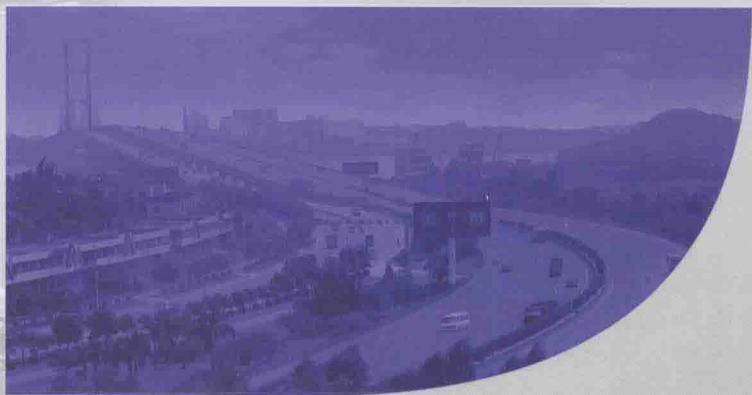


佛开高速公路改扩建先行工程 九江大桥

李思清 邱新林 石雪飞 编著



人民交通出版社
China Communications Press

佛开高速公路改扩建先行工程 九江大桥

李思清 邱新林 石雪飞 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书以佛开高速公路改扩建先行工程九江大桥为背景,结合当地建设条件,主要从设计、施工、管理、监控4个方面,详细介绍了改扩建九江大桥建设过程中遇到的关键问题及解决方案,对类似桥型体系的发展做出了一定贡献。本书主要内容包括:改扩建先行工程九江大桥的结构设计、改扩建先行工程九江大桥的施工技术、基于风险的改扩建先行工程九江大桥的施工管理、改扩建先行工程九江大桥的施工监控。

本书的内容涵盖桥梁建设过程中的一般施工方法和管理对策,可供从事桥梁设计、施工、监控、建设管理及相关工程人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

佛开高速公路改扩建先行工程——九江大桥 / 李思清, 邱新林, 石雪飞编著. — 北京: 人民交通出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-114-10769-6

I. ①佛… II. ①李… ②邱… ③石… III. ①公路桥—预应力混凝土桥—连续刚构桥—改建—设计—广东省②公路桥—预应力混凝土桥—连续刚构桥—改建—工程施工—广东省 IV. ①U448.145

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第150787号

书 名: 佛开高速公路改扩建先行工程——九江大桥

著 者: 李思清 邱新林 石雪飞

责任编辑: 曲乐 尤伟

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 9.75

字 数: 222千

版 次: 2013年9月 第1版

印 次: 2013年9月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10769-6

定 价: 36.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

1988年我国第一条高速公路——上海沪嘉高速公路建成通车,随后20余年,我国高速公路迅猛发展,目前高速公路里程已跃居世界第二。随着社会经济的飞速发展,多条既有高速公路,特别是经济发达地区高速公路,车流量已经饱和,改扩建已成为新的发展方向。

佛开高速公路是广东省建成通车较早的高速公路之一,随着交通量的迅速增长,原有道路通行能力已经饱和,需要对原有道路进行改扩建。佛开高速公路改扩建项目面临着路基拼接、桥梁拼接、在役桥梁评估加固等技术难题,特别是,由于无分流路径,需要在保持原有双向四车道通行能力的条件下开展扩建施工,给工程实施带来诸多难题。这些难题给工程的设计、施工及管理带来前所未有的挑战,需要建设者们具有创新的能力和勇气。

改扩建工程九江大桥就是其中一个极具挑战的项目,该桥虽为常规的连续刚构结构体系,但建设条件受限,扩建桥位于既有九江大桥与G325国道九江大桥之间,扩建桥位距既有桥最小距离仅有0.35m,施工空间极其狭窄。为有效解决一系列技术问题,设计上大胆采用了单薄臂墩连续刚构结构体系,成功地突破了大跨径连续刚构桥主墩多采用双薄臂墩的常规做法,优化了结构受力性能,并最大程度地方便了施工。

在佛开改扩建工程九江大桥顺利建成通车之际,为总结经验,工程建设者们及时总结编写了本书。本书从设计、施工、建设管理以及施工控制等几个方面,详细介绍了改扩建九江大桥建设过程中遇到的关键问题及其解决方案,以期对国内外类似项目建设管理提供借鉴。

最后,祝贺佛开高速公路改扩建项目顺利建成通车,祝贺建设者们取得丰硕成果,仅以此序与全国同行共勉!

广东省交通集团有限公司总工程师

黄建跃

前 言

随着社会经济跨越式发展,公路交通运输网络在社会经济中承担的任务日益突出,特别是经济发达地区,多条既有高速公路已经饱和,高速公路改扩建任务迫在眉睫。

地处珠三角经济发达地区的佛(山)开(平)高速公路,是沈阳至海口国家高速公路的重要组成部分,也是珠三角地区通往粤西南的重要通道,原有道路车流量早已饱和,严重制约当地社会经济发展,为解决制约发展的“瓶颈”问题,国家发展和改革委员会于2007年5月批准佛开高速公路改扩建项目。

九江大桥是该项目的关键控制性工程,设计方面大胆采用了大跨径单薄臂墩连续刚构结构体系,突破了大跨径连续刚构桥主墩多采用双薄臂墩的常规做法;同时,由于距离两侧既有桥很近,施工场地极其狭窄,施工组织和建设管理难度极大。本桥在设计、施工方面反映了很多目前国内高速公路改扩建工程中的典型问题,其实施经验对类似项目的建设管理具有重要的参考价值。

本书全面地总结了佛开高速公路改扩建项目九江大桥的建设管理经验,全书章节结构如下:

第一章 介绍了连续刚构桥梁的发展历程、方向以及佛开改扩建九江大桥的工程概况和工程特点。

第二章 介绍了佛开改扩建九江大桥的上部结构、下部结构及引桥结构设计。

第三章 介绍了佛开改扩建九江大桥的施工技术难点及实施方案。

第四章 介绍了基于风险控制的佛开改扩建九江大桥建设管理经验。

第五章 介绍了佛开改扩建九江大桥的施工监控。

全书重点阐述了建设条件极其狭窄条件下,大跨径桥梁设计、施工、监控及管理 etc 等关键问题,希望与广大同仁共勉。

本书编写过程中得到了广东省交通运输厅、广东省交通集团有限公司、广东省高速公路有限公司、广东省长大公路工程有限公司的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正!

编者

2013年 夏 广州

目 录

第1章 绪论	001
1.1 大跨径预应力混凝土连续刚构桥综述	001
1.1.1 连续刚构桥发展概述	001
1.1.2 连续刚构桥桥墩形式	002
1.1.3 连续刚构桥的发展方向	004
1.2 改扩建九江大桥工程概况	005
1.2.1 建设背景和条件	005
1.2.2 设计施工概要	007
1.3 工程的特点与难点	008
第2章 佛开高速公路改扩建先行工程九江大桥的结构设计	010
2.1 总体设计	010
2.1.1 设计条件	010
2.1.2 桥位方案比选	011
2.1.3 主桥桥型方案比选	011
2.1.4 主桥结构方案比选	012
2.1.5 扩建桥最终方案与总体布置	014
2.2 主桥上部结构设计和计算	017
2.2.1 桥跨布置及箱梁设计	017
2.2.2 主要计算参数	022
2.2.3 纵向计算分析	025
2.2.4 箱梁剪力滞效应分析	029
2.2.5 箱梁横向计算分析	031
2.3 主桥下部结构设计和计算	033
2.3.1 下部结构设计和构造	033
2.3.2 单薄壁墩身计算分析	037
2.3.3 主墩桩基配筋计算	042
2.3.4 主墩防撞设计	043
2.4 引桥设计	048
2.4.1 水上引桥 40m、50m 跨连续箱梁	048
2.4.2 岸上引桥 (18 + 28 + 18 + 16) m 连续箱梁	049
2.4.3 岸上引桥 16m 跨空心板梁桥	049



第3章 佛开高速公路改扩建先行工程九江大桥的施工技术	050
3.1 上部结构施工技术	050
3.1.1 主桥上部结构施工	050
3.1.2 南岸50m连续梁造桥机施工	056
3.1.3 陆上引桥上构施工	065
3.1.4 桥面系施工	068
3.2 下部结构施工技术	070
3.2.1 下部结构施工概述	070
3.2.2 桩基础施工	071
3.2.3 主桥及水中引桥承台施工	079
3.2.4 桥梁墩身(立柱)施工	081
3.3 临时设施设计及施工	082
3.3.1 便桥	082
3.3.2 主墩塔吊基础	086
3.3.3 北岸掉头平台	086
3.4 狭小空间施工对策	087
3.4.1 狭小空间对施工的影响	087
3.4.2 施工便道及平台布置	088
3.4.3 下部构造施工对策	088
3.4.4 上部构造施工对策	090
3.4.5 混凝土输送施工对策	092
3.4.6 安全保障措施	093
第4章 基于风险的改扩建先行工程九江大桥的施工管理	095
4.1 桥梁施工风险评估和管理基本方法	095
4.1.1 桥梁施工过程风险及其评估方法特质	095
4.1.2 施工阶段风险识别方法	096
4.1.3 施工风险评价准则	097
4.1.4 施工风险管理总体要求	098
4.1.5 施工风险管理对策	099
4.2 基于风险的改扩建先行工程九江大桥施工管理体系	099
4.2.1 三大目标基本保证体系	099
4.2.2 施工总体风险特点	101
4.2.3 风险接受准则构建	102
4.2.4 施工风险总体管理策略	102
4.3 改扩建先行工程九江大桥施工风险事态识别	103
4.3.1 基于事故总结的风险识别	103

4.3.2	基于结构分析的风险识别	104
4.3.3	基于现场勘查的风险识别	106
4.3.4	基于专家调查的风险识别	107
4.3.5	狭小空间桥梁施工风险识别	110
4.4	改扩建先行工程九江大桥施工风险管理对策	110
4.4.1	施工风险事态评估	110
4.4.2	工程质量风险事态管控	112
4.4.3	工程事故风险事态管控	115
4.4.4	工程技术风险事态管控	118
4.4.5	现场事故风险事态管控	122
4.4.6	现场安全风险事态管控	123
4.4.7	自然灾害风险事态管控	125
4.5	重难点风险的特殊要求和预案	127
4.5.1	水中桩基施工	127
4.5.2	挂篮设计及施工工艺	129
4.5.3	50m 连续梁造桥机施工	131
4.5.4	文明施工与环境保护	131
第 5 章	改扩建先行工程九江大桥的施工监控	133
5.1	施工监控的目标和方法	133
5.1.1	施工监控的目标	133
5.1.2	施工监控的方法	133
5.2	施工监控的组织	135
5.2.1	施工监控的组织机构	135
5.2.2	职责与分工	135
5.2.3	施工监控的操作流程	136
5.3	施工监控的主要内容	137
5.3.1	前期计算分析	137
5.3.2	施工过程仿真计算	137
5.3.3	立模高程确定	137
5.3.4	变形监测	138
5.3.5	应力监测	139
5.4	施工监控的成果	140
5.4.1	合龙控制	140
5.4.2	线形控制	142
5.4.3	应力控制	143
参考文献	145

第 1 章 绪 论

1.1 大跨径预应力混凝土连续刚构桥综述

1.1.1 连续刚构桥发展概述

预应力混凝土梁桥是主跨跨径 80 ~ 200m 范围内最有竞争力的桥型。预应力混凝土连续梁桥的跨径在 150m 以下优势明显,当跨径增大时,采用特大吨位的支座会给桥梁支座的养护或更换带来麻烦和困难;带挂梁或带铰的 T 形刚构桥在施工中进行悬臂浇注或悬臂拼装时无需体系转换,在施工方面优势显著,但由于悬臂端竖向位移或铰上竖向转角不连续,不但使行车顺适性较差,而且对铰的设置与养护造成一定的困难。预应力混凝土连续刚构桥则是集中了连续梁桥和 T 构桥两类桥型的优点。自 20 世纪 60 年代以来,得到了迅速推广,已有丰富的工程实践。在结构体系方面,连续刚构桥继承了连续梁桥的优点,如变形小、结构刚度大、行车平顺舒适、伸缩缝少、养护简易、抗震能力强等;施工过程中采用 T 构形式,有利于发挥悬臂浇注施工的优势,适合向大跨径方向发展。在结构性能方面,预应力混凝土连续刚构桥整体刚度较大;梁、墩固结不但减小了墩身及基础的工程数量,且利用墩的柔度,可以减少上部结构弯矩,达到减小建筑高度,提高抗震性能的效果。

但是这种体系中由于桥墩与主梁刚结,温度变化、预应力、徐变和收缩将在体系内产生复杂的次内力,优化主梁与桥墩的刚度配置是这种桥型在结构体系方面的重要优化方向。1964 年修建的联邦德国本道夫桥,主跨 208m,已初步体现 T 形刚构与连续梁体系相结合的布置,而且 T 形刚构桥的粗大桥墩已被薄型柔性墩所代替,这是世界上最早的大跨径连续刚构桥(带铰)。之后,日本在 1972 年修建了主跨 230m 的浦户大桥,继而又建成了主跨 236m 的彦岛大桥和主跨 240m 的滨名大桥,这几座大桥也都是带铰的连续刚构桥。1979 年,巴拉圭建成了主跨达 270m 的带铰连续刚构桥(Asuncion 桥);1997 年,加拿大建成了跨径组成为(165 + 43 × 250 + 165)m 的多跨带挂梁的 T 构(Confederation 桥)桥;挪威于 1998 年建成的世界第一的 Stolma 桥(主跨 301m)和世界第二的拉夫特(Raft Sundet)桥(主跨 298m),更是将大跨径 PC 连续刚构桥的跨径发展到了顶点。国外已建成的部分大跨径预应力混凝土连续刚构桥如表 1.1 所示。

国外已建成部分大跨径预应力混凝土连续刚构桥

表 1.1

序号	桥名	桥址	跨径(m)	建成年份
1	Stolmasundet	挪威	94 + 301 + 72	1998
2	Raftsundet	挪威	86 + 202 + 298 + 125	1998



续上表

序号	桥名	桥址	跨径(m)	建成年份
3	Gateway	澳大利亚	145 + 260 + 145	1986
4	Varodd	挪威	260(主跨)	1994
5	Schottwien	奥地利	250(中跨)	1989
6	Ponte Sjoao	葡萄牙	250(中跨)	1991
7	Skye	英国	250(主跨)	1995
8	Houston	美国	114 + 228 + 114	1982
9	Money	澳大利亚	130 + 220 + 130	1985

我国于1964年建成预应力T形刚构桥——盐河桥,跨径33m,两个T形双悬臂,中跨用剪刀铰连接,边跨为自由悬臂。第一座预应力混凝土连续刚构桥是1988年建成的广东洛溪大桥,主跨180m,双薄壁高约30m,中距7.8m,厚2.2m,梁在支点处高10m;1995年建成主跨245m湖北黄石桥;1997年建成主跨270m虎门大桥辅航道桥,为当时PC连续刚构桥世界第一,其双薄壁箱形墩高35m,箱壁厚仅0.5m;1999年建成的主跨140m的海沧大桥西行道桥是目前国内最大跨径的弯箱梁桥。表1.2列出了2002年以前建成的国内典型连续刚构桥。近10年还陆续建成了多座大跨度连续刚构桥。

国内已建成部分大跨径预应力混凝土连续刚构桥

表1.2

序号	桥名	桥址	跨径(m)	建成年份
1	虎门大桥辅航道桥	广东省	150 + 270 + 150	1997
2	泸州长江二桥	四川省	145 + 252 + 54.8	2001
3	嘉陵江黄花园大桥	重庆市	137.16 + 3 × 250 + 137.16	1999
4	马鞍山嘉陵江大桥	重庆市	146 + 3 × 250 + 146	2002
5	黄石长江公路大桥	湖北省	162.5 + 3 × 245 + 162.5	1995
6	江津长江大桥	四川省	140 + 240 + 140	1997
7	嘉陵江高家花园大桥	重庆市	140 + 240 + 140	1999
8	贵州六广河大桥	贵州省	145.1 + 240 + 145.1	2000
9	重庆龙溪河大桥	重庆市	140 + 240 + 140	2000
10	北碚东阳嘉陵江大桥	重庆市	135 + 220 + 135	2002
11	澜沧江大桥	云南省	85 + 200 + 130	2002

1.1.2 连续刚构桥桥墩形式

连续刚构桥主墩的形式主要有竖直双肢薄壁墩和竖直单肢薄壁墩,采用V形墩等其他形式的较少,国内最大主跨仅为160m。竖直双肢薄壁墩是在墩位上有两个相互平行的墩壁与主梁固结的桥墩。它可增加桥墩刚度,同时其抗推能力小,在桥梁纵向允许的变位大,不仅可以减小主梁墩顶负弯矩,使结构内力分配更趋合理,而且由于其为双墩柱,墩顶负弯矩的峰值也

不像单肢墩出现在支点中心,它的峰值出现在两支墩的墩顶,峰值也较单肢墩小得多。两支墩之间负弯矩为下凹的曲线,可减小墩顶截面的尺寸,充分发挥材料的受力性能,增加桥梁美感。因此在预应力混凝土连续刚构桥中是理想的柔性墩,能支撑上部结构,保持桥墩稳定性,适应上部结构位移的需要。竖直单肢薄壁墩是在墩位上只有一个截面形式为空心或实心的“一”字形矩形截面或箱梁截面的桥墩。单肢薄壁墩与双肢薄壁墩相比,一般说来,单薄壁墩特别是箱形截面单薄壁墩的抗扭性能好,抗推能力强,但其柔性不如双薄壁墩,双薄壁墩的综合抗弯刚度大,整体稳定性好,墩身允许的水平位移较大,但随着墩身高度的不断增加,单薄壁墩的柔性逐渐增强,允许的纵向变位增大。因此,对于墩身很高的大跨连续刚构来说,箱形单肢薄壁墩也是理想的墩身形式之一。在高墩大跨连续刚构桥中也经常采用竖直单薄壁墩。

大跨高墩连续刚构桥都是混凝土桥,因此桥墩的截面形式也有很多种。统计和分析我国已建成的墩高在 30m 以上的连续刚构高桥墩(表 1.3),总结我国经常使用的高桥墩截面形式,可以把高桥墩分为双肢墩和单脚墩,也可以将墩划分为实体墩和空心墩两大类。如果把墩分为实体墩和空心墩,如图 1.1 所示。则可以作如下归类:实体墩一般常见的有:矩形双柱[图 1.1a)、圆形双柱[图 1.1b)、工字形独柱[图 1.1c)、双肢薄壁墩[图 1.1d)、双肢工字形墩[图 1.1e)、矩形单墩[图 1.1f)、圆端形双肢墩[图 1.1g)]等。空心墩常见的有圆形空心双柱[图 1.1h)、单室箱形墩[图 1.1i)、圆端形双肢空心墩[图 1.1j)、双肢薄壁空心墩[图 1.1k)、双室箱形墩[图 1.1l)]等。按照墩身立面形状划分,高桥墩可分为直坡式、台阶式、斜坡式。纵观我国已建的大跨高墩连续刚构桥,当跨径较大时一般采用双肢墩。双墩抗推刚度仅为双肢各自的抗推刚度之和,因而比较小,但其抗弯刚度因双肢截面而使抗弯刚度很大,在施工阶段和成桥后都具有良好的平衡性和稳定性。同时双肢墩还可以削减大跨径刚构桥桥墩处主梁的负弯矩峰值。双肢墩身一般为矩形实体或空心,近年向空心墩发展的趋势比较明显,中等跨径的桥采用工字形和箱形的比较多,而较小跨径的高墩多采用单墩矩形截面。

国内部分墩高在 30m 以上的连续刚构桥墩截面形式

表 1.3

序号	桥名	最高墩高(m)	主跨(m)	墩截面形式
1	虎门大桥辅航道桥	58	270	双肢薄壁空心墩
2	黄石长江大桥	40	245	双肢薄壁墩
3	洛溪大桥	33.6	180	双柱薄壁空心墩
4	沪洲长江二桥	40.7	240	双肢薄壁墩
5	水口大桥	62.0	160	双肢薄壁墩
6	构皮滩大桥	72.0	160	带横系梁双肢薄壁墩
7	小关特大桥	100.0	160	带横系梁双肢薄壁墩
8	嘉陵江大桥	53.0	160	双肢薄壁墩
9	沉水大桥	52.4	140	双肢薄壁墩
10	清水河大桥	100.0	128	单室箱形墩
11	李子沟特大桥	107.0	128	圆弧面矩形空心墩
12	珠海大桥	36.0	125	双肢薄壁墩
13	周仓沟特大桥	48.0	110	双肢薄壁空心墩



续上表

序号	桥名	最高墩高(m)	主跨(m)	墩截面形式
14	薄根川桥	55.0	101	矩形单墩
15	新津口大桥	76.0	100	双肢薄壁空心墩
16	南盘江特大桥	96.0	90	矩形单墩
17	喜旧溪大桥	60.0	88	带横系梁双肢薄壁墩
18	乌家坪1号大桥	77.0	88	双肢薄壁墩
19	板其二号大桥	52.0	72	箱形截面空心墩

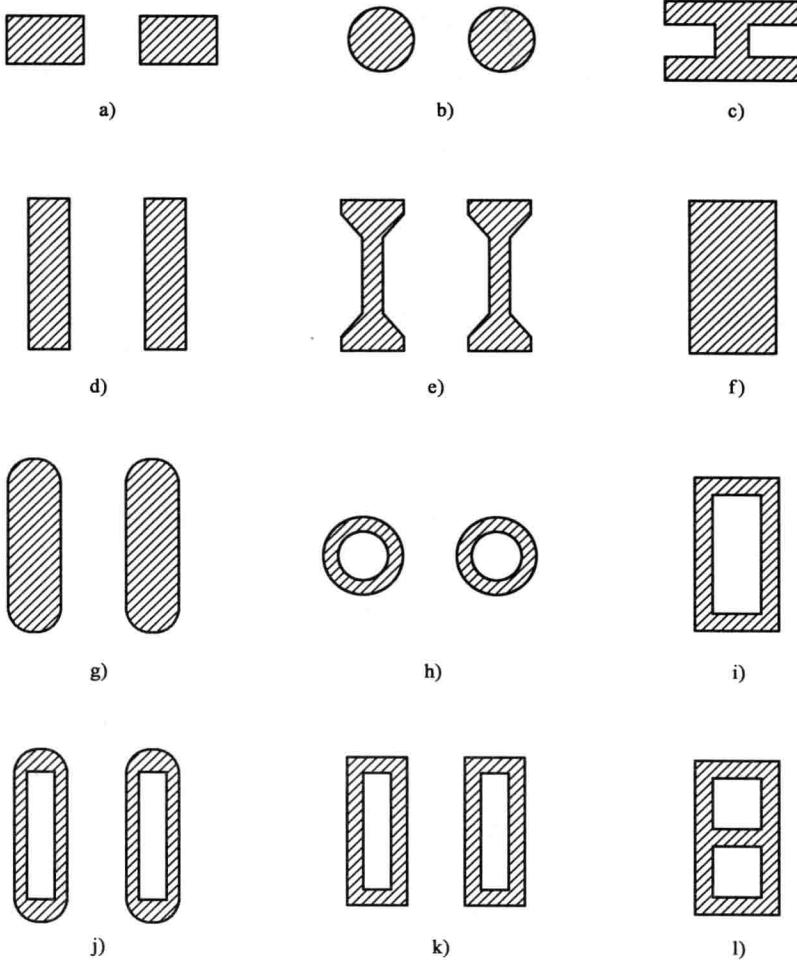


图 1.1 预应力连续刚构桥常用墩面形式

1.1.3 连续刚构桥的发展方向

近二十年来,随着新材料、新设备、新工艺和先进设计手段的开发和应用,大跨径预应力混

混凝土桥梁的发展异常迅速。预应力混凝土连续刚构桥的应用更为普遍,不但用于直桥,还用于曲线桥;不但用于公路桥,同样适用于大跨径的铁路桥;不但用于大跨径桥梁,亦可用于中等跨径的城市高架桥。结构形式可以多样化,有单墩和双壁墩,可以配合连续梁组成连续刚构与连续梁的组合体系。从发展的趋势上看,连续刚构桥的可行跨径不仅可达 350m,而且可以与预应力混凝土斜拉桥竞争。展望预应力混凝土连续刚构桥的发展方向主要有以下特征:

(1)连续刚构与连续梁的组合体系已被广泛采用。由于连续刚构桥对墩身的柔度的要求高,以适应温度引起的变位需要,对于墩身高度不是很高的多跨连续刚构桥,做成中间一孔(或多孔)墩梁固结,边上多孔墩梁铰接的连续刚构与连续梁的组合体系,不失为一种明智的选择。国内最早建成的这类桥梁为 1993 年建成的山东东明黄河公路大桥,其跨径组成为 $(75 + 7 \times 120 + 75)$ m。1999 年又建成了济南黄河第二大桥,其跨径组成为 $(65 + 160 + 210 + 160 + 65)$ m。杭州钱塘江下沙大桥,其跨径组成为 $(127 + 3 \times 232 + 127)$ m,在世界上属领先水平。

(2)高强度预应力钢材、高等级混凝土和大吨位预应力锚固体系的开发和应用。由于预应力混凝土连续刚构桥的跨径不断增加,自重荷载比例亦明显增大。随着高强度材料和大吨位群锚体系的采用,可以有效地减小截面尺寸。例如我国的虎门辅航道桥与跨径相近的澳大利亚两座桥比较,截面尺寸都有所减小。又如挪威的 RaftSundet 桥,由于采用轻质高强度混凝土材料,其自重更轻,截面尺寸更小。大吨位预应力钢束的采用可以大大简化后张拉工艺,同时使布束容易,有可能减小截面尺寸,简化锚固齿块,有利于施工。

(3)体外预应力的推广和应用。采用体外预应力不仅体现在桥梁设计、施工方面的优点,而且在桥梁维护管理方面也有显而易见的优点,因此近年来都积极采用这种方式。结合具体的施工方法,设计可采用体内与体外预应力相结合的方法,使设计产品更加合理和可靠。日本在 1997 年建造了第一座全体外预应力混凝土连续刚构桥——日本东海北陆高速公路开明高架桥,其跨径组成为 $(39.2 + 67.0 + 39.2)$ m。

(4)结构耐久性的研究。在美国托管的帕劳群岛,曾于 1977 年建造了一座有铰连续刚构桥,其跨径组成为 $(18.6 + 53.6 + 240.8 + 53.6 + 18.6)$ m,该桥建成时为同类桥跨长的世界记录。该桥在使用 19 年后于 1996 年 9 月 26 日塌落。据分析认为,由于海水长时间浸湿混凝土,锈蚀了钢筋和预应力束,在塌落前发现桥已严重下垂达 1.2m 之多,并已计划抢修。由此可见,对结构耐久性研究的重要性。我国近二十年来修建了不少数量的预应力混凝土连续梁桥和连续刚构桥,但是发现不同性质的裂缝也屡见不鲜,这大大影响了桥梁的耐久性和使用寿命。今后必须提高对裂缝问题的认识和重视,从设计、施工、管理、监理等方面对耐久性作全方位的研究和评价,并采取相应对策。

1.2 改扩建九江大桥工程概况

1.2.1 建设背景和条件

九江大桥位于佛开高速公路上(图 1.2)。佛开高速公路是同三国道主干线中的重要组成部分,采用双向四车道高速公路标准建设,1996 年建成通车。随着广东省经济的发展和广东省高速公路逐渐连接成网,佛开高速公路谢边至三堡段已经不能适应未来交通发展的需要,并

在一定程度上制约了珠三角地区的经济发展。基于此,国家有关部门对佛开高速公路谢边至三堡段按双向八车道标准进行扩建,路线全长 600km。扩建工程将有效疏通珠三角经济区路网的瓶颈,使佛开高速公路、珠江三角洲环形高速公路、广三高速公路、江鹤高速公路、广湛高速公路以及国道 G325、G321(G324)、G105 等公路组成的主干线公路网发挥最大效益,对进一步加快项目沿线及整个珠三角地区经济发展的步伐,改善投资环境,疏导区域交通提供有力的保障。

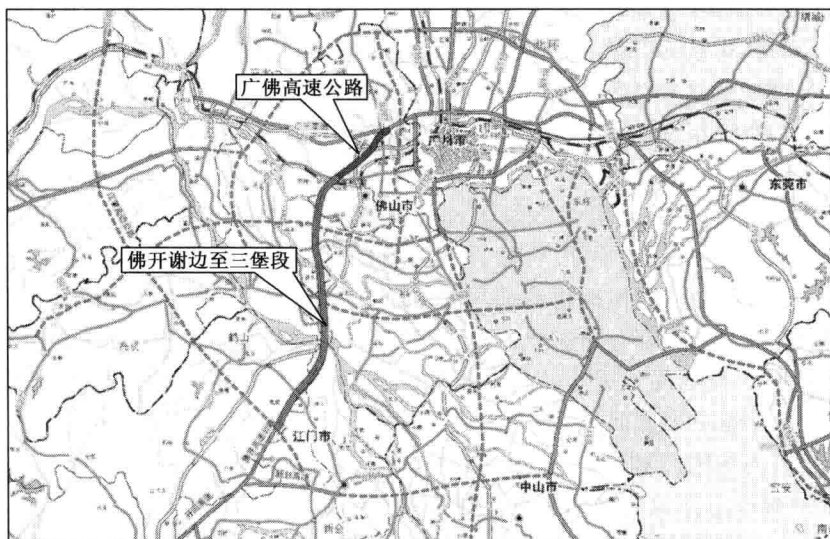


图 1.2 项目地理位置

桥位处的地貌单元主要是珠江三角洲平原,属三角洲后缘部位,地形平坦,海拔高程 2 ~ 4m,河网发达,主流向都由西北流向东南,属下游河段,此外,沟、渠、鱼塘密布,构成富有本地区特色人工地貌景观。珠江三角洲是一个湾内复合三角洲,原是一个多岛屿的古海湾,第四系堆积为陆相,海陆交互处,沉积厚度随基底起伏而变化,一般厚度 20 ~ 30m。此外沿线附近偶有残丘点露。

大桥位于北回归线以南,属亚热带海洋性湿润气候。年平均气温 21.6℃,7 月平均气温 28.0℃,极端高温 38.2℃。年降雨量 1 619 ~ 1 800mm,雨季 4 ~ 9 月,占年降雨量 83%。影响广东省的热带气旋年平均 13.5 次,登陆年平均 6.3 次,是广东省最主要的灾害性气候,6 ~ 10 月是热带气旋影响本省的盛期,其中以 7 ~ 9 月最为频繁,受其影响常伴随暴雨。此外,早春的低温阴雨、夏初的“龙舟水”亦是灾害性气候之一。雨量充沛,特别是夏初及热带气旋的暴雨,地表径流强劲,早春长期的低温阴雨,有利雨水的渗透,水害往往是公路路害的直接原因或诱发原因,强劲的径流往往摧毁公路、桥梁,雨水的渗透会导致边坡坍塌。

大桥位于珠江三角洲平原地带,路段河流水网密布,水系发育,主要河流有西江、北江等,统属于珠江水系。西江、北江水系具有径流量大、水位高、汛期长、洪峰高、受潮流影响弱,含砂量低的特点。4 ~ 9 月为汛期,洪水量占年径流量的 76% ~ 89%,径流年内分配不均匀,4 ~ 9 月约占全年 76%,北江径流量 13 100m³/s,西江径流量可达 40 770m³/s。

区域性恩平—开平断褶构造带和西江断裂是本区地质构造,底层岩性、地形地貌的重要分

界。区域分布的地层主要有中—上侏罗统百足山群、第三系红色岩系、第四系松散沉积岩。本区新构造运动比较频繁,表现为大面积上升运动。另外本区频繁发生的地震运动也是新构造运动的表现之一,但对人工构造物一般不构成威胁。

1.2.2 设计施工概要

九江大桥全长 1 820m。跨径组合为: $(11 \times 16) \text{m} + (18 + 33 + 29) \text{m} + (40 + 4 \times 50) \text{m} + (100 + 2 \times 160 + 100) \text{m} + (11 \times 50 + 40) \text{m} + (3 \times 16) \text{m} + (18 + 28 + 18 + 16) \text{m} + (5 \times 16) \text{m}$ 。

主桥上部结构采用 $(100 + 2 \times 160 + 100) \text{m}$ 连续刚构,箱梁采用单箱双室断面,顶板宽 20.15m,底板宽 12.75m,两侧悬臂翼板宽 3.7m。主墩墩身采用单箱双室结构的单片薄壁柔性墩,基础为 9 根 D280 ~ D250cm 变截面群桩基础。承台为 $14.8 \text{m} \times 14.8 \text{m}$ 带倒角的方形承台,厚 5.5m。过渡墩墩身采用带帽头的双柱式矩形墩,基础采用 4 根 D180cm 钻孔灌注桩,按嵌岩桩设计。

北岸 $(40 + 4 \times 50) \text{m}$ 、南岸 $(11 \times 50 + 40) \text{m}$ 水上引桥上部结构均采用等高连续箱梁,梁高 3.0m,单箱双室斜腹板断面,顶板宽 20.15m,箱梁底宽 11.5m,两侧悬臂翼板宽 3.7m。下部结构采用 $2 \text{m} \times 2 \text{m}$ 的方形墩,基础为钻孔灌注桩。

岸上引桥上部结构为连续箱梁及预制空心板两种形式。其中两联(南北岸各一联)连续箱梁采用单箱三室断面,顶宽 20.15m,箱梁底宽 14.65m,两侧悬臂翼板宽 2.75m,箱梁梁高 1.65m。其下部结构为 D150 cm 柱配 D160cm 桩的桩柱式墩,钻孔灌注桩基础。16m 空心板部分,上部每跨由 12 块先张法预应力空心板组成,下部采用 D120 柱配 D140 桩的双柱式墩,钻孔灌注桩基础。

主桥连续刚构单 T 除 0 号块及 1 号梁段采用临时托架施工外,其余梁段均采用挂篮悬臂浇筑施工。北岸水中引桥刚构—连续组合梁桥 $(40 \text{m} + 4 \times 50 \text{m})$ 上部采用搭设支架现浇施工法,南岸引桥两联[分别为 $(6 \times 50) \text{m}$ 连续刚构桥和 $(5 \times 50 + 40) \text{m}$ 刚构—连续组合梁桥]均采用移动模架施工法。岸上引桥 $(18 + 28 + 18 + 16) \text{m}$ 连续箱梁采用搭设支架现浇施工法,16m 跨空心板采用预制吊装施工法。

扩建后的九江大桥如图 1.3 所示。



图 1.3 扩建后的九江大桥



1.3 工程的特点与难点

九江大桥改扩建工程虽然工程规模不大,类似桥型也有较多的工程实践,但由于建设空间极其狭窄,本桥在设计、施工、监控及管理等方面仍具有突出的特点与难点。

1) 施工空间狭小,施工技术复杂、管理难度大

由于受九江大桥北岸路段左侧九江酒厂以及南岸路段左侧雁山风景区、雁山湖等因素制约,本桥双侧加宽方案无法实施,只能进行右侧单边加宽,而右侧又有正在运营的 G325 九江大桥,改扩建的九江大桥位于现有佛开九江大桥与 G325 国道九江大桥之间(图 1.4)。两座已有桥的中心线相距 50m,尤其是主墩承台相距仅有 16.3m。按设计标准要求的断面进行布置后,建成的扩建九江大桥的上部结构与佛开高速九江大桥的净距为 1.038m,与 G325 九江大桥之间的净距为 2.53m;而下部结构的净距更为狭小,与佛开高速桥墩之间的距离为 1.16m,与 G325 九江大桥之间的距离仅为 0.35m,施工空间极其狭窄,这将对设计和施工提出极大的挑战(图 1.5)。

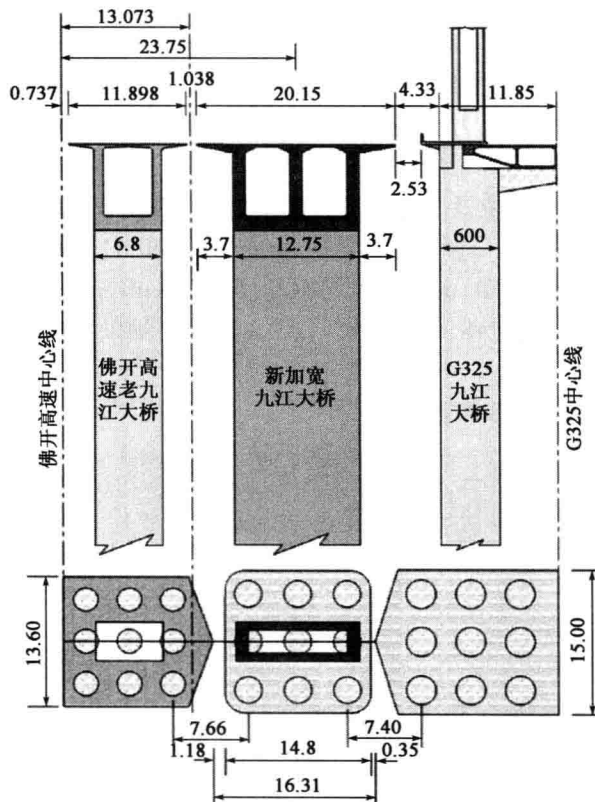


图 1.4 中主墩新旧桥梁横向布置图(尺寸单位:m)

2) 采用大跨径单薄壁墩的结构体系

在确定了连续刚构的桥型后,为了寻求合理的主墩形式,使结构处于理想的受力状态,对主墩形式针对单片薄壁墩、双片薄壁墩、双片实心墩等形式进行了计算、分析、比较。

比选表明,无论是结构受力,还是工程造价、施工难易程度,单片薄壁墩形式均为较优,决定采用,这也突破了大跨径连续刚构桥主墩多采用双片薄壁墩的常规做法。采用这一方案,需对施工阶段及成桥运营阶段的结构强度及稳定性进行更为深入的比较和分析,对设计提出了更高的要求。

本工程的顺利实施,也为类似桥型体系的发展作出了一定贡献(图 1.6)。

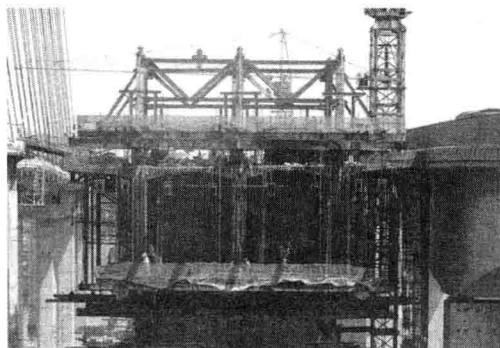


图 1.5 悬浇施工过程中的施工空间



图 1.6 改扩建九江大桥采用的单薄壁墩结构

3) 多跨连续结构,合龙及监控难度高

本桥为四跨连续结构,有多种合龙方案可供选择,不同的方案对结构最终内力状态的影响、施工难度等方面不同。为了准确地达到设计的要求,必须结合现场的施工条件,对合龙过程进行优化,并结合监控进行综合控制,以确保施工过程的安全性和成桥时的线形达到设计要求,并保证结构长期性能最优(图 1.7)。

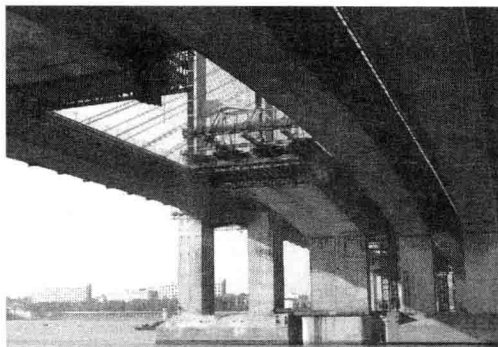


图 1.7 施工过程中的改扩建九江大桥