

前言

《桥梁工程》是公路与城市道路工程专业的一门必修专业课。本教材是根据交通部路、桥专业教材编审委员会1982年4月审定的《桥梁工程》教学大纲编写的。按照教学大纲的要求,学生在学完《结构力学》、《结构设计原理》等先修课程的基础上,通过本课程的学习,必须掌握我国常用中、小型桥梁的构造原理和设计计算方法,熟悉有关桥梁施工方面的知识;此外,还应使学员了解现代各种大跨度桥梁的构造、计算和施工特点,并能运用已学知识,初步具备解决较复杂桥梁问题的能力。

本教材共有四篇。在第一篇总论内主要介绍国内外桥梁建筑的发展概况、桥梁的组成部分和各种结构体系以及桥梁的设计荷载。在桥梁的总体规划和设计中并扼要阐述了桥梁的方案比较和选定,以期学生在深入学习各章内容前对桥梁设计工作的全貌有一概括的了解。

第二篇为钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥。在第一章概述中,从截面型式和静力体系上,介绍各类梁式桥的特点及其适用条件。在其它各章内,较详细地论述了公路上最常用中、小跨径简支梁桥(以装配式桥梁为主)的构造、设计和内力计算。第五章简支梁桥的计算是讲授的重点之一。其中荷载横向分布的原理是公路桥梁设计的主要计算理论,为了保持系统性起见,本教材将常用的各种计算方法归并在一起介绍。在教学中也可根据需要,先学习较基本的杠杆原理法和偏心压力法,待掌握主梁和横隔梁内力计算的完整步骤后,再学习其它几种较复杂的荷载横向分布理论与方法。第六章梁式桥的支座部分,重点阐明了支座的作用、各类支座的构造及其适用场合。鉴于橡胶支座已日益推广使用,对此也作了较详细的介绍。第七章为其它体系桥梁。鉴于桥梁建筑中新体系、新工艺的不断发展,从事公路与桥梁工程的技术人员除了要能解决常用中、小型桥梁结构的设计、施工问题外,目前在生产中也常常面临需要处理其它较复杂体系桥梁的任务。为此,在本章中着重介绍悬臂与连续体系桥梁的结构特点、构造细节和计算要点。并对我国已较多采用的预应力混凝土T形刚构桥、连续梁桥和斜拉桥分别从结构类型、构造特点和桥型结构示例等方面作了概要说明。这样一方面扩大了学生的知识面,同时使他们能结合运用先修课程的知识,初步具备处理这类桥梁结构的能力。这里将斜拉桥归并在本篇内叙述,这仅仅是为了免得另立篇章而增加篇幅。

第三篇讲述的圬工及钢筋混凝土拱桥是我国公路桥梁广泛采用的桥型,也是本课程学习的重要内容。在第二章拱桥构造中,除了介绍拱桥的一般组成部分外,重点放在空腹式双曲拱桥和箱形截面拱桥的构造和结构细节上,对其它类型拱桥(如桁架拱桥、刚架拱桥、组合体系拱桥等),只介绍些构造特点。第三章中重点阐明拱桥总体规划和拱轴线型的选择等。第四章拱桥的计算是本篇的学习重点,其中详细介绍了等截面悬链线拱的设计与计算,使学生在牢固掌握无铰拱计算理论的基础上,能熟练查用各种拱桥计算用表。对于圆弧拱和其它类型拱桥(如桁架拱桥、刚架拱桥)仅简略说明了计算要点。拱桥的连拱计算问题是近年来拱桥设计中引人注意的问题,限于篇幅,本篇中在阐明基本概念的前提下仅择要介绍了三种连拱简化算法的基本原理,并为需要进一步学习和应用这些计算方法的读者列出了参考文献和书目。

桥梁施工是内容丰富、实践性强的重要学习领域。虽然在课堂内讲授往往难以得到好的效果，但为现场参观和生产实习等教学环节准备基本的桥梁施工教材，供现场教学参考使用，显然是十分必要的。因此，在第二篇和第三篇的末尾，分别介绍了各种梁式桥和拱桥一般常用的施工方法以及施工中必须注意的问题。此外，为了扩大视野，还扼要介绍了近年来桥梁施工中涌现出来的一些新技术和新工艺。

第四篇桥梁墩台中阐述墩台在基础以上部分结构的构造型式和设计计算方法。基础部分则在专门的《地基与基础》课程中讲授。在取材方面，除了常用的重力式墩台以外，并介绍了公路桥梁上日益推广使用的各类轻型墩台的构造型式和柔性墩的计算要点。

本教材第一篇和第二篇第一、二、四、五、六、七、八章由姚玲森编写；第二篇中的第三章和第四篇由程翔云编写；第三篇第一、二、三、五章由周义武编写，第四章由王国鼎编写。全书由同济大学姚玲森主编，由重庆交通学院周远棣主审。

由于我们水平有限，编写时间也较紧迫，谬误之处一定不少，敬请读者批评指正。

编 者

1984年12月

目 录

第一篇 总 论

第一章 概述	1
第一节 桥梁在交通事业中的地位和国内外桥梁的发展概况.....	1
第二节 桥梁的组成和分类.....	12
第二章 桥梁的总体规划和设计要点	19
第一节 桥梁总体规划原则和基本设计资料.....	19
第二节 桥梁纵、横断面设计和平面布置.....	21
第三节 桥梁设计的方案比较.....	24
第三章 桥梁的设计荷载	26
第一节 规范中有关设计荷载的规定.....	26
第二节 荷载组合.....	30

第二篇 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥

第一章 概述	32
第一节 钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥的一般特点.....	33
第二节 梁式桥的主要类型及其适用情况.....	34
第二章 桥面构造	37
第一节 桥面铺装.....	37
第二节 桥面排水设施.....	39
第三节 桥面伸缩缝.....	41
第四节 人行道、栏杆与灯柱.....	44
第三章 板桥的设计与构造	46
第一节 板桥的类型及其特点.....	47
第二节 简支板桥的构造.....	49
第三节 斜交板桥的受力特点与构造.....	53
第四章 装配式简支梁桥的设计与构造	55
第一节 装配式简支梁桥的构造类型.....	56
第二节 装配式钢筋混凝土简支梁桥.....	61
第三节 装配式预应力混凝土简支梁桥.....	71
第四节 组合梁桥.....	83
第五章 简支梁桥的计算	89
第一节 概述.....	89

第二节	行车道板的计算	90
第三节	荷载横向分布计算	100
第四节	主梁内力计算	149
第五节	横隔梁内力计算	156
第六节	挠度、预拱度的计算	165
第六章	梁式桥的支座	167
第一节	概述	167
第二节	支座的类型和构造	168
第三节	支座的设计与计算	173
第七章	其他体系桥梁	185
第一节	悬臂和连续体系梁桥的类型和一般特点	185
第二节	钢筋混凝土悬臂和连续体系梁桥的构造和设计计算要点	187
第三节	预应力混凝土 T 型刚构桥	201
第四节	预应力混凝土连续梁桥	207
第五节	预应力混凝土斜拉桥	211
第八章	梁桥的施工	217
第一节	钢筋混凝土简支梁桥的制造工艺	218
第二节	预应力混凝土简支梁桥的制造工艺	225
第三节	装配式简支梁桥的运输和安装	237
第四节	悬臂体系和连续体系梁桥的施工特点	242

第三篇 圬工和钢筋混凝土拱桥

第一章	概述	255
第一节	拱桥的基本特点及其适用范围	255
第二节	拱桥的组成及主要类型	256
第二章	拱桥的构造	259
第一节	主拱圈的构造	259
第二节	拱上建筑的构造	268
第三节	拱桥的其它细部构造	273
第四节	其它类型拱桥的构造	278
第三章	拱桥的设计	283
第一节	拱桥的总体布置	283
第二节	拱轴系数的选择和拱上建筑的布置	285
第三节	拱圈截面变化规律和截面尺寸的拟定	287
第四节	拱桥构造示例	294
第四章	拱桥的计算	297
第一节	悬链线拱的几何性质及弹性中心	297
第二节	恒载作用下拱的内力计算	304
第三节	活载作用下拱的内力计算	308

第四节 裸拱内力计算.....315
 第五节 温度变化、混凝土收缩和拱脚变位的内力计算.....316
 第六节 拱圈强度及稳定性验算.....319
 第七节 拱圈应力调整.....322
 第八节 组合截面的计算特点.....325
 第九节 圆弧无铰拱计算要点.....327
 第十节 其它类型拱桥的计算特点.....329
 第十一节 连拱计算.....333
 第五章 拱桥的施工.....345
 第一节 有支架施工.....346
 第二节 缆索吊装施工.....355
 第三节 其它施工方法简介.....365

第四篇 桥 梁 墩 台

第一章 桥梁墩台的构造和设计.....371
 第一节 概述.....371
 第二节 桥墩.....373
 第三节 桥台.....381
 第二章 桥墩计算.....390
 第一节 荷载及其组合.....390
 第二节 重力式桥墩计算.....393
 第三节 桩柱式桥墩的计算特点.....396
 第三章 桥台计算.....400
 第一节 重力式桥台的计算.....400
 第二节 梁桥轻型桥台的计算特点.....401
 第三节 拱桥轻型桥台的计算特点.....404
 附录 I 铰接板荷载横向分布影响线竖标表.....409
 附录 II G-M 法 K_0 、 K_1 、 μ_0 、 μ_1 值的计算用表.....421
 主要参考文献.....427

第一篇 总 论

第一章 概 述

第一节 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

大力发展交通运输事业，是加速实现四个现代化的重要保证。四通八达的现代交通，对于加强全国各族人民的团结，发展国民经济，促进文化交流和巩固国防等方面，都具有非常重要的作用。在公路、铁路、城市和农村道路交通以及水利等建设中，为了跨越各种障碍（如河流、沟谷或其它线路等）必须修建各种类型的桥梁与涵洞，因之桥涵又成了陆路交通中的重要组成部分。在经济上，桥梁和涵洞的造价一般说来平均占公路总造价的10~20%。特别是在现代高级公路以及城市高架道路的修建中，桥梁不仅在工程规模上十分巨大，而且也往往是保证全线早日通车的关键。在国防上，桥梁是交通运输的咽喉，在需要高度快速、机动的现代战争中具有非常重要的地位。此外，为了保证已有公路的畅通运营，桥梁的养护与维修工作也十分重要。

我国幅员辽阔，大小山脉和江河湖泽纵横全国，在已通车的公路路线中尚有大量渡口需要改建为桥梁，并且随着社会主义工业、农业、国防和科学技术现代化的逐步实现，还迫切需要修建许多公路、铁路和桥梁，为此我们广大桥梁工程技术人员将不断面临着设计和建造各类桥梁的光荣而艰巨的任务。

二、我国桥梁建筑的成就

我国文化悠久，是世界文明发达最早的国家之一。在古代，我国有许多科学技术“往往远远超过同时代的欧洲，特别是在十五世纪以前，更是如此”（英国人李约瑟在他所著《中国科学技术史》序言中语）。其中就桥梁来说，我们的祖先也在世界桥梁建筑史上写下了不少光辉灿烂的篇章。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，而且类型也丰富多采，几乎包含了所有近代桥梁中的最主要型式。

根据史料记载，在距今约三千年的周文王时，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。公元35年东汉光武帝时，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，往往因战事等需要，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，尔今则都用钢筋混凝土代之。

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，至少迄今有三千年左右的历史。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，而西方在十六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，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于人类的最早的、取之不尽用之不竭的建筑材料。一旦人们创造了强有力的加工工具，石梁、石柱、石拱等结构构件无疑就普遍发展起来；又鉴于石料的耐久性，因此几千年来修建较多的古代桥梁要推石桥居首。下面再介绍几座在历史上一直闻名世界的我国古代石桥，借以可见我国古代桥工巨匠的辛勤业绩对桥梁建筑的卓越贡献。

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1053~1059年在福建泉州建造的万安桥，也称洛阳桥。此桥长达800多米，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，并且独具匠心用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基使成整体，此亦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，实是中外桥梁史上一次勇敢的突破。

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(图1-1-1)。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。

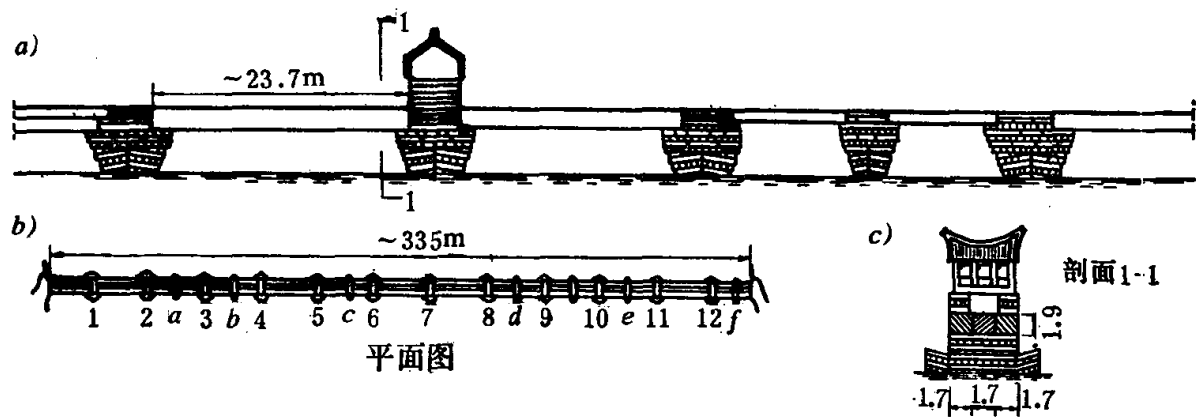


图1-1-1 福建漳州虎渡桥 (公元1240年)

从1965年河南新野县出土的汉代画像砖上所刻有的拱桥图形证明，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，无论结构的精心巧思，以及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1-1-2)。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，这样既能减轻桥身自重、节省材料，并又便于排洪、增加美观。赵州桥的设计构思和工艺的精巧，不仅在我国古桥中首屈一指，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多年。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1-1-2 河北赵县赵州桥（公元605年）

除赵州桥外，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，论石桥之长、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。我国解放后又进行了改建和扩建，使历史上屡圯屡修的这座古桥焕发了青春。

然而，封建制度的长期统治，大大束缚了生产力的发展。1840年鸦片战争后帝国主义列强的侵入和腐朽的社会制度，更使广大劳动人民处于水深火热之中，人民群众的无穷智慧被压抑和摧残。在桥梁建筑方面，大部分是外国投资、洋人设计、外商承包。解放前，我国交通事业落后，可供通车的公路里程很少，质量低劣。公路桥梁绝大多数为木桥，年久失修，破烂不堪。纵使当时我国自己也修过一些公路钢桁梁桥、吊桥和钢筋混凝土拱桥等，但与当时世界上桥梁建筑的技术水平相比，是处于很落后的状态。

“一唱雄鸡天下白”，中国人民终于在中国共产党和毛主席的英明领导下，于1949年迎来了中华人民共和国的诞生。

新中国成立后，政治上争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，桥梁建筑同其他各条战线一样，也出现了突飞猛进的局面。至发展国民经济的第一个五年计划时期为止的几年内，不但修复和加固了许多巨大的钢桥，而且又完成了大量桥梁的修建和改建工作。

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，对发展我国现代桥梁技术开创了新路。

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（图1-1-3）。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 $3 \times 160\text{m}$ 的连续钢桁梁。上层公路桥面，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。

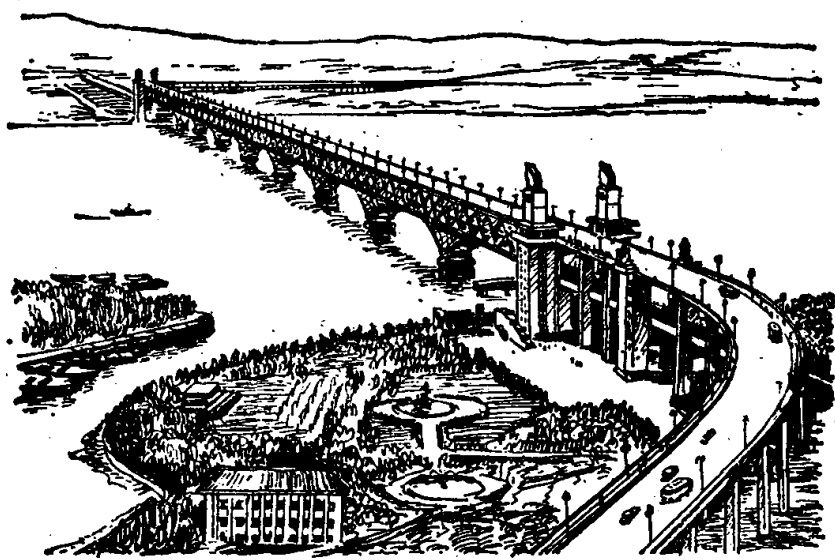


图1-1-3 南京长江大桥（1969年）

迄至目前，在我国长江上已飞架了七条钢铁长龙。并且，作为第二京广线要隘的九江长江大桥的下部结构已经全部竣工，长江上第八座长度更长（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 ）、施工更为先进的公铁两用特大钢桥，不久将雄姿勃勃横跨九江和黄梅两岸（图1-1-4）。

解放以来我国在圬土拱桥和钢筋混凝土拱桥方面也有很大发展。在1958~1960年期间，广大建桥职工继承和发扬了我国建造石拱桥的优良传统，因地制宜，就地取材，修建了大量经济美观的石拱桥，其中跨径最大的是云南省的南盘江长虹桥（ $l = 112.5\text{m}$ ）。到1972年，石拱桥的跨径纪录又被四川丰都县的九溪沟大桥（ $l = 116\text{m}$ ）所刷新（图1-1-5）。目前我国已建跨径在百米以上的石拱桥共有7座。

除石拱桥外，我国建桥职工还结合国内具体情况，创造和推广了不少新颖的拱桥结构，俾能在大量公路桥梁的建设中达到节约钢材和木料的目的。1964年创建的双曲拱桥，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，曾起了很大的作用。据统计，在问世后的十年内就建成了4000多座，总长约30万米。目前我国跨径在百米以上的双曲拱桥共有16座，最大跨径达到 150m （河南前河大桥）。湖南长沙湘江大桥，正桥横跨湘江，飞越桔洲，包括支桥在内全长约1500多米，这样规模的连续拱桥，只经一年时间的奋战就竣工通车，在桥梁建筑史上实不多见。此外，全国各地还因地制宜创建了各具特色的拱式桥型。其中推广较快的有江、浙一带初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

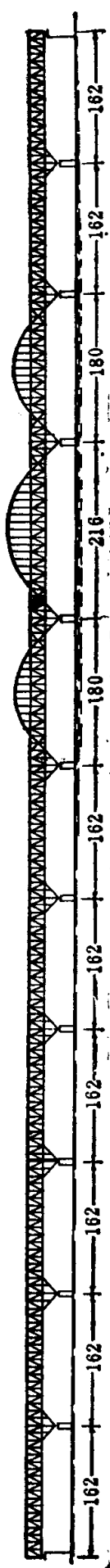


图1-1-4 九江长江大桥图式

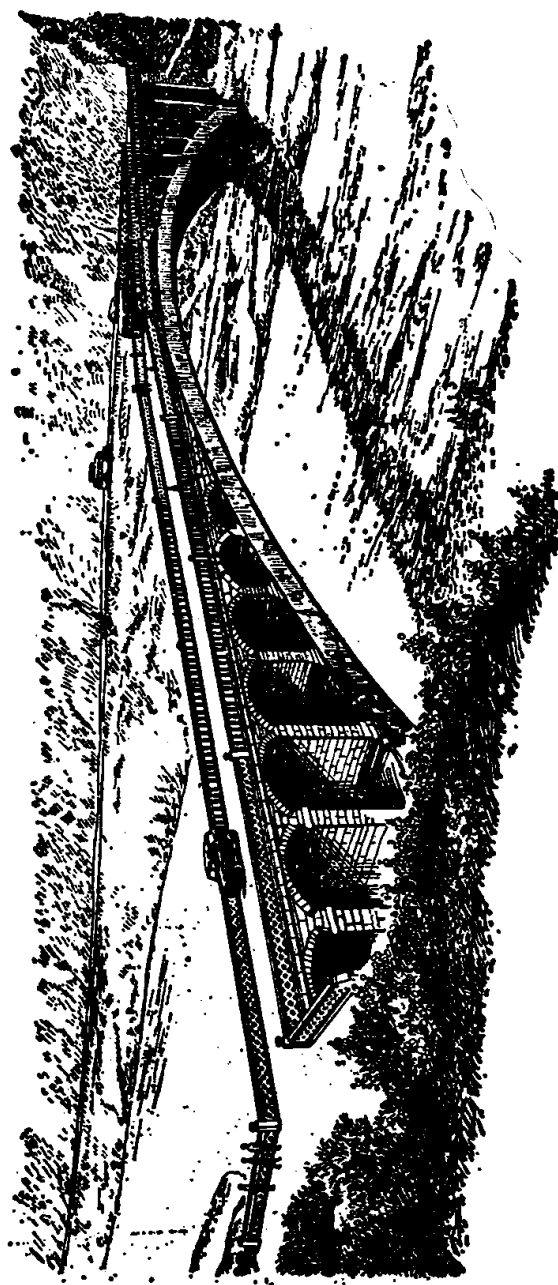


图1-1-6 四川涪陵丰都县九溪沟大桥 (1972年)

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，这些新桥型在结构上或施工上各具特色，为探索经济合理的中、小跨径拱桥建筑作出了贡献。

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，目前已广泛采用无支架施工，而且在四川、贵州和湖南等省已采用转体法分别建成了跨径为70m的肋拱桥、80m的双曲拱桥和40m的刚架拱桥等。近年来，随着缆索吊装技术的发展，起重能力的增大，为了提高拱桥在无支架吊装中构件的稳定性和增强主拱的整体性，对于较大跨径的拱桥已有利地采用薄壁箱形拱桥来取代双曲拱桥。几年来我国已建成跨径在百米以上的箱形拱桥有10座，跨度最大达170m（渡口市7号桥）。图1-1-6所示是渡口市6号桥，它是用钢拱架施工建成的箱形拱桥，跨径为146m（1972年通车）。

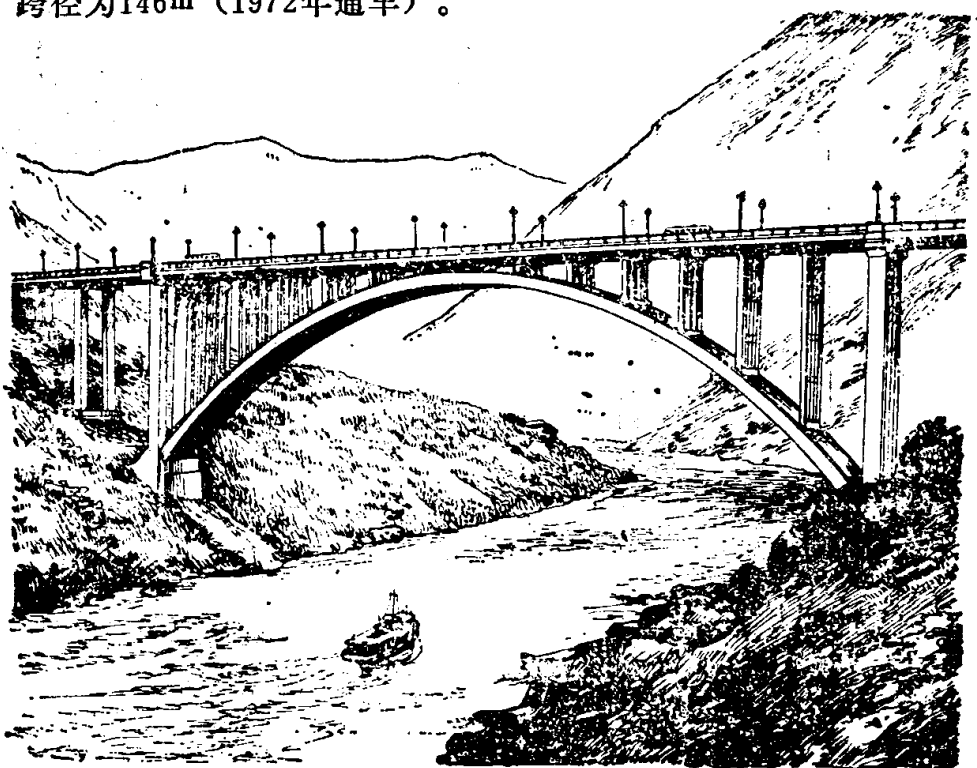


图1-1-6 渡口市6号桥（1972年）

据不完全统计，我国迄今已建百米以上跨径的公路圬工拱桥和钢筋混凝土拱桥共35座，约占世界同类拱桥的三分之一以上。

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（跨径在6至25m左右），已广泛采用配置低合金钢筋的装配式钢筋混凝土板式或T形梁式的定型设计，它不但经济适用，并且施工方便，能加快建桥速度。我国装配式预应力混凝土简支梁桥的标准设计，跨径达40m。1970年，河南省首创建成了跨径达52m的鱼腹形后张自锚式预应力混凝土简支梁桥。1976年建成的洛阳黄河公路大桥，跨径为50m，全长达3.4公里，是我国目前最长的公路桥梁。

除了简支梁桥以外，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。1971年在福建乌龙江建成的T型刚架桥，主孔跨径为 $3 \times 144\text{m}$ ，采用悬臂浇筑和悬臂拼装的先进工艺，为我国修建大跨径预应力桥梁迈出了一大步。目前我国最大跨径的同类桥型是1980年建成的重庆长江公路大桥。该桥共8孔，总长一千多米，其中最大跨径达174m，达到了世界先进水平（图1-1-7）。

我国修建预应力混凝土连续梁桥的起步较晚，跨径也不大。然而，在施工技术方面也已

庆朝阳大桥，此桥为跨径186m 的双链式吊桥，并设钢箱与钢筋混凝土桥面板相结合的 组合加劲梁。

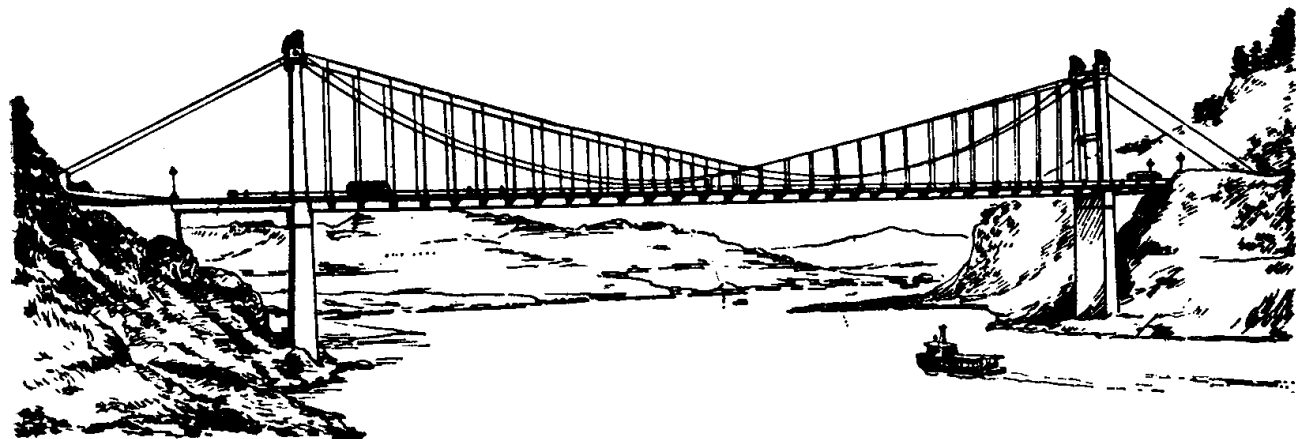


图1-1-9 重庆朝阳大桥（1969年）

在桥梁基础工程方面，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，我国继修建武汉长江大桥时在世界上首次采用管柱基础施工以来，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圬工数量（据某大桥的实践，减小达一半），并使下沉速度加快至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，所要求的施工机械较少，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。北镇黄河公路桥成功地采用这种基础施工，钻孔深度超过百米。

在桥梁设计方面，近年来电子计算机的应用已经逐渐普及。在引进并应用国外各种结构分析程序的同时，我国已编制了计算公路桥梁的大型综合程序以及大量专用程序。应用微型机的软件开发工作，亦已取得很大的进展。现代计算技术的推广应用，为加快桥梁设计速度和提高设计质量，起到了极为重要的作用。

新中国成立以来，我国的桥梁建设就取得了这样巨大的成就，这充分体现了党的正确领导，社会主义制度的优越性和劳动人民的勤奋与智慧。如今，无论是长江天堑，黄河南北，以及我国许多大江大河的两岸，“隔河如隔天，渡河如渡险”的历史已一去不复返了。诚然，面临建设宏伟的四个现代化的艰巨而光荣的任务，我们必须继续努力，进一步发扬我国建桥的优良传统，不断吸取国外桥梁建筑的先进技术和有益经验，艰苦奋斗，勇于创新，加速发展桥梁事业，为加速实现四个现代化作出更大的贡献。

三、国外桥梁建筑简述和发展趋向

纵观国外桥梁建筑桥变的历史，早在罗马时代，欧洲的石拱桥艺术已在世界桥梁史上谱写过光辉的篇章。然而，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在英国、法国和其他西欧国家内冲破封建贵族制度而开始进入的资本主义时代。18世纪的工业革命促使生产力大幅度增长，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小圬工裂缝等方面的研究和改进，对现代石拱桥的发展有重要作用。早

在1899~1903年在卢森堡建成了跨度达84m、行车部分宽16m的新型石拱桥，两条分置的拱圈各宽5.33m，其间5.92m宽的间隔用肋形钢筋混凝土板盖搭。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。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到139.80m。目前世界上跨度最大的石拱桥是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1-1-10）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，该桥的跨径达305m（有支架施工）。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，国外已较少采用。直至1979年，在南斯拉夫用无支架悬臂施工方法建成了跨度达到390m的克尔克大桥（图1-1-11），又重新突破了305m的世界纪录。

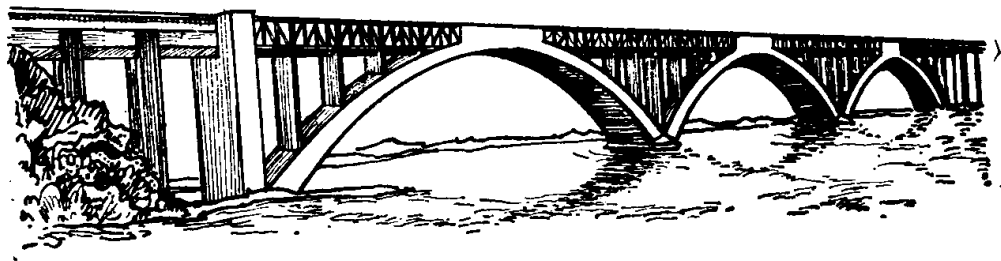


图1-1-10 法国博浪加斯脱桥（1930年）



图1-1-11 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。1940年在英国伦敦建成的纽·华特洛桥，跨径达77.02m（连续梁桥），它迄今仍保持着同类型桥的较高纪录。

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就以异乎寻常的速度发展起来。第二次世界大战之后（1948年），法国用预应力方法修复了马恩河上的五座桥梁，它们的跨径约74m，都是分段预制后再借预应力筋张拉集整，这种带三角形矮腿的刚架桥，外貌极其轻巧，见图1-1-12。

西德最早用全悬臂法建造预应力混凝土桥梁，特别是在1952年成功地建成了莱因河上的沃伦姆斯桥（跨度为101.65 + 114.20 + 104.20m、具有跨中剪力铰的连续刚架桥）后，这个

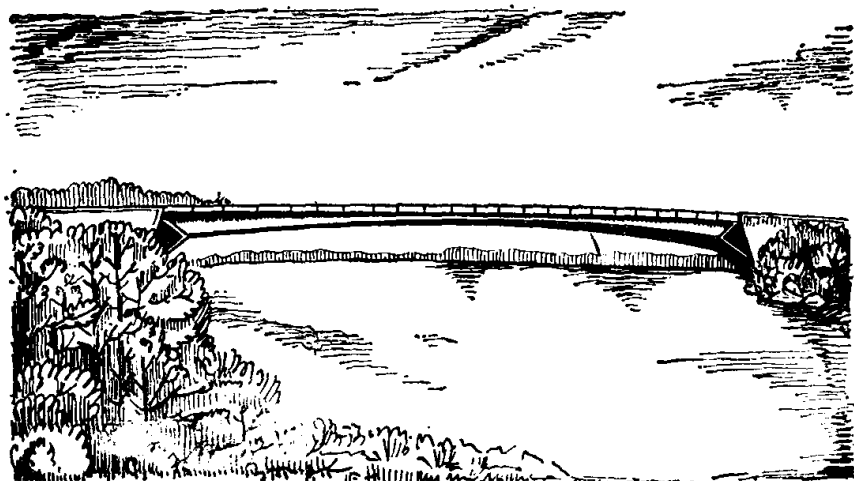


图1-1-12 法国马恩河桥 (1948年)

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，悬臂施工技术也更臻完善。日本于1976年建成了世界上跨径最大的连续刚架桥-浜名大桥，主桥跨径为55 + 140 + 240 + 140 + 55m (图1-1-13)。之后1980年在菲律宾以东美国太平洋托管区的帕洛岛建成了中跨为240.8m的科勒-巴贝尔塞浦桥(总长385.26m)，从而使浜名大桥退居第二位。

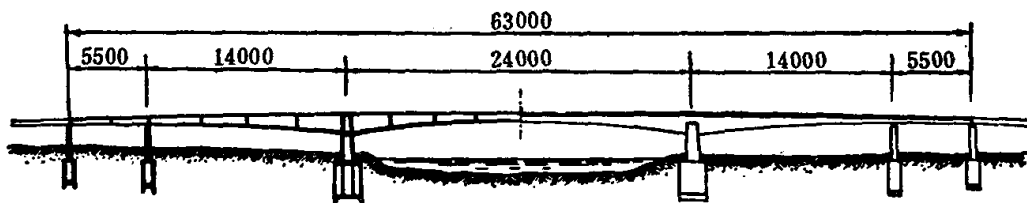


图1-1-13 日本国浜名大桥 (1976年)

近年来国外对大跨径预应力混凝土桥的结构体系有这样的见解：跨中带剪力铰的T型刚架桥，由于温差和徐变的影响会产生难以预计的较大的附加铰接力，且设铰处产生折角，对行车不利。如果采用设置挂梁的静定T型刚架桥，则同样有行车不利的弊端。因此逐渐倾向于采用悬臂浇筑（和悬臂拼装）工艺来修建连续梁桥。西德雷翁哈特教授吸取钢桥架设的经验，创造了预应力混凝土梁桥的顶推施工法，1962~1963年首先用此法建造了委内瑞拉的卡罗尼河桥（跨径为48 + 4 × 96 + 48m）。将近20年来，顶推法由于施工安全、设备简单、工程造价省等优点，在世界上发展甚快，从而又促使连续梁桥得到了推广。目前连续梁桥的连续长度已超过千米。

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

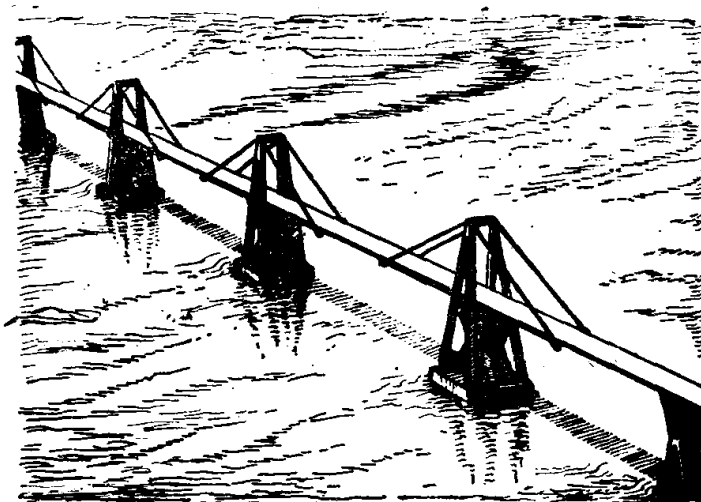


图1-1-14 马拉卡波湖公路桥

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。该桥的主桥跨径为 $160 + 5 \times 235 + 160\text{m}$ ，总长达 9 公里（图1-1-14）。目前斜拉桥技术尚在发展阶段，然而国外一般认为，跨径在 $200 \sim 500\text{m}$ 的预应力混凝土公路桥梁，可推广采用斜拉桥。根据统计，至1982年止，国外已建成的混凝土斜拉桥计约44座，遍布19个国家。其中最近在西班牙建成的卢纳巴里奥斯桥，跨径达 440m ，采用了双面辐射形密索布置，此桥突破了法国普罗东纳桥 320m 的跨径而成为目前世界上跨径最大的预应力混凝土斜拉桥（图1-1-15）。

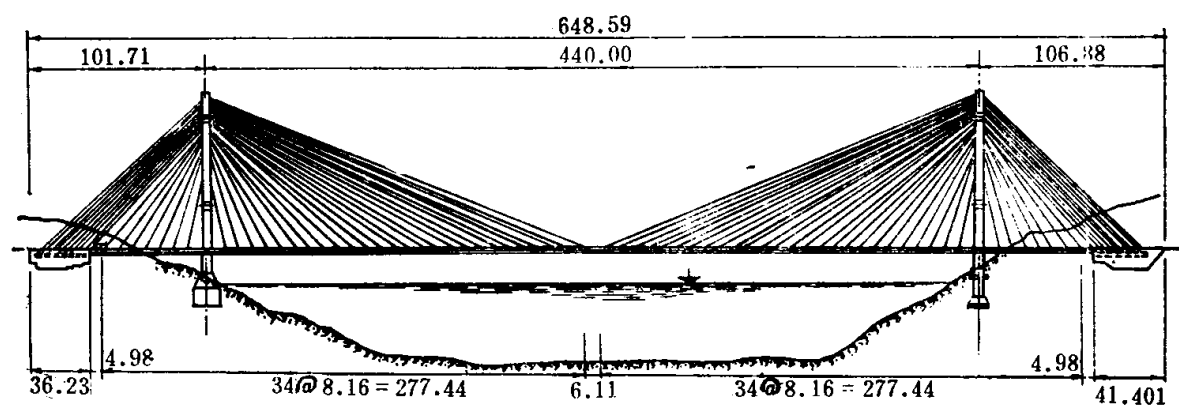


图1-1-15 西班牙卢纳巴里奥斯桥（1983年）

除了上述各种体系外，预应力混凝土用来修建大跨度桁架桥（梁式或拱式），往往可以减轻自重并获得优美和谐的外观。德国在1957年修复曼法尔河谷桥时，跨度为 $90 + 108 + 90\text{m}$ 的预应力混凝土连续桁架桥，以压倒的优势，胜过了进行比较的七个钢桥方案。1966年苏联建成了主桥为 $106 + 3 \times 166 + 106\text{m}$ 的预应力混凝土连续桁架桥。目前世界上跨度最大的预应力混凝土悬臂桁架桥要推1974年澳大利亚新南威尔士的瑞普桥，桥长 330m ，中跨达 183m 。

从19世纪后期至预应力混凝土桥梁兴起之前，在资本主义发达的国家内曾风行修建钢桥，并已达到了相当高的技术水平。目前世界上最大跨度的铁路简支桁架桥，还数1917年美国建成的米托波里斯桥，跨径为 219m 。最大跨径的悬臂桁架桥是1917年通车的加拿大魁北克桥，中跨跨度为 549m 。澳大利亚在1932年就建成了一座四线铁路和公路车道宽 17.4m 的公铁两用钢桁拱桥，跨度达 503m 。

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年建成的旧金山金门大桥，主跨达 1280m ，保持了27年桥梁最大跨径的世界纪录。

近20多年来，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。例如，目前世界上最大跨径的钢板梁是南斯拉夫的沙瓦河桥，桥跨为 $75 + 261 + 75\text{m}$ 。意大利在1972年建成了跨度达 376m 的斜腿刚架箱形梁公路桥。日本国于1974年修建的港大桥，系跨径 510m 的悬臂桁架。钢桁拱桥的跨径纪录已由1972年美国的费耶特维尔公路桥打破，比桥跨度达 518m 。吊桥是古老的桥型，其跨径仍保持着钢桥的纪录。英国1974年建成的亨伯桥，跨径 1410m ，成为目前世界上吊桥之冠（图1-1-16）。

现代的钢斜拉桥1955年始建于德国，由于它对大、中跨度公路桥在结构上具有超乎寻常的优点，近10多年来在国外，特别在欧洲，发展很快。论数量，目前世界上几十座钢斜拉桥中三分之一建在西德。法国在1975年建成的圣·纳泽尔桥主跨为 404m ，造型美观，是世界著名的钢斜拉桥。

随着桥梁建筑的发展,对于建桥材料、施工方法、设计理论等方面,提出了新的要求。下面着重介绍预应力混凝土桥梁在这方面的简况。

对于混凝土材料,主要向轻质、高强方面发展。目前用于工程结构的轻质混凝土容重 $16\sim 20\text{kN/m}^3$,立方强度为 $30000\sim 70000\text{kN/m}^2$;轻质混凝土的粗骨料过去用陶粒,为了降低成本,现在都趋于采用工业废渣。普通高强度混凝土可达700~1000号。采用聚脂混凝土,标号可超过1000号,特别可提高抗拉强度,目前尚在试验阶段。1970年在西德修建了三座同类型的轻、重混凝土混合的连续梁桥(跨径为 $37.6+112.2+37.6\text{m}$)。由于中跨长 105.4m 部分采用了容重 19kN/m^3 的轻质混凝土,使混凝土节约了12%,预应力钢筋省了17%。近年来国外在混凝土强度的取值方面,还考虑超龄期的强度提高系数。欧洲混凝土协会

建议,对于波特兰水泥的重混凝土,龄期为40天时,系数为1.2;龄期为360天时,系数为1.35。

对于预应力筋,在向高强度、低松弛、耐腐蚀、强粘结和便于拼接方面发展。而且主要使用 $\phi 7$ 以上的高强钢丝和直径为 $\phi 19\sim \phi 50$ 的粗钢筋。高强钢丝的抗拉强度为 $1600\times 10^3\sim 2000\times 10^3\text{kPa}$,强拔成型的钢绞线强度可达 $2500\times 10^3\text{kPa}$ 以及粗钢筋的流限为 $900\times 10^3\sim 1200\times 10^3\text{kPa}$ 。

对桥梁施工方法的要求是:快速简便,工业化制造,采用大型的架设、起吊机具(起吊能力从几百吨到几千吨)。

在设计方面,国外一般 $15\sim 20\text{m}$ 跨径的桥还是以采用普通钢筋混凝土梁桥为主。特别是在东欧,还有二种基本趋向:

1. 40m 跨度以内的桥梁一般都趋于标准化。
2. 80m 以内和稍大跨度的桥梁,重复采用个别具体桥梁的优良设计和构造方案,以利于总结经验,不断提高经济指标。

在苏联、美国和西德等国家,还推广采用先简支后连续式的桥跨结构,以有利于结构的标准化。

在设计理论方面,目前国外已从容许应力方法过渡到极限状态设计,有些国家并从强度极限状态推广到挠度、裂缝、振动、疲劳的极限状态负荷能力。由于电子计算机的发展,结构的受力分析可由简化的平面问题过渡到较为精确的空间立体计算,对于超静定次数很高的结构,不但能大大加快计算速度,并且可能进行复杂结构的优化设计。

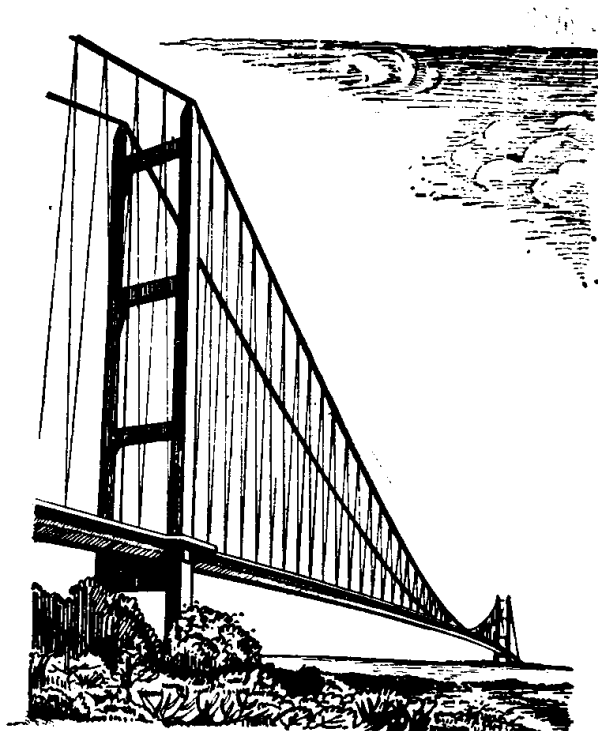


图1-1-16 英国亨伯吊桥(1974年)

第二节 桥梁的组成和分类

世界道路线路遇到江河湖泊、山谷深沟以及其他线路(铁路或公路)等障碍时,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