

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 国内外桥梁建设的成就与发展趋势	1
第二节 桥梁基本组成与分类	8
第二章 桥梁的总体规划与设计要点	15
第一节 桥梁设计与建设程序	15
第二节 桥梁设计的一般原则	16
第三节 桥梁纵、横断面设计和平面布置	17
第四节 桥梁设计方案比选	20
第三章 桥梁的设计作用	23
第一节 规范中有关设计作用的规定	23
第二节 桥梁作用效应组合	30
第四章 桥面布置与构造	33
第一节 桥面铺装	33
第二节 桥面防水及排水设施	34
第三节 桥面伸缩缝	37
第四节 人行道、栏杆（护栏）与灯柱	41
第五章 混凝土梁式桥	45
第一节 概述	45
第二节 混凝土简支梁桥的构造与设计	45
第三节 混凝土简支梁桥的计算	61
第四节 悬臂和连续体系梁桥	123
第六章 混凝土梁桥的施工	140
第一节 混凝土简支梁桥施工	140
第二节 悬臂体系和连续体系梁桥的施工	153
第七章 梁式桥的支座	158
第一节 概述	158
第二节 支座的类型与构造	159

第三节	特殊功能的支座	162
第四节	支座的设计与选用	163
第八章	混凝土拱桥	170
第一节	概述	170
第二节	拱桥的构造	177
第三节	拱桥设计与计算	203
第四节	拱桥的施工	231
第九章	其他体系桥梁	243
第一节	斜拉桥	243
第二节	悬索桥	262
第三节	刚构桥简介	276
第十章	桥梁墩台	283
第一节	桥梁墩台的类型与构造	283
第二节	桥梁墩台的计算	304
附录 I	铰接板荷载横向分布影响线竖坐标表	317
附录 II	G-M 法 K_0 、 K_1 、 μ_0 、 μ_1 值的计算用表	328
参考文献		331

第一章 绪 论

第一节 国内外桥梁建设的成就与发展趋势

一、我国桥梁建设成就

我国是一个文明古国，有着悠久的历史，在世界桥梁史上写下了许多不朽的篇章。

桥梁构造的演变，总是和当时当地的物质条件 and 生产发展相适应的。我国山多河多，自然条件错综复杂，古代桥梁不但数量惊人，而且类型也丰富多彩，几乎包含了所有近代桥梁中的最主要型式。

根据史料记载，在距今约 3000 年的周文王时，我国就已在宽阔的渭河上架设过大型浮桥。鉴于浮桥的架设具有简便快速的特点，常被用于军事。汉唐以后，浮桥的运用日趋普遍。东汉光武帝（公元 35 年），在今宜昌和宜都之间，出现了架设在长江上的第一座浮桥，之后，因战事等需要，在黄河、长江上曾架设过浮桥不下数十余次。

现代桥梁中广为修建的多孔桩柱式桥梁，据历史考证，我国在春秋战国时期（公元前 332 年）已遍布于黄河流域和其他地区，不同的只是古桥多以木桩为墩柱，上置木梁、石梁，而现代采用的是钢筋混凝土材料。

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。几乎在大部分有关桥梁的历史书上，都承认我国是最早有吊桥的国家，至少迄今有 3000 年左右的历史。据记载，最晚到唐朝中期，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 28m，由 13 条锚固于两岸的铁链组成，1935 年中国工农红军长征途中曾强渡此桥，由此更加闻名。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，全桥用由细竹篾编成的粗五寸的 24 根竹索组成，其中桥面索和扶栏索各半。

天然石料是大自然赋予人类最早的、强度高又经久耐用的建筑材料，在秦汉时期我国已广泛修建石梁桥，几千年来修建的古代桥梁也以石桥居多。下面介绍几座闻名中外的我国古代石桥。

福建泉州的万安桥，又称洛阳桥，建于 1053~1059 年。该桥全长 800 多米，共 47 孔，是世界上尚存的最长和工程最艰巨的石梁桥。万安桥位于洛阳江的入海口处，桥下江底以磐石铺遍，并且独具匠心地用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基形成整体，不仅世界上绝无仅有，千年风雨已经证明此法的奇妙和可贵。

1240 年建造的福建漳州虎渡桥，也是最令人称奇的一座梁式石桥。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，重达 200 多吨，该桥一直保存至今。历史记载，这些巨大石梁桥是利用潮水涨落浮运架设的，足见我国古代加工和安装桥梁的技术何等高超。

我国在东汉中期已建有拱桥。富于民族风格的古代石拱桥技术，无论是结构的精心巧思，还是艺术造型的丰富多彩，长期以来一直驰名中外，河北赵县的赵州桥（图 1-1），就是我国古代石拱桥的杰出代表。赵州桥又称安济桥，为隋大业初年（约 605 年）李春所建。赵州桥是一座空腹式圆弧形石拱桥，净跨 37.02m，宽 9m，矢高 7.23m，在拱背上设有 4 个跨度不等的腹拱，这样做既减轻了桥身自重，又便于排洪，并且增加了美观。

著名的古代石拱桥还有北京永定河上的卢沟桥、颐和园内的玉带桥和十七孔桥（图 1-2）以及苏州的枫桥等。

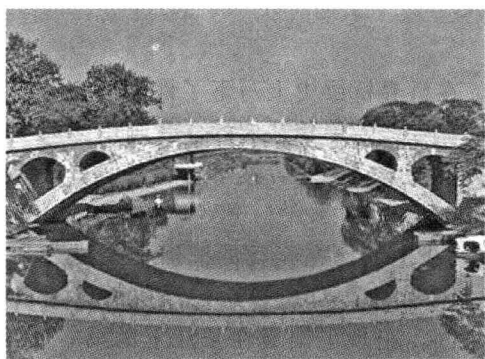


图 1-1 赵州桥

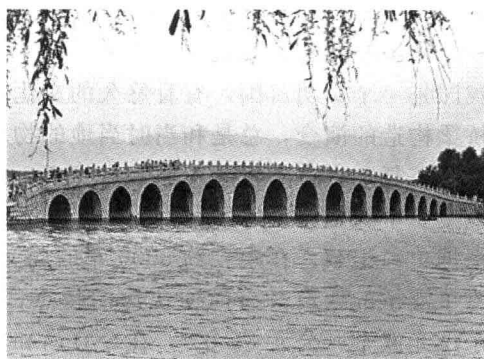


图 1-2 十七孔桥

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 1169 年，全长 517.95m，总共 20 墩 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。这座世界上最早的开合式桥，其石桥之长、石墩之大、桥型之多以及施工条件之困难、工程历时之久，都是古代建桥史上所罕见。此桥自清代修复后，至今一二百年，历经天灾人祸，始终安如磐石，屹立于惊涛骇浪之中。

但是，封建社会的长期统治严重束缚了生产力的发展。到了 19 世纪，西方资本主义国家纷纷进入了工业化的快速发展阶段，而我国却仍然闭关锁国，延续着腐朽的封建制度，导致中国在综合国力、科学技术等方面，远远落后于西方列强。在桥梁建筑方面，大部分是外国投资、外国人设计、外商承包。至中华人民共和国成立前，公路桥梁绝大多数为木桥。且年久失修、破烂不堪。

中华人民共和国成立以后，随着我国国力迅速增强，交通事业的快速发展，尤其是 20 世纪 90 年代以来国家对高等级公路的大力投入，使得我国的桥梁事业得到了空前的大发展，取得了举世瞩目的成就。目前我国在桥梁建设方面，已经跻身世界先进行列。

（一）梁桥

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 $3\text{m} \times 128\text{m}$ 的连续钢桁梁。双线铁路，上层公路桥面宽 18m，两侧各设 3.25m 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，对发展我国现代桥梁技术开创了新的道路。

在我国建桥事业中需要特别指出的是：1969 年又胜利建成了举世瞩目的南京长江大桥（见图 1-3）。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 $3\text{m} \times 160\text{m}$ 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，铁路部分全长 6772m，公路部分为 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。

20 世纪 80 年代，对称平衡悬臂法施工的大跨度预应力混凝土箱形截面连续梁桥得到了迅速的发展。1991 年建成的云南六库怒江大桥（见图 1-4），主桥跨径为 $85\text{m} + 154\text{m} + 85\text{m}$ 预应力混凝土连续梁，2001 年 7 月建成通车的南京长江第二大桥北汊桥，其主桥路径为 $90\text{m} + 3 \times 165\text{m} + 90\text{m}$ ，是我国目前跨度最大的预应力混凝土连续梁桥。

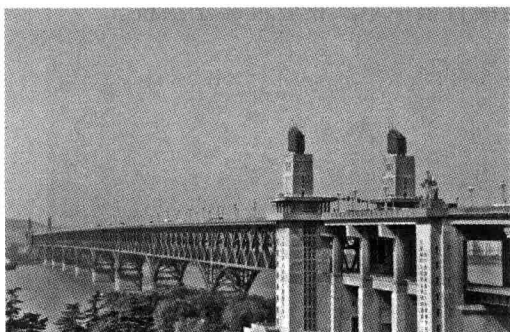


图 1-3 南京长江大桥

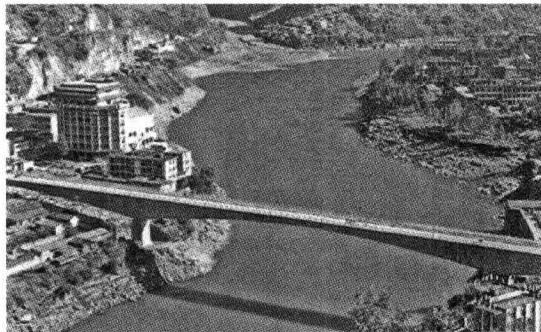


图 1-4 云南六库怒江大桥

连续刚构的特点是梁体保持连续，墩梁固结。这样既保持了连续梁无伸缩缝、行车平顺的优点，又保持了 T 形刚构不设支座的优点，同时避免了连续梁和刚构的缺点，因而连续刚构桥在我国发展很快。1997 年建成的广东虎门大桥辅航道桥（见图 1-5）是我国第一大跨径连续刚构桥，桥孔径布置为 $150\text{m} + 270\text{m} + 150\text{m}$ ，主跨跨径为世界第四，单幅桥箱梁为单箱单室截面，箱梁顶面宽 15m，箱宽 7m，顶板悬臂宽度 4m，主梁根部梁高为 14.8m，在跨中位置梁高 5m，其间梁高按抛物线变化。

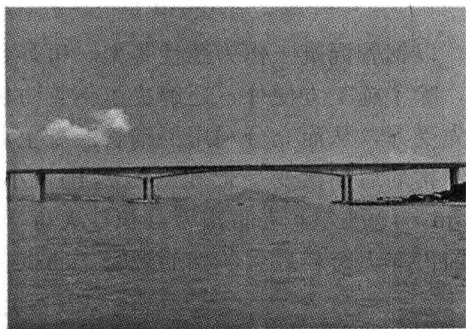


图 1-5 虎门大桥辅航道桥

（二）拱桥

拱桥造型优美，跨越能力大，长期以来一直是大跨桥梁的主要形式之一，中华人民共和国成立以来我国在圬工拱桥和钢筋混凝土拱桥方面也有很大发展。20 世纪 60 年代无支架施工方法的应用与发展使得混凝土拱桥竞争力大大提高。

我国著名的石拱桥，有 1991 年建成的湖南凤凰县鸟巢河桥，跨径 120m，其拱圈由两条宽 2.5m 的石板拱组成，板间用钢筋混凝土横梁联系。

1999 年建成的山西晋城——河南焦作高速公路上的新丹河大桥，跨径 146m，拱圈用 80

号大料石砌成。

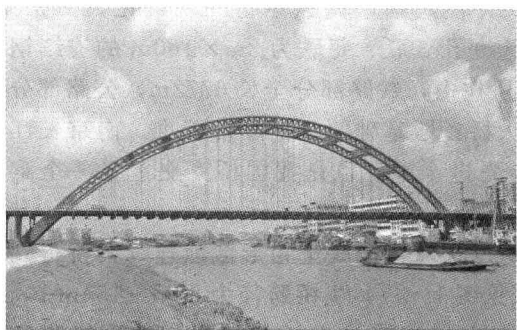


图 1-6 广东南海三山西大桥

1990 年兴起的钢管混凝土拱桥,使得大跨径拱桥的建造能力得到了进一步的提高。先合龙自重轻、强度高的钢管拱圈,并将其用作施工拱架,再往管内压注高强度混凝土,使之进一步硬化形成主拱圈。用此法分别于 1995 年建成了广东南海三山西大桥,跨径为 200m。2000 年建成了广西三岸邕江大桥,主跨为 270m。2000 年建成主跨达 360m 广州丫髻沙大桥(见图 1-6~图 1-8),全桥总长 1084m,主桥跨径组合为 76m+360m+76m,为连续自锚中承式钢管混凝土拱桥。



图 1-7 广西三岸邕江大桥

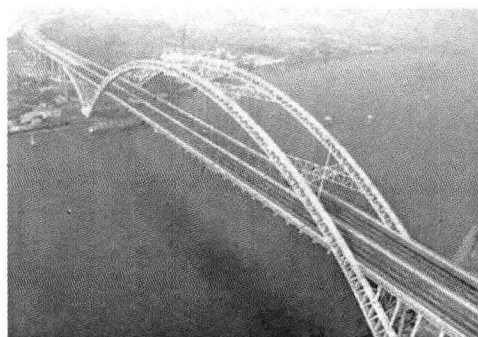


图 1-8 广州丫髻沙大桥

以钢管混凝土作为劲性骨架,再外包混凝土形成箱形拱,是修建大跨径拱桥十分好的构思,除了施工方便外,还解决了钢管防护问题,另外,这种分期形成的截面由于钢管混凝土最先受力,从而充分利用了钢管混凝土承载潜力大的优势,从理论上说,在荷载作用下,这种结构的后期徐变变形相对也是比较小的。用此方法我国已建成广西邕宁邕江大桥($l=312\text{m}$, 1996 年)和重庆万县长江大桥($l=420\text{m}$, 1997 年,见图 1-9、图 1-10),前者为目前世界上跨径最大的钢筋混凝土肋拱桥,后者跨径为钢筋混凝土拱桥的世界之最。

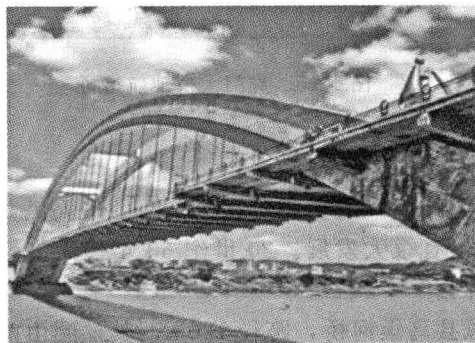


图 1-9 广西邕宁邕江大桥

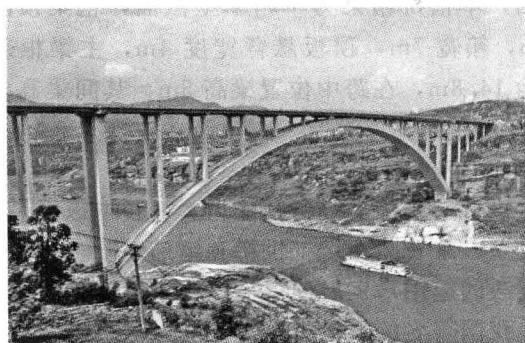


图 1-10 重庆万县长江大桥

此外，我国用悬臂施工法建成了多座桁式组合拱桥，跨度最大的是贵州江界河桥（图 1-11），建于 1995 年，跨度达到 330m，居同类桥型的世界之最。

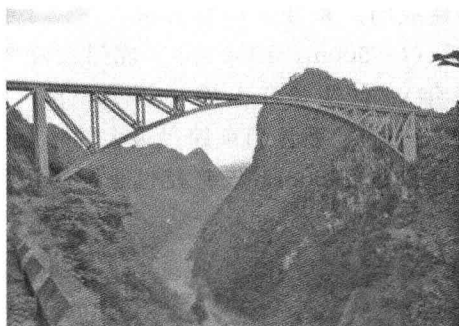


图 1-11 贵州江界河桥

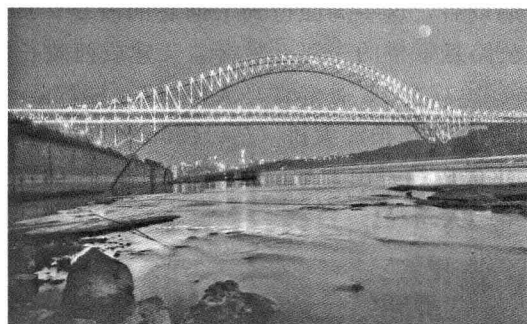


图 1-12 重庆朝天门大桥

2003 年建成通车的上海卢浦大桥，曾是世界上跨度最大的钢拱桥，为中承式系杆拱桥，主跨跨径为 550m，这一纪录被 2009 年建成的重庆朝天门大桥（见图 1-12）打破，后者跨径达到了前所未有的 552m。

（三）斜拉桥

我国的斜拉桥起步稍晚，1975 年建成的跨径 76m 的四川云阳桥是国内第一座斜拉桥，20 世纪 90 年代以后，因跨越大江大河的需要，斜拉桥得到了快速的发展，修建了一系列特大跨度的斜拉桥。据不完全统计，我国建成的斜拉桥已超过 100 座，其中跨度超过 400m 的斜拉桥已达 20 多座，居世界首位。

1991 年建成的上海南浦大桥，跨径 423m；1993 年建成的上海杨浦大桥，跨径 602m；1998 年建成的香港汀九桥，跨径 448m+475m；2001 年建成的福建青州闽江桥，跨径 605m，均为钢—混凝土组合梁斜拉桥，其中青州闽江桥保持着组合梁斜拉桥跨径世界纪录。1993 年建成的勋阳汉江大桥，跨径 414m；1995 年建成的安徽铜陵长江大桥，跨径 432m；1996 年建成的重庆长江二桥，跨径 444m；2001 年建成的重庆大佛寺长江大桥，跨径 450m，为混凝土主梁斜拉桥。2001 年建成的主跨 460m 的武汉军山长江大桥、2005 年建成的主跨 648m 的南京长江三桥为钢主梁斜拉桥。

目前我国已建成的跨度超千米的斜拉桥有两座，分别是 2009 年建成的江苏苏通长江公路大桥（主跨 1088m，见图 1-13）和香港昂船洲大桥（主跨 1018m，见图 1-14）。这两座桥分别为世界第一、第二大跨斜拉桥。

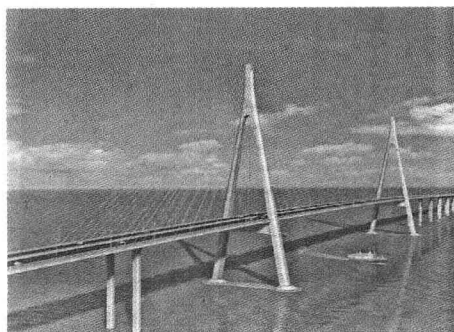


图 1-13 江苏苏通长江公路大桥

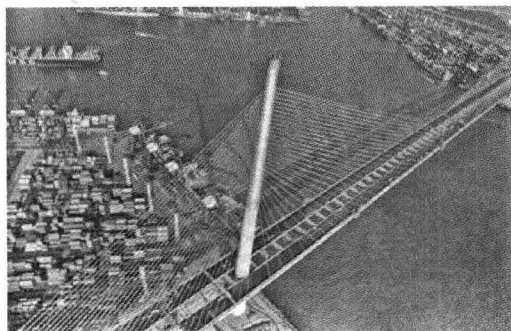


图 1-14 香港昂船洲大桥

(四) 悬索桥

我国的现代悬索桥建设起步较晚，特别是在特大跨度悬索桥方面。但是在 20 世纪 90 年代中期以后，这一局面得到了彻底的改变。1995 年建成的广东汕头海湾大桥，开创了我国现代公路悬索桥的先河；紧接着又建成西陵长江大桥（ $l=900\text{m}$ ，1996 年）、虎门大桥（ $l=888\text{m}$ ，1997 年）、香港青马大桥（ $l=1377\text{m}$ ，1997 年）、江阴长江大桥（ $l=1385\text{m}$ ，1999 年）、江苏润扬长江大桥（ $l=1490\text{m}$ ，2005 年，见图 1-15）。我国目前跨径最大的悬索桥是 2009 年建成的舟山西堠门大桥（见图 1-16），主跨达到了 1650m，该跨径也是同类桥型的世界第二大跨径。



图 1-15 江苏润扬长江大桥

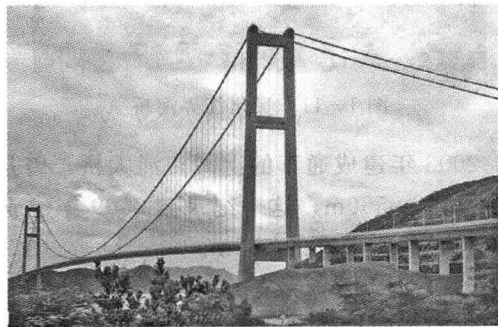


图 1-16 舟山西堠门大桥

二、国外桥梁发展概况

拱桥方面，圉工拱桥在国外已有一百多年的历史，1855 年起法国建造了第一批应用水泥砂浆砌筑的石拱桥。大约在 1870 年时，德国建造了第一批采用硅酸盐水泥的混凝土拱桥。1946 年在瑞典建成的绥依纳松特桥，是一座混凝土圉工拱桥，跨度达 155m。由于石料开采和加工砌筑费工巨大，国外已很少修建大跨度石拱桥。

钢筋混凝土拱桥从 20 世纪初到 50 年代间，得到了很大的发展，后因支架问题，应用受到一定的限制，直到 1979 年，前南斯拉夫用无支架悬臂施工法建成跨度达 390m 的克尔克大桥（见图 1-17），该桥跨径保持了 18 年的世界纪录。无支架悬臂施工法目前在大跨度拱桥施工中被广泛采用。

著名的悉尼港湾大桥（见图 1-18），是一座中承式桁架钢拱桥，跨径 503m，建于 1932 年。

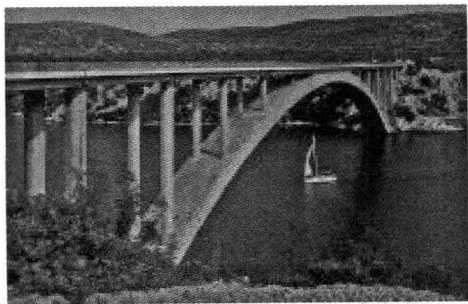


图 1-17 克尔克大桥

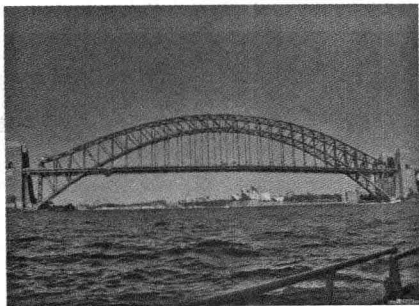


图 1-18 悉尼港湾大桥

梁式桥方面,由于梁式桥的力学特征是以受弯为主,而钢筋混凝土结构抵抗弯拉的能力较弱,普通钢筋混凝土梁式桥的跨径一直较小。预应力技术的成熟,促进了预应力混凝土梁式桥的迅速发展。1977年奥地利建成了跨径达76m的阿尔姆桥,该桥通过在梁的下缘张拉钢筋和在上缘顶压预应力(称为双预应力)的技术,将梁高降至2.5m,高跨比仅1/30。

目前世界上跨度最大的预应力混凝土连续梁桥是挪威的伐罗德桥($l=260\text{m}$,1994年),跨度最大的连续刚构桥是挪威的斯托尔马桥($l=301\text{m}$,1998年)。跨径最大的斜腿刚架桥是法国的博诺姆桥($l=186.3\text{m}$,1974年)。跨径最大的钢悬臂桁梁桥是1917年通车的加拿大魁北克桥,中跨跨度为549m。

斜拉桥方面,世界上第一座具有钢筋混凝土主梁的斜拉桥是1925年在西班牙修建的跨越坦博尔河的水道桥;世界上第一座现代化斜拉桥是1955年瑞典建成的斯特罗姆海峡桥,其主跨182.6m。1978年,美国建成P—K桥,跨径299m,是世界上第一座密索体系的预应力混凝土斜拉桥。日本于1999年建成了跨径达890m的多多罗桥(见图1-19),建成时为世界第一大跨斜拉桥。

悬索桥方面,1883年建成美国纽约布鲁克林悬索桥(见图1-20),跨径达483m,开创了现代悬索桥的先河。1937年建成的美国旧金山金门大桥(见图1-21),主跨达1280m,保持了27年的世界纪录,至今金门大桥仍是举世闻名的桥梁经典之作。目前,世界上跨度最大的悬索桥是日本的明石海峡公铁两用桥(见图1-22),跨径1991m。

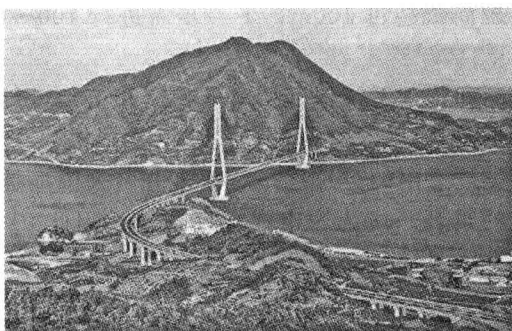


图1-19 日本多多罗桥

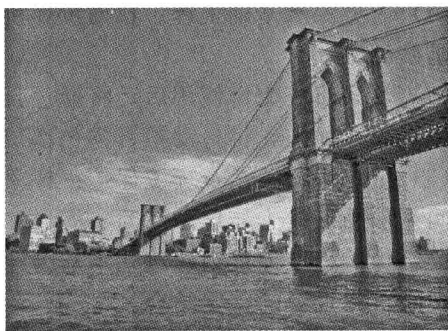


图1-20 美国纽约布鲁克林悬索桥



图1-21 美国旧金山金门大桥

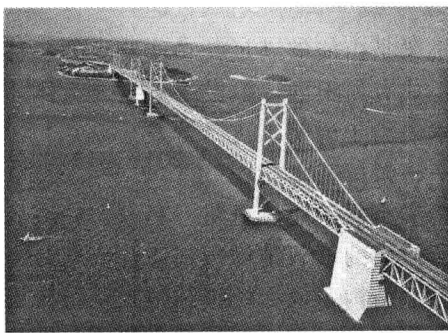


图1-22 日本明石海峡公铁两用桥

三、桥梁建设的发展趋势

从历史上看,桥梁发展大致经历了以下三次飞跃:

(1) 19 世纪中叶钢材的出现, 随后又出现高强度钢材, 使桥梁工程的发展获得了第一次飞跃, 跨度不断加大。

(2) 20 世纪初, 钢筋混凝土的应用, 以及 30 年代兴起的预应力混凝土技术, 使桥梁建设获得了廉价、耐久, 且刚度和承载力均很大的建筑材料, 从而推动桥梁的发展产生第二次飞跃。

(3) 20 世纪 50 年代以后, 随着计算机技术和有限元技术的迅速发展, 使得人们能够方便地完成过去不可能完成的大规模结构计算, 这使桥梁工程的发展获得了第三次飞跃。

未来桥梁的发展趋势体现在以下几个方面:

(1) 桥梁向更长、更大的方向发展。研究大跨径桥梁在气动、地震和行车荷载动力作用下结构的安全和稳定性, 将截面做成适应气动要求的各种流线型加劲梁, 增大特大跨径桥梁的刚度; 采用以斜缆为主的空间网状承重体系; 采用悬索加斜拉的混合体系; 采用轻质高强度材料制作加劲梁和主缆以适应大跨径的需要。

(2) 新材料的开发和应用。新材料应具有高强、高弹模、自重轻的特点。研究超高强硅类和聚合物混凝土、高强双相钢丝纤维增强混凝土、纤维塑料等一系列材料取代目前桥梁用的钢材和混凝土。

(3) 在设计阶段采用高度发展的计算机辅助手段, 进行有效的快速优化和仿真分析, 运用智能化制造系统在工厂生产部件, 利用 GPS 和遥感技术控制桥梁施工。

(4) 大型深水基础工程。目前世界桥梁基础尚未超过 100m, 下一步需进行 100~300m 深海基础的实践。

(5) 桥梁建成交付使用后, 将通过自动监测和管理系统保证桥梁的安全和正常运行, 一旦发生故障或损伤, 将自动报告损伤部位和养护对策。

(6) 重视桥梁美学及环境保护。桥梁是人类最杰出的建筑之一, 很多著名大桥都是宝贵的空间艺术品, 成为陆地、江河、海洋和天空的景观, 成为城市标志性建筑。因此 21 世纪的桥梁结构必将更加重视建筑艺术造型, 重视桥梁美学和景观设计, 重视环境保护, 达到人文景观同自然景观的完美结合。

第二节 桥梁基本组成与分类

桥梁是由能够满足其功能要求的各种不同结构物组成的, 它有许多类型。不同类型的桥梁其组成有所不同, 但其基本组成大体一致。下面着重就桥梁的基本组成和分类以及相关的专业术语给予说明。

一、桥梁基本组成

桥梁是供铁路、道路、渠道、管线、行人等跨越河流、山谷或其他交通线路等各种障碍物时所使用的承载结构物, 通常可划分为上部结构和下部结构 (见图 1-23)。

上部结构 (也称桥跨结构) 是指桥梁结构中直接承受车辆和其他荷载, 并跨越各种障碍物的结构部分, 一般包括桥面构造 (行车道、人行道、栏杆等)、桥梁跨越部分的承载结构和桥梁支座。桥跨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传递到指定的下部结构上去, 同时保证桥上交通在一定条件下安全正常运营。

下部结构是指桥梁结构中设置在地基上用以支承桥跨结构, 将其荷载传递至地基的结构

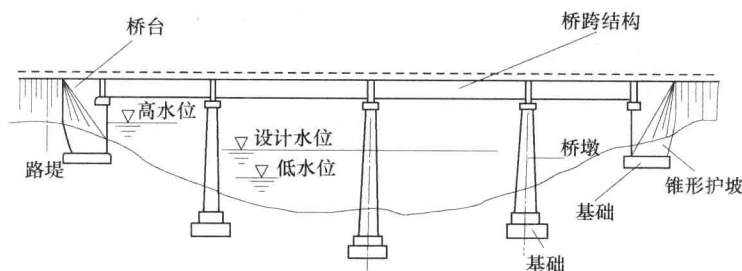


图 1-23 桥梁的基本组成

部分，一般包括桥墩、桥台及墩台基础。下部结构是桥梁结构中极为重要的组成部分，其主要作用是支承桥跨结构，并将桥跨结构所承受的荷载传递到地基中去，确保上部结构的安全使用。

通常把多跨桥梁中处于相邻桥跨之间并支承上部结构的构造物称为桥墩，而把位于桥梁两端与路基相连并支承上部结构的构造物称为桥台。因此桥墩两侧均为桥跨结构，而桥台一侧为桥跨结构，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的作用，并抵御路堤的土压力，防止其滑坡坍落。

桥台两侧通常设置石砌锥形护坡或护岸，以阻止水流对路堤边坡和桥台的冲刷，保证其稳定性。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，对桥梁结构的安全使用起着举足轻重的作用，这部分结构是桥梁施工中最复杂、难度最大的部分，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所致。

在桥梁规划设计中，设计洪水位、桥长、桥梁净跨径、计算跨径、桥梁建筑高度等均为重要的桥梁设计技术指标，以下将简要说明有关技术术语。

在跨河桥梁的设计中，设计洪水位是关键的技术指标。一般河流在枯水季节的最低水位称为低水位，而在洪峰季节的最高水位称为高水位。在跨河桥梁设计时，按规定的设计洪水频率所计算确定的高水位称为设计洪水位。如果该河流属通航河流，满足正常通航要求的最高和最低水位称为通航水位。对于有流冰的河流，在流冰季节河流所达到的最高水位称为最高流冰水位。

桥长是衡量桥梁大小的最简单的技术指标。一般把桥梁两端桥台的侧墙或八字墙后端点之间的距离称为桥梁全长，简称桥长。无桥台时，桥梁全长为桥跨结构的行车系全长距离。桥梁规范中根据桥梁跨径总长 L 和单孔跨径 L_k 划分桥梁的规模大小。桥梁的跨径总长是指桥梁两端桥台台前缘间的距离。

桥梁的净跨径 l_0 和总跨径 $\sum l_0$ 是反映桥梁宣泄洪水能力的指标。对于梁式桥净跨径是指设计洪水位上相邻两个桥墩（或桥台）之间的净距，而拱式桥是指每孔拱跨拱脚截面下缘之间的距离。总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和，也称桥梁孔径。通常桥梁孔径应满足宣泄设计洪水流量的要求。

桥跨结构的力学计算常常使用计算跨径，对于梁式桥，是指桥跨两端相邻支座中心之间的距离。对于拱式桥，是指拱轴线两端点之间的距离，通常用 l 表示。

桥梁建筑高度 H 是指桥上行车路面（或轨顶）与桥跨结构下边缘之间的高差。通常桥

梁建筑高度应小于其容许建筑高度，既桥面标高与通航净空顶部标高之差。

桥下净空高度是指设计洪水位或计算通航水位至桥跨结构下边缘之间的距离。该距离应满足安全排洪和通航的要求。

桥梁高度是指低水位至桥面的高差。对于跨线桥是指桥下道路路面至桥面的高差。桥梁高度不同，对桥梁施工的要求也不同，其施工的方法和难度会有很大差异。

在桥梁工程中，中小跨度的桥梁占的比例非常大。这部分桥梁如果采用标准设计，其工程设计和施工质量将大大提高，其经济效益也是非常可观的，因而我国 JTGB01—2003《公路工程技术标准》中规定，标准设计或新建桥涵跨径在 50m 以下时，均采用标准跨径 (l_k)。对于梁式桥，标准跨径是指两相邻桥墩中线间的距离，或桥墩中线与桥台台背前缘间的距离；而对拱式桥，是指其净跨径。公路桥涵的标准跨径从 0.75~60m，共计 22 种跨径。

二、桥梁主要类型

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。

(一) 桥梁的基本体系

在桥梁结构设计中，一般按桥梁的结构形式（也称结构体系）将其分为四个基本类型以及这些基本类型的组合形式。这一分类方式以力学计算模式为基础，以受力方式明显差异为特征，广泛用于桥梁的结构计算分析和设计中。其四种基本结构类型是：梁式桥、拱式桥、刚架桥、悬索桥。其组合形式有多种多样，如斜拉桥、系杆拱桥等。各种结构形式其受力特点、适应范围都有很大差异。以下简要说明各种结构形式的特点。

1. 梁式桥

梁式桥（见图 1-24）的特点是其桥跨的承载结构由梁组成，在竖向荷载作用下主梁的支承处仅产生竖向反力，而无水平反力（推力），梁的内力以弯矩和剪力为主。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，通常采用钢筋混凝土材料。当计算跨径大于 25m 时，更多采用预应力混凝土材料。目前预应力混凝土简支梁桥的最大跨径已达到 76m，但其经济跨径在 40~50m。连续梁桥和悬臂梁桥由于其跨间支座处负弯矩使其各跨跨中的弯矩减小，由此提高了其跨越能力。预应力混凝土连续梁桥常用的跨径为 40~200m，其最大跨径已达 260m。而预应力混凝土悬臂梁桥常用跨径为 40~100m，其最大跨径已达 150m。

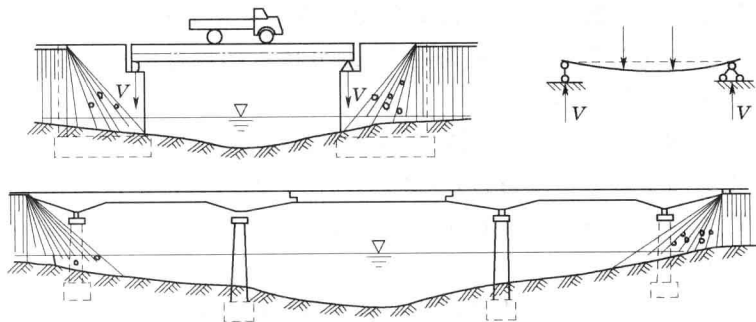


图 1-24 梁式桥

2. 拱式桥

拱式桥（见图 1-25）的特点是其桥跨的承载结构以拱圈或拱肋为主。在竖向荷载作用下，两拱脚处不仅产生竖向反力，还产生水平反力（推力）。由于水平推力的作用使拱圈的弯矩和剪力大大地降低。设计合理的拱主要承受拱轴压力，拱截面内弯矩和剪力均较小，因此可充分利用石料或混凝土等抗压能力强而抗拉能力差的圬工材料。由此可见，拱式桥是钢筋混凝土桥和圬工桥最合理的结构形式之一，拱式桥的基本结构体系可分为有铰拱和无铰拱。由于拱铰结构复杂、施工困难，维护费用很高，因而工程中较多采用无铰拱。拱式桥良好的受力状态使其具有很大的跨越能力。目前钢筋混凝土箱形拱桥的最大跨径已达 420m，钢桁架拱桥的最大跨径已达 552m，钢管混凝土拱桥的最大跨径已达 492m。拱式桥是有推力结构，其墩台基础必须承受强大的拱脚推力，因此拱式桥对地基要求很高，适用于地质和地基条件良好的桥址。石拱桥构造简单，承载能力大，造型优美，是桥梁工程中广泛采用的桥型之一。

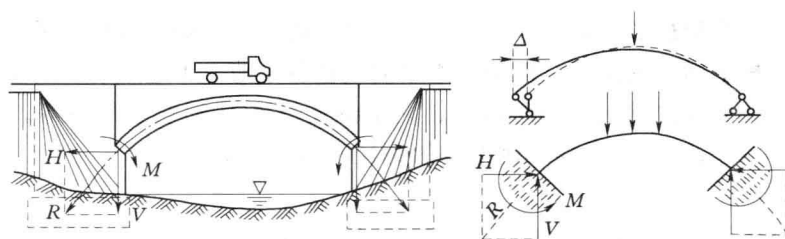


图 1-25 拱式桥

3. 刚架桥

刚架桥（见图 1-26）是由桥跨结构（主梁）和墩台（支柱、板墙）整体相连而形成的结构体系，其梁柱结点为刚结。刚架桥的特点是在竖向荷载作用下，其柱支承处不仅产生竖向反力，也产生水平反力，使其基础承受较大推力，因此要求其桥址有较好的地基条件或采用深基础，或采用其他特殊措施承受推力。在荷载作用下，其结构中梁和柱（支柱、板墙）的截面均作用有弯矩、剪力和轴力。由于梁和柱的结点为刚结，梁端部承受负弯矩，使梁跨中弯矩减小，跨中截面的尺寸也相应减小，与一般墩台不同，刚架桥的支柱（桥墩、台）不仅承受压力，还承受较大弯矩，通常采用截面较小的钢筋混凝土或预应力混凝土构件。由于刚架桥大多采用超静定的结构型式，故混凝土收缩、温度变化、墩台不均匀沉陷和预加应力等因素会在结构中产生附加内力（次内力），施工过程中，若发生结构体系转换、徐变也会引起附加内力，这些附加内力有时可占到整个内力的相当大的比例，设计时必须加以考虑。

刚架桥由于无须设置大型桥梁支座，适合于采用悬臂施工技术，特大跨度预应力刚架桥近年来发展迅速。特别是斜腿刚架桥和连续刚架桥。值得说明的是 T 形刚架桥属于无推力结构，与其他刚架桥的受力特点根本不同。它是由单独支柱与主梁连接成整体，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，其受力特征与悬臂梁式桥相似，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。T 形刚架桥的悬臂一般为对称设置，使支柱在恒载作用下没有弯矩作用。

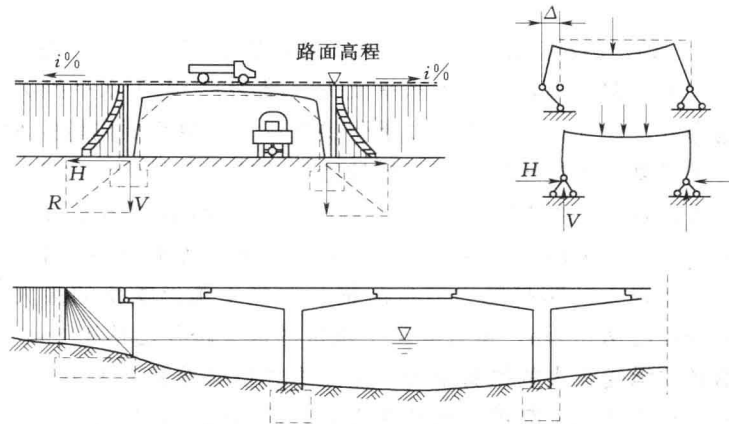


图 1-26 刚架桥

相比较而言，刚架桥的外形尺寸较小，桥下净空较大，且视野开阔，适用于建筑高度受限、又需要较大桥下净空的情况。但由于刚架的支柱较单薄，不适建于有高速流冰或漂浮物撞击危险的河流。因此常常被用于跨线桥、立交桥及跨越 V 形峡谷的桥等。预应力混凝土斜腿刚架桥的跨径已达 186m，连续刚架桥的跨径已达 301m。

4. 悬索桥

悬索桥（见图 1-27）又称吊桥，是最简单的一种索结构，其特点是桥梁的主要承载结构由桥塔和悬挂在塔顶的高强度柔性缆索及吊索、加劲梁和锚碇结构组成。桥跨上的荷载由加劲梁承受，并通过吊索将其传至主缆索。主缆索是主要承重结构，但其仅承受拉力。缆索本身是几何可变体系，但可通过与桥塔、锚碇结构及作用的荷载相组合，在空间形成有一定几何形状的平衡受力结构体系。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。这种桥型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。这一桥型的最大跨度已达到 1991m。一般认为其经济跨径超过 500m，最大跨径可达 4000m 以上。由于其跨度大，结构比较纤细，结构刚度相对较差，对动荷载和风荷载以及由此产生的振动和变形比较敏感。历史上就曾发生过在 19m/s 的风速下，由于悬索桥空气动力失稳而导致桥毁。因此悬索桥在设计计算时，除需考虑其结构的静力特性外，还必须考虑其结构的动力特性，尤其其他的抗风稳定性，此外计算还常采用有限变形理论。

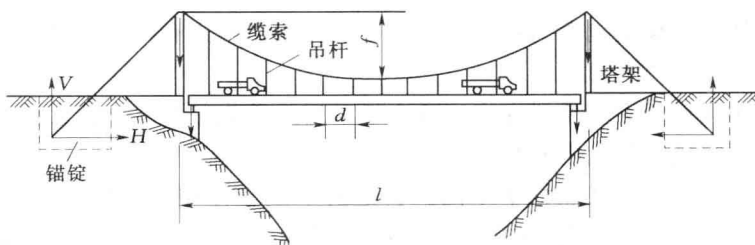


图 1-27 悬索桥

5. 组合式桥

组合式桥是由几个不同的基本类型结构所组成的桥。各种各样的组合式桥根据其所组合的基本类型不同,其受力特点也不同,往往是所组合的基本类型结构的受力特点的综合表现。常见的这类桥型有梁与拱组合式桥,如系杆拱、桁架拱及多跨拱梁结构等;悬索结构与梁式结构的组合式桥,如斜拉桥等。

系杆拱(图1-28)是典型的梁和拱组合的无推力组合结构体系,其梁和拱协同工作,在结构体系中,拱承受由外荷载引起的拱轴压力,梁直接承受桥面处荷载引起的弯矩和剪力,并通过吊杆将荷载传至拱肋,同时承受拱脚推力引起的轴向拉力。这一桥型的实用跨径为30~100m,最大跨径已达150m。

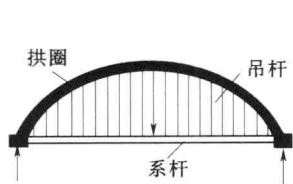


图 1-28 系杆拱

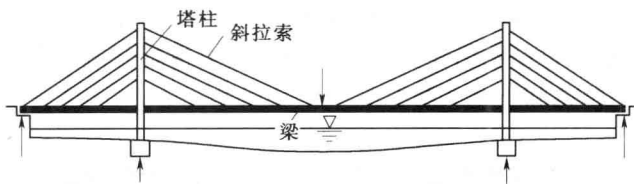


图 1-29 斜拉桥

斜拉桥(图1-29)则是典型的悬索结构和梁式结构组合的结构体系。这一结构体系由主梁、拉索和索塔组成,充分利用了悬索结构和梁结构的特点,其组合达到相当合理的程度。在结构体系中,梁结构直接承受桥面处荷载引起的弯矩和剪力,桥塔两侧的斜拉索为梁结构提供弹性支承,同时承受由此传来的由荷载引起的拉力,其拉力的竖向分量通过对桥塔的压力传至基础和地基;斜拉索中荷载所引起拉力的水平分量,使梁结构承受轴向压力,相当于对梁结构施加预应力。此外通过调整斜拉索间距可改变弹性支承的间距,使梁内力分布更加均匀合理,因而减小了主梁的建筑高度,提高了其跨越能力。与悬索桥相比,斜拉桥的斜拉索直接作用于主梁结构,使结构体系的抗弯、抗扭的刚度大大增强,抗风稳定性也明显改善。由于斜拉索拉力的水平分量由梁结构承担,因而不需要巨大的锚碇结构。与梁式桥相比,由于斜拉索不仅在梁结构中建立起预压应力而且提供了更合理的弹性支承,使斜拉桥中主梁结构的内力分布比在梁式桥中更为均匀合理。这一桥形的实用跨径为150~1000m,最大跨径已达1088m。

(二) 桥梁的其他分类简述

(1) 根据桥梁主跨结构所用材料,桥梁可划分为木桥、圬工桥(包括砖、石、混凝土桥)、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥和钢桥。在现代桥梁工程中较少采用木材。其原因是木材资源有限,且易腐烂。目前仅少数临时性桥梁使用木材建造。现代桥梁大部分采用钢筋混凝土、预应力混凝土材料和钢材建造。在我国,钢筋混凝土、预应力混凝土桥梁占大多数。

(2) 根据桥梁所跨越的障碍物,桥梁可划分为跨河桥、跨海峡桥、立交桥(包括跨线桥)、高架桥等。

(3) 根据桥梁的用途,可将其划分为公路桥、铁路桥、公铁两用桥、人行桥、运水桥、农桥以及管道桥等。

(4) 根据桥梁跨径总长 L 和单孔跨径 L_k 的不同,桥梁可分为特大桥、大桥、中桥、小

桥、涵洞，见表 1-1。

表 1-1 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	$30 \leq L \leq 100$	$20 \leq L_k \leq 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k \leq 20$
涵洞		$L_k < 5$

(5) 根据桥面在桥跨结构中的位置，桥梁可分为上承式、中承式和下承式桥（图 1-30）。下承式桥结构简单，施工方便，桥上视野开阔。但当桥梁的容许建筑高度较小时，常常采用中承式和下承式桥。

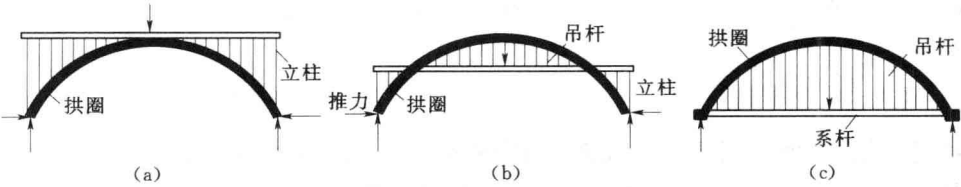


图 1-30 上承式、中承式和下承式桥
(a) 上承式桥；(b) 中承式桥；(c) 下承式桥

第二章 桥梁的总体规划与设计要点

一座桥的总体规划设计涉及的因素很多，必须进行一系列的勘测和调查，从客观实际出发，分析该桥的具体情况，才能得出合理的设计建议。对于小桥的设计，除满足线路走向外，同时考虑桥下泄洪、通航或通车的要求，小桥尽可能采用标准设计，以提高效率和规避风险；对于大、中桥，特别是跨度大或技术复杂的桥梁设计，为了能在错综复杂的客观条件基础上，遴选出经济适用又美观的设计方案，就需要按照国家基本建设程序的要求，循序渐进，逐步深入地开展工作的。

第一节 桥梁设计与建设程序

桥梁建设之前，必须首先进行桥梁的设计。在我国，基本建设工作可分为前期工作和正式设计两个部分。前期工作包括编制工程预可行性研究（简称“预可”）阶段和工程可行性研究（简称“工可”）阶段。设计工作分为初步设计、技术设计和施工图设计。各设计阶段与建设程序的关系，如图 2-1 所示。

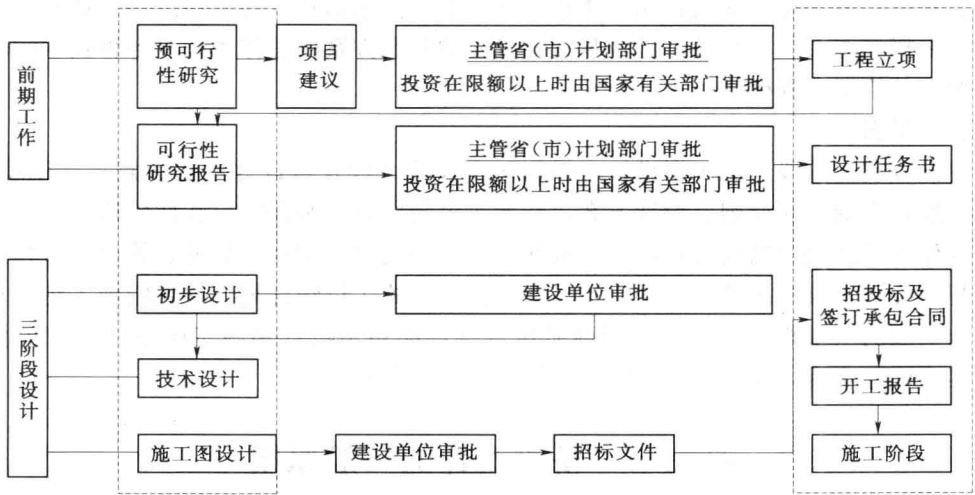


图 2-1 设计阶段与建设程序关系图

下面介绍桥梁设计与建设程序的主要内容和要求。

一、“预可”阶段

“预可”阶段着重研究建桥的必要性以及宏观经济上的合理性。在“预可”阶段形成的“预工程可行性研究报告书”（简称“预可报告”）中，应从经济、政治、国防等方面，详细阐明建桥理由和工程建设的必要性和重要性，同时初步探讨技术上的可行性。对于区域性线路上的桥梁，应以建桥地点的车流量调查（涉及国民经济逐年增长）为立论依据。