







广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

地 址:广州市天河区兴华路22号

邮政编码: 510507

电 话: 020-37393018 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





准印证号: (粤O)L0150076号

内部资料 免费交流

获奖喜报

2023 年第一季度,集团科技创新和专利申请再创佳绩,共获得工程奖10项,其中部级一等奖4项,二等奖2项,三等奖4项;获得国家知识产权局发明专利1项、实用新型4项。













公司级项目评审会



1月10日 "G80广昆高速公路粤境横江至马安段 改扩建工程SJA1标段总体设计(路线及互通立 交方案)"公司级评审会议。



1月12日 "G80广昆高速公路(粤境)马安至河口段改扩建工程SJA1标金马大桥主桥"公司级评审会议。



2月6日"惠州稔平环岛高速公路(总体路线、互通立交、大洲港特大桥)"公司级评审会议。



2月9日"广州机场高速公路改扩建工程"公司级评审会议。



3月21日 "S48合肥至叶集高速公路合六界至G35枢纽段总体设计"公司级评审会议。

广东交通规划设计

(每季出版) 2023年3月30日印刷

2023 年第1期(总第189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、陈潮锐、

邱赞富、周 震、梁志勇

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:广州市天河区兴华路22号

邮政编码: 510507

电 话: 020 - 37393018

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: 进贤门大桥

目次

部委政策	
关于进一步加强隧道工程安全管理的指导意见(1))
公司动态	
匠心铸就精品,创新赋能发展——广东省交通规划设计研究院	
集团股份有限公司擘画高质量发展蓝图 · · · · · (4))
茂湛新颜,粤西腾飞——集团承担的茂湛高速改扩建—期工程顺利通车 ······(5))
总结升华,精进不休——集团开展新塘立交改造工程项目回访 活动 ······(6))
延伸城市广度的桥梁师——省工程勘察设计大师、南粤工匠 梁立农人物专题片(8))
数据驱动,数字底图赋能,推动行业数字化转型——省交通集团	
高精度数字底图构建及应用二期初步设计顺利通过评审 (11))
创新驱动,数字引领——集团签约白云区关于推动建筑业数字化 转型高速发展 & 标杆共建的倡议 ······(13))
技术论文	
广东省倒装结构沥青路面弯沉修正应用 林伟弟 (15))
排水固结堤坝稳定分析新方法 刘吉福 (22))
公路工程施工图设计工程数量编制标准化研究 杜燕群 (29))
大跨径多跨连续双曲拱桥承载能力评定及加固方案设计	
张 杰,徐德志 (35))
专委会活动	
白云机场 T3 交通枢纽轨道交通预留工程现场调研与技术	
交流活动(41))
信息专栏	
智能建造与数字化平台建设发展论坛暨交通 BIM 共同体年会	
(43))
首届全国 UHPC 技术发展和创新应用大会 ·····(45)	
《预制拼装桥梁技术标准》宣贯会 · · · · · · · · · · · · · · · · (47))
第五届桥梁工程创新技术论坛暨"双碳"背景下智能桥梁发展	`
交流大会 (49))

集团副总工程师刘吉福受邀参加第三届全国软土工程学术会议

关于进一步加强隧道工程安全管理的指导意见

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团安委会、住房和城乡建设厅(局、委)、交通运输厅(局、委)、水利厅(局)、国资委,各地区铁路监管局,民航各地区管理局,各铁路局集团公司、各铁路公司,有关中央企业:

当前我国隧道(洞)建设规模巨大,但工程本质安全水平不高,坍塌、火灾等事故时有发生,安全生产形势严峻。为深入贯彻落实习近平总书记关于安全生产的重要论述精神,深刻吸取近年来隧道施工安全事故教训,全面加强隧道工程安全管理,有效防控重大安全风险,现提出如下意见。

一、总体要求

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,全面贯彻党的二十大精神,坚持以人民为中心的发展思想,统筹发展和安全,贯彻"安全第一、预防为主、综合治理"的方针,坚持超前预控、全过程动态管理理念,进一步压实安全生产责任,健全制度体系,强化重大风险管控,夯实安全生产基础,有效防范隧道施工安全事故发生,更好保障重大项目高质量建设,助力经济高质量发展,切实保障人民群众生命财产安全。

二、压实安全生产责任

(一)严格落实建设单位首要责任。各地各有 关部门要研究制定建设单位安全生产首要责任的 具体规定,督促建设单位加强事前预防管控,牵头 组织各参建单位建立全过程风险管控制度,健全参 建单位考核检查管理制度,强化对勘察、设计、施 工、监理、监测、检测单位的安全生产履约管理。建 设单位不具备项目管理条件的,应当委托专业机构 和人员进行管理和服务。政府投资项目建设单位 应当将履行基本建设程序、质量安全风险管控、合 理工期、造价等事项纳入"三重一大"集体决策范 围,强化监督检查和责任追究。

(二)严格落实参建企业主体责任。施工总承 包单位依法对施工现场安全生产负总责,建立健全 项目管理机构和现场安全生产管理体系,落实全员 安全生产责任制,完善安全生产条件,组织开展施 工现场风险管控和隐患排查治理。隧道项目负责 人必须在岗履职,按要求带班作业,危大工程等关 键节点施工时必须指派专职安全生产管理人员到 场指挥监督。总承包单位要与分包单位签订安全 生产管理协议,强化管理措施并承担连带责任,不 得转包或违法分包。鼓励施工企业和项目配备安 全总监,并赋予相应职权。严格落实勘察设计单位 安全责任,依据相关标准规范,在设计阶段采取合 理措施降低隧道安全风险,在施工图中提出应对风 险的工程措施和施工安全注意事项,在施工过程中 做好设计安全交底、施工配合和设计巡查等工作。 严格落实监理单位安全责任,认真审查专项施工方 案,督促施工单位落实法律法规、规范标准和设计 有关要求,加强日常安全检查。

(三)强化属地和部门监管责任。各地各有关部门要进一步提高思想认识,把隧道施工安全工作放在重要位置来抓,定期组织分析研判安全风险,组织有关部门按照职责分工,对本行政区域内容易发生重大生产安全事故的单位进行严格检查,及时采取针对性措施强化隧道施工安全。住房和城乡建设、交通运输、水利、铁路、民航等行业主管部门要按照"三个必须"的要求,依法加强本行业领域隧道施工安全生产监管,建立与公安、国资委、市场监管等部门协同联动机制,强化联合检查,严格执法处罚,定期公布典型执法案例,依法落实失信行为认定记录公布等信用监管制度,实现精准监管和有效监管。各级安委会要把隧道施工安全纳入对地方政府和有关部门安全生产考核巡查的重要内容,按照规定对隧道施工安全事故进行挂牌督办,

对事故有关责任企业和部门进行约谈通报。

三、健全制度体系

(四)完善法规标准。各地各有关部门要推动地方性法规、规章制修订工作,明确 EPC、BOT、PPP、代建及其他模式下各参建单位安全管理职责,构建以建设单位为主导、以施工单位为主体、以施工现场为核心的安全生产管理体系,加大对违法违规行为的处罚力度。研究制定隧道工程项目管理人员的配备规定和从业规范,提高现场安全管理能力。加强软岩大变形、复合地层、高地应力、高地温、富水、高瓦斯、高寒高海拔、穿越超大城市中心城区等复杂地质环境条件公路、铁路等隧道安全标准制修订。加快制定完善隧道施工风险清单和重大事故隐患判定标准。

(五)建立合理工期和造价保障机制。指导建设单位依法改进评标方法,严格限定最低投标价法的适用范围,合理界定成本价格,解决低质低价中标带来的安全生产投入不足的问题。对技术风险高、施工难度大的隧道工程项目,应提高安全生产费用提取标准。要从保证工程安全和质量的角度,科学确定合理工期及每个阶段所需的合理时间,及时协调解决影响工程进度的各类问题。严格执行建设工期,不得随意压缩合理工期。确需调整工期的,必须经过充分论证,并采取相应措施,优化施工组织,确保工程安全质量。

(六)完善现场安全管理制度。督促施工现场 建立隧道关键工序或工序调整施工前核查验收制 度,落实关键工序施工前的参建各方审查责任。建 立健全施工方案落实监督和纠正机制,强化施工单 位项目管理班子对作业班组的穿透式管理,严格施 工现场监理监督检查,防止施工方案和现场施工 "两张皮"。依法制定风险分级管控和隐患排查治 理、项目安全风险管理、重大生产安全事故隐患报 告以及安全教育培训等制度,规范管控行为。严格 控制进洞人员数量和洞内高危点位人员数量,严防 人员聚集增大事故风险。

(七)优化分包安全管理手段。鼓励施工总承

包单位建立分包单位"红名单""黑名单",加强对进场施工分包单位和从业人员的资质资格审核,杜绝无资质队伍和无上岗能力的人员进场施工。将专业分包单位和劳务分包队伍纳入总承包单位安全生产管理体系统一管理,严格执行施工人员实名制管理。分包单位应严格落实施工专业技术人员配备标准。对于特长隧道、特大断面隧道以及地质条件复杂隧道工程,总承包单位必须采取更加严格措施强化分包单位选择和现场作业管理。

四、提升重大风险防范化解能力

(八)加强勘察设计源头风险防范。严格按照 法律法规和强制性标准进行勘察和设计,确保地 质、水文等勘察成果真实准确,隧道断面、支护措施 和设计概算等科学合理,从勘察设计源头防范化解 安全风险,防止因勘察工作错误或设计不合理造成 生产安全事故。高风险隧道应开展专项安全设计 和综合风险评估,确定合理工期指标、设计充分辅 助措施、科学制定施工工期,实施过程中做好超前 地质预报,突水突泥等风险区段应严格落实有疑必 探、先探后挖、不探不挖。加强施工现场勘察、设计 单位配合,强化动态设计,关键节点施工前参与检 查和验收,并做好工程施工过程的后评估,对揭示 地质条件与勘察设计不符的,动态调整开挖方案、支 护参数、辅助设施、施工资源等综合风险应对措施。

(九)严格施工现场重大风险管控。严格安全 风险评估制度,建立风险工点管理清单。组织制定 专项施工方案,落实方案审批及专家论证流程,规 范施工工序管理,按照方案开展交底、施工和验收 工作,落实锚喷支护施作的质量和及时性、控制施 工步距和开挖循环进尺、强化监控量测反馈预警等 措施规定。严格落实方案变更论证审查程序,严防 通过"设计优化""工艺变更""材料替代"等形式降 低标准,增大安全风险。强化进洞施工人员管控和 安全技术交底,加强对作业人员岗位安全生产和应 急避险知识的培训教育,以及典型事故案例警示教 育,对超前处理、钻孔、爆破、找顶、支护、衬砌、动 火、铺轨等关键作业工序,监理人员应加强监督,项 目部管理人员必须进行旁站监督。对于按照规定 需要进行第三方监测的危大工程,建设单位应当委 托独立的第三方单位进行监测。

(十)深化事故隐患排查治理。按照隐患动态 "清零"的原则,督促加强施工现场"日检、周检、月 检"等常态化排查治理,开展季节性、节假日、重大 活动等专项排查,及时制止和纠正违章指挥、强令 冒险作业、违反操作规程的行为。建立重大隐患举 报奖励和挂牌督办制度,充分运用信息化手段,实 施问题隐患清单化管理和闭环管理。

(十一)提高应急处置水平。针对地区环境、 隧道类型、地质水文条件和风险类别等特点,指导 参建单位制定综合应急预案、专项应急预案和现场 处置方案。加强应急演练,制定演练计划,每半年 至少组织一次应急预案演练,使所有参建人员熟悉 应急处置和逃生方式。与临近救援力量签订救助 协议,按规定配备应急物资、装备,定期进行检测维 护,使其处于适用状态。与当地气象、水利、自然资 源、地震等部门建立联动工作机制,开展项目营地、 场站、临时作业场所环境风险评估,遇重大事故或 自然灾害前兆,及时发布预警,采取停止作业、撤离 人员等方式,严禁冒险作业。事故发生后,有关地 区应当充分发挥多部门协同作用,做好应急处置和 事故调查工作。

五、夯实安全生产基础

(十二)加快培养隧道施工安全管理人才。加快培养隧道工程技术、施工生产、安全管理人员,培育成熟、稳定、专业的人才队伍。加强常态化技能培训,采取绩效和奖励挂钩机制,鼓励一线管理人员考取相应职业资格,提升安全管理知识和技能。大力推进校企合作,鼓励企业根据隧道施工实际需求,采取订单式培养方式,培养隧道施工专业人才。

(十三)推进核心技术工人队伍建设。鼓励施工企业通过培育自有建筑工人、吸纳高技能技术工人和职业院校毕业生等方式,建立相对稳定的核心技术工人队伍。鼓励发包人在同等条件下优先选择自有建筑工人占比大的施工企业。建立健全建

筑工人终身职业技能培训和考核评价体系,建立企业间培训教育互认平台,避免重复无效培训。营造职业技能等级与劳动报酬挂钩的市场环境,增强工人接受安全培训教育的积极性。

(十四)加大先进工艺技术推广应用。大力实施"科技兴安",推进"机械化换人、自动化减人",加大机械化、信息化及先进技术推广应用,鼓励采用 TBM、盾构、矿山法全工序机械化配套等施工工艺工法,加快推进先进施工装备、智能设备的研发、制造和应用,提高机械化施工程度。推动提升隧道工程项目信息化、智能化和精细化管理水平。加快淘汰严重危及安全的施工工艺、设备和材料。

六、强化支撑保障

(十五)注重示范引导。各地各有关部门要及时总结和推广典型经验和做法,加强隧道施工企业、隧道建设项目安全生产示范创建工作,推动新技术、新装备、新工艺、新管理模式的应用,形成一批可复制、可推广的创新成果。对安全管理规范、三年内未发生生产安全事故和涉险事件的参建企业,可给予提高安全生产措施费拨付比例、依法适当减少执法检查频次、支持申请政策性资金和各类评优评先等激励措施。有关中央企业要强化示范引领,带动全行业安全管理水平提升。

(十六)充分发挥市场机制作用。依法推行安全生产责任险,切实发挥保险机构参与风险评估和事故预防作用。培育壮大安全咨询行业,鼓励建设单位、施工企业聘用第三方专业服务机构参与安全管理,破解部分企业自身安全管理能力不足的难题。鼓励各行业主管部门通过政府购买服务等方式,弥补监管人员力量不足的短板,强化隧道施工安全监管专业能力。

国务院安委会办公室 住房和城乡建设部 交通运输部 水利部 国务院国资委 国家铁路局 中国民用航空局 中国国家铁路集团有限公司 2023年2月17日

匠心铸就精品,创新赋能发展

——广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司擘画高质量发展蓝图

2022年,广东省住房和城乡建设厅发布了第二届广东省工程勘察设计大师名单。集团首席专家梁立农和副总工程师刘吉福榜上有名,被评为广东省工程勘察设计大师,并被多家媒体进行专版报道。





梁立农、刘吉福两位大师,是集团勘察设计领域的技术带头人,始终坚持以匠心精神锤炼精品工程,用技术创新锻造行业荣誉,凭借高水平的实践成果为行业高质量发展奉献智慧与汗水。 获评大师这份荣誉是对两位专家的肯定与嘉奖,也是对集团人才发展工作的认可,必将进一步激励全体员工众志成城、拼搏奋进。作为广东省工程勘察设计领域的先锋劲旅,集团始终将人才培养与发展放在重要位置,不断优化人才培养体系,搭建人才成长平台,加强人才梯队建设,朝向"成为中国领先的工程咨询企业集团"的企业愿景昂首迈进!

(报道者:曹菁菁)

茂湛新颜,粤西腾飞

——集团承担的茂湛高速改扩建一期工程顺利通车

2022 年 12 月 30 日,由集团负责勘察设计的茂湛高速改扩建一期工程全面开放八车道通行。一期工程顺利建成通车,将大大缓解春运期间观珠至林屋互通段的出行压力,提升人民群众出行的幸福感,进一步提升粤西片区的通行能力,为南粤大地纵横交错的交通网络再添一条主动脉。



茂湛高速改扩建项目

茂湛改扩建项目是国家高速公路网中沈海高速公路的一段,也是广东省"十纵五横两环"高速公路主骨架网中第五横的重要一段,路线全长108.6 km,设计时速120 km,按双向八车道高速公路标准进行改扩建。项目分两期建设:一期工程观珠至林屋段共69.4 km,于2019年11月开工建设,于2022年12月23日通过交工验收;二期工程林屋至高阳段已于2020年10月完成招标工作,计划2023年建成通车。在一期工程中,由集团承担设计的路线总长60.857 km。全线桥梁总长8183.38m/144座,桥梁长度为路线总长度的13.4%。分离式立交桥(天桥)13座,涵洞178道。改扩建林头、茂名、鳌头、浅水、杨梅互通立交共5处,利用并局部改造大昌口枢纽立交1处;改建电白服务区1处,新建浅水服务区1处。

集团紧紧围绕改扩建项目"三条带(路基、路面、桥梁拼接带)"进行设计方案优化,提出了管桩优化、增设枕梁、采用抗扰动混凝土等诸多创新方案、材料及工艺,有效提升了工程品质,确保了工程进度。

《中国交通报》(第7889期第7版)以"茂湛新颜,粤西腾飞"为题,从品质、和谐、智慧、生态四个角度报道了茂湛高速改扩建项目打造优质扩建品牌。



2023年1月6日《中国交通报》版面截图

(报道者:李维杰)

总结升华,精进不休

——集团开展新塘立交改造工程项目回访活动

为进一步提升广深高速公路新塘立交及公园上城新盘项目的高质量发展,继 2022 年 3 月后,集团副总经理刘桂红于 2023 年 1 月 10 日再次带领项目组团队前往项目现场开展设计回访与参观交流活动。

在回访活动中,业主高度表扬集团在服务过程中能够做到想项目之所想、急项目之所急,及时 高效地处理施工现场疑问,为工程的顺利快速推进创造了良好条件。



回访团队来到公园上城样板楼上,俯瞰新塘立交高速上盖及国道 107 隧道快速化工程,感受着 既实现了立交快速化又盘活了土地利用的设计蓝图转变为实体的视觉冲击,成就感油然而生。





随后,回访团队来到施工现场,对主体结构已大致完工的下沉式隧道、上盖结构等进行了观摩。项目组设计人员就收边收口细节处理、交安机电、景观绿化、附属设施、改进方向等事宜与建设单位、施工单位专业技术人员进行了探讨。



最后,回访团队与建设单位及施工单位开展了座谈会。座谈会上,各方对于后续类似项目如何 合理确定上盖两侧钢结构长度与开发项目的匹配性,加强消防、通风、逃生系统的合理设置,如何充 分考虑运营需求和收费站工作人员的身心健康以及应用智能化管理手段等需注意及改进的地方, 进行了热烈的讨论。



刘桂红副总经理表示,集团将高度配合业主做好后续服务工作,充分发挥自身优势,提升华润置地公园上城小区与周边路网衔接的密切程度,并充分利用广深高速公路较高的车流量,在具备条件的地方适当植入"公园上城"宣传广告,为沿线综合开发做好铺垫工作。

(报道者: 邝清娴)

延伸城市广度的桥梁师

——省工程勘察设计大师、南粤工匠梁立农人物专题片

"我只是无数建桥匠人中的一个,但正是我们无数建桥匠人的合力,才铸就桥梁大国之脊梁。"

——省工程勘察设计大师、"南粤工匠"梁立农

《南粤工匠——延伸城市广度的桥梁师》

用执着专注撑起大国智造,用精益求精引领创新发展,用一丝不苟赓续文化薪火,用追求卓越筑梦强国未来。由广东省总工会、中共广东省委宣传部和广东广播电视台联合出品,广东省首部为工匠技能人才立传的大型系列纪录片《南粤工匠》,将镜头对准了南粤工匠在日常工作和生活中的真实面貌,记录了工匠们的高光风采和高超技艺。

广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司首席专家、全国十大桥梁人物、广东省工程勘察设计大师、中国公路学会优秀科技工作者、全国公路优秀勘察设计师、广东省五一劳动奖章、"南粤工匠"梁立农的个人专题纪录片《南粤工匠——延伸城市广度的桥梁师》于2023年3月6日在珠江频道、大湾区卫视以及腾讯视频、优酷、喜粤TV、广州地铁电视等新媒体平台与观众见面。





坚守匠心锤炼精品工程,持续创新锻造行业荣誉

梁立农大师从业近 35 年,担任总工程师 19 年,主持了 30 多项重大工程设计,创作了大量喜人的桥梁作品,为享受国务院政府特殊津贴专家。将灵魂融入桥梁,为桥梁赋予生命——这是他的理念。在其代表作中:广东斜拉第一跨 700 m 主跨江顺大桥,首创先滑后固钢锚箱防塔壁开裂等关键技术,获省政府科技进步二等奖;南沙凤凰三桥,首创 4 690 吨整拱提升设计等关键技术,获中国公路学会科技一等奖和中国行业优秀设计一等奖;580 m 主跨斜拉桥富龙大桥,首创 UH-PC 组合桥面板组合梁和全节段工厂蒸养快速组合技术,彻底解决钢桥面疲劳开裂难题,将组合梁斜拉桥推进到千米级跨径和 200 年长寿命;其主要代表作品还有黄茅海跨海通道、汕头牛田洋大桥、南沙凤凰一二桥、番禺大桥、南沙大桥、横门东特大桥、东莞滨海湾大桥等;先后荣获国家质量金奖、银奖各 1 项,国家设计银奖 1 项、铜奖 2 项,全国行业优秀设计一等奖 6 项、二等奖 3 项,省优秀设计一等奖 15 项等各级工程奖 47 项,并在重大桥梁方案国际竞赛中取得 4 次第一名、1 次第二名,在工程设计领域取得了卓著成绩。

省工程勘察设计大师、"南粤工匠"梁立农,是广东交通院勘察设计领域的技术带头人,始终坚持以匠心精神锤炼精品工程、用技术创新锻造行业荣誉,凭借高水平的实践成果为行业高质量发展奉献出智慧与汗水。此次得到广东广播电视台的专题纪录片报道,既是对大师的肯定与嘉奖,也是对广东交通院人才发展工作的高度认可。

梁立农主要代表作品集锦



(报道者:曹菁菁)

数据驱动,数字底图赋能,推动行业数字化转型

──省交通集团高精度数字底图构建及应用二期初步设计顺利通过评审

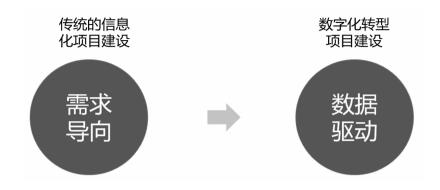
2023年1月14日,由集团负责设计的广东省交通集团有限公司(以下简称"省交通集团") 高速公路高精度数字底图构建及应用项目(以下简称"本项目")二期初步设计方案顺利通过了 专家评审。集团总经理助理兼规划与智慧交通设计院院长兼智慧交通创新与应用研究中心主任 汪超、规划与智慧交通设计院副院长孙卫华、智慧交通创新与应用研究中心副总工程师童杰以及 设计项目组成员参加了评审会。

本项目是国内首次构建省级高速公路数字路网(约10000 km),打造统一的云图一体高精度数字底图平台,构建开放的数据赋能应用生态。高精度数字底图平台将会成为未来广东省智慧高速公路建设和公路数字化的核心支撑平台。

在本项目推进过程中,设计团队秉承着集团"至诚至善,求实创新"的核心价值观,在省交通集团信息中心和高精度底图项目部指导下,突破高速公路机电信息化设计中的传统思维,以数据为驱动,使技术方案深度融合中台、微服务等先进 IT 技术架构,在国内首创基于高精地图数字底座构建图业融合中台、图上作业体系等创新设计方案,得到了与会专家和领导的一致好评。随着本项目设计和实施工作不断深入推进,集团智慧交通设计团队逐渐淬炼出引领智慧交通行业彰显实力风采的技术"硬内核",为集团实现"成为中国领先的工程咨询企业集团"的企业愿景添砖加瓦。



集团设计团队通过不断深层次剖析,深刻认识到:本项目不是传统的信息化建设项目,而是数字化转型项目;不仅仅是"需求导向",更重要的是"数据驱动"。



基于高精度数字底图能力,以中台支撑、聚焦业务的思维开展设计,项目组经过反复研讨形成总体设计思路:将"数据驱动"的思维深入贯彻到系统设计中,打破传统的集成开发模式,逐步沉淀共性能力,驱动业务升级;将传统"单体架构"逐步升级为"微服务"架构,结合新技术和业务发展规划进行创新和升级,使业务系统与业务发展相匹配,实现 IT 系统价值最大化。本项目的主要设计创新点如下:

1. 构建省交通集团数字化应用的图业融合中台

将高精度底图与数据融合,构建省交通集团图业融合中台,形成中台赋能、前台使能的业务 生态体系,助力省交通集团的数字化转型。

2. 构建省交通集团道路资产电子化移交服务平台

将道路资产数据统一管理,消除冗余,实现全局信息贯通共享,支撑数据一致、业务协同,探索省交通集团道路资产数据资源"一次录入、动态更新、多处共享"的实践。

3. 构建高度协同、敏捷高效的图上作业体系

全面提高业务系统的数据共享能力,以数据驱动业务升级。通过数字底图将各类业务数据融合关联,初步形成"一张图"图上作业体系,向"问题图上说,方案图上做,业务图上管"的目标演进,提升图上作业能力。

在下阶段工作中,集团设计团队将严格按照省交通集团的要求,积极主动做实设计,全力做 好施工图设计和实施服务工作,不断提升设计和服务质量。

(报道者:魏志博)

创新驱动,数字引领

——集团签约白云区关于推动建筑业数字化转型高速发展 & 标杆共建的倡议

3月2日下午,广州市白云区人民政府召开了"创新驱动,数字引领——白云区建筑业数字化转型高峰论坛"。集团总工程师孙向东、数字化技术研究院副院长傅海堂和市政设计院副院长李钊应邀参加了论坛。

为把握白云区数字化建筑产业集群的新机遇,集团总工程师孙向东代表集团签约了白云区关于推动建筑业数字化转型高速发展 & 标杆共建的倡议。





会上,数字化技术研究院副院长傅海堂作了题为《数字化设计转型实践》的报告,并在会后就白云区建筑业数字化转型、白云区打造千亿级建筑产业集群等话题接受了白云区融媒体中心的采访。



广州市白云区政府为助力白云区建筑业数字化转型,特邀请行业专家与白云区建筑企业家等,凝聚智慧、技术、平台优势,深入交流探讨双循环新格局下的白云区数字化转型发展前景,打造建筑企业数字化转型样本。



集团紧跟行业发展趋势,把握白云区政府着力打造白云区设计之都、汇聚千亿级建筑产业集群的机遇,加快数字化发展,以数字化转型整体驱动生产方式和治理方式的变革,逐步推进打造"广东数字交通院"的数字化战略目标。

广东省倒装结构沥青路面弯沉修正应用

林伟弟

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司 第二设计院,广州 510507)

摘 要:为了得到适用于广东省倒装式沥青路面的弯沉修正系数,基于倒装结构沥青路面在广河高速公路与仁深高速公路的应用现状,结合弯沉计算方法的演变,说明现行路面弯沉验收标准对倒装式沥青路面结构存在不适应性的原因;充分调研类似项目弯沉理论计算值与现场实测值的关系,研究级配碎石基层与沥青层厚度、路面结构总厚度对弯沉修正系数的影响,采用回归分析的方法,得到了满足95%可靠度的路表验收弯沉修正系数 K 的取值范围,并通过工程实例对其进行验证。研究结果表明:(1)目前国内普遍采用单一的弯沉修正系数,是针对旧版沥青设计规范的计算公式提出的,如果直接将这弯沉修正系数套用到现行2017版规范进行修正,其结果将过于宽松,标准偏低,不利于现场施工质量的控制。(2)级配碎石层与沥青层的厚度对路表弯沉值影响很大,"级配碎石层厚/沥青层总厚度"、"级配碎石层厚/路面结构总厚度"与弯沉修正系数均存在较强的线性关系,比值越大,相应的路表验收弯沉修正系数 K 值越大,其范围为:1.22~1.39,可采用线性内插法进行确定,计算成果与现场实测数据吻合较好。(3)建议加强每个地区项目的弯沉试验和跟踪观测,进一步细化弯沉修正系数 K 值的内插公式研究,为今后倒装式沥青路面进一步推广应用提供理论参考。

关键词: 道路工程; 弯沉修正; 统计回归; 倒装结构; 沥青路面

0 引言

"十三五"期间, 围绕推动粤港澳大湾区、深圳 先行示范区的"双区"建设,补短板、强弱项和适度 超前发展、持续发展,广东高速公路网络不断地完 善,新增运营里程超过3300km。2020年底伴随 着潮汕环线高速等9条高速建成通车,广东高速 公路总里程在全国率先突破1万公里,连续7年位 居全国第一。据统计,在已建成的高速公路中,传 统的半刚性基层沥青路面为主要型式,占比约 80%,该种路面结构最大的优点是板体性好,整体 强度高,承载能力高。在轻、中交通荷载等级下, 整体性价比高,适应高速公路路面建设和发展的 需要。但随着经济发展,交通量和轴载的增加,加 上广东省气候炎热、多雨潮湿,高温持续时间长的 特点, 半刚性路面"耐久性差、使用寿命短"的问 题,不断呈现出来。在运营过程中,经常出现车 辙、松散、坑槽、水损害等路面损坏。在一定程度 上,无法满足广东交通荷载和地理气候环境的需 要,使得路面寿命减短,提早6~7年进行大中修。

随着对沥青路面结构行为的深入认识,特别

是国外长寿命或永久性沥青路面的思想的引入, 出于沥青路面结构耐久性和全寿命沥青路面周期 经济分析思想。近些年来,许多专家学者对倒装 式沥青路面进行了研究,并取得了一些有实际意 义的成果。

经调查分析,倒装结构沥青路面结合了半刚性基层板体性分散荷载作用的优点及柔性基层抗疲劳性能,消除因为半刚性基层不足引发的病害。其裂缝率相对于半刚性基层沥青路面,可以减少约2~3倍。综合来看,倒装式基层沥青路面更适合在湿热地区特重交通高速公路上使用[1]。

李福普等^[2]指出:半刚性沥青路面由于水泥稳定碎石基层温缩、干缩开裂导致的反射裂缝是沥青路面的主要病害之一,而采用级配碎石基层对于减少沥青面层裂缝具有较好效果,在克服早期横向裂缝方面,表现出优越性。

王春明^[3]采用有限差分方法,模拟福建省倒装沥青路面结构温度场的时空分布规律。研究表明:在水泥稳定碎石基层上铺设级配碎石和沥青碎石,可以改善基层内部温度梯度与基层顶部的温度变化幅度,可减小由半刚性基层温缩引起的

反射裂缝。

为适应高温湿热气候条件下,提高重交通荷载等级的沥青路面的耐久性,减少和延缓反射裂缝病害的发生,广东省近年来在广河高速公路(惠州段)、仁深高速公路(博罗段)等项目,选取试验段开展了规模化的倒装式沥青路面的应用研究。

1 倒装式柔性基层沥青路面在广东省的应用情况

1.1 广河高速公路(惠州段)

广河高速公路(惠州段),设计年限内1个车 道上的累计标准轴载 Ne = 2.4×10⁷次,属于重交 通荷载等级。路面结构设计采用倒装式柔性基层 沥青路面结构,沥青面层采用(4 cm 厚 Sup - 12.5 +7cm 厚 Sup - 19 +8 cm 厚 Sup - 25),上基层 9 cm 厚 ATB - 25、下基层 32 cm 厚级配碎石、底基层 15 cm 厚水泥稳定碎石。依据交通运输部公路科学研究院的《广州至河源高速公路惠州段路面弯 沉标准研究报告》的结论^[4],对路表验收弯沉进行调整,采用 43.5(0.01 mm)。

自2012年1月通车以来,路面行驶质量整体较好,平整密实、抗滑性能好,未发现结构性破坏^{[5],[6]}。路面行驶质量指数(*RQI*)优良率占98%,仅存在局部坑槽和裂缝,但路表弯沉值较大,如图1~3所示。

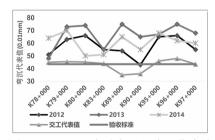


图 1 左幅 2012 - 2014 年度每公里弯沉代表值对比图

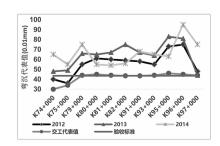


图 2 右幅 2012 - 2014 年度每公里弯沉代表值对比图

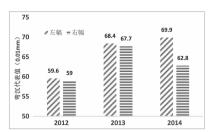


图 3 2012-2014 年度左右幅弯沉代表值对比图

由统计结果可知,2012~2014年间各路段路表弯沉的实测值介于37.6~72(0.01 mm)之间,个别达到81(0.01 mm),运营前3年,各路段的弯沉代表值均较交工验收时的弯沉代表值大,整体呈现逐年增长的趋势。而2013-2014年间右幅有一定幅度降低,左幅小幅增大。这主要是因为在半刚性底基层和沥青层之间设置了32 cm 厚度的级配碎石,其模量较低,造成路表弯沉较大。

通过对历年路面弯沉结果进行对比分析,如图 4 可以看出:弯沉随着龄期没有增加,在 2014 年之后,反而呈现变小的趋势。2017 年与 2018 年间,双向各车道每公里代表弯沉平均值大多数在30.0(0.01 mm)以下,PSSI 评价等级均为优,路面结构承载能力较高。这一现象与 20 世纪末,英国TRL公布的英国长寿命沥青路面的观测结果一致,与《福建省高速公路新型结构沥青路面结构设计指南》中提出的柔性路面路表弯沉随时间推移变化趋势的结论相吻合。



图 4 广河高速公路弯沉变化规律图

这主要是因为:柔性基层级配碎石模量,随着 沥青层加铺之后,含水量较为稳定,其模量基本保 持不变化;沥青层混合料由于油质挥发,沥青质增 多,胶质含量有所降低,沥青胶结料产生硬化,导 致沥青混合料模量的增加。

1.2 仁深高速公路(博罗段)

2016年,仁深高速公路在充分调研了福建、广

东两省倒装路面结构应用的基础上,分析研究该结构在各项目上的适用性及优缺点。对路面结构进行了优化调整,应用于博罗县的平安互通立交至响水停车区 10 km 路段(桩号 K459 + 500 ~ K469 + 595)。通过减薄级配碎石基层的厚度,降低沥青面层在荷载作用下的弯曲半径,从而减缓沥青面层的结构性疲劳破坏。同时为保证柔性层具有足够的层底弯拉应力,满足应力的有效扩散,将级配碎石层厚度调整为 12 cm。此外,增加水稳底基层厚度至 36 cm,有利于降低路基土顶面压应力水平,同时提高级配碎石的模量。路面结构参数,如表 1 所示。

表 1 路面结构参数表

结构层	材料	动态压缩模量/MPa
上面层	4 cm SMA - 13	12 000
下面层	6 cm AC - 20C	11 000
上基层	16 cm ATB - 25	9 000
下基层	12 cm 级配碎石	500
底基层	18 cm 4% 水泥稳定级配碎石	10 000
底基层	18 cm 4% 水泥稳定级配碎石	10 000
土基顶面		60

根据交通量预测结果,计算得到设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量为: 2.015×10⁷ 辆,属于特重交通荷载等级。根据现场实测弯沉结果,修正后的路表验收弯沉采用36.8(0.01 mm),路面的各项力学指标,无机结合料稳定层与沥青混合料层的疲劳开裂验算均能满足规范的相关要求。

该项目从 2018 年底通车至今 3 年,根据 2020 - 2021 年度定检报告:路面技术状况指数 PQI 为 97. 18,其他各分项指标:路面损坏状况指数 PCI 为 99. 56,路面车辙深度指数 RDI 为 96. 39,路面行驶质量指数 RQI 为 95. 42,路面跳车指数 PBI 为 99. 31,路面抗滑性能指数 SRI 为 93. 19,路面结构强度指数 PSSI 为 99. 81,路面弯沉代表值为 17. 3 ~ 25. 1 之间,路面结构强度较好。路面技术状况 PQI 优等路率为 100%。从路面性能看,路面水损

坏、坑槽、车辙等早期损坏问题几乎没有,路面行驶质量高,取得了明显的经济和社会效益。

2 现行规范对倒装式沥青路面验收弯沉的适用性分析

刘贺,吴传海^[7]通过对全柔性沥青路面各层 实测弯沉值与计算值进行比较分析得到:采用设 计文件设计值和计算软件 HPDS2011 的计算值,合 格率为0。需调整指标才能完成对柔性基层及相 应面层的弯沉判定。

王璜^[8]研究认为各弯沉标准与实测弯沉间均存在相互矛盾的情况,现行弯沉设计标准体系不适用于柔性基层的沥青路面结构,应重新调整柔性基层沥青路面的设计弯沉计算方法。

王旭东^[9]从路面结构承载能力角度出发,指出完善弯沉设计指标是完善沥青路面力学经验设计方法的有效途径。聂忆华^[10]针对我国弯沉计算公式对全厚式沥青路面结构的不适应性,通过国内外计算公式参数的修正,提出了新的弯沉计算公式。胡春华等^[11]利用现场实测数据进行统计分析,于2005年提出能够适应柔性基层沥青路面的弯沉F修正公式。冯志慧^[12]通过分析具有代表性的柔性结构沥青路面的总厚度及层底受力状况,进行弯沉回归分析,重新标定了基层类型系数。

纵观我国沥青路面发展史,从 1978 年到 2017 年,经过7次规范的修订不断调整。每次弯沉设 计公式的修订,都是针对当时最典型的公路结构 进行调整。现行设计规范的设计体系主要是以半 刚性基层为典型结构的沥青路面设计。对于半刚 性沥青路面,弯沉设计标准总体上是逐渐提高,即 弯沉值逐渐降低。而倒装式沥青路面结构毕竟是 一种新的结构型式,与传统半刚性基层存在较大 差异,在国内其真正应用只有15年左右,尚未针对 该路面结构制定相应的设计标准,在广东省内也 只有广河、仁深两条高速公路进行规模化应用。

规范指出:对于交通量较大的柔性基层沥青路面结构,现在尚处于研究阶段,缺乏理论研究及工程实践经验,故采用柔性基层沥青路面结构时,

应综合考虑国外经验及国内实际。2017版的沥青路面设计规范,虽然取消了路表弯沉设计指标,但由于弯沉测定,广为熟知,具有使用简便、直观、经济和较快速的优点;同时对于同一种或同一段路面结构,弯沉指标仍能反映出该结构的承载能力,2017版沥青路面设计规范仍将弯沉作为路基和路面的交工验收指标。

2017 版规范附录 B. 7. 3^[13] 计算路表验收弯沉值时,采用平衡湿度状态下顶面当量回弹模量乘以模量调整系数 kl,kl 用以协调理论弯沉与实测弯沉的差异。如式(1)所示。

$$\begin{split} &l_a = P \ l_a \\ &\bar{l}_a = f \left(\frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \cdots, \frac{h_{(n-1)}}{\delta}; \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \cdots, \frac{k_l}{E_{(n-1)}} \right) \end{split}$$
 式中: l_a —理论弯沉系数;

 k_l 一路基顶面回弹模量调整系数; δ 一标准荷载的当量圆半径:106.5 mm; $h_1, h_1, \cdots, h_{n-1}$ 一各结构层厚度(mm); E_0 一平衡湿度下路基顶面回弹模量(MPa);

E₁, E₂, ··· , E_{n-1}—各结构层模量(MPa)
P—标准轴载的轮胎接地压强 0.7(MPa)。

采用 HPDS2017 根据弹性层状体系理论按上式计算得到仁深高速公路(博罗段)倒装结构路面结构的理论路表交工验收弯沉值 L_a = 30.1(0.01 mm)。这与现场实测弯沉值存在较大的差别。该项目于 2018 年 9 月份施工完路面上面层,现场采用贝克曼梁实测路表弯沉代表值为 30.3 ~ 37.6 (0.01 mm)之间。

可以看出采用现行规范计算路表验收弯沉值,在应用中依然存在弯沉"超标"的问题。分析 其原因,主要有以下几个方面:

2.1 模量调整系数 k_r

该系数是通过采集国内 4 条柔性路面公路的容许弯沉值与累计轴次进行回归得到的,其样本数量较少,且大多数采集样本为北方省份,对于南方高温湿热地区代表性不足。根据规范的解释说明:"当路面结构层采用无机结合料稳定类基层沥青路面和水泥混凝土基层沥青路面,取 0.5;粒料

类基层沥青路面和沥青结合料类基层沥青路面, 当采用无机结合料稳定底基层时,取 0.5,否则取 1.0"。即倒装结构的沥青路面(粒料类基层沥青 路面,无机结合料稳定底基层),该模量调整系数 kl 取值 0.5,与半刚性基层路面类型取值一致。计 算弯沉值时,仅能通过各结构层模量取值不同加 以调整。

2.2 气候条件及交通环境的特殊性

广东省地处中国大陆最南部,位于东亚季风区,从北向南分别为中亚热带、南亚热带和热带气候。气候炎热,高温持续时间长,是全国光、热和水资源较丰富的地区,且雨热同季。年平均气温22℃,历史极端最高气温为42.0℃,极端最低气温-7.3℃。按沥青路面气候分区属于夏炎热冬温潮湿区,即1-4-1。根据广东省近20年的气候数据统计显示,近年来极端高温、35℃以上高温天数、35℃以上高温积温等气候参数均具有增强的趋势,高温条件将明显影响路面性能,进而影响到材料的选择。沥青混合料在长时间重载和高温的作用下,其压缩模量和强度将随温度升高而显著下降,加大沥青混合料的变形,进而产生车辙、推移等永久性病害,降低路面的使用性能。

广东省的雨季主要集中在 4~9 月,年平均降水量为 1789.3 mm,最少年份为 1314.1 mm,最多年份达 2254.1 mm。降水对地基土和路面材料的冲刷及材料性能影响很大。土体含水量增加,将导致路基承载力下降,影响路面使用性能^[14]。

多雨潮湿地区施工过程中,半刚性底基层的强度形成较慢,导致级配碎石的承载能力较低,级配碎石顶面弯沉普遍偏大,难以达到原设计要求;同时潮湿状态下的级配碎石层模量降低也会导致弯沉的增加^[15]。

2.3 级配碎石的粒料性

级配碎石由于没有采用胶结料,其强度主要 靠碎石自身的强度及碎石颗粒之间的嵌挤能力, 其力学性能与沥青混合料和半刚性材料不同。受 原材料质量、粗集料含量以及施工期间含水量影 响较大。故原材料对级配碎石混合料的性能影响 非常大,采用优质的级配碎石和严格控制生产质量对于保证级配碎石的性能非常重要^{[16],[17]}。

2.4 交通负荷大

交通量与中型以上货车比例是影响路面使用性能的关键因素。广东省作为全国经济第一强省,货物运输及客流均排在全国前列。为了便于比较,收集了全国89条高速公路的设计累计标准轴次,汇总得到统计分布图,如图5所示。

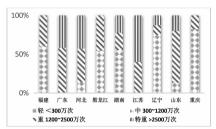


图 5 全国 89 条高速公路累计标准轴次统计分布图

全国现有高速公路交通荷载具有较大的差异,东部沿海发达省份(如广东、山东、江苏)普遍为重载交通等级公路;北方及西部地区(如黑龙江、辽宁、重庆)以为轻、中型交通荷载等级公路为主,其中广东省特重型交通荷载公路的比例高达42%,加之超载问题较为突出,使得路面的使用年限大打折扣。

图 6 为广东省已运营部分高速公路交通荷载推算 15 年累计标准轴次的区域分布情况,从图中可以看出广东省内所调查的 23 条高速公路均为重型和特重型交通等级公路,珠三角地区大部分为特重型交通等级公路,其中广深高速设计累计标准轴次高达 4 958 万次。

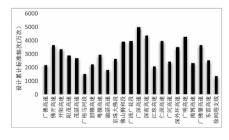


图 6 广东省 23 条高速公路累计标准轴次统计分布图

目前国内专家学者,基于倒装式沥青路面的特点,考虑地区的气候、交通量等因素,提出的修正弯沉验收标准,均为针对 2006 版规范的计算公式提出。而现行 2017 版规范同样不能很好地适用

于计算倒装式沥青路面验收弯沉值,需要对弯沉 计算公式进行修正,为广东省倒装式沥青路面路 表验收弯沉值的确定提供依据。

3 弯沉修正及验证

根据设计规范确定路表验收弯沉值的原则, 验收弯沉值是依据路面结构模量计算标准轴载 的轮胎接地压强 0.7 MPa 下的计算弯沉来确定 的^[18],取其中最小弯沉值乘以模量调整系数 kl 为验收弯沉值。

仁深高速公路倒装结构路段施工完成后,采用贝克曼梁对路表的弯沉进行了实测,路段长度10 km,桩号范围: K459 +500 ~ K469 +595。沿行车方向每隔20 m 实测1个断面,每个断面分左右幅、分车道,共测试了2514组数据,如下图7所示。

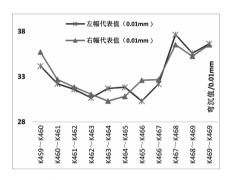


图 7 仁深高速公路倒装结构路段路表弯沉代表值

从图中可以看出,倒装结构路段路表弯沉代表值处于 30.3~38.0(0.01 mm)之间,左右幅弯沉趋势一致,离散性不大。对于 K467~K468 路段弯沉达 37.6(0.01 mm),分析其原因,主要是因为该路段为低填浅挖段,而施工期间连续的雨水天气及项目丰富的地表水系及地下水系造成路面结构层含水量偏大。如果采用现行规范计算值 L_a = 30.1(0.01 mm)作为弯沉验收指标,则路表交工验收弯沉合格率为0。

参考文献交通运输部公路科学研究院汇总了全国 9 个省 328 个路段的柔性结构、厚沥青层路面结构计算弯沉与实际测量弯沉的差异。大约有72.8%路段不合格。建议计算弯沉值可在 2006 版设计规范 F 修正的基础上,放大 1.4 倍^[16]。基于

95% 统计可靠性的弯沉修正,在大量现场实测数据基础上,对弯沉计算值加以修正,假设修正系数为 *K*。当 *K* 值等于 1.22 时,修正后的验收弯沉为36.8(0.01 mm),可满足可靠度为95%的要求。

由于广东省内已建成高速公路中,大规模应 用倒装结构路面的项目较少,为了提高回归方程 的准确性,增加样本数量,本文将福建省近些年修 建的同类型项目进行统计分析,如表 2 所示。

项目	仁深	广河	建泰	建泰匝道	厦蓉	厦沙	龙长	浦南	泉三	厦漳
交通荷载等级	特重	重型	中型	轻型	重型	重型	中型	中型	特重	特重
沥青层厚度/cm	26	28	20. 5	20	28	26	26	26	26	28
级配碎石上基层厚度 cm	12	32	16	15. 5	15	16	16	15	15	16
路面总厚度/cm	89	75	66. 5	55. 5	79	74	72	73	73	79
X1:级配碎石层厚÷沥青层厚度	0.46	1. 14	0.78	0.78	0. 54	0.62	0.62	0. 58	0.58	0. 57
X2:级配碎石层厚÷路面总厚度	0. 13	0.43	0. 24	0. 28	0. 19	0. 22	0. 22	0. 21	0. 21	0. 20

39.5

49.7

1 26

48.8

61.8

1.27

31.6

38. 9

1.23

31.7

40. 1

1.26

31.5

38.8

1.23

31.7

38.6

1.22

31.7 31.4

38.6 38.8

1.22 1.24

30.1

36.8

1 22

31.4

43 5

1.39

表 2 各高速公路的弯沉修正系数

从前文的分析可知,级配碎石层与沥青层的厚度对路表弯沉值影响很大。上表中,当级配碎石层与沥青层比值越大,相应的弯沉值修正系数 K 值越大,其大小从 1.22~1.39 不等,并非固定值。广河高速公路,级配碎石层厚达 32 cm,与沥青层厚比值为 1.14,相应的弯沉修正系数为1.39。仁深高速公路,减薄级配碎石层厚度为 12 cm,增加水稳底基层厚度至 36 cm,路面结构层与福建的厦蓉高速公路较接近,相应弯沉修正系数 为 1.22。

HPDS2017 计算验收弯沉值(0.01 mm)

项目采用的验收弯沉值(0.01 mm)

弯沉修正系数 K

如果按照 2006 版规范及《福建省高速公路新型结构沥青路面结构设计指南》将修正系数取值为 1.4。虽然现场实测的弯沉代表值均能 100%满足验收要求,但这将导致现场施工容易达到设计要求,标准偏低,不利于现场施工质量的控制。因此,建议采用 2017 版规范公式计算倒装式沥青路面的验收弯沉值,其修正系数 K值,需根据不同项目的路面结构型式进行内插取值,其范围为:1.22~1.39。

将上述所选路段的级配碎石层厚分别与沥青层厚度、路面结构层总厚度的比值作为横坐标,弯沉修正系数 *K* 作为纵坐标,回归所得曲线如图 8、图 9 所示。

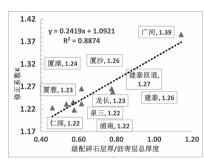


图 8 级配碎石层厚/沥青层总厚度与弯沉修正系数关系图

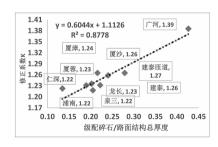


图 9 级配碎石层厚/路面结构总厚度与弯沉修正系数关系图

从图中可以看出,"级配碎石层厚/沥青层总厚度"、"级配碎石层厚/路面结构总厚度"与弯沉修正系数关系,均有着较强的线性关系,相关系数 R^2 为 0. 89。路表验收弯沉修正系数 K,可由线性内插确定。

由于本次研究只采用了10条倒装式沥青路面的验收弯沉资料,样本数量相对较少。同时由于修正系数受很多因素的影响,故建议每个地区

项目进行弯沉的试验和跟踪观测,进一步细化修 正系数 K 值的内插公式研究。

4 结论

- (1)现行沥青路面设计规范不能很好地适用 于计算倒装式沥青路面验收弯沉值,需要对其进 行修正。目前国内普遍采用的弯沉修正系数 1.4,是针对旧版沥青设计规范的计算公式提出。 如果单一地将这弯沉修正系数套用到现行 2017 版规范,结果将过于宽松,标准偏低,不利于现场 施工质量的控制。
- (2)在大量现场实测数据基础上,统计各项目弯沉理论计算值与实测值的关系,分析了"级配碎石层厚/沥青层总厚度"、"级配碎石层厚/路面结构总厚度"与弯沉修正系数,均有着较强的线性关系,相关系数 R^2 约为 0. 89。回归得到了满足 95% 可靠度的路表验收弯沉修正系数 K,其范围为:1.22~1.39。当级配碎石层厚度越大,K值越大,具体操作可通过图 8、图 9 的关系图内插确定。
- (3)考虑本次研究只采用了华南地区 10 条 倒装式沥青路面的验收弯沉资料,样本数量相对 较少。同时由于修正系数受很多因素的影响,故 建议每个地区项目进行弯沉的试验和跟踪观测, 进一步细化修正系数 K 值的内插公式研究,为今 后倒装式沥青路面进一步推广应用提供理论参 考,为广东省倒装式沥青路面路表验收弯沉值的 确定提供依据。

参考文献:

- [1] 许新权,吴传海,李善强.广东省高速公路典型结构 沥青路面使用性能调查与分析[J]武汉理工大学学报, 2016,40(1):689-693.
- [2] 李福普,陈景,严二虎.新型沥青路面结构在我国的

- 应用研究[J]. 公路交通科技. 2006,23(3):10-14.
- [3] 王春明. 福建省典型倒装路面结构温度场数值模拟
- [J]. 南昌工程学院学报,2011,30(4):39-44.
- [4] 交通运输部公路科学研究院《广州至河源高速公路 惠州段路面弯沉标准研究报告》「R]. 2011.
- [5] 蒋智禹. 倒装式沥青路面结构的力学性能研究[D]. 湖南大学,2012.
- [6] 李伟聪,龚侥斌. 全柔性沥青路面弯沉验收标准研究
- [J]. 武汉理工大学学报,2019,43(3):462-466.
- [7] 刘贺,吴传海. 全柔性沥青路面各层实测弯沉值与计算弯沉值比较分析[J]. 广东公路交通,2013(2):1-4.
- [8] 王璜. 柔性基层沥青路面弯沉设计指标体系研究 [D]. 长安大学,2011.
- [9] 王旭东. 沥青路面弯沉指标的探讨[J]. 公路交通科技,2015,32(1):1-13.
- [10] 聂忆华, 张起森. 全厚式沥青路面结构弯沉设计指标研究[J]. 公路交通科技,2007,24(2):5-12.
- [11] 胡春华,孙立军. 沥青路面弯沉修正系数研究[J]. 公路交通科技,2005,22(9):66-69.
- [12] 冯志慧,薛鹏涛,王荣华,王钊. 华南地区沥青路面设计弯沉计算方法[J]. 公路交通科技,2013,33(6):28-
- [13] JTG D50 2017, 公路沥青路面设计规范 [S]. 北京:人民交通出版社. 2017.
- [14] 黄博彦,王钊.广东省柔性基层沥青路面设计弯沉 计算参数研究[J].广东公路交通,2012(2):8-12.
- [15] 高德天. 高温与重载对沥青路面的影响[J]. 山西建筑,2010,36(28):270-271.
- [16] 福建省高速公路建设总指挥部,交通运输部公路科学研究院. 福建省高速公路新型结构沥青路面结构设计指南[R].
- [17] 高启聚, 郭忠印, 丛林. 粒料基层沥青路面土基压 应变设计指标研究[J]. 公路交通科技,2009(7):13-17.
- [18] 徐艳玲. 多指标体系下的路基路面弯沉验收方法研究[D]. 重庆交通大学,2012.

排水固结堤坝稳定分析新方法

刘吉福

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,广州 510507)

摘 要:针对规范推荐的有效应力法因滑动面上的有效应力难以确定而很少应用、有效固结应力法计算的稳定安全系数偏小等缺陷,设法探索实用合理的排水固结堤坝稳定分析方法。基于模型试验中濒临破坏的软基位移场中滑动面近似由三段直线及其之间的曲线组成,将排水固结堤坝潜在滑动体简化为主动剪切区、直接剪切区、被动剪切区。对主动和被动剪切区滑动面上的软土,利用斯开普顿公式得到主应力增量产生的孔压、利用莫尔库仑强度准则得到有效主应力之间的关系,推导得到主应力增量差,进而得到竖向和水平向有效应力及剪切破坏面法向有效应力;对直剪区滑动面上的软土,利用斯开普顿孔压公式计算主应力增量产生的孔压,根据剪切破坏面上的剪应力增量与抗剪强度相等的原则,推导主应力增量差,进而得到剪切破坏面法向有效应力。然后,对三区利用库仑定理得到以竖向有效固结应力为变量、由有效抗剪指标和孔压系数组成系数的破裂面上抗剪强度公式。对摩擦抗剪强度系数的计算表明,相对本文方法的三区系数平均值,沈珠江建议的 tanφen的误差为 -6% ~7%,规范方法偏小19% ~25%,十字板试验偏小19% ~31%。最后,利用上述抗剪强度公式提出了排水固结堤坝稳定分析方法——强度系数法。对运营公路排水固结路堤采用不同方法稳定分析表明,规范方法计算的稳定安全系数小于1,强度系数法和沈珠江方法计算结果与工程实际情况符合性较好。

关键词: 路基; 强度系数法; 抗剪强度; 稳定分析; 排水固结; 有效固结应力法; 有效应力法

0 引言

相对复合地基法,排水固结法是一种经济、可靠、耐久的软土地基处理方法,在我国沿海软土地区土木工程领域得到广泛应用。对排水固结堤坝的稳定分析,有效应力法、有效固结应力法、改进总强度法等是现行规范经常推荐的方法^[1-7]。

有效强度指标的测定和取值比较稳定可靠。 但是堤坝滑塌时滑动面上软土因剪切产生的超 静孔压难以计算确定,导致工程实践中很少采用 有效应力法。

有效固结应力法简单实用,在工程实践中应用广泛。但是工程实践表明其计算的稳定安全系数偏低,甚至出现部分既有排水固结堤坝的稳定安全系数小于1.0的不合理现象。有效固结应力法中堆载产生的软土抗剪强度增量均为堆载在滑动面上的法向分力与固结度和 tanφ_{eq}或tanφ_{eu}之积^[1-7],未考虑水平力对抗剪强度的作用。部分规范中又采用沈珠江建议的考虑水平

水堆抗剪强度作用的 $\Delta \sigma_z$ Utan φ_{cu} 计算抗剪强度增量 $^{[2-4,8]}$,存在前后矛盾的现象。

部分规范采用 $\Delta \sigma_z$ Utan φ_{cu} 计算抗剪强度增量或曾国熙建议的 $\eta \Delta \sigma_z$ UK₀tan φ' 计算软土抗剪强度^[9-12],但未明确稳定分析方法。

现行规范关于排水固结堤坝推荐的稳定分析方法存在的缺陷限制了排水固结的应用范围。

在对软基堤坝滑动面形状、滑动面不同部位软土抗剪强度分析的基础上,推导了基于有效抗剪指标和孔压系数的软土抗剪强度公式,提出了排水固结堤坝稳定分析新方法——强度系数法,并利用工程实例验证了该方法的有效性,对软基堤坝稳定分析提出了建议。

1 堤坝软基滑动面形状

1.1 软土剪切破坏面

由图 1、图 2 可知,各种排水条件的剪切试验表明,软土剪切破坏面倾角均接近 60° ,因此软土剪切面与大主应力作用面的夹角 θ 与排水条件无关,而

是取决于有效内摩擦角 φ' ,即 $\theta = 45 + \varphi'/2$ 。



(a)不固结不排水 (b)固结不排水 (c)固结排水 **图1** 软土三轴压缩破坏面形式^[13]

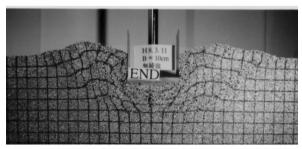




图 2 软土无侧限压缩剪切面形式

1.2 路堤滑动体分区

模型试验表明,软土地基中的位移场如图 3^[14]、图 4 所示,堤坝软基中滑动面由三段直线及 其之间的短曲线组成,可近似简化为三段直线,堤坝软基中滑动体可分为坡肩内侧的主动区、边 坡范围附近的直剪区、坡脚外侧的被动区。



(a)承载力模型试验中滑动面



(b) 堤坝离心模型中滑动面

图 3 模型试验中软土地基位移场

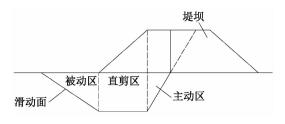


图 4 软基堤坝滑动体分区

2 地基土抗剪强度

堤坝沿纵向高度和地质条件相同时,堤坝纵向应变为零,属于平面应变问题,中主应力系数接近0.5。试验表明,中主应力系数大于0的软土抗剪强度大于中主应力系数等于0的软土抗剪强度^[15-17],为简便起见,可偏保守地假设中主应力系数等于0。

2.1 主动区

如图 5 所示,主动区滑动面上软土单元在 σ_z 、 σ_x 作用下固结到一定程度后,施加 $\Delta\sigma_z$ 、 $\Delta\sigma_x$ 使其剪切破坏,剪切破坏面倾角为 $\theta=45+\varphi'/2$ 。

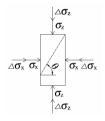


图 5 主动区滑动面软土单元应力

施加 $\Delta\sigma_z$ 、 $\Delta\sigma_x$ 前,软土单元竖向有效固结应 力为 σ_{zx} ,水平有效固结应力为 $\sigma_{xc} = K_c\sigma_{zx}$ 。在 $\Delta\sigma_z$ 、 $\Delta\sigma_x$ 作用下剪切破坏时,孔压增量、竖向和水 平向的有效应力见式(1)~式(3)。

$$\Delta u = \Delta \sigma_x + A_t (\Delta \sigma_z - \Delta \sigma_x) \tag{1}$$

$$\sigma_{z}' = \sigma_{zc} + \Delta \sigma_{z} - \Delta u \tag{2}$$

$$\sigma_x' = K_c \sigma_{xc} + \Delta \sigma_x - \Delta u \tag{3}$$

式中: Δu 为孔压增量, $\Delta \sigma_x$ 为水平向应力增量, A_f 为软土剪切破坏时孔压系数, $\Delta \sigma_z$ 为竖向应力增量, σ_z' 为竖向有效应力, σ_z 为竖向有效固结应力, σ_x' 为水平向有效应力, K_c 为 σ_x 与 σ_z 的比值。

由式(1)~式(3)可得:

$$\sigma_z' = \sigma_{zc} + (1 - A_f) \left(\Delta \sigma_z - \Delta \sigma_z \right) \tag{4}$$

$$\sigma_x' = K_c \sigma_{zc} - A_f (\Delta \sigma_z - \Delta \sigma_x) \tag{5}$$

由莫尔库仑强度准则可得:

$$\sigma_x' = \sigma_z' K_a - 2c' \sqrt{K_a} \tag{6}$$

式中: K。为主动土压力系数。

由式(4)~式(6)可得:

$$\Delta\sigma_z - \Delta\sigma_x = \frac{\sigma_{zc}(K_c - K_a) + 2c'\sqrt{K_a}}{A_f + (1 - A_f)K_a}$$
 (7)

由式(4)和式(7)可得:

$$\sigma_z' = \frac{\sigma_{zc} [A_f + (1 - A_f) K_c] + 2c' \sqrt{K_a} (1 - A_f)}{A_f + (1 - A_f) K_a}$$
(8)

根据图 5. 由库仑定理可得软土剪切破坏面上 的抗剪强度为:

$$\tau_r = (\sigma_r' \cos^2 \theta + \sigma_s' \sin^2 \theta) \tan \varphi' + c'$$
 (9)

式中: τ ,为剪切破坏上的抗剪强度, φ' 为有效内摩 擦角,c'为有效黏聚力。

由式(6)、式(9)可得:

$$\tau_r = (\sigma_z' \tan \varphi' + c') K_0 \tag{10}$$

式中: K₀ 为静止土压力系数。

由式(8)和式(10)可得:

$$\tau_r = \sigma_{zc} m_\omega + c' m_c \tag{11}$$

$$m_{\varphi} = \frac{A_f + (1 - A_f) K_c}{A_f + (1 - A_f) K_a} K_0 \tan \varphi'$$
 (12)

$$m_c = \frac{K_0}{A_f + (1 - A_f)K_a} \tag{13}$$

式中: m_a 为摩擦强度系数, m_a 为黏聚力系数。

非饱和土不产生超静孔压,强透水土的超静 孔压快速消散, $\sigma_{zz} = \sigma'_z$,由式(10)和式(11)可得:

$$m_{\varphi} = K_0 \tan \varphi' \tag{14}$$

$$m_c = 1 - \sin \varphi' \tag{15}$$

为便于与沈珠江方法对比,下面推导固结不 排水剪切内摩擦角与有效内摩擦角的关系。

对固结不排水剪切试验,软土先在围压下固 结,然后不排水剪切, $K_e = 1$,式(12)变为:

$$m_{\varphi} = \frac{K_0 \tan \varphi'}{A_f + (1 - A_f) K_a}$$
 (16)

两个相同的软土试件分别在两个不同的围压 σ_{c1} 、 σ_{c2} 下完全固结,然后不排水剪切破坏。根据 式(11),两个软土试件剪切破坏时对应的应力圆 半径分别为:

$$R_1 = (\sigma_{c1} m_{\sigma} + c' m_c) \sec \varphi' \tag{17}$$

$$R_2 = (\sigma_{c2} m_{\phi} + c' m_c) \sec \varphi' \tag{18}$$

式中: R_1 为对应 σ_a 的应力圆半径, R_2 为对应 σ_a 的应力圆半径。

设 $\sigma_{\alpha} > \sigma_{\alpha}$,根据固结不排水剪切抗剪强度指 的定义可得:

$$\sin \varphi_{cu} = \frac{R_2 - R_1}{\sigma_{c2} + R_2 - (\sigma_{c1} + R_1)} = \frac{\sin \varphi'}{1 + 2A_f \sin \varphi'}$$
 (19)

式中: φ_{∞} 为固结不排水剪切内摩擦角

2.2 被动区

如图 6 所示,被动区滑动面上土单元在 σ_x 、 σ_x 作用下固结一定程度后,施加 $\Delta\sigma_{c}$ 、 $\Delta\sigma_{c}$ 使其剪切 破坏, $\theta = 45 + \varphi'/2$ 。

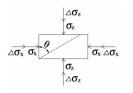


图 6 被动区滑动面土单元应力

与主动区推导过程类似,施 $\Delta\sigma_z$ 、 $\Delta\sigma_x$ 前的竖 向有效固结应力为 σ_{xx} , 水平向有效固结应力为 $\Delta \sigma_{xc} = K_0 \Delta \sigma_{zc}$ 。软土单元剪切破坏时,孔压增量、 水平向和竖向有效应力为:

$$\Delta u = \Delta \sigma_z + (\Delta \sigma_z - \Delta \sigma_z) A_c \tag{20}$$

$$\sigma_x' = K_0 \sigma_{xx} + (\Delta \sigma_x - \Delta \sigma_x) (1 - A_t) \tag{21}$$

$$\sigma_z' = \sigma_{zc} - (\Delta \sigma_x - \Delta \sigma_z) A_f \tag{22}$$

由莫尔库仑强度准则可得:

$$\sigma_x' = \sigma_z' K_p + 2c \sqrt{K_p} \tag{23}$$

式中: K_a 为被动土压力系数。

由式(20)~式(23)可得:

$$\Delta\sigma_x - \Delta\sigma_z = \frac{\sigma_{zc}(K_p - K_0) + 2c\sqrt{K_p}}{A_f K_p + 1 - A_f}$$
 (24)

由式(22)和式(24)可得:

$$\sigma'_{Z} = \frac{\sigma_{zc} (A_{f} K_{0} + 1 - A_{f}) - 2c' \sqrt{K_{p}} A_{f}}{A_{f} K_{p} + 1 - A_{f}}$$
(25)

根据图 6,由库仑定理可得剪切破坏面上的抗 剪强度为:

$$\tau_r = (\sigma_z' \tan \varphi' + c') (1 + \sin \varphi') \qquad (27)$$

由式(25)和式(27)可得式(11)、式(13)和

$$m_{\varphi} = \frac{A_f K_0 + 1 - A_f}{A_f + (1 - A_f) K_a} K_0 \tan \varphi'$$
 (28)

非饱和土不产生超静孔压,强透水土的超静孔压快速消散, $\sigma_{zc} = \sigma'_z$,由式(27)、式(11)可得.

$$m_{\varphi} = (1 + \sin \varphi') \tan \varphi'$$
 (29)

$$m_{e} = 1 + \sin \varphi' \tag{30}$$

2.3 直剪区

如图 7 所示,直剪区滑动面上软土单元先在 σ_z 、 σ_x 作用下固结固结一定程度后,然后施加 $\Delta\sigma_1$ 、 $\Delta\sigma_3$ 使其沿水平面剪切破坏, $\Delta\sigma_3$ 与剪切面的夹角为 $\theta=45+\varphi'/2$ 。

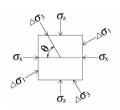


图 7 直接剪切区滑动面土单元应力

施加 $\Delta\sigma_1$ 、 $\Delta\sigma_3$ 前,软土单元竖向有效固结应力为 $\Delta\sigma_{zc}$ 。参考前面推导过程可知,软土剪切破坏时剪切面上的孔压增量、有效应力、剪应力增量、抗剪强度为:

$$\Delta u = \Delta \sigma_3 + A_f (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \tag{31}$$

$$\sigma_z' = \sigma_{zc} + \Delta\sigma_3 + (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)\cos^2\theta - \Delta u \quad (32)$$

$$\Delta \tau = 0.5(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \cos \varphi' \tag{33}$$

$$\tau_r = \sigma_z' \tan \varphi' + c' \tag{34}$$

剪切破坏面上的剪应力增量等于抗剪强度, 由式(31)~式(34)可得;

$$\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3 = \frac{2(\sigma_{zc}\tan\varphi' + c')}{\cos\varphi' + (2A_f - K_0)\tan\varphi'}$$
 (35)

将式(31)、式(35)代入式(32)可得剪切破坏面上的有效应力:

$$\sigma'_{z} = \frac{\sigma_{zc}\cos\varphi' - (2A_{f} - K_{0})c'}{\cos\varphi' + (2A_{f} - K_{0})\tan\varphi'}$$
 (36)

由式(36)、式(34)可得式(11)、式(13)和

$$m_{\varphi} = \frac{\sin\varphi'}{\cos\varphi' + (2A_f - K_0)\tan\varphi'} = \frac{K_0 \tan\varphi'}{A_f + (1 - A_f)K_a}$$
(37)
非饱和土不产生超静孔压,强透水土的超

静孔压快速消散, $\sigma_{zz} = \sigma'_{z}$, 由式(36)、式(11) 可得:

$$m_{\varphi} = \tan \varphi'$$
 (38)

$$m_c = 1 \tag{39}$$

为便于与规范方法对比,下面推导固结快剪内摩擦角与有效内摩擦角的关系。根据固结快剪剪切强度指标的定义,由式(11)和式(37)、式(13)可得:

$$\tan \varphi_{eq} = \frac{K_0 \tan \varphi'}{A_f + (1 - A_f)K_a} \tag{40}$$

式中: φ_{ca} 为固结快剪内摩擦角。

十字板高宽比通常为2,十字板剪切面以竖向为主,水平为辅,根据文献^[18],结合式(37)可得式(11)、式(13)和

$$m_{\varphi} = \frac{6K_0 + 1}{7[A_{\ell} + (1 - A_{\ell})K_{e}]} K_0 \tan \varphi' \qquad (41)$$

2.4 三区强度系数平均值

为简化计算,三个剪切区可以统一取三个剪切区、的平均值。对饱和黏性土,有:

$$m_{\varphi} = \frac{1 + A_f (1 + K_0) + (1 - A_f) (1 + K_e)}{3[A_f + (1 - A_f) K_a]} K_0 \tan \varphi'$$
 (42)

三个剪切区 m。的平均值见式(13)。

对非饱和十、强透水土有:

$$m_{\varphi} = \tan \varphi'$$
 (43)

$$m_c = 1 \tag{44}$$

从以上推导过程可知,抗剪强度公式(11) 以竖向有效固结应力为变量,强度系数由有效 抗剪指标和孔压系数组成。该方法实质是有效 应力法,但以竖向有效固结应力为变量,为与有 效应力法、有效固结应力法区分,称其为强度系 数法。

2.5 摩擦强度系数对比

2.5.1 三区软土摩擦强度系数对比

三区软土的摩擦强度系数对比见图 8,图 8 中 $A \setminus D \setminus P$ 分别代表主动区、直剪区、被动区,0.6、0.8、1 代表软土剪切破坏时的孔压系数。

由图 8 知:直剪区软土摩擦强度系数最大,被动区最小。主动区是直剪区的 0.71~1 倍,被动区是直剪区的 0.50~0.83 倍。

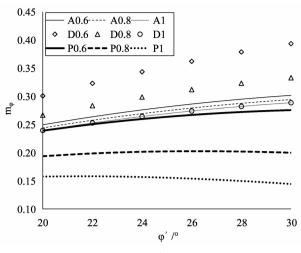


图 8 三区软土摩擦强度系数

2.5.2 软土与非饱和土摩擦强度系数对比

软土与非饱和土的摩擦强度系数对比见图 9。 图 9 中 n 代表非饱和土。

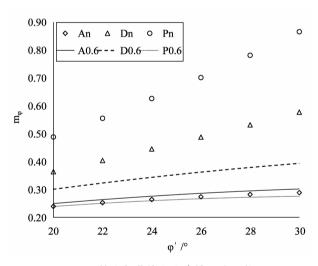


图 9 软土与非饱和土摩擦强度系数

由图 9 可知:被动区非饱和土摩擦强度系数最大,主动区最小。非饱和土、软土的有效内摩擦角相等时,非饱和土的摩擦强度系数大于软土的摩擦强度系数。

2.5.3 各种方法确定的摩擦强度系数对比

按照现行规范推荐的排水固结堤坝稳定安全分析方法^[2],主动区、被动区、直剪区 m_{φ} 分别为 $\cos^2\theta$ $\tan \varphi_{eq}$ 、 $\sin^2\theta$ $\tan \varphi_{eq}$ 、 $\tan \varphi_{eq}$,三区的 m_{φ} 平均值为 0.67 $\tan \varphi_{eq}$ 。根据 φ' 、 A_f ,利用式(40) 计算 φ_{eq} ,利用式(19) 计算 φ_{eu} 。本文方法三区 m_{φ} 平均值、沈珠江建议的 $\tan \varphi_{eu}$ [8]、规范方法三区 m_{φ} 平:26:

均值对比见图 10。十字板试验 m_{φ} 、本文方法三区 m_{φ} 平均值和被动区 m_{φ} 对比见图 11。图 10 中 S、G 分别代表沈珠江方法、规范方法。图 11 中 V、P 分别代表十字板试验和被动区。

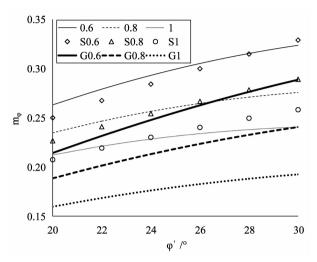


图 10 三种方法摩擦强度系数

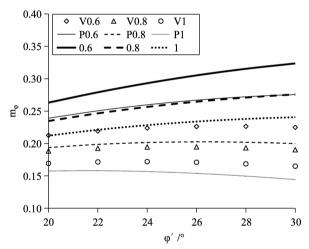


图 11 十字板与三区平均和被动区摩擦强度系数

由图 10、图 11 可知:

- (1)三区摩擦强度系数平均值为 0.21~0.36, 小于日本道路协会《道路土工软土地基处理技术 指南》对黏性土建议的 0.3~45^[19],主要原因是日 本包括了不属于软土的黏性土。
- (2)三区摩擦强度系数平均值大于 Larsson 等人基于15 个失稳堤坝建议的 0. 19~0. 27^[20],主要是 Larsson 等人分析的失稳堤坝主要在加拿大和斯堪的纳维亚半岛,其有效内摩擦角为 20°~25°。
- (3)本文方法三区摩擦强度系数平均值与沈珠江建议的 $\tan \varphi_{cu}$ 偏差为 $-6\% \sim 7\%$,因此, \tan

 φ_{cu} 可以用于代替三区摩擦强度系数平均值。

- (4)相对本文方法三区摩擦强度系数平均值, 规范方法相对本文方法偏小 19% ~ 25%,因此规 范方法计算的稳定安全系数偏小。
- (5)除非孔压系数接近1,被动区摩擦强度系数大于十字板摩擦强度系数。结合图8可知,主动区、直剪区的摩擦强度系数也大于十字板摩擦强度系数。相对三区摩擦强度系数平均值,十字板摩擦强度系数偏小19%~31%。因此,稳定分析时采用十字板剪切强度得到的稳定安全系数偏小,该结论已被工程实践证实^[18]。

3 强度系数法

软基堤坝地表面通常存在硬壳层,其前期固结压力大于自重应力。为考虑前期固结压力的影响,式(11)可改为:

$$au_r = p_e + (\sigma_z - p_e)$$
) $Um_{\varphi} + cm_e$ (45)
式中: p_e 为前期固结压力; σ_z 为竖向总应力; U 为
对应 $\sigma_z - p_e$ 的固结度。

计算 σ_z 时,水位以下取浮重度。 σ_z 小于 p_e 时 U 取 0。饱和黏性土的 p_{ci} 可利用土工试验测定,其他土层的 p_{ci} 取 0。基于式(45),提出软基堤坝稳定分析新方法——强度系数法。为便于计算分析,软基堤坝稳定分析通常采用圆弧形滑动面,并采用条分法,土条 i 底部的抗剪力为:

$$T_i = \tau_{ii} b_i \sec \alpha_i \tag{46}$$

式中: T_i 为土条 i 底面的抗剪力; τ_i 为土条 i 底面 土的抗剪强度; b_i 为土条 i 的宽度; α_i 为土条 i 底 面倾角。

对图 12 所示的软基堤坝,稳定安全系数可采用式(47)计算:

$$F_{s} = \frac{\sum_{A}^{B} (c_{qi}l_{i} + W_{i}\cos\alpha_{i} \tan\varphi_{qi})}{\sum_{i} W_{i} \sin\alpha_{i}} +$$

$$\frac{\sum_{B}^{C} \{ [p_{ci} + (\sigma_{zi} - p_{ci})U_{i}] m_{\varphi i} + c'_{i} m_{ci} \} b_{i} \sec \alpha_{i}}{\sum_{i} W_{i} \sin \alpha_{i}}$$
(47)

式中: F_s 为路堤稳定安全系数; c_{qi} 为土条i 底部土的直接快剪黏聚力; l_i 为土条i 底面的长度; W_i 为

土条 i 的重量及其荷载之和,水位以下取浮重度; φ_{ni} 为土条 i 底部土的直接快剪内摩擦角。

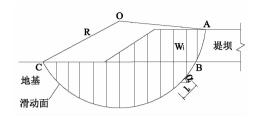


图 12 软基堤坝稳定分析示意图

式(47)中,对路肩内、边坡范围、坡脚外的土条, $m_{\varphi i}$ 可分别按式(12)、式(37)、式(28)计算,也可全部按式(42)计算。

由于三区的 m_{φ} 平均值与 $\tan \varphi_{cu}$ 非常接近,式 (47)中的 m_{ω} 可用 $\tan \varphi_{cu}$ 代替。

4 工程实例

某高速公路某段路基顶面宽 26 m,路床顶面 平均高度为 5.3 m,路面结构厚 0.89 m。路堤边坡 坡率为 1:1.5,填土重度为 20 kN/m³、黏聚力为 20 kPa、内摩擦角为 20°,路面平均重度为 24 kN/m³。

地面以下依次为 8m 厚淤泥、10 m 厚粉质黏土。淤泥重度为 15.2 kN/m³, 锥尖阻力为 0.32 MPa,固结快剪内摩擦角 φ_{cq} 为 16.2°、黏聚力 c_{cq} 为 8.3 kPa;固结不排水剪切内摩擦角 φ_{cu} 为 15.5°,黏聚力 c_{cu} 为 10.3 kPa;有效内摩擦角 φ' 为 26.3°,黏聚力 c'为 6.6 kPa,孔隙水压力系数 A_f 为 0.51。考虑因勘察扰动等原因导致软土直接快剪指标严重偏低,本项目对软土未进行直接快剪试验,规范方法需要的直接快剪黏聚力采用固结快剪黏聚力,直接快剪内摩擦角采用下式计算得到:

$$\varphi_q = \arctan\left(\frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \tan \varphi_{cq}\right)$$
 (48)

式中: γ' 为软土浮重度; γ_{sat} 为软土饱和重度。

该段路基采用袋装砂井处理,在砂垫层顶面及其上部土层中设置 2 层抗拉强度为 120 kN/m 的土工格栅,最大延伸率不大于 5%。路基中线实测沉降 1.3 m。

根据铁路行业相关规范^[21]换算的淤泥初始抗剪强度为16 kPa。土工格栅安全系数取4,假设土

工格栅拉力与滑动面相切。按照现行规范方法计算的稳定安全系数为 0.994, 路堤会失稳。但是该段路基已经通常接近 20 年, 水平位移和沉降早已完成, 路基路面状况良好。因此, 规范方法计算结果与工程实际情况不符, 计算安全系数明显偏小。

按本文方法计算的三区强度系数见表1。

表1 强度系数

强度系数	主动区	直剪区	被动区	平均值
m_{arphi}	0. 292	0. 394	0. 305	0. 330
m_c	0. 797	0. 797	0. 797	0.797

坡肩内、边坡范围、坡脚外的软土分别采用表 1 中主动区、直剪区、被动区的强度系数,计算的路 堤稳定安全系数为 1. 130;坡肩内、边坡范围、坡脚外的软土均采用三区强度系数的平均值,计算的路堤稳定安全系数为 1. 099,稍小于分区取值的计算结果。根据软土实测的固结不排水剪切指标,采用沈珠江方法计算的路堤稳定安全系数为 1. 156;以实测的固结快剪指标代替固结不排水剪切指标,采用沈珠江方法计算的路堤稳定安全系数为 1. 120。可见,利用沈珠江方法计算的稳定安全系数与采用强度系数法计算的结果接近。

综上所述,强度系数法、沈珠江法计算的稳定 安全系数差别不大,且均大于现行规范方法计算 的稳定安全系数,与工程实际情况符合性更好。

该公路还存在不少类似的路段。该工程实例 说明现行规范方法计算的排水固结堤坝稳定安全 系数偏小,不利于排水固结法的推广应用。建议 采用本文方法或沈珠江方法。

5 结论

- (1)排水固结堤坝不同剪切区软土的摩擦强 度系数差别较大,直剪区最大、被动剪切区最小。 三区平均值与沈珠江方法接近。
- (2)强度系数法计算的排水固结堤坝稳定安全系数与工程实际情况符合性较好。排水固结堤坝稳定分析宜采用强度系数法或沈珠江方法。
- (3)现行规范方法计算的排水固结堤坝稳定安全系数偏低,不利于排水固结法推广应用。

(4)直接利用十字板强度计算的堤坝稳定安全系数偏小。

参考文献:

- [1] CJJ194-2013. 城市道路路基设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [2] JTGT D31-02-2013. 公路软土地基路堤设计与施工技术细则[S]. 北京:人民交通出版社, 2013.
- [3] 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.
- [4] JTS 147-1-2010. 港口工程地基规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2010.
- [5] TB 10106 2010. 铁路工程地基处理技术规程[S]. 北京:中国铁路出版社,2011.
- [6] GB50286-2013. 堤防工程设计规范[S]. 北京:中国 计划出版社,2013.
- [7] SL435-2008. 海堤工程设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2018.
- [8] 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计[J]. 岩土工程学报,1998,20(1):100-111.
- [9] SL/T 792 2020. 水工建筑物地基处理设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2020.
- [10] NB/T 10343 2019. 水电工程软弱土地基处理技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2020.
- [11] DL/T 5024 2020. 电力工程地基处理技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2020.
- [12] 曾国熙,王铁儒,顾尧章. 砂井地基的若干问题[J]. 岩土工程学报,1981,3(03):74-81.
- [13] 谭凡,黄斌,饶锡保,等.关于三轴试验破裂角的试验论证与探讨[J]. 西北地震学报,201133(Supp.):181-184.
- [14] 李帅. 刚性桩复合地基支承路堤的失稳破坏机理及 其稳定分析方法研究[D]. 天津大学, 2012.
- [15] 袁聚云,杨熙章,赵锡宏,等. KO 固结真三轴仪的研制及试验研究[J]. 大坝观测与土工测试,1995,19(3):28-32.
- [16] 孙红,袁聚云,赵锡宏. 软土的真三轴试验研究[J]. 水利学报,2002,(12):74-78.
- [17] 毛浩燃,王亚军,施佳豪,等. 温州软黏土不排水真三轴试验的研究[J]. 科学技术与工程,2016,16(14): 49-55.
- [18] 闫澍旺,封晓伟,侯晋芳,李伟. 用十字板强度推算软黏土抗剪强度指标的方法和应用[J]. 岩土工程学报,2009,31(12):1805-1810.
- [19] 蔡恩捷(译). 道路土工软土地基处理技术指南[M]. 人民交通出版社,1989.
- [20] LARSSON R. Undrained shear strength in stability calculation of embankments and foundations on soft clays [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1980, 17(4): 591–602.
- [21] TB10018 2018. 铁路工程地质原位测试规程[S]. 北京:中国铁路出版社,2018.

公路工程施工图设计工程数量编制标准化研究

杜燕群

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,广州 510507)

摘 要:针对公路工程建设项目设计文件中工程数量表形式和内容的多样性、差异性问题,首先采用工作分解结构(WBS)对公路工程组成结构进行分解,然后依据相关规范和典型的设计图纸工程量表格,将生成的WBS分解图编制为标准化的设计工程量表格,实现了基于编码技术的标准化表格的快速获取和调用。最后,用实际项目进行验证,结果表明:采用标准化的工程量表格后,可以明显降低费用成本,在某些标段的成本费用降低约4%,工程合同总额降低约1%。此外,标准化的工程数量表也可以减少项目参与各方之间的沟通成本,提高编制文件的效率和准确性。

关键词:公路工程;设计工程量;标准化表格;工作分解结构

截至 2020 年底,我国的公路总里程数达到 519.81 万公里,然而公路工程建设相适应的各种设计工程量等信息在表现形式及内容上表现出形式多样,深浅不一,内容不一致等现象,导致公路工程的设计、造价管理出现了很多挑战^[1],在公路工程项目管理的过程中依旧存在很多问题^[2]。公路工程现行工程量表格大部分都是纸质介质传播,这就导致人工处理工程量大、资料在各协调单位间传播较慢、工程量信息的调取比较困难等^[3]。因此,建立公路工程全生命周期各阶段关于设计工程量的标准化表格,运用计算机等信息化技术,形成更加标准化、信息化的造价文件,是推进公路工程工程量表格资料标准化、信息化的关键。

上个世纪70年代,美国率先开发了两套编码体系:MasterFormat和Uniformat^[4],实现了建设项目全生命周期各阶段的无缝衔接。关于建设项目设计文件工程量标准化的问题,美国则发布了《设计图纸准备手册》供有关设计人员参考,这个手册规定了有关工程项目图纸、路权位置图、各种信息展示等各个方面的统一标准。国内许多学者对工程数量标准化也有了初步的研究,刘孟山^[5]提出了一种自动识别标准化工程量表格生成概算文件的系统,该系统在铁路工程的概算中起到了关键的作用。屈文杰^[6]通过对铁路工程各分解结构进行编码,实现了对铁路工程概预算文件编制标准化的要求,为铁路工程造价打下了基础。刘向阳

等^[7]以广东省"三级清单体系"为切入点,建立了基于三级清单体系下的标准化数量表,有力地推动了公路工程量数量表形成统一的标准。唐蕾^[8]提出了多种编制工程量标准化表格的方法,并且分析了公路工程标准化研究的经济和社会效益,对于标准化研究提出了明确的意见。

然而,在现阶段的研究中,公路工程数量表的格式并没有做出统一的要求,虽然体现了初步设计阶段的图标及数量表示例,但依旧缺乏施工图阶段的工程数量表示例,而且表格编制的精细化以及工程量表格不能完全匹配施工图地问题依然存在。针对这些问题,本文主要围绕设计工程量编制标准化这个主题,从标准化原理和编码体系两个关键点切入,通过研究、比选、总结,整合公路工程各阶段、各专业工程量信息,形成标准的工程数量表格。

1 设计工程量信息标准化技术原理及构建 方法

1.1 标准化原理

在公路项目中,设计工程量是指根据施工图设计图纸计算出的公路工程各分部分项工程的工程量。全过程造价管理是指对项目实施的全过程造价信息进行管理,与项目中的每个环节高度相关^[9],随着计算机技术的快速发展以及 BIM 技术的日益完善,更有利于工程建设项目进行全过程

造价管理,而实现全过程造价的关键是实现工程量表格文件编制的标准化^[10]。

公路工程施工图设计工程量标准化就是按照 国家规范、行业标准等形成统一的工程量表格,将 施工图设计阶段各个分部分项工程工程量填写如 表中,形成工程量信息文件,供项目全过程管理使 用。例如,将这些标准化的规范用于施工图纸的 设计,对于后续的施工、监理、业主等各方的校对 提供了极大的便利。将这些标准化的信息用于公 路工程的全过程造价,不仅节省了造价人员大量 的时间和精力,而且还提升了造价的准确度。

1.2 编码原理

对公路工程分解结构进行编码方便工程信息的计算机存储、调用和传播,有利于公路项目各参与方之间信息的传递和沟通,减少不必要的沟通成本。公路工程数量编码体系按照专业进行分类,可分为路基工程、路面工程、桥涵工程、隧道工程、交叉工程、交通工程及沿线设施、安全防护设施、绿化及环保工程等。概预算清单体系中包含了项目现场全部的工程试题内容,通过编码技术对以 WBS 分解结构为基础形成的工程实体结构和概预算体系的融和的产物进行编码,做到将分类信息与工程编码一一映射的关系,形成适合公路工程的编码体系。通过概预算编码体系可知,分项编码采用部(1位数)、项(2位数)、目(2位数)、节(2位数)、目(2位数)、节(2位数)、共(2位数)、是(2位数)、节(2位数)、共(2位数)、(2位数)、共(2位数)、

例如,在概预算体系中,桥梁涵洞工程中小桥工程的预应力混凝土空心板的编码为104020303。其中,部:1,项:04,目:02,节:03,细目:03。具体见图1。

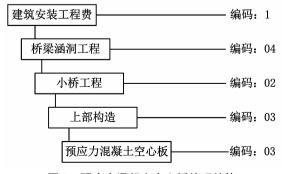


图 1 预应力混凝土空心板编码结构

对公路工程进行统一编码,不仅有助于实现 施工图设计工程数量编制标准化,而且提高了信 息化、自动化水平。利用编码技术可快速定位所需 目标,对于公路工程标准化、信息化发展意义重大。

1.3 构建方法

1.3.1 工作分解结构

工作分解结构(WBS)是一种便于专业分工和管理的物理分解结构,WBS 这三个字母分别代表工作任务、分解任务、结构化组织,它按照项目到任务到工作再到日常细分活动的顺序逐步分解。工作分解结构最终目的是得到可交付的成果,按照一定的分解原则逐步细分[11]。工作分解结构见图 2。

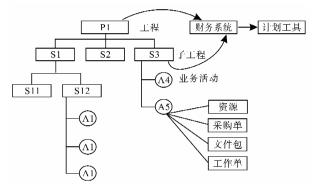


图 2 工作分解结构图

1.3.2 WBS 编制方法

工作分解结构是按照一定的分解原则将公路工程项目分解为一定的结构任务,利用 WBS 对公路工程进行分解时,重点就是分解的颗粒度问题,即项目分解的粗细程度,这对于之后基于分解结构编制的施工图设计工程量标准化表格意义重大。工作分解结构通常可以分为以下几种方法^[12]。

- (1)自上而下法。运用自上而下法进行工作分解时首先要求要明确项目的最终目标是什么,即定义该项目的可交付成果,其次将该项目的可交付成果细分为更低层次的元素,最后将整个项目细分至最基本的元素,并确保这些元素都在项目所在的范围内,即符合100%原则。
- (2)自下而上法。运用自下而上法进行工作 分解时首先要明确该项目所包含的所有最基本的 工作元素,并将所有的工作包按照一定的逻辑进 行分类,将同类的分为一个小组。将下层成果按

- 一定的分类原则汇总至上一层,并且确认已包含 所有任务,即必须要符合 WBS 分解的 100% 原则。 最后重复以上所有步骤直至所有的细目元素都被 包含在母元素之中,之后审核并完善 WBS,使之能 够正常的实施和控制。
- (3) WBS 标准法。该法主要的核心在于一个项目的 WBS 有标准的格式、编码体系等,运用该法进行工作分解时,可能需要增加或者删减部分组成元素。
- (4) WBS 模板法。模板法就是通过对本项目的了解、调研选择一个类似项目的 WBS 作为本项目分解的模板,再分解的过程中要根据本项目的特点、人员配置、工作环境、项目结构等情况对模板中的工作进行增加或删减,经过一系列的整合和调理最终形成本项目的工作分解结构。

1.3.3 WBS 分解步骤

根据 WBS 的分解方法和原则,对于公路工程量的分解结构,选择自上而下的分解结构,再选择自下而上的分解结构和 100% 分解原则对其进行验证。在对公路建设项目进行 WBS 分解时可以依据编制办法的分类进行分解,分解步骤如图 3。

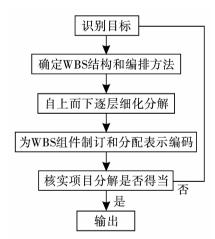


图 3 WBS 分解步骤

根据 WBS 分解原则和分解步骤,以填石路基分布及其工程数量表为例进行分解,填石路基分布及其数量表可分为用地基本信息和填石路基数量两大部分,其中用地的基本信息包括:分布长度、分布桩号、填筑高度。填石路基数量中包括:粗粒土上封层、碎石过渡层、石块码砌和填石几种

不同材料的数量。按照分解原则得到 WBS 分解图 见图 4。

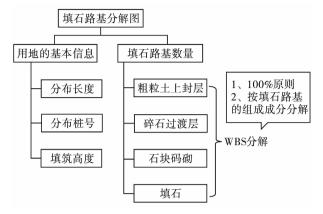


图 4 填石路基 WBS 分解图

2 设计文件工程数量信息标准化整合

2.1 设计工程量表达的基本格式

公路工程建设项目建设过程可以划分为策划、评估、决策、设计阶段、施工阶段和竣工验收阶段等。 建设过程各个阶段所产生的各种工程量表格需要统一规范,形成一套标准化的模板,从而方便造价工作和管理需要。公路工程施工图设计工程量的格式表格由行表头、列表头和表区域元素组成,对工程数量表进行标准化有利于计算机的识别和读取,有利于提高项目工作的信息化水平,提升了工作效率。

根据公路工程设计的特点,设计工程量表格由路基路面等带状工程量表和结构物工程量表两种类型组成,在根据 WBS 分解原则对各类工程进行分解时,应根据每类项目工程的特点采取合适和符合逻辑的分解结构,并按照分解图编制成相应表格。

路基路面等带状工程类数量表的表达形式如下:表格中行项包括的内容为分部工程、分项工程和构件信息等,表格中列项包括的内容有序号、起讫点桩号等内容,设计工程量标准化表格中其他元素的填写内容为路基路面等带状工程的各个分部分项清单子目的工程量。结构物类数量表的表达形式如下:表格中行项需要分类别列出分部工程、分项工程、构件信息等,表格中列项需包括材料、构件等名称,表格中其余部分填写材料或者构件的工程数量。

例如,对于填石路基工程数量表,列出起讫点桩号、长度、填筑高度及工程数量,根据图3填石

路基 WBS 分解图进行 excel 表格化处理再补充相 关数据得表 1。

				填石路基数量				
序号	分布桩号	分布长度/m	填筑高度/m	粗粒土上	碎石过渡层	石块码砌	填石	备注
				封层/m³	$/\mathrm{m}^3$	/m³	/m³	
1	K1 +91 - K1 + 130	140	7. 35 – 14. 28	4 178	1 755	10 146	45 757	
2	K2 + 220 - K2 + 270	50	4. 73 – 11. 85	1 492	627	2 286	24 175	
3	K4 + 090 - K4 + 150	60	12. 58 – 12. 78	1 790	752	4 643	22 289	
	合计	250		7 460	3 134	17 074	92 221	

表 1 填石路基分布及数量表

施工图设计工程量表格不仅要符合相关技术标准的规定和要求,而且还要能反映出项目的全部工程量信息。此外,表格的信息结构要格式化结构化,以方便计算机的识别与读取。建立标准化设计工程量表格应遵循的原则如下:

- (1)基于系统、全面的原则。依据编制办法和 其他规范编制设计文件工程数量表时,要本着系统、 全面的原则,要能全面反映出工程项目所包含的工 作内容,同时还要是各个元素之间具有逻辑性。
- (2)基于可行、适用的原则。表格中工程分类、 工程名称应与相关的技术规范和标准保持一致,规 范中没有明确规定的,应尽量采用设计惯例。表格 的内容和格式要适用于大多数行业从业者,要便于 理解和操作。表格的编制还应尽可能的与三级清单 相适应,最大程度地达到标准化、格式化的要求。
- (3)基于《编制办法》的原则。在编制施工图设计工程量表时,要将《编制办法》中有关设计工程量的表格囊括其中,在参考《编制办法》的基础上,结合各大设计院的典型图纸,对工程数量表进行完善和整合,形成新的工程数量表。
- (4)基于信息化的原则。传统的人工绘制工程量数据表和人工计价的方式工作量大、容易出错,随着信息化、数字化的推进,工程数据表的编制也应实现信息化和现代化。比如,采用 BIM 技术,将各种工程有关的信息数据放入 BIM 平台,进行动态监控工程的进度以及工程量数据表的自动化生成。

2.2 工程量信息表达格式整合

2.2.1 与三级清单整合

近年来,广东省大力推行三级清单计价体系,

三级清单包括工程量清单、工程项目清单和分项 工程量清单,它在招标阶段、工程实施阶段、工程 结算阶段都发挥了巨大的作用,三级清单快速形 成预算项目节与工程量清单子目的对应关系,打 通了工程项目各阶段的造价壁垒,建立全过程造 价控制管理理念[13],提升造价管理水平。"三级清 单"管理体系以公路工程概预算项目节为主要框 架,以清单和定额为下设内容,通过"三清清单"体 系可以有效融合概预算编码和工程量清单编码体 系,解决了多个编码体系不对应,有助于实现数据 互联互通和单一数据源多目标管理的问题。将施 工图设计工程数量标准化表格与"三级清单"进行 整合,形成以标准化工程数量表为基础的"三级清 单"体系,继而从造价软件中得到三级清单体系下 的标准工程数量表格,有利于造价工作人员提高 准确率和工作效率,减少核算时间。

2.2.2 与 BIM 构件编码整合

随着 BIM 技术在建筑行业的快速发展,建筑业信息化程度的普及,基于 BIM 技术的设计、施工、管理为一体的建造模式渐渐形成。BIM 编码技术是以 BIM 信息模型为基础,通过一定的分解原则,将 BIM 信息模型分解为一个个构件,再对分解得到的构件进行编码,方便建筑信息的存储和管理。通过将 BIM 编码体系与标准化工程数量表融合,可以实现基于 BIM 的全生命周期管理。基于 BIM 三维模型计算出工程量,然后将工程量信息自动填入标准化工程数量表中,最后在 BIM 平台系统,项目各参与方可以直接得到关于项目的各种工程量信息和标准化工程量表格。将 BIM 技术和

标准化工程数量表融合,可大幅缩短工程量的计算以及项目各参与方的时间成本,提高工作效率。

2.2.3 工程量信息标准化表达

公路工程量信息标准格式分析包括总体设计、路线设计、路基路面、隧道、路线交叉、其他工程、筑路材料等的工程量信息标准格式的分析。公路工程量信息标准化的主要思路如下:首先根据公路工程的分部分项工程特点和行业内典型数量表的格式和"三级清单"体系,按照 WBS 分解原则和公路工程数量的特点,建立基本的 WBS 模板,然后将 WBS 分解图按照一定的指标规则编制成工程量标准格式表格。

总体来说,实现工程量信息表达格式的整合 要做到以下几点:

- (1)基于现有的技术规范和行业标准进行工程量表格的编制。
- (2)工程量标准化表格的编制工作应与广东 "三级清单"对接,构建标准化数量表。
- (3)基于 BIM 平台的各种工程信息的集成系统,大大提高了工作效率。
- (4)依据国家标准、行业规范,采用 WBS 分解结构对公路工程项目进行分解,然后将分解结构按一定的规则编制成工程数量标准表格。

根据 WBS 分解原则、方法和编码原理,将公路工程按专业进行分解,得到工程数量表的基本形式,然后分析工程数量表与"三级清单"体系和 BIM 构建编码的整合,得到公路工程数量标准表格。以下仅列出其中桥面边部排水工程数量表,见表2。

					桥面结构内部排水				_
序号	起讫桩号	长度	路基类型	位置	碎石 盲沟	透水 土工布	涂双 沥青	Φ2. 5 塑料 排水管	M7.5 砂浆抹面
1									
2									
3									

表 2 桥面边部排水标准化工程数量表

采用标准化工程数量表的编制原则,规范了公路工程施工图设计阶段工程数量表的编制问题,提高了工程人员对设计工程数量表格的编制效率和准确率。同时,减少了因为设计工程量不明确而导致的变更问题等。

3 案例分析

沈阳至海口国家高速公路阳江至茂名段,东

起阳江市江城区,西至茂名市电白区。按高速公路标准建设,路基宽度 42 m,设计速度 120 km/h,主线采用双向八车道标准,主线全长 79.76 km。本文选取其中七个标段,赋予编号 1-7,将标准化工程数量表格转化为三级清单中所需要的基础数据,最后得到该项目将采用标准化工程数量表格前后的合同金额进行分析对比表,见表 3。

表 3 采用标准化工程量表格前后费用统计表

标段	合同金额/万元	标准化后金额/万元	二者差额/万元	差额占合同金额百分比/(%)
1	51 300. 99	51 901. 16	600. 17	1. 17
2	42 238. 50	42 146. 38	-92. 12	-0.22
3	3 624. 20	3 659. 46	35. 26	0. 97
4	6 039. 48	6 281. 63	242. 15	4. 01
5	7 520. 96	7 604. 72	83. 76	1. 11
6	20 394. 58	19 385. 62	-1 008.96	-4.95
7	33 865. 25	32 426. 95	-1 438.3	-4.25
合计	164 983. 96	163 405. 92	-1 578.04	-0.96

从表 3 可以看出,将标准化工程数量表运用于施工管理和造价管理后,与未采取标准化工程数量表相比,1、3、5 标段较之前增加越 1% 左右的费用,而2、6、7 标段较之前费用有所降低,其中6、7 号标段费用减低明显,达到4%~5%。修编后的合同总额和原合同总额相比,降低明显。施工项目各方采用标准化工程量表格,会大幅减少后期的变更费用,减少各阶段沟通、技术程本,节约了大量资金,提高了社会经济效益。

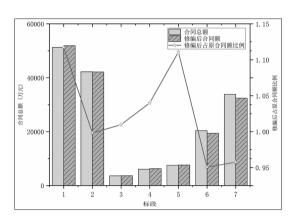


图 5 使用标准化工程量表格修正前后金额对比

从图 5 可以得知,该项目运用工程量标准表格后,工程合同总额较之前有所增加或减少,修编后的合同总额与原先的合同总额比例范围大约在0.9~1.15 之间,相对比较合理。

公路工程设计工程数量标准化成果的应用,可以简化项目全过程管理中各种工程数量表格,实现统一管理。利用标准化工程数量表可以提高工作人员的工作效率,同时也保证了公路工程高质量完成施工管理任务。通过项目实地验证,发现采用标准化工程数量表编制后,工程数量表的编制效率提高了20%以上,而且可以缩短施工单位、建设单位、设计单位、监理单位的核对时间,节约时间成本。此外,基于标准化工程数量表格的造价编制软件也大大提高了工作效率,信息化的加入让工程数量的标准化研究更进一步。

4 结语

本文首先总结了公路工程造价方面存在的问题,引出公路工程施工图工程数量编制标准化、信

息化的概念,得出要想提高造价的准确度和效率必须要标准化设计工程量表格的结论,然后分别从 WBS 分解结构、编码原理以及与"三级清单"体系的整合进行讨论,最终得到了标准化工程数量表格。BIM 技术的出现,也使得人们开始探索基于 BIM 技术的工程量清单表格的标准化与信息化^[14]。但,公路工程各编码体系间存在较大差异,每种编码体系对于实体组成划分的颗粒度也不同。如何使不同编码体系相互对应、各工程阶段数据互联互通,编制一套适用于各种编码体系下的标准工程数量表格是未来要解决的重点。

参考文献:

- [1] 王建伟,高超,董是,徐晟,袁长伟,张驰,黄泽滨,卜杉杉,常青,王越. 道路基础设施数字化研究进展与展望[J]. 中国公路学报,2020,33(11):101-124.
- [2] 周勇. 对公路基建中"三超"现象的浅析[J]. 公路, 2002(07);47-48.
- [3] 马智亮,李浩. 建筑工程资料表格信息标准化研究
- [J]. 施工技术,2007(12):36-39+71.
- [4] 陈丹晖,刘红.条码技术与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
- [5] 刘孟山. 自动识别标准化工程数量编制铁路工程概算系统研究[J]. 铁道科学与工程学报,2007(03):91-96. DOI:10.19713/j. cnki. 43-1423/u. 2007. 03. 019.
- [6] 屈文杰. 基于工程数量编码实现概预算编制标准化的 探讨[J]. 铁路工程造价管理,2012,27(02):6 -8.
- [7] 刘向阳,李军,隆云国,刘国图. 基于公路标准化体系的工程量清单智能编制技术[J]. 公路,2016,61(07);213-219.
- [8] 唐蕾. 公路工程数量表标准化研究[J]. 安徽建筑, 2019,26(09):144-145+213. DOI:10. 16330/j. cnki. 1007-7359. 2019. 09. 058.
- [9] 王维敏. 高速公路大修改造工程的全过程造价控制研究[J]. 公路工程,2018,43(01):202-205.
- [10] 刘向阳,李军,隆云国,刘国图. 基于公路标准化体系的工程量清单智能编制技术[J]. 公路,2016,61(07):213-219.
- [11] 贾宏俊,王刚. 大型复杂工程项目 WBS 分解问题研究 [J]. 建筑经济,2013(10):32 34.
- [12] 曹阳. 高速公路建设项目 BQ、WBS 的应用研究 [D]. 昆明理工大学,2008.
- [13] 翁建玲. 广东省公路工程招投标三级清单的特点分析[J]. 交通标准化,2013(13):26 -29.
- [14] 望远福,蒋永祥,李晓龙. BIM + 信息化技术在京雄高 速项目的综合应用[J]. 公路,2021,66(04):241 248.

大跨径多跨连续双曲拱桥承载能力 评定及加固方案设计

张 杰,徐德志

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,广州 510507)

摘 要:双曲拱桥是上世纪六七十年代由我国桥梁工程师创造的一种新型拱桥。经过多年的运营,由于其设计标准低、缺乏养护,以及自身先天不足等缺点,很多桥梁已无法适用日益增长的交通要求,出现了承载能力不足的状况,亟需进行维修整治,同时也是建设"四好农村路"的基本要求。本文以南丰大桥为例,根据广东省农村公路桥梁改造指南,采用基于缺损检测的修正承载能力评定方法对其进行评定,评定结果对该桥的加固提供了依据,同时按照指南的改造原则,提出安全、经济、施工方便、对既有交通影响小的加固整治方案,为同类型拱桥的评定和加固改造设计提供参考。

关键词:双曲拱桥:农村公路:承载能力:评定:加固设计

0 引言

推进"四好农村路"建设是自提出以来全国农村公路工作的核心任务。各级交通运输主管部门高度重视,一直以来,农村公路是广东省公路交通安全关注的重点。基于全省已建成通车的18万多公里农村公路,广东把焦点放在"桥"上,全力解决农村公路桥梁和交通安全风险问题,将农村公路桥梁安全保障整治工程列入2021年广东省"十件民生实事",是省政府督办的重点项目。

南丰大桥是广东省 2021 年农村公路桥梁安全整治工程的一座双曲拱桥,双曲拱桥由于其桥型美观、节约钢材、施工便捷等优点,从上世纪 60~70 年代开始,在全国各地迅速推广开来,是一种极具民族特色的桥型^[1]。然而,受限于当时的汽车设计荷载和技术水平偏低,再加上该结构的钢筋用量偏少,导致该桥型存在着先天缺陷^[2],特别是长久以来的大交通量、重荷载运营状况下,再加上大多数农村公路桥梁缺乏养护和管理,使得该桥型在建成通车一段时间后,均出现

了不同程度的病害。这些病害的产生,直接威胁着车辆和行人的安全。因此,对该类桥梁的承载能力进行合理评估,进而提出既安全又经济合理的加固方案,对于保障农村公路安全运营,促进"四好农村路"建设,加快农村经济发展,推进"乡村振兴战略"的实施具有十分重要的意义。

1 工程背景

1.1 桥梁概况

南丰大桥位于广东省肇庆市封开县南丰镇 X448 线上,跨越贺江,旧桥全长 307.5 m,桥面全 宽 9.42 m,桥面净宽 9 m,建设于 1982 年。上部 结构为 6×42 m 空腹式双曲拱桥,单孔净跨径 42 m,矢高 7 m,净矢跨比为 1/6。主拱圈每跨均由 6 片拱肋、13 道横系梁组成,厚 1.0 m、宽 8.8 m,拱 轴线为拱轴系数 m = 2.814 的悬链线。每孔拱圈上对称设置 8 个腹拱,腹拱跨径为 2.6 m,矢高 0.65 m,拱圈厚度为 0.2 m。下部结构桥台为 U 型圬工桥台,桥墩为浆砌片石重力式桥墩,基础均采用扩大基础。桥梁立面、实拍图及拱顶剖面图见图 1~图 3。

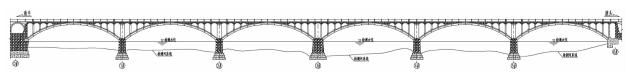


图1 南丰大桥立面图



图 2 南丰大桥实拍图

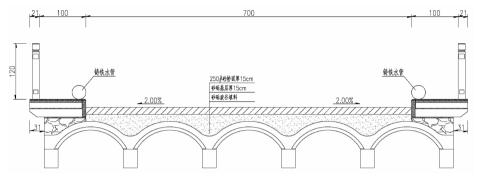


图 3 拱顶剖面图

1.2 技术标准及主要材料[3]

公路等级:三级公路;

汽车荷载:汽-15,挂-80;

人群荷载:250 kg/m²;

桥面布置:0.21(栏杆)+1.0(人行道)+7.0(行车道)+1.0(人行道)+0.21(栏杆);

250 号混凝土: 现浇拱肋、横系梁、预制拱波、 现浇腹拱、现浇桥面板;

200 号混凝土: 立柱、现浇拱板、盖梁。

1.3 有限元模型

结构建模采用商业有限元程序 Midas Civil。 计算模型采用单梁模型,主拱圈截面根据规范要求对组合截面进行换算。模型考虑横向不均匀系数,该系数通过梁格模型与单梁模型的应力结果确定,取拱肋控制截面的最不利值。模型建立包含了立柱、腹拱圈与主拱圈的联合作用,拱上填料模拟为两端铰接的梁单元连接主拱、腹拱和桥面板,不考虑其共同联合受力。模型按无铰拱建模,考虑连拱作用建立全桥模型。结构计算模型见图4。

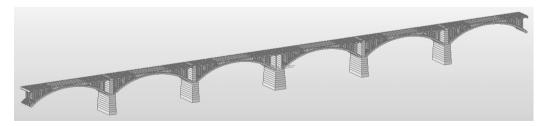


图 4 计算模型消隐图

2 承载能力评定

• 36 •

2.1 主要病害及检测结果

对现状南丰大桥进行专项检测发现,桥面混凝土铺装有轻微磨损,存在多条裂缝;人行道

外侧栏杆存在破损缺失、混凝土剥落、错台等情况,人行道板多处塌陷、破损;主拱圈拱肋有少量裂缝以及混凝土破损露筋,拱波有部分裂缝;立柱有多处混凝土因钢筋锈蚀而胀裂,腹拱存在裂缝;下部结构桥台局部砼破损、露筋,3#桥

墩河床与设计资料对比呈下切趋势,采用钻芯 法探明该基础埋深较浅。

采用回弹法对主拱肋现状混凝土强度进行 检测,结果发现,所检拱肋强度推定值在23.9 ~28.7 MPa 之间, 立柱强度在 35.9~39.2 MPa 之间。采用无损检测钢筋保护层厚度、混凝土 碳化深度、钢筋锈蚀电位、混凝土电阻率及氯离 子含量,结果发现:主拱肋及立柱钢筋保护层厚 度均能满足原设计文件要求:碳化影响程度轻 微:个别拱肋锈蚀活动较为明显,发生锈蚀的概 率较大;钢筋可能的锈蚀速率一般;氯离子诱发 钢筋锈蚀影响的可能性为"不确定"。采用全站 仪对主拱圈进行测量,拟合出实测拱轴线,与设 计拱轴线基本吻合。静力荷载试验检测结果表 明,主要测点及试验跨截面应变的挠度、应变校 验系数均小干1.残余变形均满足规范要求:动 载实测频率略大于理论计算值,实测动力放大 系数为0.215.小干理论计算系数。

根据《公路桥梁技术状况评定标准》^[4]对该桥进行评定,结构状况评分值为74.8,评定等级为3类,技术状况描述为有中等缺损,尚能维持正常使用功能。

2.2 检算系数

根据上述检测结果和广东省农村公路桥梁 改造指南(以下简称指南)^[5],引入南丰大桥主拱 圈承载能力修正系数及截面折减系数,承载能力 检算修正系数见表1。

表 1 南丰大桥承载能力检算修正系数

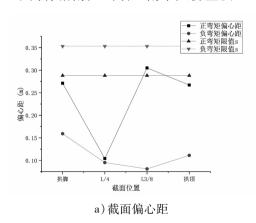
检测指标	权重 α _j	评定标度 D _j	评定值 D
构件缺损状况	0. 58	3	2. 16
材质强度	0. 42	1	

截面折减系数根据构件的检测状况评定标度 $D_1 = 3$ 可确定为 0.93。

2.3 承载能力检算

双曲拱桥的主拱圈是偏心受压构件,由于 其拱肋配筋较少,因此应偏安全的按圬工结构 进行计算。按照《公路桥涵设计通用规范》^[6]及 《公路圬工桥涵设计规范》^[7]的要求进行承载能 力组合,汽车荷载根据指南的规定取公路 - II 级,并考虑汽车荷载冲击系数,人群、温度、收缩 徐变均按现行规范考虑,其中采用折减系数法 考虑混凝土徐变对主拱圈收缩和温变计算结果 的影响。混凝土等材料按规范规定进行等级换 算。

主拱圈控制截面的偏心距和承载力验算结果见图 5,主拱圈的刚度验算及拱的整体"强度一稳定"均满足上述荷载等级要求,且安全储备较多,结果不再列出。



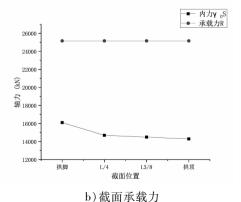


图 5 主拱圈检算结果

检算结果表明,所述荷载作用下,主拱圈 L3/8 截面正弯矩偏心距不满足规范要求,其余截面均能满足规范要求,且安全富余较大。

工沃图位并和不

2.4 考虑损伤后的承载能力评定

结合南丰大桥专项检测检算修正系数,对主 拱圈的上述计算结果进行修正,结果见表2。

校判群贡及协管中京	作用	效应值	表面长力 D /LN	安全系数 R/γ ₀ S
控制截面及检算内容	轴力/kN	弯矩/(kN・m)	截面抗力 R /kN	
拱脚最大轴力	- 14 645. 2	-221.9	18 315.0	1. 14
L/4 处最大轴力	-13 357.8	- 1142. 5	18 315.0	1. 25
L3/8 处最大轴力	-13 179.6	-793.6	18 315.0	1. 26
拱顶最大轴力	- 12 996. 6	- 1228. 9	18 315.0	1. 28

表 2 考虑损伤后的检算结果

综上所述,根据桥梁检测结果引入损伤检算 系数对该桥承载能力进行评价,同时对该结构的 刚度及整体稳定进行验算,结果表明该桥承载能 力不能满足所述荷载等级的要求。

3 加固方案设计

3.1 设计标准

汽车荷载: 公路 - Ⅱ级:

设计安全等级:一级,结构重要性系数取 1.1:

人群荷载:3.0 kN/m²。

3.2 主拱圈加固

针对双曲拱桥主拱圈的加固方法,常见的主要有:增大截面加固法、体外预应力加固法、改变截面形式加固法、粘贴材料加固法、增加横向联

系加固法和调整拱轴线加固法。作为压弯构件的主拱圈,提高其承载力最直接的方法是加大截面,然而工程中还需结合旧桥的实际病害、加固需求和经济性,综合确定出合适的加固方案。

根据所述计算结果,主拱圈 L3/8 截面正弯矩偏心距不满足,仅差 5.9%,因此针对偏心距不满足的截面,利用有限元软件的荷载追踪功能,发现在拱脚第二孔腹拱下主拱圈增加恒载,通过调整主拱圈恒载压力线,可以有效减小控制截面正弯矩偏心距。所以提出在该范围拱圈堆载混凝土加固法,考虑新增混凝土与拱圈的可靠结合,对现状拱圈进行构造植筋及凿毛处理,同时在新增混凝土表面增设钢筋网片防裂,提高耐久性,加固图(仅示意一孔,其余与之相同)见图 6~图 7。

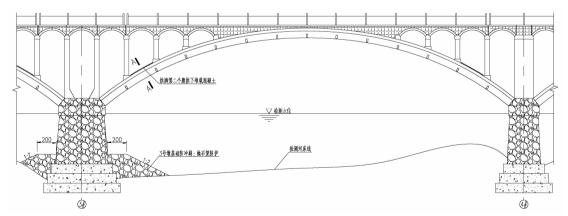


图 6 拱圈加固立面及 3#墩基础防护图

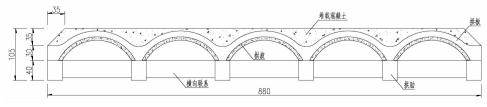


图7 加固后拱圈 A-A 断面

3.3 下部结构加固

桥梁基础的防冲刷技术根据其原理可分为主动和被动两种,主动防护措施常用的方式有上游设置牺牲桩、桥墩护圈、环翼式桥墩、桥墩护壳、桥墩开缝和下游河床石板等,被动防护措施包括了桥墩抛石防护、四面体防护和扩大墩基础防护等。

检测结果表明,南丰大桥 3 号桥墩处河床下切严重,但钻芯探明该墩基础仍有 1.7 m 埋深,且扩大基础底为中风化粉砂岩,因此推荐采用最为传统的抛石防护,抛石防护具有取材方便、对河道影响小、施工环保、工艺简单等优点,用耐腐蚀的钢丝网箱装填块石进行抛填,可进一步增加

防护效果、提高施工效率。抛石加固范围为以墩中心向外 B/2+2 m,见图 6 所示。

3.4 桥面系改造

根据指南的指导思想,确保结构安全的同时,交通安全也不容忽视。因此针对桥面系的不利病害提出桥面系整体提升改造:凿除旧有混凝土桥面板,更换新桥面板;在车行道与人行道之间增设混凝土防撞护栏,拆除旧栏杆,在人行道外侧设置人行道栏杆;同时排查恢复拱圈原有泄水孔功能,增设桥面防排水系统;恢复桥面伸缩缝及变形缝,并在桥面板断开位置安装止水装置。改造后的拱顶横断面见图8。

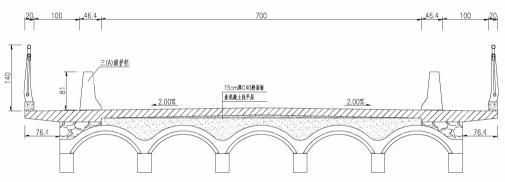


图 8 改造后的拱顶横断面图

3.5 其他常规病害处治

由检测结果可知,该桥还存在拱肋及立柱 露筋锈蚀和混凝土破损、个别横系梁及拱波纵 向裂缝、腹拱纵向裂缝。以及其余各构件的混 凝土表面病害。混凝土表面病害混凝土剥落、 钢筋锈胀等,与建设时期的材料质量、施工质量 普遍偏低有关;拱波为素混凝土预制件,拱波上 方的混凝土现浇层为拱板,部分拱波开裂与拱 板混凝土收缩效应较大有关;腹拱的纵向裂缝 一般是由于腹拱圈整体现浇混凝土收缩、温度 变化等原因引起的。

上述病害并非结构受力病害,对桥梁整体承载能力影响不大,但却关系结构的正常使用和耐久性,因此也有必要一并修复处理。本桥裂缝采用双组分环氧树脂类结构修补胶修补,混凝土破损处凿除松散混凝土露出新鲜面,钢筋除锈后,采用环氧砂浆修补。

3.6 加固施工顺序

根据对近年来 500 多座桥梁事故进行分析 发现,施工原因导致桥梁倒塌事故所占比例最 多^[8],对于多跨连续拱桥,施工中的不平衡水平 力将可能导致桥墩发生刚性转动,进而加剧二者 的不平衡,最终导致坍塌事故。其中 2007 年湖 南凤凰沱江大桥施工过程中第 1 孔突然垮塌,由 于连拱效应第 2、3、4 孔相继向第 1 孔倒塌,最终 造成 64 死 22 伤特别重大事故。因此合理的施 工顺序对于拱桥的施工尤为重要。

结合整体加固改造方案,提出本桥加固施工顺序:桥面卸载→加固主拱圈→主拱圈常规病害处治→其他常规病害处治→恢复桥面系→基础冲刷防护。桥面卸载须分段对称均衡地拆除。拆除桥面系时,应从每一跨中央向拱脚侧同时施工,且全桥对称从中央向两头同步进行。加固主拱圈,每孔同步施工,且全桥对称进行。重新施

工桥面系时应采用与拆除相同的施工顺序,从中央向两头同步浇筑。

4 结语

依据广东省农村公路桥梁改造指南,对南丰大桥承载能力进行评定,结果表明:该桥承载能力已不能满足现行规范公路 - II级、人群 3.0 kN/m²的荷载要求,需进行加固和改造。通过在拱脚附近堆载混凝土,调整恒载压力线,使得偏心距及修正后的结构承载能力满足规范要求;通过更换桥面板、人行道与车行道分界处设置防撞护栏等桥面系改造,提高公路交通安全;通过修补混凝土破损、封闭裂缝、恢复排水系统等措施,提升结构整体耐久性;并提出适用本桥加固方案的施工顺序指导施工,可供类似工程项目参考。

随着广东省 2021 年农村公路桥梁改造整治完成后,全省共对 400 余座危旧桥进行改造,其中新发现危桥处治率达 100%,提升了农村公路桥梁安全保障水平,进一步加速推进了"乡村振兴战略"。

参考文献:

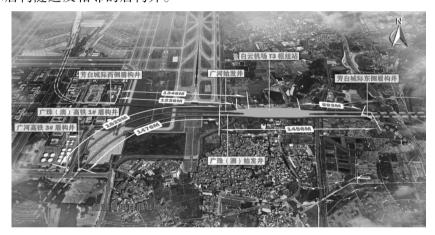
- [1] 交通部科学研究院. 公路双曲拱桥上部构造设计计算[M]. 北京:人民交通出版社,1980.
- [2] 王灿,朱新实. 双曲拱桥病害原因分析及处治对策的研究[J]. 公路,2002,第11期.
- [3] 交通部公路规划设计院. 公路桥涵设计规范(试行) [S]. 北京:人民交通出版社,1975.
- [4] 交通运输部公路科学研究院. 公路桥梁技术状况评 定标准: JTG/T H21 2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [5] 广东省交通运输厅. 广东省农村公路桥梁维修改造工程 检测与评定及标准化设计与施工技术指南汇编(试行)[M]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [6] 中交公路规划设计院有限公司. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60 2015 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [7] 中交公路规划设计院. 公路圬工桥涵设计规范: JTG D61-2005 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [8] 彭卫兵,沈佳栋,唐翔等. 近期典型桥梁事故回顾、分析与启示[J]. 中国公路学报,2019,32(12).
- [9] 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司. 广东省 2021 年农村公路桥梁安全保障整治工程(WQGZ02标段)南丰大桥方案设计文件[R]. 广州;2021.

白云机场 T3 交通枢纽轨道交通预留工程 现场调研与技术交流活动

2023年2月24日,为加强我院城市轨道交通技术交流,提升我院轨道交通工程设计技术水平,城市轨道交通专业技术分委会(下统称专委会)开展了白云机场 T3 交通枢纽轨道交通预留工程现场技术交流活动。专委会主任、集团副总工梁淦波带领专委会委员及代表赴广州白云机场 T3 轨道交通枢纽项目施工现场与施工单位技术人员进行了技术交流活动。

白云机场 T3 轨道交通枢纽位于广东省广州市,是集高速铁路、城际铁路、城市轨道等多层级、一体化的机场综合交通枢纽,建成后,将形成以白云机场为核心,高铁、城际、地铁、长途汽车、旅游大巴、网约车、公交、出租车、社会车辆等交通方式为一体的高效、便捷、安全、绿色、经济的综合交通网络。

白云机场 T3 交通枢纽轨道预留工程包含白云机场 T3 枢纽车站、机场 T3 站西侧广河高铁盾构隧道、广珠(澳)高铁盾构隧道,机场 T3 站东侧广河高铁明挖隧道、广珠(澳)高铁明挖隧道,机场 T3 站东西两侧芳白城际盾构隧道及相邻的盾构井。



活动开始,交流团队参观了中铁隧道局承建的广河高铁及广珠(澳)高铁3#盾构井,广河高铁及广珠(澳)高铁隧道区间采用直径13.8 m 大直径盾构,3#盾构井既是预留工程盾构区间接收井,也为远期广河高铁和广珠(澳)高铁预留接收条件,盾构接收井基坑开挖深度达31.5 m。盾构区间隧道地层岩溶发育,且下穿机场飞行区,施工条件复杂,施工难度大。

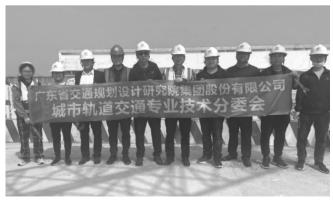


随后,交流团队到达白云机场 T3 枢纽车站施工单位中铁一局项目部,与施工单位技术人员交流探讨了白云机场 T3 枢纽站的设计施工情况以及施工过程中遇到的问题。



最后,交流团队参观了广珠(澳)端头始发井,始发井临近白云机场跑道,受机场场地条件及机场飞行高度等条件影响,地连墙钢筋笼施工、盾构井端头加固方案、龙门吊布置等均采取了特殊处理措施,既有效保证了项目的顺利实施,也保障了机场飞行安全。





通过本次分委会现场调研及技术交流活动的开展,进一步提升了我院对枢纽车站以及大盾构隧道设计与施工的认识,尤其是为岩溶发育地区和临近机场等复杂周边环境下轨道交通工程提供了新的设计思路,有效提升我院城市轨道交通设计质量与技术水平。

(报道者:轨道分委会)

智能建造与数字化平台建设发展论坛暨交通 BIM 共同体年会

为推动基于智能设计、数字施工、数字交付的公路智能建造,加快数字化平台建设,2023 年 3 月 1 日 - 3 日,由中国公路学会主办,四川省交通勘察设计研究院有限公司协办的"智能建造与数字化平台建设发展论坛暨交通 BIM 共同体年会"在成都市顺利举行。本届大会围绕"智能建造与数字化平台建设"为宗旨,交流国内各单位在智能建造和数字化平台建设方面的实践和经验,促进交通基础设计建设数字化发展。会议过程中同时进行首届中国公路学会"天工杯"数字交通及智能建造技术应用大赛颁奖仪式,以及中国公路学会《公路行业数字化应用报告》的发布和"经天路图"数字化产品发布。

学会邀请了诸多行业知名专家进行了经验分享,具体如下:

一、主题论坛:

- 1. 周成虎(中国科学院院士):演讲题目"高分时代的公路遥感大数据应用研究"。
- 2. 卢伟:演讲题目"山区基础设施智能建造探索与实践"。

二、BIM 技术论坛:

- 1. 吴逸飞:演讲题目"BIM 落地应用在奉建高速公路中的探索研究"
- 2. 任国乾:演讲题目"国际 BIM 标准化发展现状与未来趋势"
- 3. 霍瑞:演讲题目"公路 BIM 正向设计协同机制的探索"
- 4. 张吕伟:演讲题目"公路工程 BIM 应用成熟度及价值体现评价"
- 5. 房志忠:演讲题目"基于 BIM 技术的数字化、信息化、可视化信息系统在银洲湖高速公路中的应用"
- 6. 陶磊:演讲题目"江阴靖江长江隧道工程 BIM + 技术应用案例"

三、智能建造论坛:

- 1. 赵璐:演讲题目"智能建造助力常泰长江大桥实现四个世界首创、六个世界之最"
- 2. 朱超:演讲题目"BIM 技术在黄茅海跨海通道项目中的创新应用"
- 3. 邹育麟:演讲题目"从"单套制"看全寿命周期数字档案管理"
- 4. 李攀:演讲题目"安阳至罗山高速公路黄河特大桥工程智慧建造技术探讨"
- 5. 赵俊林:演讲题目"天邛高速建管养运一体化平台建设及应用实践"
- 6. 贾庆雷:演讲题目"工程测绘成果价值提升的探讨与实践"
- 7. 魏戈兵:演讲题目"智慧公路数字孪生平台建设"

四、数字化平台建设论坛:

- 1. 乔科:演讲题目"基础设施数字化探索与实践"
- 2. 张一智:演讲题目"工程数量管理助力施工企业数字化转型升级"
- 3. 王长海:演讲题目"三维数字孪生技术在西部陆海新通道建设项目中的应用"
- 4. 胡珀:演讲题目"鲁班数字基建业财档一体化管理思路与实践"
- 5. 陈晨:演讲题目"数字交通,智能 B 行"
- 6. 王欣南:演讲题目"国内外工程数字化标准体系研究与应用"

五、"天工杯"金奖论坛

1. 赵世英:演讲题目"BIM 技术在赤峰中环路项目建设管理中的应用"

- 2. 崔杨:演讲题目"'跨—界'云空间 BIM 新世界——自主云端设计建模施工协同平台"
- 3. 施勇定:演讲题目"临猗黄河大桥建设期数字孪生整合管理创新应用"
- 4. 李林:演讲题目"大型基础设施施工中的创新应用——智慧运营与临建标准化设计建造"
- 5. 程振庭:演讲题目"BIM 技术在单跨超千米的全漂浮体系悬索桥施工建造中的关键应用"
- 6. 郑波涛:演讲题目"超大路径独塔斜拉桥横门西特大桥信息化智能建造"
- 7. 唐忠泽:演讲题目"'畅达智安'高速公路交通风险智慧研判管控系统"











3月3日下午,交流会结束后,主办方组织参观成都至宜宾高速公路(智慧高速建设和"车路协同技术发展"交通强国建设试点)工程。

(报道者:孙颖)

首届全国 UHPC 技术发展和创新应用大会

2023年3月3日-4日,由中国混凝土与水泥制品协会超高性能水泥基材料与工程技术分会(简称 CCPA-UHPC 分会)主办的首届全国 UHPC 技术发展和创新应用大会在佛山隆重召开,大会以轴"新标准、新技术、新应用促新发展,UHPC 筑建美丽中国"为主题,旨在为在 UHPC 行业耕耘的设计院所、研究机构、产业供应商、施工企业提供一个探讨交流平台,推动 UHPC 的研究与应用发展。

集团公司为本次大会支持单位,集团总工程师孙向东应邀于3日上午做了主旨报告,报告题目为《UHPC 梁桥研究与工程应用实践》,并主持4日上午 UHPC 结构创新分论坛及圆桌讨论。





大会邀请了诸多行业知名专家进行了经验分享,举办了多场主旨报告及分论坛讨论。

3月3日上午,大会盛大开幕,中国混凝土与水泥制品协会原会长徐永模致开幕辞,邵旭东、黄政宇、白启安、孙洲、孙向东五位专家应邀做了大会主旨报告。

3月3日下午,清华大学土木工程系教授樊健生、山东省交通规划设计院副总工程师王宏博等九位专家分别做了题为《房屋建筑 UHPC 结构的研究应用进展》、《超高性能混凝土(UHPC)在沾临公路黄河大桥中的应用》、《UHPC 在装配式水处理工程中的应用探讨》、《超高性能混凝土收缩调控技术研究》等报告。

随后,大会举办了"致敬巴赫"主题活动(丹麦 阿尔博波特兰公司的巴赫先生是 UHPC 的发明人和工程应用奠基者)。CCPA – UHPC 分会秘书长赵筠对巴赫先生著作《新混凝土——新技术》相关技术内容向与会代表做了详细的解读。



3月4日上午,在UHPC结构创新分论坛,湖南大学桥梁与结构工程教授方志、哈尔滨工业大学土木工程学院教授吴香国等七位专家做了专题报告。报告题目包括《超高性能混凝土板的性能及设计理论》、《UHPC结构设计规程主要条文及其说明解读》、《钢-UHPC组合板抗负弯(配筋UHPC抗弯)的疲劳性能与损伤机理》、《UHPC无腹筋梁抗剪性能研究及UHPC应用探索》等。

专题报告结束后,由集团总工程师孙向东主持圆桌对话,邵旭东、方志、黄政宇、李传习、姜海波、吴

香国、范学明等七位专家围绕钢纤维用量与骨料粒径问题,R-UHPC结构裂缝宽度、结构抗剪性能、结构抗疲劳性能,以及《混凝土结构设计规范》(GB50010)与R-UHPC结构等问题进行了一场深度的技术交流和探讨。

3月4日下午,围绕 UHPC 材料、维修加固方法和施工技术,北京驻地新材料科技有限公司总工李瑞明、中交二航局技术中心先进材料技术部副主任陈飞翔等八位专家做了专题报告。

除集团总工程师孙向东外,集团副总工程师万志勇等领导、同事共14人参加了此次UHPC技术发展和创新应用大会,会议于货满满、精彩纷呈,大家仔细聆听、收获多多。











结语:超高性能混凝土(UHPC)作为新一代结构高性能材料,一经发明就以高强度、高韧性和高耐久性蜚声土木建筑行业,是近30年来最具创新性的水泥基复合材料。在如今桥梁结构朝更大型化、轻型化、复杂化发展趋势下,UHPC作为新材料将助推产生新结构和新施工工艺,通过采用UHPC与钢、NC等材料组合,发展低碳、绿色、少维护的高性能桥梁是桥梁行业发展的必然之路。集团公司作为此次全国UHPC技术发展和创新应用大会的支持单位,集团总工程师孙向东作为特邀专家发表主旨演讲并主持会议UHPC结构创新分论坛,提升了集团公司在行业内的知名度和美誉度,也为集团公司在UHPC科研创新应用大潮中抢占了有利地位。

(报道者:魏文龙)

《预制拼装桥梁技术标准》宣贯会

近年来,因符合低碳、绿色桥梁的国际潮流,桥梁装配化、快速施工的理念在国内逐步得到广泛认同,预制拼装技术迎来发展的春天。自 2022 年 2 月 1 日起,上海市住房和城乡建设管理委员会发布的《预制拼装桥梁技术标准》(DG/TJ08 - 2160 - 2021)正式实施。该标准在广泛调查的基础上,认真研究了国内外实践经验,并参照相关标准和规范,充分总结了预制拼装桥梁的多项关键技术,吸纳了工艺先进、经济合理、安全环保、节能减排的"四新"技术,体现了"安全、耐久、绿色、可持续发展"的桥涵工程建设理念。受该标准主编和参编单位的委托,《桥梁》杂志社于2023 年 3 月 7 - 9 日在四川成都顺利举办了此项标准的宣贯活动。

3月8日,在本次宣贯会开幕式的致辞中,四 川路桥建设集团股份有限公司总工程师卢伟表 示,作为交通建设重要组成部分的公路桥梁,在 交通强国步伐再次提速的时代大背景下,行业以 创新求发展的思路积极探索符合时代要求的成 长之路。近年来,快速建造、节约成本、绿色环 保、施工少人化已成为行业共识。如何使桥梁工 程更加精细化,如何在桥梁建造过程中确保安 全、降低各类风险,都成为行业发展中亟待解决 的课题。他希望四川桥梁界同仁和与会专家及 技术人员积极互动,分享交流实操中的宝贵经 验,将技术标准融入工程实践,使之切实起到保 证工程的施工质量和安全、提高施工技术水平的 作用。

一、宣讲内容

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司总工程师周良设计大师针对工业化装配式桥梁最新研究成果进行了分享,包括装配化桥梁研究的新方向、低碳轻型化空心桥墩盖梁研究、节段小型化预制立柱研究、预制 UHPC 组合箱梁

研究、新型预制拼装连接接头研究内容等。

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司闫兴非针对《预制拼装桥梁技术标准》修编说明与装配式技术在城市更新中应用进行分享,包括标准的修编背景及原则、主要修编的内容和对比情况、城市更新工程中装配式技术的应用需求及案例。





上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司张涛针对《预制拼装桥梁技术标准》的结构设计和构造设计进行分享。包括标准基本规定中关于设计工作规定的条文解读;逐条解读预制基桩的设计要求,各种类型基桩的比选,基桩的主要连接构造;逐条解读预制桥墩的设计要求、注意事项以及典型案例;逐条解读预制梁结构的设计要求及典型案例;预制构件吊点设计要求。

同济大学王志强副教授针对《预制拼装桥梁 技术规范》桥墩拼装连接构造和抗震设计进行介 绍,主要是简要介绍桥墩的震害和预制桥墩连接 部位抗震性能要求;预制拼装桥墩连接构造类型 及其抗震性能特性;规范中预制拼装桥墩抗震分 析和校核条文解读;预制拼装桥墩抗震连接构造措施相关条文解读;典型工程案例介绍。

浙江交工集团股份有限公司建筑工业化事业部总工程师宁英杰主要阐述桥梁构件工厂预制的场地要求、规划和布置、设备选型等相关规定。明确桥梁构件混凝土的钢模板选择和加工制作、钢筋加工的胎架和定位版安装、钢筋骨架的制作、连接套筒的安装、钢模板安装、混凝土拌合和浇筑、混凝土构件的养护构件厂内调运和堆放等全过程质量控制相关技术参数;对构件运输道路选择和运输过程做了提出相关规定;提出了分节式和整体式构件安装场地要求、吊装设备配置、质量控制、灌浆连接压浆工艺等规定。

上海公路桥梁(集团)有限公司总工程师蒋海里全面梳理预制拼装桥梁的施工规苑体系,井简要回顾预制拼装桥梁技术发展。结合近年来上海地区的预制拼装桥染工程案例,对规范中重点条文以及其中的主要参数进行解读与分析。包括新型预制桩设备的适用性、预制立柱与盖梁的拼装精度控制方法、拼接核心材料的技木要求及作业工艺、预制节段梁拼装质量控制重点、后浇带施工等内容。最后对拼装施工的发展方向提出思考与建议。

二、技术参观

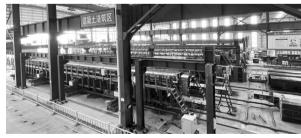
G0512 线成都至乐山高速公路扩容建设项目成都第二绕城高速至青龙场段土建工程施工1标,起讫桩号为 K27 +000~K33 +458.5,路线长约 6.46 km。成乐扩容智慧化综合场站位于成都市新津区普兴镇岳店村,占地约 120 亩,内含钢筋加工配送中心、智慧梁场、全封闭拌合站、工地试验室、生活区等配套设施,场站规划采用绿色环保、标准化的理念,集中生产、集中生活、集中管理的方式进行规划布置。智慧梁场采用移动底胎+固定液压模板、混凝土无人自动入模、智能张拉机器人等技术,结合物联网以及视频监控系统、智能排产、实现梁板生产的流水化、工位化、智能化。钢筋加工配送中心采用自动钢筋笼

滚焊机、切锯套丝打磨生产线、数控弯曲中心,数 控弯箍机等智能数控加工设备,并采用焊烟收集 处理装置、电动平板车等设备,结合钢筋加工信 息化系统的应用实现钢筋加工生产工厂化、信息 化、标准化。

包部成绵智能建造基地主要承担 G5 京昆高速公路绵阳至成都段扩容工程 K97 + 767 ~ K106 + 360(TJ6)及 K104 + 500 ~ K112 + 750(TJ7) 段高架桥及互通桥梁梁板预制、钢筋加工及混凝土拌和、运输施工任务,其中预制小箱梁约5886 片,预制 T 梁 946 片,钢筋加工总量约5.2 万吨,混凝土拌和、运输总量约123.55 万方。成绵智能建造基地旨在打造"西南第一,全国一流"高新智慧化梁厂,助力全川首条全周期数字化交通示范工程建设。成绵智能建造基地采用最新两支点移动式台座,移动台座预制模式将常规的"施工区域台座固定,模板循环"改进为"施工区域模板固定,台座循环"的全新工厂化流水线预制模式。











(报道者:刘安兴)

第五届桥梁工程创新技术论坛暨"双碳"背景下 智能桥梁发展交流大会

2023 年 3 月 16 - 17 日,中国交通运输协会新技术促进分会在武汉举办"第五届桥梁工程创新技术论坛暨'双碳'背景下智能桥梁发展交流大会",集团桥梁专业郭文华、周宇、林桢楷、喻志然、梁传波、谭卜豪、何宇虹、尹宸哲、王江浩参加了大会。

本届论坛邀请了相关部委领导、院士、知名学者、桥梁界领军企业及行业精英齐聚武汉,通过政策解读、高端研讨、展览展示、实地观摩等形式,围绕桥梁智能设计、智能场景、多部件智能制造、建造机器人智能控制等关键科学技术共性问题,集思广益,群策群力,促进全行业、多学科、多产业间的协同创新,从而推动桥梁行业的高质量发展。

集团公司紧跟桥梁专业发展前沿,积极跟进智能设计、智能建造、智能管养、智能使用的新一代桥梁工程,以切身行动贯彻我国《国家综合立体交通网规划纲要》中提出的"坚持创新核心地位,注重科技赋能"!





(报道者:王江浩)

集团副总工程师刘吉福受邀参加第三届 全国软土工程学术会议活动

2023年3月24日~26日,由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会主办,江苏省岩土力学与工程学会和东南大学联合承办的"第三届全国软土工程学术会议"在江苏南京圆满召开。中国工程院院士、浙江大学龚晓南教授,中国土木工程学会土力学及岩土工程分会理事长、中国工程院院士、清华大学张建民教授等700余位专家和代表参加大会。





集团副总工程师刘吉福受邀带队参加并做了"路基规范对搅拌桩复合地基的疏忽"为主题的特邀报告。报告中深入浅出的讲解了规范对沉降计算、稳定分析方面的分析存在一些疏忽,对沉降计算提出了更接近工程实际的压缩模量法,对稳定性分析问题强调了桩身强度控制的重要性等。本次报告得到专家学者的一致好评,取得了良好的效果。





参加本次学术会议的人员还有第三设计院姜昌武、陈植辉,第五设计院孙阳光,市政设计院贺佐 跃。通过参加高水平学术会议,进一步提升了设计人员对行业发展的认识,尤其为复合地基处理、基坑 支护工程提供了新的设计思路,拓宽新视野,更加积极的投入到集团生产及科研工作中。



(报道者:总工程师办公室、孙阳光)