

广东佛开高速公路
九江大桥施工
Jiujiang Daiqiao Shigong

广东省公路工程总公司 编

人民交通出版社

1996年·北京

内 容 提 要

本书较为详细地记述了广东佛开高速公路九江大桥施工的特点和方法以及施工的过程。全书共分八章：第一章工程概况；第二章 3m 大直径钻孔灌注桩施工；第三章主桥基础和下部结构施工；第四章主桥混凝土连续梁箱梁块件预制；第五章主桥混凝土连续悬臂拼装工艺；第六章预应力混凝土连续梁顶推施工；第七章佛山岸连续刚构支架现浇施工；第八章施工合同管理。

本书可供从事公路与桥梁工程设计和施工的工程技术人员、有关院校师生学习参考。

《广东佛开高速公路九江大桥施工》编委会名单

顾 问 郑启瑞
主 编 郑玉书
副主编 王志仁 吴健华
编 委 林荣有 黄建跃 任美龙 郑顺潮 艾炎仁 黄绍敏 郭 波

佛开高速公路九江大桥领导小组名单

组 长 牛和恩
副组长 郑启瑞
成 员 郑玉书 杨苗健 凌子如 梁 锦 王志仁

佛开高速公路九江大桥专家组名单

组 长 郑启瑞
副组长 林荣有 凌子如 孙国柱
成 员 姚玲森 杨高中 陆仁达 郭范围 张代游 彭嗣墨 黄建跃
黄万弗

责任编辑 卢仲贤

序 言

预应力混凝土桥梁技术,肇始于本世纪 20、30 年代。1937 年德国建成了第一座预应力混凝土桥(Aue 桥),该桥是一座三跨(25.2m+69m+23.4m)悬臂梁桥。1951 年在欧洲 Balduistein 建成的 Lahn 河桥,主跨 62m,是首座用悬臂施工法建成的预应力混凝土连续梁桥,两年后用相同方法在 Worms 建成 Nibelungen 桥(主桥为 101.5m+114.2m+104.2m 的连续梁),从此这一技术迅速传遍全世界。

我国于 50 年代开始研究预应力混凝土桥梁技术,并于 1956 年建成了首座预应力混凝土桥梁(京周公路上),1965 年用悬臂施工法建成盐河桥,是大跨径预应力混凝土桥的初步尝试。广东是祖国的南大门,自 60 年代起,就开始了预应力混凝土桥的实践。在十一届三中全会以后,我国进入改革开放时期,广东是改革开放的前缘,更得风气之先。在建桥技术方面作了大规模的实践,不论是数量、规模、跨径等方面,均取得了长足的进步。广东濒临南海,海湾、江河众多,在最近十多年,随着高等级公路的大规模建设的需要,在南粤大地上不断修建了一大批高标准、大跨径和技术先进的桥梁。以广东省原来最大的两个渡口为例,1988 年建成了 325 国道九江大桥(160m 跨的预应力混凝土独塔斜拉桥)和 105 国道洛溪大桥(180m 跨的预应力混凝土连续刚构桥),当时都是国内最大规模的。相隔不到 10 年,在相同位置又有佛开高速公路九江大桥(160m 跨预应力混凝土连续梁桥)、番禺大桥(320m 跨的斜拉桥)于今年和明年建成,与此同时,悬索桥在广东省也得到了飞速的发展。人们不得不惊叹,社会和经济的发展,对交通建设的要求是多么的迫切!

九江大桥位于佛开高速公路上,跨越南海市和鹤山市之间宽约 1.2km 的西江干流,采用了大跨度的预应力混凝土连续梁结构。预应力混凝土连续梁,是一种传统的桥梁结构形式,具有受力合理、外形美观、行车舒适和使用性能优良等特点,在现代公路建设中,具有极强的生命力和竞争力。其施工方法更是多姿多彩,包括顶推法、悬臂(悬浇和悬拼)施工法、大型浮吊安装方法、支架现浇等各种方法,是国内外应用最早和最广泛的预应力混凝土梁式桥型之一。

九江大桥主桥为六孔一联(50m+100m+2×160m+100m+50m)的预应力混凝土连续梁桥,南边孔采用十一孔(40m+10×50m)一联的等截面连续梁,北边孔采用四孔(40m+3×50m)的连续刚构,总长 1 819.16m,宽度为 2m×12.9m,为分离式上下行双式桥,单幅行车道宽 11.13m,是我国目前规模最大的预应力混凝土连续梁桥。该桥基础全部采用钻孔桩,最大直径 3m,最大桩长接近 100m,是广东省 90 年代基础施工技术的代表。上部结构形式多样,可以说是连续梁桥的集大成者,其中南边孔采用顶推法施工,北边孔为支架现浇施工;最有特色的

是主桥上部结构采用了节段预制悬臂安装方法施工,总共只花了4个月时间,并且以较高的精度合龙,充分体现了这一施工方法的优越性,也体现了广东省施工和管理队伍的素质。

佛开高速公路九江大桥的承建单位广东省公路工程总公司,组织编写了《广东佛开高速公路九江大桥施工》一书,对该桥的施工技术和管理作了全面的总结。本书是对该桥建设的翔实记录,关键还是来得及时,是一种良好的尝试,希望能起到抛砖引玉的作用,并希望对同行和类似工程有所裨益。谨序。



一九九六年十月八日

注:本文作者牛和恩同志为广东省交通厅厅长

目 录

第一章 工程概况

1.0 概述	1
1.1 施工总平面布置	4
1.2 主要工程施工方法	4
1.2.1 基础工程	4
1.2.2 主桥承台和下部结构施工	5
1.2.3 主桥上部结构的施工	5
1.2.4 南岸连续梁顶推施工	6
1.2.5 北岸箱梁的支架现浇施工	7
1.2.6 其他	7
1.3 主要工程施工时间	7
1.4 主要工程数量	8

第二章 3m 大直径钻孔灌注桩施工

2.0 概述	11
2.1 基础结构形式和地质水文情况	11
2.1.1 3m 直径钻孔桩的结构形式	11
2.1.2 地质情况	11
2.1.3 水文情况	12
2.2 钻孔前的准备工作	13
2.2.1 施工平台及其搭设	13
2.2.2 钢护筒的制作及下沉	15
2.3 钻孔工艺	16
2.3.1 钻孔机械	16
2.3.2 钻孔方法	17
2.3.3 泥浆和钻孔排渣	17
2.3.4 钻机技术要求及注意事项	18

2.3.5	清孔	18
2.4	钢筋笼加工、安装和二次清孔	19
2.4.1	钢筋笼加工	19
2.4.2	钢筋笼安装	19
2.4.3	二次清孔	19
2.5	浇注水下混凝土	20
2.5.1	主要机具和设备	20
2.5.2	水下混凝土灌注	20
2.6	劳动组织和质量管理	22

第三章 主桥基础和下部结构施工

3.0	概述	23
3.1	主桥墩水文地质	23
3.2	钻孔前的准备工作	23
3.2.1	钻孔平台结构和搭设	23
3.2.2	护筒埋设	26
3.3	钻孔工艺	27
3.3.1	钻孔设备选择和主要参数	27
3.3.2	泥浆工艺	27
3.3.3	钻孔	29
3.3.4	钻机操作要点及注意事项	30
3.4	钻孔事故的预防	31
3.5	钢筋笼安装和灌注水下混凝土	31
3.5.1	钢筋笼加工	31
3.5.2	钢筋笼安装	31
3.5.3	二次清孔	32
3.5.4	灌注水下混凝土	32
3.6	主墩大体积承台施工	34
3.6.1	套箱结构形式	34
3.6.2	钢套箱安装	34
3.6.3	承台钢筋安装和混凝土浇注	34
3.7	主墩墩身施工	36
3.7.1	结构形式	36
3.7.2	墩身混凝土施工	36
3.7.3	墩身预应力施工	36
3.7.4	支座安装	36
3.8	劳动组织和施工质量	37

第四章 主桥混凝土连续梁箱梁块件预制

4.0 概述	39
4.1 结构形式和布置	39
4.2 预制台座的设置	40
4.2.1 预制场的平面布置	40
4.2.2 预制台座的设置	40
4.3 箱梁块件的预制	43
4.3.1 钢筋和预应力管道安装	43
4.3.2 预埋件设置	44
4.3.3 混凝土浇筑	44
4.3.4 张拉竖向预应力筋	45
4.4 箱梁块件的出坑及转运	46
4.4.1 龙门吊机的设置	47
4.4.2 出梁栈桥吊机的设置	48
4.4.3 梁块出坑	50
4.5 梁块预制测量控制	52
4.5.1 箱梁预制精度的要求	52
4.5.2 箱梁的平面控制	52
4.5.3 箱梁的高程控制	53
4.5.4 梁块出坑测量控制	54
4.5.5 测量控制的其他问题	54
4.6 劳动组织	55

第五章 主桥混凝土连续梁悬臂拼装工艺

5.0 概述	57
5.1 箱梁块件的浮运	57
5.2 箱梁块件的悬臂安装	58
5.2.1 箱梁0号~2号块就地浇注和悬拼吊机安装	58
5.2.2 悬拼吊机的结构形式和安装过程	60
5.2.3 梁块的起吊及定位	61
5.2.4 梁块的预应力施工	63
5.3 合拢和体系转换	67
5.3.1 合拢顺序	67
5.3.2 合拢及体系转换	67
5.4 箱梁悬臂拼装测量和挠度控制	69

5.4.1	悬臂拼装测量	71
5.4.2	悬拼箱梁挠度变形测量	71
5.5	九江大桥应力跟踪测量	75
5.5.1	应力测试的目的	75
5.5.2	测试装置	76
5.5.3	测试内容及方案	76
5.5.4	计算分析模型的建立	80
5.5.5	测量结果的分析和结论	84
5.6	劳动组织	85

第六章 预应力混凝土连续梁顶推施工

6.0	概述	87
6.1	连续梁预制台座和梁段的预制	87
6.1.1	梁段划分	87
6.1.2	制梁台座	88
6.1.3	模板和制梁台滑道	88
6.1.4	底模的升卸	90
6.1.5	箱梁节段连接和预应力管道	90
6.1.6	箱梁浇注	91
6.1.7	预应力张拉	92
6.2	推拉施工设备	93
6.2.1	设备布置	93
6.2.2	顶推施工机械设备	93
6.2.3	转移装置	96
6.2.4	导向装置	97
6.2.5	导梁	97
6.3	顶推施工工艺	97
6.3.1	顶推程序	97
6.3.2	顶推前的准备工作	98
6.3.3	顶推过程	99
6.3.4	联络信号	101
6.3.5	关于顶推系统有待改进的方面	101
6.4	解联和落梁	102
6.4.1	准备工作	102
6.4.2	解联	102
6.4.3	落梁	104
6.5	施工周期和劳动组织	106

6.5.1 施工周期	106
6.5.2 劳动组织	106

第七章 佛山岸连续刚构支架现浇施工

7.1 概述	109
7.2 支架的结构形式和计算	109
7.2.1 落地支架结构形式	109
7.2.2 现浇支架的设计计算	110
7.3 支架的搭设	111
7.3.1 临时墩施工	111
7.3.2 承重横梁安装	112
7.3.3 支架纵梁安装	112
7.4 梁段混凝土施工	112
7.4.1 安装模板	112
7.4.2 钢筋和预应力管道安装	113
7.4.3 混凝土浇注和养生	114
7.4.4 预应力张拉	114
7.4.5 箱梁合拢	114
7.4.6 卸除支架	114
7.5 施工时间	115

第八章 施工合同管理

8.1 九江大桥合同管理	117
8.1.1 组织建立精干的合同小组	117
8.1.2 重视并加强计划管理	118
8.1.3 加强施工经营管理,处理好与业主和工程师的关系	119
8.2 合同管理重点—工程索赔概论	120
8.2.1 索赔的函义和理解	120
8.2.2 索赔的基本程序	121
8.2.3 索赔的资料依据	122
8.2.4 索赔的费用项目	123
8.2.5 九江大桥索赔项目简介	125
8.3 费用索赔的处理	126
8.3.1 概述	126
8.3.2 费用索赔计算	127
后记	129

工程概况

1.0 概述

佛开高速公路九江大桥是广东省佛山至开平高速公路上的一座特大型桥梁。它位于佛山和江门两市之间,跨越南海和鹤山交界处宽约 1 200m 的西江干流,与 1988 年通车的 325 国道九江大桥平行。两桥相隔 50m,其地理位置见图 1.1。

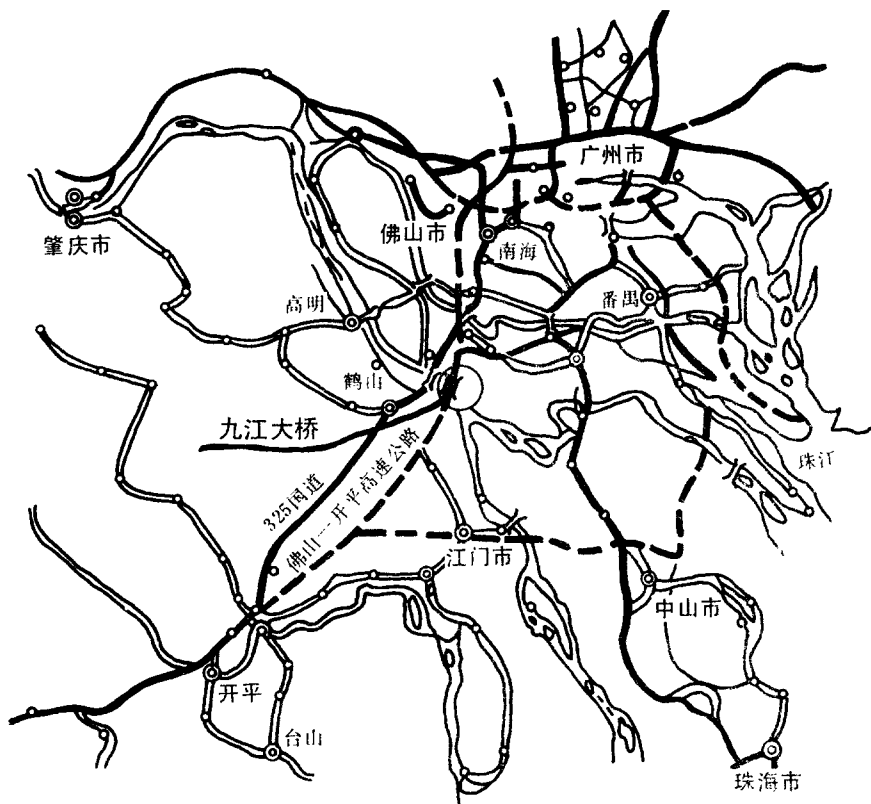


图 1.1 佛山—开平高速公路九江大桥地理位置示意图

九江大桥主桥为六孔一联(50m+100m+2×160m+100m+50m)的大跨度预应力混凝土连续梁;南段边孔为 50m 跨径的多孔预应力混凝土等截面连续梁,十一孔一联(40m+10×

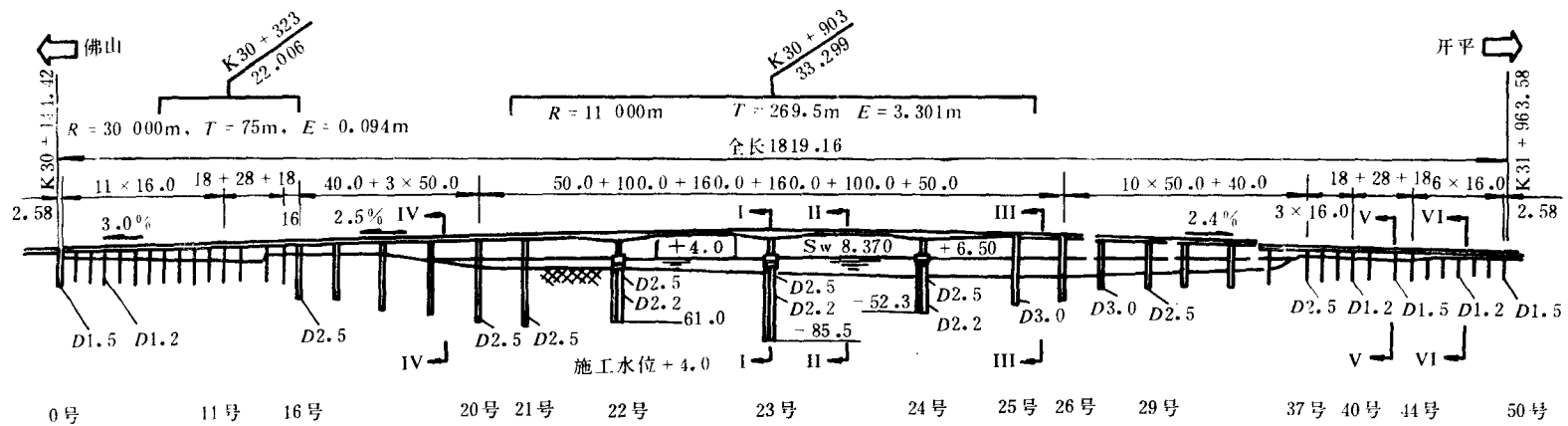


图 1.2 九江大桥桥型布置(尺寸单位:m)

50m);北段边孔为四孔一联(40m+3×50m)的等截面预应力混凝土连续刚构;两岸引桥为16m跨径的钢筋混凝土简支T梁,南北岸分别为9孔和12孔;在两岸的引桥部分与地方道路交叉的地方,各有三孔(18m+28m+18m)一联的钢筋混凝土连续梁。大桥全长1 819.16m,是目前我国规模最大的预应力混凝土连续梁桥。桥型布置见图1.2。

本桥横向布置为上下行分离式双线,行车道各宽11.12m(三车道),全宽2×12.098m,纵坡北岸为2.5%,南岸为2.4%,竖曲线半径11 000m。设计荷载为汽一超20,挂一120,人群3.5kN/m²,船撞力12 000kN,该桥设计风速为33m/s,并按7度地震烈度计算地震力,桥下通航净空为两孔80m×22m。横断面布置见图1.3。

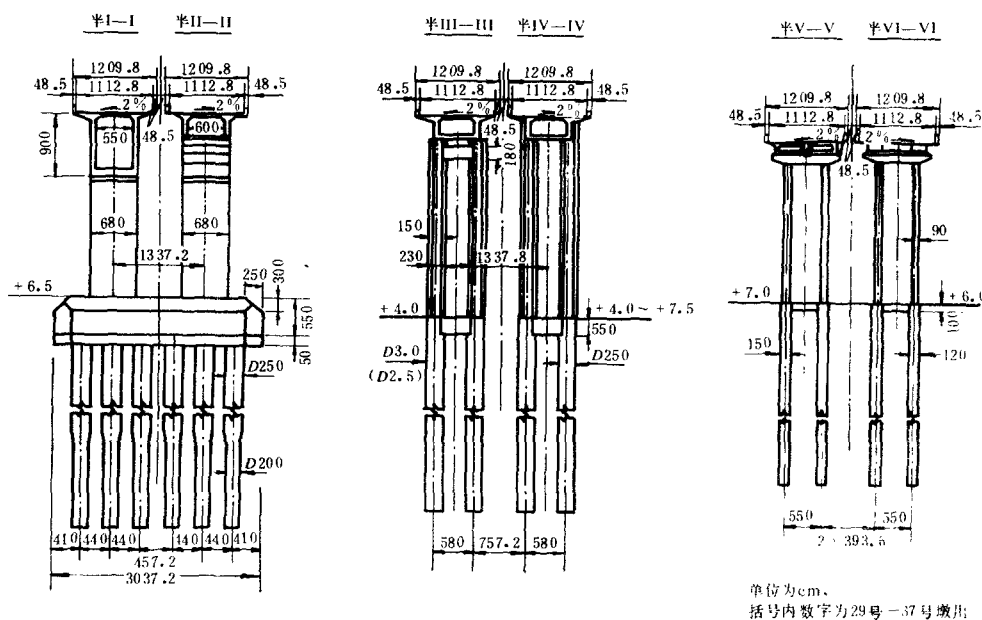


图1.3 九江大桥横断面布置

桥址处水文情况相当复杂。经有关单位论证,该桥按1%的洪水频率设计,设计流量为46 736m³/s,设计流速为2.3m/s,设计水位为8.37m,施工水位定为4.0m,在施工水位时,主河槽冲刷后最低达到-30.80m。桥址处地质为第四纪沉积层和燕山期花岗岩,覆盖层最厚约72m,呈层状覆盖于基岩上,并以细砂为主。基岩以21号墩为界,以北为变质砂岩,天然极限抗压强度 $R_a=15\sim 52\text{MPa}$,风化层最大厚度约为30m;以南则为花岗岩,从上到下为全风化层(3~8m厚),强风化和中风化花岗岩(2~12m厚, $R_a=3.8\sim 47.3\text{MPa}$),微风化或新鲜花岗岩($R_a=9\sim 147.3\text{MPa}$,算术平均值45.8MPa),新鲜花岗岩面最低处为23号墩,标高为-83.91m,该处覆盖层厚度达72m,其中砂层厚68m。

本桥是广东省首次引进世界银行贷款修建的公路项目之一,按照菲迪克条款进行工程招标。业主为广东省高速公路公司,设计单位为广东省公路勘察规划设计院、广东省佛开、深汕高速公路总监理办公室负责佛开高速公路(包括本桥)全线的监理。

本桥于1992年9月15日由广东省高速公路公司和中国技术进出口总公司国际招标公司

发出招标邀请书,12月10日公开招标,九江大桥所在的佛开高速公路第三施工标段由广东省公路工程总公司中标承建。合同规定从正式开工算起工期为37个月。监理工程师于1993年5月26日下达开工令,实际开工日期为1993年11月18日。

1.1 施工总平面布置

广东省公路工程总公司在中标以后,即组织施工力量进场,施工总平面见图1.4所示。施工的生产和生活设施主要布置在佛山和开平两岸(另外主桥的上部结构箱梁块件预制场则布置于开平岸的鹤山港旁的一块场地上,位于桥位上游5km处,在图中未示出,详见图4.3)。两岸生产和生活设施场地总计约40000m²,均有地方道路直达施工场地,材料和设备的进出比较方便。两岸生产和生活用水均引自当地自来水厂,基本满足施工要求。两岸的生产和生活用电均有当地供电部门直接从附近的高压输电线引入,在施工期间(特别是在基础施工)自备有三至四台250kW的柴油发电机组,作为后备,基本上满足了施工要求。

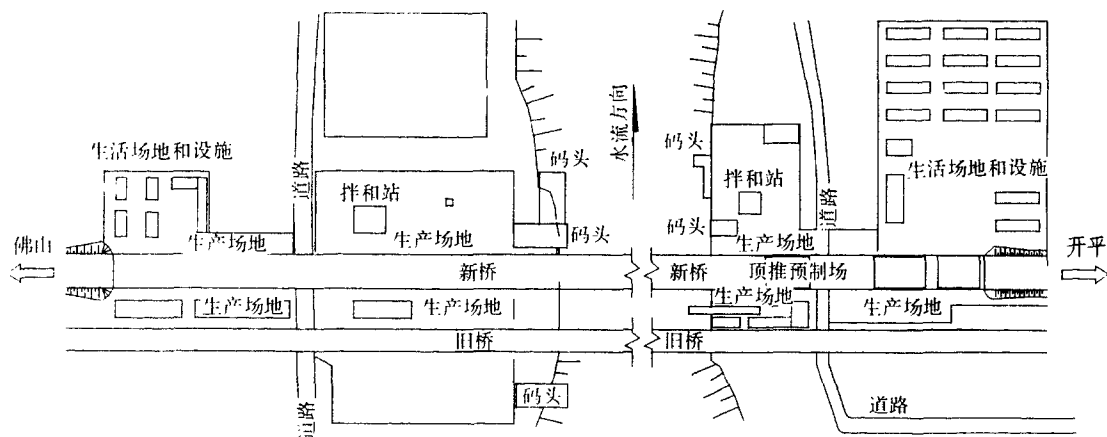


图 1.4 施工总平面布置图

1.2 主要工程施工方法

1.2.1 基础工程

本桥基础全部采用钻孔灌注桩,总共242根,其中水中114根,桥台为 $4\phi 1.5\text{m}$,引桥墩为 $4\phi 1.2\text{m}$,全部位于岸上。边孔连续梁、连续刚构部分以及主桥过渡墩,每墩为 $4\phi 2.5\text{m}$ (16号~21号和29号~37号墩)和 $4\phi 3.0\text{m}$ (25号~28号墩)二种桩径,除16号~18号和37号墩位于岸上外,余均为水中桩基础。主墩22号~24号墩为每墩 $18\phi 2.5\sim 2.2\text{m}$ 变截面桩,全部位于深水区。

岸上桩基的施工。岸上桩基共计128根,包括桥台、引桥墩和北岸边孔连续刚构部分的16号~18号和37号墩。在这些桩基中,除了南岸的45号~53号墩和北岸0号~1号墩因地

制宜采用人工挖孔桩外,其余均采用回旋钻孔和冲击钻常规方法施工,普通粘土泥浆或膨润土泥浆护孔(16号~18号墩)。

水中桩基的施工。该桥水中桩基数量多、桩径大、水深流急,桥址处地质情况也是广东省历年建桥地点发现的最为复杂的地质情况之一,因此水中桩基的施工是该桥的关键,也是耗时最长的一项工作。在施工中,我们主要根据地质和水文情况,采用水中固定钻孔平台,回旋钻机反循环钻孔或冲击钻机钻孔方法施工,优质粘土泥浆或优质膨润土泥浆护孔,其中完善的泥浆工艺是本桥基础施工中最有特色的工艺之一。

在顶推连续梁部分,25号~28号墩的墩身最高(最高为22.9m),此处水最深(施工时实际河床标高达-28.4m,水深32m左右),计算局部冲刷线以上自由长度为65.236m。为了承受施工中不平衡力,经过各方充分论证,最后设计成3.0m的大直径嵌岩桩,这在广东省尚属首次采用,是广东省桩基施工技术的一次飞跃。

主桥墩位于主河槽处,河床面标高-7.0m~-23.7m。在施工水位(+4.0m)时,水深约11~28m。地质则以23号墩最为复杂,基岩面上有72m厚的覆盖层,从上到下依次为细砂(夹淤泥)层32m,卵石层4~5m,粗砂层36m,然后进入弱风化层。桩尖标高最深处置于-85.5m,即嵌入弱风化岩层2.5m,岩层强度39~147MPa。

在钻孔灌注桩的施工方面,主要在本书第二、三章介绍了25号~28号墩的3.0m大直径桩基和23号~24号主墩直径为2.5~2.2m超长变截面钻孔桩基础的施工情况。其他的桩基施工限于时间紧迫和篇幅,未能全面列入。

1.2.2 主桥承台和下部结构施工

本桥主墩承台是大体积的混凝土结构,尺寸为30.272m×13.6m×5.5m,体积约1888.0m³。

根据施工进度计划安排,承台施工很难避开洪水季节,经论证决定采用吊架套箱施工方案。承重架以已成桩基为支点,采用贝雷和I56工字钢作承重结构,然后用迪维达格钢筋吊住底架,在底架上安装钢套箱。一个套箱总质量约60t,三个主墩周转使用。承台混凝土的浇注,分为三层施工,每层高度1.5~2.0m。为解决大体积混凝土水化热的问题,采取了内排外保的办法。

本桥大跨度预应力混凝土连续梁主桥的三个主墩,最后经修改设计采用预应力混凝土空心墩,其施工简单,受力明确,较好地满足了结构和施工要求。

这项内容,安排在本书的第三章论述。

1.2.3 主桥上部结构的施工

该桥主桥为六孔一联(50m+100m+2×160m+100m+50m)的大跨度预应力混凝土连续梁,主桥上部结构形式为单排支座多跨变截面预应力混凝土连续梁,大吨位群锚体系。根部梁高9.0m,合拢断面梁高3.0m,单T划分成49个梁段,其中墩顶块为0号块,合拢段为24号块。块件最大长度4.0m,最大重量(除0号块外)为1197kN。在22号~24号墩每墩设两个球面支座,每个支座的承载力为31900kN。

22号~24号三个主墩,采用墩旁托架悬臂浇筑法施工0号~2号块,其他梁段则在采用

墩梁固结措施后,用预制悬臂拼装法施工,据信是目前采用同类型施工方法中创记录的,具有极大的挑战性,在施工中,达到了较好的精度,满足了要求。

而南边孔(包括第 26 跨的 50m 和第 25 孔 18.50m 悬臂部分)则是靠与南连续顶推施工一起顶推到位,北边孔(包括第 21 跨的 50m 和第 22 孔的 18.5m 悬臂部分)则用落地支架现浇。

在主桥预制箱梁块件全部拼装完成,以及两端主桥部分的边孔现浇(或顶推到位并落梁后),即可作全桥的合拢工作。合拢的顺序是,先合拢两个中孔(即 22 号~23 号墩之间和 23 号~24 号墩之间),解除 23 号墩的临时墩梁固结,然后合拢两边孔(21 号~22 号墩之间和 24 号~25 号墩之间),最后解除 22 号和 24 号墩的临时墩梁固结,从而完成主桥的合拢和体系转换。

主桥上部为 50 级混凝土,箱梁结构采用双向预应力,纵向为钢绞线群锚,最大吨位为 3 715kN,竖向为高强精轧螺纹粗钢筋($\phi 32$),张拉吨位为 540kN。主桥大跨度预应力混凝土连续梁的预制悬臂拼装施工,是本桥的关键,实际施工较好地达到了预期目的,本书第四、五章对此作了全面的论述。

1.2.4 南岸连续梁顶推施工

本桥南岸连续梁为 11 孔一联(40m+10×50m),采用顶推法施工;再加上主桥南边孔部分的 68.5m,在结构设计和施工组织上,为免主桥边孔的落地支架现浇,也把它安排在顶推箱梁的前端一起顶推到位,到位后再解联,然后各自分开。故此南岸顶推施工的箱梁长为 608.5m。这两联箱梁外形尺寸相同,上下行线各为单箱单室,底宽 6.8m,顶板宽 11.898m,高 3.0m,每延米自重约 206kN。

顶推施工制梁台布设于 39 号~40 号墩之间,总长 16.8m,中间设一临时墩(基础为钻孔灌注桩),再加上 39 号和 40 号墩二个支点共计三个支承点。制梁台承重结构为六四军用梁,底模架为 I45 和 I25 工字钢,在军用梁和底架之间设有 45 个 300kN 的螺旋千斤顶作支承,并以此来升降底模架。

在施工方法上,该桥采用了连续顶推工艺,要点是在各墩上系梁的箱梁中心线上安设一台 ZLD100 型连续顶推水平千斤顶,该千斤顶在中部和前端各有一个钢绞线夹具,顶推时在箱梁和千斤顶之间通过拽拉杆和顶推拉索连接,然后向水平顶前油缸注油。千斤顶拉动箱梁向前一个行程,当前部顶到极限行程后自动松开拉索回油,而后部顶同时进油夹住拉索继续向前接力顶推。如此循环直到梁段到位,完成一段箱梁的顶推。全桥共设二套总控台,各墩一个水平顶,共 26 个,泵站 13 个。

箱梁顶推时前端导梁采用 325 国道九江大桥施工时的导梁,全长 34m。每个箱共设有二片变截面钢板梁(横向间距 6.0m),因为与其它桥相比,箱梁要宽得多,因此导梁的横向联结系全部重新设计和加工。

箱梁顶推到位后,在二段梁的结合点处将梁解开,接着再把属于主桥部分的前联 68.5m 的箱梁再往前顶推 35cm 到位。然后各自落梁,落梁用竖向千斤顶布置于各墩上系梁两侧,采用所谓局部落梁方法,即一次只在 5~6 个墩上用竖向千斤顶把一定长度的箱梁抬起约 1cm,然后拆除滑块,安放支座,把箱梁放下,完成这一段箱梁的就位,如此循环直至全部完成。为确保各墩起顶高度控制在设计允许范围内,还必须经过详细计算因此而产生的内力和反力,以确