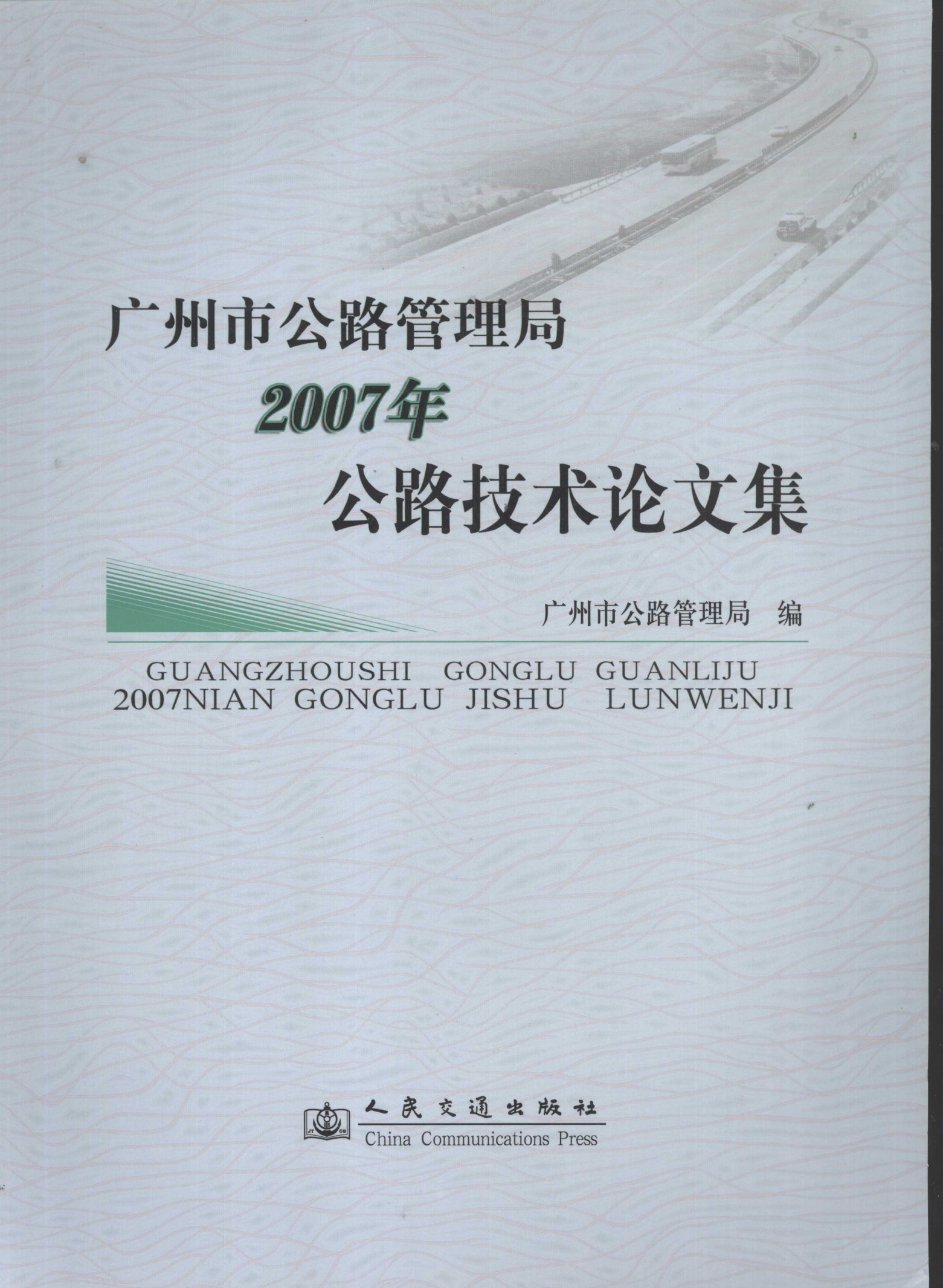




广州市公路管理局

2007年

公路技术论文集

广州市公路管理局 编

GUANGZHOU SHI GONGLU GUANLIJU
2007NIAN GONGLU JISHU LUNWENJI



人民交通出版社

China Communications Press

广州市公路管理局 2007年 公路技术论文集



广州市公路管理局 编



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书是广州市公路管理局公路建设和管理上多年来的实践经验总结。全书共汇集论文 78 篇,内容涵盖公路建设、管理、养护、征稽、设计、施工、监测等各个方面,按论文不同内容分别编辑为桥梁、道路、隧道和综合篇。其各篇内容密切结合实际,技术内容丰富,含有多方面的经验,可供从事公路建设、养护、管理和征稽技术人员借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

广州市公路管理局 2007 年公路技术论文集/广州市公路管理局编. —北京:人民交通出版社,2008. 2

ISBN 978-7-114-07007-5

I. 广…II. 广…III. 道路工程—文集IV. U41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017581 号

书 名:广州市公路管理局 2007 年公路技术论文集

著 作 者:广州市公路管理局

责任编辑:刘永芬

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:北京市密东印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:21.5

字 数:670 千

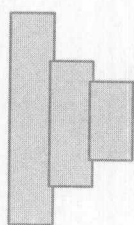
版 次:2008 年 3 月第 1 版

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

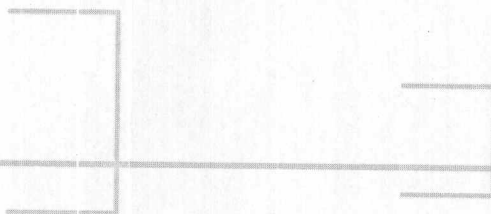
书 号:ISBN 978-7-114-07007-5

定 价:80.00 元

(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)



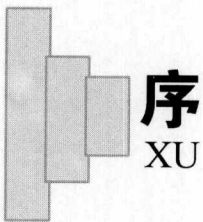
编委会
BIANWEIHUI



主 编 陈小朋

编委成员 李朝文 黄少新 胡胜敏

施瑞欣 李晓东 苏镇洪



序

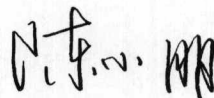
XU

在我国经济社会发展大潮中,广州市公路事业快速健康的发展。近年来,广州市公路管理局以广州市二环高速公路为代表的高速公路项目相继建成通车,另一批高速公路项目和国省道新改建项目正在如火如荼建设中。在公路建设、管理、养护工作中,历练了队伍,培养了人才,全局科技水平不断提高。《广州市公路管理局 2007 年公路技术论文集》就是实践的结晶、经验的总结、研究的成果。全书内容涵盖公路管理、建设、设计、监测、养护等各个方面,内容丰富,具有一定的指导性和实用性。该书的出版从侧面体现了广州公路事业科技兴路的累累硕果,也使我们看到了穗路人人才济济、风华正茂的精神面貌,实在可喜可贺。

人们对自然界、对社会认识,对技术的掌握,都有一个由浅入深、由表及里、由低级到高级发展的过程,要完整地反映事物的内在规律和技术真谛,必须将丰富的感性认识去粗取精、去伪存真,逐步加以分析、探究,并在实践中得到升华和验证。我们所收集的论文,有“粗”有“精”,有“浅”有“深”,但都充分总结了穗路人的技术经验,凝聚着穗路人的心血和智慧,值得自豪,也欢迎大家批评指正。

小平同志“科学技术是第一生产力”的科学论断早已深入人心。“人才是第一财富”体现着“以人为本”的人本理念。社会要进步,事业要发展,离不开科学技术,更离不开辈出的人才。党的十七大的胜利召开,昭示着我国经济社会进入一个崭新的时期。我们置身于这个伟大的时代,在以胡锦涛总书记为核心的党中央的正确领导下,公路事业即将开始新一轮的跨越。为此,通过论文集这一科技交流的载体和渠道,我期待着业界科技工作者能从中得到有益的启迪和借鉴,也期望大家在公路事业的实践中,不断地学习、探索、研究,努力促进公路技术的发展,更期望穗路人尤其是科技人员,在实践中奉献聪明才智,在奉献中茁壮成长,为公路技术的不断进步,为公路事业的不断发展,做出新的更大的贡献。

广州市公路管理局局长:



二〇〇八年三月二十日



目录

MULU

桥 梁 篇

1. 珠江黄埔大桥悬索桥锚碇基坑支护设计与施工..... 张少锦 张太科(1)
2. 移动模架工法的关键问题及解决策略研究*
..... 黄成造 项贻强 汪劲丰 张少锦 赵 阳(6)
3. 连续刚构桥梁荷载试验分析 黄少新 赵文秀(13)
4. 广深跨线桥施工监控与长期健康监测一体化系统的设计及监测分析
..... 招国忠 曾 磊 汤立群 刘逸平 何庭蕙(17)
5. 广州珠江黄埔大桥特殊结构件的腐蚀与防护 凌 晓 张少锦 余锦秀 叶觉明(21)
6. 复杂条件下东二环广深跨线桥预拱度分析 曾 磊 邓志华 何庭蕙 刘泽佳 汤立群(27)
7. 广州珠江黄埔大桥悬索桥钢箱梁的焊接与变形控制研究 陈 红 张少锦 王秀菊(32)
8. 船舶撞击桥梁基础的动力放大系数的研究 廖小军(35)
9. 造型拱竖向转体施工仿真分析 徐芳元(40)
10. 虚拟温度荷载法在调整斜拉桥成桥恒载索力中的应用..... 欧阳剑(45)
11. 钢管混凝土拱肋脱空缺陷超声波定量检测技术初步研究
..... 梁富会 唐光武 黄福伟 傅 斌(48)
12. 系杆拱桥的侧向稳定性分析..... 周剑兰(54)
13. 基于能量法的桥墩稳定性分析 刘 进 (57)
14. PHC 高强预应力管桩在桥梁设计中的应用 史建锋 张文龙(61)
15. 大跨径钢箱梁空间组合系杆拱桥受力分析..... 周月明(66)
16. 紫坭大桥加固技术设计..... 姜海波 关其华(76)
17. 浅析压力注浆处治桥头搭板脱空技术..... 胡源泉(81)
18. 桥梁结构碳纤维加固技术施工工艺..... 刘峰增(85)
19. 对桥墩施工技术的浅析..... 林树芳(89)
20. 岩溶地区桥梁桩基施工技术探讨..... 陈杨柳(93)
21. 浅谈桩基础溶洞处理施工方法..... 杜 瑞(96)
22. 嵌岩深基坑支护结构施工阶段内力监测与反分析研究
..... 谢 军 孙 旻 徐 伟 张太科(100)
23. C50 高掺混凝土回弹法检测专用测强曲线研究 程 晔 谢 军 许彦峰 申小龙(103)
24. 广州珠江黄埔大桥 MSS62.5m 上行式移动模架关键技术研究 景 强 王殿学 黄成造(108)
25. 现浇箱梁裂缝病害治理 刘瑞盛(112)

26. 桥梁健康动态检测与评估管理系统设计	赵文秀 谭冬莲(116)
27. 北二环北村特大桥引桥 50m T 梁施工工艺	梁 明(119)
28. 洛溪大桥主桥 2 号墩承台病害的维修加固	蔡良东(123)
29. 微型桩在路桥工程中的应用	杨继强(126)
30. 预应力混凝土连续刚构桥施工过程应力监测研究	陈 嘉(132)
31. 浅谈混凝土箱梁桥的裂缝成因及日常养护防治	胡 硕(136)
32. 基于 VB 程序的桥梁动载监测设备的时频分析	郑 权(140)
33. 钻孔灌注桩常见施工质量病害及防治措施	郑景龙(144)

道 路 篇

34. 用模糊物元对水泥混凝土路面性能综合评估的研究	董秀文 杨 刚(148)
35. 沥青薄层罩面应力吸收夹层结构有限元分析	杨 刚 苏镇洪(154)
36. 沥青路面裂缝产生的原因与预防	刘虎祥(158)
37. 水泥混凝土板下灌浆在路面养护中的应用	黄文有(162)
38. 浅谈高等级公路沥青路面的养护维修	何志刚(166)
39. 浅谈灌砂法压实度的检测方法及其影响路基压实度的因素	黄丙栋(170)
40. 灌浆技术处治旧水泥混凝土路面应用探讨	陈 超(173)
41. 早强混凝土的路用性能试验研究	魏映华 王进勇(177)
42. 沥青混合料抗剪性能研究	刘细军(180)
43. G106 线梯面高填土路段交通工程设施的分析与整治	陈瑞婷(188)
44. 对非饱和路基压实黏土在剪切过程中 c 、 φ 、 w 的变化的探讨	李海翔 王 敏(191)
45. 国道 G105 线番禺段软土特征及处理措施	徐利成(197)
46. AGO 分析法在深厚软基处治中的应用	李新伟(203)
47. 沥青路面早期破损的原因及防治措施	王诗高(208)
48. 混凝土路面水害的防与治	刘虎祥(211)
49. 微表处施工质量控制	苏镇洪(215)
50. 半刚性基层沥青路面基层参数力学分析	吕明敏(219)
51. 论沥青路面平整度控制	胡向前(222)
52. 公路绿化对交通安全的作用及其设计	李 山(226)
53. 钢纤维在混凝土路面工程中的应用	杨立权(230)
54. 公路线形与景观环境协调设计分析	徐俊德(234)
55. 公路沥青路面维修养护浅谈	谭梓刚(238)
56. 水泥混凝土路面断板分析及防治技术	刘海星(240)
57. 浅谈广州地区道路(公路)绿化种植和要求	郑伯江(243)
58. 浅谈沥青混凝土路面损坏类型及养护	林德光(246)
59. 水泥混凝土路面施工应注意的问题	杨立帮(249)
60. 绿化景观设计在公路绿色通道建设中的应用	黄林星 任东华(251)
61. 水泥搅拌桩处理软基施工的施工工艺及质量控制措施	何智宇(253)
62. 粉喷桩处理软土地基施工工艺控制	黄少新 曾 磊 罗金标(257)
63. 浅谈锚杆喷射混凝土边坡加固的施工	王明兴(260)
64. 锚喷支护技术在土层边坡防护中的应用	吴至博(265)
65. 高速公路中线缓和复曲线的点位坐标	李晓东 谭远德 张坤宜(269)

隧 道 篇

66. 大断面公路隧道施工控制爆破技术研究 张少锦 谭宗盛 (273)
67. 龙头山双洞八车道高速公路隧道洞口段核心土临时支撑拆除方案研究 伍尚千 严宗雪 (278)
68. 特大断面隧道远程自动监测方案的研究
..... 曾 磊 莫海鸿 房营光 陈俊生 刘庭金 (282)
69. 龙头山双洞八车道公路隧道浅埋段施工技术探讨 严宗雪 张少锦 谢 军 谭宗盛 (288)
70. 龙头山隧道衬砌结构耐久性实验分析 招国忠 谭宗盛 曾 磊 (294)

综 合 篇

71. 面向工程的设备维修策略 邓汇良 (298)
72. 地下水位变化对建筑物地基沉降影响的数值模拟 孟莉敏 (301)
73. 具有高速公路联网技术特点的开放式公路收费系统的技术实现概述 黄耀珍 (306)
74. 浅谈开放式公路收费系统的设计开发 陈小彪 (310)
75. 信息化技术在公路工程建设领域的应用 黄文清 (317)
76. 预制桩难以测到桩底反射波的原因分析 刘永翔 (322)
77. 浅谈业主对工程造价的控制 熊 颖 (326)
78. 对计算机视觉技术在公路规费征稽过程应用的一些探讨 段小振 (329)

1. 珠江黄埔大桥悬索桥锚碇基坑支护设计与施工

张少锦 张太科

(广州珠江黄埔大桥建设有限公司)

摘 要 广州珠江黄埔大桥南汊桥跨越珠江主航道,设计为主跨 1 108m 单跨钢箱梁悬索桥,锚碇采用重力式锚碇,基坑采用混凝土圆形地下连续墙支护,排水明挖。本文介绍了黄埔珠江大桥锚碇基坑支护工程—圆形地下连续墙的设计和施工技术及控制过程。

关键词 黄埔大桥 锚碇工程 嵌岩地连墙 成槽技术

1 引言

广州珠江黄埔大桥位于广州东南部,珠江水上距离虎门大桥 34km,大桥全长 7 016.5m,由北引桥、北汊主桥、中引桥、南汊主桥、南引桥 5 部分组成。其中南汊主桥为主跨 1 108m 的单跨钢箱梁悬索桥,梁宽 41.69m(图 1),大桥设计荷载标准为汽车—超 20 级、挂车—120,通航净空高度为 60m,设计风速为 20m 高处百年一遇 10min 平均最大风速 41.4m/s;抗震按基本烈度 VIII 度设防。悬索桥锚碇采用重力式锚碇,基础埋深为 30m,基坑采用混凝土圆形地下连续墙支护,排水明挖。本文主要介绍基坑支护结构圆形地下连续墙的设计和施工过程。

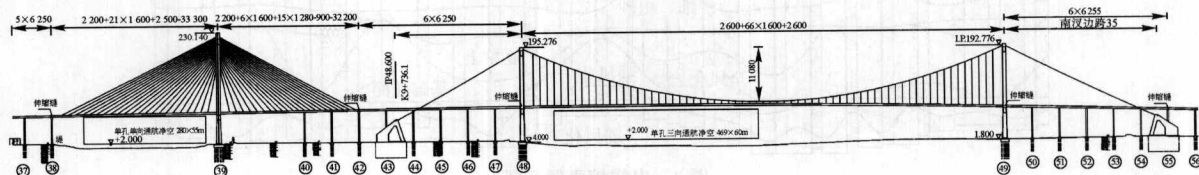


图 1 珠江黄埔大桥主桥立面图

2 水文地质条件

桥位区地层岩性分两层,上部为第四系全新统一更新统三角洲相和河流相覆盖层,三角洲相为灰色、灰黑色淤泥、淤泥质土和淤泥质粉砂、细砂,靠近陆缘部分分布腐木层,河流相为黄色、灰色、灰白色中粗砂、粉细砂,局部夹淤泥,厚达 20~30m;基岩第三系(E1-2)为古新统~始新统棕红色、紫红色、浅灰色砾岩、含砂砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩,白垩系(K2s)为南雄群浅灰、浅棕、紫红色砾岩、含砂砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩,下古生界(Pzl)为灰黑色、灰白色绢云母千枚岩、片岩、片麻岩、变粒岩、石英岩、混合岩及变质砂岩等,燕山期岩浆岩($\gamma 52(3)$)为灰色、灰白色、灰黑色、肉红色花岗岩、斑状花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩。地震基本烈度:工程场址区的地震基本烈度为Ⅶ度。本项目存在瘦狗岭断裂、化龙-黄阁断裂和文冲断裂。根据工可报告以及初步设计阶段的地质勘察认为,本项目范围内的断裂带的地震活动不会对工程场址造成直接的危害。

桥址区地下水为第四系孔隙水和基岩裂隙水,具有承压性,地下水主要受珠江水和大气降水渗入补给,补给条件良好,地下水位埋藏浅。第四系孔隙水含水层为砂性土(粗砂、中砂、粉细砂),水量丰富;基岩为混合岩裂隙水,主要受基岩节理裂隙发育条件限制,富水性一般较弱。

3 黄埔大桥嵌岩地连墙设计

锚碇是悬索桥控制性工程之一,基础设计最大埋深 30m。南锚碇工程位于广州市番禺区化龙镇,桥址地处文冲船厂下游约 1km,锚碇距堤岸距离约 55m。基坑开挖深度为 25.5m;北锚碇基础工程位于珠江波萝庙船厂段的江中的大濠沙岛上,基坑开挖深度为 30m。

根据桥位处水文地质情况,经反复比较,基坑支护结构采用外径 73m,壁厚 1.2m 的混凝土圆形地下连续墙,鉴于地质钻探所结果揭示的岩石单轴极限抗压强度较低、基岩破碎、裂隙发育的现状,为避免地连墙底脚发生渗流以及踢脚破坏,保证基坑的抗隆起稳定性,确定地连墙嵌入弱风化混合岩深度不小于 3m,墙深 32~42m。为封闭地连墙底岩体缝隙渗流,在地连墙预埋钢管进行墙体下压浆。基坑开挖时,内设 2.0~2.5m 钢筋混凝土内衬与连续墙相连。锚碇地连墙及支护结构如图 2 所示。

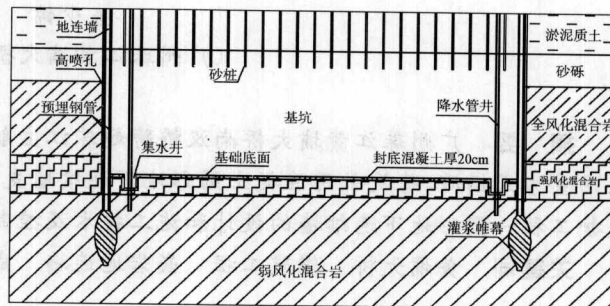


图 2 锚碇地连墙及支护结构

地连墙施工槽段分 I 期、II 期两种槽段各 25 个槽段,共 50 个槽段,I 期槽段采用三铰成槽,边槽轴线处长 2.8m,中间槽轴线处长 1.12m,槽段轴线处总长 6.72m,边槽与中间槽交角为 176.9°;II 期槽段长 2.8m,II 期与 I 期之间交角为 175.9°。II 期与 I 期槽段在地连墙轴线处搭接长度为 0.25m。地连墙具有墙体深、厚度大、需嵌岩等技术特点,为确保地连墙的施工质量和施工进度,确定采用铰接法连接方式。南北锚碇地下连续墙槽段展开图如图 3、图 4 所示。

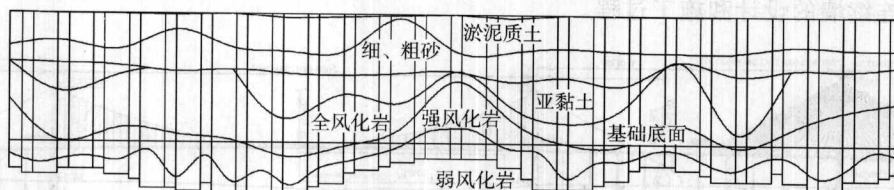


图 3 南锚槽段展开图

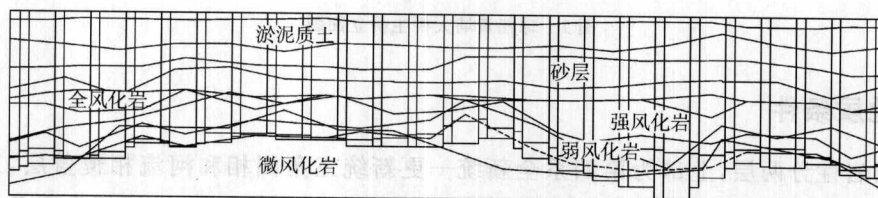


图 4 北锚槽段展开图

4 嵌岩地连墙成槽技术

嵌岩成槽是嵌岩型地下连续墙施工中的关键技术,表 1 中给出了国内近年来几个代表性工程的基岩成槽方案,可以看出在基岩中成槽,主导的工艺还是采用凿抓铰法。

国内代表性工程比较

表 1

工程名称和完工时间	平面形式	挖深(m)	基岩主要成槽方案
虎门西锚	圆形	50	钻冲法
润扬北锚(2002 年)	矩形	48	凿抓铰法
阳逻南锚(2004 年)	圆形	45	凿抓铰法
黄埔北锚(2006 年)	圆形	30	凿抓铰法
黄埔南锚(2006 年)	圆形	25	钻抓铰法

4.1 工法选择

地连墙的成槽主要机械主要有抓斗、铣槽机、冲击钻和重锤(凿)等,其中抓斗适用于较软的土层,液压铣槽机不仅在软弱土层、粉砂层中可以施工槽段壁面较光滑的槽孔,而且在砾石、卵石以及软弱基岩中直接铣削成槽,具有很高的效率,但是对坚硬基岩的直接铣削效果很差,施工费用高,应配合冲击钻或重凿进行施工。

由于地连墙成槽效率主要受到地质情况的制约,只有根据实际的工程地质情况选择适合的成槽机械才能取得较好效果。南锚场地的强、弱风化岩层的高程高于北锚,也就是说南锚地连墙在硬基岩的成槽深度更大,而北锚场地强、弱风化岩层的高程较低,地连墙槽孔主要位于全风化岩、砂层和软弱土层等开挖难度较小的土层,在较硬基岩的工作量较小。因此,根据南、北锚不同的地质情况应该选取不同的成槽技术。经过综合评估,北锚碇地连墙由施工单位的委托法国地基公司施工,南锚碇地连墙则由施工单位自主组织施工,并取得明显效果。

4.2 成槽方案

(1) 南锚碇地连墙成槽工艺

南锚碇成槽技术可以概括为:抓孔,卷扬式冲击钻成槽,铣槽机修槽,铣侧边。

考虑到在较硬岩层成槽工程量大的特点,将槽段分为上下两层,采用不同的成槽技术:

① 槽段上层成槽方法

槽段上层采用液压抓斗和铣槽机成槽,其工作流程如下:

槽口开挖→就位→抓(铣)进→下个孔位→修孔→检查→下个槽段

施工时,首先根据槽段划分在导墙顶面及侧面用红漆作好标志。在铣槽机工作之前,用挖掘机开挖此槽段顶部2~3m深,以使铣槽机铣削头处的泥浆泵可以淹没在泥浆中。

I期槽成槽时,必须先施工两侧槽孔,最后施工中间槽孔。液压抓斗在连续三抓空抓时,即可停抓,由施工员对比地质钻资料及调查最后一抓的弃渣,如距离强风化面较远,则改用铣槽机继续成槽,否则按到达上下层分界面处理。当铣槽机压力表读数急剧上升,即可停铣,按到达上下层分界面处理。

② 槽段下层成槽工艺

槽段下层采用冲击钻成槽,其工作流程如下:回填黏土→就位→造浆→冲进→下个孔位→修孔→检查→下个槽段。冲锤就位时,指挥人员根据导墙上的标志,指挥司机移动机架,使冲锤移至设计槽位上。冲机先用圆锤冲出5个圆孔,再换成方锤修孔。每个I期槽段布置两台冲机,圆孔成孔及修孔均按先边后中的顺序进行,每个孔在确认进入弱风化3m后,再进行下一个孔的成孔作业。

(2) 北锚地连墙成槽工艺

北锚成槽技术可以概括为:抓孔,铣槽,重锤凿,抓碎石,铣槽机,修槽,铣侧边。

成槽工艺主要为液压铣削成槽,主要分为以下三种情况:

① 在上部10m范围内的土层采用钢丝绳抓斗设备进行“纯抓法”成槽;

② 10m以下的土层至基岩部分采用HF12000液压铣槽机进行“纯铣法”成槽;

③ 进入坚硬岩石层以后,采用重凿和液压铣(抓斗)交替使用,直到设计的槽孔深度,即重凿破碎岩石层,再使用铣槽机成槽。

施工工艺如下:铣槽机施工至基岩,难以进尺→提出铣槽机→下入重凿(锤)→重凿破碎岩石→提出重凿(锤)→下入铣槽机成槽

4.3 墙底压浆

避免地连墙底脚发生渗流,增加地下水渗流路径,在墙体设计预埋了灌浆管(图5),墙体施工完毕后对墙体底部进行压浆形成挡水帷幕。压浆深度要求进入微风化岩不小于3m,实

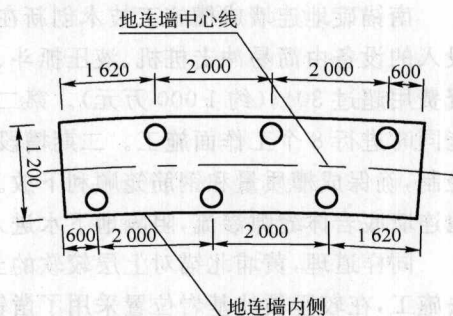


图5 地连墙帷幕灌浆孔平面位置图(I期槽)

际施工自墙底下有 10m 左右。

根据地连墙与基岩的接触地带灌浆易串、冒的特点,在接触带采用高压水旋转冲洗后,使用卡塞法或孔口封闭法进行压水和灌浆,灌浆后待凝 24h 以上方能进行下一段的钻灌工作。

采用自上而下分段灌浆法施工时,在设计压力下,注入率不大于 1L/min,继续灌注 30min,灌浆可以结束;采用自下而上分段灌浆法施工时,在设计压力下,注入率不大于 0.5L/min,继续灌注 10min,灌浆可以结束。质量检查以分析检查孔压水试验为主。

黄埔大桥采用的墙底压浆实际效果较好,压浆后基坑开挖基本实现了干开挖,避免了墙体外增设止水帷幕等额外的止水方案,既节约了工程投资,也节约了工期。

5 黄埔大桥地连墙成槽技术创新

根据南、北锚的工程地质情况和可能的成槽机械相组合,我们分别对南、北锚的成槽方案进行了部署和试成槽,形成了两个适合本工程实际情况的成槽施工工艺,并且通过施工实践,实现了在坚硬层中集中大量使用简单成孔机械达到计划功效及质量要求和使用较先进的成槽机械及较低劳动力消耗达到成槽施工目标的两个成功案例。在国内嵌岩地下连续墙施工领域实现了成槽施工工艺的成套技术的完整创新。

南锚碇地连墙成槽质量完好;围绕基坑均匀布置了 8 个测斜管,通过实时监控,地连墙受力较为理想,内侧和外侧的环向应力较接近,以受压为主,当基坑开挖至 20m 深度位置,数据显示最大变形 10mm,最大应力 9.67MPa,均控制在设计允许范围之内(图 6、图 7)。

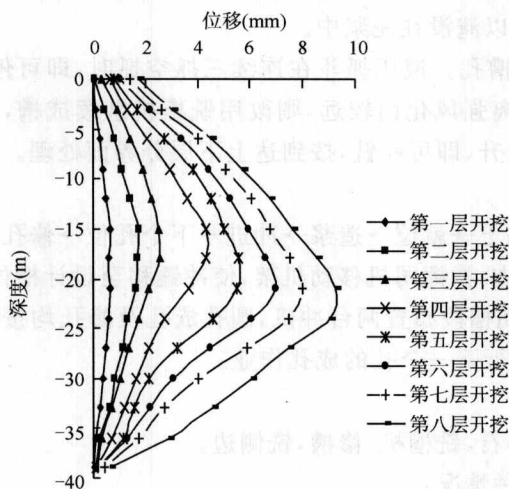


图 6 南锚碇连墙位移图

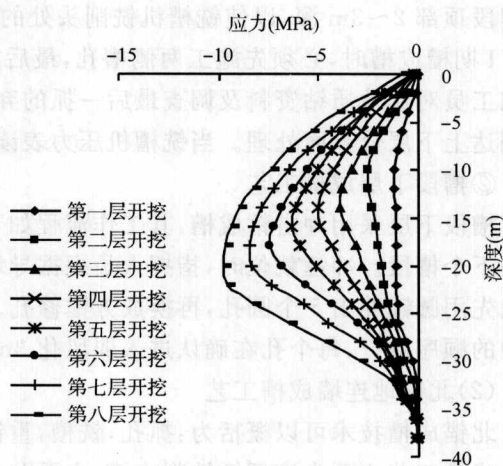


图 7 南锚碇连墙环向应力图

南锚碇地连墙成槽施工技术创新在三方面得到了充分体现:第一、降低了大量施工成本。该工艺所投入的设备由简易冲击桩机、液压抓斗、及铣槽机组成,减少大量临时进口设备费用的支出,节省该项投资费用超过 30%(约 1 000 万元)。第二、能大面积施工,满足工期要求。投入 16 台冲机施工,一期槽段能同时进行 8 个工作面施工。二期槽段能同时 16 个工作面开工。第三、成槽的最后一道工序由铣槽机控制,确保成槽质量和钢筋笼顺利下放。第四、通过地连墙墙底压浆工法代替墙外止水帷幕方案,封闭地连墙底岩体缝隙渗流,阻隔地下水进入基坑,节省工期和投资费用。

同样道理,黄埔北锚对上层较软的土体主要采用抓孔、铣削砂层,对下层基岩的较弱部分采用纯铣法施工,在较坚硬的基岩位置采用了凿铣法施工,实际施工质量优良,但是铣槽机的工时耗用较多、劳动力使用较为节约,实践和完善了较先进的成槽工艺。

6 结束语

通过对广州珠江黄埔大桥锚碇基坑地下连续墙施工的总结,液压铣槽机用于地下连续墙成槽能充分保证施工质量、精度高、施工速度快,但是台班费用过高,黄埔珠江大桥南锚的经验表明,只要合理应用,简单、传统的成孔机械也可以保证有足够的精度并且能有效控制成本。

参考文献

- [1] 广州珠江黄埔大桥悬索桥施工图.
- [2] 广州珠江黄埔大桥 S09/S10 标地连墙施工技术方案.
- [3] 李劲晖,徐伟.深基坑嵌岩支护技术应用研究.岩土工程学报,2006 增刊:1720-1723.
- [4] 丛蔼森.地下连续墙地设计施工与应用.北京:中国水利水电出版社,2001.
- [5] 张有光,关华.虎门大桥西锚碇基础地下连续墙的施工技术.国外公路,1998,18(5):49-51.

2. 移动模架工法的关键问题及解决策略研究^{*}

黄成造¹ 项贻强² 汪劲丰² 张少锦¹ 赵 阳²

(1. 广州珠江黄埔大桥建设有限公司; 2. 浙江大学土木工程系)

摘 要 移动模架工法由于其具有安全、经济、高效及施工质量易于保证等优点,在我国桥梁工程建设中得到了越来越广泛的应用。本文以广州珠江黄埔大桥成套技术研究为背景,针对移动模架的设计制造及施工使用缺乏专业的规范和技术标准等问题,对移动模架工法中的关键技术进行了论述,并对设计计算、安全监测及质量控制等的解决方案进行了探讨。这对确保模架施工安全、提高模架施工质量具有非常重要的现实意义。

关键词 移动模架 成套技术 关键问题 解决策略

移动模架施工法由于其具有安全、经济、高效及施工质量易于保证等优点而得到了广泛应用。移动模架工法在我国的桥梁建设中得到了大力推广,本文从确保移动模架施工安全及质量、提高目前我国移动模架施工能力和水平的角度,对移动模架工法的关键技术问题进行了阐述,并对各自的解决方案进行了探讨。

1 移动模架工法现状及关键技术

移动模架工法简称 MSS(Movable Scaffolding System)工法,最早于 1959 年原联邦德国施特拉巴克公司开发始用于 Andernach 附近联邦 9 号高速公路的克钦卡汉大桥(该桥为 $13 \times 39.2\text{m}$)的预应力混凝土连续箱梁,因其设备制造费用昂贵,用钢量很大,一度在当时推广应用受到很大的局限性。1970 年,挪威工程师和机械制造商合作,设计出了新型的 MSS 造桥机,该系统在超过 100 多个桥梁工程的实践中,经过多年反复优化,MSS 造桥机已发展成为重量轻、安装简易、操作高效、并具有国际著名的液压和起重系统而享誉世界的桥梁施工设备。20 世纪 70 年代移动模架工法传入日本、美国,现已推广于全世界,成为最主要的建桥方法之一。

就我国而言,移动模架最早是由中国路桥公司使用于伊拉克建造的摩索尔四号桥和五号桥。国内首次应用于公路桥梁施工的是福建厦门的高集海峡大桥,选用了 42m 等跨径、等截面、分离式双箱预应力混凝土连续梁桥,总长 2 070m。我国的移动模架法的施工跨度从 30m、40m 到 50m,发展到目前珠江黄埔大桥上的 62.5m,施工最大总质量已达到了 2 650t,施工跨度及重量均已达到了世界之最。

由于我国移动模架施工方法起步相对较晚,且有相当一部分移动模架的设计制造都是参考国外的。同时由于我国在钢材品质及制作加工工艺上同国际先进水平还存在一定的差距,导致移动模架在实际应用中还存在诸多问题,模架扭曲变形甚至倒塌的安全事故也时有发生,给人员安全、工程质量及工程进度等都带来了极为不好的影响。目前我国移动模架的设计及制作规范和标准还不完善,移动模架安全使用也缺少统一的指导书,这些工作都急需进一步完善。

移动模架工法在我国桥梁工程建设中,虽已得到了广泛的应用,从设计制造及施工使用等各个方面都积累了非常丰富的经验。但从目前现状来看,有如下关键技术值得深入探讨:

- (1)移动模架工法的适用性及其分析方法;
- (2)移动模架的设计及分析验算;

^{*} 本文为 2006 广东省交通厅 2006 科技计划项目“广州珠江黄埔大桥移动模架成套技术研究”的一部分工作。

(3)移动模架的加工质量控制及产品验收办法;

(4)移动模架使用过程中的安全监控;

(5)移动模架施工混凝土桥梁的质量控制;

(6)移动模架工法的系列指南及规范、标准的研究与制定。

上述问题涉及面非常广,是一个系统课题。接下来,主要从模架的设计与使用角度,就移动模架的设计计算、安全监控、施工线形控制等的解决方案进行探讨。

2 设计计算方案

移动模架结构体系复杂,且承重主梁一般是腹板带孔的箱形结构,模板系统一般是由面板加梁肋组成的组合结构,其受力复杂,基于材料力学的传统方法一般只能用于结构初步设计和选型计算。在模架的设计分析验算时,基于有限元的数值分析方法是目前进行模架受力分析的有效方法。在模架结构验算时,一般包括整体效应和局部效应两个方面,采用的是板壳单元和空间杆、梁单元。

2.1 分析思路

其具体的分析思路如下:

(1)认真阅读移动模架的设计图纸、桥梁施工组织设计及移动模架的拼装、移动资料,必要时到现场进行实地查看,确保对模架结构构造和工作原理的真正理解。

(2)选择确定计算分析的力学物理参数。

(3)根据移动模架的工作原理和作业环境,确定移动模架在使用过程中可能存在的荷载工况。

(4)根据移动模架的传力机理,将移动模架结构分解成构件级,在此层面上,采用通用有限元软件,用梁、板壳及实体单元建立各受力构件的分析模型。

(5)采用上述模型,按已拟定的荷载工况,对各构件的强度、刚度及屈曲稳定进行验算。

(6)根据整体分析的计算结果,对需要进行局部分析的构件进行细部分析。

(7)整理分析计算结果。

2.2 计算荷载及组合

正确分析移动模架在使用期间可能出现的荷载及其组合情况,是进行移动模架分析的关键一步。根据移动模架施工的实际情况,作用于其上的荷载主要有三类:

(1)常规荷载:移动模架自重、浇注的混凝土重量、起吊物重量。用于屈服、弹性失稳及疲劳失效等验算。

(2)偶然荷载:是指移动模架在正常工作时不经常发生的偶然出现的荷载,包括由工作状态的风引起的荷载。主要用于结构的强度验算。

(3)其他荷载:是在其他某些特定情况下发生的荷载,包括在移动模架安装、纵移、平移及拆卸时出现的荷载,作用在移动模架的平台或通道上的荷载等。

在进行移动模架结构计算时,将考虑三类不同的基本荷载情况:

(1)无风工作的荷载情况;

(2)带风工作的荷载情况;

(3)受到特殊荷载的工作或非工作情况。

2.3 分析工况

(1)空载状态

将已合模、混凝土为浇注的状态称为空载状态。在此状态下,主要是分析横向风荷载作用下,模架主梁结构的受力情况。分析时主要考虑的荷载为:钢梁自重和静风荷载。对于风荷载的选取,可依据《公路桥梁抗风设计指南》。

(2)首跨浇筑

将首跨+悬臂段的施工工况,称为首跨浇筑。该工况浇筑的混凝土量最大,是模架主梁、上下横梁

系统、模板系统及模架支承系统受力最为不利的一个工况。该工况下,要对主梁、横梁、模板、支承等构件进行全面验算,验算内容包括:强度、变形及稳定性。须分别考虑有风 and 没有风的情况:

①模架自重+混凝土自重

②模架自重+混凝土自重+横向风荷载

③模架自重+混凝土自重+纵向风荷载

(3)标准跨浇筑

将标准中间跨的施工定义为标准跨浇筑。该工况下,重点对主梁模板、横梁等构件的变形进行验算,同时兼顾强度和稳定性的验算。验算工况主要为:模架自重+混凝土自重。

(4)过渡跨浇筑

该工况并不是对所有的模架施工都存在的,只对于存在不同跨径过渡段的桥梁是存在的。该工况下,主要是对主梁模板、横梁等构件的变形进行验算,验算工况主要为:模架自重+混凝土自重。

(5)尾跨浇筑

将每一联最后一跨的施工,称为尾跨浇筑。该工况下,主要是对主梁模板、横梁等构件的变形进行验算,验算工况主要为:模架自重+混凝土自重。

(6)移动模架纵向行走

移动模架在行走过程中,其支承条件不断变化,且受到纵向的水平推力。在该工况下,前、后鼻梁受力不利。要求对前后鼻梁的强度、变形及稳定性等进行验算。考虑的情况主要有:鼻梁最大剪力及鼻梁最大弯矩。

3 安全监测方案

3.1 监测状态分析

移动模架在使用过程中要反复经历行走、合模、承重的过程,在这一过程中,其结构体系、支承条件及承受荷载都不尽相同。同时,移动模架还将受到风、温度等环境因素作用。因此,对于移动模架可分为三种工作状态:

(1)行走状态;

(2)立模状态;

(3)混凝土浇筑状态。

当移动模架处于行走工作状态时,其结构体系是变化的,从行走开始到行走到位要经历带双悬臂的简支、带单悬臂的两跨连续、带双悬臂的简支等体系变化过程;并且由于移动模架在不断移位,移动模架上各支承点的位置也是在不断变化的。移动模架处于行走状态时的复杂性主要体现在结构体系及支承条件的变化。该状态下,在移动模架主梁底部将受到摩擦力作用,在移动前的临界时刻是最大静摩擦力,在移动过程中受到的是滑动摩擦力。在该状态下,移动模架的前、后鼻梁处于受力较为不利的状态,须对前后鼻梁的应力进行监测。

移动模架的立模状态是指移动模架前移到位、合模的状态,该状态下,移动模架处于空载,不是模架的最不利状态。但该状态是模架监控的基本状态,在该状态下要进行模架应力及变形的初值测量。

移动模架的混凝土浇筑状态是指在移动模架上浇筑完混凝土、预应力张拉前的状态,该状态下移动模架将承受浇筑跨的钢筋混凝土的全部重量。该状态又因施工位置的不同,其工作状态存在一定差异,如首跨施工、中间跨施工、尾跨施工等。该状态下,移动模架的主梁受力不利,主要表现在两个区域上:最大正弯矩区域、最大剪力区域,须对主梁进行应力监测。

由于本移动模架均处于一般的自然条件之下,不论其处于何种工作状态,都不可避免地受到温度、风等自然环境条件的影响,温度、风等的作用同荷载作用一样,同样会引起结构的内力及变形。因此,在各中状态监测分析中,都须考虑自然环境的影响。

3.2 监测的内容

基于上文有关移动模架工作状态的分析,移动模架安全的监测实际上主要是应力的监测,同时在混凝土浇筑过程中还需进行相关变形的监测。应力监测的主要内容有:

- (1)行走状态移动模架前后鼻梁受力不利构件的应力监测;
- (2)立模状态移动模架鼻梁、主梁等的初始状态测量;
- (3)混凝土浇筑状态移动模架主梁的应力监测;
- (4)混凝土浇筑状态移动模架横梁吊杆系统的应力监测;
- (5)混凝土浇筑状态移动模架支腿反力的监测;
- (6)移动模架在各种状态下环境条件的影响监测;
- (7)移动模架使用过程中,局域区域临时、加密应力测量。

3.3 应力监测方法

移动模架是一全钢结构,在目前测试水平条件下,采用以钢弦式应力计为主进行应力监测是可行的,同时在必要时辅以电测应变片,通过测量测点应变换算应力值。其中,电阻应变片主要是考虑到移动模架在使用过程中,当局部构件出现异常状况时,或为了特定目的,如校验验证、专题研究等,用于局部区域应力的临时、加密测量。对于钢结构,其应力测量的计算公式如下:

$$\sigma = E \cdot \epsilon_v \quad (1)$$

式中: σ ——荷载作用下钢结构测点的应力;

E ——钢材弹性模量;

ϵ_v ——荷载作用下消除了温度影响的钢结构测点应变,即真应变。

在实际测量的应变中包含了温度的影响,因此在钢结构应力测试计算时,须扣除温度引起的应变。考虑温度效应影响后,钢结构应力测量的计算公式如下:

$$\sigma = E \cdot (\epsilon - \epsilon_t) = E \cdot (\epsilon - \alpha \cdot \Delta t) \quad (2)$$

式中: ϵ ——应力计所测得的应变,即总应变;

ϵ_t ——温度变化引起的材料变形量;

α ——钢材的线膨胀系数;

Δt ——温度变化量。

因此在进行钢结构应力的测量的同时,还须同时进行温度的测量。

对于钢弦式应力计,是利用传感器内腔中钢弦频率的变化来反映被测物体的应变。钢弦式应力计的输出信号为钢弦的振动频率,其与应变的关系为:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E_g \epsilon}{\rho}} \quad (3)$$

式中: f ——钢弦自振频率;

l ——钢弦长度;

σ ——钢弦所受应力;

ρ ——钢弦材料的线密度。

采用钢弦式应力计测得的是总应变。

3.4 应力测点布置

在移动模架应力监测上,应本着“抓住重点、确保精度”的原则。在应力测点布置上主要考虑以下几个方面:

- (1)前后鼻梁:选择模架纵移中受力最为不利的杆件作为监测对象;
- (2)模架主梁:主要选择正弯矩最大和剪力最大截面作用应力的测试截面;
- (3)模板悬吊或支承系统:选择受弯和受拉最不利的部位进行应力测试;
- (4)支承系统:选择前支腿中部截面及前支承横梁的正弯矩最大截面进行应力测试。