

中国公路学会桥梁和结构工程分会

2004 年全国桥梁学术会议

LUNWENJI 论文集



人民交通出版社
China Communications Press



中国公路学会桥梁和结构工程分会

2004 年全国桥梁学术会议

论 文 集

中国公路学会桥梁和结构工程分会
云南省公路学会
云南省公路规划勘察设计院
中国云南路桥建设集团股份有限公司
云南交通咨询有限公司
元磨高速公路建设指挥部
昆石高速公路建设指挥部

人民交通出版社



内 容 提 要

本书为中国公路学会桥梁和结构工程分会 2004 年全国桥梁学术会议论文集。该论文集共分四个部分,由 176 篇论文汇集而成。包括桥梁规划与设计、施工与控制技术、结构分析与试验研究和桥梁检测与加固等内容。

该论文集可供国内外桥梁专业人员工作和学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国公路学会桥梁和结构工程分会 2004 年全国桥梁学术会议论文集 / 中国公路学会桥梁和结构工程分会等编.
北京: 人民交通出版社, 2004.10

ISBN 7-114-05285-5

I. 中… II. 中… III. 桥梁工程—学术会议—文集 IV.U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 101230 号

中国公路学会桥梁和结构工程分会

书 名: 2004 年全国桥梁学术会议论文集

责任编辑: 张征宇

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.ccpres.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: 北京明十三陵印刷厂

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 64.5

字 数: 2040 千

版 次: 2004 年 10 月第 1 版

印 次: 2004 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN7-114-05285-5

印 数: 0001—2500 册

定 价: 150.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

中国公路学会桥梁和结构工程分会

2004 年全国桥梁学术会议论文集

主 编:王永珩 吴忠彩 曾宪武
副 主 编:杨 延 王仁贵 郭俊礼 夏保祥
编 委:吴华金 张丛明 熊玉朝 侯宝贵 柏松平
 沈永林 赵光曾
责任编辑:张征宇

序

中国公路学会桥梁和结构工程分会与云南省公路学会、云南省公路规划勘察设计院、中国云南路桥建设集团股份有限公司、云南交通咨询有限公司、元磨高速公路建设指挥部、昆石高速公路建设指挥部等单位于2004年10月在昆明市联合举办全国桥梁学术会议,主要议题是“桥梁创新和可持续发展”。

近几年来,我国桥梁建设又有新的发展。悬索桥有主跨1490m的江苏润扬长江大桥即将建成;湖北阳逻长江桥主跨1280m、浙江舟山西堠门桥主跨1650m(居世界第二位)正在施工;主跨1280m的广州黄浦珠江大桥在设计中。斜拉桥有主跨648m的南京长江三桥、主跨1088m的江苏苏通长江大桥(居世界第一位)正在施工。拱桥有主跨550m的上海卢浦桥、主跨460m的重庆巫山长江桥(钢管混凝土拱)已建成。杭州湾跨海大桥,全长36km,正在施工。会同以前建成的桥梁如虎门桥、江阴长江大桥、南京长江二桥和万县长江大桥等辉煌成就,标志着我国桥梁建设技术进入世界先进行列。

21世纪我国公路建设高速发展,跨越大江河、海湾和深谷,需建多座桥梁。科学技术的进步,对桥梁建设技术有更高的要求。桥梁创新与可持续发展,是桥梁工程建设的重要任务。桥梁创新的目标应能达到规划合理、科技含量高、质量优良、造价经济、耐久性好、使用寿命长和景观优美。因此,要尽量应用新技术、新结构、新材料、新工艺,解决好工程的质量和效益问题。例如悬索桥锚碇,体积庞大,工程艰巨,造价占总造价20%以上,国际上致力研究使其轻型,减少工程量,如丹麦大贝尔特桥。我国锚碇基础施工采用地下连续墙、冻结排桩等新方法,效果较好。

我国公路桥梁,以预应力混凝土桥居多数,约占总数的90%以上。经检查发现预应力混凝土桥梁存在的裂缝、剥蚀、钢材锈蚀等缺陷,直接影响桥梁安全、耐久性。因此,我们对预应力混凝土桥的设计、施工与养护应特别重视,采取新的措施,如采用高性能混凝土,体外预应力束,环氧涂层钢筋,增加混凝土保护层厚度,适当增加钢筋用量等,以提高其耐久性。

20世纪我国公路桥梁总数已达21.88万座,长约1031万延米。这些桥梁年久使用,超载严重,逐渐损坏,承载能力不够,亟待维修加固,但投资甚大。我们应在维修加固实践中,取得经验,力求创新。

论文集精选了176篇论文汇编而成。其中包括桥梁规划、设计、施工、养护、监控和科学研究各方面,内容丰富,有较高参考和阅读价值。我诚挚地向广大桥梁工作人员和科技工作者推荐,并以此为序。

戴 竞

2004年8月

目 录

I 规划与设计

云南省公路桥梁的发展与展望	吴忠彩	赵光曾	柏松平(1)
苏通大桥总体设计	张喜刚	袁 洪	吴国民(13)
苏通大桥主桥上部结构设计	裴岷山	张喜刚	袁 洪 徐利平(31)
苏通大桥主桥结构体系研究	徐利平	张喜刚	裴岷山 袁 洪(40)
苏通大桥主桥索塔设计	戴 捷	张喜刚	吴国民(47)
苏通大桥主桥基础设计	徐 麟	袁 洪	张喜刚 高 衡(54)
苏通大桥副桥连续刚构桥设计	孔海霞	张喜刚	袁 洪 徐 麟 李 正 高 衡(62)
苏通大桥引桥设计	金卫兵	吴国民	张喜刚 彭德运(70)
润扬长江公路大桥主桥技术创新成果	吴胜东	吉 林	阮 静 朱白文(76)
高强高性能混凝土桥梁的现状与发展			戴 竞(81)
希腊 Rion-Antirion 桥工程的设计与施工		董学武	周世忠(85)
南京长江第三大桥钢塔柱设计与加工	崔 冰	孟凡超	冯良平 董 萌(92)
南京三桥钢塔柱钢混结合段设计与制作	郭志明	冯良平	崔 冰 李军平(103)
杭州湾跨海大桥结构耐久性设计			王仁贵(108)
武汉阳逻长江大桥总体设计		徐国平	邓 海(116)
武汉阳逻长江大桥南锚碇圆形地下连续墙设计	徐国平	刘明虎	刘化图(123)
武汉阳逻长江大桥锚碇设计	刘明虎	徐国平	刘化图(129)
润扬长江大桥悬索桥中央扣设计		单宏伟	韩大章(138)
润扬长江大桥悬索桥钢箱梁设计中 U 肋对接形式的选择	韩大章	吕立人	单宏伟(142)
云南西双版纳大桥设计		王承格	王利生(146)
云南红河大桥设计	吕敬之	周军生	宋桂峰 吕嵩山 柏松平 王承格 和 昆(150)
云南红河大桥主墩设计	吕敬之	周军生	廖锦翔 吕嵩山 柏松平 王承格 和 昆(156)
湖南桥梁技术发展的回顾与展望		胡建华	廖建宏 向建军(163)
安庆长江公路大桥设计与施工			胡明义(173)
湖北巴东长江公路大桥总体设计	王成启(执笔)	姜友生	詹建辉(181)
湖北巴东长江公路大桥主梁构造与斜拉索受力分析	王成启	陈杏枝	詹建辉(188)
辽宁营口辽河公路大桥设计	彭志苗	刘士林	冯云成 张延龙(193)
江苏五河口斜拉桥设计	彭志苗	刘士林	王似舜 冯云成(199)
苏州市石湖大桥双索面无背索斜拉桥设计	赵 灵	洪建辉	方亚非 沈 洋 章曾焕(203)
浙江湖州南太湖大桥主桥设计	丁建明	何初生	费 梁 张洪俊 张恒平(210)
合肥野生动物园观景桥主桥结构静力分析			胡 可(215)
苏州索山大桥主桥设计		郭 忆	郑本辉(221)
湖北龙潭河特大桥设计		罗玉科	冯鹏程(225)
山西仁义河大桥总体设计		汪 晶	张延龙 吴永昌(231)
广西河口大桥主桥设计特点		叶亚平	宋桂峰(236)
重庆菜园坝长江大桥刚构、钢桁梁、系杆拱组合结构设计			刘孝辉(240)

重庆朝天门长江大桥桥位与桥型论证·····	王福敏(执笔)	王丰华	邹云	李明(245)
郑州黄河公路二桥设计·····				史福明(252)
小半径钢—混组合连续梁桥设计·····	雷晓刚	徐君		杨建国(255)
波形钢腹板 PC 组合箱梁人行桥结构设计·····	张恒平	万水	卢炳灿	丁建明
部分斜拉桥发展综述·····			陈宝春	彭桂瀚(263)
斜拉桥索—塔锚固结构形式的比较研究·····			周岑	许春荣(273)
斜拉桥与其他桥型组合体系桥·····				楼庄鸿(279)
山区公路悬臂式梁桥设计施工方案·····				沈永林(285)
高等级公路中的上穿水网处置·····		张棋	李丰	(289)
预应力混凝土盖梁的设计与计算·····	季国富	张焱		沈永林(294)
墙式嵌岩基础的设计计算·····	周军生	楼庄鸿	宋桂峰	李强
对预应力混凝土连续刚构几个问题的认识·····			杨征宇	李靖森(299)
聚酯纤维材料在内蒙古黄河大桥桥面沥青混凝土铺装中的应用·····	罗乙	刘建军		楼庄鸿(303)
广东珠江三角洲环形高速公路九江立交方案比选·····	田杨明			王骁(306)
道路立交工程中连续弯箱梁的设计与施工·····				杨宇新(310)
对公路混凝土桥梁裂缝的认识·····				王智远(314)
混凝土桥梁裂缝成因分析与对策·····				彭宝华(320)
桥梁耐久性设计的防水措施和原则·····				谢树荣(325)
20 世纪悬索桥的历史和美学·····	吴海军			陈艾荣(333)
公路美学理论在桥梁设计中景观美学价值的探讨·····				金增洪(337)
组合形式的拱桥在景观设计中的应用·····	谢旭	陈海滨		杨碧聪(358)
				陈衡治(362)

II 施工与控制技术

苏通长江大桥北主墩钻孔平台方案设计·····	张鸿	张永涛	(369)
苏通长江大桥 C ₁ 标主墩平台钢管桩施沉技术探讨·····	刘毅	段振益	(380)
东海大桥主通航孔主墩基础施工·····	黄融	周冬生	毕桂平
南京长江第三大桥南塔深水基础施工方案研究·····	高振峰	徐巍	(384)
南京长江三桥北主墩首节钢套箱施工方式比较与选择·····	戚兆臣	沈伟	(390)
桥梁水上提升法安装新技术·····	汪成龙		(396)
武汉阳逻长江公路大桥超深、超厚圆形基坑地下连续墙施工技术·····	苏洪雯	夏卫	(404)
武汉阳逻长江公路大桥南锚碇超深基坑开挖施工技术·····	何超然	刘军民	王磊
超深自凝灰浆挡水帷幕施工技术·····	刘杰	温欣岚	方刚
特大型明挖超深基坑的封水工程·····	吴浩	陈学兵	孙彬彬
新型悬索桥跨缆吊机研制·····	冯兆祥	钟建驰	(437)
悬索桥主缆索股成圈与成盘工艺的对比研究·····	周畅		(441)
润扬长江大桥悬索桥主缆除湿系统简介·····	单继安	董浩泉	陆剑峰
润扬长江大桥北汉斜拉桥无粘结钢绞线斜拉索构造及施工·····	李海	杜洪池	薛光雄
云南祥临澜沧江大桥施工关键工艺·····	孙立军		(457)
悬索桥复合式隧道锚碇施工技术·····	周泳涛	李毅谦	周军生
浙江金华义乌江大桥的施工控制·····	周洲		(464)
湖南株洲建宁大桥主桥合理成桥状态的确定·····	王崇旭	王嗣江	胡兆同
斜拉桥索塔锚固区环向预应力束张拉控制研究·····	张哲	檀永刚	杜涛
斜拉桥塔端张拉索倾角修正及拉索主要参数实用计算方法·····	李传习	左新黛	杨美良
曲塔柱桥塔的内力调控·····	唐红元	孟少平	刘钊
			(489)
			华新
			(493)
	朱玉	向彤	(498)

独塔斜拉桥主梁施工误差分析	舒 江	(504)
灰色理论预测监控混凝土斜拉桥悬臂灌注施工	霍永生	雷俊卿(509)
平行钢丝拉索使用寿命的研究	陆剑峰 单继安 王 晨	邹跃建(513)
巫山长江大桥缆索吊装系统承重主索的选用		张佐安(518)
巫山长江大桥拱肋钢管内混凝土施工技术		张佐安(523)
特大跨径钢管混凝土拱桥管内高性能混凝土施工关键技术	汪平云 肖乾定 王明琪	姚德波(529)
“空中翻身小竖转、多节段少扣索悬拼”缆索吊装施工技术—南宁永和		
邕江大桥拱肋吊装施工技术	周孝余 徐利军 黄 岗 杨 燕 李文琪	范文理(534)
南宁永和大桥主桥—钢管混凝土拱桥坐标监测	郭 科 董传文 李传习	谭立心(540)
钢管拱桥现场加工与现场预拼施工		黄 勇(545)
钢管混凝土拱桥上部施工的关键技术		仇成华(548)
预应力混凝土连续刚构桥施工监测研究	王永刚 韩国杰 李全怀	阴存欣(552)
灰色系统理论在预应力混凝土弯连续刚构桥施工控制中的应用	赵进锋	王 磊(557)
真空辅助压浆工艺在南京长江三桥的应用		孙立军(561)
后张法预应力混凝土梁的孔道压浆研究	徐向峰 叶见曙	钱培舒(565)
地下连续墙防水施工技术探讨	段壮志 金广谦	何 江(569)
143.5m 高墩液压翻模施工技术	张 志	王永祥(572)
大跨度高墩弯坡刚构的施工控制研究	石雪飞 范 伟	阮 欣(576)
温度对高大薄壁桥墩垂直度的影响分析	田维锋	周水兴(581)
超大型预制桥梁的平移技术探讨	马盈三 崔振中	庄山岗(584)
苏通长江公路大桥试桩工艺技术探讨	董 荧 肖文福	高纪兵 吴 巍(591)
大吨位桩桩端注浆机理探讨	龚维明 李昌馥	黄生根(599)
一种新型的柔性吸能防撞装置	陆宗林 王礼立 黄德进	张忠伟 陈国虞(605)
杭州湾跨海大桥海水拌制泥浆及其对钻孔桩耐久性		
影响研究	屠柳青 张国志 刘秉京 夏卫华	孙同兴(609)
近海地区“双掺”高性能混凝土桥耐久性的模拟		
试验研究	马希和 平树江 王立勇 朱晓文 周淑春	王军强(614)
预应力混凝土留孔用塑料波纹管应用中的若干问题和建议	周明华 黄跃平	葛宝翔(618)
浇注式沥青混凝土桥面铺装施工技术简介	李洪涛 黄 卫	吉 林(622)
信息化施工技术在桥梁基础工程中的应用		沈忠群(625)
国内特大型桥梁结构健康监测系统的现状与发展趋势		戚兆臣(629)
海上混凝土大桥设计和施工的关键问题		王武勤(633)
跨海桥梁防腐蚀需求	章曾煊 卢永成	张剑英(637)
海工混凝土耐久性研究	汪发红 徐长生 雷宇芳	张国志(645)
五里湖大桥钢板护筒式围堰设计与施工		蓝柳海(652)
内外护筒法在水中桩施工中的应用		刘仁旭(659)

III 结构分析与试验研究

体外预应力混凝土简支梁试验研究	李国平 沈 殷 吴忠彩 高一峰	沈永林(665)
体外预应力混凝土连续梁试验研究	李国平 杨 晔 陈少珍 夏保祥 马万权	高金荣(670)
云南山区非规则高架桥地震反应特性及减震措施	李建中	沈康鉴(676)
山区典型高架桥抗震设计方法	李建中	马万权(684)
波形钢腹板组合箱梁桥的结构与受力分析	徐君兰	顾安邦(688)
波形钢腹板 PC 组合箱梁的几何参数设计	高 原 顾安邦 徐君兰	胡旭辉(694)

连续折梁力学特征	沈永林	(700)
混凝土箱梁桥温度场和应力场研究	陈衡治 谢旭 张治成 叶贵如	徐兴(706)
箱梁剪力滞研究	郑海霞	阎贵平(713)
高墩大跨弯桥剪力滞特性分析	张立明 杨昀	徐贺文(718)
湖北龙潭河特大桥高墩纵梁局部应力分析	冯鹏程 吴游宇	罗玉科(724)
贵州六广河大桥高温合拢控制技术研究	谢方臣 黄盛	李泽生(728)
装配式连续弯桥横向分布计算的广义梁格法		庄凌云(736)
二次预应力新技术应用于超薄结构的试验研究	邓军 邵旭东	李立峰(742)
弯梁在独柱墩上预设支座偏心的分析研究	王楠	雷俊卿(747)
多室薄壁箱梁腹板剪力分配规律分析	苏继宏 周军生	陈炜(752)
公路预应力钢骨混凝土拉弯梁的极限承载力分析研究	李志胜 孙建渊	孟涛(757)
连续刚构桥预应力仿真分析系统 BridgeKF 的研究	杨昀 向学建	王磊(764)
连续刚构桥箱梁根部施工阶段底板开裂机理研究和对策措施	彭运动	孔庆凯(772)
斜拉桥拉索的减振措施		钱雪松(776)
结合梁斜拉桥的收缩徐变问题探讨	丰硕 项贻强	李广宇(782)
巴东长江公路大桥抗风性能分析	袁任重 王成启 岳磊	廖海黎(786)
大跨度斜拉桥混凝土索塔钢锚箱的计算方法研究	苏庆田 吴冲	曾明根(792)
斜拉索力学特性及精确定位计算方法		胡可(797)
大跨桥梁抖振内力理论分析方法	刘高 朱乐东	项海帆(802)
大跨桥梁抖振内力分析与应用	刘高 朱乐东	项海帆(809)
混凝土斜拉桥主梁施工期抗力的自相关性分析	张建仁	王文华(816)
自锚式悬索桥施工过程的几何非线性缆索计算	郑本辉	戴利民(820)
分段悬链线法在万州长江二桥成桥线形计算中的应用	李林 徐君兰	张永水(826)
柔性吊桥的图解算法	季国富 张焱	柏松平(830)
大跨度系杆拱桥的结构形式对动力特性及地震响应的影响探讨	李鹏 刘钊	丁文胜(836)
钢管混凝土拱桥的稳定性分析	项贻强	严圣友(841)
大跨度钢管混凝土拱桥混凝土灌注阶段的施工仿真分析	张治成 茅兆祥 崔笛	潘贻建(847)
郑州黄河钢管混凝土拱桥静态力学性能分析	孙征	陈淮(854)
东莞水道大桥拱肋吊装施工受力分析	郑怀颖 孙潮	陈宝春(858)
中、下承拱桥吊杆索力分析与检测	汪克来	王建伟(864)
中、下承式拱桥吊杆与斜拉桥斜拉索、悬索桥吊索的比较分析	王莲香	周水兴(868)
考虑材料几何双非线性影响的钢管混凝土拱桥极限强度计算方法	谢旭 陈衡治	李辉(872)
考虑橡胶支座弹性约束时墩顶横向位移计算	李健 张焱 杨俊毅	陈波(880)
滑坡、崩塌、岩堆对桥梁墩柱的横向影响分析	李铁洪	张黎红(886)
船桥正碰撞的非线性有限元仿真分析	叶贵如 茅兆祥 潘贻建	崔笛(894)
神经网络在桥涵桩基水平承载力计算中的应用	金永强	潘茂贵(900)
桥梁结构承载力评定方法应用研究	郭晓光 苟洁	(905)
外包 FRP 加固钢筋混凝土圆柱机理及受压承载力计算	崔毅	吴刚(910)
风险评估在桥梁工程中应用的综述与展望	阮欣 石雪飞	陈艾荣(916)
预应力混凝土桥梁的全寿命设计理念研究	黄侨 杨大伟	杨明(922)
桥面混凝土铺装层疲劳性能的研究	刘志华	张华新(925)
异形梁桥整体设计	陈轶鹏	季文玉(932)
高强混凝土中凝胶材料的水化分析模型	方桂芬 季文玉	安明喆(936)
桥梁安全养护的数字化	蔡健 陈建伟	朱春林(940)
徐水河大桥地震响应分析	王克海	林新元(943)

IV 桥梁检测与加固

预后决策分析用于优化混凝土桥梁检修规划	李连友	秦 权	李毅谦(949)
混凝土桥梁加固设计理论与工艺关键问题探讨	李毅谦	李文琪	韩国杰 李全怀(957)
桥梁健康监测与损伤识别	赵启林	龚小波	陈浩森(963)
桥梁结构检测分析技术研究	吕建鸣	陈 可	(969)
在用梁桥承载力可靠度评估	吕颖钊	宋一凡	贺拴海(977)
高强纤维钢筋混凝土加固梁的极限承载能力初步研究	苏权科	袁红茵	(984)
高性能橡胶混凝土在道路桥梁维修中的应用		周玉民	(988)
井冈山大桥体外索加固		万信华	(992)
某 T 形刚构桥的使用状态检测、病害分析及其加固		李全怀	(998)
双曲拱桥病害分析及加固措施	王克成	徐君兰	张永水 唐伯明(1005)
城镇双曲拱桥病害原因及加固方法	华建柱	邢士伟	冯泉钧(1008)
正交异性双向板桥加固设计	慕玉坤	牛 宏	张连峰 刘清春(1012)
钢桥面 SMA 铺装层损坏原因及维修探讨		林伍湖	(1014)

I 规划与设计

云南省公路桥梁的发展与展望

吴忠彩¹ 赵光曾¹ 柏松平²

(1. 云南省交通厅; 2. 云南省公路规划勘察设计院)

摘 要 本文结合云南的地理位置与地理特征,着重介绍了云南省公路桥梁的发展情况,同时结合材料技术发展和结构技术进步,对今后云南省的桥梁发展和有待突破的问题进行了预测和展望。

关键词 云南省 桥梁 回顾 发展 展望

桥梁建设是随着社会经济的发展和科学技术进步而发展的。作为民族文化的象征和国家交通及经济发展的重要标志的桥梁,记载着民族经济文化的发展史,记载着交通事业的发展史,同样也记载着建桥技术、材料技术和科技进步的历史,体现了勤劳人民的聪明才智。让我们一起来回顾云南省公路桥梁的发展历史,进而展望云南桥梁今后的发展方向。

1 云南地理概述

云南省地处祖国西南边陲,东接贵州、广西省,北部接四川省,西北接西藏,西接缅甸,南与老挝、越南毗邻;与邻国边境线长 4060km,总面积 39.4 万 km²,占全国土地面积 4.1%,居第 8 位;同时全国 55 个少数民族中,云南有 51 个,其中云南特有的少数民族多达 15 个。

云南是一个高原山区省份,青藏高原南延部分。全省海拔相差很大,最高点为滇藏交界的德钦县怒山山脉梅里雪山主峰卡格博峰,海拔 6740m;最低点在与越南交界的河口县境内南溪河与元江交汇处,海拔仅 76.4m。两地直线距离约 900km,高低相差 6663.6m。

云南地貌有五大特征:(1) 高原呈波涛状;(2) 高山峡谷相间;(3) 全省地势自西北向东南分三大阶梯递降;(4) 断陷盆地星罗棋布;(5) 山川湖泊纵横。

同时,境内有伊洛瓦底江、怒江、澜沧江、金沙江、红河和珠江六大水系。

由于全省山地面积占 94% 以上,境内横断山脉广布、江河纵横、山高谷深、坡陡流急、沟壑纷呈,工程地质、水文地质复杂,普遍地区地震裂度较高,加上支流众多汇集而成的六大水系深切切割而形成的险峻的峡谷、陡峭的山峰、狭窄的河床,这些客观实际,给我省公路桥梁建设带来了许多发展机遇,同时,也带来许多困难和技术难题。

千百年来,云南各族人民充分发挥了自己的聪明才智,克服了诸多不利的地形地质条件所带来的困难,竖起了一座座建设宏伟桥梁的里程碑。从古代的藤、竹、木、石桥,发展到现代的钢筋混凝土梁、拱桥及斜拉桥、吊桥、钢箱拱桥、连续梁桥、刚构桥等,在桥型、结构、跨度及材料等方面都有了较大的变化。尤其是最近十年,由于经济的飞速发展,国家加大基础设施建设以扩大内需带动经济发展,以及中央决定的西部大开发战略,通过我省广大领导、干部和工程技术人员辛勤努力,我省公路桥梁建设迎来了

国道主干线和桥梁建设的新阶段,是我省公路建设最快的时期。我省公路桥梁建设出现了空前繁荣,体现在桥梁数量剧增、桥梁结构创新和技术创新等方面。特别是建设在高等级公路上的弯、坡、斜、高桥,更以其跨深谷、越天堑的气势,显示出云南桥梁的壮观,桥址地势之奇险、墩台之雄伟,充分体现和形成了云南高原山区桥梁的特有风格。

2 回顾云南桥梁发展

2.1 古代桥梁(1840 年前)

云南古桥有梁桥、拱桥、链桥等几种桥型。

云南古代梁桥有竹桥、木桥、竹木桥、石梁等梁桥。竹木桥发展到石柱、石台桥,其中,沾益县跨牛栏江大石柱石台桥,为乾隆 56 年(1791 年)建造,现仍可供人马通行。木石建造的简支梁桥,发展到伸臂木梁桥(图 1)。今在腾冲县龙川江上还保留着 5 座伸臂木梁桥,其中,曲石乡野竹箐桥,长 30m,宽 3m,石砌桥台,上建台亭(图 4),桥身为长廊护盖,桥身用楸木建成。后来,又借鉴伸臂木梁桥原理,建造伸臂石梁桥,如大理州的观音堂桥(图 6)。

古代拱桥有廊桥式、亭拱式、尖拱式和双圆弧尖定(柿花顶)式等。据志籍记载,云南故石拱桥多建于明清,如今存禄丰星宿桥、广南县八宝桥等十余座桥梁。特别是建水县双龙桥(图 2),现国家将其列入大型古桥之一,在我国桥梁史上占有重要地位。



图 1 伸臂木梁桥—云龙县通京桥



图 2 我国大型古桥之一建水县双龙桥(17 孔桥)

由于峡谷陡峻、水流湍急,古代无法建造梁桥和拱桥,于是,以溜索为渡,以后又演进为悬桥。古代链桥以多股竹(藤)编成。今在独龙江、泚江及其支流上,仍架设有许多藤悬桥。到了明代,随着冶金技术的发展,在交通要道上的藤桥、竹桥就逐渐被铁链桥,如闻名遐尔的霁虹桥(图 3)、梓里桥等所代替。

2.2 近代桥梁(1840 年~1949 年)

清代末至民国初期,云南交通仍以驿道为主,新建、重建的桥梁繁多,同时在技艺上有较大提高,除石拱桥、悬臂木梁桥等桥型外,为跨越大沟谷,铁链悬桥得到采用和发展。直到 20 世纪 20 年代初期,公路的修建对桥梁载重、跨度等有了新的要求,桥型以石木结构桥梁为主。抗日战争时期,桥型及结构上有了大的发展和变化。除原有的石桥、木桥、铁链悬桥等外,又出现了钢索悬桥、军用钢架桥、钢桁架桥及采用废油管或汽车大梁架设的石台钢梁木面桥。

由于云南石料丰富,石拱桥列为云南最为多见的桥型之一。清代末期所新建的石拱桥中较著名的有禄丰城北跨罗茨河的丰裕桥,始建于明代;清光绪年间的宾川南薰桥等。在云南公路建设初期,石拱桥被大量应用于公路建设中。其构造及设计施工等方面,是在云南民间传统技艺的基础上,吸收欧美以及滇越

铁路修建等经验,形成了独特的构造形式及支砌工艺,同时因地制宜地应用石灰红土砂浆,提高了砌体强度。云南第一座公路石拱桥是安宁县附近的螳螂川桥,也是云南唯一的半椭圆形石拱桥,建于1931年;民国时期石拱桥最大跨径者为下关西洱河桥;最长者是宜良南盘江汇东桥;陆良县西桥孔跨为最多。

清代末期所建仍为石柱木梁或悬臂木梁桥,并于桥上建有廊阁。至民国时期,公路建设采用石台木桥面甚为普遍,以昆阳县海口螳螂川桥及罗平县云兴桥等为著。

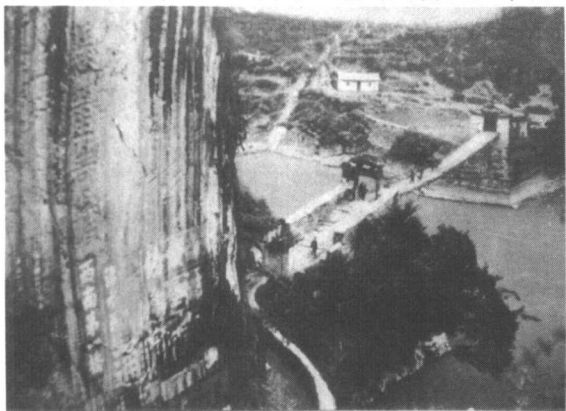


图3 我国最古、最宽、铁链最多的铁链桥(西南第一桥)—跨越澜沧江的霁虹桥

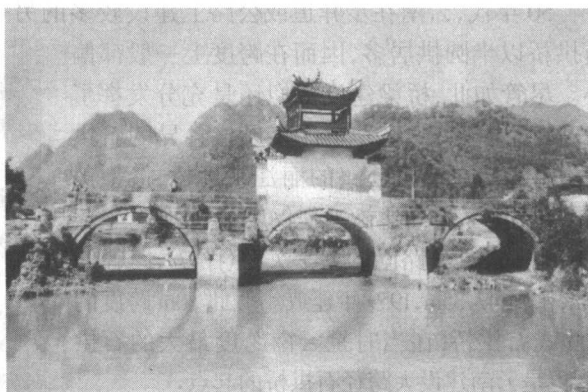


图4 西畴县—保兴桥

清代末期云南重修或新建的铁链悬桥仍为数不少,如梓里桥(图5),又名金龙桥,在永胜县境内,清光绪5年(1879年)建成,为云南现存最长、最宽的古铁链桥。云龙桥,又名砥柱桥,跨漾濞江,清光绪及宣统时曾先后重修。惠人桥,保山境内跨怒江,清道光19年至20年(1839年~1840年)建成,光绪11年(1885年)重修,以铁链根数最多而被载入史册。

1935建成怒江惠通桥,供人马通行,为云南第一座柔性钢索吊桥,1938年修建滇缅公路时改建为钢索柔性吊桥。同时修建了澜沧江功果柔性吊桥。1940年建成跨径135m的澜沧江昌淦桥,为我国第一座钢桁架加劲钢索吊桥。遭日本飞机炸毁后,后经修复为柔性钢索吊桥。1944年至1948年间又先后建成了景云桥、漾濞桥、龙江桥、南盘江桥及怒江继成桥等柔性吊桥。云南成为我国钢索吊桥最多的一个省份。

抗日战争末期,在滇缅公路及中印公路的抢险和修复中,广泛采用了军用钢桁架。如1945年在畹町河上建造了云南第一座贝雷架钢桁桥,同年建成了双排双层贝雷架钢桥——槟榔河猴桥等。

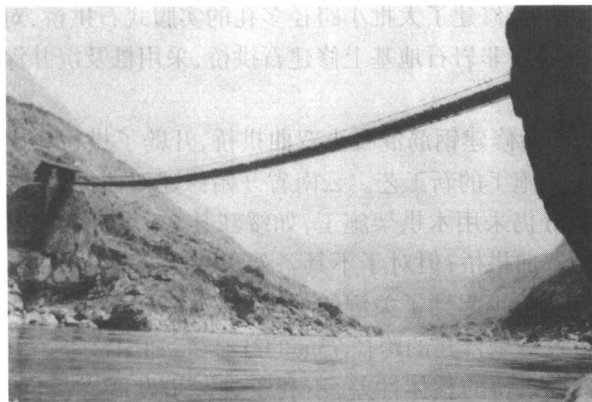


图5 云南现存铁链最多、最长、最宽的古铁链桥—永胜县梓里桥



图6 伸臂石梁桥—大理观音堂桥

2.3 20世纪50年代桥梁

20世纪50年代,云南所建公路桥梁桥型单一,多为石台木面桥、石拱桥、悬索桥等。50年代初,新中国刚刚诞生,举国上下处于百废待兴的特殊时期,那时,云南的汽车运输还十分落后,许多边远山区仍

依靠驮马运输,甚至用溜索来跨越河流。所以,50年代云南的公路桥梁建设,无论是桥型结构或跨度皆处于起步阶段。

建国初期,云南省跨径不大的公路桥梁多修建石台木面桥,设计上采用的是苏联标准图。石台木面桥为半永久性桥梁,墩台虽牢固,但木桥面要常更换。因此,石台木面桥建在公路干道上也仅是50年代,尔后即便是县乡道路也不多见。

50年代,云南在步驿道或公路上建设较多的另一桥型为我国传统的石拱桥。在这个年代里,所建石拱桥以半圆拱居多,因而在跨度上一般都偏小。尽管如此,桥梁建设者们还是充分发挥了自己的聪明才智,建设了许多风格各异的石拱桥。如建设在滇藏公路的丽江来远桥,造型美观、结构精巧,整个建桥过程仅用了90天。坐落在南涧至云县公路间的太平关桥(图7),跨径为30m,桥长47.35m,1959年建成。似此30m跨度的空腹式石拱桥,在当时是云南跨度最大的石拱桥,也是云南建设大跨径石拱桥的起点。

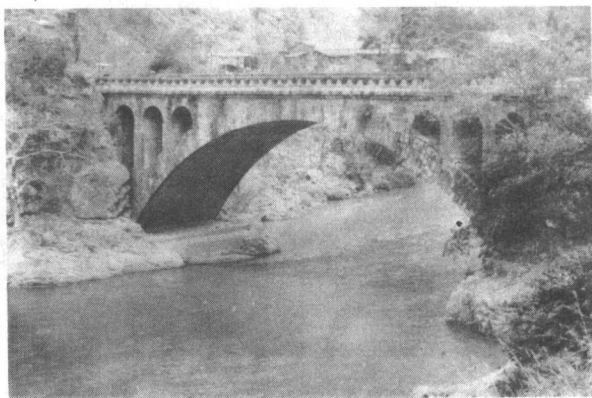


图7 我省1959年最大跨径石拱桥—云县太平关桥

悬索桥是跨越能力较大的桥型。云南江河大都水深流急,河谷深切,不易建造桥梁中墩。因而,50年代的悬索桥多建在怒江、澜沧江、金沙江等水流湍急、河床较宽的江河上,如1958年建在怒江州六库的跃进桥等。除不多的公路桥为钢索柔性吊桥(图11)外,修建更多的则是人马吊桥。

2.4 20世纪60年代桥梁

20世纪60年代,云南石拱桥修建有了一定发展。

1961年建成的长虹桥,单孔跨径112.5m(图8),是当时国内最大跨径的石拱桥,标志着我国石拱桥修建技术达到一个新的水平。由于云南省石料资源丰富,通过大规模建造石拱桥的实践,在设计、施工方面也有许多改进,如采用变截面拱圈以减少拱圈断面、节约材料;采用分环分段的砌筑方法以减轻拱架荷载等。在这个年代里,还修建了忠爱桥(单孔跨径58m)、李仙江桥(单孔跨径60m)等空腹式无铰变截面石拱桥以及东风桥(单孔跨径70m)等空腹式等截面悬链线无铰石拱桥。在专业施工队伍修建石拱桥的同时,云南省各地方采用民工建勤,国家少量补助投资,修建了大批小跨径多孔的实腹式石拱桥,对县乡道路的修建起到了促进作用。在墩台基础方面,开始在非岩石地基上修建石拱桥,采用桩及沉井深基础、轻型墩台等,扩大了石拱桥的应用范围。

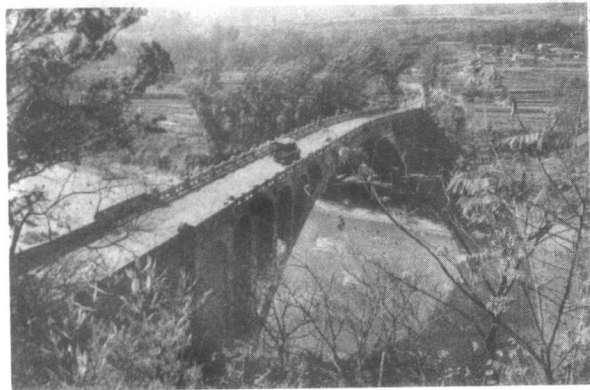


图8 1961年建成、主跨112.54m的变截面空腹式石拱桥—开远市长虹桥

除石拱桥外,20世纪60年代中期,引进外省经验,开始修建钢筋混凝土双曲拱桥,开辟了拱桥无支架吊装施工的新工艺。云南省开始修建双曲拱桥时,一部分仍采用木拱架施工,如绥江县 $2 \times 45\text{m}$ 钢筋混凝土双曲拱桥;但对于不具备架设拱架条件的河流,无支架施工起到了关键的作用,如 $1 \times 40\text{m}$ 跨径的曲江桥及后来修建的跨径75m的红心桥、向阳桥等。由于双曲拱桥的整体性差,不利于进一步发展,故目前的大跨径拱桥中,双曲拱桥已被钢筋混凝土箱形拱桥所取代。

在修建石拱桥和钢筋混凝土双曲拱的同时,20世纪60年代,云南省也修建了大量的钢筋混凝土板桥和梁桥,一般跨径6~25m,这种上部构造配以轻型桥台、单柱或双柱式钻孔灌注桩基础,结构轻巧,材料用

量省、施工快。1964 年建成跨越澜沧江的景洪大桥为 $10 \times 33\text{m}$ 钢筋混凝土 T 形简支梁桥,下部结构为重力式墩台、沉井基础,是云南省最早建成最长的钢筋混凝土梁式桥,全长 341.40m 。

1967 年建成的小江桥,为 $12 \times 14\text{m}$ 钢筋混凝土 T 形简支梁桥,下部构造为钢筋混凝土双柱墩,钻孔灌注桩基础,为云南省引入钻孔灌注桩施工技术的第一座桥梁,桥长 173m 。

1967 年建成的峨德河桥,为 $7 \times 21.6\text{m}$ 钢筋混凝土微弯板组合梁桥,桥梁全长 174.6m ,首次采用独柱钢筋混凝土悬臂墩,大孔径(2.3m)钢筋混凝土钻孔灌注桩基础,并进行了单柱墩水平荷载试验,取得了一定成果。

2.5 20 世纪 70 年代桥梁

进入 20 世纪 70 年代,云南省的钢筋混凝土梁桥、预应力混凝土梁桥及钢筋混凝土拱桥得到较快的发展。双曲拱桥、下承式肋拱桥、上承式肋拱桥、箱形拱桥都是在这个时期发展起来的。

(1) 钢筋混凝土拱桥

双曲拱桥:在 20 世纪 60 年代末的基础上,双曲拱桥得到进一步发展,跨径从十几米到 75m ,如盐业公路的跳桥石桥、庙口桥跨径都为 60m ,德钦至盐井公路跨越澜沧江的向阳桥、红心桥跨径都为 75m 。

箱形拱桥:是 70 年代发展起来的一种新型钢筋混凝土拱桥,主拱圈施工采用分段预制箱形拱肋,缆索吊装,纵、横组拼形成闭合断面,其抗压、抗拉、抗弯、抗扭的性能比较好,跨越能力强。云南省 1971 年建成跨金沙江的继红桥(鲁南桥),跨径为 2 孔 75m ,系云南省第一座箱形拱桥;1974 年建成跨越怒江的红旗桥,跨径为 116m (图 9),为当时国内最大跨径的钢筋混凝土箱形拱桥,从而使云南省成为全国早期建成箱形拱桥的省份之一。

下承式肋拱桥:其造型独特,雄伟壮观,跨越澜沧江的永保桥(图 10),主孔跨径 80m ,为云南省第一座下承式肋拱桥。该桥根据两岸岩层分布的不同情况,一端以斜梁支承,另一端以 2 孔跨径 24m 的连续梁支承于基岩上,较好地解决了主拱水平推力问题。

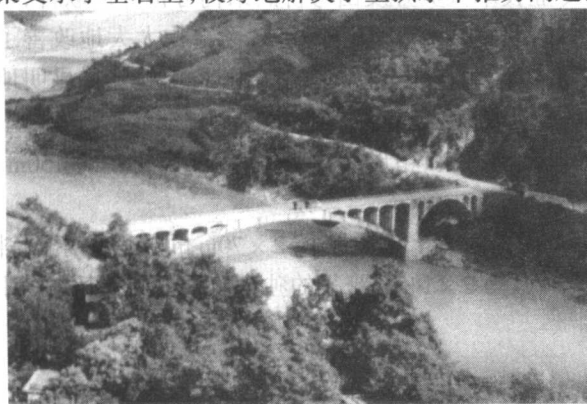


图 9 1974 年建成、国内当时最大跨径(116m)的装配式无支架吊装施工的钢筋混凝土箱形拱桥—跨越怒江的红旗桥



图 10 云南最大跨径(80m)的钢筋混凝土下承式肋拱桥—跨越澜沧江的永保桥

(2) 钢筋混凝土梁式桥

钢筋混凝土简支梁桥:该桥型结构简单,受力明确,施工方便,适合于中小跨径使用。云南省在 20 世纪 70 年代建造较多,其中最长的为 1977 年建成的跨大盈江的拉虎练桥,为 17 孔跨径 20m T 形简支梁桥,桥长 371.7m ,在当时是云南省最长的桥梁。

预应力混凝土简支梁桥:适用于跨径在 25m 至 50m 之间,常用跨径为 25m 至 30m ,弥补了普通钢筋混凝土跨径偏小的缺点,成为最常使用的主要桥型之一。

2.6 20 世纪 80 年代桥梁

20 世纪 80 年代,云南省仍大量沿用钢筋混凝土板梁桥、T 形梁桥、钢筋混凝土箱形拱桥、双曲拱桥,

以及石拱桥和钢索吊桥。在大跨径桥梁中仍以钢筋混凝土箱形拱桥为主。1980年在昌宁县建成跨越澜沧江的沧江大桥,主孔跨径为95m,随后相继又修建了主跨为110m跨越金沙江的金安桥,兰坪至六库公路间主跨为95m跨澜沧江的大华桥,思茅至澜沧公路间主跨为110m的虎跳石桥等,都为钢筋混凝土箱形拱桥。在这个年代里,适用于跨越大江河流的钢筋混凝土箱形拱桥在全省范围得到了迅速发展,并为90年代建造更大跨径的箱形拱桥打下了基础。

由于斜拉桥具有较大的跨越能力及较好的抗震性能,结合云南省地震频繁,对需大跨径跨越而不宜采用拱形结构之处,斜拉桥具有显著的可选条件。同时随着电算技术的引进及高强度钢材和预应力锚具的国产化,省内先后修造了东风桥(主跨100m),其宗桥(主跨90m)等斜拉桥,结构均为双塔平行双索面、预制吊装钢筋混凝土纵梁、加铺预制Ⅱ形板形成桥面系。斜拉索采用由工厂加工生产的平行钢丝束成品索,使桥梁施工更趋于预制工厂化。

2.7 20世纪90年代桥梁

20世纪90年代,云南省公路建设进入了高速发展时期,桥梁建设亦有了大幅度的增长。在云南省山区修建线形流畅、行车顺适、技术标准较高的高等级公路时,设计中一改往日的路线服从桥位需要的原则,采用隧道桥梁来满足路线平、纵指标的要求。因此,涌现出了大量的“弯”、“坡”、“斜”、“高”桥。尤其是高速公路的互通式立交及城市交叉口修建的立体交叉桥梁,具有“弯”、“坡”、“斜”、“高”特征的桥梁更能适应道路的线形变化。

最初的“弯”、“坡”、“斜”、“高”桥的设计,由于结构内力分析计算比较复杂,又缺少专用计算软件,同时考虑到方便施工,多数将弯桥直作,上部结构采用空心板或“工”形组合梁形式,下部结构采用门架式墩柱。虽然设计周期和施工周期相对缩短,但上部结构的实际受力情况容易产生桥梁病害,而下部结构墩柱林立,浪费材料且不美观。

随着计算机技术在桥梁设计中的不断进步,专业技术人员开发出弯桥的结构分析专用软件,弯桥的上部结构逐渐被箱梁所代替,并以悬臂拼装或悬臂现浇完成施工。这一整体性结构大大地改善了弯桥的受力状况。下部结构也逐渐采用独墩形式。这样的组合,使弯桥外形更加美观,流畅。如昆明地区的龙泉立交、小菜园立交等,不仅解决了交通拥挤问题,也成为了城市一景。

20世纪90年代,拱桥跨径已近200m,且采用钢筋混凝土材料、箱形断面,如南盘江大桥主跨150m;松园金沙江大桥主跨170m,为云南省最大跨径箱形拱桥。

同时,斜拉桥有了较大发展,进入90年代,在昆明市盘龙江上修建了跨径 $2 \times 70\text{m}$ 的独塔单索面斜拉桥,称为圆通桥。1994年建成的三达地怒江大桥(图12),为 $2 \times 145\text{m}$ 跨径的独塔双索面斜拉桥,采用

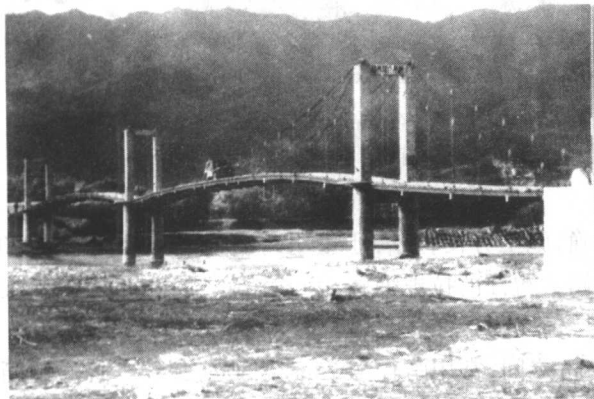


图11 主跨60m的钢索柔性吊桥—梁河县邦界桥

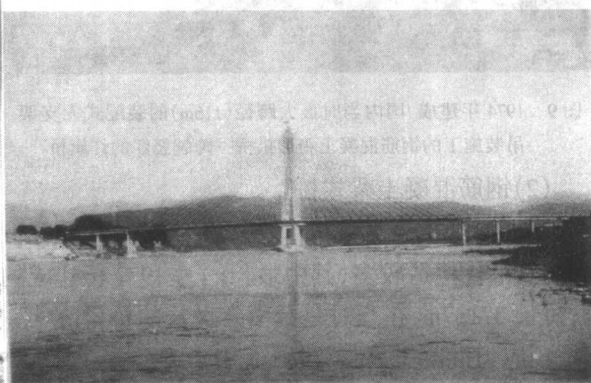


图12 1994年建成的主跨145m的双塔双索面独塔钢筋混凝土斜拉桥—三达地怒江大桥

了移动的施工托架(图13)浇筑桥面系(托架自重39t,承担重量188t,居国内第一),1999年建成的西双版纳

纳大桥,为 $2 \times 156\text{m}$ 跨径的空间索独塔斜拉桥,系云南省目前最大跨径的斜拉桥,其钢索采用钢绞线现场成索的工艺,克服了粗重成品索运输困难的问题,无论是在设计造型上,还是在材料的取用上,都有重大的突破。

总之,进入 90 年代,随着材料技术的发展、计算机技术的进步、结构理论不断完善和建桥水平的不断提高,我省公路桥梁得到了飞速发展。表现在以下几座大桥的设计、施工方面:

(1)西双版纳大桥(图 14)

(2)松园金沙江大桥(图 15),为主孔净跨 $L_0 = 170\text{m}$,净矢跨比为 $f_0/L_0 = 1/8$,其反映设计施工难度的拱桥“大胆度”达 1360,为预制吊装(七段)施工的大跨径钢筋混凝土箱形拱桥。针对大跨坦拱桥拱脚推力巨大,而两岸地质软硬不一(丽江岸为风化页岩夹局部粘土,中甸岸为河滩堆积卵砾土)的情况,在我省首次采用了组合式桥台设计。针对吊装施工单助合拢(其横向稳定系数为 $K_{横} = 0.948 < [K] = 4$)时的稳定问题,采用了增设多组抗风缆索,在七节段拱箱(基肋)两拱脚节段并靠单侧(一节)拱肋段合拢基肋拱顶段的方式进行施工。

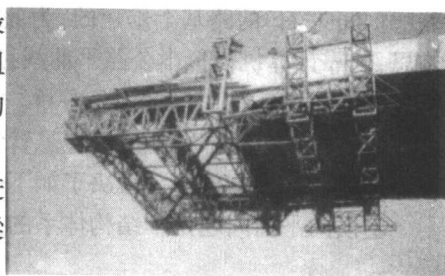


图 13 斜拉桥桥面系悬浇主梁的施工塔架

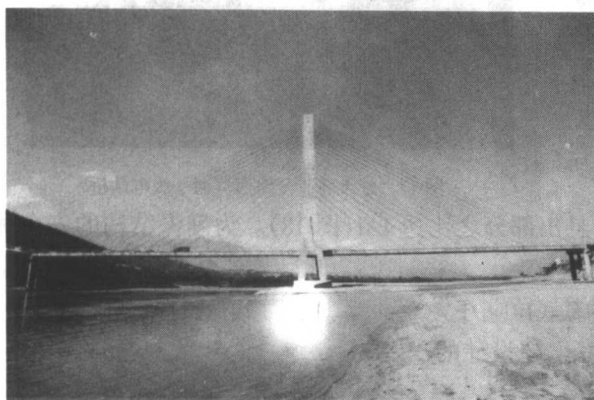


图 14 我省目前跨径最大的斜拉桥—西双版纳



图 15 松园金沙江大桥

该桥是当时国内最大跨径采用无支架吊装施工的钢筋混凝土箱型拱桥,在这样差的地质上建这样大跨径的拱桥,居云南第一。该桥拱箱合拢的第二天(正焊接拱箱接头),发生了 1996 年 2 月 3 日的丽江大地震(7 级)(该桥距震中仅 25km),但拱箱仍安然无事,在以后的建设中,该桥经受住了无数次余震的考验。这充分体现了拱式结构良好的抗震性能。

该桥的成功设计与修建,标志着我省拱桥成拱技术的又一里程碑,为山区公路中设计修建类似大跨径拱桥积累了经验。该桥获交通部 1996 和 1997 年度优秀设计奖及 1999 年度科技进步奖。

(3)玉元高速公路化皮冲大桥,为我省目前跨径最大的钢管混凝土劲性骨架成拱法设计修建的拱桥。该桥主跨 180m,也是目前我省跨径最大的拱桥。

(4)怒江六库桥,跨越怒江,主跨 168.42m,边跨 85m,为预应力混凝土变截面连续梁桥,桥长 337.52m,1990 年建成通车。同时,在该桥的施工技术上,为我省首次采用挂篮施工技术。

(5)龙泉立交桥,位于昆明市东,为跨径 20~30m 不等的钢筋混凝土连续梁桥,独柱墩,钻孔灌注桩基础,桥长 4430m。1996 年建成。该桥的成功修建,标志着我省进入了大型立交桥设计施工技术时期。以后又相继修建了昆明市小菜园四层大型立交桥、菊花村立交桥、大树营立交桥等大型立交桥。

(6)1998 年建成的楚大公路江西桥(图 16),为 31 孔跨径 15m 预应力混凝土空心板桥,桥长 490.03 m。该桥的设计修建,标志着我省桥梁设计、建设进入了更注重环境保护的新时期和大量修建极具山区高速公路建设特点的旱桥、半边桥、傍山桥梁的新时期。

(7)1998 年建成的楚大高速公路西洱河一级电站桥(图 17),该桥是在水库边的原老 320 线四级公