



# 廣東交通規劃設計

GUANGDONG COMMUNICATIONS PLANNING AND DESIGN



2018

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



准印证号：(粤O)L0150076号

内部资料 免费交流

2018年1月22日下午，公司在广州嘉鸿华美达酒店召开了以“找不足、练内功、增强责任意识，提升设计质量”为主题的2017年度技术质量分析会暨美澳旅游公路考察报告会。



黄湛军总经理作质量工作重要讲话



梁立农总工主持并对质量情况总结



观看“梦幻海岸线，美好滨海路”视频



王强副总工程师作“责任与质量”专题报告



梁志勇副总工程师作“总结、思考、提高”专题报告



王景奇副总工作“坚守设计安全底线，不断提高设计水平”专题报告



彭向荣首席副总工程师作“美澳公路环境协调性”专题报告



公司经营领导班子成员出席会议



2018年2月27日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“广东省高速公路设计标准化路基专项研究”成果研讨会。



黄湛军总经理、梁立农总工主持会议



项目组汇报课题进展及研究成果



专家组为完善成果献计献策

2018年1月27日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“虎门大桥提高通行效率方案研究”公司级设计评审会议。



梁立农总工程师主持会议



项目组汇报设计方案情况



专家组听取设计方案情况

2018年1月23日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“汕港高速公路汕头至揭西段K10+446~K10+990段软基变更设计方案”公司级设计评审会议。



梁立农总工程师主持会议



项目组汇报了变更设计情况



专家组对变更方案进行热烈探讨

2018年3月7日，技术质量部在三楼会议室组织召开了“跨汕头湾新通道工程前期研究报告及初步设计阶段勘察设计”公司级设计评审会议。



梁立农总工程师主持会议



项目组对设计情况进行汇报



专家组对设计情况进行评审

# 广东交通规划设计

(季刊)

2018年03月30日出版

2018年第1期

(总第169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

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

本刊供行业内部免费交流

本期印刷数量: 600本

印刷单位: 广州广卫印刷厂

封面封底: 宁莞高速公路潮州段

## 目次

### 桥梁工程

- 虎坑大桥受船舶撞击后通行要求分析及修复设计  
..... 黄森华 (1)
- 兴旺大桥主桥设计及仿真分析  
..... 段银龙, 王雷, 王景奇 (7)
- 一座墩梁固结T梁桥结构拟合及体外预应力加固方案的力学分析和有限元模拟研究  
..... 王春明 (14)

### 市政工程

- “海绵城市”设计理念在城市立交中的应用  
..... 李立军, 周密 (20)
- 有轨电车跨越城市下穿隧道的设计方案研究  
..... 谢璞 (25)
- 茂名滨海新区起步区城市地下综合管廊设计实例研究  
..... 刘衡 (29)

### 隧道工程

- 地铁盾构下穿公路的影响分析  
..... 王哲 (33)

### 交通规划

- 新路段开通后形成的新环路多义性路径标识系统技术分析  
..... 黄宇东 (36)
- 现代公路规划建设管理对策分析  
..... 程坤 (39)

### 课题研究

- 无人机的特点及其在公路工程建管养领域中的应用研究  
..... 王强, 李红中 (41)

### 信息专栏

- 2017年度技术质量分析会暨美澳旅游公路考察报告会报道  
..... (50)
- “广东省公路越岭隧道水文地质勘察技术规定研究”项目成果验收会报道  
..... (51)
- 第三届全国水下隧道建设与管理交流会暨厦门海沧隧道技术考察报道  
..... (52)
- 中国测绘地理信息学会奖励申报及相关问题研讨班报道  
..... (53)
- 中国钢结构协会钢—混凝土组合结构分会第十六次学术会议报道  
..... (54)



# 虎坑大桥受船舶撞击后通行要求分析及修复设计

黄森华

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 本文以省道 S270 线上的一座受船舶撞击的虎坑大桥为例, 针对桥梁结构受到船舶的撞击, 并结合检测报告, 对受损主梁在不同布载宽度、主梁不同的竖向抗弯刚度折减的前提下对受损梁体进行活载横向分布计算, 以评估在限载临时通行时受损梁体的受力分配比例。修复更换设计则应保证原有结构受力基本不变时, 尽可能降低该桥受船撞击的几率及提高防撞能力, 并能满足原桥的设计规范要求。

**关键词:** 桥梁工程; 船舶的撞击; 限载通行; 荷载横向分布; 更换修复

## 0 引言

本文中提及的省道 S270 线上的虎坑大桥, 在大概 4 年运营期间内, 受到两次较大的船舶的撞击, 两次的撞击均对主跨的挂梁产生不同程度的损伤, 需对受损位置的桥梁进行临时限载交通管制, 并完成相应受损主梁的修复后恢复交通。

## 1 工程概况

### 1.1 桥梁受船撞事故

江门市虎坑大桥<sup>[1~3]</sup>位于省道 S270 古港线上, 中心桩号 K93+681, 桥全长 733.6m, 共 39 跨, 桥面宽度 13m。桥跨组合为: 16m+20m+16×16m+(52.5+80+52.5)m+16×16m+20m+16m。其中主跨为(52.5+80+52.5)m 预应力砼箱梁, 中跨采用 25mT 梁作为挂梁设计, 其余跨为简支 T 梁。原桥设计荷载为汽-20 级, 挂-100

级。按照《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021-89) 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023-85) 进行设计<sup>[5~6]</sup>。

该桥于 2012 年 9 月 14 日被运沙船只撞击, 经检测单位的检测, 碰撞部位为第 20 跨挂梁(即主跨 25m 挂梁处)下游侧 6#边梁左腹板下部, 距离主跨跨中约 3.7m 处; 撞击后共有两片挂梁受损, 其中 6#边梁严重受损, 5#次边梁受损较轻。修复设计方案: 维修更换破损严重的 6#边梁, 并对 5#次边梁破损部位进行修补。本桥于 2012 年底完成修复并恢复通行。

该桥在 2012 年船撞修复通行大概 4 年左右, 于 2016 年 10 月 5 日再次被一艘运砂船从上游侧经过虎坑大桥第 20 跨下方时(仍然是主跨 25m 挂梁处), 船只的龙门架顶部依次与 6#~1#挂梁发生碰撞, 导致该跨挂梁均受到不同程度的损坏。虎坑大桥桥跨被船撞击处见图 1, 挂梁被船撞击处见图 2。

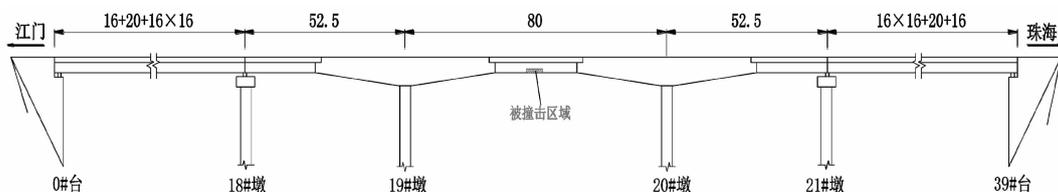


图 1 虎坑大桥被撞击处示意图(单位:m)

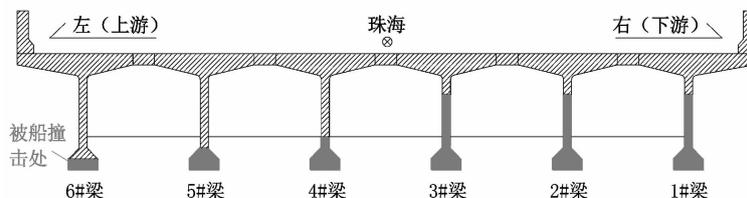


图 2 主跨 25m 挂梁编号图及被撞击处

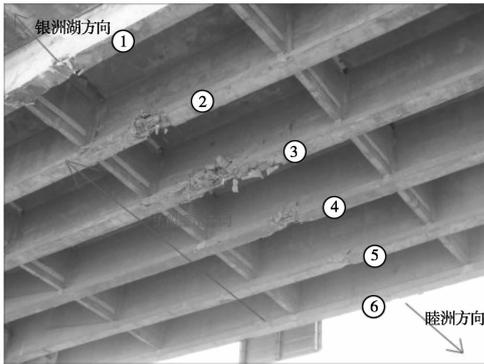


图 3 主跨 25m 挂梁受船舶撞击现场照片

### 1.2 桥梁受船撞后检测结果

依据《江门市新会区虎坑大桥船撞事故检测报告》<sup>[4]</sup>,本桥第 20 跨挂梁受船只碰撞,受损情况如下:

(1)1#挂梁主要受撞击处为跨中靠近 2 号横隔板(横隔板编号为顺桥向,顺桥向共设 5 道横隔板,下同)位置马蹄处,受撞击位置砼大面积碎裂、脱落,面积约为 45cm × 55cm,破损位置结构钢筋、预应力钢绞线外露;梁体腹板自 2 号横隔板至 3 号横隔板区域呈抛物线形贯通开裂,开裂区域砼与原梁体已基本完全分离,并向下游侧凹陷、变形。

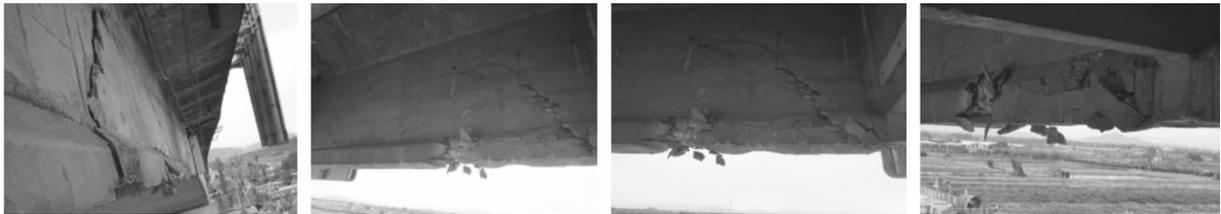


图 4 破损 1#边梁现场照片 1-4

(2)2#挂梁主要受撞击处为跨中近 2 号横隔板位置梁体下部,受撞击位置砼大面积碎裂、脱落,面积约为 120cm × 150cm;破损位置结构钢筋、预应力钢绞线外露,箍筋、纵向主筋严重扭曲变形;部分箍

筋已发生断裂,预应力钢绞线未见明显松弛、断丝,一束钢绞线表层锈蚀;梁体腹板自 2 号横隔板至 3 号横隔板区域呈抛物线形贯通开裂,开裂区域砼与原梁体已基本完全分离,并向下游侧凹陷、变形。

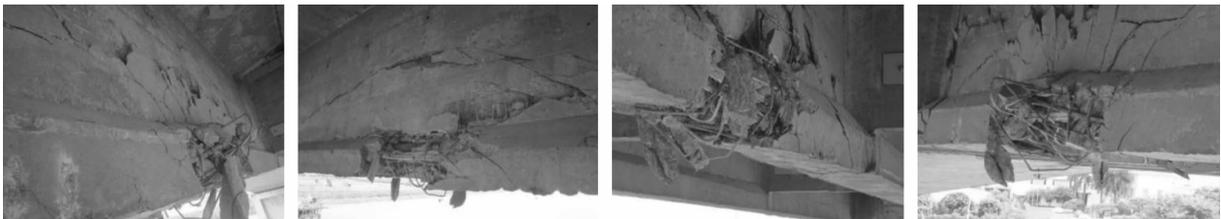


图 5 破损 2#次边梁现场照片 1-4

(3)3#挂梁主要受撞击处为跨中位置梁体下部,受撞击位置砼大面积碎裂、脱落,面积约为 75cm × 250cm;破损位置结构钢筋、预应力钢绞线外露,箍筋、纵向主筋严重扭曲变形;部分箍筋已

发生断裂,预应力钢绞线未见明显松弛、断丝;梁体腹板自 2 号横隔板至 3 号横隔板区域呈抛物线形贯通开裂,开裂区域砼与原梁体已基本完全分离,并向下游侧凹陷、变形。



图 6 破损 3#中梁现场照片 1-4

(4)4#挂梁主要受撞击处为跨中位置梁体下部,受撞击位置砼大面积碎裂、脱落,面积约为

55cm × 60cm;破损位置结构钢筋、预应力钢绞线外露,箍筋、纵向主筋严重扭曲变形;部分箍筋已

发生断裂,预应力钢绞线未见明显松弛、断丝;梁体腹板自 2 号横隔板至 3 号横隔板区域呈抛物

线形贯通开裂,开裂区域砣与原梁体已基本分离。

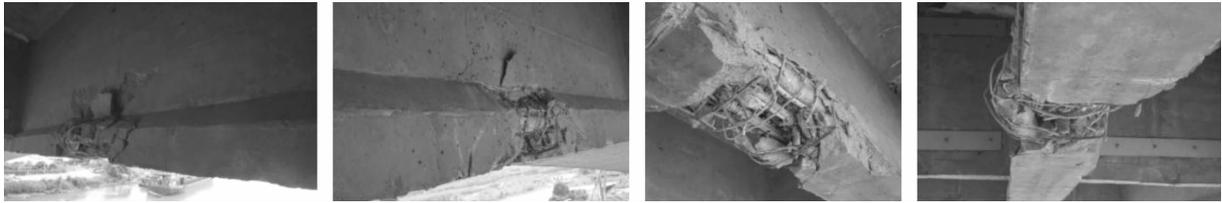


图 7 破损 4#中梁现场照片 1-4

(5)5#挂梁主要受撞击处为跨中处马蹄位置,受撞击位置保护层砣破损、脱落,面积约为 20cm × 60cm;破损位置结构钢筋外露,未见预应力钢绞线外露。

限载且横向同时通行两列车时,受损 1#~4#主梁活载分配比例;5#、6#主梁则结合《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)评定后,主梁的承载能力是否满足原设计规范要求。



图 8 破损 5#梁现场照片 1-2

(6)6#挂梁主要受撞击处为跨中处马蹄位置,受撞击处小面积砣破损、刮擦,面积约为 10cm × 15cm,破损位置未见结构钢筋外露。

### 1.3 桥梁受船撞后现场通行情况

船撞事故发生后,现场桥面中心位置处增设了限载护栏,车辆通行的范围对应为主跨 25m 受损挂梁的左半幅区域,有横向同时通行两列车的情况。



图 9 破损 6#梁现场照片 1-2

本次船撞事故造成虎坑大桥主跨各跨挂梁出现不同程度的损坏,其中桥梁其他部件未见明显位移、变形等异常;6#挂梁马蹄处砣破损、剥落;5#挂梁马蹄处砣破损、剥落、部分主筋外露;6#和 5#挂梁的受损较轻未伤及结构的钢绞线和主筋。1#~3#挂梁预应力 T 梁破坏严重,被撞击部位砣大面积碎裂、脱落,预应力钢束外露,纵向主筋变形,部分箍筋断裂;梁体跨中区域呈抛物线状贯通开裂、分离,跨中关键位置混凝土已退出工作,结构受力情况发生改变,其承载能力比原设计已大幅降低。4#挂梁预应力钢绞线外露,未见明显松弛、断丝,受损也较 1#~3#挂梁相对较轻。



图 10 受损后现场临时限载照片

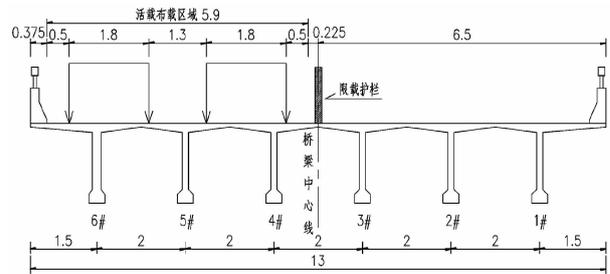
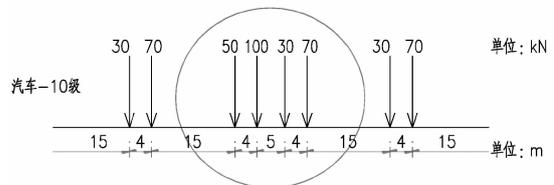


图 11 按横向 2 车道,布载区域为 5.9m 横断面图

考虑限载的情况下,满足小轿车等轻载交通的通行,活载效应可近似等效为汽车-10 级,每延米一列活载的集度  $q = 250\text{kN}/25\text{m} = 10\text{kN}/\text{m}$ 。



每延米一列活载的集度=250kN/25m=10kN/m

图 12 主跨 25m 挂梁区域汽车-10 级等效荷载

从前述的检测报告的结果,结合实际面临解决临时轻载交通的需求,在进行此受损主梁是否能继续承载时,需进行论证的内容:按照左半幅

## 2 受损后主梁限载布载宽度分析

### 2.1 双车道布载各梁横向分布计算

现场限载下横向同时通行两列车,需对活载作用在左半幅区域时,分别采用铰接板梁法和刚接板梁法计算各片主梁的活载横向分布系数  $m_{活载}$ ,以评估各主梁的活载分配比例。

受船舶撞击后,1#~4#主梁存在不同程度的损伤,且4#主梁损伤的情况略小于1#~3#主梁,计算分别假定如下两种刚度折减情况。

假定情况 1:1#~4#主梁竖向抗弯刚度  $I_{yy}$  采用相同的折减系数。

采用铰接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.279~0.474;刚接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.223~0.347。

假定情况 2:1#~3#主梁竖向抗弯刚度  $I_{yy}$  的折减系数为4#主梁的 2 倍。

采用铰接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.430~0.474;刚接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.383~0.347。

算,验算满足(JTJ021-89)和(JTJ 023-85)规范的要求。

### 2.2 单车道布载各梁横向分布计算

由上计算可知,若左半幅横向同时通行两列车,受损的4#主梁仍分配较大的活载,车辆的反复作用将进一步恶化受损主梁的承载力状况。通过调整限载护栏的位置,将活载区域调整为 4.1m 宽(仅直接作用在受损较轻的5#、6#主梁),横向仅允许通行一列车,计算各片主梁的活载横向分布系数  $m_{活载}$ 。

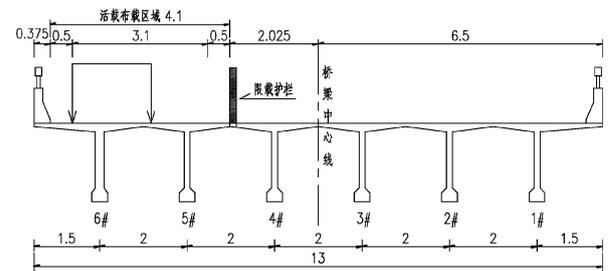


图 15 按照单车道,布载区域仅作用在 5#、6# 主梁时横断面图

假定情况 1:1#~4#主梁竖向抗弯刚度  $I_{yy}$  采用相同的折减系数。

采用铰接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.089~0.170;刚接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.101~0.205。

假定情况 2:1#~3#主梁抗弯刚度的折减系数为4#主梁的 2 倍。

采用铰接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.138~0.170;刚接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.173~0.205。

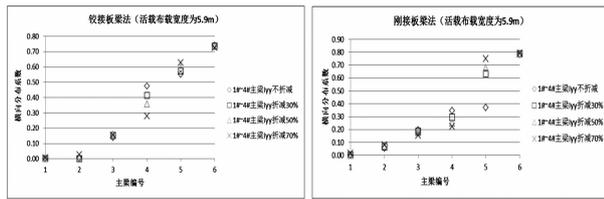


图 13 1#~4#主梁  $I_{yy}$  采用相同的折减系数时  $m_{活载}$

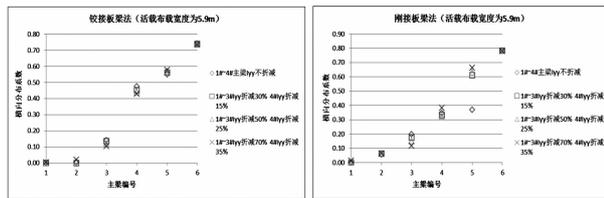


图 14 1#~3#主梁  $I_{yy}$  折减系数为4#主梁 2 倍时  $m_{活载}$

限载且横向同时通行两列车,1#~3#主梁的活载横向分布系数较小,3#主梁仅有 0.2 的水平(最不利工况);但4#主梁最不利工况时则处于接近 0.5 的水平。若左半幅横向同时通行两列车时,4#主梁受活载作用仍较大。

限载且横向同时通行两列车,按照汽车-10级,采用恒载+汽车荷载组合下,并结合《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011) [7] 中的要求对5#、6#主梁的承载能力检算系数、恶化系数、混凝土和钢筋的截面折减系数进行相应的取值,重新对5#、6#主梁的正截面抗弯承载能力验

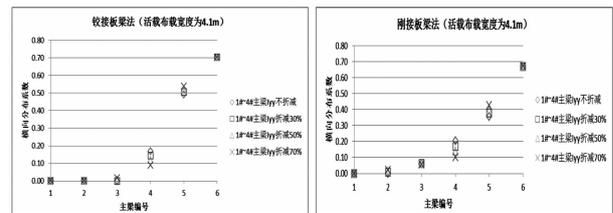


图 16 1#~4#主梁  $I_{yy}$  采用相同的折减系数时  $m_{活载}$

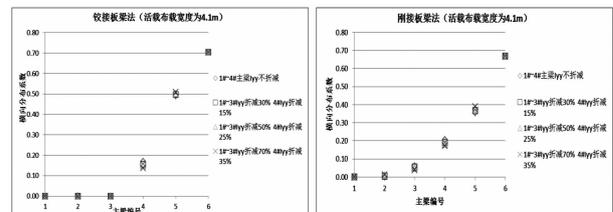


图 17 1#~3#主梁  $I_{yy}$  折减系数为4#主梁 2 倍时  $m_{活载}$

按照横向单车道布载,1#~3#主梁的活载横向分布系数较小,3#主梁  $m_{活载}$  仅有 0.06 的水平(最不利工况);4#主梁最不利工况时  $m_{活载}$  则处于 0.2 的水平,较两车道布载时,大大减小了 1#~4#主梁分配的活载比例。

该桥的限载临时通行方案通过专家评审并形成意见如下:由于无法准确评估受损后 4#主梁的承载能力情况,建议只允许单个车道的宽度通行车辆,以减小的活载作用在 4#主梁的效应,提高该桥临时开放轻载交通的行驶安全性。并加强现场观测,重点关注主梁的变形,梁体裂缝发展,发现明显变化应立刻封闭交通;完善临时交通组织,严禁超限制车辆的通行;尽快进行受损梁体的更换,以尽快恢复正常交通运行。

### 3 施工仅保留左半幅桥时受力分析

修复更换为拆除右半幅 T 梁,保留左半幅限载通行,更换完毕右半幅主梁并恢复右半幅通行后再对左半幅进行更换。如图 18 所示,施工过程中,拆除 1#~3#主梁,仅保留 4#~6#主梁保持单侧的通行时,则需要关注 4#主梁是否会出现支座脱空、4#主梁分配的活载比例等问题。

当单侧活载作用在最外侧时(仅 4#~6#主梁工作),活载布载区域根据现场施工调整为 3.0m 宽时,采用铰接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.013~0.019。刚接板梁法时,4#主梁  $m_{活载}$  为 0.034~0.053。4#主梁  $m_{活载}$  最大分配仅有 5.3%。且 4#主梁支座仍处于受压状态,4#主梁支承位置处不会出现脱空。

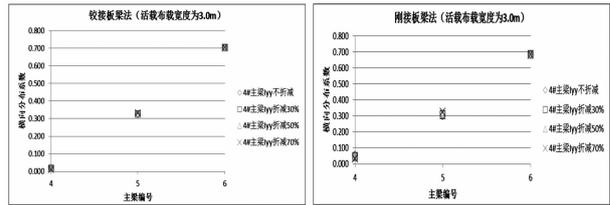


图 18 4#主梁  $I_{yy}$  采用不同折减系数时  $m_{活载}$

活载仅保持单侧通行(仅 4#~6#主梁工作),5#、6#主梁  $m_{活载}$  均取为 1.0 的前提下(偏为不利取值),按照汽车-10 级,并结合《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2011)中的要求对 5#、6#主梁的承载能力检算系数、恶化系数、混凝土和钢筋的截面折减系数进行相应的取值,重新对 5#、6#主梁的正截面抗弯承载能力验算,验算满足(JTJ021-89)和(JTJ 023-85)规范的要求。

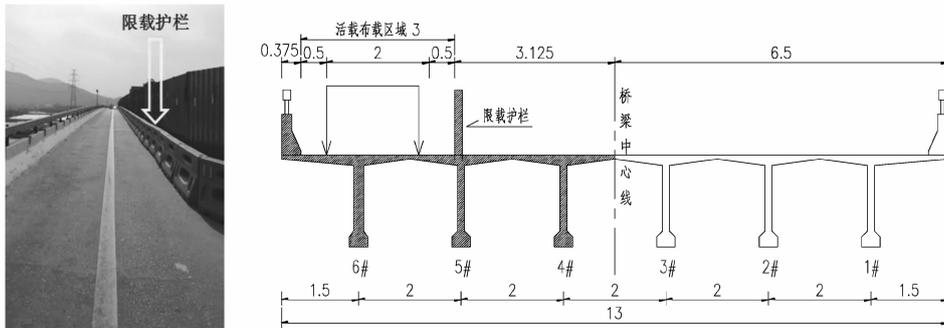


图 19 按照单车道布载,仅 4#~6#主梁工作时,活载布载区域横断面图

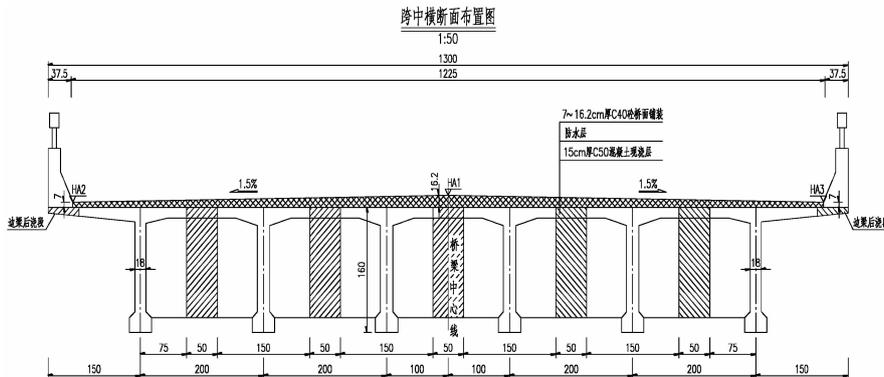


图 20 主跨 25m 挂梁修复工程横断面布置图(单位:cm)

#### 4 受损 T 梁的更换设计

原设计 T 梁梁高为 180cm,跨中位置腹板厚度为 14cm。为使主桥的受力合理,需保证新更换梁的上部恒载与原设计基本上恒等的原则。同时,降低再次被撞的几率和提高防撞能力,新更换的梁将梁高降低了 20cm,腹板的厚度增大为 18cm,并增大了腹板的箍筋直径等。

主跨挂梁修复工程仍采用 25m 预应力混凝土 T 梁,预制梁长度为 24.95m,横向设置 6 片梁,梁间距为 2m,湿接缝宽为 0.5m;梁高为 160cm,T 梁马蹄宽 36cm;腹板厚度在跨中处为 18cm,支座处加厚到 36cm。桥面布置:0.375m 防撞栏 + 12.25m 行车道 + 0.375m 防撞栏 = 13.0m。修复横断面布置图详见图 20。

特别注意的是汽车荷载标准采用原设计汽车 - 20,挂车 - 100,并按公路 - II 级荷载标准进行复核。

组合 I :恒载 + 汽车 + 体系温度作用 + 梯度温差作用;组合 III :恒载 + 挂车。

#### 5 结语

该桥已 2017 年 2 月完成新梁更换并恢复交

通,笔者在完成该桥的修复全过程时,结合检测报告,对受损主梁在不同布载宽度、主梁不同的竖向抗弯刚度折减的前提下对受损梁体进行活载横向分布计算,以评估在限载临时通行时受损梁体的受力分配比例。后续更换设计中,尽可能在保证原结构受力基本上不变的情况下,降低该桥受船撞击的几率及提高防撞能力设计,并能满足原设计规范要求。

#### 参考文献:

- [1]《虎坑大桥竣工图》。(省公路工程处)(1990.09).
- [2]《新会县大洞、虎坑大桥工程两阶段施工图设计》。(广东省公路勘察规划设计院)(1988.10).
- [3]《新会区省道 S270 虎坑大桥维修加固工程》。(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司)(2008.12).
- [4]《江门市新会区虎坑大桥船撞事故检测报告》。广东省公路工程质量监测中心,2016.10.
- [5]《公路桥涵设计通用规范》JTJ021 - 89[S].北京,人民交通出版社,1989.
- [6]《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ023 - 85[S].北京,人民交通出版社,1985.
- [7]《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21 - 2011)[S].北京,中华人民共和国交通部,2011.

# 兴旺大桥主桥设计及仿真分析

段银龙,王雷,王景奇

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 兴旺大桥主桥是一座蝴蝶形系杆拱桥, 本文对该桥的构造设计进行了介绍, 运用 Midas Civil 建立空间杆系模型对结构进行整体分析, 并建立 ANSYS 板-实体模型对关键构造进行局部分析。通过对该桥设计难点的介绍及受力特点的分析, 可为同类型结构的设计提供一定的参考或借鉴。

**关键词:** 蝴蝶拱桥; 系杆拱桥; 拱桥设计; 局部分析; 仿真分析

## 1 工程概况

兴旺大桥位于广东省兴宁市, 是跨越宁江河的一座蝴蝶形系杆拱桥, 主桥全长 135m, 桥孔布设为 29.25m + 76.5m + 29.25m。该桥由两个对称的主拱肋、四个边腿、钢箱梁、隐形铰、倾斜的吊杆及

钢箱梁内系杆组成, 桥面宽 25.5m, 桥面横向布置: 0.5m (给水管) + 4m (人行道) + 4.5m (辅道) + 0.5m (分隔栏) + 15.5m (车行道宽) + 0.5m (护栏), 钢箱梁采用整体旋转形成 2% 单向横坡。其立面和侧面布置图如图 1 所示。

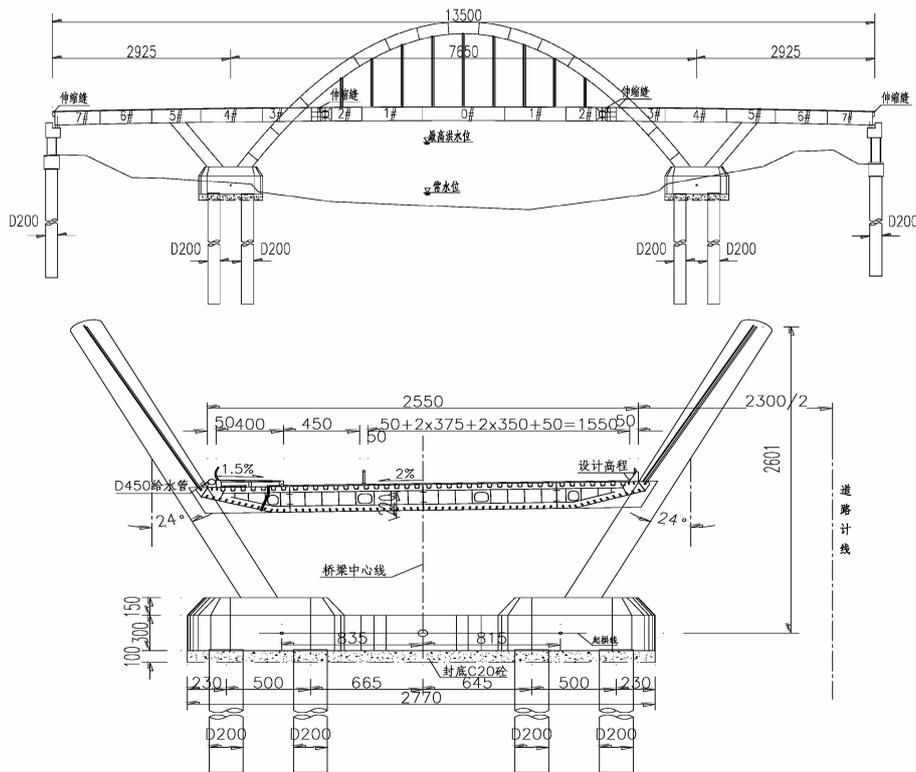


图1 兴旺大桥主桥立面及侧面布置图

## 2 结构设计

### 2.1 设计标准

(1) 公路等级: 一级公路兼城市道路;

(2) 设计车速: 60km/h;

(3) 荷载等级: 公路 - I 级、城 - A 级;

(4) 设计洪水频率:  $P = 1/100$ ;

(5) 通航等级: 无通航要求;

(6)地震动峰值加速度:0.05g。

## 2.2 结构构造设计

### 2.2.1 钢拱肋的设计

主拱肋采用圆形钢管,拱轴线采用二次抛物线,横桥向向外倾斜 $24^\circ$ ,呈蝴蝶形,拱肋倾斜平面内矢高 $f=28.47\text{m}$ ,矢跨比为 $f/L=1/2.69$ ,竖直面内矢高 $f=26.01\text{m}$ ,矢跨比 $f/L=1/2.94$ 。边腿是略向内倾斜的直钢管,在拱脚处,主拱空间相交,经拱脚构造埋入承台中。拱肋断面均由直径2000mm的圆钢管及其加劲肋组成,其中边腿及主拱肋桥面以下部分壁厚为30mm,其余壁厚为22mm。为改善拱脚受力,边腿及主拱肋拱脚灌注C50微膨胀混凝土。

### 2.2.2 钢箱梁的设计

主梁为扁平钢箱梁,梁高2.2m,采用正交异性桥面板构造,主梁分为0~7#节段(详见图1)。对于标准段(0#、1#、2#、4#及6#),板厚16mm,底板厚12mm,腹板厚12mm。吊点区0~2#吊点隔板厚16mm,非吊点隔板厚12mm;非吊点区4#、6#段实虚隔板交错布置,实隔板厚16mm,虚隔板厚12mm。对于3#、5#及7#非标准段,顶底板局部加厚至24mm,部分隔板加厚至20mm或24mm。其中3#段与主拱肋固结,5#段与边腿固结,3#、4#及5#段与主拱肋和边腿形成V形固结区域。在钢箱梁2#和3#段之间设隐形铰接和伸缩缝,并在5#段设置中横梁,用于锚固系杆并压重。

### 2.2.3 隐形铰的构造设计

由于主梁采用断开体系,为保证桥面连续,2#和3#钢箱梁之间设置隐形铰(详见图2)。隐形铰四周均设置单向滑动支座,以保证主梁纵向可自由伸缩,并释放此处弯矩,但可传递竖向及横向剪力。

### 2.2.4 吊杆的设计

全桥共设9对倾斜吊杆(左右各9根),每根由15根 $\phi 15.2$ 无粘结环氧钢绞线组成,其标准强度为1860MPa,吊杆破断力为3906kN。吊杆上端通过上叉耳与拱肋伸出的耳板连接,下端通过下

叉耳与钢箱梁内部伸出的耳板连接,其中上端为固定端,下端为张拉端。

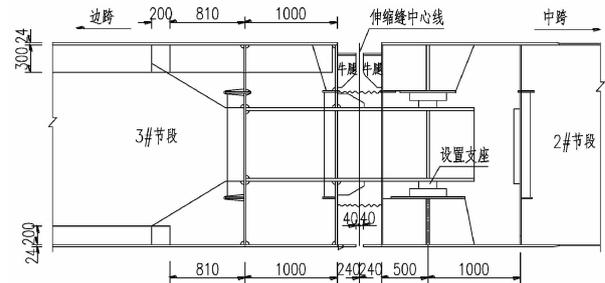


图2 隐形铰构造

### 2.2.5 系杆的设计

由于该桥钢箱梁不连续,钢箱梁不能充当“隐形系杆”。钢箱梁内部共设置4组9根 $\phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线,锚具采用配套锚固体,锚固于5#段中横梁上,系杆穿过0~4#段横隔板,并在横隔板处设置减震橡胶块。其中单组系杆张拉力为750kN。

## 2.3 模型介绍

### 2.3.1 空间结构有限元模型

本桥计算采用Midas/Civil建立全桥空间杆系模型对全桥整体受力进行计算。由于部分构造受力复杂,为优化构造设计,减小局部应力集中,建立ANSYS板-实体模型,对吊杆耳板、桥面板、3#段梁拱固结区及隐形铰等构造进行局部受力分析。

### 2.3.2 主要材料

#### (1) 混凝土

C30混凝土:拱脚、承台及桩基;

C35混凝土:过渡墩立柱及盖梁;

C50微膨胀混凝土:主拱拱脚及边腿内灌注砼。

#### (2) 钢材

主体结构采用Q345qD,局部板件为防止Z向撕裂,采用Z向性能钢(Z25)。

#### (3) 高强度环氧钢绞线

主要用于吊索及系杆。

### 2.3.3 计算考虑荷载

#### (1) 结构自重;

(2)二期恒载;

(3)混凝土收缩徐变;

(4)活载;

汽车荷载分别考虑公路-I级和城A荷载:按实际车道数目(5车道)并考虑最不利偏载位置布设车辆荷载,人群荷载取 $3.5\text{kN/m}^2$ 。

(6)温度作用(整体升降温及梯度升降温);

整体升温30度,整体降温25度,梯度升降温参照BS5400取值。

(7)基础不均匀沉降;

边墩基础按照10mm,主墩基础15mm不均匀沉降考虑。

#### 2.3.4 全桥杆系模型模拟

全桥空间杆系模型(图3)采用Midas/Civil 2012建立,全桥共1036个单元,1079个节点。吊索和系杆采用桁架单元,主梁、拱肋、承台及桩基均采用梁单元模拟,其中灌注混凝土的主拱肋及边腿采用施工联合截面模拟。模型中考虑桩土的相互作用,参数根据地勘报告和相应的规范确定。

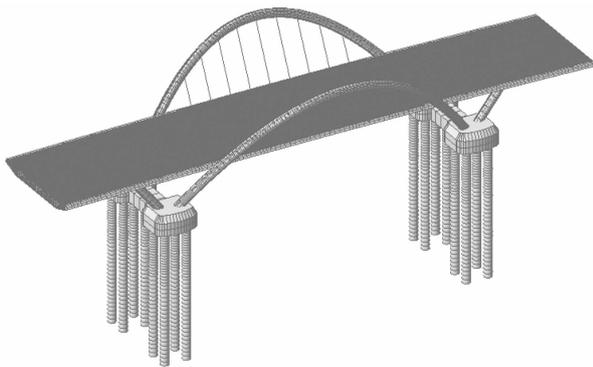


图3 Midas Civil全桥杆系有限元模型

#### 2.3.5 板-实体模型模拟

板-实体有限元模型在ANSYS中建立,混凝土采用实体单元Solid95,钢板采用壳单元shell63,吊杆及系杆采用杆单元Link10。该桥纵桥向对称,为提高计算速度,建立半桥有限元模型,模型中共929636个单元,310217个节点,模型的自由度为1486162个,局部分析模型如图4所示。

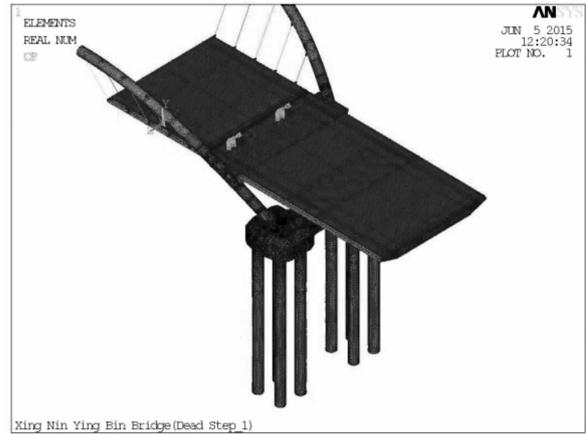


图4 ANSYS板-实体有限元模型

### 3 结构整体计算结果

#### 3.1 施工阶段分析

该桥采用满堂支架施工,模型中模拟了施工过程:CS1基础施工→CS2架设V形刚架(未合龙)→CS3上中跨钢箱梁→CS4向边跨顶推200t→CS5三角刚架合龙→CS65#段压重→CS7上边跨6#、7#节段→CS8架设剩余主拱圈→CS9张拉吊杆→CS10拆除临时支架→CS11拆除顶推力→CS12灌注钢管内混凝土→CS13张拉系杆→CS14二期铺装→CS15收缩徐变。

该桥施工采用先梁后拱,其中关键阶段为:中跨向边跨顶推、V形区域合龙、5#段压重、张拉吊杆、拆除支架、张拉系杆及二期铺装。对于该桥的难点在于顶推施工、V形区域合龙、拱脚混凝土灌注及系杆张拉顺序等。

根据各施工阶段控制拱圈截面弯矩(图5)和轴力(图6):向边跨顶推时,主拱拱脚轴力和弯矩及边腿拱脚弯矩增大明显;V形区域合龙时,对该阶段结构内力影响不大;5#段压重时,边腿顶部轴压力减小,弯矩略微增大;张拉吊杆时,各控制截面正弯矩增大,边腿轴力出现拉力,主拱轴力增大;拆除支架时,边腿拱脚及主拱梁拱固结处负弯矩急剧增大,各控制截面轴压力增大;张拉系杆时各控制截面正负弯矩均减小,趋于合理受力状态;二期铺装时,主拱及边腿拱脚负弯矩增大;收缩徐变使正负弯矩均有增大趋势,且主拱拱脚及边腿顶部增大较为明显。

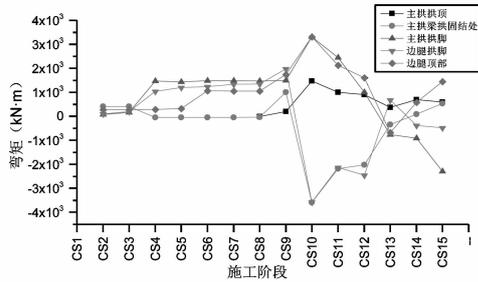


图 5 施工阶段拱圈控制截面弯矩

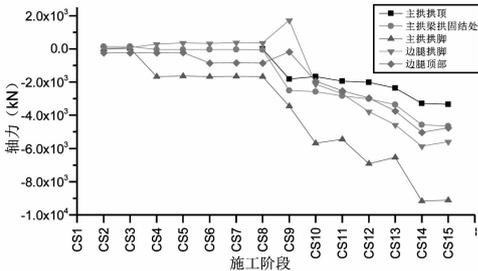


图 6 施工阶段拱圈控制截面轴力

施工过程中,结构应力整体较小,拱圈最大压应力 24.5MPa,基本不出现拉应力;钢箱梁最大拉压应力均不超过 30MPa。

### 3.2 成桥使用阶段分析

#### 3.2.1 使用阶段最不利荷载工况

使用阶段最不利荷载工况下,主拱圈(桥面以上)及钢箱梁的应力如图 7,边腿及主拱圈拱脚的应力如图 8。

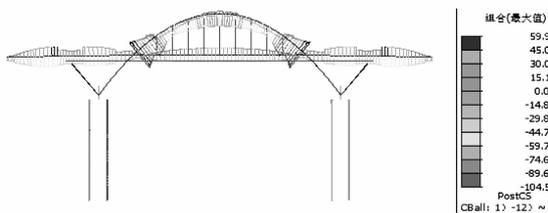


图 7 最不利工况主拱圈及钢箱梁应力 (MPa)

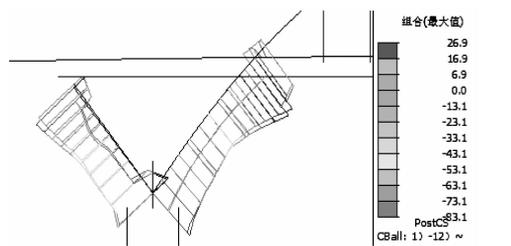


图 8 最不利工况边腿及主拱圈拱脚应力 (MPa)

该桥箱梁和拱圈固结,受温度、沉降及收缩徐变影响较大,应重点关注拱脚及混凝土灌注面

处拱圈应力、梁拱固结区拱圈及箱梁应力。

在最不利荷载工况下,主拱圈最大压应力为 104.5MPa(上缘),最大拉应力为 59.9MPa(下缘),发生在拱圈灌注混凝土分界面处;主拱圈拱顶最大压应力 61.0MPa(上缘),最大拉应力为 12.0MPa(下缘)。主拱圈桥面以下部分,拱梁交界处最大应力 83.1MPa(下缘),最小压应力为 26.3MPa(上缘),主拱圈拱脚处最大压应力 75.4MPa(外缘),最小压应力 30.9MPa(内缘)。边腿与梁交界面最大压应力 66.0MPa(上缘),最大拉应力 15.3MPa(下缘);边腿拱脚处最大压应力 61.4MPa(下缘),最大拉应力 26.9MPa(上缘)。

钢箱梁顶板最大压应力为 52.3MPa,发生在边跨 5#、6# 顶板变厚截面处,最大拉应力为 25.4MPa,发生在边腿与梁的交接面处。钢箱梁底板最大压应力 45.5MPa,发生在边跨 5#、6# 顶板变厚截面处,最大拉应力为 34.4MPa,发生在边腿与梁的交接面处。吊点区钢箱梁顶底板应力均小于边跨。

吊杆应力从边吊杆向跨中吊杆应力由 357MPa 逐渐增大到 460MPa。系杆应力平均约为 648MPa,四根系杆受力略有差异。

恒载作用下,主拱圈最大位移 20.6mm,边腿最大位移 9.0mm,钢箱梁最大位移 15.9mm。

移动荷载作用下:主拱圈最大位移 9.4mm,边腿最大位移 5.1mm,钢箱梁最大位移 19.4mm。

在最不利荷载工况下,钢拱圈、箱梁及系杆应力均满足规范要求,移动荷载作用下结构刚度也满足设计规范要求。

#### 3.2.2 各荷载工况单项受力情况

为方便分析各工况对结构受力的影响,仅提取控制截面弯矩进行对比。各工况下拱圈控制截面弯矩见图 9,钢箱梁控制截面弯矩见图 10。

由图 9 和图 10,不均匀沉降、整体升降温及梯度升温对结构影响较大,其中边拱拱脚对车辆荷载、整体升降温及梯度升温较为敏感,而主拱拱脚对不均匀沉降、收缩徐变、整体升降温及梯

度升温比较敏感。在 2#与 3#设置隐形铰,在一定程度上对结构的受力有所改善。

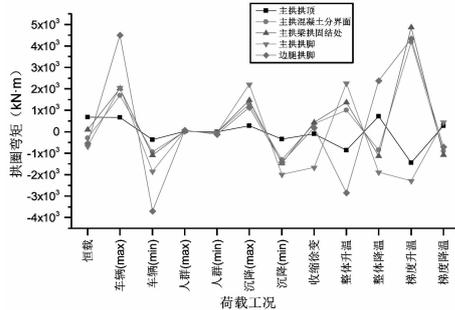


图 9 各工况拱圈控制截面弯矩

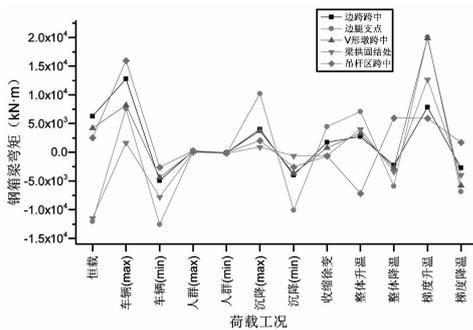


图 10 各工况钢箱梁控制截面弯矩

各控制截面弯矩在车辆荷载、人群荷载、沉降和收缩徐变作用下,弯矩增大趋势一致,在整体升降温及梯度升降温作用下,吊点区跨中弯矩和边部控制截面相反。其中梯度升温对各控制截面影响较大,沉降对边腿支点区域弯矩影响较大。V形区域箱梁的受力相对较为不利,钢箱梁设计时应重点关注温度及沉降对此区域的影响。

### 3.3 自振特性分析

结构自振特性能直接反映结构的刚度指标,是进行动力分析的基础。动力分析采用 Lanczos 法,分析了结构的前 20 阶模态。限于篇幅,仅给出第一阶振型模态(图 11)及前五阶频率及振型描述(表 1)。

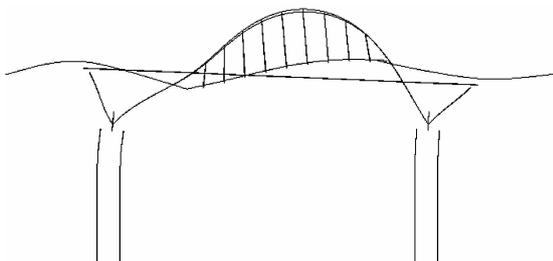


图 11 第一阶结构整体纵漂

表 1 前五阶结构自振频率

| 模态 | 频(Hz) | 周期(s) | 振型特点                  |
|----|-------|-------|-----------------------|
| 1  | 2.01  | 0.50  | 结构整体纵漂                |
| 2  | 2.05  | 0.49  | 拱圈整体向内侧扭转             |
| 3  | 2.65  | 0.38  | 桥面以上拱圈对称向外振动,伴有拱圈整体纵漂 |
| 4  | 2.97  | 0.34  | 桥面以上拱圈对称向外振动          |
| 5  | 3.18  | 0.32  | 桥面以上拱圈向内侧扭转           |

注:桥面以上拱圈未灌注混凝土。

该桥和蝴蝶拱桥相比,首阶频率及振型并不相似,主要取决于该桥的结构体系。钢箱梁本身刚度很大,拱肋较柔,梁拱处固结,致使结构整体刚度较大,而同类其他拱桥大首阶振型多以拱圈变形为主。本桥从第三阶开始的多阶,多为桥面以上拱圈振动。

### 3.4 稳定性分析

对于稳定分析,考虑以下几种工况:工况 1 为自重作用;工况 2 为满布车道荷载;工况 3 为拱顶弯矩最大时;工况 4 为主拱拱脚弯矩最大时。其中工况 1 自重设置为可变,后 3 种工况自重设置为不变,车道荷载设置为可变。计算表明四种工况下,第一阶稳定均为桥面以上拱圈横向扭转破坏,工况 1 最不利荷载工况,失稳特征值为 81,该桥刚度整体较大,桥面以上未灌注混凝土的拱圈为薄弱区域,但结构稳定性不存在问题。对于后三种工况,其失稳特征值均大于 400,满布车道并非最不利,最不利的而是拱圈顶部弯矩最大时所对应的车道加载工况。

## 4 结构局部计算结果

由于该桥梁拱结合处及隐形铰构造较为复杂,为更好的分析该桥关键构造的受力,采用 ANSYS 局部模型,根据关心的结构位置,从整体杆系模型提取其不利荷载工况进行加载,对结构进行分析。

### 4.1 上下耳板的受力

在不利荷载工况下,上耳板的主拉主压应力

约介于 -20MPa ~ 40MPa,下耳板的应力主拉主压应力约介于 -90MPa ~ 90MPa。

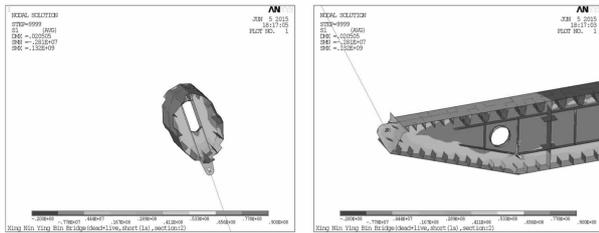


图 12 上下耳板主拉应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

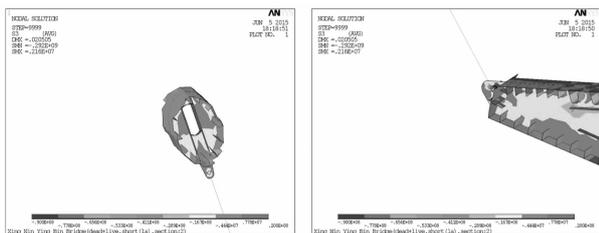


图 13 上下耳板主压应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

### 4.2 桥面板的受力

进行桥面加载分析时,横桥向加载位置分为四种工况,纵桥向加载位置分为五种,共二十种工况,在车轮最不利作用下,桥面顶板及 U 肋主拉压应力约 -60MPa ~ 60MPa。该值侧面反应了钢桥面二三体系的应力水平。

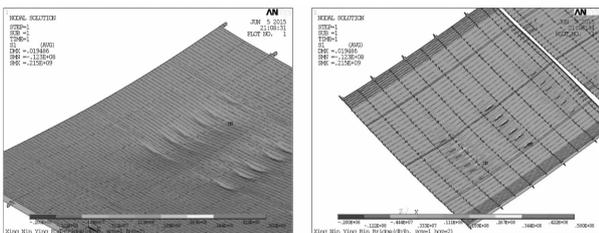


图 14 桥面板主压应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

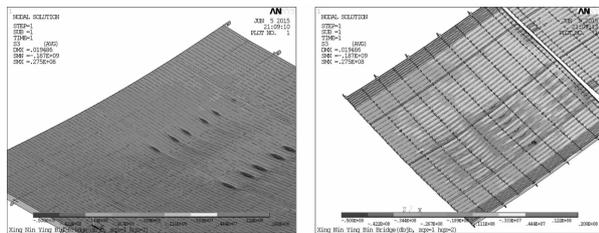


图 15 桥面板主压应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

### 4.3 梁拱结合区受力

梁拱结合区即是 3#段与拱圈固结区域,该区域构造复杂,以横向受力为主,尚需传递纵桥向传

递到拱圈的力,是传力的关键部位,受温度及沉降影响较大。该区域在最不利工况下受力状态见图 16 ~ 图 18,顶底及隔板应力水平约为 -40MPa ~ 40MPa。经过对结构体系及局部构造优化,此处受力较小。

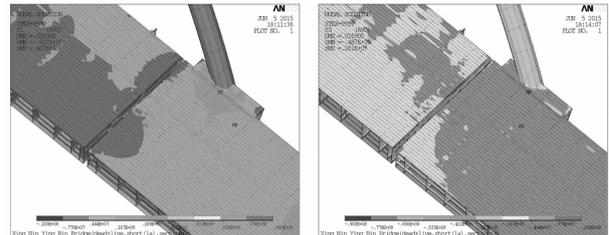


图 16 梁拱结合区主拉(左)压(右)应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

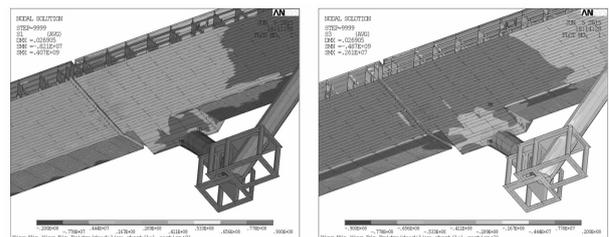


图 17 梁拱结合区主拉(左)压(右)应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

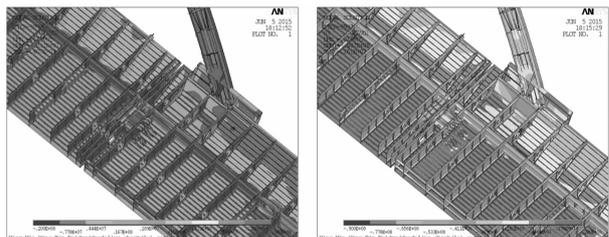


图 18 梁拱结合区主拉(左)压(右)应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

### 4.4 隐形铰受力

隐形铰设置于 2#和 3#段之间,该构造将主梁纵向断开,是本桥改善温度荷载作用下拱脚及梁拱结合区受力的关键。图 20 表明该区域应力介于 -50 ~ 50MPa,该区域应力较小,满足规范要求。

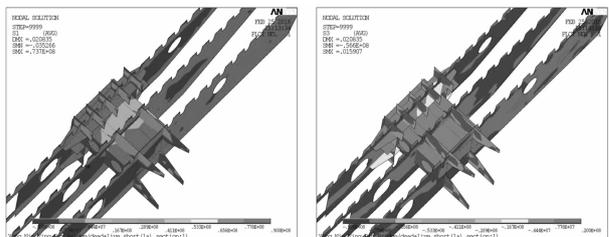


图 19 隐形铰主拉(左)压(右)应力(  $\times 10^{-6}$  MPa)

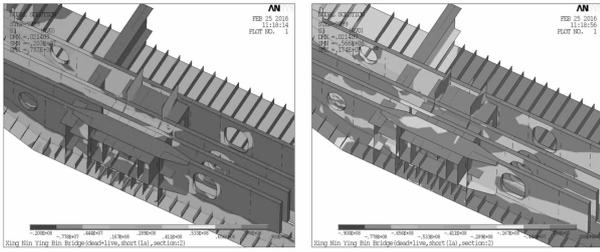


图20 隐形铰主拉(左)压(右)应力( $\times 10^{-6}$ MPa)

## 5 结论

兴旺大桥主桥结构体系明确,传力途径简单,但部分构造较为复杂。通过整体杆系模型和ANSYS局部模型,能准确把握该桥的受力状态,通过以上分析可得出以下结论:

(1)施工过程中结构应力均较小,但需重点关注顶推、张拉系杆及拆除支架等几个重要的施工阶段。

(2)成桥运营时,在最不利荷载工况下,结构受力及变形满足规范要求。

(3)V形区域对温度、沉降及收缩徐变比较明显,设计时应重点关注。

(4)结构整体刚度较大,整体稳定系数为81,结构稳定性能良好。

(5)梁拱结合区及隐形铰构造复杂,应进行局部分析,局部计算结果表明该桥关键构造均满足规范要求。

## 参考文献:

- [1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 人民交通出版社, 1999.
- [2] 李雅香. 城市非对称外倾拱肋钢拱桥受力特性研究[D]. 西南交通大学, 2014.
- [3] 谢肖礼, 白光耀, 韩文学, 等. 南宁大桥空间结构分析[J]. 公路与汽运, 2005(6): 109-112.
- [4] 李浩, 李新平. 中山市长江北路蝴蝶拱桥仿真分析[J]. 广东土木与建筑, 2008(9): 45-48.
- [5] 苏庆田, 杨国涛. 拱肋外倾角对异形空间拱桥受力的影响[J]. 桥梁建设, 2011(1): 14-17.
- [6] 欧阳锦, 曾天宝. 艾溪湖大桥的动力特性分析[J]. 中国市政工程, 2011(5): 21-23.

# 一座墩梁固结 T 梁桥结构拟合及体外预应力加固方案的力学分析和有限元模拟研究

王春明

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 本文以一座墩梁固结 T 梁桥的静载试验结果为依托, 通过计算对试验观测的挠度以及裂缝发展进行拟合, 来模拟出桥梁现状, 再通过有限元分析软件 MIDAS 来进行预应力碳纤维板和体外预应力束两种加固方案的计算分析。对病害情况较严重的桥梁提供一条从模拟到加固方案的完整思路。

**关键词:** 墩梁固结 T 梁; 静载试验; 刚度拟合; 钢绞线拟合; 预应力碳纤维板; 体外预应力加固

## 1 原桥结构概况

本桥跨径组合为  $3 \times 25\text{m}$ , 上部结构为墩梁固结的刚构 T 梁, 桥墩为 D130 柱式墩配 D150 钻孔灌注桩基础, 桥台为柱式台。

本桥桥宽 15.75m, 横向布置 7 片 T 梁, 其断面图及 T 梁构造图如图 1、图 2 所示:

原 T 梁内纵向预应力筋主要采用 15 -  $\Phi_s15.2\text{mm}$  钢绞线, 金属波纹管。T 梁内钢绞线布置以及墩顶墩梁固结区钢绞线的布置如图 3、图 4 所示:

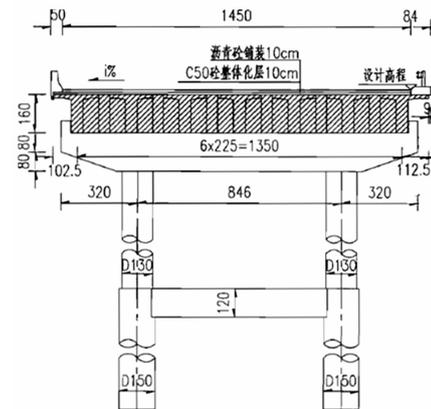


图 1 桥梁断面布置

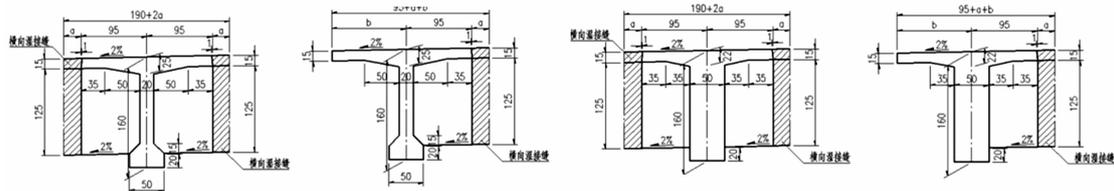


图 2 T 梁构造

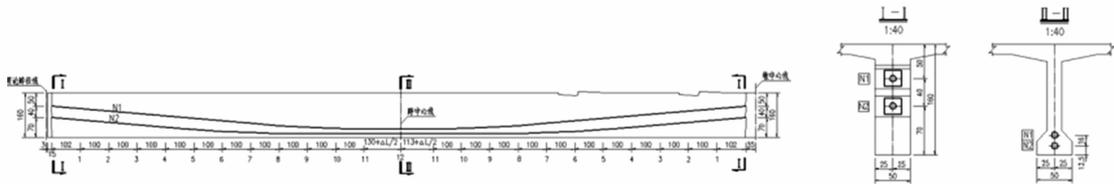


图 3 T 梁原钢绞线布置

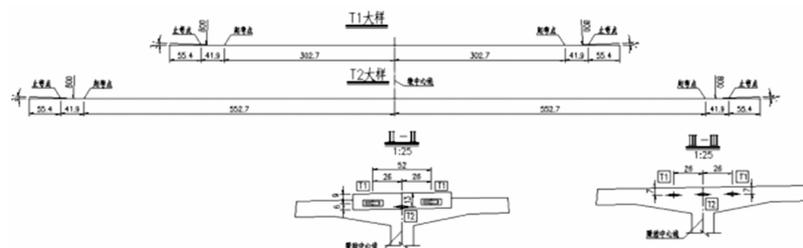


图 4 墩顶负弯矩区原钢绞线布置

## 2 原桥病害情况

第1#、2#跨梁腹板存在大量竖向裂缝,间距在0.5~1.2m,越靠近跨中越密集;其中半数以上裂缝向下止于马蹄变宽处,个别裂缝为U型贯通裂缝,裂缝形态为中间宽两端窄。梁体病害照片如图5所示:



裂缝仅出现在1#、2#跨,3#跨未出现裂缝。检测报告对该桥前两跨上部结构评定为3类部件。

## 3 静载试验过程及结果

静载试验采用6辆重约为360kN及2辆约为400kN的车辆进行偏载加载,加载荷载效率为0.85~1.00,满足《试验规程》的要求( $0.85 \leq \eta \leq 1.05$ )。在加载前对桥梁进行预加载,每个工况分三级进行加载,一级卸载。加载位置及历程如下:

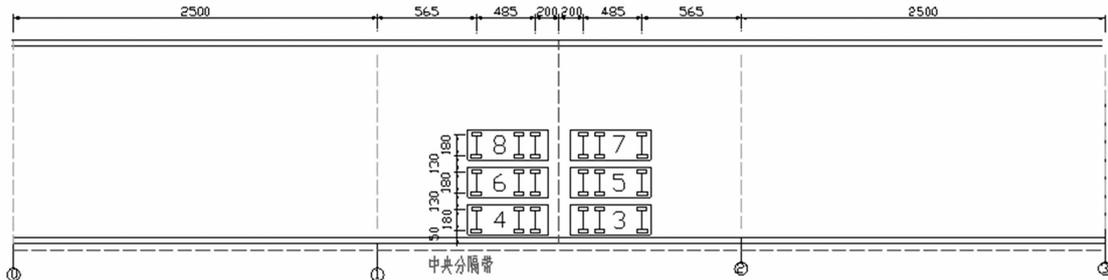


图5 2#主孔最大正弯矩加载示意图(单位:cm)

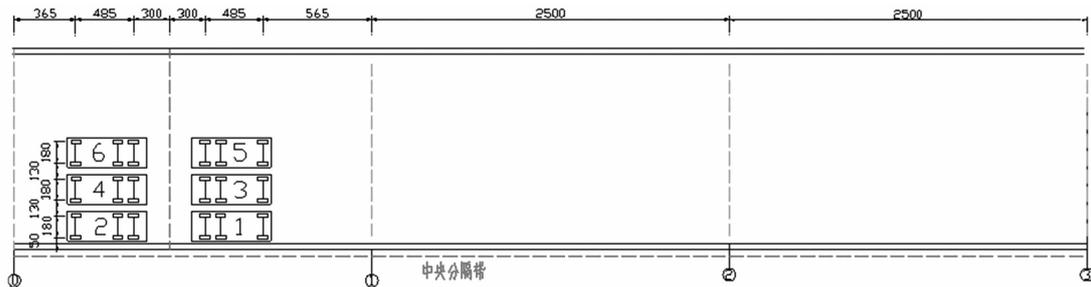


图6 1#边孔最大正弯矩加载示意图(单位:cm)

表1 加载历程表

| 试验工况                      | 加载等级  | 加/卸载  | 就位车辆  | 试验工况                      | 加载等级 | 加/卸载  | 就位车辆  |
|---------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|------|-------|-------|
| 工况1:<br>2#主孔<br>最大正<br>弯矩 | 预加载   | 3#、4# | 3#~4# | 工况2:<br>1#边孔<br>最大正<br>弯矩 | 预加载  | 1#、2# | 1#~2# |
|                           | 卸载    | 3#、4# | /     |                           | 卸载   | 1#、2# | /     |
|                           | 一级加载  | 3#    | 3#    |                           | 一级加载 | 1#    | 1#    |
|                           | 二级加载  | 4#    | 3#~4# |                           | 二级加载 | 2#    | 1#~2# |
|                           | 三级加载  | 5#、6# | 3#~6# |                           | 三级加载 | 3#、4# | 1#~4# |
|                           | 四级加载  | 7#、8# | 3#~8# |                           | 四级加载 | 5#、6# | 1#~6# |
| 完全卸载                      | 3#~8# | /     | 完全卸载  | 1#~6#                     | /    |       |       |

在试验过程中,对在各级荷载作用下桥孔梁体的挠度、应变及裂缝进行观测。测点布置如下:

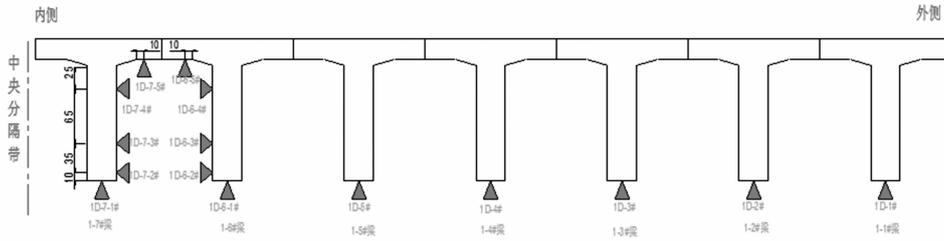


图 7 截面应变测点布置图

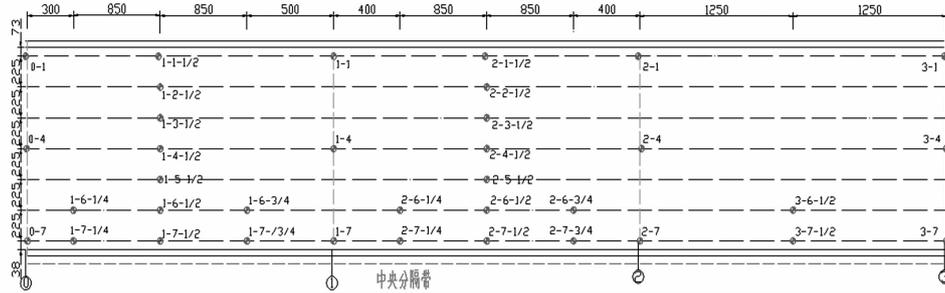


图 8 挠度测点布置图

对 T 梁腹板及底板 U 型裂缝选取 2~3 条有代表性裂缝,在试验加载过程中观测裂缝在各级荷载尤其是满荷载作用下的发展情况,在裂缝上布设 2~3 个测点,采用振弦式应变计进行观测,具体裂缝监测位置根据现场情况而定,裂缝监测采用垂直于裂缝方向布设。静载试验结论为:

(1)墩顶最大负弯矩工况:应变校验系数在 0.75~0.88 之间,满足《试验规程》0.6~0.9 的要求;中跨最大正弯矩和边跨最大正弯矩工况:应变校验系数在 -0.62~1.46 之间,不满足《试验规程》0.6~0.9 的要求,挠度校验系数在 0.9~0.96 之间,虽然满足《试验规程》0.7~1.0 的要求,但由于其数值较大,接近规范允许范围的上限,故该桥结构不满足正常使用状态下 A 类预应力混凝土梁的要求。

(2)满载作用下,裂缝宽度最大变化量为 0.119mm,卸载后裂缝均基本能够恢复;各工况在卸载后相对残余变位和相对残余应变在 1%~10% 之间,满足《试验规程》小于 20% 的要求,说明卸载后结构能够恢复,说明结构仍处于弹性工作状态。

#### 4 旧桥刚度拟合及钢绞线拟合

本桥采用 MIDAS 建立全桥梁格模型,桥梁模型消隐图如下:

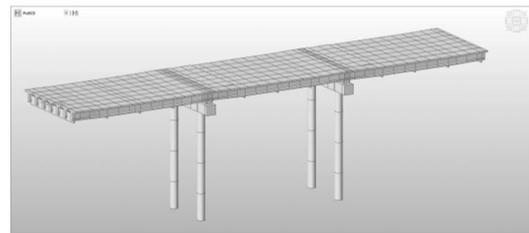


图 9 桥梁梁格模型消隐图

在进行加固方案设计及计算之前,需要先根据静载试验结果,来通过调整结构刚度及钢绞线折减来模拟本桥现状。

(1)桥梁刚度折减:由于本桥现状裂缝发育较严重,对本身上部结构刚度会有较大影响。根据本联静载试验时的挠度值,通过调整结构刚度来进行匹配。

表 2 试验截面挠度(仅列出中跨加载工况)

| 梁片  | 1 级加载 | 2 级加载 | 3 级加载 | 4 级加载 | 卸载   |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|
| 1#梁 | 0.3   | 0.5   | 0.1   | -1.1  | -0.4 |
| 2#梁 | -0.1  | 0.1   | -0.7  | -2.4  | -0.3 |
| 3#梁 | -0.1  | -0.4  | -1.9  | -3.7  | -0.3 |
| 4#梁 | -0.5  | -1.1  | -3.0  | -4.9  | -0.2 |
| 5#梁 | -0.9  | -1.8  | -4.0  | -5.7  | -0.3 |
| 6#梁 | -1.4  | -3.0  | -5.1  | -6.3  | -0.3 |
| 7#梁 | -2.0  | -4.1  | -6.1  | -7.0  | -0.3 |

在模型中按照实际试验加载过程及情形,添加各单元静力荷载如下(仅示意中跨加载):

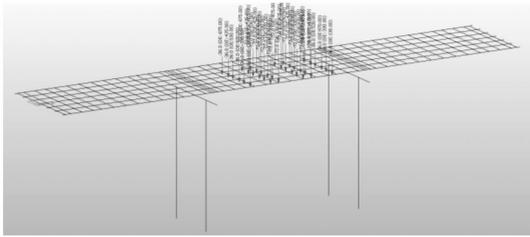


图10 中跨4级加载时模型静力荷载

通过在模型中调整梁片刚度系数,试算结果挠度值来与试验观测挠度值进行匹配。刚度系数调整试算的各挠度值分列一览表如下(仅列出中跨7#梁):

表3 中跨7#梁在各级加载下挠度值

| 梁片    | 刚度调整系数 | 1级加载  | 2级加载  | 3级加载  | 4级加载  |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 中跨7#梁 | 0.80   | -2.30 | -4.58 | -7.14 | -8.34 |
|       | 0.82   | -2.24 | -4.50 | -7.00 | -8.18 |
|       | 0.84   | -2.23 | -4.47 | -6.90 | -8.00 |
|       | 0.85   | -2.15 | -4.38 | -6.80 | -7.70 |
|       | 0.86   | -2.10 | -4.26 | -6.60 | -7.50 |
|       | 0.87   | -2.07 | -4.20 | -6.50 | -7.40 |
|       | 0.88   | -2.00 | -4.10 | -6.48 | -7.30 |

经过试算,刚度折减为原本刚度的0.88时,试算挠度值基本匹配静载试验结果。

(2)桥梁预应力钢绞线折减:静载试验过程,测量了部分梁片在各级加载情况下的裂缝发展,结果如下:

表4 中跨各级加载下裂缝发展

| 测点号     | 初读 | 一级加载  | 二级加载  | 三级加载  | 四级加载  |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|
| L2-7-1W | 0  | 0.021 | 0.051 | 0.076 | 0.083 |
| L2-7-2W | 0  | 0.022 | 0.033 | 0.049 | 0.054 |
| L2-6-1N | 0  | 0.009 | 0.019 | 0.036 | 0.044 |
| L2-6-1D | 0  | 0.007 | 0.019 | 0.035 | 0.042 |
| L2-6-1W | 0  | 0.008 | 0.019 | 0.034 | 0.042 |
| L2-6-2N | 0  | 0.019 | 0.028 | 0.051 | 0.060 |
| L2-6-2W | 0  | 0.029 | 0.044 | 0.077 | 0.091 |
| L2-5-1N | 0  | 0.014 | 0.028 | 0.067 | 0.092 |
| L2-5-1W | 0  | 0.014 | 0.027 | 0.063 | 0.087 |
| L2-4-1N | 0  | 0.008 | 0.019 | 0.056 | 0.099 |
| L2-4-1W | 0  | 0.008 | 0.019 | 0.053 | 0.093 |

从表中可看,梁底板裂缝四级加载下宽度发展为0.042mm。

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》6.4章节有关预应力混凝土受弯构件裂缝宽度验算的相关公式:

$$W_{fk} = C_1 C_2 C_3 \frac{\sigma_{ss}}{E_s} \left( \frac{30 + d}{0.28 + 10\rho} \right)$$

依照静载试验的结果进行反算,计算得出目前前两跨结构内正弯矩的钢绞线仅相当于12~13股Φs15.2mm钢绞线。

表5 调整钢绞线股数试算四级加载下裂缝发展

| 钢绞线股数 | 四级加载下裂缝发/mm |
|-------|-------------|
| 15    | 0.00766     |
| 14    | 0.01249     |
| 13    | 0.032875    |
| 12    | 0.053441    |
| 11    | 0.074128    |
| 10    | 0.094868    |
| 9     | 0.115588    |
| 8     | 0.136226    |
| 7     | 0.15675     |
| 6     | 0.177207    |

经过计算拟合,该桥前两跨现状刚度为原始的0.88,梁内正弯矩钢绞线相当于12~13股Φs15.2mm钢绞线。

## 5 加固方案设计及验算

(1)加固思路及原则:根据上阶段的结构拟合计算结果,来调整原桥的MIDAS模型,使模型更加准确的来模拟桥梁的现状。并且由于原结构为墩梁固结的连续刚构体系,新增的加固体系对墩顶拉应力的影响需控制在规范限值内。

由于根据静载试验裂缝测量值推算出的原钢束折减较为严重,加固设计主要考虑主动加固增加预应力的加固方案。初步思路拟采用预应力碳纤维板与体外预应力钢绞线两种加固方案,下面对两种加固方案进行分别验算。

(2)预应力碳纤维板加固方案:设计在1#、2#跨的T梁马蹄下方粘贴两条尺寸为50×3.0mm的高强度I级预应力碳纤维板,根据《混凝土结构加固设计规范》,按照重要构件取值,抗拉强度设计值1150MPa,张拉控制应力805MPa。方案构造图如下:

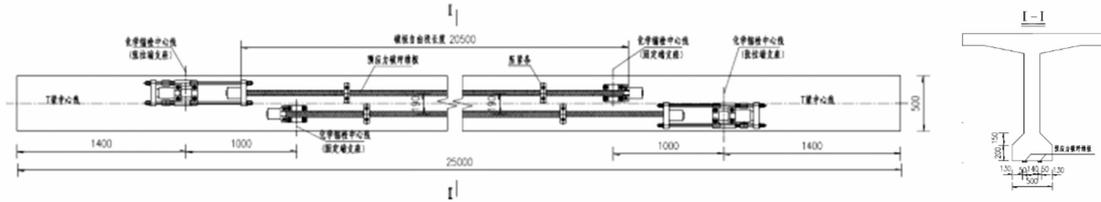
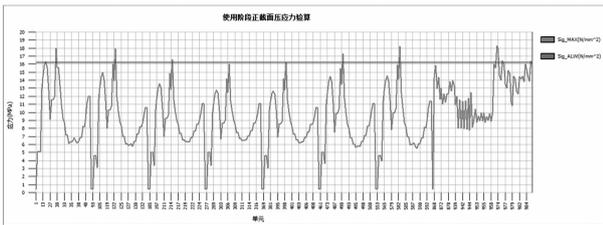


图 11 预应力碳纤维板方案碳板布置图

MIDAS 验算结果如下:

按照规范 JTG D62 - 2004 第 7.1.5 条,使用阶段预应力混凝土受弯构件正截面混凝土的最大正应力应符合以下规定:

$$\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.5f_{ck} = 16.2\text{MPa}$$



(X 轴为单元号,非纵桥向长度,七片预制梁单元依次编号,故图形如此,下同)

标准组合作用下,使用阶段 T 梁正截面混凝土的压应力最大达到 18.3MPa,不满足要求。

其余几项验算结果不再一一列出,除正压应力不满足外,抗裂验算也不满足规范要求,故采用预应力碳纤维板的加固方式加固后结构无法满足规范要求。

(3) 体外预应力钢绞线加固方案:考虑预应力碳纤维板加固的截面面积有限,张拉控制应力也较小,达不到补足预应力欠缺度的效果,方案调整采用体外预应力束的方案来进行加固。依据原设计每片梁的正弯矩钢绞线股数大约为每片梁 21 ~ 23 股,拟在第一跨及第二跨 T 梁马蹄两侧各增加一道 15-4 的体外预应力钢绞线进行加固。

考虑到静载试验并没有检测每一片梁的变形和裂缝情况,故无法准确确定每一片梁的预应力缺失情况,若体外预应力束按每跨跨中布置,在预应力没有损失或损失很小的情况下,墩顶拉应力会超规范限值。故在墩顶范围也进行体外束的加固,以避免墩顶负弯矩区产生较大的拉应力。

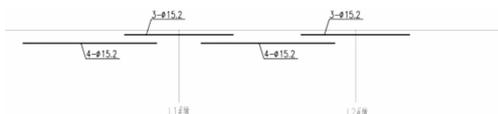


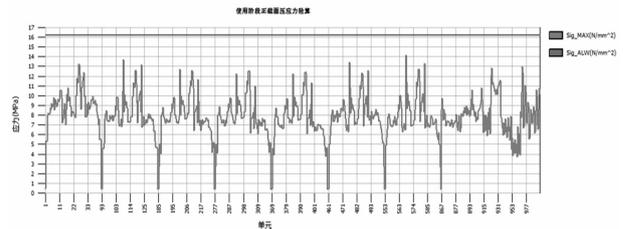
图 12 加固方案体外预应力布置示意

MIDAS 验算结果如下:

A. 混凝土正压应力验算

按照规范 JTG D62 - 2004 第 7.1.5 条,使用阶段预应力混凝土受弯构件正截面混凝土的最大正应力应符合以下规定:

$$\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.5f_{ck} = 16.2\text{MPa}$$



标准组合作用下,使用阶段 T 梁正截面混凝土的压应力最大为 14.14MPa,满足规范要求。

B. 混凝土正拉应力验算

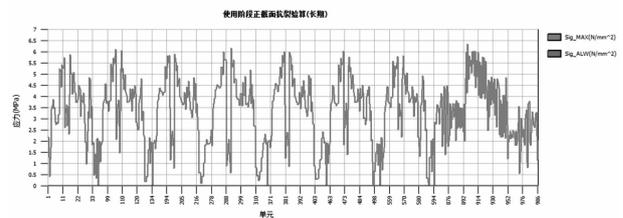
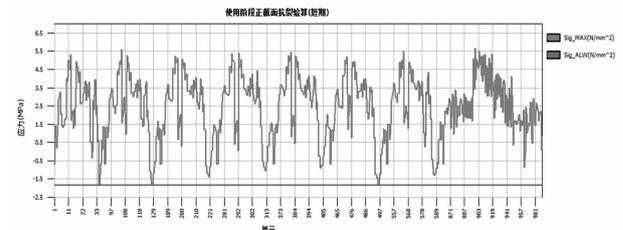
按照规范 JTG D62 - 2004 第 6.3.1 条,使用阶段预应力混凝土受弯构件正截面混凝土的最大拉应力应符合以下规定:

A 类预应力混凝土构件,荷载长期效应组合下:

$$\sigma_{lt} + \sigma_{pc} \leq 0$$

荷载短期效应组合下:

$$\sigma_{lt} - \sigma_{pc} \leq 0.7f_{tk} = 1.855\text{MPa}$$



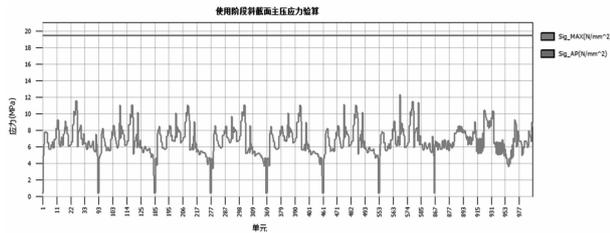
T 梁单元在长期荷载效应下最小有 0.03MPa 的压应力,在短期荷载效应下结构最大有 -

1.77MPa 的拉应力, 仍然在规范要求的 -1.855MPa 的范围内, 故抗裂满足规范要求。

### C. 使用阶段混凝土主压应力验算

按照规范 JTG D62-2004 第 7.1.6 条, 预应力混凝土受弯构件由作用标准值和预加力产生的混凝土主压应力应符合以下规定:

$$\sigma_{ep} \leq 0.6f_{ck} = 0.6 \times 32.4 = 19.44\text{MPa}$$

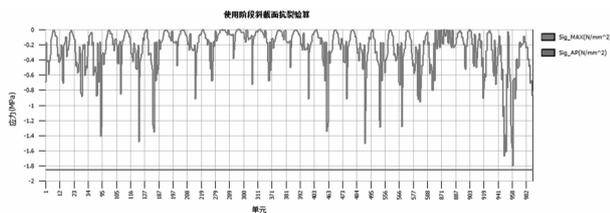


标准组合作用下, 使用阶段 T 梁斜截面混凝土的主压应力最大为 12.27MPa, 满足规范要求。

### D. 主拉应力验算

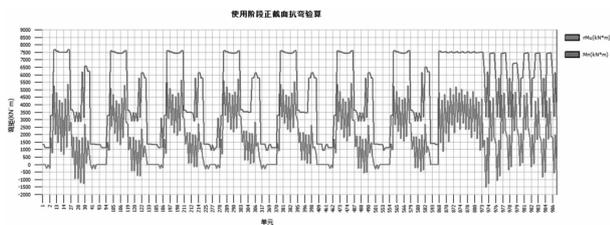
按照规范 JTGD62-2004 第 6.3.1 条, 斜截面抗裂应对构件斜截面混凝土的主拉应力进行验算, 对于预应力混凝土预制构件, 在作用短期效应组合下, 应满足:

$$\sigma_{tp} \leq 0.7f_{tk} = 1.855\text{MPa}$$



T 梁单元最大有 -1.79MPa 的主拉应力, 仍然在规范要求的 -1.855MPa 的范围内, 故斜截面抗裂满足规范要求。

### E. 正截面抗弯强度验算



按照规范 JTG D62-2004 第 5.1.5 条, 进行主梁承载能力极限状态内力组合, 将预应力钢筋作为结构抗力的一部分, 考虑预加力引起的次效应, 并考虑普通钢筋的作用, 得到结构内力。

T 梁跨中抗弯承载力满足要求。

并且在调整原钢束无折减的情况下, 该加固方案在墩顶负弯矩区也没有拉应力。因此该桥在进行结构现状拟合以及加固方案计算后, 推荐采用跨中 T 梁马蹄两侧及墩顶翼板下方增加体外预应力钢绞线的加固方案。

## 6 结论

(1) 对一座存在较严重病害的旧桥进行加固设计时, 应根据该桥的一些检测及试验数据, 对该桥的现状进行相应的一系列拟合, 以能够较为真实的模拟出桥梁实际现状, 使得加固的计算结果更加的准确可信。

(2) 根据《混凝土结构加固设计规范》, 重要构件的预应力碳纤维板的张拉控制应力仅为 805MPa, 单片预应力碳纤维板的截面尺寸为 50 × 3.0mm, 通过计算可得一道该尺寸的预应力碳纤维板, 仅可等效 0.6 倍的一根 15-1 的预应力钢绞线。对于预应力缺失情况较严重的桥梁, 尤其 T 梁这种梁底可供粘贴碳板面积有限的结构, 预应力碳纤维板的加固能起到的效果有限。

(3) 对于结构连续、墩梁固结的桥梁进行加固设计的时候, 需要注意墩顶负弯矩区加固后的情况, 仅对跨中正弯矩区承载能力的加固会对墩顶上部产生额外的拉应力, 而这里往往容易被忽视跟遗漏。

### 参考文献:

[1] JTG D60-2015 公路桥涵设计通用规范.  
 [2] JTG D62-2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范.  
 [3] GB 50367-2013 混凝土结构加固设计规范.  
 [4] JTG/T J22-2008 公路桥梁加固设计规范.

# “海绵城市”设计理念在城市立交中的应用

李立军,周 密

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘 要:** 为响应国家大力建设“海绵城市”的号召,利用西龙立交建设的契机,融入“海绵城市”建设理念,纳入下凹式绿地、植草沟、人工湿地等设计元素,把西龙立交建设成具有生态调蓄、渗透、净化功能的海绵型立交。

**关键词:** 公路;改造工程;方案设计

## 0 前言

为应对城市发展过程中遇到的水污染、地下水匮乏和城市内涝等问题,中央近年提出了“海绵城市”的城市建设理念,并组织开展“海绵城市”试点,为下一步全面推进“海绵城市”建设做准备。

西龙立交为佛山一环和魁奇路相交的大型枢纽立交,立交周边地区建成前以农田、鱼塘为主,西侧紧邻东平水道,立交内总用地面积约 11.19 公顷。为响应国家大力建设“海绵城市”的号召,结合“道路交通系统实现海绵城市建设目标的设计研究”对西龙立交用地进行海绵城市设计,本文对设计目标、设计理念、设计方法和设计效果等方面进行论述。

## 1 设计理念

城市立交是方便城市道路交叉通行的设施,一般需占用较大面积的用地,在匝道和主线之间形成开阔的空间,通常种植绿化营造景观。传统的立交设计排水理念首先是防止或减少雨水进入工程范围,其次是建造完善排水系统,通过排水设施尽快将水排出。为此,立交内用地一般做成中间高、四周低的形式,便于雨水的迅速排出。立交范围内的排水设施一般有排水管、盲沟、渗沟、渗井、暗沟、边沟、截水沟、排水沟、跌水沟和急流槽等,立交内雨水通过这些排水设施尽快向外散排至周边水系或排入城市排水管网(如图 1 所示)。

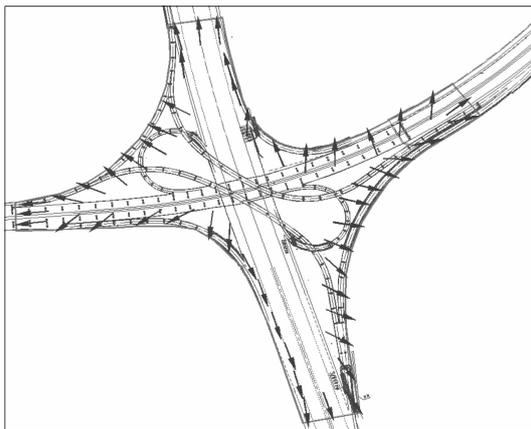


图 1 传统立交雨水向外散排示意图

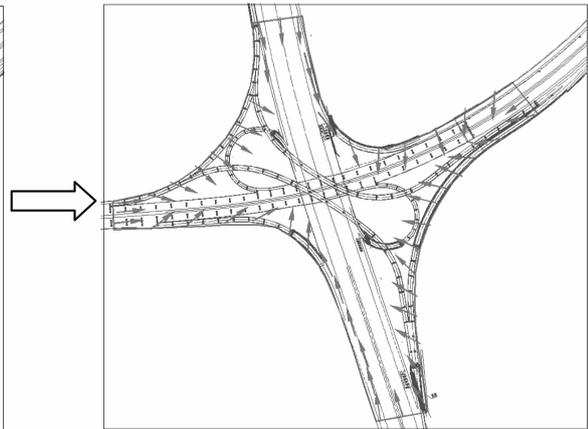


图 2 “海绵城市”立交雨水向内聚集示意图

“海绵城市”的立交建设需转变传统立交排水理念,使立交范围内的雨水向内聚集(如图 2),通过采用渗、滞、蓄、净、用、排等措施,建设成自然积存、自然渗透、自然净化功能的立交水循环系统。

本次对立交范围内的海绵城市设计总体思路为利用匝道围合范围内的大面积用地做成雨水花园或景观水体,通过管道和植草沟收集立交范围内的雨水至前置塘和雨水花园,进入前置塘的雨水通

过沉淀、净化后再进入景观水体,在景观水体内存蓄、下渗、蒸发等功能实现水的生态循环,多余的雨水通过溢流管排放至周边水系或市政管网;进入雨水花园的雨水通过种植土和砂石的过滤、沉

淀等实现雨水净化,通过泥土下渗和向上蒸发实现雨水年径流总量控制目标,同时在雨水花园内设置溢流口和雨水管将雨季过量的雨水排入周边自然水体或城市管网(如图-3所示)。

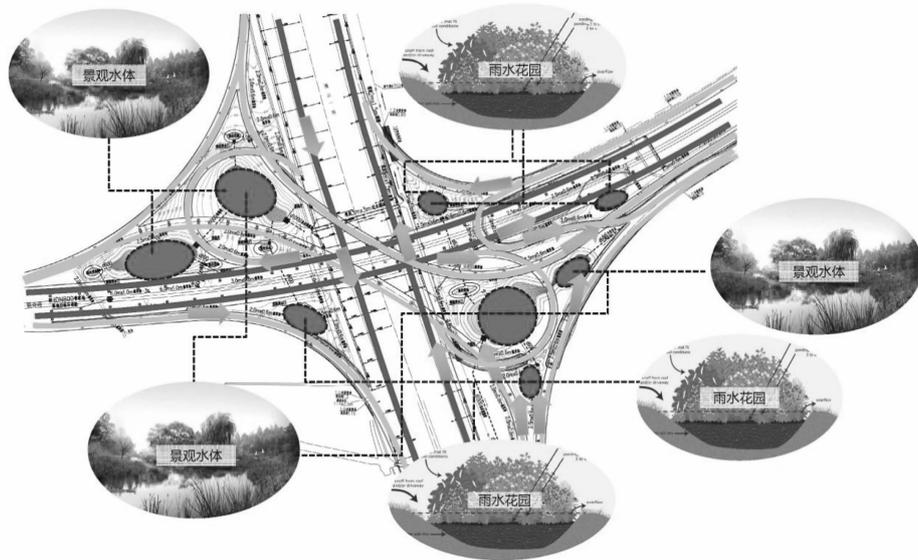


图3 项目海绵城市设计理念示意图

## 2 设计目标

本项目绿化面积大、有一定的景观水体,因此设计从项目特点出发,设置了年径流总量控制率、径流污染控制率和径流峰值削减等三个目标。

### (1) 实现 80% 径流总量控制目标

实现径流总量控制可增加地下水涵养,减轻城市各片区排水防涝的压力。根据国家对于“海绵城市”建设的相关要求<sup>[1]</sup>,全国各大城市 2020 年前 20% 的用地,2030 年前 80% 的用地需达到 70% 径流总量控制率的目标,立交海绵系统的建设增加了城市达到海绵城市建设目标的能力。本设计需实现 80% 以上年径流总量控制目标。

### (2) 实现 70% 径流污染减排目标

根据相关资料,城市已建区道路次均降雨产流量占到城市总产流的约四分之一,但产生的径流污染却占到城市径流污染的 40% 至 80%。所以,可以推断城市道路是大部分城市径流污染的主要来源。通过植物缓冲带、植草沟、前置塘和景观湖等对污染物的过滤、沉淀作用,可有效去除污染物浓度,减少对自然水体的污染。本设计需实

现 70% 以上污染物减排的控制目标。

### (3) 实现暴雨径流峰值流量控制目标

通过植被缓冲带、植草沟转输雨水,可增加雨水径流时间,减小雨水流量径流系数,所以可以实现暴雨时产生的设计流量减少的目标。同时在雨水调节池可以延长暴雨后雨水的排出时间,从而减少设计流量,减轻整个排水系统的压力。本设计需实现通过径流调节实现雨水径流峰值不大于开发前水平。

## 3 计算依据

根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》和《室外排水设计规范》(GB50014-2014),本工程采用年径流降雨量对应的设计降雨量计算雨水低影响开发设施的规模,采用暴雨强度公式和流量计算公式计算一定重现期的雨水流量。

### 3.1 低影响开发设施规模计算

#### 3.1.1 年径流总量控制率对应的设计降雨量

根据佛山市近 30 年的气象资料统计,得到佛山市年径流总量控制率对应的设计降雨量见表 1 及图 4。

表 1 径流总量控制率与设计降雨量的对应表

|           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 年雨量控制率(%) | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   |
| 设计降雨量(%)  | 10.0 | 11.9 | 14.1 | 16.6 | 19.4 | 22.8 | 26.7 | 31.6 | 38.0 | 46.9 | 61.5 |

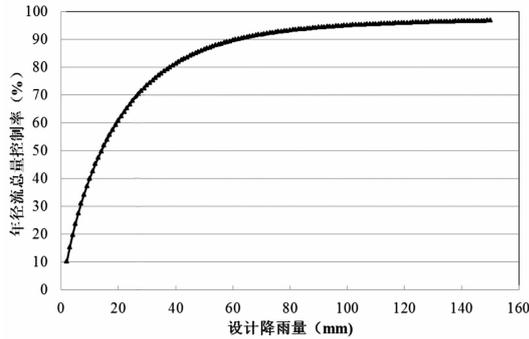


图 4 年径流总量控制率与设计降雨量对应关系曲线

### 3.1.2 设计渗透水容积计算

对于植草沟、雨水花园、前处理池及景观湖等土层结构内部有蓄水空间的渗透设施,其设计渗透水容积按如下公式计算<sup>[2]</sup>:

$$Ws = \alpha \cdot K \cdot J \cdot As \cdot ts \cdot n$$

式中:Ws—渗透水容积, m<sup>3</sup>;

$\alpha$ —综合安全系数,一般取 0.5 ~ 0.6;

J—水力坡降,一般取 1;

As—有效渗透面积, m<sup>2</sup>,植草沟、雨水花园、前处理池及景观湖有效渗透面积;

ts—渗透时间, s,一般取 24h;

n—渗透层的平均孔隙率,取 0.3;

K—土壤渗透系数, m/s。

本项目土壤多为淤泥质粉砂土质,渗透系数较小,约为  $4.0 \times 10^{-6}$ ,故采用砂石层进行换填,渗透系数可增至  $6.0 \times 10^{-5} \sim 6.0 \times 10^{-4}$ 。

## 3.2 雨水流量计算

### 3.2.1 暴雨强度公式

采用佛山市禅城区单一暴雨强度公式,即:

$$q = \frac{2424.17(1 + 0.533 \lg P)}{(t + 11)^{0.668}} (L/s \cdot \text{hm}^2)$$

式中:q—设计暴雨强度(L/s · ha);

P—设计暴雨重现期,路面、道路周边地块采用重现期 P = 5 年;

t—降雨历时(min)。

暴雨强度公式中:t = t<sub>1</sub> + t<sub>2</sub>

式中:t<sub>1</sub>—地面集水时间,桥面、路面取 5min,其他取 15min;

t<sub>2</sub>—管道内流行时间。

### 2) 设计雨水量

采用下列公式计算<sup>[3]</sup>:

$$Q = \varphi \cdot q \cdot F (\text{升/秒})$$

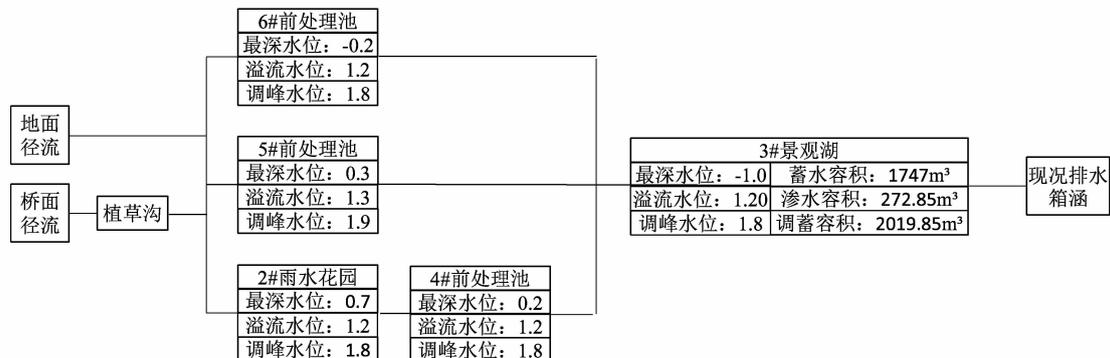
式中:q—暴雨强度(升/秒 · 公顷);

F—汇水面积(公顷);

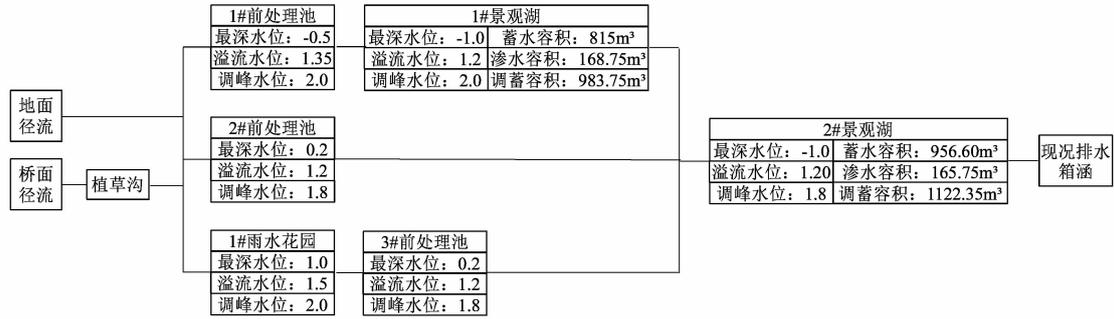
$\varphi$ —径流系数,按地面覆盖情况确定;路面、桥面取 0.9,绿地取 0.15,综合径流系数取 0.6。

## 4 工程设计方案及效果

西龙立交海绵系统设计以佛山一环为界分为东、西两个区域,面积分别为 5.46ha、5.73ha,按 5 年一遇暴雨强度计算水量结果分别为 1237L/s、1798L/s,采用容积法计算设计调蓄容积分别为 1163m<sup>3</sup>、1691m<sup>3</sup>。地面径流、桥面径流通过植草沟、雨水花园、前处理池,再进入景观湖,并且与现状排水箱涵连接。海绵系统设计流程如图 5、图 6。



(a) 佛山一环以东区域海绵系统设计流程图



(b) 佛山一环以西区域海绵系统设计流程图

图 5 海绵系统设计流程图

佛山一环以东区域地面径流、桥面径流汇集到 3#景观湖,总调蓄容积为 2020m³;海绵系统将佛山一环以西区域地面径流、桥面径流汇集到 1#景观湖、2#景观湖,设计调蓄容积分别为 984m³、1122m³,总调蓄容积为 2106m³。植被缓冲带、植草沟增加了雨水径流时间,减小雨水流量径流系数,所以可以实现暴雨时产生的设计流量减少的目标,雨水调节池可以延长暴雨后雨水的排出时间,从而减少设计流量,同时植被缓冲带、植草沟对污染物的过滤、沉淀作用有效的去除污染物浓度,减少了对自然水体的污染。经过海绵城市理念下的一系列工程设计,最终按设计进行施工,满足了立交范围内年径流总量控制率 80% 的要求,并且实现了减少径流污染和调削减径流峰值的目标。

利于丰富绿化要素、形成景观层次、达到加强景观艺术性和改善生态环境的目的。本设计主干道局部为桥梁立交,立交和路基主道与匝道将立交用地分割成多个大小、高程不同的区域,在各分割区域构造成小型景观湖和雨水花园,通过设置相近高程的涵管实现相互连通,实现最大蓄水容量,且可在靠近河涌的区域通过涵管与其连通,超标径流雨水排至河涌内。

### 5 微地形设计

传统立交范围内的微地形多采用“龟背形”,有利于雨水的尽快排出。海绵城市的微地形宜设置为“锅底”形式,有利于蓄水、滞水,并对立交的通视有较大的优化。微地形具体设计时用应结合立交结构与地形特点来考虑,在立交用地范围内实现最大蓄水库容。在工程条件满足的情况下,应充分利用地形构造景观湖。例如,地形为向同一方向倾斜的坡地,可以将局部区域通过填筑开挖构造成“梯田形式”的景观湖;或者地形为一个洼地,则可以结合匝道,通过一定的开挖,形成一个大型的景观湖。

本立交用地面积较大,适宜的微地形处理有



图 6 项目海绵城市设计效果图

### 6 植物选择

海绵城市强调“渗、滞、蓄、净、用、排”的技术措施,要求各个环节配合既落实径流控制的目标又保障区域的排水安全。立交内绿化植物对于土壤的有一定的要求,在西龙立交设计中设定了 80% 的年径流总量控制目标,因此需选择孔隙率较大的土壤,以利于土壤下渗,因此需选择适合该土壤的绿化植物。另外,立交内设置了一些景观湖、前置塘和雨水花园,把大量雨水蓄积在立交范围内,立交绿化的水分大部分时间供应较为充分,有更多不耐旱的植物可供

选择。纳入海绵城市建设理念的项目有配套的后期维护管理措施,同时配合精细的海绵城市技术设计,需要一定维护工作的植物也在可选择范围内。但总体来说植物选择注重以下条件:

(1)考虑到立交范围内近距离观赏的人群较少,且立交内大面积绿化维护管养相对比较粗放,需要消化一定的径流污染,也需要生命力较为顽强的植物。因此,在绿化设计中大量选择了乡土植物。

(2)城市立交除匝道下的区域,其他范围常年阳光充沛,因此设计中选择大部分植物为喜阳植物。但是也有些位于乔木和灌木下生长的植物,获得阳光较少,对于这部分植物则需选择半喜阳或耐阴植物。

(3)海绵城市要求绿化有一定的渗滞蓄能力,一旦下暴雨或长时间下雨,易造成短时间积水,立交植物的选择应该选择耐短时间潮湿积水的植物。

## 7 建成效果

西龙立交设计完成后即引入施工单位进行了工程施工,现已建成。项目建成后由于部分植物尚未长成,景观效果尚未显现,此外项目的微地形营造、雨水汇集、下渗、净化和超标雨水排放等基本按照达到设计要求。



图7 项目局部建成初期效果图

## 8 结束语

西龙立交整体设计引入海绵城市设计理念以后,立交设计由原来的单一营造景观功能,变为兼具蓄积、下渗、净化和水资源利用等功能,既符合国家倡导的海绵城市建设“渗、滞、蓄、净、用、排”的六字方针的精神,又营造了良好的绿化水体景观,为“海绵城市”典型示范工程增添了又一个亮点。

### 参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 关于推进海绵城市建设的指导意见(国办发[2015]75号)[A]. 2015.
- [2] 住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行)[A]. 2014.
- [3] GB50014-2006. 室外排水设计规范(S). 北京:中国计划出版社,2016.

# 有轨电车跨越城市下穿隧道的设计方案研究

谢璞

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**某有轨电车于道路交叉口斜交跨越城市下穿隧道,为保证隧道的结构安全和有轨电车的行车舒适,本文分别对路基方案、设支座桥梁方案和分离式桥梁方案进行了计算和分析,并对总体设计、结构设计、施工便利性和总投资等方面进行了方案对比论述,可供类似工程参考。

**关键词:**有轨电车;城市下穿隧道;跨越方案;方案比选

## 1 工程概述

某有轨电车工程宽度约8m,轨道结构厚50cm,需从城市下穿隧道(新建)封闭段(暗埋段)上方斜交穿越,该隧道暗埋段为双孔箱型结构,单孔净宽9.625m,结构总宽21.7m。电车所跨越的隧道节段为埋深最大的节段,覆土约为1.8m。平面位置关系图如下图1所示。

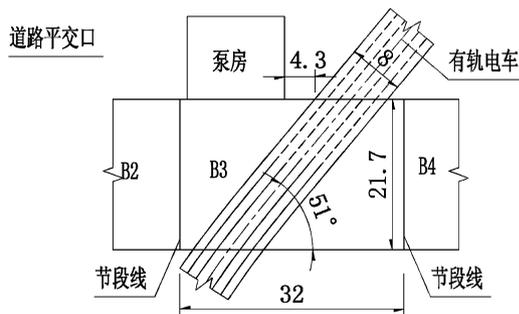


图1 平面位置关系图(单位:m)

## 2 拟选方案

为保证隧道结构安全、满足有轨电车的行车舒适性、且工程经济性较优,提出路基方案、设支座桥梁方案和分离式桥梁方案进行比选,详细如下。

### 2.1 路基方案(方案一)

有轨电车轨道结构与隧道顶板之间采用素混凝土层填充,如下图2所示。

### 2.2 设支座桥梁方案(方案二)

轨道结构下设置板肋桥(跨径布置:2×14m),板肋桥设支座支撑于隧道侧墙,桥后设置

搭板与路基过渡,如下图3所示。

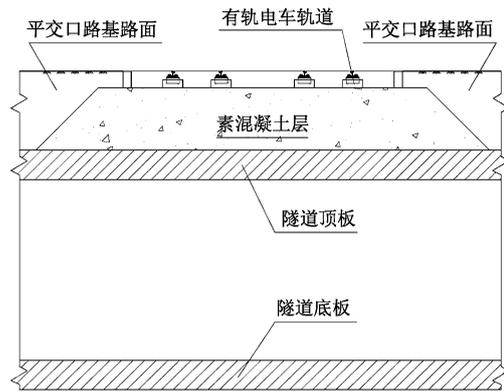


图2 路基方案

### 2.3 分离式桥梁方案(方案三)

轨道结构下设置板肋桥(跨径布置:2×14m),中墩穿过隧道中墙位置(墩柱截面宽度小于中墙,可被包裹其中但不与中墙直接接触),并在隧道底板下方设置桩基、承台。该有轨电车桥梁结构自成体系,梁底与隧道顶板顶留有空隙,荷载不传给隧道,且墩柱不影响隧道建筑界限,桥后设置搭板与路基过渡,如下图4所示。

## 3 方案比选

### 3.1 结构受力分析

首先从隧道结构受力角度分析拟选方案的合理性。采用有限元软件 midas 建立空间分析模型,隧道结构采用板单元,有轨电车的行车轨迹线采用无质量和刚度的虚拟梁单元模型,隧道底板按地质资料取土弹簧基床系数,分析恒载和有轨电车活载作用下的结构受力,计算模型如图5所示。

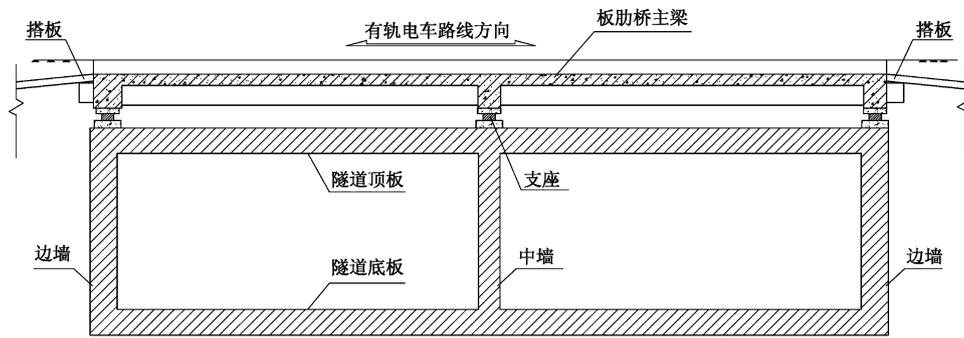


图 3 设支座桥梁方案(有轨电车路线前进方向)

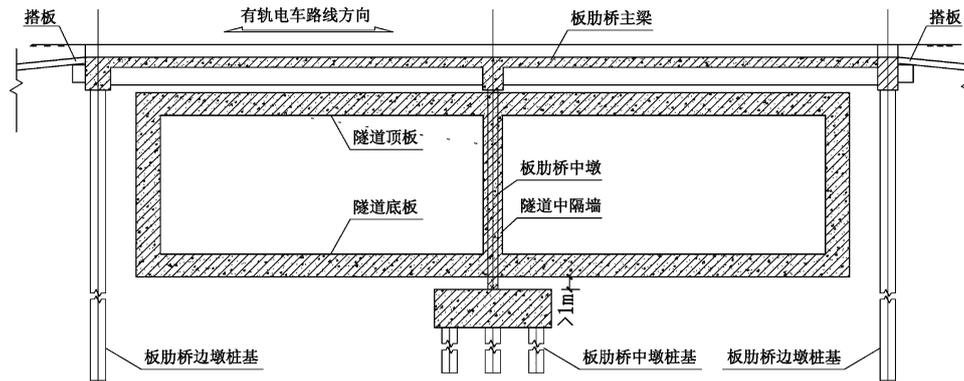


图 4 分离式桥梁方案(有轨电车路线前进方向)

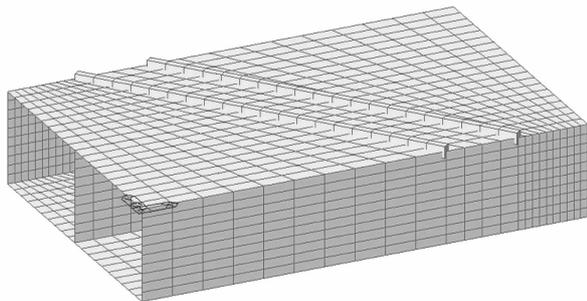


图 5 结构受力分析计算模型

具体计算结果详见下表 1。计算表明：

(1)方案二与方案一对比,由于隧道底地质存在差异,桥梁支座反力作用于侧墙顶将产生不

均匀沉降,从而隧道结构存在较大的活载弯矩。

(2)方案三与方案一对比,隧道底设置承台,承台位置的竖向支撑刚度远大于周边土体,从而承台位置的地基反力明显集中,隧道结构出现不利的“顶腰现象”,结构弯矩增加明显。

(3)对于方案一,恒载和有轨电车活载引起的工后沉降较小,详见本文第 4 节“路基方案地基变形计算”,细化过渡段设计后,对有轨电车的舒适性影响可以忽略。

综上考虑,从隧道结构受力角度而言,推荐采用路基方案。

表 1 各拟选方案恒载和活载计算结果

| 方案  | 恒载效应            |                |             | 有轨电车活载效应        |              |             |
|-----|-----------------|----------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
|     | 顶板最大弯矩 (kN * m) | 顶板最大名义应力 (MPa) | 地基最大反力 (kN) | 顶板最大弯矩 (kN * m) | 顶板最大应力 (MPa) | 地基最大反力 (kN) |
| 方案一 | 801             | 5.5            | 263.6       | 90              | 0.82         | 12.8        |
| 方案二 | 787             | 5.5            | 245.3       | 200             | 2            | 58.2        |
| 方案三 | 958             | 6.7            | 1695        |                 |              |             |

对于路基方案,分别将公路车辆荷载、城-A级车辆荷载、有轨电车荷载作用于下穿隧道结构,隧道顶板弯矩效应的对比表如表2所示:

表2 不同车辆荷载作用下的隧道顶板弯矩效应

| 活载种类 | 有轨电车        | 城-A级 | 公路         |
|------|-------------|------|------------|
| 大小   | 75.4%~78.7% | 100% | 90.7%~100% |

由上表得,有轨电车采用路基方案通过不需要增加下穿隧道的结构尺寸和配筋。

### 3.2 方案比选

分别从总体设计、结构设计、施工便利性和总投资对拟选方案进行对比,分别论述如下。

#### 3.2.1 总体设计

方案一和方案二在总体设计时,应注意将有轨电车的轨道位于下穿隧道的同一个节段,以避免节段间的不均匀沉降对有轨电车行车舒适性的影响。

方案三,注意将隧道泵房避开有轨电车桥梁的边墩,在隧道基坑施工时需预留有轨电车桥梁边墩的施工空间。

#### 3.2.2 结构细部设计

方案一细部设计时需注意:(1)详细考虑有轨电车路隧过渡段;(2)通行有轨电车的隧道节段较长,需适当加强隧道纵向配筋。

方案二细部设计时,需考虑方案一上述两个注意事项,另外需注意:由于隧道底地质差异,电车桥梁的支座反力引起下穿隧道较大的不均匀沉降,需增加隧道结构的配筋。

方案三细部结构设计时,需注意:(1)下卧承台造成隧道底的竖向支撑刚度突变,出现“顶腰现象”,需增加结构配筋。(2)应考虑隧道与电车桥梁在电车制动力、地震作用等水平作用下的相互作用影响,需做隔震措施。(3)隧道中墙需局部加厚。

#### 3.2.3 施工便利性

方案一施工无交叉,施工便利、迅速。

方案二施工交叉较少,需注意设置电车桥垂直向的挡土块及过渡段。

方案三,施工交叉较多,施工不便,主要体现

在:(1)电车板肋桥的中墩桩基、承台和墩柱应与隧道结构同步施工。(2)电车板肋桥的边墩桩基需待隧道结构施工完成并回填压实至路面顶标高后再行施工。(3)考虑电车板肋桥中墩承台位置的局部开挖深度较大,需加强承台开挖坑附近的隧道基坑支护措施。(4)电车板肋桥边墩附近的隧道基坑支护钻孔桩适当外移,为板肋桥的边墩桩基施工腾出空间。

#### 3.2.4 总投资

经初步核对,方案一的总投资最少,方案二较少,方案三最多。

## 4 路基方案的地基变形计算

### 4.1 计算假定

有轨电车跨越下穿隧道节段处存在砾质粘性土,该土层大于2mm的颗粒含量达31%,可认为该土层的渗透性较大,地基在恒载施加完毕时,其固结变形基本已经完成,可不考虑恒载引起的工后沉降。

恒载引起的附加应力等于恒载应力减去现状自重应力(地下水水位以下取现地面以下2m),本项目等于13.9kPa,偏安全不考虑应力扩散,由恒载引起的隧道底板底面沉降:

$$s = \psi \frac{P_0}{E_s} \times H = 1.0 \times \frac{13.9}{4900} \times 8 = 22.7 \text{ mm}$$

参考《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)第5.3.3条及条文说明,对于中压缩性土(压缩性的判断据该规范第4.2.6条。),考虑工后沉降为总沉降的50%,即工后沉降为11.4mm。

综上所述,认为恒载引起的工后沉降可忽略。

本次计算仅考虑有轨电车及平交口汽车通过隧道节段时,活载引起地基变形。

### 4.2 计算模型

采用有限元软件midas建立空间分析模型,隧道结构采用板单元,有轨电车及汽车车辆荷载的行车轨迹线采用无质量和刚度的虚拟梁单元模型,隧道底板按地质资料取土弹簧基床系数,

分析活载作用下的地基变形。

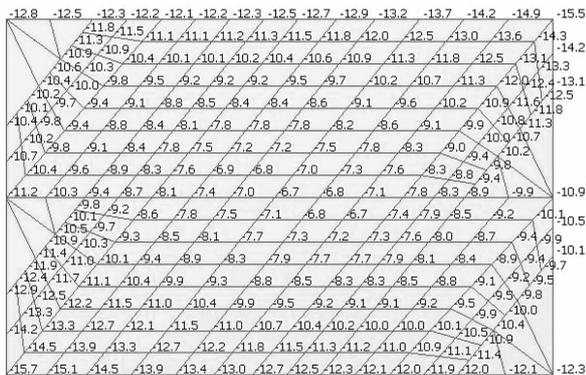
模型中的计算荷载包括通过平交口隧道节段的两组有轨电车车列和八组“城 - A 级”车列,对于“城 - A 级”车列考虑横向车道折减系数  $\xi = 0.5$ 。

模型中的边界条件按如下方式处理:隧道底板底面的竖向基床系数:对于薄压缩层(压缩层厚度  $H < B/2$ ,  $B$  为结构宽度),取基床系数  $k = E_s/H$ ,其中  $E_s$  为地基压缩模量,按详勘取砾质粘性土的  $E_s = 4.9\text{MPa}$ ,压缩层厚度  $H$  按隧道节段底最大压缩层厚度取  $H = 8\text{m}$ 。基床系数:

$$k = E_s/H = 4900\text{kPa}/8\text{m} = 612.5\text{kN/m}^3。$$

### 4.3 计算结论

计算结果显示,隧道底板的活载位移效应标准值包络如下图所示,最大竖向位移为 15.7mm。



因此,有轨电车上跨城市下穿隧道采用路基方案满足有轨电车的行车舒适性的要求。

## 5 结论

综上所述,对于本工程,有轨电车上跨城市下穿隧道采用路基方案对隧道结构的受力影响最小,对有轨电车的舒适性影响可以忽略,施工便利且总体投资最少,最终施工实施方案采用了路基方案。

### 参考文献:

[1] 中华人民共和国交通运输部. JTG D62 - 2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京,人民交通出版社,2004.

[2] 中华人民共和国交通运输部. JTG D60 - 2015 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京,人民交通出版社,2015.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ 11 - 2011 城市桥梁设计规范[S]. 北京,中国建筑工业出版社,2011.

[4] 《土质学与土力学》[J]. 北京,人民交通出版社,1998.

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50007 - 2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京,中国建筑工业出版社,2012.

# 茂名滨海新区起步区城市地下综合管廊设计实例研究

刘 衡

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘 要:** 茂名滨海新区起步区城市地下综合管廊建设工程分为: 博贺湾大道综合管廊工程、吉达大道综合管廊工程和新城东路综合管廊工程, 建设总里程约为 20.17km。其中博贺湾大道综合管廊 7.27km, 配电房 3 座和控制中心 1 座; 吉达大道综合管廊 9.52km, 配电房 4 座和控制中心 1 座; 新城东路综合管廊 3.38km, 配电房 1 座。

**关键词:** 综合管廊; 管廊断面; 消防系统; 通风系统; 电气与自控系统; 管廊结构

## 0 前言

综合管廊设计应以市政道路下部空间综合利用为核心, 围绕市政公用管线布局, 对地下综合管廊进行合理布局和优化配置, 逐步形成和城市规划相协调, 城市道路下部空间得到合理、有效利用, 具有超前性、综合性、合理性、实用性的地下综合管廊系统。

## 1 设计思路

根据对起步区市政管线建设现状及存在的问题调查分析, 并结合综合管廊这一市政基础设施的特点, 设计总体思路如下:

(1) 市政管线尽量入廊: 地下综合管廊作为不同种类地下管线的载体, 应协调平衡, 尽可能容纳较多的管线, 以充分发挥其作用。

(2) 断面尺寸应近、远期结合: 管廊断面设计不仅要满足服务区域现阶段的实际需求, 而且要充分考虑城市的长远发展, 在地下综合管廊内合理预留发展空间, 减少或避免城市道路的重复开挖。

(3) 合理安排建设时序: 在充分调查、了解、研究、掌握服务城镇、片区、小区实际需求的前提下, 结合城市地块开发建设、道路新建和改造建设计划, 合理安排管廊建设时序。

## 2 总体设计

### 2.1 管廊设计原则

①综合管廊布局应与城市功能分区、建设用

地布局和道路网规划相适应。

②综合管廊工程规划应结合地下管线现状, 在城市道路、轨道交通、给水、雨水、污水、再生水、天然气、热力、电力、通信等专项规划及地下管线综合规划的基础上, 确定综合管廊布局。

### 2.2 管廊总体布局

综合考虑滨海新区起步区的城市总体布局、城市组团功能及分区、用地性质及建设情况、市政管线规划及建设情况、市政道路规划及建设情况、综合管廊系统布局等因素, 提出起步区综合管廊一期工程布局。

## 3 入廊管线及管廊断面设计

### 3.1 博贺湾大道综合管廊

#### ① 入廊市政管线

根据现状及规划要求, 博贺湾大道需入廊的地下市政管线有: DN800 给水管、DN400 ~ DN600 再给水管、de300 天然气管、24 回路 10kV 电缆、6 回路 110kV 电缆及 16 孔通信管。

#### ② 管廊断面设计

根据入廊管线的种类及规模, 设计采用 3 舱型式, 管廊断面外框尺寸 8.8m × 3.8m (宽 × 高), 其中综合舱净尺寸 3.5m × 3.2m, 主要布置 DN800 管径的给水管、DN400 - DN600 的再生水管和 16 孔通信管; 电力舱净尺寸 2.4m × 3.2m, 主要布置 110kV 和 10kV 的电力管; 燃气舱净尺寸 1.8m × 3.2m。具体布置见图 2。



图 1 茂名滨海新区起步区城市地下综合管廊平面总图

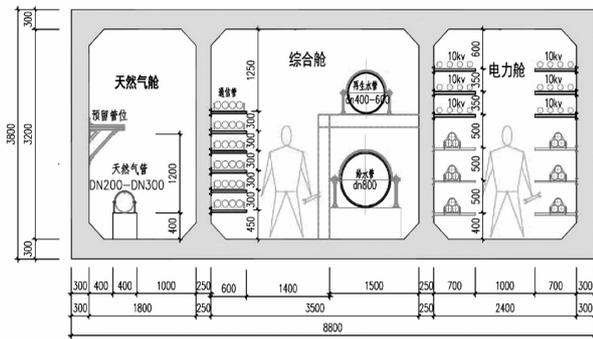


图 2 博贺湾大道综合管廊断面图

### 3.2 吉达大道综合管廊

#### 3.2.1 入廊市政管线

根据现状及规划要求,吉达大道需入廊的地下市政管线有:DN1200 给水管、DN800 再给水管、de200 天然气管、16 回路 10kV 电缆及 12 孔通信管。

#### 3.2.2 管廊断面设计

根据入廊管线的种类及规模,设计采用 2 舱型式,管廊断面外框尺寸 7.75m×4.2m(宽×高),其中综合舱净尺寸 5.1m×3.6m,主要布置 DN1200 管径的给水管、DN800 管径的再生水管、12 孔通信管和 10kV 电力管;燃气舱净尺寸 1.8m×3.6m。具体布置见图 3。

### 3.3 新城东路综合管廊

(1)入廊市政管线。根据现状及规划要求,新城东路需入廊的地下市政管线有:DN1000 给水管、DN300 再给水管、de200~de300 天然气管、24 回路 10kV 电缆及 16 孔通信管。

(2)管廊断面设计。根据入廊管线的种类及

规模,规划采用 2 舱型式,管廊断面外框尺寸 6.55m×4.0m(宽×高),其中综合舱净尺寸 3.9m×3.4m,主要布置 DN1000 管径的给水管、DN300 管径的再生水管、16 孔通信管和 10kV 电力管;燃气舱净尺寸 1.8m×3.4m。具体布置见图 4。

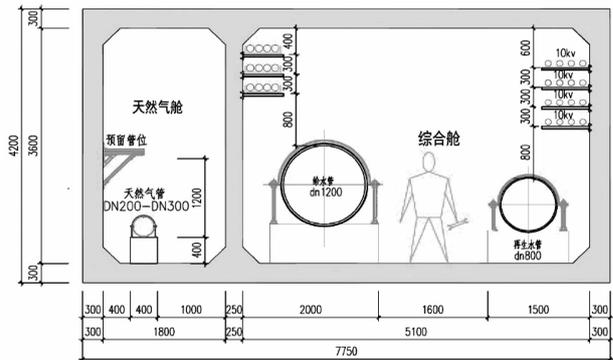


图 3 吉达大道综合管廊断面图

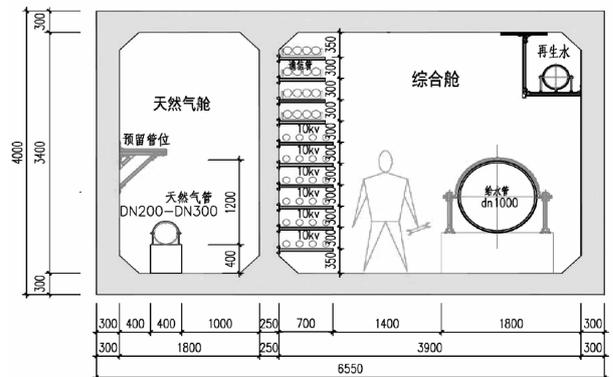


图 4 新城东路综合管廊断面图

## 4 消防系统设计

根据地下综合管廊内不同舱室的可燃物性质及火灾特点,采取不同的消防系统。将不同的消

防系统通过各种组合方式,形成安全可靠、经济合理、组合最优的方案。

地下综合管廊内除了各种水管之外,还容纳了大量的电力电缆和通信电缆,虽然这些电缆多为阻燃电缆,但为了防止和扑灭地下综合管廊内发生的火灾,仍需在沟内设置必要的消防设施,除按间距20m间距设置磷酸铵盐干粉灭火器外,电力、管线舱还设置超细干粉无管网淹没式灭火设备。对于变配电所,根据其电气火灾的特性,选用气体灭火系统。

## 5 通风系统设计

### 5.1 综合管廊内

**天然气舱:**每个分区采用独立的通风系统,利用每个分区逃生口作为通风口,并在每个通风口内设置一台机械送(排)风机。逃生口及通风口均与景观绿化融为一体设计。

**综合舱:**每个防火分区采用独立的通风及排烟系统,在每个分区的两端各设置一个通风口,并在每个通风口内设置一台机械送(排)风(烟)机。

### 5.2 设备间

**设备间:**地面上设置的控制中心、开关房、变配电所、路灯配电室、低压配电室、电气控制室采取自然进风、机械排风系统,通过窗户自然进风,侧墙安装轴流风机排风。

### 5.3 风量计算

(1)综合管廊廊内:电力管道舱、热力舱的通风量在满足最小排风量6次/h同时,需确保风机运行不大于20分钟的情况下将沟内温度降至36°C以下,便于下人检修;天然气舱在满足通风换气不小于12次/h的同时,需确保风机运行不大于20分钟的情况下将沟内温度降至36°C以下,便于下人检修。

(1)设备间:控制中心、开关房、变配电所、路灯配电室、低压配电室、电气控制室按10次/h换气次数,电缆夹层按6次/h。

## 6 排水系统设计

由于地下综合管廊内管道维修的放空以及沟

体本身的渗漏等,会造成一定的沟内积水,因此,沟内需设置必要的排水设施,以排除沟内的积水。在地下综合管廊内设有排水沟,其布置在地下综合管廊的一侧,排水沟断面尺寸采用200×150mm,地下综合管廊横向拟设坡度2%。为保证地下综合管廊防火分区的隔断效果,每个防火分区的排水应自成系统,即在每个防火分区内的地下综合管廊最低点处设置集水井内,内设潜水排水泵将积水排入附近的雨水井内。其中,天然气舱排水系统独立设置。

## 7 标识系统设计

(1)综合管廊内部的控制设备、附属设施设置标识牌。附属设施如管线出舱口、逃生通道、逃生口、通风口、吊装口分别设置带编号的标识牌。灭火器设置带编号的标识牌。

(2)综合管廊内每隔20m设置一处里程标识。在交叉口和连接通道前设置方向标识牌。

(3)穿越箱涵和铁路处设置标识牌,并注明里程。

(4)综合管廊内的各专业管线每隔80m设置一处管线标识牌。

(5)变配电所前设置管廊介绍牌。

(6)综合管廊变配电所、连接通道、逃生通道处设置“禁止吸烟”标识牌。天然气舱通风口、吊装口、逃生口处设置“禁止烟火”标识牌。综合管廊内配电控制箱、配电间设置“有电危险”和“禁止触摸”标识。

(7)防火门两侧设置“注意脚下”标识。楼梯护栏处设置“当心坠落”标识牌。楼梯旁设置“注意碰头”标识牌。台阶上下处设置“小心台阶”标识。

## 8 电气与自控系统设计

电气设计包括配电系统、照明、建筑物防雷、接地及安全系统、火灾自动报警系统、弱电系统等。电气设计负荷等级按管廊内不同的用途和重要性分为二、三级。

根据沿线负荷布置情况及负荷分散、供电距

离长的特点,综合管廊全线划分为12个供电区域,每个供电区域的供电范围约1.5km,设综合管廊专用变电所12座,每座变电所的配置基本相同,负荷容量基本接近。

设计拟将两座控制中心分别设置在博贺湾大道南段和吉达大道和吉港大道交界处,占地面积约分别为300平方米,建筑面积约600平方米,控制中心兼做消防控制室与值班室。

## 9 管廊结构设计

### 9.1 管廊结构

管廊结构形式,主要有现浇钢筋混凝土和预制钢筋混凝土两种。根据实际情况,现浇施工工艺成熟,在结构整体性、防水性能、施工难度、施工机械等方面较预制结构有优势。设计综合管廊结构采用现浇钢筋混凝土管廊。

### 9.2 变电所等建筑物

变配电房结构,均含一层地下室与管廊连接,地面一层,采用框架结构。对于上部结构,框架柱截面拟采用400×400mm的,框架主梁及次梁宽度取200mm,主梁的梁高一般取梁跨度的1/8~1/12,次梁的梁高一般取梁跨度的1/12~1/16,屋面板厚度取120mm。

### 9.3 基坑支护

设计基坑开挖深度为6~7m,适用于钢板桩支护。为保证基坑土方开挖、管廊结构施工、周边桥梁及车辆人员通行的安全,根据本工程基坑开挖

深度、工程地质条件和周边地形,从安全、经济、合理、可行的角度出发,可考虑拉森钢板桩+放坡、拉森钢板桩+钢管撑两种支护方式。

## 9.4 管廊过河、过快速路段节点设计

### ① 管廊过河

博贺湾大道综合管廊在平面线位上有四处与河道垂直相交,管廊需下穿河道,河床平均深度约为3m。过河段应安排在枯水季节施工,采用钢板桩支护或土石围堰、明挖施工通过。

### ② 管廊快速路

管廊需下穿现状快速路(茂名港大道)处,考虑采用顶推法通过,先对快速路进行托换保护后,管廊采用预制形式,顶推预制管廊通过。

## 10 结束语

茂名滨海新区起步区城市地下综合管廊的建设,既能促进地下空间集约利用,又能提高管线防灾能力、消除拉链路,从而建设出新型现代化、环境优美、和谐安全的城市。

### 参考文献:

- [1]《城市综合管廊工程技术规范》(GB50838-2015).
- [2]《城市工程管线综合规划规范》(GB20289-98).
- [3]《室外排水设计规范》(GB50014-2014).
- [4]《城镇燃气设计规范》(GB50028).
- [5]《电力电缆隧道设计规程》(DL/T5484).

# 地铁盾构下穿公路的影响分析

王哲

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 基于当前城市发展实际情况,以广州14号地铁线为例,分析了采用盾构施工对其现有道路地基及桩基的影响,并结合数据模拟软件,模拟了盾构穿越过程中对路基沉降的影响,为该项目的安全施工及使用提供了保障。

**关键词:** 地铁;盾构施工;路基;沉降量

随着我国城市化速度的逐渐加快,道路交通新建与扩建工程逐渐增多,而作为当前我国城市道路交通建设的重点,轨道交通建设已成为当前城市实施现代化建设的重要标志,在缓解道路交通压力及提高运输能力方面起到重要作用,在各大城市投入建设并取得了较好应用。广州是我国重要的经济城市,经济繁荣,发展轨道交通是必然选择。盾构施工是地铁施工的常用技术,安全,且稳定性好,在目前项目施工中具有极大的意义。本文以广州市14号地铁线施工为例,就地铁施工中,盾构下穿公路对路基及桩基的影响进行了分析,以便为该项目的安全施工及使用提供保证。

## 1 工程概况

广州地铁十四号线一期石湖站~太和站区间入场线从石湖站出发往北转向东到达石湖停车场,出场线从石湖停车场向北下穿北二环高速公路,到达太和站,出入场线呈八字形,采用盾构法施工。该线路正线共下穿北二环高速公路两次,第一次下穿北二环高速公路石湖互通立交I匝道,位置中心里程为YDK21+085,交叉锐角为 $72^\circ$ ,交叉处高速公路为路基段,填土高约4.5m,隧道以双线的形式下穿高速公路,隧道埋深约15.17m;第二次下穿高速公路主线,位置中心里程为YDK21+430,交叉锐角为 $32^\circ$ ,交叉处高速公路为路基段,填土高约7.5m,隧道以左右线的形式下穿高速公路,隧道埋深约23.8m。交叉处高速公路里程为K15+680,交叉锐角为 $30^\circ$ ,高速公路正在运营。其中,盾构部分位置下穿路基见图1。

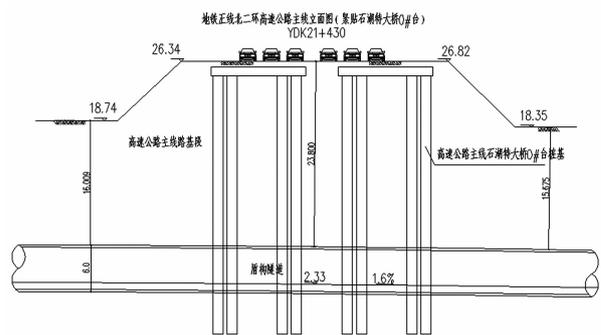


图1 盾构下穿道路施工主线示意图

由于该工程正线下穿北二环高速公路石湖互通立交I匝道交叉位置,地质情况主要为上部第四系地层有填土,厚度约为1.5m;下部粉质粘土层厚度约为3.20m,泥质粉砂岩为1.8m,强风化岩层粉砂岩厚度约为4m,下伏微风化泥质粉砂岩为。地铁隧道大部分位于微风化泥质粉砂岩中。基于上述分析,该工程施工地基处于软弱地基,其土质强度低,含水量大,易发生沉降等变形,施工过程及使用过程可能会对地上建筑如路基及桩基造成影响,使得其结构强度及整体稳定性受到影响,使得其存在安全隐患。基于此,项目实施前必须对其进行有效分析及制定对策,以确保其项目工程安全施工及使用。

## 2 主线盾构施工对匝道路基及桩基的影响数值分析

### 2.1 计算依据及方法分析

本文主要以盾构掘进施工过程对道路主线匝道路基及桩基的影响进行分析,其主要依据为本项目设计及勘察资料、道路施工及竣工图、地铁设

计规范等;本次分析采用 MIDAS/GTS 三维岩土有限元分析软件进行分析,该软件可真实模拟三维地层、高速公路,以及下穿盾构施工全过程。同时结合可项目施工特点及实际情况,建立数据分析模型,模型的范围为  $X$  方向取  $0 < X < 60\text{m}$ ,  $Y$  方向沿隧道轴向取  $0 < Y < 60\text{m}$ ,  $Z$  方向取  $0 < Z < 40\text{m}$ 。围岩采用实体单元,选用 Mohr - Coulomb 本构模型;管片采用实体单元模拟,选用弹性本构模型;桩体用实体单元模拟,选用弹性本构模型。同步注浆和二次注浆通过随掘进进尺逐渐改变围岩参数来模拟。三维模拟示意图如图 2 所示。

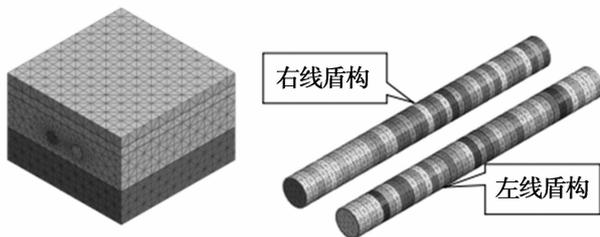


图 2 三维模型示意图

### 2.2 主线盾构施工对匝道路基的影响数值分析

结合本项目实际特点,分别就左右线盾构施工对道路路基的影响进行计算,计算过程分别对盾构掘进过程对路基的影响进行观测,随着盾构掘进深度的逐步加大,左右线地基的累积沉降量见图 3、图 4。

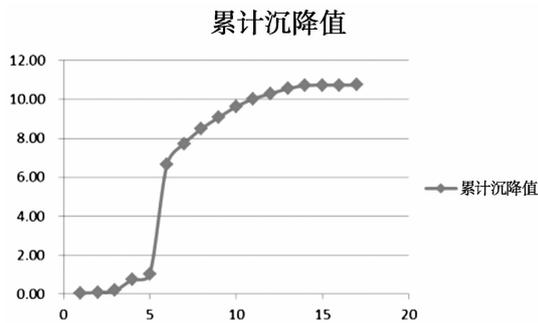


图 3 左线累积沉降变化曲线图

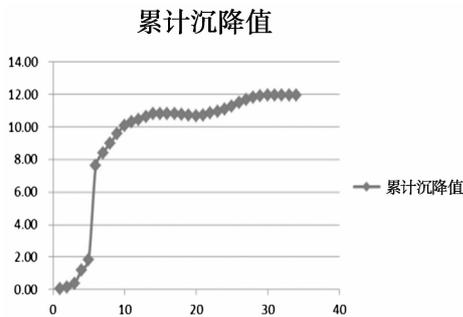


图 4 右线累积沉降变化曲线图

上图显示,  $X$  轴为施工步数,  $Y$  轴为累计沉降值,单位 mm。从图 3 统计结果得出,地铁左线盾构施工穿过高速匝道时,地基沉降变形在盾构顶推至测点前 10m 时开始有显著的沉降变化,且沉降随盾构顶推逐渐增大,在盾构推过测点后,沉降值开始趋于平稳,最大沉降值为 10.74mm。而从图 4 所示,地铁右线盾构施工穿过高速道路时,地基沉降变形在盾构顶推至测点所在掌子面前 10m 时开始有沉降变化,但沉降速率较小,且沉降随盾构顶推逐渐增大,在盾构推过测点后,沉降值开始趋于平稳,最大沉降值为 11.97mm,相较左线隧道掘进时,继续沉降了 1.23mm。但综合分析,其左右线沉降量满足安全控制标准;且,在左线掘进完成后进行右线掘进,对左线隧道的影响较小,可忽略不计,隧道间距设计合理,可满足安全施工的要求。

### 2.3 主线盾构施工对桩基的影响数值分析

分别对纵、横向相邻桥墩的不均匀沉降进行分析与探讨,取桥墩下距隧道下穿两端头较近的边墩及相邻墩为研究对象,提取各墩顶竖向位移数据并形成纵、横向相邻墩沉降时程图形;墩桩编号及分布示意图如图 5 所示。

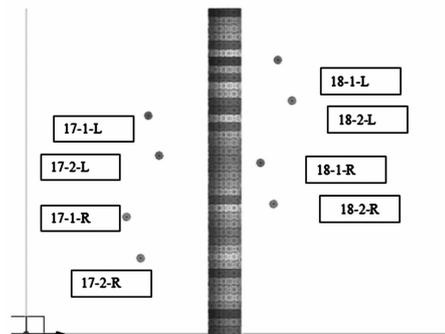


图 5 墩桩编号及分布示意图

分别对各桩墩沉降量进行分析,各桩基最大沉降量如下表 2 所示,由表可以看出,地铁隧道盾构开挖施工穿过高速主线大桥时引起桥梁单墩沉降最大值仅为 1.09mm,相邻桥墩差异沉降更小,最大差异沉降发生在高架桥左幅距离地铁右线最近的 18-2-R 桥墩,沉降差仅 0.27mm,可认为其沉降差值不会引起盖梁大的受力变化,可满足结构受力要求;而由表 3 看出,地铁隧道盾构开挖施工穿过高速主线大桥时引起桥梁单墩纵向差异沉

降较小,最大差异沉降发生在高架桥左幅距离地铁右线最近的18-2-R桥墩,沉降差仅0.24mm,可认为其沉降差值不会引起盖梁大的受力变化,

可满足结构受力要求;因此在开挖过程中桥梁结构是安全的,不会发生由于盾构施工而导致的桩基不稳等事故。

表1 桥梁墩台横向最大差异沉降(mm)

| 位 置    | 18-2-R | 18-1-R | 18-2-L | 18-1-L | 17-2-R | 17-1-R | 17-2-L | 17-1-L |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 边墩顶    | 邻墩顶    | 边墩顶    | 邻墩顶    | 边墩顶    | 邻墩顶    | 边墩顶    | 邻墩顶    |
| 竖向位移   | 0.82   | 1.09   | 0.58   | 0.73   | 0.45   | 0.40   | 0.60   | 0.48   |
| 最大差异沉降 | -0.27  |        | -0.15  |        | 0.05   |        | 0.12   |        |

表2 桥梁墩台纵向最大差异沉降(mm)

| 位 置    | 18-2-R | 18-2-L | 17-2-R | 17-2-L |
|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 边墩顶    | 边墩顶    | 边墩顶    | 边墩顶    |
| 竖向位移   | 0.82   | 0.58   | 0.45   | 0.60   |
| 最大差异沉降 | 0.24   |        | -0.15  |        |

### 3 总结及建议

基于上述分析,本项目地段在盾构掘进时可以安全正常的运营,地基及桩基沉降量满足要求,受力稳定,可满足施工要求。为最大限度保证其施工安全,盾构掘进通过主线桥过程中,应严格控制盾构掘进速度,并加强桥梁墩柱的监测,实时调整盾构掘进参数及同步注浆参数,可确保施工安全。本文结合实际经验,就盾构施工对公路的影响进行了分析,同时结合数据模拟软件,就盾构穿越过程中对路基沉降的影响进行了模拟,对其安全视作的基本条件进行了说明,以便后期该种施工技术方案的制定及实施。

#### 参考文献:

- [1] 李曙光,冯小玲,方理刚. 盾构法地铁隧道施工数值模拟[J]. 铁道标准设计,2009(3).
- [2] 杨广武,关龙,刘军. 盾构法隧道下穿既有结构三维数值模拟分析[J]. 中国铁道科学,2009(6).
- [3] 张海波,殷宗泽,朱俊高. 地铁隧道盾构法施工过程中地层变位的三维有限元模拟[J]. 岩石力学与工程学报,200524(5).
- [4] 王明年,张晓军,苟明中. 盾构隧道掘进全过程三维模拟方法及重叠段近接分区研究[J]. 岩石力学,2012(1).
- [5] 陈伟珂,蔚朋,杨保兰,张铮燕. 地铁施工灾害警情诊断与可控度研究[J]. 中国安全科学学报. 2013(11).
- [6] 王泉平. 地铁施工对周边构筑物影响的安全预控[J]. 中国建筑金属结构. 2013(06).

# 新路段开通后形成的新环路多义性 路径标识系统技术分析

黄宇东

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:** 本文概述了广东省高速公路多义性路径标识技术方案,归纳了多义性路径标识点的布设原则,并对新路段通车后形成的新环路标识点布设进行分析。

**关键词:** 高速公路;多义性路径;标识点布设方案

## 1 引言

广东省高速公路网布局规划方案以“九纵五横两环”为主骨架,随着新建高速公路项目不断建成通车,广东省高速公路路网形成日益复杂的网格状结构,形成的多义性环路越来越多。新路段开通后将路网原有环路切开,形成多个新的基本环路。基于现有路网环路设置的部分联网收费 RFID 标识点(以下简称 R 标)和 ETC 标识点(以下简称 E 标)将满足不了“按实际路径标识、按实际路径拆分、按实际路径收费”的收费模式,需要对新的基本环路的标识点进行调整,增加 R 标或 E 标,以满足“一张网”联网

收费的要求。

## 2 路径识别系统总体技术方案

### 2.1 总体模式及技术路线

广东省高速公路联网收费采用“按实际路径标识、按实际路径拆分、按实际路径收费”总体模式,采用“RFID 复合卡 + RFID 标识点 + ETC 标识点 + 高清卡口防逃费稽查 + 辅以必要行政管理手段”的技术路线。

联网收费系统框架由省联网收费运营管理平台、省联网收费结算中心、路段收费中心、RFID/ETC 标识点、高清卡口、收费站及收费车道等组成。联网收费系统框架如图 1 所示。

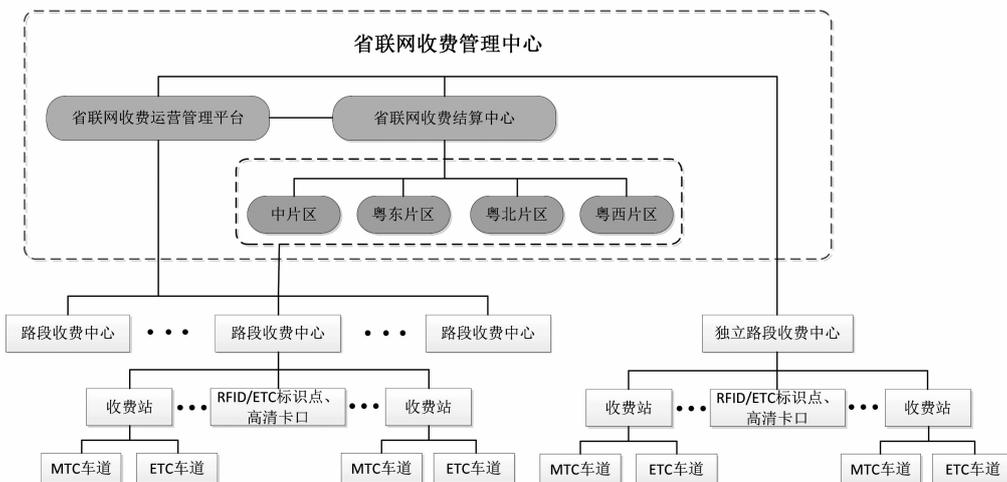


图 1 联网收费系统框架

### 2.2 多义性路径还原的管理

- (1) 系统优先采用 RFID/ETC 进行路径还原。
- (2) 若 RFID 复合卡/粤通卡部分或者全部失

效,此时通过在车道输入车牌号查询基于高清卡口车牌识别所形成的路径信息,从而还原该车辆行驶的实际路径,完成通行费的计算与征收。若

通过高清卡口能够还原全部/部分实际路径,则按实际路径计算与征收通行费,不能还原的部分按照最短路径计算与征收通行费。

### 2.3 路径信息标识流程

RFID 复合卡和粤通卡(不含 OBU)用户:车辆在高速公路入口时领取已写入入口信息的通行卡,当车辆通过路侧标识站时,通行卡接收路侧标识单元发送的路径标识码信息并存储在卡中,在出口时通过复合读写器读取卡内的入口信息和路径信息,确定车辆行驶路径。

纯 ETC(OBU + 粤通卡)用户:粤通卡插入 OBU 内,在高速公路入口时写入入口信息,通过路侧标识站时路径标识信息写入 OBU 内,在出口完成自动标识,从而确定车辆行驶路径。路径标识系统如图 2 所示:

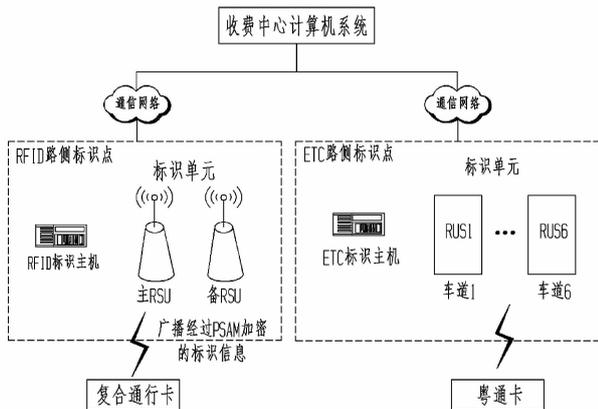


图 2 路径标识系统图

### 3 新环路形成后标识点布设原则分析

新路段开通后如形成新的最小基本环,则需对新环路的标识点进行重新分析,以满足联网收费的要求。新环路标识点的布设除需满足《高速公路多义性路径识别系统技术规范》和省地方标准《广东省高速公路联网收费系统》(DB44/T 1793-2016)的要求外,还需结合标识点区间、未来相交路段的情况等进行统筹考虑:

(1)新开通路段所在边同步建设高清卡口(以下简称 G 标)、RFID 和 ETC 标识点,满足当前环路和未来相交路段开通后形成新环路的标识需要。高清卡口、RFID 及 ETC 标识点应同址或同区间建设,实现标识点与高清卡口一一对应。

(2)对于分段通车和未来有路段与其相交的新路段,建议按全线通车和未来相交路段开通后形成新环路的标识需要进行整体规划,在不影响路径标识的前提下,标识设施的实施时间可根据环路形成情况进行调整。

(3)已开通路段环内 RFID 和 ETC 标识点不足时需增设,在满足正确标识的前提下尽量与现有的高清卡口同址或同区间布,实现标识点与高清卡口的一一对应。

### 4 新环路形成后标识点布设方案分析

新环路形成后,结合环路组成、环路单边里程等情况,标识点的布设方案主要分以下两种情况进行分析:

(1)原有环路被新路段切开后,新环路所有边需设置标识点(R 标和 E 标)及高清卡口(以下简称 G 标),如环路边已有高清卡口,则增设的标识点与高清卡口同址或同区间。

以广明高速广州段开通形成新环路为例,路段开通后,与广珠北、南二环、广珠西、东新形成 2 个基本环。标识点布设方案如下:广明高速广州段增加 2 个 REG 标,分别布设在吴家围枢纽和金山枢纽之间,以及双岗和化龙互通之间;广珠西增加的 RE 标布设在碧江和顺德东互通之间,与编号为 7235 的高清卡口同址或同区间;东新高速增加的 RE 标,布设在禺山和沙湾互通之间,与编号为 10498 的高清卡口同址或同区间。环路标识布设如图 3 所示。



图 3 广明高速开通形成新环路后标识点布设分析

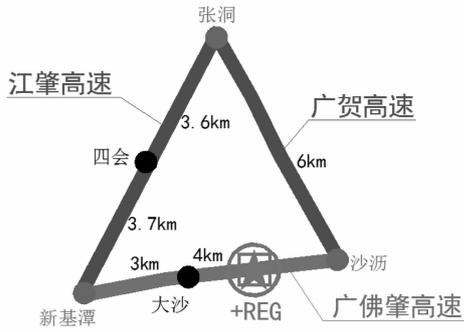


图 4 江肇、广贺、广佛肇高速形成的小环路

(2) 对于小环路情况,如江肇高速、广贺高速和广佛肇高速形成的小环路(如图 4 所示),环路单边长约 6~7km,由于环路小,互通立交的间距短,容易误标和串标,且标识点的投入产出比较低,建议由环路各路段协商处理通行费的拆分方式,可考虑按最短路径计算与征收车辆通行费。

## 5 结束语

随着高速公路路网的逐渐加密,形成的多义性路径将越来越多,在全省“一张网”联网收费的背景下,多义性路径标识系统在路径还原方面的作用将日益重要。下阶段应加大技术研发,进一步提高标识点的标识准确率,为高速公路的营运和管理提供优质高效的服务。

### 参考文献:

- [1] 高速路多义性路径识别系统技术规范. GDJTG/T J01-2013
- [2] 李猛. 基于 RFID 技术多义性路径识别系统在高速公路联网收费中的应用. 广东科技, 第 16 期, 2013.
- [3] 罗君伟. RFID 与高清卡口技术在广东联网收费的应用. 中国交通信息化, 第 07 期, 2013.
- [4] 吴立杰, 丁治纲. 多义性路径识别系统在高速联网收费中的应用. 信息技术与标准化, 第 10 期, 2014.

# 现代公路规划建设管理对策分析

程 坤

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

**摘 要:**随着我国经济的发展、城市建设的不断推进,我国公路建设也迈入了一个新阶段。关于公路建设的法律法规和管理体制也在不断完善,公路事业单位的转型也在发展,传统的公路规划管理模式在经受着新的挑战。现代公路的建设要求更高,道路运输能力也在随着经济发展而变化,现代公路的规划管理建设需要开拓出新的机制,创新规划管理体系,使之更符合现代公路建设的要求。使现代公路建设的规划管理、建设施工得到良好发展。本文就对现代公路建设方面的规划管理进行分析探究。

**关键词:**现代公路;规划管理;对策分析

对公路的规划管理影响着公路的使用寿命和质量,规划管理工作做的越好,公路质量就越能得到保障,使用寿命较长,节约了社会资源。否则,就会出现使用寿命短、后期维修成本高、质量低的情况,对社会资源和经济成本造成一种严重浪费。所以,规划管理建设工作对公路建设意义重大。找到合理的规划管理办法,才能进一步提高公路质量,提高社会基础设施建设水平。

## 1 公路规划管理概述

公路规划管理是公路交通规划中的重要组成部分,是一项公路建设的前期工作,规划管理工作要有长远的大局意识,是公路建设中选择建设项目的依据。在规划管理工作中,要进行科学、全面的建设决策,避免布局规划的盲目性而造成资源、经济浪费。

党的十九大习总书记提出了建设交通强国的目标,要着力推动交通运输发展的质量变革、效率变革、动力变革,预计目标实现阶段是从2020年到本世纪中叶。这也意味着我国未来近半个世纪内对交通运输建设的投入依然较大,公路建设作为其中的重要组成部分,它的建设和管理改革都是发展的重点,不仅符合市场需求,也符合国家建设发展的需要。对现代公路的规划管理探索应该得到更多的重视。

## 2 我国公路规划管理中出现的问题

### 2.1 公路的施工设计内容不规范

当前我国公路规划管理中对施工设计的管理不足,存在设计不规范的问题。现代公路施工管理环境与以往相比发生了转变,需要相应的现代规划管理。而我国一些公路规划中并没有做出积极转变,缺乏全面、科学的管理,使得施工设计没有达到规范要求,造成对公路建设大局考虑不足、要求满足不到位、施工安排不合理、施工工序错乱等问题,影响了我国公路网建设的整体质量,不利于交通强国目标的达成。

### 2.2 公路工程的预算不合理

工程预算是整个公路规划管理中的重要部分,对工程的建设质量影响较大,是加强施工管理、进行经济核算、设计工程计划的重要依据。

我国目前对公路建设的投资是有限的,主要是政府进行成本资金的负担,所以政府交通部门会有相关的概预算方法,用以确保工程预算合理。但一些部门在进行工程预算时,往往会放弃这种计算方法,而使用降低造价或提升公路等级的办法进行预算工作。这样的预算结果是不科学的,会造成施工过程中偷工减料现象的出现,降低公路建设质量。

### 2.3 公路工程施工技术不达标

在公路规划管理中,要遵循相关行业建设标

准及规范,不能脱离标准规范而进行设计,一些工程建设部分更是对技术要求较高,如果规划不合理,采用不达标的施工技术,造成的危害是严重的,会对人民生命财产安全造成威胁。

#### 2.4 管理体制存在漏洞

完善健全相关管理体制是做好规划管理工作的重要条件,公路工程的投资方、运作方管理脱节,缺乏统一完善的管理方式。有效的管理方式是融合建设管理、项目投资、项目运营等项目工作为一体,统一的项目法人制度可以为公路工程管理提供极大的便利,管理能更好地运行。

除此之外,在公路规划管理中还存在另一些问题,比如投标管理的不规范、工程规划设计不清晰、管理设施开发不足、管理法制不健全等。这些问题存在于我国公路规划管理当中,造成规划管理工作不到位、工程质量得不到保障等后果,需要我们对其进行改善、提出先进的管理方法。

### 3 现代公路规划管理对策

#### 3.1 做好施工进度计划

在公路建设中,对施工进度的把控是相当重要的。工程延期会造成各种建设资源的损耗,对工程造价产生影响,降低其经济效益。做好施工进度计划,可以省去不必要的施工期,最大限度的保证施工效益。当工程出现延期时,要进行计划审核,找出延期的施工部分,分析原因,进行责任落实。

在施工计划整理完成后,要向监理工程师提交审核,确认施工计划的科学性和合理性,能够对后期施工进行积极指导。实际施工过程中,要完善资源配备。然后根据计划开展施工,确保工程建设效益。

#### 3.2 建立健全项目管理责任制

公路建设中项目较多,单项工程数量大,不同的工程项目对技术要求、配备要求是不同的,因此其管理方式也有所区别。采用项目管理责任制,将单项工程交由相应的团队管理,可以确

保管理效率的实现。在工程出现问题时,责任能够具体落实。此外,要处理好承包方、分包方、监理方等各方关系,建立健全管理机制,使项目责任制能够在实际施工管理中得到落实。

#### 3.3 加强工程的成本核算管理

除前文中提到工程预算的重要性,而成本核算同样也很重要。在实际施工过程当中,要实现对工程建设的成本控制就要做好成本核算管理。对公路建设的规划管理,也离不开对成本核算数据的参考。

在一项工程建设中,如果有加大设备投入的需要,那么就要考虑到预算的支出,这个时候就要进行项目预算审核,在其他方面参考成本核算数据进行相应调整,保证对工程预算的有效合理控制、成本投入合理。

对现代公路的规划管理,需要从多方面进行,除了上述几种对策外,还要注意加强对施工设备、施工人员、技术水平等多方面的管理工作,使工程建设符合规范、能够获得经济收益、保证质量安全。

### 4 结束语

近半个世纪以来,我国公路建设得到了快速发展,而在未来近半个世纪,我国要达成交通强国的宏伟目标。现代公路需要更高水平的发展,规划管理工作也应当与时俱进,摒弃传统管理中的不足,寻找好的解决对策,并进行科学合理的运用,是我国公路未来发展的重要内容和方向。不论是管理体制,还是具体施工技术的管理,都要注重对建设规范的遵守,在保证质量的前提下争取更大的经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 王建煌. 现代公路规划管理建设的探索与思考[J]. 城市建设理论研究(电子版),2012,(12).
- [2] 孙玉杰. 现代公路规划管理建设的相关思考[J]. 交通世界(工程技术),2015,(3):66-67.
- [3] 郑秀群. 试论市政道路规划设计[J]. 城市建设理论研究(电子版),2012,(28).

# 无人机的特点及其在公路工程建设管养领域中的应用研究

王 强<sup>1,2</sup>,李红中<sup>1,2</sup>

(1. 广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507;

2. 广东省公路勘察设计技术咨询服务有限公司工程技术研究开发中心,广州 510507)

**摘 要:**科技的快速发展带来了无人机遥测技术的越发成熟,其工作效率高的特点将有望成为工作量与日俱增背景下公路工程建设、管理和养护领域的重要技术支撑。研究表明,现有无人机种类、型号和应用领域非常多,已被成功的应用于公路工程建设期间的水土保持、地形勘测及调查选线和质量检查及现场管理等过程,而建成后公路工程的养护检查和巡查及应急指挥等过程越来越多的引入了无人机遥测系统。工程实践表明,无人机遥测技术操作简单、成本低廉和环境适应能力强,使用过程中具有全面细致、不影响交通且不占用道路资源的特点,其引入后提高了工作效率、数据精确性、实时性和预警性。由于结果精度高、自动化程度高、信息可信度高,无人机遥测系统的结果可以直观和准确地反映施工和应急现场多角度景物的全过程。

**关键词:**无人机;公路;建设;管理;养护

## 0 引言

无人机被广泛运用于公路工程建设、管理和养护领域并取得了卓越的效果。我国公路工程建设长期快速推进,这无疑给公路工程建设、管理和养护带来了日益剧增的工作量。随着无人机技术的逐渐成熟,越来越多的研究和实践尝试通过将无人机技术引入到工程领域以提高工作效率<sup>[1-4]</sup>。近年来的工程实践和研究均表明<sup>[5-12]</sup>,无人机系统具有“精细准确、机动灵活、安全性高、快速高效、作业成本低”等显著优势,它在诸如公路等线状工程的建设、管理和养护等中得到了成功应用。鉴于无人机在获取监测信息过程中的自动化、智能化和快速等特点,它在公路工程建设、管理和养护领域中极大的弥补了传统卫星遥感的不足,尤其是能够抵达人类无法前往的危险区域<sup>[3]</sup>。因此,无人机的应用涉及了公路工程领域的路线调查<sup>[13]</sup>、工程勘测<sup>[8,14-18]</sup>和选线规划<sup>[19]</sup>、水土保持的方案编制<sup>[1]</sup>和监督管理<sup>[2,5,6]</sup>、生态环境的调查<sup>[20]</sup>和评价<sup>[21]</sup>、工程病害<sup>[11]</sup>及养护数据<sup>[12,22]</sup>的采集、施工环境等的监管<sup>[23,24]</sup>和交通巡查<sup>[10]</sup>及应急指

挥<sup>[25-27]</sup>等工作过程。

无人机的诸多优点为广东省公路工程的快速发展提供了重要导向。根据《广东高速公路网规划(2004-2030)》,广东全省将建成以“九纵五横两环”为主骨架的高速公路网络且相邻地级市(包括与相邻的周边省地级市)之间基本上通高速公路。在规划的指导下,广东省“十二五”期全省高速公路建设目标由 6500km 增加到 6800km,2015 年实现县县通高速公路,到 2017 年全省高速公路通车总里程达到 8000km 的目标<sup>[28]</sup>。实践表明,广东省公路工程建设快速推进<sup>[29,30]</sup>伴随了公路工程建设、管理和养护工作量也同期快速上升,这为广东省交通领域的正常运转增加了巨大压力。与此同时,电子技术的发展伴随了小型无人机在远程遥控、续航时间和飞行品质上有了明显的突破,无人机搭载不同功能传感器实现了公路工程领域的多种类型高精度数据的原始数据采集和分析处理,工作手段的机动灵活、快速高效、精细准确、安全且作业成本低等特性也越发显著。事实上,公路工程线路太长导致项目的 DEM 地形图测绘、地表查勘、弃渣(土)场的监管等面临了巨大的工作量,而无人机

技术的工作效率高将有望成为工作量剧增背景下的重要技术支撑。鉴于此,本研究系统梳理了无人机及其相关技术,同时对无人机在公路工程建设、管理和养护中的运用进行了探讨和分析,旨在为无人机技术在广东省内公路工程领域的应用提供一定的参考。

## 1 无人机及其相关技术

无人机(即无人驾驶飞机的简称,英文名 Unmanned Aerial Vehicle 缩写为 UAV)是一种可重复使用且无人驾驶的空中飞行器(或机器人)。历史上,无人机的研究最早由英国军事航空学会于第一次世界大战期间(1914 年)提出<sup>[31]</sup>,该技术诞生于 20 世纪中期(五十、六十年代)并于 20 世纪后期(八十年代左右)以来在军用领域得到了快速发展<sup>[31]</sup>。20 世纪九十年代左右,无人机系统通过“低端民用小型专业级无人机”的应用开始逐渐进入民用领域<sup>[4]</sup>。2007 年以来,消费级无人机技术在多个行业领域得到广泛应用和旋翼无人机技术快速崛起,这标志着民用无人机技

术的逐步成熟和快速发展阶段,其中多旋翼无人机成为了民用无人机的主流机型<sup>[4]</sup>,尤其是摄影测量数据处理技术的提高导致超轻型无人机在小型项目应用中体现出了显著的适用性和优越性<sup>[17]</sup>。

目前,无人机种类和大小型号非常多且复杂,可根据多种分类方案和分类指标进行划分(表 1)<sup>[4,17,33~36]</sup>。无人机系统尺寸小、结构简单且使用成本低,其研制和生产等方面的费用也比有人驾驶飞机要低得多。实践表明,无人机既可以完成部分有人驾驶飞机所执行的任务,还可以用于危险的国土资源调查及测量、自然灾害调查及救援、空中应急救援处置、环境遥感巡查监管等有人飞机不宜执行的任务。在上述应用实践中,无人机呈现出云下作业、小型轻便、高效机动、高清晰、高现势性、小范围、大比例尺的特点,使用过程总体表现出适应性强、机动性好、快速高效和经济性优势等显著优点。因此,无人机被广泛运用于场区监控、气象探测、区域巡查、测绘勘探、航空摄影、交通管理、电力线路检查、灾害监视及应急处置等<sup>[2,37]</sup>。

表 1 无人机的分类指标)及对应的划分方案

| 分类方案/指标           | 无人机类型  | 亚类及说明   |
|-------------------|--------|---|
| 应用领域 <sup>a</sup> | 民用无人机  | 亚类 I:专业级无人机; 说明:应用于商业、公共管理、科研等行业领域。<br>亚类 II:消费级无人机。 说明:应用于大众消费者。   |
|                   | 军用无人机  | 亚类 I:无线电遥控无人机;<br>亚类 II:自动程序控制无人机; 说明:由遥控设备或自备程序控制操纵的不载人军用飞机。<br>亚类 III:综合控制无人机;  |
|                   | 油动无人机  | 优点是续航时间长,但存在安全隐患,坠机可能引发火灾。  |
| 动力源 <sup>b</sup>  | 电动无人机  | 相对安全,但受限于电池,续航时间较短。   |
|                   | 旋翼无人机  | 螺旋桨数量越多,飞行越平稳,操作越容易。<br>说明:多旋翼无人机具有消费级(面向个人娱乐)和工业级(面向行业应用)两类机型:前者消费级价格较低,但采用的元器件、部件材质和抗干扰能力相对较弱且飞行故障率相对较高;后者工业级体积大、价格较高,但抗风等级、续航时间、使用耐久度更优。 |
| 外形结构 <sup>c</sup> | 固定翼无人机 | 采用滑跑或弹射起飞,伞降或滑跑着陆,对场地有一定要求,其巡航距离、载重等指标明显高于旋翼无人机。<br>说明:固定翼无人机对起落空间要求高、不能悬停、不方便搭载云台和喊话设备等。   |
|                   | 无人直升机  | 体型较大、油动驱动、需要专业操作人员操控。   |
|                   | 其它     | 无人飞艇、无人伞翼机和仿生无人机。   |

| 分类方案/指标                     | 无人机类型  | 亚类及说明  |
|-----------------------------|--------|--|
| 载荷(或飞机重量)和续航时间 <sup>d</sup> | 大型无人机  | 关键指标: $P_s > 20\text{kg}$ 和 $E_U > 2\text{h}$ ,可配置摄影平台和测量级姿态定位系统;<br>特点:这类无人机可载重且效果类似于有人操作飞机,该类无人机价格贵且国内民用航测方面很少见。                   |
|                             | 中型无人机  | 关键指标: $P_s \approx 20\text{kg}$ 和 $E_U \approx 2\text{h}$ ,可以配置摄影云台等姿态稳定设备和装备测量级姿态定位系统(POS);<br>特点:飞行姿态较稳定,是民用无人机航测较理想的平台,该类无人机价格较贵。 |
|                             | 小型无人机  | 关键指标: $P_s < 5\text{kg}$ 和 $E_U < 1\text{h}$ ,航测影像在普通摄影测量工作站很难处理;<br>特点:飞行姿态不稳且性能较差,价格相对便宜。  |
|                             | 超轻型无人机 | 关键指标: $P_s < 1\text{kg}$ 和 $E_U \approx 0.5\text{h}$ ,航测影像不能采用常规摄影测量软件直接处理;<br>特点:飞行姿态差、抗风能力差并多采用节省动力的三角翼,价格较为便宜。                    |
| 飞行半径 <sup>e</sup>           | 超近程无人机 | $R_M \leq 15\text{km}$   |
|                             | 近程无人机  | $15\text{km} < R_M \leq 50\text{km}$   |
|                             | 短程无人机  | $50\text{km} < R_M \leq 200\text{km}$  |
|                             | 中程无人机  | $200\text{km} < R_M \leq 800\text{km}$   |
|                             | 远程无人机  | $R_M > 800\text{km}$   |
| 飞行任务高度 <sup>f</sup>         | 超低空无人机 | $A_M \leq 100\text{m}$   |
|                             | 低空无人机  | $100\text{m} < A_M \leq 1000\text{m}$  |
|                             | 中空无人机  | $1000\text{m} < A_M \leq 7000\text{m}$   |
|                             | 高空无人机  | $7000\text{m} < A_M \leq 18000\text{m}$  |
|                             | 超高空无人机 | $A_M > 18000\text{m}$  |

说明: $P_s$  - 航天器的有效荷载 (Spacecraft Payload),  $E_U$  - 无人机续航时间 (UAV endurance),  $R_M$  - 活动半径 (Mission Radius),  $A_M$  - 任务高度 (Mission Altitude); 资料来源: a, b, c - 据文献[4, 17, 27], d - 据文献[4, 17, 22], e, f - 据文献[17]整理。

无人机航测(航拍)遥感技术(Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing)是通过无线电遥控设备(或机载计算机)程控系统进行操作且不载人的飞行器,它是遥控技术、无人机技术、视频影像微波传输、卫星导航定位系统(GPS、BDS或GLONASS、GALILEO、BDS或QZSS等)、高空拍摄、遥感技术和计算机影像信息处理技术等高度融合形成的微型化空中遥感平台(即微型航空遥感技术)。该技术以无人机作为空中平台,通过无线电操控获取地面的诸多信息,这就意味着常规的无人机遥测系统必须包括硬件<sup>[17]</sup>(含导航装置的飞行平台、数据测量系统、地面控制系统、影像处理系统以及辅助设备)和软件<sup>[38]</sup>(飞控

软件以及后影像处理软件等)两个大的组成部分。目前,常见的信息获取设备包括红外扫描仪、高分辨率 CCD 数码相机、激光扫描仪、轻型光学相机、磁测仪等传感器,所获取的信息借助计算机进行加工和处理并最终形成高精度的三维图像。实际操作中,无人机只需要航拍影像的地面 GPS 信息,飞机操控员在无需任何飞行姿态信息的情况下就能进行全自动处理使能够直接处理和查看结果<sup>[39]</sup>。在小区域和飞行困难地区,无人机遥感测技术是一种地空地表信息遥测调查及工作效益监测的重要手段并能有效弥补传统研究方法的诸多不足,这主要归因于其在快速获取高分辨率影像方面具有的显著优

势<sup>[2,25,32]</sup>。

## 2 无人机遥测系统的特点

在公路工程及相关领域,无人机的应用非常广泛并主要涉及了公路工程的路线调查、工程勘测、选线规划、水土保持调查及监管、工程病害及养护数据采集、施工环境监测和实时交通巡查及应急指挥等内容。总结起来,无人机在公路工程及相关领域的运用表现出了如下优点<sup>[3,8-10,14,17,40,41]</sup>。

### 2.1 空间分辨率高和数据精度高

搭载的高精度数码成像设备的无人机作业期间属于低空飞行,其具备面积覆盖、垂直或倾斜成像的能力。在遥感影像数据的基础上,利用数据处理软件对点云数据进行分类处理,可以自动的获得测定范围内较高精度的数字高程模型(DEM)数据、地形图、三维场景影像和数字正射影像(DOM)数据等<sup>[42]</sup>,结果可直接推算出数字地形模型(DTM)。由于无人机飞行高度普遍低于云层高度,利用无人机遥感影像拍摄地物时的采点频率大且测图精度高,可拍摄高重叠率、高精度、大比例尺影像。中小区域测量时,地面采点间隔可达 5cm 以内<sup>[14]</sup>。在较小的空间尺度下观察地表地物情况时,分辨率可达到分米级甚至厘米级,其在局部信息获取方面表现出了明显的优势。无人机获取的成果能够直观和全面的反映工程现状<sup>[6]</sup>,数据获取周期短确保了地物影像的及时性和有效性。

### 2.2 成果自动生成且较为全面

无人机遥测系统自动把原始航拍影像转化成 DOM 和 DEM 数据,这类数据可以被任何专业的 GIS 和 RS 软件所读取并输出 ArcGIS、ERDAS、SocetSet 等各类摄影测量软件的可读的文件类型。通过自动将 DOM 进行切片并生成 PNG 瓦片文件和 KML 文件,这些文件就可以直接通过 Google Earth 进行浏览。无人机遥测系统可以自动生成带有纹理信息的三维模型,该过程与传统三维建模方式相比速度快、准确性高且成果方便

进行三维景观制作。通过拼接可将测区内所有数据形成一个大影像,该影像纠正了视角扭曲并与卫星遥感影像基本无差别。经复杂的处理后最终生成 DSM(数字表面模型),该模型中的每个像素都有坐标和高度值。对于 DSM 来讲,标准的 GIS 软件可以生成等高线,并同样可以进行体积、坡度和距离的测量。

### 2.3 数据准确可信度高

目前测绘用的常规无人机多为中-低空飞行器,该类飞行器的飞行高度通常在距离地面 50 米~3000 米。由于协调灵活且受天气影响较小<sup>[43,44]</sup>,无人机可在山地和丘陵等较复杂环境下正常作业,同时亦可根据雨雾等天气情况调整飞行计划。由于是低空飞行,所获取的高分辨率影像数据将具有更高的性价比。与传统的航天遥感和普通航空摄影技术相比,无人机的测量完全不会受到云层影响。扣除暴风和暴雨影响正常工作外,烈日、阴云、刮风甚至小雨等天气状况下都基本能正常和准确的进行数据采集。由于图像数据的传输实时性强,无人机能够有效的满足数据的实时性和全面性要求<sup>[45]</sup>。

### 2.4 设备成本低廉

无人机的机体本身体积小,所需的 GPS 导航技术、数码影像技术、无线电遥控技术等技术均较为成熟,普通民用单反相机即可完成对影像等数据的采集工作。随着规模化生产的逐步发展,无人机的成本将会逐渐降低。机体为模块化结构,便于灵活的进行升级或更换,维护、保养的耗费将比其它传统航测平台更低。由于设备简便易上手,因而所需要的操作人员数量就相对较少。在人员的培训上,技术越发成熟可以极大的缩短培训的周期,目前常见的普通无人机培训时间在数天至十余天左右。

### 2.5 工作效率高且连续作业能力强

无人机遥测系统具有快速处理模式,快速处理模式仅需要较低的硬件配置,数分钟内即可预览到正射镶嵌结果和 DEM 结果。凭借自带摄影和无线传输设备,无人机工作过程中只需要提前

规划好飞行线路即可。外业数据采集期间,操作人员仅需要在控制点进行辅助性控制操作,这样就可以快速准确的获取高精度的航拍数据和点云数据。对公路工程相类似的线状工程,短时间内就能获取大比例尺地形制图等所需的测量数据。无人机系统的自主航程在300km到500km之间,可在同一条公路的路线范围内多次反复航测。无人机进行中低空飞行时的空域申请较为快捷,1台无人机正常情况下仅12小时内就能精确获取约300km的线状工程航空影像。

## 2.6 环境适应能力强

实践表明,无人机机动性能极高并可灵活部署到各种测绘环境中并迅速高效的完成数据采集作业,其携带的雷达设备可穿透森林植被并根据要求获得地表信息。即使是地形条件极为复杂的环境下,无人机也能灵活机动的转场,还可以进入有人驾驶飞机所无法到达的空域、高度或高危险地区。在无专用跑道时,无人机仅需要有合适规格的平地就能起飞,同时还能采用弹射的方式起飞。由于基本不受天气影响,无人机外业工作期间只要无雨或小雨、风力不大(7级风力以下)均能正常飞行并开展测量工作,即使是严寒、酷暑条件下也能够正常开展作业。

## 2.7 操作简单且用途广

无人机操作简单且安全性高,无需专业的飞行人员操控,地面控制人员可根据需要随时发出指令改变任务规划。由于对起降场地要求低,无人机组装、调试和起飞仅需要15~30min。外业数据采集期间,每台无人机仅需要1名操作人员,所采集数据图像无需专业绘图人员绘图,依靠仪器具有的自动处理系统即可。无人机得自检功能使得它在仪器操控上具有稳定性优势,这将极大提高了故障的可控性。当无人机在工作过程中出现了故障,它会自动的返航至起点上空等待操作人员排除故障。另外,无人机可以获取多角度的影像,这在支持类似于卫星遥感的常规正射影像图基础上还同时能够支持三维建模。对于同一架无人机,通常可以搭载不同类型的传

感器,这将使得该无人机可同时兼具测量、调查、救灾和监测等功能。

## 3 公路工程领域的应用

用途的差异导致无人机所搭载的数据获取设备不同。在无人机的使用中,调查测量及状况评价类工作相比巡查及应急指挥类工作对数据获取的要求更高,因而作业过程中的工作步骤相对更为复杂。无人机工作过程中,可划分为“前期准备阶段、外业操作阶段、数据处理阶段、形成最终结果阶段”四个阶段<sup>[5]</sup>,数据采集和处理涉及的主要步骤为<sup>[13]</sup>:①飞行轨迹规划并起飞;②飞行过程中进行影像和姿态数据获取及传输;③数据接收及相应的图像数据预处理;④数字高程模型(DEM)及数字正射影像(DOM)生成;⑤在影像测量精度评价的基础完成相关调查评价工作。以上述流程为基础,实时状况巡查及应急指挥时通常更加重视现场的实时影像拍摄,其它关于数据的采集和处理步骤及设备往往要根据实际情况而定。现实中,无人机在公路领域的应用非常广泛,本研究仅对其应用比较成熟的内容进行展开。

### 3.1 水土保持

水土流失是土壤遭受侵蚀的产物并可能导致土地退化、泥沙淤积、生态恶化等问题<sup>[46]</sup>,这类现象在我国面积高达356万 $\text{km}^2$ <sup>[3]</sup>,只有做好水土保持工作才能有效的应对水土流失问题。在公路工程领域,工程的建设涉及的路堤工程或多或少的会影响自然水系,土地开挖会破坏植被并加速土壤遭受侵蚀,山区公路的隧道开挖和路堑开挖等产生弃渣(废弃渣土)的堆放<sup>[13]</sup>,这些问题都极易导致土壤遭受侵蚀并发生水土流失等问题。水土保持的主要关注对象为土壤侵蚀及治理,这也就是“土壤侵蚀定量调查”工作倍受关注的原因所在<sup>[47]</sup>。引起土壤侵蚀的因素包括自然因素和人为因素,前者包括气候、植被(土地覆盖)、地形、地质和土壤等,后者包括土地利用(如耕地、放牧等)、开矿和修路等。在水土保持

的相关工作中,土壤侵蚀量估算的因子指标主要包括降水、地形或坡度、沟谷密度、植被盖度、成土母质及侵蚀防治措施等。实际工作中,通常利用地面观测、调查、遥感解译和模拟计算等技术手段,在坡面、小流域和区域尺度上进行周期性或连续采集土壤侵蚀因子(模型参数)、类型(包括沉淀)、强度和治理状况(措施和效益)等相关的信息的工作<sup>[47]</sup>。在常规的水土保持相关测量中,不同水土保持措施以及水土流失面积的测量工作主要借助于手持GPS、激光测距仪、皮尺等测量设备,当项目监测区范围较大或监测周期短的监测项目通常很难采集到全面准确的水土保持监测数据。在已有水土保持研究及调查中<sup>[48]</sup>,野外实验和巡查法、径流小区观测法、桩钉法、沉沙池法等传统水土保持研究调查方法面临了人为干预性大、密度限制和工程扰动等问题,而卫星遥感则常常面临云层遮挡、同谱异物、异谱同物等不利因素。近年来,无人机遥感技术在水土保持方案编制、规划调查、动态监测、项目验收评估及水土流失灾害调查等工作中都得到了广泛应用<sup>[1,5]</sup>,它已经逐渐成为了土壤侵蚀调查的重要信息来源方式<sup>[6]</sup>。无人机所获取的低空0.05~0.5m分辨率影像为后期的数据处理提供了保障<sup>[1]</sup>,这极大的提高了水土保持方案编制、评价和监管的效率和质量<sup>[49]</sup>。由于无人机低空、低速条件下拍摄的照片真实、直观且实时性高,这极大的充实了包括土壤侵蚀类型、强度、程度以及地形、植被、管理措施等土壤侵蚀因子在内的GIS系统本底数据库的数据源。综合已有工程案例<sup>[3,13,24,42]</sup>，“宏观、快速、动态和经济”等特色是无人机遥测技术被引入至公路病害检查领域的根本原因,即无人机实时数据的快速获取提高了效率、数据精确提升了科学性且及早发现隐患实现了预警作用。

### 3.2 养护检查

无人机搭载相关设备进行公路工程的养护检测,可及时准确、快速、直观的获取各类信息,这使得公路桥梁的多元化、精细化养护管理变得

更加简便高效<sup>[12]</sup>。养护检测实践表明<sup>[12,22]</sup>,无人机搭载检查设备可以在高空任意点悬停,通过摄像和检测系统对特定对象进行摄像及采集数据。在工程实践中<sup>[11]</sup>,无人机图像与地面DEM等资料相结合可有效的构建面向道路、桥梁信息的智能化提取与变形监测,通过对高分辨率图像上地物对象进行特征建模<sup>[18]</sup>和影像的多尺度分割与多特征识别等关键技术构建智能信息提取模型,最终完成对路桥关键目标信息的高精度提取与变化检测。在桥梁(特别是大型和特大型)的检查中<sup>[12]</sup>,无人机搭载的高清摄像机可以快速准确的采集桥梁节点板、底面、斜拉索、主塔等桥梁构件的图像及其它信息,而机载红外热成像仪则可以对大桥主桥斜拉索、主塔等构件的热成像数据进行快速采集并利用红外热成像温度的突变等特征识别破损等病害。在对公路的高边坡及桥梁墩台等构造物的检测中<sup>[22]</sup>,无人机搭载摄影及其它检测设备对构造物进行快捷的观测和检查,及时获取滑坡、垮塌等灾害发生前的详细迹象并协助采取安全措施来应对安全隐患进而避免重大事故。随着计算机视觉技术的不断发展,公路工程的病害识别图像也将逐渐的得到累积,这将有助于建立基于无人机技术的目视解析病害特征基础数据库。当公路工程典型病害样本库的积累足够完善时,基于无人机的公路病害自动识别甚至预测功能都将得以实现,即基于无人机的计算机视觉智能识别系统的框架体系的完善将逐步推动无人机的自动化和智能化。综合已有工程实践<sup>[9,11,12,18,22,50,51]</sup>,全面细致、不影响交通、作业效率高、作业成本低和安全性是无人机遥测技术被引入至公路养护检查领域的根本原因,它将为公路病害调查、损失快速评估及修复提供高精度、实时和灵活的信息。

### 3.3 质量检查及现场管理

无人机具有机动灵活且快速高效的特点有助于开展线状工程的质量检查及施工管理。绿化工程是公路工程建设的重要组成部分,无人机搭载拍摄装置可对其进行快速检查和质量核

实<sup>[7]</sup>,即通过开展不同尺度的整体调查(普查并识别未绿化或效果较差的部位)和局部样方抽查(布设样方,调查样方里的绿化覆盖度)实现公路绿化效果的快速检定。施工现场车辆的运动、机械设备的振动和刮风等都会导致扬尘,征收施工扬尘排污费是一种常见的惩处措施。关于征收施工扬尘排污费,施工场地的面积、散体物料堆放苫盖、工地周边围挡、出入车辆冲洗设施、施工现场地面硬化等需要准确及时的掌握,而类似于拆迁现场等的土方施工工地、湿法作业等施工工地控尘措施落实情况也需要及时核查,这些关键指标都可以利用无人机技术快速、准确、有效的快速获取<sup>[23]</sup>。结构复杂和规模较大的桥梁工程施工建设经验表明<sup>[52]</sup>,露天高空和深水作业都常常带来许多的观察盲点(如桥体桩基、承台侧面等区域),而通过无人机的引入开展施工现场全要素的信息及三维空间数据采集能够充分展现近水区域、桥墩下部等人员不便到达区域的环境及工程情况,这为施工现场的管理提供了有效的指导。综合已有工程实践<sup>[21,52]</sup>,工程质量及现场管理中无人机的应用主要是因为其数据采集的快速高效、全方位、多角度和实时性等特点。

### 3.4 勘测及调查选线

公路类带状地形图测量的主要方法为全站仪测量法、GNSS RTK 测量法、传统航空测量法,但这些方法都面临了诸多问题<sup>[18]</sup>:全站仪测量及GNSS RTK 测量需要投入大量人力且劳动强度和危险性高,尤其是在地形破碎和建筑密集地区难以测量。传统航空测量技术对天气和机场条件的依赖性较大,该技术虽然成熟但面临了作业成本高和摄影周期长等问题。工程实践表明,携带单台普通数码相机的无人机在路线测量和调绘等工作中极大的提高了工作效率<sup>[53]</sup>,搭载传感器的无人机摄影测量系统具有成本低、易推广、轻便灵活、不需要专用机场等显著优点<sup>[15]</sup>。无人机系统航测可以在最低云下飞行且不受机场限制,所采集数据的清晰度高、分辨率高和及时性强最具优势,这极大的弥补了大飞机航测的不足。在

公路地形测量过程中,常见的主要步骤包括“像控点布设与相机检校、航空摄影、正射星图制作、可视模型制作”<sup>[54]</sup>,路线调查过程采集到的数据可用以提供驻地、拌合站、预制场、取(弃)土场及石料场等的场地的选定,征地拆迁房屋、林木等的拍摄及征地范围的识别和预评估,安全隐患点的识别和预警<sup>[50]</sup>。由于操作方便和转场容易,无人机航测在危险区域的测绘和快速调查等表现出了明显的优势,如开展人员和设备都很难接近的崩塌滑坡灾害情况调查等。随着数码摄像技术和GPS动态定位技术精度的逐渐提高,设计单位将逐步结束依靠单纯野外勘测进行数据采集的历史,其中传统的道路平、纵、横测量将逐渐被取代<sup>[15]</sup>。综合已有工程实践<sup>[16,54]</sup>,无人机航测技术以其高分辨率、高几何精度、操作灵活、低成本的特点成为公路测量及调查选线的重要组成部分,这已成为传统航空摄影测量等技术的有效补充和延伸甚至替代。

### 3.5 巡查及应急指挥

反应迅速、功能灵活多变、不占用道路资源且效率高、低风险等优点的无人机信息化平台是高速公路快速、安全、舒适的重要支撑<sup>[26]</sup>。在营运公路的管理中,无人机可不受地形限制和交通堵塞影响直接进入封闭的高速公路上空进行观测。在日常路况巡查中,大型固定翼无人机可以搭载高清数字化摄像头对地面进行实时拍摄和录像并协助传播交通信息和响应突发事件,往返全程可以在无需人工干预的条件下自动完成。当交通突发事件(如恶劣气象、突发地质灾害、重大恶性交通事故、火灾和公路损毁、中断、阻塞等)出现时,固定翼无人机可以第一时间直接飞往事发地现场并从空中将现场的视频传输给道路指挥和调度中心并为监控取证、调度救援人员和设备提供支撑,交通管理人员可以通过旋翼无人机搭载喊话器、警报器和交通指挥信号灯等到达现场执行调度和疏导等指挥任务。当事故逃逸、闯卡等恶劣违章违法行为出现时,搭载视频传输系统和全球定位系统的无人机可以对

肇事车辆进行跟踪和定位并引导执法人员拦截和处置,这可以有效避免执法车辆直接在高速公路上对肇事车辆进行追逐拦截造成的危险。另外,在交通事故现场的救援中,旋翼无人机可避开拥堵的车流和人群直接降落到现场投送急需的物资和器具,大型的旋翼无人机甚至可以通过救生吊篮等设备直接将伤势较重的人员转移到医疗环境好或可以快速转移的地点争取抢救时间。在2012年2月的春运期间,广东省深圳交警就成功利用了多旋翼无人机在高速公路易拥堵点开展定点悬停监测、路况播报和协助疏导并取得理想效果<sup>[31]</sup>。综合已有成功案例<sup>[9,25,26]</sup>,无人机在高速公路巡查及应急指挥中广泛应用的根本原因就在于其机动灵活、视野全面、速度快、航程远、不占用道路资源等特点,能够直观、准确地反映事件现场及处置过程。

#### 4 结语

随着科技的快速发展,远程遥控、数据采集、数据处理和可视化等技术与无人机飞行技术实现了极好的融合并诞生了无人机的遥测技术。该技术操作简单、成本低廉、工作效率高、环境适应能力强,其结果具有数据精度高、自动化程度高、信息可信度高等优点。公路工程属于典型的线状工程,该类工程具有路线长和信息量大等特点。针对此类工程,具有工作高效快速且数据实时性强等优点的无人机遥测系统表现出了极大的优势,它已逐渐成为了传统航空摄影测量等技术的有效补充和延伸甚至替代。随着研究和工程实践的不断深入,无人机遥测系统已经被广泛运用于公路工程的水土保持、地形勘测及调查选线和质量检查及现场管理等,而建成后的公路工程养护检查和巡查及应急指挥也成为了无人机遥测系统的应用领域。综合公路工程领域的已有经验,无人机遥测技术全面细致、不影响交通且不占用道路资源,提高了工作效率、数据精确性、实时性和预警性,能够直观、准确地反映施工和应急现场的全过程。鉴于无人机遥测技术的

工作效率高这一特点,它将有希望成为广东省公路工程领域工作量剧增背景下的重要技术支撑。随着无人机技术、信息获取技术和计算机处理技术的不断发展,基于无人机的遥测技术在公路工程领域的应用将越来越广泛,甚至有可能对现有成熟技术进行部分甚至局部工作的全替代。

#### 参考文献:

- [1] 张玉茜. 无人机摄影测量技术在水土保持学科的应用[J]. 科技资讯. 2015, (20): 191-192.
- [2] 宋月君,周春波,廖凯涛. 无人机遥测系统在水保监测中的需求分析与引进探讨[J]. 水土保持应用技术. 2016, (5): 24-27.
- [3] 赵俊华,朱艳华. 无人机遥感在水土保持领域的应用[J]. 人民长江. 2017, (12): 33-35.
- [4] 刘昌军,郭良,兰驷东,等. 无人机技术综述及在水利行业的应用[J]. 中国防汛抗旱. 2016, 26(3): 34-39.
- [5] 孙洋. 无人机遥感技术在水土保持监测中的应用[J]. 水利规划与设计. 2017, (6): 89-92.
- [6] 王志良,付贵增,韦立伟,等. 无人机低空遥感技术在线状工程水土保持监测中的应用探讨——以新建重庆至万州铁路为例[J]. 中国水土保持科学. 2015, (4): 109-113.
- [7] 胡健波,刘长兵. 公路绿化效果快速检定技术[J]. 交通建设与管理. 2015, (12): 13-15.
- [8] 刘宇. 无人机系统在线性工程测量中的应用(硕士学位论文,导师:邹自力)[D]. 抚州:东华理工大学, 2014.
- [9] 黄海峰. 无人机在公路养护巡查中的应用前景展望[A]. 见:2014全国公路养护技术学术年会论文集路面卷[C], 中国:江苏南京: 2015.
- [10] 常德强,黄海峰. 小型无人机在公路巡查中的应用前景展望[J]. 科技视界. 2014, (20): 319-320.
- [11] 陈显龙,陈晓龙,赵成,等. 无人机在路桥病害检测中的设计与实现[J]. 测绘通报. 2016, (4): 79-82.
- [12] 邹露鹏,范钟倩. 微型无人机在公路桥梁养护检测工程中的应用[J]. 公路. 2017, (7): 172-175.
- [13] 林家元,王枚梅,王志良. 无人机遥感技术在山区铁路弃渣场建设与使用状况调查中的应用[A]. “川藏铁路建设的挑战与对策”2016学术交流会议论文集[C]. 中国:四川成都, 2016.

- [14] 陈科明. 无人航测技术在道路勘测中的应用研究[J]. 测绘技术装备. 2015, (2): 19-21.
- [15] 康传佳. 小型无人机助力公路工程测量[J]. 中国公路. 2011, (19): 120-121.
- [16] 李辉. 无人机航测在高速公路勘测中的应用及经济性分析[J]. 价值工程. 2016, (25): 259-261.
- [17] 李兴华, 罗秀兰, 龚绪才. 无人机航测技术应用于公路崩滑陡峭地段测量分析[J]. 公路交通技术. 2012, (4): 49-53.
- [18] 史华林. 无人机航测系统在公路带状地形测量中的应用[J]. 测绘通报. 2014, (6): 60-62.
- [19] 吴磊, 金伟娜, 燕樟林. 无人机摄影测量在公路选线上的应用研究[J]. 大坝与安全. 2012, (02): 35-38.
- [20] 黄裕婕, 沈毅. 公路路域生态环境遥感调查运行系统的初步建立[J]. 公路交通科技(应用技术版). 2010, (10): 347-349.
- [21] 胡健波. 3S技术在公路环评中的应用[J]. 环境影响评价. 2017, (3): 56-60.
- [22] 刘晓东, 刘玲, 杨璇. 无人机数据采集系统在公路养护中的应用展望[J]. 公路交通科技(应用技术版). 2015, (4): 16-17.
- [23] 城市环境与城市生态. 无人机技术在天津市施工扬尘管理中的应用[J]. 城市环境与城市生态. 2015, (3): 47.
- [24] 柯妍, 郭晞尧, 沈波. 遥测技术在大中型生产建设项目监督管理中的实践应用及体会[J]. 中国水土保持. 2016, (6): 71-73.
- [25] 申雷霄, 刘军. 基于无人机公路应急处置的研究[J]. 电子世界. 2017, (12): 131-133.
- [26] 陈雷. 无人机在交通应急指挥领域的应用[J]. 中国交通信息化. 2014, 23(4): 128-130.
- [27] 张海涛, 张戎, 顾传焱. 无人机在公路应急指挥中的应用与选型[J]. 科技风. 2017, (04): 5.
- [28] 中国交通新闻网. 广东:2017年高速通车总里程将达8000km[Z]. 2016, <http://www.chinahighway.com/news/2016/1047343.php>.
- [29] 李红中, 马占武, 张修杰, 等. 广东省软土分布特征及其对高速公路路基影响的预测研究[J]. 广东公路交通. 2016(06): 43-50.
- [30] 李红中, 张修杰. 软土成因、特性及其公路路基勘察关键技术的研究进展[J]. 西南公路. 2016(03): 9-13.
- [31] 宋世伟. 小型无人机高速公路监控系统应用研究(硕士学位论文, 导师: 王明生)[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2014.
- [32] 李南南. 无人机着陆点的地貌分类特征识别技术研究(硕士学位论文, 导师: 李忠海)[D]. 沈阳: 沈阳航空工业学院, 2010.
- [33] 孙绍红. 无人机, “尖兵之翼”[J]. 世界知识. 2015, (6): 64-65.
- [34] 陶于金, 李沛峰. 无人机系统发展与关键技术综述[J]. 航空制造技术. 2014, (20): 34-39.
- [35] Wehr A, Lohr U. Airborne laser scanning - an introduction and overview[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 1999, 54(2-3): 68-82.
- [36] 来丽芳, 郭伟, 徐攻博. 浙江省无人机测绘应用现状分析[J]. 大坝与安全. 2010, (6): 38-39.
- [37] 雷添杰, 李长春, 何孝莹. 无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J]. 自然灾害学报. 2011, 20(1): 178-183.
- [38] 万仕平, 王洪生, 罗沅. 浅谈低空数码航空摄影在线路测量中的应用[J]. 天然气与石油. 2008, 26(4): 61-64.
- [39] 松辽水利委员会, 松辽流域水土保持监测中心站. 无人机遥测技术在水土保持监管中的应用[J]. 中国水土保持. 2015, (9): 73-76.
- [40] 毕凯, 李英成, 丁晓波, 等. 轻小型无人机航摄技术现状及发展趋势[J]. 测绘通报. 2015, (3): 27-31.
- [41] 张浩, 王树东, 杨永兴, 等. 无人机航测技术在高速公路勘测及辅助选线中的应用[J]. 工程勘察. 2015(09): 90-94.
- [42] 文雄飞, 张穗, 张煜, 等. 无人机倾斜摄影辅助遥感技术在水土保持动态监测中的应用潜力分析[J]. 长江科学院院报. 2016, 33(11): 93-98.
- [43] 邱晓红, 景华. 无人机系统技术发展趋势[J]. 航空科学技术. 2000, (1): 28-30.
- [44] 金伟, 葛宏立, 杜华强, 等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感信息. 2009, 22(1): 88-92.
- [45] 韩杰, 王争. 无人机遥感国土资源快速监察系统关键技术研究[J]. 测绘通报. 2008, (2): 4-6.
- [46] 张平仓, 程冬兵, 丁文峰. 长江科学院水土保持专业研究进展[J]. 长江科学院院报. 2015, 32(3): 1-6.
- [47] 杨勤科, 赵牡丹, 刘咏梅, 等. DEM与区域土壤侵蚀地形因子研究[J]. 地理信息世界. 2009, 7(1): 25-31, 45.

[48] 梁志鑫,卢宝鹏,张焘. 无人机技术在生产建设项目水土保持监测中的应用[J]. 吉林农业. 2010, (9): 137-155.

[49] 王新,陈武,汪荣胜,等. 浅论低空无人机遥感技术在水利相关领域中的应用前景[J]. 浙江水利科技. 2010, (6): 27-29.

[50] 严恒,王嘉嘉. 无人机在公路工程项目管理中的应用探讨[J]. 西部交通科技. 2016, (8): 109-112.

[51] 张文. 如何应用无人机数据采集系统来开展公

路养护工作[J]. 江西建材. 2016, (18): 156-157.

[52] 耿小平,王波,马钧霆,等. 无人机倾斜摄影测量技术在桥梁施工现场中的应用研究[J]. 现代测绘. 2017, (4): 27-31.

[53] 张惠均. 无人机航测带状地形图的试验及分析[J]. 测绘科学. 2013, 38(3): 100-101.

[54] 罗国坤. 无人机航测在公路地形测量中的应用[J]. 黑龙江科技信息. 2016, (27): 15.

## 2017 年度技术质量分析会 暨美澳旅游公路考察报告会报道

2018 年 1 月 22 日下午,公司在广州嘉鸿华美达酒店召开了以“找不足、练内功、增强责任意识,提升设计质量”为主题的 2017 年度技术质量分析会暨美澳旅游公路考察报告会,会议由梁立农总工程师主持。参加会议的有黄湛军总经理,李琴、田可耕、刘桂红副总经理,公司副总工程师,生产部门、分公司、和立公司及翔飞公司领导,职能部门(人力资源部、生产经营部、行政事务部、信息管理部、研发中心)负责人,公司设计技术人员等,姜启珍副总经理率长沙分公司技术人员参加了视频会议。这是公司历史上规模最大的技术质量分析会,充分说明了技术质量工作的重要性。

会议首先分享了以“梦幻海岸线,美好滨海路”为主题的美澳旅游公路考察视频报告;然后听取了王强副总工程师以“责任与质量”为主题的国家、行业及公司有关工程质量的法规及制

度,公司质量管控体系及设计文件归档要求质量分析报告;梁志勇副总工程师以“总结、思考、提高”为主题的道路、勘测等专业质量分析报告;王景奇副总工程师以“坚守设计安全底线,不断提高设计水平”为主题的桥梁、隧道专业质量分析报告;观听了彭向荣首席副总工程师以“美澳公路环境协调性”专题技术质量报告。梁立农总工程师对公司 2017 年度技术质量工作进行了总结,对增强责任心、提升设计质量提出了要求。黄湛军总经理对企业责任心、个人责任心、技术质量工作进行了重要讲话,并指出了下一步改进加强的方向。(图片见封二)

会议认为,公司整体质量稳定,打造了一批有影响力的品质工程,取得了良好的社会效益和经济效益,公司综合竞争力不断增强。参会人员反响热烈,大会达到了预期效果。

(刘祥兴 报道)

# “广东省公路越岭隧道水文地质勘察技术规定研究” 项目成果验收会报道

“广东省公路越岭隧道水文地质勘察技术规定研究”是2012年立项的广东省交通运输厅科技项目,编号为科技-2012-02-027,由广东省交通规划设计研究院股份有限公司、长沙矿山研究院有限责任公司共同承担研究任务。项目研究主要完成了如下研究内容:

(1)对我省的水文地质情况进行总结研究,针对不同的地形、含水层性质、范围、以及与周边的生态环境联系情况等特点,划分成不同的区域,针对不同的区域制定有针对性的勘察方案,为公路越岭长大深埋隧道工程可行性勘察提供初步依据;

(2)根据现有的工程勘察资料及工程实践,全面总结各种勘察方案在我省公路越岭隧道建设中的适用效果,重点评价遥感方案与钻探法及工程物探的联合使用情况,以及物探中常用的地质雷达、高密度电法、浅层地震以及声波电磁波孔间透视、CT层析法的应用效果,得出各种方法的适用性;

(3)根据不同的隧道类型,穿越不同的水文地质区域时,在遥感方案指导下的钻探与物探网络的布设方式,以及所得到的水文地质报告对工程的应用效果,得出不同类型隧道,在不同水文地质条件下的勘察方案。

(4)针对各种勘察方法的适用性,对隧道工程的可行性勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察等四个阶段,对不同类型的隧道工程,提出最优化的综合勘察方法和技术要求,指导勘察技术应用,提出适宜我省的水文地质勘察方法;

(5)对各种勘察方法的成果要求,勘察结论提出明确的要求规定,规范我省水文地质勘察技术工作。

2018年1月9日,广东省交通运输厅在广州组织召开了本项目的成果验收会议,省交通运输厅相关人员及领导,项目验收组专家,特邀嘉宾以及项目完成单位代表参加了会议。

项目验收专家组由来自国内相关专业的知名专家组成,主任由中山大学邹和平教授担任,成员有广东省地质学会林希强教授级高工等。验收专家组在认真听取了项目组的汇报,审阅了相关资料,经质询和讨论,形成如下验收意见:

一、项目组提交的验收资料齐全,符合项目验收要求。

二、课题组在广泛调研和资料收集的基础上,重点依托汕头至湛江高速公路揭西大溪至博罗石坝段东岭隧道、梅州至龙岩高速公路圣人山隧道、江门至罗定高速公路三岔顶和王北凹隧道和广东省连州(湘粤界)至怀集公路项目跑石界隧道等项目,对广东省越岭隧道工程地质勘察技术进行了系统的总结,并开展了野外调查、工程验证及室内整理等工作,具体工作内容涉及:根据水文地质特征进行了水文地质分区、总结了广东省现有隧道勘察方法的特点及适用范围、验证并制定了针对性的勘察技术方法、制定了各种勘察方法的工作布置原则、制定了勘察工作各个阶段的资料整理要求。

三、研究成果除了在依托工程中开展应用外,还在广东省内多个高速公路工程的隧道勘察中进行了广泛的应用和验证,工程实践结果表明:本项目研究成果可行性强、提升了生产效率并节约了成本。

四、在完成了项目任务书规定内容的同时,本研究取得如下成果:

1、提出了广东省公路勘察中可行性研究勘

察、初步工程地质勘察、详细工程地质勘察和施工勘察各阶段的越岭隧道水文地质综合勘察方法体系,操作性强;

2、对广东省水文地质条件及其相关的影响因素进行了综合分析,建立广东省典型地质条件下的地下水富集部位及公路越岭隧道地下水富集及危害性的量化预判指标体系、公路越岭隧道水文地质条件发育的复杂性判别指标体系,提出了隧道水文地质灾害类型的针对性勘察手段,取得了较好的应用效果;

3、对广东省公路越岭隧道水文地质相关的各种勘察技术特点及其适用性进行了研究,编制完成了《广东省公路越岭隧道水文地质勘察技术指南(初稿)》,针对性强。

五、推广应用价值:研究成果达到了推广应

用的要求,相关技术可应用于指导越岭隧道的水文地质勘察工作。

综上所述,项目组已完成了任务书(合同)规定的任务,验收组一致同意项目通过验收。



(刘祥兴 报道)

## 第三届全国水下隧道建设与管理交流会 暨厦门海沧隧道技术考察报道

由中国公路学会主办的第三届全国水下隧道建设与管理交流会于 2017 年 12 月 19 日在厦门召开。会议由中交第二公路勘察设计研究院有限公司、厦门路桥建设集团有限公司联合主办,会议还得到了福建省交通运输厅、福建省高速公路集团有限公司、福建省高速公路学会、福建省交通协会、中国公路学会工程设计分会、中国公路学会隧道工程分会、中铁隧道集团有限公司、中铁一局集团有限公司以及中铁十八局集团有限公司的支持。

中国工程院院士钱七虎、福建省交通运输厅副厅长陈培健、中交第二公路勘察设计研究院有限公司总经理杨忠胜、厦门路桥建设集团有限公司副总经理兼总工程师曾超、招商局重庆交通科研设计院有限公司总经理助理吴梦军等出席了会议开幕式。14 位来自各个领域的专家学者在

一天半的会期内与近 300 位代表就水下隧道这一主题深入交流,会后赴厦门海沧隧道 A1、A2 标段实地考察施工现场。

大会开幕式由中国公路学会副理事长兼秘书长刘文杰主持,福建省交通运输厅副厅长陈培健为大会致欢迎词,介绍了福建省交通发展情况,特别是在隧道建设方面所取得的成绩。中交第二公路勘察设计研究院有限公司总经理杨忠胜就二院在隧道领域的技术优势以及参与的重点项目做了着重介绍。中国公路学会理事长翁孟勇在随后的讲话中指出随着城市的发展,还将有一大批技术挑战更高的水下隧道项目,以此为契机召开水下隧道主题的交流会有助于新技术、新工艺、新材料的发展与交流。

本次交流会观摩的海沧隧道长 6.3km,跨海域长度为 2.8km,采用钻爆法暗挖三孔隧道方

案,为国内第三条跨海隧道、厦门第二条跨海隧道。

海底隧道是在海底建造的连接海峡、海湾两岸的通道。目前,全世界已建成和计划建设的海底隧道主要分布在中国、日本、美国、西欧国家。从工程规模和现代化程度看,当今世界最有代表性的跨海隧道工程,主要有中国厦门翔安隧道、青岛胶州湾海底隧道、汕头海湾隧道、港珠澳大桥海底隧道、香港海底隧道、英法海底隧道和日本青函隧道等。

水下隧道是一项建设条件复杂、技术含量高

的系统工程,必须加强关键技术研究,提高勘察设计水平,科学严格地进行施工组织与施工管理,才能交出一份对得起国家、对得起历史后代的答卷。

广东省岛屿众多、水系发达,随着交通事业的进一步发展,水下隧道必将迎来一轮新的发展高潮。我院作为广东省交通勘察设计的领头羊,有必要未雨绸缪、提前规划,尽快加强相关水下隧道勘察设计技术储备和人才储备。力争在水下隧道市场占有一席之地。

(温玉辉 报道)

## 中国测绘地理信息学会奖励申报 及相关问题研讨班报道

近年来,随着我国测绘地理信息事业的飞速发展,测绘地理信息科研项目、科技成果、重大工程项目以及新仪器新装备等软硬件产品倍增,各测绘地理信息单位科技创新能力和重大测绘工程项目的攻坚克难能力和水平有了极大的提高。申报各种奖项的热情和项目数量呈急剧增加之势。

与申报各种奖项热情和数量成反比的是,除个别高校和国家级科研院所外,绝大部分申报单位,特别是省市级单位,由于科技创新和工程项目亮点凝练总结不到位、材料撰写不规范和不得章法、佐证材料选取分量不足不全、不了解项目评审流程和评分指标等原因,绝大部分项目没能获得高的、理想的奖项。此次培训研讨班的举办,就是为了弥补这一不足,提升各单位奖励申报的能力和水平。

本次培训邀请了国家奖励办有关部门的领

导、国家测绘地理信息局有关部门的领导、专家,包括国家测绘产品质量检验测试中心主任张继贤、中国测绘地理信息学会副秘书长马振福、国家光电测距仪检测中心主任齐维君、国家测绘科技信息研究所赵俊红。课程主要介绍了国家测绘地理信息科技政策及重大科技活动;中国测绘地理信息学会科学技术奖励设置及办法、各奖项获奖指标、评审程序、评审标准、评审条件及规则、国家测绘地理信息科技工作的政策、目标及措施、各奖项《申报推荐书》的填写要求、注意事项及往届申报推荐中出现的问题和误区等;介绍了测绘仪器(装备)、技术、软件的检验检测与评价、科技创新点的查询及注意事项等;介绍了测绘地理信息工程和产品质量检验内容与评价方法等。

(汤敏 报道)

## 中国钢结构协会钢—混凝土组合结构分会 第十六次学术会议报道

钢—混凝土组合结构由于其优良的施工性能及经济性能在多、高层建筑、工业厂房、轨道交通及桥梁结构中得到广泛应用。由中国钢结构协会钢—混凝土组合结构分会主办的第十六次学会会议与 11 月 24 ~ 26 日在北京召开,大会举行了终身成就奖及杰出贡献奖颁奖仪式及沈祖炎院士纪念仪式,并进行了组合结构的主题报告。大会吸引了相关高等院校、设计单位及施工单位等共 500 余人参加。

本次会议主要议题包括:钢—混凝土组合结构的应用进展;钢—混凝土组合构件、节点和结构体系研究的新进展;钢—混凝土组合结构的受力性能研究;钢—混凝土组合结构抗震评估、加固;钢—混凝土组合结构健康监测、诊断与加固;钢—混凝土组合结构设计、规程、规范讨论;钢—混凝土组合结构的施工;钢—混凝土组合结构设计、加工和施工企业重要难点问题;其他有关钢—混凝土组合结构和混合结构的问题。

会议分主旨报告、特邀报告及分会报告三

种形式。其中主旨报告由周绪红院士及聂建国院士主持报告。两位院士分别报告了组合结构在索塔锚固结构中的应用及钢板—混凝土组合结构体系研究的进展。特邀报告报告了空间钢管混凝土结构理论研究、部分填充钢—混凝土构件和结构的研究及应用、组合结构在我国高层建筑中的研究、地铁车站盖上墩台结构设计案例、核电厂 SRC 主厂房结构抗震性能试验研究及理论分析、高层建筑组合结构高效抗震体系及工程应用、装配式钢管混凝土组合异形柱结构体系进展及应用、基于全寿命周期的现代钢管混凝土结构理论研究新进展、钢管再生混凝土长期性能关键问题研究、钢—砼薄壁构件扭转和屈曲的板—梁理论研究进展、预制装配型钢混凝土组合结构受力性能试验研究等。分会报告分别报告了钢—混凝土组合结构的抗剪受压等受力性能研究、抗火抗震性能、疲劳性能、收缩徐变特性、节点连接等相关领域的应用及研究进展情况。

(彭李立 报道)