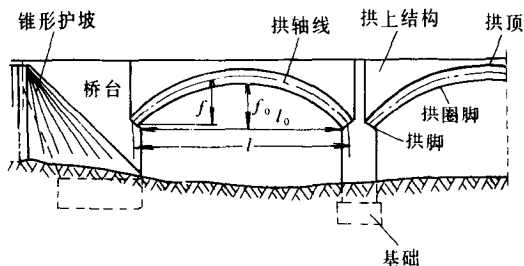


图 1-1-15 拱桥概貌

(1) 梁式桥

梁式体系是古老的结构体系。梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构(图 1-1-17a 和 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,故与同样跨径的其它结构体系相比,梁内产生的弯矩最大,通常需用抗弯能力强的材料(钢、木、钢筋混凝土等)来建造。为了节约钢材和木料(木桥使用寿命不长,除战备需要或临时性桥梁外,一般不宜采用),目前在公路上应用最广的是预制装配式的钢筋混凝土和预应力混凝土简支梁桥。这种梁桥的结构简单,施工方便,对地基承载力的要求也不高,其常用跨径在 50m 以下。当跨度较大时,为了达到经济省料的目的,可根据地质条件等修建悬臂式或连续式的梁桥(图 1-1-17c)。对于很大的跨径,以及对于承受很大荷载的特大桥梁可建造钢桥(图 1-1-17d)。

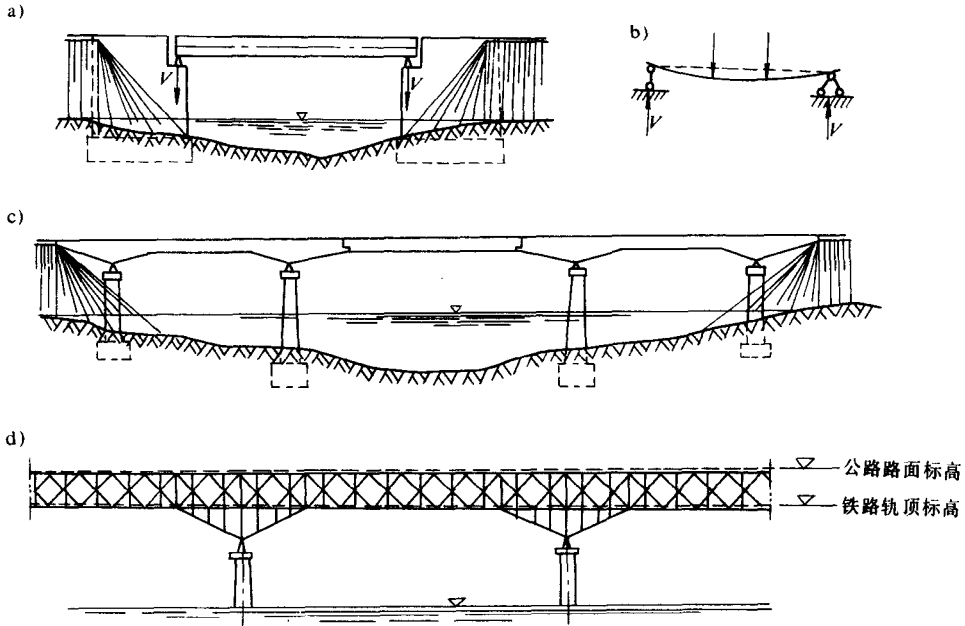


图 1-1-17 梁式桥

(2) 拱式桥

拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋。这种结构在竖向荷载作用下,桥墩或桥台将承受水平推力(图 1-1-18)。同时,这种水平推力将显著抵消荷载所引起在拱圈(或拱肋)内的弯矩作用。因此,与同跨径的梁相比,拱的弯矩和变形要小得多。鉴于拱桥的承重结构以受压为主,通常就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。

拱桥的跨越能力很大,外形也较美观,在条件许可的情况下,修建圬工拱桥往往是经济合理的。但为了确保拱桥能安全使用,下部结构和地基必须能经受住很大水平推力的不利作用。

(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,梁和柱的连接处具有很大的刚性(图 1-1-19)。在竖向荷载作用下,梁部主要受弯,而在柱脚处也具有水平反力(图 1-1-19b)其受力状态介于梁桥与拱桥之间。因此对于同样的跨径在相同的荷载作用下,刚架桥的跨中正弯矩要比一般梁桥的小。根据这一特点,刚架桥跨中的建筑高度就可以做得较小。在城市中当遇到线路立体交叉或需要跨越通航江河时,采用这种桥型能尽量降低线路标高以改善纵坡并能减少路堤土方量。当桥面标高已确定时,能增加桥下净空。刚架桥

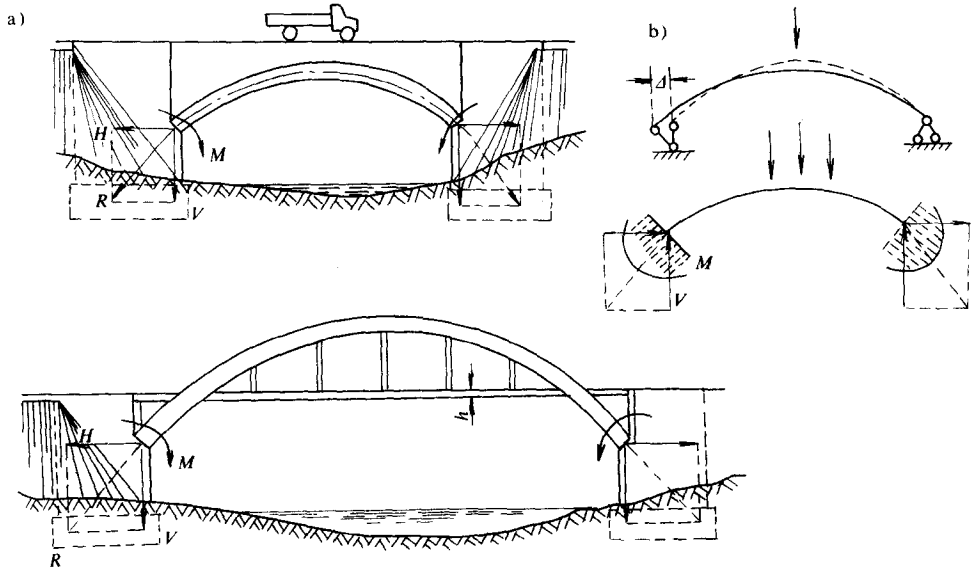


图 1-1-18 拱式桥

的缺点是施工比较困难。

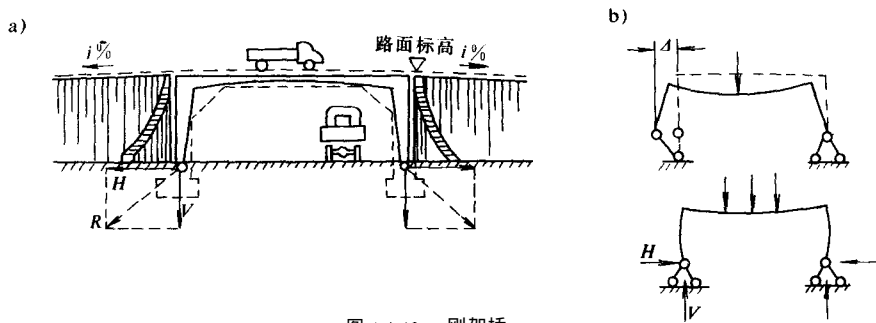


图 1-1-19 刚架桥

(4) 吊桥

传统的吊桥均用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构(图 1-1-20)。在竖向荷载作用下,通过吊杆使缆索承受很大的拉力,通常就需要在两岸桥台的后方修筑非常巨大的锚碇结构。吊桥也是具有水平反力(拉力)的结构。现代的吊桥上,广泛采用高强度钢丝编制的钢缆,以充分发挥其优异的抗拉性能,因此结构自重较轻,就能以较小的建筑高度跨越其它任何桥型无与伦比的特大跨度。其经济跨径在 500m 以上。吊桥的另一特点是:成卷的钢缆易于运输 结构的组成构件较轻 便于无支架悬吊拼装。

现代吊桥通常由桥塔、锚碇、缆索、吊杆、加劲梁及索鞍等主要部分组成 如图 1-1-20 所示。

桥塔承受缆索通过索鞍传来的垂直荷载和水平荷载以及加劲梁支承在塔身上的反力,并将各种荷载传递到下部的塔墩和基础。桥塔同时还受到风力与地震的作用。桥塔的高度主要由垂跨比确定。已建成的大跨度吊桥中大多数桥

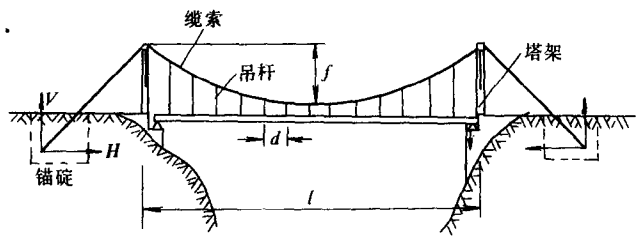


图 1-1-20 吊桥

塔采用钢结构，随着预应力混凝土和爬模技术的发展，造价经济的混凝土桥塔已有发展的趋势。

锚碇 锚碇是主缆的锚固体。锚碇将主缆中的拉力传递给地基基础。通常采用的有重力式锚碇和隧洞式锚碇。重力式锚碇依靠巨大的自重来抵抗主缆的垂直分力，水平分力则由锚碇与地基之间的摩阻力或嵌固阻力来抵抗。隧洞式锚碇则是将主缆中的拉力直接传递给周围的基岩。

主缆（又称缆索）是吊桥的主要承重构件，除承受自身恒载外，主缆本身又通过索夹和吊索承受活载和加劲梁（包括桥面）的恒载。除此之外，主缆还承担一部分横向风载，并将它直接传递到桥塔顶部。主缆有钢丝绳钢缆和平行线钢缆等，由于平行线钢缆弹性模量高，空隙率低，抗锈性能好，因此大跨度吊桥的主缆都采用这种形式。现代吊桥的主缆多采用直径 5mm 的高强度镀锌钢丝制成。设计中一般将主缆设计成二次抛物线的形状。

吊索（又称吊杆）是将活载和加劲梁的恒载传递到主缆的构件。吊索的布置形式有垂直式和倾斜式等，其上端与索夹相连，下端与加劲梁连接。吊索宜用有绳芯的钢丝绳制作，其组成可以是一根、二根或四根一组，也可采用平行钢丝。

加劲梁 加劲梁的主要功能是提供桥面和防止桥面发生过大 的挠曲变形和扭曲变形。加劲梁在横向风力等作用下也要承担部分荷载。长大吊桥的加劲梁均为钢结构，一般采用桁架形式或箱梁形式。目前看来预应力混凝土加劲梁仅适用于跨径 500m 以下的吊桥。

鞍座 它是支承主缆的重要构件，通过它可以使主缆中的拉力以垂直力和不平衡水平力的方式均匀地传到塔顶或锚碇的支架处。鞍座可以分为塔顶鞍座，设置在桥塔顶部，将主缆荷载传到塔上；锚固鞍座（亦称扩展鞍座），设置在锚碇的支架处，主要目的是改变主缆索的方向，把主缆的钢丝绳股在水平及竖直方向分散开来，并把它们引入各自的锚固位置。

(5) 组合体系桥

根据结构的受力特点，由几个不同受力体系的结构组合而成的桥梁称为组合体系桥。

T 型刚架连续一刚构（图 1-1-21）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 字形的悬臂结构。相邻的两个 T 型悬臂在跨中可用剪力铰或跨径较小的挂梁连成一体，即称为带铰或带挂梁的 T 型刚构（图 1-1-21a）、b）。如结构在跨中采用预应力筋和现浇混凝土区

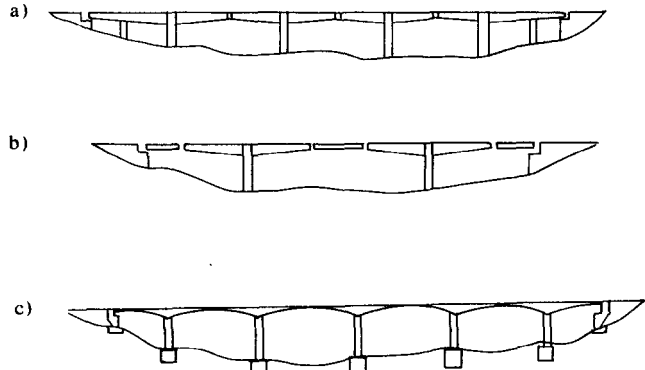


图 1-1-21 T 型刚架 连续一刚构

段连成整体，即为连续一刚构（图 1-1-21c）。由于采用悬臂施工法，施工机具简便，施工快速，又因结构在悬臂施工时的受力状态与使用状态下的受力状态基本一致，所以省料、省工、省时，这使 T 构和连续刚构结构的应用范围得到了迅猛发展。

梁、拱组合体系（图 1-1-22）这类体系中有系杆拱、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，而又非推力结构，对地基要求不高。这种

结构施工比较复杂，一般用于城市跨河桥上。

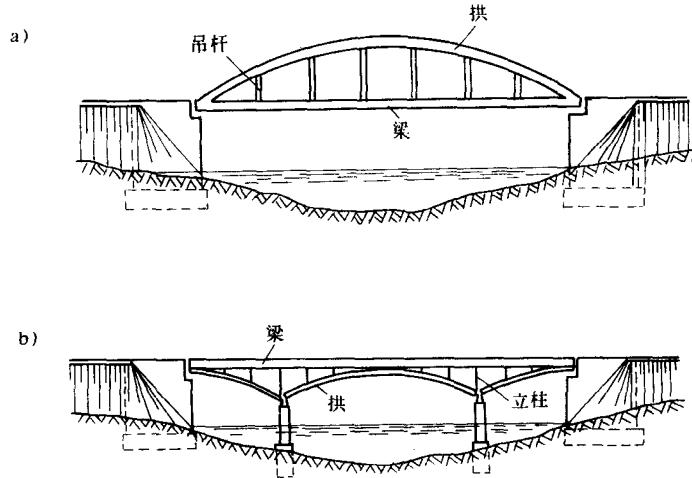


图 1-1-22 梁拱组合体系

斜拉桥(图 1-1-23)，它是由承压的塔、受拉的索与承弯的梁体组合起来的一种结构体系。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连梁工作，由此减少主梁截面增加桥跨跨径。斜拉桥构想起源于 19 世纪，限于材料水平，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，电子计算机，斜拉桥这种型式又蓬勃发展起来。其刚度大，造价低，很快在世界上推广，且跨度愈来愈大，不久将建成的日本 Tataru 桥跨径达 890m。从经济上看，可以做吊桥也可做斜拉桥时，斜拉桥总是经济的。因斜拉桥与吊桥比，它是一种自锚体系，不需昂贵的地锚基础，防腐技术要求比吊桥低，从而降低索防腐费用；刚度比吊桥好，抗风能力也比吊桥好；可用悬臂施工工艺，施工不妨碍通航，钢束用量比吊桥少。

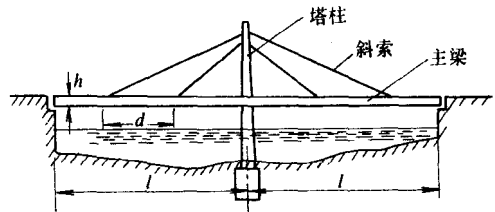


图 1-1-23 斜拉桥概貌

预应力混凝土斜拉桥的斜索布置、塔柱型式和主梁截面是多种多样的，现扼要介绍它们的构造类型。

斜索 是斜拉桥的承重结构之一，宜用抗拉强度高、疲劳强度好和弹性模量较大的钢材做成。斜索的造价约占全桥造价的 25%~30%。目前常用形式有：平行钢筋索、平行（半平行）钢丝索、平行（半平行）钢绞线索、螺旋形钢绞线索、单股钢绞索、封闭式钢索。斜索的立面布置形状有：辐射式、竖琴式、扇式、星式（见图 1-1-24）。斜索在横截面上的布置常有图 1-1-25 几种。

塔柱 主要承受轴力，除柱底铰支的辐射式斜索布置外，也要承受弯矩。此外，制动力、温度变化、混凝土徐变与收缩等还会增加柱内弯矩。在采用悬臂法施工时，塔柱会受到相当大的不平衡弯矩。从桥梁立面看，塔柱主要有独柱型、A 型和倒 Y 型三种，如图 1-1-26 所示。从桥梁行车方向看，塔柱又可做成独柱式、双柱式、门式、斜腿门式、倒 V 式、宝石式和倒 Y 式等多种型式，如图 1-1-27 所示。主塔结构型式、高度、截面尺寸大小、塔底支承型式，应根据桥位处的地质、环境条件、斜拉桥的跨径、桥面宽度、拉索布置，以及建筑造型等因素决定。

主梁 常用的主梁型式，按支承体系有连续梁、悬臂梁和悬臂刚构等。与其他体系桥梁相

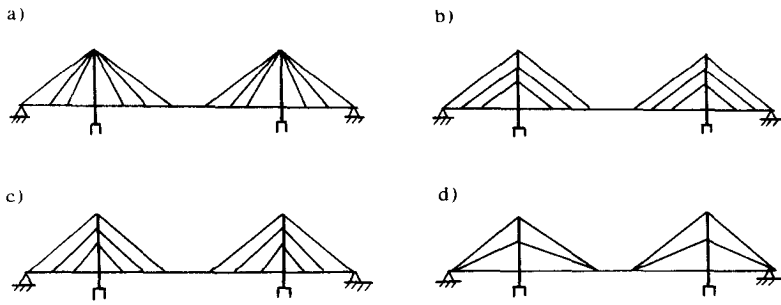


图 1-1-24 斜索的立面布置形状
a)辐射式;b)竖琴式;c)扇式;d)星式

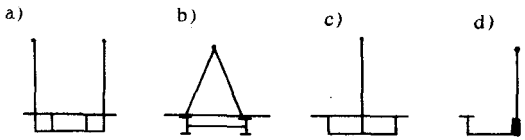


图 1-1-25 斜索的横截面布置形状
a) 竖直双平面索;b) 倾斜双平面索;c) 单平面索;d) 斜置单面索

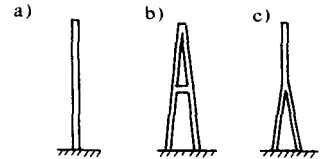


图 1-1-26 塔柱立面视图

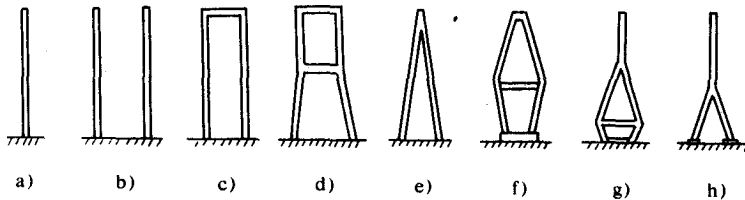


图 1-1-27 塔柱横向视图

比斜拉桥主梁具有如下特点 跨越能力大 因主梁在斜拉索支承下 象多点弹性支承连续梁那样 使跨度显著减小 梁的建筑高度小 主梁要把斜拉索索力的水平分力作为轴力传递 借助斜拉索的预拉力,可以对主梁进行内力调整;用于大跨度桥梁的传统施工方法,如悬臂施工法等,不仅仍可采用,而且还能借助斜拉索的联合作用来减轻施工机具对结构的影响。混凝土主梁的常用截面形式如图 1-1-28。

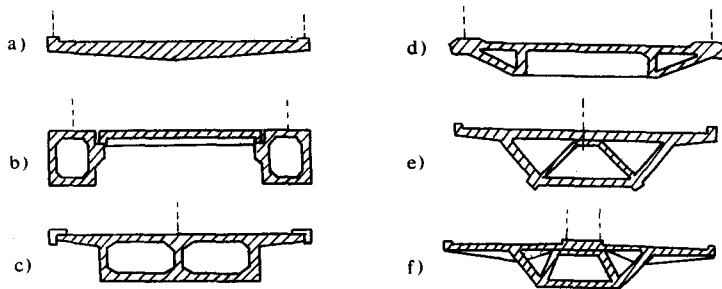


图 1-1-28 主梁横截面

2. 桥梁的其他分类简述

除了上述按受力特点分成不同的结构体系外,人们还习惯地按桥梁的用途、大小规模和建桥材料等其他方面来进行分类:

(1)按用途来划分,有公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、运水桥(渡槽)及其他专用桥梁(如通过管路、电缆等)

(2)按桥梁全长和跨径的不同,分为特殊大桥、大桥、中桥和小桥《公路工程技术标准》规定

的大、中、小桥划分标准如表 1-1-1。

表 1-1-1

桥梁分类	多孔桥全长 L (m)	单孔跨径 l (m)	桥梁分类	多孔桥全长 L (m)	单孔跨径 l (m)
特殊大桥	$L \geq 500$	$l \geq 100$	小 桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq l < 20$
大 桥	$100 \leq L < 500$	$40 \leq l < 100$	涵 洞	$L < 8$	$l < 5$
中 桥	$30 < L < 100$	$20 \leq l < 40$			

(3)按主要承重结构所用材料划分,有圬工桥、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢桥和木桥等。

(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。

(5)按上部结构的行车道位置分为上承式桥、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。

三、桥梁造型与美学

一座桥梁从满足功能要求而言,是工程结构物;从观赏要求而言,应是一件建筑艺术品。尤其是大桥,往往成为一个国家、一个地区或一个城市的标志。近年来,我国桥梁建设发展异常迅猛,已取得了建造现代各种不同桥梁结构体系的设计、施工经验,并已形成一支强大的设计与施工力量。我们已有能力从桥型选择、合理布局、材料和色彩的运用、体、面、线的配合和环境协调等方面来考虑桥梁的美学要求。

世界著名的桥梁专家、学者德国的莱昂哈特 F. Leonhardt 教授曾在他的《桥——美学和设计》专著中提出了下列美学思想,可供借鉴与进一步探索。

1.在满足功能要求的前提下,要选用最佳的结构型式——纯正、清爽、稳定。质量统一于美,美从属质量。

2.美,主要表现在结构选型和谐与良好的比例,并具有秩序感和韵律感。过多的重复会导致单调。

3.重视与环境协调。材料的选择,表面的质感,特别色彩的运用起着重要作用,模型检讨有助于实感判断,审视阴影效果。

今日的桥梁工作者,应该学点工程美学知识,从单纯的结构观点中解脱出来,设计与建造更多主客体和谐与造型雅致的桥梁,为我们壮丽山川和城镇锦上添花。

第二节 桥梁的总体规划和设计要点

桥梁是公路或城市道路的重要组成部分,特别是大、中桥梁对当地的政治、经济、国防等都具有重要意义。

一、桥梁总体规划原则和基本设计资料

公路桥涵应根据所在公路的使用任务、性质和将来的发展需要,按照适用、经济、安全和美观的原则进行设计。桥型的选择应符合因地制宜、就地选材、便于施工和养护的原则。大、中桥梁应进行必要的方案比较,选择最佳的桥型方案。公路桥涵应考虑农田排灌的需要。靠近村镇、城市、铁路及水利设施的桥梁,应结合各有关方面的要求适当考虑综合利用。设计

人员在工作中必须广泛吸取建桥实践中创造的先进经验，推广各种经济效益好的技术成果，积极采用新结构、新技术、新设备、新工艺、新材料。

（一）桥梁设计的基本要点

与设计其他工程结构物一样，在桥梁设计中必须考虑下述各项要求。

1. 使用上的要求

桥上的行车道和人行道宽度应保证车辆和人群的安全畅通，并应满足将来交通量增长的需要。桥型、跨度大小和桥下净空应满足泄洪、安全通航或通车等要求，并便于检查和维修。

2. 经济上的要求

桥梁设计应体现经济上的合理性，在设计中必须进行详细周密的技术经济比较，使桥梁的总造价和材料等的消耗为最少。应注意的是，要全面而精确地计及所有的经济因素往往是困难的，在技术经济比较中，应充分考虑桥梁在使用期间的营运条件以及养护和维修等方面的问题。此外，能满足快速施工要求以达到缩短工期的桥梁设计，不仅能降低造价，而且提早通车在运输上将带来很大的经济效益。

3. 结构尺寸和构造上的要求

整个桥梁结构及其各部分构件，在制造、运输、安装和使用过程中应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性。桥梁结构的强度应使全部构件及其连接构造的材料抗力或承载能力具有足够的安全储备。对于刚度的要求，应使桥梁在荷载作用下的变形不超过规定的容许值，过大的变形会使结构的连接松弛，而且挠度过大会导致高速行驶困难，引起桥梁剧烈的振动，使行人不适，严重者会危及桥梁结构的安全。结构的稳定性，是要使桥梁结构在各种外力作用下，具有能保持原来的形状和位置的能力。例如，桥跨结构和墩台的整体不致倾倒或滑移，受压构件不致引起纵向屈曲变形等。在震区修建桥梁时，在结构上还要满足抵御地震破坏力的要求。

4. 施工上的要求

桥梁结构应便于制造和架设。应尽量采用先进的工艺技术和施工机械，以利于加快施工进度，保证工程质量和施工安全。

5. 美观上的要求

一座桥梁应具有优美的外形，应与周围的景致相协调。城市桥梁和游览地区的桥梁，可较多地考虑建筑艺术上的要求。合理的结构布局和轮廓是美观的主要因素，但不应把美观片面地理解为豪华的细部装饰。

（二）设计资料调查

一般桥梁设计中需要进行的资料调查工作包括以下几方面：

1. 调查桥梁的使用任务。即调查桥上的交通种类和行车、行人的往来密度，藉以确定桥梁的荷载等级和行车道、人行道宽度等。调查桥上有否需要通过的各类管线（如电力、电话线和水管、煤气管等）为此需设置专门的构造装置。

2. 测量桥位附近的地形，绘制地形图供设计和施工应用。

3. 探测桥位的地质情况，包括土壤的分层标高、物理力学性能、地下水等，并将钻探所得资料绘制地质剖面图。对于所遇到的地质不良现象，如滑坡、断层、溶洞、裂隙等，应详加注明。为使地质资料更接近实际，可根据初步拟定的桥梁分孔方案将钻孔布置在墩台附近。

4. 调查和测量河流的水文情况，为确定桥梁的桥面标高、跨径和基础埋置深度提供依据。其内容包括：