

1 总 论

本章提要

本章首先介绍桥梁的基本组成和名词术语、桥梁的分类，对桥梁发展动态作了概述，最后介绍了桥梁的总体规划和设计步骤，以及桥梁的设计荷载。

1.1 概 述

桥梁工程在学科上属于土木工程的一个分支学科，在功能上是交通工程中的关键性枢纽。

随着我国国民经济的迅速发展和经济的全球化，大力发展交通运输事业，建立四通八达的现代交通网络，对于国民经济的发展、促进文化交流、加强民族团结、缩小地区差别、巩固国防等方面，都有非常重要的作用。

我国自改革开放以来，路（特别是高等级公路和城市道路）、桥建设得到了飞速的发展，对改善人民的生活环境，改善投资环境，促进经济的腾飞，起到了关键性的作用。

桥梁工程在工程规模上约占道路总造价的 10%~20%，它同时也是保证全线通车的咽喉，特别在战时，桥梁工程具有非常重要的地位。

桥梁是一种功能性的结构物，但自古以来，人类从未停止过对桥梁美学的追求，很多桥梁被建成为令人赏心悦目的艺术品，具有鲜明的时代特征，至今仍然为人们所赞叹。

随着科学技术的进步和经济、社会、文化水平的提高，人们对桥梁建筑提出了更高的要求。经过几十年的努力，我国的桥梁工程无论在建设规模上，还是在科技水平上，均已跻身世界先进行列。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跨度桥梁，如雨后春笋频频建成。目前随着国家公路国道主干线规则的编制完成，几十公里长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟建设工程已经摆在我们面前，等待去完成，我们广大桥梁工程技术人员将不断面临着建设新颖和复杂桥梁结构的挑战，肩负着光荣而艰巨的任务。

1.2 桥梁的基本组成和分类

1.2.1 桥梁的基本组成

概括地说，桥梁由四个基本部分组成，即上部结构（superstructure）、下部结构（substructure）、支座（bearing）和附属设施（accessory）。

图 1.1 为一座公路桥梁的概貌，从图 1.1 中可见，涉及一般桥梁工程的几个主要名词解释如下：

上部结构是在线路中断时跨越障碍的主要承重结构，是桥梁支座以上（无铰拱起拱线或刚架主梁底线以上）跨越桥孔的总称，当跨越幅度越大时，上部结构的构造也就越复杂，施工难度也相应增加。

下部结构包括桥墩（pier）、桥台（abutment）和基础（foundation）。

桥墩和桥台是支承上部结构并将其传来的恒载和车辆等活载再传至基础的结构物。通常设置在桥两端的称为桥台，设置在桥中间部分的称为桥墩。桥台除了上述作用外，还与路堤相衔接，并抵御路堤土压力，防止路堤填土的坍落。单孔桥只有两端的桥台，而没有中间桥墩。

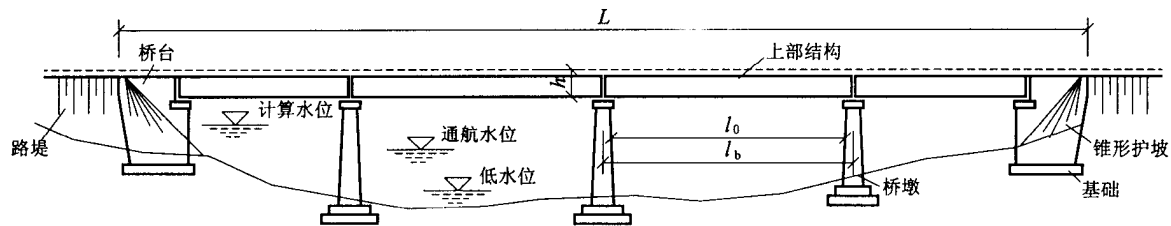


图 1.1 梁式桥概貌

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以及地震、船舶撞击墩身等引起的水平荷载。由于基础往往深埋于水下地基中，在桥梁施工中是难度较大的一个部分，也是确保桥梁安全的关键之一。

支座是设在墩（台）顶，用于支承上部结构的传力装置，它不仅要传递很大的荷载，并且要保证上部结构按设计要求能产生一定的变位。

桥梁的基本附属设施包括桥面系（bridge decking）、伸缩缝（expansion joint）、桥梁与路堤衔接处的桥头搭板（transition slab at bridge head）和锥形护坡（conical slope）等。

河流中的水位是变动的，枯水季节的最低水位称为低水位（low water level），洪峰季节河流中的最高水位称为高水位（high water level）。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），称为设计洪水位（designed flood level），设计洪水位加壅水和浪高，称为计算水位（calculated water level），在各级航道中，能保持船舶正常航行时的水位，称为通航水位（navigable water level）。

下面介绍一些与桥梁布置有关的主要尺寸和名词术语。

净跨径（clear span）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，不设支座的桥梁为上、下部结构相交处内缘间的水平净距，用 l_0 表示（如图 1.1, 1.2 所示）。

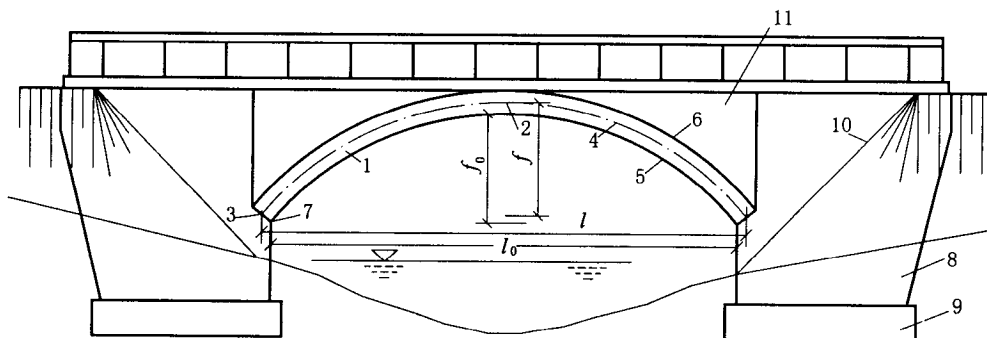


图 1.2 拱桥概貌

1—主拱圈；2—拱顶；3—拱脚；4—拱轴线；5—拱腹；6—拱背；7—起拱线；8—桥台；9—桥台基础；10—锥坡；11—拱上建筑；
 l_0 —净跨径 l —计算跨径； f_0 —净矢高； f —计算矢高； f/l 或 f_0/l_0 —矢跨比

总跨径（total span）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。

计算跨径（computed span）对于设支座的桥梁，为相邻支座中心的水平距离，对于不设支座的桥梁（如拱桥、刚构桥等），为上、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 为准的。

桥梁全长（total length of bridge）简称桥长，对于有桥台的桥梁为两岸桥台翼墙尾端间的距离，对于无桥台的桥梁为桥面系行车道长度，用 L 表示。

桥下净空（clearance of span）是为满足通航（或行车、行人）的需要和保证桥梁安全而对上部结构底缘以下规定的空间界限。

桥梁建筑高度（construction height of bridge）是上部结构底缘至桥面顶面的垂直距离（图 1.1 中的 h ），线路定线中所确定的桥面标高，与通航（或桥下通车、人）净空界限顶部标高之差，称为容许建筑高度（allowable construction height），显然，桥梁建筑高度不得大于容许建筑高度，为控制桥梁建筑高度，可以通

过在桥面以上布置结构（如斜拉桥、悬索桥、中、下承式拱桥等）的方式加以解决。

桥面净空（clearance above bridge floor）是桥梁行车道、人行道上应保持的空间界限，公路、铁路和城市桥梁对桥面净空都有相应的规定。

1.2.2 桥梁的分类

1.2.2.1 桥梁按受力体系分类

按照受力体系分类，桥梁有梁、拱、吊三大基本体系，其中梁桥以受弯为主，拱桥以受压为主，吊桥以受拉为主，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，如刚架桥和斜拉桥等，下面分别阐述各种桥梁体系的主要特点。

(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 1.3(a)、(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，因而与同样跨径的其它结构体系相比，梁桥内产生的弯矩最大，通常需用抗弯、抗拉能力强的材料（钢、配筋混凝土、钢-混凝土叠合结构等）来建造。对于中、小跨径桥梁，目前在公路上应用最广的是标准跨径的钢筋混凝土简支梁桥，施工方法有预制装配和现浇两种，这种梁桥的结构简单，施工方便，简支梁对地基承载力的要求也不高，其常用跨径在 25m 以下，当跨径较大时，需采用预应力混凝土简支梁桥，但跨度一般不超过 50m。为了改善受力条件和使用性能，地质条件较好时，中、小跨径梁桥均可修建连续梁桥，如图 1.3(c) 所示，对于很大跨径的大桥和特大桥，可采用预应力混凝土梁桥、钢桥和钢-混凝土叠合梁桥，如图 1.3(d)、(e) 所示。

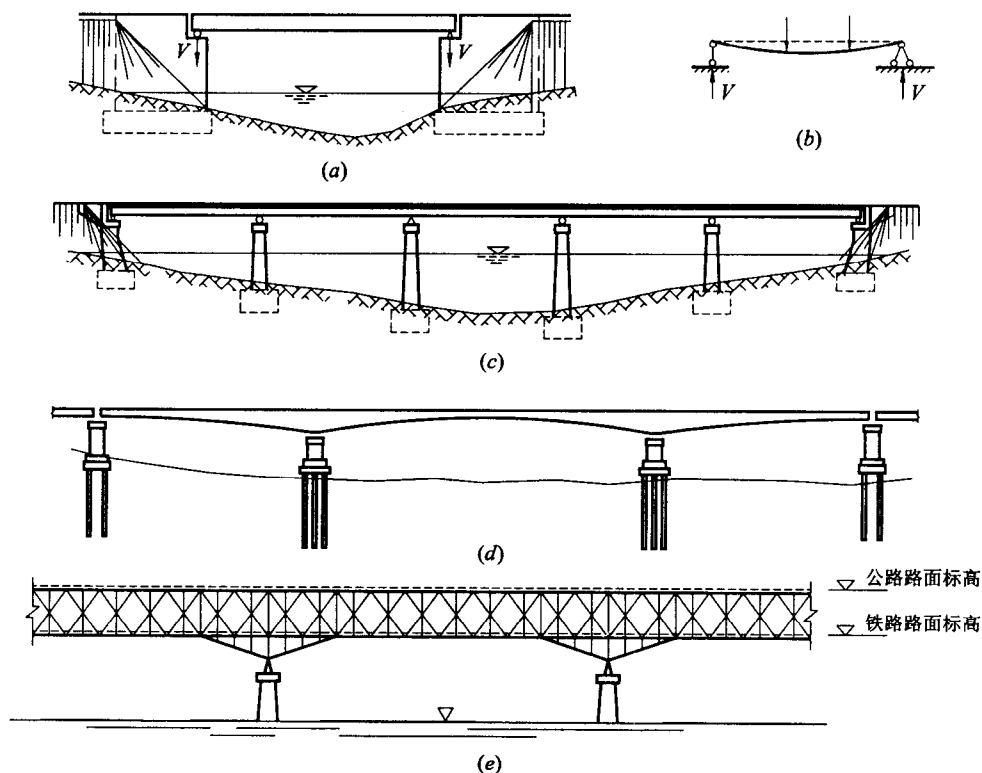


图 1.3 梁式桥

(2) 拱式桥

拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋（拱圈横截面设计成分离形式时称为拱肋）。拱结构在竖向荷载作用下，桥墩和桥台将承受水平推力，如图 1.4(b) 所示。同时，根据作用力和反作用力原理，墩台向拱圈（或拱肋）提供一对水平反力 H ，这种水平反力将大大抵消在拱圈（或拱肋）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。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等来建造。

拱桥不仅跨越能力很大，而且外形酷似彩虹卧波，十分美观，在条件许可的情况下，修建拱桥往往是经济合理的，一般在跨径 500m 以内均可作为比选方案。

应当注意，为了确保拱桥的安全，下部结构和地基（特别是桥台）必须能经受住很大的水平推力作用，此外，与梁式桥不同，由于拱圈（或拱肋）在合拢前自身不能维持平衡，因而拱桥在施工过程中的难度和危险性要远大于梁式桥。对于特大跨度的拱桥，也可建造钢桥或钢-混凝土组合截面的拱桥，由自重较轻但强度很高的钢拱首先合拢并承担施工荷载，这样，其施工的难度和风险就可降低。

在地基条件不适合于修建具有很大推力的拱桥的情况下，也可建造水平推力由受拉系杆来承受的系杆拱桥。系杆可由钢、预应力混凝土或高强钢筋做成，如图 1.4(d) 所示。近年来发展了一种所谓“飞雁式”三跨微小推力拱桥如图 1.4(e) 所示，即在边跨的两端施加强大的水平预加力 H 通过边跨梁传至拱脚以抵消主跨拱脚处的巨大水平推力。

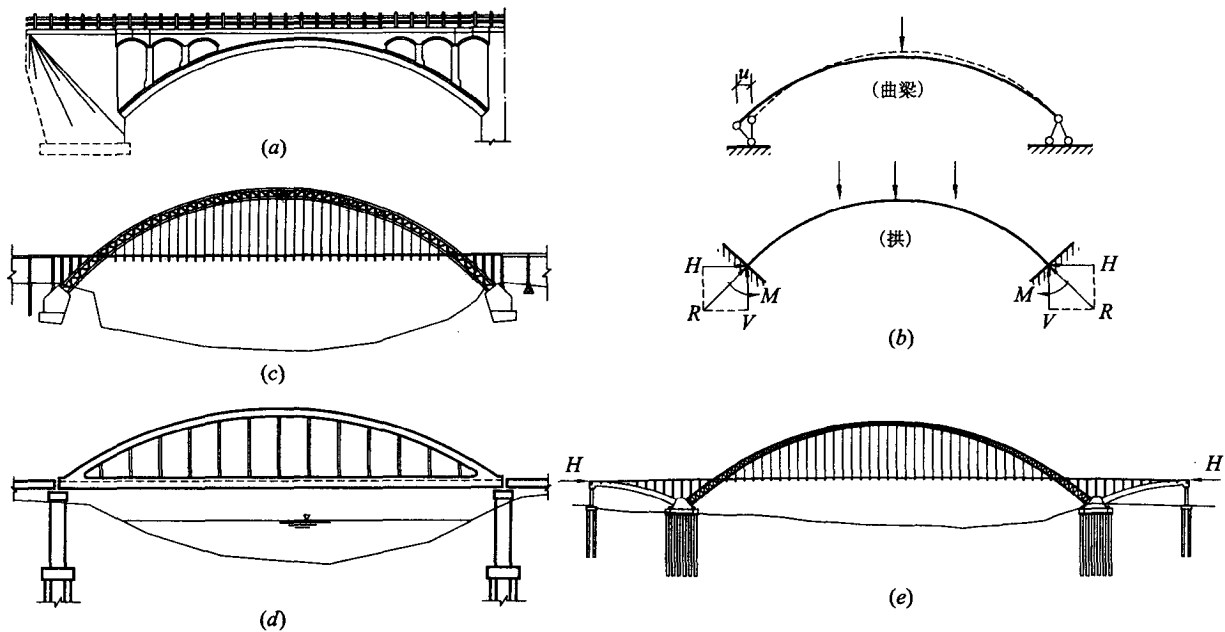


图 1.4 拱式桥

(a) 上承式拱 ;(b) 曲梁和拱 ;(c) 中承式拱 ;(d) 下承式系杆拱 ;(e) 中承式系杆拱

按照行车道处于主拱圈的不同位置，拱桥分为上承式拱、中承式拱和下承式拱三种。如图 1.4 所示“承”代表承受车辆荷载的位置，即行车道位置，“上、中、下”分别代表这个车道位置位于主拱圈的上部、中部和下部。

(3) 刚构桥

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，梁和柱的连结处具有很大的刚性，以承担负弯矩的作用。图 1.5(a) 所示的门式刚架桥，在竖向荷载作用下，柱脚处具有水平反力，梁部主要受弯，但弯矩值较同跨径的简支梁小，梁内还有轴压力 H ，因而其受力状态介于梁桥与拱桥之间 [如图 1.5(b) 所示]。刚架桥跨中的建筑高度就可做得较小。但普通钢筋混凝土修建的刚架桥在梁柱刚结处较易产生裂缝，需在该处多配钢筋。另外，门式刚架桥在温度变化时，内部易产生较大的附加内力，应引起重视。

图 1.5(c) 所示的 T 型刚构桥（带挂孔的或不带挂孔的）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。对于这种桥型，由于 T 构长悬臂处于一种不受约束的自由变形状态，在车辆荷载作用下，悬臂内的弯、扭应力均较大，因而各个方向均易产生裂缝。另外，由于混凝土徐变，会使悬臂端产生一定的下挠，从而在悬臂端部和挂梁的结合处形成一个折角，不仅损坏了伸缩缝，而且车辆在此跳车，给悬臂以附加冲击力，使行车不适，对桥梁受力也不利，目前这种桥型已较少采用。

图 1.5(d) 所示的连续刚构桥，属于多次超静定结构，在设计中一般应减小墩柱顶端的水平抗推刚度，使得温度变化下在结构内不致产生较大的附加内力。对于很长的桥，为了降低这种附加内力，往往在两侧的一

个或数个边跨上设置滑动支座，从而形成如图 1.5(e) 所示的刚构-连续组合体系桥型。

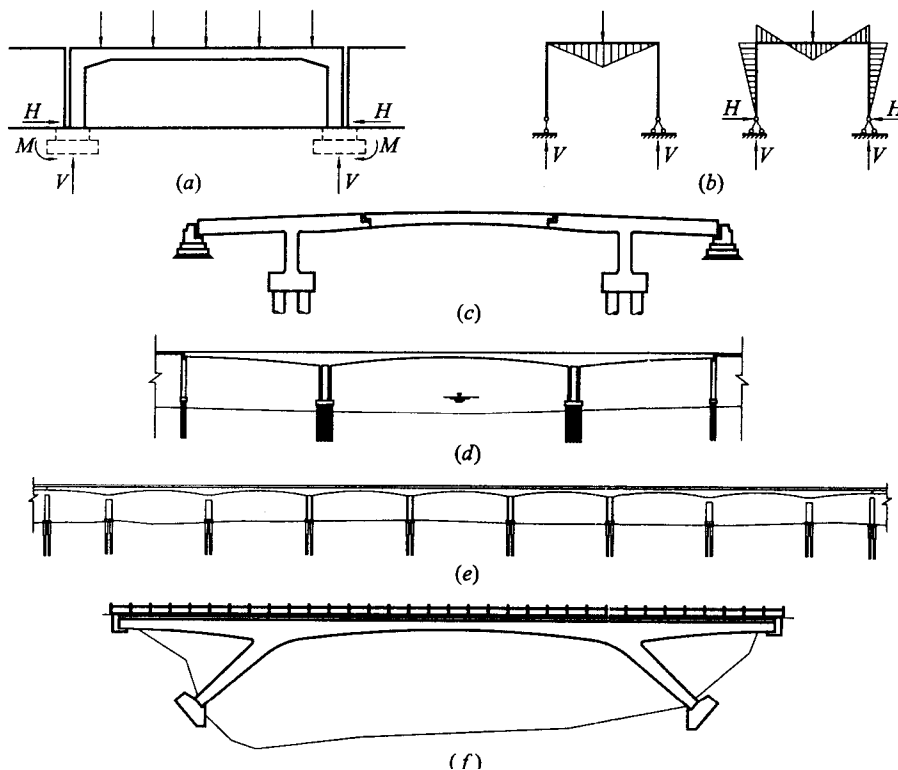


图 1.5 刚构桥

(a) 门式刚架;(b) 受力状态;(c) T型刚构;(d) 连续刚构;(e) 刚构-连续组合体系;(f) 斜腿刚构

当跨越陡峭河岸和深谷时，修建斜腿式刚构桥往往既经济合理又造型轻巧美观，如图 1.5(f)所示。由于斜腿墩柱置于岸坡上，有较大斜角，中跨梁内的轴压力也很大，因而斜腿刚构桥的跨越能力比门式刚构桥要大得多，但斜腿的施工难度较直腿大些。

刚构桥一般均需承受正负弯矩的交替作用，横截面宜采用箱形截面，连续刚构桥主梁受力与连续梁相近，横截面形式与尺寸也与连续梁基本相同。

(4) 斜拉桥

斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索组成，如图 1.6 所示。它的基本受力特点是：受拉的斜索将主梁多点吊起，并将主梁的恒载和车辆等其它荷载传至塔柱，再通过塔柱基础传至地基。塔柱基本上以受压为主。跨度较大的主梁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。由于同时受到斜拉索水平分力的作用，主梁截面的基本受力特征是偏心受压构件。斜拉桥属高次超静定结构，主梁所受弯矩大小与斜拉索的初张力密切相关。存在着一定的最优索力分布，使主梁在各种状态下的弯矩（或应力）最小。

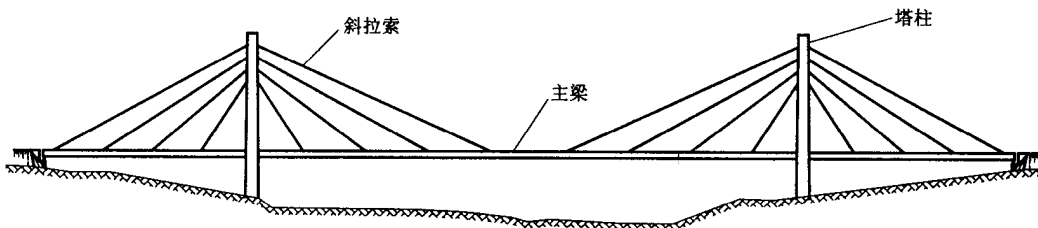


图 1.6 斜拉桥

由于受到斜拉索的弹性支承，弯矩较小，使得主梁尺寸大大减小，结构自重显著减轻，从而大幅度地提高了斜拉桥的跨越能力。此外，由于塔柱、拉索和主梁构成稳定的三角形，斜拉桥的结构刚度较大，斜拉桥的抗风能力较悬索桥要好得多。但是，当跨度很大时，悬臂施工的斜拉桥因主梁悬臂长度过长，承受压力过大，而风险较

大，塔高也过高，外索过长，索垂度的影响使索的刚度大幅下降，这些问题都需要加以认真地研究和解决。

斜拉索的组成和布置、塔柱形式及主梁的截面形状是多种多样的，主梁的截面形状与拉索的布置情况要相互配合。我国常用高强平行钢丝或钢绞线等制成斜拉索，斜拉索按施工工艺有工厂预制（成品索）和现场防护两种。我国 20 世纪 80 年代末、90 年代初修建的斜拉桥中，斜拉索大多采用现场防护的方法，由于现场防护环境不利，不确定因素多，加上施工技术不够成熟，拉索在使用 7~8 年后，索内高强钢材均出现了不同程度的锈蚀现象，影响了大桥的安全，近年来已有几座斜拉桥对拉索进行了更换。目前常用的平行钢丝斜拉索系完全在工厂内制成，在钢丝束上包一层高密度（HD）的聚乙烯（PE）外套进行防护，还可用彩色高密度聚乙烯制成彩色索。除防锈外，斜拉索的疲劳和 PE 套的老化是两个需认真对待的问题。

常用的斜拉桥是三跨双塔式结构，但独塔双跨形式也常见（图 1.7），具体形式及布置的选择应根据河流、地形、通航、美观等要求加以论证确定。

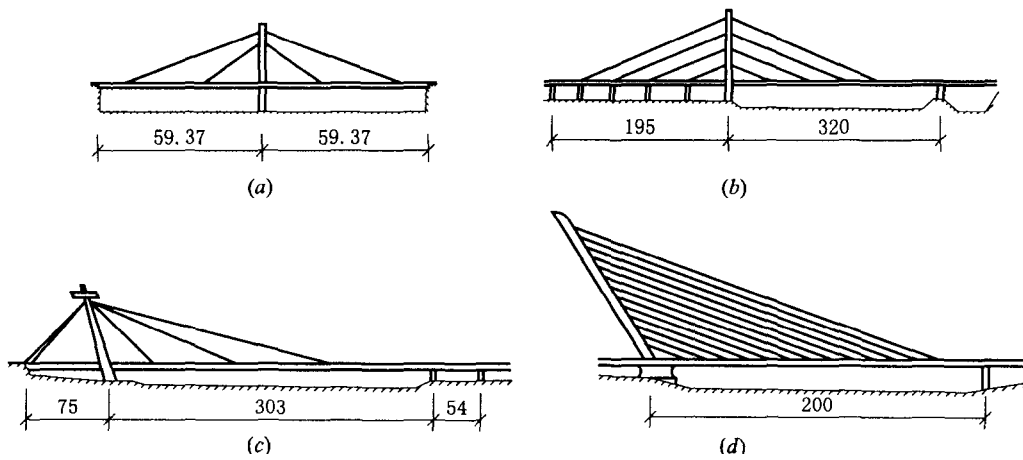


图 1.7 独塔式斜拉桥（单位 m）

(5) 吊桥（悬索桥）

吊桥是用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构，如图 1.8 所示。在桥面系竖向荷载作用下，通过吊杆使缆索承受很大的拉力，缆索锚于吊桥两端的锚碇结构中，为了承受巨大的缆索拉力，锚碇结构需做得很大（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），缆索传至锚碇的拉力可分解为垂直和水平两个分力，因而吊桥也是具有水平反力（拉力）的结构。现代吊桥广泛采用高强度的钢丝成股编制形成钢缆，以充分发挥其优良的抗拉性能。吊桥的承载系统包括缆索、塔柱和锚碇三部分，因此结构自重较轻，能够跨越任何其它桥型无与伦比的特大跨度。吊桥的另一特点是，受力简单明了，成卷的钢缆易于运输，在将缆索架设完成后，便形成了一个强大稳定的结构支承系统，施工过程中的风险相对较小。

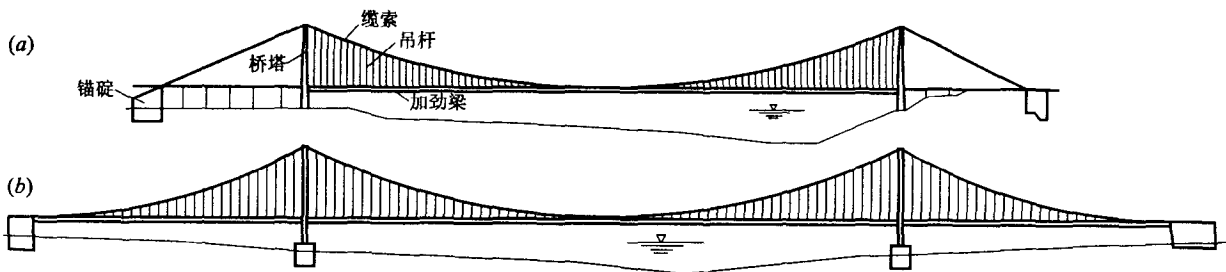


图 1.8 吊桥（悬索桥）

(a) 单跨式吊桥 (b) 三跨式吊桥

图 1.8(a) 为单跨式吊桥 图 1.8(b) 则为三跨式吊桥。

相对于前面所说的其它体系桥梁而言，吊桥的刚度最小，属柔性结构，在车辆荷载作用下，吊桥将产生较大的变形。例如跨度 1000m 的吊桥，在车辆荷载作用下， $l/4$ 区域的最大挠度可达 3m 左右。另外，吊桥风致振

动及稳定性在设计和施工中需予以特别的重视。

1.2.2.2 桥梁的其它分类简述

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、规模大小和建桥材料等其它方面将桥梁进行分类：

- (1)按用途来划分，有公路桥、铁路桥、公铁两用桥、农桥（或机耕道桥）、人行桥、水运桥（渡槽）、管线桥等。
- (2)按桥梁全长和跨径的不同，分为特殊大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞。
- (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、钢桥和木桥等。木材易腐，且资源有限，一般不用于永久性桥梁。
- (4)按跨越障碍的性质，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路堤的桥梁，以及在城市桥梁中跨越道路的桥梁。
- (5)按上部结构的行车道位置，分为上承式、中承式和下承式桥。

1.3 桥梁发展动态

1.3.1 我国桥梁建设成就

中国是一个文明古国，有着悠久的历史，我们的祖先在世界桥梁史上也写下了许多不朽的篇章。

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，几千年来修建的古代桥梁以石桥居多。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1106m，共47孔，跨径11~17m，桥宽3.7m，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，而且千年风雨已经证明此法的奇妙和可靠。

河北赵县的赵州桥（图1.9）又称安济桥，为隋大业初年（约公元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。赵州桥因其构思和工艺的精巧而举世闻名。

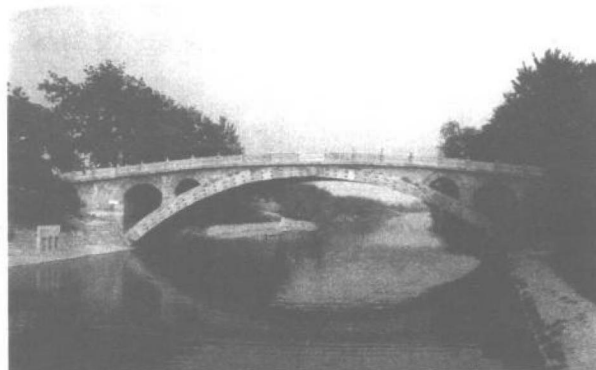


图 1.9 河北赵县赵州桥

著名的古代石桥还有福建漳州的虎渡桥，北京永定河上的卢沟桥，颐和园内的玉带桥和十七孔桥（图1.10）以及苏州的枫桥等。

但是，由于封建社会的长期统治，严重束缚了生产力的发展，闭关锁国，社会制度腐朽。进入19世纪以后，中国在综合国力、科学技术等方面，已经远远落后于西方列强，至解放前，公路桥梁绝大多数为木桥，且年久失修，破烂不堪。

解放以后，特别是改革开放以来，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，目前我国在大跨径桥梁方面，已经跻身世界先进行列。

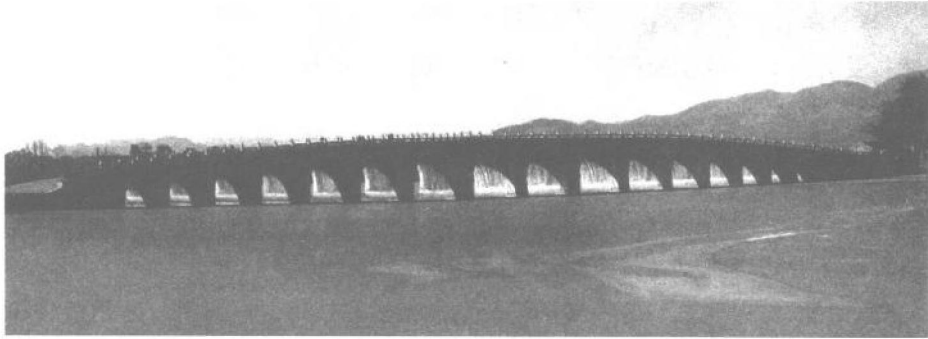


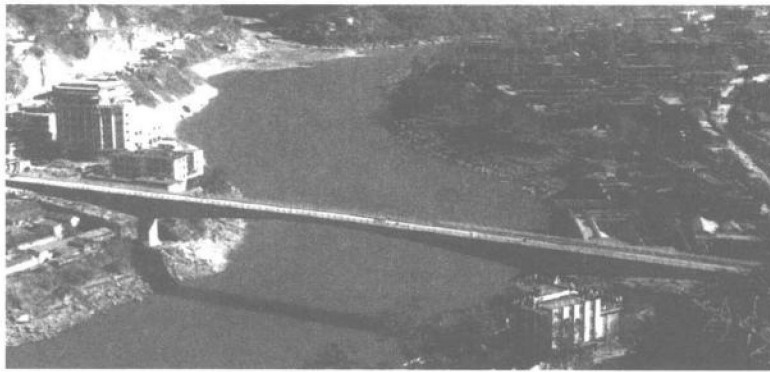
图 1.10 北京颐和园十七孔桥

1.3.1.1 混凝土梁桥

中小跨径时，一般均采用简支梁，跨径 30m 以下宜采用标准跨径。对于高等级公路桥上的多跨简支梁，随着车速和行车舒适性要求的提高，简支梁多采用桥面或结构连续，以减少伸缩缝的数量。

我国跨径最大的简支梁桥，是 1997 年建成的昆明南过境干道高架桥，跨径 63m。

进入 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得到了迅速的发展，1991 年建成的云南六库怒江大桥（图 1.11）主桥跨径为 85m+154m+85m 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，其主桥跨径为 90m+3×165m+90m，是我国目前跨度最大的预应力混凝土连续梁桥。



(a)

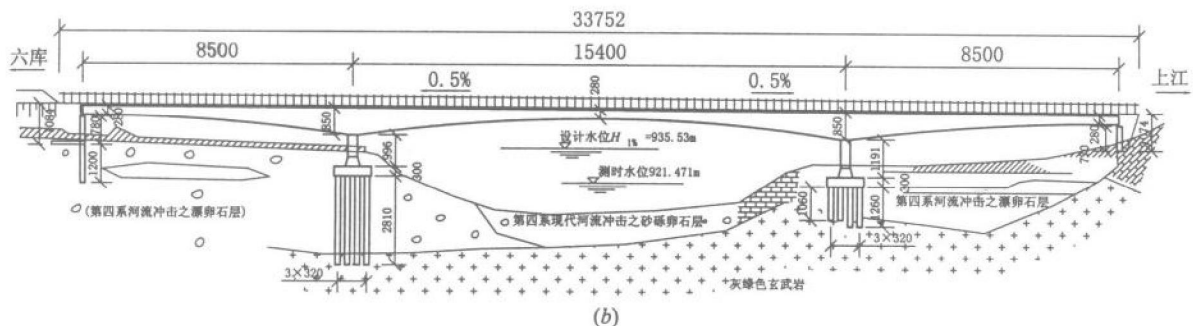


图 1.11 云南六库怒江大桥（单位：cm）

连续刚构的特点是梁保持连续，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 型刚构不设支座的优点，同时避免了连续梁和 T 构的缺点，因而连续刚构桥在我国发展很快。

1988 年建成的广东番禺洛溪大桥是我国第一座大跨径连续刚构桥，跨径组合为 65m+125m+180m+110m，采用双肢箱形薄壁墩，箱梁高墩顶处 10m 跨中处 3m。1996 年又建成湖北黄石长江大桥，主跨为 245m，主桥连续长达 1060m 特别是 1997 年建成的广东虎门辅航道桥（图 1.12）跨径组合为 150m+270m+150m，主桥位于 R 等于 7000m 的平曲线上，建成时跨径居同类桥世界首位。

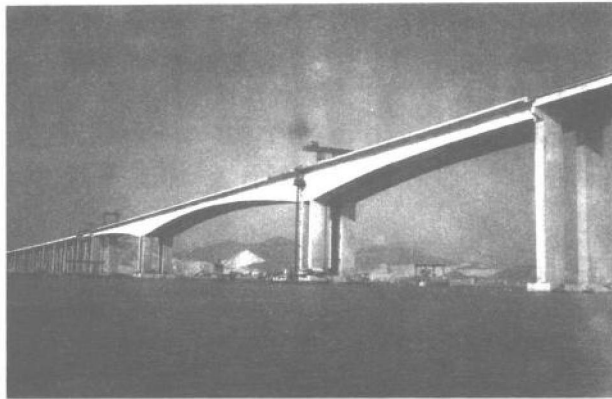


图 1.12 广东虎门辅航道桥

1.3.1.2 拱桥

拱桥在我国有着悠久的历史，由于拱桥造型优美，跨越能力大，长期以来一直是大跨桥梁的主要形式之一。20 世纪 60 年代拱桥无支架施工方法的应用与发展，使混凝土拱桥竞争力大大提高。

著名的石拱桥，有 1991 年建成的湖南凤凰县鸟巢河桥，跨径 120m，它的拱圈由两条宽 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，保持着石拱桥跨径世界记录，该桥跨径 146m，拱圈高在拱顶处 2.5m，拱脚处 3.5m，桥面宽 24.2m，拱圈用 80 号大料石砌成。

20 世纪 90 年代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。先合拢自重轻、强度高的钢管拱圈，并将其用作施工拱架，再往管内压注高标号混凝土，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；1998 年建成了广西三岸邕江大桥，主跨为 270m。2000 年建成主跨达 360m 的丫髻沙大桥（图 1.13），是广州东南西环高速公路西环线上跨越珠江主副

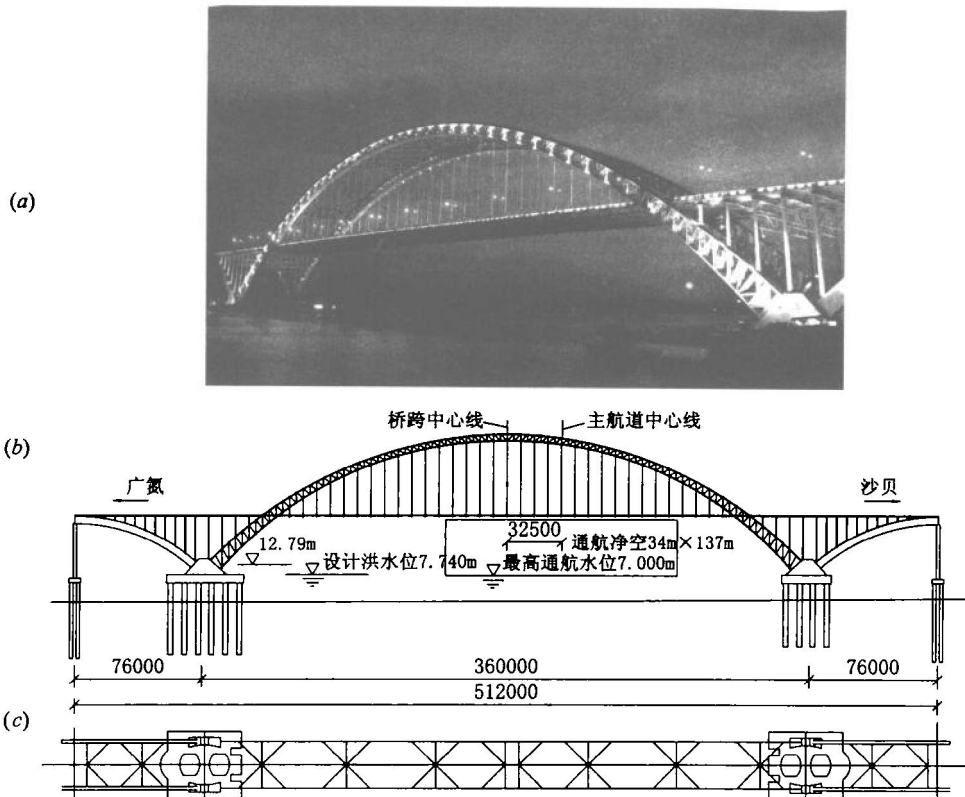


图 1.13 广州丫髻沙大桥

航道和丫髻沙岛的一座标志性特大桥梁，全桥总长 1084m，主桥跨径组合 76m+360m+76m 为连续自锚中承式钢管混凝土拱桥。

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，避免了钢管防护问题，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 如图 1.14 所示) 和重庆万县长江大桥 ($l=420\text{m}$, 1997 年, 如图 1.15 所示), 前者为目前世界上跨径最大的钢筋混凝土肋拱桥, 后者跨径达到了钢筋混凝土拱桥的世界之最。

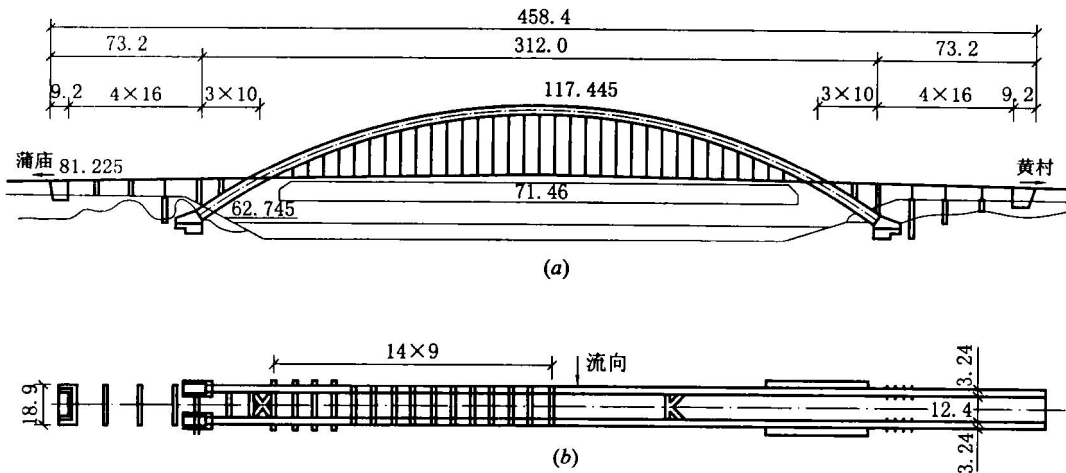


图 1.14 广西邕宁邕江大桥 (单位:m)
(a) 立面图;(b) 平面图



图 1.15 重庆万县长江大桥 (单位:m)

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 1.16) 建于 1995 年 跨度达到 330m，居同类桥型的世界之最。

正在施工的上海卢浦大桥 (图 1.17) 是世界上跨度最大的系杆拱桥，为中承式拱梁组合体系钢拱桥，主跨跨径达到了 550m 矢跨比为 1/5.5，拱肋为全焊钢结构。我国目前已建成或正在施工的单跨在 120m 以上的拱桥约 110 座，而国外所有已建单跨百米以上的拱桥尚不足 100 座，可以说，我国的拱桥已跃居世界先进行列。

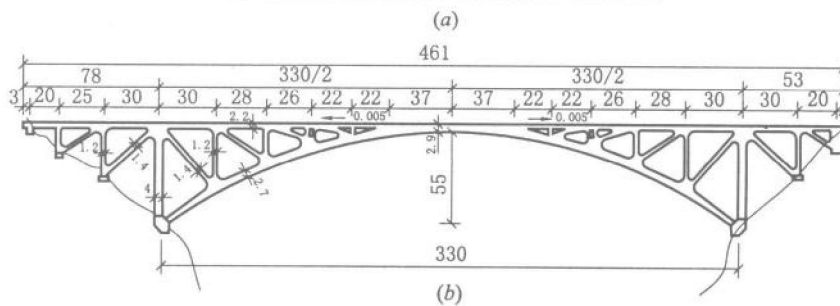
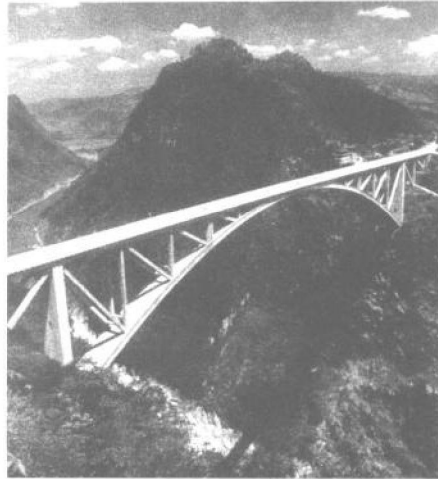


图 1.16 贵州江界河桥 (单位:m)

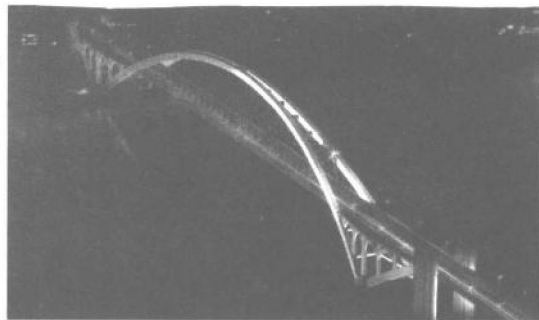


图 1.17 上海卢浦大桥

1.3.1.3 斜拉桥

自从1955年瑞典建成第一座现代化斜拉桥以来,由于造型美观、结构合理、跨越能力大,斜拉桥得到了迅速的发展。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、2001年建成的福建青州闽江桥(图1.18),跨径605m,均为钢-混凝土结合梁斜拉桥,其中青州闽江桥保持着结合梁斜拉桥跨径世界纪录。1993年建成的邵阳汉江大桥,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年分别建成的跨径628m的南京长江二桥(图1.19)、跨径460m的武汉军山长江大桥,为钢主梁斜拉桥。

目前我国有两座跨度超千米的斜拉桥正在规划建设中,香港昂船洲大桥主跨为1018m,计划于2003年动工,2007年竣工;江苏苏通长江公路大桥,主跨为1088m,将于2002年年内开工,计划5年内建成。

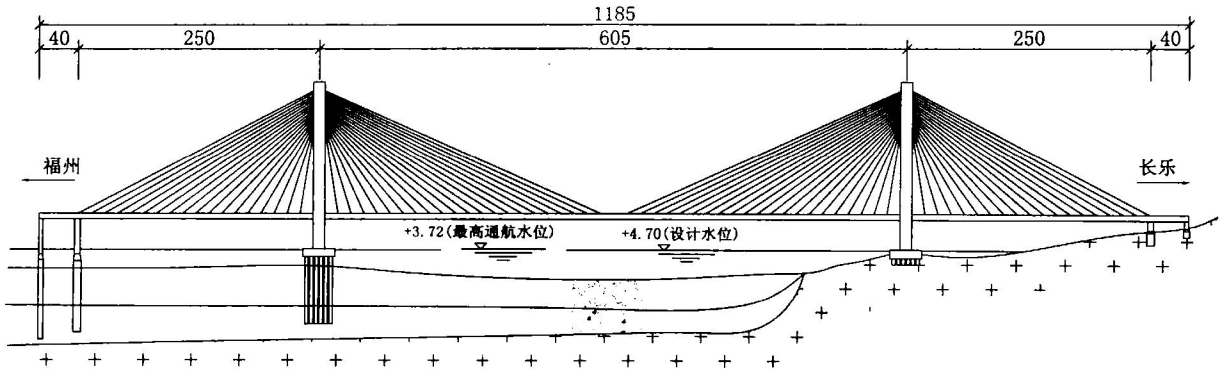
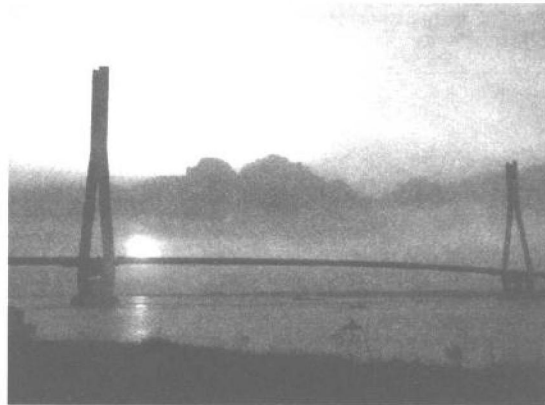
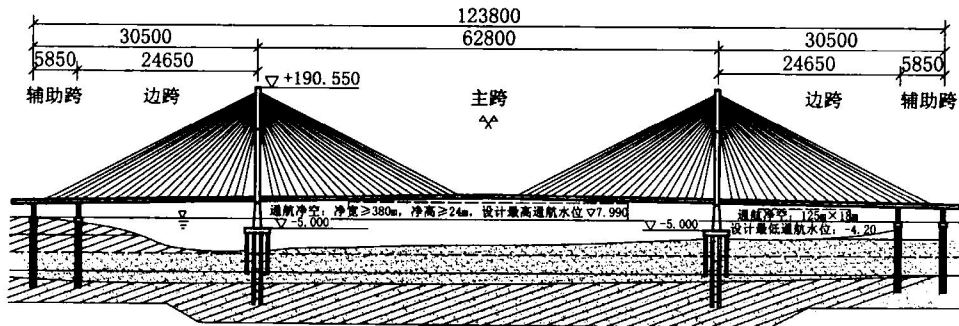


图 1.18 福建青州闽江桥 (单位 :m)



(a)



(b)

图 1.19 南京长江二桥 (单位 :cm)

1.3.1.4 悬索桥

我国的悬索桥起步较晚较落后，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, 如图 1.20 所示), 目前正在施工的江苏润扬长江大桥, 跨径达到 1490m 位于世界第三。

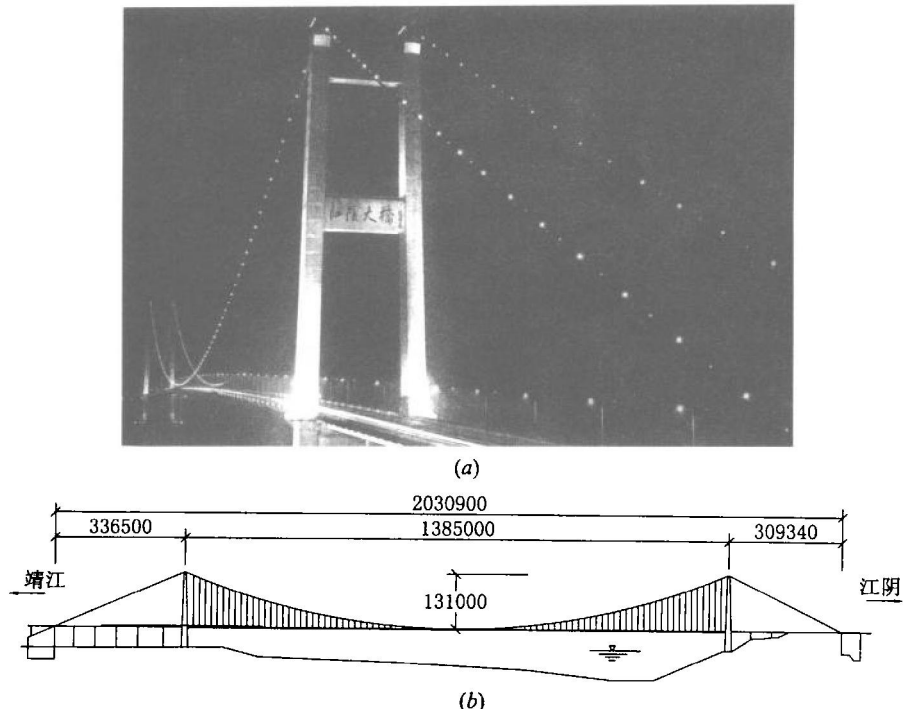


图 1.20 江阴长江大桥

1.3.2 国外桥梁发展概况

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。20 世纪初，钢筋混凝土的应用，以及 20 世纪 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。20 世纪 50 年代以后，随着计算机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。

1883 年建成的纽约布鲁克林悬索桥（图 1.21）跨径达 483m，开创了现代悬索桥的先河。

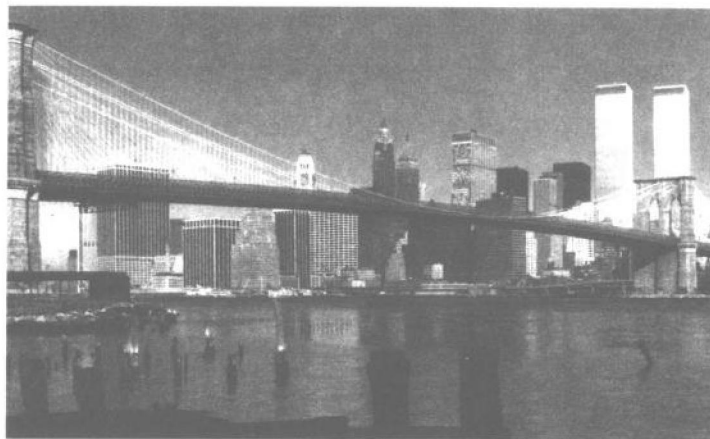


图 1.21 纽约布鲁克林桥

1937 年建成的旧金山金门大桥（图 1.22）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，跨径 1991m（设计跨径为 1990m，后因阪神地震 地壳移位 才变成目前的跨径 如图 1.23 所示）。

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 从此 该桥型发展十分迅速，截至目前，跨径最大的斜拉桥要数日本的多多罗大桥（图 1.24）其主跨 890m 建成于 1999 年。就跨径

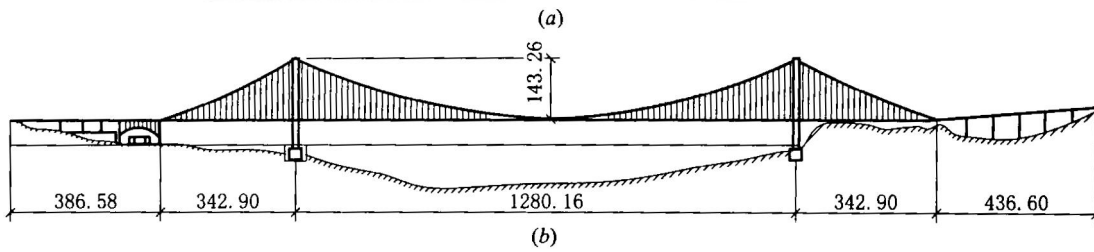


图 1.22 旧金山金门大桥 (单位: m)

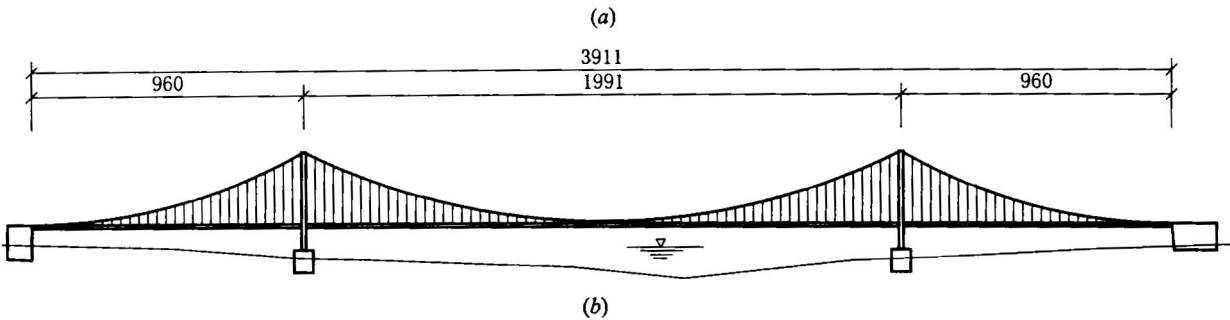
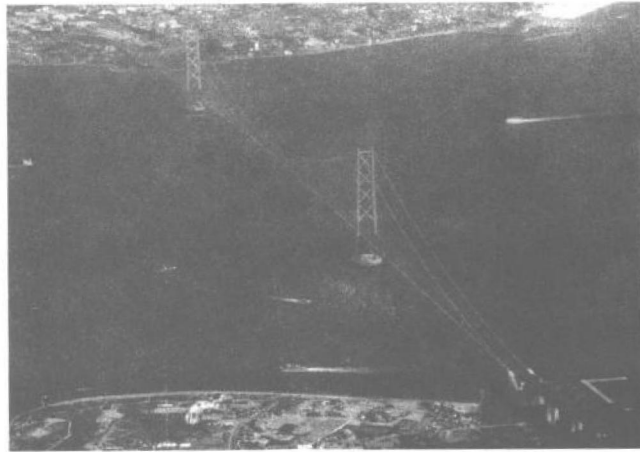
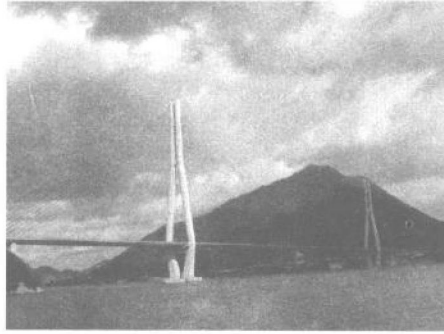


图 1.23 明石海峡大桥 (单位: m)

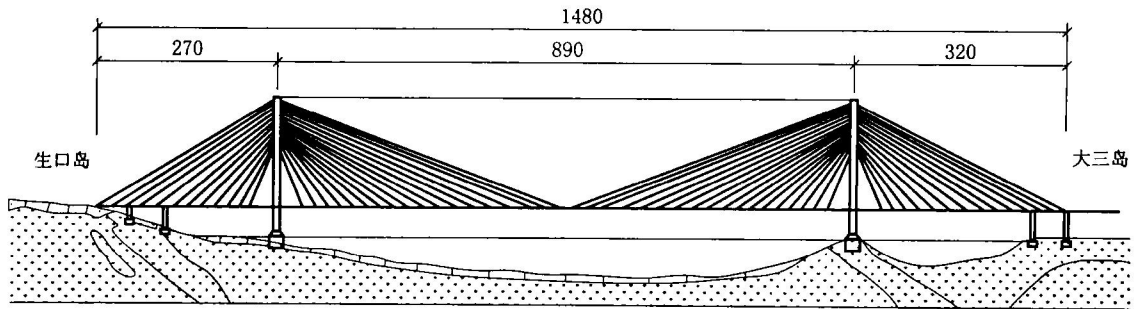
而言,后者比前者增大了 5 倍,但前后时间相差还不到 50 年。

圬工拱桥在国外已有一百多年的历史,1946 年在瑞典建成的绥依纳松特桥 是一座混凝土圬工拱桥 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 (图 1.25) 该桥跨径保持了 18 年的世界纪录。



(a)



(b)

图 1.24 日本多多罗大桥 (单位 m)

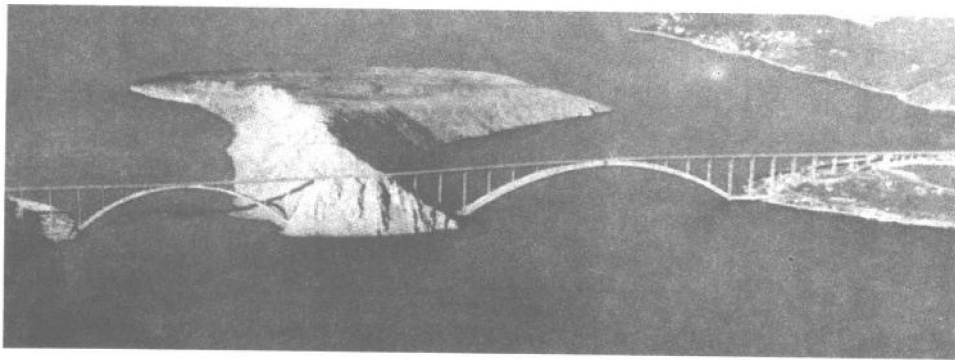


图 1.25 克尔克大桥

目前世界上跨径最大的钢拱桥是美国弗吉尼亚州的新河峡桥 (图 1.26) ,主跨 518m。

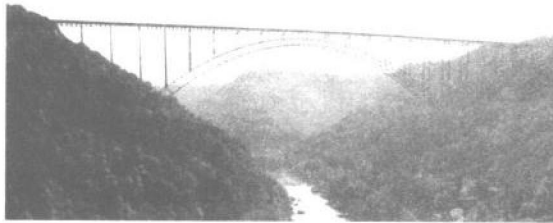


图 1.26 新河峡桥

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引起开裂的能力较弱，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和在上缘顶压预应力（称为双预应力），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)连续刚构桥是挪威的斯脱麦桥($l=301\text{m}$,1998年,如图1.27所示),斜腿刚架桥是法国的博诺姆桥($l=186.3\text{m}$,1974年)。



图 1.27 挪威斯脱麦桥(单位 m)

1.4 桥梁的总体规划与设计步骤

1.4.1 桥梁的总体规划

桥梁设计应遵循安全、适用、经济、美观等原则。

由于桥梁是道路工程的一个组成部分,因而桥梁设计一般应符合路线布设的规定,桥梁在功能上的各项技术指标也应符合路线的要求。

除了满足上述基本要求之外,因桥梁建设与当地的社会、经济、文化和人民生活密切相关,应适当考虑当地的需要,如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。

1.4.1.1 桥梁设计的基本要求

(1)结构尺寸和构造上的要求

桥梁作为一个永久性的工程结构物,它的整体及内部的各个构件,在施工和使用过程中应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性。桥梁的上述各项结构上的技术指标必须满足相应规范的规定。强度要求就是指桥梁的所有构件及连接构造的承载能力具有足够的安全储备;刚度要求就是指桥梁在荷载作用下的变形控制在容许范围之内;稳定性要求就是要求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,桥梁的墩台或挡土墙等的整体不致倾覆或滑移,受压构件不致引起压杆失稳等;耐久性的要求就是确保桥梁结构在使用年限内,其各项技术指标能长期符合设计的要求,例如钢材的腐蚀,构件材料的疲劳、老化等。

(2)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,桥上纵坡不宜过大,弯桥应按规范设置超高,桥面排水设施应完善。桥下净空应满足泄洪、通航或通车等的要求,并便于桥梁在建成后的检查和维修。

(3)经济上的要求

桥梁设计应体现经济上的合理性。在设计阶段必须进行详细周密的技术经济比较,最经济的方案应该是总造价及今后可预期的维护费用之和为最少的方案。

要做到经济上的合理性,桥梁设计须遵循因地制宜、就地取材、方便施工的原则,选用适当的桥型和施工方法。此外,对于通车要求紧迫的情形,采用施工工期短的桥梁方案,提早通车,这在经济上、社会影响上都带来很大的效益。

(4)施工上的要求

桥型方案的设计应同时考虑施工的方便和经济,应尽可能采用先进的工艺、技术和施工机械,以利于加

快施工速度，保证工程质量和施工安全。

(5) 美学和景观上的要求

总结中外美学哲理研究，可以认为美的属性就是大多数人感到愉快，而且这种愉快与观察者的兴趣无关。由于对美的追求是人类的共性，因此每一座桥梁都应具有优美的外形。为达这一目的，结构布置必须精炼，并在空间有和谐的比例。桥型应与周围环境相协调，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。对于特别重要的桥梁，还应作景观设计，即仔细推敲桥梁的色彩和灯饰，对重要构造作艺术造型设计，并对桥梁周边环境进行美学创造和景观资源开发。

1.4.1.2 设计资料的调查收集

桥梁设计首先要确定桥位，按照《公路工程技术标准》(JTJ001—97)的规定，小桥和涵洞的位置与线型一般应符合路线的总走向，为满足水文、线路弯道等要求，可设计斜桥和弯桥，对于公路上的特大桥、大、中桥桥位，原则上应服从路线走向，桥、路综合考虑，尽量选择在河道顺直、水流稳定、地质良好的河段上。

设计资料的调查收集是因地制宜设计桥梁的基础性工作，只有资料收集完整了，才能作出合理的设计方案。现将一般桥梁中需要调查收集的资料内容分述如下：

(1) 交通要求情况调查。即调查桥梁建成后若干年内预期的交通流量大小，调查桥上机动车、非机动车和行人的往来密度，并据此确定桥梁的荷载等级、车行道、人行道的宽度，调查桥上是否需要通过各种管线（如水管、煤气管、电力、通讯线路等），为此可能需要在桥上预留专门的位置。

(2) 桥位处地形、地质和水文情况调查。通过测量或从有关部门获取桥位处一定区域范围内的地形图，这对设计中制定桥型方案和相应的施工方法，以及对施工中临时场地的布置等都是十分重要的。桥位处的地质情况必须仔细探明，包括土的分层标高、物理力学性能、地下水位等，并将钻探所得资料绘制成地质剖面图。水文情况的调查主要包括最高洪水位、流速、流量等，从航运部门了解河道的通航等级和通航水位。

(3) 气象资料调查。包括气温、雨量和风速等情况。

1.4.1.3 桥梁立面总体设计

桥梁立面总体设计包括确定桥梁的总跨径、分孔、各种标高、桥上和桥两头的纵坡以及基础的埋置深度（这部分在“基础工程”课程中介绍）。

对于跨河桥梁，立面总体设计首先应考虑抗洪的要求，如果因建桥造成河道泄洪受阻，洪水可能将桥梁冲坏甚至冲毁，使两岸堤坝受到的冲刷加剧，桥位处壅水还会影响到堤坝抗洪的安全可靠性，有时不得不为此加高堤坝以防壅水漫堤。

(1) 桥梁总跨径的确定

如前所述，桥梁的总跨径长度必须保证桥下有足够的排洪面积，这由水文计算确定。对于一般水中设墩的情形，需作壅水和冲刷计算，包括河床冲刷和堤坝冲刷。桥梁基础埋置深度必须充分考虑冲刷的影响，因为对于摩擦桩，冲刷将导致土与桩的摩阻面积减小，对于奠基于弱风化（或微风化）层上的基础，大的冲刷将导致岩体风化加速。为确保桥梁长期安全可靠，在上述情况下，均应加大基础埋置深度，另外，山区河流流速很大，应尽可能少压缩或不压缩河床。

(2) 桥梁分孔

对于一座较长的桥梁，一般应当分成几孔，确定分孔的过程也就是确定桥梁跨径的过程，而桥梁的跨径与桥型和施工方法密切相关，每一种桥型都有它的适宜跨径，因而分孔和桥型方案应同时考虑。

桥梁的跨径越大，上部结构的造价就越高，而墩台的造价就减少，反之亦然。经济的方案应使上、下部结构的总造价最低。一般对于水深流急的河床，桥跨宜增大，对于基础埋深较浅、墩身又不是很高的情形，跨径过大将是不经济的。

对于通航的河流，分孔时首先要考虑桥下通航的要求。通航孔应布置在航行最方便的河道处，但是这种最方便的河道往往不是固定的，例如，对于变迁性河流，航道位置可能发生变化。对于平时状况，航道一般设置在水深的河床中央，但是，在洪水季节，河中央流速过快，航行危险，因而为了抢险需要，靠近岸侧也需设置临时通航孔。

在平原地区的宽阔河流上修建多孔桥时，通常在主槽部分按需要布置较大的通航孔，而在两旁浅滩部分按经济跨径分孔。