

第 1 章 总 论

1.1 国内外桥梁发展概况

1.1.1 桥梁工程的地位和作用

桥梁 **Bridge** 是跨越各种障碍 (如河流、山谷或其他路线等) 的结构物, 采用砖、石、木材、混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土和各种金属材料建造, 它不仅是一个功能性的结构物, 而且也是一座立体的造型艺术工程, 往往成为一个城市或地区标志性建筑。

桥梁工程在交通事业中占有重要地位。虽然桥梁所占路线总长度不大, 但其工程造价一般占公路总造价的 10% ~ 20%, 在山区高等级公路上其比例更高, 尤其在现代高速公路和城市高架桥中, 常常是保证全线早日通车和正常使用的关键。国防上, 桥梁是交通运输的命脉, 在快速、机动的现代化战争中占有非常重要的地位。

我国交通部在长远规划中, 将建成 3.5 万公里的高速公路和以一、二级汽车专用公路为主的快速通道。正在实施的西部大开发中首先是交通基础设施建设。西部地区地理、地形复杂, 山高谷深, 河流众多, 必然要建造大量的桥梁。另外, 数十公里长的海湾、海峡特大型桥梁的建设已经摆在我们面前。可以预见, 21 世纪是一个不断创造特大跨度桥梁历史的时代。作为未来的桥梁结构工程师, 将有幸肩负这一光荣而艰巨的任务。

1.1.2 我国桥梁建设的成就

我国桥梁类型繁多, 数量惊人, 无论是古代桥梁, 还是当今的现代桥梁, 都在世界桥梁史上写下了辉煌的篇章。

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。公元 35 年东汉光武帝时, 在今宜昌和宜都之间, 架设了长江上的第一座浮桥。之后, 因战事需要在黄河、长江上架设浮桥不下十余次。

在迄今三千多年以前, 我国就开始建造吊桥 (悬索桥)。当时的主索由藤、竹编织而成。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链桥 (1706 年) 以及都江堰市的安澜竹索桥 (1803 年) 等。泸定铁索桥长约 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 m, 分 8 孔, 最大跨径约 61m, 全桥用由细竹蔑编成粗五寸的 4 根竹索组成, 其中桥面索和扶栏索各半。

古代桥梁所用材料均为大自然赋予人类的天然材料，如树木、藤、石料，其中石料因其耐久性好，分布广，容易开采加工等优点，几千年来修建的古代桥梁中数石桥最多

在秦汉时期，我国已广泛修建石梁桥 1053—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，水深不可测”的海口江面上 此桥以盘石铺遍桥位江底，是近代筏形基础的开端用养殖海生牡蛎的方法胶固桥梁基础使其成整体，这是世界上绝无仅有的造桥方法。

富有民族风格的古代石拱桥技术，无论结构的精心巧思，还是艺术造型的丰富多姿。长期以来一直驰名中外，举世闻名的河北省赵县的赵州桥（又称安济桥），就是我国古代石拱桥的杰出代表（图 1.1）。该桥在隋唐大业初年（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 7.23m。在拱圈两肩各设有两个跨度不等的腹拱，这样既能减轻桥身自重、节省材料，又便于排洪、增加美观据对世界桥梁的考证，像这样的敞肩拱桥 欧洲到 19 世纪中叶才出现，比我国晚了一千二百余年赵州桥的雕刻艺术，包括栏板、望柱和锁口石等，其上狮象龙兽形态逼真，琢工的精致秀丽，不愧为文物宝库中的艺术珍品

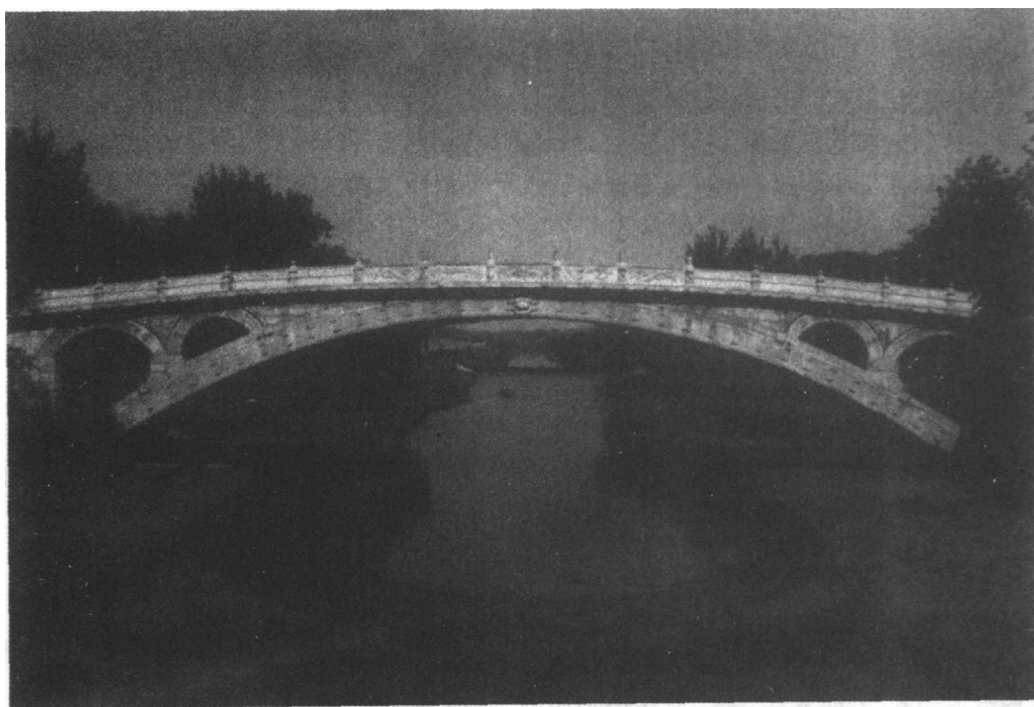


图 1.1 河北赵县赵州桥

除赵州桥外，还有其他著名的石拱桥，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。

尚值得一提的是，建于公元 1169 年的广东潮安县横跨韩江的湘子桥，又名广济桥，此桥全长 517.95m 共 19 孔 上部结构有石拱、石梁、木梁等多种结构形式 还有用 18 条浮船组成长达 97.30m 的开启式浮桥。这样，既能适应大型商船和上游木筏通过，又可避免过多的桥墩阻塞河道。这座世界上最早的开启式桥，其结构类型之多，施工条件之困难、工程历时时间之长，都是古代桥梁史上罕见的。

由于受到封建制度的长期统治，人民群众的无穷智慧被无情地摧残和压制。直到解放前，我国可供通车的公路里程很少，质量低劣，公路桥梁更少，且多数为木桥，年久失修，与当时世界桥梁建设相比，处于相当落后的状态。

新中国成立后，国民经济得到恢复和发展。建国初期修复和加固了大量旧桥，并在随后的第一、二两个五年计划中修建了铁路干线、公路网线、渡口和许多重要桥梁。20世纪50年代到60年代，修订了桥梁设计规范，编制了桥梁标准设计和桥梁设计计算手册，培养并形成一支强大的桥梁工程设计与施工技术队伍。进入20世纪80年代中期，我国的桥梁建设取得了前所未有的好成绩，设计和修建了许多世界一流的桥梁。

(1) 钢桥

1957年，第一座长江大桥——武汉长江大桥（公铁两用桥）胜利建成，从此结束了万里长江无桥的历史，标志着我国已具备修建现代化大跨度钢桥的技术水平。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 。1969年建成的南京长江大桥（图1.2）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。包括引桥在内，铁路桥梁全长 6772m ，公路桥梁全长为 4589m 。正桥除北岸第一孔为 128m 简支钢桁梁外，其余为3联9孔，每联 $3 \times 160\text{m}$ 的连续钢桁梁。上层为公路桥，下层为双线铁路。桥址处水深流急，河床地质极为复杂，桥墩基础施工非常困难，也就是在此，开创了钻孔灌注桩的施工新技术。

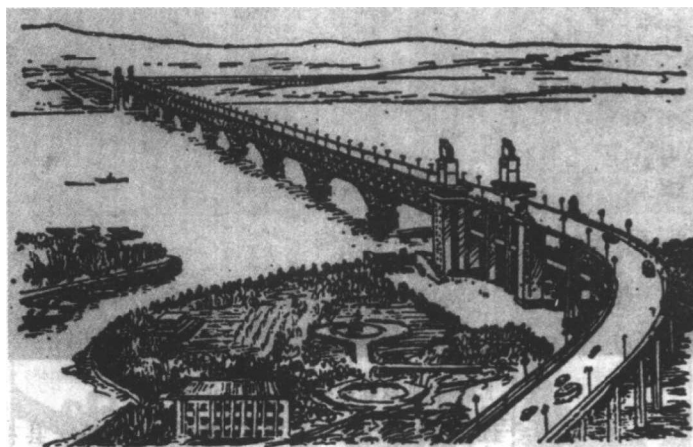


图 1.2 南京长江大桥

作为第二京九线要隘的九江长江大桥，是目前长江上建成的长度最长（铁路部分全长 7675.4m ，公路部分长 4215.9m ）、跨度更大（全桥最大跨度为 216m ）、施工更为先进的公路铁路两用特大钢桥。

据统计，目前长江上已建大桥近20座，在建桥梁9座，拟建桥梁10多座，如全部建成，长江上将会形成每70多公里就有一座长江大桥的新格局。

(2) 预应力混凝土桥

我国修建预应力混凝土梁桥起步较晚，但发展迅速。1956年在公路上修建成第一座跨径 20m 的预应力混凝土简支梁桥，此后，这种桥梁得到广泛推广，并提出了装配式预应力混凝土简支梁桥的系列标准设计，最大跨径达 40m 。1970年在河南建成跨径 52m 的鱼腹式预应力混

凝土筒支梁桥,1976年建成的洛阳黄河公路大桥,67孔跨径为50m的预应力混凝土T形筒支梁桥,全长3429m。1985年在浙江省建成跨径62m飞云大桥,是目前国内跨度最大的预应力混凝土筒支梁桥。

悬臂施工法的采用,为大跨预应力混凝土连续梁桥、T形刚构和连续刚构桥的建设提供了强有力的保障。20世纪60年代,我国首次采用悬臂施工法建成了第一座T形刚构桥,1971年用该法建成福建乌龙江公路大桥,主孔跨径 $3 \times 144\text{m}$,为我国修建大跨度预应力混凝土桥梁迈出了坚实的一步。迄今已修建了十几座大、中跨径的预应力混凝土T形刚构桥,1980年建成的重庆长江公路大桥(图1.3),采用三向预应力,主跨为 $86.50\text{m} + 4 \times 138\text{m} + 156\text{m} + 174\text{m} + 104.5\text{m}$ 总长1120m,其最大跨径174m和最大单悬臂长69.5m)为国内之最

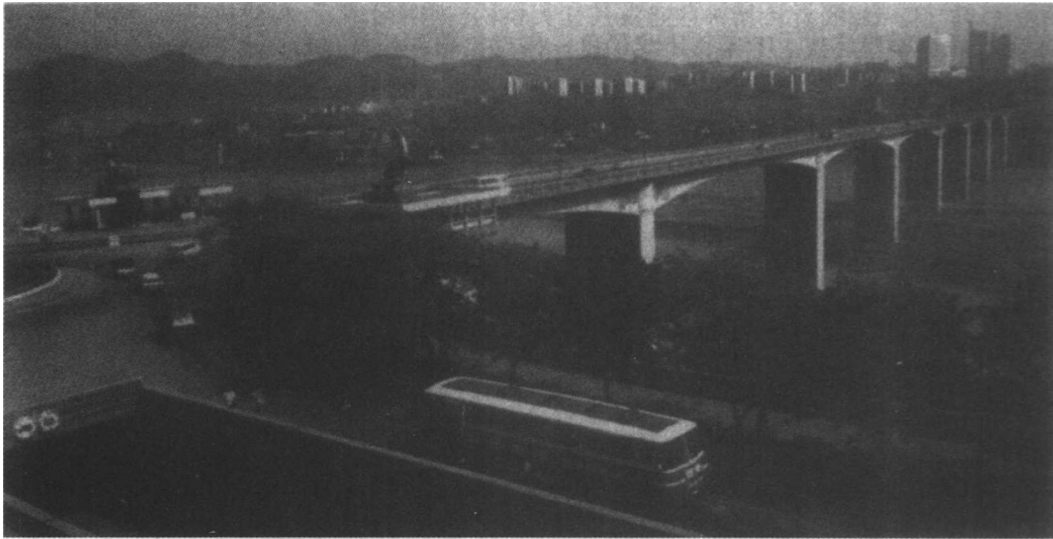


图 1.3 重庆长江大桥

由于T形刚构桥悬臂根部负弯矩大,伸缩缝多,桥面不平顺,不利于高速行驶等缺点,目前都转向采用连续刚构体系,并得到迅速发展和推广。1988年建成的广东省洛溪大桥,具有双薄壁墩和不对称连续刚构桥,主跨为 $65\text{m} + 125\text{m} + 180\text{m} + 110\text{m}$ 其最大跨径180m居当时亚洲同类桥梁之最。1997年建成的广东虎门辅航道桥,主跨270m(图1.4),居世界同类桥梁前列:

我国修建大跨度预应力混凝土连续梁桥主要集中在20世纪80年代,迄今利用平衡悬臂法和顶推法建造了几十座桥梁,其中跨径在100m以上的桥梁有:1985年建成的湖北沙洋汉江大桥($62.4\text{m} + 6 \times 111\text{m} + 62.4\text{m}$ 全长1819m)连续长度近800m。1986年建成的湖南常德沅水大桥($84\text{m} + 3 \times 120\text{m} + 84\text{m}$ 全长1408m);1991年建成的云南六库怒江大桥($85\text{m} + 154\text{m} + 85\text{m}$),1996年建成的广东南海九江公路大桥($50\text{m} + 100\text{m} + 2 \times 160\text{m} + 100\text{m} + 50\text{m}$)是目前国内跨度最大的预应力混凝土连续梁桥。

(3) 斜拉桥和悬索桥

自20世纪50年代第一座现代斜拉桥问世以来,由于其结构合理、跨越能力大、用材指标低、外形美观等优点,斜拉桥技术迅速发展。我国从1975年开始修建重庆云阳汤溪河桥(主跨76m)和上海松江新五桥(主跨54m)两座预应力混凝土试验桥以来,迄今已修建几十座斜拉桥,数量居世界第一。1982年建成济南黄河公路大桥(主跨220m),1994年建成主跨440m的湖

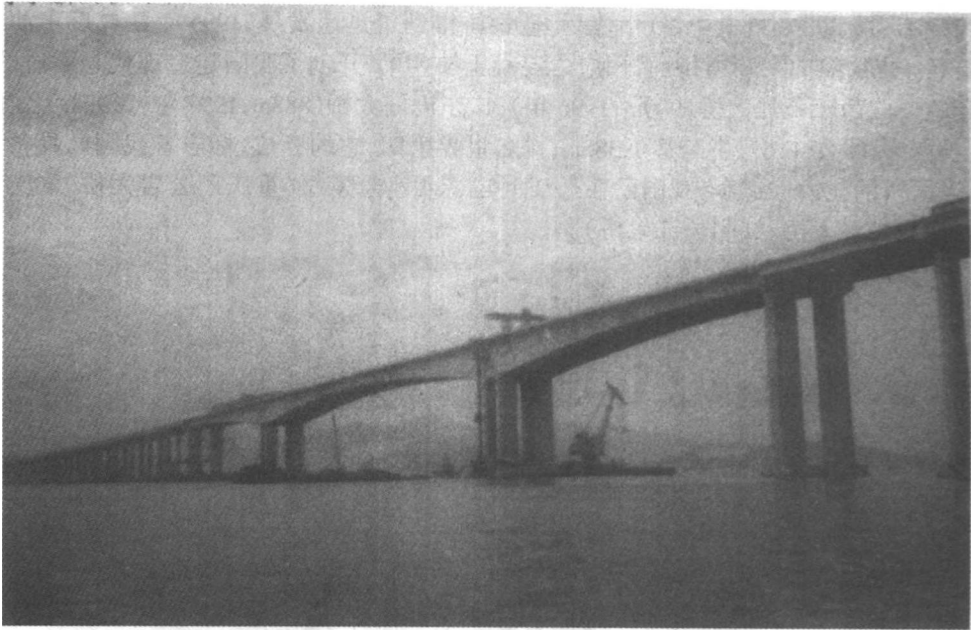


图 1.4 广东虎门辅航道桥

北邕县预应力混凝土斜拉桥,1997 年建成通车主跨 444m 的重庆长江二桥

在发展预应力混凝土斜拉桥的同时,钢 - 混凝土结合梁斜拉桥也得到发展,最著名的就是上海的南浦和杨浦大桥,其中杨浦大桥主跨 672m 图 1.5):



图 1.5 上海黄浦江杨浦大桥

据资料统计,全世界在建和已建的各类斜拉桥总数达 300 多座,其中跨径在 400m 或以上的总计约 32 座,而我国已有 10 座,占世界总数的 1/4 以上。迄今,我国是世界土建造斜拉桥最多的国家

悬索桥,俗称吊桥,是目前跨越能力最大的桥梁。解放以来我国建成的公路悬索桥有十余

座,但跨径不大。进入 20 世纪 90 年代后,悬索桥得到了迅速发展,1995 年建成广东汕头海湾大桥,跨径 452m,双向六车道桥面,预应力混凝土加劲梁,开创了我国建造现代悬索桥的先河。随后,相继建成西陵长江大桥(900m,1996 年),广东虎门大桥(888m,1997 年),1998 年建成的江苏江阴长江大桥(图 1.6)主跨达 1 385m,排名世界第四,它的建成,标志着我国已具备设计和建造千米吊桥的能力。迄今,我国已在长江上建造 4 座悬索桥(重庆鹅公岩大桥、重庆丰都长江大桥、西陵长江大桥、江阴长江大桥)。

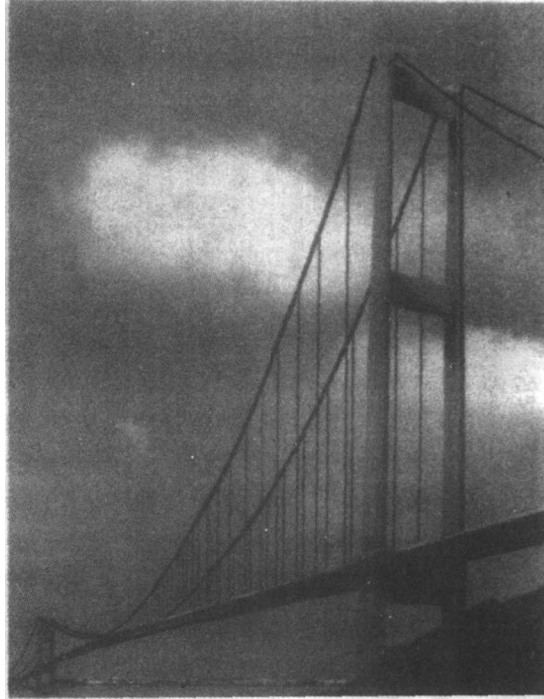


图 1.6 江苏江阴长江公路大桥

悬索桥与斜拉桥结合的吊拉组合桥,是未来超大跨桥梁的主要形式,我国在这方面走在世界前列,1998 年在贵州省建成世界上第一座吊拉组合桥——贵州乌江大桥(图 1.7)。虽然该桥跨径不大,只有 284m,但它的建成,标志着这种桥型已从理论分析到工程实践的跨越。在 21 世纪跨海大桥中,将占主导地位。如土耳其准备在马尔马拉海东部修建的伊兹米特海湾桥,采用跨度为 600m+2 000m+600m 的自锚式斜拉桥和自锚式悬索桥的组合体系桥。

(4) 石拱桥、混凝土拱桥

石拱桥因其施工简便、造价低廉、建筑材料来源丰富、外形美观等优点,从古代到现在建造了大量的石拱桥,而且结构形式也相当丰富。迄今我国已建造十余座跨径超过百米的石拱桥。

通常认为,石拱桥主要适用于板拱桥。在重庆、四川、湖南、贵州等地因地制宜,发展了石肋拱桥,不但经济合理,而且外形美观。1991 年湖南省凤凰县建成 120m 的乌巢河桥,是当时世界上同类跨径中最大的石拱桥(图 1.8)。2000 年建成的主跨 146m 的丹河大桥,其跨度居世界第一。

除石拱桥以外,我国还创造和推广了不少新颖的拱桥。如 1964 年创建的双曲拱桥,具有



图 1.7 贵州乌江大桥

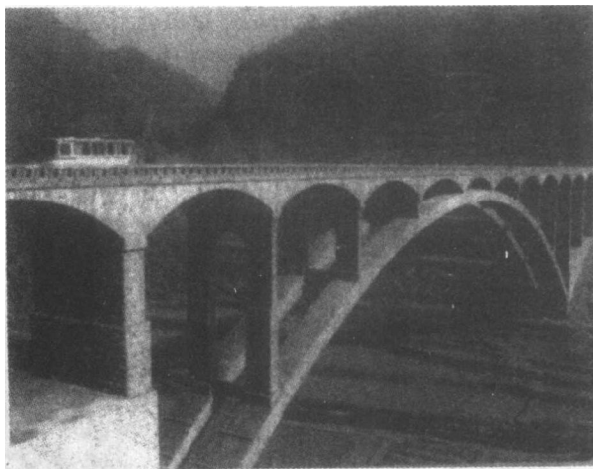


图 1.8 湖南省凤凰县乌巢河桥

材料省、造价低、施工简便、外形美观等特点，很快在全国获得推广和应用。据统计，在问世后的十多年间共建桥梁 4 000 余座，总长约 300 000m。其中跨径超过百米的双曲拱桥有 16 座，最大跨径达 150m（河南前河大桥）。湖南长沙湘江大桥，包括引桥在内全长 1 500m。这样规模的连续拱桥只用一年时间竣工通车，在世界建桥史上也是罕见的。此外江、浙、广东一带修建的钢筋混凝土桁架拱桥和刚架拱桥，以其上部结构自重轻、适宜于软土地基上建造，如广东清远北江大桥，采用 $7 \times 75\text{m}$ 的刚架拱桥，全长 1 000 多米（图 1.9）。

采用劲性骨架和钢管混凝土复合材料作为主拱材料，是大跨径拱桥发展的方向，它先利用刚度大、质量轻的优点对型钢或钢管拱桁架进行转体或吊装施工，对钢管内填混凝土后，利用钢管混凝土作为主拱，钢管对混凝土的套箍作用又提高了主拱的强度，同时也提高了钢管壁的稳定性和耐久性。1990 年建成的四川宜宾小南门金沙江大桥，采用型钢作为劲性骨架，主跨 243m；万县长江公路大桥（1997 年建成），采用钢管混凝土劲性骨架钢筋混凝土结构，主跨达 420m（图

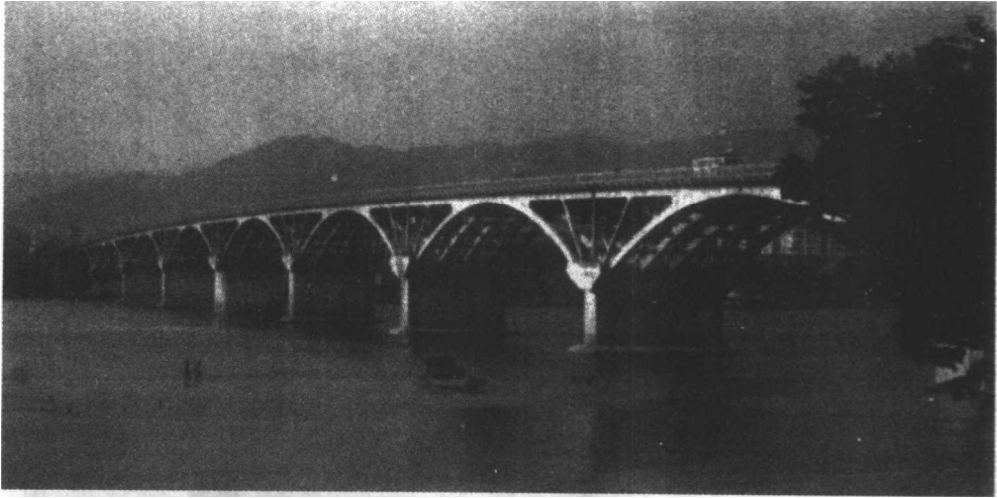


图 1.9 广东省清远北江大桥

1.10), 居世界第一; 广西邕宁邕江大桥, 首次采用千斤顶斜拉扣挂技术, 建成主跨 312m 的中承式劲性骨架钢筋混凝土拱桥; 广西三岸大桥则采用钢管混凝土作为拱圈, 跨径达 270m. 2000 年建成的广东丫髻沙飞燕式钢管砼拱桥, 主跨 312m, 采用转体法施工在建的重庆巫山长江大桥, 为跨径达 460m 的钢管砼拱桥。

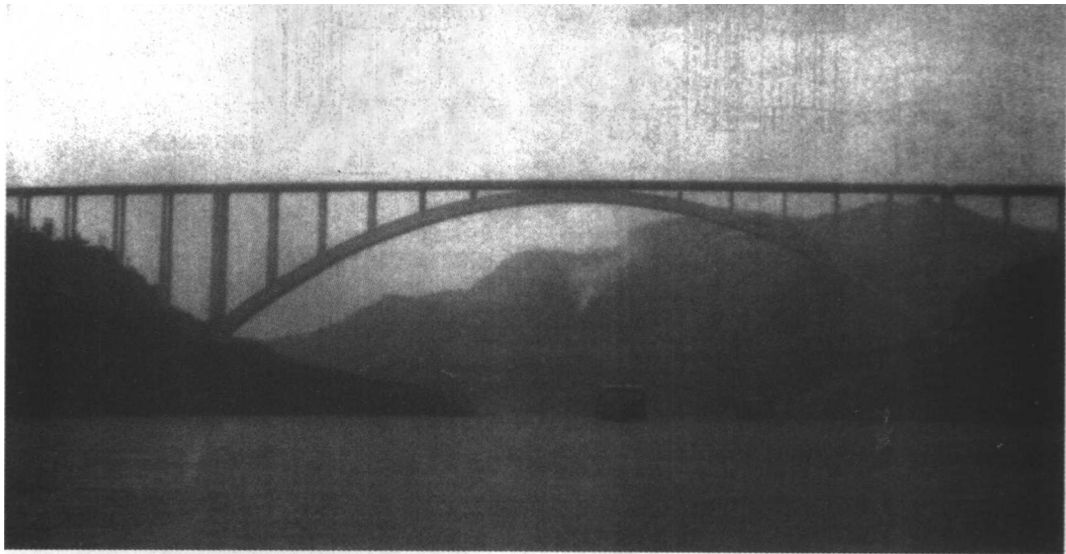


图 1.10 万县长江公路大桥

在拱桥的施工技术方面, 除了有支架施工外, 对于大跨径拱桥, 已广泛采用无支架施工法, 在四川、重庆、贵州、湖南等省采用转体施工法建成大跨拱桥。1990 年采用不平衡转体成功地建造了跨径为 200m 的重庆涪陵乌江大桥。

值得一提的是, 在钢筋混凝土桁架拱桥的基础上, 发展了预应力混凝土桁架拱, 如 1985 年建成的贵州剑河大桥 (主跨 150m), 1992 年建成的四川自贡牛佛大桥 (主跨 160m), 1996 年建成的贵州江界河大桥, 主跨达 330m。

(5)桥梁基础工程

我国在深水急流中修建了不少桥梁，已积累了宝贵的深水基础工程的设计和施工经验。20世纪50年代，我国修建武汉长江大桥时，在世界上首次采用了大型管柱基础。随后，这种先进的深水基础形式得到了推广和发展，管柱的直径由1.55m发展到5.80m最大埋置深度达47.5m。在沉井施工方面，由于成功地采用了先进的触变泥浆套下沉技术，大幅度地减少了基础圪工数量，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。北镇黄河公路桥成功地采用这种基础施工方法，钻孔深度达104m。

(6)桥梁设计与科研

建国五十余年来，我国公路、铁路、城市建设部门以及高等院校已形成了一支人数众多、力量雄厚的设计、科研队伍。从1956年开始制定公铁桥梁设计规范，并根据建桥经验不断进行修改，桥梁设计理论从容许应力法进展到极限状态设计方法，现已发展到可靠度设计理论。对中、小跨桥梁，已编制了大量标准化图纸。在桥梁设计中，对空间分析、结构复杂的次内力计算、稳定、振动与地震响应等方面进行了大量研究，取得了有实用价值的成果。桥梁静、动力模型试验、野外测试、风洞试验的研究，又为我国发展长大桥梁提供了科学依据。在软件开发方面，我国已编制了计算公路桥梁的大型综合程序和大量专用程序，桥梁CAD也在积极开发之中，已取得可喜成果。

1.1.3 世界各国桥梁建设现状与展望

纵观国外桥梁的发展史，早在古罗马时代，欧洲的石拱桥艺术已在世界桥梁史上写下过光辉的篇章。然而，国外桥梁得到发展，则得益于18世纪的工业革命。工业革命带来了生产力的大幅度增长，推动了工业的发达。而钢材和混凝土的出现，力学的发展和计算理论的完善，是国外桥梁建设的空前发展的保证。

1855年法国建造了第一批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小圪工裂缝方面的研究与改进，推动了现代石拱桥的发展。

1870年，德国开始建造用混凝土作为主要受力构件的混凝土拱桥，20世纪初，法国建成跨度139.80m的箱形拱桥。从19世纪末到20世纪50年代，钢筋混凝土拱桥在跨越能力、结构体系和主拱圈的截面形式上都得到很大发展。法国于1930年建成三孔186m拱桥，瑞典在1940年建成跨径264m的桑独桥，1964年澳大利亚建成悉尼港柏拉马塔河桥，跨径达305m。由于该桥采用有支架施工，耗费了大量的人力物力，国外在以后的10多年中已较少采用。1979年，南斯拉夫用无支架悬臂施工法建成跨度为390m的KRK桥（图1.11）。该桥的建成，标志着国外混凝土拱桥的技术已达到相当高的水平，其跨径记录一直到1997年才被我国的万县长江公路大桥420m打破。

钢筋混凝土梁式桥，因受到抗裂性能、刚度和承载能力的限制，发展缓慢，1940年英国建成的纽华特洛桥（跨径为77.02m连续梁桥）仍是目前同类桥梁中跨径最大的桥梁之一。

预应力混凝土技术的出现与应用，克服了钢筋混凝土的缺陷，开创了混凝土桥梁的新纪元，与预应力技术高度一致的悬臂施工法和顶推施工法的创立，使预应力混凝土桥梁跨径达到200~300m。其中，法国和德国开创了许多预应力混凝土桥新技术之最。前西德最早用全悬拼法建造预应力混凝土桥梁，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）。后，该技术迅速传播到全世界。1962年，德国又在莱茵河上建成208m的

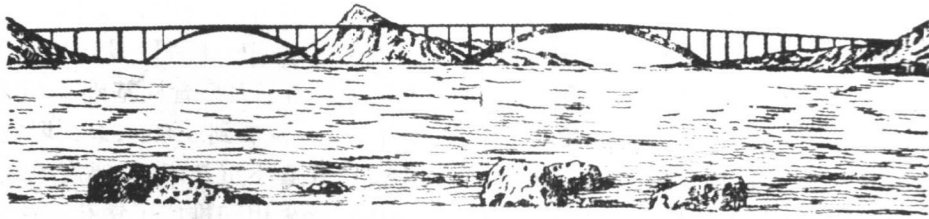


图 1.11 南斯拉夫 KRK 桥

本道尔桥，使悬拼技术更臻完善。1976 年，日本建成当时世界跨度最大的连续刚架桥——浜名大桥 主桥跨径为 $55\text{m} + 140\text{m} + 240\text{m} + 140\text{m} + 55\text{m}$ 。德国的莱翁哈特教授创造了预应力混凝土顶推施工法，1962 年首次采用此法建成委内瑞拉的卡罗尼河桥（跨径为 $48\text{m} + 4 \times 96\text{m} + 48\text{m}$ ）。

斜拉桥是国外发展的另一种桥型。1925 年西班牙在世界上建成第一座具有钢筋混凝土主梁的斜拉桥 而 1962 年委内瑞拉马拉卡波湖公路桥的建成，标志着现代预应力混凝土斜拉桥的开始。该桥主跨跨径为 $160\text{m} + 5 \times 235\text{m} + 160\text{m}$ ，总长达 9km。迄今 全球已建成各类斜拉桥 300 余座 遍布 30 多个国家和地区。1994 年法国建成的主跨为 856m 的诺曼底大桥（图 1.12），是目前世界上最大跨径的混合型斜拉桥，其主跨中央部分为钢箱梁，边跨为混凝土梁。1998 年底日本建成的主跨为 890m 的多多罗大桥 是 20 世纪最大跨径的斜拉桥。

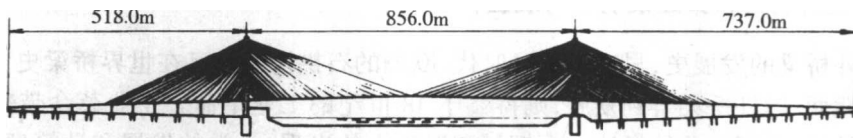


图 1.12 法国诺曼底大桥

悬索桥是一种能够充分发挥钢材优越性能的桥型，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 年代发明了“空中架线法”编纺桥缆技术 1937 年建成的旧金山金门大桥 主跨 1 280m 保持了 27 年桥梁最大跨径的世界记录。1974 年英国建成的恒比尔大桥 跨径为 1 410m 见图 1.13。1996 年日本建成的连接本四连络线上的明石海峡公铁两用桥，跨度达 1 991m。

国外在发展预应力混凝土桥梁的同时，也建造了不少新型钢桥。如世界上跨径最大的钢板梁桥——南斯拉夫的沙瓦河桥，跨径为 $75\text{m} + 261\text{m} + 75\text{m}$ 。意大利于 1972 年建成跨径达 376m 的斜腿刚架箱形梁公路桥 日本于 1974 年建成的日本港大桥（图 1.14）系跨径 510m 的悬臂桁架 美国于 1972 年建成跨径最大的钢桁拱桥 跨径达 518m。

1.4 桥梁工程的前景展望

纵观近 20 年世界各国桥梁发展历程 展望未来连接各大洲的洲际大桥、跨海大桥 桥梁结构正在向轻巧、纤细、大跨、载重方向发展。为适应这种发展的需要 必将对建筑材料、施工技术和设计理论提出新的要求，特别是新型结构体系的构思。

(1) 材料的应用与发展

从桥梁工程学科的发展可以发现，材料科学对桥梁工程的发展起着关键性作用。没有新材料的发展，就没有长大跨度及新桥型的诞生。目前，桥梁工程所用材料主要是钢材和混凝土。

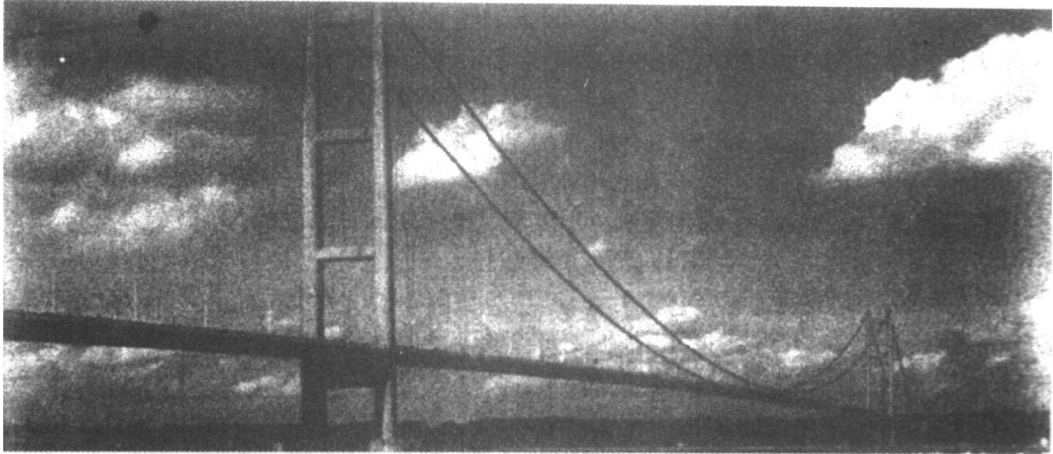


图 1.13 英国恒 比尔吊桥

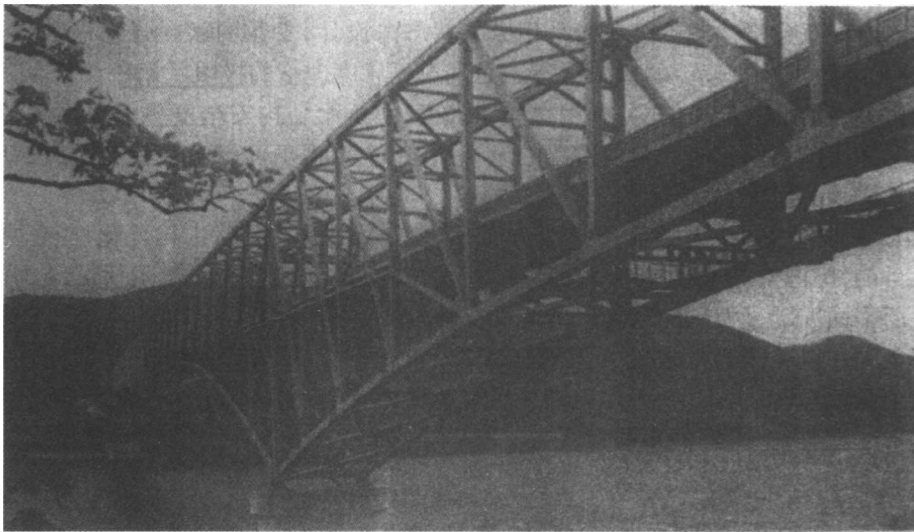


图 1.14 日本港大桥

土。

对于桥梁工程用钢，要求强度高、韧性好、耐腐蚀、耐疲劳、可焊性好。西方发达国家桥用钢材都为屈服点在 $600 \sim 800\text{MPa}$ ，极限强度在 $700 \sim 900\text{MPa}$ 的低合金高强钢。我国目前常用桥钢为 Q235(A3) 和 Q345(16Mnq) 低合金钢，屈服点和极限强度还不及国外的一半。

预应力钢筋、预应力钢丝和预应力钢绞线，都在朝高强度、低松弛、耐腐蚀、强粘接和便于拼接方面发展。目前世界各国都在大力发展大直径高强度预应力钢筋，如德国、美国、日本等已发展到直径 $\phi 26 \sim 36\text{mm}$ ，抗拉强度 $800 \sim 1350\text{MPa}$ ；我国目前常用钢筋直径为 $\phi 6 \sim 28\text{mm}$ ，抗拉强度为 900MPa 。预应力钢丝和预应力钢绞线已在大跨径桥梁中得到广泛应用。目前美、英等国已开发出 $\phi 4 \sim 9\text{mm}$ 的高强镀锌钢丝，强度达 $1550 \sim 1800\text{MPa}$ ，日本为明石海峡大桥研制出强度可达 $1800 \sim 2000\text{MPa}$ 的镀锌低合金钢丝。

在**高强混凝土**方面，我国桥用混凝土强度要比国外普遍偏低。目前在公路桥梁上已开始采用 C60 级混凝土，铁路桥上采用现浇达 C60~C70 级，预制达 C80 级，而国外早在 20 世纪 50 年

代就开始使用 C60 以上混凝土。目前在实验室条件下 我国已能制成 C100 级混凝土 罗马尼亚能制成 C170 级混凝土 而美国能制成 C200 级混凝土。高强度混凝土不仅强度高,而且抗冲击性能和耐久性也好,用在预应力混凝土桥梁中,可节省材料,提高经济效益达 30%~40%。

轻质混凝土是预应力混凝土桥梁向长大方向发展的一种有效途径。目前用于工程结构的轻质混凝土容重为 16~20kN/m³ 强度为 C30~C70 级,轻质混凝土的粗骨料过去用陶粒,现在都趋于用工业废渣。普通高强混凝土可达 70~100MPa。采用聚酯混凝土,标号可超过 100MPa 特别是可提高抗拉强度 目前仍处试验阶段。

而新型非金属纤维强化复合材料的开发研究,已得到全世界的关注和认同,各国都投入大量资金,开展理论研究。目前主要集中在玻璃纤维、阿拉米特纤维和碳纤维同聚合物强化合成的超高强材料上 它们不但质量轻 强度高 而且具有耐疲劳、抗腐蚀、热传导率低、非磁性等优点。分析表明,若采用碳纤维强化复合材料来修建悬索桥,其极限跨度可比钢悬索桥提高一倍以上。加拿大、美国等国家,则已进入工程实践阶段。

(2)设计理论与 CAD 技术

目前国内外桥梁设计理论已普遍采用极限状态法设计,少数国家在强度极限状态基础上推广到挠度、裂缝、振动、疲劳的极限状态。而基于可靠度理论的极限状态法设计 可以充分发挥桥梁结构潜在的承载能力,充分利用材料的强度,使桥梁结构安全度更加可靠和科学,是目前世界各国努力的方向。对大跨度桥梁的设计 愈来愈重视振动、稳定、疲劳、空气动力学、非线性等因素影响的研究。

桥梁 CAD 技术主要集中在以下 5 个方面 结构分析、图形绘制、结构优化、工程数据库、专家系统。目前 国内外的 CAD 软件大都集中在前 3 部分。应当看到,虽然桥梁结构受力分析已从简化的平面问题过渡到较为精确的空间立体计算,并可对复杂结构进行优化设计,但这些程序主要集中在以美国为代表的大型商业软件,如 NASTRAN、SAP、ANSYS。我国在这方面虽作了大量工作 也开发了不少软件 但高质量者为数不多 商业化程度低 通用性差 推广和维护工作也不尽完善,有待进一步努力。

1.2 桥梁基本组成与分类

1.2.1 桥梁的基本组成部分

桥梁是由桥跨结构(Superstructure)、下部结构(Substructure)和墩台基础 3 个主要部分组成的一个人工构筑物。

桥跨结构 又称桥孔结构或上部结构 是线路遇到障碍(如河流、山谷或其他线路等)而中断时,跨越这类障碍的结构物。当需要跨越的幅度或承受的荷载越大时,桥跨结构的构造就越复杂,施工也越困难。

下部结构包括桥墩和桥台,它们是支承桥跨结构并将恒载和车辆等活载传至地基的结构物。通常将设置在桥跨两端的结构称为桥台,桥台除了支承桥跨结构外,还与路堤相衔接,以抵御路堤土压力,防止路堤填土的滑坡和坍塌。桥墩的作用是支承桥跨结构。

墩台基础,是将桥墩和桥台中全部荷载传至地基的底部奠基部分。为了保证墩、台安全,

通常将基础埋入岩(土)层中。由于基础是整个结构安全的关键,而且常常需要在水中施工,因此是桥梁建设中比较困难的一个部分(图 1.15)。

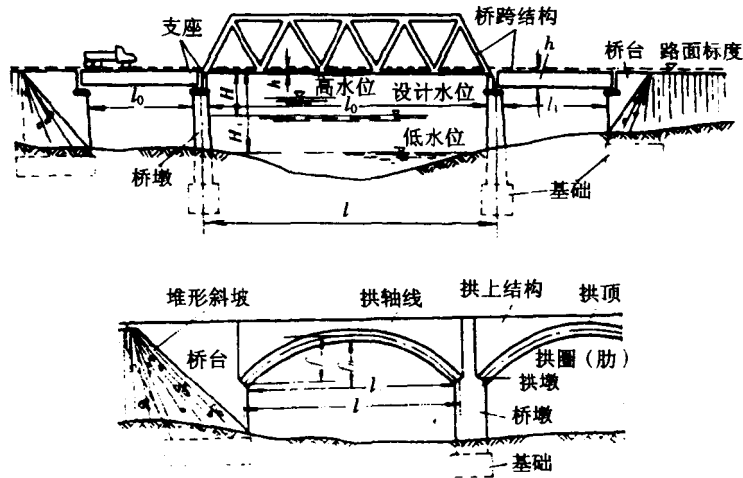


图 1.15 桥梁基本组成

为了保证桥跨结构能将荷载传递到墩台,需在桥跨结构与桥墩或桥台支承处设置传力装置即所谓的支座。

此外,在路堤与桥台衔接处,一般还在桥台的两侧设置石砌的锥形护坡,以保证迎水部分路堤的稳定。在有些桥梁建筑中,根据需要可修筑护岸、导流结构物等附属工程。

下面介绍一些与桥梁布置、结构有关的专业术语。

1) 水位

水位变动的河流,在枯水季节的最低水位称为低水位;在洪峰季节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。有关设计洪水位的计算见教材《水力学与桥涵水文》。

2) 净跨径 l_0 与总跨径 $\sum l_0$

净跨径 对于梁式桥是设计洪水位上相邻两桥墩或桥台之间的净距 对拱式桥是每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离。

总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和,也称桥梁孔径,它反映桥下宣泄洪水的能力。

3) 标准跨径 l_b

对梁式桥,是指两相邻桥墩中线之间的距离,或墩中线到桥台台背前缘之间的距离;对拱式桥 则是指净跨径。

4) 计算跨径 l

对具有支座的桥梁,指桥跨结构相邻两支座中心之间的距离;对拱式桥,是桥跨两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基准的。

5) 桥梁全长 L 与桥梁总长

桥梁全长,简称桥长,是桥梁两个桥台侧墙或八字墙后端点之间的距离。对无桥台的桥梁为桥面行车道的全长。在一条道路中,桥梁和涵洞总长的比重反映他们在整段线路建设中的重要程度。桥梁总长是指两桥台台背前缘间的距离。

6)桥梁高度

桥梁高度，简称桥高，是指桥面到低水位之间的高差，或是桥面与桥下路线路面之间的距离。桥高在某种程度上反映桥梁施工的难易性。

7)建筑高度与容许建筑高度

建筑高度是指桥上行车路面（或轨顶）标高到桥跨结构最下缘之间的距离。它与桥跨结构的体系和桥孔跨径有关，还与行车部分在桥上布置的高度位置有关。

容许建筑高度是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，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通航的要求。

8)桥下净空高度

设计洪水位或设计通航水位到桥跨结构最下缘之间的距离 H ，称为桥下净空高度。桥下净空高度 H 应能保证安全排洪，并不得小于该河流通航所规定的净空高度。

9)拱轴线

拱圈或拱肋各截面形心点的连线称为拱轴线。拱桥的计算跨径就是拱轴线两拱脚端点之间的水平距离。

10)净矢高 f_0 与计算矢高 f

净矢高是拱顶截面下缘到相邻两拱脚截面下缘最低点之连线的垂直距离；而拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心之连线的垂直距离称为计算跨径。

11)矢跨比 f/l

矢跨比（又称拱矢度）是拱桥中拱圈（或拱肋）的计算矢高 f 与计算跨径 l 之比，它是反映拱桥受力特性的一个重要指标。 f_0/l_0 为净矢跨比。

1.2.2 桥梁分类

(1)按桥梁的基本结构体系分类

桥梁的分类方式很多，就桥梁结构的受力而言，总离不开拉、压、弯 3 种基本受力方式，而在力学上可归纳为梁式、拱式、缆索承重式 3 种基本体系以及它们之间的各种组合。下面从受力特点、建桥材料、适用跨度、施工条件等方面来阐述桥梁各种体系的特点。

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 1.16）。由于外力（恒载和活载）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，通常需要抗弯能力强的材料（钢、钢筋混凝土等）来建造。目前公路上应用最广的是预制装配式钢筋混凝土和预应力混凝土简支梁桥（图 1.16a）。这种梁桥的特点是结构简单，施工方便，对地基承载能力的要求不高。前者常用在 20m 以下，后者跨径一般也不超过 50m。当跨度较大时，可根据地质、通航等条件修建钢筋混凝土或预应力混凝土的悬臂式或连续式梁桥（图 1.16c、d）。此外，也可修建钢桁（图 1.16e）。

图 1.16f 所示的 T 形刚构是适合修建较大跨径的混凝土桥。这种桥的主要缺点是悬臂根部负弯矩很大，用普通混凝土建造时不仅钢材用量大，而且悬臂根部的裂缝不易控制，现已很少用。常用跨径为 40~50m。

预应力混凝土工艺的发展，使 T 形刚构桥得到了很大推广，尤其是采用了悬臂分段施工方法，不但加速了建桥速度，而且克服了要在大江、大河或深谷中搭设支架的困难，跨越能力增

大 目前国内最大跨径已达 174m。预应力混凝土 T形刚构的优点是受力明确，在恒载作用下是静定结构。缺点是悬臂根部负弯矩很大，桥面不连续，对高速行驶不利，现也很少采用

图 1.16g) 是目前国内建造较多的连续刚构桥，将主梁做成连续梁体与薄壁柔性桥墩固结而成。由于墩梁固结节省了大型支座的昂贵费用，减少了墩与基础的工程量，改善了结构在水平荷载（如地震荷载）作用下的受力性能，因此它的跨径要比连续梁和 T 构大得多，是目前单孔在 300m 以内优先考虑的桥型。

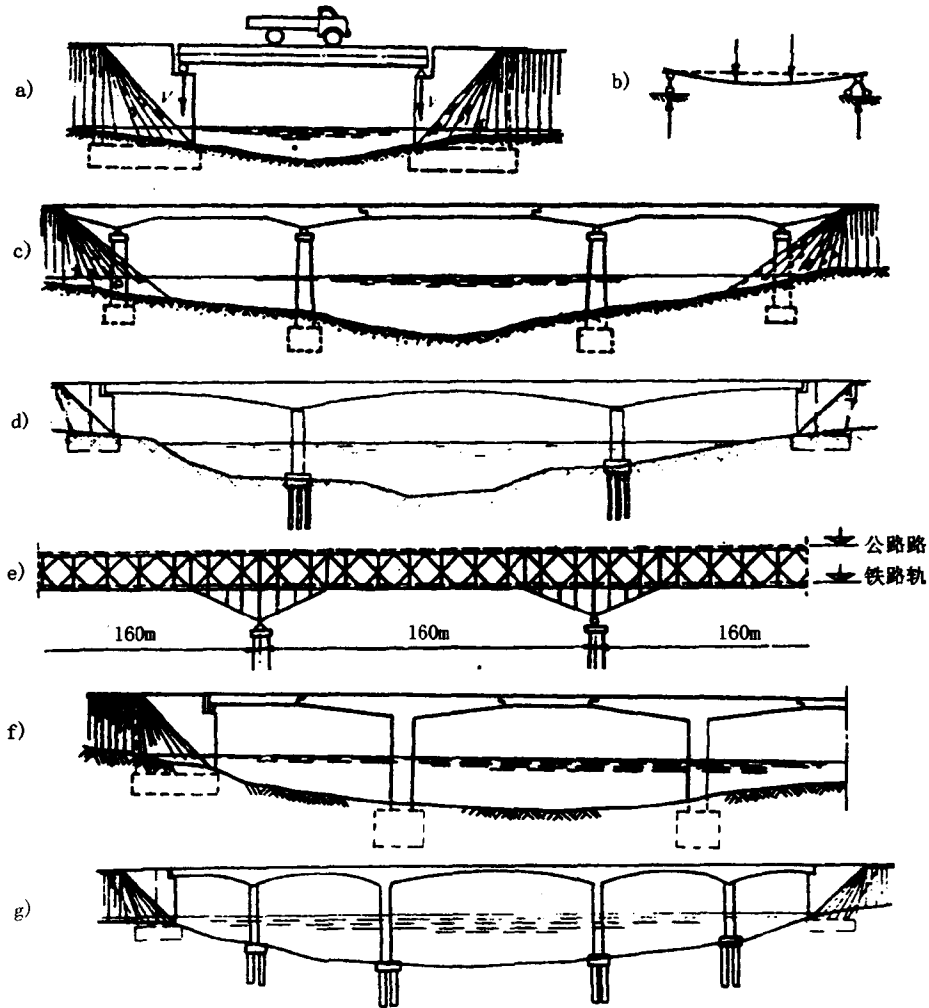


图 1.16 梁式桥

2 拱式桥 (Arch Bridge)

拱式桥的主要承载结构是拱圈或拱肋（图 1.17）在竖向荷载作用下，拱的两端支承处（拱脚处）除有竖向反力外，还有水平推力（图 1.17b），正是这个水平推力显著降低了荷载所引起的拱圈（或拱肋）内的弯矩，因此与同跨径的梁桥相比，拱截面的弯矩和变形要小得多。鉴于拱桥的承重结构以受压为主，通常可用抗压能力强的圬工材料，如砖、石、混凝土和钢筋混凝土来建造。

拱桥分为上承式(图 1.17a)、中承式(图 1.17c)和下承式(图 1.17d)。

拱的跨越能力很大,外形也较美观,在条件许可的情况下,修建拱桥往往是一种经济合理的桥型。

然而事物往往具有“两面性”拱桥的推力能改善拱圈的受力,但同时也要求下部结构和地基必须能承受较大的水平推力,因此多建造在地基条件较好的桥址上。近年来,国内陆续在软土地基上建造多座大跨度拱桥,采用了一种所谓“飞燕式”的三跨无外部推力拱桥,拱的不平衡推力由飘浮于桥面的预应力钢绞线系杆来承担(图 1.17e)。

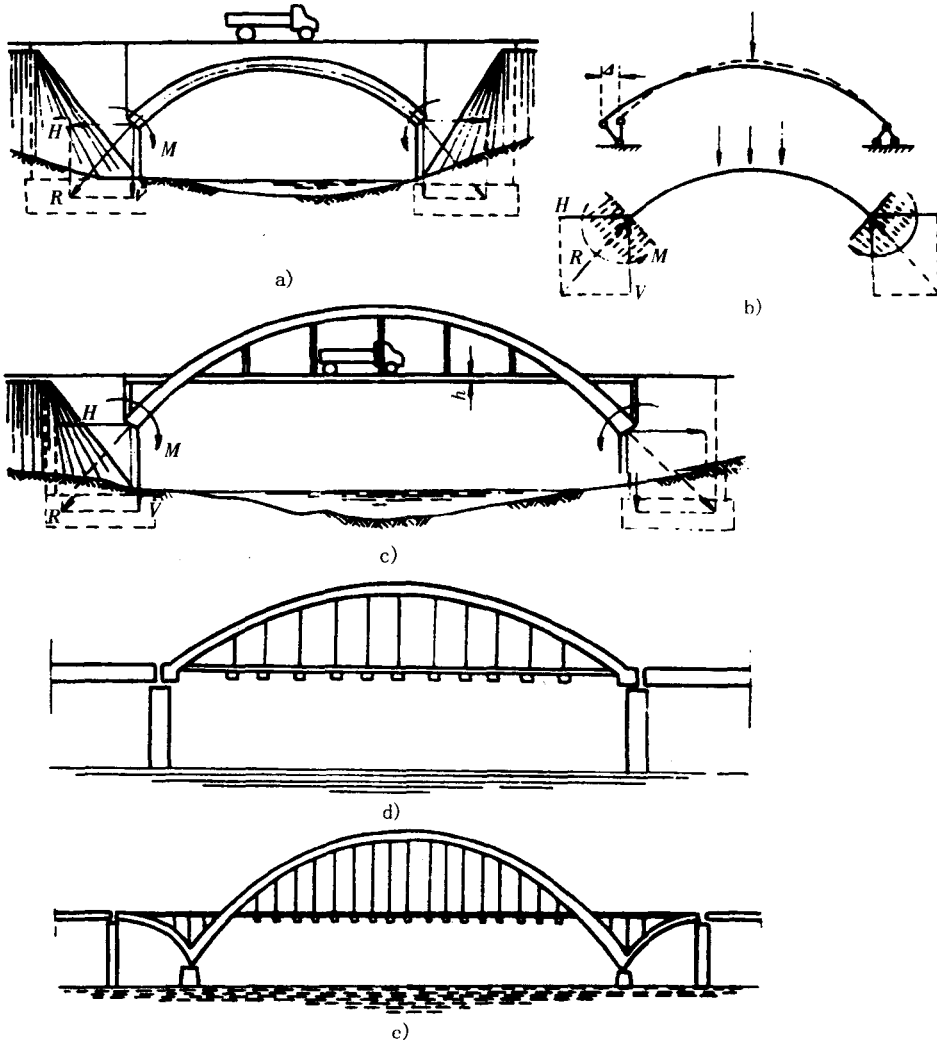


图 1.17 拱式桥

3 刚架桥 (Rigid-Frame Bridge)

刚架桥是梁或板和立柱或竖墙固结形成的一种刚架结构。由于两者是刚性连接,在竖向荷载作用下,在柱脚具有水平反力(图 1.18b),梁部产生弯矩的同时还有轴力,其受力状态介于梁桥与拱桥之间。因此,对于同样的跨径,在相同荷载作用下,刚架桥的正弯矩要比一般梁桥的小。根据这一特点,刚架桥的建筑高度可以做得小些,适用于需要较大桥下净空和建

筑高度受到限制的情况，如立交桥，跨线桥等。

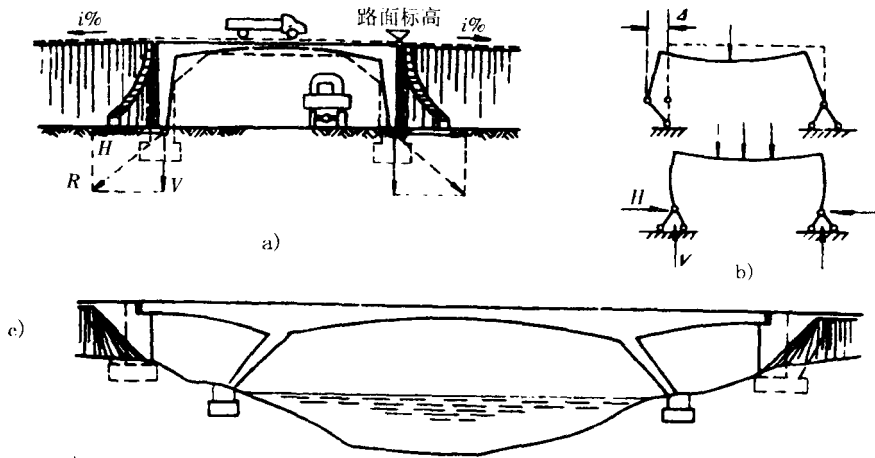


图 1.18 刚架桥

刚架桥的缺点是施工比较困难，必须有良好的地基条件，或用较深的基础和用特殊的构造措施来抵抗水平推力的作用。对钢筋混凝土刚架桥，梁柱刚结处较易开裂。

当跨越陡峭河岸和深邃峡谷时，修建斜腿式刚构桥往往既经济合理，又造型轻巧美观（图 1.18c）由于斜腿墩柱置于岸坡上，有较大斜角，在主梁跨度相同的条件下，斜腿刚构桥的桥梁跨度比门式刚构桥要大得多。

4) 缆索承重桥 (Cable Supported Bridge)

缆索承重桥包括斜拉桥和悬索桥两种。

悬索桥，又称吊桥，是所有桥梁中起源最早的一种桥梁形式之一。传统的悬索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 1.19）通过吊杆使缆索承受很大的拉力，因此常需要在两岸桥台后方修筑巨大的锚碇结构。悬索桥也是具有水平反力（拉力）的结构。现代悬索桥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，跨越其他桥型无与伦比的特大跨度。悬索桥的另一特点是：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。我国西南山岭地区和遭受山洪泥石流冲击等危险的山区河流上，当修建其他桥型有困难时，往往采用悬索桥。

图 1.19a)所示为山区跨越深沟或河谷的单跨式悬索桥，图 1.19b)所示则是在大江或湖海上跨越深水区的三跨式悬索桥。

然而，相对于其他体系而言，悬索桥的自重轻，结构刚度差，在车辆荷载和风荷载作用下，有较大的变形和振动。美国的塔科马 Tacoma 桥就毁于风荷载。因此，可以说整个悬索桥的发展史，就是争取刚度的历史。

斜拉桥，又称斜张桥，由斜索、塔柱和主梁所组成。它利用高强钢材制成的斜索将主梁多点吊起，并将主梁的恒载和车辆荷载传至塔柱，再通过塔柱基础传至地基。由此，主梁就像一根多点弹性支承的连续梁一样工作，而且斜索索力的水平分量是主梁的一个“免费”的预应力，从而使主梁尺寸大大减小，结构自重显著减轻，既节省了结构材料，又大幅度增大了桥梁的跨越能力。此外，斜拉桥的结构刚度要比悬索桥大，因此在相同的荷载作用下，结构的变形要小，而