

桥梁施工 专项技术手册

▲ 桂业昆 邱式中 编



人民交通出版社

China Communications Press

Qiaoliang Shigong Zhuanxiang Jishu Shouce

桥梁施工专项技术手册

桂业昆 邱式中 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书按最新桥梁施工有关规范,以桥梁施工专项技术为主线,结合作者 40 多年的从业经验和心得体会,系统阐述了桥梁施工的各方面内容,主要包括:桩基施工技术、沉井与沉箱施工技术、承台施工技术、排架法施工技术、顶推法施工技术、平面转体法施工技术、悬臂法施工技术、大型设备吊装法施工技术、塔的施工技术、索的施工技术以及桥梁施工控制技术等内容。

本书主要供桥梁施工一线工程技术与管理使用,亦可供土木工程专业(路桥方向)及相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁施工专项技术手册 / 桂业昆,邱式中编. —北京:
人民交通出版社,2004.11
ISBN 7-114-05337-1

I. 桥... II. ①桂...②邱... III. 桥梁工程-施工技术-手册 IV. U445.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111466 号

书 名: 桥梁施工专项技术手册

著 作 者: 桂业昆 邱式中

责任编辑: 曲 乐

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285656,85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 42.5

插 页: 1

字 数: 1065 千

版 次: 2005 年 1 月 第 1 版

印 次: 2005 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05337-1

印 数: 0001—5000 册

定 价: 85.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

FOREWORD

随着我国国民经济、科学技术的发展和综合国力的提高,桥梁事业在近 20 ~ 30 年间,正步入鼎盛时期,其标志就是在设计、施工、科研诸方面都取得了辉煌的成果。

我国各省(市)许多有关桥梁专业的设计、科研、施工单位及院校,都具备了单独设计、施工、科研的能力;大跨径桥梁中的斜拉桥、拱桥,在数量、跨径、设计水平与施工技术上都跨进了世界桥梁的先进行列;悬索桥虽起步较晚,近几年却后来居上,无论在跨径还是建设速度上,都步入世界前列;列在世界之首的斜拉桥正在紧张施工;这一切都证明了我国的桥梁设计水平、施工技术、施工设备有了长足的进步,全国的桥梁建设形势方兴未艾。

施工,是将设计图纸付诸实施的关键过程,施工技术、施工设备就是实践这一过程的技术上和设备上的保证。人是实现这一切的智慧源泉。我们的责任,就是要把这几十年来桥梁施工中的精华、从桥梁的下部基础到上部结构,即桥梁的基础、桥墩、梁、塔、索等桥梁的专项施工技术,系统地归纳、提炼和总结,以供广大桥梁专业的工程技术人员在从事实际工作时参考,为加速发展我国桥梁建设事业,作出我们一份微薄的贡献。这就是《桥梁施工专项技术手册》一书的由来。

《桥梁施工专项技术手册》依据我们 40 多年来的施工实践和国内外桥梁设计、施工的经验以及最新标准规范编著而成。在此过程中,引用了许多前辈、同行专家宝贵的经验,听取了他们诚恳的意见,从而使本手册得以顺利完成,在此,表示诚挚的谢意。

由于编著者水平所限,文中如有不妥之处,望读者拨冗批评指正。

上海市基础工程公司

作者 桂业昆
邱式中

2004 年 9 月

目 录

CONTENTS

第一章 概述	1
第一节 桥梁施工的发展概况	1
第二节 各类桥梁结构及其受力特点	3
一、梁式桥	3
二、拱桥	9
三、斜拉桥	20
四、悬索桥	25
第二章 桩基施工技术	31
第一节 概述	31
第二节 水上施工作业平台	32
一、水中填筑平台	32
二、构架式平台	32
三、自升式平台	35
四、导管架式平台	37
第三节 船上桩基施工	40
一、打桩船的选择	41
二、船上桩架的选择	43
三、桩锤及其它辅助机具的选择	44
四、桩的起吊、堆放、装船及水上运输	44
五、水上桩基施工准备	48
六、船上桩基施工	53
七、船上辅助沉桩法	57
八、特殊桩型的水上施工	60
第四节 陆上打入桩施工	61
一、概述	61
二、桩的制作、吊运与堆放	62
三、打入桩施工	72
第五节 混凝土灌注桩施工	120
一、概述	120

二、机械成孔灌注桩	120
三、人工挖孔桩	155
四、混凝土灌注桩施工实例	160
第三章 沉井与沉箱施工技术	173
第一节 概述	173
第二节 沉井制作	175
一、垫层和承垫木	175
二、模板与钢筋施工	177
三、混凝土浇注与养护	178
第三节 沉井下沉	179
一、承垫木的抽除	180
二、沉井下沉	180
三、沉井下沉中的几个特殊问题	182
第四节 沉井施工实例(江阴长江大桥北锚沉井施工)	191
一、工程概况	191
二、场地工程地质条件	191
三、下沉方案及下沉施工	193
第五节 筑岛法施工沉井	200
一、浅水中的砂岛	201
二、钢板桩围堰砂岛	202
第六节 浮运沉井施工	202
一、概述	202
二、施工工艺	204
三、浮运沉井工程实例	211
第七节 沉箱施工	221
一、概述	221
二、沉箱施工法的优缺点	221
三、设备配置	222
四、沉箱施工	225
五、沉箱施工时的安全管理	227
六、特殊沉箱施工	229
七、沉箱施工实例	231
第四章 桥梁承台施工技术	236
第一节 概述	236
第二节 直接开挖法施工承台	237
一、开挖前的准备	237
二、承台的施工	238
第三节 钢板桩围护施工	239
一、常用钢板桩规格	241
二、钢板桩的施工机具	241

三、钢板桩的打入	247
四、打板桩时常见的问题和对策	250
五、钢板桩的可能打入长度	251
六、钢板桩的拔除	251
七、水上封闭式板桩施工实例	260
第四节 有围护的承台施工	266
一、支撑系统设置	267
二、土方开挖	268
三、基坑内局部渗水、冒砂等情况的处理	269
四、桩头处理	269
五、钢筋网的架设	270
六、后浇带的设置	270
七、混凝土灌注前的检查	270
八、灌注方法	271
九、混凝土的养护	271
十、承台基础大体积混凝土施工常见事故与对策	273
第五章 排架法施工技术	275
第一节 排架法类型	275
第二节 排架结构	275
一、满堂木结构实例	275
二、钢结构排架实例	276
第三节 排架法预留拱度考虑	277
一、预留拱度的关键因素	277
二、预留拱度的工程实例之一——拱桥的预留拱度	277
三、预留拱度的工程实例之二——主墩现浇段的预留拱度	278
第四节 卸荷	278
第五节 逐孔施工的连续梁桥	279
第六节 移动式排架代替挂篮施工技术	280
一、原设计方案简介	280
二、结合实际情况后的修改方案	281
第六章 顶推法施工技术	283
第一节 顶推法施工	283
一、预应力钢筋混凝土连续梁顶推安装	283
二、预应力钢筋混凝土连续梁顶推实例	289
三、顶推法在斜拉桥中的应用	293
第二节 伸臂法、钓鱼法及浮运法	298
一、伸臂法架梁	298
二、钓鱼法架梁	298
三、浮运法架梁	299
第七章 平面转体法施工技术	301

第一节 定义和种类	301
第二节 桥体(上部结构)预制	301
第三节 有平衡重的平转体施工	302
一、脱架	302
二、转动	304
三、转盘封固	309
四、调高合拢	309
第四节 无平衡重的平转体施工	309
一、锚固体系	310
二、转动体系	311
三、位控体系	312
四、无平衡重转体施工工艺	312
第五节 工程实例	313
一、斜拉桥	313
二、混凝土 T 形刚构桥	315
三、连续梁和连续梁拱组合桥	316
四、连续 T 形刚构桥	317
五、斜腿刚构桥	318
六、刚架拱桥	318
七、钢管混凝土拱桥	320
八、巫山县龙门桥	321
九、涪陵乌江大桥	322
第八章 悬臂法施工技术	325
第一节 挂篮类型及其结构	325
一、挂篮类型	325
二、挂篮结构	328
三、挂篮制作、拼装、卸除及运用	331
第二节 挂篮悬臂现浇施工技术	332
一、挂篮悬臂现浇施工工艺	332
二、工程实例	334
第三节 挂篮(或悬臂吊机)悬臂拼装施工技术	369
一、挂篮(或悬臂吊机)悬臂拼装施工工艺	369
二、工程实例	371
第四节 挂篮悬臂混合法施工技术	383
一、问题的提出	383
二、挂篮悬臂混合法施工技术	384
三、工程实例	384
第五节 桥面吊机与安全平台配合的施工技术	392
一、临时固结措施	392
二、0 号段施工	393

三、桥面吊机拼装,安全操作平台安放	393
四、悬臂施工	393
五、合拢段施工	394
六、临时固结解除	394
七、工程实例	395
第六节 悬臂施工临时固结技术	415
一、斜拉桥施工中的临时固结技术	415
二、连续梁桥施工中的临时固结技术	421
三、几点说明	423
第七节 梁合拢段施工技术	425
一、超静定的连续梁、连续 T 形刚构桥合拢段施工技术	425
二、静定的 T 形刚构及悬臂梁合拢段施工技术——吊梁吊装技术	432
三、超静定的跨中铰合拢段施工技术	441
第九章 大型设备吊装法	442
第一节 悬索吊(施工索道)	442
一、悬索吊组成	442
二、悬索吊的应用	442
第二节 汽车吊及履带吊	445
第三节 几种进口架桥机的施工技术	449
一、进口 150t 梁式桥架桥机施工技术	449
二、1600t 上行式节段梁拼装架桥机施工技术	456
三、500t 下行式架桥机施工技术	473
第四节 各种类型的桥面吊机	484
第五节 龙门式吊机及塔吊	486
第六节 大型浮吊	486
第十章 塔的施工技术	490
第一节 模板施工	490
一、大型钢模	490
二、滑动模板	490
三、液压整体提升模板	498
第二节 钢筋施工	502
一、钢筋连接的形式	502
二、变形钢筋套筒挤压连接技术的应用	504
三、锥螺纹钢筋连接技术在工程中的应用	506
第三节 混凝土施工	507
一、概述	507
二、泵送混凝土的材料	508
三、制备工艺和质量控制	510
四、施工工艺	511
第四节 桥塔施工实例	512

一、工程概况	512
二、主桥桥塔斜爬模的施工	513
三、主桥桥塔上、下横梁施工	518
四、主桥塔施工的垂直运输机械设置与安装	522
五、桥塔泵送高强、早强商品混凝土施工	525
第十一章 索的施工技术	534
第一节 梁的预应力索施工技术	534
一、预应力索材料及加工	534
二、预应力索施工机具(后张法)	537
三、梁的预应力索施工工艺	556
四、工程质量及验收标准	560
第二节 斜拉桥斜拉索的施工技术	561
一、制索	561
二、运索	568
三、穿索(索安装)	568
四、张拉及调索	572
第三节 悬索桥的悬索施工技术	572
一、悬索(主缆)的施工技术	572
二、竖向索施工技术	580
第十二章 桥梁施工控制技术	582
第一节 概述	582
一、概念	582
二、桥梁施工控制方法	583
三、影响桥梁施工控制的因素	584
四、施工控制是个系统工程	585
第二节 梁式桥的施工控制技术	588
一、连续梁桥顶推施工控制	588
二、连续梁、连续 T 构桥悬臂施工控制	593
第三节 拱桥施工控制技术	600
一、施工控制系统	600
二、拱桥的施工控制目标、内容及方法	603
三、工程实例	606
第四节 斜拉桥施工控制技术	631
一、概述	631
二、施工控制	632
三、在控制文件基础上实施控制与调整	635
四、工程实例	637
第五节 悬索桥施工控制技术	649
一、悬索桥施工控制系统	650
二、实施	653

三、监测	654
四、施工控制(调试系统)	654
五、工程实例	657
参考文献	663

第一章 概 述

第一节 桥梁施工的发展概况

桥是跨越河流、湖泊、海洋及一切障碍物的空中通道。在国家基础设施建设发展一日千里的今天,桥梁建设已与国民经济的发展紧密相连,牢不可分了。我国是一个历史悠久的文明古国,历代劳动人民充分发挥了聪明与智慧,创造了不少桥梁施工的光辉业绩。利用当时最普通的资源——石材与木材,建造了许多有名的桥梁。

如我国历史上最早记载的钜桥,建于商代,自周代以迄秦汉,我国多造石柱、木梁桥。现存清代重修的甘肃文县阴平桥为单孔木伸臂桥,桥跨达 60 余米,桥上建有桥屋。广西三江侗族自治县程阳永济桥,是一座 4 孔 5 墩的木伸臂桥屋,全长 644m,见图 1-1。

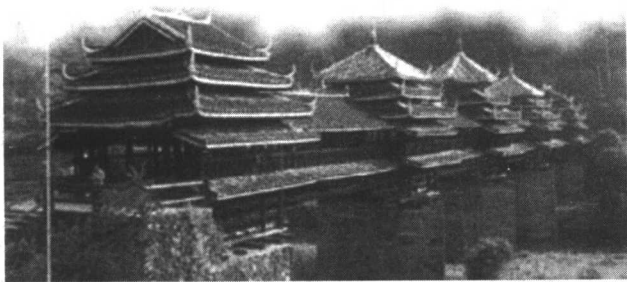


图 1-1 广西三江侗族自治县程阳永济桥

宋代建造为数众多的石墩、石梁桥,200 多年间仅泉州一地,见于古籍桥梁就有 110 座,其中名桥 10 座,如平安桥(见图 1-2),有 362 孔,桥长五里(2223m),故又名五里桥;又如泉州万安桥,俗称洛阳桥。福建漳州东桥的石梁巨大,该桥建于宋,有 15 孔,其中最大石梁长 23.7m、宽 1.7m、高 1.9m,重达 2000kN。

石桥中的石拱桥历史悠久,其中最早为建于隋代的赵州安济桥(见图 1-3),又称赵州桥。该桥净跨 37.2m,矢高 7.23m,上狭下宽,总宽 9m,主拱圈等厚为 1.03m,主拱圈上有护拱石,两侧各开两个净跨分别为 3.8m 和 2.85m 的小拱。其它还有北京宛平卢沟桥、南方的薄拱枫桥、浙江杭州的拱宸桥、江苏苏州的宝带桥等。现代建成的如德安桥(3 孔 34m 的片石拱,全长 132.4m),湖南省黄虎港桥,洛阳处于龙门石窟的跨径为 60 + 90 + 60 (m)的石拱桥,以及云南省跨南盘江的跨径为 112.5m 的



图 1-2 平安桥(又名五里桥)

空腹式石拱桥,以及目前世界上最大跨度的主跨 120m 的鸟巢河石拱桥,见图1-4。

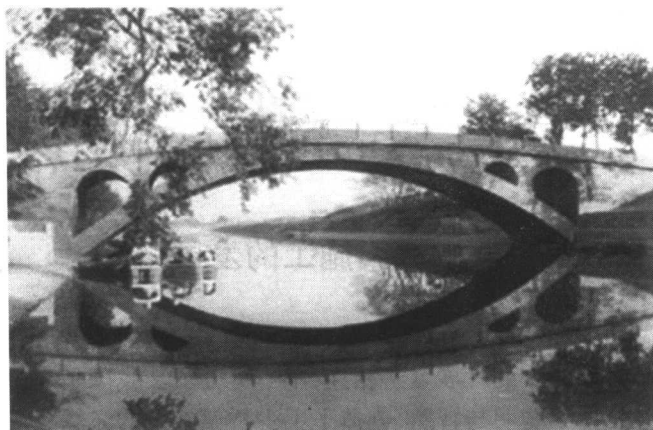


图 1-3 赵州桥

随着建筑材料的革新,混凝土与钢筋混凝土得到了应用,桥梁建造又上了新的台阶,开始用钢筋混凝土建造中、小跨径的简支梁桥及拱桥。像广西壮族自治区的南宁邕江桥(1964



图 1-4 鸟巢河石拱桥(主跨 120m)

年),主跨 55m,系中国最早按闭口薄壁构件理论设计的一座箱形薄壁悬臂梁桥。又如九孔跨径 60m 的赣州上承式拱桥(东河大桥),三道工字型预制肋拱,预制立柱,预制人行道梁和车行道板,均为钢筋混凝土构件,见图 1-5。

预应力技术的开发,为大跨径桥梁的建造创造了条件。从跨径为 220m 的预应力刚构桥到 600m 以上的斜拉桥,均应用了预应力技术。

近几年钢桥的建造也日渐增多,由于采用高强度的材料,匀质性好,易于加工,因而构件轻、运输架设方便,为大跨度桥梁理想材料。目前,世界桥梁结构体系中,大跨度桥梁大多为钢桥。例如世界上最大跨径的悬索桥—明石桥(日本),最大跨径的钢斜拉桥—多多罗桥(日本),最大跨径的拱桥—上海卢浦大桥等均为钢桥。在钢梁的基础上,又出现了钢与混凝土结合的

叠合梁桥,如上海的南浦大桥、杨浦大桥,福州闽江上的青州大桥等。多年来,尤其是改革开放以来我国桥梁的施工业绩,使我国桥梁施工水平跨入了世界前列。

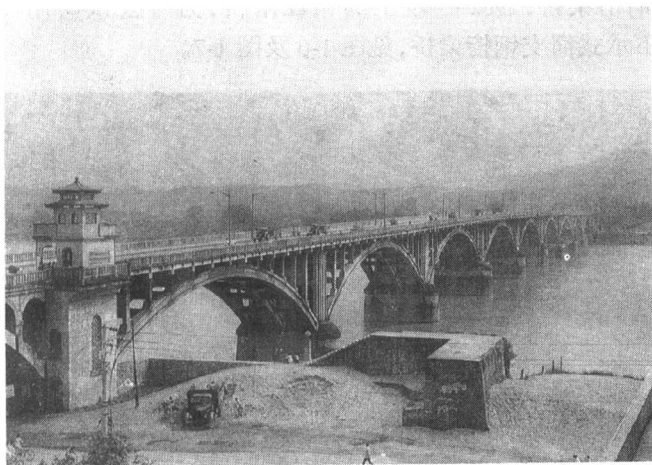


图 1-5 赣州东河大桥

第二节 各类桥梁结构及其受力特点

桥梁结构按其上部结构形式可划分为梁式桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥。

一、梁式桥

桥的上部结构由梁组成的称为梁式桥,通常在垂直荷载作用下只产生垂直支座反力。梁式桥构造简单、施工方便、工期短、造价低,且维修容易,除特大跨度桥梁外,是设计中优先考虑的结构体系,应用甚广。如上海深水港辅助工程芦洋大桥(即现在施工的东海大桥)大桥方案比较时,27.5km的远海桥梁首选方案为梁式组合桥,该方案由 124 跨 30m T 型简支梁,444 跨 50m T 或箱型简支梁和三座主跨 120m 的三跨连续梁及一座主跨 200m 的连续 T 型刚构梁组成。现在方案已确定为梁式桥和斜拉桥组合形式。

梁式桥又可分为简支梁桥、连续梁桥、悬臂梁桥、T 型刚构带挂孔型式桥、连续 T 型刚构桥。

(一) 简支梁桥

梁式桥上部结构分跨简支于桥墩(台)上的称为简支梁桥。该桥型梁端座落在固定铰座和活动支座上。

简支梁桥对外是静定结构,垂直荷载作用下最大弯矩在跨中,支座处为零,一般适用于中小跨径,地基不均匀沉降对梁内力无影响,若一跨破坏,对邻跨无影响,它可以预先分段制造,分跨架设,该类桥整体性较差,材料利用率不高,并有较多伸缩缝,影响车辆运营平稳。目前世界上最大跨径的预应力混凝土简支梁桥是 1977 年建成的奥地利阿尔姆桥,跨径为 76m。

我国后张法预应力简支梁板桥普遍应用跨径达 22m, T 梁 50m, 箱梁 50m, 多用于立交桥、高架桥、大跨径斜拉桥、悬索桥或拱桥的引桥。例如上海中山北路交通路立交桥 20m 板梁段、35m T 梁段及跨越铁路的 46.6m 的 T 梁段;上海南浦大桥、杨浦大桥引桥段箱型梁段,箱梁重每榀近 300t;开封黄河桥中 77 孔跨径 50m 的 T 梁段,普兰店(沈大公路)海湾桥主桥 16 孔的

50m 鱼腹式简支梁段以及 1985 年在浙江飞云江建成跨径 62m 的简支梁桥等。

钢桥在繁华城市中,如过马路的简支钢箱梁;铁路桥中,如我国解放前自行设计的杭州钱塘江大桥中的简支钢桁梁桥;1962 年竣工的赣江南桥,为一公铁两用简支钢桁架桥;主跨 61.44m 的浪江桥为下承式简支钢桁梁桥,见图 1-6 及图 1-7。



图 1-6 中山北路交通简支梁桥

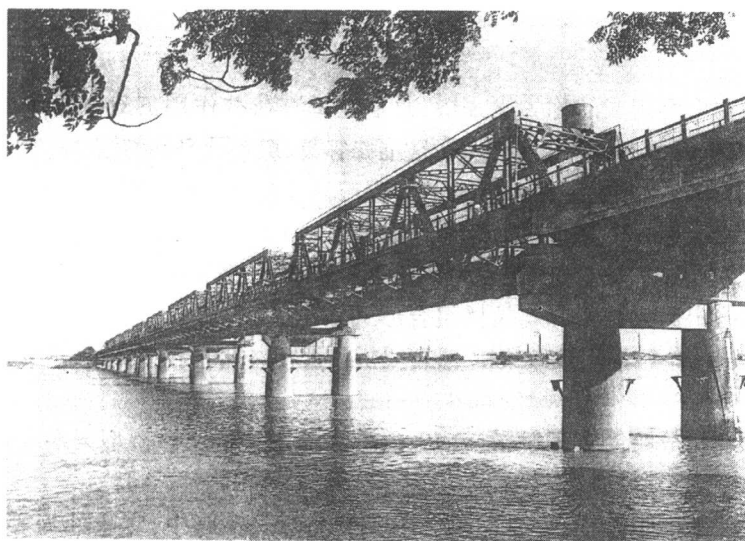


图 1-7 赣江南桥钢桁简支梁桥

(二)连续梁桥

即梁搁置在若干跨的桥墩支座上面连成一体,在中间支座上连续通过的桥梁。在垂直荷载作用下,梁身在跨中承受正弯矩,在中间支座处承受负弯矩。当跨度较大、使用荷载亦较大时,采用连续梁桥可比简支梁桥节省较多材料。连续梁桥整体性强,刚度也较大,当一跨受到损坏时,邻跨可发挥作用,对修复加固有利。连续梁桥对外是超静定结构,对基础沉降要求严

格,严重时可导致梁断裂,甚至破坏。

V形墩或Y形墩预应力混凝土连续梁桥,可以优化造型,削减支座弯矩,降低梁的建筑高度,在城市高架桥中应用很多。

国外预应力钢筋混凝土连续梁桥有 1986 年建成的澳大利亚布里斯班桥(Gateway),主跨已达 260m,为三跨连续梁桥;日本 1976 年竣工的滨名大桥(五跨连续梁桥),主跨 240m 等。我国最早采用的三跨变截面薄壁连续梁桥为 1960 年建成的济宁跃进桥,跨径为 $37.1 + 53.0 + 37.1(\text{m})$ 。之后建成了像主跨 70m 的苏州狮山大桥、主跨 80m 的富阳五跨连续梁桥、主跨 111m 的沙洋汉江桥、主跨 90m 的顺德容奇桥、跨径为 $59 + 7 \times 90 + 59(\text{m})$ 9 孔预应力混凝土连续梁的哈尔滨松花江公路桥(1985 年九月竣工),以及主跨 120m 的常德沅水桥、主跨 110m 的江门外海桥、主跨 125m 的乐天溪桥、主跨 154m 的六库怒江桥和南京长江第二大桥北汉桥,北汉桥采用预应力混凝土连续梁,其跨度已达 165m,见图 1-8、图 1-9。

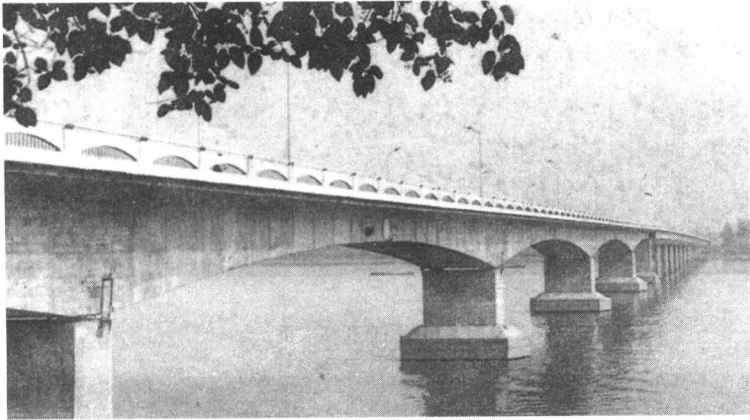


图 1-8 主跨 80m 的 5 跨连续梁富阳桥

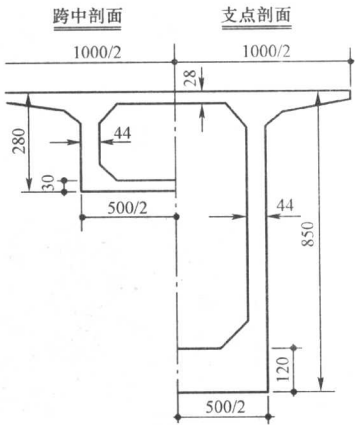
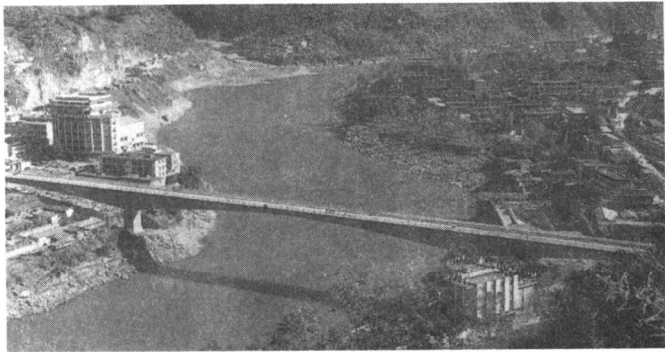


图 1-9 主跨 154m 的六库怒江桥

钢连续梁桥有 1974 年巴西里约热内卢 Costaesliva 桥,主跨 300m,为多跨连续箱梁;南斯拉夫贝尔格莱德 Sava 桥,主跨 261m;原西德科隆 Zoo 桥,主跨 259m;贝尔格莱德另一座 Gazelle 桥,主跨 250m 等。

我国 50 年代建成的武汉长江大桥,正桥为 3 联(3 孔为一联)9 孔跨度各为 128m 的钢桁梁

连续梁桥;60年代的南京长江大桥,正桥 10 孔由一孔 128m 的简支钢桁桥,3 联(3 孔为一联)9 孔跨度为 160m 的连续钢桁梁组成;还有像主跨 176m 的宜宾金沙江大桥连续钢桁梁桥,枝城长江大桥、正桥 9 孔由 1 联 $4 \times 160\text{m}$ 带下劲弦杆的平行弦菱形桁梁桥,北镇黄河公路桥,主桥为 $4 \times 112\text{m}$ 三角形连续钢桁桥等,见图 1-10、图 1-11。我国九江长江大桥(1992 年)主跨达 216m,系以柔拱加劲的连续钢桁桥,见图 1-12。

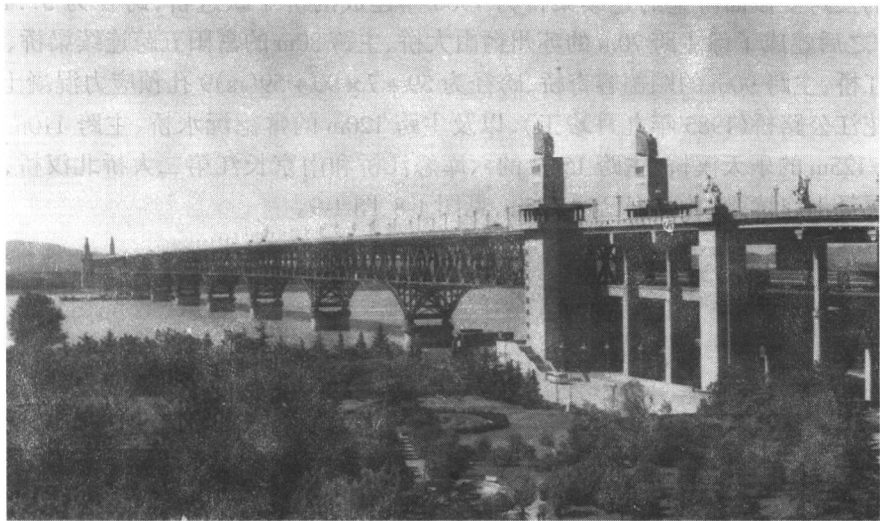


图 1-10 南京长江大桥



图 1-11 北镇黄河公路桥

(三)悬臂梁桥

悬臂梁桥是带有悬臂部分的简支梁桥,其特点是悬臂部分受力时产生负弯矩,并可减少简支部分正弯矩。悬臂梁有简支单悬臂和简支双悬臂两种形式。悬臂梁对外是静定结构,跨越能力比简支梁大,对基础沉降适应性强,世界上一般特大跨度的钢桁梁几乎都采用悬臂梁,像