技术交流　信息共享

广东省交通规划设计研究院股份有限公司

地　　址：广州市沙河兴华路22号
邮政编码：510507
电　　话：020-3739 3172
传　　真：020-3739 3172
E-mail　：841622401@qq.com
网　　址：www.ghdi.com.cn

廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN

2

总第170期

2018

准印证号：(粤O)L0150076号

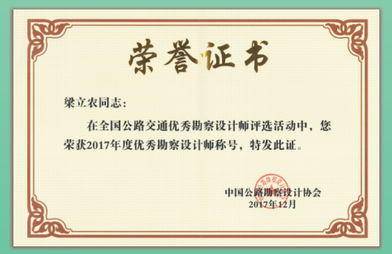
内部资料　免费交流

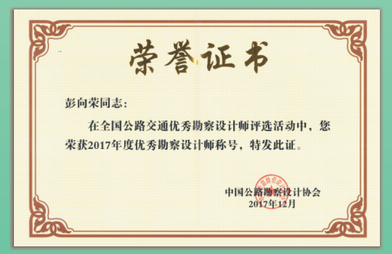
由公司设计的“佛山市华阳桥–华阳路南延道路工程”荣获2016–2017年度中国施工企业管理协会国家优质工程奖。

经广东省土木建筑学会评审，公司荣获“2017年度广东省土木建筑科技创新先进企业”称号。

由公司研发的“用于钻孔抽水试验的抽水设备的控制方法”由国家知识产权局授予发明专利；“一种路堑边坡施工工程地质条件采集系统”、“一种能升高GNSS接收机的装置”由国家知识产权局授予实用新型专利。

在全国公路交通优秀勘察设计企业和优秀勘察设计师评选中，公司荣获“2017年度公路交通优秀勘察设计企业”称号，梁立农总工、彭向荣首席副总工荣获“2017年度优秀勘察设计师”称号。





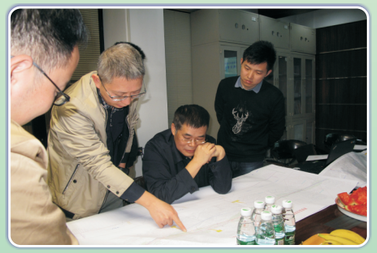
2018年4月23日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“深汕特别合作区深汕大道扩建提升工程初步设计”及“包头至茂名国家高速公路粤境段工程朱砂超限超载检测站施工图设计软基处理方案”公司级设计评审会议。

梁立农总工程师主持会议

项目组汇报方案设计情况

专家组为完善设计方案献计献策

2018年4月8日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“甬莞至沈海高速公路潮州东联络线工程初测路线及立交方案”公司级设计评审会议。


会议由陈新富副总工程师主持

项目组汇报设计方案情况

专家组讨论设计方案情况

2018年5月17日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“广东滨海旅游公路（阳江雅韶至溪头段）初步设计路线方案”公司级设计评审会议。

彭向荣首席副总工程师主持会议

项目组对设计情况进行汇报

专家组听取项目组设计情况汇报

2018年6月4日，技术质量部在六楼会议室组织召开了“衡阳至南岳旅游公路工可方案”公司级设计评审会议。

姜启珍副总经理参加会议、
彭向荣首席副总工主持会议

项目组对设计情况进行汇报

专家组听取项目组设计情况汇报

广东交通规划设计

（每季出版）

2018 年 06 月 30 日印刷

2018 年第 2 期

（总第 170 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：梁立农　王　强

委　员：谢伟强　彭向荣　陈潮锐　孙向东　王景奇　陈新富　梁志勇　刘吉福

主　　编：梁立农

副 主 编：王　强

责任编辑：刘祥兴

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股份有限公司

地　　址：广州市沙河兴华路 22 号

邮政编码：510507

电　　话：020－37393172

传　　真：020－37393172

E－mail：841622401@qq.com

发送对象：公司及行业内部

本期印刷数量：600 本

印刷单位：广州市艺彩印务有限公司

封面封底：南沙凤凰一、二、三桥

目　　次

领导讲话

贾绍明副厅长在全省公路勘察设计工作暨高速公路设计标准化总结推广会议上的讲话（选登）……（1）

桥梁工程

钢管混凝土叠合柱桥墩抗震性能参数化分析 … 邹赵勇（9）

山区中等跨径钢板组合梁应用研究 …… 彭亚军（13）

岩土工程

单桩承载力对刚性桩复合地基路堤稳定性的影响 …… 刘吉福　陈忠平　汪建斌（17）

道路工程

复合式互通立交治理交通拥堵探讨 …… 张　文（23）

隧道工程

地铁盾构下穿桥梁桩基安全性分析 …… 许　越（27）

交通规划

广深珠高速公路有限公司数据中心存储方案研究 …… 姚　杰（34）

检测工程

桥梁索杆检测技术研究与应用 …… 姚响宇　林阳子（37）

信息专栏

美澳旅游公路考察之旅 ……（41）

“广东省山区高速公路绿色公路设计关键技术研究”项目成果鉴定会报道 ……（45）

第二十届中国高速公路信息化交流会报道 ……（46）

桥梁工业化建造技术与羊犀立交全互通改造项目观摩大会报道 ……（46）

桥梁工程创新技术交流大会暨工业化建造示范项目观摩会报道 ……（47）

2018 年广东省公路养护技术研讨会报道 ……（48）

第六届国际交通安全学术研讨会报道 ……（48）

树立现代生态文明观　深入推进设计标准化 全面推动绿色公路高质量发展

——贾绍明副厅长在全省公路勘察设计工作暨高速公路设计标准化总结推广会议上的讲话(选登)

一、2015 年以来全省公路勘察设计工作取得显著成绩

2015 年 5 月,我省召开了全省公路勘察设计工作会议,过去 3 年是我省开展高速公路大会战攻坚阶段的 3 年,全省公路建设各单位、各部门贯彻落实党十八大、十九大精神,以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引,围绕交通建设中心工作,坚持新发展理念,全力加快推进交通基础设施建设,公路勘察设计工作取得丰硕成果,工作成效突出,为我省经济社会持续稳定发展作出了重要支撑作用。

(一)坚持抓设计源头,勘察设计取得丰硕成果。截至 2017 年底,全省高速公路通车总里程达 8338km,率先突破 8000km 大关,四年突破了三个千公里(6000、7000、8000km)连续四年保持全国第一。涌现出一大批在全国具有影响的工程,有举世瞩目的港珠澳大桥;有珠海连接线拱北隧道突破了 255m 曲线顶管管幕 + 冻结设计与施工核心技术;有我省最大跨径(主跨 700m)的斜拉桥 - 江顺大桥等;深中通道实现了“当年开工、当年成岛”良好开局;虎门二桥两座超千米悬索桥,钢箱梁全面进入吊装施工;广佛肇高速公路采用设计施工总承包模式,取得了提前一年通车好效果;汕昆高速龙连项目路线长 127km,桥隧比高达 43%,2014 年底先行工程开工,2017 年底建成通车,创造了有效工期新纪录;还有很多高速公路、长大隧道、特大桥梁、大型枢纽互通立交、高速公路的改扩建工程等。这些成绩的取得难能可贵,是交通人众志成城、撸袖实干的结果。

同时,一大批优秀的勘察设计项目受到了行业的奖励。据不完全统计,2015 年以来,我省公路建设项目获得科技、勘察设计等奖励 110 多项。如广梧高速公路(河口至平台)获 2015 年詹天佑土木工程大奖;广佛江江顺大桥和乐广高速公路大瑶山隧道获 2016 年鲁班奖;沈海佛开高速公路改扩建工程、乐广高速公路获得全国公路交通优秀设计一等奖等。此外,还有很多获得国家或省部级勘察设计优秀奖项;科研项目也开花结果,获得多个国家、省科学技术奖励。

(二)坚持设计新理念,提高勘察设计水平。党的十八大以来,生态文明建设纳入中国特色社会主义“五位一体”总体布局。贯彻(创新、协调、绿色、开放、共享)新发展理念,推进绿色发展,已经成为“十三五”和今后经济社会发展的基本理念。践行绿色公路、打造品质工程就是贯彻新发展理念的重大抓手和举措。

进一步提升设计理念。坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,更加注重生态环境保护,做到尊重自然、顺应自然、保护自然,推动绿色公路可持续发展。

推行创作设计、灵活设计,积极保护生态环境,促进资源、能源节约和综合利用,努力打造一批资源节约环境友好型公路。如广中江高速公路、广佛肇高速公路入选交通运输部绿色公路主题性项目;惠清高速公路入选交通运输部绿色公路建设典型示范工程,在实现公路建设与自然环境的和谐方面起到示范作用。为了将交通运输部“绿色公路指导意见”落到实处,我厅结合我省交通建设管理实际,制定了《广东省推进绿色公路建设实施方案》、《广东省绿色公路建设技术指南》,开展广东省绿色公路建设试点示范项目,开创了国内省级绿色公路建设的先河。目前已组织第一批广东省绿色公路建设试点示范项目申报工

作,5 月份将公布结果。

(三)坚持创新驱动,推动勘察设计技术进步。强化科技创新引领作用,积极推广新技术、新材料、新工艺在公路建设项目中的应用,把创新贯穿到公路建设的各环节,大力推进理念创新、技术创新、管理创新和制度创新,为公路建设发展注入强大动力。如河惠莞高速公路、怀阳一期、广中江、仁新、英怀、云湛高速公路勘察设计工作借助无人机等先进设备,开展现场踏勘、航拍等;在地质勘察上创新使用了无人机调绘技术、孔内摄像技术、多频声波溶洞探测技术等新技术、新手段;港珠澳大桥长 6km 的超宽深埋沉管隧道关键技术、钢箱梁机器人全焊接关键技术;虎门二桥 1960MPa 超高强钢丝盘条国产化关键技术、珠海连接线超长曲线顶管管幕冻结隧道设计施工关键技术等,实现了具有国际水平的核心技术突破。深中通道基于三维数字模型的桥梁建管养一体化 BIM 系统等;清云高速西江大桥钢箱梁 U 肋内焊技术及通道锚;潮汕环线桥梁桩基挤扩支盘桩等。

(四)坚持理论指导实践,提高设计标准化水平。从 2011 年开始,我厅组织相关单位探索攻坚,在国内开创了系统开展设计标准化研究的先河。历经前期调研、专题研究、成果编制、推广应用和成果维护等全过程,提交了《广东省高速公路设计通用图(参考图)》(共 255 册),以及《广东省高速公路设计标准化管理办法》、《广东省高速公路设计指南》、《广东省高速公路设计标准化论文集》等研究成果。同时,为规范勘测外业工作管理,厅出台了《广东省高速公路勘测、勘察管理规程》。这些成果从 2013 年开始,已在我省近 3000km 的新建高速公路全面推广应用,在我省高速公路建设大会战发挥重要作用,取得显著的经济效益和社会效益。同时,高速公路设计标准化成果的先进性、创新性和实用性,还应用到全国多个兄弟省的高速公路建设中,对全国高速公路设计标准化的研究与实践都具有重要的理论指导意义和工程借鉴价值,对推动行业进步,提升高速公路建设理念,提高高速公路的用户体验和服务水平,发挥了重要作用。

2015 年以来,我厅陆续推出《广东省公路工程重(较)大设计变更文件编制指南》、《广东省公路工程绿色生态排水系统设计指南》、《广东省公路工程施工图设计工程量总表(标准格式)编制指南(悬索桥、斜拉桥部分)、《广东省公路沥青路面再生技术指南》、《广东省公路水泥混凝土路面再生技术指南》等地方行业标准和规定,在公路建设项目中得到逐步推广应用,发挥了较好的作用。

(五)坚持勘察市场监管,规范设计市场秩序。我省公路勘察设计市场从 80 年代初就已开放,与我省的施工市场一样,开放程度较高。省内外很多优秀的设计单位均在广东承担了公路勘察设计项目。据不完全统计,目前我省从事公路勘察设计工作的本省单位有 33 家,其中甲级 12 家,范围涵盖了公路、市政、冶金、建筑、水利和林业等部门;外省在广东从事公路勘察设计工作的甲级单位有近 20 家,除中交一院、中交二院、中交公规院、中咨公司、中铁大桥院、北京交科等外,还有中设集团(江苏院)、苏交科、四川院、湖南院、山东院、重庆院、安徽院等,这些单位都在广东有一定的勘察设计市场份额,为我省交通事业的发展做出了积极贡献。

为进一步规范我省公路勘察设计市场秩序,促进公路设计企业增强诚信自律意识,规范从业行为,推动诚信体系的建设,结合近年勘察设计工作的实际情况,我厅重新修订了《公路设计企业信用评价的管理办法》等文件(新办法从今年 4 月 1 日起实施),采用新开发的“广东省交通建设市场信用管理系统”进行网上评价,客观公正反映了参评企业在广东省的从业情况;新办法进一步完善了设计过程的管理,更细化强调了项目业主对从业设计单位全过程管理,通过建立台账进行动态管理,同时将评价结果和招投标挂钩,促进了行业诚信体系建设和有效运作。

(六)坚持设计审查,提高勘察设计质量。近年来,我厅进一步完善设计审查模式,在咨询单位的咨询报告基础上,由特邀专家和咨询单位专家联合成立专家组,在审查过程中让专家的审查意见得到了充分表达,使专家和设计单位沟通交流更充分,有效解决了设计过程中的重点难点问题,

提高了设计审查工作质量与效率。同时,厅和项目业主还适时组织专题审查,对重要桥隧和互通方案、地质条件复杂高边坡、特殊地基处理和采空区、新型路面结构以及采用的新材料、新工艺、新技术等进行专项评审和论证。近几年设计咨询审查在深度和广度上有了较大提高,把住了设计审查关,为政府决策、审批提供了有力的技术支撑。2015 年以来,咨询审查各项制度及专家审查制度逐步完善,强化了设计管理手段,提高了设计质量,减少了设计变更,较好的控制了工程造价。得益于精细化设计及强化设计管理,省南粤交投公司 2017 年、2018 年通车项目中,A 类变更发生率为 1 项/18km,低于省内平均水平(1 项/12km);B 类变更发生率约为 1 项/8km。汕湛高速公路云浮至湛江段及支线工程化湛段变更申报、审批率均达 90% 以上,项目交工时,土建 9 个标段中有 6 个标段完成结算,实现了我省高速公路变更管理和合同结算的一个提升。

二、清醒认识我省公路勘察设计存在的主要问题

尽管我省公路勘察设计成果丰硕,但是,我们必须清醒地认识到,与国内外先进水平相比,与交通运输部、省委省政府的要求相比,与人民群众对公路的期望和需求相比,我省公路勘察设计工作还存在不小的差距,2015 年全省公路勘察设计工作会议上总结的八个方面问题依然不同程度的存在。结合近几年对勘察设计项目的审查、审批。通过对龙怀、仁博、云湛、潮惠、宁华、云茂等高速公路项目的回访检查,我想再强调一下我省公路勘察设计中存在的主要问题:

(一)生态环保设计理念落实不够。我省高速公路不断向粤东西北等山区延伸,但设计理念还难以适应绿色生态公路建设要求,还停留在“功能服务为主、环境保护为次”认识上,还没有将可持续的绿色发展理念真正融入到勘察设计中。部分项目的方案比选中,切实落实生态环境保护还不够,实施过程中暴露出不少的生态环保问题。

(二)地质勘察深度不足。工程地质勘察、水文和外业调查资料是确定设计方案的重要依据,工程地质有问题并不可怕,可怕的是没有发现或没有弄清楚。由于时间紧,投入不足,或征地拆迁等原因,地质勘察深度不足的现象较为普遍,勘察成果不能指导设计。部分项目地勘工作滞后,基础资料没有真正服务于工程设计;部分项目沿线地质调查深度不够,外业勘察基础资料不够准确;还有部分项目,即使有资料,但由于设计者专业知识的缺陷,不能很好利用现有的基础资料。这些问题使得设计数据与地勘资料脱节,直接影响到设计质量。实践中,工程变更中因地质条件变化而产生的设计变更最多,部分项目的隧道围岩及桥梁桩基溶洞处理等重大、较大设计变更就是由于地勘工作与外业调查深度不够造成的。

(三)总体设计协调不足。公路总体设计是纲,是其他专业设计的基础。加强总体设计与协调,有利于把控设计的进度和质量。公路总体设计不是路线、路基路面、桥隧、绿化、交通工程等专业设计工作的简单集合,更不是一个设计项目几个设计标段的设计文件汇编。设计回访检查发现,不仅仅是那些有多个设计单位合作的大项目,就是由一个设计单位完成的项目也存在总体设计不足的问题。主要表现为:设计思想、设计原则、技术指标掌握等不够统一;总体设计单位责任心不强,与其他标段设计单位,甚至是本单位各专业之间,沟通协调不够,导致设计风格迥异、标准掌握差异大;总体设计不能因地制宜、灵活运用技术指标,导致线形生硬,与自然环境不够协调;高填深挖普遍存在,大量占用土地资源,并可能引发公路沿线范围植被破坏、水土流失、边坡失稳等环境问题;动辄采用特大桥、特长隧道等,造成项目桥隧比例高、建设规模大、工程造价高等。

(四)精细化设计不足,设计质量通病依然存在。部分勘察设计单位对设计存在的问题重视不够,没有通过设计回访进行总结并加以改进,导致设计质量通病在部分项目上重复出现,勘察设计质量总得不到提高。主要表现在“用心”设计不够,“制作”多于“创作”、“粗放”多于“精细”照搬现象较多,设计文件缺、漏、错、碰等较多。尤其是在生产任务繁重、勘察设计周期不足的情况下,更

谈不上“用心”和“精细”设计。

1. 路基边坡防护及排水等未因地制宜，大量采用污工砌体，自然、绿色、生态的理念被弱化。从环境保护角度考虑较少，环保意识、资源忧患意识不足。如边坡防护设计大量采用骨架防护，在强降雨水浸作用下，反而破坏边坡自身稳定；部分路堑边坡已到顶仍然设置截水沟，挡墙大量采用污工砌体，生态支挡结构应用不多；高边坡与地形地质结合不够紧密，边坡坡率比选不足，过多采用锚杆锚索等强支护措施；路基排水边沟大量采用不美观、造价高的圬工砌体或暗埋矩形边沟，生态植草沟或新型排水材料（PVC 管等）应用不多。

2. 软基处理较多采用造价高的复合地基处理方案。近年来，CFG 桩、水泥搅拌桩、旋喷桩、管桩等复合地基的软基处理方案越来越普遍，而经济适用的排水固结方案采用不多，导致工程造价越来越高。

3. 桥梁跨径组合未与施工标段划分有机结合，标段内桥梁结构形式过多；桥梁墩柱林立，下部结构设计机械套用参考图，桩基长、配筋率高；山区桥梁未能因地制宜，墩台设置位置不合理，开挖大，且较多采用扶壁台、座板台等造价较高的桥台形式。

4. 隧道围岩级别划分普偏保守；施工开挖工法机械套用通用图；隧道洞门端、挡墙厚度及边仰坡坡率未根据地质情况合理确定；隧道洞口超前支护长管棚设置没有因地制宜，一律采用 30m；不重视附属工程设计。

5. 交通工程设计未能与路段的运营管理模式有机结合；服务区（停车区）设计未充分考虑功能需求，过多追求经营效益，难以满足节假日集中出行需求。

6. 一些国省道路面大中修工程设计，设计单位采用的设计方法大同小异，没有因地制宜，有的甚至无设计可言，仅仅是业主想法的简单实现。对于结构层次的合理匹配、路面排水性能、路基状况、路面的综合使用性能等缺乏全面考虑，废旧材料循环和综合利用率低。

（五）勘察设计单位质量保证体系不健全。部分勘察设计单位片面追求经济效益，重市场，轻质量，内部质量保证体系不健全；个别设计单位相关专业技术人员不齐全，质量意识、责任意识淡薄，造成设计深度不足；个别项目存在“一阶段勘察，多阶段设计”现象，甚至出现勘察资料造假的行为；个别设计单位存在分包或挂靠资质现象，内部设计审核把关不严，文件错漏较多，造成设计变更频繁；个别设计单位后续服务不到位，现场没有设计代表或设计代表能力不足，不能及时有效解决施工现场设计问题。

（六）建设单位对设计工作管理不深入。部分建设单位对勘察设计工作的管理责任不落实，对勘察设计管理工作不到位，缺少过程的监督、检查和管理。部分项目业主在勘察设计招标工作完成后，便将整个勘察设计工作全权交给了设计单位，主动介入和管理的意识不强，缺乏对设计文件的全面了解和掌握。部分设计单位迁就项目业主，对设计审查意见执行不力，仅简单说明待下阶段修改优化，导致上报初步设计概算人为做大，如初步设计阶段可以完成的路线和结构物优化，都放到施工图阶段，个别项目初步设计桥隧比从 40% 多降到施工图时的 20% 多；有些方案问题在初步设计阶段就应该解决，但到了施工图设计阶段仍未解决，造成后续审查困难，造价控制困难。

三、牢固树立现代生态文明观，充分认识新时代勘察设计新要求

党的十九大明确了“坚持人与自然和谐共生持和发展中国特色社会主义的基本方略之一，强调必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念”，坚持节约资源和保护环境的基本国策，要像对待生命一样对待生态环境，坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。

我们迈进新时代，踏上了建设交通强国新征程。因此，公路建设在保证科学合理、坚固耐用的同时，还要高度重视景观、线形以及每个局部、细节的技术处理，使其与自然和谐、与环境相融。要达到这样的新要求，就必须抓住勘察设计这个龙头，牢固树立新时代生态文明观，认真贯彻绿色发展理念，下大力气提升勘察设计水平。

四、精准施策，全面推动绿色公路高质量发展

2018 年是全面贯彻落实党的十九大精神的开局之年，是改革开放 40 周年，是决胜全面建成小康社会、实施“十三五”规划承上启下的关键一年。全年我省公路建设项目计划完成投资 1100 亿元，其中高速公路计划投资 880 亿元，计划新开工深汕西扩建、中山西环等 7 项/800km，计划建成 12 项/727km，其他续建 49 项/2702km，建设任务十分繁重。在座各位都是广东公路建设的参与者，下面我就公路勘察设计提几点要求：

（一）更加注重绿色公路建设理念，切实提升绿色公路设计水平。践行绿色公路是公路行业不断提升发展理念的具体行动，是绿色、节能、低碳、环保技术在新时期沿用实现公路建设可持续科学发展的新跨越。必须坚持贯彻新发展理念，结合我省实际情况，根据交通运输部《关于实施绿色公路建设的指导意见》和《广东省绿色公路实施方案》，以理念提升、创新引领、示范带动、制度完善为途径，更加注重统筹公路建设全过程，更加注重公路与环境、社会多系统的统筹协调，更加注重资源节约、环境友好等要求的贯彻和落实，更加注重公路建设及运行管理的质量和效率，更加注重需求引领下公路的服务提升，建设以质量优良为前提，以资源节约、生态环保、节能高效、服务提升为主要特征的绿色公路。

我们常说，设计是工程的灵魂。践行绿色公路建设理念，全面落实绿色公路建设要求，就必须充分发挥设计的龙头和核心作用，把新理念新思想转化为每一个勘察设计人员的自觉行动，使绿色公路建设理念真正“入脑入心”，用心创作设计作品，把“安全、环保、舒适、耐久、节约”的设计原则体现在一幅幅具体的图纸上，落实到设计文件中去，确保绿色公路的理念在工程设计中贯彻落实，为绿色公路建设奠定基础。每个设计者要坚持“尊重自然、顺应自然、恢复自然”的理念，妥善处理好工程与生态环境保护之间的关系。

认真实施绿色公路建设提升专项行动，在设计中认真落实《广东省绿色公路建设技术指南（试行）》的有关要求。设计文件要有专门章节说明绿色公路设计情况。拟建重点公路建设项目工程可行性研究与设计阶段，应针对项目落实绿色公路建设要求的情况开展专项评估或审查工作；应尤其重视改扩建工程绿色升级。普通公路升级改造与高速公路改扩建已成为当前公路建设的重要内容（今年建设开阳、阳茂、茂湛、深汕西等都属于高速公路改扩建项目）。公路升级改造及改扩建工程是践行资源节约、节能高效理念的重点领域，需要合理利用原有通道资源，大力推广既有工程材料再生和循环利用技术，加强原有公路植被的利用，做到统筹规划、合理利用、避免浪费。

厅将充分发挥试点示范工程的经验探索、管理与技术示范及理念引领作用，以创建交通运输部绿色公路示范工程和组织开展广东省绿色公路建设试点示范工程为抓手，力争到 2020 年建成 5－6 个广东省绿色公路建设试点示范工程，强化绿色公路设计、建设、运营等各环节的指导，组织开展绿色公路建设专项技术咨询，及时总结经验，以点带面，实现全省绿色公路快速发展。

（二）更加注重地质勘察与外业调查工作，确保基础资料满足勘察设计要求。外业资料尤其是地质勘察资料是设计的基础和依据，直接影响工程方案的确定（如路线方案）和结构安全（如桥梁基础及隧道围岩级别划分等）。只有充分查明工程所在区域的地质条件，尤其是查明各种特殊及不良地质条件对工程的危害程度，才能为地质选线提供依据，合理确定路线方案。

应高度重视地质勘察工作，确保基础资料全面、实用、可信。勘察单位应严格执行《公路地质勘查规范》、《广东省高速公路工程地质勘察管理规程》等标准、规范和管理规定。勘察工作开始前，要制定周密细致的勘察大纲并提交业主审查，确保勘察方法合理、深度满足要求。

南粤公司在初勘阶段借助大范围的地质调绘，以满足初步设计阶段进行大范围选线要求，值得借鉴；对于地形地质条件复杂的路段，应超前、加深地质勘察工作，确保勘察成果满足设计所需的深度与精度要求；加强设计、地勘工作的互动，避免设计和勘察两张皮。建设单位要加强对地质勘察报告的审核，对勘察内容、深度及工作量不满足要求的，要

退回重新编制。厅今后审批初步设计文件时,将把地质勘察报告作为符合性审查的重要环节,进行重点核查。凡地质勘察报告不全,勘察内容、深度及工作量不满足要求的,一律予以退回。

(三)更加注重压实勘察设计各方的主体责任,强化总体设计与各专业设计之间的协同设计。总体设计是一项系统工程,是勘察设计的总纲。加强总体设计与协调,有利于把控设计的进度和质量。建设单位应高度重视总体设计工作,加强总体设计管理,及时组建有技术能力、能统揽项目全局的总体设计组,明确总体设计单位和参与各方的权责。总体设计单位要根据设计项目的重点、难点编写针对性强和可操作性的总体勘察设计大纲,并组织参与本项目的设计人员进行培训,明确指导方针、设计原则、指标体系以及各专业间设计界面与衔接方式,避免设计文件风格迥异,形式多样。设计人员要牢固树立“项目总体”意识,从项目总体出发,做好总体计划,处理好各专业问的相互协调及合理衔接,杜绝总体设计只是“简单汇总”的倾向。省高的潮惠项目、南粤公司的云湛项目等,在总体设计方面做的比较好,经验值得推广。

(四)更加注重灵活设计、动态设计和创作设计,着力解决设计质量通病。勘察设计工作是一项在充分理解技术标准和规范要求基础上的精心精准精细设计过程,要大胆创新,精雕细琢,追求设计的“精、细、美”,体现设计的差异性,要抓住设计重点与难点、突出亮点,变设计工作为设计创作、设计产品为设计作品,避免生搬硬套,解决设计质量通病。同时,应认真贯彻动态设计原则。随着工程实施,会暴露出新的问题,就是精心的设计,也会遇到新问题。建设过程中,设计单位应加强与施工的密切配合,提高现场技术服务质量,及时发现施工中存在的问题,及时修改设计,提醒业主和施工单位进行处理。特别是软基、高边坡和隧道等工程应结合施工过程中揭示的具体地质情况,及时调整设计、施工方案。

1. 要因地制宜,灵活运用技术指标,做好路线精细化设计。尤其对于地形条件复杂的山区高速公路,以及征拆难度大、受限因素多的高速公路,要正确理解、科学掌握标准、规范,避免生搬硬套。应坚持针对工程项目所处的自然、地理、地质条件等特点,尊重每一个区域的特殊性和差异性,在满足安全性、功能性条件下,灵活运用技术指标,减少大填大挖,使路线与环境相协调。南粤龙连高速在地形条件复杂的粤北山区,顺应地质地形地物,灵活运用技术指标,采用宜桥宜隧方案,最大程度保护生态环境,打造出绿色生态龙连。

2. 破解圬工设计顽疾,深化边坡、排水绿色设计。路基边坡防护应根据地质条件、填挖高度及坡率,尽量采用绿色植被(草灌结合),除地质条件揭示边坡自身稳定性有问题外,无需再设置骨架等圬工防护。积极采用边坡弧化修复设计。认真贯彻动态设计原则,对于稳定性好的高边坡,应在完善防排水基础上,尽量减少锚杆锚索防护;认真落实边坡同步开挖、同步防护、同步实施引排水的原则,及时汇流排水,减少对边坡冲刷损害,有效防止强降水透过边坡上新裂缝、新沟槽渗入土体内,形成新软弱带,造成滑坡。应认真核查边坡截水沟、排水沟设置,没有汇水、排水、引水作用的排水沟、截水沟应取消。

落实绿色生态排水设计,按照我省公路工程绿色生态排水系统设计指南的要求,明排暗排相结合,积极采用植草浅形边沟、排水沟,或新型排水材料进行定型设计,减少使用圬工砌体和混凝土预制构件。

3. 用好工期,处理好软基。我省软基分布广,在长期的工程实践中,换填、抛石挤淤、超载预压、袋装沙井、塑料排水板、水泥粉喷桩等处治方案取得了很好效果。早些年,软基深厚的江中、广珠东线、南二环等高速公路项目,基本采用排水固结方案进行软基处理,效果良好,取得不少成功经验,大家应该认真回顾总结、借鉴和推广。设计应摸清软基特性,做好软基沉降监测方案,并用软基监测成果修正施工方案。重点明确加载过程中确保路堤稳定的沉降速率、侧向位移、孔隙水压力、工后差异变形等关键值。

针对管桩处理软基突出问题,厅发了紧急通知,原则上不得采用管桩处理软基。管桩本来是在特定地质条件下的特殊处理措施,现在反而成为某些设计人员进行软基处理的首选方案。近几年,几

个采用管桩处理软基的项目,出现不少问题,值得我们反思。

4. 桥梁下部结构不应机械套用参考图,要结合地质条件、墩高等因素,加强对下部结构及基础的计算和验算,合理确定结构尺寸及配筋;应结合施工标段划分(尤其是 EPC 项目),合理确定桥跨组合,适当归并标段内跨径种类;结合地形合理确定墩台及桩顶系梁位置,少用扶壁台、座板台等造价较高的桥台形式;根据地形及地质情况,加强隧道洞门洞门及边仰坡等精细化设计,合理划分围岩级别,合理确定支护形式。

5. 坚持创新驱动,积极推进新技术在公路建设中的应用。根据交通运输部《关于加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点的通知》,努力打造广东智慧公路。充分利用"互联网 +"技术,探索基于车辆特征识别的不停车移动支付技术;借助北斗导航系统,实现北斗信号在示范路段(含隧道)的全覆盖,在灾害频发路段实施长期可靠的监测与预警。在重点建设项目积极推广 BIM 技术应用,有效提升工程决策、规划、设计、施工和运营的管理水平,减少设计文件缺、漏、错、碰等,有效缩短工期,提高工程质量和投资效益,促进交通建设绿色化、产业化、信息化发展。

6. 结合人民群众对美好生活的向往所激发的出行需求,充分考虑节假日集中出行的实际情况,积极创新服务区设计理念,如可考虑设置活动型的停车场区或地下停车场等,必要时也可考虑引入商业模式联合开发等(如韶新高速服务区、佛开南扩建址山服务区正在开展联合开发的探索)。遵照习近平总书记关于"厕所革命"的指示,创新洗手间设计:一是设计内容要打造主题突出、特色鲜明的"厕所文化"。二是设计数量要充足、空间宽敞,注重舒适化、人性化、智能化;三是设计目的要实现公共卫生间软硬件的同步升级,切实提高服务管理水平和服务质量;四是服务区布局应合理,各功能区的标识指示清晰,方便寻找和出入。

(五)更加注重标准化成果转化,深入推进设计标准化工作。

前面我已经提到,我厅从 2011 年起组织相关单位探索攻坚,开创了设计标准化研究的先河,发布了包括装配式预应力混凝土箱梁、T 梁、空心板的上、下部结构、桥梁公用构造和隧道、涵洞等结构物在内的通用图、参考图,以及设计标准化指南、管理办法等一系列成果。我省从 2014 年在高速公路上开始宣贯推广应用设计标准化技术成果,2015 年厅正式发布全面推广,这些成果在我省近 3000km 新建高速公路以及部分地方公路全面应用,为我省高速公路建设带来了较大质量提升,安全、环保、经济效益也日渐明显。通过设计标准化,解决了高速公路建设的部分质量通病,统一了桥梁结构外部尺寸、隧道衬砌断面设计等,促进了模板与衬砌台车等施工机具的重复利用;统一了配筋设计原则、构件的设计、模板、工艺及材料要求,有效地提高了施工标准化、机械化、工厂化和建管养一体化程度,节约了施工成本,加快了建设进度,提高了工程质量,简化了施工管理。此外,广东省公路工程施工图设计工程总表(标准格式)编制指南做到统一规范,为概预算编制等提供了便捷的技术接口。

2018 – 2020 年,我省普通公路建设(改造)将进入新一轮高峰期,为了进一步提高我省普通公路建设(改造)设计质量,控制普通公路工程造价,提高行业管理效率,实现"花少钱,多办事",着力解决当前我省普通公路设计中设计单位各自为政,设计原则不统一、设计与施工脱节、社会资源浪费等突出问题,参照省高速公路设计标准化的成功经验,我厅已组织省公路事务中心、交通运输部公路科学研究院、省公路设计院等单位开展普通公路设计标准化工作,紧抓设计源头,解决过度设计,进一步提高设计和工程质量,提高施工效率,节约建设成本。普通公路设计标准化研究将以实体工程为依托,深入开展公路路线灵活设计、路基路面工程(重点针对旧路利用及旧路面加铺)、排水工程(重点研究生态排水)、桥梁工程、平面交叉、安防工程等专项研究,并形成相关技术指南,指导我省普通公路及"四好农村公路"设计。

在运用设计标准化成果时,应坚持总体设计和方案设计优先原则,正确处理好标准化设计和创作设计、特殊设计的关系。我们发现,在运用设计标准化通用图及参考图的过程中,特别是对于桥梁下

部构造等参考图,存在不加思考、生搬硬套的现象,造成设计生硬、尺寸保守、与项目特点及建设条件不适合等问题。设计人员应充分理解、吸收厅发布的《广东省高速公路工程设计标准化指南》内涵,全面理解和掌握标准化成果的适用条件及设计、施工要点,科学合理地应用设计标准化通用图和参考图。如桥梁下部结构参考图应用时,应依据具体建设环境条件合理确定各项目的设计参数,核查适用条件,经过必要的计算、复核、补充、细化后形成最终施工图,确保结构安全、可靠、耐久和经济,避免不经计算复核而直接套用,造成桥梁下部构造及桩基等设计偏保守等。

当然,在成果应用与维护以及项目建设、管理、养护的过程中,可能会不断发现一些以前没注意到的问题,因此需要优化改善设计标准化技术成果,不断打磨细节。应用过程中,若发现可修改完善或其他问题的,应及时报告我厅或设计标准化的维护单位(省交通运输规划研究中心),使之更完善更合理。同时,使用标准图的设计单位应按照“标准化指南”的要求,尽快与设计标准化的维护单位(省交通运输规划研究中心)签订相关服务协议,以利于标准化成果的后期动态维护和更新。

结合云茂高速装配式涵洞、港珠澳大桥装配式桥墩的使用情况,我厅正在开展预制涵洞、墩身、盖梁、钢混组合箱梁等标准图的研究工作,以丰富我省的标准化成果,大力推广桥梁、涵洞及通道的标准化、装配化、工业化建造技术。这方面,安徽省院、上海市政院积累了不少经验,值得我们学习借鉴。

(六)更加注重勘察设计管理,全面提高勘察设计工作质量。

1. 严格勘察设计市场管理,规范市场秩序。在勘察设计招投标方面,应根据勘察设计活动的客观规律,结合部标准文件和我省勘察设计招标文件范本,进一步完善我省勘察设计招投标的方式和评标办法。主要以单位业绩、勘察设计人员能力以及对招标项目的理解为依据。在市场监管方面,充分利用我省信用评价体系,对勘察设计单位实行动态管理,严格诚信考核,加强监督检查。

2. 建设单位要强化勘察设计管理。项目业主要有高度的责任感,主动介入设计过程,要抽调负责任、素质高、经验丰富的管理人员,专门负责对设计工作的管理和协调,抓好设计关键环节。应理清勘察设计各阶段的工作,特别是在开工前要组织相关人员对施工图设计文件进行现场核对,及时发现和解决设计问题,避免不必要的错误和损失,切实减少工程变更。同时,项目业主要积极协调外部单位,帮助设计单位落实相关协议,减少中间环节,加快设计工作进度。

项目业主应切实履行造价管理的主体责任,加强设计变更管理,按规定及时办理变更手续,应根据厅《广东省公路工程重(较)大设计变更文件编制指南》等有关变更管理规定,规范变更内业资料的编制,严格审查变更费用,按照审批权限及时办理变更申报和审批。今后厅对于“未批先干”的变更一律不予审批,不纳入竣工决算。

同志们,党的“十九大”胜利闭幕,对生态文明建设和环境保护提出了更高要求。按照省委、省政府的决策部署,2018 年我省高速公路建设任务仍然很艰巨。面对新形势、新任务和新要求,公路勘察设计行业是机遇与挑战并存,动力与压力同在。我们要弘扬新时代交通精神,抓住机遇、迎接挑战,不忘初心,攻坚克难,广大设计人员要牢固树立新时代生态文明观,认真贯彻绿色公路建设新理念,加强总体设计、精细化设计、动态设计和标准化设计,推动公路勘察设计工作再上新的台阶,打造一批“绿色、环保、生态”的优质工程,以一往无前的奋斗姿态推进我省公路建设不断前进,圆满完成省委、省政府确定的建设目标任务。

钢管混凝土叠合柱桥墩抗震性能参数化分析

邹赵勇

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

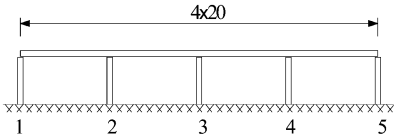
摘　要: 为研究钢管混凝土叠合柱桥墩的抗震性能,本文利用 OpenSEES 软件进行非线性动力时程分析,结合增量动力分析结果,得出该类型桥墩的地震易损性曲线,获得了轴压比、纵筋配筋率、体积配箍率和截面含钢量对该类型桥墩地震易损性的影响规律。

关键词: 钢管混凝土叠合柱;易损性曲线;抗震性能

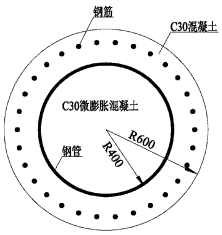
0　引言

钢管混凝土叠合柱是由钢管混凝土柱外包一层钢筋混凝土形成的一种新型构件(如图 1 所示),简称叠合柱,它具有:延性好,承载力高等特点[2],抗震性能优越。然而目前对钢管混凝土叠合柱抗震性能的研究,主要是通过滞回试验等手段[1~3]。

为研究钢管混凝土叠合柱桥墩的抗震性能,本文选用如图 1 所示的某规则连续梁桥作为研究对象进行地震易损性的数值模拟分析。桥梁上部结构为 4×20m 等截面预应力混凝土连续箱梁;下部结构墩高均为 8.5m 的独柱墩,中墩(3#墩)为成钢管混凝土叠合柱,其他边墩均为钢筋混凝土柱。中墩截面直径为 1.2m,钢管直径为 0.8m,壁厚为 16mm,为 Q235 钢材,钢管内浇注 C30 微膨胀混凝土,钢管外叠浇 C30 混凝土,其纵向钢筋为 HRB335 等级,直径为 28mm,沿圆周均匀布置 30 根,箍筋为螺旋箍筋,直径为 12mm,纵向间距为 100mm。



(1)桥型布置图(m)



(2)钢管混凝土叠合柱桥墩截面图(mm)

图 1　某连续梁桥桥型布置图

1　桥梁地震易损性分析理论

1.1　地震响应分析

为获得桥墩地震响应的概率分布,选择 16 条地震波,所选地震波满足我国 II 类场地要求,断层距离均大于 20km。以地震动峰值加速度(PGA)为强度指标,将 16 条地震动的 PGA 均标准化为 0.02g~0.5g,每 0.02g 为一级,共得到 400 条地震波。

将 3#墩简化为单墩体系,墩底固结,墩顶承受的上部结构质量为 881t。桥墩使用基于柔度法的分布塑性梁柱单元进行模拟,钢管约束混凝土采用 Saenz 本构模型,外围箍筋约束混凝土及无约束混凝土采用 Kent - Park 本构模型进行模拟,钢筋与及钢管均采用双线性本构模型。利用开源软件 OpenSEES 作为分析平台,对桥墩进行弹塑性动力时程分析,记录墩顶位移时程响应的最大值,作为损伤指标。

1.2　损伤状态划分及损伤指标分析

参考文献[4]对叠合柱桥墩损伤状态的划分原则。

表 1　桥墩损伤状态划分

损伤状态	量化准则
无损伤	$\Delta < \Delta_1$
轻微损伤	$\Delta_1 \leqslant \Delta < \Delta_2$
中等损伤	$\Delta_2 \leqslant \Delta < \Delta_3$
严重损伤	$\Delta_3 \leqslant \Delta < \Delta_4$
倒塌	$\Delta \geqslant \Delta_4$

本文将桥墩的地震损伤状态从无损伤到倒塌分成 5 个损伤等级,并且采用墩顶最大位移作为

损伤指标,如表 1 所示。表中 Δ_1 表示墩底截面外侧钢筋首次屈服时对应的墩顶位移,Δ_2 表示墩底截面保护层混凝土达到极限压应变时的墩顶位移,Δ_3 表示墩底截面箍筋约束混凝土达到极限压应变时的墩顶位移,Δ_4 表示墩底截面钢管达到强化应变时墩顶的位移。

1.3　地震易损性曲线的生成方法

地震易损性的定义为:在给定地震动强度参数 IM(Intensity Measure)(如谱加速度 Sa、峰值地面加速度 PGA 等)时,结构或构件达到某一极限状态的超越概率,其数学形式表示为:

$$P_f = P(DV \mid IM) = P[DI \geqslant CIM] \tag{1}$$

式中,DI(Damage Index)为地震损伤指标,表征地震需求;C(Capability)为结构的能力。

定义结构某一损伤状态的界限值为 Δ_i,当结构的地震响应 Δ 大于 Δ_i 时,认为结构就达到了该级损伤状态。在地震响应 Δ 和损伤状态界限值 Δ_i 的比值的对数 $\mathrm{Ln}(\Delta/\Delta_i)$ 与地震动强度参数的对数 $\mathrm{Ln}(IM)$ 之间进行二次多项式回归分析,得到回归均值 λ,如式(2-9)所示,式中 a、b、c 为回归参数:

$$\lambda = a(\mathrm{Ln}(IM))^2 + b\mathrm{Ln}(IM) + c \tag{2}$$

令 Sr 为回归均值 λ 与 $\mathrm{Ln}(\Delta/\Delta_i)$ 的残差平方和,n 为地震响应样本总数:

$$Sr = \sum_{1}^{n} (\lambda - \mathrm{Ln}(\Delta/\Delta_i))^2 \tag{3}$$

因此可以求得回归标准差:

$$\sigma = \sqrt{Sr/(n-2)} \tag{4}$$

结构响应 Δ 超过承载力 Δ_i 的概率可以按下式计算:

$$P_f = P_r(\Delta/\Delta_i \geqslant 1) \tag{5}$$

式(11)又可以写成:

$$P_f = P_r(\mathrm{Ln}(\Delta/\Delta_i) \geqslant 0) \tag{6}$$

假设结构的地震响应与及承载能力服从对数正态分布[5],所以式(6)又可以写成式(7)所示,式中 $\Theta[\cdot]$ 为标准正态分布函数:

$$P_f = \Theta\left[\frac{\lambda}{\sigma}\right] \tag{7}$$

2　关键参数对叠合柱桥墩易损性的影响

2.1　关键参数的定义

(1)定义轴压比 n 为:

$$n = \frac{N_d}{N} \tag{8}$$

式中,N_d—为墩底截面恒载轴力;N—为按材料设计强度计算得到的轴力承载力,不考虑约束作用对混凝土强度的增强作用。

(2)定义纵筋配筋率为:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} \tag{9}$$

式中,A_s—为截面上纵向受力钢筋的总面积;A_c—为外围叠浇混凝土的面积。

(3)定义体积配箍率 ρ_s 为:

$$\rho_s = \frac{V_s}{V_c} \tag{10}$$

式中,V_s—为螺旋箍筋在一个区间内的体积;V_c—为相应区间内外围叠浇混凝土体积。

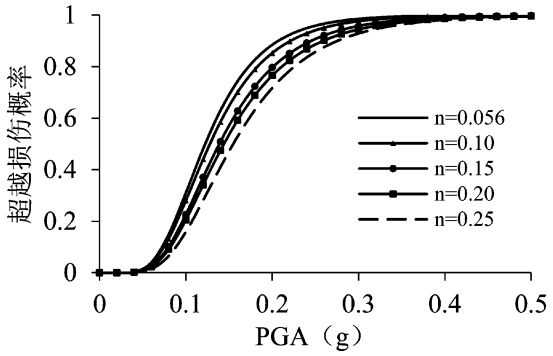
(4)定义截面含钢量 ρ_g 为:

$$\rho_g = \frac{A_g}{A} \tag{11}$$

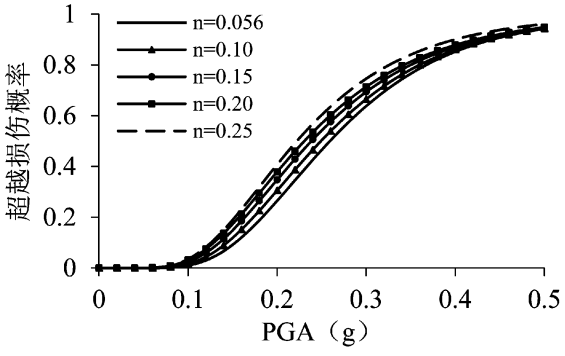
式中,A_g—为截面钢管面积;A—截面面积。

2.2　轴压比的影响

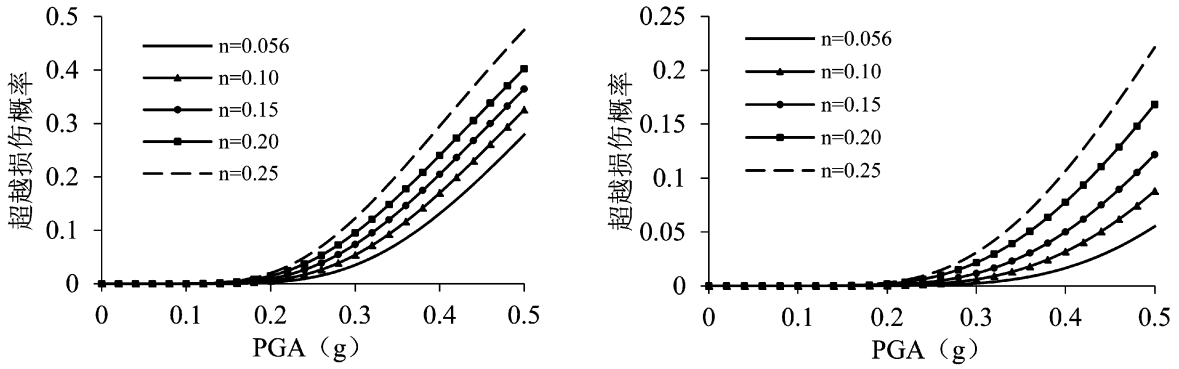
不同轴压比下,桥墩的易损性曲线如图 2 所示,随着轴压比的增大,轻微损伤的超越概率呈现减小的趋势,而中等损伤、严重损伤和倒塌的超越概率呈现增大的趋势。



（1）轻微损伤

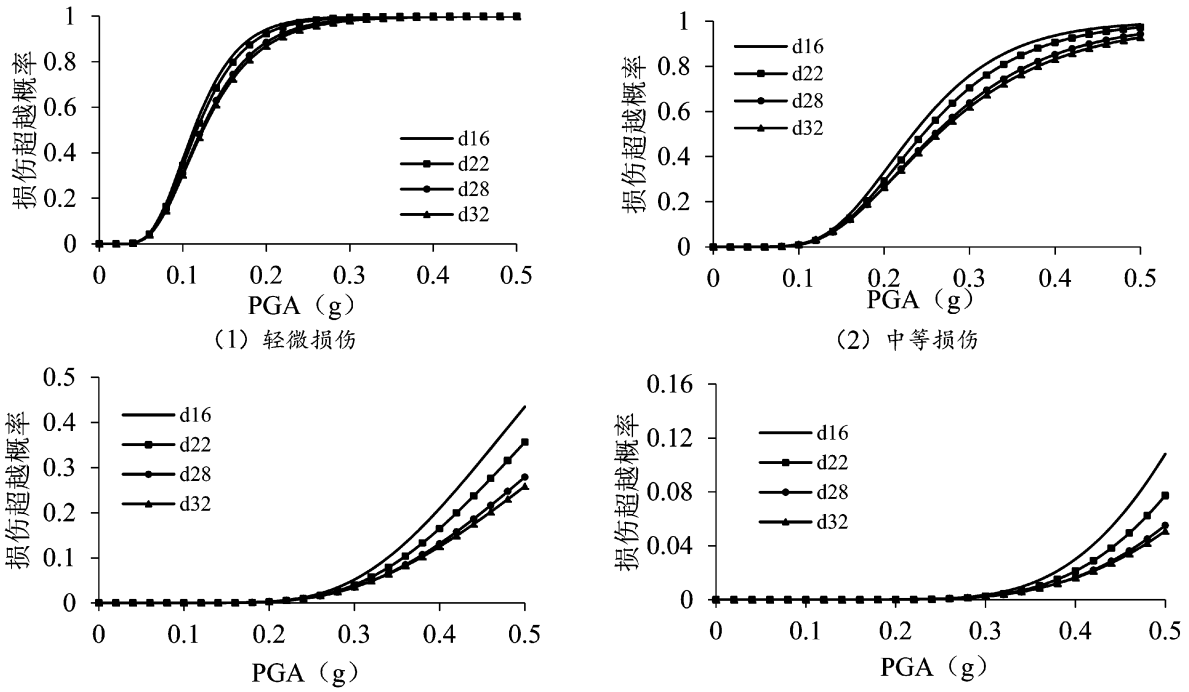


（2）中等损伤



（3）严重损伤　　（4）倒塌

图 2　不同轴压比下的易损性曲线比较



（1）轻微损伤　　（2）中等损伤

（3）严重损伤　　（4）倒塌

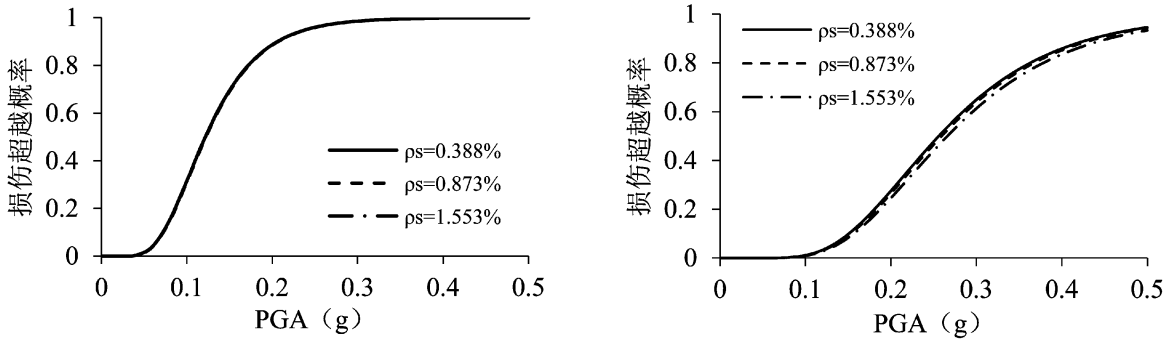
图 3　不同纵筋配筋率下的易损性曲线比较

2.3　纵筋配筋率的影响

不同纵筋配筋率下桥墩的易损性曲线如图 3 所示,随着纵筋配筋率(纵筋直径)的增大,各个等级的损伤超越概率均呈现减小的趋势,但影响不大。

2.4　体积配箍率的影响

不同体积配箍率下桥墩的易损性曲线如图 4 所示,体积配箍率的变化对轻微损伤、中等损伤及倒塌这三个等级的损伤超越概率影响不大,而对严重损伤的超越概率影响明显。



（1）轻微损伤　　（2）中等损伤

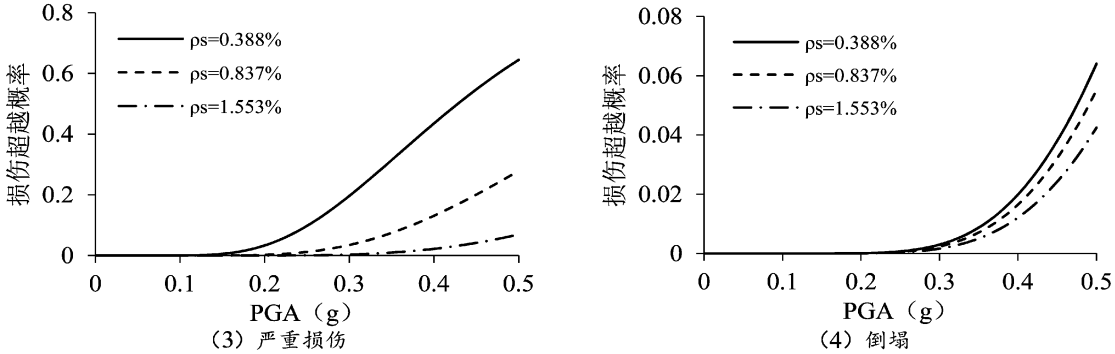


图 4　不同体积配箍率下的易损性曲线比较

2.5　截面含钢量的影响

不同截面含钢量（钢管壁厚）下，桥墩的易损性曲线如图 5 所示，改变钢管的厚度（截面含钢量）对桥墩易损性的影响微乎其微。

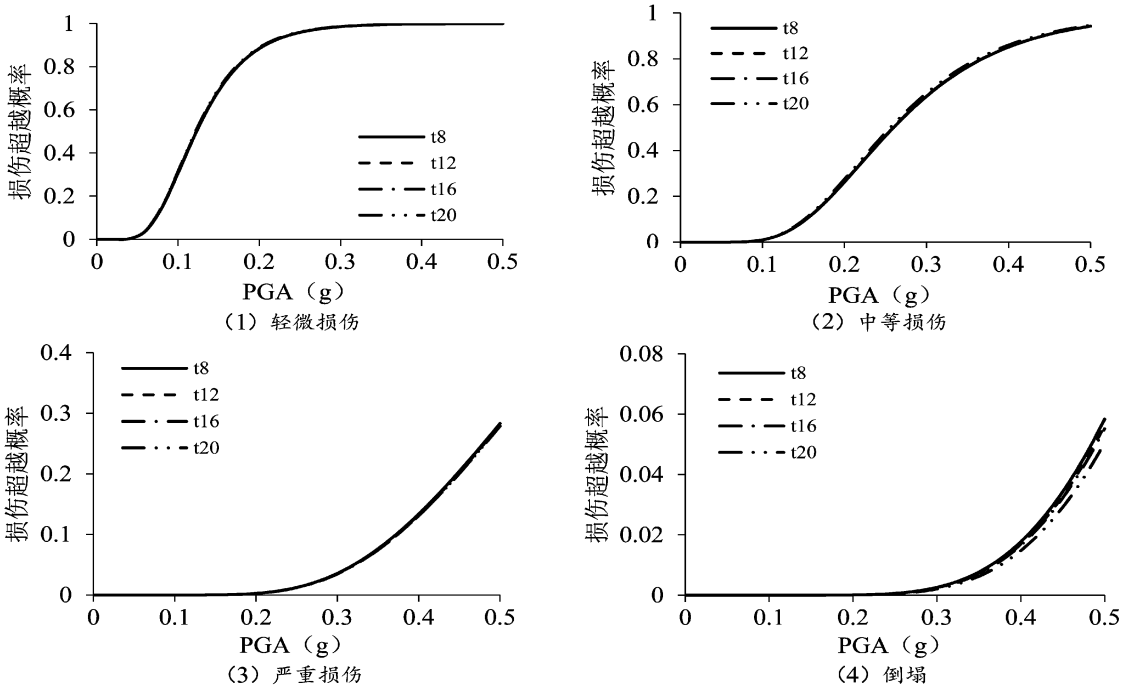


图 5　不同截面含钢量下的易损性曲线比较

3　结论

本文对钢管混凝土叠合柱规则单墩体系的地震易损性进行了研究分析，讨论了轴压比、纵筋配筋率、体积配箍率和截面含钢量对其易损性的影响，得到的主要结论如下：

（1）轴压比的增大可以提高桥墩抵抗小震的性能，但会减弱桥墩抵抗大震的能力。

（2）增大纵筋配筋率能在一定程度上提高桥墩构件的抗震性能，但是提高的幅度有限。

（3）提高体积配箍率能有效提高箍筋约束混凝土的延性，从而可以显著减小桥墩严重损伤状态的损伤超越概率，但是对桥墩的轻微损伤、中等损伤与及倒塌的损伤超越概率影响不大。

（4）截面含钢量（钢管壁厚）对钢管混凝土叠合柱桥墩的抗震性能影响不大。

参考文献：

[1] 李 惠，吴 波，林立岩. 钢管高强混凝土叠合柱的抗震性能研究[J]. 地震工程与工程震动，1998，(1)：45－52.

[2] 李 惠，王震宇，吴 波. 钢管高强混凝土叠合柱抗震性能与受力机理的试验研究[J]. 地震工程与工程震动，1999，(3)：27－33.

[3] 赵国藩，张德娟，黄承逵. 钢管砼增强高强砼柱抗震性能研究[J]. 大连理工大学学报，1996，(6)：759－766.

[4] 黄志堂. 叠合柱高墩大跨连续刚构桥概率地震易损性及风险分析[D]. 成都：西南交通大学，2015.

[5] H. Hwang，刘晶波. 地震作用下钢筋混凝土桥梁结构易损性分析[J]. 土木工程学报，2004，37(6)：47－51.

山区中等跨径钢板组合梁应用研究

彭亚军
(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

摘　要: 组合结构最大的技术特点是组合后的结构性能比两种材料各自的力学性能更佳。当钢材处于拉伸区域时,其强度及其延展性能够很好发挥,但当钢材处于压缩区域时,其对强度的贡献取决于屈曲强度,特别是当钢板较薄时,很难充分发挥其材料性能。而混凝土是一种比钢材更便宜、自重更大、抗拉强度更低的脆性材料。因此,钢材和混凝土合理的组合后可充分发挥钢材和混凝土各自的性能,取得更佳的受力性能及经济效益。在我国大力发展基础建设的国情下,推动钢板组合梁桥的研究与应用,将有利于促进国民经济的发展,产生显著的经济和社会效益。

关键词: 钢板组合梁桥;高墩;经济指标

0　概述

为响应国家去产能的号召,交通运输部印发《关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见》,决定推进钢箱梁、钢桁梁、钢混组合梁等公路钢结构桥梁建设,提升公路桥梁品质,发挥钢结构桥梁性能优势,推动公路建设转型升级。

混凝土和钢材是建造桥梁的主要结构材料,其材料特点和力学性能各有优劣,进行钢混组合结构的设计、施工研究,可以综合两种材料的各自特点,做到物尽其用,为桥梁工程师提供更广阔的创作空间[1]。

对于钢混组合结构桥梁,目前国内虽有应用,但应用范围非常有限,据统计目前钢结构桥梁占桥梁总数的比例不足 1%。若要大面积推广应用,仍有许多具体问题需要研究解决。

钢板组合梁应用研究的关键技术在于通过广泛的资料整理,结合国内外桥梁建造行业及相关行业的工业化建造技术的先进经验。

本文基于云浮罗定至茂名信宜高速公路项目,以山区高墩组合结构桥梁为研究对象,重点对其设计理念、关键构造、快速施工技术、造价指标进行研究,形成一套适用于山区高墩建造条件下的组合结构桥梁设计理念与施工工艺,作为下阶段推广使用组合梁的参考。

1　国内外研究与实践现状

组合钢板梁桥结构形式比较简单,易于加工制造与安装施工,得到广泛应用与发展。早期常采用多主梁的形式,构造相对复杂,目前多采用双主梁或少主梁形式。

1.1　国外研究与应用现状

二十世纪六七十年代是欧美国家和日本桥梁建设的黄金时期,组合结构以其整体受力的优越性,同时发挥两种材料各自优势性能的合理性,便捷施工的实用性而得到了广泛的应用,建造了大量形式各异的组合结构桥梁。

近年在组合钢板梁桥方面,欧美国家针对传统的钢梁桥体系进行了大幅度简化,用两根主梁的组合钢板梁桥已成为中小跨新建桥梁的主流,被认为是极其经济的桥梁形式之一[2]。

1.2　国内研究与应用现状

我国在二十世纪五十年代学习前苏联的过程中也开始接触到组合结构的概念,但因钢材的产能不足,在公路桥梁建设中很少采用钢桥,制约了组合结构桥梁的发展。改革开放以来,上海在学习发达国家的斜拉桥新技术中引进了组合桥面斜拉桥的新概念,设计建造多座组合梁桥,使得组合结构逐渐为中国桥梁工程师所认识[3]。

2　钢板组合梁应用思路

本文基于云浮罗定至茂名信宜高速公路项目,对山区高墩区域桥梁进行钢板组合梁的应用研究。

2.1　钢板组合梁横断面布置研究

早期的组合钢板梁桥虽然在设计时考虑了混凝土桥面板参与结构受力,但是与普通钢桥相同,仍然要在并排纵梁之间设置较多横梁及梁间平联,并在腹板上焊接较多纵横向加劲肋,纵梁间距小。此类情况下,构件数量就更多、焊缝量更大,使得加工成本提高、施工不便、维护困难,疲劳破坏也成为一个突出的问题[4]。近年来,钢材相对于混凝土的成本相对走低,在国家推广使用钢结构的大环境下,在山区高墩桥梁中采用组合结构,钢板梁桥与预应力混凝土梁桥相比具有一定的竞争力。

本项目初步拟定了双主梁与三主梁断面形式:

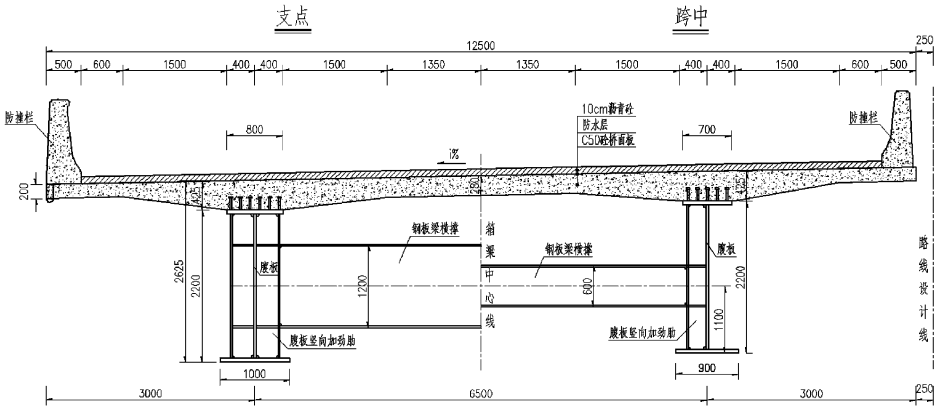


图 1　双主梁结构形式标准断面图

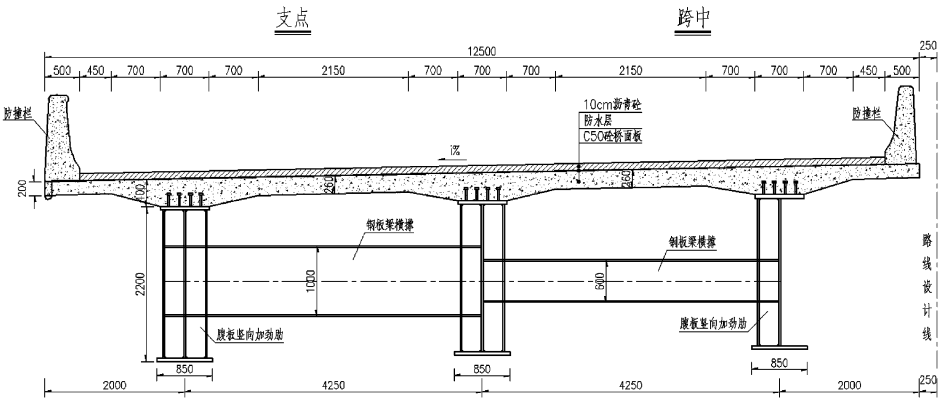


图 2　三主梁结构形式标准断面图

通过初步拟定的主梁构造、经对比分析可知,在本项目情况下:①双主梁体系安全赘余度偏低,三主梁整体安全性略优,高墩桥梁跨越道路,净空富余很大,不存在下穿车辆撞击钢主梁的风险;②三主梁断面可不设置横向预应力钢束,减少了高空作业,简化了施工;③三主梁配置下单片钢主梁的重量相对轻,仅为 44t,利于运输;④同等安全度控制范围,三主梁断面用钢量增加 15%,主梁造价增加 10%,综合造价增加 4%。

表 1　双主梁与三主梁对比表

项目	双主梁	三主梁
横向预应力束	有	无
用钢量	194kg/m^2	226kg/m^2
强健性	一般	更好
经济性(上部)	2863 元/m^2	3150 元/m^2
施工便利性	更优	优

2.2　横梁设置

钢板组合梁桥在施工过程中,钢梁的侧向刚

度及抗扭刚度较小,在施工阶段的各荷载作用下易发生整体弯扭失稳,因此需要设置一定数量的临时或永久横梁来保证结构的稳定性。成桥状态下,为了更有效地横向分配活荷载来提高结构的整体承载能力,也需要设置横梁。横梁的主要功能有:

(1)保证施工阶段与运营阶段钢梁的稳定;

(2)活载的横向传递;

(3)有助于桥梁安装架设时混凝土桥面板的定位,同时在通过顶升中支点来施加墩顶正弯矩及更换支座时,梁端横梁可作为支点。

2.3　结构安全度的控制

考虑到组合钢板梁为新型结构,其结构安全度参考成熟的 40m 跨预应力混凝土先简支后结构连续 T 梁。通过计算对比分析,在规范荷载作用下,按《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64 - 2015)进行抗弯承载力验算时,钢材强度设计值按 160MPa 左右考虑时,其安全度与 40m 跨预应力混凝土 T 梁相当。

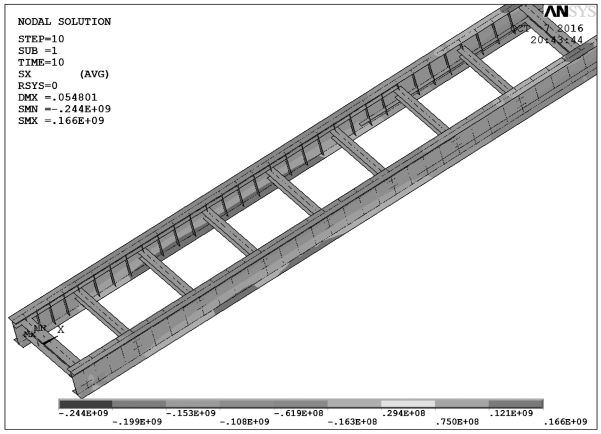


图 3　承载能力极限状态应力云图

2.4　关于耐候钢的使用

钢材锈蚀是制约组合结构桥梁发展的主要因素。在桥梁设计时,不仅要考虑前期建设费用,还要考虑后期养护等费用,甚至还要考虑拆除后的处理费用,即确保整个使用期的费用最低为设计原则[3]。基于这样的原则,耐候钢在组合结构桥梁中的应用会有较好的经济效益,在无景观要求的公路建设中,成为一个发展趋势。

表 2　耐候钢与普通钢造价比较表

项目	普通钢(元)	耐候钢(元)
材料及加工、架设等	8900	9400
防腐涂装	500	0
维护	2500	0
合计	11900	9400

可见,耐候钢虽然初期投入稍大,但考虑后期运营养护成本的降低,耐候钢的全寿命周期成本有优势。

3　钢板组合梁的施工方案

组合结构桥梁的施工,普遍采用钢梁与混凝土桥面板分步进行的方法,一般将钢梁先行架设就位,再施工混凝土桥面板[5]。这种方法利用了钢梁自重较轻的特点,可以降低运输、吊装以及顶推等作业对机具设备与临时设施的要求。

钢梁架设有吊装法、顶推法等。本项目为山区高速公路,桥梁顶推距离长、墩身高,应采用多节段拼装、多点顶推的方法。目前较为常用的方法有两种:步履式平移法和连续千斤顶拖拉法。根据本项目线位为多变平曲线的线形特点,结合工程造价、现场施工综合条件等因素,可采用连续千斤顶拖拉法的顶推方法。

组合梁中常用的混凝土桥面板可分为现浇混凝土桥面板、叠合板桥面板和预制混凝土桥面板。本项目拟采用的钢梁由两片工字形主梁与多片横梁组成,在顶推施工主梁的情况下,采用混凝土桥面板滑模现浇施工不失为一种施工便利、工艺简单的优良方案。

现浇混凝土桥面板具有整体性好,容易满足各种桥面的截面要求的特点。但现场现浇混凝土的工作量大,施工速度相对较慢。同时现浇桥面板能够有效的减少混凝土接缝的数量,能够适应桥面板内钢筋骨架的几何缺陷,并使桥面板中钢筋用量最省最优。

4　钢板组合梁的经济性

经初步计算与设计,40m 跨钢板组合梁重量

较 40m 跨预制 T 梁轻，与 30m 跨预制小箱梁上部结构重量接近；60m 跨钢板组合梁重量与 40m 跨预制 T 梁上部结构重量相当。通过计算分析，初步拟定钢板组合梁结构上下部尺寸，结构承载力富余与 40m 跨 T 梁基本一致，其经济性指标对比如下所示：

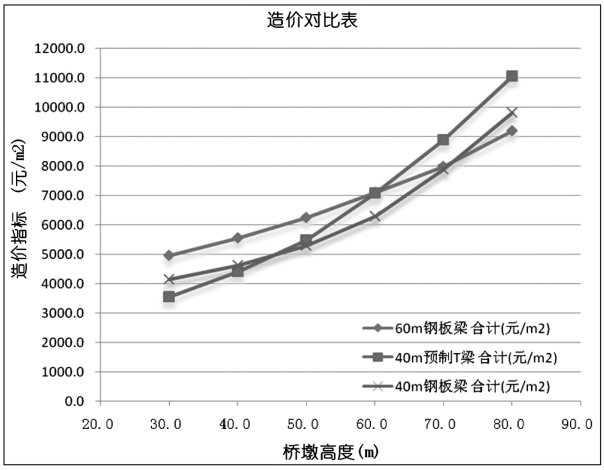


图 4　钢板组合梁与 40mT 梁造价对比

通过经济性比较可知，40m 跨钢板组合梁在桥墩高度≥45m 时，其经济性指标优于 40m 跨预应力混凝土 T 梁，并且随着墩高的增加，钢板组合梁的造价优势越大。因此，在山区高速公路建设中，高墩桥梁采用钢板组合梁作为上部结构具有较强的竞争力。

5　结语

随着我国钢材产业逐渐由产能短缺进入产能过剩，为深入贯彻《国务院关于钢铁行业化解过剩产能实现脱困发展的意见》（国发〔2016〕6 号）的有关要求，2016 年 7 月 1 日，交通运输部发布了《交通运输部关于推进公路钢结构桥梁的指导意见》（交公路发［2016］115 号），决定推进公路钢结构桥梁（包括钢箱梁、钢桁梁、钢混组合梁等桥梁）发展应用，加快低碳绿色环保公路建设。

在当前的形势下，通过采用合理的构造、选用便捷的施工方法，可使山区高墩的钢板组合梁桥在经济上具有一定优势。合理的采用钢板组合梁，可消化钢材产能，取得较短工期，创造较好的经济效益，成为山区高墩条件下相对预应力混凝土梁桥的较优方案。

参考文献：

［1］聂建国，余志武．钢－混凝土组合梁在我国的研究及应用［J］．土木工程学报，1999.

［2］邵长宇．城市高架组合结构桥梁国际发展概况［J］．上海公路，2008.

［3］刘玉擎．组合结构桥梁［M］．北京：人民交通出版社，2005.

［4］陈智俊，胡胜刚，张晟斌．简支 I 形钢－混凝土组合梁桥在山区高速公路上的应用［J］．中外公路，2008.

［5］邵长宇．大跨度钢－混凝土连续组合箱梁桥关键技术研究［M］．同济大学，2006.

单桩承载力对刚性桩复合地基路堤稳定性的影响

刘吉福[1],陈忠平[2],汪建斌[3]

(1. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州　510507;2. 广州大学土木工程学院,广州　510006;
3. 广东盛瑞科技股份有限公司,广州　511400)

摘　要: 现行规范中刚性桩复合地基路堤稳定分析方法不能反映单桩承载力对路堤稳定性的影响,得到的路堤稳定安全系数严重偏大,导致部分刚性桩复合地基路堤出现滑塌事故。在研究刚性桩复合地基路堤滑塌原因的基础上,分析了路堤滑塌时桩土作用,得到了刚性桩提高路堤稳定性的机理。分析了刚性桩复合地基路堤现有稳定分析方法的缺陷,完善了修正密度法。为研究单桩承载力对刚性桩复合地基路堤稳定性的影响,利用修正密度法分析了刚性桩长度、间距、扩底、桩帽等对路堤稳定性的影响,对刚性桩复合地基路堤设计提出了建议。研究表明,单桩承载力对密桩复合地基路堤稳定性影响很小,对疏桩复合地基路堤稳定性影响很大;增大单桩承载力对提高路堤稳定性的作用比减小桩间距更合理;对提高路堤稳定性而言,持力层扩底桩比桩加长更有效;利用桩帽等将大部分路堤荷载转移到桩顶方可发挥单桩承载力对路堤稳定性的作用;软土强度随深度增大不明显时应慎用悬浮桩复合地基。刚性桩复合地基路堤宜采用"强桩大帽"的疏桩复合地基方案。

关键词: 刚性桩;承载力;路基;稳定性;悬浮桩;修正密度法;扩底桩;桩帽

0　引言

近十几年来,预制管桩、各种灌注桩(包括 CFG 桩、素混凝土桩、TC 桩、Y 形桩、筒桩、扩底桩等)、各种注浆桩(包括钢管注浆桩、碎石注浆桩、模袋注浆桩等)、各种组合桩(水泥土劲芯桩、静钻根植桩等)等刚性桩越来越多地用于路堤地基处理。国外对刚性桩路堤普遍按桩承堤设计,刚性桩按照基桩设计,桩间荷载为零或非常小,基本不存在稳定问题[1]。为控制沉降,我国高速铁路对刚性桩路堤通常也采用桩承堤[2]。为降低造价,我国公路、普通铁路、城市道路路堤地基处理采用刚性桩时多采用刚性桩复合地基[3~8]。一般路段路堤的容许工后沉降通常大于 30cm,刚性桩路堤按照复合地基设计可以充分利用天然地基承载能力,有效降低工程造价。另外,桥涵附近设置过渡段的目的是实现工后沉降平顺过渡到 30cm 甚至更大,必须按照复合地基设计。

我国大部分刚性桩复合地基路堤是成功的,但也有不少刚性桩复合地基路堤出现滑塌、开裂事故[4~8]。在研究刚性桩复合地基路堤滑塌原因的基础上,分析了路堤滑塌时桩土之间的作用力,得到了刚性桩提高路堤稳定性的机理,指出了刚性桩复合地基路堤现有稳定分析方法的缺陷,完善了修正密度法。利用修正密度法分析了单桩承载力对路堤稳定性的影响,对刚性桩复合地基路堤设计提出了建议。

1　刚性桩提高路堤稳定性的机理

刚性桩复合地基路堤滑塌案例、离心模型试验等均表明,刚性桩复合地基路堤滑塌的主要原因是桩间荷载或地基土附加应力过大,导致地基沉降和位移过大,产生绕流滑动或绕流滑动趋势[6],刚性桩在桩间土水平力作用下受弯断裂或倾倒(如图 1 所示)[9],最终导致路堤滑塌。

桩间土产生绕流滑动或绕流滑动趋势时,滑动面内桩间土的沉降和位移较大,桩间土的水平位移比刚性桩的水平位移大,滑动面圆心内侧桩间土相对刚性桩沉降,滑动面圆心外侧桩间土相对刚性桩隆起。桩土之间的相对位移,导致刚性桩对路堤和桩间土产生图 2 所示的作用力。

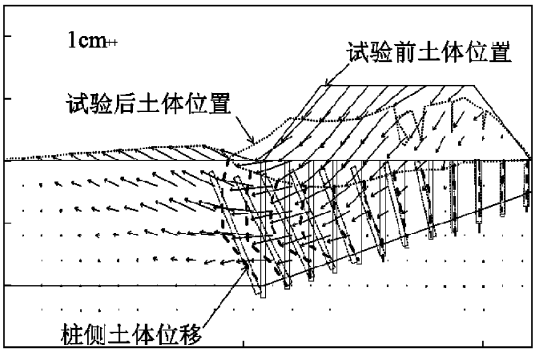


图 1　刚性桩倾倒导致路基滑

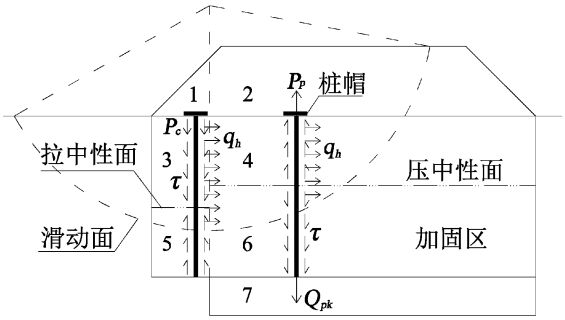


图 2　桩对滑动体的作用力

图 2 中压中性面的位置确定方法见文献[10],拉中性面的位置可根据下列公式计算的正摩擦力确定:

$$Q_s^p = \frac{Q_{sk} - P_c}{2} \tag{1}$$

$$P_c = f_{sk}(A_c - A_p) \tag{2}$$

式中:Q_s^p 为正摩擦力,Q_{sk} 为总极限摩阻力,P_c 为桩帽对地基土的压力,f_{sk} 为桩帽影响深度内地基极限承载力,A_c 为桩帽面积,A_p 为桩身横界面面积。

由图 2 可知,滑动面圆心内侧的刚性桩对路堤和桩间土的作用力有:桩帽对路堤向上的竖向顶力 P_p、滑动面或压中性面(压中性面高于滑动面时)以上的负摩擦力 τ、滑动面或压中性面(压中性面高于滑动面时)以下的正摩擦力 τ、水平力 q_h、桩底对桩底土的 Q_{pk}。其中 P_p、q_h、负摩擦力阻止桩间土和路堤的滑动,正摩擦力和 Q_{qk} 促进桩间土滑动。用于地基处理的刚性桩能承受的 q_h 很小,可忽略不计。因此,滑动面圆心内侧的刚性桩主要通过桩帽顶力 P_p 和负摩擦力 τ 阻止桩间土下沉、提高路堤稳定性。

滑动面圆心外侧的刚性桩属于抗拔桩,对桩间土的作用力有:桩帽对地基土向下的竖向压力 P_c、滑动面或压中性面(拉中性面高于滑动面时)以上的正摩擦力 τ、滑动面或拉中性面(拉中性面高于滑动面时)以下的负摩擦力 τ、水平力 q_h。其中 P_c、正摩擦力和 q_h 阻止桩间土的滑动。同样 q_h 可忽略不计,滑动面圆心外侧的刚性桩主要通过 P_c、正摩擦力阻止桩间土隆起、提高路堤稳定性。当圆心外侧桩的上拔力大于桩身抗拉能力时,刚性桩会断裂失效。由于刚性桩抗拉能力较小,圆心外侧刚性桩抗滑的能力较小。

多个刚性桩复合地基路堤滑塌案例表明,刚性桩复合地基路堤的滑动面比天然地基路堤的滑动面更靠近路堤外侧(图 3),滑动面圆心外侧的刚性桩数量较少。因此,刚性桩主要通过滑动面内侧桩的 P_p、τ 承担大部分路堤荷载、减小桩间荷载来提高路堤的稳定性。因此,刚性桩竖向承载力对路堤稳定性影响较大。

(a)XT 高速公路

(b)GZB 高速公路

图 3　刚性桩复合地基路堤滑塌范围

2　现有路堤稳定分析方法缺陷

2.1　复合抗剪强度法

国内大部分现行规范对刚性桩复合地基路堤的稳定分析均假设桩土一起剪切破坏,桩身抗剪强度取无侧限抗压强度的 0.5 倍[3]。该方法的实

质是将刚性桩看作“剪力键”,刚性桩抗滑作用与桩帽大小、单桩承载力、滑动面下桩段长度等均没有关系。每个桩处只设置 1 根 25mm 钢筋时计算的稳定安全系数也满足规范要求,因此该方法明显不合理,计算的稳定安全系数严重偏大。另外,刚性桩材料为摩擦性材料,其抗剪强度与抗剪强度指标、竖向荷载大小有关,桩顶荷载较小时其桩身抗剪强度小于无侧限抗压强度的 0.5 倍。

2.2 “砂桩法”

文献[11]认为路堤滑塌前刚性桩已经断裂,稳定分析按断裂后的桩身材料摩擦性能确定抗剪强度,其实质是将刚性桩作为“砂桩”。文献[6]通过离心模型试验揭示刚性桩在软土层中部和底部附近断裂,且断裂面多水平,与滑动面位置和方向均不一致,滑动面处仍是完整桩段。因此“砂桩法”机理与实际不符,按其稳定分析许多正在安全运营的高填方刚性桩复合地基路堤都应已经滑塌。

2.3 “抗滑桩法”

刘力等[12]推导得到路堤下刚性桩可使用抗剪强度并利用其进行稳定分析。其核心思路是将刚性桩看作抗滑桩,刚性桩通过桩土之间的水平力阻止路堤滑动。该方法未考虑刚性桩对路堤的竖向顶力的抗滑作用,与刚性桩提高路堤稳定的作用机理不符,得到的稳定安全系数严重偏小。

2.4 “支撑法”

英国加筋土规范 BS8006[1]将刚性桩看作阻止滑动体滑动的“支撑”,并将桩的作用简化为对滑动体的支顶力。该方法与刚性桩主要通过承担大部分路堤荷载、减小桩间荷载的作用机理吻合。但是该方法存在如下缺陷:

(1)由于桩对路堤的支顶力与重力方向相反,必然减少滑动面上桩间土法向应力及相应的摩擦力。但是,规范未考虑该因素,导致稳定安全系数偏大;

(2)桩对滑动体的支顶力不但取决于滑动面以下桩段的承载力,而且取决于桩顶荷载和滑动面以上桩侧负摩擦力。该方法未考虑桩顶力与负摩擦力之和小于滑动面以下桩段的承载力的情况,导致稳定安全系数偏大;

(3)该方法需对每个滑动面分别计算各根桩对滑动体的支顶力,现有路堤稳定分析软件无法计算分析;

(4)未考虑加筋材料的拉力在滑动面处产生的摩擦力。

3 修正密度法的完善

刘吉福等提出了一种新的刚性桩复合地基路堤稳定分析方法 - - 修正密度法。该方法克服了 BS8006 方法的缺点,可以直接利用现有路堤稳定分析软件分析刚性桩复合地基路堤的稳定性,并经多个滑塌工程验证[8,10]。为了得到稳定安全系数 F_s,需要对路堤土密度乘以不同的稳定安全系数 F_s 进行试算,直至绕流滑动稳定安全系数 F_f 等于 1.0,但是文献[8,10]未给出具体作法,且只计算了 F_f,并未计算 F_s。下面补充完善 F_s 的计算方法。

当对路堤土密度乘以 F_s 时,滑动面圆心内侧的路堤土修正密度为:

$$\rho_{fr} = F_s \rho_f \left(1 - \frac{F_s P_p}{F_s P_u}\right) \tag{3}$$

式中:ρ_{fr} 为桩帽以上路堤修正密度,ρ_f 为路堤土设计密度,P_p 为按照路堤设计高度和设计密度计算的桩顶荷载,P_u 为按照路堤设计高度和设计密度计算的桩帽以上单桩分担面积内的路堤荷载。

设 Q_{uk} 为单桩竖向极限承载力,首先计算 $F_s = Q_{uk}/P_p$ 时的绕流滑动稳定安全系数 F_f,如果 $F_f = 1.0$,则停止计算,否则按下列方法计算 F_s。

(1)F_f 大于 1.0 时

此时需要增大 F_s 直至 F_f 等于 1.0。由于桩顶荷载 $F_s P_p$ 大于 Q_{uk} 时不能继续增大,因此试算时 $F_s P_p$ 均等于 Q_{uk},路堤滑动时桩身没有负摩擦力、中性面位于桩顶处,不需要计算中性面深度,式(3)变为:

$$\rho_{fr} = \left(F_s - \frac{Q_{uk}}{P_u}\right)\rho_f \tag{4}$$

因此只需要增大 ρ_{fr} 直至 $F_f = 1.0$,并由式(4)得:

$$F_s = \frac{\rho_{fr}}{\rho_f} + \frac{Q_{uk}}{P_u} \tag{5}$$

(2) F_f 小于 1.0 时

此时需减小 F_s 直至 F_f 等于 1.0。由于桩顶荷载 $F_s P_p$ 小于 Q_{uk}，路堤滑动时桩身存在负摩擦力，试算时需要应按下式调整中性面位置：

$$Q_s^n = \frac{Q_{uk} - F_s P_p}{2} \tag{6}$$

式中：Q_s^n 为负摩擦力。

路堤土修正密度 ρ_{fr} 仍按式(3)计算。

当中性面位于下卧硬土层时，由于最危险滑动面不经过下卧硬层，中性面位置对稳定分析结果没影响，可以不调整中性面位置。

采用完善后的修正密度法分析文献[8]中的工程案例，得到的稳定安全系数见表 1。四个断面路堤稳定安全系数平均值为 1.020，与工程实际情况相符。表 1 中 F_f 是文献[8]的计算结果。可见，F_f 与 F_s 不相等，有时差别较大；四个断面 F_f 的平均值为 1.042，大于 F_s 的平均值。

表 1　滑塌路基稳定分析结果

断面	Q_{uk} /kN	P_u /kN	ρ_{fr} /(kg·m^{-3})	F_s	F_f
K64+080	590	827	570	0.980	0.976
K64+100	590	880	619	0.959	0.951
K64+120	686	1215	1407	1.221	1.281
K64+160	536	1166	992	0.921	0.959

4　单桩承载力对路堤稳定性影响

为研究单桩承载力对刚性桩复合地基路堤稳定性的影响，利用修正密度法分析桩长、间距、扩底、桩帽等因素对刚性桩复合地基路堤稳定性的影响。

某段高速公路路堤长 100m，路堤顶宽 26m，路堤高 8m(包括路面和汽车荷载等效厚度)，边坡坡率为 1∶1.5，路堤底宽 47m。路堤平均重度为 20kN/m^3，内摩擦角为 20°，黏聚力为 25kPa，综合内摩擦角为 30°。地基土层见表 2。软土和粉质黏土的不排水抗剪强度 C_u 与桩侧摩阻力 q_s 相等。

采用 C25 素混凝土桩复合地基，正方形布桩，桩直径 0.4m。桩帽厚 0.35m。8 种复合地基方案见表 3，其中方案 7 桩底部 0.5m 范围扩径至 1.0m。

修正密度法稳定分析结果见表 4。其中方案 7 的稳定安全系数是穿过地基的最危险滑动面的安全系数，位于路堤内的最危险滑动面安全系数为 1.926。

表 2　地层情况

序号	土层名	厚度/m	重度/(kN·m^{-3})	q_s/kPa	q_p/kPa
1	淤泥	6	15.6	12	–
2	淤泥	6	16.0	15	–
3	淤泥	6	16.3	18	600
5	粉质黏土	10	18.0	80	2500

表 3　CFG 桩复合地基参数

方案	桩间距 /m	桩长 /m	桩数 /根	总桩长 /m	桩帽边长 /m
1	1.2	17.0	3264	55488.0	–
2	1.2	18.5	3264	60384.0	–
3	1.2	25	3264	81600.0	–
4	2.2	17.0	971	16507.0	1.3
5	2.2	18.5	971	17963.5	1.3
6	3.0	25	522	13050.0	1.8
7	3.0	18.5	522	9657.0	1.8
8	3.0	25	522	13050.0	–

表 4　修正密度法稳定分析结果

方案	Q_{uk}/kN	P_p/kN	z_e/m	滑弧深/m	F_s
1	392.1	122.0	7.13	6.0	1.380
2	703.7	122.0	14.33	6.0	1.380
3	1357.2	122.0	20.54	6.0	1.380
4	392.1	392.1	0.0	18.0	0.930
5	703.7	703.7	0.0	18.0	1.333
6	1357.2	1265.5	0.0	18.0	1.444
7	2302.8	1265.5	0.0	18.0	2.188
8	1357.2	176.0	25.0	6.0	0.693

由表 3、表 4 可知:

(1)方案 1 ~ 方案 3 均采用密桩复合地基,三个方案中单桩承载力差别悬殊,但是路堤稳定安全系数相等,说明密桩复合地基路堤的稳定性受单桩承载力影响较小。

(2)方案 4 ~ 方案 8 均采用疏桩方案。方案 4 和方案 5 桩间距相同,桩长只差 8.1%,但是方案 4 中的悬浮桩承载力较小,导致稳定安全系数相差 30.2%;方案 6 和方案 7 桩间距相等,方案 7 的扩底桩的单桩承载力是方案 6 的非扩底桩的 1.70 倍,方案 7 的稳定安全系数是方案 6 的 1.52 倍。因此单桩承载力对疏桩复合地基路堤稳定性影响较大,软土强度随深度增大不明显时应慎用悬浮桩复合地基,持力层扩底桩比桩加长更有效。

(3)方案 3 和方案 6 单桩承载力相同,方案 6 的单桩承载力/分担面积仅为方案 3 的 16.0%,但方案 6 安全系数大于方案 3;方案 2 和方案 5 单桩承载力相同,方案 5 的单桩承载力/单桩分担面积仅为方案 2 的 29.8%,但两者安全系数差别不大。因此,对路堤稳定性而言,疏桩复合地基中单桩承载力性价比大于密桩复合地基,增大单桩承载力对提高路堤稳定性的作用比减小桩间距更合理。

(4)方案 6 和方案 8 桩间距和桩长均相同,但是未设置桩帽的方案 8 的稳定安全系数只有方案 6 的 48.0%。因此单桩承载力对疏桩复合地基路堤稳定性的作用与桩帽有关。只有利用桩帽将路堤大部分荷载转移到桩顶时,单桩承载力对路堤稳定性的作用才能有效发挥。

因此,从路堤稳定性角度出发,刚性桩复合地基路堤采用"强桩大帽"的疏桩复合地基方案更合理。

5　其他方法稳定分析结果

为对比不同稳定分析方法的区别,对表 3 中的方案采用其他方法进行稳定分析。复合抗剪强度法中取桩身抗剪强度为 12500kPa,"砂桩法"中断桩摩擦角为 40°。表 5 中 F_{s1} 是复合抗剪强度法计算的稳定安全系数,F_{s2} 是按砂桩复合地基常见桩土应力比 3 计算的"砂桩法"稳定安全系数,n 是按表 4 中桩顶荷载计算的桩土应力比,F_{s3} 是根据 n 计算的"砂桩法"稳定安全系数。不同方法得到的路堤稳定安全系数见图 4。

表 5　其他方法稳定分析结果

方案	F_{s1}	F_{s2}	n	F_{s3}
1	1.926	0.872	11.8	1.250
2	1.926	0.897	11.8	1.287
3	1.926	0.897	11.8	1.287
4	1.926	0.695	38.5	1.234
5	1.926	0.696	373.4	1.678
6	1.926	0.647	512.1	1.653
7	1.926	0.647	512.1	1.653
8	1.926	0.647	9.8	0.772

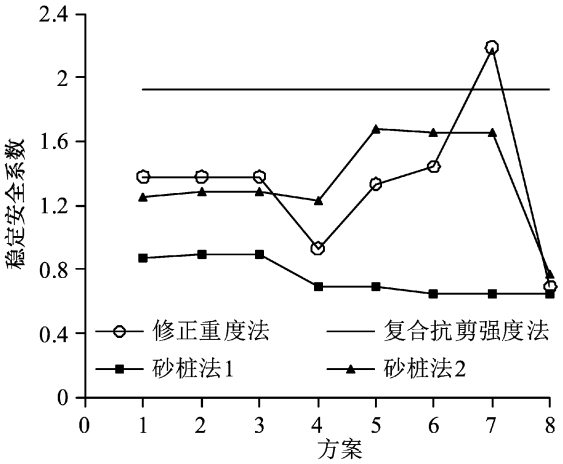


图 4　不同方法稳定分析结果

由表 5 和图 4 可知:

(1)复合抗剪强度法对所有方案的稳定安全系数均相等,且最危险滑动面均位于路堤内,不能反映刚性桩承载力的影响,也不能反映桩帽的作用,得到的稳定安全系数偏大,不利于保证路堤稳定性。

(2)按照砂桩复合地基桩土应力比,采用"砂桩法"得到的稳定安全系数普遍偏小。

(3)按照桩顶荷载确定的桩土应力比,采用"砂桩法"得到的稳定安全系数介于"复合抗剪强度法"和"砂桩法 1"结果之间,接近修正密度法计算结果,但是对承载力敏感性的反应不如修正密度法。

6　结论

(1)刚性桩主要通过桩(帽)顶力和桩侧负摩擦力减小桩间荷载、提高路堤稳定性。

(2)单桩承载力对密桩复合地基路堤稳定性影响不大,对疏桩复合地基路堤稳定性影响较大。

(3)疏桩复合地基中单桩承载力/分担面积小于密桩复合地基,增大单桩承载力对提高路堤稳定性的作用比减小桩间距更合理。

(4)单桩承载力对疏桩复合地基路堤稳定性的作用与桩帽有关。只有利用桩帽将路堤大部分荷载转移到桩顶时,单桩承载力对路堤稳定性的作用才能有效发挥。

(5)按照复合抗剪强度分析路堤稳定性,不能反映刚性桩承载力的影响,也不能反映桩帽的作用,得到的路堤稳定安全系数偏大。

(6)按照砂桩复合地基桩土应力比,采用“砂桩法”得到的稳定安全系数普遍偏小。

参考文献:

[1] British Standard. BS8006 - 1:2010. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills[S]. BSI Standards Publication,2010.

[2] TB 10106 - 2010, J1078 - 2010. 铁路工程地基处理技术规程[S]. 北京:中国铁道出版社, 2010.

[3] JTG/T D31 - 02 - 2013. 公路软土地基路堤设计与施工技术细则[S]. 人民交通出版设 2015.

[4] 朱旭华,舒国明. 广珠北新围高架桥桥头路基滑移原因分析[J]. 中外公路, 2006,26(4):27 - 29.

[5] 黎爱清. CFG 桩加固某软土路基的病害分析[J]. 铁道标准设计,2012,(06):36 - 39.

[6] 刘吉福,郑刚,安关峰. 折减荷载法分析刚性桩复合地基路基绕流滑动稳定性[J]. 广西大学学报,2013,38(01):176 - 181.

[7] 刘吉福,郑刚,安关峰. 刚性桩复合地基路基绕流滑动稳定分析. 工程勘察, 2013,35(6):17 - 22.

[8] 刘吉福, 郭舒洋,肖昌建. 修正密度法分析混凝土桩复合地基路基绕流滑动稳定性[J]. 广东公路交通, 2016(05):12 - 20.

[9] 苗德山,刘吉福. 基于离心模型试验的路堤下 CFG 桩破坏模式研究[J]. 广东公路交通, 2016(04):10 - 13.

[10] 刘吉福,郑刚,龚晓南等. 柔性荷载刚性桩复合地基修正密度法稳定分析改进[J]. 岩土工程学报,2017,39(Supp2): 33 - 36.

[11] JGJ79 - 2012. 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

[12] 刘力. 刚性桩加固路堤稳定分析方法研究[D]. 天津:天津大学,2010.

复合式互通立交治理交通拥堵探讨

张　文
(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

摘　要: 随着城市高速路网日趋完善,为满足交通转换的功能需要,相邻小净距的互通立交组成复合式互通立交情况日益增多。随着交通量的增长,复合式互通立交的交通拥堵现象也逐渐显现。本文以惠(惠州惠城区)盐(深圳盐田区)高速公路伯公坳~镇隆复合式互通立交为案例,通过该复合式互通立交方案各要素分析,对其交通拥堵治理方案进行了初步探讨。

关键词: 复合式互通立交;拥堵;治理;探讨

1　复合式互通立交概述

根据公路立体交叉设计细则,一般互通式立体交叉之间最小间距不宜小于4km;一般互通式立体交叉与枢纽互通式立体交叉之间最小间距不宜小于4.5km[1]。然而,随着城市高速路网日趋完善,为了满足交通转换的功能需要,两处或多处互通式立交以小于规范要求近距离连接、相邻小净距互通立交组成复合式互通立交的情况日益增多。复合式互通立交投入营运后,随着交通量的增长,交通拥堵现象也逐渐显现。治理复合式互通立交的交通拥堵也摆在了交通工作者面前。

在惠州惠城区至深圳盐田区高速公路(以下简称"惠盐高速")伯公坳~镇隆复合式互通立交路段,按照城市规划路网的交通流转换要求、两互通立交间距不足2km[2]。自从2015年12月31日建成通车以来,随着交通量日益增长,局部出现了拥堵,本文通过该复合式互通立交各要素分析,对其交通拥堵治理方案进行了初步探讨。

2　复合式互通立交特点和治堵思路

复合式互通立交具有以下特点:(1)净距小:其组成的相邻互通立交间距一般小于4km,净距一般小于1000m,立交之间车辆进出交织段长度较小;(2)组成复杂:相邻互通立交利用辅助车道、集散车道或匝道等相连接而形成组合体[3];(3)影响区域交通量大,各相交道路技术等级均较高,设计速度较快;(4)相邻互通立交间交通标志和信号布置长度较短,出口预告标志设置需要特别设计;(5)匝道布设立体发展,跨越构造物较多,结构布置紧凑,设计施工以及改造复杂。

基于以上特点,复合式互通立交的治堵方案,首先应分析复合式互通立交的主线平纵指标、匝道平纵指标、横断面组成、连接部指标、端部平面交叉、交通标志牌布置等各要素分析,着重从以下两种思路入手:

思路一:土建工程措施。即根据各断面交通流的流量和流向分析,对互通立交匝道横断面扩容;或对匝道交织段进行工程上的分离改造处理。

思路二:交通安全措施。即通过对区域路网、互通方案的道路条件、交通流条件、交通环境、道路使用者需求及交通管理需要进行分析,增减、调换、更新交通标志和标线。

3　惠盐高速公路伯公坳~镇隆复合式互通立交分析

3.1　惠盐高速伯公坳~镇隆复合式互通概况

惠盐高速是连接惠州与深圳特区的南北向快速干道,是广东省高速公路网的重要组成部分。主线双向四车道,路基宽41m,设计车速100km/h。本项目伯公坳~镇隆互通立交是由原伯公坳互通立交与镇隆枢纽立交通过集散车道连成的复合立交,方案如图1所示。集散车道采用双车道断面,路基标准宽度10.5m。

惠盐高速在K11+805位置与国道G205交叉(设计速度60km/h双向四车道的一级公路标准),设有

伯公坳互通立交,立交采用菱形互通型式;在 K13 + 207 位置与惠莞高速公路交叉(设计速度 120km/h 双向六车道的高速公路标准),设有镇隆互通立交,镇隆互通采用中心对称布置的半定向 + 对角象限双环式苜蓿叶混合型,两个内环匝道对称布置在惠州—惠东、深圳—东莞方向,其它方向采用定向匝道。

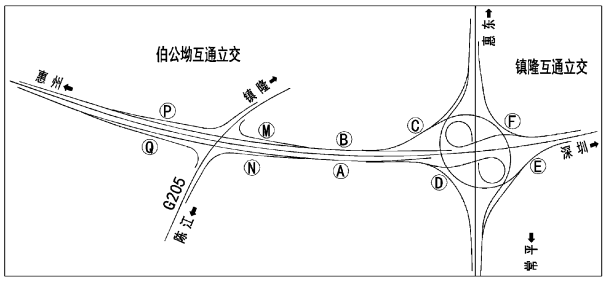


图 1　伯公坳 ~ 镇隆复合式立交方案图

本路段两互通立交间距为 1.402km,小于一般互通立交与枢纽互通立交最小间距 4.5km 要求,两互通立交通过集散车道连接形成复合式互通立交。本项目集散车道交织区在高峰时段存在拥堵现象。

3.2　伯公坳 ~ 镇隆复合式互通主线平纵指标分析

伯公坳 ~ 镇隆复合式互通主线设计范围为 K10 + 900 ~ K13 + 900,路段范围为 3.0km。主要技术指标见表 1。

表 1　主线主要技术标准及采用情况表

序号	项目			规范值	采用值
1	公路等级			高速公路	
2	设计速度(km/h)			100	
3	路基宽度(m)			33.5	33.5
4	平曲线极限最小半径(m)			400	——
5	平曲线一般最小半径(m)			700	——
6	不设超高最小半径(m)			4000	4000
7	停车视距(m)			160	236.5
8	最大纵坡(%)			4	1.014
9	一般最小竖曲线半径(m)	凸形	非立交	10000	20000
			立交范围	25000/17000	
		凹形	非立交	4500	20500
			立交范围	12000	
10	最短坡长(m)			250	310
11	桥涵设计荷载			公路 - I 级	
12	设计洪水频率			特大桥 1/300,其它桥梁、涵洞及路基 1/100	
13	地震动峰值加速度系数			0.05g	

经核查,本项目路段主线最小半径 4000m,最大纵坡 1.014%,前后线形均衡协调,视距良好,路段的主线平曲线半径、纵坡、超高坡度、平纵组合均满足路线设计规范对高速公路互通立交变速车道路段主线平纵线形要求[4]。

3.3　伯公坳 ~ 镇隆复合式互通匝道平纵指标分析

伯公坳 ~ 镇隆复合式互通中伯公坳互通立交采用菱形互通型式,匝道设计速度为 40km/h。最大纵坡:惠州方向入口 3.108%,惠州方向出口 1.952%;深圳方向出口 3.234%,深圳方向入口 1.778%。复合式立交的东、西集散车道设计速度为 60km/h。

伯公坳 ~ 镇隆复合式互通中镇隆枢纽立交采用中心对称布置的半定向 + 对角象限双环式苜蓿叶混合型,定向匝道最小平曲线半径 210m,匝道设计速度均为 60km/h,环形匝道最小平曲线半径 60m,匝道设计速度均为 35km/h[5]。

经核查,互通立交匝道设计速度与平纵指标均满足公路立体交叉设计细则要求。

3.4　伯公坳 ~ 镇隆复合式互通匝道横断面组成分析

惠盐高速伯公坳互通立交各匝道变宽方式如下:在收费站前路段采用单出入口的双车道断面(路基宽度 10.5m),收费站后路段采用单车道断面(路基宽 8.5m),匝道断面如图 2 所示。该方案有利于行车安全、保证车辆进入收费站的排队等候空间,采用的横断面型式合理。

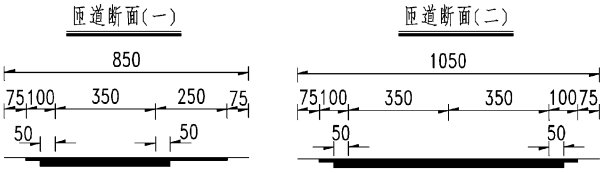


图 2　伯公坳 ~ 镇隆复合式立交匝道横断面

惠莞高速镇隆枢纽立交匝道长度超过 600m,且交通量大于 200pcu/h 的 3 条匝道(2 条半定向匝道、1 条惠州往东莞方向匝道)采用单出入口、无紧急停车带的双车道断面,全宽 10.5m,其余匝道均采用单车道 8.5m 断面。

在西集散车道出口、东集散车道入口位置,惠盐高速主线由双向六车道过渡为八车道。集散车道标准断面均采用双车道断面(路基宽度 10.5m),在靠近镇南枢纽立交位置采用单车道出

入口断面(路基宽 8.5m)。

经核查,互通立交匝道横断面组成均满足公路立体交叉设计细则要求。

3.5 伯公坳~镇隆复合式互通匝道连接部指标分析

(1)惠盐高速主线出入口分析。往深圳方向主线连续合流间距约 1032m;往惠州方向主线连续分流间距约 905m。

(2)惠盐高速变速车道各路段最小长度。东集散车道减速车道(双车道直接式)变速段长度 190m;东集散车道加速车道(双车道匝道采用单车道加速车道、平行式)变速段长度 210m,渐变段长 80m;西集散车道减速车道(单车道直接式)渐变段长 90m,变速段长度 125m;西集散车道加速车道(双车道直接式)变速段长度 355m。

(3)匝道相互分、合流连接部分析。东集散车道与伯公坳互通匝道分流渐变段长约 125m;合流渐变段长约 150m;东集散车道与镇隆互通匝道分流渐变段长约 127m。西集散车道与镇隆互通匝道合流段长约 152m;西集散车道与伯公坳互通匝道分流渐变段长约 125m;合流渐变段长约 100m。

(4)匝道上连续分、合流连接部分析。惠盐高速镇隆互通匝道连续分流鼻端间距约 216m;惠盐高速镇隆互通匝道连续合流鼻端间距约 242m;惠盐高速东集散车道连续分流鼻端间距约 234m;惠盐高速西集散车道连续合流鼻端间距约 166m。

(5)集散车道交织车道、交织段长度分析。本项目集散车道交织区车道变换方案如图 3 所示。集散车道交织区长度核查:惠盐高速东集散车道交织区长约 383m,惠盐高速西集散车道交织区长约 447m。

经核查,互通立交匝连接部指标均满足公路立体交叉设计细则要求,建议有条件时集散车道交织区车道数采用公路立体交叉设计细则推荐的局部增设交织车道,即加宽集散车道为带交织车道的三车道方案;建议有条件时对集散车道各转向交通量进行统计与预测,验算集散车道通行能力。

3.6　伯公坳~镇隆复合式互通匝道端部平面交叉

相交道路国道 205 采用设计速度为 60km/h 双向四车道一级公路标准。立交范围主线半径 810m,采用了约 3% 的超高,匝道与主路存在较大坡差;最大纵坡为 3.5%,最小坡长 165m,最大纵坡超过了平面交叉范围直行道路纵坡不宜大于 2.5% 要求;凸型竖曲线半径为 $R=3000$m。交叉形式采用主路优先的交通管制方式,主线凸形竖曲线最小半径不仅满足规范最小半径要求($V=60$km/h,$R=3500$m),存在视距不良。

经核查,互通立交匝道端部平面交叉存在主要问题为:惠盐高速伯公坳互通相交道路国道 205 纵坡过大、凸形竖曲线半径过小,应采取措施改善视距;平交口位置与国道应进行接顺;应根据渠化需要设置附加车道。

3.7　伯公坳~镇隆复合式互通标志标牌布置

从现场实地调查情况来看,互通主线及匝道、集散车道范围设置了完整的指路、警告、禁令、限速标志;设置了完整的路面标线、导向箭头、文字标记、立面标记和突起路标等标线,交通安全设施设置基本完好,满足相关规范要求。

3.8　治堵方案建议

惠盐高速公路伯公坳~镇隆复合式互通立交路段行车顺适,视距良好,平曲线半径恰当,互通立交各连接部满足规范要求,沿路标线标牌指示清晰,路侧、中分带均设置安全护栏,交通安全设施完整。结合上述调查与分析:

(1)建议有条件时集散车道交织区车道数采用图 4 所推荐的局部路段增设交织车道,即加宽集散车道为带交织车道的三车道方案;建议对集散车道各转向交通量进行统计与预测,验算集散车道通行能力,随着远期交通量的增长,有条件时采取避免车辆交织措施、或者增大交织段长度改造。

(2)惠莞高速公路作为环城高速的重要组成部分,随着惠州市经济的快速发展,交通量增长迅速。惠城往返东莞方向的出、人口目前采用双车道变单车道的出入口。建议根据广东省公路管理局关于发布高速公路出入口标线设置指南的通知[6](图 5),对惠莞高速主线外侧车道采用划实线禁止变道方案,以减少对匝道汇入车辆的影响;建议随着远期交通量的增长,有条件时对惠莞高速公路东莞方向的出、人口改造为双车道出入口。

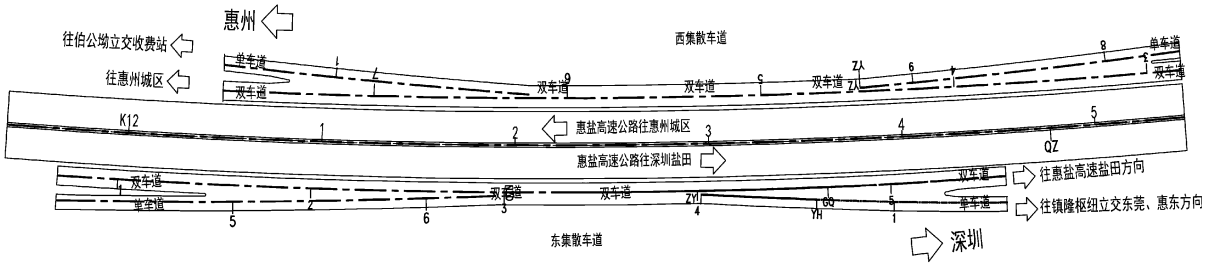


图 3　集散车道交织区车道变换方案

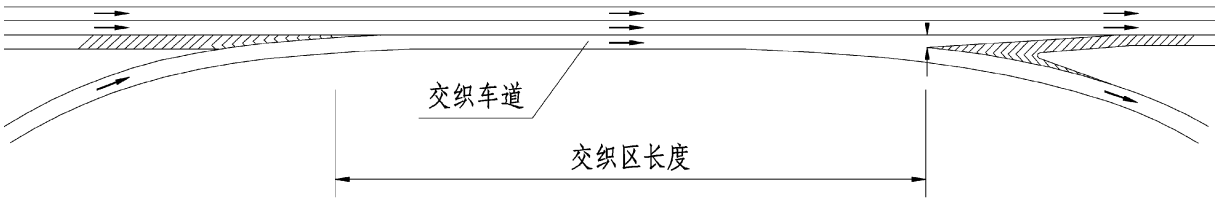


图 4　推荐集散车道交织区车道变换方案

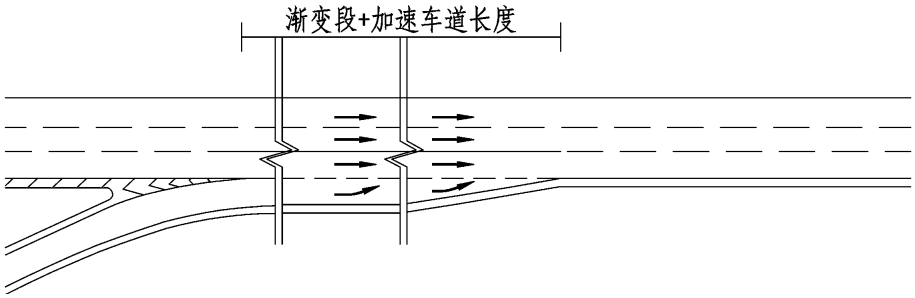


图 5　立交入口外侧车道禁止变道方案

(3)针对本互通局部集散车道路段高峰时间交通拥堵情况,建议落实执行限速,在限速路段增加摄像监控,对超速车辆违章处罚。

(4)由于惠盐高速伯公坳互通及集散车道改造了原镇隆枢纽惠东、东莞往惠州方向的入口,惠州往惠东、东莞方向的出口,开通初期可能部分车辆易误行,但有经验的司机通过沿路的标线标牌清晰指示是完全可以避免的。

(5)惠盐高速伯公坳互通相交道路国道 205 纵坡过大、凸形竖曲线半径过小,应采取措施改善视距或限速;平交口位置与国道应进行接顺;应根据渠化需要设置右转弯展宽车道[7];对距离伯公坳互通匝道平交口较近的 X204 交叉口,在有条件时采取右进右出控制。

4　结语

复合式互通立交投入营运后,随着交通量的增长,交通拥堵现象逐渐显现。本文以惠(州)盐(田)高速公路伯公坳~镇隆复合式互通立交为案例,通过该复合式互通立交设计方案各要素分析,对其交通拥堵治理方案进行了初步探讨,可为类似复合式互通立交治堵方案提供参考。

参考文献:

[1] 交通部标准. JTG T D21 - 2014 公路立体交叉设计细则[S]. 北京:人民交通出版社,2006.

[2] 中国公路工程咨询集团有限公司,广东省冶金建筑设计研究院. 惠莞高速公路惠州段改造伯公坳互通立交设计变更(惠深高速公路惠州段梧村水库中桥抢险工程)施工图设计[R]. 2011.

[3] 张文. 短间距枢纽互通立交分期实施设计方案探讨[J]. 广东公路交通,2014,(4):25 - 28.

[4] 交通部标准. JTG D20 - 2006 公路路线设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2006,29 - 44.

[5] 中国公路工程咨询总公司. 惠州惠东至东莞常平高速公路惠州段施工图设计[R]. 2006.

[6] 广东省公路管理局. 关于发布高速公路出入口标线设置指南的通知(粤公路函〔2016〕705 号)[Z] 2016 - 11 - 16.

[7] 住房和城乡建设部标准. CJJ152 - 2010 城市道路交叉口设计规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010,12.

地铁盾构下穿桥梁桩基安全性分析

许　越

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

摘　要: 随着城市建设以及轨道交通建设的飞速发展,地铁盾构将不可避免的下穿现有的各种构造物,如何确保构造物的安全是不容忽视的问题。本文以某地铁盾构区间下穿现有高速公路桩基工程为依托,采用有限差分数值分析软件 FLAC^{3D}建立三维模型,通过模拟高速公路桥梁桩基托换与地铁盾构隧道开挖的全过程,分析了桥梁桩基的受力与变形、盾构隧道掘进过程中的管片受力与变形等,进而进行安全性分析,并对施工方案提出优化建议,为其他类似工程提供参考。

关键词: 盾构区间;高速公路桥梁桩基;下穿;三维模型

0　引言

随着我国国民经济的快速增长,城市公共交通压力也随之增大。为缓解地面交通压力,优化城市规划,方便市民出行,轨道交通被广泛应用于各大城市之中。但由于既有建(构)筑物密集和现有城市道路的制约,地铁下穿建(构)筑物的情况十分普遍。因此,必须根据盾构隧道与实际建(构)筑物的关系,采取有效、安全的施工措施来保证隧道开挖与既有建(构)筑物的结构安全。基础托换技术是一种难度较大、费用较高、工期较长和责任性较强的建筑技术。国内外已有不少成功的桩基托换先例,如美国纽约地铁、日本京都地铁车站、广州地铁站、深圳地铁穿越百货广场大厦和穿越广深铁路桩基托换工程等,在设计、施工、监测等方面积累了一定的经验。目前桩基托换施工主要采用主动托换技术,即在既有桩基卸载前,对新桩以及托换体系施加荷载,将上部荷载和变形运用顶升装置加以动态控制。本文以某地铁盾构区间下穿现有高速公路桩基工程为依托,采用有限差分数值分析软件 FLAC^{3D}建模对桩基进行安全性分析,并对现有设计、施工方案提出优化建议。

1　工程简介

某地铁隧道区间下穿高速公路,隧道左右线间距约为 9.0 ~ 22.0m,隧道结构顶板埋深为 13.50 ~ 24.3m;底板埋深为 19.5 ~ 30.3m,平均埋深为 26.60m。设计采用盾构法施工。

图 1　项目地理位置图

本区间原始地貌为海冲积平原,因城市化建设,沿线场地已经过人工改造,现状为城市道路、居民小区,地形较为平坦。区间的场地条件较复杂,两侧及顶部地面的建(构)筑物较多,场地内管线复杂,主要有电力电缆、雨水、给水、污水、燃气和路灯等。隧道下穿高速桥桩段,在揭露深度内地层自上而下有杂填土、淤泥质粉质粘土(含淤泥质砂)、粉质粘土、粉砂、细砂、中砂、粗砂、卵石、全 ~ 中风化花岗岩层。隧道下穿高速公路段围岩类别综合分级为Ⅵ级。

2　隧道设计及施工方案

2.1　隧道设计方案

隧道区间采用盾构法施工。盾构区间采用

直径为 6.0m 圆形钢筋混凝土管片断面，隧道的净空尺寸为 $D=5400$mm，衬砌采用预制装配式 C50 钢筋混凝土平板形管片单层衬砌，衬砌厚 30cm。

2.2　隧道与高速公路位置关系

高速公路互通立交特大桥与地铁隧道交叉段为简支变连续的空心板梁桥，地铁下穿段下部为承台上两桩墩，墩身为圆柱形和方形两种。桩基为 Φ1.2m 的钻孔灌注桩，为端承桩，桩尖嵌入中等或弱风化岩层。盾构隧道下穿高速公路桥梁段共有 6 处冲突，分别为高速公路桥 R22 号桥桩 2#、R23 号桥桩 2#及 3#、R24 号桥桩 1#、L23 号桥桩 1#和 L24 号桥桩 1#。除 R23 号桥 3#桥桩距隧道顶 8.2m，不需桩基托换外，其余 5 处均需桩基托换。

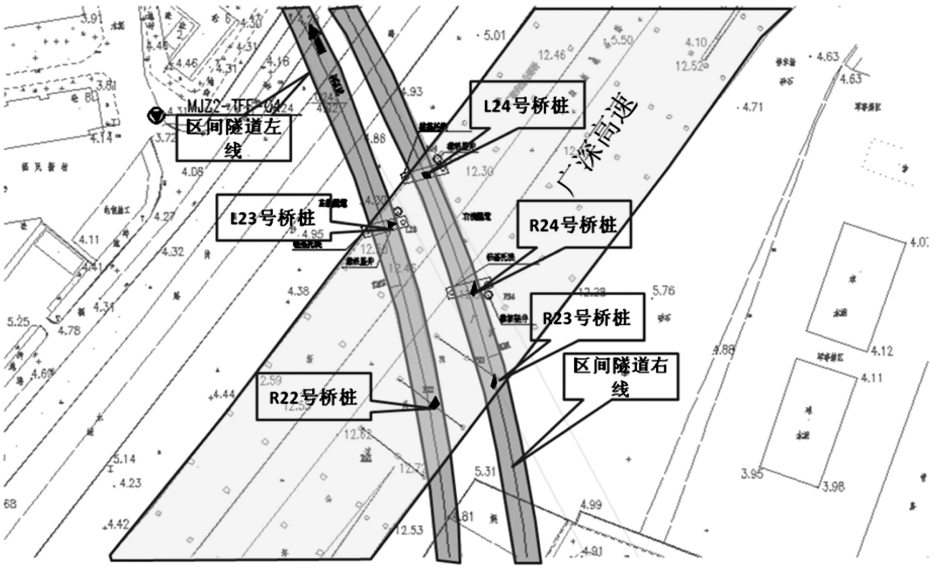


图 2　区间隧道与高速平面（桥桩）关系图

2.3　施工工序

2.3.1　桩基托换

（1）托换承台基坑开挖与支护

桩基托换临时基坑深约 4.9m，基坑安全等级为二级，高速左线桥桩基托换基坑采用钻孔桩加水平支撑杆形式，右线桥桩基托换施工基坑使用土钉墙作为围护结构。

（2）施工托换桩和桩帽

托换桩桩径均采用 1.5m。

（3）承台浇筑

托换承台尺寸为 12.0m×3.0m×3.0m，采用 C35、P8 级混凝土。

（4）预顶

（5）截桩及顶升调整

（6）封桩

（7）基坑回填

2.3.2　竖井截桩

预备开挖的竖井周围做双排直径 0.6m 的旋喷桩，咬合 0.2m，形成竖井开挖的止水墙。竖井内径 2m，C20 混凝土护壁厚 20cm，竖井开挖深度至盾构隧道底面以下 1.2m，截桩范围为隧道拱顶以上及隧道底面以下各 50cm。

2.2.3　盾构施工

桩基托换、竖井截桩等工序完成后，盾构掘进通过该段。

3　结构计算分析

3.1　安全控制标准

3.1.1　相关规范的规定

公路相关规范中，没有专门针对地铁下穿公路桥梁时桥梁容许变形的条文规定，需要参考各规范中的相关内容。根据《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG D63－2007）第 4.3.3 条，墩台的沉降，应符合下列规定：

（1）相邻墩台间不均匀沉降差值（不包括施工中的沉降），不应使桥面形成大于 0.2% 的附加

纵坡(折角)。

(2)外超静定结构桥梁墩台间不均匀沉降差值,还应满足结构的受力要求。

3.1.2　地铁下穿高速公路桥梁段安全控制标准

根据上述规定并结合类似工程经验,确定地铁下穿高速桥梁段的安全控制标准如下:

(1)纵向相邻墩台不均匀沉降差值,不应使桥面形成大于 0.2% 的附加纵坡,其值≤30mm(跨度 15m);

(2)横向桥梁墩台间不均匀沉降差值,应满足墩台上盖梁的受力要求,一般不大于 5mm;

3.2　三维数值分析模型的建立

3.2.1　数值模型的建立

采用有限差分数值分析软件 FLAC^{3D} 进行计算,图 3 为建立好的三维计算模型图,其中 X 轴方向为水平方向、Y 轴正方向为盾构隧道轴向方向、Z 正方向竖直向上。建立好的模型尺寸为:100m ×110m ×60m,盾构隧道顶部埋深 24m,三维计算模型共划分为 124.3 万个单元。

地铁与高速高架桥为斜交关系,从高速 R22、R23、R24、L23 及 L24 五桥桩下穿过。其中 R22 的 2 号桩、R23 的 2 号桩、R24 的 1 号桩,L23 和 L24 的 1 号桩位于即将修建的盾构隧道范围内,故对这五根桩进行了桩基托换,新建的托换桩嵌入盾构隧道两侧下部的地层中,成为新的承载体系。

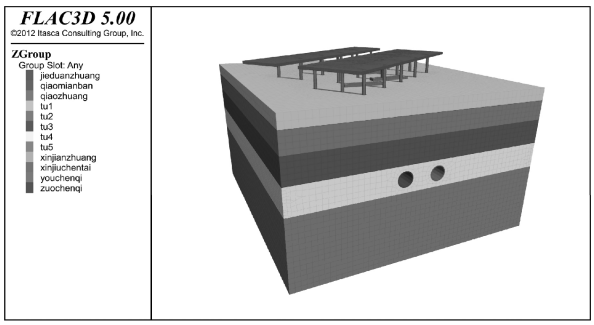


图 3　三维分析模型

3.2.2　计算参数的取值

盾构隧道下穿高速桥梁桩基的三维数值计算中的地层和相关结构的几何参数为实际设计值,物理力学参数参考地勘和设计文件。计算中,各土层采用摩尔 - 库伦弹塑性本构模型,桥面板和桩基、承台及盾构隧道管片衬砌采用弹性模型,各材料的具体参数见下表 1。

表 1　各材料具体参数表

材料	密度/(kg/m^3)	弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
素填土	1910	8	0.35	10	10
粉质粘土	1980	10	0.32	23	20
砂土	2030	25	0.30	30	25
强风化花岗岩	2100	60	0.28	35	28
中风化花岗岩	2570	800	0.26	150	35
桥面板	2500	28	0.2	-	-
承台	2500	28	0.2	-	-
桥桩	2500	28	0.2	-	-
管片衬砌	2500	30	0.2	-	-

3.2.3　施工过程的模拟和实现

为近似模拟地铁下穿高速的桩基托换与盾构隧道掘进的施工过程,数值模拟中的施工过程为:

(1)激活土层,模型的四周和底部的边界条件为法向约束,地表为自由边界条件,在自重条件下求解至平衡,位移清零。

(2)激活高速桥面板和桥梁桩基,并在桥面板施加路面面层荷载,求解至平衡,位移清零。

(3)激活托换承台和托换桩,对被托换的五根

桩基进行截断,求解桩基托换后桩基的受力变形状态。

(4)盾构隧道的开挖,每次盾构掘进的进尺为 2.5m,总计 44 个施工步,每次开挖后及时施作管片衬砌结构并在掌子面处施加 85kPa 的顶推力来模拟复合式土压平衡盾构进过程中的土舱压力,下一步开挖时撤销上一步的顶推力,并施加新的顶推力模拟土舱压力。

3.3　桩基托换过程的受力转换机理

3.3.1　托换前桥梁桩基受力分析

表 2 为计算中高速公路原有桥墩及桩基在托换前的最大主应力,托换前各桥梁桩基的最大主应力基本相同。

表 2　高速公路原有桥墩及桩基托换前最大主应力(MPa)

L22	L23	L24	R21	R22	R23	R24	R25
0.880	0.874	0.947	0.919	0.971	0.978	0.952	0.899

3.3.2　托换后桥梁桩基受力变形分析

根据三维计算中高速公路桥墩及桩基在托换后的最大主应力图以及高速公路桥墩及桩基在托换后的竖向位移图得出表 3。

表 3　各桩最大主应力及最大沉降差

项目	L22	L23	L24	R21	R22	R23	R24	R25
最大主应力/MPa	0.862	0.837	0.884	0.910	0.930	0.913	0.874	0.867
沉降差/mm	0.07	1.08	0.82	0.05	0.96	0.94	0.78	0.12

3.3.3　桩基托换的受力转化机理分析

由于对 R22、R23、R24、L23 及 L24 五组桥桩进行了桩基托换,此五组桥桩在托换之后产生了较大沉降,沉降差最大的为 L23 桥桩,最大沉降差为 1.08mm,沉降差最小的为 L22 桥桩,最小沉降差为 0.07mm。对五组桥桩进行了桩基托换后,桥桩的最大主应力有所降低,从平均 0.928MPa 降低为平均 0.884MPa。托换前后,各组桥桩的应力分布都比较平均。

3.4　盾构隧道对桩基的影响分析

3.4.1　隧道施工过程中桩基沉降分析(不计托换过程中沉降变形)

图 4 ~ 图 11 为三维数值计算中地铁在盾构隧道施工开挖过程中,高速公路原有桥梁桩基和新建托换桩的沉降变化曲线。

从 R21 桩的沉降变化曲线可以看出:各桩基受盾构隧道开挖施工影响,会有一定沉降变形产生,在盾构隧道开挖到达桩基断面前会有一定的先行位移产生,随后在盾构隧道掘进过程中急剧增大,当盾构隧道通过桩基断面后,沉降位移逐渐收敛。沉降变形随距隧道距离的增大而逐渐减小。

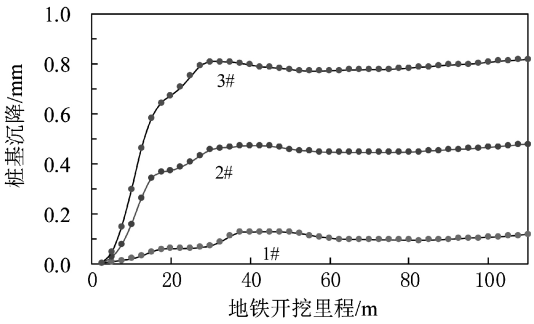


图 4　R21 桩的沉降变化曲线

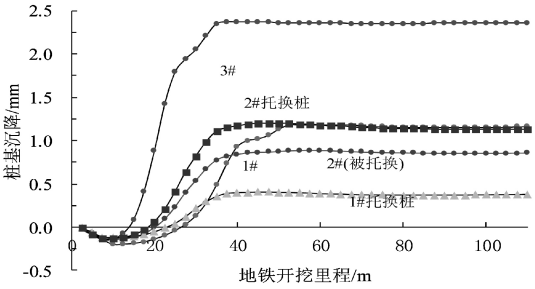


图 5　R22 桩的沉降变化曲线

从 R22 桩的沉降变化曲线可以看出:桩基托换后,新建桩较好的承受了原有被托换桩的荷载,很好的控制了原有桩基的沉降变形。另外,计算结果显示在盾构隧道掘进里程未达到桩基断面前会产生轻微的隆起变形,分析认为这跟复合式土压平衡盾构隧道开挖过程中施加的掌子面土舱压力有关,复合式土压平衡盾构会直接影响到开挖面附近土体的变形情况,对掌子面前方的土体稳定性提供支撑。

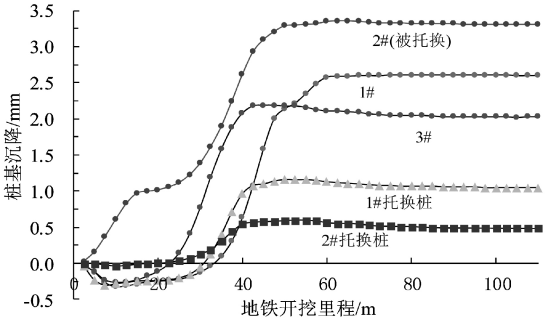


图 6　R23 桩的沉降变化曲线

从 R23 桩的沉降变化曲线可以看出:由于 R23 桩位于下穿盾构隧道上方,受盾构隧道开挖影响较大,被托换的 2 号桩桥墩顶沉降量达到 3.36mm,沉降差为 1.36mm。而两根托换桩的沉降量为 1.16mm 和 0.60mm,沉降差为 0.56mm。原有桩基和新建托换桩的沉降变形均随与盾构隧道净距的增大而减小。

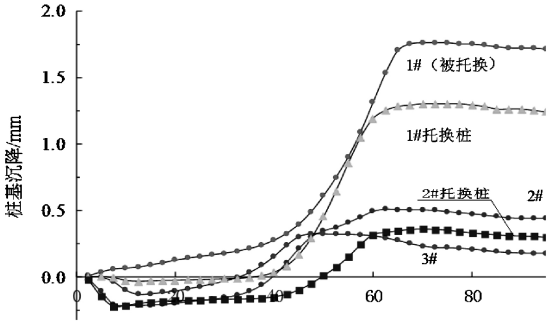


图 7　R24 桩的沉降变化曲线

从 R24 桩的沉降变化曲线可以看出:各桥墩顶的沉降量分别为 1.76mm、0.51mm 和 0.32mm,沉降差为 1.44mm。两根托换桩的沉降量为 1.34 和 0.36mm,沉降差为 0.98mm。

从 R25 桩的沉降变化曲线可以看出:由于 R25 桩离盾构隧道的距离较大,受盾构隧道施工影响较小,沉降变形量不大。且盾构隧道掘进通过桩基断面后,桩基的沉降变形有所回落。

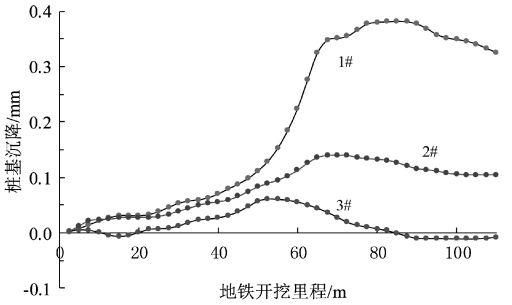


图 8　R25 桩的沉降变化曲线

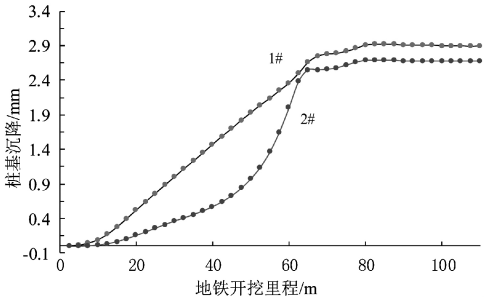


图 9　L25 桩的沉降变化曲线

从 L25 桩的沉降变化曲线可以看出:由于 L25 桩与新建盾构隧道的净距仅为 2.9m,所以 L25 桩的沉降变形量较大,但总体来说均控制在安全控制标准内,且两根桩基的差异沉降并不大,较小的沉降条件下并不会引起桥梁较大的受力变化,能够满足结果受力要求。

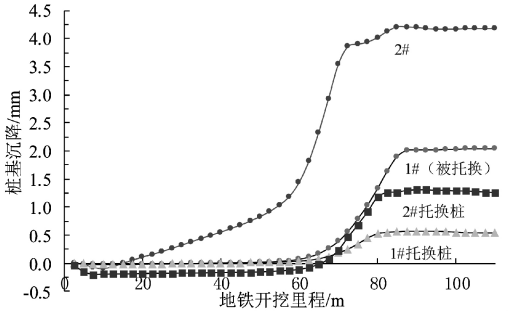


图 10　L23 桩的沉降变化曲线

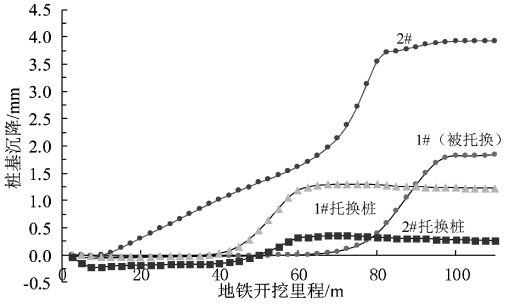


图 11　L24 桩的沉降变化曲线

从 L23、L24 桩的沉降变化曲线可以看出：新建托换桩对被托换桩的沉降变形起到了较好的控制作用。相比高速右线相比，由于左线只设有两根桥桩，导致其桩基沉降量较右线桩基有所增大，但均控制在安全控制标准内。从变形规律上看，被托换桩的变形较非托换桩的变形延后，这是因为托换承台和托换桩对被托换桩的受力起到了较好的承载效应。

3.4.2　隧道开挖后桩基受力变形分析

根据三维计算中高速公路桥梁桩基在隧道开挖后的最大主应力图、竖向位移图以及托换后的最大 X 方向位移图可得出表 4。

3.5　盾构隧道管片的受力变形分析

3.5.1　盾构施工过程中的拱顶沉降分析

根据靠近五处托换桩基断面位置的盾构隧道掘进过程中的管片衬砌结构的沉降变化曲线，可以看出，盾构隧道的沉降变形是随着盾构隧道施工逐渐演化的过程。在盾构隧道掘进面未达到监测断面之前，因为前方的地层损失和受掘进扰动影响，监测断面会有一定程度的先行位移。一般在盾构掘进面前方 15m 位置，初期沉降变形开始产生，拱顶沉降的速率随掘进里程的推进逐渐增大。盾构隧道掘进过后，由于管片衬砌的施作，隧道拱顶沉降逐渐收敛，在盾构隧道掘进过 5m 后，监测断面的沉降变形逐渐趋于稳定。

表 4　隧道开挖后各桩最大主应力、沉降差及 X 方向位移

项目	L22	L23	L24	R21	R22	R23	R24	R25
最大主应力/MPa	0.800	1.132	0.859	0.777	1.173	0.852	0.845	0.783
沉降差/mm	0.65	0.55	1.41	0.45	2.44	1.36	1.44	0.46
最大 X 方向位移/mm	2.56	1.58	4.34	2.49	2.15	2.43	1.34	1.76

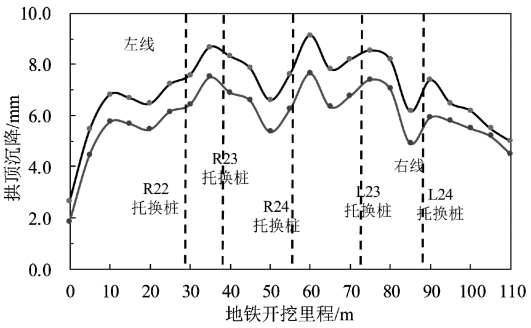


图 12 盾构隧道掘进过程中的拱顶沉降量曲线（近桩 L24）

上图为各个监测断面在整个盾构隧道掘进中的拱顶沉降量曲线。盾构隧道下穿桥梁桩基施工导致隧道周围土层一定范围内产生应力重分布，宏观上表现为地层变形。可以看出，在距桥梁桩基较远处，盾构隧道的沉降变形量较小。而在桥梁桩基附近，受桩基的侧摩阻力和桩端部的荷载影响，盾构隧道的沉降量将显著增大。在托换桩附近断面，由于新建托换桩深入盾构隧道两侧具有良好承载能力的地层，能够较好传递上覆桥梁荷载，导致被截断桩断面（应是所有断面中的最薄弱面）的沉降量并不是最大的。各个监测断面中，盾构隧道左线的最大拱顶沉降为 9.14mm，右线为 7.66mm，左线的拱顶沉降量大于右线隧道的拱顶沉降量。

3.5.2　盾构隧道开挖后管片的受力变形分析

左洞隧道管片衬砌最大应力为 7.57MPa，右洞隧道管片衬砌最大应力为 8.77MPa。

其中左洞隧道管片衬砌最大 X 方向位移为 2.04mm，右洞隧道管片衬砌最大 X 方向位移为 1.84mm。

左洞隧道管片衬砌最大沉降为 13.26mm，右洞隧道管片衬砌最大沉降为 12.02mm。

3.6　计算结果

根据新建地铁与高速公路桥梁桩基的相对位置关系，建立了三维计算模型，通过模拟高速公路桥梁桩基托换与地铁盾构隧道开挖的全过程，分析了桥梁桩基的受力与变形、盾构隧道掘进过程中的管片受力与变形等，可以知道新建地铁盾构施工下穿高速桥梁期间，高速公路桥梁桩

基的不均匀沉降变形控制在允许值范围内,但总沉降值偏大。

4　结论及建议

4.1　桩基托换及盾构施工

根据计算结果,桩基总体沉降量偏大,原设计为 27.5m 桩,建议增加桩长,进一步减少沉降量,保证桥梁上部结构安全。在盾构掘进前对托换桩基周边地层进行注浆加固处理,改善地层条件,减小桩基沉降。

4.2　对指导性施工方案的优化建议

根据计算分析,在施工前对高速桥梁进行必要的检测,作为施工期间及施工后对桥梁质量影响评定的基础信息。在施工过程中桥梁桩基及上部结构的监测,并制定相关风险控制措施。施工期间应根据实际情况与公路相关部门协调做好应急预案,确保公路运营的绝对安全,当发现危险征兆时,应立即启动应急预案。

盾构机开挖直径 6280mm,与托换桩净距仅 86cm,盾构下穿桥梁段施工时,应严格控制掘进参数,对盾构机的推进速度、顶进力、同步注浆技术、二次注浆等严格控制,加强掘削面的稳定控制技术,严格控制超挖和盾构偏移,使对桩基影响降到最低。在施工时应做好地表监控量测,根据监测结果调整盾构机推进速度、掘进参数以及加强注浆技术,确保地表沉降控制在允许范围内。建议盾构推进前,应建立试验段,掌握地面沉降与盾构掘进参数之间的关系,为盾构下穿掘进参数的准确设定提供最直接的依据。

该段施工结束后,对桥梁桩基沉降、托换梁变形及裂缝、地表沉降等监测内容应持续一段时间,确保监测数据收敛稳定后方可结束。

参考文献:

[1]苏洁. 浅埋暗挖隧道施工对邻近桩基的影响及其控制[D]. 北京:北京交通大学,2009.

[2] 唐卫涛. 地铁隧道盾构施工对周围桩基的影响研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.

[3] 毕经东. 地铁施工中的桩基托换技术研究[D]. 石家庄:石家庄铁道学院,2007.

[4] 陈育民. FLAC/FLAC^{3D}基础与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.

广深珠高速公路有限公司数据中心存储方案研究

姚　杰
（广东省交通规划设计研究院股份有限公司，广州 510507）

摘　要：自从全省实施“一张网”以后，全省的通行路线更加复杂，而在新的形势下，逃费方式更加呈现出多样化、集团化，给我们防逃打逃工作造成极大的困难，特别是针对逃费证据链的收集。在众多逃费方式中，以无卡、坏卡、恶意屏蔽通行卡的方式较为恶略。按照相关的规定，对于无卡、坏卡的车辆，一般都是按照可达最远程进行收费，但实际业务中，由于部分恶意司机会在现场进行纠缠，既影响了整体的通行效率，又造成不良的社会影响，路段业主为了规避不良的社会影响，一般收费现场会按照司机报入口的方式进行收费，这不但对业主造成损失，同时滋长了司机逃费的势头。

关键词：数据中心；图片存储；查询效率

1　技术体系现状

完善的证据链是对逃费车辆进行打击的重要手段，而在整个技术体系中，作为证据链中核心的出口图片、入口图片目前主要存储在车道收费系统工控机上。当某路段需要跨路段查询其他路段入口信息时，需要从车道通过路段向省运营平台发起请求，由省运营平台再通过目标路段访问该路段车道工控机的图片，数据的传输链路较为复杂，不但查询效率较低，而且给收费系统的工控机造成一定的压力。

广东省运营管理协会为了保证各路段对逃费车打击时有完善的证据链，曾考虑将各路段出入口图片、高卡图片抽取到省中心进行集中存储，但由于全省出入口图片以及高卡图片数据量较大，集中存储对收费网的网络影响较大，可能由于存储大量图片而影响收费。

2　解决思路

2.1　目标

（1）针对图片建立基于路段级别的数据中心，对入口图片、出口图片、高卡图片、绿通图片进行集中存储，并进行统一管理。

（2）通过对全省特殊事件的图片建立“图片流水”，解决“无卡车”、“坏卡车”、“恶意屏蔽卡车”的路径还原问题。

（3）规范化对出入口流水、出入口图片、以及高卡流水、高卡图片的调用，更好地保护用户的数据。

2.2　实现思路

2.2.1　图片集中存储

在路段构建一个数据存储中心，主要用于存储各种海量数据，并对海量数据进行规范化管理，本阶段重点存储出口图片、入口图片、高清卡口图片、绿通图片。将出口图片、入口图片进行集中存储，不但方便管理，而且可以有效减轻车道工控机的图片查询压力。

为了支撑高速公路业务的整体运作，特别是针对海量的出入口图片、高清卡口图片的集中存储，同时解决传统架构难以管理、形成信息孤岛问题，可采用基于集中存储服务的在基础架构。

2.2.2　重构入口信息查询业务体系

路段数据存储中心实现图片和流水集中存储。同时对无流水的特殊事件通行记录，将建立车牌与图片对应流水（包括车牌、车牌颜色、路段、出口站、车道、特殊事件编码、日期、图片 ID），并将图片流水上传到省运营平台，由省运营平台建立统一的接口对图片进行查询。

图片集中存储后，将重建无卡和坏卡时入口信息查询体系。构建入口信息快速查询体系。

2.2.3　优化入口查询接口

车道程序增加依据车牌查询入口信息功能,满足无卡查询入口信息功能;优化高卡查询功能,当无法查询入口信息时,可最大化准确地确定车辆的行驶路径。

3　解决方案

3.1　广东省运营管理平台

(1)对各路段上传的图片流水(包含特殊事件图片保存位置、车牌、车牌颜色、图片类型等信息)抽取到省运营管理平台进行集中存储。

(2)实现针对车牌入口信息查询接口,支持无卡条件下入口信息查询。优化高卡查询路径方式。

3.2　路段中心

(1)图片集中存储。通过文件服务实现出入口图片、高卡图片的集中存储。

(2)提供全方位图片查询接口。路段提供查询服务接口供其它路段和营运平台进行调用访问(兼容原来的流水查询接口),可依查询要求向平台和路段提供出口图片、入口图片、高卡图片、绿通抓拍图片的查询。

3.3　车道

(1)车道收费系统提及卡号查询入口信息功能;

(2)车道系统提供依车牌查询入口信息功能;

(3)车道系统提供高卡查询功能,依高卡路径确定收费路径。

3.4　软件系统功能实现

本方案中读取图片流程。目前查询效率低,一方面因出入口图片存储在车道,查询的环节比较多;另外路段到车道的网络也存在一定的不稳定性,造成查询成功率和延时比较大。针对这种现状,新的方案将通过把车道图片上传到路段,实现集中存储,减少查询的环节,提升查询的成功率。新模式下,图片查询业务流程如下:

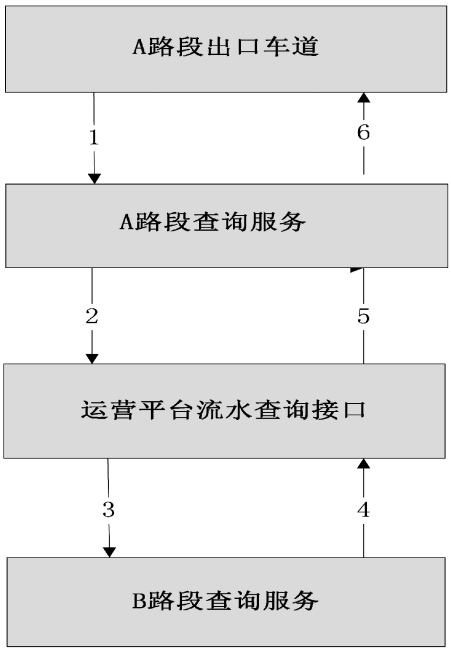
(1)A 路段出口车道向 A 路段图像服务器发起入口图片查询请求。

(2)A 路段图像查询服务接收查询指令后,向运营平台转以图像查询请求。

(3) 运营平台接收到 A 路段的查询指令后,再向 B 路段的图像服务发起查询。

(4)B 路段图像服务收费查询指令后,到 B 路段图像服务器中获取入口图片。

(5)查询到图片后再依原路逐级返回给 A 车道。



从上图的查询过程分析,图片查询涉及到 6 个步骤的查询。克服了 B 路段的车道查询环节,查询成功率会明显提高。

3.5　基础架构解决方案

3.5.1　数据量评估

路段名称	入口流水		
	月	年	年存储空间
广深高速	12733167	152798004	45.8394012

路段名称	出口流水		
	月	年	年存储空间
广深高速	12608544	151302528	45.3907584

根据以上车流量进行估算:

广深所需存储空间为:(45.84T + 45.39T) / 2 = 45.62T(按保存半年计算)

考虑到冗余和预留未来 5 年车流量的增长对存储空间的需求,建议配置 60T 以上存储空间。

3.5.2　存储介质评估

存储的介质的选择可分为传统集中式存储与软件定义的分布式存储,分布式存储方案利用可将数据分散存于服务器,对服务器存储资源进行抽象化处理,以支持存储的池化、复制和按需分发。这使存储层与虚拟化计算层非常相似:都具有聚合、灵活、高效和弹性扩展的特点,全面降低了存储基础架构的成本和复杂性。

随着服务器性能的增强,软件定义的存储解决方案可让企业利用廉价的行业标准计算硬件来扩大其存储资源。利用固态硬盘和大容量硬盘作为虚拟机的共享存储,可获得高性能、内置的恢复能力和动态可扩展性,并将存储总体拥有成本降低 50% 之多。

通过建立服务器直连硬盘和固态硬盘(HDD 和 SSD)集群,分布式存储可创建专门针对虚拟机设计和优化的分布式共享数据存储。将分布式存储应用于出入口图片应用,不仅能够满足大量测试环境对存储的性能要求,而且还能大幅降低集中式存储的可靠性风险。

3.5.3　网络带宽评估

绿通车的图像可以采用滞后上传到路线中心应用系统,因此只需要统计出入口图像的带宽大小:

计量单位	图像上传带宽大小	总带宽要求
1 秒	3MB	24Mbps
峰值按 3 倍计算	9MB	72Mbps

按一般调用情况,目前路段 30Mbps 的 MPLS VPN 可以满足带宽需求,当未来调用量增大时,可通过扩容 MPLS VPN 带宽满足需求。

4　结束语

(1)通过在路段建设数据中心对出入口图片、高卡图片进行集中存储,减少无卡和坏卡时入口信息查询环节,可大大提高查询效率和查询可靠性。

(2)针对全省的特殊事件出入口图片建立“图片流水”,并可以通过车牌、车牌颜色对车辆的图片进行查询,可以有效地解决无卡、坏卡的无入口车问题。

参考文献:

[1] 李骋. 嵌入式图片传输系统在联网收费中的应用. 中国交通信息产业, 2006(3).

[2] 王忠华. 高速公路数据信息集中存储整合方案. 中国交通信息产业,2011(1).

[3] 罗小荣. 高速公路全网数字化视音频、数据传输及存储的应用技术. 公路交通科技,2009(4).

桥梁索杆检测技术研究与应用

姚响宇[1,2],林阳子[1,2,3]

(1. 广东盛翔交通工程检测有限公司, 广州 511400;2. 广东和立土木工程有限公司, 广州 511400;
3. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

摘　要: 本文阐述了桥梁索杆爬索机器人检测技术、磁致伸缩导波检测技术及振动法索力测试的原理及其优势;通过室内试验和实桥导波检测,充分验证了索杆导波检测技术的先进性和可靠性,试验缺陷定位误差小于 3%;开展了索力振动测试法温度影响研究,当温度变化在 -20 ~ 20℃之间时,温度对频率测试的影响系数为 0.9999 ~ 1.0001,由此可知温度对振动法测试索力的频率影响可以忽略不计。

引　言

由于我国在桥梁新材料、新技术和力学计算方面的科技进步,近年来建造了大量的索体系桥梁。索结构作为桥梁主要受力构件,其耐久性、工作状况、受力状况对桥梁安全运营有很大影响。由相关文献可知已有若干索结构桥梁发生了断索事件,造成了重大的经济损失和人员伤亡[1]。因此必须对桥梁索结构进行定期检测,合理评价在役桥梁索结构的工作状况,指导相关的养护工作,保证桥梁的安全运营。

本文阐述了桥梁索杆爬索机器人检测技术、磁致伸缩导波检测技术及振动法索力测试的原理及其优势;通过室内试验和实桥导波检测,充分验证了索杆导波检测技术的先进性和可靠性;采用振动法测试索力考虑了索杆弯曲刚度、边界条件等影响,但没有考虑温度影响,因此需进一步研究温度对索力测试的影响。

1　桥梁索杆外观爬索机器人检测技术

为了掌握索结构 PE 护套的外观质量,可利用新型检索机器人进行索结构外观质量检测[2,4]。新型检索机器人由 4 个主动轮组成,主动轮通过弹簧连接,以使机器人夹紧在索结构上,通过调整滚轮间距可方便安装于不同直径的索杆上。由于行走滚轮组合成“V”字形,可防止车体偏离索杆。机器人视觉检测系统由摄像机、控制器和存储器组成,当检索机器人在索杆上行走时,控制器以循环的方式将摄像机录制的图像实时传输给数据存储器,再通过无线传输子系统将数据传输到地面监控系统的 PC 机上。

新型检索机器人的主要技术优势:

(1)强适用性:通过调整主动轮上行走滚轮间距可方便安装于不同直径的拉索;且主动轮间用弹簧连接,可跨越缠绕线、破损等障碍。

(2)智能便捷:动力系统内置于机器人内部,无需外部供电;通过无线控制调节机器人在拉索上自由前进、后退以及悬停,高空采集视频实时无线传送到地面接收端并保存。

(3)高度保真:经滤光及焦距调节等处理,拍摄视频图像无变形等失真现象。

(4)安全高效:取代人员高空检测作业,保证检测工作的安全、高效的开展。

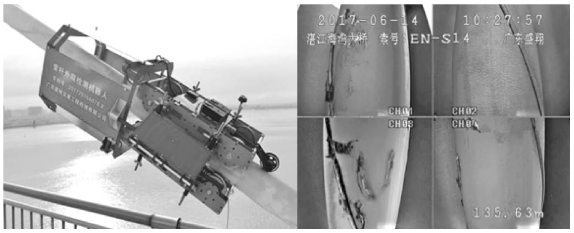


图 1　新型爬索机器人及检测效果图

2　桥梁索杆内部锈蚀断丝导波检测技术

索杆磁致伸缩导波检测技术是利用电磁场和桥梁索杆中铁磁材料的磁致伸缩效应及其逆效应实现检测[2~4]。当索杆激励线圈通电后会

立即在激励处发生磁致伸缩效应，在索杆内形成弹性波，即结构导波。该弹性波将沿索杆轴向两个方向同时传播，当索杆的钢丝束中存在缺陷时，该弹性波将发生反射和透射。索杆内部缺陷导波致使其磁感应强度发生变化，从而引起接收线圈中的电压变化，通过测量电压信号的变化反应索杆的缺损状况，索杆磁致伸缩导波检测原理图如图 2 所示。

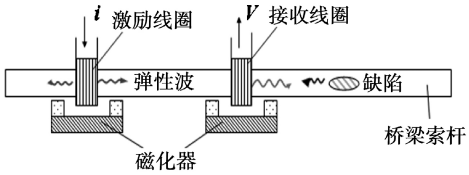


图 2　索杆磁致伸缩导波检测原理图

索杆磁致伸缩导波检测技术运用于某斜拉桥、拱桥的索结构现场检测如图 3 所示，该无损检测技术相对于其他检测方法的优势在于：

图 3　磁致伸缩导波技术运用于桥梁索杆检测的现场照片

（1）无损先进：采用桥梁索杆内部锈蚀断丝磁致伸缩导波无损检测技术取代了人工进行损伤破损检查所需的大量工作，并避免了破损检测对桥梁索杆防护系统造成的严重损害；且因该技术不需全索范围爬索检测不对 PE 造成磨损，大大提高了检测效果和检测技术水平。

（2）简便高效：传感器安装便利，仅在桥面附近索段安装传感器即可实现全索范围内检测；检测耗时短，检测一根索约耗时 5min。

（3）准确高精：通过在无损检测确定的锈蚀断丝位置进行局部 PE 开窗验证；较理想检测状态下，可分析判断出 2% 以下的金属截面损失，能准确掌握索杆内部钢丝的技术状况，防止桥梁索杆的不及时维护或换索，同时防止盲目的换索工作带来的经济损失。

（4）无扰交通：可在不封闭交通的情况下开展桥梁索杆内部锈蚀断丝检测工作，减少了交通封闭带来的经济损失。

3　桥梁索力振动测试法

索股平衡微分方程：

$$\rho\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}+EI\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}-T\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=0$$

（1）当索的抗弯刚度可以忽略时，按下式计算索力[5]：

$$T=\frac{4\rho L^2 f_n^2}{n^2}$$

（2）当索的抗弯刚度不可忽略，且索两端约束条件可简化为简支时，按下式计算索力[5]：

$$T=\frac{4\rho L^2 f_n^2}{n^2}-\frac{n^2\pi^2 EI}{L^2}$$

（3）当索的抗弯刚度不可忽略，在 $\xi\geqslant 50$（反映索抗弯刚度影响大小的参数）且索两端约束条件为嵌固时，按下式计算索力[6]：

$$T=\frac{\xi^2 EI}{L^2}$$

$$f_n'=f_n\left(1+\frac{2}{\xi}+\frac{4+\frac{k\pi^2}{2}}{\xi^2}\right)$$

f_n' 为索实测频率，f_n 为不考虑抗弯刚度时索第 n 阶频率。

采用振动法测试索力考虑了索杆弯曲刚度、边界条件等影响，但没有考虑温度影响，因此需进一步研究温度对索力测试的影响。

4　桥梁索杆导波检测技术试验

4.1　索杆导波检测室内试验

对平行钢丝型号为 121Φ5 索杆进行检测时，激励接收传感器的布置如图 4 所示，索杆在负载情况下进行导波无损检测，试验中采用低频率进行检测，得到的检测信号如图 5 所示。

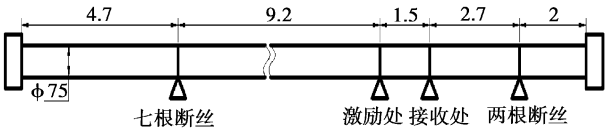


图 4　索杆室内断丝试验布置图

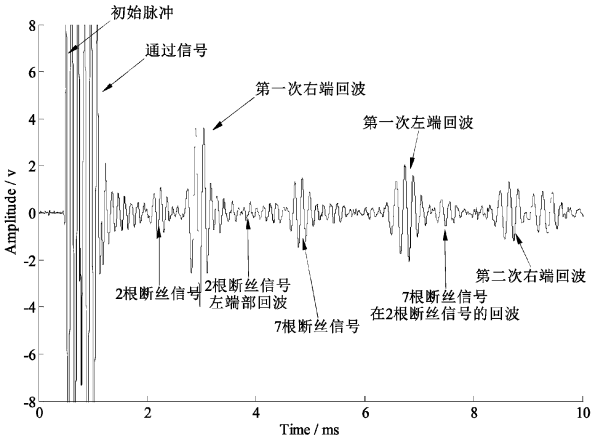


图 5　索杆室内断丝试验的检测信号

从图 5 可以看到其中包括电磁脉冲、通过信号、缺陷回波及端部回波信号等,当索杆激励线圈通电后会立即在激励处发生磁致伸缩效应,形成弹性波,该弹性波将沿索杆轴向两个方向同时传播。由于激励传感器和接收传感器之间的距离较近,同时激励频率较低,导致电磁脉冲信号与第一次通过信号产生了较明显的叠加,但通过获得信号叠加的起始位置可以确定通过信号的到达时间 0.297ms,根据弹性波传播的距离 1500mm,可得弹性波速度为 5050km/s。

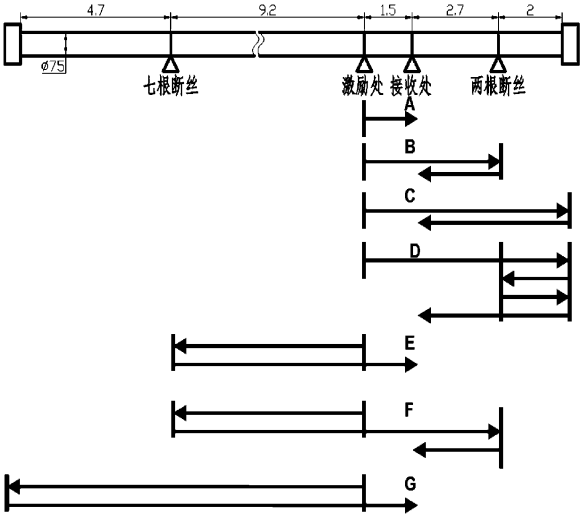


图 6　检测信号对应的导波传播路径示意图

现将图 5 中各反应信号对应的弹性波传播路径解释如图 6 所示。A 为通过信号;B 为 2 根断丝的回波信号传播的距离为 6.9m,实际传播时间为 1.381ms,理论传播时间为 1.366ms,定位误差为 1.1%;C 为第一次右端部回波,传播距离为 10.9m,实际传播时间为 2.105ms,理论传播时间为 2.158ms,定位误差为 2.4%;D 为 2 根断丝回波信号在断丝与右端之间发生多次反射,信号出现衰减和叠加造成反应不明显;E 为 7 根断丝的回波信号,信号传播的距离为 19.9m,实际传播时间为 3.982ms,理论传播时间为 3.940ms,定位误差 1.1%;F 为 7 根断丝回波信号在 2 根断丝处的反射信号;G 为第一次左端部回波,信号传播的距离为 29.3m,实际传播时间为 5.842ms,理论传播时间为 5.802ms,定位误差 0.7%。

4.2　实桥索杆导波检测

某三跨连续(跨径组合 55 + 83.6 + 55m)无风撑下承式钢管混凝土系杠拱桥,为了确保该桥吊杆处于安全工作状况,采用磁致伸缩导波法进行索杆内部锈蚀断丝检测工作。

图 7　某下承式系杠拱桥

图 8 为索杆导波检测典型波形图,为了评定索杆内部钢丝状况,定义红、黄、绿三种参考线,其中绿色线为信号衰减线,而红色线为根据上锚头回波信号描绘的参考判废线,黄色线为参考评定线,评定线为 1/2 判废线高。

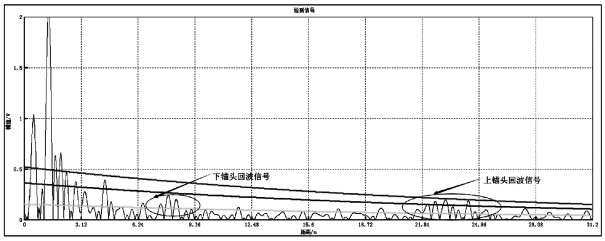


图 8　实桥索杆导波检测典型波形图

从图 8 可以推断 7.19m 处是下锚头的起波点,其后为下锚头的回波信号,从信号图可以看出下锚头区域有超过黄色线(参考评定线)的信号,可能是桥面结构的约束作用或是存在一定的均匀锈蚀。19.28m 附近存在上锚头端部回波信号,从检测波形可以看到有超过黄色线(参考评定线)的

回波信号,可能是拱肋结构约束作用或是存在一定的均匀锈蚀。该可疑信号,需通过进一步的开窗验证。

5　桥梁索力振动测试法温度影响研究

当温度为 t_1 和 t_2 时,索力分别为 T_1 和 T_2,温度变化量 $\Delta t = t_2 - t_1$,升温为正,降温为负。根据振动法测试索力的计算公式可知:

$$T_1 = 4\frac{M}{L}L^2 f_1^2 = 4\rho L^2 f_1^2$$

$$T_2 = 4\frac{M}{L(1+\alpha\Delta t)}L^2(1+\alpha\Delta t)^2 f_1^2 = 4\rho L^2(1+\alpha\Delta t)f_2^2$$

式中:T_1 为温度 t_1 时索力;T_2 为温度 t_2 时索力;f_1 为温度 t_1 时索的基频;f_2 为温度 t_2 时索的基频;L 为索的计算长度;M 为索的质量;ρ 为索的线密度;α 为钢丝的线膨胀系数。

当索的抗弯刚度可以忽略,温度变化 Δt 时,假设索力不变,由 $T_2/T_1 = 1$ 可得:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{4\rho L^2(1+\alpha\Delta t)f_2^2}{4\rho L^2 f_2^2} = 1$$

$$\rightarrow f_2 = f_1\sqrt{\frac{1}{1+\alpha\Delta t}}$$

假设温度变化 $\Delta t = 20$,钢丝的线膨胀系数 $\alpha = 1\times10^{-5}$,温度对频率的影响系数为 0.9999;当温度变化 $\Delta t = -20$ 时,温度对频率的影响系数为 1.0001。因此可知,温度对振动法测试索力的频率影响可以忽略不计。

6　结论

通过上述研究工作得出以下结论:

(1)新型爬索机器人应用于桥梁索杆外观检测具有适用性强、智能便捷、图像高度保真、安全高效等优势。

(2)通过室内试验和实桥导波检测,充分验证了索杆导波检测技术的先进性和可靠性。试验缺陷定位误差小于 3%。

(3 振动法测试索力,当温度变化在 -20 ~ 20℃之间时,温度对频率的影响系数为 0.9999 ~ 1.0001。由此可知温度对振动法测试索力的频率影响可以忽略不计。

参考文献:

[1] 王文涛. 斜拉桥换索工程[M]. 北京 人民交通出版社, 2006.

[2] 林阳子,张宇峰,赖广胜. 桥梁缆索损伤检测技术分析[J]. 山西建筑,2010.

[3] 林阳子,张宇峰,武新军. 基于磁致伸缩技术的桥梁缆索损伤定位研究[J]. 公路交通科技,2011.

[4] 林阳子,孙向东,陆学村. 桥梁索体系病害分析及特殊检测维修技术[J]. 广东土木与建筑,2014.

[5] 中华人民共和国交通部. 公路桥梁荷载试验规程[S]. 2015.

[6] 郑罡,王鹏,唐光武. 桥梁索结构[M]. 人民交通出版社股份有限公司. 2015.

美澳旅游公路考察之旅

广东省委省政府一系列战略部署和《关于促进交通运输与旅游融合发展的若干意见》,广东省交通运输厅在省级层面统筹规划建设广东滨海旅游公路。我司作为广东省滨海旅游公路踏勘报告编制工作的总体单位,为了更好的完成项目,迅速组织项目组成员前往美国澳洲进行实地考察。

2017 年 12 月 7 日,在黄湛军总经理和刘桂红副总经理的带领下,项目组成员一行 14 人,出发前往美国旧金山,开启美澳滨海旅游公路考察之旅。

抵达旧金山后,考察团一行前往加州交通厅与加州 1 号公路的设计和管理者进行了深入的技术交流与探讨。专家们介绍了 1 号公路设计和建设的基本情况,并针对公路技术指标的运用以及道路养护情况做了专业精彩的讲解。

加州交通厅技术交流

本次考察的目的地是美国加州的 1 号公路。该道路修建于上世纪 20 年代。它沿美国西海岸蜿蜒,从南端的圣地亚哥开始,至加州最北端的门多西诺结束,全长 1400 余公里。由于得天独厚的地理环境,她的一边是碧波万顷的太平洋,一边则是陡峭高耸的悬崖山脉,或是偶尔映入眼帘的大片草地,被称为世界上最美丽的公路,被美国国家地理评为“十大风景绝美的沿海公路”和“人生必去的 20 个景点”。本次考察的路段是 1 号公路的中段,即旧金山至洛杉矶路段,沿途经过金门大桥、半月湾、佩斯卡德罗、蒙特雷半岛、卡梅尔、大瑟尔、圣西米恩、圣巴巴拉、索尔万等著名景点,全长约 740km。

享誉全球的金门大桥(英文:Golden Gate Bridge)峙于美国加利福尼亚州旧金山金门海峡之上,是旧金山的象征和标志性建筑,是世界著名的桥梁之一,也是近代桥梁工程的一项奇迹。金门大桥于 1933 年动工,1937 年 5 月竣工,用了 4 年时间和 10 万多吨钢材。金门大桥的结构形式为悬索桥与钢桁架拱桥,桥梁总长度 2737m,最长跨径 1280m,桥面宽度 28m,桥塔高度 342m。整个大桥造型宏伟壮观、朴素无华。桥身呈朱红色,横卧于碧海白浪之上,华灯初放,如巨龙凌空,使旧金山市的夜空景色更加壮丽。

金门大桥

根据沿线地形特点,一号公路灵活采用不同的技术指标,依山傍海,因地制宜,使旅行者尽享驾驶乐趣。沿途依据景点的分布,设置了各类步行道、停车区、观景平台以及汽车营地,方便旅游者驻车停留,欣赏美景。

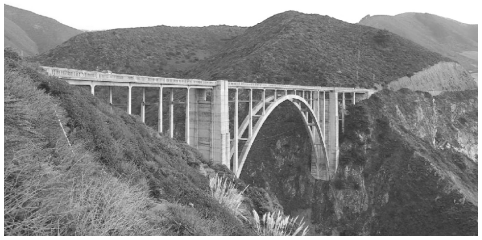
魔鬼步行道

半月湾汽车营地

观景平台

停车区

毕克斯比大桥，它建于上世纪 30 年代（1932 年），是美国西海岸的地标建筑。它屹立于陡峭的绝壁上，全长 218m，宽 7m，高 79.2m，主跨 98m。她是美国最早的一个钢筋混凝土空腹拱桥，建成之初是世界上最大的单拱水泥桥。



毕克斯比大桥

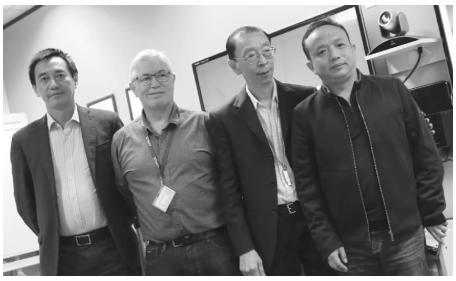
一号公路，圣域天堂般的奇境，因水而生的梦幻之路，交融着蓝色的海洋，流淌于海滨、山路之间，它串联着散落在太平洋海岸上的数个珍珠般闪烁的小镇，老加州风情的蒙特雷、慑人气魄的大瑟尔、丹麦情调的索尔万、艺术品味的卡梅尔以及美轮美奂的 17 英里……，无不美得让人惊叹！

卡梅尔小镇

丹麦情调的索尔万

结束加州一号公路的考察行程后，项目组离开美国，马不停蹄抵达澳大利亚。

澳洲第一站为考察墨尔本大洋路，抵达墨尔本第二天，考察团一行即前往吉朗公路署与大洋路项目组组长 Wayne Perrett 进行了考察前的深入交流，Wayne 向考察组详细介绍了大洋路的项目概况、养护方案等。



墨尔本吉朗公路署技术交流

大洋路起于托基，终点为阿蓝斯福德，为纪念参加第一次世界大战的澳洲士兵而建。澳洲大洋路先行工程于 1932 年通车运营，与美国一号公路基本沿海岸线延展不同，澳洲大洋路建设之初的目的主要是为了较快速的连通维多利亚州沿海的各个村庄（如托基、洛恩、阿波罗小镇等），因此并未完全近海。这条路于 1919 年开始动工，1932 年全线贯通，全长 243km。

大洋路起点

大洋路标志由当地圆木搭建而成，古朴而厚重。穿过这里，大洋路宛如一幅精彩的画卷，蜿蜒在印度洋与山脉之间。

伴随着大洋路逐渐靠近海岸，金玲海滩便跃入眼帘。蓝天、大海、阳光、金色沙滩，给人以强烈的视觉震撼。金玲海滩是世界级的冲浪胜地，每年在复活节期间举办冲浪比赛，全世界的冲浪爱好者都会汇聚于此。

金玲海滩

沿大洋路向西行进，来到安格西镇，首先映入眼帘的便是安格西河，安格西河发源于奥特维国家公园，蓝色的河水在此汇入巴斯海峡，也将大洋路引向了至美的海天盛筵。

安格西河

斯普利特角的鹰岩灯塔因俯瞰形似鹰爪的岩石得名，在此挺拔矗立，欣赏一望无际的大洋之美。

鹰岩灯塔

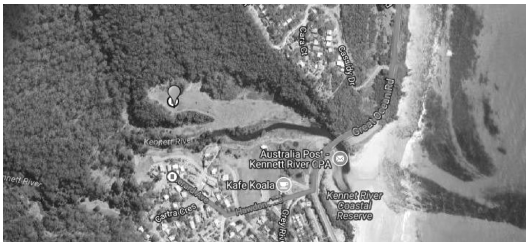
伴随着山势起伏，大洋路不拘泥于固定的技术标准，依山傍海，婉转美妙，使驾驶者尽享漫游之美。

大洋路鹰眼灯塔至洛恩小镇段道路线形

美丽幽静的洛恩小镇位于大洋路中段。完备的服务设施，美好的阳光、森林、瀑布、沙滩构成了最让人放松的度假景色，是澳大利亚人偏爱的度假圣地。

洛恩小镇俯瞰

坎尼特河是一个免费开放的森林公园，往里开有很大的一片桉树林，茂密的按树林是野生考拉栖息的地方。



坎尼特河

Apollo Bay，选择房车营地停车后可进行参观营地，也可以选择步道上行至马维尼尔瞭望台，俯瞰整个阿波罗海湾美景。阿波罗湾一览无余的蔚蓝海景、密布的酒店服务、完善的房车营地、野餐式午餐构成了阿波罗湾完美的游憩服务功能。

阿波罗湾

十二门徒((Twelve Apostles)停车在路的右边,吉布森阶梯的对面,位于墨尔本西南部约220km 外,是澳大利亚大洋路的著名地标。

十二使徒岩在大洋路坎贝尔港国家公园内的海岸线上,坐落着有千万年历史的石灰石、沙岩和化石经海水风化而逐渐形成的12 个断壁岩石。矗立在湛蓝的海洋中的独立礁石,形态各异,因为其数量和形态酷似耶稣的十二门徒,因此得美名“十二门徒石”。)

十二门徒停车场、观光直升机停机坪与观景点采用分离布设,游客交通转换后步行下穿大洋路通道通行至观景平台。

十二门徒停车场

十二门徒岩

洛克阿德峡谷和伦敦桥集中展现了一组由石灰石和沙岩日积月累而天然堆砌成的各色“建筑”,辅以美妙的金色沙滩,大自然的鬼斧神工在这里得到了淋漓尽致的发挥和展现。

洛克阿德峡谷

伦敦桥

结束大洋路考察后,项目组来到悉尼,展开对蓝色海洋路考察工作。

蓝色海洋路起于悉尼南部的皇家公园,终点为肖尔黑文,开放于2005 年,全长 140km。本次考察的其宝山至卧龙岗滨海精华路段,全长 35km。道路全线为对向两车道,设计速度约为 60km/h。沿线临海一侧基本贯通设置了人行步道。

考察团在蓝色海洋路宝山景点与悉尼道路和海事南部地区办公室走廊维修计划员 Alex Dunstan 先生进行了深入的现场交流,Alex 先生向考察团详细介绍了蓝色海洋路的项目概况、旅游推广方案、主要特色等。

宝山滑翔基地

宝山立于悬崖峭壁之上,是俯瞰卧龙岗海港风光的最佳地点,也是滑翔伞爱好者的天堂。游客选择在此驻足观赏或者亲自尝试高空滑翔的刺激,体验如飞鸟一般在空中飞翔的乐趣。

海崖桥依陡峭悬崖而建,受地质条件限制,该桥为旧路改建而成,架空耸立于海崖交界的位置,与山形完美契合。

主桥采用主跨 108m 的连续刚构桥, 亲海一侧同样贯通设置了人行步道。

结合地形及海岸线的走势,海崖桥与自然完美融合,虽不是新奇结构,却也构成了蓝色海洋路最经典的传世佳作。

海崖桥

蓝色海洋路之后考察组便结束了为期 14 天的海外考察之旅,通过本次考察,项目组基本对滨海旅游公路概念有了统一的认知,同时对于该类特殊公路的总体设计、景观特点以及沿线设施的设施达成了共识,对于下阶段进一步开展广东省滨海旅游公路设计做好了充分的准备。

(李维杰 雷明　报道)

“广东省山区高速公路绿色公路设计关键技术研究”项目成果鉴定会报道

“广东省山区高速公路绿色公路设计关键技术研究”是依托粤西典型山区高速公路广(州)梧(州)高速公路绿色公路设计实践,针对广东省山区高速公路绿色公路设计关键技术进行的研究,由广东省交通规划设计研究院股份有限公司自行立项并承担研究任务。

2018 年 4 月 9 日,广东省土木建筑学会在广州市组织召开了本项目的成果鉴定会议,广东省土木建筑学会相关人员及领导,项目鉴定委员会专家,特邀嘉宾以及项目完成单位代表参加了会议。

项目鉴定委员会专家由来自国内相关专业的知名专家组成,主任由华南理工大学蔡健教授担任,成员有广州市市政工程设计研究总院黎军教授级高工等。鉴定委员会认真审阅了相关资料,听取了汇报,并进行了质询。经认真讨论,形成如下鉴定意见:

一、提交的鉴定资料齐全,符合科技成果鉴定要求。

二、该项目依托粤西典型山区高速公路广(州)梧(州)高速公路绿色公路设计实践,针对广东省山区高速公路绿色公路设计关键技术进行研究,取得了以下主要创新性成果:

(1)通过特大高差制约下的高速公路综合安全措施研究,揭示了交通事故率与纵断面参数的关系,建立了车辆制动器温升模型和货车各代表车型的爬坡动力性能曲线,系统提出了特大高差路段的平均纵坡及一般(极限)坡长等关键技术指标,以及避险车道和爬坡车道的设计原则、设计条件、结构及性能参数。

(2)进行了复杂通风需求下的特长公路隧道关键设计参数研究,分析了车行横通道开放状态下对隧道正洞通风的影响,提出了新的竖(斜)井排风升压计算公式。

(3)基于生态与景观需求的高速公路设计关键技术研究,编制了华南地区公路乡土植物图谱,解决乡土植物在高速公路景观绿化中应用的技术难题;系统提出广东省山区高速公路景观设计和评价方法,有效地实现了生态环境恢复。

三、该成果已成功应用于广梧高速公路、江罗高速公路和潮漳高速公路等项目,取得了显著的经济效益和社会效益,为同类地区高速公路建设提供重要的借鉴作用。

鉴定委员会认为该成果达到了国际先进水平,一致同意通过科技成果鉴定。

(刘祥兴　报道)

第二十届中国高速公路信息化交流会报道

由中国公路学会主办的第二十届中国高速公路信息化交流会于2018 年3 月29 日在青岛召开。会议由中国公路学会主办,山东公路学会协办。研讨会的主要内容包括:信息化形势分析、互联网 + 管理、移动支付、车路协同、智慧监控、计重收费等论坛,研讨会内容丰富,紧密结合了十三五现代综合交通运输体系发展规划提出的总体目标:“安全、便捷、高效、绿色现代综合交通运输体系,部分实现现代化(智能化带到交通现代化)”,如何把智能化带到交通现代化,交通运输部提出了“智慧公路”示范思路几大方向:(1)基础设施数字化;(2)路运一体化车路协同;(3)北斗高精度定位应用;(4)大数据路网管理;(5)互联网 + 路网服务;(6)新一代国家交通控制网,这六大方向在全国挑选了九个省份进行示点,各行各业成业人员均在大会上进行了相关领域的主题演讲,会中我们也和云南省,浙江省高速公路管理者进行了技术探讨,云南省的智慧高速目前主要侧重在视频及数据的全省联网,同时对联网的数据进行大数据分析,比如可以实现全省实时路网状况显示(拥堵状况、拥堵原因等),脱逃通行费行为打击等,后续正进行第三期智慧高速的建设。

本次研讨会同时有几百家企业参展,带来了他们的最新科技产品,参展的科技产品基本都契合了本次会议的主题,比如太阳能绿色能源发电、ETC 货车计重收费、大数据分析平台、移动支付、智能营运管理平台等。

通过本次研讨会,明晰了政府层面已把“综合交通、智慧交通、绿色和平安交通”提到了很高的高度并逐步在实施过程中,下阶段将是交通信息化大踏步发展时期。

(赵文文　报道)

桥梁工业化建造技术与羊犀立交全互通改造项目观摩大会报道

装配式桥梁因其具有施工快、预制构件质量高、对交通及周边环境影响小等优点而被业内人士广泛关注。随着“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念不断加深,劳动力成本不断提高,尤其在城区复杂的建设条件下,建筑(包括桥梁、管廊等市政工程)工业化建造技术的应用是必然的选择。

此次交流会探讨了装配式桥梁设计、施工、构件生产、运营养护和智慧管理的关键技术,现场观摩学习羊犀立交全互通改造项目。

26 – 27 日,交流会聚焦新形势下市政工程工业化的发展与成效、工业化装配式桥梁技术实践与探讨、市政工程工业化在成都地区的应用实践、羊犀立交预制拼装立柱设计及生产关键技术、典型市政工程的预制装配化施工技术、节段预制拼装预应力混凝土箱梁桥的工业化建造、基于 BIM 的装配式桥梁技术应用及 BDIP 协同管理系统、快速施工桥梁及研究开发、新型桥梁结构体系及装配工艺、羊犀立交项目观摩等多个议题进行了探讨。

28 日,现场观摩学习了羊犀立交全互通改造项目,该项目采用的灌浆套筒干接法预制拼装工

艺实现了桥墩分节预制，且混凝土拼接面平整度达到毫米级，是西南地区首次使用桥梁下部结构预制装配技术，实现了国内首次灌浆套筒连接技术在大尺寸圆柱形、花瓶形桥梁预制墩柱中的实践应用。

最后，引用成都高速公路建设开发有限公司总经理尹强关于目前市政工程工业化存在的问题作为本次报道的结尾。设计技术体系方面，他认为有待完善的地方有：(1)工业化设计关键技术发展较慢；(2)工业化设计技术系统集成不够；(3)工业化设计技术创新驱动力不足；(4)BIM 信息技术还无法形成有效的平台支撑。

（王涛　报道）

首届桥梁工程创新技术交流大会暨工业化建造示范项目观摩会报道

由中国交通运输协会新技术促进分会、安徽省公路学会、安徽省交通控股集团有限公司、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司等主办的首届桥梁工程创新技术交流大会暨工业化建造示范项目观摩会于2018 年4 月19 日在合肥召开。会议研讨的主要内容包括：(1)、桥梁的标准化、装配化及工业化建造；(2)高速公路集约建造；(3)BIM 在桥梁及公路设计应用实践；(4)有代表性桥梁研究及设计实践；(5)当前深水沉井基础施工的关键技术等。

安徽省交通控股集团有限公司总工胡可先生作《高速公路集约建造成套创新技术及应用》的主题报告，报告从①高速公路低路堤综合体系，②索辅、桁架等低高度桥梁，③工业化建造等三个方面介绍了安徽省高速公路建设领域取得的创新成果。全国工程勘察设计大师、上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司总工程师邵长宇先生作了《桥梁工业化建造技术的思考与展望》报告，从①桥梁工业化建造如何评价，②设计与施工规范存在空白，③质量检测与验收存在空白，④新材料、新技术的准入如何设定等四方面对我国桥梁工业化建造的背景、现状及展望作了全面的介绍。同济大学土木工程学院副院长李建中教授对当前预制拼装桥墩常用的连接方式的抗震性能作了报告。重庆交通大学周志详教授和安徽院工程技术研究院吴平平院长分别做了桥梁装配化实践方面的报告。

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司总经理徐宏光先生作了《望东长江公路大桥关键技术》的报告，介绍了安徽院在望东长江大桥关键技术研究方面取得的成果。浙江省交通规划设计研究院的代表分别就乐清湾跨海大桥、温州瓯江北口大桥的设计实践做了报告。中铁大桥局副总工、沪通长江大桥项目总工李军堂先生的报告介绍了当前深水沉井基础施工技术取得的进展。

BIM 技术在桥梁与公路设计中的应用也是本次会议的一个热点。安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司、中设设计集团股份有限公司、河北省交通规划设计院的代表带来了 BIM 在桥梁及公路设计中应用实践的报告。

工程院院士、湖南大学陈政清教授对桥梁用阻尼及电涡流阻尼新技术作了报告。长江学者、合肥工业大学任伟新教授作了关于桥梁健康监测的报告。

通过本次研讨会，明晰了当前桥梁标准化、装配化、工业化，以及 BIM 应用方面的进展，了解桥梁设计、施工，以及基础研究方面的最新技术成果，对今后的设计工作具有重要的指导意义。

（陈国雄　报道）

2018 年广东省公路养护技术研讨会报道

由广东省公路学会公路养护工程专业委员会主办的 2018 年广东省公路养护技术研讨会于 2018 年 5 月 24 日在广州召开。会议由广东省公路学会公路养护工程专业委员会、广东省交通集团、广东省长大公路有限公司主办。研讨会的主要内容包括:路面养护新材料研发、路面结构性养护技术、路面预防性养护技术、路面旧料利用、路面养护施工工艺、特殊情况下道路养护应急对策、路面养护施工设备研发、道路养护交通安全组织等方面的技术交流,研讨会内容丰富,紧密结合了广东省及省外公路养护现状,以“养护”为主题,从“环保、创新、经济、安全”的角度进行了相关领域的主题演讲。本次研讨会吸引了企业、高校、设计单位及施工单位等共 300 余人参加。

如何改进养护技术、提高道路养护效率、节约养护成本、保证养护安全通畅是本次会议关注的问题。本次研讨会上参会专家主要从道路养护材料的研发与应用、养护施工工艺、养护管理与安全上讲解了我国高速目前道路养护中面临的问题及对策,在道路养护材料的研发与应用方面,主要有路面还原及保护性封层、QMS 底噪音薄层罩面、1.2cm 新型超薄层罩面,GH 高性能混凝土、精表处等养护技术;在养护施工工艺方面,主要有 WBA 水下玻纤套筒加固系统、沥青砼再生、无坑技术、桥梁静音伸缩缝等工艺;在养护管理与安全方面,主要讲述了广东京珠北高速抗冰抢险、韶赣高速梅关主线站保畅、西部沿海高速珠海段台风气候条件下养护保畅、大交通流下广东虎门大桥安全通行的管理经验,以及易路美抗冲撞设备提高安全保障技术等。

本次研讨会,对于通过新技术的应用及养护管理来提高养护效率、节约养护成本,逐渐由“被动性”日常管理养护向“主动性”预防性养护措施的理念推进,延长道路的使用寿命,有了更深入的理解。

(张东阳　报道)

第六届国际交通安全学术研讨会报道

本次会议由同济大学、公安部交通管理科学研究所、交通运输部公路科学研究院、上海市交通工程学会、德国宇航中心、重庆交通大学共同主办。邀请了 34 位国际交通安全专家参会发言,40 多位中方学者做海报展示安全研究成果,逾 200 位专家学者、政府部门官员、师生代表参会交流。

研讨会设立了“道路交通安全改善对策”、“公共卫生与交通安全改善策略”、“交通行为、心理与安全”、“事故数据采集与分析”、“自动驾驶与道路安全设计”、“道路设计安全”共 6 个专题。

1.“道路交通安全改善对策”专题,国内外专家分别就美国、瑞典、德国、英国、新加坡及中国的道路交通安全现状、安全改善策略及措施进行了系统介绍。

(1) Dr. Mohamed Abdel - Aty 针对美国交通安全改善进行了发言,提出美国道路安全战略计划零死亡率的愿景,介绍了美国近期安全改善项目以及在实际应用中证实可行的安全对策方案,并通过实际案例分析和数学建模,阐述了各项安全对策的有效性和可行性。

(2)李道安教授对瑞典零死亡愿景及其对交通安全的影响展开了学术研究报告,提出在零死亡愿景中,道路使用者和系统设计者应共同承担责任,将安全提升到哲学的高度;并介绍了安全交通零死亡愿景模型。

(3)Follmann 教授对德国道路交通安全改善进行了演讲,介绍了德国交通事故死亡人数的发展情况,以及德国道路安全管理措施,德国技术规范的发展,提出需将道路规范、设计、建造和养护等各阶段综合考虑以提升道路安全。

(4)Mohanmmed Quddus 教授对英国安全改善策略进行了介绍,提出了安全的系统方法 - 哈登框架矩阵,并从人、车、路三个方面提出了安全应对策略。

(5)俞春俊研究员对中国道路交通安全改善与挑战进行了报告,提到中国交通流结构正逐步优化,总体安全水平逐步提高;介绍了近年来交通安全的主要对策,包括事故预防总体思路、科学理念与系统方法、建立健全法律法规体系、公安交管部门主要举措、主要部委举措等,主要成效为较大以上事故持续减少、重特大事故连创新低;最后对今后几年的主要挑战与行动计划进行了展望。

2.“公共卫生与交通安全改善”和“交通行为、心理与安全”专题从多学科交叉合作的角度探讨了交通安全分析与改善的方法。

(1)李志超教授对新加坡交通安全管理策略与实践进行了汇报,通过分析交通事故发现死亡人数最多的类别为电动车驾驶员及行人,因此需要更完善的交通标识、更安全的道路基础设施等;提出了执法力度、推广教育、多方合作三管齐下的交通安全管理策略。

(2)Mark Stevenson 教授针对智能的经济刺激对新手驾驶员行为的影响分析展开了报告,主要选取 17 - 25 岁的年轻驾驶员,采用高低额奖惩的实验设计方法,对超速总时长及高速行驶时长、急刹车时长、急转弯时长等指标进行分析,研究结果表明“低额 + 惩罚”将成为性价比更高的减少危险驾驶行为的方法。

(3)Bridie Scott - Parker 教授演讲的主题是情景意识快速跟踪分析道路改善对道路参与者的有效性,以电影《终结者》中 AI 智能情景意识技能为展示说明,提出情景意识快速追踪以确定更安全的求生路线,并通过实例分析对道路使用者、道路设施、环境、逃生路线的要素进行了详细阐述。

(4)Malte 博士对德国驾驶员训练、监督及驾照考试情况进行了介绍,强调驾驶培训及驾照考试需严格按照体系标准执行,德国驾照考试与中国类似,采用强制执行的理论考试与实践考试,新手驾驶员需在有经验的驾驶员陪同下才能驾驶。

(5)Omar Ahmad 教授对驾驶行为研究的工具和方法进行了介绍,从模拟驾驶、追踪测验、自然驾驶三个层面对驾驶行为研究方法进行了详细说明。

3.“事故数据采集与分析”专题,与会专家介绍了发达国家先进的事故数据深度调查技术、事故数据分析方法和面向应用的道路安全手册。

(1)孙小端教授对美国道路安全手册的背景、内容及应用进行了报告,通过实例对道路标线、护栏、道路周边环境的安全性进行分析,并通过分享手册成功的应用实例,如根据交通量不同适当增宽路肩、公路双向车道间设置中央震动带等,展示了道路交通安全的发展历程与前景。

(2)George Yannis 教授就交通安全评估模型的国际对比进行了发言,Sandra Breunig 博士和 Claus - Henry Pastor 先生对德国事故深度调查数据采集与应用进行了报告,Bhagwant Persaud 教授报告内容为基于安全替代变量估计事故修正系数,Chris Lee 教授报告内容为宏观与中观事故模型近期的研究,Alexander Sohr 先生

则是对右转车辆与过街自行车的风险评估进行了演讲。以上报告内容均是基于交通安全的评估分析模型的分析研究，通过数学建模分析，向我们展示了理论与实际的关联，并指导于实际应用。

（3）Thomas Riedel 博士则是对道路事故摄影测量进行了介绍，展示了事故分析的实地摄影测量的外业工作内容，以及事故照片处理分析的内业操作流程，并对准确性进行了分析介绍，让我们了解了事故摄影测量及分析工作的具体内容。

4.“自动驾驶与道路安全设计”和“道路安全设计”专题，国内外专家既对传统道路交通安全审计、安全设施设计的最新研究进展进行了交流，还对面向自动驾驶的基础设施设计进行了深入探讨。

（1）Andrew Tarko 教授和 Salvatore Damiano Cafiso 教授分别对自动驾驶与道路安全设计这块进行了学术报告，报告内容为自动驾驶时代的交通冲突与安全分析方法、面向自动驾驶车辆的道路研究框架。对自动驾驶系统的工作原理、自动驾驶实际应用中存在问题以及今后的发展趋势进行了阐述和分析。

（2）Moritz Grimmelsmann 先生与 Linda Meisel 女士对德国道路设施的正确使用及被动安全进行了介绍，德国公路安全设施基本也是包括标志、标线、护栏等，通过对欧盟规范的内容介绍，对护栏性能要求、道路标线的类型及性能测试、施工区道路标志标线仅临时道路隔离护栏等相关内容进行了阐述；德国道路被动安全设计主要包括移除障碍物、提升障碍物与道路间的距离、使用被动安全的道路附件、使用车辆限制系统等方式。

（3）邬洪波博士对中国道路交通安全改善进行了报告，介绍了中国道路交通安全现状的情况，由原来面临严峻的交通安全形势到近年来交通安全状况明显改善的转变；并对道路交通安全改善对策进行了介绍，包括公路危桥改造工程，公路安全生命防护工程，国家道路交通安全科技行动计划等三大块内容，让我们了解到国家对道路交通安全的极度重视，以及各项工程与计划的具体内容。

为促进国内外交通安全学者的沟通与交流，本届研讨会与《中国公路学报》联合组织了“中国交通安全研究成果”海报展示，邀请了两个专刊近 40 位作者参会介绍论文研究成果。通过学习海报中不同研究领域的研究思路与结论，对交通安全的研究领域有了更广阔的的认识。

通过本次研讨会的交流学习，让我们了解到国际道路交通安全的发展现状以及今后发展的方向，交通安全任重而道远，我们将在今后的工作中继续学习和探索，争取为交通安全事业做出贡献。

（李秉乾　报道）