

# 广东公路勘察设计

(季刊)

2011 年 12 月 30 日出版

2011 年第 4 期  
(总第 144 期)

内部资料 免费交流

登记证编号: 粤内登字〇第 10427 号

## 编辑委员会

主任: 李江山  
副主任: 梁立农 王 强  
委员: 谢伟强 彭向荣 张敬沛  
陈潮锐 孙向东 张修杰  
王景奇 陈新富

主编: 梁立农  
副主编: 王 强  
责任编辑: 胡 浩  
编 辑: 《广东公路勘察设计》编辑部

主办主管: 广东省公路勘察规划设计院  
股份有限公司  
出版: 广东省公路勘察规划设计院  
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: huhao2001@yahoo.com.cn

印刷单位: 广州广卫印刷厂  
封面: 高赞大桥

# 目 次

## 桥梁工程

- 江肇西江大桥总体设计和关键技术研究 ..... 孙向东 陈枝洪(1)  
复合材料钢桥面铺装结构的试验研究 ..... 全瑞金 李 颖(7)  
闭口薄壁杆件受碰撞的振动方程求解 ..... 徐中山(11)

## 道路工程

- 广深高速公路太平立交左出匝道改造方案设计 ..... 邝清娴(14)  
佛开高速公路改扩建路面施工交通组织 ..... 占 辉(18)

## 隧道工程

- 合口隧道塌方治理 ..... 梁淦波(22)  
茅田界特长公路隧道通风方案设计 ..... 金文良(26)

## 工程勘察

- 二广高速公路怀集至三水段楠木坑隧道围岩分级评价 ..... 刘晓锋(32)

## 工程经济

- 公路建设管理模式的几个经济学问题 ..... 陈潮锐 陈晓宇(37)

## 信息专栏

- 公路勘测疑难问题解答及新技术使用研讨会在南京市举办 ..... (41)

- 全国公路工程地质科技情报网 2011 年技术交流会报道 ..... (41)

- 2011 年四省二区特大型桥梁学术交流会 ..... (43)

- 高速公路机电设备维护与标准化管理培训班报道 ..... (44)

- 公路桥梁、隧道工程施工安全风险评估与安全生产管理 ..... (45)

- 新技术培训班报道 ..... (45)

- 汶川地震灾后重建项目现场研讨班报道 ..... (45)

- 节能减排评估师岗位能力培训班简讯 ..... (46)

- 设计代表知识讲座专题报道 ..... (46)

- 公路建设工程设计程序基础知识培训专题报道 ..... (47)

- 大型复杂结构抗震分析的随机振动方法讲座专题报道 ..... (48)

- 2011 版《公路水泥混凝土路面设计规范》宣贯培训班报道 ..... (49)

- 2011 版《公路水泥混凝土路面设计规范》宣贯培训班报道 ..... (49)

# 江肇西江大桥总体设计和关键技术研究

孙向东

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**本文介绍江肇高速公路西江大桥主桥矮塔斜拉桥设计,该桥采用四塔五跨矮塔斜拉桥体系,初步探讨矮塔斜拉桥合理成桥状态,系统研究超宽断面合理构造措施和与之适应的空间设计方法,清晰认识宽幅脊梁剪轴力滞、腹板受力不均匀性、超长翼板横向受力性能和后浇翼板加劲肋桥面系联合作用机理,从而兼顾结构纵、横向受力特征,确保构造精当和成桥受力状态的合理性。

**关键词:**矮塔斜拉桥;宽幅脊梁;剪轴力滞;空间设计方法

## 1 工程简介

江肇西江大桥是江门至肇庆高速的一座特

大桥梁,在肇庆市沙浦镇和永安镇之间跨越西江水道。主桥采用矮塔斜拉桥方案(效果如图1),引桥采用30m、35m预制拼装小箱梁。



图1 江肇西江大桥鸟瞰效果图

桥位处江面宽约800m,水深1.4~21.5m,设计流速4.2m/s,覆盖层厚20m左右,基岩为灰岩和炭质灰岩。桥址区属亚热带季风气候,年平均气温21.8~23.2℃,多年平均降雨量1835mm,年平均相对湿度80.6%左右,多年平均台风袭击约1~4次,设计基准风速31.3m/s。

主要技术标准为:双向六车道高速公路,主桥两侧各设1.5m宽人行道;公路I级设计荷载;计算行车速度100km/h;地震动峰值加速度0.05g;通航净高22m,双孔单向通航净宽180m。

## 2 桥型概念设计

江肇西江大桥受通航净空控制,主孔跨径不应小于210m;同时受江堤限制,主跨不应小于三孔,由此形成大跨、多孔、长联和宽幅的结构特点。在该工程条件下,连续刚构、矮塔斜拉桥和常规斜拉桥均是可行桥型方案。由上述方案深

入比选后可知,大跨连续刚构因全寿命期内长期受力性能和经济性能相对较差,被首先排除;而对于多塔多跨结构体系,考虑到为保证常规多塔斜拉桥中塔变形和整体刚度,需采取特殊措施。综合比选后,主桥最终选择受力最佳、美观经济的矮塔斜拉桥。综合结构受力、运营养护和船舶撞击等因素,采用墩、塔、梁固结体系,桥跨布置为128m+3×210m+128m,桥型布置如图2。

## 3 主桥结构设计

### 3.1 主墩和基础

综合温度、混凝土收缩徐变、预应力次内力及船舶撞击等影响,29~32号主墩采用差异设计,即受撞概率较大、位于中间30和31号两个主墩采用单肢箱室主墩,外侧29和32号两个受纵向力较大的主墩采用双肢实心主墩,从而在纵向主墩刚度和防撞能力间取得协调;双肢

实心主墩间用一块2cm厚橡胶板分隔,兼作施工模板,确保主墩纵向柔度,同时使各主墩外观保持一致。

主墩采用圆端形承台,承台厚7.0m,封底混

凝土厚度可根据施工阶段套箱内外水头差和施工荷载适当调整。主墩基础各采用12根 $\phi 3.0\text{m}$ 大直径桩基,均按嵌岩桩设计。主墩和基础构造如图3。

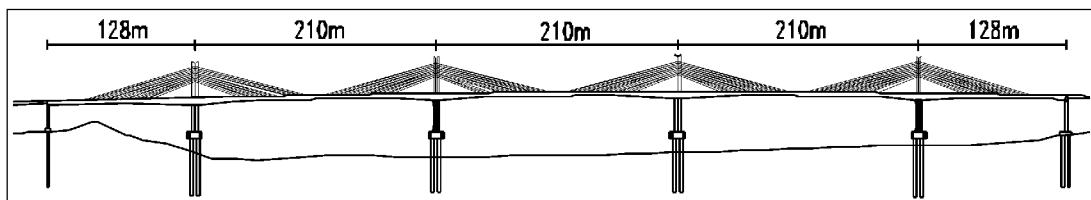


图2 主桥桥型布置图

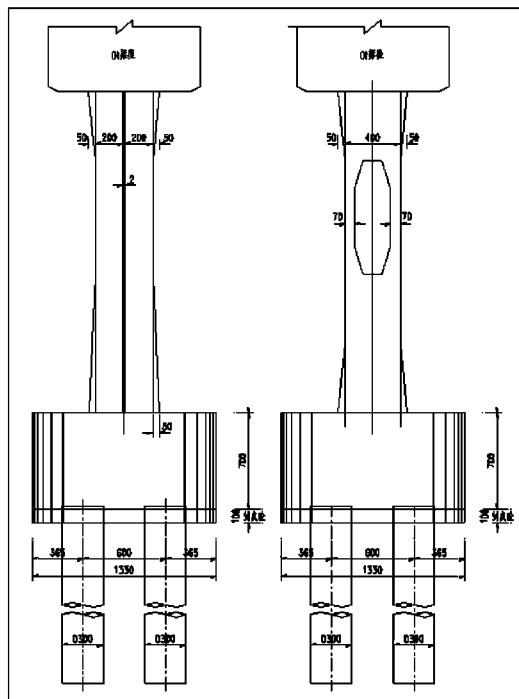


图3 主墩和基础构造图(单位:cm)

### 3.2 主塔

主塔为独柱式钢筋混凝土结构,截面为八边形,在顺桥向塔中刻深0.1m宽0.7m的景观饰条。主塔高度为30.5m(含索顶以上4m装饰段),主塔截面等宽段顺桥向厚为5m,横桥向宽2.5m;塔底5m范围,顺桥向厚为5m,横桥向宽由2.5m渐变到3.1m,主塔构造如图4。

### 3.3 主梁

主梁采用预应力混凝土结构,采用变高度斜腹板单箱三室宽幅脊梁断面。主梁顶板宽3.3m,悬臂长8.15m,两侧设5.15m宽后浇带,以使脊梁断面、后浇加劲翼板构件受力更加清晰、斜拉索力纵向传递更为明确。结合人行道栏杆

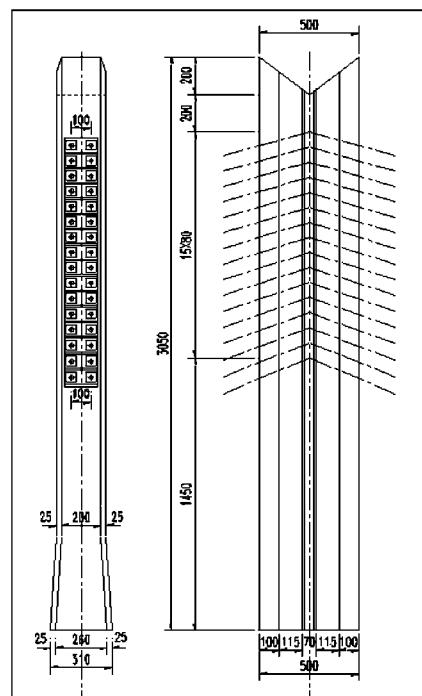


图4 主塔构造图(单位:cm)

底座和箱梁翼板饰带,适当增强了翼板端小纵梁,以适应和优化宽幅脊梁断面弯、扭受力特点。

跨中和主塔根部梁高分别为3.8m和6.8m(均含中央带凸出厚度0.3m),梁底曲线按1.8次抛物线变化。中跨直线段长66m,边跨直线段长56m。顶板板厚0.25m,底板板厚由跨中的0.3m变厚至塔根部的1.0m。边腹板在主塔根部向两边12.5m范围内由0.65m变厚至1.2m,其余部分板厚均为0.65m;中腹板在主塔根部向两边12.5m范围内由0.5m变厚至1.2m,其余部分板厚均为0.5m。由仿真分析确认扭转和弯剪作用下,边、中腹板间受力的不均匀系数,二者厚度采用差异设计。

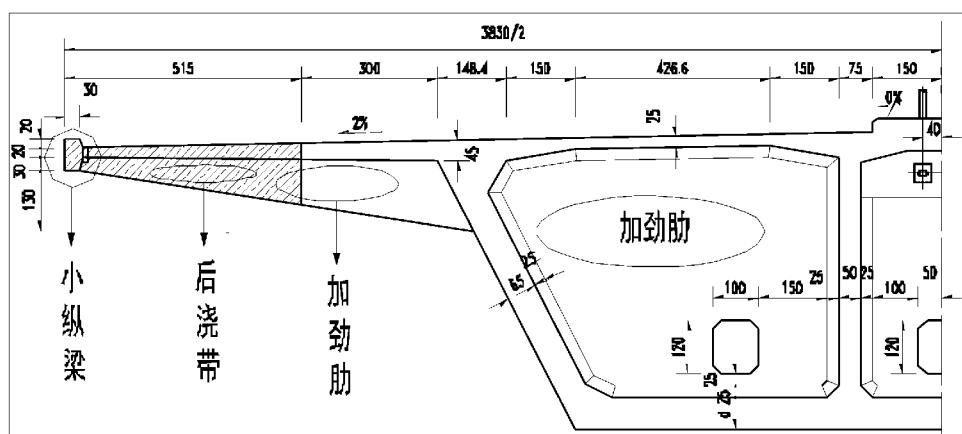


图 5 箱梁典型断面图(单位:cm)

### 3.4 斜拉索及索鞍

本桥采用单索面双排索,布置在主梁的中央分隔带处。斜拉索采用  $\phi^{\circ}15.2\text{ mm}$  环氧钢绞线,以确保其耐久性;标准强度为 1860MPa, 规格分别为 43 -  $\phi^{\circ}15.2$  和 55 -  $\phi^{\circ}15.2$ , 采用钢绞线拉索群锚体系, 在梁内张拉锚固。

塔上锚固装置对双套管索鞍和分丝管索鞍从受力、斜拉索更换、焊接等方面充分比较,分丝管索鞍确保焊接质量后,因受力更优、便于更换,推荐采用。

#### 4 多跨刚构体系矮塔斜拉桥合理设计状态研究

本桥多塔、长联、宽幅的构造特点极为突出，由此导致结构受力机理较为复杂，宜对关键问题进行深入研究，确保在施工阶段和长期运营阶段结构均处于合理的设计状态，以获得设计基准期内结构最优受力性能和经济效益。合理设计状态研究涉及设计基准期内的全过程及多方面，需

系统整合,方可获得结构最优状态,其中总体设计参数和体内外索配置比例对合理成桥状态影响较大,宜进行深入分析与研究。

#### 4.1 多跨刚构体系矮塔斜拉桥总体设计参数敏感性分析

宽幅脊梁矮塔斜拉桥整体设计参数主要包括塔高、边中跨无索区长度,上述设计参数显著影响结构整体受力性能,应对其敏感性进行系统分析,确定其合理取值范围,为工程实践提供理据。

#### 4.1.1 塔高总体设计参数敏感性分析

以西江特大桥设计为基准,在不改变拉索在主梁和桥塔上锚固点间距的前提下,通过改变近塔根首对拉索在桥塔上锚固点至桥面的距离  $h$  来实现对有效塔高  $H$  的调整。分别按四塔塔高同步调整和保持边塔不变、同步调整两个中塔高度进行分析,研究塔高变化对主梁弯矩、挠度、正应力和斜拉索索力的相关影响。两种情况下主梁最大正应力典型变化分别见图 6 和图 7。

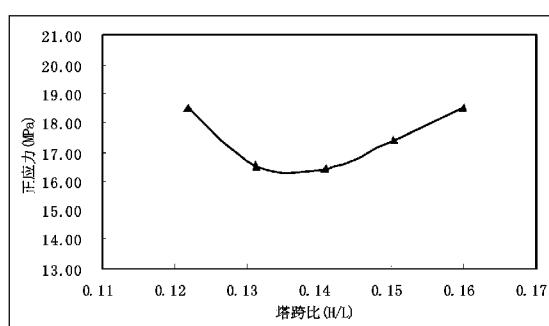


图 6 四塔塔高同步变化主梁应力

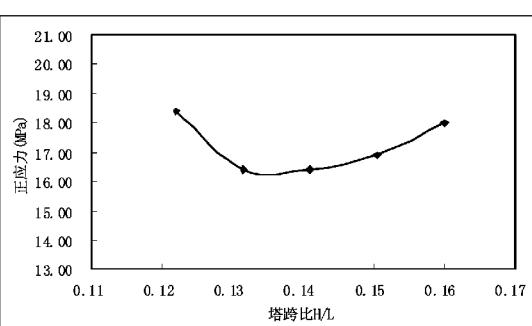


图 7 对称塔高同步变化主梁应力

由主梁最大正应力的变化规律可知,当塔高与跨径之比  $H/L$  取值在  $0.13 \sim 0.14$  附近时,结构应力较小,受力较优。

#### 4.1.2 边中跨无索区长度总体设计参数敏感性分析

矮塔斜拉桥无索区长度包括中跨跨中无索区长度和近塔塔根处无索区长度,是影响矮塔斜拉桥整体力学性能和受力特征的重要参数。一般来说,矮塔斜拉桥主梁在中支点区域承受很大

的负弯矩作用,这将制约主梁纵向预应力束配置。针对于此,可通过调整上述两处无索区长度,即适当增加拉索数量来控制中支点附近主梁弯矩。对矮塔斜拉桥无索区长度进行参数敏感性分析,探讨无索区长度最佳的取值范围,具有现实的工程意义。

分析研究中跨无索区长度与近塔无索区长度变化对主梁弯矩、挠度、正应力和拉索索力的相关影响。主梁最大正应力典型变化见图 8 和 9。

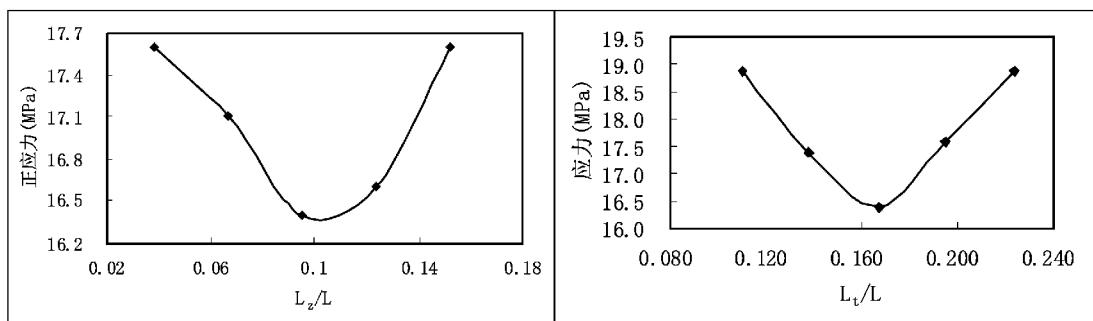


图 8 中跨无索区变化主梁应力

由主梁最大正应力等关键效应的变化规律可知,当中跨无索区长度和主跨跨径之比  $L_z/L$  取值在  $0.09 \sim 0.12$  范围之内时,近塔无索区长度和主跨跨径之比  $L_t/L$  取值在  $0.15 \sim 0.17$  范围之内时,结构整体受力性能较为合理。

#### 4.2 多跨刚构体系矮塔斜拉桥斜拉索与预应力配置比例研究

将斜拉索和体内预应力配置比例定义为预应力配合比,结构体系和整体布置参数确定后,宜确定最优预应力配合比,避免按工程经验确定导致的随机性和盲目性。

##### 4.2.1 不同配合比研究原则

为了明确预应力配合比对主梁受力状态的影响程度,本文选取成桥初期状态进行分析。确定不同预应力配合比的原则是,在不同预应力配合比下,成桥初期跨中的竖向位移相同。在有限元模型中,预应力筋的变化通过调整初张力实现,斜拉索的变化则是通过调整索力来实现。在相同的跨中竖向位移状态下,预应力筋和斜拉索的配置状况是不同的,据此来考察预应力配合比对主梁受力状态的影响程度,并考察在不同的预

图 9 边跨无索区变化主梁应力  
应力配合比下主梁的受力状态。

##### 4.2.2 体内、体外预应力敏感程度比值确定

将中跨跨中竖向位移在体内预应力和体外预应力不同配置下的变化情况共同绘制于图 10 之中。

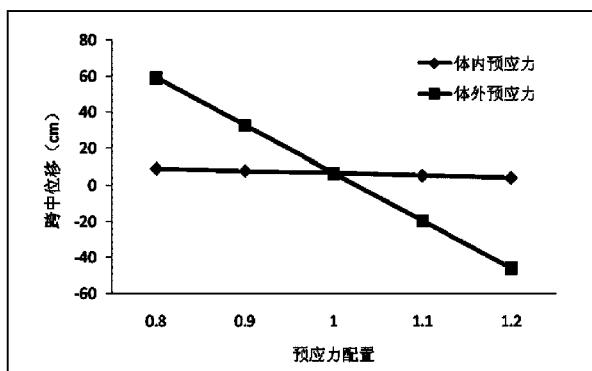


图 10 不同预应力下跨中最大竖向位移图

由图 10 可知,体内预应力和体外预应力配置变化对中跨跨中竖向位移影响的敏感程度不同。体外预应力对跨中竖向位移影响的敏感程度要远远高于体内预应力。通过计算分析可知,要使中跨跨中竖向位移产生相同变化,体内预应力配置数量的调整量应为体外预应力配置数量调整量的 20.8 倍。这样的比例是合理的,因为

体外预应力的偏心矩要远远大于体内预应力的偏心矩,其工作效率更高。根据体内、体外预应力敏感度比值和二者的造价,从受力合理、造价经济角度可确定合理的预应力配合比。

## 5 四塔矮塔斜拉桥宽幅脊梁空间设计方法研究

本桥因采用宽幅脊梁断面,引入加劲肋翼板和设置后浇带等诸多构造措施以改善结构受力。作为特殊结构,其纵、横向空间受力特征极为显著,后浇加劲肋桥面系联合受力机理尚不清晰,由此直接影响宽幅脊梁受力性能和合理的预应力束配置方法和方式。采用以往纵向设计为主的桥梁设计方法难以解决上述技术问题,需发展兼顾纵横、互为指导的空间设计方法。即通过研

究宽幅脊梁剪轴力滞效应、腹板受力不均匀性和加劲肋桥面系受力机理,为构造拟定提供定量依据,同时提供纵向体系分析所需的关键参数,以获得成桥理想受力状态。

### 5.1 宽幅脊梁剪轴力滞效应分析

矮塔斜拉桥宽幅脊梁断面因长翼板构造特征,存在突出的剪力滞效应。剪力滞系数沿主跨不同位置不断变化。在不同施工阶段,即无索悬臂状态、最大悬臂施工状态和成桥状态,因斜拉索的参与作用,顶、底板正应力表现出复杂的受力特征。本文以悬臂根部、近塔无索区中点、有索区中点和跨中断面为研究对象,采用空间实体板单元模型研究上述工况下顶底板剪力滞效应,以指导配筋和配束。不同工况和典型断面剪力滞系数曲线节选如图11、图12、图13和图14。

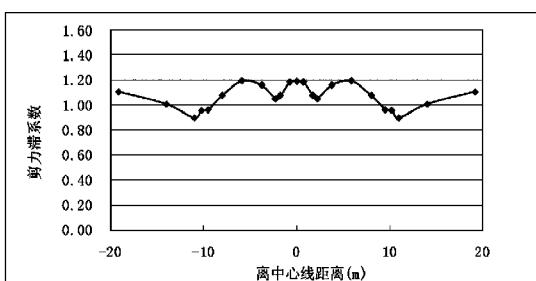


图11 最大悬臂状态无索区中点截面顶板剪力滞

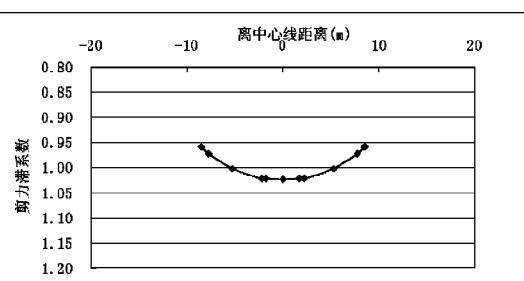


图12 最大悬臂状态无索区中点截面底板剪力滞

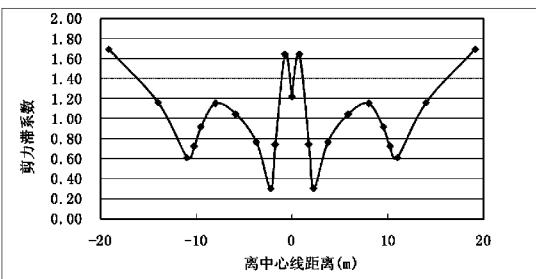


图13 最大悬臂状态有索区中点截面顶板剪力滞

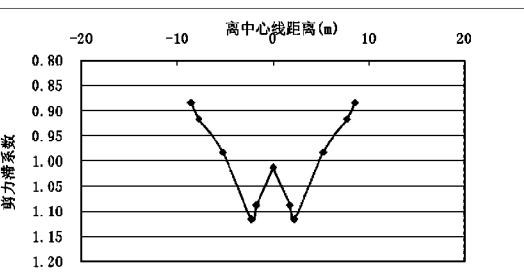


图14 最大悬臂状态有索区中点截面底板剪力滞

在不同施工阶段,不同截面顶、底板可能存在正、负剪力滞效应。在有索区域,因索力的作用,剪力滞效应更为复杂。由上图可知,设置后浇带能有效平抑剪轴力滞效应,可将先浇箱体顶板剪力滞系数控制在1.2,底板剪力滞系数控制在1.1以内。顶、底板剪力滞系数可用于指导纵向体系分析时截面有效宽度取值和纵向钢束横桥下的差异配置。

### 5.2 宽幅脊梁腹板受力不均匀性

对于单箱三室宽幅脊梁断面而言,全桥荷载均通过腹板传递到横隔板,再传递到下部结构。在弯矩和扭矩耦合作用下,腹板剪力流较为复杂,结构空间受力特征非常明显。由于腹板荷载传递比例不明确,腹板之间受力不均势必存在,需对腹板受力不均性进行深入研究,据此拟定精当的边、中腹板厚度。因现行桥规承载能力极限状态以弯

矩、剪力、扭矩等内力形式体现,结构分析因此采用空间多梁格-梁板模型,即将箱梁腹板等离散成梁格,将翼板等离散成空间板壳,二者之间以刚臂联结,以获知各腹板受力差异及施工工序等影响。

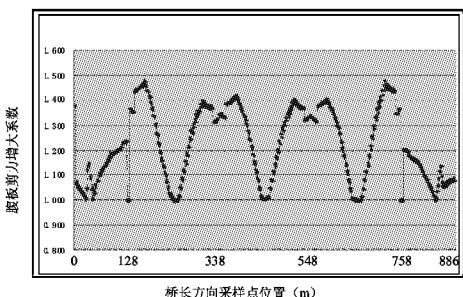


图 15 弯扭耦合下边腹板剪力沿跨径增大系数

对于活载而言,本桥剪力偏载系数为 1.3,为边腹板控制设计。对于恒载而言,由有限元仿真计算可知,中、边腹板剪应力之比为 1.13(跨中)~1.31(根部),剪应力积分为剪力之后,边、中腹板剪力比值应约为 0.86(跨中)~1.01(根部)。综合活载、恒载作用下边、中腹板剪力计算结果,边中腹板之间剪力确实存在不均匀性,不均匀比值在 1.3 以内,以此指导纵向体系分析,将边中腹板不均匀性按 1.3 控制设计,即边、中腹板厚度分别取为 65cm 和 50cm,做到了构造的精当性和受力的合理性。

### 5.3 宽幅脊梁横向受力性能研究

由于宽幅脊梁悬臂翼板长达 8.15m,为满足其横向受力要求和弱化剪力滞效应,悬臂板下设置加劲肋,横向受力结构形成 T 形梁。由长翼板和加劲肋共同组成的结构体系横向受力性能较为复杂,需进行深入研究。综合考虑箱梁横隔板、翼板加劲肋、普通钢筋、横向预应力筋以及顶、底板和腹板的局部厚度变化等因素,建立精细化实体分析模型,箱梁翼板在汽车及恒载作用下的横向剪力滞系数最大值为 1.3。该系数能用于横向分析时荷载作用有效分布宽度拟定,进而精确指导横向配筋和配束。通过剪力滞系数曲线可知,加劲肋能够承担大部分翼板荷载,并对翼板形成多点弹性支承,能有效改善翼板受力性能。

· 6 ·

综合考虑弯扭耦合作用,活载作用下边腹板剪力沿跨径增大系数如图 15 所示。将上述空间荷载效应折算为平面纵向体系分析所需的活载偏载系数如图 16 所示。

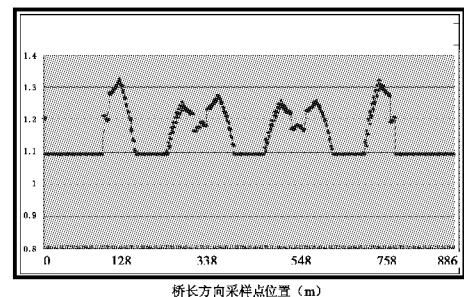


图 16 平面计算活载偏载系数

## 6 结语

经过体系优选和构造创新,在联长 886m 情况下,江肇西江大桥恰当选用四塔单索面墩、塔、梁固结体系矮塔斜拉桥,有效解决多塔结构刚度和拉索疲劳难题。创新地采用宽幅脊梁截面,以弱化敏感的自重荷载效应。通过采用长翼板加劲肋桥面体系和采取后浇段工序措施,有效解决剪轴力滞效应问题。通过整体设计参数优选,明确合理的塔跨比、中跨无索区长度、近塔无索区长度和边中跨比值。提出预应力配合比概念,系统研究斜拉索和体内预应力效率及敏感度比值,从受力最优和造价经济双重角度明确预应力合理配置比例。完善长期以来以纵向设计为主的桥梁设计理论,发展可以兼顾纵、横向受力特征的空间设计方法。通过江肇西江桥的设计和科研,对宽幅脊梁矮塔斜拉桥相关构造和受力性能做了初步的探讨,希望对类似工程实践有所助益。

### 参考文献:

- [1] 张宏伟,郑海东,郑一峰. 部分斜拉桥构造设计[J]. 公路,2005,(5):52~56.
- [2] 郑一峰,黄侨,张宏伟. 部分斜拉桥的概念设计[J]. 公路交通科技,2005,(7):85~89.
- [3] 严国敏. 试谈“部分斜拉桥”日本屋代南桥、屋代北桥、小田原港桥[J]. 桥梁建设,1996(1):45~50.
- [4] 美国土木工程师协会斜拉桥委员会. 斜拉桥设计指南[J]. 苏善根,鲍卫刚,译. 国外公路,1993(1):18~21.

# 复合材料钢桥面铺装结构的试验研究

全瑞金,李颖

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:** 基于初步理论分析计算和实验室试验结果,文章介绍了FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构,指出这种铺装结构具有优于现有钢桥面铺装结构的技术和经济性能,对钢桥面铺装结构的技术创新和工程应用具有一定的使用价值。

**关键词:** FRP;钢桥面铺装;铺装结构;沥青混凝土

桥梁作为公路建设项目中的主要组成部分,其结构的耐久性及桥面的使用功能也越来越受到重视,合理可靠的桥面铺装体系,不仅能为桥梁提供行驶性能良好且耐久的桥面,且能作为桥面板的有效防护体系,防止水分的渗透,保证桥梁结构的耐久性<sup>[1]</sup>。

钢桥面铺装对材料要求比普通的路用材料更高,必须具有与钢板随从变形性能好、与钢板粘接性好,高温稳定、低温抗裂、耐疲劳、不透水、表面抗滑、便于施工、易于维修等基本技术要求<sup>[2]</sup>。由于正交异性钢桥面具有节省钢材、易预制和安装的优点,因此在大跨径桥梁方面应用较广泛,其桥面柔度大,在行车荷载、温度变化、风载、地震等自然因素共同影响下,特别是还受到桥梁自身结构变形的影响,其受力和变形情况非常复杂,如果在重型车辆的荷载作用下,复杂的受力情况就更为突出和不利了。同时,钢桥面板的夏季温度高、防水防锈及层间结合问题都决定了钢桥面铺装具有独特的特点。目前国内钢桥面铺装类型基本形式有:改性沥青SMA、浇注式沥青混凝土和环氧沥青混凝土。其中改性沥青SMA则在中国应用较多,浇注式沥青混凝土以英国的沥青玛蹄脂以及日本的浇注式沥青混凝土为代表,环氧沥青混凝土在美国应用最为广泛。

钢桥面铺装的技术难点和研究热点,也主要集中在钢桥面板与沥青混凝土的材料性能匹配、结构整体连接构造和结构耐久性提高措施三个

方面<sup>[3-5]</sup>。桥面铺装要更好、更快地发展,须从理论和实践上解决阻碍其发展的上述三大难题。仅靠常规的材料性能改进和结构设计优化措施很难实现目标,只有从铺装材料和铺装结构上进行技术创新,才有可能使钢桥面铺装产生质的进步。本文介绍一种由纤维增强复合材料(FRP)与沥青混凝土进行材料、结构复合构成的FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构,经初步理论分析计算和实验室试验的证明,这种结构具有优于现有钢桥面铺装结构的技术、经济性能,可为钢桥面铺装设计提供一定的参考。

## 1 FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构的结构形式和特点

### 1.1 结构形式

FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构,为FRP铺装下层+沥青混凝土铺装上层的异质双层铺装结构(图1)。其中,FRP铺装下层为正交异性的FRP波纹夹芯板结构,沥青混凝土铺装上层为传统的浇筑式沥青混凝土(GA)实心板结构。

### 1.2 结构特点

#### 1.2.1 结构形式更简单

FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构,是一种不需在钢桥面板与FRP结构层间界面设置防水层和粘接层的双层结构,这不仅使钢桥面铺装结构的结构形式简单,还可带来设计和施工的简化与高效,并有可能实现铺装下层的工厂化加工。

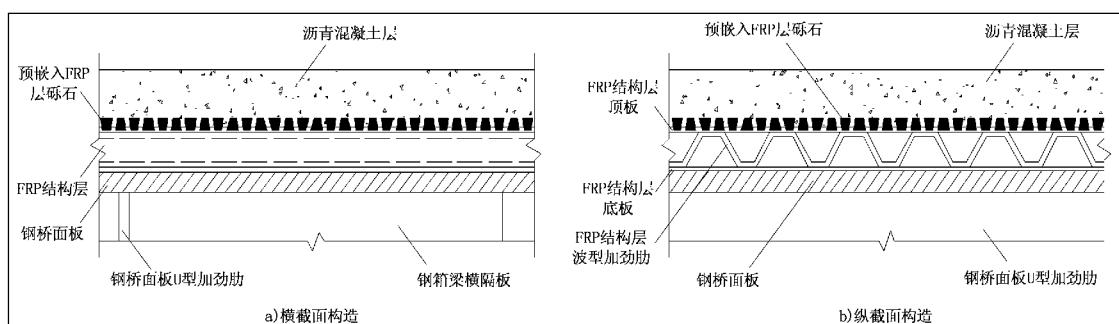


图1 FRP - 沥青混凝土钢桥面铺装结构截面形式

### 1.2.2 结构功能更全面

因FRP材料自重轻、强度高、模量适中，抗冲击、振动和断裂、疲劳的性能优于钢材，密闭防水、耐高低温疲劳破坏和酸、碱、盐腐蚀的性能优于沥青混凝土<sup>[6,7]</sup>，加上FRP材料中树脂基体与钢材具有分子间的吸引力、增强纤维能承担界面上的高剪应力；正交异性的夹芯板结构形式既能弥补正交异性钢桥面板的刚度方向性和突变性给铺装层带来的刚度缺陷，还能吸收车辆冲击、钢桥面板振动的动力效应和温度传导的扩散影响，从而使FRP铺装下层兼有钢桥面板结构增强层、防水粘接层和铺装结构刚度过渡层等多种功能，可使得钢桥面铺装结构组成更合理，总体使用性能更和谐。

## 2 FRP - 沥青混凝土钢桥面铺装结构与常规沥青混凝土钢桥面铺装结构比较

表1 钢桥面铺装结构材料的常规力学性能

材料	密度 $\gamma$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	拉伸强度 $f_t$ (MPa)	拉伸模量 $E_t$ (GPa)	压缩强度 $f_c$ (MPa)	压缩模量 $E_c$ (GPa)	剪切强度 $f_s$ (MPa)	剪切模量 $G$ (GPa)
SMA	26.0	1.0	1.5		1.5	1.7	0.6
GA	25.8		0.4		0.4	0.7	0.2
EA	26.0	4.0	1.0		1.0		0.4
FRP	20.0	200	10.0	70.0	10.0	50.0	3.0
钢桥面板	78.5	310	210	310	210	180	79.0

表2 钢桥面铺装结构的截面抗弯刚度对比

计算模型	截面抗弯刚度 $EI$ ( $\text{N} \cdot \text{mm}^4$ )	刚度对比/ (%)		$\frac{(2)-(1)}{(1)}$
		(1) 钢桥面板 + 沥青铺装层结构	(2) 钢桥面板 + FRP 铺装下层 + 铺装上层结构	
纵桥向	$2.63 \times 10^{13}$		$2.64 \times 10^{13}$	0.4
横桥向	$2.24 \times 10^{10}$		$2.69 \times 10^{10}$	20.1

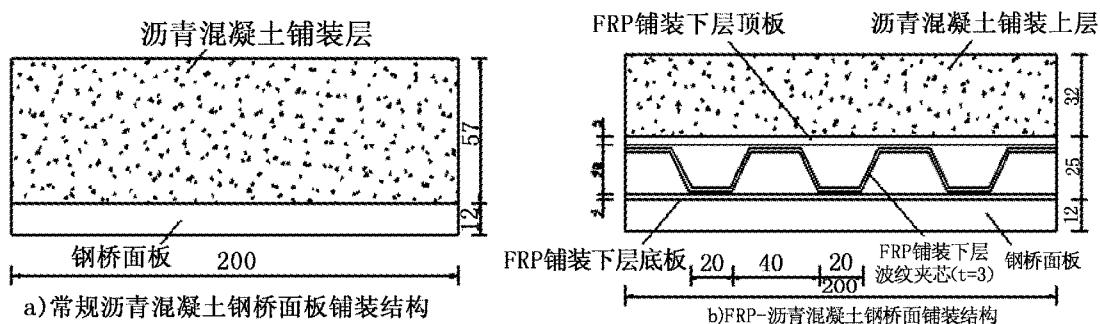


图2 钢桥面铺装结构横桥向计算模型横截面形式

由表2中结果知,沥青混凝土钢桥面铺装结构改为FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构,对纵桥向的刚度贡献可忽略不计,但对横桥向的刚度贡献增大了20.1%。更重要的是,钢桥面板与FRP铺装下层的优异连结效果能保证二者构成完全结构整体。

### 3 FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构的模拟试验

#### 3.1 关于截面应力的理论计算

对于横桥向计算模型,采用支承于U型肋上、长度等于8个U型肋间距 $8 \times 0.6\text{m}$ 、宽度等于车轮着地长度200mm的16跨连续梁模型,将1个汽车后轮荷载70kN乘以冲击系数1.3作为设计荷载( $P = 91\text{kN}$ ),按车轮面积均载进行影响线布载计算结构控制截面的应力;对于纵桥向计算模型,采用两端固支于横隔板上、长度等于横隔板间距3.2m、宽度等于车轮着地宽度600mm的固端梁结构模型。钢桥面铺装结构纵横向的弯曲正应力和界面上的剪应力,可采用如下复合材料层合梁弯曲应力简化计算公式进行计算:

$$\sigma_x^{(k)} = \frac{M_x Z_k E_{xx}^{(k)}}{EI} \quad \tau_x^{(k)} = \frac{Q_x \bar{E}X}{EIb} \quad (3-1)$$

式中:

$\sigma_x^{(k)}$ —钢桥面铺装结构第k层x方向的正应力;

$\tau_x^{(k)}$ —钢桥面铺装结构第k层和第k+1层界面上x方向的剪应力;

$M_x, Q_x$ —钢桥面铺装结构计算截面(x截面)的计算弯矩和剪力;

$E_x^{(k)}$ —钢桥面铺装结构第k层x方向的拉伸

模量或压缩模量;

$\bar{E}I$ —钢桥面铺装结构计算截面(x截面)的抗弯刚度;

$Z_k$ —钢桥面铺装结构计算截面第k层计算点距中性轴y的距离;

$\bar{E}S$ —钢桥面铺装结构计算截面第k层以上截面拉伸或压缩刚度对中性轴y的静距;

b—钢桥面铺装结构计算截面的宽度;

k—钢桥面铺装结构的组成代号,k=1(s板),2(FRP层),3(GA层)。

#### 3.2 钢桥面铺装结构试件横桥向弯曲试验

选择图2所示截面尺寸的4跨连续梁横桥向模型模拟钢桥面铺装的横桥向弯曲试验。表3给出了试件在设计荷载和超载的测试结果及相应比较结果。分析试验结果可知,FRP层对钢板裸板的挠度和应变减小贡献最大,并且贡献比例随超载增大而增大,这与理论分析计算的应力、挠度减小比例是比较接近的,同时也说明采用复合材料层合梁理论进行铺装结构的受力分析计算精度较高。

### 4 结语

FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构经初步理论分析计算和实验室模拟试验,得到如下几点结论:

(1) FRP-沥青混凝土钢桥面铺装结构,是典型的异质双层铺装结构,不需另设防水层和粘接层。FRP铺装下层既是钢桥面板的结构增强层和防水粘接层,还是铺装结构的刚度过渡层,比现有沥青混凝土钢桥面铺装结构组成更合理,总体使用性能更和谐。

表3 横桥向弯曲试验结果

试验荷载 $P_i$ (kN)	试验检测项 目	试 验 结 果		$\frac{(2)-(1)}{(1)}\%$
		钢板 + GA 铺装层试件(1)	钢板 + FRP 铺装下层 + GA 铺装上层试件(2)	
$P_1 = 90.0$ (约等于设计荷载)	$f_{max}$ (mm)	0.98	0.74	24.5
	$\varepsilon_{max}$ ( $\mu\epsilon$ )	532.55	332.22	37.6
$P_2 = 120.0$ (超设计荷载约 1/3)	$f_{max}$ (mm)	1.32	1.03	22.0
	$\varepsilon_{max}$ ( $\mu\epsilon$ )	769.05	477.50	37.9
$P_3 = 150.0$ (超设计荷载约 2/3)	$f_{max}$ (mm)	1.60	1.26	21.2
	$\varepsilon_{max}$ ( $\mu\epsilon$ )	896.56	700.89	21.8

注:FRP - 沥青混凝土钢桥面铺装结构弯曲试验试件数量:钢板 - 沥青混凝土铺装层试件 1 件,钢板 - FRP - 沥青混凝土铺装层试件各 5 件;FRP - 沥青混凝土钢桥面铺装结构试件弯曲试验加载方式:采用 4 跨连续梁中间两跨均布荷载加载方式加载,加载通过反力架和油压千斤顶施加集中荷载 P 传给梁顶的钢板和橡胶板进行分配变成均布荷载 q 的加载效果; $f_{max}$ , $\varepsilon_{max}$  - 分别为连续梁第 2 跨或第 3 跨跨中截面(相当于钢桥面板的 U 形肋跨中截面)的最大挠度和钢桥面板底面的最大拉应变。

(2) 钢板 - FRP - 沥青铺装层试件试件相对于钢板 - 沥青铺装层试件的挠度减小 24.5% (设计荷载), 22.0% (超载 1/3), 21.2% (超载 2/3); 相对于钢板 - 沥青铺装层试件的钢板拉应变减小 37.6% (设计荷载), 37.9% (超载 1/3), 21.8% (超载 2/3)。FRP - 沥青混凝土钢桥面铺装结构的主要贡献是增大钢桥面板和整体铺装结构的横桥向刚度, 减小其横向应力和挠度, 并且这种贡献随着沥青混凝土铺装层的材料性能降低而增大。

(3) 沥青混凝土随温度升高和降低性能会急剧衰减, 而 FRP 材料在 -30 ~ 70℃ 范围内性能基本稳定, 故可弥补沥青混凝土层性能衰减的缺陷并使整体结构温度影响减弱。此外, FRP 材料的疲劳性能优于钢材, 可提高钢桥面铺装的使用寿命, 还可减小钢桥面铺装的维修频率和费用。

(4) FRP - 沥青混凝土钢桥面铺装结构以强度较高的 FRP 铺装下层增大其分担结构总应力比例, 能够使钢桥面板和沥青混凝土铺装层应力减小, 这将使铺装结构各组成部分受力更合理, 避免沥青混凝土铺装层先行失效破坏。这种结构具有优于现有钢桥面铺装结构的技术、经济性能, 可为钢桥面铺装设计提供一定的参考, 对钢桥面铺装结构的技术创新和工程应用具有一定使用价值。

#### 参考文献:

- [1] 崔颖波. 钢桥改性沥青桥面铺装层设计及施工工艺研究 [J]. 湖南交通科技, 2007, 33(1): 100 ~ 103.
- [2] 陈仕周, 胡志宏. 复合改性沥青在钢桥面浇注式沥青混凝土中的应用 [J]. 公路交通技术, 2005, (5): 73 ~ 26.
- [3] 张健康, 胡光伟, 俞先江, 沈承金, 黄卫. 大跨径钢桥面铺装体系关键技术研究进展 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2008, 6(2): 12 ~ 20.
- [4] 杨建军, 周志刚, 刘小燕. 正交异性钢桥面铺装结构理论研究进展 [J]. 中外公路, 2006, (4): 96 ~ 101.
- [5] 唐善普, 胡光伟, 沈承金. 各向异性钢桥面铺装层耐久性研究 [J]. 中南公路工程, 2007, 32(3): 64 ~ 67.
- [6] 张锡祥, 顾安邦. 复合材料用于大跨斜拉桥发展展望 [J]. 重庆交通大学学报, 1995, 14(1): 14 ~ 19.
- [7] 钱振东, 黄卫, 茅荃, 胡光伟. 南京长江第二大桥钢桥面铺装层受力分析研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24(6): 43 ~ 46.
- [8] 樊叶华, 黄卫, 王敬民, 陈雄飞. 江阴长江大桥钢桥面柔性防水粘接层特性分析 [J]. 公路交通科技, 2007, 24(6): 33 ~ 36.
- [9] 张粤生. 国内大跨径钢桥面桥梁主要铺装类型介绍 [J]. 中外公路, 2007, 27(4): 143 ~ 145.
- [10] 刘沐宇, 曹玉贵, 丁庆军. 新型钢桥面铺装结构的力学性能分析 [J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2008, 25(4): 23 ~ 26.
- [11] 黄卫, 钱振东. 大跨径桥梁钢桥面铺装设计理论与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [12] 王震鸣. 复合材料力学和结构力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.

# 闭口薄壁杆件受碰撞的振动方程求解

徐中山

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:** 基于薄壁杆件理论、能量泛函变分原理和闭口薄壁杆件翘曲函数的特征,推导了闭口薄壁杆件的双向弯扭耦合动力方程,此方程可退化为 Bernoulli-Euler 梁弯扭耦合动力方程。根据结构的边界条件、连续条件和碰撞接触平衡条件,采用 Laplace 积分变换和逆变换方法求解闭口薄壁杆件受碰撞的动力方程,获得了闭口薄壁杆件的各种瞬态动力响应。将结果与 Bernoulli-Euler 薄壁梁理论结果相比较,计算结果表明,考虑剪切变形对冲击力和扭转角的影响不大,但对位移的影响比较显著。

**关键词:** 薄壁结构;碰撞;动力响应

目前对结构受碰撞的现象已有不少的理论与实验研究,文献<sup>[1-3]</sup>分析结构受冲击的作用,但仅是针对纯弯曲方面,没有考虑结构扭转效应;文献<sup>[4,5]</sup>进行了薄壁结构的弯扭耦合分析,其采用的方程是根据开口薄壁截面的特征建立的,由于开口和闭口在发生约束扭转的时候,其截面上的剪力流不同<sup>[6]</sup>,因此其采用的动力方程不适合用于闭口截面。本文基于 Timoshenko 薄壁梁理论,运用能量原理推出闭口薄壁结构的动力微分方程,通过积分变换方法求解闭口薄壁结构受碰撞的动力方程。

## 1 微分方程的建立

基于乌曼斯基闭口薄壁梁约束扭转理论,截

$$\begin{cases} U(x, y, z) = u(x) - y \cdot \varphi_v(x) - z \cdot \varphi_w(x) + f(x) \cdot \omega_s(y, z) \\ V(x, y, z) = v_s(x) - (z - z_s) \cdot \theta(x) \\ W(x, y, z) = w_s(x) - (y - y_s) \cdot \theta(x) \end{cases} \quad (1)$$

通过建立结构的动能、势能和外力功的能量方程,根据哈密尔顿原理(Hamilton)对能量方程

面上任意一点的位移都可通过杆件轴线的基本位移来描述。设杆件为等截面的直杆,O 为截面形心,S 为截面的剪切中心,坐标系的原点选在截面的形心上,坐标轴与截面的惯性主轴重合, $v_s(x)$  和  $w_s(x)$  为截面剪切中心的横向位移, $u(x)$  为截面轴向的平均位移, $f(x)$  为翘曲函数, $\theta(x)$  为截面的扭转角, $\varphi_v(x)$ 、 $\varphi_w(x)$  为截面剪切中心的弯曲转角,则总位移  $v_s(x)$ 、 $w_s(x)$  包括弯曲位移与剪切变形, $z_s$  和  $y_s$  是剪切中心的坐标, $w(y, z)$  是基于形心的圣维南扭转函数, $w_s(y, z)$  为基于剪切中心的圣维南扭转函数,其可退化为横截面的扇性坐标,它满足关系式: $\omega_s = \omega - z_s y + y_s z$ 。其截面的任意一点的位移函数可以表示为:

进行变分,得微分方程为如下形式(“·”一对时间 t 的求导;“'”一对轴向 x 的求导):

$$EAu'' - \rho A\ddot{u} = 0 \quad (2)$$

$$EI_{yy}v_s''' - I_{yy}(\rho + \frac{\rho EA}{GA_y})\ddot{v}_s + \frac{\rho^2 AI_{yy}}{GA_y}\ddot{v}_s + \rho A\ddot{v}_s - \rho I_{yy}z_s(1 - \frac{GA_y z_s^2 + GA_z y_s^2 - GJ_p + E(I_{yy} + I_{zz})}{GA_y z_s^2 + GA_z y_s^2 + G(J_p - I_k)}) + \frac{EA}{GA_y}\ddot{\theta}'' + \rho Az_s\ddot{\theta} + [EI_{yy}z_s(GA_y z_s^2 + GA_z y_s^2 - GJ_p)]\ddot{\theta}''' + [\frac{\rho^2 AI_{yy}z_s}{GA_y} + \frac{\rho I_{yy}z_s(\rho I_{yy} + \rho I_{zz})}{GA_y z_s^2 + GA_z y_s^2 + G(J_p - I_k)}]\ddot{\theta}''' = 0 \quad (3)$$

$$EI_{zz}w_s''' - (\rho I_{zz} + \frac{\rho EA I_{zz}}{GA_z})\ddot{w}_s + \frac{\rho^2 AI_{zz}}{GA_z}\ddot{w}_s + \rho A\ddot{w}_s - \rho I_{zz}y_s[\frac{\rho A}{GA_z} + \frac{\rho I_{yy} + \rho I_{zz}}{GA_y z_s^2 + GA_z y_s^2 + G(J_p - I_k)}]\ddot{\theta}''' - \rho Ay_s\ddot{\theta} + \rho I_{zz}y_s[1 + \frac{EA}{GA_z} + \frac{E(I_{yy} + I_{zz}) - GA_y z_s^2 - GA_z y_s^2 + GJ_p}{GA_y z_s^2 + GA_z y_s^2 + G(J_p - I_k)}]\ddot{\theta}'' - EI_{zz}y_s(1 - \frac{A_y z_s^2 + A_z y_s^2 - J_p}{A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + J_p - I_k})\ddot{\theta}''' = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{EI_{\omega}^s(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 - J_p)}{A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + J_p - I_k} \theta''' + \left[ \frac{G(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 - J_p + I_k)(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 - J_p)}{A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + J_p - I_k} - G(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + J_p - I_k) \right] \theta'' \\ & + \frac{\rho I_{\omega}^s [E(I_{yy} + I_{zz}) - G(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 - J_p)]}{G(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + J_p - I_k)} \theta'' + [\rho A(z_s^2 + y_s^2) + \frac{\rho (A_y z_s^2 + A_z y_s^2 - J_p + I_k)(I_{yy} + I_{zz})}{A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + J_p - I_k}] \theta' \\ & + \frac{\rho^2 I_{\omega}^s (I_{yy} + I_{zz})}{G[(A_y z_s^2 + A_z y_s^2 + (J_p - I_k))] \theta' + \rho A z_s \ddot{v}_s - \rho A y_s \ddot{w}_s = 0 \quad (5) \end{aligned}$$

上述方程为 Timoshenko 闭口薄壁杆件的动力方程, 其中式(2)是独立的,(3)、(4)和(5)组成了 Timoshenko 薄壁梁双向弯曲扭转耦合动力方程。 $I_{\omega}^s$  为横截面的主惯性矩; $J_p$  为截面的方向惯性矩, $I_k$  为截面自由扭转惯性矩。

$A_y$  和  $A_z$  分别为  $y$  方向和  $z$  方向的等效剪切面积, 当  $A_y \rightarrow \infty$ 、 $A_z \rightarrow \infty$ , 便退化成为 Bernoulli – Euler 薄壁梁的弯扭耦合动力方程, 当  $y_s \rightarrow 0$ 、 $z_s \rightarrow 0$ , 便退化成为截面对称的结构动力方程, 如下所示:

$$EAu'' - \rho A\ddot{u} = 0 \quad (6)$$

$$EI_{yy}v_s'' - I_{yy}(\rho + \frac{\rho EA}{GA_y})\ddot{v}_s + \frac{\rho^2 AI_{yy}}{GA_y}\ddot{v}_s + \rho A\ddot{v}_s = 0 \quad (7)$$

$$EI_{zz}w_s'' - (\rho I_{zz} + \frac{\rho EA I_{zz}}{GA_z})\ddot{w}_s + \frac{\rho^2 AI_{zz}}{GA_z}\ddot{w}_s + \rho A\ddot{w}_s = 0 \quad (8)$$

$$\frac{-EI_{\omega}^s J_p}{J_p - I_k} \theta''' + GI_k \theta'' + \frac{\rho I_{\omega}^s [E(I_{yy} + I_{zz}) + GJ_p]}{G(J_p - I_k)} \theta'' - \rho (I_{yy} + I_{zz}) \ddot{\theta} + \frac{\rho^2 I_{\omega}^s (I_{yy} + I_{zz})}{G(J_p - I_k)} \ddot{\theta} = 0 \quad (9)$$

假设结构是线弹性的, 在没有外力影响的情况下, 节点两侧的位移  $v_s$ 、转角  $\varphi$ 、弯矩  $M$ 、剪力  $Q$ 、扭转角  $\theta$ 、翘曲函数  $f$ 、双力矩  $B$ 、扭矩  $L$  是连续的。自由边界时,  $M = Q = L = B = 0$ , 固定边界时,  $v_s = \varphi = \theta = f = 0$ , 简支边界时,  $\varphi' = v_s = \theta = B = 0$ 。

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{1}{f}(u - s\theta_i - y_i) = 0; \quad \frac{u - s\theta_i - y_i}{f} = Q_i^{(i)} - Q_i^{(i+1)}; \quad Q_i^{(i)} - Q_i^{(i+1)} = \frac{L^{(i)} - L^{(i+1)}}{s}.$$

## 2 微分方程的求解

本文针对截面为对称形式的结构动力微分方

结构位移、转角和扭转角等各个参数初始时刻均为零。质量块  $m$  以  $y$  方向速度  $v$  撞击梁, 将梁分为  $n$  个单元, 假设撞击位置为第  $i$  个节点位置, 撞击时物体和节点的接触用柔度系数为  $f$  的弹簧模拟, 其接触平衡条件为 ( $u(t)$  为撞击物的位移,  $s$  为撞击点距形心距离):

程进行求解, 只考虑撞击方向的横向振动和扭转振动, 对式(7)和(9)进行 Laplace 积分变换, 可得如下形式:

$$\begin{cases} \tilde{v}_s''' - \frac{[\rho + \rho EA/(GA_y)]p^2}{E}\tilde{v}_s'' + \frac{\rho^2 Ap^4}{GA_y E}\tilde{v}_s + \frac{\rho Ap^2}{EI_{yy}} = 0 \\ \tilde{\theta}''' - \frac{\rho [E(I_{yy} + I_{zz}) + GJ_p]p^2}{EGJ_p}\tilde{\theta}'' - \frac{GI_k(J_p - I_k)}{EI_{\omega}^s J_p}\tilde{\theta}'' + \frac{\rho (J_p - I_k)(I_{yy} + I_{zz})p^2}{EI_{\omega}^s J_p}\tilde{\theta} - \frac{\rho^2 (I_{yy} + I_{zz})p^4}{EGJ_p}\tilde{\theta} = 0 \end{cases} \quad (10-a)$$

$$\begin{cases} \tilde{v}_s''' - \frac{[\rho + \rho EA/(GA_y)]p^2}{E}\tilde{v}_s'' + \frac{\rho^2 Ap^4}{GA_y E}\tilde{v}_s + \frac{\rho Ap^2}{EI_{yy}} = 0 \\ \tilde{\theta}''' - \frac{\rho [E(I_{yy} + I_{zz}) + GJ_p]p^2}{EGJ_p}\tilde{\theta}'' - \frac{GI_k(J_p - I_k)}{EI_{\omega}^s J_p}\tilde{\theta}'' + \frac{\rho (J_p - I_k)(I_{yy} + I_{zz})p^2}{EI_{\omega}^s J_p}\tilde{\theta} - \frac{\rho^2 (I_{yy} + I_{zz})p^4}{EGJ_p}\tilde{\theta} = 0 \end{cases} \quad (10-b)$$

由此得  $\tilde{v}_s$  和  $\tilde{\theta}$  的基本解为:  $\tilde{v}_s = c_1 e^{n_1 x} + c_2 e^{-n_1 x} + c_3 e^{n_2 x} + c_4 e^{-n_2 x}$ ;  $\tilde{\theta} = c_5 e^{n_3 x} + c_6 e^{-n_3 x} + c_7 e^{n_4 x} + c_8 e^{-n_4 x}$ ,

其中:  $n_1, n_2$  为式(10-a)的特征方程的根,  $n_3, n_4$  为式(10-b)的特征方程的根,  $c_1 \sim c_8$  为待定系数。

建立结构整体刚度矩阵, 代入相应的边界条件、连续条件和碰撞接触平衡条件后, 得到各个参数在频域内的解, 最后通过 Laplace 逆变换的方法, 得到各个参数在时域内的解。

## 3 算例分析

质量为  $m$  的物体以速度  $v$  横向撞击悬臂闭口薄壁梁, 用柔度为  $f$  的弹簧模拟物体和梁的接触变形, 如图 1 和图 2 所示。梁的密度为  $7.8 \times 10^{-6}$

$\text{kg/mm}^3$ , 弹性模量为 210GPa, 梁长 2000mm, 梁的截面形式如图所示, 撞击物的质量为 100kg, 撞击速度为 3m/s, 柔度系数为 0.2 m/MN。截面以剪切中心为零点, 碰撞点距剪切中心的横向距离即偏心距为 75mm,  $O$  为截面剪切中心。

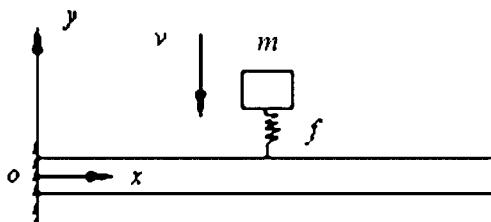


图 1 撞击示意图

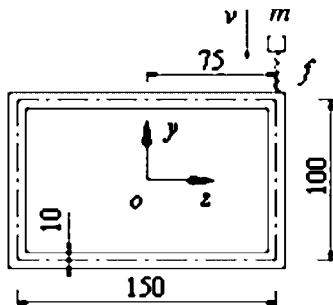


图 2 结构横截面图(单位:mm)

经计算得到冲击力(图 3)、撞击点处剪切中心的  $y$  方向位移 vs(图 4)和扭转角的最大动力响应(图 5)。图 3 显示 Timoshenko 闭口薄壁杆件受的冲击力与 Bernoulli – Euler 闭口薄壁杆件受的冲击力相差 2.70%, 说明考虑剪切变形对结构所受冲击力的影响不大。图 4 – 图 5 为 Timoshenko 闭口薄壁杆件与 Bernoulli – Euler 闭口薄壁杆件的冲击点处的位移和扭转角的动力响应最大时刻的示意图。从图 4 可以看出, 考虑剪切变形后的梁中点处的最大位移为 -6.9831mm, Bernoulli – Euler 梁的位移值为 -5.8672mm, 两者相差 15.98%, 这说明考虑剪切变形对位移的贡献较大。而图 5 显示, 考虑剪切变形之后, 梁冲击点处的扭转角的最大动力响应值相差为 0.24%, 说明剪切变形对扭转角的影响比较小。

#### 4 结论

(1) 本文基于 Timoshenko 薄壁梁理论, 运用能量原理建立薄壁结构受碰撞的的弯扭耦合动力方程, 该公式经退化后可得到 Bernoulli – Euler 梁动力方程, 说明本文方法具有普遍性;

(2) 在结构受碰撞的过程中考虑剪切变形对冲

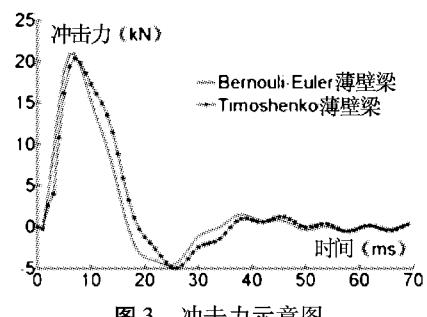


图 3 冲击力示意图

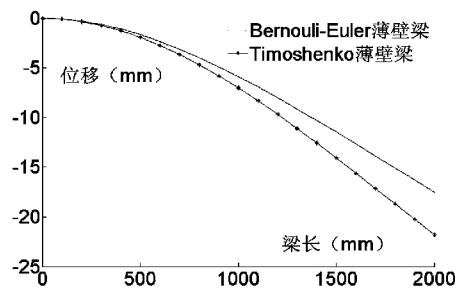


图 4 撞击点处 vs 动力响应

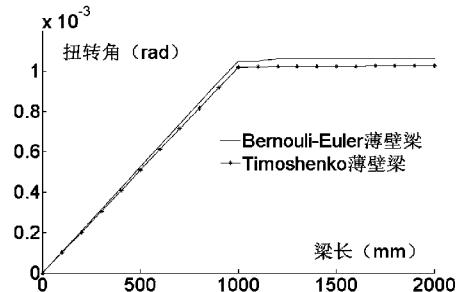


图 5 撞击点处扭转角动力响应

击力和扭转角的影响较小, 但对横向位移的影响比较大显著, 所以在计算位移时要考虑剪切变形, 但在计算冲击力和扭转可以忽略剪切变形的影响。

#### 参考文献:

- [1] K. Y. Lam, T. S. Sathyamoorthy. Reponse of Composite Beam under Low – velocity Impact of Multiple Masses[J]. Composite Structures, 1999, 44:205 – 220.
- [2] J. L. Yang, F. Xi. Experimental and Theoretical Study of Free – Free Beam Subjected to Impact at any Cross – Section Along its Span [J]. International Journal of Impact Engineering, 2003, 28:761 – 781.
- [3] 黄剑敏, 任文敏. 弹性杆与结构接触冲击的冲击力计算研究[J]. 应用力学学报, 1996, 13(3): 115 – 118.
- [4] 鲍四元, 邓子辰. 弹性撞击作用下弯扭耦合梁的动力响应[J]. 应用力学学报, 2008, 25(3): 415 – 420.
- [5] 李俊, 金咸定, 何东明. 确定性荷载作用下 Timoshenko 薄壁梁的弯扭耦合动力响应[J]. 力学季刊, 2002, 23(3): 380 – 385.
- [6] 包世华, 周坚. 薄壁杆件结构力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

# 广深高速公路太平立交左出匝道改造方案设计

邝清娴

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**为改善太平立交至五点梅立交段的行车条件,提高车辆水平和行车安全性,解决该路段交织严重等问题,通过现场调查、交通量数据的整理和分析,在充分分析影响区域内相关路网的建设规划和交通量分析的基础上,本文介绍了四个设计方案,进行了综合比较,并提出科学合理的改造方案。研究成果表明:经综合比较方案一较好的结合了项目的特点,充分利用现有加宽工程,将左出虎门方向的交通量全部改为右出,使其与广深高速其他立交的出口方式相协调,减少了该路段的交织问题,也降低该出口的事故发生率;为项目实施的可行性提供了必要的依据。研究成果为广深高速公路太平立交匝道改造提供了科学、合理的依据,其应用具有显著的经济与社会效益。

**关键词:**道路工程;匝道改造;太平立交;方案设计

## 0 概述

广(州)至深(圳)高速公路是国家高速公路网沈阳至海口公路的重要路段,从广州氮肥厂互通立交起,北接广州北环高速公路,终点通过落马洲大桥与香港连接,路线全长122.8km。广深高速公路的兴建,将穗、深、港连接起来,构成珠江三角洲东部地区的快速交通通道,大大缓解该地区的交通压力,已成为珠江三角洲的经济大动脉,是一个加强大陆与港澳联系的必要枢纽。

太平立交是广深高速公路与虎门大桥高速公路连接的重要枢纽立交,五点梅互通立交是广深高速公路与常虎高速公路交通转换的枢纽立交,广深高速公路太平互通立交至五点梅互通立交段汇集并转换广深、常虎高速公路及虎门大桥高速公路的交通流,到2010年10月,太平至五点梅路段已达15.86万辆/d,其中高峰期交通量更是达到209334辆/d。由于车流量大、交织严重,安全事故和交通堵塞时有发生,成为制约路网整体运行效率的瓶颈。

为解决太平至五点梅路段的交通拥挤问题,提高该路段的通行能力,进行了加宽改造工程设计,由原有双向6车道扩宽成10车道。加宽改

造工程完成后大大提高该路段的通行能力及服务水平。但因广深高速公路由南往北方向转入虎门大桥交通量大,且匝道出口形式为左出口形式,与广深高速公路其他立交的出口布置形式(均为右出形式)不一致,车辆转向虎门大桥时造成交织严重、事故多发等问题。

为解决车辆交织问题,提高行车安全性和该路段的通行能力,开展该路段的交通组织方案研究工作。

## 1 交通量及安全性分析

### 1.1 交通量分析

通过整理收集到的交通量数据,北行各方向的交通量如图1。

从图1可以看出,太平立交左转往虎门大桥方向的交通量非常大,达到了31316辆/d,为路段交通量的38.9%,其中从常虎高速经广深高速转换往虎门大桥高速的交通量为12549辆/d,深圳方向往虎门大桥高速的交通量为18767辆/d;右转往太平镇地方道路的交通量为16334辆/d,其中从常虎高速经广深高速往太平镇地方道路的交通量为7645辆/d,深圳方向为8689辆/d。

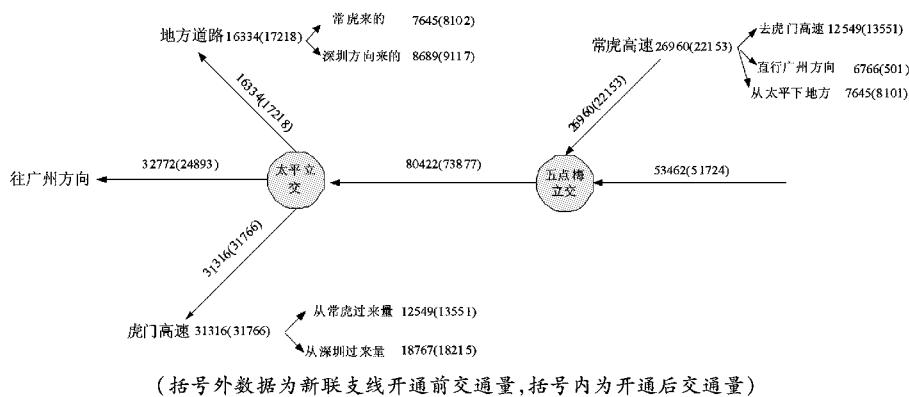


图1 2010年北行(广州方向)交通量分配示意图

## 1.2 安全性分析

通过收集2006年~2009年8月广深高速公路上的交通事故数据(图2),太平立交~五点梅立交段为广深高速公路事故多发段之一,尤其是2006年、2007年其事故发生率均远高于其他路段。近年来,通过加强监管,太平立交~五点梅立交段事故发生量有所下降,但仍是广深高速事故多发点之一。

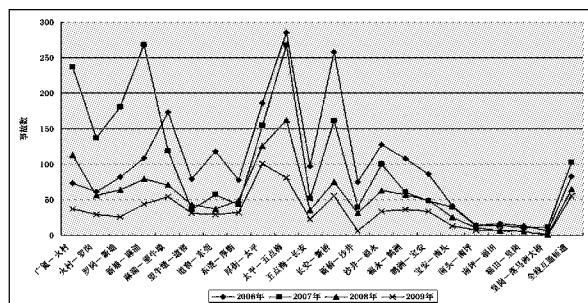


图2 广深高速公路近年事故数量

2009年的交通事故资料表明:2009年广深高速太平立交至五点梅立交段共发生交通事故1458宗,其中北行为557宗,其事故分布图见图3。

从北行交通事故统计图(图3)可以看出:太平立交北(左)出口为本路段交通事故黑点,共发生事故124宗,占整个事故率的22.3%,其发生交通事故的主要原因是追尾,这与太平立交左出接虎门大桥高速,且直行交通量和左转交通量过大有直接关系。

通过交通量及安全性分析,改善虎门(太平)立交~五点梅立交段的行车条件,尤其是太平立交左出改为右出,是改善车辆行车条件,提高车辆水平和行车安全性,减少交通事故的需要,对

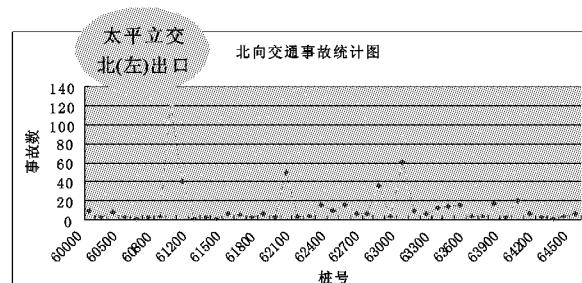


图3 广深高速太平至五点梅段北行交通事故统计图  
该路段进行交通组织完善设计是十分必要和紧迫的。

## 2 改造方案设计

为改善太平立交至五点梅立交段的行车条件,提高行车安全,解决该路段交织严重等问题,经综合考虑相关路网等各种因素,结合项目特点,提出以下3个方案:方案1是将太平立交左出匝道改为右出匝道;方案2是将左出匝道改为右出匝道,并设集散车道;方案3是改造太平立交(地方)方案,增加往虎门大桥高速公路方向的匝道,封闭太平立交左转匝道;方案4是将虎门大桥高速往东延伸接常虎新联支线。

### 2.1 方案一:左出匝道改右出匝道方案

方案一(图4)是在考虑太平立交至五点梅立交路段加宽方案的基础上,直接将太平立交左出匝道改为右出匝道的方案。

方案一的优点是:(1)能充分利用现加宽工程,将左出虎门方向的交通量全部改为右出,使其与广深高速其他立交的出口方式相协调,减少了该路段的交织问题,也将降低该出口的事故发生

生率;(2)对广深高速现行交通量影响较少,实施时可先施工右出匝道,然后封闭或拆除左出匝道。

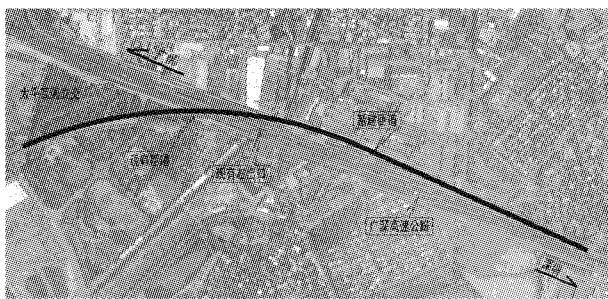


图4 方案一:右侧分流匝道方案

方案一的缺点是:(1)匝道与广深高速斜交角度较大,需采用大跨径( $2 \times 130m$ )跨过广深高速,桥梁施工时交通组织难度较大;(2)现有加宽桥梁需进行二次加宽;(3)需拆迁 $7600m^2$ 房屋。

## 2.2 方案二:左出匝道改右出匝道并设置集散道方案

方案二(图5)是考虑到2016年以前,太平立交北行左出口的交通量仍维持在15712辆/d以上,在综合考虑加宽方案的基础上,提出在加宽段外侧增设2车道的集散车道,与右转匝道相接的方案。

方案二的优点是:(1)将往常虎高速、虎门大桥高速和太平的交通量全部集中到集散车道,实现了内侧车道4车道的直达通行,彻底解决了车辆交织问题,也提高了行车安全性;(2)对现有的加宽桥梁没有影响;(3)与方案一一样,方案二对广深高速现行交通影响较少,实施时可先施工右出匝道,然后封闭左出匝道或拆除左出匝道。

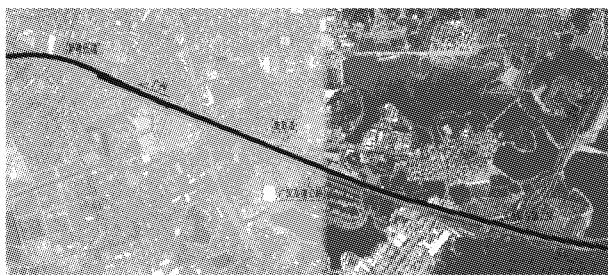


图5 方案二:设置集散道方案

方案二的缺点是:(1)由于需设置集散车道,拆迁量大,占地多;(2)需对五点梅立交北行方向的出入口进行改造;(3)匝道与广深高速斜交角度

较大,需采用大跨径( $2 \times 130m$ )跨过广深高速,桥梁施工时交通组织难度较大。(4)五点梅立交的改造牵涉到五点梅水库(一级水源保护区)。

## 2.3 方案三:结合太平立交的改造,匝道合并设置

方案三(图6)是在结合太平立交(接地方)的改造工程,将原往虎门大桥方向的左转匝道出口封闭。该方向交通流通过右转往太平镇地方匝道分流,经太平立交再与虎门大桥高速相接。

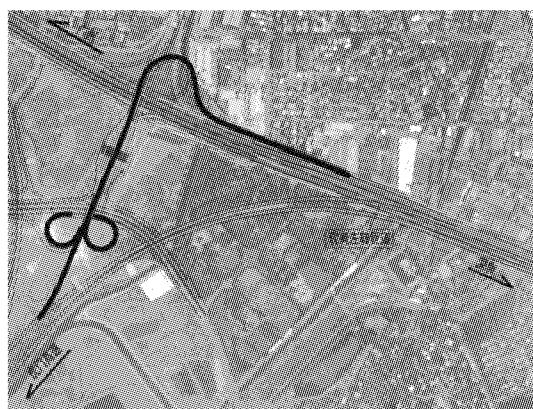


图6 方案三:立交合并设置方案

方案三的优点是:(1)避免了左转往虎门大桥交通的交织,提高了直行路段的通行能力;(2)最大限度地利用了现有工程,对现有加宽工程也无影响;(3)征地拆迁少,工程规模也小。

方案三的缺点是:(1)由于匝道线形指标较低,不能很好的适应该路段的交通量(约31316辆/d);(2)往虎门大桥高速方向的车辆,需先下广深高速公路再上虎门大桥高速公路,严重制约了该方案的通行能力。

## 2.4 方案四:虎门大桥高速东延接新联支线

方案四(图7)是将虎门大桥高速东延接新联支线的方案。

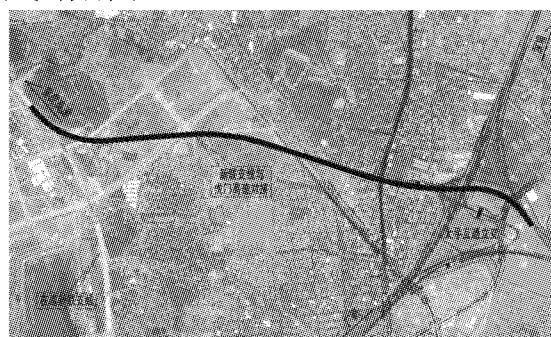


图7 方案四:虎门大桥高速东延接新联支线方案

优点是：常虎方向与虎门大桥方向交通流无需经过广深高速进行转换，避免了交织的问题，同时缓解了广深高速该路段的交通压力。

缺点是：(1)解决左出问题和交织问题不彻底，只解决了常虎高速往虎门大桥高速方向的左转交通量，广深高速深圳方向往虎门大桥

高速方向的交通流仍需从太平立交左出口驶出；(2)需全线采用高架桥的方式，工程规模大；(3)征地、拆迁量均较大，且占用了部分农田。

## 2.5 综合比选

各方案综合比较见表1。

表1 各方案综合比较表

方案		拆迁/m <sup>2</sup>	用地/亩	桥梁长度/m	造价/万元
方案一	左出改右出匝道	7000	50	1793	12938.17
方案二	左出改右出匝道并设集散道	19000	160	1643	25204.48
方案三	结合太平立交改造匝道合并设置			440	3502.53
方案四	虎门大桥高速东延接新联支线	5200	110(33)	3575	27536.07

综上所述，方案四由于解决广深高速的交织不彻底，且仍存在左转的安全隐患，不予推荐；方案三虽然造价最低，但由于其通行能力较低，也不予推荐。考虑到2016年，相关路网完善之后，尤其是常虎高速西延接广深沿江高速、虎门二桥通车后，将分流南沙—深圳方向的交通量，太平立交左出口的交通量将大幅减少到16077辆/d，尤其是2020年中深通道通车后，太平立交左出口交通量更是锐减到9964辆/d。在保证行车安全的前提下，综合考虑工程造价及方案实施的可行性，推荐方案一，即将左出匝道改为右出匝道，不设集散车道的方案。

## 3 结论

(1)为提高广深高速太平立交—五点梅路段的通行能力，改善太平立交北行左出口处的安全隐患，减少交通交织。实施左出口改为右出口是十分必要和紧迫的。

(2)经综合比较，方案一较好地结合了项目的特点，为项目实施的可行性提供了必要的依据；方案二能彻底解决车辆交织问题，也提高了行车安全性；但沿线拆迁量大，占地多，且涉及水源保护区，方案实施的可行性小；方案三较好地结合了地方立交改造工程，但通行能力不足，达不到改造的目的；方案四仅分流了部分交通流，不能彻底解决车辆交织等问题；因此推荐方案一为改造方案。

(3)方案设计时应充分考虑影响区域内相关路网的建设规划，做好相应交通量预测分析，并考虑方案实施的可行性，提出适合项目特点的改造方案。

## 参考文献：

- [1] 公路路线设计规范 JTG D20—2006 [S]. 北京：人民交通出版社，2006.
- [2] 东莞市虎门镇虎门立交改造工程可行性研究报告 [R]. 深圳：深圳市市政设计研究院有限公司，2010.

# 佛开高速公路改扩建路面施工组织

占 辉

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**高速公路改扩建施工对原高速公路交通影响较大,而路面施工又是交通影响相对较大的阶段,如何保证路面施工阶段的道路通行能力,成为整个交通组织的一个关键,本文通过对佛开高速公路改扩建工程路面施工阶段交通组织方案及实施关键性问题进行探讨,以期为今后的改扩建项目提供一些借鉴。

**关键词:**高速公路;改扩建;路面施工;交通组织;通行能力

高速公路改扩建的施工阶段大体上可以分为路基阶段和路面阶段,一般来说,对于两侧拼接加宽的高速公路,路基阶段的施工对原有高速公路交通的影响较小,基本上可以采用全开放式施工,而路面阶段需要开挖土路肩、拼接底基层、基层及统一罩面,施工对原有高速公路交通运行的影响较大,为减少社会影响,通常需要采取“交通优先”尽量保证高速公路能维持原有的通行能力,本文以佛开高速公路扩建路面施工为例,对改扩建路面施工交通组织进行探讨。

## 1 路面施工交通组织

### 1.1 整体式路基路面交通组织

第一阶段:首先挖除半幅道路土路肩,在路侧设置防撞型隔离墩分离行车区与施工区,保证道路安全,然后施工道路左幅扩建部分垫层及26cm水泥混凝土至扩建侧与原有路面齐平,并完成新建路基土路肩位置护栏等设施,此阶段车辆在原道路双向四车道通行。

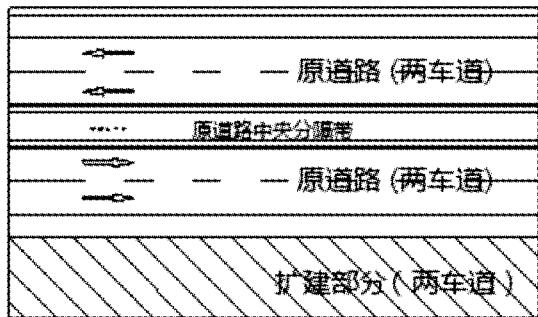


图1 路面施工第一阶段示意图

第二阶段:将交通转移至道路加宽的左幅双

· 18 ·

向四车道通行,即利用原道路左幅、左幅扩建部分双向四车道通行,中间采用防撞隔离设施进行隔离分开对向车流,在适当位置设置开口以备紧急情况使用,道路右幅封闭施工垫层及路面至设计标高,并改造半幅中央分隔带及护栏,根据施工情况在此半幅留出应急车道。

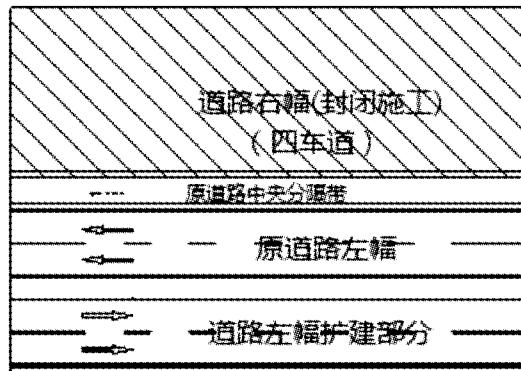


图2 路面施工第二阶段示意图



图3 路面施工第三阶段示意图

第三阶段:将交通转移至道路新建好的右幅双向四车道通行,即原道路右幅、右幅扩建部分双向四车道通行,中间采用防撞隔离设施

进行隔离分开对向车流,对道路左幅封闭施工,挖除硬路肩位置,并对旧路面进行修补,改造半幅中央分隔带及护栏。对道路半幅统一罩面,施工护栏等安全设施,最终完成道路八车道扩建。

## 1.2 分离式路基路面交通组织

第一阶段:挖除原有道路两侧土路肩,拔除波形梁护栏设置于硬路肩位置,施工两侧新加宽部分(包含护栏等设施),此阶段道路仍维持双向四车道通行。

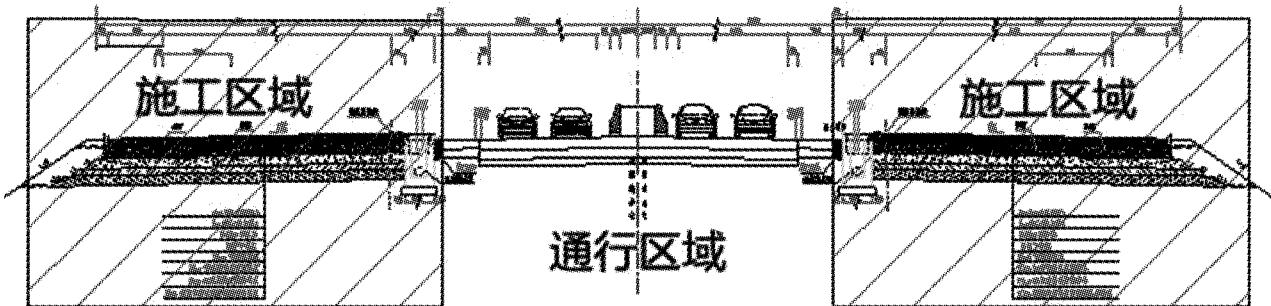


图 4 分离式路基路面施工第一阶段示意图

第二阶段:在完成两侧车道加宽后,拔除硬路肩位置旧护栏,对旧路面及硬路肩进行修补,

改造中央分隔带及护栏,然后再统一罩面,完成内侧车道的改建,最终完成道路八车道扩建。

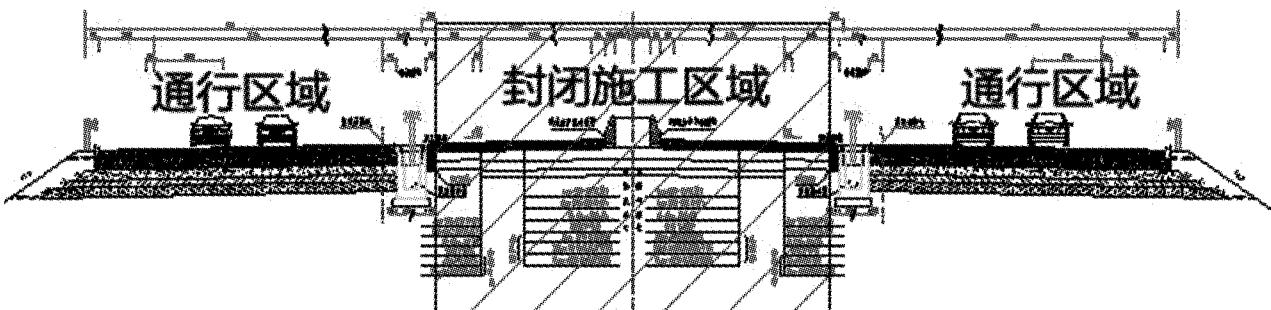


图 5 分离式路基路面施工第二阶段示意图

## 2 交通组织关键性问题分析

### 2.1 桥梁加宽部分车道划分方案

对于采用两侧加宽方式高速公路改扩建,如要保证道路半幅双向通行时道路的通行能力,桥梁新扩建加宽部分也需要用来行车,而加宽部分宽度要小于原桥梁宽度,如下图,因此造成加宽部分往往不能划出两个车道。



图 6 桥梁拼接加宽

为保证道路通行的车道数,佛开扩建桥梁部分在路面施工第二阶段采取小桥原护栏临时拼接、大中桥原护栏不拆除,减小车道宽度保证单向两车道通行,即车道宽度变为 $3.5m$ ,同时根据桥面宽度适当减小路缘带宽度,这样既满足施工实施的可行性,又保证了道路通行能力,减少地方路网的分流压力。

### 2.2 防撞性隔离设施

目前国内高速公路改扩建施工时对于路侧和半幅双向通行时的防护设施以隔离设施为主,基本上不具备防撞能力,安新高速改扩建采用路侧旧波形梁移至硬路肩位置也仅只具备一定的防撞能力,而其实施有一定的局限性,根据国内外的研究,目前主要有三种防护设施满足要求,分别是链式护栏、Vulcan 钢屏障移动式护栏、注水交通隔离墩(水马)。



图 7 沪杭甬高速

## (1) 链式护栏

链式护栏已在上海沪宁高速的中央分隔带开口处应用,其防撞能力经过实车碰撞试验验证。



图 8 安新高速

证 113kJ,满足 JTGT F83 - 01 - 2004《高速公路护栏安全性能评价标准》中 B 级碰撞等级要求。

表 1 实车碰撞实验碰撞条件实测数据

序号	碰撞车型	车重(kg)	碰撞速度(km/h)	碰撞角度(°)	碰撞能量(kJ)
1	大客车	9988	59.3	16.8	113
2	小客车	1500	98.2	19.7	63

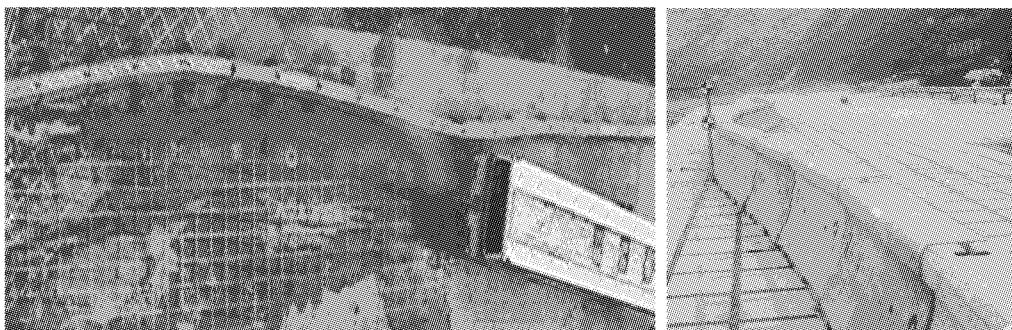


图 9 试验碰撞过程及碰撞后护栏

## (2) Vulcan 钢屏障移动式护栏

Vulcan 钢屏障移动式护栏是一种可移动和固定安装的钢制护栏,符合美国 NCHRP350 TL - 3 及欧盟 EN1317 - 3(时速 100km)对纵向导正性安全护栏的要求。护栏有 4m 和 12m 两种种长度。Vulcan 钢屏障移动式护栏使用销钉连接各模块,从而使该

系统每 4m 区间内可以形成 6 度的曲线。

小型车和大型车实车碰撞试验结果符合 JTGT F83 - 01 - 2004《高速公路护栏安全性能评价标准》中 A 级碰撞等级及碰撞条件下对小型车和大型车的防护性能、乘员风险、驶出角度等六项性能的相关规定。



图 10 Vulcan 钢屏障移动式护栏

### (3) 注水交通隔离墩(水马)

采用高强度工程塑料“滚塑”一次成型。安置时向隔离墩内注入水，即可稳定，搬迁时排出水，便可轻松移动。在发生交通意外时，由于产生弹性碰撞，隔离墩起到了吸收一部分冲击力的作用，而不是与冲撞体发生硬性撞击，因而大大提高了车辆和司乘人员的安全。在外观上其色彩明亮，无论白天黑夜都可以保证应有的警示作用。由于采用了高强度工程塑料，因此具备了强度高、不褪色、耐腐蚀、耐高温、耐严寒、耐日晒、耐雨淋等系列优点。其表面光滑流畅，因而又极易清洁。最重要的是该种隔离墩运输安装收回非常方便，可重复利用性强，非常适用于道路施工中将施工现场和道路行车隔离设施。

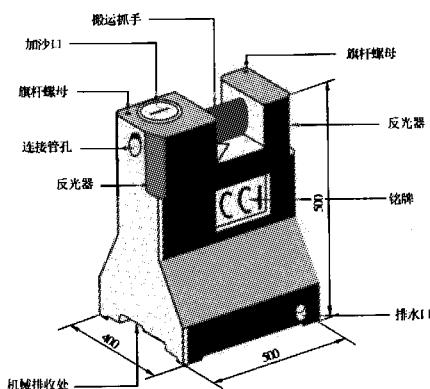


图 11 注水交通隔离墩(水马)

### (4) 隔离防护方案综合比选

表 2 隔离防护方案比较表

隔离防护方案	防护等级	费用(元/m)
链式护栏	B 级	600
Vulcan 钢屏障移动式护栏	A 级	3000
注水交通隔离墩(水马)	等级未评定	500

为保证项目扩建在施工期间隔离设施具有一定的防撞能力，从经济性、安全性、施工难易程度、施工工期、环保等因素考虑，项目采用水马作为双向通行中分带隔离设施。

### 2.3 临时交通标线

高速公路改扩建施工中，当路面半幅完成四车道扩建，交通转移至新建半幅道路双向四车道通行，由于临时通行车道与完工后道路车道位置

并不重合，因此设置热熔标线则日后难以铲除，采用预成型标线带可满足道路临时通车短时车道划分对标线的要求，而日后也方便清除后施划永久道路交通标线。

### 2.4 中央分隔开口长度

由于施工需要，路面施工需要在某段半幅封闭，这时车流需变换至对向车道行驶，因此，车辆需越过中央分隔带，中央分隔带开口长度对车道数和交通流运行产生较大影响，合理的中分带开口度有利于减少行车延误，提高运行速度及通过能力。

根据目前国内的相关研究、仿真实验和现场实际交通运行状况，综合考虑道路行车安全及通畅性，建议采用单车道通行时，中央分隔带开口长度不小于 50m，采用双车道通行时，中央分隔带开口长度不小于 100m。

### 3 结语

对原有高速公路进行改扩建，无论采用何种施工组织方式，必然对原有的高速公路交通流产生干扰，从而影响道路的正常行车，因此，如何减少改扩建施工对交通的影响，避免造成大范围的交通拥堵，成为高速公路改扩建施工中一个亟待解决的问题。

本文通过对佛开高速公路改扩建工程路面施工阶段交通组织方案及实施关键性问题进行分析，保证了道路通行能力，同时也为今后的改扩建项目提供一些借鉴。

#### 参考文献：

- [1] GB 5768 - 2009, 道路交通标志和标线 [S].
- [2] JTG D82 - 2009, 公路交通标志和标线设置规范 [S].
- [3] JTG H30 - 2004, 公路养护安全作业规程 [S].
- [4] GA/T 900 - 2010, 城市道路施工作业区交通组织规范 [S].
- [5] Highway on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD), 2009 Edition, Federal Highway Administration, Washington D. C 2009.
- [6] DB33/704 - 2008《浙江省地方标准——高速公路交通安全设施设计规范》[S].
- [7] 王宏伟, 贾日学, 王彦卿, 张绍理, 高岩渊. 沪宁高速公路安全体系和中分带开口护栏研究 [J]. 现代交通技术, 2006 年, 第 5 期.
- [8] 邓润飞, 李冬梅. 基于 Vissim 仿真软件的交通组织方案研究 [J]. 现代交通技术, 2006 年, 第 3 期.

# 合口隧道塌方治理

梁淦波

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**隧道塌方在近年的隧道施工中时有发生。本文通过介绍河口隧道塌方的过程、原因和治理措施等,为同行合理治理隧道塌方提供参考。

**关键词:**隧道;塌方;治理

## 1 工程概况

合口隧道经过山地丘陵地貌区,为双洞六车道小净距隧道,采用左右线设置,进口端洞门类型采用端墙式、出口端采用削竹式,左线隧道里程为ZK71 + 667 ~ ZK72 + 103,隧长436m,底板设计标高为43.218 ~ 49.298m,坡度1.92 ~ -2.9%;右线隧道里程为YK71 + 671 ~ YK72 + 096,隧长425m,底板设计标高右线为42.904 ~ 48.063m,坡度1.92 ~ -2.913%,隧道最大埋深约74m。

隧道区地层覆盖层主要为第四系坡积亚粘土,基底由泥盆系上统帽子峰组(D3m)砂岩风化层及泥盆系上统天子岭组(D3t)灰岩、砂岩风化层组成。隧道区地下水类型为层状基岩裂隙水,地下水以大气降雨入渗及侧向迳流方式接受补给,以蒸发、侧向迳流方式排泄。

## 2 塌方情况及原因分析

2010年9月27日,合口隧道左线出口掌子面正在开挖ZK71 + 810.5,其时隧道进口掌子面里程为ZK71 + 804,已经完成了上台阶初期支护,并停止施工。9月27日中午1点半左右ZK71 + 810.5放炮以后随即开始塌方,下午3点监控量测在左线隧道进口进行量测时发现隧道进口已经发生了塌方,ZK71 + 800断面的拱顶抬升了15.3mm,下午4点监控量测在左线隧道出口进行量测时,此时出口也已经发生塌方,其时ZK71 + 830断面的拱顶沉降了40.5mm,直到9月28日凌晨3时,隧道出口发生了大面积的塌方。9月28日经

现场测量计算,进口端拱架损坏4榀(纵向长度4m),里程为ZK71 + 800 ~ 804,出口端拱架损坏26榀(纵向长度26m),里程为ZK71 + 811 ~ 837。已经施工的初期支护未塌方段:ZK71 + 692 ~ ZK71 + 800段和ZK71 + 837 ~ ZK71 + 888.8段。

隧道洞内塌方体初步估算约为2500m<sup>3</sup>,ZK71 + 800塌落体主要以10 ~ 100cm直径的单个块石和碎块状炭质灰岩为主,ZK71 + 837主要由10 ~ 50cm直径的单个块石和碎块状炭质灰岩组成。据分析,造成这次塌方的主要原因为地质情况突然变差,ZK71 + 810.5附近为一小型破碎构造带,围岩自稳能力很差,地下水水量较大,开挖时没有及时支护,造成局部坍塌,并影响前后掌子面,引起连锁反映,从而造成大塌方。



图1 进口塌方照片

## 3 塌方后临时处理方案及加固措施

从9月27日ZK71 + 800 ~ ZK71 + 837段塌方后,ZK71 + 851 ~ 878及ZK71 + 770 ~ 795出



图2 出口塌方照片

现较多裂缝,局部喷射混凝土剥落,钢拱架裸露。为保证人员安全,对隧道塌方进行临时处理,临时性处理方案具体如下:

- (1)停止合口隧道左线施工;
- (2)隧道左线进口,严禁人员进入;
- (3)ZK71 + 855 位置近期有趋速下沉,必须加强监控量测。对 ZK71 + 837 ~ ZK71 + 888 每 5m 一个观测点,观测频率 2 次/天。
- (4)ZK71 + 837 ~ 870 段初衬出现掉块和开裂,采用 I22b 做临时支撑,间距 50cm,保证工字钢与初衬密贴,拱脚必须座落于坚硬岩石上,φ22 钢筋连接间距 1m。ZK71 + 870 ~ ZK71 + 888 段加强观测,如果稳定可不加固,若不稳定则需要加固。
- (5)观测右线 YK71 + 816 ~ 843 段布设 3 个断面进行观测。

由于洞内持续存在变形,洞内临时钢架一直不敢施工,10月8日在隧道左线 ZK71 + 823 左 16m 位置出现有三道 0.5 ~ 1m 长 1 ~ 2cm 宽的雁裂缝,10月9日上午观察地表时,发现雁裂缝有所扩大,水平张开度约 4 ~ 5cm,在 ZK71 + 820 左 8m 左右位置(隧道左侧边墙范围)见锅形的天坑塌陷,塌陷土方主要为残、坡积土,塌落范围约 4.5 \* 3.5 \* 2m,此段范围均出现较多道裂缝。

根据施工方反映左线洞内施工进度如下:隧道进口端上台阶初衬至 ZK71 + 804,下台阶初衬至 ZK71 + 800,二衬仰拱至 ZK71 + 795;隧道出口端上台阶初衬至 ZK71 + 811,下台阶初衬至 ZK71 + 867,二衬仰拱至 ZK71 + 871,二次衬砌

拱墙至 ZK71 + 888.8。根据监控量测数据显示:进口段 ZK71 + 790 ~ 800 变形速率稍小有趋于减少的趋势,反映围压逐渐趋于稳定的状态,出口段 ZK71 + 840 ~ 880 段变形较快,反映围岩处于不稳定状态。右线二衬衬砌拱墙已施工至 YK71 + 763,根据监控量测情况,左线塌方未对右侧隧道二次衬砌造成大的影响。根据现场勘查围岩分析,隧道洞内塌方体初步估算约为 2500m<sup>3</sup>,ZK71 + 800 塌落体主要以 10 ~ 100cm 直径的单个块石和碎块状炭质灰岩为主,ZK71 + 837 主要由 10 ~ 50cm 直径的单个块石和碎块组成,上部有见夹少量黄色强 ~ 中风化砂岩块石。受滑动影响,部分塌落岩块表面手摸有光滑感。隧道上部围岩节理裂隙局部密集,部分裂隙夹有泥质填充物,粘结力小,开挖后结构面不利组合导致不利的结构体失稳,造成开挖面掉块、坍落。塌方体半潮湿 ~ 潮湿,局部裂隙发育部位见渗水、滴水。为预防已初衬但未塌方的地段出现第二次塌方,同时为处理塌方段创造一个安全施工条件,也为下一步处理塌方段创造条件,包括二衬端部至塌方段端部段的松动围岩,便于以后该段的二衬施工,从而确保能满足隧道运营所必需的安全条件。对合口隧道左线塌方采取以下临时加固措施:

第一步:首先在 ZK71 + 837 ~ ZK71 + 888.8 段和 ZK71 + 790 ~ ZK71 + 800 段采用 I22b 工字钢间距 50cm 一环做临时支撑。对将要安装工字钢的初衬位置进行基面处理,处理方法可采用喷砼、砂浆抹面和凿除喷射砼的方法。工字钢安装时先采用木楔子定位,再用铁抹子往空洞内挤满 M7.5 砂浆,保证工字钢与初衬密贴。拱脚必须座落于坚硬岩石上,钢拱架两侧拱脚处前后各设 3 根 6m 的 φ42 小导管注浆。钢架间用 φ22 钢筋纵向拉杆焊接在一起,拉杆环向间距 1m,钢筋与工字钢之间采用满焊。左线出口段从 ZK71 + 888.8 段往 ZK71 + 837 塌方段方向支撑,隧道进口从 ZK71 + 790 段往 ZK71 + 800 段支撑。安装临时拱架必须安装一榀楔好一榀,待前一榀楔好后,再进行下一榀施工。

第二步：对 ZK71 + 837 ~ ZK71 + 888.8 段采用壁厚 10mm 的 φ203 无缝圆钢管做立柱搭设排架作临时支撑，先将立柱下的基底的杂物和弃土清除，再安放 580 × 520 × 15 钢板，若基底不平，可采用小碎石垫平，保证钢板垫平在坚硬的基层上。将立柱钢管安放在钢板上，钢管与钢板连接采用 4 片 100 × 100 × 15 加劲钢板焊接，必须满焊。钢管顶部与工字钢连接处采用钢管斜剖口与拱架焊接，再在两侧设置三角翼板焊接，加强接头的抗剪强度。φ203 圆钢管纵向间距 1m，横向间距 1.5m。立柱钢管纵向连接采用 φ108 钢管，连接处采用 φ22 钢筋做托架，由于钢管与钢管连接面积小，260 × 290 × 15 钢板做抱箍连接。纵向 φ108 钢管采用 4 根 30cm 长的 φ22 钢筋双面满焊连接。横向布置的 φ108 钢管应与钢管形成相贯线焊接，这样能充分发挥材料的强度和支撑的牢固。扫地杆应用 2 根 E20 槽钢夹住所有钢管脚，并焊牢，同时也与 I22b 临时钢拱架脚夹住焊牢；采用 E14b 槽钢做剪刀撑，剪刀撑纵向间距为 1m。

第三步：对 ZK71 + 790 ~ 800 段和 ZK71 + 837 ~ 888.8 段拱顶及周边进行钢花管注浆，注浆的环向范围为隧道拱顶左右 70°，钢管长度为 6m，间距 80cm × 80cm。注浆采用水泥单液浆，注浆参数应通过现场试验确定，预注浆参数可取如下：水灰比 1 : 1，注浆压力为 0.5 ~ 1.0 MPa，压力应由小到大逐步增加，并密切注意初期支护的变形情况，慎防因注浆压力过大，破坏初期支护。

以上三步临时加固方案施工长度可根据监控量测情况以不大于 5m 为 1 个步骤，按顺序平行施工。

#### 4 通过塌方段的处理方案

待隧道塌方体前后段临时加固完成并保持稳定以后，进行塌方处理。

(1)首先对两侧塌方体掌子面进行喷混封闭作止浆墙，喷射混凝土厚度为 30cm。并对掌子面进行注浆固结塌方松散体，采用 4.5m 长 φ42 壁厚 4mm 无缝钢管注浆，间距 120 × 120cm 梅花形

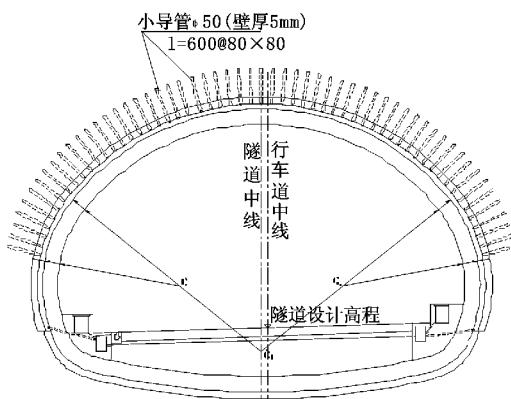


图 3 小导管注浆加固图

布置。考虑到塌方体在开挖过程中需挖除，注浆只为临时稳定塌方体为开挖提供条件，故浆液结石强度不应太高，注浆终压取 0.5 MPa。注浆应采用分次、隔孔注浆的方式进行，首先对塌方体的周边进行注浆以保证后期中部浆液能集中于塌体内，然后对塌体中部进行注浆，为了避免浆液在相邻注浆管间流窜，注浆管应设止浆阀，注浆应尽可能钻一孔，注一孔，当不得已需多孔同时施工时，注浆孔与相邻施工孔间距离不得小于 4m，一旦发现有串浆时应停止注浆，并对其余钻孔进行封孔后方可从新注浆；

(2)根据补勘报告本次塌方体在隧道洞顶上存在一定数量的空洞，但空洞分布杂乱、大小不一，最大的空洞近 230m<sup>3</sup>，由于空洞距离隧道轮廓线较近，对于隧道结构受力存在影响，应在注浆施工前在对其进行吹砂回填。

(3)根据补勘报告本次塌方松散体范围分布在 ZK71 + 800 ~ ZK71 + 840，宽度为左侧 20m ~ 右 12.5m，说明隧道开挖范围完全处于塌方松散体内。松散体的最大高度在拱顶开挖外轮廓线以上接近 45m，为了保证隧道在塌方体能顺利掘进，必须先对塌方松散体进行注浆固结，使塌体在隧道开挖轮廓外 4m 的范围内形成一个稳定注浆加固圈。为了达到这一目的，考虑到塌方体主要由松散堆积物组成，钻孔孔径过大，孔长过长极易出现塌孔的现象，故本次注浆主要分成两步进行：

第一、在隧道两端洞内进口段 ZK71 + 796 ~ ZK71 + 798 及出口段 ZK71 + 839 ~ ZK71 + 841 架设临时导向钢架，采用自进式 Φ108 管棚对塌方

体进行初步固结注浆,注浆范围为拱顶160°,外插角为8°~10°,管长24m,钢管间距为40cm;

第二、待两端长管棚施做完成浆液凝固以后,长管棚注浆的扩散半径有限为了进一步加固拱围岩,拟在ZK71+798~ZK71+839范围进行超前Φ50小导管预注浆,注浆浆液类型根据现场试验确定,注浆范围为拱顶160°,注浆管长6m,外插角45°,钢管间距为80cm×80cm,梅花布置。

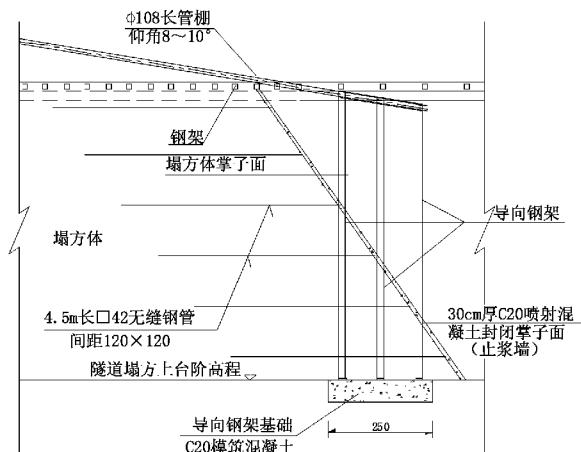


图4 长管棚加固设计图

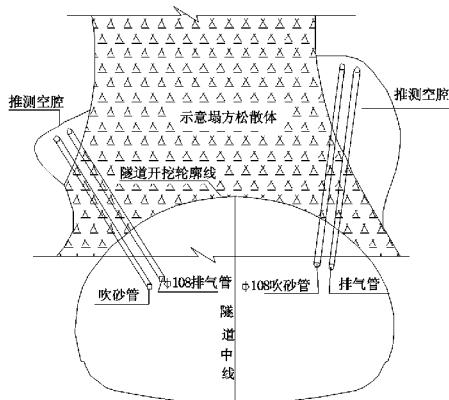


图5 塌方空腔回填设计图

(4)长管棚处理完成以后从进口向出口方向掘进。ZK71+839~ZK71+798共41m,采用4.5/5.0m长的Φ50双层小导管注浆作为超前支护,采用双侧壁导坑法施工,通过该段。

(5)本段施工应采用机械开挖,并遵循短进尺、早封闭、强支护、二次衬砌紧跟为原则进行,每次开挖进尺应严格控制,不得大于50cm。如在开挖过程中存在掌子面滑塌的形象可根据现场情况采用喷射混凝土封闭掌子面或采用喷射混凝土、钢筋网及小导管压浆固结进行处理。

(6)导坑临时支撑的拆除时间应该根据监控量测进行,每次拆除长度不得大于5m,拆除以后应立即施做二次衬砌。

(7)应加强监控量测,时刻掌握围岩的变形情况,监控断面应按5m一个布设,量测时间间隔应为1~2次/天。

(8)由于物探手段存在误差难以完全揭示空腔在塌体内的分布,在施工过程中如发现空洞根据空洞大小,可根据现场情况决定采用泵送C15混凝土回填或C20喷射混凝土回填,一般原则为:小空洞采用C20喷射混凝土回填,大空洞采用C15混凝土回填。保证隧道周边加固圈的厚度;

(9)基于目前补勘资料,虽未发现在近地表处存在大型空洞,但不能排除日后地表继续塌陷的可能,应继续对地表进行围闭及监控,进一步观察。

## 5 治理效果

通过上述方案进行塌方治理,在业主、设计、监理、施工四方的通力协作下,河口隧道塌方段顺利安全的通过,保证了隧道的顺利贯通。

## 6 结语

近几年来,随着高速公路向山区发展,公路隧道的建设也越来越多,隧道施工过程中的塌方也时有发生,如何在保证安全情况下,综合工期、经济等因素处理隧道塌方也是隧道工程人员要面对的问题。本文通过河口隧道的塌方治理,总结出几点心得,供同行参考。

隧道塌方发生后,第一,首先要保证施工人员的安全,在施工人员安全不能保证情况下先停止施工;第二,塌方处治前一定要先加固塌方体后方的已支护的空间,防止再次坍塌,保证塌方处治施工人员的安全;第三,通过塌方体要按先加固后开挖的原则,并在施工过程中加强监控量测,如发现异常情况应及时应对,保证安全;第四,采用长管棚超前支护并结合围岩注浆加固措施,在塌方体上方形成围岩支护拱,此措施结合合理的施工开挖方法能保证顺利通过塌方体。

### 参考文献:

- [1] 公路隧道设计细则 JTG/T D70-2010. 北京:人民交通出版社,2010.

# 茅田界特长公路隧道通风方案设计

金文良

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**文章简要介绍茅田界特长公路隧道的工程概况,对目前最为常用的全射流纵向通风和竖井送排式分段纵向通风进行对比、分析及研究,并充分考虑隧道正常营运、交通阻滞、火灾和排除异味四种不同工况下隧道内气流组织、通风及其控制等要求,对隧道营运通风系统比选方案进行计算分析,确定技术可靠、经济相对较省的全射流纵向通风方式作为推荐方案。

**关键词:**特长公路隧道;通风方案;全射流风机纵向通风;竖井送排式分段纵向通风

近年来,随着我国经济实力的增强和交通事业的发展,高速公路和其它高等级公路迅猛发展起来。高等级公路蓬勃发展的同时,公路隧道建设规模也越建越大,在建和将建的长隧道和特长隧道也越来越多,这对隧道建设提出了更高的要求,同时也推动了隧道技术的进步。

公路隧道的发展方向是长大化,制约长大公路隧道建设的一项重要技术就是隧道通风技术。国内外经验表明,长大公路隧道通风设备及土建费用一般为整个工程造价的30%~50%,而风机配置功率与设计风量的3次方成正比,隧道通风所需费用与隧道长度的3次方成正比增加,隧道通行后运营费用将是一笔巨大的开支<sup>[1-4]</sup>。本

文针对二广高速粤境段山区高速公路出省通道的特点,研究其相适应的隧道通风方式极具社会与经济价值。

## 1 工程概况

茅田界隧道是位于二连浩特至广州高速公路粤境段连南县境内的特长公路隧道,也是二广高速粤境段整个项目上的控制性工程。该隧道为双洞四车道高速公路隧道,左线隧道长4380m、右线隧道长4385m,采用人字坡,两洞口线间距相距25m。茅田界隧道通风主要设计参数见表1<sup>[5]</sup>。

表1 茅田界隧道主要设计参数

项目	左洞	右洞
隧道长度/m	4380	4385
洞口里程桩号	ZK84+685~ZK89+065	YK84+687~YK89+072
行车方向纵坡	0.401%, -1.1%	0.6%, -1.1%
平均海拔标高/m	315	320
隧道净空面积/m <sup>2</sup>	64.08	64.08
隧道净空断面当量直径/m	8.29	8.29
设计速度/(km/h)	100	100
夏季隧道平均气温/°C	30	27

## 2 通风基础参数取值

公路隧道的通风原理,是通过向隧道内注入

新鲜空气,稀释洞内由汽车排出的废气和烟雾,使得隧道内的空气质量好,烟雾透过率能保证司乘人员的身体健康和行车安全。然而,隧道内的

废气总量和烟雾浓度,与汽车的排污强度以及隧道内的车流密度成正比;而送入隧道内的新风量又取决于保证隧道内的空气质量的卫生标准。茅田界公路隧道属于特长公路隧道,卫生标准的确定结合其双洞单向行车的实际情况,根据《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999)取值。

## 2.1 通风技术标准

根据《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999),其中CO和VI的基准排放量以1995年为起点,换气频率定为每小时4次,同时采用纵向通风的隧道,换气风速不低于2.5m/s,茅田界隧道为特长隧道,其主要通风技术标准详见表2。

表2 隧道通风技术标准

比较项目		单位	设计指标
CO设计浓度 $\delta$	正常运营	ppm	250
	交通阻滞		300(20min内)
VI设计浓度K	100km/h	$m^{-1}$	0.0065
	80km/h		0.007
	60km/h		0.0075
	50km/h		0.00825
	40km/h		0.009
	交通阻滞		0.012
	养护维修		0.003
CO基准排放量	$m^3/\text{辆} \cdot \text{km}$		0.01
烟雾基准排放量	$m^2/\text{辆} \cdot \text{km}$		2.5
最大设计风速	单向交通	$m/s$	10
	双向交通		8

表5 本项目各类车辆的引擎比例取值(单位:%)

车型	小客车	小货车	大客车	中货车	大货车	集装箱、拖挂车
柴油车比(%)	10	30	100	80	100	100
汽油车比(%)	90	70	0	20	0	0

## 3 隧道需风量计算

隧道需风量计算以2025年为近期,以2033年为远期。

### 3.1 稀释CO的需风量

根据《公路隧道通风照明设计规范》

表3 隧道所在路段年平均日交通量预测表 单位:辆/日

年限	2025年(近期)	2033年(远期)
预测交通量(标准小客车)	29472	46582

表4 各车型组成(绝对比例)

车型	小货	中货	大货	拖挂	小客	大客
2025年	5.51%	6.35%	19.02%	20.02%	33.16%	15.94%
2033年	4.59%	5.30%	19.25%	20.27%	34.34%	16.26%

## 2.2 交通量及其组成

交通量与其组成是进行通风计算的基础数据之一,茅田界隧道所在路段工程可行性研究报告提出的交通量和交通组成见表3和表4。考虑到单洞的不平衡因素,左右线车辆比例系数均取0.55,高峰小时交通量按年平均日交通量的14%计算。

## 2.3 关于汽柴比取值

汽柴比的取值对通风计算影响非常巨大,根据引擎的不同,汽车主要分为汽油车和柴油车两种。柴油车产生大量烟尘,会对隧道洞内通风造成很大影响;汽油车排放的烟尘相对较少,且排放成分也与柴油车有所区别。为较为合理地计算隧道需风量,在决定交通量的同时,也应尽可能准确预测柴油车和汽油车的构成比例。对于新建隧道,柴油车和汽油车的构成比例可从项目可行性研究报告中查得,茅田界隧道根据车型汽柴比取值见表5。

(JTJ026.1-1999)中关于隧道内的CO排放量及需风量的计算公式,行车速度分别按正常交通及交通阻滞工况计算(10km/h)计算。

隧道内的CO排放量计算公式为:

$$Q_{CO} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{CO} \cdot f_a \cdot f_d \cdot f_h \cdot f_{iv} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n (N_m \cdot f_m) \quad (1)$$

稀释 CO 的需风量计算公式为:

$$Q_{req(CO)} = \frac{Q_{CO}}{\delta} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T}{T_0} \times 10^6 \quad (2)$$

式中各符号参见《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999),下同。

### 3.2 稀释 VI 的需风量

根据《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999)中关于隧道内的 VI 排放量及需风量的计算公式,行车速度分别按正常交通及交通阻滞工况计算(10km/h)计算。

隧道内的 VI 排放量计算公式为:

$$Q_{VI} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{VI} \cdot f_{a(VI)} \cdot f_d \cdot f_h(VI) \cdot f_{IV}(VI) \cdot L \cdot \sum_{m=1}^{n_h} (N_m \cdot f_m(VI)) \quad (3)$$

稀释 VI 的需风量为:

$$Q_{req(VI)} = \frac{Q_{VI}}{K} \quad (4)$$

### 3.3 稀释空气中异味的需风量

根据《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999)第3.4.6条规定:隧道空间不间断换气频率,不宜低于每小时5次,交通量小或特长隧道,可采用每小时3~4次。茅田界隧道属于特长公路隧道,交通量大,故换气频率定为每小时4次。因此稀释空气中异味的需风量可用下式表达:

$$Q_{reg(\text{换})} = \frac{A_r \cdot L \cdot n_h}{t} \quad (5)$$

规范中第3.4.6条还规定:采用纵向通风的隧道,换气风速不应低于2.5m/s。在此规定下隧道内稀释空气中异味的需风量应同时满足:

$$Q_{reg(\text{换})} = 2.5 \times A_r \quad (6)$$

### 3.4 火灾工况时的需风量

火灾发生时,为保证着火点处的烟气不向后方倒流而危及后继车辆的安全,要求隧道内必须保证具有最低的临界风速  $V_c$ ,其值根据火灾发生时可燃物质的热量释放率计算确定。关于避免发生回流现象的临界风速的求解,PIARC 公路隧道技术委员会1999年报告《Fire and Smoke Control in Road Tunnels》(公路隧道消防和烟雾控制)提出了防止回流层所要求的隧道临界风速计算公式:

$$V_c = K_1 K_2 \left[ \frac{g H Q}{\rho_a C_p A \left( \frac{Q}{\rho_a C_p A V_c} + T_a \right)} \right]^{1/3} \quad (7)$$

式中: $V_c$ —临界速度(m/s);

$K_1$ —临界查德森的1/3次幂,取0.61;

$K_2$ —坡度修正系数, $K_2 = 1 + 0.0374 \times i^{0.8}$ ;

$i$ —隧道坡度,%;

$g$ —重力加速度,取9.8 kN/m;

$H$ —隧道高度(m);

$Q$ —火灾释放热量(W);

$A$ —隧道横断面积( $m^2$ );

$C_p$ —空气比热( $J/kg \cdot K$ );

$\rho$ —流向火灾区的空气密度( $kg/m^3$ );

$T$ —环境空气温度(K)。

本项目火灾工况时假设有一辆大型车着火,其热量释放率为50MW,通过计算得到临界风速  $V_c$  为2.80m/s,由临界风速( $V_c$ )和隧道通风断面面积( $A_r$ )即可求得火灾时的需风量: $Q_{req(HZ)} = V_c \times A_r$ ,即  $Q_{req(HZ)} = 179.42 m^3/s$ 。

### 3.5 隧道需风量的确定

茅田界右、左线隧道稀释 CO、VI、异味以及火灾工况的需风量根据(1)~(7)式计算,同时根据《JTG B01-2003 公路工程技术标准》中高速公路服务水平分级和本隧道的近远期高峰小时交通量,在设计车速为100km/h时,本隧道近期服务水平基本接近二级服务水平,服务车速84km/h。而在远期高峰小时交通量下服务水平基本接近三级服务水平,服务车速为71km/h。为了满足正常运营工况速度下的通风需求,并考虑运营安全,所以,远期仍以70km/h的需风量作为控制风量,由此确定最终隧道需风量见表6和表7。

## 4 通风方案比选

### 4.1 通风比选原则

茅田界隧道长达4.4km,且交通量大。因此在通风方案研究时,不仅要结合隧道区域的地形、地质及正常运营、交通阻塞和防火救灾等工况,还要考虑到长期运营的经济效益。通风方案比选原则主要遵循以下三个方面原则。

(1)先期建设投资与后期运营费用并重原则。

国内外长大公路隧道的工程实践表明,通风的土建与设备费用约占整个隧道工程费用的30%,隧道通风的动力头损失与隧道的长度立方

成正比。因此,在确定隧道通风方案时,不仅要考虑到尽可能减少近期通风主体工程的费用和通风设备的投资,而且要十分重视降低后期运营

成本。因为每年的运营费用,将是一个十分巨大的数字,它将直接影响到整个隧道的运营效益和服务水平。

表6 隧道各工况下的计算需风量(单位: $m^3/s$ )

隧道工况		左洞				右洞			
		$Q_{req(CO)}$	$Q_{req(VI)}$	$Q_{req(\text{异味})}$	$Q_{req(\text{火灾})}$	$Q_{req(CO)}$	$Q_{req(VI)}$	$Q_{req(\text{异味})}$	$Q_{req(\text{火灾})}$
正常工况	近期	101.47	388.82	329.32	—	92.04	313.36	329.93	—
	远期	133.27	494.00	329.32	—	120.89	424.74	329.93	—
交通阻滞		152.20	448.73	—	—	138.06	381.62	—	—
火灾工况		—	—	—	179.42	—	—	—	179.42
换气工况		—	—	—	179.42	—	—	—	179.42

表7 隧道各工况下的设计风量和设计风速(单位: $m/s$ )

隧道工况		左洞		右洞	
		风量( $m^3/s$ )	风速( $m/s$ )	风量( $m^3/s$ )	风速( $m/s$ )
正常工况	近期	388.82	6.07	329.93	5.15
	远期	494.00	7.26	424.74	6.63
交通阻滞		448.73	7.00	381.62	5.96
火灾工况		179.42	2.80	179.42	2.80
换气工况		179.42	2.80	179.42	2.80

### (2) 近、远期工程相结合的原则。

茅田界公路隧道的交通量预测分为两个阶段,前期为2025年,远期为2033年。所以在进行通风方案研究时,除了土建工程一次完成外,通风设备将分期购置和安装,这样既避免了一次设备投入费用过大,造成设备闲置,又为结合未来实际汽车排污水平,进一步优化设备配置留有空间。

### (3) 正常运营和防火救灾相结合的原则。

公路隧道通风方案的设计,除要满足交通运营通风外,还必须满足火灾发生时的通风需求。即把正常运营和火灾时的通风看作是整个通风系统的两种不同工况。因此,在通风方案研究时,对于隧道防火区段的划分、横通道的设置、火灾时的风机控制、烟流的排出路径、横通道的开启与关闭、逃生通道的空气补给、避难洞的新风需求等,都应仔细考虑。

根据茅田界隧道双洞单向行车的特征,推荐隧道内采用纵向通风形式,包括全纵向和竖井送排式分段纵向通风方式,保证车道内送、排风流方向与行车方向一致,以有利于减小通风阻力,降低防灾救灾难度。

在正常行车工况下,茅田界隧道内风速按表7的设计风量计算均小于规范规定 $10m/s$ 。对于右洞隧道,由于

行车方向下坡长达 $-1.1\%$ 的坡长 $2.83km$ ,总的需风量较小,洞内设计风速远小于规范允许风速,所以右线隧道推荐采用全射流风机纵向通风,不在进行其他方案比选;对于左洞,鉴于横向通风和半横向通风结构复杂,土建一次投入大,防灾救援复杂,长期运营费用高,因此这里不考虑。根据茅田界左线隧道特点,本设计提出两种方案比选:一是全射流风机纵向通风,二是竖井送排式分段纵向通风。

### 4.2 左线隧道全射流风机纵向通风方案

全射流风机纵向通风方案不需要设置竖井、风机房,土建费用省,管理及营运技术简单,安装方便,气流组织简单,分期实施容易,可以根据隧道内不同交通流和洞内污染物浓度进行不同通风组合。该方案的缺点是没有单独的火灾区段划分,防火救灾有困难,一旦发生火灾,烧失长度很大。

目前在国内外全射流风机纵向通风在隧道工程中得到了广泛运用,采用全射流风机纵向通风的隧道长度越来越长。目前国内长度超过 $4km$ 隧道也有采用全射流风机纵向通风隧道,重

庆渝合高速公路上的北碚隧道,长4025m、四川广邻高速公路上的华蓥山隧道,长4706m、广东省境内的双河公路彩虹岭隧道长达5068m也都使用了全射流风机纵向通风方案。

#### 4.3 左线隧道单竖井送排式分段纵向通风方案

考虑到近期交通量较小,可以按全射流纵向形式组织通风,远期按浅竖井送排式组织通风;

即使在远期，当交通量较小时，仍然可用一定量的射流风机达到通风的目的。用竖井送排式通风时，可以利用已有的射流风机，在保证隧道内的风速不超标的前提下，让一定量的空气沿整个隧道通过，这样可以减少竖井内的送排风量，从而降低轴流风机的台数及功率。

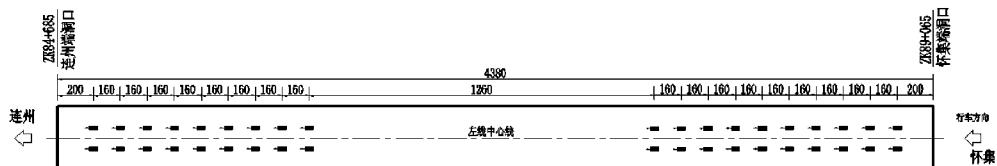


图 1 全射流风机纵向通风方案示意图

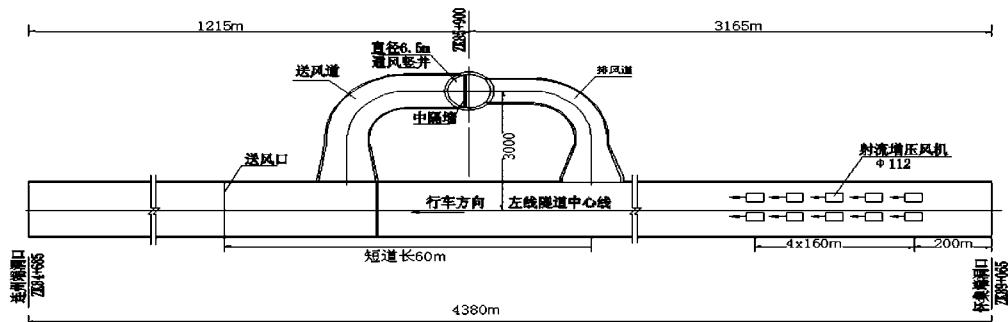


图2 竖井送排式分段纵向通风方案示意图

#### 4.4 通风方案比选

最终方案的选择，必须在详细的通风计算的基础上，对竖井位置和地质、土建规模、风机配置、防火救灾功能、运营费用各个方面进行

分析比较后才能确定。对上述 2 个通风方案进行通风计算,分析通风防灾功能,配置风机功率,计算运营费用。各方案的风机功率配置如下表 8。

表 8 左线隧道通风方案比选结果

项目	左线隧道射流风机纵向通风	左线隧道竖井送排式纵向通风
隧道长度( m )	4380	4380
设计小时交通量(辆/小时)( pcu )	3074	3074
通风分段	1	2
设计风量( m <sup>3</sup> /s )	494	494
洞内最大风速( m/s )	7.26	5.5
隧道通风面积( m <sup>2</sup> )	68.12	68.12
通风竖井	直径( m )	—
	座数	—
	竖井井深( m )	—
风机房	座数	—

项目		左线隧道射流风机纵向通风	左线隧道竖井送排式纵向通风
射流风机	型号	Φ112	Φ112
	功率/台数(kW/台)	37/38	37/10
	总功率(kW)	1406	370
大型轴流风机	流量(m³/s)	—	375 + 274
	功率/台数(kW/台)	—	150/2 + 150/2
	总功率(kW)	—	600
隧道风机总功率(kW)		1406	970
建安费	竖(斜)井+联络风道(m/万元)	—	(254 + 100)/1139
	施工便道(m/万元)	—	1500/225
	风机房(m²/万元)	—	400/80
	风机费用(万元)	324	498
	合计(万元)	324	1942
电费(万元)/(10年)		3025	3360
方案比较总费用(万元)		3349	5302

## 5 结论

茅田界隧道采用全射流纵向通风各项技术指标均满足规范要求,管理及运营技术简单,安装方便,气流组织简单,分期实施容易,可根据不同交通量和洞内空气污染程度进行不同的通风组合,缺点是维修不便,洞内噪声大,设计风速较高,行车舒适性稍差。竖井送排分段纵向式通风的优缺点正好与全射流通风相反。从运营管理、工程造价、防灾救援等方面综合比较,本设计推荐全射流纵向式通风作为茅田界隧道左、右洞的近、远期通风方案。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部,公路工程技术标准(JTG B01-2003)[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 中华人民共和国交通部,公路隧道通风照明设计规范(JTJ026.1-1999)[S].北京:人民交通出版社,1999.
- [3] 中华人民共和国交通部,公路隧道设计规范(JTGD70-2004)[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 石平,程久胜.乌池坝特长公路隧道通风方案设计[J].现代隧道技术.第2期.2007.
- [5] 广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广东省连州(湘粤界)至怀集公路项目两阶段施工图设计[R].广州,2010.

# 二广高速公路怀集至三水段 楠木坑隧道围岩分级评价

刘晓锋

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**根据楠木坑隧道围岩岩性特征、岩石强度、岩体完整程度、岩体结构特征、地下水发育程度、物探解译异常带,采用以[BQ]值法分级为基础结合围岩岩体定性特征评价的综合评判方法,对楠木坑隧道围岩分级进行了分析评价,得出了楠木坑隧道围岩分级结论,其结果为该隧道设计、施工提供了依据。

**关键词:**隧道;围岩;[BQ]值;分级

山岭隧道往往是高速公路穿越山岭修建的重要控制性工程,其与周围岩土体有密切关系。隧道开挖过程中,岩体应力状态发生变化,发生变化的那部分岩土体,即为隧道围岩,其与隧道稳定性密切相关。隧道围岩既包括岩体也包括土体,根据圣维南原理,从范围上讲通常指洞底标高以上三倍洞径范围的岩土体<sup>[1]</sup>,但在实际工作中应根据隧道围岩完整程度、坚硬程度、估计开挖后可能会影响隧道安全的范围进行确定。不同的围岩有不同的自稳能力,在隧道开挖时会有不同的地质现象,采用的支护、衬砌、施工工法也相应不同。因此,为了满足设计、施工的需要,需根据组成围岩岩土体的工程性状对围岩进行分级。而正确的、符合实际的围岩分级是隧道预设计、设计和施工过程中的重要依据。

## 1 工程概况及勘察方法

楠木坑隧道是二(连浩特)广(州)公路(粤境)怀集至三水高速公路的一个重要控制性工点,为分离式隧道,分左右线设置,左线里程LK86 + 215 ~ LK87 + 785,长1570m,右线里程RK86 + 206 ~ RK87 + 742.5,长1536.5m。左线怀集端洞口设计标高107.161m,左线三水端洞口设计标高136.940m;右线怀集端洞口设计标高106.809m,右线三水端洞口设计标高136.643m;隧道最大埋深约185.0m。隧道勘察采用

· 32 ·

了地质调绘、钻探、浅层地震折射波法、单孔声波测井、抽水试验、室内试验相结合的综合勘察方法。

## 2 工程地质条件

### 2.1 地形地貌

隧道穿过丘陵地貌区,地面标高103.0~322.0m,相对高差219m,设计隧道底标高106.809~136.940m。山体植被茂密,主要生长竹子、树和杂草。

### 2.2 地层岩性

隧址区地层岩性主要为第四系坡残积土层、寒武系中统高滩组(g)变质粉砂岩及局部分布的炭质板岩,炭质板岩呈薄层状分布于变质粉砂岩中。变质粉砂岩和炭质板岩具垂向分带性,分为全~微风化岩。坡残积土层、全~强风化岩厚度在1.4~43.0m之间,大部分地段厚15~35m,厚度较大;中风化岩层厚度不均,约0.8~26m,为软岩~较软岩,岩体较破碎~较完整,微风化岩揭露最厚达106.80m,为较硬岩~坚硬岩,岩体较完整~完整。

### 2.3 地质构造

隧址区主要构造特征为岩层层面、节理裂隙,未发现断层出露。根据调绘成果,怀集端岩层为变质粉砂岩,其产状为125°~168°∠52°~68°,岩层走向与隧道轴线交角约70°;洞身岩

层为变质粉砂岩夹炭质板岩,其产状为 $243^{\circ} \sim 338^{\circ}$ , $\angle 48^{\circ} \sim 62^{\circ}$ ,岩层走向与隧道轴线交角 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ;三水端岩层为变质粉砂岩夹炭质板岩,其产状为 $280^{\circ} \sim 307^{\circ}$ , $\angle 39^{\circ} \sim 52^{\circ}$ ,岩层走向与隧道轴线交角约 $78^{\circ}$ 。节理裂隙连通、穿层性一般较好,铁锰质充填。根据物探解译成果和经钻探验证,隧址区内有4条解译异常带,均为裂隙发育带。

## 2.4 水文地质

隧址区地下水类型为基岩裂隙潜水,含水层

主要为中风化~微风化岩,以大气降水和山谷汇水下渗补给为主,排泄方式则以蒸发和侧向迳流为主。勘察期间,水位埋深约 $1.8 \sim 48.1$ m,洞口处地下水埋深小,洞身处地下水埋深大,部分钻孔未揭露地下水位。

## 2.5 岩土参数

根据岩样室内试验结果和现场声波测井成果,对隧道围岩强度、完整性系数按风化程度、地层岩性分层进行数理统计,统计结果见表1。

表1 隧道围岩岩土参数表

项目	统计项目	饱和单轴极限抗压强度 $R_c$ (MPa)	岩体完整性系数
中风化变质粉砂岩	平均值	14.4	0.63
	最大值	21.4	0.78
	最小值	9.3	0.52
	标准差	4.5	0.09
	变异系数	0.3	0.14
	统计个数	7	6
	标准值	11.1	0.55
微风化炭质板岩	平均值	43	0.63
	最大值	48.1	0.65
	最小值	37.9	0.63
	统计个数	2	4
微风化变质粉砂岩	平均值	87.7	0.85
	最大值	162.6	0.88
	最小值	38.1	0.82
	标准差	35.9	0.02
	变异系数	0.18	0.03
	统计个数	70	6
	标准值	80	0.83

## 3 围岩级别的划分

### 3.1 围岩级别划分方法

楠木坑隧道围岩分级按照《隧道设计规范》(JTG D70-2004)3.6条围岩分级方法划分。隧规中围岩分级是一种以定量为主,结合定性特征评价的综合评判方法。定量评判采用[BQ]值法。

#### 3.1.1 [BQ]值法

[BQ]值法是一种基于岩石坚硬程度、岩体

完整程度,并考虑地下水作用、主要软弱结构面作用、地应力作用等因素的两步分级确定围岩级别的方法。岩石坚硬程度采用实测岩石单轴饱和抗压强度  $R_c$  表达,岩体完整程度采用岩体完整性系数  $K_v$  表达,采用式1,共同确定围岩基本质量指标 BQ。

$$BQ = 90 + 3R_c + 250K_v \quad (1)$$

使用式(1)时应遵守下列限制条件:

(1)当  $R_c > 90K_v + 30$  时,应以  $R_c = 90K_v +$

30 和  $K_v$  代入计算 BQ 值；

(2) 当  $K_v > 0.04R_c + 0.4$  时, 应以  $K_v = 0.04R_c + 0.4$  和  $R_c$  代入计算 BQ 值。

围岩基本质量指标 BQ 确定后, 如存在隧道围岩中有地下水、围岩稳定性受软弱结构面影响, 且由一组其控制作用、存在高初始应力等情况时, 应对 BQ 值进行修正。围岩基本质量指标修正值 [BQ] 按式(2)计算。

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (2)$$

式中: [BQ]—围岩基本质量指标修正值;

$BQ$ —围岩基本质量指标;

$K_1$ —地下水影响修正系数

$K_2$ —主要软弱结构面产状影响修正系数;

$K_3$ —初始应力状态影响修正系数。

$K_1$  根据地下水出水状态和围岩 BQ 值共同确定, 取值范围在 0 ~ 1.0 之间;  $K_2$  根据主要软弱结构面和隧洞轴线的组合关系, 包括结构面走向

与洞轴线夹角、结构面倾角共同确定, 取值范围 0 ~ 0.6;  $K_3$  根据隧道围岩初始应力状态与 BQ 值共同确定, 取值范围 0 ~ 1.5。

### 3.1.2 [BQ] 值法的围岩分级

楠木坑隧道长 1570m, 围岩主要由变质粉砂岩组成, 局部夹炭质板岩, 岩性变化较小; 地下水以潮湿或点滴状出水为主, 局部渗流; 围岩受主要软弱结构面产状影响较小。根据对隧址区岩芯饱和极限抗压强度值、岩体完整性系数按层统计得知: 中 ~ 微风化变质粉砂岩层、微风化炭质板岩层饱和抗压强度、岩体完整性系数离散性较小。[BQ] 值计算中  $R_c$  采用该层岩石饱和抗压强度标准值(如统计个数较少, 小于 6 个, 无标准值, 则采用平均值),  $K_v$  采用该层岩体完整性系数平均值。按式 1、式 2 计算得隧道围岩修正后基本质量指标 [BQ] 和围岩分级结果, 见表 2。

表 2 隧道围岩基本质量指标 BQ、修正后[BQ]及级别判定表

序号	地层名称	$R_c$	$K_v$	BQ	$K_1$	$K_2$	$K_3$	[BQ]	围岩级别
1	中风化变质粉砂岩	11.1	0.63	280.8	0.2	0.1	0	251	Ⅳ级
2	微风化炭质板岩	43	0.63	376.5	0.1	0.1	0	357	Ⅲ级
3	微风化变质粉砂岩	80	0.85	542.5	0	0.1	0	533	Ⅱ级

### 3.2 楠木坑隧道围岩分级

楠木坑隧道围岩主要为寒武系中统高滩组变质粉砂岩, 局部为炭质板岩。根据围岩岩性特征、岩石强度、岩体完整程度、岩体结构特征、地

下水发育程度、物探解译异常带, 采用以 [BQ] 值法分级为基础, 结合围岩岩体定性特征评价的综合评判方法对楠木坑隧道进行了围岩分级, 结果见表 3。

表 3 楠木坑隧道围岩分级评价一览表

围岩分级	里程桩号	长度(m)	工程地质水文地质特征及评价
V 级	LK86 + 215 ~ LK86 + 241.64	26.64	主要由坡积粉质粘土、全 ~ 强风化变质粉砂岩组成, 强度低, 遇水易软化。雨季潮湿或滴水。应及时加强支护, 预防坍塌冒顶问题。
	RK86 + 206 ~ RK86 + 227.5	21.5	
	LK87 + 725.83 ~ LK87 + 785	59.17	
	RK87 + 651.19 ~ RK87 + 742.5	91.31	
IV 级	LK86 + 241.64 ~ LK86 + 271.9	30.26	主要由强 ~ 中风化变质粉砂岩组成, 裂隙极发育, 岩体破碎, 强度低。雨季潮湿或滴水。[BQ] 值分级为 IV 级。预防坍塌冒顶问题。
	RK86 + 227.5 ~ RK86 + 241.8	14.3	
	LK87 + 690.35 ~ LK87 + 725.83	35.48	
	RK87 + 601.65 ~ RK87 + 651.19	49.54	

围岩分级	里程桩号	长度(m)	工程地质水文地质特征及评价
Ⅲ级	LK86 + 271. 9 ~ LK86 + 305. 8	33. 9	主要由中~微风化变质粉砂岩、炭质板岩组成,岩质较硬~坚硬,裂隙发育,岩体较破碎,呈块(石)碎(石)镶嵌结构。雨季潮湿或滴水。[BQ]值分级为Ⅳ~Ⅱ级。应预防掉块、坍塌问题。
	RK86 + 241. 8 ~ RK86 + 340. 93	99. 13	
	LK86 + 898. 74 ~ LK86 + 977. 21	78. 47	
	RK86 + 878. 52 ~ RK86 + 950. 5	71. 98	主要由微风化炭质板岩及变质粉砂岩组成,岩质较硬~坚硬,裂隙较发育,岩体较完整~较破碎,呈巨块(石)碎(石)镶嵌结构,物探解译浅部存在裂隙发育带。滴水、渗流。[BQ]值分级为Ⅲ~Ⅱ级。应预防掉块、坍塌问题。
	LK87 + 293. 81 ~ LK87 + 350. 17	56. 36	
	RK87 + 226. 85 ~ RK87 + 256. 07	29. 22	主要由微风化炭质板岩及变质粉砂岩组成,岩质较硬~坚硬,裂隙较发育,岩体较完整~较破碎,呈巨块(石)碎(石)镶嵌结构,物探解译存在裂隙发育带。裂隙发育部位滴水、渗流。[BQ]值分级为Ⅲ~Ⅱ级。应预防掉块、坍塌问题。
	LK87 + 515. 44 ~ LK87 + 552	36. 56	
	RK87 + 464. 89 ~ RK87 + 488. 84	23. 95	主要由微风化变质粉砂岩及薄层炭质板岩组成,岩质较硬~坚硬,裂隙发育,岩体较破碎,呈巨块(石)碎(石)镶嵌结构,物探解译存在裂隙发育带。裂隙发育部位滴水、渗流。[BQ]值分级为Ⅲ~Ⅱ级。应预防掉块、坍塌问题。
	LK87 + 630. 58 ~ LK87 + 690. 35	59. 77	
	RK87 + 566. 97 ~ RK87 + 601. 65	34. 68	主要由中~微风化变质粉砂岩组成,岩质较硬~坚硬,裂隙发育,岩体较破碎,呈巨块(石)碎(石)镶嵌结构。雨季潮湿或滴水。[BQ]值分级为Ⅳ~Ⅱ级。应预防掉块、坍塌问题。
Ⅱ级	LK86 + 305. 8 ~ LK86 + 898. 74	592. 94	
	RK86 + 340. 93 ~ RK86 + 878. 52	537. 59	
	LK86 + 977. 21 ~ LK87 + 293. 81	316. 6	
	RK86 + 950. 5 ~ RK87 + 226. 85	276. 35	主要由微风化变质粉砂岩组成,岩质坚硬,裂隙局部发育,岩体较完整,呈块状或厚层状结构。裂隙发育部位滴水、渗流。[BQ]值分级为Ⅱ级。应预防掉块、楔形坍塌问题。
	LK87 + 350. 17 ~ LK87 + 515. 44	165. 27	
	RK87 + 256. 07 ~ RK87 + 464. 89	208. 82	
	LK87 + 552 ~ LK87 + 630. 58	78. 58	
	RK87 + 488. 84 ~ RK87 + 566. 97	78. 13	

由表3可知,楠木坑隧道围岩为V~Ⅱ级围岩。V级围岩分布在两端洞口,浅埋,为坡残积土、全~强风化岩带,左线V级围岩长度85.81m,占左线隧道总长度的5.5%,右线V级围岩长度112.81m,占右线隧道总长度的7.3%(下同);IV级围岩分布在两端浅埋段,为强~中风化岩带,左线合计长度65.74m,占左线的4.2%,右线合计长度63.84m,占右线的4.2%;Ⅲ级围岩分为5段,其中3段为物探解译存在节理裂隙发育影响带,2段为近洞口中~微风化岩带,左线合

计长度265.06m,占左线的16.9%,右线合计长度258.96m,占右线的16.9%;Ⅱ级围岩分为4段,为微风化变质粉砂岩带,左线合计长度1153.39m,占左线的73.5%,右线合计长度1100.89m,占右线的71.6%。

#### 4 结语

(1)隧道勘察应采用综合手段,通过地质调查与测绘宏观掌握地质资料,在调绘成果的基础上,实施物探、钻探、水文地质试验、室内试验等

详细掌握隧道工程地质条件及水文地质条件,作出正确的工程地质和水文地质评价建议。

(2)在围岩分级时,岩石坚硬程度和岩体完整程度是确定围岩基本质量指标BQ的两大因素,是围岩分级的主要依据,同时在此之上又综合考虑了地下水作用、主要软弱结构面、围岩初始应力作用等因素对围岩稳定性的影响。在[BQ]值法计算的基础上结合了岩体的定性特征进行详细分级,做到了以定量为主,定量定性相结合的综合评判。

(3)围岩基本质量指标BQ的可靠性依赖于岩石坚硬程度、岩体完整程度等定量指标的可靠性。因此,需提高在外业钻探过程中岩芯取样的代表性、声波测井解译的可靠度,以提高定量指标的可靠性。

(4)隧道围岩[BQ]值计算参数按地质单元、风化程度及岩性特征分层进行数理统计,岩石单轴饱和抗压强度R<sub>s</sub>采用统计标准值,岩体完整性系数采用统计平均值。

(5)设计阶段围岩级别是依据钻探、物探、地质调绘综合成果,在掌握隧址区大的地质构造和工程地质条件的基础上进行划分的。囿于现有勘探手段和从经济角度考虑,查清探明细微的隧

道工程地质条件是相当困难的。因此,在隧道施工过程中,特别是地质条件复杂的隧道,对围岩加强监控量测、结合采用TSP、地质雷达等物探手段开展超前地质预报工作是非常必要的。而且应根据现场开挖监控量测结果,对围岩级别进行符合实际的修正,实施动态设计。《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)亦明确规定“根据施工中对实际开挖的岩体进行直接观察、量测等资料,若岩性、地质构造和地下水状态、初始应力状态等与设计资料不一致时,应及时对围岩稳定性、围岩级别作出合理修正。”

#### 参考文献:

- [1] 江勇顺.山区高速公路隧道围岩分级方法及应用研究[D].成都理工大学硕士学位论文,2007.
- [2] 广东省公路勘察规划设计院.二(连浩特)广(州)公路(粤境)怀集至三水高速公路工程地质勘察报告[R].2006.
- [3] JTG D70-2004,公路隧道设计规范[S].
- [4] 肖红艳,卢国胜,张广洋.徐家梁子隧道围岩分类[J].山西建筑,2008,34(18):3-4.
- [5] 何泽民,徐林生.公路隧道围岩分级问题探讨[J].西部探矿工程,2007(3):138-141.
- [6] JTJ 064-98,公路工程地质勘察规范[S].

# 公路建设管理模式的几个经济学问题

陈潮锐<sup>1</sup>, 陈晓宇<sup>2</sup>

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:**根据市场经济中的基本理论,如市场效率、供给和需求及科斯定理,分析目前公路建设模式存在的问题,结合目前公路建设中资金紧张和筹资压力较大的情况,提出几种更加有效利用建设资金的公路建设模式。

**关键词:**公路建设模式; 经济; 配置; 资金

## 1 前言

公路工程项目有工程规模大、社会效益广泛、建设周期长、工程地点不固定等特点,一个高速公路项目投资一般要十几个亿甚至上百个亿。以广东省为例,“十一五”期间建成的1695km高速公路,投资1491亿元,平均造价为8796万元/km。由于投资巨大,国内外公路行业普遍存在不同程度的资金问题,诸如资金缺口大、筹资任务重、贷款负担沉重等现象。由于资金紧张,同时造成了公路工程质量难以控制、劳资纠纷增多等问题,直接影响了和谐社会的建设。因此,如何开源节流,降低公路建设总成本,成为当前亟待解决的一大问题,事关我国公路事业乃至国民经济的可持续发展。下面根据经济学的基本原理,分析目前公路建设模式在使用建设资金效率存在的问题,并提出一些新的建设管理模式。

## 2 与公路建设管理模式有关的经济学问题

### 2.1 公路的经济学属性

经济学中对物品的属性分类依据是竞争性和排他性。排他性是可以阻止一个人使用一种物品时该物品的特性;竞争性是因一个人使用一种物品而减少其他人使用时该物品的特性。目前我国的高速公路绝大部分为收费公路,只有交费才能在上面行驶,因而都具有排他性。在运营前期,车流量达不到设计流量,车辆在上面行驶

并不减少其他车辆的使用,这种无竞争性称自然垄断;到运营后期,车流量超过设计流量,出现拥挤和堵塞,车辆在上面行驶影响其他车辆的使用,这种竞争性称私人物品;

我国公路企业的基本组织形式可以归纳为三类:(1)以社会福利最大化为目标的、以免费方式提供公路设施和服务的福利型公路企业。(2)以收回投资、没有生产者利润追求、以收费方式提供公路服务的准福利型公路企业。(3)以收回投资并获得企业利润为目标、以收费方式提供公路服务的商业型公路企业。由于财政资金短缺和筹资压力,政府往往给运营收费公路赋予了“投融资、建设、运营”的权利和责任,要求其实现自我滚动发展,实际上强调了其投融资功能,使公路公司由准福利型公路企业演变为商业型公路企业。

### 2.2 社会主义市场经济

目前,我国已基本建立社会主义市场经济体制,市场机制的基础性作用显著增强。绝大多数商品和服务价格已由市场决定,在社会商品零售总额和生产资料销售总额中,市场调节价所占比重已分别达到95.6%和92.4%。四通八达、服务周到、种类齐全的商品市场体系已经基本建立。然而公路的供给与需求的市场尚未完全形成,受到计划经济的影响较为明显,供给未能实现充分的竞争。

### 2.3 市场的效率

• 37 •

按照市场经济理论,市场的效率表现为资源配置使社会所有成员得到的总剩余最大化。其中总剩余定义为:总剩余 = 买者的评价 - 卖者的成本。

如果一种配置是无效率的,那么买卖之间交易的好处就没有完全被实现。假如一种物品由最低成本(包括交易成本)的卖者生产,并由对此物品评价最高的买者消费,那么此市场就是高效的。当然,高效的市场并不一定是公平的,这一点在制定公共政策时政府也要考虑到。

公路建设环节的总剩余即为使用者的评价减去建设单位的成本。使用者的评价一般与道路的质量、线形等因素有关,与公路建设模式基本没有关系;而建设单位的总成本则与公路建设模式密切相关,要合理降低建设成本并提高资金使用效率,选择合理的建设模式是根本。

公路建设实施阶段,施工和设计单位是卖家,监理单位提供监督和管理服务也是卖家,而业主是买家,产品就是成品的高速公路。施工阶段是资金投入的高峰阶段,现金流支付巨大,施工单位在按图施工过程中,往往会出现,某工程方案通过变更设计或变更施工工艺,或者优化设计方案,在不影响功能的前提下,消耗的资源减少了,能够大大节约成本;然而对于业主单位,由于应支付的工程量可能没有什么变化而不支持变更,而设计单位因变更增加了工作量,也不支持新方案,因而变更无法实施。该新方案的功能和成本基本不变,这在经济学的角度,可以说卖者的成本降低了,而买者的剩余不变,这样总剩余会提高。遗憾的是由于方案对业主没有产生效益,不被采用,因而社会的资源没有得到有效节约,是无效的。

设计阶段是控制投资的关键阶段,对工程全部投资的影响度约为 75% ~ 95%,现在的高速公路项目的设计费一般约占工程总造价的 1% ~ 2% (不含运营及维修费用),但是这不到 2% 的设计费却决定几乎全部的随后费用。设计单

· 38 ·

位在设计过程中,在保持使用功能和行驶舒适度不变的情况下,为寻找更加合理的低价方案,往往要付出大量的计算和造价比较。这种设计劳动若被采纳,能够明显地降低造价,这在经济学的角度,可以说卖者的成本下降,而功能(买者的评价)不变,这样总剩余会提高。但是由于当前我国的工程勘察设计收费标准(2002 年起实施)是以设计标的的工程建安费做为计费基数,再乘以对应的难度系数和费率,在一定范围内,造价越低设计收费越低,造成有的设计单位对优化设计而降低造价的积极性不高;更何况有一部分建设单位不按照国家发展计划委员会和建设部颁布的《工程勘察设计收费标准》(2002 年修订本)的规定标准支付设计费,而是采取压价限价,或者自定勘察设计费标准,最终勘察设计费有的甚至达不到国家规定的 50%,设计单位得不到应有的利润,优化行动难以实施。这种现象造成社会的资源没有得到有效节约。

## 2.4 当前高速公路的需求和供给

当前高速公路的需求随着人民生活水平的提高而明显上升,其路网规划一般由政府部制定,其消费价格也是由政府部门结合收回投资年限、行驶的替代成本和效益等因素统一考虑,由物价局部门批准,具有相对的刚性,目前广东省四车道高速公路一般为 0.45 元/小汽车·公里,6~8 车道为 0.6 元/小汽车·公里。

高速公路的供给一般由政府委托或指定的项目业主提供,对使用国家投资的项目由国家买单。项目只有一个卖者(指定业主)而且能够决定价格,虽然这个价格在一定程度上受到政府行业主管部门的制约,但仍然具有一定的垄断性。这种供给垄断造成了供应价格大于边际成本,而我们知道:在完全竞争市场上,价格是等于边际成本的。垄断造成福利向垄断所有者的转移,其不利影响在于产生了无效率的低产量,即造成公路的国有资金使用效率较低。

## 2.5 经济学中的科斯定理

外部性是指一个人的行为对旁观者福利的影响,市场失灵是属于外部性的一般范畴之内。比如造纸企业,但其排放废物引起污染会损害第三方的利益,这靠自由市场是无法调节的,称为负外部性。根据经济学的科斯定理,如果私人各方可以无成本地就资源配置进行协商,那么私人市场就将总能解决外部问题,并有效地配置资源。同理,公路建设的建设、施工和设计方可以通过相互谈判,以接近私人方式解决外部性问题,就可有效地配置资源,节约工程总投资。例如以设计施工总承包的方式减少交易成本;出资者可以订立协议,规定因设计和施工方面的变更优化节省的资金,部分进行分配使参与各方均能受益;通过协议方式使各方利益目标基本一致将外部性变成内部性等。当然,为防止国有资产流失,该协议必须经国家监察机关的审核并在一定范围内公开接受监督。

### 3 当前的公路建设模式

国内外的公路管理体制有两种方式:特许制和委托制。

**特许制:**以无追索权、有限追索权贷款方式进行的融资称为项目融资。以项目融资、项目特许合同为基础的投资方式称为特许制。特许制遵循风险共担、制定最低收费和服务标准、建立评估系统等原则,在政府和项目公司之间签订特许合同。公路设施的所有成本由项目公司承担,能够减缓政府的财政压力,是真正意义上的商业化经营。

**委托制:**是指公路设施由政府财政或举债投资,为提高公路建设与运营效率,政府委托专业公司进行公路建设与运营管理。专业公司为政府提供公路建设和运营管理的专业化服务而得到报酬,提高政府的资金使用效率和服务质量,但政府的资金压力不能得到缓解。

目前的公路建设模式全过程并非完全按照市场化来运作,基本上是采用委托制和实行业主

招标这两种形式,在建设资金方面,广东省的情况一般是将公路项目委托给国有公司或直接给业主中标单位进行建设经营,在新公路项目的资本金中,基本上是政府给予少量补助,大部分仍然是国有项目业主或中标业主自己筹资,政府暂时可减轻筹资压力。

在建设程序上,政府部门将公路工程项目委托给建设单位,建设单位委托设计咨询单位进行工程可行性报告,获批后通过设计招标进行初步设计和施工图设计,经交通主管部门审查并且项目通过其他相关部门批准,即可进入施工招标程序找到合适的施工和监理单位正式开工,施工完毕经验收合格而进入运营阶段。应该说,目前的模式比起计划经济时代进了一大步,通过设计、施工招标的方式,使得设计施工质量、进度等有了明显提高,工程成本得到一定程度的控制,造价三超现象有所减少。但是从经济学角度来说,由于目前存在建设单位未对项目建设总费用进行竞争,造成交易成本较高,参与建设各方利益目标不一致等,资源配置也存在不合理现象,目前的公路建设模式还有改善的空间。

### 4 公路建设模式的几点建议

由于未能充分发挥市场配置资源的基础性作用,造成了政府管制较多,投资决策不科学、不透明,资金使用效率低下等。2004年7月发布的《国务院关于投资体制改革的决定》中明确指出,要“充分发挥市场配置资源的基础性作用,确立企业在投资活动中的主体地位,规范政府投资行为,保护投资者的合法权益,营造有利于各类投资主体公平、有序竞争的市场环境,促进生产要素的合理流动和有效配置,优化投资结构,提高投资效益,推动经济协调发展和社会全面进步”。

在能较好减少交易成本,提高资金使用效率方面,有以下几种公路建设模式可供参考:

(1) 设计施工总承包:设计施工总承包的国

际通常做法是业主将全部设计施工任务发包给一个设计单位或一个施工单位或他们之间的联合体作为总包单位,总包单位可以将其部分任务再分包但须承担相应的法律经济责任。总承包方能够发挥内部的设计施工经验和优势进行优化,通过设计施工利益一体化,能减少管理环节及社会交易成本,鼓励设计优化及创新,提高技术水平,有利于建筑企业提高内部积累,吸引人才,提高国际竞争力。此模式在国际得到广泛应用,经验成熟,已经证明是十分有效的管理模式,也适宜在我国推行,前提是完善总承包合同,避免出资者因信息不对称而遭受损失,为便于业主确定规模和投资额,也可以在初步设计(含修编)完成后才实施总承包招标。

(2) EPC 模式(EPC 模式为英文 Engineering – Procurement, — Construction 的缩写): Engineering 包含了设计工作、总体策划及实施组织管理的策划和具体工作; Procurement 则包括工程、服务和货物采购。EPC 模式与工程总承包有点近似,区别是多了前期的策划和材料的采购,它 20 世纪 80 年代首先在美国出现,优点是能够尽早确定投资总额和工期,同时承包商承担着大部分风险,接近于固定总价合同。该模式目前在国际工程承包市场应用逐渐扩大,适合于业主筹资能力强而自身缺乏建设管理的人才及经验的情况,FIDIC 已于 1999 年编制了标准的 EPC 合同条件。

(3) 加强业主竞争投标:加大政府将高速公路项目的建设经营权向社会公开招标的力度和范围,政府只需事先约定项目的技术标准、建设规模、详细的使用功能等,由竞争各方根据招标文件和现场情况提出具体的经营条件、收费年限、服务水平、建设总费用等,政府从中择优确定中标单位。对于交通量少且经过贫困落后地区的高速公路项目,政府可考虑给予适当的补贴。

业主竞争投标与施工竞标不同的是:影响因素复杂,涉及面广,合同标的巨大且风险高,故而

投标期限宜适当延长,让竞投各方考虑各种风险并提出风险应对措施,或者在完成初步设计后开展招标;另外要提高投标保证金和准入条件,让真正有优势有实力的企业或联合体获得经营权。

通过业主竞争投标,让中标企业在一定压力下经营,能够自觉实行优化设计并积极合理降低工程造价,从而实现资源的有效配置。《国务院关于投资体制改革的决定》中也明确鼓励要“利用特许经营、投资补助等多种方式,吸引社会资本参与有合理回报和一定投资回收能力的公益事业和公共基础设施项目建设。对于具有垄断性的项目,试行特许经营,通过业主招标制度,开展公平竞争,保护公众利益”。业主竞争投标适合我国公路建设多由国家出资的国情,有利于节约工程资金,宜试点推广。

## 5 结语

通过经济学基本原理在公路建设方面的分析,结合当前国家投资体制改革的情况,当前我国公路建设组织模式可优先考虑采用设计施工总承包及业主竞争投标等组织模式,以更加有效地发挥市场机制的作用,实现资源的有效配置,降低公路工程造价,减轻目前公路工程的筹资融资压力。

### 参考文献:

- [1] 吴纪平. 经济学与中国经济现象 [M]. 北京: 中国财政杂志社, 2011.
- [2] 曼昆. 经济学原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [3] 李柏林. 公路工程造价管理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [4] 喻新安. 中国高速公路建设模式研究 [M]. 北京: 经济管理出版社, 2009.
- [5] 何忠友. 发展综合交通运输 - 加快转型升级 - 为建设幸福广东提供有力支撑——在 2011 年全省交通运输工作会议上的讲话. 广州: 广东交通运输厅公众网, 2011. 1. 18

## 公路勘测疑难问题解答 及新技术使用研讨会在南京市举办

现行的《公路勘测规范》(JTG C10 - 2007)，自2007年7月1日实行以来，对公路勘测技术的发展起到了良好的促进作用。然而随着我国公路建设的快速发展，新的勘测问题和技术不断涌现，为了适应当前公路勘测技术的发展，2011年9月17日至18日在江苏省南京市举办了“公路勘测疑难问题解答及新技术使用研讨会”。本次研讨会旨在对近几年来在我国公路建设中所遇到的勘测疑难问题进行汇总探讨，并总结、介绍国内外勘测经验和新技术。国内多位勘测技术专家莅临本次研讨会，我公司工程测量部主任邱赞富高级工程师也应邀出席。本次研讨会主要内容如下：

### 一、公路勘测相关疑难问题探讨：

- (1)特殊地区公路测量标志与记录的分析；
- (2)控制测量和地形图测绘应该注意的问题；
- (3)最新的GPS技术与设备在公路勘测中的使用与疑难解答；
- (4)路线、路基、路面、桥梁、涵洞、隧道、沿线设施等勘测与调查；
- (5)改(扩)建公路勘测与调查的内容及勘测方法研究；

(6)数字地面模型的精度指标与技术要求，数字地面模型在公路勘测中的应用；

(7)地形图与数字地面模型多平台获取方法的比较与分析；

(8)现行《公路勘测规范》应用中存在的问题。

### 二、公路勘测新技术的研究：

- (1)地面LiDAR扫描技术在公路勘测中的应用研究；
- (2)车载LiDAR扫描技术在公路勘测中的应用研究；
- (3)机载LiDAR扫描技术在公路勘测中的应用研究；
- (4)卫星像片测量技术在公路勘测中的应用研究。

本次研讨会，通过对上述疑难问题的探讨和新技术应用的介绍，提高了参会技术人员的技术水平，并且对探讨我国公路勘测的相关技术，以及推动公路科学化、专业化的健康发展有重要意义。来自全国各省的公路勘察设计单位代表在研讨会上均发表了各自观点和意见，并共同探讨了公路勘测行业未来的发展趋势和前景。

(邱赞富 报道)

## 全国公路工程地质科技情报网 2011年技术交流会报道

全国公路工程地质科技情报网(以下简称“全网”)2011年技术交流会于2011年9月19日至23日在新疆乌鲁木齐召开，来自全国26

个相关单位的74名代表参加了会议，我公司副总工程师张修杰、岩土勘察分公司总经理林济南、总工李水清、工程师林少忠及张金平参加了

· 41 ·

会议。本次会议由网长单位中铁第一勘察设计院集团有限公司主办,中铁一院新疆铁道勘察设计院协办。

本次技术交流会共分为两大版块举行。

### 一、9月20日至21日召开了技术交流会议

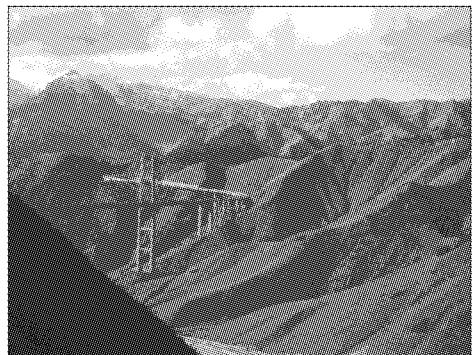
会议上,首先,总结了本年度情报网的工作,并展望未来,对如何更好的发展全网进行了讨论;然后,评选表彰了全网工作积极分子及优秀论文获得者,并颁发了荣誉证书,我公司陈春霖、张修杰被评为全网工作积极分子,张金平、张修杰共同撰写的《江罗高速公路不良地质和特殊性岩土特征及评价》论文被评为优秀论文;接着,与会部分单位代表针对技术交流会的主题进行了探讨,张金平代表我公司参与了相关探讨。再接着,进行了优秀论文分享,来自中铁第一勘察设计院集团有限公司等9个单位的论文作者宣讲了自己的论文。最后,由今年的网长单位代表钱伟平进行了总结发言,他指出全网在为广大相关专业技术人员搭建技术交流平台,为我国公路工程地质技术的提高,发挥了积极作用,并对全网今后在加强宣传、建立网站、举办专题研讨等几个方面提出若干了建议。

随着我国高速公路及铁路建设的迅速发展,目前高速公路的建设正不断的向山区,以及西北、西南等偏远地区延伸。山区地质环境条件较平原地区复杂的多,基础性的地质选线、不良地质与特殊性岩土的勘察存在着较多的技术问题,迫切需要进行深入地研究和探讨;同时,近年来西北地区高速公路建设也积累了一定的经验教训,尤其是冻土的勘察及地基处理方面需要进行深入探讨;西南山区的大型工点(如特大桥及深埋隧道)工程地质勘察存在较多的技术难点需要探讨解决。因此,本次会议主题是结合勘察设计新理念,突出山区高速公路和铁路地质选线和地质勘察工作,同时兼顾理论研究、地基基础、勘探测试、边坡处理、地质病害、工程建设新产品等方面内容。大会共收到以上

方面的论文70篇,经组织专家审稿,选定了66篇编辑成会议论文集,论文集内容丰富,图文并茂,以西北大学学报增刊的形式出版。会务组将论文和会议交流材料刻录成光盘,发给每一位参会代表和网员单位。

### 二、9月22日,举办方组织与会代表参观了霍连高速公路

霍连高速公路连接江苏连云港和新疆霍尔果斯,横贯中国大陆的东、中、西部,全长4395千米,途径6个省,是中国建设的最长的横向高速公路。与会代表重点参观和考察了投资2.2亿元的果子沟大桥。果子沟大桥是全国首座公路钢桁梁斜拉桥、也是新疆第一高桥,它是连接霍连高速公路赛里木湖至果子沟高速公路的控制性和标志性工程,集新技术、新结构、新工艺、新设备“四新”于一身,是新疆公路建设史上一次重大突破。大桥全长700m,为(170+360+170)m双塔双索面钢桁梁斜拉桥。斜拉索扇形布置,梁上索距12m,塔上索距2.1m。钢桁梁为两片“N”形桁架,主桁中心间距26m,桁高6m,节间长度6m,主桁采用焊接整体节点结构形式。该桥主塔高度分别为209.5米和215.5米,桥位穿越新疆天山山脉,地形起伏大,悬崖峭壁到处可见,岩石极破碎,地质条件十分复杂。地质勘察工作采用了工程地质调绘、钻探、坑槽探、原位试验等综合勘探手段,较好地体现了地质选线原则。在现场,代表们就桥位地质和装机情况进行了较为细致的沟通、交流和探讨。



果子沟大桥照片

(张金平、张修杰 报道)

## 2011年四省二区特大型桥梁学术交流会

2011年10月17日至18日,由湖南省公路学会主办的“2011年四省二区特大型桥梁学术交流会”在湖南省长沙市召开。参会的有山东、辽宁、广东、香港公路学会、澳门工程师学会等相关行业的代表,以及湖南省公路学会各团体会员单位代表等。会议主题为“近年来特大型桥梁的设计施工技术与创新”。

本次学术交流会上,与会代表针对以下宣讲论文进行了深入学习和探讨,主要内容有:

1、矮寨特大悬索桥建设新技术研究,陈明宪主讲;

2、港珠澳大桥主体工程岛隧工程,刘正光主讲;

3、江肇西江大桥总体设计和关键技术研究,孙向东主讲;

4、特大跨海桥梁水下无封底混凝土套箱关键技术,姜言泉主讲;

5、矮寨特大桥的建设与管理,陈国平主讲;

6、滨海公路辽河特大桥斜拉桥动力特性试验研究,邓昌宁主讲;

7、赤石大桥多塔斜拉桥超高索塔的设计与试验,邵旭东主讲;

8、矮寨特大悬索桥重力锚施工关键技术,苏巧江主讲;

9、强潮区大型双壁钢围堰的下放及精度控制,谭立心主讲;

10、大跨径连续PC梁桥悬臂施工挠度的影响因素分析及控制措施,陈国权主讲;

11、青银高速济南黄河大桥总体设计,王志英主讲;

12、张花高速猛洞河大桥设计,王卿主讲;

13、广乐高速乌石北江特大桥主桥方案设计比选,姜爱国主讲;

14、荆岳大桥主桥预制箱梁总体施工技术,欧阳钢主讲;

15、岩溶发育地区超深大直径群桩基础挖孔施工,周栋梁主讲;

16、混凝土桥梁波纹管注浆质量声波检测法探讨,鲁光银主讲。

通过参加本次交流会的学习与探讨,笔者有以下几点心得体会:

1、矮寨特大悬索桥建设过程中采用了较多新技术,大桥首次采用塔梁分离结构布局,并布置了岩锚吊索大桥引入高性能碳纤维岩锚体系,为碳纤维高性能材料在工程结构运用上提供新思路;大桥首创的“轨索滑移法”成功解决了山区大跨径悬索桥主梁架设难题。

2、矮寨大桥重力锚基坑开挖、大落差砼向下输送、大体积砼温控等施工中运用新技术、新工艺,解决了山区悬索桥重力锚的特殊技术难题。

3、江肇西江大桥选用四塔单索面墩、塔、梁固结体系矮塔斜拉桥,有效解决多塔结构刚度和拉索疲劳难题。采用宽幅脊梁截面,以弱化敏感的自重荷载效应。通过采用长翼板加劲肋桥面体系和采取后浇段工序措施,有效解决剪轴力滞效应问题。通过整体设计参数优选,明确合理的塔跨比、中跨无索区长度、近塔无索区长度和边中跨比值。

3、赤石大桥采用了新颖的双曲线索塔设计,新型双曲线索塔结合了A型桥塔纵向刚度大和双肢薄壁墩更适应主梁的热胀冷缩的优势,并同时充分考虑了美学设计,形成了造型独特的双曲线外形。

4、目前悬臂施工线性控制中容易出现高程波动,超出规范要求的施工情况。混凝土容重、

弹性模量、收缩徐变、预应力张拉、管道摩阻系数?对主梁挠度影响较为显著,在施工过程中要严格控制;挂篮变形、日照和温度变化、测量

误差、块件自重变化等因素对主梁挠度有一定影响,可以通过具体的施工措施加以控制。

(王兹刚 报道)

## 高速公路机电设备维护与标准化管理培训班报道

“高速公路机电设备维护与标准化管理培训班”于2011年10月19日至20日在云南省昆明市举行。

近年来,随着我国高速公路里程不断增加,与之匹配的高速公路机电设备也获得了全面发展,产品标准化程度大大提高。为了及时指导公路机电系统维护和日常管理工作,保持公路机电系统良好的运营状态,目前由全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会提出并归口管理的国家标准GB/T 18567-2010《高速公路隧道监控系统模式》、GB/T24968-2010《公路收费站车道控制机》、GB/T24969-2010《公路照明技术条件》相继发布实施。

高速公路机电系统是提高公路现代化发展的支撑系统,涉及专业领域多、种类繁杂、规格多样,且系统集成化水平高、更新速度快,需不间断运行。为更好的使相关标准服务于高速公路信息化建设管理工作,使得营运期高速公路机电系统养护工作进一步规范化,2011年10月19日至20日,在云南省昆明市举行了“高速公路机电设备维护与标准化管理培训班”,本次培训班的具体内容如下:

1、我国公路机电系统的主要支撑技术、应用现状及未来发展趋势;

2、公路机电系列国家标准体系、编修背景说明,GB/T18567-2010《高速公路隧道监控系

统模式》内容解析;

3、GB/T24969-2010《公路照明技术》、GB/T24968-2010《公路收费站车道控制机》的内容解析;

4、新标准下公路机电系统升级改造探讨及公路机电工程检测技术;

5、高速公路机电维护管理信息系统设计;

6、高速公路机电设备精细化管理关键技术,机电设施设备硬件、软件管理标准化;

7、各地(陕西、重庆、山东等)的地方规范《高速公路机电工程养护质量检验评定标准》的应用情况及应用实际探讨;

8、《公路机电系统维护技术指南》应用中的疑难问题,高速公路机电设备管理信息化的实践经验交流。

上述相关技术介绍、展望、相关标准解析以及实际应用情况和疑难问题的介绍,有助于相关专业技术人员对工程实际应用效果的把握,在设计中提前采取相关技术措施或手段,提高设计质量。来自全国各省的高速公路设计单位、建设单位、营运单位代表参与了本次培训班,并进行了技术交流和探讨。我公司市政与交通工程部的王继芳工程师参加了本次培训班。

(王继芳 报道)

## 公路桥梁、隧道工程施工安全风险评估与安全管理新技术培训班报道

2011年10月29日至11月3日，由交通运输部科学研究院主办的“公路桥梁、隧道工程施工安全风险评估与安全管理新技术培训班”在四川省成都市召开。220多位来自全国各地从事桥梁（隧道）建设、设计、施工、检测、监理、安全管理等单位的工程技术人员和科研人员参与了本次培训班。

培训班上，主办方组织安排与会人员学习了交通运输部科学研究院李志强博士、交通运输部公路科学研究院李伟博士等作的专题报告，主要有以下内容：

1、全国交通建设领域安全生产形势分析和交通建设安全管理概况；

2、国内外风险评估技术发展现状和主要理论方法；

3、《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估制度》解读；

4、《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南》的制定背景及其主要内容讲解和重点条文解读；《指南》执行中应引起注意的一

些关键点及疑点难点问题解析；

5、公路桥梁、隧道工程施工现场安全生产标准化建设与实施；

6、公路桥梁、隧道工程施工安全隐患排查治理技术；

7、公路桥梁、隧道工程施工风险评估案例分析。

公路桥梁、隧道工程施工环境条件复杂，施工现场组织实施困难，作业安全风险居高不下，对其作专门的安全风险评估，能有效地提高施工现场安全预控的有效性，减少重大安全生产事故的发生。通过这几天培训班的学习，笔者对公路桥梁、隧道工程施工所存在的安全风险有了进一步的认识，对公路桥梁、隧道工程施工的风险源辨识、风险评估的流程、风险评估的方法有了全面系统的了解，也掌握了一些安全生产事故隐患的排查技术与安全生产管理的新技术，达到了参加培训班进行学习交流的目的。

（庄富盛 报道）

## 汶川地震灾后重建项目现场研讨班报道

2011年10月31日至11月2日，由中国工程咨询协会主办的“汶川地震灾后重建项目现场研讨班”在四川省成都市召开。130多位来自全国各地的咨询工程领域的专家和工程技术人员参加了会议。培训班上，针对六位专家宣讲的专题报告进行了学习、交流，内容如下：

1、“咨询服务积极进取，恢复重建攻坚克难”，由四川省工程咨询研究院副院长杨桦宣讲；

2、“北川新县城灾后重建规划实施机制”，由四川省绵阳市城乡规划局局长贺旺宣讲；

3、“汶川地震灾后重建城乡规划设计”，由

四川省住房和城乡建设厅总规划师邱建宣讲；

4、“整合优势资源，扩展服务视角，做好全过程项目管理咨询——汶川县水磨镇灾后重建介绍”，由广东广咨国际工程投资顾问（集团）公司副总经理龚岸桥宣讲；

5、“上海市对口支援都江堰市灾后重建项目群管理实践”，由上海市建筑科学研究院有限公司郁勇宣讲；

6、“汶川地震灾后公路恢复重建规划的编制与实践”，由交通运输部规划研究院公路所审核室主任杜江涛宣讲。

通过对专题报告的学习，笔者对地震灾后咨询项目的开展流程、灾后重建项目建设管理、灾后城市规划以及灾后公路网规划有了一定的了解，达到了参加培训班目的，取得了较好的效果。

（游锦龙 报道）

## 节能减排评估师岗位能力培训班简讯

为进一步规范节能减排评估工作，提高节能减排从业人员的职业素质与专业技能，国家发展和改革委员会国际合作中心与人力资源和社会保障部教育培训中心于2011年8月27至30日（上期）和2011年11月4日至10日（下期）分两次在北京联合举办了“节能减排评估师岗位能力培训”学习班，并颁发相关学习证书。我公司技术质量部主任王强副总工程师和交通经济部向忠主任工程师两人参加。

培训班上，国家发改委国际合同中心国际经济研究室主任迟长胜介绍了我国节能减排面临的形势与行业发展要求，指出本次培训班的主旨是通过对节能减排理论知识和管理技术的系统学习，使学员深入了解常见的节能措施和节能技术，熟悉掌握节能评估与节能量监测验证的主要内容、方法及流程，为用能企业、节能公司及其它相关企业确保节能效果，增强节能收益，降低节

能项目实施风险提供专业人才保障。

培训班举办方还邀请了国务院参事与国家能源专家咨询委员会主任徐锭明作“国际能源形势与发展战略”、国家发改委能源研究所康艳兵处长作“节能减排政策、国家节能技改奖励项目申报及气候变化”、中国国际工程咨询公司政策研究部徐成彬处长作“投资项目研究及节能评估报告编写和案例分析”、清华大学孟昭利教授作“节能经济分析及评价方法和能源审计与能源计量”、国家发改节能促进项目办公室主任王树茂作“合同能源管理项目案例分析和节能量检测与验证”、中国石油天然气集团公司质量安全环保部俞伯炎教授作“石油石化节能技术及评估报告编写”等专题报告。整个培训班学习内容丰富、安排紧凑，让参与的学员均感感觉收益匪浅。

（向忠 报道）

## 设计代表知识讲座专题报道

根据公司质量管理体系要求，担任公司各项目设计代表的人员均需参加设计代表相关知识培训。鉴于此，2011年11月7日，在公司二号楼

9楼会议室举行了2011年度设计代表知识讲座。三十多名技术人员参加了本次讲座，共同学习、交流设计代表上岗知识和经验。

本次讲座由第二路桥设计部一级设计师丘燊主讲,丘工担任佛开项目设计代表三年,在与各方沟通、协调多方关系、提供设计后服务等方面有着的丰富经验。丘工的讲解内容围绕做好设计后服务工作的重要性、设计代表工作内容(程序体系文件)、优秀设计代表应具备的素质、现场设计代表需注意的问题等方面展开。他结合众多实例及亲身经验,与学员分享了体会,并给予了在场的学员们许多实用的建议,如应善于学习、熟悉设计文件内容;要处理好工作、家庭、

生活的关系;明确自身职业发展方向、做好职业生涯规划等。

参加此次讲座的技术人员均为公司青年员工,体现出近年公司设计代表结构年轻化的趋势。课程内容实用性强,案例贴近工作实际,特别容易引起共鸣,引发更深层的思考,有助于设计代表们不断提升业务水平,也助于即将担任设计代表的技术人员尽快胜任岗位工作。此次讲座得到了参加学员们的高度认同。

(简玉燊 报道)



## 公路建设工程设计程序基础知识培训专题报道

2011年11月21日,主题为“公路建设工程设计程序基础知识”的培训讲座在公司二号楼9楼会议室举行。公司副总工程师谢伟强担任本次培训的主讲,为参加讲座的近三十名专业技术人员讲授了公路建设工程设计程序相关基础知识。

本次培训作为新员工入职培训的课程之一,主要向新员工介绍公路工程设计的基本流程。考虑到新员工熟悉岗位的工作情况需要一定时间,故将此培训课程安排在其工作一段时间后举行,以便新员工更好的结合工作实际理解培训内容。培训围绕以下主要内容展开,包括:公路建



设前期工作的阶段、公路工程项目的设计工作程序、设计人员在设计程序中应注意的事项等,并介绍了目前我公司的专业分工情况,最后介绍了

· 47 ·

设计人员在设计过程中的内、外部主要接口内容。

本次培训，谢总系统的介绍了公路工程设计程序的全过程，让新员工对常规设计流程有了较全面的认识。参加此次培训的人员除了2011年公司新进的专业技术人员，还包括部分职能部门

的人员。通过开展此类培训，有助于新员工尽快了解公司情况、熟悉工作内容，同时有利于职能部门员工了解公司公路设计项目的基本流程、促进与生产部门技术人员的协作，是普及公司基本知识的重要举措之一。

(简玉燊 报道)

## 大型复杂结构抗震分析的随机振动方法讲座专题报道

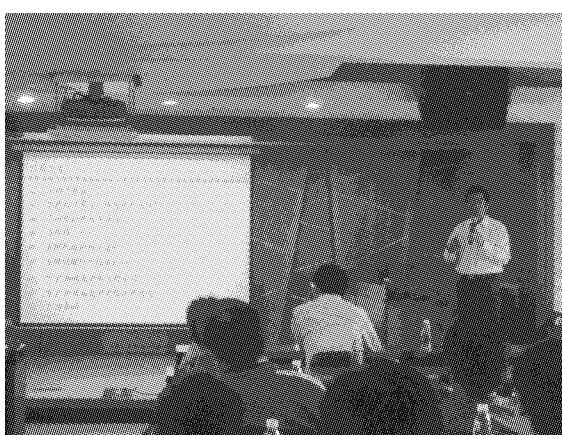
11月22日上午，华南理工大学土木与交通学院院长苏成博士应邀莅临我公司，为专业技术人员作题为“大型复杂结构抗震分析的随机振动方法”的专题讲座。公司四十多名桥梁设计专业技术人员参加了讲座，梁立农总工程师亦全程参与其中。

苏教授作为“大跨度桥梁及空间结构”科研团队学术负责人，主要研究方向为结构抗风与抗震、结构随机分析和计算力学等，近年来主要致力于大型复杂结构随机振动及桥梁结构健康监测方面的研究。在国内外刊物和学术会议上发表论文120余篇，其中被SCI和EI收录论文40余篇次。本次讲座，苏教授主要介绍了结构抗震设计规范以及振型分解反应谱法、时程分析法、随机振动功率谱法、随机振动时

域显式法等多种抗震分析的随机振动方法等。他通过多个相关工程应用案例的讲解，让学员对分析、计算方法有了更直观的了解，通过枚举大量的图表和详细计算过程演示，引导学员逐步了解该方法的原理及实操，加深学员对方法的理解。

参加讲座的学员均对苏教授讲解的内容表现出浓厚兴趣，对本次专题讲座作出极高评价。通过举办此类讲座，有利于加强公司与高校的合作、相互促进，让日常忙于工作的员工有机会及时接触学术界新研究、新技术、新方法，对拓宽员工视野、更新知识结构、提高综合素质起到积极作用。

(简玉燊 报道)



## 2011版《公路水泥混凝土路面设计规范》宣贯培训班报道

今年,交通运输部修订了《公路水泥混凝土路面设计规范》,修订后的规范分为8个章节和5个附录,并将于2011年12月1日起施行新规范的内容。

2011年11月26日至27日,中国公路学会交通工程分会在白云区维也纳酒店举办了“2011版《公路水泥混凝土路面设计规范》宣贯培训班”,其主要内容是为了帮助各参会单位了解和掌握新规范的实施要点,主讲专家为同济大学的周玉民教授。

本次培训班,宣贯培训的主要内容包含四大部分:

- ①新规范的修订内容;
- ②设计理论与方法;
- ③加铺层设计;
- ④方案示例。

除了以上培训内容以外,周教授还借鉴国内外相关技术经验,对我国的刚性路面设计技术进行了探讨与分析,总结设计经验,归纳介绍国内刚性路面设计的部分不足之处。

对周教授讲解的新规范修订内容,总结如下:

- 1、2011版《公路水泥混凝土路面设计规范》修订借鉴的大量国外参考规范的同时,更以近十多年来大量累积的国内设计施工经验为标准进行修订;
- 2、新材料、新技术、新方法、新理论等内容的添加;
- 3、设计准则变化;
- 4、结构组合变化(推荐在面层与基层之间设置沥青混凝土隔层);
- 5、力学计算模型的变化;
- 6、温度翘曲应力计算变化;
- 7、轴载换算的变化;
- 8、基层顶面当量模量变化;
- 9、连续配筋混凝土变化(裂缝间距和裂缝宽度两个设计指标的计算公式);
- 10、加铺层设计变化(接缝评级的变化);
- 11、材料参数经验值变化(提高了路基模量与半刚性基层的模量)。

(尹健标 报道)

## 钢桥的超高性能轻型组合桥面结构及施工技术现场交流会报道

目前,钢桥面铺装由于造价高、使用寿命短,其铺装材料和结构选型越来越引起人们的关注,由此产生了许多新型的钢桥面铺装材料,而超高韧性钢纤维混凝土STC的研究正是在这样的背景产生的。

2011年12月13日,广东省公路学会在肇庆市组织举办了“钢桥的超高性能轻型组合桥面结构及施工技术现场交流会”。本次学术交流会,主办方通过邀请专家进行室内讲解,和组织参会人员进行现场观摩等手段,给参会者展

· 49 ·

示、介绍了一种新型的钢桥面铺装材料。本次交流会的主要内容有：

1、湖南大学邵旭东教授讲解“关于钢桥的超高性能轻型组合桥面结构的受力特点、STC与常规砼结构的强度比较、STC预期的使用效果”等内容。根据国内外研究成果，活性粉末砼RPC是常规砼抗压强度的4倍、抗折强度的10倍、断裂韧性的200倍，通过在其中加入钢纤维，大大提高了其韧性，并通过采用蒸汽养护，减少了后期的收缩变形。将活性粉末砼RPC铺筑在钢桥上，与钢桥面组成轻型组合桥面结构，提高了截面刚度，可明显降低钢桥面的应力，从而可提高其疲劳寿命，据相关研究，其设计寿命可达100年。

2、冠生土木工程技术有限公司肖礼经讲解关于STC现场施工的主要问题和注意事项。

3、现场观摩肇庆马房公路铁路两用钢桥STC的铺筑情况。

马房大桥的建设采用了SAC、聚合物改性水泥砼、环氧沥青砼、轻型混凝土、STC(STC的造价为2000元/m<sup>2</sup>)，共5种钢桥面铺装结构，目前已施工完毕，其各个铺装结构的使用性能还有待于实践的检验。马房大桥聚集了众多的钢桥面铺装结构，可谓是群花争芳斗艳，让我们继续关注该桥的桥面铺装使用效果，看看哪朵花开得最好，相信会为我们提供一个很好的关于钢桥面铺装结构如何选型的答案。

(郭月芹 报道)