



技术交流 信息共享

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

地址：广州市白云区鹤龙街道鹤瑞路8号
邮政编码：510440
电话：020-8608 8738
E-mail：kjzl@ghdi.cn
网址：http://www.ghdi.com.cn

广东交通规划设计

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2024  总第195期

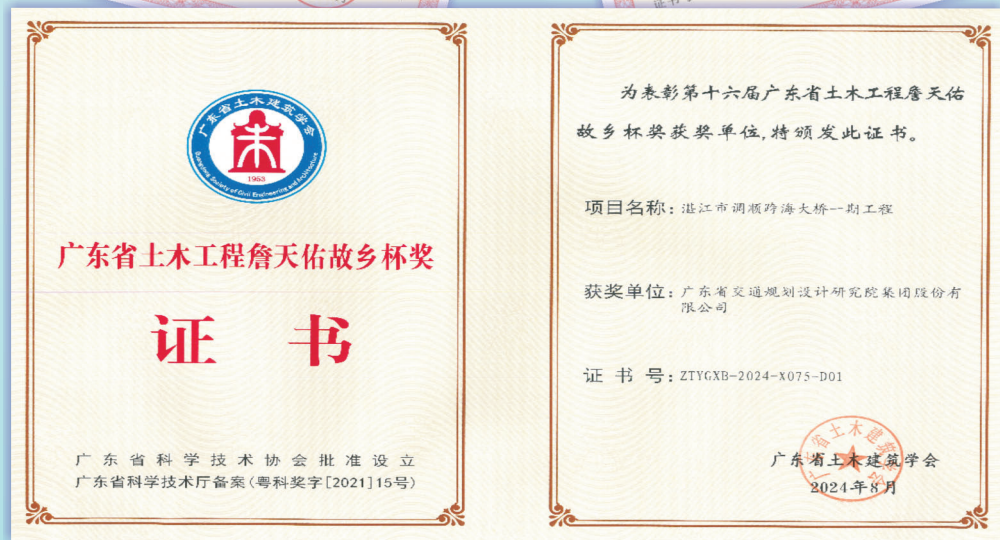


准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料 免费交流

获奖喜报

2024年第三季度，公司获得省(部)优工程奖13项，其中一等奖2项、詹天佑故乡杯3项；中国公路学会科学技术奖一等奖、二等奖各1项；广东省土木建筑学会学会科学技术奖7项，其中一等奖4项；广东省工程勘察设计行业协会科学技术奖6项，其中一等奖1项。



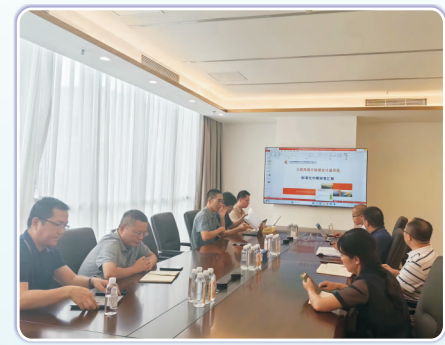
公司级设计标准化评审会



2024年7月5日召开《常规跨径钢混组合梁设计指南及通用图》《匝道钢箱梁通用图（二期）》验收评审会议



2024年7月19日召开《钻孔灌注桩基设计指南（含计算）》验收评审会议



2024年7月31日召开《常用立交设计指南》《公路工程平面交叉设计通用图》《高填方路堤设计通用图》中期评审会议



2024年7月29日召开《路面结构设计计算指南》中期评审会议



2024年8月1日召开《常规桥梁维修加固设计通用图》中期评审会议



2024年8月1日召开《公路工程施工图设计说明标准化（隧道组）》中期评审会议



2024年8月5日召开《公路工程施工图设计说明标准化（道路组）》中期评审会议



2024年8月14日召开《25、30、35、40m先简支后结构连续组合小箱梁通用图》验收评审会议



2024年9月5日召开《低填浅挖、填挖交界、清表等设计通用图》验收评审会议

公司级评审会



2024年7月2日“国道G325线鹤山桃源至址山段改建工程初步设计”公司级评审会



2024年7月4日“国道G228线惠来靖海月山至石化大道段改建工程”公司级评审会议



2024年9月30日“解放大桥维修工程勘察设计”公司级评审会议

广东交通规划设计

(每季出版)
2024 年 9 月 30 日印刷

2024 年第 3 期
(总第 195 期)

内部资料 免费交流
准印证号: (粤 O) L0150076 号

编辑委员会

主 任: 黄湛军
副主任: 孙向东
委 员: 万志勇、王景奇、卢绍鸿、
刘吉福、杜燕群、张修杰、
陈志翔、陈新富、邱赞富、
周 震、梁志勇、梁淦波

主 编: 孙向东
副 主 编: 林 敏
责任编辑: 黎 敏
编 辑: 《广东交通规划设计》编辑部

编印单位: 广东省交通规划设计研究院
集团股份有限公司

地 址: 广州市白云区鹤龙街道鹤瑞
路 8 号

邮政编码: 510440

电 话: 020 - 8608 8738

E - mail: kjzl@ghdi.cn

发送对象: 公司及行业内部

本期印刷数量: 350 本

印刷单位: 广州市艺彩印务有限公司

封 面: 广东省花都至东莞高速公路
工程

目 次

部委政策

《小交通量农村公路交通安全设施设计细则》解读 (1)

公司动态

公司主编的《广东省智慧公路标准体系(2024 版)》顺利印发
..... (3)

公司承担的 G1535 潮南高速平武段工可顺利通过交通部技术
咨询评估调研 (5)

广东省工程咨询协会关志伟会长一行莅临公司调研指导 (7)

公司专家团队受邀赴佛山市开展《路基边坡防护及排水设计
指南》等文件的宣贯培训 (8)

广东省公路学会洪显诚理事长一行莅临公司座谈交流 (10)

京灶大桥顺利合龙 (12)

公司荣获 2023 - 2024 年度鹤龙街区域化党建共建先进单位
荣誉称号 (15)

技术论文

牛田洋大桥主桥钢桁梁设计
..... 刘 琴, 杨 钻, 王 雷 (16)

泡沫沥青混合料抗剪强度影响因素研究分析
..... 吴佳洪 (22)

穿越岩浆岩高压富水断层带隧道工程预注浆设计方案分析
..... 刘二强 (28)

基于 Triangle 的道路测量模型快速生成技术研究
..... 范舒畅, 孙 颖, 曹先革, 汤 敏, 刘旭东 (36)

专委会活动

水土保持专业技术分委会组织开展京港澳高速公路粤境清远
佛冈至广州太和段改扩建项目现场技术交流活动 (42)

信息专栏

技术创新应用交流会暨第四届 BIM 技术应用案例分享 (45)

“第一届极端环境交通基础设施高品质建养与防减灾学术会议
暨第七届中国公路学会工程地质和岩土分会学术年会”在西安
顺利召开 (47)

2024 年中国城市交通规划年会报道 (48)

《小交通量农村公路交通安全设施设计细则》解读

为深入贯彻习近平总书记关于“四好农村路”重要指示精神,进一步提升小交通量农村公路交通安全设施防护水平,保障农村地区群众安全便捷出行,近日,交通运输部发布了《小交通量农村公路交通安全设施设计细则》(JTG/T 3381-03-2024,以下简称《细则》),作为公路工程推荐性行业标准,自 2024 年 8 月 1 日起施行。现就《细则》编制背景、主要内容、使用注意事项等解读如下:

一、编制背景

近年来,农村公路建设取得了显著成效,农村公路的覆盖广度和通达深度快速提升,交通运输部组织实施新一轮农村公路建设和改造,加快推进骨干路网提档升级、基础路网延伸完善工程,便捷高效、普惠公平的农村路网加快完善。2019 年以来,《小交通量农村公路工程技术标准》(JTG 2111-2019,以下简称《标准》)和《小交通量农村公路工程设计规范》(JTG/T 3311-2021,以下简称《规范》)先后发布实施,在小交通量农村公路建设中发挥了重要指导作用。

为进一步规范和指导小交通量农村公路交通安全设施的设计工作,交通运输部公路局于 2021 年组织开展《细则》编制工作,要求充分考虑小交通量农村公路服务车型、地形特征、道路限界等特殊性和,按照因地制宜、经济适用的原则,以现行《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81-2017)为基础,合理确定小交通量农村公路交通安全设施设计要求,最大限度保障偏远地区群众的公路出行安全。

《细则》专门针对《标准》中规定的四级公路(I类)和四级公路(II类)小交通量指标和设计车型,明确了各类交通安全设施的设计要求,并

提供了可操作的技术方案。

二、主要内容及特点

《细则》总结了小交通量农村公路交通安全设施建设的成熟经验,借鉴国内外的相关科研、设计成果及标准规范,以多个路段的试验验证为基础,对技术指标进行深入研究,对设计要求进行详细规定。《细则》共 9 章和 2 个附录,分别是:1. 总则,2. 总体设计,3. 交通标志,4. 交通标线,5. 视线诱导设施,6. 护栏、栏杆与拦挡设施,7. 减速丘与块体路面,8. 凸面镜,9. 限高架与限宽墩,附录 A 交通安全设施综合设置示例,附录 B 护栏与拦挡设施一般构造示例图。《细则》主要有以下特点:

(一) 总体设计,重点突出。

坚持“以人为本、预防为主、因地制宜、适度防护”的设计原则,提出了总体设计要求,以确保设施功能完善、设计界面协调、不同专业相互配合。重点加强了穿村镇、学校等行人集中路段以及急弯、陡坡等采用低指标路段的安全设计,切实做好安全保障。

(二) 因地制宜,科学设置。

紧扣小交通量农村公路设计速度、设计车型等指标及实际地形条件,细化了各类交通安全设施的设计要求和技术指标。特别针对受地形条件限制的路段,提出了灵活选择标志结构、适当减少标志数量、缩小标线宽度、合理采用护栏防护等级等技术措施,给予了设计人员一定的自主权。

(三) 就地取材,经济适用。

在满足安全和使用功能的前提下,小交通量农村公路允许就地取材,使用经济、易维护的产品和技术。综合考虑经济性和适用性,《细则》

细化了路侧固定物上粘贴反光膜、附着反射体等简易视线诱导设施的设置要求,明确了路侧拦挡设施的使用条件,并给出了行道树、废旧轮胎、堆土等拦挡设施的尺寸要求,方便选取。

(四) 循环利用,绿色发展。

坚持降碳、减排、扩绿的建设理念,《细则》提出了原有设施再利用、拆除设施再利用的原则和方法,明确了旧波形梁护栏钢构件再利用的力学性能指标,大力推动废旧材料循环利用,尽可能节约小交通量农村公路建设成本。

(五) 问题导向,针对性强。

针对急弯、陡坡、路侧险要、视距不良、平面交叉等 9 类常见典型危险路段,《细则》提供了交通安全设施综合设置示例,优先设置主动引导设施,根据需要设置被动防护设施,有条件时采用土建工程措施,充分体现了主动引导、适度防护、系统设计的原则。

(六) 建养一体,重视养护。

《细则》明确要求交通安全设施应与公路主

体工程同时设计、同时施工、同时投入使用,规定了各类交通安全设施的设计使用年限,明确了正常使用条件下使用年限的最低要求,为设施日常养护、维修加固、更新改造等工作提供依据。

三、实施注意事项

一是正确理解标准适用范围。各地应结合实情,因地制宜,统筹使用《细则》与《标准》。具备条件的地区,小交通量农村公路应该优先按照《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81)、《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81)要求设置交通安全设施。确有困难的地区,如位置偏僻、车辆稀少、建设养护资金有限的小交通量农村公路,可按照《细则》要求设置交通安全设施。

二是鼓励跟踪反馈实施效果。鼓励相关单位结合工作实际,积极关注本《细则》的适用性和使用效果,实时收集相关问题和建议,及时反馈标准日常管理组。

公司主编的《广东省智慧公路标准体系(2024 版)》 顺利印发

8 月 12 日,由公司承担编制的《广东省智慧公路标准体系(2024 版)》(以下简称“《体系》”)顺利印发实施。《体系》由广东省交通运输厅提出并组织实施,广东省交通运输标准化技术委员会归口。作为全国首个印发的智慧公路标准体系,《体系》积极响应了国家、省委省政府和交通运输部对加快构建适应交通运输高质量发展的标准体系的工作部署,具有先行示范作用。

广东省交通运输厅关于印发《广东省智慧公路标准体系(2024版)》的通知

发布时间: 2024-08-12 18:30 来源: 广东省交通运输厅

【打印】 【小 中 大】

政策原文: 一图读懂《广东省智慧公路标准体系(2024版)》

粤交科〔2024〕533号

广东省交通运输厅关于印发《广东省智慧公路标准体系(2024版)》的通知

各地级以上市交通运输局、公路事务中心,省公路事务中心、道路运输事务中心、交通运输工程造价事务中心、交通运输规划研究中心、交通运输政务服务和应急指挥中心、港珠澳大桥管理局,厅机关相关业务处室,省交通集团有限公司、广州市交通投资集团有限公司、越秀交通基建有限公司、深圳高速公路股份有限公司、珠海交通集团有限公司、佛山市交通投资集团有限公司、惠州市交通投资集团有限公司、东莞市交通投资集团有限公司,省交通运输标准化技术委员会各分委会:

标准体系是标准化建设的核心,是合理规划和有效管理标准制修订工作的重要抓手。《体系》的印发实施有助于为行业内各方积极参与标准化文件制修订工作提供科学引导,以标准引领广东省交通运输行业转型升级和智慧交通体系建设。



7 月 23 日,广东省交通运输厅组织召开了《体系(送审稿)》评审会议。交通运输部科学研究院原副院长李爱民以及省交通运输厅科技处、基建处等部门代表出席会议。公司交通安全与智慧交通设计院院长孙卫华、智慧交通创新与应用研究中心副主任童杰以及编制组成员参加了会议。会上,编制组进行

了《体系》编制工作的成果汇报,与会专家和代表充分讨论了《体系》内容,认真审阅相关资料,一致同意《体系(送审稿)》通过评审。



《体系》按照《标准体系构建原则和要求》(GB/T 13016 - 2018)有关规定,结合广东省公路网特点和数字化转型对标准的需求,遵循“统筹规划、协调衔接,需求引导、有效供给,创新驱动、协同推进,动态完善、强化实施”的原则开展编制。

《体系》结合新形势下广东省智慧公路标准化需求,构建“1341”标准体系框架结构:第一个“1”是指“1 项基础通用标准”,即可作为智慧公路领域共性通用或其它标准基础的标准化文件;“3”是指“3 大基本支撑标准”,即支撑公路数字化转型所需的新型基础设施、软件系统、数据资源的标准化文件;“4”是指“4 类业务应用标准”,即围绕公路全生命周期开展的智慧建设、智慧养护、智慧运管、智慧服务的标准化文件;第二个“1”是指“1 项相关标准”,即与全省智慧公路直接相关,但不属于广东省交通运输标准化技术委员会归口管理的标准化文件。

《体系》共收录广东省智慧公路标准化文件 63 项,包括基础通用标准 5 项,新型基础设施标准 10 项,软件系统标准 7 项,数据资源标准 14 项,智慧建设标准 4 项,智慧养护标准 6 项,智慧运管标准 13 项,智慧服务标准 4 项,并通过不同优先级明确制修订任务。此外,《体系》还列出了与全省智慧公路密切相关的其他标准 14 项,以促进智慧公路相关标准协同完善实施。

编制组准确把握《体系》编制方向,注重可行性、实用性、落地性,力争使《体系》全面性、系统性、规范性地指导广东省智慧公路建设,助推全省数字交通高质量发展。

(供稿:智慧交通创新与应用研究中心)

公司承担的 G1535 潮南高速平武段工可顺利通过 交通部技术咨询评估调研

8 月 21 日至 24 日,由公司承担的粤东北地区(梅州)连接闽西等东部地区的重要的省际大通道——G1535 潮州至南昌高速公路平远至武平(粤闽界)段工程可行性研究报告顺利通过了交通运输部技术咨询评估调研。交通运输部综合规划司、广东省交通运输厅、梅州市人民政府、广东省交通集团、广东省南粤交通投资建设有限公司、技术咨询评估单位中国公路工程咨询集团有限公司专家及相关领导,公司副总经理罗火生以及第二设计院项目组成员参加了现场会议。

项目组通过现场展板讲解、航拍视频、PPT 汇报等多种方式,对项目起终点、桥梁、隧道、互通立交等进行了现场讲解,对工程可行性研究成果进行了详细汇报。



本项目路线起于平远县大柘镇程北村西侧,顺接平武高速平远大柘段,与规划建设的潮南高速大埔至蕉岭至平远段进行交通转换,经大柘镇北部、东石镇、上举镇,终于平远县差干镇湍溪村(粤闽界),与福建省规划建设的潮州至南昌高速公路武平(闽粤界)至长汀馆前段相接。项目全长 34.035km,采用设计速度 100km/h 双向四车道高速公路技术标准建设,路基宽 26.5m。



项目的建设对完善国家高速公路网,促进赣闽粤原中央苏区“融湾入海”,推动“百县千镇万村高质量发展工程”,加强中央苏区粤东北组团与闽西核心区、赣南核心圈联系,支持梅州建设赣闽粤原中央苏区对接融入粤港澳大湾区振兴发展先行区具有重要意义。



评审期间,与会领导和专家对本项目的工程可行性研究成果及汇报等各项工作给予了充分肯定。目前,各项前期专项正有序进行中,此次工可顺利通过部审也为加快推进下一步的勘察设计等前期工作打下了坚实的基础。

项目组将认真落实专家及咨询评估调研意见,立足新发展阶段,贯彻新发展理念,实现项目投资高质量发展。同时,做好公路抗灾防灾能力提升工作,积极打造百年平安工程,推动项目的全生命周期管理向绿色发展、自主创新、经济安全、风险管理、数字化转型升级的方向迈进。

(供稿:第二设计院)

广东省工程咨询协会关志伟会长一行莅临公司调研指导

8月29日,广东省工程咨询协会会长关志伟、秘书长龚岸桥一行莅临公司座谈交流。公司董事长李江山,副总经理陈贤文,总工程师孙向东,总经理助理、九域公司总经理朱青,市场发展部主任邬晓辉,科技质量部主任林敏参加了交流会。

副总经理陈贤文、总工程师孙向东等陪同广东省工程咨询协会领导参观了企业展厅,关志伟会长一行对公司“一路领先”的企业精神、公司在传统业务领域取得的卓越成就以及在数字化转型和智慧公路等前沿领域的积极探索和创新实践表示了高度赞赏。

座谈交流环节,董事长李江山对协会的到访表示热烈欢迎,并介绍了广东省交通行业的近况。双方就行业未来发展方向,数字化应用,协会服务政府、会员单位及行业自律管理等多方面进行了交流。



会后,协会一行参观了公司新办公大楼,并合影留念。



公司作为协会副会长单位及交通专业委员会主任单位,将继续发挥行业引领作用,更好地服务于政府和有关部门,有效推动广东省交通事业的高质量发展。

(供稿:科技质量部)

公司专家团队受邀赴佛山市开展《路基边坡防护及排水设计指南》等文件的宣贯培训

9月3日,佛山市交通运输局组织召开《广东省公路路基边坡防护及排水设计指南(试行)》等文件的宣贯培训及公路隐患排查整治再部署工作会议。参加会议的有市交通运输事务中心、市交通集团、市机场公司、各区交通运输局及道路建设管养单位、各镇街农村公路管理单位以及佛山辖区内各高速公路路段运营单位的相关业务负责人。

公司副总工程师张修杰、刘吉福,和立公司副总经理江茂盛作为本次培训的特邀专家,分别对公司主(参)编的《广东省高速公路工程地质勘察技术规程(2024版)》《广东省公路路基边坡防护及排水设计指南(试行)》《公路路堤边坡防护及排水隐患排查工作指引(试行)》和《公路路堑边坡防护及排水隐患排查工作指引(试行)》进行了宣贯和答疑。





此次培训科学指导了佛山市公路路基防护及排水的设计和隐患排查整治工作,深入推动了相关规程指南的落地实施,促进了各单位做好所辖公路自然灾害综合风险隐患排查、数据采集报送、质量检查及已排查发现公路灾害风险点的巡查监测等工作。

(供稿:总工程师办公室、第三设计院)

广东省公路学会洪显诚理事长一行莅临公司座谈交流

8月7日,广东省公路学会理事长洪显诚、专家委员会主任陈冠雄、秘书长王强一行莅临公司座谈交流。公司董事长李江山,副总经理蔡小杨、陈贤文,公司总经理助理、九域公司总经理朱青,科技质量部主任林敏,市场发展部主任邬晓辉,翔飞监理公司总经理李丹等参加了交流会。

副总经理蔡小杨、陈贤文陪同省公路学会一行参观了企业展厅,展示了广东交通院的奋进之路、立身之本、工匠之心、品质之光、领先之道、信仰之力,彰显了公司“一路领先”的企业精神。



座谈交流环节,李江山董事长对学会一行的到来表示热烈欢迎,并对省公路学会各级领导长期以来给予公司的关心和支持表示了衷心感谢。陈冠雄主任作为设计院的老同志,回忆了在设计院工作的点点滴滴,对设计院在李江山董事长带领下取得的成就给予了高度评价,并指出面对目前的市场环境,设计院要储备湾区综合性人才,积极融入粤港澳大湾区的开发建设中。洪显诚理事长对学会依托公司设立的“新材料与结构专业委员会”设立背景、设立过程进行了介绍,并对专委会的工作提出了期许。王强秘书长对公司长期以来对学会的支持表示感谢,期望在科技评奖、成果评价、地标团标研制等方面加强沟通和合作。

李江山董事长表示面对市场环境变化,公司将秉承初心做到三个坚持:坚持主营业务、坚持做好产品质量和服务、坚持科技创新,相信在各级领导的关心支持和学会的帮助下,公司将稳固发展,继续为交通建设贡献广东交通院的智慧与力量。



会上洪显诚理事长向公司颁发了“新材料与结构专业委员会”牌匾。



会后,学会一行参观了公司新办公大楼,并合影留念。



(供稿:科技质量部)

京灶大桥顺利合龙

6月18日,随着合龙段两边主梁的精准连接,由公司第一设计院承担设计、子公司翔飞监理公司负责监理的潮汕环线高速公路(含潮汕联络线)三期工程京灶大桥主桥顺利合龙。这一关键控制性节点的顺利拉通,为项目通车奠定了坚实基础。



京灶大桥合龙段吊装



京灶大桥顺利合龙



公司副总经理刘桂红参加主桥合龙仪式

潮汕环线高速公路(含潮汕联络线)项目是广东省高速公路网规划“九纵五横两环”高速公路主骨架网中的加密线,其中潮汕联络线起于汕头市潮阳区西胪镇连接主线,终于汕头市潮阳区金灶镇金溪西村东面,通过金灶枢纽互通与潮惠高速相接。潮汕环线高速公路(含潮汕联络线)三期工程京灶大桥项目的建设,完善了区域路网结构,适应汕揭通道未来交通发展的需要,响应了汕潮揭同城化的战略需求,是推进区域一体化的重要措施之一,对推动揭阳加快经济发展具有重要意义。项目路线全长 3.113km,设特大桥 1 座 1 818.1m,大桥 1 座 683.5m,设金灶(枢纽)互通立交 1 处,设计速度 80km/h,互通区采用双向四车道,非互通区采用双向六车道,汽车荷载等级为公路一级。



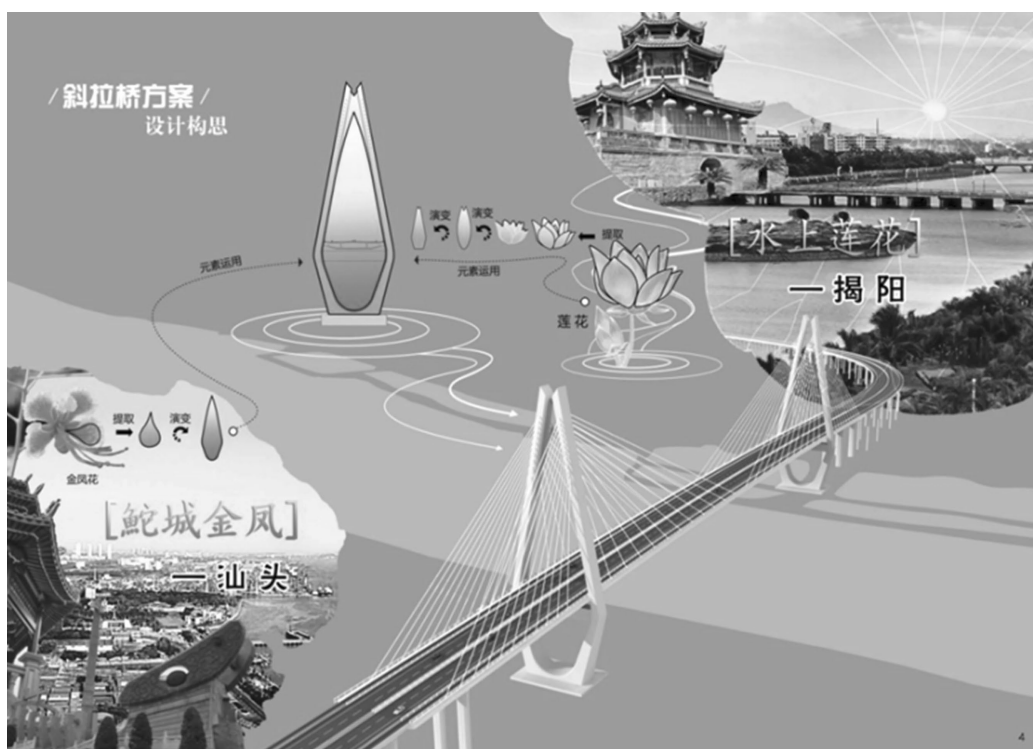
项目地理位置

京灶大桥主桥采用主跨 350m 双塔双索面半漂浮体系钢 - 砼组合梁斜拉桥,跨径布置为:(50 + 95 + 350 + 95 + 50)m,全长 1 818.1m。主梁采用双边“工”字型边主梁组合桥面板的整体断面,全宽 37m;索塔采用钻石型索塔,塔高为 125.8m;索塔两侧各布置 14 对斜拉索,斜拉索梁上采用锚拉板锚固、塔上采用钢锚梁锚固;过渡墩、辅助墩墩身均采用空心柱式墩,过渡墩墩身上接盖梁;索塔、辅助墩、过渡墩桩基均采用钻孔灌注桩。主桥桥面铺装采用 80mm 厚沥青混凝土,防水粘结层采用高黏沥青 + 同步碎石防水粘结层。

京灶大桥主塔基于桥址基本风速较大,抗震性能要求高的特点结合大桥连接汕揭两市的景观要求,从结构受力上,采用钻石型塔提供空间索面布置,增强结构横向受力及抗风性能;从景观上,借由揭阳、汕头两座城市市花作为设计元素,提取揭阳市花(莲花)及汕头市花(金凤花)相互融合,通过花瓣的形态进行组合演变设计,以“花开连城”作为桥梁设计主题最终形成了主塔设计方案,增强汕揭两市之间的经济文化联系,融合两市城市文化特色,进一步加强实现汕潮同城的发展构想。



京灶大桥鸟瞰图



塔设计构思图

(供稿:第一设计院)

公司荣获 2023 – 2024 年度鹤龙街区域化党建共建先进单位荣誉称号

近日,公司荣获中共广州市白云区鹤龙街工作委员会颁发的“2023 – 2024 年度鹤龙街区域化党建共建先进单位”的荣誉称号。这一荣誉彰显出鹤龙街党工委对于公司 2023 – 2024 年度区域化党建共建工作的高度认可,这离不开公司全体党务工作者和党员同事们的共同努力。



新的一年,公司将继续发挥党建工作优势,持续提升与街道等主体党建共建水平,紧密围绕“一个堡垒、两个作用”的功能定位,坚持推动党建和业务工作深度融合,以高质量的党建引领企业高质量发展。



(供稿:综合管理办公室)

牛田洋大桥主桥钢桁梁设计

刘 琴,杨 钻,王 雷

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440)

摘 要:汕头市牛田洋大桥主桥为(77.5+166.1+468+166.1+77.5)m 公轨两用钢桁梁斜拉桥。主桥采用双层桥面布置,上层为双向 8 车道一级公路兼城市快速路,下层为双线跨座式轨道交通。该桥采用半飘浮体系,纵、横向正交分离的减隔震约束体系。主梁采用带副桁的板桁结合钢桁梁结构,主桁采用三角桁,桁高 11m,2 片主桁中心间距 16m;副桁上弦杆采用平行四边形箱形截面,弦杆顶板中心线间距 37.2m。主梁共 63 个节间,标准节间为 15.1m,主跨及次边跨公路桥面系采用纵横了体系正交异性整体钢桥面板,边跨公路桥面系采用纵、横梁支撑的混凝土桥面板;下层轨道交通无桥面板,设置下平纵联。索梁锚固采用锚拉板式钢锚箱。主梁标准节段采用两节间大节段全焊制造。边跨、次边跨钢桁梁采用顶推法施工,主跨钢桁梁采用悬臂吊装法施工。

关键词:斜拉桥;公轨两用桥;钢桁梁;桥面板;平纵联;全焊节段;结构设计

1 工程概况

牛田洋大桥主桥为牛田洋快速通道的控制性工程,该桥位于汕头市西侧,北接汕昆高速公路,南接汕湛高速公路,跨越榕江水道,连接三屿围和牛田洋。主桥采用双塔钢桁梁斜拉桥,跨径布置为(77.5+166.1+468+166.1+77.5)m,双层桥面布置,上层为双向 8 车道一级公路兼城市快速路,下层为双线跨座式轨道交通,轨道交通线路中心距为 4.8m。主桥设计线平面为直线,立面纵坡为 2.45%。主桥立面布置见图 1。

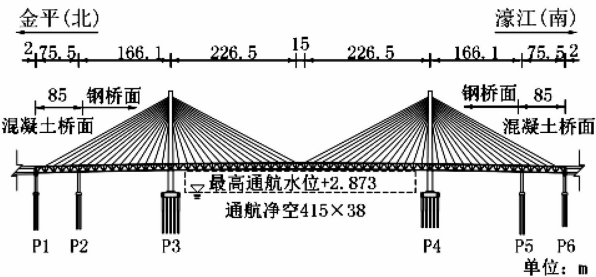


图 1 牛田洋大桥主桥立面布置

该桥主要技术标准如下。设计行车速度:上层公路 100km/h,下层轨道交通 30~80km/h;设计荷载:上层公路 - I 级,下层列车轴重

140kN,4 辆编组,按 6 辆编组控制设计;通航标准:10 000t 级海轮,通航净空 415m×38m;抗震设防标准:抗震设防基本烈度 8 度,地震动峰值加速度 0.2g。

为降低温度作用下桥塔、主梁的内力,该桥采用半飘浮体系^[1-2]。在桥塔下横梁、辅助墩墩顶、过渡墩墩顶设置可纵向活动的球型钢支座,球型钢支座横向设置剪力销,正常使用工况下限制主梁横向位移。主桥采用纵、横向正交分离的减隔震约束体系,在桥塔下横梁、辅助墩、过渡墩处设置弹塑性横向钢阻尼器,地震作用下球型支座剪力销剪断,横向钢阻尼器屈服,支座横向可活动,横向钢阻尼器发挥耗能减震作用,以减小下部结构横向内力。桥塔下横梁与主梁之间设置 8 个纵向粘滞阻尼器,地震作用下纵向粘滞阻尼耗能以限制主梁纵向位移。地震作用下,横向钢阻尼器与纵向粘滞阻尼器分别发挥减隔震作用。

2 钢桁梁结构设计

2.1 总体布置

(1)横断面形式。主梁横断面形式的选择应

基金项目:交通运输部科技司面上项目(2018-MSI-007)

从使用功能、主梁受力、经济性等角度考虑^[3-5]。该桥主梁采用双层桥面钢桁梁结构,上层为公路桥面,设双向 8 车道加两侧各 3m 宽的紧急停车带,考虑防撞栏、两侧检修道及斜拉索锚固空间,上层桥面全宽为 38.2m;下层桥面仅为双线跨坐式轨道交通,上、下层桥面宽度相差较大。若采用上下同宽的主桁断面,则会增加下层桥面钢材用量,加大工程投资。若采用上宽下窄的倒 T 形斜主桁断面,则上层桥面横梁跨度过大,会增大横梁面内弯矩及主桁腹杆面外弯矩,导致横梁及上弦杆节点构造复杂。从上、下层横梁受力及节省用钢量等角度考虑,该桥主梁断面形式采用上宽下窄带副桁、考虑上层桥面板参与钢桁梁受力的板桁结合钢桁梁结构。考虑下层轨道行车净空、检修道宽度等因素,主桁中心间距为 16m,副桁上弦杆顶板中心间距为 37.2m,副桁斜拉杆与主桁平面夹角为 42°。钢桁梁横断面布置见图 2。

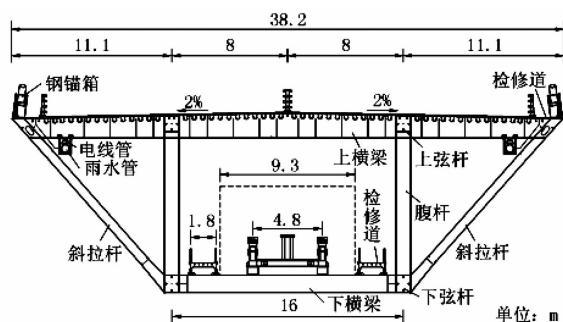


图 2 钢桁梁横断面布置

(2) 桁高。由于钢桁梁具有较大竖向刚度,桁高适当变化不会对全桥受力产生明显的影响^[5]。桁架高度主要由上层钢横梁受力需求、上层检查车系统高度、下层轨道行车净空、钢桁梁节点构造及相接的引桥高度等因素决定。从桁架结构受力、经济等角度综合考虑,确定主桁采用较矮的 11m 桁高。

(3) 主桁形式。钢桁梁桁架形式主要有三角桁(纯华伦)、带竖杆的三角桁及 N 形桁^[5-7]。相比带竖杆的三角桁,三角桁及 N 形桁腹杆少,具有更简洁的线条外形,在斜拉桥中应用更为广

泛。经计算比较,采用三角桁及 N 形桁均不控制钢桁梁结构设计。考虑到三角桁腹杆长度及倾斜角度一致,桁架受力分布更为均匀,上、下弦节点板构造相对简单,腹杆、节点板制作标准化程度高;另外从景观方面来看,三角桁更具韵律协调、通透性好的特点,因此该桥主桁采用三角桁。

(4) 节间长度。桁架节间长度对桁架受力影响较大,同时也会影响主桁跨径布置及桥面系布置。节间长度过短,上、下弦杆线刚度大,杆端节点处将产生较大的次内力,整体式节点板疲劳问题突出。节间长度过长,杆件长细比较大,杆件截面折减较大,经济效益差;另外节间长度过长,斜腹杆长度增加,倾斜角度减小,不利于腹杆受力及主桁节点板制造。该桥主跨跨径为 468m,结合主跨跨径及桁架杆件受力,全桥共设 63 个节间,钢桁梁单个标准节间长 15.1m,主跨跨中合龙段节间长 15m,腹杆与上、下弦杆水平夹角为 55°。经计算,钢桁梁各箱形截面杆件长细比为 30~40,截面折减系数为 0.79~0.89,截面利用率较高。钢桁梁标准节段为 2 个节间,钢桁梁标准节段空间构造见图 3。

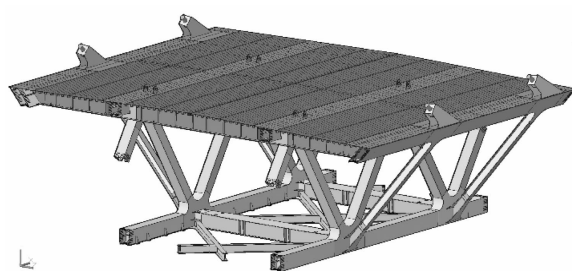


图 3 钢桁梁标准节段空间构造

2.2 主桁与副桁

主桁上、下弦杆件均采用板肋加劲箱形截面。上、下弦杆内宽 1 000mm,上弦杆内高 1 056mm,下弦杆内高 1 160mm。腹杆根据杆件内力设有箱形、H 形 2 种截面形式,箱形截面内宽 680mm,内高 1 000mm;H 形截面翼板宽 800mm,腹板高 1 000mm,腹杆水平板上均设有

加劲肋,钢材材质为 Q345qD。主桁标准节段立面见图 4。

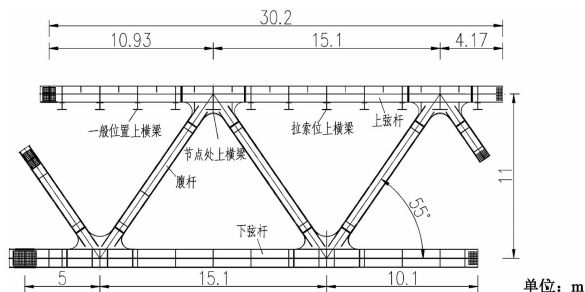


图 4 主桁标准节段立面

为使主桁上的荷载流畅地传至副桁,副桁上弦杆采用平行四边形箱形截面,内高 1 306mm,内宽 600mm。下弦节点板与副桁上弦节点之间设置斜拉杆,斜拉杆为 H 形截面,翼板宽 600mm,腹板高 600mm。斜拉杆翼板分别与副桁上弦节点板和下弦杆顶底板对齐。副桁标准节段立面见图 5。

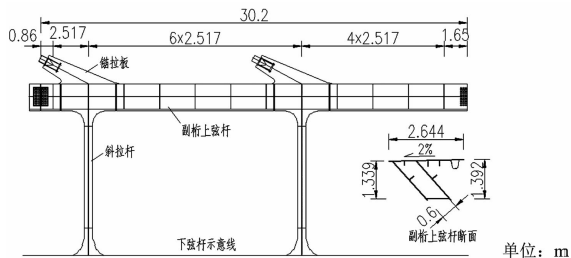


图 5 副桁标准节段立面

2.3 桥面系

2.3.1 公路桥面系

该桥采用板桁结合的钢桁梁结构,公路桥面板均设 2.0% 双向横坡。钢桁梁主跨、次边跨公路桥面系采用纵横梁体系的正交异性钢桥面板^[7-8],材质为 Q345qD 钢。正交异性钢桥面板厚 16mm,采用 U 肋和板肋加劲,U 肋高 300mm,厚 8mm,间距为 600mm,在中间护栏下、副桁上弦杆旁布设板肋,板肋高 200mm、厚 20mm。为增强桥面系整体刚度,提高正交异性桥面板抗疲劳性能,U 肋与钢桥面板之间采用双面焊接工艺^[9];同时顺桥向每个标准节段内设置 6 道倒 T 形钢横梁,横梁间距为 2.517m,横梁腹板跨中高

1.677m,底板宽 600mm。

边跨公路桥面系采用纵、横梁支撑的混凝土桥面板,厚 40cm,材质为 C60 海工混凝土。顺桥向每个标准节段内设置 6 道工形截面钢横梁,横梁间距为 2.517m,横梁腹板跨中高 1.677m,顶、底板宽 600mm。混凝土桥面板通过剪力钉与主桁上弦杆、副桁上弦杆和钢横梁连为整体共同参与钢桁梁受力^[10]。公路桥面系立面见图 6。根据不同位置处钢横梁受力需求,钢横梁不同位置采用不同的板厚。斜拉索位置处横梁腹板厚 28mm,底板厚 40mm;上弦节点处横梁腹板厚 20mm,底板厚 32mm;其余位置横梁腹板厚 16mm,底板厚 28mm。

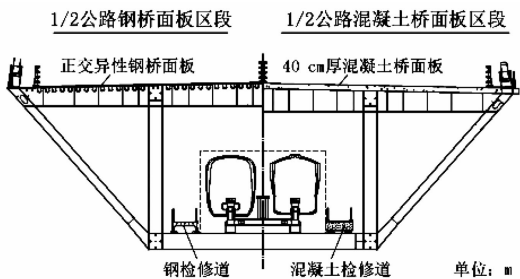


图 6 公路桥面系立面

2.3.2 轨道桥面系

下层桥面无桥面板,跨坐式轨道梁通过支座与钢桁梁下横梁连接。下横梁采用箱形截面,截面高 1 200mm,翼板宽 1 700mm,腹板中心线距离 1 028mm,下横梁连接在下弦杆节点板处。为增强下层桥面抗扭转能力,在下弦杆节点之间设置下平纵联。下平纵联采用工字形截面,翼板宽 420mm,腹板高 574mm。轨道桥面系平面见图 7。

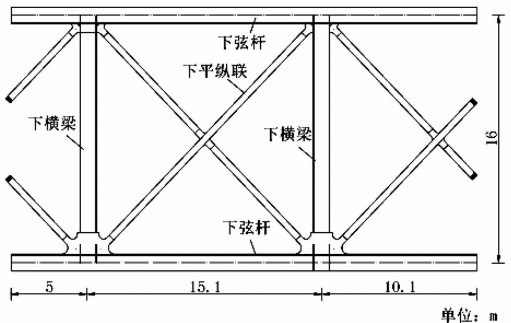


图 7 轨道桥面系平面

2.4 其他细部构造

2.4.1 钢-混结合段

正交异性钢桥面与混凝土桥面之间的钢-混结合段设置在距过渡墩 85m 主桁上弦杆 SA11 节点处。钢-混结合段长度为 2.52m, 其间设置 PBL 板, 上层桥面板开设圆端条形孔, 以方便 PBL 板焊接和混凝土灌注。在 SA11 节点处设置厚 40mm 的承压板, 通过承压板将混凝土面板上的力传递至钢梁侧。在钢梁侧设置过渡段, 主桁及副桁上弦杆采用变截面设计, 以实现主梁过渡段刚度均匀变化, 主桁上弦杆过渡段长 15.1m, 副桁上弦杆过渡段长 7.55m。为保证钢-混结合段内混凝土与承压板密贴, 在混凝土板内纵向设置了 32 根 5- ϕ s15.2 预应力钢绞线, 单根钢绞线长 5.35m, 钢束在混凝土桥面板侧单端张拉。钢-混结合段立面见图 8。

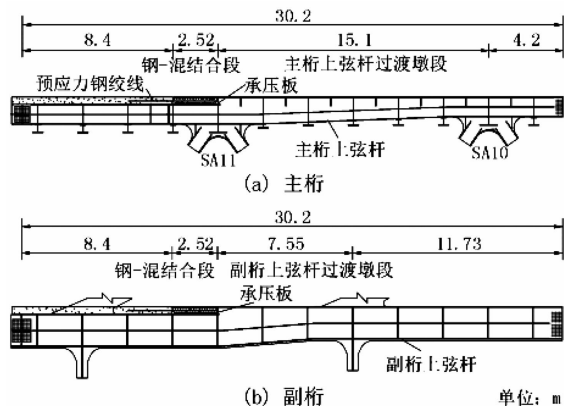


图 8 钢-混结合段立面

2.4.2 压重

该桥的整体计算结果表明, 运营状态下各桥墩处支座均有可能出现负反力。为简化设计、便于后期养护, 同时兼顾经济性, 该桥采用压重的方式避免支座脱空。通过将边跨 85m 范围内上层公路桥面板设置为 40cm 厚的混凝土桥面板来解决过渡墩和辅助墩支座负反力, 压重重量为 400kN/m; 通过将桥塔支座附近 4 个节间、辅助墩支座附近 2 个节间的下层检修道设置为混凝土结构来解决桥塔支座和辅助墩支座负反力, 压

重重量为 60kN/m。计算分析表明: 在上、下层桥面共同设置压重后能有效避免运营期间支座脱空。

2.4.3 索梁锚固结构

该桥索梁锚固结构为焊接在副桁上弦节点顶板上的锚拉板式钢锚箱^[11-12], 锚拉板与副桁架上弦节点腹板内侧对齐, 锚拉板厚 36mm; 钢锚箱上、下 2 块承压板焊接于锚拉板上, 承压板厚 40mm, 承压板端部设置锚垫板。锚拉板焊接区域的副桁上弦杆顶板钢材需满足 Z 向性能。索梁锚固结构在钢梁厂制作, 与主梁焊接为整体进行吊装。该索梁锚固结构构造简单、传力路径明确、制作安装方便, 后期易于养护。锚拉板式钢锚箱立面见图 9。

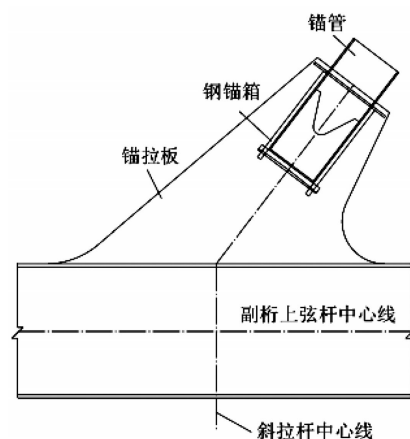


图 9 锚拉板式钢锚箱立面

3 结构有限元计算分析

3.1 结构静力分析

采用 MIDAS 软件进行全桥结构计算分析, 其中桥面板和钢桁梁分别采用板单元和梁单元模拟。

在活载作用下, 轨道梁梁端最大转角为 0.9‰rad; 主梁跨中最大竖向挠度值为 0.37m, 主跨跨中竖向挠跨比为 1/1 265, 结构竖向刚度满足规范要求。

基本组合作用下, 主桁上弦杆最大轴压力为 13 432kN, 下弦杆最大轴压力为 26 126kN, 腹杆最大轴压力为 17 360kN, 副桁上弦杆最大轴压力

为 15 315kN,斜拉杆最大轴拉力为 5 116kN,钢桁梁各杆件强度、整体稳定性计算均满足规范要求。

3.2 索梁锚固区局部应力计算

采用 Abaqus 有限元软件对索力最大的钢锚箱进行局部空间有限元分析。计算结果表明:锚拉板整体应力在 155MPa 以内;承压板与锚拉板焊缝处应力在 183MPa 以内,应力集中处 Mises 应力为 265MPa;承压板之间的焊缝最大 Mises 应力为 179MPa。在最不利荷载组合作用下,钢锚箱

板件均处于弹性状态,强度均在规范容许范围内。

4 钢桁梁制造及架设

钢桁梁采用工厂化整节段全焊制造、现场整节段架设方案施工(图 10)^[13]。钢桁梁共 63 个节间分为 35 个节段架设,除过渡墩顶 3 个节间和合龙段采用单节间架设外,其余标准节段均采用两节间(长 30.2m,最大吊重为 956t)架设。节段间除桥面板采用焊接外,其余杆件均采用高强度螺栓进行连接。



图 10 架桥吊机整节段吊装拼装

由于主桥边跨侧水深普遍偏小,钢桁梁悬臂吊装受潮水影响大,作业时间受限。为提高施工效率,钢桁梁在工厂内整节段制作后船运至现场,边跨及次边跨钢桁梁采用顶推法施工,主跨钢桁梁采用悬臂吊装法施工^[14]。

边跨钢桁梁顶推时桥塔与辅助墩之间搭设 1 个临时支墩,桥塔、辅助墩、过渡墩处搭设墩旁临时支架。边跨 3 个单节间钢梁节段由 2 台 600t 浮吊从主跨侧吊装至桥塔处,剩余钢梁由 2 台 1 000t 架梁吊机整体吊装,每安装 1 个标准节段钢桁梁,向边跨侧顶推一次,直至边跨侧钢桁梁顶推至过渡墩、辅助墩相应位置。主跨钢桁梁每架设 1 个标准节段钢桁梁,便对称挂设张拉斜拉索,直至架设至跨中合龙段。

5 结语

牛田洋大桥主桥是粤东地区首座公轨两用钢桁梁斜拉桥,建成后将加强牛田洋两岸联系、缓解两岸过江交通压力。该桥采用上宽下窄、带副桁的钢桁梁断面形式,有效减小了上横梁跨度和尺寸,钢桁梁结构受力合理、经济性好。钢桁梁采用富有韵律美的空间三角桁,主桁腹杆受力均匀、主桁杆件制造标准化程度高。边跨采用混凝土桥面板-钢桁架组合钢桁梁,不需另外设压重,简化了结构设计,方便后期养护。钢桁梁采用两节间标准节段全焊整体制造、运输、架设,节段间采用高强度螺栓连接,仅桥面板采用工地焊接,减少施工现场工作量。牛田洋大桥主桥 2022 年 6 月 30 日顺利合龙,牛田洋大桥主桥合龙后实景见图 11。



图 11 牛田洋大桥主桥合龙后实景

参考文献:

- [1] 杨 钻,王 雷,王景奇,等. 牛田洋大桥主桥结构设计[J]. 桥梁建设,2021,51(6):1-8.
- [2] 常付平,汤 虎,邵长宇. 巢湖大桥主桥设计[J]. 桥梁建设,2020,50(6):91-96.
- [3] 刘 岩,杜 萍,徐 伟. 六线铁路斜拉桥双层双桁钢桁梁设计[J]. 桥梁建设,2020,50(S2):75-81.
- [4] 范静涛. 高速铁路四线大跨钢桁梁斜拉桥主桁研究[J]. 铁道标准设计,2018,62(5):53-56,66.
- [5] 候 满,王茂强. 毕都北盘江大桥钢桁梁设计关键技术[J]. 世界桥梁,2018,46(3):1-6.
- [6] 赖亚萍,张智勇,邓 宇. 重庆红岩村嘉陵江大桥景观设计[J]. 世界桥梁,2018,46(5):21-26.
- [7] 李永庆,樊冰冰,冯云城,等. 贵黄高速阳宝山大桥超宽钢桁梁设计[J]. 世界桥梁,2021,49(6):1-7.
- [8] 常付平,马 磊,姜 洋. 宁波三官堂大桥钢桁梁设计[J]. 世界桥梁,2022,50(3):8-13.
- [9] 段银龙,刘 琴,徐东进. 汕头市西堤大桥主桥总体设计方案研究[J]. 工程与建设,2021,35(3):460-463.
- [10] 李 林,陈奉民,郑升宝,等. 重庆筲溪河大桥钢桁梁悬索桥设计[J]. 公路交通技术,2021,37(3):64-70.
- [11] 徐 伟,苑仁安,王 强,等. 常泰长江大桥主航道桥结构体系及钢梁设计[J]. 桥梁建设,2021,51(3):1-8.
- [12] 王 冰,李方柯,苏国明. 徐盐高铁盐城特大桥主跨 312 m 钢桁斜拉桥总体设计[J]. 铁道标准设计,2019,63(10):93-98.
- [13] 沈大才,王东辉. 平潭海峡公铁大桥钢桁梁斜拉桥整节段悬臂拼装杆件对接顺序研究[J]. 桥梁建设,2021,51(3):131-137.
- [14] 徐平安,李方峰. 孟加拉帕德玛大桥大跨度连续钢桁梁架设技术[J]. 施工技术,2021,50(5):32-35,40.

泡沫沥青混合料抗剪强度影响因素研究分析

吴佳洪

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440)

摘 要:泡沫沥青混合料抗剪强度是决定其耐久性能的关键指标。为深入研究泡沫沥青混合料抗剪强度,本文以沥青发泡性能、泡沫沥青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量为影响因素,采用单轴贯入试验研究泡沫沥青混合料的抗剪强度。试验表明,沥青发泡性能、泡沫沥青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量对泡沫沥青混合料抗剪强度敏感性差异性较大,其中水泥掺量 > 聚丙烯纤维掺量 > 沥青发泡性能 > 泡沫沥青用量。沥青发泡性能、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量与泡沫沥青混合料抗剪强度正相关;混合料抗剪强度随着泡沫沥青用量增大呈现先增大后减小的趋势。建议以沥青发泡性能高水平、泡沫沥青用量 3%、水泥掺量 1.5%、纤维掺量 0.4% 为泡沫沥青混合料抗剪强度的最佳组合。

关键词:泡沫沥青混合料;沥青发泡性能;单轴贯入试验;抗剪强度

0 引言

车辙作为沥青混凝土路面的典型结构性病害,对交通通行安全产生极为危害的影响,而已有的研究表明,车辙病害与沥青混合料的抗剪强度息息相关^[1]。在荷载作用下,轮胎非均布荷载在路面结构中产生较大的剪切力,导致面层和基层已发生剪切破坏,泡沫沥青混合料作为典型基层材料,其抗剪强度尤为重要,是影响路用性能的关键指标^[2]。泡沫沥青混合料抗剪强度的影响因素是多方面的,主要包括混合料级配组成、泡沫沥青类型及用量、集料类型、水泥等填料等因素^[3]。关于泡沫沥青混合料抗剪强度研究已有部分成果^[4-6],对提高混合料抗剪强度具有一定的指导意义,但对混合料抗剪强度影响因素的系统研究还不多,尤其是缺乏对影响因素的重要性权重分析。本文对泡沫沥青混合料抗剪强度影响因素(沥青发泡性能、沥青用量、水泥掺量、纤维掺量)进行正交组合设计,采用单轴贯入试验评价混合料的抗剪强度,系统研究各影响因素对抗剪强度的相关性及其重要性权重,为提升混合料抗剪强度提供参考性方法和路径。

1 原材料

1.1 集料

试验采用辉绿岩集料,其技术指标如表 1 所示。

表 1 集料性能试验结果汇总

指标	试验结果	技术指标要求
压碎值/(%)	13	≤26
表观相对密度/(g/cm ³)	2.665	≥2.5
毛体积相对密度/(g/cm ³)	2.654	≥2.5
针片状含量/(%)	8	≤15
吸水率/(%)	0.5	≤2.0

1.2 泡沫沥青

试验采用中海油 70# 基质沥青,其技术指标如表 2 所示。

表 2 沥青技术指标

指标	试验结果	技术要求
针入度(25℃,100g,5s)/(0.1mm)	71.6	60~100
软化点(T _{R&B})/℃	59.6	≥45
延度(15℃,5cm/min)/cm	>100	≥100
闪点/℃	315	≥245
密度(15℃)/(g/cm ³)	1.042	实测
RTFOT 后 残留物	质量变化,≤/%	-0.033 ±0.8
	针入度比(25℃)/(%)	67.3 ≥57
	延度(10℃)/cm	21.2 ≥8

本文采用沥青发泡机 iFoam(见图 1)对基质沥青进行发泡试验,沥青发泡机将高压条件下的高温沥青与雾状水分混合制成泡沫沥青,通过调整泡沫沥青温度、发泡用水量等指标测试泡沫沥

青的膨胀率和半衰期指标,综合评价沥青的发泡性能。以中海油 70#基质沥青为研究对象,开展沥青发泡试验,试验结果表 3 所示。



图 1 沥青发泡机

表 3 沥青发泡试验结果

沥青温度/℃	发泡用水量/(%)	半衰期/s	最大膨胀率
140	2	50.3	12.0
	3	49.0	16.5
	4	46.4	18.8
145	2	41.1	14.2
	3	39.4	19.0
	4	38.4	17.8
150	2	38.7	17.0
	3	37.7	20.7
	4	36.9	22.0
155	2	37.0	16.0
	3	35.6	23.3
	4	32.8	25.5
160	2	32.7	17.8
	3	31.2	23.8
	4	30.2	25.0
165	2	31.1	15.3
	3	29.3	22.3
	4	26.6	29.0
170	2	28.9	15.0
	3	26.5	22.3
	4	24.7	27.5

试验数据显示,中海油 70#基质沥青的沥青温度在 140 ~ 170℃ 中,半衰期范围为 24.7 ~ 50.3s;膨胀比范围为 12 ~ 29 倍,满足泡沫沥青冷再生混合料中沥青发泡的最低要求^[7]。

泡沫沥青的发泡性能直接影响沥青在混合料内部结构的空间分布,在泡沫沥青用量不变的

前提下,沥青发泡性能对混合料内聚力具有一定程度的影响,也间接制约混合料的抗剪强度性能。因此本试验将沥青发泡性能也遴选为一个影响因素,探索其对混合料抗剪强度的相关性。为便于开展后续的正交试验设计,依据中海油 70#基质沥青的发泡性能试验数据,可将中海油 70#基质沥青的发泡性能分为三个水平,如表 4 所示。

表 4 沥青发泡性能

水平	发泡性能	发泡条件
高	膨胀比 27 倍, 半衰期 28s	沥青温度 160 ~ 165℃, 发泡加水量 4%
中	膨胀比 16 倍, 半衰期 38s	沥青温度 150 ~ 155℃, 发泡加水量 2%
低	膨胀比 13 倍, 半衰期 45s	沥青温度 140 ~ 145℃, 发泡加水量 2%

1.3 水泥

水泥性能指标如表 5 所示。

表 5 水泥主要性能指标

项目	凝结时间/min		抗压强度/MPa		细度
	初凝时间	终凝时间	3 天	28 天	
试验结果	175	230	18.2	37.8	2.1
技术指标	≥45	≤600	≥12.0	≥32.5	≤10

1.4 聚丙烯纤维

试验采用聚丙烯纤维,其性能指标如表 6 所示。

表 6 纤维主要性能指标

检测项目	指标
纤维类型	束状单丝
规格	6mm
比重	0.91
抗拉强度	>400MPa
抗酸碱性	极高
弹性模量	>3.5GPa
熔点	约 160℃
纤维直径	>48um
导热性	极低
燃点	约 580℃
含水量	<0.1%
安全性	无毒材料
抗低温性	经 -78℃ 实验检测纤维性能无变化。

2 正交试验

结合泡沫沥青混合料抗剪强度的相关研究成果,同时考虑后续的改善混合料抗剪强度的可实施性和易操作性,本试验未考虑混合料级配和

集料类型的影响,遴选沥青发泡性能、泡沫沥青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量等四个因素开展正交设计^[8]。为简化正交试验,本试验设定为 4 因素 3 水平,试验次数为 9 次,记为 $L_9(3^4)$,如表 7 所示。

表 7 正交试验设计

水平	A 沥青发泡性能	B 泡沫沥青用量	C 水泥掺量	D 纤维掺量
1	低	3%	1.5%	0.2%
2	高	2%	0.5%	0.4%
3	中	4%	1.0%	0.0%

3 级配和最佳拌合用水量

3.1 级配

泡沫沥青混合料属于悬浮密实型混合料结构类型,一般在混合料级配设计采用最大密度理论^[9-10],获取密度大、空隙小的混合料。最大密度理论的核心思想就是混合料级配曲线越接近抛物线,则密度越大。最大密度曲线 n 幂公式如下式(1)所示。

$$P = (d/D)^n \times 100 \tag{1}$$

其中: D —集料最大粒径;

d —集料筛孔尺寸;

P —集料通过百分率(%)。

参考泡沫沥青混合料的级配设计规范,兼顾室内泡沫沥青混合料拌合锅的拌合效果(19mm 以上集料易发生卡顿),本试验 D 取值 19mm。 n 为集料级配指数,一般取值 0.3~0.7,经测算,当 $n=0.65$ 时的混合料级配为本试验设计级配,如图 2 所示。

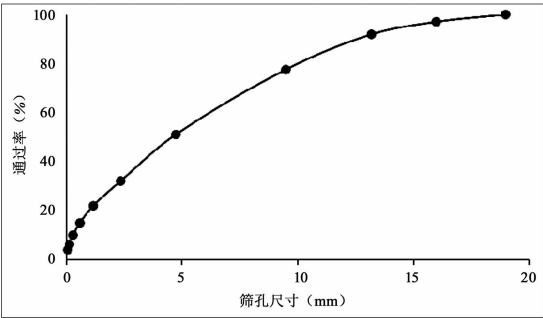


图 2 泡沫沥青混合料级配曲线

3.2 最佳拌合用水量

为保障泡沫沥青混合料的沥青分散效果和混合料拌和效果,一般在混合料拌和和压实时需加适量水。本试验采用无机结合料击实试验^[11]测定混合料的最佳拌合用水量,击实试验结果如图 3。

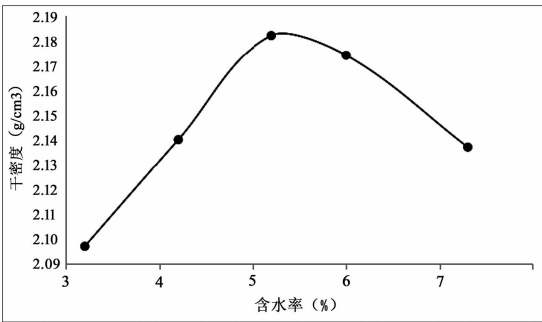


图 3 击实试验结果

试验数据显示,混合料最大干密度为 2.18g/cm³,最佳含水量为 5.65%,依据泡沫沥青冷再生混合料规范^[7],泡沫沥青混合料最佳拌合用水量为混合料最佳含水量的 80%,因此泡沫沥青混合料的拌合用水量为 4.52%。

4 单轴贯入试验

本文采用单轴贯入试验方法^[12]测定泡沫沥青混合料的抗剪强度。单轴贯入试验采用圆柱形刚性压头在试件上加压,其受力模式与路面一致,试验易操作,设备简单。泡沫沥青再生混合料公称最大粒径为 19mm,采用 150mm×150mm

的圆柱形试件,压头采用 42mm 圆柱形刚性压头,加载速率为 1mm/min,试验温度为 40℃、剪应力系数为 0.35,高度校正系数为 1.0。

4.1 试验结果

依据表 7 正交试验设计,设定相应沥青和集

料类型、沥青发泡性能、泡沫沥青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量、级配组成和混合料最佳拌合用水量,制备 9 组泡沫沥青混合料,成型马歇尔试件^[13],开展单轴贯入试验,试验结果如表 8 所示。

表 8 泡沫沥青混合料单轴贯入试验结果

试验编号	A 发泡性能	B 泡沫沥青用量	C 水泥掺量	D 纤维掺量	贯入强度/MPa
	J = 1	J = 2	J = 3	J = 4	
1	1	1(3.00%)	1(1.50%)	1(0.20%)	1.70
2	1	2(2.00%)	2(0.50%)	2(0.40%)	3.59
3	1	3(4.00%)	3(1.00%)	3(0.00%)	1.62
4	3	2(2.00%)	1(1.50%)	3(0.00%)	1.07
5	3	3(4.00%)	2(0.50%)	1(0.20%)	2.25
6	3	1(3.00%)	3(1.00%)	2(0.40%)	2.67
7	2	3(4.00%)	1(1.50%)	2(0.40%)	0.98
8	2	1(3.00%)	2(0.50%)	3(0.00%)	1.52
9	2	2(2.00%)	3(1.00%)	1(0.20%)	2.28

注:A 发泡性能中,1 代表低,2 代表中;3 代表高。

4.2 数据分析

结合表 8 的正交试验数据,通过极差分析,测算各影响因素的相关性和影响权重,极差分析结果如表 9 所示。

表 9 多因素敏感性分析

指标	贯入强度/MPa			
因素	A	B	C	D
K_{1j}	6.91	5.89	3.75	6.23
K_{2j}	4.78	6.94	7.36	7.24
K_{3j}	5.99	4.85	6.57	4.21
$\overline{K_{1j}}$	2.30	1.96	1.25	2.08
$\overline{K_{2j}}$	1.59	2.31	2.45	2.41
$\overline{K_{3j}}$	2.00	1.62	2.19	1.4
R_j	0.71	0.69	1.2	1.01
敏感性	(C > D > A > B) $R_3 > R_4 > R_1 > R_2$			

由表 9 可知:通过多因素敏感性分析,综合考虑沥青发泡性能、泡沫沥青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量对泡沫沥青混合料贯入强度影响,其敏感性差异性较大,其中水泥掺量 > 聚丙烯纤

维掺量 > 沥青发泡性能 > 泡沫沥青用量。

泡沫沥青混合料贯入强度对水泥掺量和沥青发泡性能的变化较为敏感。水泥掺量直接影响混合料的强度。水泥分散在混合料内部后,硅酸三钙与混合料中的水水化反应生成水化硅酸钙和氢氧化钙,不断强化混合料内部结构中集料-集料的黏接力,提高了混合料的整体稳定性和强度,因此水泥掺入对混合料抗剪强度是一种积极作用。但是混合料设计中水泥掺量需进一步研究,水泥掺入过多,会导致混合料内部水化热来不及释放而产生膨胀开裂而不利于混合料强度。

聚丙烯纤维强度高、韧性好,在混合料结构内部起到加筋作用,有效增强混合料强度性能,对其抗剪性能和抗弯拉性能具有显著的提升效果,因此纤维是混合料抗剪强度性能的重要影响因素,在研究混合料抗剪强度时掺加纤维是一个比较优异的技术路径。

沥青发泡性能是泡沫沥青混合料成型的首

要考虑因素,也是决定待选沥青是否适用于制备泡沫沥青混合料。沥青发泡性能的评定参数主要是膨胀比和半衰期,膨胀比越大、半衰期越长,就给予泡沫沥青和集料充分的拌合时间,促使泡沫沥青达到优异的分散效果,以达到较好的拌合均匀性。沥青发泡性能直接制约泡沫沥青分布在混合料内部结构的点焊结构的空间分布数量和形态,进一步影响沥青胶浆成膜连续性和完整性,从而影响混合料的抗剪强度性能。因此沥青发泡性能是混合料抗剪强度性能的重要影响因素。

一般而言,泡沫沥青作为混合料的胶粘剂,其用量多少对混合料强度具有一定程度的影响。但是在本试验中,相比于水泥掺量、聚丙烯纤维掺量、沥青发泡性能,泡沫沥青用量对混合料贯入强度影响较弱。试验分析知,泡沫沥青用量取值 2%、3%、4%,对混合料贯入强度有一定程度

影响,但影响差异性较小,原因可能是(1)相比于水泥掺量、聚丙烯纤维掺量、沥青发泡性能,泡沫沥青用量,泡沫沥青用量对混合料抗剪强度的改善或提升效果较弱;(2)泡沫沥青以点焊的方式分布在混合料内部,用量较少时,混合料内部粘结力不足;用量较多时,富余的自由沥青降低了混合料内部结构的嵌挤作用,导致混合料抗变形性能变差,强度下降。因此混合料设计中泡沫沥青用量需进一步研究。

4.3 单一变量试验

结合上述正交试验结果,为进一步明确各影响因素对混合料抗剪强度的影响,本试验进一步开展单一变量试验,仍选定文中的沥青和集料类型、级配组成和混合料最佳拌合用水量,在维持其他变量不变的前提下,调整单一变量取值,制备泡沫沥青混合料,开展单轴贯入试验。试验设计和结果如表 10 所示。

表 10 泡沫沥青混合料单轴贯入试验结果

试验编号	A 发泡性能	B 泡沫沥青用量	C 水泥掺量	D 纤维掺量	贯入强度/MPa
1	1				1.44
2	2	3.00%	1.00%	0.20%	2.12
3	3				2.51
4		2.00%			2.42
5	3	3.00%	1.00%	0.20%	2.51
6		4.00%			2.45
7			0.50%		2.05
8	3	3.00%	1.00%	0.20%	2.51
9			1.50%		2.85
10				0.00%	1.95
11	3	3.00%	1.00%	0.20%	2.51
12				0.40%	2.67

注:A 发泡性能中,1 代表低,2 代表中;3 代表高。

表 10 数据分析知,沥青发泡性能、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量与泡沫沥青混合料抗剪强度正相关,随着沥青发泡性能水平高,水泥掺量、聚丙烯纤维掺量增加,混合料抗剪强度逐渐增强;混合料抗剪强度随着泡沫沥青用量增大呈现先增大后减小的趋势,也间接映证了泡沫沥青用量过多或过少对混合料抗剪强度都是不利的。建

议以沥青发泡性能高水平、泡沫沥青用量 3%、水泥掺量 1.5%、纤维掺量 0.4% 为泡沫沥青混合料抗剪强度的最佳组合。

5 结论

(1)通过泡沫沥青混合料抗剪强度影响因素正交试验分析,综合考虑沥青发泡性能、泡沫沥

青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量对泡沫沥青混合料抗剪强度影响,其敏感性差异性较大,其中水泥掺量>聚丙烯纤维掺量>沥青发泡性能>泡沫沥青用量。水泥掺量和聚丙烯纤维掺量是混合料抗剪强度性能的重要影响因素,可考虑在泡沫沥青混合料中添加水泥或聚丙烯纤维,以提升混合料抗剪强度。

(2)通过单一变量试验分析,沥青发泡性能、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量与泡沫沥青混合料抗剪强度正相关;混合料抗剪强度随着泡沫沥青用量增大呈现先增大后减小的趋势。建议以沥青发泡性能高水平、泡沫沥青用量3%、水泥掺量1.5%、纤维掺量0.4%为泡沫沥青混合料抗剪强度的最佳组合。

(3)由于混合料材料的复杂性和特殊性,导致混合料抗剪强度影响因素和权重是多方面的,本试验结果可为改善泡沫沥青混合料抗剪强度设计提供参考。但是由于抗剪强度仅是泡沫沥青混合料路用性能的一个重要因素,通过本试验的影响因素组合设计可改善混合料抗剪强度,但可能对其他混合料性能带来不利影响,因此沥青发泡性能、泡沫沥青用量、水泥掺量、聚丙烯纤维掺量对混合料路用性能的影响和掺量设计有待进一步研究。

参考文献:

[1] 黎侃. 半柔性材料作为沥青路面抗车辙功能层的适用性研究[D]. 华南理工大学,2016.

[2] 陈国强,李秀君,刘黎萍,朱红哥. 泡沫沥青混合料抗剪性能研究[J]. 公路工程,2010,35(01):146-149+158.

[3] 拾方治. 沥青路面泡沫沥青再生基层的研究[D]. 上海:同济大学,2006.

[4] 李秀君. 泡沫沥青冷再生混合料抗剪性能的试验研究[J]. 建筑材料学报,2010,13(1):27~31.

[5] 李秀君,赵麟昊,高世柱,欧阳欢,王宁宁. 基于高抗剪密实型的泡沫沥青冷再生混合料中粒式级配设计[J]. 公路交通科技,2022,39(12):1-7+26.

[6] 梁何浩. 基于细观力学性能的抗裂型沥青混合料研究[D]. 华南理工大学,2019. DOI:10.27151/d.cnki.ghn-lu.2019.004164.

[7] 公路泡沫沥青冷再生路面设计与施工技术规范(DB33/T 715-2008).

[8] 詹海玲,于泳潭. 基于正交试验的泡沫沥青混合料水稳定性分析[J]. 中外公路,2013,33(04):330-334. DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2013.04.081.

[9] 熊学堂,张肖宁,苏尚武,虞将苗. 基于沥青介质法混合料理论最大相对密度影响因素的灰关联分析[J]. 公路工程,2018,43(01):81-87.

[10] 汪正兴,王志海,刘增宏. 沥青混合料理论最大相对密度试验方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2015,13(04):317-320.

[11] 公路工程无机结合料稳定材料试验规程(JTG E51-2009).

[12] 于泳潭. 基于水稳拌合站的泡沫沥青冷再生技术研究[D]. 华南理工大学,2018.

[13] 徐金枝. 泡沫沥青及泡沫沥青冷再生混合料技术性能研究. U41:U2 10710. B24006:105~110.

穿越岩浆岩高压富水断层带隧道工程 预注浆设计方案分析

刘二强

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440)

摘要:各种不良地质条件中,断层带涌水是隧道施工中常见的主要地质灾害之一。尤其在高压涌水下的隧道开挖,施工安全问题尤为突出。粤东某高速公路隧道施工中,掌子面超前地质钻孔探得高压涌水,涌水量 $3.36\text{万 m}^3/\text{d}$,最大水压 4.8MPa 。为确保高压富水断层带隧道的施工安全,通过分析对比三种设计方案,选择出最优方案。采取全断面前进式帷幕预注浆方案,成功穿越该断层,现场开挖结果表明:浆液填充充分饱满,对围岩起到固结、锁嵌的效果,使其整体性及强度得到加强,效果较好。为以后类似情况隧道提供经验,便于及时制定关键技术方案,缩短技术决策周期,快速顺利通过不良地质段,经济合理保障隧道结构安全及耐久性。

关键词: 高压富水断层带;方案设计;全断面前进式帷幕预注浆

0 引言

目前,中国已成为世界上隧道工程建设规模最大、数量最多和难度最高的国家,这不仅体现在隧道长度、埋深和断面尺寸的增长上,建设难度和技术创新也达到了空前的高度,各种新材料、新工艺等不断涌现^[1]。

随着国家交通建设规模的发展以及建设水平的突破,交通项目呈现出“重、大、难”特点,主要是建设意义重、投资力度大、工程技术难。重点交通项目“穿山越岭”趋于密集,10km以上的特长隧道屡见不鲜。隧道越长,埋深越深,愈是整个项目工期的控制节点,一旦隧址出现高压导水断层,直接会影响到工程正常进度,甚至引起整个项目延期运营。

面对隧道高压富水断层的困难,大量的科研工作者、工程师进行了深入研究,深入分析了作用机理,积累了大量经验,总结出了许多相关成果。参考国内外相关案例^[2-9],隧道遇突涌水段落,采用“探水、泄水、堵(止)水、防水、排水、承水”这六种手段中某一种或者多种组合的方式。其中,探水是通过地质雷达、TGP、瞬变电磁、超前地质钻孔等预报手段进行超前地质预报预防隧道开挖突涌

引起安全事故;泄水是通过超前泄水孔、井点降水等手段泄水降压保证开挖安全;堵(止)水是通过预注浆、后注浆等手段降低围岩渗透系数,截堵水头、加固围岩保证结构安全;防水是通过铺设防水板将围岩裂隙水与衬砌结构隔离避免结构渗漏水,排水是采用盲沟(管)、排水沟等通道将衬砌结构后水体及时排除避免衬砌承受水压力;承水是通过注浆加固围岩圈、增强衬砌结构,使其可承受一定水压力。隧道穿越高压富水断层破碎带,往往隧道围岩较差、水压较高、水量较大、自然环境敏感,处理起来十分棘手,需将这六种手段充分融合,综合治理。《公路水下隧道设计规范》(JTG/T 3371-2022)对下穿河流、湖泊、海湾或海峡等水域的公路隧道,提出了“钻爆隧道防排水设计应遵循‘以堵为主,限排为辅,多道设防,综合治理’的原则,保证隧道结构和营运设备的正常使用及行车安全。”^[10]可见这六种手段中止(堵)水至关重要,是防排水方案成功与否的决定性因素。

鉴于此,本文依托穿越岩浆岩地区高压富水断层的某公路特长隧道,根据其水文地质及工程地质特点,列举出三种止水方案,并对其比较分析,选择出最优方案,经现场实施并成功验证。可以为类似工程提供施工经验和参考。

1 工程背景

1.1 隧道概况

所依托高速公路隧道设计车速 100km/h, 双向四车道, 左、右线隧道分离布设, 线间距 35m。左线长 6 336m, 右线长 6 350m, 隧道设计净空断

面 $11.8\text{m} \times 7.2\text{m}$ 。隧址区有多条断裂与线位相交通过, 地层岩性为侏罗系安山玢岩、燕山期花岗岩, 洞身为中微风化岩为主, 局部存在糜棱岩带, 围岩等级为 II ~ V 级, 以 II、III 级围岩为主。隧道纵断面如图 1。

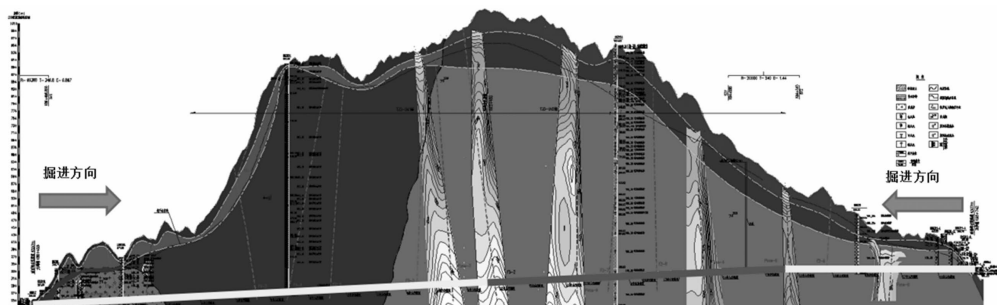


图 1 隧道地质纵断面

1.2 地质特征

隧道从莲花山山脉八乡山位置通过。隧址区山体由岩浆岩构成, 最高峰 1 277m, 隧道最大埋深达 740m。发育莲花山北东向断裂带、佛冈—丰良东西向断裂带、榕江断褶构造带—桐子洋复向斜等三期构造带及燕山期岩浆活动。地表沟谷纵横、溪流发育, 由东向西孕育有飞泉水库、黄棉湖水库。沿洞身分布断裂 18 条, 地下水的储存、径流空间为构造裂隙及侵入接触裂隙, 水源来自降雨和溪流入渗及地下水侧向径流, 地下水静储量大, 补给源充足。



图 2 隧道掌子面超前地质钻孔探水

2019 年 4 月, 隧道施工至勘察预测的高压富水段落时, 在掌子面通过超前地质钻孔探得高压涌水, 涌水量 $3.36\text{万 m}^3/\text{d}$, 最大水压 4.8MPa。该段落原设计为 III 级围岩, 衬砌类型为 S-III, 埋深约为 630m。围岩主要由侏罗系微风化安山玢

岩组成, 推测断裂 F4-5 由此通过, 围岩节理裂隙发育, 岩体破碎, 岩质较硬 ~ 坚硬。经综合分析, 隧道内高压涌水来源于 F4-5、F2-6 断层带交汇处的宽裂隙, 该处断层带分布多条宽至 20cm 裂隙, 连通性好、透水性强。

断层与隧道空间关系如图 3 示意。隧道开挖时改变地下水流场, 引起导水性剧烈变化, 成为拟建隧道与地下水间的重要导水通道, 通过该断裂对地下水发生袭夺, 造成地下水大量涌入隧道。

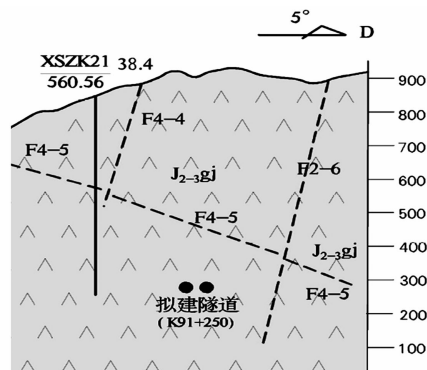


图 3 断层与隧道空间关系示意图

2 设计方案比选

考虑环境保护和隧道长期运营安全, 尽量避免对当地村民饮水和发电等生产生活造成影响, 隧道涌水遵循“以堵为主、排堵结合、限量排放”^[10]的处治原则, 采用注浆进行止水, 减

少地下水流失。经调研类似项目,结合本项目特点,综合分析后,提出了以下三种止水方案:前进式全断面帷幕预注浆、后退式局部预注浆、洞内管棚注浆。各设计方案参数如表 1。

表 1 设计方案参数对比表

方案	止浆墙	注浆材料	注浆加固范围	浆液扩散半径	注浆压力	注浆方法
方案一 前进式全断面帷幕预注浆	2.0m 厚 C30 混凝土	主要采用硅酸盐水泥单液浆 (W: C = 0.8 ~ 1: 1), 困难时采用水泥 - 水玻璃双液浆 (W: C: S = 0.8 ~ 1: 1: 0.1 ~ 1)	洞身范围外 5.0m 帷幕圈, 注浆深度最大 40m	2.5 ~ 3.0m	2 ~ 3 倍静水压, 终压 10.0MPa	Φ89 裸孔注浆, 前进式注浆
方案二 后退式局部预注浆	0.2m 厚 C25 喷射混凝土		裂隙影响处, 注浆深度最大 30m	1.0 ~ 2.0m	大于静水压 0.2 ~ 0.5MPa, 终压 5.0MPa	Φ89 裸孔注浆, 后退式注浆
方案三 洞内管棚注浆	无	硅酸盐水泥浆液 (W: C = 0.8 ~ 1: 1)	掌子面拱顶前, 管棚最长 20m	0.5 ~ 1.0m	1.0 ~ 1.5MPa, 终压 2.0MPa	Φ42 钢花管注浆, 全孔一次注浆

2.1 方案一(前进式全断面帷幕预注浆)

采用 2.0m 厚 C30 混凝土止浆墙封闭掌子面后再进行前进式全断面帷幕预注浆。首先,用一端焊有法兰盘的 Φ108 钢管将掌子面涌水引至止浆墙外侧;然后,将基底清理至基岩面,之后再植筋、进行止浆墙立模浇筑砼施工;最后用孔口管将止浆墙与掌子面连接为整体。

完成止浆墙后,采用分段前进式帷幕注浆,帷幕注浆段长度为 40m,含 5m 止浆岩盘,止水加固圈为开挖轮廓外 8.0m。注浆孔布设为“伞型”,呈辐射状布设,注浆孔浆液的扩散半径相互搭接不留空隙,形成帷幕,进而达到封堵围岩裂隙水路径,降低渗透系数,提高围岩力学性能,实现止水、加固效果。

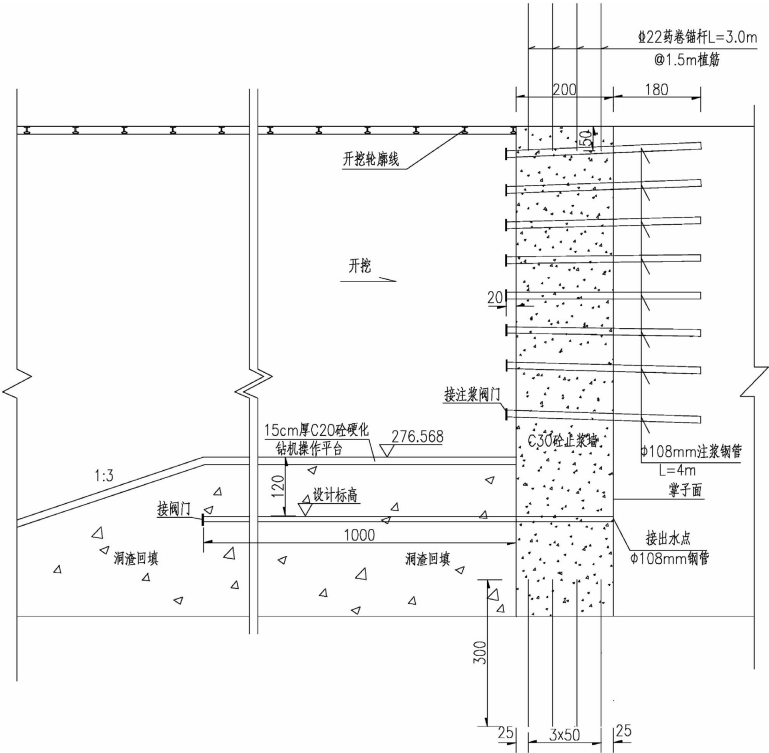


图 4 方案一:止浆墙纵断面图

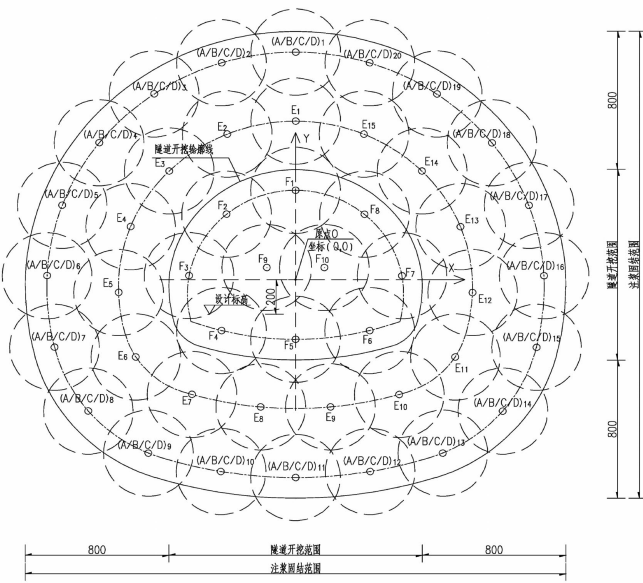


图 5 方案一:帷幕预注浆横断面图

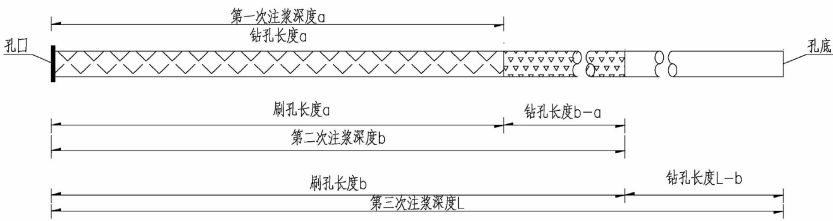


图 6 前进式注浆示意图(以分三段为例)

2.2 方案二(后退式局部预注浆)

采用 0.2m 厚 C25 喷射混凝土止浆墙封闭掌子面后进行后退式局部预注浆。注浆段长度为 40m,止水加固区厚度为 5.0m。后退式注浆为钻

至 40m 深后再注浆,注浆孔在掌子面周边以外插角 12~20°角度布设,在隧道开挖轮廓线外形成 5.0m 厚的半封闭截水圈,截住大部分地下水,使其不侵入开挖面威胁开挖安全。

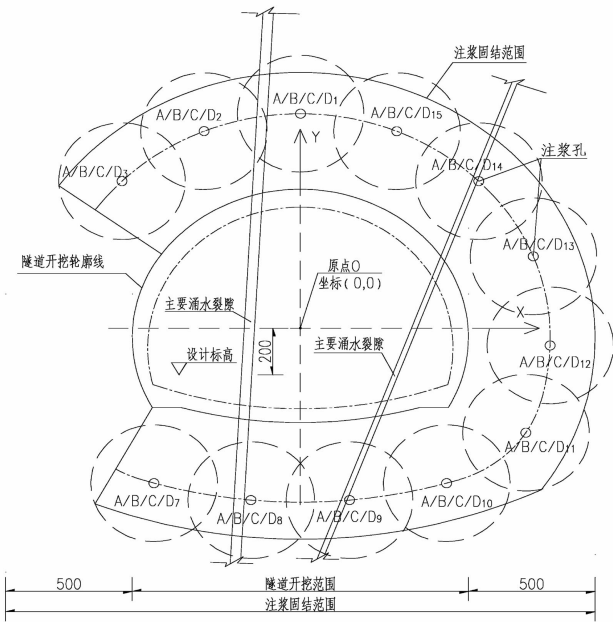


图 7 方案二:后退式局部预注浆横断面图

2.3 方案三(洞内管棚注浆)

采用带孔的钢花管,根据出水裂隙位置在工作面周边按一定角度打入地层进行注浆,在隧道

工作面拱顶前方形成承载薄壳,达到止水加固地层的目的。注浆管棚既可以作为注浆导管,又可以起到超前管棚的作用。

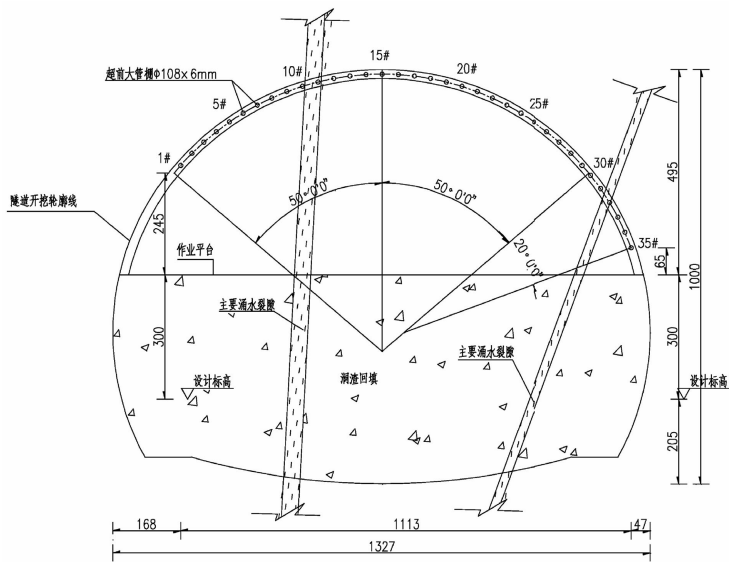


图8 方案三:洞内管棚注浆横断面图

2.4 方案比选

结合项目实际,跟各方案从施工安全风险、工程造价、止水加固效果、工期、施工难易程度、环境保护等方面进行对比如表2。

表2 设计方案对比

方案	方案一	方案二	方案三
安全风险	可控	基本可控	基本可控
工程造价	较高	一般	较低
止水加固效果	好	较好	一般
工期	可控	可控	基本可控
施工难易程度	较易	一般	较难
环境保护	效果好	效果较好	效果一般

在优先考虑安全前提下,其他因素除工程造价外,方案一均较优,经综合对比,推荐实施方案一(前进式全断面帷幕预注浆)。注浆平面图如图9所示。

4 数值仿真分析

4.1 计算模型

为进一步揭示隧道围岩水压力分布特征,本

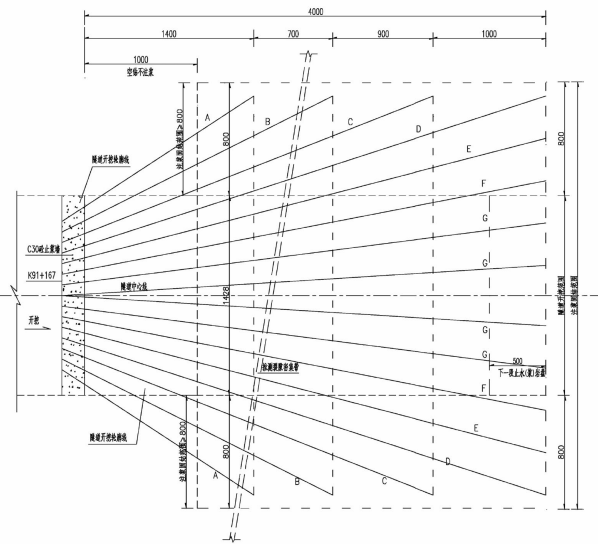


图9 前进式全断面帷幕预注浆平面图

文采用有限元数值分析软件 MIDAS/GTS NX 对隧道进行数值仿真分析,建立三维地质模型。模型示意如图10所示,共建有151791个节点和259865个单元。为消除边界效应带来的计算误差,模型左右宽度取4倍左右洞径。模型尺寸为长×宽×高尺寸为120m×60m×90m,在自重应力场下进行计算,上表面取至地表,为自由表面。

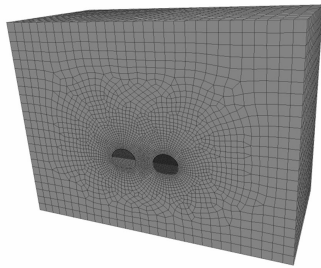


图 10 模型示意图

根据室内试验数据并结合地质勘探报告给出围岩物理力学参数。各物理力学参数取值如表 3。

表 3 各物理力学参数取值

名称	γ /(kN/m ³)	k /(m/d)	E /GPa	μ	C /kPa	Φ /(°)
微风化 安山玢岩	24	9.74×10^{-3}	7	0.2	900	40

4.2 止水加固前计算结果

经计算,隧道开挖至中间断面时,围岩孔隙水压力分布如图 11 所示。

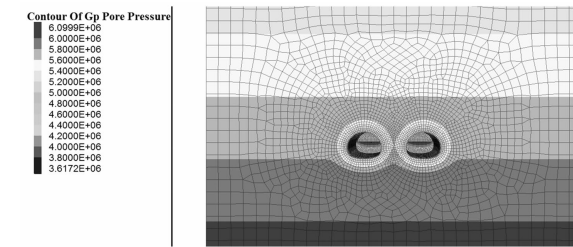


图 11 开挖工况围岩孔隙水压力分布图

由图 11 可见,由于隧道开挖形成泄水洞,隧道周边围岩孔隙水压力减小。左右线隧道中夹岩处孔隙水压力由 6.0MPa 减小至 5.5MPa,越靠近隧道的围岩孔隙水压力减小幅度越大,离隧道距离 1m、2m 的围岩孔隙水压力分别为 5.14MPa 和 5.30MPa,离隧道距离 4m 以上的围岩孔隙水压力变化幅度不大。

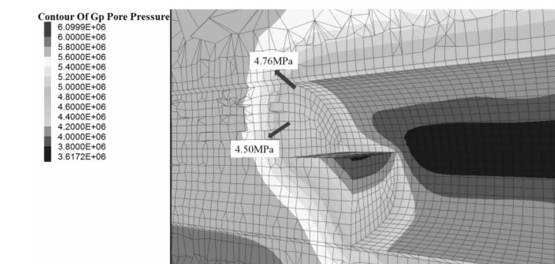


图 12 掌子面孔隙水压力分布图

由图 12 可见,隧道开挖后,左线隧道掌子面处计算得到的最大孔隙水压力为 4.76MPa,与现场监测结果 4.80MPa 接近。

4.3 止水加固后计算结果

按照设计方案,隧道开挖前施作 5m 厚止浆岩盘,在开挖轮廓外设有 8m 厚帷幕注浆体。止浆岩盘采用弹性单元模拟,注浆体围岩渗透系数按室内试验结果取 2.78×10^{-4} (m/d)。为清晰显示各注浆孔与隧道的空间关系,图中未显示出各注浆孔的浆液扩散范围,计算模型如图 13。

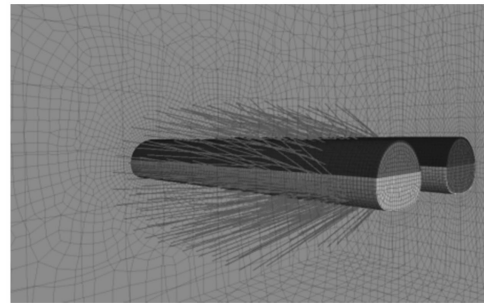


图 13 帷幕注浆孔模型示意图(未显示浆液扩散)

帷幕注浆条件下掌子面孔隙水压力分布如图 14 所示。从计算结果可以看出,在施加超前帷幕注浆措施之后,掌子面前方围岩、掌子面下台阶围岩孔隙水压力迅速减小,其中下台阶核心土处孔隙水压力最小,为 0.003 79MPa。在止浆岩盘的阻水作用下,掌子面前方 5m 范围内围岩水头差大幅下降,由未注浆前的 3.6~4.8MPa 减小至 0.004~0.8MPa。注浆加固也使得掌子面前方 5~35m 处围岩孔隙水压力由注浆前的 5.8MPa 减小至 2.6MPa(未开挖状态)。随着掌子面推进,围岩孔隙水压力减小至 0.004~0.8MPa。可见,超前帷幕注浆对隧道穿越断层破碎带施工过程中围岩涌水灾害有良好的处治效果。

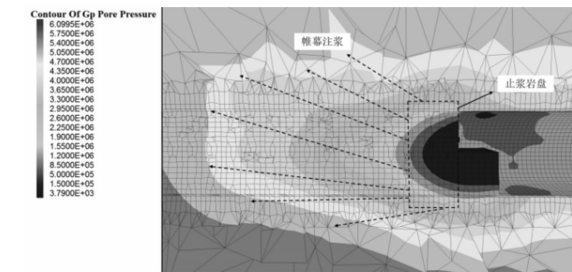


图 14 帷幕注浆条件下掌子面孔隙水压力分布图

5 现场效果验证

5.1 现场实施

按照设计方案,采用前进式分段注浆工艺进行顶水注浆。当遇到水压较大、裂隙发育段落,单液浆注入不能及时凝结时,采用水泥水玻璃双液浆,待注浆压力上升后切换为单液浆。实测注浆压力为静水压力的 2~2.84 倍。

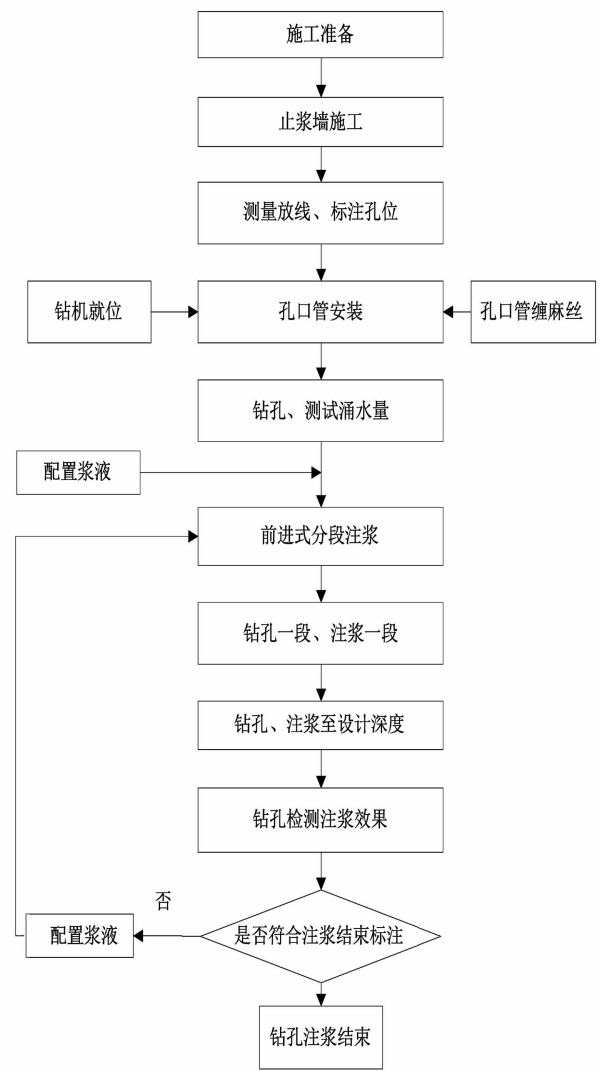


图 15 帷幕预注浆施工工艺流程图

钻孔注浆采取前进式分段注浆工艺,钻孔前在孔口管位置安装高压闸阀后进行钻进。前进式注浆过程中,当钻孔内水压较大不易钻进时,先对该段进行注浆加固处理,达到止水效果后再钻穿注浆段进行后续段落钻孔注浆。实施

过程如图 16。



图 16 帷幕注浆现场实施图

5.2 注浆效果检查

帷幕注浆工程具有隐蔽的特点,施工完成后,注浆质量可通过检查孔进行涌水量分析,注浆完成后共设 3 个检查孔,分别位于掌子面拱顶及两侧拱腰,检查孔深 35m,对围岩加固效果和渗漏情况进行检查,单孔最大出水量为 7.62L/min,孔内涌水量最大为 0.218L/(min·m)。

表 4 检查孔出水量表

序号	灌满时间	桶体积 (L)	单孔出水量 L/min	孔内涌水量 L/(min·m)
1#	2 分 20 秒	16	6.86	0.196
2#	2 分 5 秒	16	7.62	0.218
3#	2 分 7 秒	16	7.60	0.217

涌水量变化是止水效果最直接的体现。经对比超前探孔与检查孔涌水量,单孔涌水量由超前探孔 1.41×10^3 L/(min·m),骤降至 0.218L/(min·m),该高压富水断层带围岩裂隙水涌水量明显减小,止水效果显著,具备开挖条件。

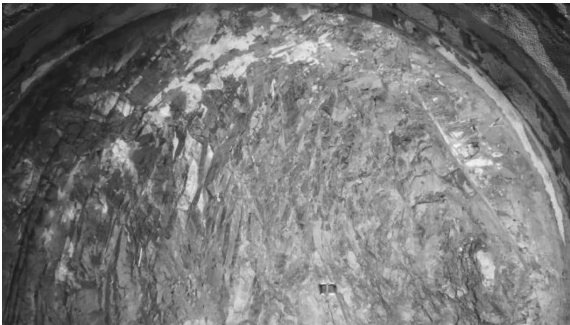


图 17 帷幕注浆段开挖后掌子面

开挖后,通过观察注浆后掌子面整体及细部,围岩节理裂隙极发育,裂隙间距 $0.2\text{m} \sim 0.5\text{m}$,局部裂隙宽达 15cm ,可观察到浆液填充充分饱满,对围岩起到固结、锁嵌的效果,使其整体性及强度得到加强。开挖期间围岩拱顶沉降及周边收敛监控量测表明,围岩自稳能力得到极大改善,加固效果良好。



图18 浆脉填充细部图

6 结论

本文依托穿越高压高富水岩浆岩断层的隧道工程,通过设计方案比选,选择了全断面前进式帷幕预注浆方案,施工实施后,经现场验证,可以得到以下结论:

(1)通过对岩浆岩高压富水断层带采用分段前进式全断面超前帷幕预注浆方案进行处治,取得了良好的止水效果,有效控制了富水断层带的涌水量、防止了隧道涌突水和坍塌事故的发生,保障了隧道顺利安全通过断层破碎带。

(2)通过数值计算可知,隧道开挖后由于临空面的产生,使得围岩裂隙水向掌子面上、下台阶处渗流,水头差在 $3.6 \sim 4.8\text{MPa}$ 之间,与现场实测水压差别不大。帷幕注浆后,加固体 5m 范围内围岩水头差大幅下降,由未注浆前的 $3.6 \sim 4.8\text{MPa}$ 减小至 $0.004 \sim 0.8\text{MPa}$ 。

数值计算表明:分段前进式全断面超前帷幕预注浆方案注浆设计参数基本合理,可作为实施方案。

(3)注浆完成后,相比较于超前地质钻孔,检查孔涌水量大幅减少,单孔涌水量由 $1.41 \times 10^3\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 骤降至 $0.218\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$,表明该岩浆岩高压富水断层带富水性大大降低,抗渗性提高,实际注浆效果较好。

参考文献:

- [1]《中国公路学报》编辑部,中国隧道工程学术研究综述·2015中国公路学报1001-7372(2015)05-0001-65,2015年5月第28卷,第5期.
- [2]李生杰,谢永利,朱小明,高速公路乌鞘岭隧道穿越F4断层破碎带涌水塌方工程对策研究[J].岩石力学与工程学报,1000-6915(2013)增2-3602-08.
- [3]薛翊国,李术才,苏茂鑫,等.青岛胶州湾海底隧道涌水断层注浆效果综合检验方法研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(7):1382-1388.
- [4]刘招伟,张顶立,张民庆.圆梁山隧道毛坝向斜高水压富水区注浆施工技术[J].土木工程学报,2017,50(增2):1-7.
- [5]谭忠盛,王秀英,万飞,马栋.关角隧道突涌水防治技术体系研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(10):1748-1758.
- [6]肖广智.我国几类特殊地质条件铁路隧道修建问题与对策概述[J].隧道建设,2019,39(11):1728-1734.
- [7]洪开荣,冯欢欢.高黎贡山隧道TBM法施工重难点及关键技术分析[J].现代隧道技术,2018,55(4):1.
- [8]魏成武,杨期祥,覃礼貌,廖昕,巫锡勇.大相岭隧道高压突水机理与预测分析[J].铁道科学与工程学报,2015,12(5):1164-1171.
- [9]张民庆,张亮,何志军,彭峰,张晓华.太行山隧道富水宽张裂隙注浆堵水技术研究[J].铁道标准设计,2015,59(6):108-112.
- [10]中华人民共和国交通运输部,《公路水下隧道设计规范》(JTG/T 3371-2022)[S].2022-06.
- [11]中华人民共和国交通运输部,《公路隧道设计规范》(JTG 3370.1-2018)[S].2019-05.

基于 Triangle 的道路测量模型快速生成技术研究

范舒畅¹, 孙 颖¹, 曹先革², 汤 敏¹, 刘旭东³

(1. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510440;

2. 东华理工大学测绘工程学院, 江西南昌 330013;

3. 宁波冶金勘察设计研究股份有限公司, 浙江宁波 315194)

摘 要: 基于 Triangle 完成 Bowyer - Watson 三角剖分, 提出“分块分级”法预处理点云数据, 改进三角网优化策略, 优化模型建立流程, 采用 C# 与 Python 混合编程技术开发程序, 依托梅南互通立交定测项目进行模型建立, 结果表明: “分块分级”法对于海量点云数据的预处理具有较好的效果, 避免了点云数据的重复查找, 降低了计算机内存的开销, 提升了点云编辑速度。改进的三角网优化策略对带状模型的网型优化及构建速度的提升有帮助。Triangle 库具有较高的三角剖分效率与较好的扩展性与兼容性, 可作为类似项目开发的底层库。

关键词: Triangle; 分块分级; 优化策略; 混合编程

1 引言

“十三五”时期, 我国综合交通运输体系建设取得了历史性成就。2021 年 12 月 9 日国务院印发《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》, 这标志着我国交通运输体系迈入了高质量发展阶段。规划中明确要求提升国家高速公路路网质量、并推进基础设施智能化升级。因此道路建设的智能化与数字化将是现代综合交通运输体系的基本保障。

早期道路测量数字化成果往往为平面线划图。异常点只能通过坐标值、属性表并结合经验的形式进行大致判断, 随着点云数据在道路初测、定测中的广泛应用, 常规方式已无法满足海量点云数据的要求, 更无法对测量结果进行有效的检查。因此基于三维数字地面模型的可视化检查方式应运而生。三维数字地面模型发展至今已有数十年的历史, 其最早可追溯于上世纪 50 年代麻省理工学院的 Miller 教授在公路勘测设计上的应用, 受限于计算机技术, 早期的三维数字地面模型更多的是采用相对简单的方格网建模。数十年来随着计算机技术的飞速发展, 建模图形由方格网优化为三角网, 并涌现出了很多成熟的模型, 其中包括等高线模型 (Contour Lines, CL)、

规则格网模型 (Regular Square Grid, RSG)、不规则三角网模型 (Triangulated Irregular Network, TIN) 等^[1]。其中对复杂地面表现能力更好的不规则三角网 (TIN) 得到了广泛应用, 构造 TIN 的前提需要对若干离散点进行三角剖分, 运用 Delauny 算法的三角剖分是目前公认的最优方法, 很多学者在此基础上提出了各种优化方法。宋占峰等提出的插入点约束边理论巧妙剔除了落在道路设计面内的地形点问题^[2]。李功权等提出的基于 TIN 的路中线提取法充分利用了 GIS 的网络分析功能^[3]。蒲浩等学者提出的双三次混合孔斯曲面片等光滑曲面模拟生成了三维数字地面模型, 有效的解决了三角网模型之间的拼接问题^[4]。以上方法虽然在三维数字地面模型建立中解决了若干已知问题, 但在道路模型建立等细分领域仍存在着操作过程复杂、计算速度慢且需要的细节精度无法保证等诸多实际问题。

本文将基于 Triangle 三角剖分库, 探讨快速建立道路模型的数据组织方法及关键技术流程。最后采用 C# 与 Python 混合编程技术编写快速构模程序并在梅南互通立交项目上应用, 进一步探讨方法的适用性及存在的问题。为道路测量模型的快速建立、测量成果的高效检查等应用研究

领域提供参考。

2 数据及方法

2.1 实测数据

在道路定测项目中,针对带状地形图的测绘往往采用人工 RTK 逐点实测的方式进行(统称“实测数据”),测量结果往往能够较为真实可靠的反应出道路的边界范围、走向及高程变化情况,因此实测数据在内业数据处理、三角剖分及模型渲染等环节应作为不可更改的约束边处理。自定义 tzx 文本文件(表 1 所示)按指定格式以特征线为单位对实测数据逐行进行存储,特征线 N 的第一行记录着颜色索引、特征线节点数、特征线类别名,从第二行开始依次记录各节点的坐标值。

表 1 tzx 文本格式表

特征线 N	第 1 行	颜色索引	点数	类别名
	第 n 行	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标

2.2 点云数据

多源数据融合的三维建模方法在应用上比较灵活,可以综合多种数据的优点,不仅能使得模型的精度达到项目要求,还能大大提高建模效率^[5]。故点云数据对于道路模型精细化建立是十分必要的。但点云数据的加入也会导致一些问题,一方面,由于点云数据量庞大,强制展点必将导致绘图程序崩溃。另一方面,点云数据受激光穿透能力的影响,当植被遮挡较密时必须整体降低一个固定值或进行局部剔除。所以点云数据加入前必须进行预处理。

“分块分级”法首先将点云数据以自定义矩形为单位进行分块存储,矩形范围内点云数据标准化文件名格式为: Xmin-Xmax-Ymin-Ymax. xyz。该命名依次记录了矩形范围内 X 坐标的极值与 Y 坐标的极值。随后结合野外调绘记录在待编辑点云处绘制闭合范围线,并

将该闭合范围的边界节点连同编辑属性一并记录于闭合范围线的 XDATA 属性之中,通过块文件名与 XDATA 属性之间的坐标相对关系即可在分块点云文件集中快速定位到目标点云文件。最后以文件流的方式自动编辑目标点云文件。

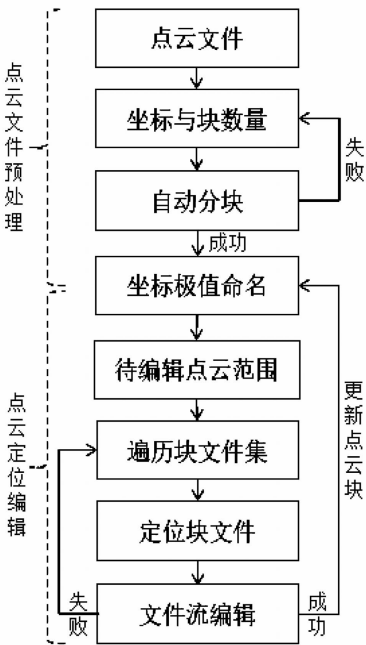


图 1 “分块分级”流程图

通过先分块再分级的点云编辑法有效的避免了海量点云数据的重复查找,降低了计算机内存的开销,提升了点云编辑速度。经实测,“分块分级”法可以有效满足海量点云数据的快速编辑要求,缩短了模型建立的时间。

2.3 三角剖分与优化

2.3.1 数据组织

Poly 文件(表 2 所示)是由“点”、“线”及“洞”三部分顺次拼接而成的自定义文本格式文件。“点部分”第一行记录总数、维度、属性及边界标记,从第二行至结尾依次记录点索引、X 坐标及 Y 坐标;“线部分”第一行记录线总数及边界标记,从第二行开始至结尾依次记录边索引及每条边所对应的端点在“点部分”中的索引;“洞部分”需动态补充记录无需组网的区域内

部平面坐标。

表 2 poly 文件格式表

点	点总数	维度	属性	边界标记	
	点索引	X 坐标	Y 坐标	属性	边界标记
线	线总数			边界标记	
	线索引	点 ₁ 索引	点 ₂ 索引	边界标记	
洞	洞总数				
	洞索引	X 坐标		Y 坐标	

2.3.2 三角剖分

三角剖分 (triangulation) 即将给定的数据点集按照某种规则进行三角化处理并生成三角形集合的过程。但在实际复杂的环境中,一些特殊的地形线将对三角剖分的过程或结果产生一定的影响,为了在三角剖分的结果中能够体现这些“影响”,通常的做法是将特殊的地形线作为约束条件,这便是约束三角剖分^[6-7]。在所有可能的三角网中,一般情况下 Delaunay 三角剖分被公认为是最优的 Delaunay 三角网^[8-10],故迄今为止应用最广泛的平面三角剖分算法即为 delauny 三角剖分算法。delauny 三角剖分又可分为分治算法、逐点插入法与三角网生成法三种。

表 3 delauny 三角剖分常见算法时间复杂度

算法	一般情况	最坏情况
分治算法	Lewis/Robinson	$O(N\log N)$
	Dwyer	$O(N\log\log N)$
	Chew	$O(N\log N)$
逐点插入法	Lawson	$O(N^{\frac{4}{3}})$
	Bowyer	$O(N^{\frac{3}{2}})$
	Watson	$O(N^{\frac{3}{2}})$
三角网生成法	Green/Sibson	$O(N^{\frac{3}{2}})$
	Brassel/Reif	$O(N^{\frac{3}{2}})$
	Macullagh/Ross	$O(N^{\frac{3}{2}})$

由表 3 可见三角网生成法的时间复杂度最高,分治算法的时间复杂度最低,逐点插入法居中。三角网生成法由于本身的缺陷导致其效率受限。分治法时间复杂度虽然最低,但递归执行的方式需要较大的内存开销。相比之下逐点插入法实现简单,时间复杂度相对较低,内存开销相对较小。Bowyer - Watson 算法具有数据冗余度小、简单易更新等优势,是最为常用的逐点插入算法。Bowyer - Watson 算法主要思想是:

(1)对样本点集以 x 坐标从小到大进行排序并放入点列表_vertices 中。

(2)构造能将样本点全都包含在内的超级三角形,并将其存入三角形列表_Triangles 中。将超级三角形的三边存入边列表_polygon 中。

(3)遍历_vertices 点列表,若点 A 在_Triangles 列表中的某个三角形外接圆内,则从_Triangles 中剔除该三角形,然后将点 A 与此前删除的三角形的三个顶点相连形成三个新的三角形存入列表_Triangles 中。

(4)_vertices 点集合遍历完毕后,将第二步中构造的超级三角形删除即完成 Delaunay 三角网的构建。

2.3.3 Triangle 库

Triangle 库是基于 C 语言的开源二维质量网格生成器和 Delaunay 三角剖分器。Triangle 通过参数控制的方式可快速按 Bowyer - Watson 算法生成符合 Delaunay 法则的约束三角网。凭借着出色的稳定性及扩展性,Triangle 库长期以来被广大学者作为三角组网的首选工具库。本文将采用 Triangle 库进行三角剖分得到优化前的 Delaunay 三角网数据集。

2.3.4 长度标尺

Bowyer - Watson 算法只解决了已有点的组网问题,对于随机点如何插入的问题该法并不涉及。然而随机点的插入是实现三角网网型加密及优化的关键。长度标尺是描述三角形顶点和内部点的几何参数。由式(1)可知,三角形 $\triangle ABC$

的顶点 A 的长度标尺等于该点沿边到相邻两顶点 B 和 C 距离平均值的 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 倍。三角形内部点 Q 的长度标尺由式(2)所示。

$$L(A) = \frac{1}{2} \times (l_{AB} + l_{AC}) \times \frac{\sqrt{3}}{2} \# \quad (1)$$

$$L(Q) = \frac{\frac{L(A)}{l_{QA}} + \frac{L(A)}{l_{QA}} + \frac{L(A)}{l_{QA}}}{\frac{1}{l_{QA}} + \frac{1}{l_{QA}} + \frac{1}{l_{QA}}} \# \quad (2)$$

2.3.5 无量纲半径

三角形外接圆无量纲半径是衡量一个三角形偏离正三角形的严重程度。三角形外接圆无量纲半径越大,该三角形偏离正三角形越严重。因此无量纲半径是计算机自动计算内插点从而改善网格形状的重要判断依据。设三角形 $\triangle ABC$ 的外接圆半径为 r ,外接圆圆心长度标尺为 L ,则外接圆无量纲半径 R 计算式为:

$$R = \frac{r}{L} \# \quad (3)$$

由式(3)可计算得到正三角形的无量纲半径为 $2/3$ 。

2.3.6 优化策略

首先对三角网中的三角形逐个计算外接圆圆心的长度标尺 L 、外接圆半径 r 以及外接圆无量纲半径 R ;然后将三角形集合以 R 值为排序依据进行倒叙排序,向序列顶部 R 值最大的三角形外接圆圆心处插入新点 Q ;随后按照 Bowyer-Watson 算法进行局部网型重组,将新生成的三个三角形与原三角形按 R 值重新进行排序后重复前述操作,直至序列顶部的三角形外接圆无量纲半径 $R < 1$ 。此时便完成了三角网的优化。

三角网的优化在网格加密、提升网格质量方面是十分必要的,但点云数据的加入通常使生成的三角型数量十分巨大,若对全部的三角型进行优化,无疑将是对计算机资源的巨大消耗,同时处理时间上也是无法忍受的。故三角网的优化在道路等带状地物建模过程中必须进

行取舍或只在局部进行。为此本文将全部三角形的优化调整为局部三角形的优化。

经测试得到以下优化原则:

第一,包含实测特征线的三角形一律不进行优化;

第二,设置三角网边缘三角形的无量纲半径阈值为 1.5;

调整后三角网优化速度得到了极大的提高。

2.4 三角剖分与程序设计

Python 属于解释性语言,代码执行效率较低^[11]。但其丰富的标准库在数据分析等方面具有极大的优势,因此本文利用 python 语言进行 Triangle 三角剖分。C#具有代码执行效率高、窗口界面设计功能强、外设接口操作方便、完全面向对象和类型安全等诸多优点^[12],因此本文利用 C#语言编写程序界面及核心业务逻辑。程序设计采用 C#与 Python 混合编程可充分发挥两种语言的优势,在保证程序功能的前提下有效缩短了开发周期。程序实体存储结构如代码段所示。

定义 Points 实体类存储激光点及实测点,其中点号唯一,激光点的 IsConstraint 设置为 0,实测点设置为 1。

```
public class Points
{
    //点号
    public string PointNum { get; set; }
    //x 坐标
    public double XCoordinate { get; set; }
    //y 坐标
    public double YCoordinate { get; set; }
    //h 坐标
    public double HCoordinate { get; set; }
    //是否构网(0 否 1 是)
    public int IsBuildGrid { get; set; } = 0;
    //是否边界(0 否 1 是)
```

```
public int IsConstraint { get; set; } = 0;
}

根据 Points 实体类建立集合对象, AllEdges
集合存储实测边数据, ForbidEdges 集合存储禁
止构网范围数据, DrawRangeEdges 集合存储构
网范围数据, AllFilesPoints 集合存储激光点与实
测点融合后的全部点数据。

//边集合
static List< List< Points > > AllEdges = new
List< List< Points > > ( );
//禁止构网范围集合
static List< List< Points > > ForbidEdges =
new List< List< Points > > ( );
//构网范围集合
static List< List< Points > > DrawRangeEdges
= new List< List< Points > > ( );
//全部点数据
static List< Points > AllFilesPoints = new List
< Points > ( );
```

3 案例应用

本文将以梅南互通立交定测阶段为例按前
述理论方法进行道路模型的快速构建。梅南互
通立交位于梅州市梅县区梅南镇内,互通立交范
围内主线最小平曲线半径为 1 000m,最大纵坡
2.75%。新建匝道最小平曲线半径为 70m,最大
纵坡 3.856%,各匝道平纵指标均满足设计速度
所对应匝道设计标准。新建匝道总长2 361.131
m(不含劝返车道长度),其中匝道桥梁总长
781.4m。无利用旧路匝道。

由图 2 所示,梅南互通立交模型快速建立的
核心流程详细可分为如下六个步骤实现:

- 绘制并提取实测数据;
- “分块分级”预处理点云数据;
- 实测与点云数据融合生成 Poly 文件;
- Triangle 三角剖分 Poly 文件;
- 遵循优化策略原则优化三角网;
- 渲染优化三角网;

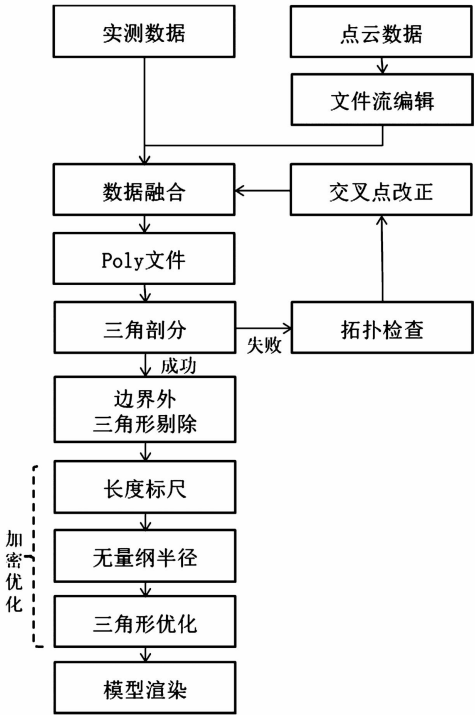


图 2 道路测量模型建立流程

以六个步骤为基础并利用 Python 与 C#混合
编程技术,实现了梅南互通立交的快速构模(如
图 3 所示)。其中(1)为实测数据 2d 图,(1)到
(2)实现了道路模型的初步建立,(2)到(3)完成
了范围外三角网的剔除及优化,(4)则为(3)渲
染后的最终模型。

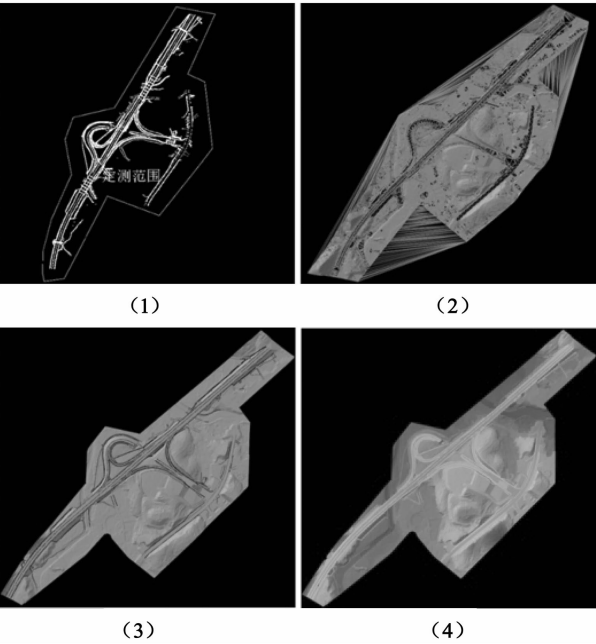


图 3 梅南互通立交模型阶段图

4 结论

本文基于 Triangle 库,以梅南互通立交项目为例,实现了道路测量模型的快速建立,结果显示:

(1)“分块分级”法对于海量点云数据的预处理具有较好的效果,有效避免了海量点云数据的重复查找,降低了计算机内存的开销,提升了点云编辑速度。

(2)改进的三角网优化策略对带状模型的网型优化及构建速度的提升有帮助。

(3)Triangle 库具有较高的三角剖分效率及较好的扩展性与兼容性,可作为类似项目开发的底层库。

综上所述,本文方法可应用于新建道路及道路改扩建等大范围带状地物建模领域中,提高了模型建立的速度及成果检查效率,降低了模型建立的主观性偏差,保证了模型建立的一致性、准确性,同时也为后续基于模型的操作奠定基础。

参考文献:

- [1] 高莉.改进的 Delaunay 三角剖分算法研究[D].兰州交通大学,2015.
- [2] 宋占峰,詹振炎,蒲浩.道路整体三维模型构建方法的研究[J].中国铁道科学,2003(04):108-111.
- [3] 李功权,蔡祥云.一种基于约束三角网的道路中心线的提取方法[J].长江大学学报(自科版),2013,10(04):47-50.
- [4] 蒲浩,宋占峰,詹振炎.基于 Delaunay 三角网数字地面模型的路线三维建模方法[J].铁道学报,2001(04):81-87.
- [5] 陈思吉.三维建模的多源数据融合算法研究[D].贵州大学,2020.
- [6] Faugeras. O. D, Bras - Mehlman. E. L, Boissonnat. J. D. Representing stereo data with the Delaunay triangulation. Artificial Intelligence, 1990, 44: 41-87.
- [7] Floriani. L. D, Puppo. E. Constrained Delaunay for multiresolution surface description. Proc 9th Int Conf on Pattern Recognition, Rome, 1988: 566-569.
- [8] 周佳文,薛之昕,万施.三角剖分综述[J].计算机与现代化,2010,75-78.
- [9] Miles R E. Probability distribution of a network of triangles. Society for Industrial and Applied Mathematics, 1969, 11(3): 399-402.
- [10] Lingas A. The greedy and Delaunay triangulations are not bad in the average case. Information Processing Letters, 1986, 22(1): 25-31.
- [11] 孙伟峰,李威桦,王健等.基于 C#与 Python 混合编程的钻井溢漏风险智能识别平台[J].实验技术与管理, 2021, 38(11): 166-172.
- [12] 万勇,万莉,戴永寿.基于 C#与 MATLAB 混合编程的管道缺陷类型识别实验系统软件开发[J].实验技术与管理, 2020, 37(05): 52-57.

水土保持专业技术分委会组织开展 京港澳高速公路粤境清远佛冈至广州太和段 改扩建项目现场技术交流活动

为提高水土保持专业技术水平,丰富专业知识储备,深入了解高速公路改扩建项目先进施工工艺。8月28日,水土保持专业技术分委会组织开展了京港澳高速公路粤境清远佛冈至广州太和段改扩建项目(以下简称"本项目")现场技术交流活动。

本项目路线全长 72.625km,起点位于清远市佛冈县石角镇佛冈互通,终点位于北二环太和枢纽处,途经清远市佛冈县、广州市从化区、花都区、白云区等 2 市 4 区(县),项目设桥梁 8 230.32m/91 座,隧道 811m/1 座,互通式立交 11 处(其中改扩建 9 处,新增 2 处),扩建瓦窑岗服务区 1 处,移位新建佛冈服务区 1 处,新建钟落潭服务区 1 处,改建黄花湖管理中心 1 处。



本项目的水土流失影响主要表现在路基开挖与填筑、桥墩施工、施工临建设施等造成的地表扰动、植被破坏、施工泥水等;水土保持关注重点为取弃土场、路基边坡防护、路基排水与绿化、桥底排水与绿化、临时用地迹地恢复、施工临时排水、沉沙、苫盖等措施。

依托本项目,研发并上线了《水土保持全过程信息化管控系统》,根据水土保持方案及其批复文件、水土保持施工图设计、施工标段划分,设定每个施工标段的水土保持控制指标的目标值和限值。施工单位定期上传主要参数。系统自动将施工累计数据与控制指标对比,实时可视化预警系统。



当日下午,分委会一行抵达流溪河大桥(花都侧)、钟落潭互通 E 匝道,参观了路基、路面、桥梁施工现场,并在现场与项目建设单位、施工单位就高速公路路基、桥梁施工工艺以及路基截排水、边坡防护与加固、桥梁泥浆沉淀池等典型水土保持措施的实施进行了深入交流和讨论。



随后,分委会一行抵达本项目高速公路管理处。双方就本项目的水土保持监测、水土保持监理工作展开了交流,并针对后续施工过程中表土保护利用、弃渣场处置方案、施工便道和大临设施水土保持防护措施布设等关键问题进行了深入交流。



通过本次交流活动,分委会成员更进一步深入学习了解了高速公路改扩建项目路基以及桥梁施工工艺,对水土保持工程设计在实际施工过程当中的具体应用有了更深入的认识,为后续进一步开展高速公路项目水土保持咨询设计服务工作积累了宝贵经验。

(供稿:水土保持专业技术分委会)

技术创新应用交流会 暨第四届 BIM 技术应用案例分享

一、概述

2024 年 7 月 20 日,中国信息协会在北京举办“第二届信息技术服务产业发展论坛暨中国信息协会第四届信息技术服务业应用技能大赛颁奖典礼”。中国信息协会会长王金平、副会长兼秘书长李红、农业农村部信息中心主任王小兵、工信部产业政策司原巡视员辛仁周、中国电

子信息行业联合会数字经济专委会理事长刘九如、国家审计署信息办原主任周德铭、北京大学教授赖茂生、中国人才交流协会原副会长盛南方、国家科技计划评审专家于亚杰等领导和专家出席会议。来自信息技术服务企业、科研院所、高等院校、大赛获奖单位的 500 多位代表出席会议。



二、领导致辞

中国信息协会会长王金平在致辞中对论坛和大赛颁奖典礼的召开表示热烈祝贺,对出席论坛和颁奖典礼的来宾和参赛选手表示热烈欢迎,对关心、支持、参与本届大赛工作的各界朋友表示衷心感谢。在致辞中表示:数字化、网络化、智能化日新月异的融合发展不仅深刻改变了我们的生活方式,也极大地推动了社会经济的进步与发展。习近平总书记多次强调,实现高水平科技自立自强,是中国式现代化建设的關鍵。这要求我们各部门各单位

调动各方面创新要素,发挥各类人才积极性,共同为建设创新型国家、建设世界科技强国凝心聚力,为国家的长远发展奠定坚实的基础。

工信部产业政策司原巡视员辛仁周在致辞中表示:中国信息协会举办此次论坛和颁奖典礼,旨在深入探讨信息技术服务产业的创新发展,促进数字经济的高质量发展,具有非常重要的意义。信息技术服务产业发展仍面临着诸多挑战,如何提升产业链供应链水平,实现关键技术的自主可控,是我们必须面对的现实问题。需要加强政策引导,强化创新驱动,深化产业合作,共同推动信息技术服务产业的

持续健康发展。

三、专题报告

农业农村部信息中心主任王小兵做了主题为“强力推进智慧农业建设,加快形成农业新质生产力”的主题报告,中国电子信息行业联合会数字经济专委会理事长刘九如的演讲主题是“加快数转智改网联,推动产业转型升级”;国家信息中心信息化和产业发展部处长于凤霞做了题为“数据要素与信息技术双轮驱动,助推数字经济发展”的报告。三场主旨报告分别从不同角度阐述了数字化、网络化、智能化所推动的产业升级和高质量发展。华为云计算有限公司崔凯则介绍了数字化服务相关解决方案。中国信息协会副会长兼秘书长李红主持了来自信息技术服务标准化、智慧城市、数字乡村、大型企业几个领域的代表对话讨论,中国电子技术标准化研究院软件中心副主任王志鹏、中关村科学城城市大脑副总裁徐起、河北省威县县委书记崔耀鹏、大连中远海运重工有限公司经理刘永涛就相关领域信息

技术服务推动产业新旧动能转化,促进工作效率提升,信息技术服务消费现状与趋势分析,信息技术服务激发数据要素提质的应用与措施等主题表达了观点和意见,为推动信息技术服务产业、企业数字化转型、赋能高质量发展、促进数字乡村建设建言献策。

四、获奖项目分享

18 日,行业领导、专家、工程技术人员对于往届获奖项目进行了详细介绍和分享。王琦进行了企业数字化转型相关技术的分享,提及了数字技术对企业发展及转型的重要影响,并分享了往届优秀 BIM 技术应用作品。王泽强以大跨度索结构为研究对象,展开了智能技术的探索,并在项目中进行了实践,分享了项目实践经验。最后,赵心龙对本次交流会进行了总结并对信息协会 BIM 技术应用大赛的申报注意事项进行了详细说明,提出了项目答辩的等相关建议。

(报道者:江神文)

“第一届极端环境交通基础设施高品质建养与防减灾学术会议暨第七届中国公路学会工程地质和岩土分会学术年会”在西安顺利召开

2024 年 8 月 24 日~26 日,第一届极端环境交通基础设施高品质建养与防减灾学术会议暨第七届中国公路学会工程地质和岩土分会学术年会在西安顺利召开,会议由极端环境绿色长寿道路工程全国重点实验室、中国公路学会工程地质与岩土分会主办,中交第一公路

勘察设计研究院有限公司、长沙理工大学、深圳大学承办,我司张修杰、张金平、李水清、苏邵峰、马建朋等人参会,来自全国各地交通行业的 500 多名业界代表齐聚陕西西安,共同交流“极端环境交通基础设施高品质建养与防减灾”经验。



交流会现场

年会将采用主报告和分报告的形式,主报告包括院士报告、特邀报告,分报告包括专题报告、青年报告等。

会议期间共提取了院士报告及特邀报告 16 个,专题报告 8 个,青年报告 12 个。

24 日下午我司工程勘察院院长张金平进行了“基于保真取芯公路路堑边坡病害数字勘察技术研究”青年报告的汇报,介绍了数字勘察的背景、必要性和需求,以某边坡为例,重点分享了我司大力推进的三维倾斜摄影、随钻信息采集、保真取芯等综合勘察技术,倡导以工程实际需求为导向开展科技创新,以新质生产力护航勘察行业高质量发展,分享的专题报告受到高度关注和认可。

会议围绕极端环境道路工程高品质建造、养护运营、数字勘察、风险评估、灾害监测预警及防治处治等内容,开展研究成果、技术创新、工程实

践的学术报告和交流,展示了我国公路交通行业岩土领域的最新研究和技术成果,促进了行业创新与学科、技术发展,创新成果的发布将进一步引导从业人员积极探索,践行交通运输事业高质量发展理念。



张金平进行青年报告的汇报

(报道者:马建朋)

2024 年中国城市交通规划年会报道

参加 2024 年中国城市交通规划年会,我深刻感受到了城市交通规划领域的最新动态与前沿趋势,以及面对未来挑战时的创新思路与解决方案。

主要议题和亮点:

1. 绿色交通:会议强调了绿色交通在城市可持续发展中的重要性,探讨了如何通过优化交通结构、推广清洁能源车辆、建设绿色交通设施等措施,减少交通对环境的污染,提升城市交通的绿色化水平。

2. 智能交通:随着大数据、云计算、人工智能等技术的快速发展,智能交通成为会议关注的热点。专家们就如何运用数字技术提升城市交通管理水平、优化交通资源配置、提高交通运行效率等问题进行了深入探讨。

3. 提质增效:面对城市交通面临的诸多挑战,提质增效成为会议的重要议题。会议提出了通过优化交通规划理念、创新交通管理方式、提升交通服务水平等措施,实现城市交通的高质量发展。

4. 综合立体交通系统:构建综合立体交通系统是未来城市交通发展的重要方向。会议就如何整合海、陆、空多种交通方式,实现交通资源的优化配置和高效利用进行了广泛讨论。

5. 多方协同与政策支持:城市交通规划是一个涉及多个部门和领域的复杂系统工程。会议强调了多方协同与政策支持的重要性,呼吁政府、企业、社会各界共同参与城市交通规划工作,形成合力推动城市交通高质量发展。

以下是我对本次年会的几点体会:

一、城市交通规划的新理念与趋势

年会以“绿色数智 提质增效”为主题,集中探讨了城市交通在绿色化、智能化方面的最新

进展。多位专家学者的报告让我深刻认识到,未来城市交通的发展将更加注重可持续发展与技术创新。例如,低空经济的探讨展示了未来城市空中交通的广阔前景,而数据驱动的城市交通管理则为实现精准、高效的交通服务提供了可能。

二、城市交通的基础性公共服务属性

年会上,关于城市交通基础性公共服务属性的讨论让我有了更深刻的理解。城市交通不仅是物质空间的流动,更是城市活力的体现和居民生活质量的保障。因此,提升城市交通的多元化、集约化服务水平,满足居民多样化的出行需求,是城市交通规划的重要目标。这要求我们在规划过程中,不仅要关注交通设施的建设,更要注重交通服务的优化与提升。

三、数字化与智能化的关键作用

数字化与智能化在本次年会中被反复提及,并被认为是推动城市交通高质量发展的决定性因素。多位专家通过实际案例展示了数字技术在城市交通规划、管理、运营中的广泛应用及其显著成效。例如,通过大数据分析预测交通流量、优化信号灯配时、提供个性化出行建议等,这些技术的应用不仅提高了交通效率,也提升了居民的出行体验。

四、综合立体交通系统的构建

随着城市化进程的加快,城市交通面临着前所未有的挑战。构建综合立体交通系统成为应对这些挑战的重要途径。年会上,关于综合立体交通、城市空中交通、低空运输等热点话题的讨论,让我看到了未来城市交通发展的无限可能。通过海、陆、空三层面的交通资源整合与优化,实现交通方式的无缝衔接与高效运转,将为城市带来更加便捷、快速、绿色的出行环境。





五、多方协同与政策支持的重要性

城市交通规划是一个涉及多个部门和领域的复杂系统工程。年会上,多位专家强调了多方协同与政策支持的重要性。只有打破部门壁垒,实现交通、规划、环保、能源等多部门的紧密合作,才能共同绘制出科学合理的城市交通蓝图。同时,政策的制定与实施也是推动城市交通高质量发展的关键。通过政策引导和支持,可以激发市场活力,推动技术创新和产业升级。



六、对未来工作的启示

参加本次年会让我收获颇丰,不仅拓宽了我的视野,也为我未来的工作提供了宝贵的启示。我将继续关注城市交通规划领域的最新动态与前沿趋势,加强学习与实践,不断提升自己的专业能力和综合素质。同时,我也将积极投身到城市交通规划的实际工作中去,为推动城市交通高质量发展贡献自己的力量。

(报道者:冉林娜)