

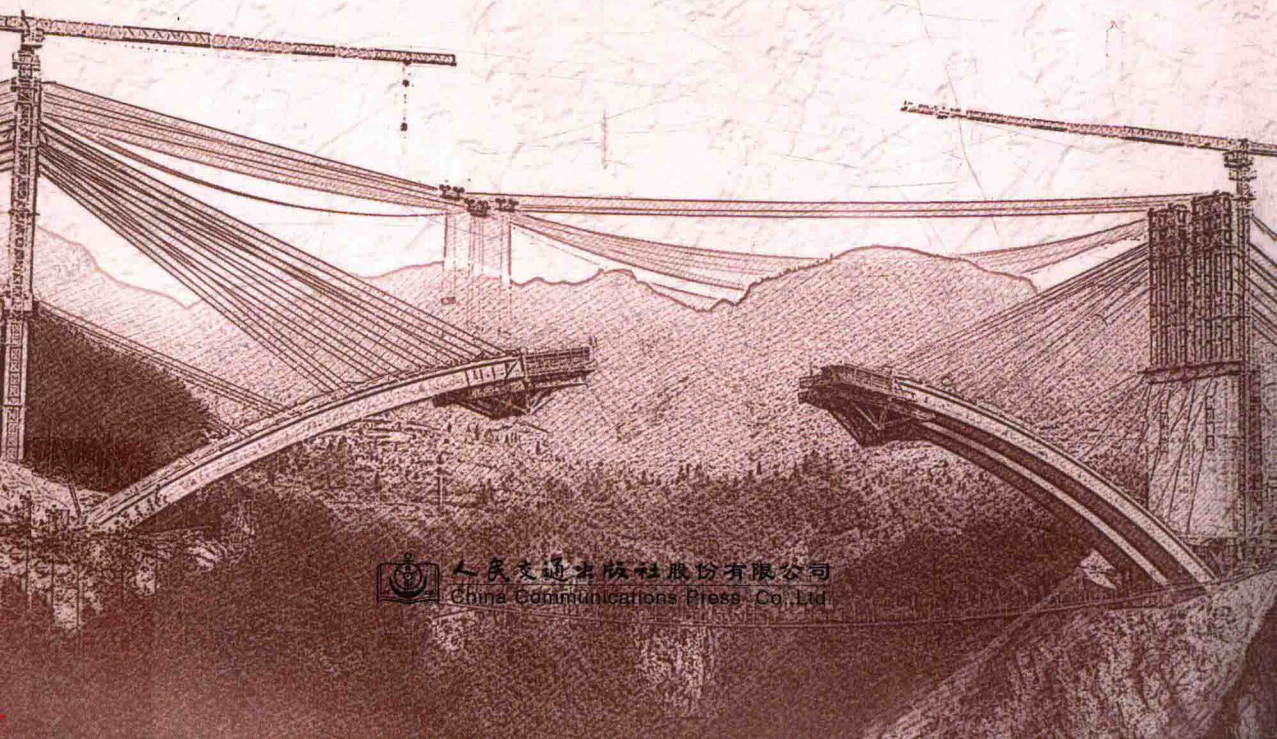
| 贵州省交通建设系列科技专著 |

悬臂浇筑混凝土拱桥 设计与施工技术

DESIGN AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF
CONCRETE ARCH BRIDGE WITH CANTILEVER METHOD

贵州省交通运输厅 组织编写

杨 健 周水兴 韩洪举 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

贵州省交通建设系列科技专著

悬臂浇筑混凝土拱桥 设计与施工技术

贵州省交通运输厅 组织编写
杨 健 周水兴 韩洪举 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为“贵州省交通建设系列科技专著”中的一本。全书共分5章,较为全面地介绍了钢筋混凝土拱桥悬臂浇筑法施工的发展历史、主拱圈构造设计方法、挂篮构造类型以及主拱圈悬臂浇筑阶段截面应力与线形的控制方法,并给出了国内外几座采用悬臂浇筑法施工的混凝土拱桥实例。

本书可供从事公路桥梁设计和施工人员参考借鉴,也可供高等院校相关专业教师和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

悬臂浇筑混凝土拱桥设计与施工技术 / 杨健, 周水兴, 韩洪举著; 贵州省交通运输厅组织编写. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015. 11

(贵州省交通建设系列科技专著)

ISBN 978-7-114-12574-4

I. ①悬… II. ①杨… ②周… ③韩… ④贵… III. ①公路桥—钢管混凝土拱桥—桥梁施工—贵州省 IV. ①U448.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 255383 号

贵州省交通建设系列科技专著

书 名: 悬臂浇筑混凝土拱桥设计与施工技术

著 者: 杨 健 周水兴 韩洪举

责任编辑: 周 宇 韩 帅

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 10.75

字 数: 248 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2016 年 2 月 第 2 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12574-4

定 价: 40.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

贵州省交通建设系列科技专著

编审委员会

主 任：王秉清 陈志刚

副 主 任：罗 强 潘 海

委 员：康厚荣 熊 文 龙平江 刘 彤 赵 伟

冯 伟 任 仁 杨贵平 张 胤 徐仕江

章友竞 刘金坤 许湘华 张 林 梅世龙

粟周瑜 丁志勇 李黔刚 母进伟 何志军

龙万学 邓卫东 杨建国 李华国 胡江碧

吴春颖 王丽铮 彭运动 郭忠印 彭元诚

刘学增 吴立坚 马旭东

总 主 编：罗 强

副总主编：康厚荣

总序

Preface

古往今来,独特的地形地貌赋予贵州重峦叠嶂山高谷深的隽秀之美,但山阻水隔也桎梏着贵州经济社会发展的步伐。打破交通运输瓶颈,建设内捷外畅的现代综合交通运输体系,与全国同步迈向小康,一直是贵州人的夙愿。

改革开放特别是进入“十二五”以来,党中央、国务院及交通运输部等国家部委高度重视贵州经济社会发展。2012年年初,国务院出台支持贵州发展的国发2号文件,将贵州省经济社会发展的战略规划上升到国家层面。贵州省委、省政府立足当前、着眼长远,提出坚持把交通作为优先发展的重大战略,举全省之力加快交通基础设施建设。2012年以来,贵州省先后启动了高速公路建设、水运建设三年会战,普通国省干线公路建设攻坚,“四在农家·美丽乡村”小康路行动计划,“多彩贵州·最美高速”和“多彩贵州·平安高速”创建等一系列行动,志在“十二五”末,通过交通大建设一举打破大山的束缚,畅通经济发展的交通网络。

广大交通建设者紧紧抓住发展的历史机遇,凝心聚智,在广袤的黔山秀水之间,用光阴和汗水构筑贵州面向未来的交通新格局。“十二五”期间,全省交通基础设施建设将完成投资4500亿元,新建成高速公路3600公里,高速公路通车总里程将突破5100公里,全省88个县(市、区)将全部通高速公路。乌江、赤水河建成四级航道700公里,改写了贵州无高等级航道的历史。建成构皮滩水电站翻坝枢纽工程,实现乌江航道全线通航。曾经的黔道天堑正变成康庄大道,一张以高速公路为骨架、国省干线公路为支撑、县乡公路为脉络、小康路为基础的四级公路路网正在形成,“扬帆赴江海”指日可待。

围绕贵州交通发展中出现的科技需求,贵州省交通运输厅组织开展了一批省部级重大科研项目攻关,重点突破一批关键、共性技术难题,在支撑工程建设、引领行业创新发展方面成效显著。在山区复杂条件下大型桥梁建设技术方面,形成了千米级悬索桥、高墩大跨刚构桥和钢管混凝土拱桥等设计施工成套技术,有力支撑了坝陵河大桥、清水河大桥、鸭池河大桥、赫章大桥、木莲大桥等一批世界级桥梁建设工程,实现了我省桥梁建设技术的大跨越;针对西部山区复杂地质地形条件,从勘察设计、建设施工、养护管理和生态环保等方面系统开展基础研究和

技术开发,形成一批山区高速公路修筑技术,其成果居国内先进水平,有力支撑了复杂山区环境下高速公路项目建设;在山区航道整治、船型标准、通航枢纽建设等方面取得的创新性成果,促进了贵州航运工程的发展;完成了“贵州乌蒙山区毕都高速公路安全保障科技示范工程”等交通运输部科技示范项目,有力推动了交通科技成果推广应用;以“互联网+便捷交通”推进智慧交通建设,率先开展智能交通云的建设和应用。交通运输科技成果连续3年获得贵州省科技进步和成果推广一等奖。

为展现在公路、水路和交通安全、信息化建设等方面取得的技术成就,促进技术交流,加大推广应用,贵州省交通运输厅组织编写了“贵州省交通建设系列科技专著”。这套科技专著的出版,对传承科技创新文化,提升交通科技水平,深入实施科技兴省战略,促进贵州经济社会快速发展,意义重大、影响深远。

交通成就千秋梦,东西南北贯黔中。编撰这套系列科技专著,付出的是艰辛、凝结的是智慧、反映的是成绩,折射了交通改变地理劣势、奋斗推动跨越的创新精神,存史价值较高,是一笔当代贵州的可贵财富。



2015年10月

前言

Foreword

施工方法是制约拱桥朝更大跨径发展的重要因素之一。正如著名桥梁学家弗·莱西奈氏所言,“100m和1 000m的拱桥在设计方面难度相差不大,而施工方面的差别就非常悬殊”。

我国是建造钢筋混凝土拱桥最多的国家之一,1997年采用劲性骨架法建成的重庆万州长江大桥仍保持混凝土拱桥世界第一跨度的记录。主拱圈施工方法主要有无支架缆索吊装法、劲性骨架法、支架现浇法和转体施工法。1966年和1968年,克罗地亚首次采用塔架斜拉扣挂悬臂浇筑法建成了主跨246m的Sibenik桥和主跨193m的Pag桥。2012年,美国采用同样施工方法建造了主跨为323m的胡佛水坝大桥。2008年,四川省首次将悬臂浇筑法应用到主跨150m的白沙沟1号大桥施工中,效果良好。随后,贵州木蓬大桥、四川攀枝花新密地大桥也采用悬臂浇筑法施工,至今,国内已经建成5座,其中,四川攀枝花鲢鱼大桥的跨度最大,为200m。

本书共分5章。第1章介绍了国内外混凝土拱桥的发展概况和塔架斜拉扣挂悬臂浇筑法施工技术特点。第2章介绍了混凝土拱桥主拱圈构造设计、主拱圈顶底板与腹板最大宽厚比限值、拱上建筑构造等。第3章介绍了塔架斜拉扣挂悬臂浇筑法施工挂篮构造、扣锚系统设计以及主拱圈施工。第4章介绍了采用悬臂浇筑法施工主拱圈应力与线形控制方法。第5章介绍了国内外几座采用悬臂浇筑法施工的工程实例。

本书第1章由杨健、周水兴编写,第2章由周水兴、杨健、李银斌编写,第3章由韩洪举、李银斌编写,第4章由杨健、张万晓编写,第5章由周水兴、韩洪举编写。全书由贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司杨健、重庆交通大学周水兴负责统稿。

在本书写作过程中,得到了贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司桥梁所、攀枝花公路桥梁工程有限公司吴邦林总工程师的大力支持,提供了许多宝贵资料,在此表示由衷感谢。重庆交通大学研究生周倩、刘辉、郑鹏、陈啟禅、张兰也为本书做出了贡献。此外,本书引用了国内外诸多学者的文献,一并表示感谢。

最后要感谢贵州省交通运输厅的大力支持,有幸将本书列入“贵州省交通建设系列科技专著”。

由于作者水平有限,加上写作时间短,书中不足之处,敬请各位读者提出宝贵意见。

作 者

2015 年 8 月

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 国内外混凝土拱桥发展概况	1
1.2 混凝土拱桥悬臂施工方法	12
1.3 未来混凝土拱桥的发展趋势	21
第 2 章 主拱圈与拱上建筑构造	25
2.1 总体布置	25
2.2 主拱圈构造	26
2.3 矢跨比与拱轴线	43
2.4 横隔板布置	52
2.5 拱上建筑布置	52
第 3 章 主拱圈悬臂浇筑施工	62
3.1 挂篮构造	62
3.2 扣挂系统	79
3.3 拱圈混凝土悬臂浇筑施工	88
3.4 悬臂浇筑施工影响因素	94
第 4 章 悬臂浇筑施工拱圈控制技术	107
4.1 挂篮悬臂浇筑施工主拱圈受力与变形特点	107
4.2 线形控制法	107
4.3 应力控制法	108
4.4 改进的应力平衡法	112
4.5 基于 ANSYS 的扣索力计算	117
4.6 施工监控内容	123
第 5 章 工程实例	126
5.1 贵州木蓬大桥	126

5.2 四川白沙沟 1 号大桥 143

5.3 克罗地亚 Maslenica 大桥 148

5.4 日本富士川大桥 152

参考文献..... 156

索引..... 158

第1章

绪 论

1.1 国内外混凝土拱桥发展概况

拱桥,在竖向荷载作用下,拱脚支承处会产生水平推力,使拱圈截面以受压为主。理论上,当压力线与拱轴线重合时,拱圈中只有轴向力而无弯矩和剪力,可以充分利用抗压性能强的石料、混凝土、钢筋混凝土和钢来建造。因此,拱桥在公路、铁路、城市道路甚至在渡水桥中均有广泛应用。

拱桥是山区桥梁理想的桥型之一。在地势陡峭的山区峡谷、河流中建造拱桥,不仅避免了连续刚构桥、悬索桥和斜拉桥中高墩、高塔的出现,而且拱桥气势磅礴、雄伟壮观,能与周围环境相协调。此外,拱桥还具有抗风性能好、技术经济指标合理等优点。

混凝土拱桥承载力大、养护费用低,国内外先后建造了多座举世闻名的混凝土拱桥,如克罗地亚主跨为 390m 的 KRK 桥和我国主跨为 420m 的重庆万州长江大桥等。混凝土拱桥的发展与施工方法密切相关。在混凝土拱桥建设的 100 多年历史中,相继诞生了支架施工法、无支架施工法、缆索吊装法、转体施工法、劲性骨架法、悬臂施工法、组合施工法等。施工方法的多样性不仅为混凝土拱桥增添了魅力,更促进了世界各国桥梁工程师对混凝土拱桥的研究与探索。尽管如此,施工方法仍然是制约拱桥朝更大跨径发展的重要因素。正如著名桥梁学家弗·莱西奈氏所言,“100m 和 1 000m 拱桥在设计方面难度相差不大,而施工方面的差别就非常悬殊”。

1.1.1 国外混凝土拱桥发展概况

1875 年,法国建造了世界上第一座钢筋混凝土拱桥(Tiliere de Chazelet Marquis),虽然跨径只有 13.8m,但开创了混凝土在拱桥中的应用历史。1900 年法国在 Vienne 河上建成了主跨跨径为 50m、两边跨为 40m 的 Camillede Hogues 桥。1911 年意大利罗马建造了跨径为 100m、矢跨比为 1/10 的 Risorgimento 桥。1930 年,由瑞士著名结构工程师 Robert Maillart 设计建造的 Salginatobel 桥(图 1.1),是一座跨径为 90m,矢高为 13m 的镰刀形上承式三铰拱桥,该桥以造价低廉、结构优美而中选,1999 年被英国《Bridge Design & Engineering》杂志评为 20 世纪最美丽的桥梁之一。

20 世纪 30~50 年代,国外采用木拱架或钢拱架建造了多座大跨径钢筋混凝土拱桥。1930 年法国著名工程师弗莱西奈(Eugene Freyssinet)主持建造了世界上第一座变截面钢筋混凝土抛物线箱形肋拱桥,为 $3\times 180\text{m}$ 的 Plougastel 公铁两用桥,主拱圈混凝土采用系杆式

木拱架浇筑,拱顶用千斤顶调整拱圈应力。1934 年在瑞典斯德哥尔摩建成的跨径为 178m 的 Traneberg 桥,也为公铁两用箱形拱桥。1942 年西班牙在 Esla 建成了一座跨径为 210m 的双线铁路钢筋混凝土拱桥,该桥原设计用系杆式木拱架施工,后因战争中断,重新施工时改用劲性骨架法,是世界上第二座采用劲性骨架法施工的混凝土拱桥,第一座为 1928 年德国建成的跨径为 130m 的 Echelsback 桥。1943 年瑞典建成了跨径为 264m,矢高为 39.5m 的 Sando 箱形截面拱肋公路桥,该桥作为混凝土拱桥最大跨径的记录保持了 20 年。1952 年乌克兰在第聂伯河上建造了跨径为 228m 的公铁两用钢筋混凝土拱桥,采用常备式钢拱架分环浇筑,拱顶用千斤顶调整应力。1963 年葡萄牙建成了跨径为 270m 的 Arrabida 桥,采用在拱形钢拱架上浇筑拱圈混凝土。1964 年在巴西和巴拉圭的 Parana 河上同样用钢拱架法建造了跨径为 290m 的 Amizade 桥。同年,澳大利亚建成了跨径为 304.8m 的 Gladesville 桥,采用拱架施工法,为改善主拱圈应力,在四分点处设千斤顶脱架。



图 1.1 Salginatobel 桥

采用支架法建造混凝土拱桥,费用高、工期长、木材损耗大,尤其是在陡峭的山区或水流湍急的河流上施工,支架搭设难度大,支架稳定性问题突出。20 世纪 60 年代,随着预应力技术的诞生,拓展了混凝土拱桥的施工方法。1966 年克罗地亚首先采用塔架斜拉扣挂悬臂浇筑法建成了跨径为 246m 的 Sibenik 桥,1968 年又以相同的方法和相同的挂篮建造了跨径为 193m 的 Pag 桥。1980 年,克罗地亚又采用悬臂桁架安装法建成了主跨为 390m、边跨为 244m 的 Krk 桥(图 1.2),其最大跨径记录直到 1997 年才被我国重庆万州长江大桥所打破,目前仍是国外最大跨径的钢筋混凝土拱桥。

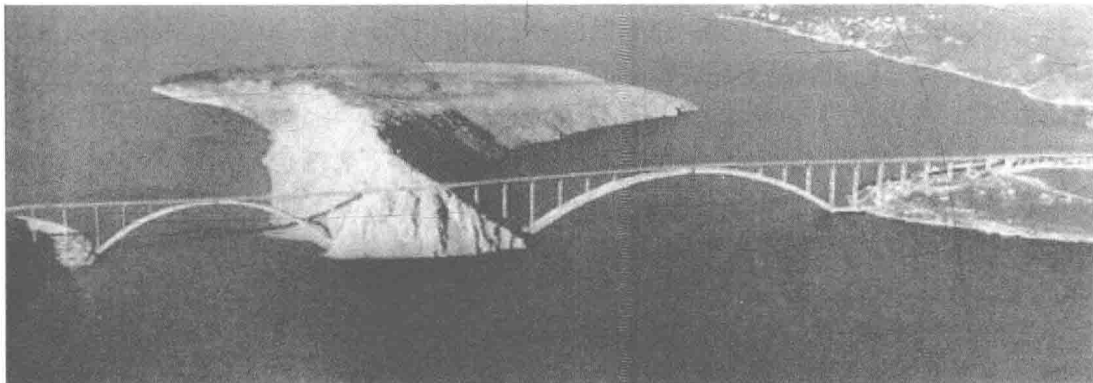


图 1.2 克罗地亚 KRK 大桥

悬臂浇筑法可以使主拱圈一次成形,无须分环分段浇筑,工艺简单,与国内常用的无支架缆索吊装施工法相比,避免了节段纵向干连接对二期恒载影响比较敏感、拱肋间横向铰缝连接比较脆弱的问题,结构整体性好,施工中的横向稳定性和抗风性能高,并且可减少箱形截面腹板厚度,自重轻、材料省、耐久性好。因此,国外自 20 世纪 80 年代后建造的混凝土拱桥,大多采用悬臂浇筑法施工,如:1983 年南非建成了跨径为 272m 的 Bloukrans 桥,为非洲最大跨径的混凝土拱桥。1991 年法国建成了跨径为 261m 的 Chateaubriand 桥。2000 年德国建成了跨径为 252m 的 Wilde Gera 桥(图 1.3)。2002 年葡萄牙建成了跨径为 280m 的 Infante D. Henrique 桥(图 1.4),成为仅次于克罗地亚 KRK 桥的第二大跨径的混凝土拱桥。2004 年西班牙建成了跨径为 255m 的 Los Tilos 桥(图 1.5)。2005 年瑞典和挪威联合在两国交界的爱德海湾(Ide Fjord)新建了跨径为 247m 的 Svinesund 桥(图 1.6)。2000 年和 2005 年日本相继建成了跨径为 260m 的高松大桥和 265m 的富士川桥,后者为目前日本跨度最大的混凝土拱桥。2010 年,美国建成了主跨为 323m 的 Hoover Dam 大桥,该桥不仅为美国第一大跨径混凝土拱桥,也是迄今为止世界上采用悬臂浇筑法施工最大的混凝土拱桥。表 1.1 列出了国外建造的跨径在 200m 以上的混凝土拱桥。

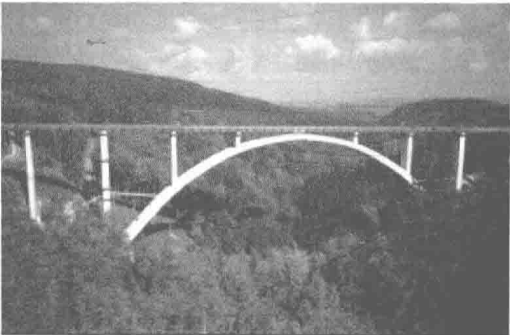


图 1.3 Wilde Gera 桥



图 1.4 Infante D. Henrique 桥

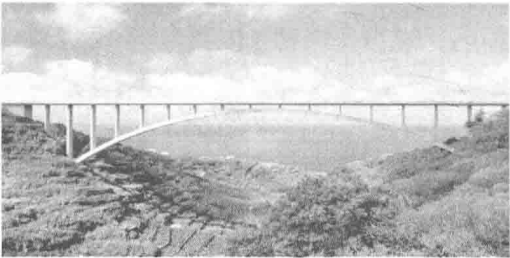


图 1.5 Los Tilos 桥

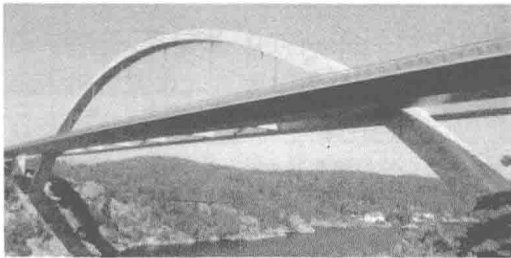


图 1.6 Svinesund 桥

国外建造的大跨径混凝土拱桥一览表

表 1.1

序号	桥 名	建成年份	跨径(m)	矢高(m)	主拱圈构造	施工方法
1	克罗地亚 Krk I 桥	1980	390	60	单箱三室	悬臂桁架法
2	美国 Hoover Dam 桥	2010	323	84.4	2 个单箱单室	悬臂浇筑法
3	澳大利亚 Gladesville 桥	1964	304.8	40.8	4 个单箱单室	拱架施工法
4	巴西 Rio Parana 桥	1965	290	53	单箱三室	拱架现浇法

续上表

序号	桥 名	建成年份	跨径(m)	矢高(m)	主拱圈构造	施工方法
5	葡萄牙 Henrique 桥	2002	280	25	实体矩形截面	悬臂桁架法
6	南非 Bloukrans 桥	1983	272	62	单箱三室	悬臂浇筑法
7	葡萄牙 Arrabida 桥	1964	270	51.8	单箱三室	拱架现浇法
8	日本富士川桥	2005	265	40.5	单箱三室	悬臂浇筑法
9	瑞典 Sando 桥	1943	264	39.5	单箱三室	满堂支架法
10	法国 Chateaubriand 桥	1991	261	34.8	单箱双室	悬臂浇筑法
11	日本天翔大桥	2000	260	32.5	单箱单室	组合施工法
12	西班牙 Los Tilos 桥	2004	255	46.2	单箱单室	悬臂桁架法
13	德国 Wilde Gera 桥	2000	252	40.5	单箱双室	悬臂浇筑法
14	挪威-瑞典 Svinesund 桥	2005	247	30.0	单箱单室	悬臂浇筑法
15	克罗地亚 Sibenik 桥	1963	246	30.8	单箱三室	悬臂浇筑法
16	克罗地亚 KRK II 桥	1980	244	47	单箱三室	悬臂安装法
17	日本别府明矾桥	1989	235	34 7	单箱三室	组合施工法
18	德国 Kyll Valley 桥	1999	223	56	实体矩形截面	悬臂浇筑法
19	日本头岛大桥	2003	218	27.25	单箱单室	组合施工法
20	西班牙 Esla 桥	1940	210	62.4	单箱三室	劲性骨架法
21	美国 Galena Creek 桥	2011	210	42.5	单箱单室	拱架施工法
22	克罗地亚 Kaka 河桥	2005	204	52	单箱双室	悬臂浇筑法
23	日本宇佐川大桥	1982	204	38.667(大) 20.677(小)	单箱三室	组合施工法
24	克罗地亚 Maslenica 桥	1997	200	65	单箱双室	悬臂浇筑法
25	克罗地亚 Pag 桥	1968	193.2	27.6	单箱三室	悬臂浇筑法

1.1.2 国内混凝土拱桥发展概况

我国混凝土拱桥源于新中国成立前的铁路拱桥,不仅数量少,而且跨度也小,最大跨径仅为 40m。新中国成立后,为恢复和发展经济,建造了大量的钢筋混凝土拱桥。20 世纪 60 年代中至 70 年代,江苏无锡建桥职工首创了双曲拱桥,这种拱桥结构充分发挥了预制装配的优点,不用拱架施工,用钢量少,起重设备少,吊装重量轻,施工进度快,采取“化整为零、集零为整”的施工方法,适应了无支架吊装施工且无须大型起吊机具的要求,因而得到飞速发展。据 1979 年末的统计,仅公路上建设的双曲拱桥总共有 4 000 多座,总长约 50 万 m,最大跨径为 1968 年建成的跨径为 150m 的河南篙县前河大桥,1972 年湖南建成的长沙湘江大桥,全桥长

1 532m,由主桥和引桥组成,是我国规模最大的双曲拱桥之一,至今仍使用良好。双曲拱桥的主要缺点是拱圈化整为零造成的结构整体性差,使用过程中拱波在荷载作用下产生的水平推力,导致拱波自身及钢筋混凝土横系梁的开裂。目前这种桥型已不再建造。20 世纪 70 年代末期至 80 年代,随着国内钢材数量的增加和施工机械化水平的提高,逐渐采用了无支架缆索吊装法、钢拱架法建造钢筋混凝土拱桥,期间先后建成了多座大跨径钢筋混凝土箱形拱桥。如,1979 年四川省采用无支架缆索吊装法建成的跨径为 150m 的四川宜宾马鸣溪大桥,1982 年采用拱架法建成的跨径为 170m 的四川攀枝花宝鼎大桥,1989 年采用转体法建成的跨径为 200m 的重庆涪陵乌江大桥。80 年代中期至 90 年代起,劲性骨架法和悬臂桁架法施工工艺开始在国内得到运用。1990 年建成的四川宜宾小南门金沙江大桥,是一座主跨跨径为 240m、以型钢作为半劲性骨架的中承式钢筋混凝土拱桥,结束了国内混凝土拱桥跨度只能在 200m 内建造的历史。但半型钢骨架刚度低,在拱箱外包混凝土浇筑过程中,尤其是在浇筑顶板混凝土时容易出现局部压杆失稳的问题。同年,国内第一座钢管混凝土拱桥——四川旺苍大桥建成,为钢管混凝土在混凝土拱桥中的应用探索出一条新途径。1996 年广西用钢管混凝土作为劲性骨架建成了主跨跨径为 312m 的中承式钢筋混凝土拱桥——邕宁邕江大桥,该桥建设中首次采用了预应力钢绞线作为扣索来扣挂钢管拱肋,用少量斜拉扣索调整截面应力的方法实现了拱圈外包混凝土由拱脚至拱顶的连续浇筑。1997 年建成的主跨跨径为 420m 的重庆万州长江大桥,则是当今世界上已建成跨度最大的钢筋混凝土拱桥(图 1.7),正在建设中的沪昆高铁北盘江大桥,也为钢管混凝土劲性骨架钢筋混凝土拱桥,但主拱跨径比万州长江大桥还长 25m,达 445m。在此期间,贵州省结合山区峡谷的地形特点,首创了一种拱、梁组合的桁式拱桥。这种桥型的主要结构特点是:上弦在墩(台)顶与拱顶之间的适当位置断开,形成一个断缝,下弦仍保持连续。这样,断点至墩(台)顶可视为悬臂桁架梁,支承着中部的桁架拱,形成拱、梁组合体系。由于上弦断点的存在,减少了结构内部超静定次数,从而大幅降低结构体系的温度内力。通过优化断点位置来调整结构受力,使各根杆件受力更趋于均匀、合理。

桁式组合拱桥采用悬臂桁架法施工,由拱脚两岸逐件、逐段悬臂拼装,直至跨中合龙。采用钢人字桅杆吊机作为吊装工具,实现了小机具建大桥的能力。正因如此,桁式组合拱桥在山区跨越 100~300m 的深谷时有其独特的优势。自该桥型诞生以后的 20 多年来,国内先后建造了 41 座桁式组合拱桥,1995 年贵州省建成了跨度 330m 的江界河大桥(图 1.8)。



图 1.7 重庆万州长江大桥



图 1.8 贵州江界河大桥

国内采用悬臂浇筑法施工混凝土拱桥始于 21 世纪初。2008 年,四川省首次将悬臂浇筑法工艺应用到混凝土拱桥主拱圈施工中,建成了净跨 150m 的白沙沟 1 号大桥,之后,四川省又相继建造了攀枝花新密地大桥(2013 年)和攀枝花鲢鱼大桥(2015 年)。2013 年和 2015 年,贵州省也采用该施工方法建造了木蓬大桥和马蹄河大桥两座大跨径混凝土拱桥。

从表 1.2 可以看出,国内混凝土拱桥在进入 20 世纪 90 年代后发展迅速,建成了一批有世界影响力的特大跨混凝土拱桥,在设计理论、计算方法、施工及控制技术等方面也得到显著提高。

国内建造的大跨径混凝土拱桥一览表 表 1.2

序号	桥 名	建成年份	跨径(m)	矢高(m)	主拱圈构造	施工方法
1	沪昆高铁北盘江大桥	在建	445	100.0	单箱三室	劲性骨架法
2	重庆万州长江大桥	1997	420	84.0	单箱三室	劲性骨架法
3	云桂铁路南盘江大桥	在建	416	99.0	单箱三室	劲性骨架法
4	四川广元嘉陵江大桥	2012	350	83.3	单箱双室	劲性骨架法
5	云南澜沧江大桥	在建	342	82.416	单箱单室	劲性骨架法
6	贵州江界河大桥	1995	330	55	单箱三室	悬臂安装法
7	广西邕宁邕江大桥	1996	312	52	单箱单室	劲性骨架法
8	湖南猛洞河大桥	2013	252.1	45.847	单箱三室	劲性骨架法
9	四川宜宾小南门大桥	1990	240	48	单箱单室	型钢骨架法
10	河南许沟大桥	2001	220	40	单箱三室	支架现浇法
11	福建宁德天池大桥	2008	205	51.23	单箱三室	缆索吊装法
12	重庆涪陵乌江大桥	1988	200	50.0	单箱三室	转体施工法
13	四川攀枝花鲢鱼大桥	2015	200	28.57	单箱双室	悬臂浇筑法
14	浙江淳安威坪大桥	2001	198	33	单箱单室	劲性骨架法
15	贵州六圭河大桥	2004	195.0	39.39	单箱三室	缆索吊装法
16	四川攀枝花新密地大桥	2013	182	30.33	单箱双室	悬臂浇筑法
17	广西磨东大桥	1999	180	30	单箱单室	缆索吊装法
18	贵州海马大桥	2015	180	32.72	单箱三室	缆索吊装法
19	贵州马蹄河大桥	2015	180	32	单箱双室	悬臂浇筑法
20	云南化皮冲大桥	1999	180	32.72	单箱单室	劲性骨架法

1.1.3 贵州大跨径拱桥发展概况

贵州省位于云贵高原东侧的大梯级状斜坡上,全省境内地势西高东低,地貌崎岖,全省海拔高度在 1 000~2 900m,平均海拔高度 1 107m。

贵州省属新构造运动间隙上升地区,长期受河流切割、侵蚀和溶蚀,全省大部分地区被切割成“V”或“U”状的高深峡谷,地势十分险峻,两岸多为陡崖悬壁,山体破碎,山地面积约占全省面积的 89%。地貌类型极其复杂,岩溶分布广泛,除少数为侵蚀、剥蚀地貌外,其余 70%以上均为碳酸质岩发育的岩溶地貌。全省河流分属长江、珠江两大流域,主要河流发育于贵州西

部,全省河流长大于 10km 或流域面积大于 20km² 的河流有 984 条,其中较大的有乌江、清水江、北盘江、南盘江、都柳江和红水河。河流河谷落差大,贵州境内乌江段天然落差 2 000 余米,赤水河段落差 500 余米,苗岭以南,南盘江段落差超过 400m,北盘江段落差超过 1 000m,都柳江段落差超过 500m。

贵州省是全国唯一没有平原的省份,多数桥位水路不通航,建设条件差,两岸陆地没有施工便道或修建困难,材料及构件运输难度大。早期受到施工工艺、设备和材料的限制,道路选线按三、四级公路的选线方法,以越岭线再接沿溪线,以中小跨径桥梁跨越沟谷,以石拱桥(采用木拱架方式施工)为主要结构形式,跨径多小于 100m(大多在 60m 以下)。

20 世纪 80 年代初,贵州省针对峡谷地形特点独创了桁式组合拱桥。1981 年主持设计与施工了世界上第一座预应力混凝土桁式组合拱桥,为主跨 75m 的长岩大桥(图 1.9),随后又建造了主跨为 150m 的剑河大桥(图 1.10),1995 年,建成了主跨 330m、桥高 263m 的峡谷拱桥——江界河大桥,是迄今为止世界上第一大跨预应力混凝土桁式拱桥,在国内乃至世界上的混凝土拱式桥梁中占有重要的地位。然而,随着运营年限的增长,逐渐暴露出桁式组合拱桥在使用性能上的一些弱点和问题,主要表现在:主拱圈变形大,桥梁上、下弦杆与腹杆连接的节点部位、双竖杆及短竖杆、空实腹段交界处、实腹段底板及行车道板底面等均存在有不同程度的开裂,个别主拱圈双竖杆下弦截面出现了裂缝、局部甚至出现了断裂,桥梁振动效应较大,伸缩缝工作状态差,温度效应对桥梁构件影响大。



图 1.9 长岩大桥

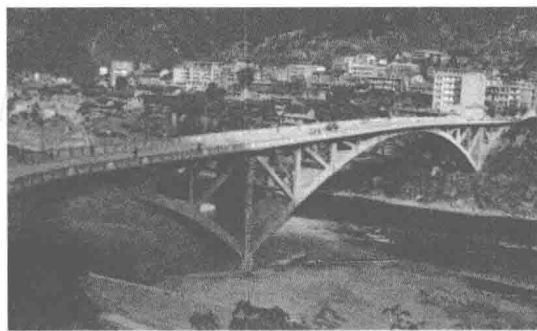


图 1.10 剑河大桥

除了桁式组合拱桥外,贵州省建造钢筋混凝土拱桥的施工方法主要有钢拱架法、转体施工法、缆索吊装法和悬臂浇筑法。表 1.3 所示为采用这些施工技术建造的跨径在 100m 以上的大跨径混凝土拱桥。

贵州省建造的部分混凝土拱桥

表 1.3

序号	桥 名	跨径(m)	桥 型	施工工艺	设计荷载等级	竣工时间
1	江界河大桥	330	桁式组合拱	悬臂安装	汽车—超 20 级	1995
2	六圭河大桥	195	箱形拱	缆索吊装	汽车—超 20 级	2004
3	马蹄河大桥	180	箱形拱	悬臂浇筑	公路—I 级	2015
4	海马大桥	180	箱形拱	缆索吊装	公路—II 级	2015
5	木蓬大桥	165	箱形拱	悬臂浇筑	公路—I 级	2012