

# 广东公路勘察设计

(季刊)

2012 年 12 月 30 日出版

2012 年第 4 期  
(总第 148 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：huaho2001@yahoo.com.cn

印刷单位：广州广卫印刷厂

封 面：

# 目 次

## 桥梁工程

- 一座多塔宽幅脊梁矮塔斜拉桥的设计特色 ..... 陈枝洪(1)  
G325 国道九江大桥修复工程实体仿真分析 ..... 郭文华 马玉全(5)

## 道路工程

- 硬壳层软土地基竖向附加应力计算研究 ..... 江唯伟(10)  
旧水泥砼路面沥青罩面层反射裂缝分析及防治措施 ..... 华正良(14)

## 隧道工程

- 上坪特长隧道主体工程设计 ..... 罗立娜(17)  
广(州)梧(州)高速公路河口至平台段隧道洞口设计技术 ..... 李国安(22)

## 工程经济

- 高速公路小修费用影响因素研究 ..... 游锦龙(28)  
浅谈区域交通运输一体化保障措施 ..... 肖 明(31)

## 计算机应用

- 虚拟样机软件技术在车 - 桥耦合动力响应分析中的应用 ..... 刘栋杰(34)  
关于防火墙并发连接数的研究 ..... 吕广平(39)

## 信息专栏

- 全国公路工程地质科技情报网 2012 年技术交流会报道 ..... (42)  
2012 年全国公路隧道建设技术研讨会报道 ..... (46)  
第二届全国复合地基理论及工程应用学术研讨会报道 ..... (46)  
广东省公路学会交通工程专业委员会 2012 年度技术交流会报道 ..... (47)  
公路路线及总体设计知识培训报道 ..... (47)  
常见不良地质现象专题讲座报道 ..... (48)  
2012 年设计代表知识讲座报道 ..... (49)  
第一届国际桥梁养护管理技术研讨与观澜河大桥拆除现场观摩会暨香港青马大桥控制区实地考察 ..... (49)  
城市道路工程设计与改造典型案例及常见疑难问题解析高级研讨会 ..... (50)

# 一座多塔宽幅脊梁矮塔斜拉桥的设计特色

陈枝洪

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**江肇高速公路西江大桥采用四塔五跨矮塔斜拉桥体系,主桥跨径组合为(66+120+2×138+120+66)=886m,其具有“多塔、梁宽、联长”等结构特点,针对结构特点,设计中对结构体系、主梁宽幅脊梁断面及矮塔斜拉桥合理受力状态等做了初步的探讨和技术创新,本文介绍其设计方面的相关内容。

**关键词:**矮塔斜拉桥;脊梁断面;剪力滞;计算分析

## 1 工概述

江肇西江大桥是广东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,效果图如图1。



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,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℃,设计基准风速31.3 m/s。

主要技术标准: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 工程设计

主桥为单索面矮塔斜拉桥,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;边中跨比0.61,塔根两侧无索区长64m,边跨无索区长32m,中跨无索区长18m;桥型布置如图2。

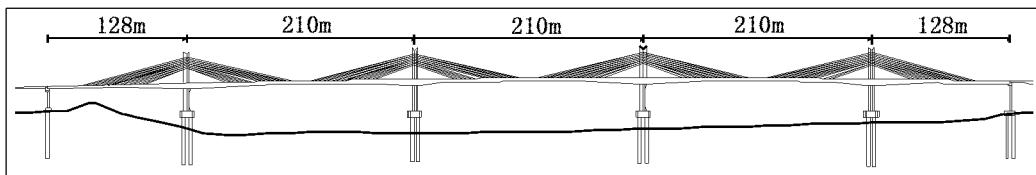


图2 主桥桥型布置图

### 2.1 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 $\phi 3.0m$ 大直径桩基，均按嵌岩桩设计。主墩和基础构造如图3、图4。

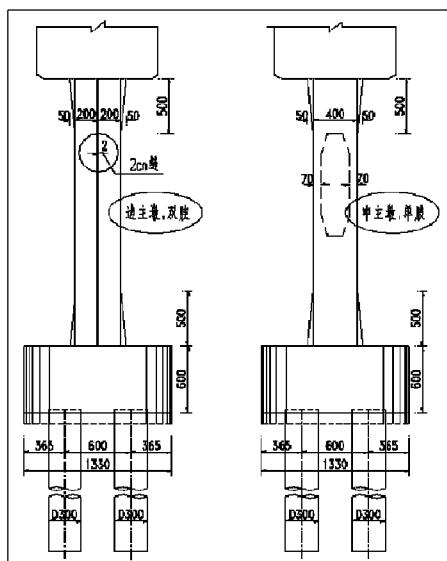


图3 主墩构造图(单位:cm)

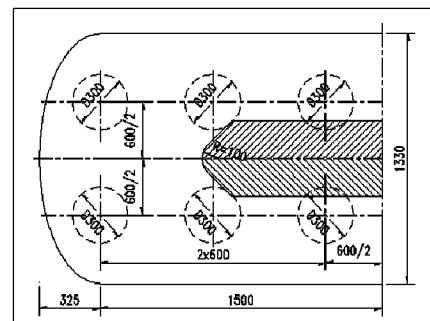


图4 基础构造图(单位:cm)

## 2.2 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5。

## 2.3 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38.3m，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。

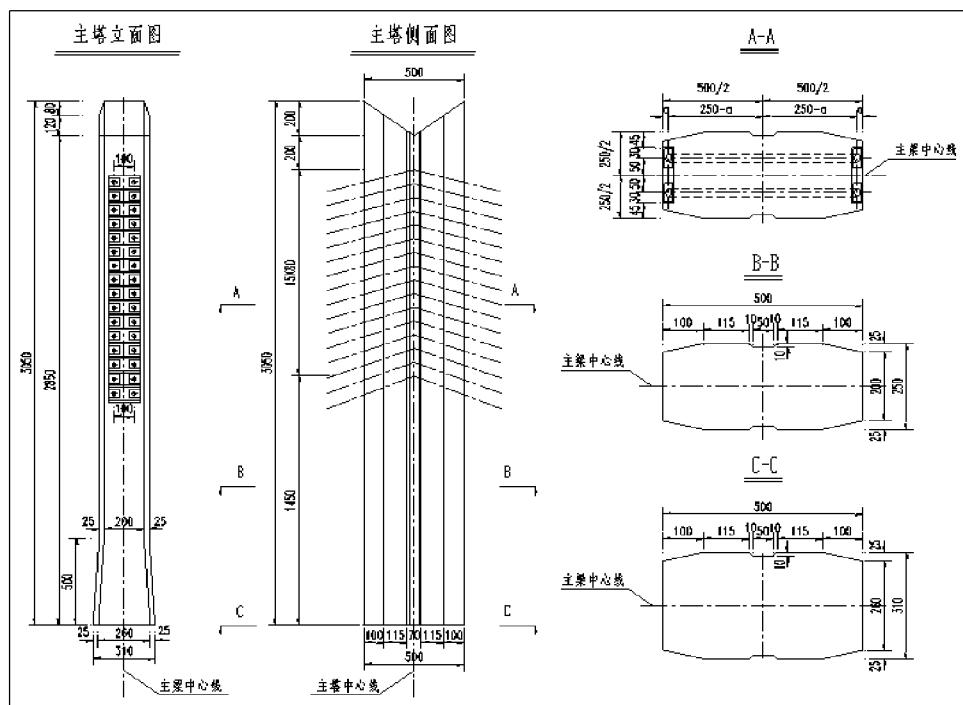


图5 主塔构造图(单位:cm)

结合人行道栏杆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。

悬臂翼板端部厚为0.2m,根部板厚0.45m,由于悬臂板长达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。在拉索梁段和普通梁段均设置横隔梁。通过边、中腹板不等高形成桥面横坡。

箱梁典型断面如图6。

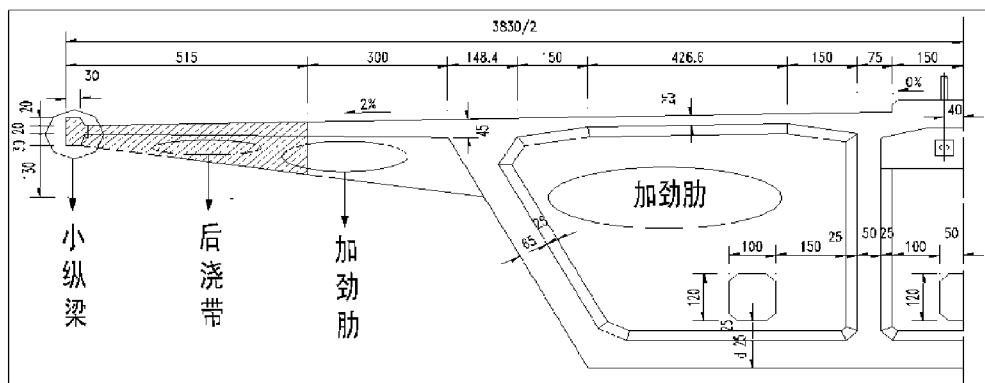


图6 箱梁典型断面图(单位:cm)

#### 2.4 斜拉索及索鞍

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。塔上锚固装置采用分丝管索鞍。

### 3 技术特点和设计特色

#### 3.1 结构体系

主桥为单索面矮塔斜拉桥,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。

四个主墩均采用全固结刚构体系后,其刚构联长达630m,为保证下部结构受力安全,综合温度、混凝土收缩徐变、预应力次内力及船舶撞击等因素,四个主墩采用差异设计,即受撞概率较大、位于中间的两个中主墩采用“单肢”箱室型式,外侧两个受纵向力较大的边主墩采用“双肢”实心型式,从而在纵向主墩刚度和防撞能力间取得协调;两双肢实心主墩间用一块2cm厚橡胶板分隔,兼作施工模板,这样,既确保主墩纵向柔度,又使各主墩外观保持一致。

#### 3.2 宽幅脊梁断面

##### 3.2.1 轴力滞后效应

主梁箱梁断面宽达38.3m,为超宽砼脊梁断面。其中间索面索力沿横断面扩散,势必存在轴力滞后现象。采用空间板壳元分析,得到以下结论和体会:

a. 轴力滞后现象明显存在,如应力云图(图7)所示,索力经一定长度扩散后,才作用于全截面;根据等应力迹线(图8),整体截面扩散角成35度,闭口箱扩散角度为40度;

b. 根据扩散角度、本桥施工分段,考虑适当安全储备后,后浇带滞后5个梁段浇注,弱化了拉索轴力滞后影响;后浇段同时可弱化弯矩剪力滞,使结构构件受力更加清晰,承载以先浇主梁为主,滞后现浇段为辅。

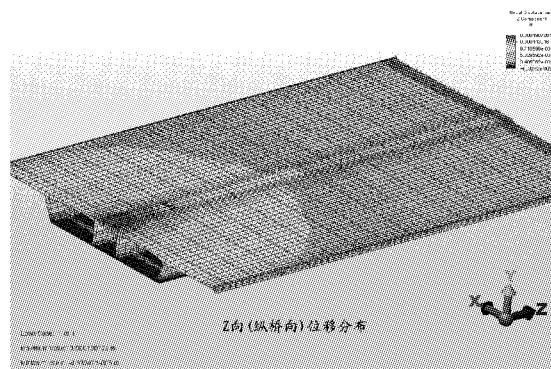


图7 应力云图

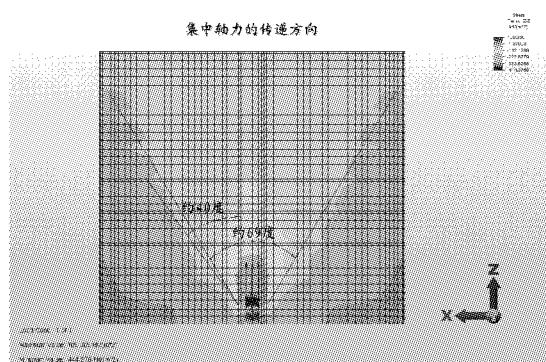


图8 等应力迹线

### 3.2.2 腹板受力不均匀性

对于宽幅脊梁而言,弯扭耦合空间受力特征非常明显,箱梁各腹板之间受力存在不均匀性。对于活载而言,本桥剪力偏载系数1.39,正应力的偏载系数为1.2,均为边腹板控制设计。对于恒载而言,中、边腹板剪应力之比为1.13~1.31。

综合活载、恒载边、中腹板剪力计算结果,边中腹板之间不均匀比值在1.3以内,故根据受力特征,按差异性设计,边腹板厚度取为65cm,中腹板厚度取为50cm。

### 3.3 多跨刚构体系矮塔斜拉桥合理设计状态探讨

在设计阶段,将结构体系、主梁梁高、主梁断面形式、塔高、斜拉索布置、合理成桥索力等作为关键要素进行优化研究。

对于大跨矮塔砼斜拉桥,结构自重仍是最敏感的设计因素,因此采用自重集度较小的脊梁断面是较合理的选择。通过受力对比分析,塔高相对常规取值适当加大,塔高与主跨之比达1/6.9;同时适当增加斜拉索数,减少无索区长度;这些均有助于结构受力合理性。

对矮塔斜拉桥索力成桥索力,根据本桥的设计经验,传统混凝土斜拉桥成桥索力计算理论结合梁截面剪力控制因素即可确定较优的成桥索力。

### 3.4 多层次计算分析模型

针对结构体系、斜拉索力纵向传递、腹板受力不均匀性、后浇翼板与主截面联合作用机理,锚下和索鞍下应力集中等关键问题,分别采用了三种计算分析模型,并将各模型计算结果相互比对校核,确保结构受力合理。

一是空间单梁模型。该模型为后续分析模型

的基础,提供互相校核的整体数据。通过该模型最终确认结构体系(即墩塔梁固结体系),界定结构整体力学性能。

二是空间多梁格——梁板模型。为确认各腹板受力差异及施工工序等影响,特提出空间多梁格——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。该模型能模拟后浇带施工、分步形成截面和累计应力。该模型重点反映各腹板间受力的不均匀性问题。

三是空间实体模型。将1/4全桥结构根据对称性离散为空间实体单元。从另一层面关注空间多梁格——梁板模型所研究的问题,重点关注锚下、索鞍下及齿板处等应力状态。

## 4 结语

(1) 桥梁景观。采用四塔五跨矮塔斜拉桥跨越江面,桥型新颖,结构型式连贯统一,体量协调,具简洁、气势之美。

(2) 桥梁结构。桥梁具有“多塔、梁宽、联长”等结构特点,四个主墩采用求同(主墩外形)存异(分别采用双肢或单肢墩)的差异化设计,在外形统一和结构受力上取得了兼顾和协调。主梁采用后浇翼缘、设置翼板加劲肋和悬臂端小纵梁构造措施,有效改善了宽幅脊梁结构受力性能,结构受力更加清晰。

(3) 结构计算。根据分析需要,采用了多种不同层次的计算模型。对多塔矮塔斜拉桥成桥合理状态,单索面宽幅脊梁的索力传递,边中腹板受力不均匀性、后浇翼板与主截面联合作用机理进行了适当计算分析并取得了一些实践经验,希望对后续同类桥梁的设计和施工有所参考。

### 参考文献:

- [1] 交通部公路司.新理念—公路设计指南[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [2] 范立础.桥梁工程[M].人民交通出版社,2001.
- [3] 项海帆.高等桥梁结构理论[M].人民交通出版社,2001.
- [4] 雷俊卿.桥梁悬臂施工与设计[M].人民交通出版社,2000.
- [5] 吴高峰,徐鸿.小西湖黄河大桥剪力滞效应试验和理论研究对比[J].中南公路工程,2005,30(4):82~85.

# G325国道九江大桥修复工程实体仿真分析

郭文华 马玉全

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**利用大型通用有限元软件ANSYS,对G325国道九江大桥进行三维实体仿真分析,计算主梁纵、横、竖三向应力分布,了解结构的实际工作状态和的应力分布状况,并计算九江大桥主梁偏载系数及主梁纵桥向应力沿桥横桥向的应力不均匀系数,结果表明:对于九江大桥主梁正应力,采用平面杆系模型的计算精度已经能够满足工程要求了,九江大桥纵桥向应力不均匀系数基本在1~3.5之间。为该桥的设计工作提供可靠的数据支持,并为同类桥梁的仿真分析提供技术参考。

**关键词:**斜拉桥;组合梁;剪力滞;实体仿真

## 1 工程概况

G325国道九江大桥修复工程采用(100+100)m独塔双索面组合梁斜拉桥,塔、梁、墩固结,主塔采用双柱式,斜拉索布置采用竖琴型双索面。大桥结构简图如图1所示。主梁全桥总宽20.1m,主梁采用叠合梁。叠合梁由工字型主梁、车行道横梁、小纵梁(桥轴处)、钢检修道悬臂梁组成的平面钢梁格,与其上叠合的混凝土桥面板构成。主梁断面如图2所示。

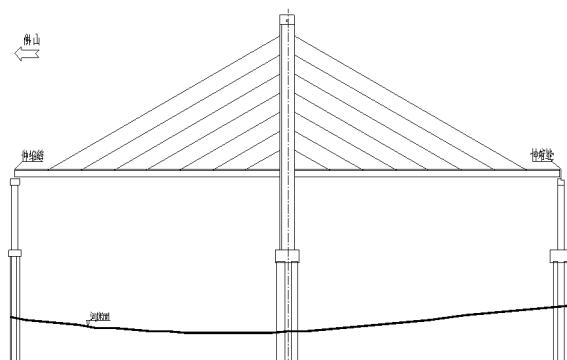


图1 九江大桥桥型布置图

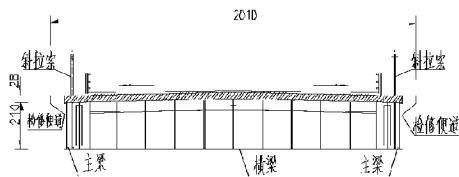


图2 九江大桥主梁截面

## 2 仿真分析目的

九江大桥仿真分析的目的是了解和校核该

桥的三维应力状况,为该桥的设计工作提供可靠的数据支持,具体工作内容是:

(1)计算主梁顺桥向应力沿纵横桥向的分布,校核第一层次的计算结果。

(2)计算主梁顺桥向正应力沿横桥向的分布和各断面腹板剪应力沿竖向的分布,目的是观察顶底板剪力滞、轴力滞效应,并校核和指导顺桥向平面杆系计算中的多车道偏载系数。

(3)计算并检查塔、主梁索锚固区、墩梁塔固结区的应力状况。

## 3 结构有限元模型

### 3.1 建模方案的选择

对于有限元仿真分析,一般说来可以选择用块体单元或壳单元模拟结构。使用块体单元进行有限元分析往往被认为这样才能真实反映模拟实际结构,要求有限元剖分十分精细<sup>[1]</sup>。其缺点是有限元模型的自由度庞大。使用壳单元进行有限元分析的优点是当结构较为符合壳单元的变形情况时其实现效率比较高,计算规模往往比三维块体单元小得多但精度也有一定的保证,当然其前提是结构的变形要符合壳单元的变形理论。

由于本次仿真采用一台拥有9节点的高性能集群服务器(每节点为8核,整体集群共计72核)完成,计算规模基本不受限制,因此九江大桥的有限元仿真分析全桥采用块体单元及板壳单元建模。

### 3.2 建立有限元模型

九江大桥根据对称性取 1/2 结构在 ANSYS 软件中建立有限元模型,其中斜拉索及预应力部分采用空间杆单元,混凝土部分采用块体单元,钢板采用壳单元。模型共包含单元 625314 个,节点 247502 个。模型的自由度为 863276 个。

九江大桥有限元模型如图 3~13 所示。

九江大桥仿真计算中,索用梁单元模拟,其弹性模量是根据上一阶段的索力通过 Ernst 公式更新计算得到的。

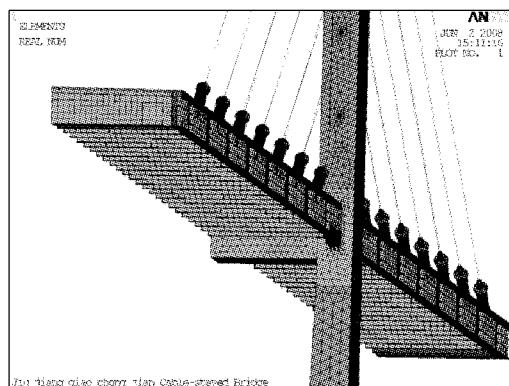


图 3 全桥有限元模型

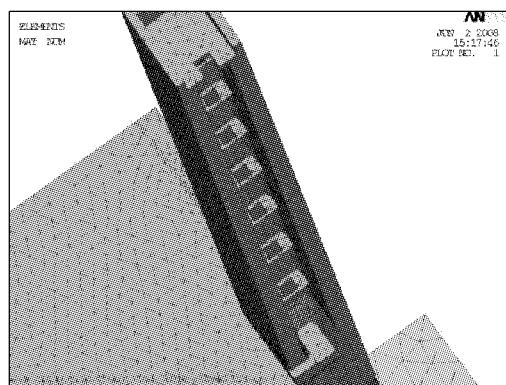


图 4 主塔有限元模型

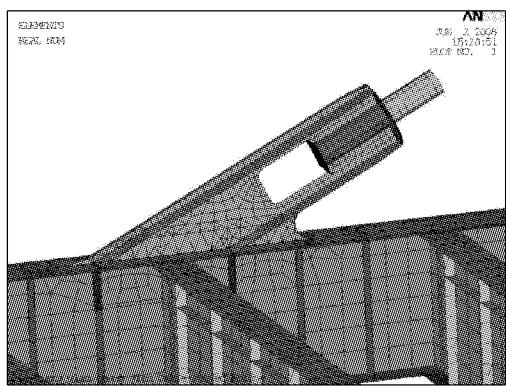


图 5 主梁锚拉板有限元模型

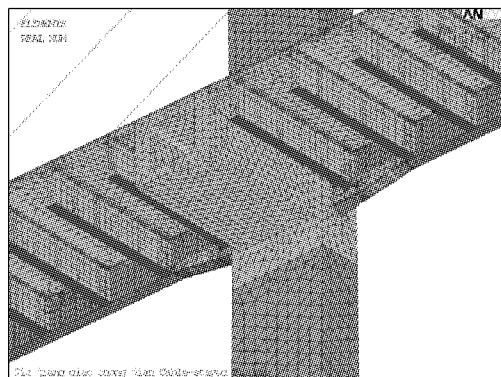


图 6 墩梁塔固结区有限元模型

### 3.3 荷载工况

九江大桥仿真分析的荷载工况包括永久作用、可变作用及组合作用。

#### 3.3.1 永久作用

九江大桥采用分段法施工,施工过程的工况描述如表 1 所示,采用生死单元实现。

表 1 九江大桥仿真分析的施工过程

工况	工况说明
1	到第二次张拉 1 号索
2	到第二次张拉 2 号索
3	第一次张拉 3 号索
4	安装 3 号块桥面板,现浇 1,2 号桥面板湿接缝
5	挂篮前移、第 2 次张拉 3 号索
6	到第二次张拉 4 号索
7	第一次张拉 5 号索
8	安装 5 号块桥面板,现浇 3,4 号桥面板湿接缝
9	挂篮前移、第二次张拉 5 号索
10	到第二次张拉 6 号索
11	到第二次张拉 7 号索
12	主梁合拢,安装剩余的桥面板及其后浇带
13	激活剩余的桥面板及其后浇带
14	张拉预应力
15	二期恒载
16~22	依次由 7 号索调至 1 号索
23	徐变

#### 3.3.2 可变作用

可变作用工况根据《公路桥涵设计通用规

范》(2004版)的说明施加,包括风、温度、基础沉降以及活载<sup>[2]</sup>,其中活载的影响线在平面梁模型中获得。

### 3.3.3 组合作用

参考平面梁模型最不利组合的结果,对全桥10个位置进行短期抗裂及持久抗压的整体验算,验算位置如图7所示。

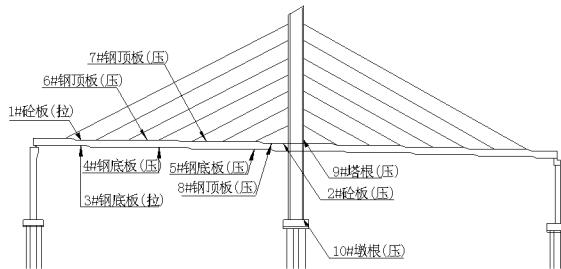


图7 整体验算位置示意图

## 4 仿真分析结果

### 4.1 永久作用计算结果

永久作用下(至收缩徐变完成)仿真分析的结果如图8~图13所示。

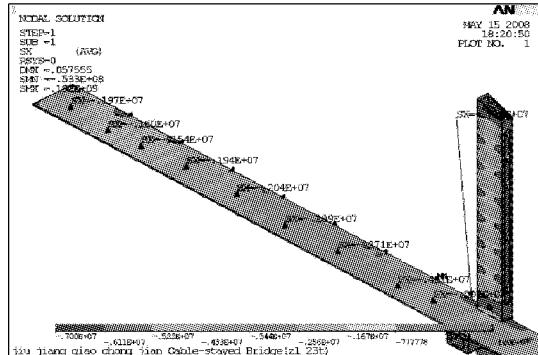


图8 永久作用下混凝土顶板纵桥向应力

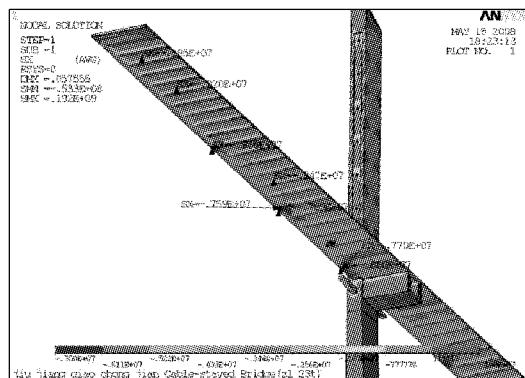


图9 永久作用下混凝土底板纵桥向应力

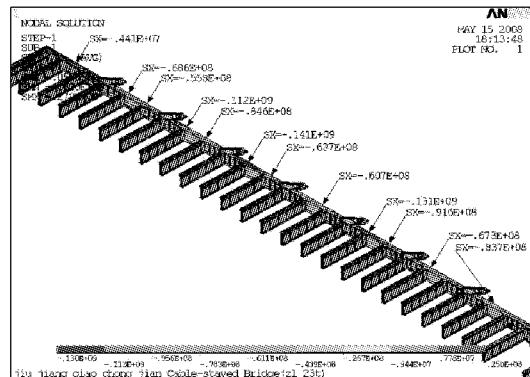


图10 永久作用下钢结构顶板纵桥向应力

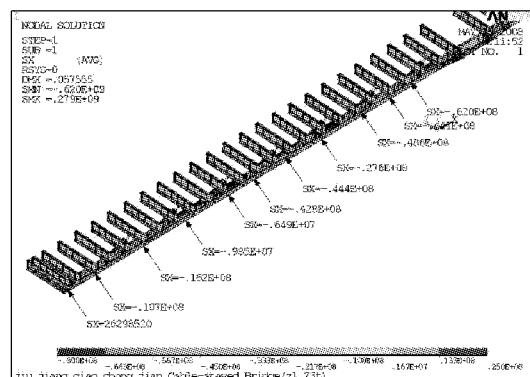


图11 永久作用下钢结构底板纵桥向应力

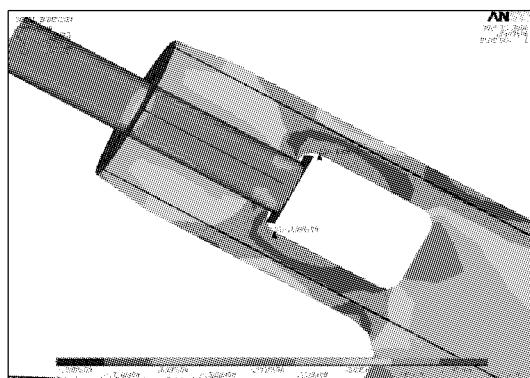


图12 永久作用下锚拉板的主拉应力

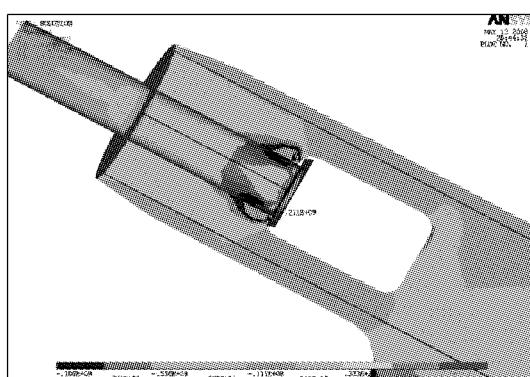


图13 永久作用下锚拉板的主压应力

## 4.2 组合作用计算结果

由于篇幅有限,未列出所有组合作用计算结果,部分组合作用的结果如图 14~17 所示。

## 4.3 纵腹板剪力的分布

为了了解主梁偏载系数,分别选取主梁底板在根部、跨中、边墩附近横梁处与横梁间共 7 个位置,分别考察各个位置在 4 车道、3 车道、2 车道偏载与非偏载加载下的应力结果,得到各个位置在不同车道下的偏载系数,列于表 2 中。

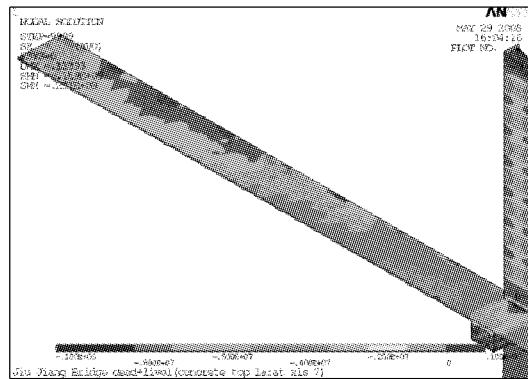


图 14 组合作用下应力状态(位置 1 砼顶板拉)

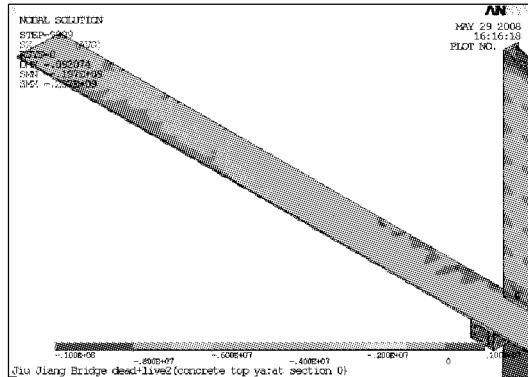


图 15 组合作用下应力状态(位置 2 砼顶板拉)

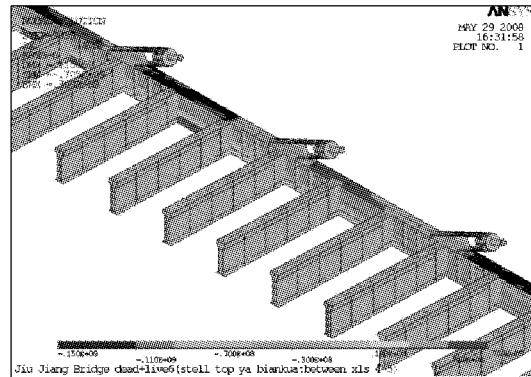


图 16 组合作用下应力状态(位置 6 钢梁底压)

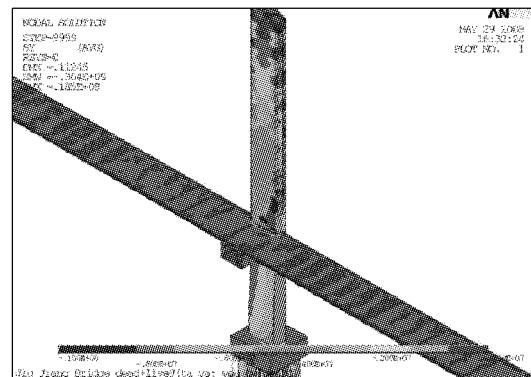


图 17 组合作用下应力状态(位置 9 塔底压)

## 4.4 纵桥向应力沿桥横桥向分布规律

为了了解主梁在不同工况下不同位置的纵桥向应力横桥向分布规律(即主梁法向应力滞后现象),分别选取主梁根部、跨中附近、边墩附近等七个位置,分别考察各个位置上的底板在二期铺装、调 4 号索以及成桥状态(包括自重力、预应力、索力、收缩徐变效应,并考虑施工过程下的最终成桥状态)下的应力分布情况。应力不均匀系数如表 3 所示。

表 2 九江大桥主梁偏载系数

断面位置描述		应力值/MPa						偏载系数		
		中载			偏载					
位置	描述	4 车道	3 车道	2 车道	4 车道	3 车道	2 车道	4 车道	3 车道	2 车道
-4.5	根部	-11.11	-9.70	-8.29	-13.18	-11.50	-9.81	1.19	1.19	1.18
-10	根部横梁间	-19.81	-17.29	-14.78	-23.43	-20.47	-17.52	1.18	1.18	1.19
-12	根部横梁上	-18.78	-16.40	-14.01	-22.24	-19.43	-16.63	1.18	1.18	1.19
-46	跨中横梁间	9.26	8.08	6.91	10.68	9.32	7.96	1.15	1.15	1.15
-48	跨中横梁上	11.10	9.69	8.28	12.81	11.18	9.55	1.15	1.15	1.15
-92	边墩横梁上	0.24	0.21	0.18	0.18	0.17	0.17	0.74	0.82	0.94
-94	边墩横梁间	-1.17	-1.02	-0.87	-2.28	-2.00	-1.74	1.95	1.96	1.99

表3 主梁纵桥向应力沿桥横桥向的应力不均匀系数

纵桥向位置描述	二期铺装	调4号索	成桥状态
主梁根部(断面离塔中心线4.5m)	1.076	1.101	1.560
主梁根部附近两横梁之间(断面离塔中心线10m)	1.304	1.037	1.055
主梁根部附近横梁位置(断面离塔中心线12m)	1.227	1.115	1.078
主梁跨中附近两横梁之间(断面离塔中心线46m)	1.077	1.279	1.168
主梁跨中附近横梁位置(断面离塔中心线48m)	1.237	1.240	1.480
主梁边墩附近横梁位置(断面离塔中心线92m)	3.257	1.554	1.106
主梁边墩附近两横梁中间(断面离塔中心线94m)	3.212	1.617	1.104

## 5 结束语

针对九江大桥的实际情况,利用高性能计算机进行全桥块体单元及壳单元模型的精细仿真分析,分析中考虑该桥的永久作用、可变作用以及组合作用。仿真分析的结果表明:对于九江大桥主梁正应力,采用平面杆系模型的计算精度已经能够满足工程要求了;九江大桥纵桥向应力不均匀系数基本在1~3.5之间。

高精度的分析结果除有效地指导了设计工作外,也说明了利用高性能计算机进行结构精细仿真分析已经成为现实。

### 参考文献:

- [1] 李富文,伏魁先,徐文焕.板桁组合结构钢桥的空间计算.西南交通大学学报,1981,(3):101~113.
- [2] 中华人民共和国交通部.公路桥涵设计通用规范(JTG D60-2004).北京:人民交通出版社.2004.

# 硬壳层软土地基竖向附加应力计算研究

江唯伟

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**采用有限元法对条形均布荷载作用下的硬壳层软土地基进行数值模拟,得到了不同厚宽比及模量比下层间竖向附加应力系数表格以便查询,通过二元回归分析得到了厚宽比、模量比与层间竖向附加应力系数的近似函数关系。结合“有效深度”概念,推导了计算硬壳层软土地基竖向附加应力分布的简明计算公式,并通过计算实例验证了计算公式的有效性。

**关键词:**硬壳层;软土地基;竖向附加应力;二元回归;有限元

## 1 前言

在硬壳层软土地基中,由于硬壳层的存在,软土地基的附加应力受到不同程度的影响。而在沉降计算中,土中附加应力分布是一个重要因素。传统的 Boussinesq 应力分布是在土层均质各向同性的弹性半无限空间体的假设下得到的<sup>[1]</sup>,而已有的室内模型试验<sup>[2,3]</sup>以及工程实践<sup>[4-6]</sup>均表明硬壳层存在应力扩散效应,因此传统应力分布解将不能考虑硬壳层的扩散效应。轴对称荷载作用下成层地基的应力场与位移场已有理论解答<sup>[7-10]</sup>,但对于属于平面应变问题的路堤荷载或其它条形荷载作用下的双层地基附加应力计算,由于该类问题应力函数的复杂性还没有弹性理论解答,目前只停留在数值计算阶段<sup>[11-12]</sup>,虽能计算出结果,但对于推广应用而言,还有一段距离。宋文刚等<sup>[13]</sup>利用格利菲斯公式,结合弹性地基梁理论给出了不同荷载分布下双层地基分界面上的应力系数的计算公式。徐阳<sup>[14]</sup>在用弹性地基梁理论分析平面应变条件下复合地基应力扩散效用机理的基础上提出了应力扩散系数的计算公式,但弹性地基梁理论与严格的双层地基平面应变问题仍有本质区别。并且以往研究主要对象为层间竖向附加应力系数的计算,而对双层地基竖向附加应力分布的计算尚不多见。为促进双层地基理论实际运用,本文采用有限元法和二元回归分析,结合“有效深度”概念得到了计算硬壳层软土地基竖向附加应力分布的简明

计算公式,有利于推广应用。

## 2 模型的建立与验证

### 2.1 模型的建立

本节采用有限元程序 Ansys10.0 进行分析,模型假定土体为各项同性的均值材料,为理性线弹性体,层间完全连续。计算模型见图 1,水平宽度与深度为 160m 与 80m,考虑到对称性,取模型的一半进行建模。加载为条形均布荷载,单元采用高阶二维八节点单元。约束条件为: $x = 0, x = 80$  施加水平约束; $y = -80$  施加竖向位移约束。

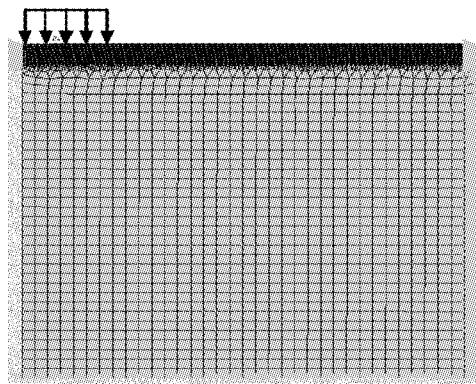


图 1 有限元模型

### 2.1 模型的验证

为了验证模型的正确性,将布辛尼斯克解与数值解进行对比。由布辛尼斯克解可知荷载中心下任意一点的附加应力系数  $K$ (任意一点的竖向应力与表面荷载的比值)仅与  $z/b$ (深度和荷载分布宽度比值)有关<sup>[1]</sup>。因此,取  $E_1/E_2 = 1, B = 10$  即可退化为条形荷载作用下均质地基的情况,

图2为解析解与数值解关于 $K-z/b$ 曲线的对比图,从图2可知,解析解与数值解非常接近,说明计算模型合理。

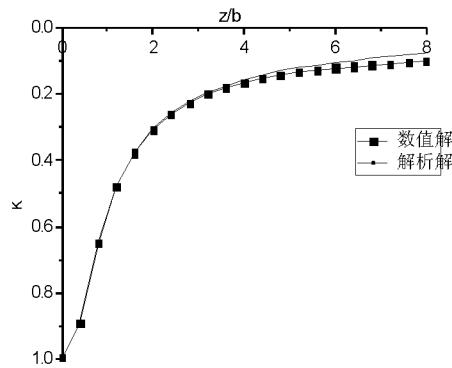


图2 条形均布荷载下数值解与解析解的对比

### 3 层间竖向附加应力系数计算

已有研究表明<sup>[12]</sup>,影响硬壳层软土地基层间竖向附加应力系数的因素为硬壳层与软土层的压缩模量之比(简称模量比)以及硬壳层厚度与荷载分布宽度之比(简称厚宽比)两个因素,而与硬壳层与软土层的泊松比影响很小。为与实际情况相联系,本文取模量比 $E_1/E_2 = 1, 2, 3 \dots 10$ 共十个值,厚宽比 $H/B = 0.1, 0.2, \dots 1$ 共十个值,硬壳层的泊松比取0.3,软土层的泊松比取0.45,表1给出了不同模量比及厚宽比下的层间附加应力系数 $K$ 的大小。

表1 条形均布荷载分布下层间竖向应力分布系数

$H/B$ $E_1/E_2$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	1.00	0.98	0.94	0.88	0.82	0.76	0.70	0.64	0.59	0.55
2	1.00	0.97	0.91	0.83	0.76	0.69	0.63	0.58	0.53	0.49
3	0.99	0.96	0.88	0.80	0.72	0.65	0.59	0.54	0.49	0.45
4	0.99	0.95	0.86	0.77	0.69	0.62	0.56	0.50	0.46	0.42
5	0.99	0.95	0.84	0.74	0.66	0.59	0.53	0.48	0.44	0.40
6	0.99	0.94	0.83	0.72	0.64	0.57	0.51	0.46	0.42	0.38
7	0.99	0.93	0.81	0.70	0.62	0.55	0.49	0.44	0.40	0.37
8	0.98	0.92	0.79	0.69	0.60	0.53	0.47	0.43	0.39	0.35
9	0.98	0.91	0.78	0.67	0.58	0.52	0.46	0.41	0.37	0.34
10	0.98	0.91	0.77	0.66	0.57	0.50	0.45	0.40	0.36	0.33

由于 $H/B$ 在0.1时层间附加应力系数变化很小,且 $E_1/E_2=1$ 为均值地基,因此在 $2 \leq E_1/E_2 \leq 10, 0.2 \leq H/B \leq 1$ 范围内,本文通过二元回归分析得到了层间附加应力系数 $K_c$ 与 $H/B, E_1/E_2$ 表现出良好的相关关系,相关系数 $R^2 = 0.99$ ,回归的函数为:

$$K_c = 0.567 - 0.348\ln(H/B) - 0.101\ln(E_1/E_2) \quad (1)$$

回归函数计算值与数值解的相对误差见表2,除了当 $H/B = 0.2, E_1/E_2 = 2, 3$ 两个相对误差大于5%以外,其它回归函数计算值与数值解相对误差均小于5%。因此式(1)可用于条形均布荷载作用下硬壳层软土地基层间竖向附加应力系数的计算,同时也可查询表1来计算层间附加应力系数。

表2 回归函数计算值与数值解的相对误差(%)

$H/B$ $E_1/E_2$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
2	9.28	1.10	1.20	2.63	2.90	1.59	1.72	0.00	2.04	
3	6.25	0.00	3.75	2.78	3.08	1.69	1.85	0.00	2.22	
4	4.21	1.16	2.60	2.90	3.23	1.79	0.00	0.00	2.38	
5	1.05	2.38	2.70	1.52	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	1.06	2.41	2.78	1.56	1.75	0.00	0.00	0.00	2.63	
7	0.00	2.47	1.43	1.61	0.00	0.00	2.27	2.50	0.00	
8	0.00	1.27	1.45	0.00	0.00	2.13	0.00	0.00	2.86	
9	0.00	2.56	1.49	1.72	0.00	2.17	2.44	2.70	2.94	
10	2.20	2.60	1.52	1.75	2.00	2.22	2.50	2.78	0.00	

#### 4 坚向附加应力分布计算

以上只是计算了层间附加应力的大小,但整个沿深度附加应力分布的计算目前还没有相应的公式,已有研究<sup>[12]</sup>通常采取“等效深度”的概念来计算附加应力分布,步骤如下:

(1)通过查表(应力扩散角法或应力系数法)获得层间应力系数;(2)在得到层间应力系数后,根据均质线弹性理论解计算出下卧层顶面的等效深度 $Z_e$ ,等效原理是硬壳层软土地基分界面上的应力系数与均值线弹性地基 $Z_e$ 深度处的应力系数相等,等效图见图;(3)求得 $Z_e$ 后,按照均质地基线弹性理论解计算下卧层中各点的附加应力;(4)硬壳层中的应力分布则近似按照线性分布来计算。这样就可以得任意深度的附加应力大小。

结合以上思路,本文推导附加应力分布公式 的步骤如下:

##### (1)层间坚向附加应力系数 $K_c$ 的计算

当已知参数 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $H$ 、 $B$ ,即可采用式(1)来计算层间附加应力系数 $K_c$ 。

##### (2)等效深度 $Z_e$ 的计算

表3 式(2)代替式(1)的相对误差

$m$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
相对误差(%)	14.0	6.0	0.0	2.1	3.4	3.7	2.6	1.4	0	1.7	1.8	3.9
$m$	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	3	4	5
相对误差(%)	4.2	4.4	4.8	2.5	5.4	5.7	2.9	3.1	0	4.8	6.3	0

##### (3)硬壳层软土地基附加应力分布的计算

设表面荷载大小为 $P_0$ ,则层间坚向附加应力为 $P_0K_c$ ,假设硬壳层中的应力分布近似按照线性分布来计算,并按照均质地基线弹性理论解计算下卧层中各点的附加应力,可得计算公式如下:

$$P(z)=\begin{cases} P_0(K_c-1)z/H+P_0 & (0 \leq z < H) \\ \frac{P_0}{\pi}\left[2\arctg\frac{1}{2m}+\frac{4m(4m^2+1)}{(4m^2-1)^2+16m^2}\right] & (z \geq H) \end{cases} \quad (5)$$

其中, $m=(z+Z_e-H)/B$ ,参数 $K_c$ 以及 $Z_e$ 分别按式(1)和式(4)来计算,式(5)的适用条件为: $2 \leq E_1/E_2 \leq 10$  和  $0.2 \leq H/B \leq 1$ 。

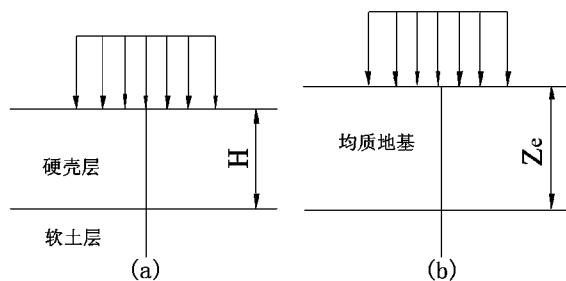


图3 等效深度示意图

对于条形均匀荷载作用下半无限均值地基的中心竖向应力分布系数解答如下<sup>[1]</sup>:

$$K(z)=\frac{1}{\pi}\left[2\arctg\frac{1}{2m}+\frac{4m(4m^2+1)}{(4m^2-1)^2+16m^2}\right] \quad (2)$$

其中, $m$ 为计算深度 $z$ 与荷载分布宽度 $B$ 的比值。

式(2)中,在求得 $K_c$ 后,反求 $Z_e$ 比较复杂。笔者将用另一近似函数替代式(2)。通过多种函数一元回归分析,发现 $m \geq 0.1$ 时,用式(3)可替代式(2),函数替代的相对误差见表3。

$$K'(z)=1.03\exp(-m/1.22)+0.10(R^2=0.995) \quad (3)$$

将 $K_c$ 代入式(2)中,即可得到等效深度的计算公式如下:

$$Z_e=1.22B\ln(1.03/(K_c-0.1)) \quad (4)$$

#### 5 算例分析

硬壳层软土地基上承受条形局部荷载作用,硬壳层厚 $H=5m$ ,荷载分布 $B=10m$ ,硬壳层与软土层压缩模量分别为 $31.8\text{ MPa}$ 和 $3\text{ MPa}$ ,表面荷载作用大小为 $100\text{ kPa}$ ,硬壳层的与软土层的 $e-p$ 曲线见表5,软土层计算深度为 $20\text{ m}$ 。硬壳层与软土层的有效重度分别为 $18.4\text{ kN/m}^3$ 和 $17.5\text{ kN/m}^3$ 。首先分别采用布辛尼斯克解法<sup>[1]</sup>、有限元法、当层法<sup>[12]</sup>以及上节推导的公式法进行附加应力分布求解,然后通过分层总和法<sup>[1]</sup>进行主固结最终沉降计算。

附加应力分布计算结果见图4,可见出公式法与有限元法的解最为接近,当层法的结果偏小,布辛尼斯克解偏大。从表5可看出,采用分层总和法计算最终主固结沉降时,公式法与有限元法最为接近,相对误差仅为5.6%,布辛尼斯克解大大的高估了沉降值,而当成法则大大低估了沉降值,因此都不能正确的反应硬壳层软土地基应力扩散效应。本文所采用的公式法是根据双层地基理论结果计算出来的,较好的反应了硬壳层的扩散效应,得出的沉降结果更符合实际,且由于公式简

单,有利于推广应用。

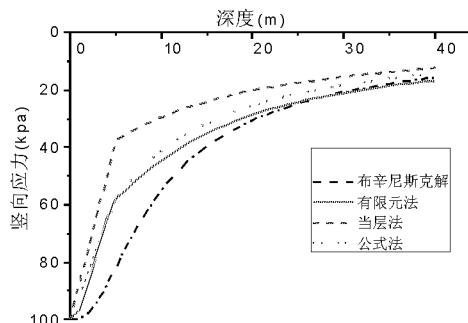


图4 各种方法求解附加应力分布

表4 硬壳层与软土层  $e-p$  关系

土层	0	50kPa	100kPa	200kPa	300kPa	400kPa
硬壳层	0.927	0.914	0.91	0.904	0.9	0.899
软土层	1.100	1.015	0.967	0.905	0.85	0.817

表5 不同附加应力分布计算方法的沉降量比较

附加应力计算方法	布辛尼斯克解法	有限元法	当层法	公式法
沉降量(cm)	43.94	28.26	20.72	26.68
与有限元法的相对误差(%)	55.5	0	26.7	5.6

## 6 结论

本文采用有限元法建立了平面应变条件下的双层地基计算模型,通过二元回归分析得到了计算硬壳层软土地基层间附加应力的计算公式,并结合“有效深度”概念推导出了计算硬壳层软土地基竖向附加应力分布的简明计算公式,由于计算公式是根据双层地基理论求得,能反映硬壳层的应力扩散效应,通过分层总合法得出的计算结果将更加符合实际,同时公式形式简单,计算参数容易获得,便于推广应用。

### 参考文献:

- [1] 高大钊等. 土质学与土力学[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 唐建中. 双层地基应力扩散的特性研究[J]. 地基处理,1993,4(2):25-31.
- [3] 杨果林. 含软弱下卧层的双层地基工程特性试验研究. 工程勘察,1998,3(1):1-5.
- [4] 张留俊. 高路堤下软土硬壳层工程性质的研究[J]. 公路,1999,(7):59.
- [5] 吴邦颖. 公路软土路基人造硬壳层处理研究[J].
- [6] 彭月明等. 硬壳层对软土地基沉降特性影响的研究[J]. 河北工业大学学报,2007(1).
- [7] Burmister, D. M. The theory of stresses and displacements in layer system and applications to design of airport runways. Proc. High. Res. Board, 1943, 23:126-148.
- [8] Burmister, D. M. The general theory of stresses and displacements in layered soil systems, J. of applied physics, 1945, 16(22):39-94.
- [9] 刘冰. 多层土地基附加应力分布分析[J]. 山西建筑,2005,31(3):61-62.
- [10] 王建华. 双层地基位移和应力场求解[J]. 岩土力学,1999,20(4):54-57.
- [11] 王晓谋等. 硬壳层软土地基竖向附加应力扩散的数值分析[J]. 长安大学学报(自然科学版),2007,27(3):37;41.
- [12] 梁永辉. 上覆盖硬壳层软土地基的工程特性试验研究及数值模拟[D]. 同济大学硕士论文. 上海:土木工程学院,2007,21-23.
- [13] 宋文刚等. 含软弱下卧层双层地基内应力简便计算初步探讨[J]. 工程勘察,1993,8(6):7-12.
- [14] 徐洋, 谢康和. 复合地基的平面应力扩散效应[J]. 土木工程学报,2002,35(2):57-60.

# 旧水泥砼路面沥青罩面层反射裂缝分析及防治措施

华正良

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**目前反射裂缝仍是旧水泥混凝土路面加铺沥青罩面层早期破坏的主要形式,做好反射裂缝的防治是保证加铺质量的关键,通过有限元分析说明了夹层和加铺层厚度对加铺层底部应力的影响。

**关键词:**沥青罩面;反射裂缝;防治措施

目前,旧水泥混凝土路面上进行加铺主要有两种类型:水泥混凝土加铺层和沥青加铺层。由于沥青加铺层具有修复周期短、行车舒适等优点,在旧水泥混凝土路面上加铺沥青加铺层已成为一种切实可行、简单有效的修复措施,但加铺的沥青混凝土常出现反射裂缝,使表面水下渗,造成路面损坏。为了减少和延缓反射裂缝的发生,首先需要进行一定的理论分析,了解反射裂缝产生的机理,从而有效预估新建路面的抗反射裂缝能力。

## 1 力学分析

反射裂缝是指下层混凝土板的接缝或裂缝,由于环境(主要是温度和湿度)的不断变化与车轮荷载的反复作用,在沥青加铺层的相应位置上产生裂缝。在交通荷载作用下,旧水泥砼路面板上接缝或裂缝两侧相邻板块容易产生竖向位移差而出现较大的剪切应力,从而引起沥青加铺层的剪切破坏。另一方面,受温度周期性变化的影响,沥青加铺层和旧水泥砼面板都因热胀冷缩而产生水平方向的相对位移,使加铺层在接缝处产生较大的拉应力,极易导致沥青面层开裂。通过对加铺问题求解,可知夹层剪应力在临近接缝处迅速增加,在常见路面结构的参数范围内,距接缝 $15 \sim 20\text{cm}$ 处,面层轴向力,夹层剪应力已下降至最大值的一半以下,因此可在应力较大

的局部范围内进行处治,经济有效的降低反射裂缝的发生。

在分析拉应力和剪应力会在裂缝附近集聚后,应用有限元法分析夹层及加铺层厚度对拉应力和剪应力的影响。

### 1.1 建立模型

**1.1.1 计算模型:**路面基本结构见图1,路面结构三维模型见图2,采用有限元ANSYS<sup>[1]</sup>进行分析,单元类型为SOLID45,路面模型为长方体:尺寸为 $11\text{m}$ (长) $\times 9\text{m}$ (宽) $\times 3$ (深)m。本模型未考虑温度应力。

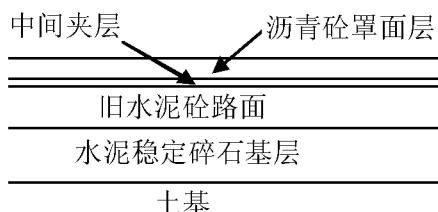


图1 路面结构层次图

**1.1.2 边界条件:**土基底面施加全约束,即 $UY = 0$ ;行车方向截面两侧无水平位移,均为 $UZ = 0$ ;左右截面两侧一侧为对称边界条件Symmetry B.C.,另一侧为 $UX = 0$ 。层间接触情况为完全连续<sup>[2]</sup>。

**1.1.3 荷载:**轮载分布采用垂直均布矩形荷载,边长为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ ,荷载为单轴双轮,荷载大小为 $0.7\text{MPa}$ ,荷载面位于路面模型Z方向的中部,分布在裂缝两侧。荷载模型如图3。

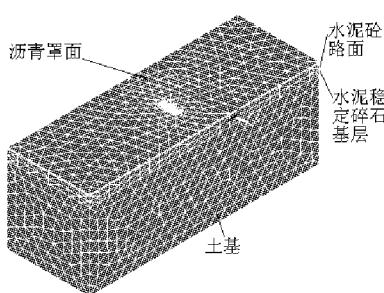


图2 路面结构三维模型

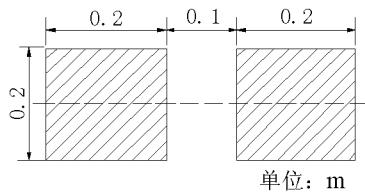


图3 荷载模型

## 1.2 材料参数<sup>[3]</sup>

表1 模型中结构层力学计算参数取值

结构层	回弹模量 $E/\text{MPa}$	泊松比 $\nu$	模型基本 厚度/cm
沥青砼层	$1.2 \times 10^3$	0.25	6
中间夹层	$4.5 \times 10$	0.35	1
水泥砼层	$3.1 \times 10^4$	0.15	26
水泥稳定碎石基层	$1.5 \times 10^3$	0.2	30
土基	$2.5 \times 10^3$	0.35	600

## 1.3 结果分析

在铺设土工夹层和未铺设土工夹层的对比分析中,沥青砼层底部最大拉应力和剪应力见表2。

表2 铺设和未铺设土工夹层时沥青砼底部最大拉应力和剪应力

土工夹层	层底最大 拉应力/MPa	层底最大 剪应力/MPa
铺设土工夹层	0.421	0.296
不铺设土工夹层	0.763	0.455

由计算结果可知,铺设土工夹层可明显改善沥青砼层底受力情况。改变加铺层厚度,分析设置土工夹层的情况,计算结果见表3。

表3 铺设土工夹层时不同AC层厚度的层间应力

沥青砼层 厚度/cm	层底最大 拉应力/MPa	层底最大 剪应力/MPa
4	0.346	0.459
6	0.296	0.421
8	0.234	0.374
10	0.172	0.323

将计算结果绘制而成(见图4,图5)。由图4、5易见,随着加铺层增厚,沥青砼层底的最大拉应力和剪应力都会相应减少,从而减少反射裂缝的发生。

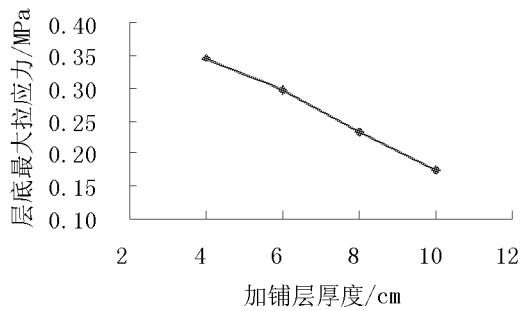


图4 AC 加铺层厚度与层底最大拉应力关系

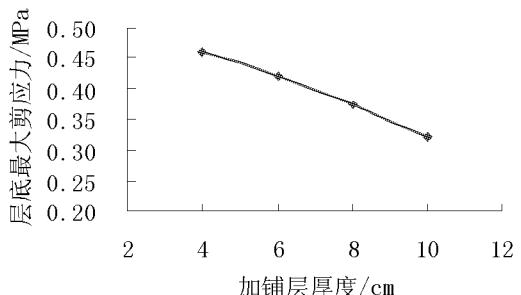


图5 AC 加铺层与层底最大剪应力关系

## 2 反射裂缝防治措施

### 2.1 橡胶沥青 SAMI 应力吸收层

反射裂缝应力吸收层是一种高弹性、不渗透的聚合物改性沥青混合料层,其优良的抗裂性能可防止反射裂缝,也可防止水对路面基层的损害,具有施工方便、性价比高和效果好等优点。

### 2.2 土工合成材料夹层

目前,大多采用的夹层有土工织物夹层和格

栅夹层两大类。玻璃纤维格栅由于具有很高的耐热性和优异的耐寒性、强度大、模量高、化学稳定性好、耐腐蚀、膨胀系数低、尺寸稳定性好等优点能够有效地改善路面结构应力分布,抵抗和延缓由路面基层裂缝引起的沥青加铺层反射裂缝的发生,在国内应用较广。

### 2.3 增加沥青加铺层厚度

可以减少旧面层的温度变化,降低加铺层底面拉应力,增加路面结构的弯曲刚度,降低接缝处的弯沉量和弯沉差,减少加铺层的剪切应力。

### 2.4 沥青砼面层材料的选用

尽量选用韧性好、低温塑性变形能力强的沥青材料。还可采用 SBR 改性橡胶沥青,RE 热塑性树脂改性沥青,以提高混合料的低温抗裂性能。

### 2.5 在加铺层表面锯缝

在沥青加铺层上,对准旧砼面层的横缝位置锯切出新的缝,并在开放交通前尽早在缝内填入封缝料,以保持接缝有效地密封,防止水或异物进入。预先锯缝,可以为释放加铺层内因温度收

缩受阻而产生的拉应力提供预定的不连续断面位置,从而控制随意裂缝的出现。

## 3 结束语

通过理论分析,可知在裂缝附近处采用适当的处治措施可以明显减少旧混凝土路面接缝、裂缝位置的反射裂缝,铺设土工夹层可以减少沥青层底的最大拉应力和剪应力;加铺层厚度增加也可降低沥青层底的最大拉应力和剪应力。

### 参考文献:

- [1] 谭建国. 使用 ANSYS6.0 进行有限元分析 [M]. 北京:北京大学出版社,2002.
- [2] 谈至明,姚祖康,田波. 水泥混凝土路面的荷载应力分析 [J]. 公路,2002.
- [3] 姚祖康,等. 路面(第二版) [M]:人民交通出版社,1999.
- [4] 郑健龙,周志刚,张起森. 沥青路面抗裂设计理论与方法 [M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [5] 沙庆林. 高等级公路半刚性就路面沥青路面 [M]. 北京:人民交通出版社,1999.

# 上坪特长隧道主体工程设计

罗立娜

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**坪隧道是大广高速公路境连平至从化段的一座特长隧道,左线长3487m,右线长3578m,按双洞6车道设计,设计行车速度为100km/h,左、右线隧道分离布设。本文详细介绍了上坪隧道工程地质条件、衬砌结构设计、洞口设计、防排水设计及通风设计等,为其他同类隧道工程的建设提供参考。

**关键词:**特长隧道;衬砌结构设计;防排水设计;动态设计

大庆至广州高速公路为国家干线公路网规划9条南北纵向线中的第5纵,起于黑龙江省的大庆,经吉林、内蒙古、北京、河北、河南、湖北、江西至广州市,连通我国东北、华北、华中与华南地区,成为珠江三角经济区与华东、华北等地区联系的主要公路通道。

上坪隧道是大广高速公路粤境连平至从化段的一座特长隧道,左线起讫桩号为ZK17+403~ZK20+890,长3487m;右线起讫桩号为YK17+399~YK20+977,长3578m。上坪隧道双洞6车道,设计行车速度为100km/h,左、右线隧道分离布设,江西端洞口段线间距约为31.5m,洞身段线间距约为46.5m,从化端线间距约为32.4m。上坪隧道左线隧道江西端位于R=5900m的圆曲线上,从化端位于直线上;右线隧道江西端位于R=5200m的圆曲线上,从化端位于直线上。左线隧道纵坡为1.031%及-1.100%、-2.460%的人字坡;右线隧道纵坡为0.818%及-1.080%、-2.460%的人字坡。

## 1 工程地质概况

上坪隧道穿越九连山脉支脉,山体植被茂密,隧址区内地面标高320.0~706.8m,最大相对高差约386.8m。

隧道两端洞口围岩主要由坡积粉质粘土、全~强风化泥质粉砂岩、砂岩、砂砾岩、变质砂岩、灰岩组成,强度低,遇水易软化崩解,层位界线变化大,围岩级别为IV~V级;洞身围岩主要为中

~微风化变质砂岩、灰岩和炭质灰岩等,岩体完整性较好,强度较高,围岩级别主要为II~III级。左线隧道II、III、IV、V级围岩分别占隧道总长度的6.1%、60.8%、24.3%和8.8%。右线隧道II、III、IV、V级围岩分别占隧道总长度的6.1%、60.8%、24.3%和8.8%。

隧道最大埋深约374.7m,根据经验值计算初步得出ZK19+544~ZK19+957、YK19+564~YK19+820段围岩属于高初始应力区,隧道施工过程中存在发生岩爆的可能。YK19+500(ZK19+500)~YK20+460(ZK20+160)、YK20+650(ZK20+650)~YK20+820(ZK20+820)段下伏基岩为灰岩、炭质灰岩,其中,局部地段场内地内岩溶发育强度属中等发育。

隧道地表水主要为大气降雨形成沿山谷汇流而成的季节性地表水,局部发育。隧址区地下水类型为基岩裂隙水、断层破碎带水及岩溶裂隙水,地下水位埋深随季节变化,水量一般。估算隧道双洞涌水量15000m<sup>3</sup>/d;地下水对混凝土无腐蚀性。

## 2 隧道设计技术标准

隧道设计主要依照《公路工程技术标准》(JTG B01-2003)、《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)、《公路隧道设计细则》(JTG/T D70-2010)等规范进行设计。公路等级为高速公路,按设计行车速度100km/h,双洞6车道设置。隧道建筑限界净宽:0.75+0.25+0.5+3.75×

$3 + 1.0 + 1.0 = 14.75\text{m}$ ; 建筑限界高:  $5.0\text{m}$ 。衬砌内轮廓的确定在满足隧道建筑限界的要求下, 应考虑隧道照明、运营管理设备设施的布设以及必要的富余量等, 为提高断面的利用率, 采用三心圆内轮廓, 净高  $8.0\text{m}$ , 净宽  $15.49\text{m}$ 。隧道建筑限界及内轮廓见图1。

### 3 隧道衬砌结构设计

隧道洞身衬砌按照新奥法原理采用复合式衬砌。初期支护采用锚喷支护, 二次衬砌为模筑混凝土衬砌, 衬砌采用曲墙式衬砌。复合式衬砌参数一般根据围岩级别, 工程地质水文地质条件,

地形及埋置深度, 结构跨度及施工方法等采用工程类比法进行设计, 并通过理论分析进行验算。其支护参数见表1。

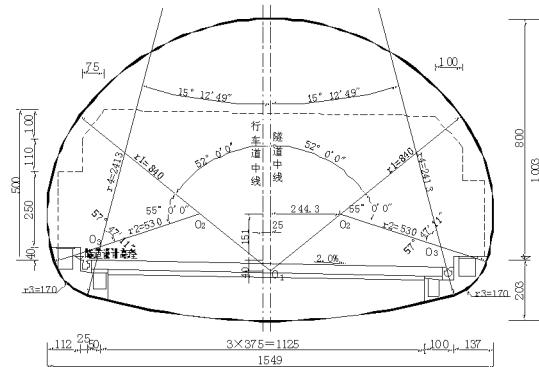


图1 隧道建筑限界及内轮廓图(单位:cm)

表1 上坪隧道衬砌支护参数表

围岩 级别	初期支护				二次衬砌厚度		预留 沉降量/cm	二次初 砌配筋	格栅或 工字钢架	钢架间 距/m				
	喷砼厚/cm	锚 杆			拱、墙 /cm	仰墙 /cm								
		拱、墙	位置	长度/m										
Ⅱ	10	局部	3	—	Φ6.5@20×20	40	—	3	—	—				
Ⅲ(无仰拱)	20	拱、墙	3	1.2×1.2	Φ6.5@20×20	45	—	8	—	格栅 H=12 1.2				
Ⅲ(有仰拱)	20	拱、墙	3	1.2×1.2	Φ6.5@20×20	45	45	8	—	格栅 H=12 1.2				
Ⅳ	24	拱、墙	3.5	1.0×1.0	Φ8@20×20	50	50	10	5 20	I 18 工字钢 1				
V	26(含仰拱)	拱、墙	4	1.0×0.75	双层 Φ8@20×20	60	60	15	5 25	I 20b 工字钢 0.75				
加强	IV	24(含仰拱)	拱、墙	3.5	1.0×0.75	Φ8@20×20	50	50	10	5 22	I 18 工字钢 0.75			
	V	28(含仰拱)	拱、墙	4	1.0×0.5	双层 Φ8@20×20	60	60	15	6 25	I 22b 工字钢 0.5			
明洞	—	—	—	—	—	80	60	—	6 25	—				

### 4 隧道洞口设计

上坪隧道洞口位置按照“早进晚出”的原则, 尽量降低边、仰坡高度, 以保证边、仰坡的稳定。为了将洞门景观与环境相协调, 边、仰坡均采用植草皮防护措施并尽量与原地貌植被衔接。

上坪隧道进出口与地形等高线基本正交或小角度斜交, 洞口地势较平缓, 地表植被发育。江西端洞口与丰树坑大桥相接, 基本无路基段; 从化端洞口上方有一冲沟, 可见常流水。根据隧道洞口地形情况, 上坪隧道洞门均采用削竹式, 洞门边、仰坡均采用三维网喷播植草防护。

在江西端洞口设计中, 为避开前方丰树坑大

桥桥台, 将明暗分界里程向洞身推进  $2\text{m}$ , 并缩短明洞长度至  $15\text{m}$ 。江西端洞口地段主要为坡积粉质粘土、强风化变质砂岩, 洞口浅埋段较长, 洞顶覆盖较薄, 在左右线洞口段  $24\text{m}$  范围内均采用长管棚超前支护, 保证安全进洞。

在从化端洞口设计中, 为避开洞口冲沟, 将明暗分界里程向洞身推进  $2\text{m}$ , 明洞长  $18\text{m}$ 。洞口地段主要为坡积粉质粘土、全风化泥质粉砂岩、强风化粉砂岩, 洞顶覆盖较薄, 左线洞口段  $30\text{m}$  范围和右线洞口段  $36\text{m}$  范围内采用长管棚超前支护, 保证安全进洞。

### 5 人行、车行横通道及紧急停车带

为了便于疏散隧道发生灾害时洞内人员, 隧

道内设置人行横通道,上坪隧道共设 9 处人行横通道。人行横通道两侧各设一处平开门,平开门为甲级防火门,具有双向推开和自动关闭功能。

为保证出现紧急情况时救援车辆能尽快赶到事故现场,便于避难人员通行。上坪隧道设车行横通道 4 处,车行横通道中线与右线隧道测设线成 60° 夹角。车行横通道纵向设有纵坡,考虑到横通道中排水量不大,故使其顺路面两侧小沟流入管沟后再引入侧沟排走。靠右线隧道一侧横通道内设置门一道,门采用不锈钢卷闸门,在门的两侧均可开启,启动方式为电动及手动两种。人行和车行横通道的建筑限界及内轮廓图如下:

为了避免事故车诱发二次事故影响其他车辆行驶,以备事故车临时停靠。上坪左、右线隧道在行车前进方向右侧各设紧急停车带 4 处。紧急停车带有效长度 30m,全长 41m,宽度较正常地段加宽 2.5m。紧急停车带与正常地段衬砌断面的连接,为便于施工,采用直角错台增设堵头墙相接方式。

## 6 隧道施工过程中的动态设计

### 6.1 施工开挖方法设计

上坪隧道在 V 级围岩地段采用先左右侧壁导坑、后上下台阶开挖方法,二次衬砌应紧跟开挖面;IV 级围岩断面的开挖采用上下台阶环形分部开挖方法;II、III 级围岩断面的开挖采用半断面开挖方法。

对于上坪隧道两端洞口小净距段,由于线间距较小,应注意对两隧道间中岩柱的保护,左(右)侧正洞施工开挖工作面必须相隔 2 倍以上开挖洞径以保证隧道结构的安全;为确保隧道施工安全,还要进行爆破震动速度的量测,要求爆破对相邻隧道的最大临界震动速度 V 级围岩不大于 8cm/s, IV 级围岩不大于 10cm/s, II、III 级围岩不大于 15cm/s。

在 IV 级、V 级围岩地段,考虑围岩比较破碎,覆盖层较薄等因素,超前支护应采用设置长管棚(洞口地段)、钢插管或小导管注浆等防护措施。

施工开挖时应本着“短进尺、弱爆破、强支护,初期支护紧跟工作面,尽快封闭,减少围岩暴露时间”的原则进行。

### 6.2 监控量测设计

隧道的监控量测是新奥法施工的重要组成部分。为掌握施工过程中围岩稳定程度与支护受力、变形的力学动态和信息,确保施工安全,施工中必须进行监控量测,并根据量测记录,及时调整支护参数和措施,以确保围岩稳定及结构安全。

根据上坪隧道的地质特点和施工方法,量测项目包括:洞内外观察、周边位移量测、拱顶下沉量测、锚杆抗拔力测试、洞口浅埋地段地表下沉量测等。各量测结果应及时整理和分析,发现异常现象,应立即采取有效措施。

### 6.3 超前地质预报

上坪隧道为特长隧道,为进一步探明上坪隧道的不良地质范围、是否存在地下水突涌等不利工程安全情况,设计拟采用以下 4 种超前地质预报方法,对前方不良地质体(富含地下水地段)进行预报。

(1) TSP 超前地质预报。每隔 150m 左右探测一次,初步查明前方不良地质体的位置。该种探测手段探测距离较长,且洞内操作不干扰施工。

(2) 地质雷达探测。当采用 TSP 超前地质预报还不明确时,可进一步采用地质雷达探测,地质雷达每隔 20~30m 探测一次,该种探测手段对软弱围岩夹层、空洞较为敏感,结果较为准确。对潜在岩溶分布段,对隧道仰拱以下的岩溶区及隧道四周其他部位的岩溶情况采取每 5~10m 探测一次。

(3) 瞬变电磁仪法探测。在富水区域采用瞬变电磁仪法每隔 30~50m 探测一次,该种探测手段对地下水较为敏感,结果较为准确。

(4) 超前地质钻孔。当通过物探手段初步推断前方富水或断层破碎带时,采用超前钻孔核实。钻孔长度 20~30m,保护段长度不小于 10m,根据探孔探测和出水情况确定处理措施。

## 7 防排水设计、路面及内壁装修设计

隧道防排水设计遵循“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则。隧道衬砌混凝土采用C30防水混凝土，抗渗标号不小于P8；隧道洞身、人行、车行横通道及其他各种附属洞室，衬砌背后均设置防水层，防水层采用土工布+EVA防水板复合防水层；隧道衬砌管沟盖板底以上的所有纵、横施工缝；有仰拱地段，仰拱与边墙及仰拱与仰拱间横向施工缝均设置钢板腻子止水带；沉降缝设置在隧道地质明显变化处或明洞和隧道暗洞分界处，沉降缝采用外贴式+中埋式遇水膨胀型止水带。

为保护环境，采用地下水与路面污水分别排放的原则，隧道路面下两侧设排水沟排除洞内地下水，在前进方向左、右侧设排水槽，排除路面冲洗、消防水。在两侧边墙底部，衬砌混凝土与喷射混凝土之间沿隧道纵向全长各设一根80mm圆形盲沟排水管。隧道环向基本按10m一处在围岩与喷射混凝土间设置横向140mm×30mm扁形排水盲沟，在洞口浅埋段、断层破碎带及地下水较多处间距采用3m一处。隧道二次衬砌环向施工缝处，在其背后喷射混凝土与防水板之间设置140mm×30mm扁形排水盲沟。在隧道路面基层下设置多孔混凝土透水基层；衬砌背后集中出露的小面积股水，可用聚氯乙烯管将其直接引入侧沟内排除。此外，结合洞口的地形情况，洞口边仰坡坡外5m设截水沟，防止雨水对坡面、洞口的危害；洞口雨水不得进入隧道，经截、排水沟汇入临近路基涵洞或自然沟渠中。

上坪隧道进出口300m范围内采用沥青混凝土路面，其余地段采用水泥混凝土路面。沥青路面组成：5cm中粒式沥青混凝土AC-16C上面层+6cm中粒式沥青混凝土AC-20C下面层+2.5cmAC-5橡胶沥青应力吸收层+24cm厚水泥砼面板+15cm厚C20素砼基层+15cm多孔混凝土透水基层；水泥混凝土路面组成：30cm水泥砼面板+下封层+15cmC20素砼基层+15cm多孔混凝土透水基层。混凝土面板的28d弯拉强

度不小于5.0MPa，基层的弯拉强度不小于1.8MPa。

隧道内适当装修，对司机进洞后视觉能起到诱导作用，提高行车安全。隧道高度由路面起4m以下两侧边墙内壁铺装浅色亚光型瓷砖；拱部喷涂深色防火涂料，耐火极限不小于2小时。

## 8 特殊地质地段设计

### 8.1 穿越高地应区的施工预案设计

上坪隧道最大埋深达365.1m，根据经验值计算初步得出ZK19+544~ZK19+957、YK19+564~YK19+820段围岩属于高初始应力区，同时隧道施工可能造成应力局部集中，故隧道施工过程中存在发生岩爆的可能。设计中主要的对策如下：

施工阶段的岩爆防治措施按照“安全第一，全面设防，防治结合，多种手段，综合治理”的原则，重视施工中的岩爆防治与监测。

岩爆地段采用钻爆法施工时，应短进尺掘进，减少爆破频率，控制光爆效果，以减少围岩表层应力集中现象。

岩爆地段开挖后，应及时进行挂网喷锚支护；初期支护可采用喷射混凝土、系统锚杆和钢筋网，形成喷、锚、网的一体组合支护；当岩爆烈度级别较高时，可辅以超前锚杆、增设仰拱或格栅钢架支撑。

### 8.2 岩溶处理动态设计方案

YK19+500(ZK19+500)~YK20+460(ZK20+160)、YK20+650(ZK20+650)~YK20+820(ZK20+820)段下伏基岩为灰岩、炭质灰岩，其中，XSZK15-2钻孔揭示土洞及溶洞，洞高1.5~5.5m，一般为全充填或少量充填。钻孔的遇洞率20%，此分段场地内岩溶发育强度属中等发育；遇溶洞的钻孔线岩溶率为52.4%，孔区的岩溶属极强发育。因岩溶发育的不均匀性，未揭示溶洞的隧道灰岩段不能完全排除无溶洞存在的可能。为保证隧道施工期间及运营阶段安全，采用如下动态设计：

对灰岩地段应加强地质超前预报。经过TSP

预报发现异常后应采用地质雷达进一步探测核实,特别在 ZK20 + 300 ~ ZK20 + 800 段除对掌子面进行 TSP、地质雷达、瞬变电磁仪超前预报外,还应对隧道四周采用地质雷达探测,如发现溶洞等富水情况应通知参建各方以便进一步采取工程措施。

针对隧道开挖轮廓线外(拱腰以上、基础及路面上)发育深度小于 2m 的小型溶洞,原则上采用回填方式处理:溶洞在拱腰以上,可以用泵送混凝土回填;溶洞在边墙处,可采用浆砌片石回填,溶洞在基础及路面上:可采用浆砌片石回填,如有填充物,可进行换填或注浆加固。

如出现发育深度大于 2m 的溶洞,须进行动态设计与施工。

## 9 通风设计

为了防止行驶中的汽车排出废气造成隧道内空气污染,为行车创造良好的视觉条件和卫生条件,保证隧道内行车的安全性和舒适性,同时,保证在火灾状况下及时将火灾产生的烟雾排除,为隧道火灾救援提供良好的通行条件,隧道通风设计以“安全性、可靠性和及时性”为原则。

根据上坪隧道的高峰小时交通量及《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1—1999),对左、右线隧道,洞内单向行车分别进行计算,左线隧道需设置 12 组 24 台 SDS125T-4P-37 型风机,右线隧道需设置 8 组 16 台 SDS125T-4P-37 型风机。风机横断面按 1 组 2 台,风机间中心线 3.6m 设置;风机纵向间距 180m/组,入口段第一组风机距离洞口 150m。射流风机风流诱导方向与

洞内行车方向一致。

## 10 结论

上坪隧道是大广高速公路粤境连平至从化段的一座特长隧道,按单洞计 7065m,工程地质条件复杂,对隧道的结构、施工、防排水、通风等要求很高,具有一定的特殊性和复杂性。

本文详细介绍了上坪隧道工程地质条件、衬砌结构设计、洞口设计、防排水设计及通风设计等,对其他同类隧道工程的建设起到一定的借鉴作用。

### 参考文献:

- [1] 公路隧道设计规范(JTG D70—2004)[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 公路隧道施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 广东省公路勘察规划设计院股份有限公司.上坪隧道两阶段施工图设计文件[R],2011.
- [4] 王毅才.隧道工程.人民交通出版社.2000.
- [5] 王玉文,金文良,李国安.江肇高速公路毛毡岭特长隧道主体工程设计[J].广东公路交通.2009.
- [6] 陈忠球.监控量测在石鼓特长隧道施工中的应用[J].公路交通技术.2011.
- [7] 邢培刚.隧道一级防水施工技术[J].公路交通科技(应用技术版).2008 年 06 期. P161—P163
- [8] 喻洪,黄伦海.通渝隧道不良地质段设计与施工措施[J].公路交通技术.2008.
- [9] 徐成进,王木群.隧道底部溶洞的处理及溶洞对隧道围岩稳定性影响的研究[J].公路工程.2011.
- [10] 赵向阳.鹰嘴岩隧道岩溶突水探测及处治技术[J].公路交通技术.2010.

# 广(州)梧(州)高速公路河口至平台段 隧道洞口设计技术

李国安

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**广梧高速公路隧道洞口设计始终贯彻“零开挖”的环保理念。以广梧高速公路 64 个隧道洞口为依托,根据不同的地形、地质条件,主要从进洞方法、洞口辅助进洞措施、洞门形式三个方面对全线隧道洞口设计施工情况进行了分析总结。进洞方法采用了正交进洞、斜交进洞和单向进洞;洞口辅助进洞措施采用了明洞、护拱法、地表反压护拱加固土体法、反压回填明洞暗做法、超前小导管、短管棚、长管棚等辅助进洞措施或者是这些措施的组合;洞门形式采用了端墙式和明洞式。

**关键词:**隧道洞口;地形;地质;进洞;辅助措施;洞门;零开挖

隧道洞口设计和施工一直是隧道工程建设的重点和难点。随着人们环保意识的增强,洞口“零开挖”逐渐成为隧道洞口设计与施工的新理念。要求隧道进出口追求自然,提倡早进洞、晚出洞,采取一些辅助工程措施或施工方法等手段,坚持最大限度地保护、最小程度地破坏、最强力度地恢复,使工程建设顺应自然、融入自然,把建设作为改善环境的促进因素,避免先破坏、后恢复的陋习,实现环境保护与公路建设并举、公路发展和自然环境相和谐。

## 1 工程概况

广梧高速公路共有隧道 19 座,总长 41236.3 m(单洞),占路线总长的 25%,其中特长隧道 15406.2m/2 座(单洞)、长隧道 18950.8/5 座(单洞)、中隧道 2860.5/2 座(单洞)、短隧道 4018.8/10 座(单洞)、双连拱隧道 743.3/4 座。全线共有分离式隧道洞口 56 个、连拱隧道洞口 8 个。

### 1.1 地形、地质与气象条件

沿线地形陡峻,以山地丘陵为主,约占 90%,属山岭重丘区。地貌单元分为两大类型:河谷平原、山地丘陵。山地丘陵属云雾山粤桂交界的山

脉,最高海拔在 1140m 内,由于受新构造运动影响,山体总的走向北东—南西向,山地丘陵脊线明显,地形起伏破碎,河流侵蚀切割强烈。该区隧道洞口广布砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、砾岩及炭质页岩、石炭统中薄层灰岩、白云质灰岩、花岗岩,普遍风化破碎,稳定性较差。隧址区地震基本烈度为 VI 度。

沿线区域属亚热带季风气候,平均气温 20℃,1 月平均温 13℃,7 月平均温 28℃。年降雨量 1400mm,多集中于夏秋季。春旱、秋末的寒露风和局部的洪涝是主要自然灾害,根据《中华人民共和国公路自然区划图》,本区属于武夷南岭山地过湿区(IV-6)。

### 1.2 各隧道洞口概况

广梧高速公路共有隧道 19 座,连拱隧道 4 座,64 个洞口,按照从广州往梧州方向沿线有大哗山隧道、石梯迳隧道、石牙山隧道、大洞 1 号隧道、大洞右线 2 号隧道(单幅)、五指山隧道、茶林顶隧道、三家寨隧道(连拱)、旗山顶隧道、石排口隧道(单幅)、鹅公髻隧道、白石岭隧道(连拱)、黄茅村隧道(连拱)、牛车顶隧道、亚婆髻隧道、息村大山隧道、百路须隧道、正涌隧道(连拱)及次步隧道。

## 2 不同地形、地质条件下的洞口

### 2.1 不同地形、地质条件下洞口位置

隧道洞口设计,应尽可能与洞口地形协调,保护自然环境,提倡早进洞、晚出洞的原则,同时应根据地形、地质条件,结合环境、洞外相关工程、施工条件、营运等要求,通过经济、技术比较

确定。洞口位置尽量避开滑坡体、堆积体、松散体等不良地质区。

### 2.2 不同地形、地质条件下进洞

#### 2.2.1 不同地形条件下进洞

进洞技术按照地形的不同可以分为正交进洞、斜交进洞和单向进洞。广梧高速公路隧道根据洞口地形不同而采用的进洞方法如表1。

表1 不同进洞方法统计

进洞方法	隧道洞口名称	数量/个	百分比
正交进洞法	大晔山梧州端洞口、石牙山广州端及梧州端洞口、石梯迳广州端洞口、大洞广州端及梧州端洞口、五指山广州端及梧州端洞口、茶林顶广州端及梧州端洞口、三家寨广州端洞口、旗山顶广州端洞口、鹅公髻广州端及梧州端洞口、白石岭梧州端洞口、黄茅村广州端洞口、牛车顶梧州端洞口、亚婆髻梧州端洞口、息村大山广州端洞口、百路须梧州端洞口、正涌广州端洞口、次步梧州端洞口	42	65.6%
斜交进洞法	大晔山广州端洞口、旗山顶梧州端洞口、石排口广州端及梧州端洞口、牛车顶广州端洞口、息村大山梧州端洞口	10	15.6%
单向进洞法	石梯迳梧州端洞口、三家寨梧州端洞口、白石岭广州端洞口、黄茅村梧州端洞口、亚婆髻广州端洞口、百路须广州端洞口、正涌梧州端洞口、次步广州端洞口	12	18.8%

从表1可以看出,由于广梧高速公路路线处于云雾山粤桂交界山脉中,山地丘陵为主,地形、地质条件较复杂,为了实现零开挖的进洞理念,同时保证安全、快速,在施工中,采用正交进洞、斜交进洞、单向进洞。

正交进洞最多,在全线64个洞口中,有42个采用了正交进洞,占65.6%。这是由于多数隧道轴线与地面等高线相交角度较大的缘故,同时反映隧道选线合理。

斜交进洞有10个洞口,占15.6%;单向进洞有12个洞口,占18.8%,这说明在一些短隧道中,当进洞存在困难时,单向进洞是零开挖进洞的较好方法。

#### 2.2.1.1 正交进洞

表2是广梧隧道洞口正交进洞的统计表。从表2可以看出,在正交进洞中,隧道洞口轴线

与地面等高线相交角度最小50°,平均角度达到了78.6°。正交进洞一般采用的是护拱法或者直接修筑明洞的方法。也就是在隧道洞口修筑之前,开挖施工槽,然后提前修筑护拱或明洞,如果有必要,则施作超前管棚、小导管等,然后开挖进洞,如图1所示。



图1 正交进洞(鹅公髻梧州端洞口)

表2 正交进洞统计

隧道名称	洞口轴线与地面等高线夹角 (正交进洞)		平均 夹角
大哗山隧道	梧州端	右线 80°, 左线 70°	
石梯迳隧道	广州端	右线 80°, 左线 70°	
石牙山隧道	广州端	右线 80°, 左线 50°	
	梧州端	右线 90°, 左线 90°	
大洞隧道	广州端	右1线 90°, 右2线 50°, 左线 80°	
	梧州端	右1线 90°, 右2线 60°, 左线 80°	
五指山隧道	广州端	右线 80°, 左线 80°	
	梧州端	右线 90°, 左线 90°	
茶林顶隧道	广州端	右线 90°, 左线 90°	
	梧州端	右线 80°, 左线 80°	
三家寨隧道	广州端	80°	
旗山顶隧道	广州端	右线 80°, 左线 90°	
鹅公髻隧道	广州端	右线 75°, 左线 90°	
	梧州端	右线 50°, 左线 55°	
白石岭隧道	梧州端	80°	
黄茅村隧道	广州端	80°	
牛车顶隧道	梧州端	右线 80°, 左线 80°	
亚婆髻隧道	梧州端	右线 80°, 左线 80°	
息村大山隧道	广州端	右线 70°, 左线 90°	
百路须隧道	梧州端	右线 80°, 左线 80°	
正涌隧道	广州端	80°	
次步隧道	梧州端	右线 90°, 左线 90°	

78.6°

### 2.2.1.2 斜交进洞

表3是广梧高速隧道洞口斜交进洞的统计表。

表3 斜交进洞统计

隧道名称	洞口轴线与地面等高线夹角 (斜交进洞)		平均 夹角
大哗山隧道	广州端	右线 50°, 左线 65°	
旗山顶隧道	梧州端	右线 65°, 左线 55°	
石排口隧道	广州端	50°	
	梧州端	25°	
牛车顶隧道	广州端	右线 45°, 左线 50°	
息村大山隧道	梧州端	右线 55°, 左线 65°	

52.5°

从表3可以看出，斜交进洞的最大角度是65°，最小角度25°，平均角度52.5°。采取的措施是顺应地形，修筑挡墙半护拱或无挡墙半护拱

· 24 ·

进洞。半护拱指的是在隧道洞口轴线与地形斜交时，受地形限制，也为了减少洞口边仰坡的开挖高度，护拱只做拱部的一部分，将护拱基础修筑在稳定基岩上即可，形成这样的结构叫做半护拱。半护拱结构可以有挡墙也可以没有，有挡墙的半护拱如图2所示。



图2 斜交进洞(石排口梧州端洞口)

### 2.2.1.3 单向进洞

单向进洞隧道原始地表坡度均较大，洞口地形是处于坡高谷深、地形险峻的地段。而且隧道平均长度不大，这样就保证了即使单向开挖也能满足工期要求。因此，单向进洞一般适用于一侧进洞困难，隧道长度不大、工期要求不紧的情况。

由于广梧高速一开始就注重了进洞前的不良地质情况的整治和防排水设施的施作，同时根据地形条件采取了相应的进洞措施，使得广梧高速公路全线隧道洞口除个别洞口发生滑塌等灾害外，大多数洞口在快速、安全进洞的同时，洞口开挖量大大减少，最大限度地保护了洞口地表植被，消除了后续的安全隐患，同时使洞口与周围环境相协调，成为了公路沿线上的一道风景线。

### 2.2.2 不同地质条件下进洞

地质方面，洞口围岩大多主要为亚粘土及全风化变质砂岩、全风化及强风化灰岩、全风化粉砂岩及强风化粉砂岩、全风化砂岩及强风化砂岩、紫红色厚层块状砾岩、亚粘土及全风化和强风化砂质板岩、亚粘土及全风化花岗岩、全风化砂质及强风化火山角砾岩。全线64个洞口中有56个洞口围岩地质为亚粘土及全至强风化岩，所占比例为87.5%，属于V级围岩，只有大哗山隧

道出口、石梯迳隧道进出口、五指山隧道进口为IV级围岩。由此可见，隧道洞口围岩较差。

全线很少有滑坡影响洞口，但是洞口存在偏压严重的有石排口隧道进出口、白石岭隧道进口、牛车顶隧道进口、正涌隧道出口，采取设置反压护拱、修筑挡土墙、设置明洞、回填水泥混合土明洞暗做、设置超前长管棚等措施进洞。

### 3 洞口辅助进洞措施

辅助进洞是为了克服洞口段围岩自稳条件差仰坡滑塌的不良现象，减少边仰坡开挖、控制开挖高度、保护坡面植被的有效措施。目前常用的方法有修筑明洞、护拱法、地表反压护拱加固土体法、反压回填明洞暗做法、超前小导管、短管棚、长管棚等辅助进洞措施或者是这些措施的组合。

广梧高速公路隧道洞口辅助进洞措施见表4。

### 4 洞门形式的选择

#### 4.1 洞门的作用

隧道洞门是保证隧道施工安全和运营的重要构造，是隧道唯一的外露部分，也是隧道的标

志。隧道洞门具有支挡洞口正面仰坡和路堑边坡，保持仰坡和边坡稳定；防止仰坡上方少量的滚石、滑坍、碎落和雪崩、风吹雪等自然灾害对路面危害；将坡面水引离隧道；改善和美化洞口环境等作用。公路隧道主要有端墙式和明洞式两种洞门形式。

#### 4.2 洞门设计的新理念

广梧高速公路坚持人与自然相和谐，树立尊重自然、保护环境的理念。按照“整体协调性和自然性原则”，公路隧道洞门设计不应强调人工化，应与周围景观协调。隧道洞门形式不提倡宏大、雄伟、醒目，应提倡简洁、隐蔽、淡化洞口处理，营造“悄悄”进洞气氛，使车辆自然驶入隧道。

#### 4.3 两种洞门的应用

端墙式洞门适用于仰坡陡峻、山凹地形、斜交地形的狭窄地带，洞门端墙和翼墙是具有抵抗来自边坡、仰坡土压力的支挡结构，如图3所示。明洞式洞门适用于地形开阔、边仰坡不高、仰坡较平缓、隧道轴线与地形等高线正交或接近正交的地带，洞门结构简单，仰坡、边坡有利于植被的恢复，易与周围景观协调，如图4所示。广梧高速公路共采用明洞(削竹式)洞门4个，端墙式洞门23个。

表4

序号	隧道名称	洞口地质状况		围岩等级
1	大晔山隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为全风化及强风化灰岩，洞顶地质较差	V级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土、全风化及强风化灰岩，洞顶地质较差	IV级
2	石梯迳隧道	广州端	亚粘土及微风化灰岩，左线隧道进洞处洞顶覆盖较薄	IV级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为微风化灰岩	IV级
3	石牙山隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化砂岩，洞顶覆盖较薄	V级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化砂岩，洞顶覆盖较薄	V级
4	大洞隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化粉砂岩及强风化粉砂岩，洞顶覆盖很薄，地质较差	V级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化粉砂岩及弱风化粉砂岩及微风化粉砂岩，洞顶覆盖很薄，地质较差	V级
5	五指山隧道	广州端	洞口地段基岩裸露，岩性为紫红色厚层块状砾岩	IV级
		梧州端	洞口地段主要为耕植土、亚粘土及全风化灰岩和强风化白云岩	V级
6	茶林顶隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要由坡积亚粘土、全风化灰岩组成，为红粘土，洞顶覆盖较薄	V级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要由坡积亚粘土、全风化灰岩组成，为红粘土，洞顶覆盖较薄	V级

序号	隧道名称	洞口地质状况		围岩等级
7	三家寨隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化砂岩,洞顶覆盖很薄、地质较差	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化粉砂岩,洞顶覆盖很薄,地质较差	V 级
8	旗山顶隧道	广州端	洞口浅埋地段主要为亚粘土及强风化粉砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口浅埋地段主要为亚粘土及全风化花岗岩,洞顶覆盖较薄	V 级
9	石排口隧道	广州端	主要为全、强寒武系变质砂岩、板岩	V 级
		梧州端	主要为全、强风化寒武系变质砂岩、板岩	V 级
10	鹅公髻隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化变质砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为全风化及强风化变质砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
11	白石岭隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化变质砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化变质粉砂岩,洞顶覆盖很薄,地质较差	V 级
12	黄茅村隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化变质砂岩,洞顶覆盖很薄,地质较差	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土、全风化及强风化变质砂岩,洞顶覆盖很薄,地质较差	V 级
13	牛车顶隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化砂质板岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为全风化及强风化砂质板岩,洞顶覆盖较薄	V 级
14	亚婆髻隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及强风化砂质板岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为全风化砂质及强风化火山角砾岩,洞顶覆盖较薄	V 级
15	息村大山隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化砂质板岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化变质砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
16	百路须隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化变质砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化变质粉砂岩,洞顶覆盖较薄	V 级
17	正涌隧道	广州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化变质砂岩,洞顶覆盖较薄,地质较差	V 级
		梧州端	洞口超浅埋地段主要为亚粘土,全风化变质砂岩及强风化变质砂岩,洞顶覆盖很薄、地质较差	V 级
18	次步隧道	广州端	进口超浅埋地段主要为亚粘土及全风化花岗岩,大部分为高液限土,具有弱膨胀性,遇水易崩解	V 级
		梧州端	超浅埋地段主要为亚粘土及全风化花岗岩,大部分为高液限土,具有弱膨胀性,遇水易崩解	V 级

表 5

进洞措施	隧道洞口名称	数量(个)
设置明洞及长管棚	大哗山右线广州端洞口、石牙山左右线广州端及梧州端洞口、大洞右线 1 号广州端洞口、大洞右线 1 号梧州端洞口、大洞右线 2 号梧州端洞口、五指山左右线梧州端洞口、茶林顶左右线广州端及梧州端洞口、三家寨广州端洞口、旗山顶左右线广州端及梧州端洞口、鹅公髻左右线广州端及梧州端洞口、黄茅村广州端洞口、牛车顶左右线梧州端洞口、亚婆髻左右线广州端洞口、息村大山左右线广州端及梧州端洞口、正涌广州端洞口、百路须左右线广州端及梧州端洞口、次步左右线广州端及梧州端洞口	42
设置护拱及双层短管棚	大哗山左线广州端洞口、大哗山左右线梧州端洞口、石梯迳左右线广州端洞口、石梯迳左右线梧州端洞口、五指山左右线广州端洞口	9
设置护拱及长管棚	大洞左线广州端洞口、大洞左线梧州端洞口、大洞右线 2 号广州端洞口、三家寨梧州端洞口、石排口广州端洞口、白石岭梧州端洞口、亚婆髻左右线梧州端洞口	8
设置反压护拱和明洞及长管棚	牛车顶左右线广州端洞口	2
采用回填土明洞暗做的方法和设置反压护拱及长管棚	白石岭广州端洞口、石排口梧州端洞口、正涌梧州端洞口	3

表6 辅助进洞措施

洞门形式	隧道洞口名称	数量(个)
明洞(削竹式) 洞门	大哗山左右线广州端洞门、石牙山左右线广州端及梧州端洞门、大洞右线1号广州端及梧州端洞门、五指山左右线梧州端洞门、茶林顶左右线广州端及梧州端洞门、三家寨广州端洞门、旗山顶左右线广州端及梧州端洞门、鹅公髻左右线广州端及梧州端洞门、黄茅村广州端洞门、牛车顶左右线梧州端洞门、亚婆髻左右线广州端洞门、息村大山左右线广州端及梧州端洞门、正涌广州端洞门、百路须左右线广州端及梧州端洞门、次步左右线广州端及梧州端洞门	41
端墙式洞门	大哗山左右线梧州端洞门、石梯迳左右线广州端及梧州端洞门、大洞左线广州端及梧州端洞门、大洞右线2号广州端及梧州端洞门、五指山左右线广州端洞门、三家寨梧州端洞门、石排口广州端及梧州端洞门、白石岭广州端及梧州端洞门、牛车顶左右线广州端洞门、亚婆髻左右线梧州端洞门、正涌广州端洞门	23

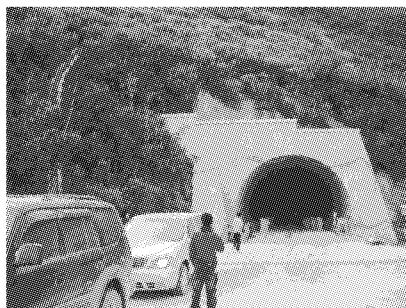


图3 端墙式洞门(牛车顶隧道广州端洞门)

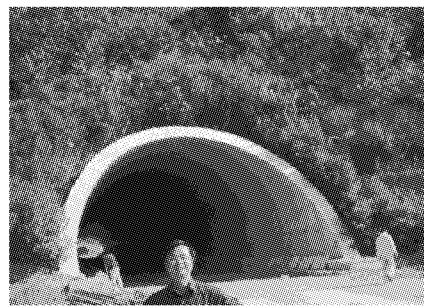


图4 明洞式洞门(百路须梧州端洞门)

## 5 结语

(1) 隧道洞口位置应根据地形、地质条件,结合环境、洞外有关工程、施工条件、营运等要求,通过经济、技术比较确定。要尽量避免选在不良地质地段。

(2) 隧道洞口段围岩破碎,自稳能力差,隧道的开挖可能加速围岩失稳,因此在洞口必须采取一定的辅助进洞措施,如设置护拱、修筑明洞、地表反压护拱加固土体法、超前小导管、短管棚、长管棚等。

(3) 隧道洞门形式的选择应坚持人与自然相和谐,树立尊重自然、保护环境的理念,使工程建设顺应自然、融入自然。

### 参考文献:

- [1] 公路隧道设计规范 JTG D70 - 2004 [S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 关宝树. 隧道工程设计要点集 [M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 广梧高速公路双凤至平台段两阶段施工图设计 [R]. 广州:广东省公路勘察规划设计院,2007.

# 高速公路小修费用影响因素研究

游锦龙

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**以广东省高速公路小修费用为基础,研究车道数、交通量、桥隧比、路面类型和通车年限五个方面对小修费用的影响,从而为小修费用预测以及模型的标定提供理论基础。

**关键词:**高速公路; 小修费用

公路小修费用合理预测是高速公路可行性研究阶段和公路建成后进行营运管理的一项重要内容。由于我国高速公路现阶段“重建设、轻养护”,另外已建成的高速公路的养护管理部门对小修费用的管理还不够完善,缺少小修费用数据,因此在实际工作中很少人对小修费用进行系统的研究。本文根据广东省大部分高速公路1990~2007年小修费用数据,研究车道数、交通量、桥隧比、路面类型和通车年限五个方面对小修费用的影响,从而为小修费用预测以及模型的标定提供理论基础。

## 1 数据来源

本文共收集广东省内35条高速公路小修费用的基础数据,每条高速公路每年的小修费用为一个样本,总共收集了199条样本数据。35条高速公路总长2592.58km,占2008年广东省高速公路总长3558km的72.9%,基本覆盖广东省各个地区,因此数据具有代表性,满足研究的需要。

## 2 数据初步整理

固定资产投资价格指数是反映固定资产投资额价格变动趋势和程度的相对数。在数据整理过程中,本文利用固定资产投资价格指数把各条高速公路每公里的小修费用折算到研究基年2007年,以此消除价格对小修费用的影响,这样更加清晰地体现出高速公路车道数、交通量、桥隧比、路面类型和通车年限对小修费用的影响。

## 3 车道数对小修费用的影响分析

图1是车道数与小修费用的散点图,从图中可以看出随着车道数的增加,分布点的重心也不断上升。为了更加具体的体现车道数对小修费用的影响,本文求出了不同车道数的平均小修费用,具体详见表1和图2。

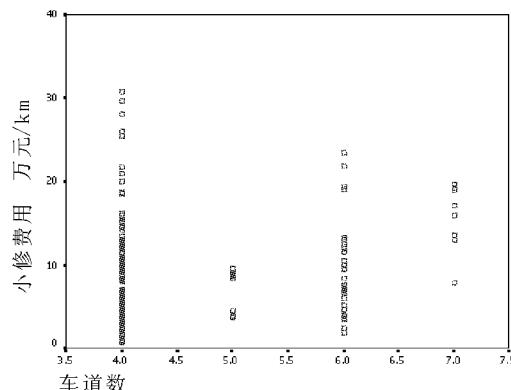


图1 车道数与小修费用散点图

表1 不同车道的平均小修费用

车 道 数	小修费用(万元/km)			备注
	样本数 (条)	数值合计 (万元/km)	平均值 (万元/km)	
4	145	1179.01	8.13	全线4车道
5	13	90.6	6.97	全线包含4、6车道路段
6	33	307.21	9.31	全线6车道
7	8	125.04	15.63	全线包含6、8车道路段

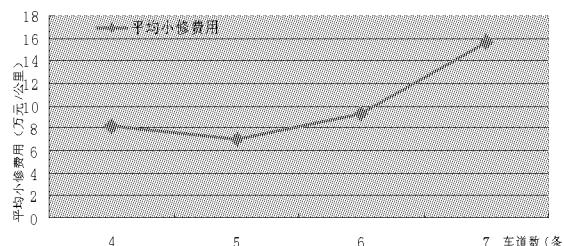


图2 不同车道数平均小修费用分布图

随着车道数的增加,高速公路的路面、路基等工程维修的概率也增大,因此车道数增加将会增加小修费用。从表1和图2可以看出,除了全线包含4、6车道的高速公路由于只有两个样本道路,而且其中一个样本的小修费用偏低,造成它的平均小修费用较小外,其它几种车道数的平均小修费用随着车道数的增加而增大,这与定性分析是相吻合的,同时也说明了样本数据的准确性。

#### 4 交通量对小修费用的影响分析

随着交通运输业的不断发展,车辆轴载也逐渐增大。道路表面的车辙和轮迹带内的表面裂缝成为普遍的路面病害。目前国内的高速公路出现的一些早期破坏与车辆的荷载特性有很大的关系。由于交通量的增加,车辆对路面的荷载次数增多,随着荷载作用次数的增加,面层混合料的强度损伤也会增加,强度将逐渐下降。由此可见,交通量与高速公路的小修费用联系比较大,两者应该呈现正相关的关系,即随着交通量的增大,小修费用也会相应增大。从图3可以看出,随着交通量的增加,小修费用有呈现增长的趋势。

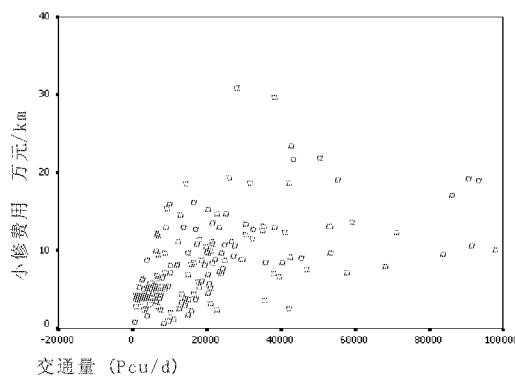


图3 交通量与小修费用的散点图

#### 5 桥隧比对小修费用的影响分析

由于桥梁和隧道的造价相对于路面来说比较高,同样桥梁和隧道的小修费用应该也会比较高,因此本文将桥隧比作为一个影响因素进行分析。本次样本高速桥隧比与小修费用的散点图详见图4。

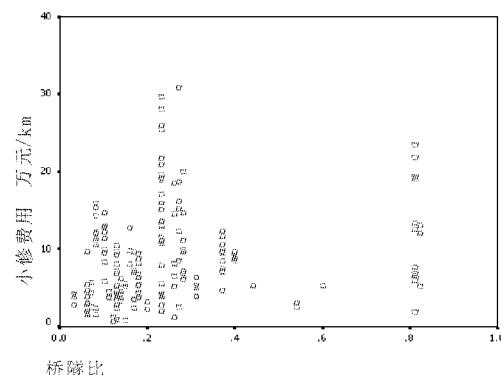


图4 桥隧比与小修费用散点图

为了对散点图的趋势有更好的分析,把小修费用按桥隧比 $<0.1$ 、 $0.1 < \text{桥隧比} < 0.3$ 、 $0.3 < \text{桥隧比} < 1$ 分成三组,并分别对每组数据取平均值,得到桥隧比小于0.1的小修费用平均值为7.77万元/km,0.1<桥隧比<0.3的小修费用平均值为8.72万元/km,0.3<桥隧比<1的小修费用平均值为8.91万元/km,因此可以看出随着桥隧比的增加,小修费用大致呈现增长的趋势。

#### 6 路面类型对小修费用的影响分析

本文将路面类型分为三类,分别是水泥混凝土路面(用“1”代表此类路面)、沥青混合料路面(用“2”代表此类路面)、沥青混合料路面/水泥混凝土路面(包含沥青混合料路面和水泥混凝土路面,用“3”代表此类路面)。将每种路面类型的小修费用求和,然后除以每种路面类型的样本数,得到各种路面类型小修费用的平均值。从图5可以看出水泥混凝土的小修费用比较低,平均小修费用为4.73万元/km;沥青混合料路面的平均维修费用为7.16万元/km;沥青混合料路面/水泥混凝土路面平均维修费用为11.08万

元/km。由此可见,水泥混凝土路面维修相对比较简单,小修费用较小;沥青混合料路面维修需要专门的摊铺机械,维修较麻烦,小修费用比较大。

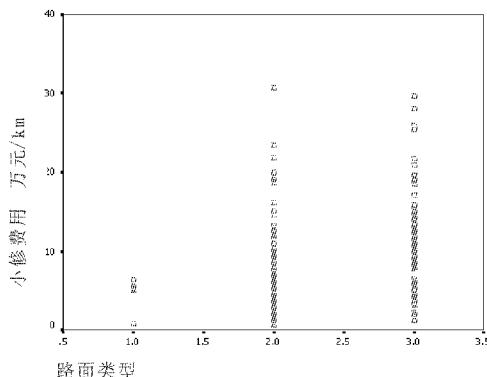


图5 路面类型与小修费用散点图

## 7 通车年限对小修费用的影响分析

通车年数与小修费用散点图详见图6,为了进一步分析通车年数与小修费用的关系,把各年的小修费用取平均值,并画出趋势图,具体见图7。从上述两张图可以看出,通车年数是小修费用的一个重要影响因素,随着通车年数的增加,高速公路出现的病害越来越多,相应的小修费用也不断增长。

## 8 结束语

本文主要从高速公路车道数、交通量、桥隧比、路面类型和通车年限五个方面对小修费用的

影响进行分析,主要目的是要了解这些影响因素与小修费用的关系。我公司负责进行《广东省高速公路小修费用模型的标定》课题研究,此课题已进入结题阶段。本文的分析成果已应用于课题研究,具体应用成果待课题结束之后将另外刊登文章以飨读者。

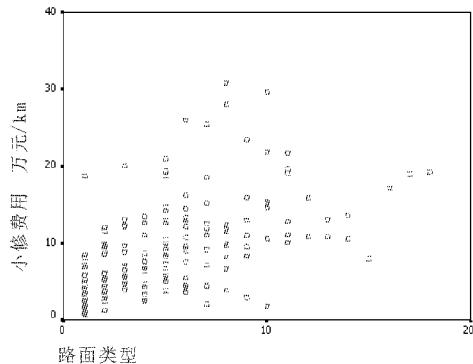


图6 通车年数与小修费用散点图

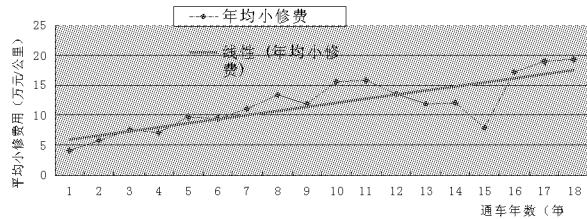


图7 每年平均小修费用分布图

## 参考文献:

- [1] 游锦龙. 广东省高速公路大小修费用模型标定研究[R]. 广州:广东省公路勘察规划设计院有限公司, 2009.

# 浅谈区域交通运输一体化保障措施

肖 明

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**在探讨区域交通运输一体化对于区域合作与发展的重要意义的基础上,研究区域内各地的实现交通运输一体化的条件和障碍,提出在未来实现交通运输一体化的发展方向。

**关键词:**区域交通运输一体化;保障措施

近年随着区域经济一体化的逐步推广,区域交通一体化的重要性日益显著。如何整合区域交通资源、有效衔接各地交通管理政策,促进区域交通运输一体化使之更好的服务社会,提高经济效益,并为区域经济一体化提供强有力的保障,已经成为区域经济一体化计划能否预期实现的一个重要问题。

## 1 交通一体化的概念

交通一体化(Integrated Transportation)的概念来源于上世纪 70 年代,开始于西方发达国家对于综合运输系统的研究和重视,最早的交通一体化概念是对于综合运输体系的一种提法,它从公路、水路、铁路、航空和管道这几种不同运输方式的协调与统筹的角度出发,研究如何发挥不同运输方式的优势,提高整个交通运输行业的效率,研究的重点在于货物运输。

从系统资源优化的角度来理解交通一体化,是指把所有的交通资源(交通工具、交通设施、交通信息)进行统一规划、统一管理、统一组织、统一调配,以达到交通运输系统的整体优化,以便更充分地利用交通资源和更好地满足所有的交通需求(包括所有的使用各种交通工具和设施的人与物)。

交通运输系统是社会经济这个大系统里面的一个子系统,因此,交通一体化也必然的成为社会经济系统正常运行的要求。交通一体化不仅是各种运输方式之间的协调合作,也是客货运

输之间、交通管理和规划、交通政策与市场运营、交通需求与供给以及交通运输与社会经济发展诸多方面的统一与协调。交通一体化的概念不仅体现在交通运输各个方面,贯穿于交通运输行为的整个过程,也体现在交通与社会经济其他方面的千丝万缕的联系之中。

## 2 区域内实现交通一体化存在的问题

(1)各地经济基础差别较大,基础设施建设工作参差不齐,运输网络不健全。交通一体化的建设和运行,必须以健全的交通基础设施为基础。同时在当前各地的交通设施建设中缺乏统一规划和有效的衔接,使交通一体化的构想成为无本之木。

(2)运输市场不够开放,没有形成统一开放市场。目前,各地物流市场基本处于开放状态,但是客运市场因为考虑到安全等因素还相当封闭,各地市场基本只对本地的企业开放,各地的客运班线、旅游市场和汽车租赁等方面的市场还是处在封闭的环境中,在交通一体化的要求下,必须逐步的开放这些市场,允许外地企业进入,充分利用区域内各地的资金、管理和技术等条件。

(3)交通信息不能共享。各地的交通运输信息系统的软硬件建设进展程度水平不齐,同时处于各自发展的状态,无论是交通政务信息还是市场需求信息在各地间都没有良好的交流。建立统一的交通信息平台,使不同的用户都能享用

所需的政务、市场需求、出行信息,使交通运输行业中的管理者、经营者和普通用户都能尽快的得到准确的交通信息。这对于建立一体化的交通有着极为重要的意义。

(4)各地政策差别。目前,全国统一的交通运输法规只有诸如《中华人民共和国公路法》、《中华人民共和国铁路法》等一些专门针对某些运输方式的法律。而各地自行制定的法规和政策却千差万别,这些地方法规和政策往往容易造成地方保护,阻碍整个区域内的交通运输行业的共同发展。尤其是对于不同运输方式之间的联系,运输市场的管理政策方面没有进行统一。交通一体化的施行如果没有获得法律上的保护和政策上的协调,就缺乏完全实现的可能。

### 3 实现交通一体化的对策

#### (1)统一规划的基础设施建设

对于区域交通基础设施建设,一方面应该注重节点的建设,即在一些主要城市(如各省省会和重要城市)建设功能强大、多种运输方式衔接的中转枢纽;另一方面注重建设各地之间相互联系的通道,如航线、铁路和高速公路等,使交通运输网络满足需求,畅通无阻。

#### (2)高度协调的交通管理措施

道路运输只是整个交通运输体系的一部分,如果在整个区域范围内实现一体化的交通,还需要铁路、航空等所有有关部门在政策和运营等方面做出更大程度的合作,这种合作不仅是行业之间,也是地区之间的。因此需要建立区域协调与合作机制的措施,运输一体化的发展设想以及一些运输管理业务上的合作都提出了具体可行的办法。

#### (3)整合充分共享的交通信息交流平台

信息技术是当前交通领域发展中非常重要的一个环节,各地也都在进行着本地的交通信息网络的建设。交通信息技术的发展日新月异,然而目前无论是在省际之间还是各省的地方,交通运输信息的软硬件建设都存在各自进行,兼容性差的

问题。经营者和用户得不到最迫切需要的信息,交通管理部门之间也对彼此的信息交流并不关心。

解决这样的问题,必须考虑整合统一交通的信息平台。对于不同地区、不同的运输管理部门和不同的运输企业,必须将不同交通信息系统进行整合,使整个行业能够共享,数据能够共同使用,这样才能发挥整个行业信息系统的优勢,提高整个交通运输行业的运作效率。

#### (4)建立为区域经济发展提供支持的交通运输系统

交通运输是为社会经济服务的,因此,我们在考虑交通化的建立和发展时绝对不能脱离了社会经济这个大系统,交通一体化也是为了更好的服务于整个社会的发展。

交通运输不仅肩负着为人们出行提供服务的社会职能,也作为一个独立的经济运行部门创造价值,同时对于国民经济的各个部门运作还提供支持和保障的作用。对于建立一体化的交通体系,必须要考虑到交通运输的这种特殊属性。从社会发展、经济发展、人民生活水平提高乃至国防等多方面的因素考虑,交通一体化的发展不仅是交通运输行业本身的发展,它是直接推动社会进步的关键部门。因此,交通一体化在区域合作和发展的过程中起着基础性的作用,处于先行者的地位,在对交通一体化进行规划和设计时,必须要充分考虑到与之关联的社会经济其他部门的需要。真正使交通运输满足社会需求,这才是对交通运输发展的最大要求。

### 4 实现区域交通运输一体化的保障措施

#### (1)完善沟通协调机制、强化执行保障。

成立由各级政府领导、交通主管部门牵头,规划、建设、公安、海关、口岸、环保等部门共同组成的运输一体化领导小组,以定期召开联席会议的形式,研究制定运输一体化发展战略和规划,协调解决运输一体化进程中出现的问题。

成立由各地市交通主管部门组成的运输一

体化协调领导机构,明确各级地方交通主管部门在促进运输一体化发展中的分工、权利与责任,建立地区运输一体化协调会议制度,积极引导和推动各市参与运输一体化的实施工作,并负责协调推进一体化过程中的具体事务。

(2)转变观念,立足全局,加强区域交通运输统筹规划,促进交通运输与区域经济协调发展

要加强区域交通运输发展的协调规划,优化区域交通运输结构和空间布局。在推进交通运输一体化过程中,必须本着资源共享、优势互补、共同发展的原则,采取规划联动、市场联动、政策联动,建立起经济、可靠、便捷、高效的一体化运输体系,互通、互联、共享的交通网络,公平、开放、统一的交通运输市场,一体化的交通管理体制和政策法规体系。通过区域交通运输一体化来更好地推动区域经济一体化,变潜在和个别优势为综合和整体优势,实现共同发展。

(3)破除部门壁垒、促进信息一体化建设

打破部门壁垒、实现部门和行业信息数据互联互通,提高行政效能。建议由省政府协调,建立部门数据互通互联机制和制度。可由交通运输主管部门牵头,筹建统一的区域公路水路运输行业管理信息平台,平台应覆盖交通运输行业内部以及公路水路运输一体化发展过程中涉及的相关部门(包括公安、商贸、外经、口岸等)信息网络,按照“联合共建、纵横兼容、信息共享、服务社会”的原则,实现各部门和不同运输方式信息数据的实时互联互通,为科学合理的统计、分析、决策提供有力的保障,促进综合运输体系的构建。

完善和统一信息运输信息化标准。交通运输主管部门要在充分考虑已有信息平台之间协调和衔接的基础上,及早制订和完善统一的运输

信息化建设标准,减少浪费,确保各相关信息系统之间的联通和数据互换,以便全面实现整个行业间信息的有效交流和共享。

加大信息化建设资金扶持。交通运输信息化建设需要大量的资金保障,各级政府应设立信息化建设专项补助资金,用于交通运输行业信息化建设,尤其要保障行业信息化重点工程建设。各级交通运输部门应坚持以需求为主导,以企业为主体,充分发挥企业和社会各方面的积极性,筹集信息化建设资金。

(4)强化政府指导与部门协作、促进政策法规一体化建设

清理地方法规、消除公路水路运输一体化政策法规障碍。对各地制定的地方法规、规范性文件及政策进行梳理,对阻碍公路、水路运输及从业人员流动和异地创业的政策法规进行清理,并建立统一的行业准入和退出机制,完善驻点运输管理制度,规范公路水路运输市场秩序和安全管理。

强化政府指导、加强部门协作、加速地方法规与规范性文件的编制和出台。在各级政府的指导下,加强部门沟通和协调,通过部门协作加速涉及区域交通运输一体化的政策法规,包括规范性文件的编制出台,如优先发展城市公共交通指导意见、轨道交通有关政策法规等。

#### 参考文献:

- [1] 贺国光,马寿峰.论交通系统一体化.交通运输系统工程及信息,2003(2).
- [2] 刘晓青.交通运输体系应实行一体化战略.宏观经济管理,2004(9).
- [3] 龚华伟.泛珠江三角洲地区交通一体化的现状及对策.科技与经济,2007(4).

# 虚拟样机软件技术在车 - 桥耦合动力响应分析中的应用

刘栋杰

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 针对车 - 桥耦合动力响应分析问题,介绍了将虚拟样机软件技术应用于该领域研究的可能性,结合不同实例的介绍,提出虚拟样机软件技术是精细化研究车 - 桥耦合动力响应问题的一种行之有效的方法。

**关键词:** 虚拟样机; 车 - 桥耦合; 精细化

## 1 引言

车辆通过桥梁过程中将引起桥梁振动,同时桥梁的振动又反过来影响车辆的振动,车辆和桥梁之间这种相互作用、相互影响的现象就称为车 - 桥耦合振动。这一问题一直是工程领域研究的热点和难点。

## 2 车 - 桥耦合振动问题研究概况

### 2.1 车 - 桥耦合振动问题研究历史

车 - 桥振动研究已有 150 多年的历史。以计算机在车 - 桥耦合振动研究中的普遍应用为界,车 - 桥振动的发展历程一般可以分为古典理论阶段和现代理论阶段<sup>[1-2]</sup>。

所谓的古典理论主要是指二十世纪五十年代之前,计算机尚未普遍应用时车 - 桥振动的研究理论和方法。古典理论研究阶段研究方法以试验为主,从研究桥梁的冲击系数,到研究蒸汽机锤击力作用下的共振车速,进而发展到对桥梁横向振动机理的研究。

二十世纪 60、70 年代以来,电子计算机的出现以及有限元技术的发展,使得车 - 桥振动研究有了飞速的发展,从车 - 桥系统的力学模型、激励源的模拟到研究方法和计算手段等都有了质的飞跃,人们可以建立比较真实的车辆和桥梁计算模型,然后用数值模拟法计算车辆和桥梁系统的耦合振动响应。从这一阶段开始及以后的研究,一般称为车 - 桥振动研究的现代理论。

### 2.2 车 - 桥耦合振动问题研究现状

现代车 - 桥耦合振动研究的重点主要表现在以下几个方面:

- (1) 车、桥计算模型更加精细、逼真,考虑的影响因素更加全面;
- (2) 车辆模型已从集中力或简单的移动质量加载模型发展到能反映车体,转向架以及轮对各部件振动状态的多刚体振动系统;
- (3) 桥梁结构模型已从古典理论研究的梁桥为主的结构形式扩展到拱桥、斜拉桥、悬索桥以及其他新型桥梁结构形式;
- (4) 桥梁的动力响应从以前的二维竖向振动扩展到空间的横向、扭转振动;
- (5) 在研究桥梁的动力响应同时还研究车辆的动力响应。

由于纯解析法的局限性,因而提出更为接近实际情况的力学和数学模型,充分利用计算机技术发展的成果,是实现这些目标的重要途径。

## 3 虚拟样机技术简介

虚拟样机技术(Virtual Prototype Technology)是一种崭新的产品开发技术。应用虚拟样机技术,可以使产品的设计者、使用者和制造者在产品研制的早期,在虚拟环境中直观形象地对虚拟的产品原型进行设计优化、性能测试、制造仿真和使用仿真,这对启迪设计创新、提高设计质量、减少设计错误、加快产品开发周期有重要意义。

虚拟样机技术设计流程见图 1。

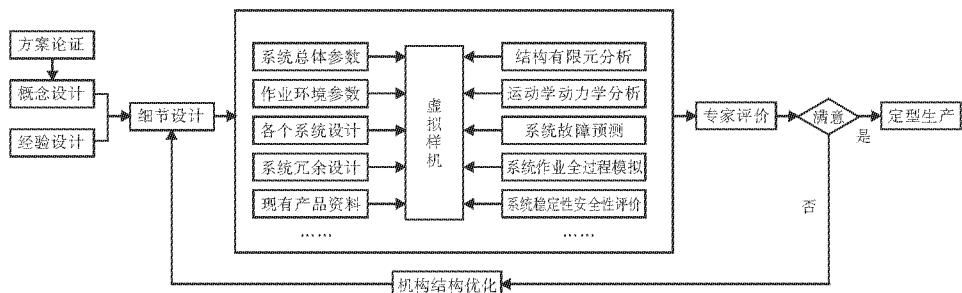


图1 虚拟样机技术设计流程

从图中可以看到,虚拟样机代替物理样机完成了整个设计流程中样机的测试。虚拟样机技术具备许多传统设计方法无可比拟的优点。

- (1) 在相同的时间里可以“试验”多种设计方案;
- (2) 虚拟样机代替物理样机进行多种危险性或破坏性试验;
- (3) 避免了物理样机的试制环节,降低了设计费用,缩短了产品开发周期;
- (4) 缩短了产品开发后期的设计更改;
- (5) 支持并行设计,便于各个设计团队之间的沟通与交流。

虚拟样机技术发展至今,其研究和应用已经得到许多研究机构及软件供应商的重视。目前,国外虚拟样机相关技术的软件化过程已经完成,技术已经相对比较成熟,较有影响的有美国 MSC. Software 公司的 ADAMS、CADSI 的 DADS、德国航天局的 SIMPACK,其它还有 LMS Virtual. Lab、Working Model 等等。国内虚拟样机技术的研究起步相对较晚,最主要是没有形成有自己特色的商业软件,主要以应用国外现有软件为主,利用一种或多种软件进行应用型的研究。

#### 4 虚拟样机技术在车-桥/轨耦合振动问题研究中的应用

目前商用虚拟样机软件中较为流行的是 ADAMS。国内已经有不少车辆研究人员运用 ADAMS 建立车辆的多体系统动力学仿真模型,对车辆行驶时汽车与路面的相互作用进行仿真分析,与此类似的研究还有列车运行时与轨道的相互作用。这些研究都是以机车为主要研究对

象,分析车辆行驶时的振动特性、疲劳特性、舒适度以及对路面的磨损情况等,对车下结构(比如桥梁)的动力响应研究则极少,如果把车辆与其行驶的桥梁结构作为一个整体,建立多体系统动力学仿真模型进行分析,则可以得出车辆行驶时整个桥梁结构的动力响应,为车-桥耦合动力问题的精确分析提供了可能性。

##### 4.1 ADAMS 柔性体理论<sup>[3]</sup>

ADAMS 分析对象主要是多刚体,但 ADAMS 提供了柔性体模块,运用该模块可以实现柔性体运动仿真分析,以弹性体代替刚体,可以更真实地模拟出机构动作时的动态行为,同时还可以分析构件的振动情况。

##### 4.2 ADAMS 在车-桥/轨耦合动力响应分析中的应用

用 ADAMS 分析车-桥/轨耦合动力问题,因为分析的重点是桥梁或轨道结构,一般是将车辆视为由弹簧和阻尼连接的多刚体体系,而桥梁或轨道则采用弹性结构,这需要借助通用有限元分析软件(如 ANSYS、NASTRAN 等)建立桥梁或轨道结构的柔性体模态中性文件,并通过其柔性体模块 ADAMS/Flex,将柔性体模态中性文件导入 ADAMS 平台,使车辆和桥梁组装成一个体系。

下面将简要介绍几个将 ADAMS 应用于桥梁/轨道结构动力响应分析中的实例。

###### (1) 轮轨耦合局部分析

实例来源:ADAMS 公司网站实例<sup>[4]</sup>

采用软件:ADAMS、ANSYS

仿真内容:列车轮对以 20m/s 速度行走于轨道上,分析轮对在运行过程中的应力状态

此例中建立了列车转向架和铁轨的系统模型,

其中列车轮对和铁轨是先用 ANSYS 建立好有限元模型,再生成模态中性文件导入 ADAMS/View,在 ADAMS 平台下组装成刚柔耦合系统模型。

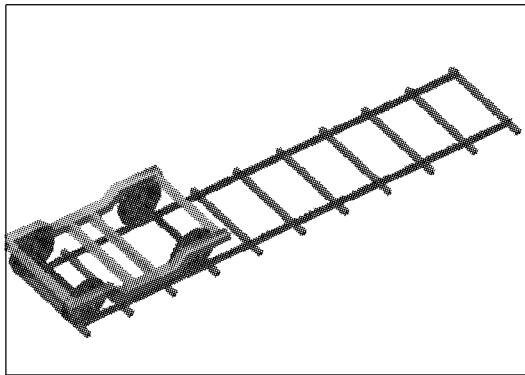


图2 轮轨耦合系统模型

运动仿真结束之后,运动过程中轮轴所受到的力被记录在结果文件中,采用模态应力恢复的方法(Modal Stress Recovery)将结果文件传递到 ANSYS 中,可以计算出运动过程中轮轴的应力状态。

### (2) 高速铁路线路中混凝土简支箱梁车 - 桥/轨耦合动力分析

实例来源:ADAMS 公司第十五届欧洲用户年会论文集<sup>[5]</sup>

采用软件:ADAMS/Rail、ANSYS

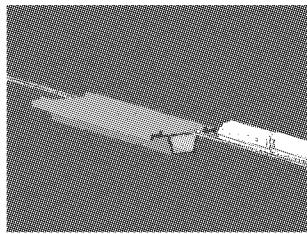


图4 在 ADAMS/Rail 平台的车 - 桥/轨整体系统

### (3) 卡车经过两跨高速公路钢筋混凝土桥梁动力仿真

实例来源:ADAMS 公司第十五届欧洲用户年会论文集<sup>[6]</sup>

采用软件:MD ADAMS、Ansys

仿真内容:一辆三轴卡车以不同车速经过一座全场 55 米的两跨高速公路钢筋混凝土桥梁,输

轮对与铁轨之间采用点线接触单元,铁轨与枕木之间采用轴套连接(Bushing)模拟枕木和道渣的弹性作用,给转向架施加 20m/s 的速度。

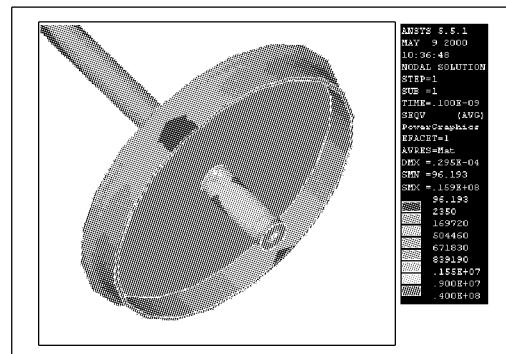


图3 ANSYS 计算出的某时刻轮轴应力状态分布

仿真内容:一辆由二节车头和八节车厢组成的 ICE 列车,以 250km/h 的速度通过一段简支梁,计算该过程中桥梁的动力响应,将仿真数据与实测数据进行对比。

ADAMS 有专用的 ADAMS/Rail 模块,用户可以利用该模块中提供的列车模板快速建立编组的列车模型。

混凝土简支箱梁则用 ANSYS 建立模态中性文件,输入 ADAMS/Rail 平台中,与列车和轨道组装成车 - 桥/轨整体系统。

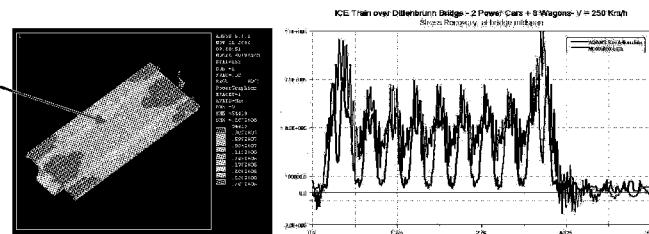


图5 运动过程中同一点的等效应力实测值  
与仿真计算值曲线对比

出测试点的加速度时程曲线和应力时程曲线,并与实测结果进行对比。

卡车的多刚体动力学模型在 ADAMS/View 平台下建模,两跨钢筋混凝土模型由 Ansys 建模生成模态中性文件,通过 ADAMS/Flex 接口导入 ADAMS,一起组装成车 - 桥耦合多体动力学模型。

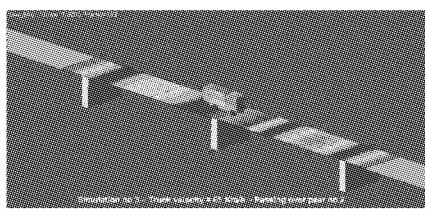


图6 车-桥耦合多体动力学仿真过程

输出测试点的加速度时程曲线和应力时程曲线，并与实测结果数据进行对比，二者吻合得较好。

#### (4) 特殊轨道结构的车-桥/轨耦合动力仿真

实例来源：作者自建模型

采用软件：MD ADAMS、MSC Nastran、MSC Patran

仿真内容：建立一种带有预应力的拉索轨道结构车-桥/轨耦合模型，探讨特殊结构的车-桥/轨耦合动力计算方法。

#### 模型描述：

拉索结构由施加了预应力的柔性钢索和支撑于其上的轨道梁组成，预应力钢索为单根Φ5 的

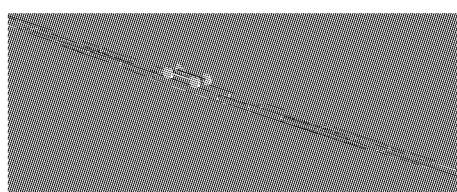


图8 小车以3m/s的速度行至跨中时预应

以上实例中，实例一将车轮(轴)和轨道都考虑成柔性体，只建立了一个转向架模型，重点是研究轮轨接触时车轮(轴)和轨道的应力状况。实例二中列车模型采用了ADAMS/Rail中自带的欧洲ICE列车悬挂系统以及车体模块，全面考虑了多级悬挂系统的刚度系数和阻尼系数，再根据实际的列车编组情况建模，而混凝土桥梁则考虑成弹性实体单元，轨道考虑成刚体，分析的重点是列车运行过程中列车和桥梁的动力特性，可以全面计算列车运行过程中列车的舒适性指标、脱轨系数以及桥梁的挠度、应力状态分布等数据。实例三中卡车模型考虑成多刚体组成的一级悬挂系

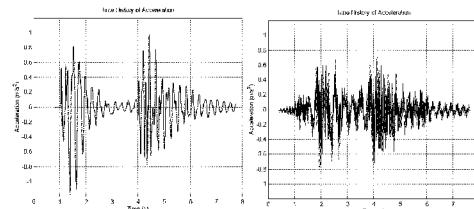


图7 测试点加速度时程曲线对比(左为仿真,右为实测)

1860 级高强钢丝，钢丝长度 4.2m，两端固定，预先施加 10000N 的预应力使钢丝产生应力刚化效应，预应力钢丝为整个结构的承力结构。为增强结构的横向稳定性，在预应力钢索之间每隔 0.3m 设置一根横系杆，该结构模型尺寸参照某科研项目的 1:15 模型试验建立。

小车一小车为二轴四轮小车，轴距 0.25m，未添加弹簧悬挂系统。

其中，预应力钢索是用 MSC Nastran 生成的带有预应力的柔性体模态中性文件，在该过程中利用了 MSC Nastran 的重启动分析方法。轨道和小车都是用刚体模拟。

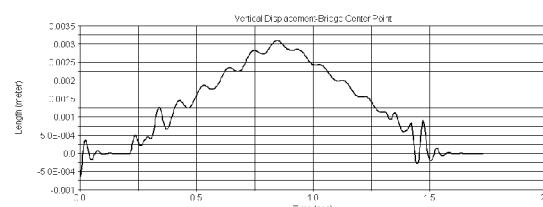


图9 结构跨中点竖向位移时程曲线

统，桥梁为由梁单元和板单元组成的弹性系统，分析的重点是卡车经过时桥梁的动力响应。实例四中尝试建立了一种特殊结构，车下结构采用施加了预应力的索轨结构，其基本原理是利用应力刚化效应使索的横向刚度得到极大提升，从而可以作为主要承力结构。该仿真模型可以代替部分模型试验，在虚拟环境下预测新型桥梁结构的动力特性。

各实例根据研究的目的不同，从各个侧重点考虑了车桥耦合过程中的各种因素，另外诸如轨道不平顺、车辆引擎的振动等因素也都可以利用虚拟样机平台添加进去。

## 5 结束语

为了解决新形势下越来越显著的车 - 桥耦合振动问题,研究人员已经开始尝试将虚拟样机仿真软件技术应用于车 - 桥耦合动力问题的精细化分析中,取得了一定的成果,其可行性已经得到初步证明。未来桥梁的发展趋势是高速、重载、轻量化,势必引出众多突破传统形式的新型桥梁结构,而对于车 - 桥耦合动力问题的精确计算也必将越来越重要和关键。要精确计算,最好的方法就是精确模拟现实,以成熟的计算机软硬件技术为平台,以多学科理论作为基础的虚拟样机软件仿真技术,必将会成为未来桥梁设计中的一把利器。

### 参考文献:

[1] 夏禾, 张楠. 车辆与结构动力相互作用. 北京: 科学出版社, 2005.

[2] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动. 北京: 中国铁道出版社, 2002.

[3] 邢俊文. MSC. ADAMS/Flex 培训教程. 北京: 科学出版社, 2006.

[4] <http://www.mscsoftware.com/support/library/conf/adams/rail/pdf/Example%20Modal%20Stress%20Recovery%20.pdf>

[5] Manfred Zacher, Francesco Ambrogi, Frank Fassbender, Dynamics of a Train over a Flexible Bridge. 15th European ADAMS Users'Conference, 2000.

[6] F. Ambrogi, C. Braccesi, F. Cianetti, Simulation of Moving Parts on Flexible Bodies using Multibody Approach. Test Case on a Reinforced Concrete Highway Bridge. 15th European ADAMS Users'Conference, 2000.

[7] 郑晓龙, 陈克坚, 陈建峰, 戴晓春. MSC 软件应用于铁路桥梁车 - 桥耦合动力响应分析. 计算机辅助工程, 2006, 9.

# 关于防火墙并发连接数的研究

吕广平

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 随着计算机网络技术的日新月异, 现代企业对于信息网络的依赖越来越大, 防火墙作为重要的网络设备, 承接着企业对外数据传输和企业数据安全的重任, 其容量、速度、稳定性制约了工作效率的提高。本文着重对网络防火墙的并发连接数展开分析, 并从一个具有 600 个网络节点的设计企业的实际应用, 谈企业防火墙的并发连接数指标和改善企业网络状况。

**关键词:** 计算机; 防火墙; 并发连接数

并发连接数是衡量防火墙性能的一个重要指标。在目前市面上, 有支持 20 个用户左右的低端设备, 标称为 1000 个左右并发连接的产品; 也有支持大型企业, 达到数十万并发连接数的产品。这些设备, 存在着好几个数量级的差异。

那么, 什么是并发连接数? 本文所说的并发连接数, 是指防火墙能够同时处理的点对点连接的最大数目, 它反映出防火墙设备对多个连接的访问控制能力和连接状态跟踪能力, 这个参数的大小直接影响到防火墙所能支持的最大信息点数。尤其是当前互联网的 P2P 下载应用广泛的时候, 网络连接数的概念显得尤为重要。

用通俗的理解, 当一个用户访问一个的网站时, 他就至少占用一个连接。有时候, 根据程序的不同, 一个用户也可能占用多个连接数。根据实际的使用量, 可以产生的连接数, 来决定防火墙产品。

通常, 企业需要一定数量的下载资源, 这个时候, 需求的并发连接数当然越高越好, 微软的操作系统在 Windows XP(SP2)下设置了 TCP 连接数的最高限制为 256, 也有人通过破解后可以提升至 2000 个。这对于当前流行的 P2P 下载方式来说, 具有很大的推动作用。这就说明, 单一 PC 可以同时产生的连接数可以以百

位数计, 对于 600 个网络节点, 所产生的连接数是比较庞大的。

## 1 并发连接数的科学计算

以每个用户平均需要 30 个并发连接来计算, 以笔者所在的企业(600 个信息点, 容纳 5 个 C 类地址空间)大概需要  $30 \times 600$ , 即 18000 个并发连接, 因此支持 18000 ~ 20000 最大并发连接的防火墙设备便可以满足需求; 大型的企事业单位网络(比如信息点数在 1000 ~ 10000 之间)大概会需要 30000 个以上的并发连接, 所以支持更大的并发连接的防火墙就可以满足企业的实际需要; 而对于大型电信运营商和 ISP 来说, 电信级的千兆防火墙则是恰当的选择。

采用合适的防火墙设备, 要注意的是根据实际的需要, 量力而行。近几年来, 随着防火墙技术的发展, 尤其是国内防火墙生产厂商技术的提高, 防火墙已经逐渐向性能更高更强的方向发展。但是, 如果企业的需求较低, 而采用高端的防火墙设备, 势必将造成用户投资的浪费。同样, 为较高需求的客户, 采用低端设备则无法达到预计的性能指标。利用并发连接数指标来选择适当的防火墙产品, 可以帮助企业快速、准确的定位所需要的产品, 避免对单一参数的盲目追求, 节省企业的开支。

## 2 并发连接数和其他系统参数的关系

### 2.1 并发连接数和系统内存资源的关系

像路由器的路由表,用来存放路由信息一样,防火墙里也有一个存放连接信息的表,称之为并发连接表,是防火墙用以存放并发连接信息的地方。它可在防火墙系统启动后动态分配进程的内存空间,其大小也就是防火墙所能支持的最大并发连接数。

大的并发连接表可以增大防火墙最大并发连接数,允许防火墙支持更多的客户终端。尽管看上去,防火墙等类似产品的并发连接数似乎是越大越好。但是与此同时,过大的并发连接表也需要较大的内存空间的支持:

以每个并发连接表项占用 300 比特计算,笔者所在的企业,如果达到 20000 个并发连接将占用  $300B \times 20000 \times 8bit/Byte \approx 48Mb$  内存空间,20 万个并发连接将占用 480Mb 内存空间,100 万个并发连接数就接近 300Mb 的内存空间。产品标称的连接数越大,所需要的内存空间就越大,而且这仅仅是并发连接表所占的内存空间,实际应用中,还有防火墙策略以及涉及到的路由转发等需要的内存空间,将大大超出很多产品的标称值。

### 2.2 并发连接数和中央处理器 CPU 的关系

也有人认为,对火墙来讲重要的是每秒新建会话数以及每秒的处理数据包数。这就涉及到防火墙的 CPU。大多数国内的百兆级防火墙,基本都是 X86 架构的,为节约成本,CPU 通常处理能力有限,如果连接数过多,势必增加数据转发的延迟。在实际的应用中,笔者发现,当并发连接数增加了,总的吞吐量就会相应的下降。当设置的策略多一点,防火墙达到最大的并发连接数的时候,性能本来就不是很强的产品,会产生缓慢甚至 CPU 占用 100% 死机的现象。

所以,CPU 的处理能力也是需要考虑的一个方面,现在很多防火墙可以查看 CPU 的占用

信息,我们在实际应用中会发现,网络阻塞的时候,如果不顾 CPU 的实际处理能力而贸然增大系统的并发连接表,则造成防火墙对连接请求的处理延迟,让更多的连接报文被重发,进而导致更多的连接超时,最后形成雪崩效应,致使整个防火墙系统崩溃。

### 2.3 并发连接数和网络带宽的关系

网络带宽对于网络并发数也存在影响,低速链路根本无法承载太多的并发连接。由于防火墙大多部署在 Internet 出口处,一般情况下,大部分的公司采用共享的方式访问互联网,大多采用 ADSL 或者是光纤专线,基于成本的考虑,笔者所在的单位采用的是 6M 的专线。如果将带宽平分,每个人所能享用的网络带宽将会显得非常有限,所以即便是防火墙能够支持大规模的并发访问连接,它也无法发挥出其原有的性能。

在实际中,笔者尝试使用 20 个用户左右的低端设备,通常遇到,某些少数用户大量占有连接数,带宽在没有被完全占用的情况下,其他用户已经无法访问互联网络。这时候,明显不是企业带宽存在瓶颈,而是问题出现在防火墙上的性能制约了网络的使用。同理,将防火墙设备换成高端的企业级设备,则网络顺畅,但是网络带宽过窄,不能完全发挥防火墙的性能。过低价格的产品不能满足实际的需要,但是价格过高的产品价格又会产生浪费,考虑是否有中间产品。因为不同规模的网络会产生大小不同的并发连接,而用户习惯于何种网络服务以及如何使用这些服务,同样也会产生不同的并发连接需求。

因此,我们应当根据网络环境的具体情况来选择适当规模的并发连接数的产品。如何在合理的设备投资和实际所能提供的性能之间,寻找一个黄金平衡点将是用户选择产品的一个重要任务。按照并发连接数来衡量方案的合理性是一个值得推荐的办法。

### 3 并发连接数对于企业防火墙的参考意义

并发连接数对于企业防火墙来说,具有很重要的参考意义,高并发连接数提供了更加可靠的网络传输环境,能够满足当前多种情况下的网络环境,特别是用户数量达到一定的程度,需要实时处理大规模数据,从多个网络节点获取和交换数据的时候,较大的网络连接数能够提供较多的帮助。网络连接数大的防火墙设备,通常需要客户投资更多的设备,这是因为并发连接数的增大牵扯到数据结构、CPU、内存、系统总线和网络接口等多方面因素。

所以,支持的并发连接数越大,在考虑经济性合理的情况下,理论上是越好的。但是现在有很多防火墙产品,动辄声称并发连接数100万、200万,似乎网络连接数越大越好,并且一般情况下没有什么工具可以测试,所以很多国内的主流防火墙厂商在推介自己的产品时都把这个指标夸大,用户自己也不知道自己需要多大连接数,所以倾向于购买连接数较大的产品。笔者经过尝试,同样的网络环境下,一台普通的百兆防火墙,最多也就30、40万个连接数就已经饱和,达不到防火墙标称的最大160万连接数。笔者希望防火墙连接数能够进行国外的

权威认证,而不是厂家单方面所做的存在水分的性能测试。

### 4 结束语

实际上防火墙的并发连接数还是受很多因素的影响的,除了上文提到的一些相关因素,还有使用过程中的制度规范的问题,如果企业没有网络行为管理设备,企业内大部分员工在随意使用P2P软件进行上传下载行为,那么情况又有所不同。随着国内互联网的发展,特别是互联网访问速度的提高,原有的大规模的ADSL线路可能会被更高速的上网方式所取代。更高的网络配置需要匹配更高的网络并发数,通过模拟成百上千个用户,重复执行和运行测试,才可以确认性能瓶颈并优化和调整应用,寻找到解决企业信息网络的瓶颈问题。

#### 参考文献:

- [1] 谢希仁.计算机网络 [M].第五版.电子工业出版社,2008.
- [2] 刘天华,孙阳.网络系统集成与综合布线 [M].人民邮电出版社,2008.
- [3] 陈鸣.网络工程设计教程:系统集成方法 [M].机械工业出版社,2008.
- [4] 管磊.P2P技术揭秘—P2P网络技术原理与典型系统开发 [M].北京:清华大学出版社,2011.

# 全国公路工程地质科技情报网 2012年技术交流会报道

全国公路工程地质科技情报网2012年技术交流会于2012年9月19日至23日在四川省成都市召开。本次会议的主题是：“公路地灾防治技术发展与展望”。会议由网长单位四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院主办，《西南公路》编辑部、四川都汶公路有限责任公司协办，会议得到副网长单位及成员单位的大力支持和积极响应，来自全国32个相关单位的72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、副总经理李树茂、高级工程师李志宏等参加了会议。

本次技术交流会按日程划分为两大块内容：技术交流会议和现场考察。

## 一、9月19日至20日，技术交流会议

19日晚上，主办方召开了预备会议，8家网长单位的代表共12人参加了会议。会议上，首先，网长单位对本年度情报网的工作进行了总结，对未来的发展进行了展望；接着，与会代表对如何更好的发展全网进行了讨论，并评选表彰了全网工作积极分子及优秀论文获得者，为其颁发了荣誉证书。

20日，主办方召开了由全体代表参加的技术交流大会，会议分为专题报告和论文宣讲二个部分。

会上，四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院副院长吉随旺作了“汶川地震公路泥石流灾害与防治的思考”专题报告、都汶公路有限责任公司总经理冯学刚作了“都汶公路地震及次生灾害治理与防治探讨”专题报告；四川九零九建设工程有限公司吴红等11位作者分别宣讲了“牛圈沟泥石流治理”、“桥墩镇滑坡地震灾害稳定性分析与评价”、“高速公路地震灾害危险性定量综合评估方法探讨”等论文内容。专题报告和论文宣讲主要围绕地质灾害的勘察、评价及处理

进行，同时也涉及到新技术、新方法在公路工程地质勘察、超高边坡防治等方面应用等内容，使与会代表受益匪浅。会议最后，由今年网长单位的徐德玺进行了总结发言，他充分肯定了公路工程地质情报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方面发挥的积极作用，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，尤其是滑坡、崩塌、泥石流、冻土等地质灾害的勘察及地基处理方面需要进行深入探讨。因此，围绕会议主题，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82篇，经组织专家审稿，选定了68篇编辑成会议论文集，论文集内容丰富，图文并茂，以《地质灾害与环境保护》增刊的形式出版。

## 二、9月21日至23日，与会代表进行现场考察

2008年5月12日四川省汶川县映秀镇发生了8级大地震。汶川地震造成四川等省市受损高速公路24条，国省干线155条，农村公路4569条，损毁公路里程53294公里，桥梁6140座，隧道156座，损失金额达670亿元。灾后四川省在全国人民的大力支持下进行了积极的重建工作，目前，大部分重建工作已完成。代表现场考察了都映高速公路、映汶高速公路和郎川路等3条路

的5个工点，四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院编制了详细精美的工点简介分发给每位代表，该院副总工程师马洪生还一直在现场陪同，再给大家做详细介绍的同时也与代表们针对其关心的问题进行了沟通交流。

地震对公路造成的破坏主要为直接破坏和次生灾害两种。直接破坏在路基方面表现为：路基路面整体断裂、错动、滑移、隆起、沉陷、被掩埋或淹没等；在桥梁方面表现为整体倒塌、落梁、墩柱弯曲和剪坏、连接部位破坏（支座、挡块、伸缩缝等）、梁体位移等；在隧道方面表现为边墙开裂、拱顶局部位移、掉块，洞底开裂、仰拱隆起、位移、砼碎裂等现象。次生灾害主要发生在山区，主要是造成大量崩塌、滑坡和泥石流，并形成堰塞湖等。公路灾后重建主要是根据上述不同情况，采取针对性措施进行修复或重建。下面简单介绍两个工点灾后重建的情况。

### 1、庙子坪特大桥

庙子坪岷江特大桥是都江堰至映秀高速公路

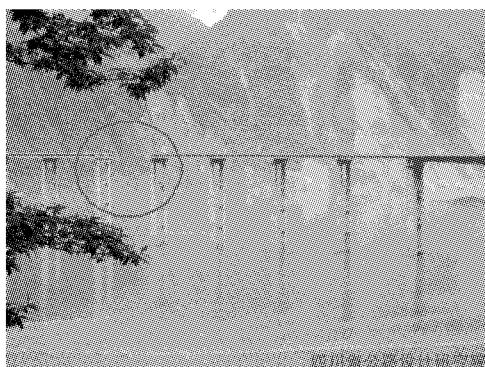


图1 庙子坪特大桥震害(断梁)

路中一座大型构筑物，起点桩号K17+487.00，止点桩号K18+927.22，全长1440m，跨越岷江（紫坪铺水库），主桥为连续刚构桥，引桥为简支梁桥，孔跨布置为：2×50m（简支T梁）+125m+220m+125m（连续刚构）+17×50m（简支T梁）。桥位位于安县至灌县断裂带（龙门山前山断裂带）附近，距该断裂的垂直距离不到1km，距中央主断裂的垂直距离也不过6km左右。本段公路设计时抗震设防烈度为Ⅶ度，而在汶川地震中，本段公路实际烈度为Ⅸ~Ⅺ度。汶川地震发生时，本桥主体结构已完成施工，但各联间伸缩缝还未安装。在地震中该桥有较为明显的损伤，尤为严重的是，第10跨引桥出现了整孔落梁。连续刚构主梁开裂严重，5号、7号~11号墩的水下部分出现了裂缝。震后采用了500吨水下钢箱浇筑混凝土，200米、8000吨大跨径T梁整体复位等“穿靴、正帽、架梁”的综合修复措施，成功修复了受损的庙子坪特大桥。该桥已于2009年5月通车。



图2 庙子坪特大桥修复示意图



图3 修复后的庙子坪特大桥

## 2、洪椿沟泥石流

(1) 地理位置: 洪椿沟沟口位于映秀镇北东侧约 500m, 岷江左侧, 行政区划上属汶川县, 沟口处位于映秀至汶川高速公路桩号 K0 + 400。洪椿沟沟口地貌见图 4。

(2) 泥石流规模及危害: 据调查, 2010 年 8 月 13 日晚至 14 日凌晨, 映秀附近区域降水量达 160mm, 造成洪椿沟泥石流大规模暴发, 爆发方量约 70 万方, 近 40 万方泥石进入岷江形成堰塞体, 致使河流改道, 水淹映秀。在映汶高速路线附近泥石流堆积体高约 10 ~ 12m, 在建所有桥梁结构物均被掩埋, 机械设备损失重大。泥石流灾害对映秀互通形成重大破坏, 影响极大。泥石流爆发时的情况见图 5。

其危害见图 6、图 7。

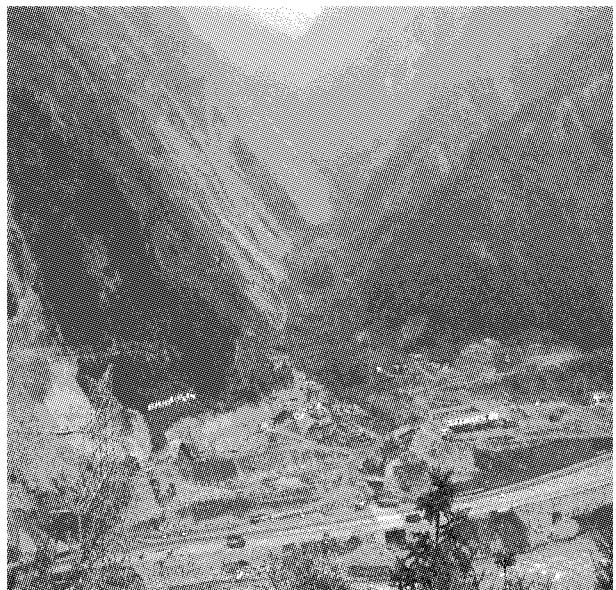


图4 洪椿沟沟口地貌(2009年)

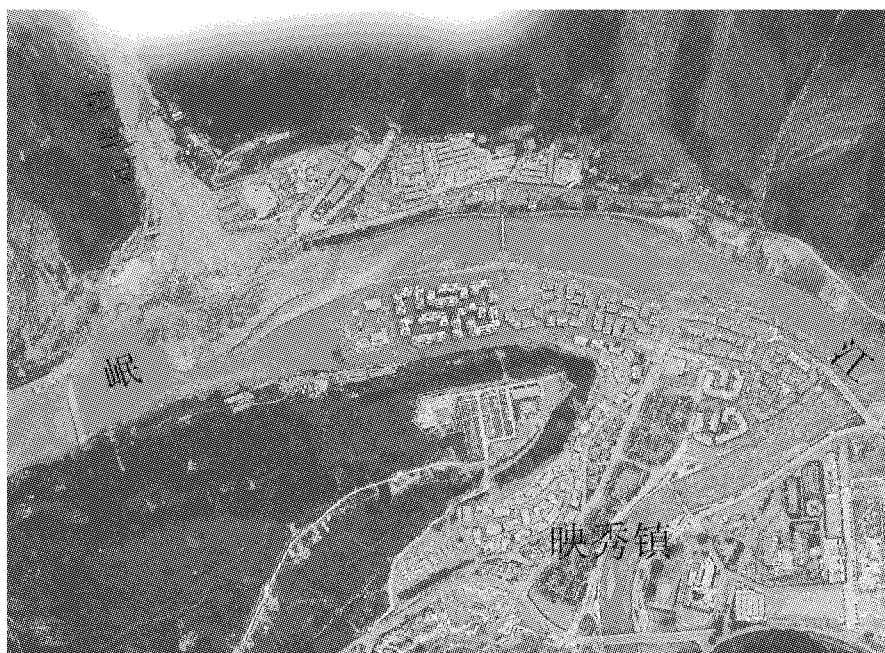


图5 洪椿沟 2010 年“8.14”泥石流爆发遥感图片



图6 清理中的洪椿沟泥石流堆积体



图7 洪椿沟泥石流掩埋桥梁

(3) 泥石流治理情况:2010年“8.14”泥石流后,四川省国土部门、水利部门和公路部门联合对该泥石流沟进行了勘察设计与治理施工。国土部门主要负责对泥石流区域进行治理,水利部门主

要对河道进行治理,公路部门主要对公路范围内泥石流进行治理。

部分治理措施典型照片见图8~图11。



图8 主沟中游3#格栅坝



图9 主沟中下游2#格拦坝



图10 主沟下游1#格拦坝



图11 沟口地段排导槽

(张修杰 报道)

## 2012年全国公路隧道建设技术研讨会报道

2012年9月26日至27日，“2012年全国公路隧道建设技术研讨会”在陕西省西安市唐城宾馆召开。会议由中国公路学会主办，陕西省交通运输厅、陕西省高速公路建设集团公司、陕西省十天线汉中东段管理处、陕西省公路学会、中国公路学会隧道工程分会、隧道建设与养护技术交通行业重点实验室共同协办。

中国公路学会副秘书长乔云以及来自全国各省、自治区、直辖市公路学会和交通运输厅（局、委）、高速公路建设管理部门、科研单位以及大专院校的131名专家、学者和代表们参加了此次研讨会。陕西省交通运输厅副厅长胡保存出席研讨会并致辞。在致辞中，他介绍了陕西省公路交通发展的总体情况和取得的成绩，以及目前在建公路隧道方面面临的一些困难。

研讨会上，七位来自建设、研究、设计、施工等

方面的国内知名隧道专家应举办方邀请，针对高原隧道、海底隧道、过江隧道的建设相关技术和工艺等内容作了学术报告，并与参会代表们进行深入交流。专家们在报告中通过大量数字、图片、科学实验影像等资料的展示，分析了当前国内山区高速公路隧道及水下隧道工程新技术应用的成效、存在的问题和发展所面临的形势，直观、形象地介绍了目前隧道建设的新理念和新的技术。同时，专家们也指出：我国公路隧道技术创新之路任重而道远。

本次技术研讨会，在推进公路隧道技术创新、促进隧道建设、施工成本节约等方面有深远影响。会后，大会主办方还组织参会代表参观了十天高速公路陕西段西汉高速公路隧道群。

（李国安 报道）

## 第二届全国复合地基理论及工程应用 学术研讨会报道

2012年9月27日至28日，第二届全国复合地基理论及工程应用学术研讨会在广州市召开。会议由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会地基处理学术委员会、广东省公路学会、中国铁建股份有限公司主办，中国铁建港航局集团有限公司、广东省公路学会岩土工程专业委员会承办。

本次学术研讨会，举办方邀请了多位长期从事复合地基研究工作的知名专家做学术报告，报告的主要内容有：

- 1、广义复合地基理论形成及发展；
- 2、复合地基的破坏方式及承载力与稳定问题；

· 46 ·

- 3、桩网复合地基工作机理与设计方法；
- 4、珠江三角洲淤泥结构性与加固技术；
- 5、挤密砂桩复合地基在港珠澳大桥海底隧道人工岛的应用；
- 6、镰刀式地下连续墙设备及施工技术简介；
- 7、刚性桩复合地基优化设计研究；
- 8、刚性桩复合地基在工后沉降控制中的应用；
- 9、高速公路软弱地基处理措施及效果；
- 10、《广东省公路软土地基设计与施工技术规定》解读。

研讨会上，与会代表们集中探讨了复合地基

的形成、应用和发展等多方面的内容,范围涉及公路、铁路、人工岛等不同的工况,并集中就复合地基在高速公路上应用存在的问题以及高速公路复合地基理论发展进行了重点讨论,对于如何计算不同复合地基的复合模量和工后沉降,代表们也

提出了新的见解。

本次学术研讨会,开阔了参加人员的复合地基处治视野,促使大家反思在复合地基设计中采用有关理论的合理性,与会人员均感受颇深。

(郭月芹 报道)

## 广东省公路学会交通工程专业委员会 2012年度技术交流会报道

2012年10月25日至26日,广东省公路学会交通工程专业委员会在广州从化区隆重举办了“2012年度技术交流会”。广东省交通集团有限公司、广东省公路建设有限公司、广东省高速公路有限公司、广东省路桥建设发展有限公司、广东省交通实业投资有限公司等单位及其下属路段公司的近200名技术代表参加了本次交流会。



本次技术交流会,旨在根据以往建设经验和国内高速公路发展状况,探讨高速公路交通工程行业的未来发展趋势和分享其最新技术,解决目

前在新建项目和运营维护中遇到的相关专业技术难题,重点介绍交通工程专业各种新技术在日常养护项目中的应用。

技术交流会上,举办方邀请了有关专家进行了学术报告,主要内容包括:

- 1、高速公路CCTV系统;
- 2、高速公路数字化视频监控及存储联网技术要求宣讲和实施建议;
- 3、采用自定位IC卡的高速公路路径识别方案;
- 4、广东周边省份采用车牌识别解决多义性路径的方案介绍;
- 5、机房动力系统和机房建设介绍。

参会技术人员对本次交流会均给予了高度评价,认为专家们的学术报告讲解内容详实、技术先进、专业性强,符合新建项目和改造项目的需要,对提高与会者自身的工作水平起到了积极作用。

(关小杰 报道)

## 公路路线及总体设计知识培训报道

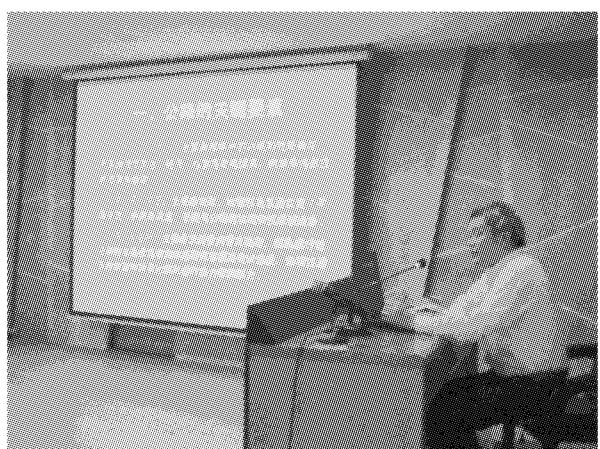
2012年10月30日,主题为“公路路线及总体设计知识培训”的内部讲座在公司二号楼9楼会议室举行。本次讲座,邀请公司首席副总工程师彭向荣担任主讲,60余名技术人员参加。

彭总作为国内知名的公路设计领域专家,在公路路线及总体设计等领域有着自己独到的见解和心得。讲座中,彭总围绕公路的关键要素、总体设计的主控因素、总体设计的一般原则、设计车速

和运行车速、影响行车安全的因素、平面线元、公路选线要点、平面线形设计的要点、纵面线形设计的要点等内容进行了深入浅出的分析讲解，逻辑清晰、主次分明，且针对性强。一方面，彭总通过展示大量中外公路设计经典案例的图片，让学员们对公路路线有了更加直观、清晰的认识；另一方面，通过对公路总体设计各重要影响要素细致、深

入的分析，彭总系统介绍了公路选线及设计的关键技术和方法。

参加人员均对本次讲座给予了很高评价。公司通过举办此类专题讲座，在公司内部搭建起了经验分享和知识传授的平台，该举措受到专业技术人员的支持与好评，也对公司整体技术水平的提升起到积极作用。



(简玉燊 报道)

## 常见不良地质现象专题讲座报道

2012年11月12日上午，“常见不良地质现象”专题讲座在公司二号楼9楼会议室举行，主讲人为公司副总工程师张修杰，来自公司各个部门、分公司的30余名专业技术人员参加了当天的讲座。

讲座在上午九点准时开始，作为公司工程技术类系列课程之一，本次讲座主要围绕“常见不良地质现象——崩塌”展开，主要内容包括崩塌概述、崩塌类型、崩塌影响因素、崩塌防治以及都汶公路实例等。通过张总的理论讲解和工程实例分析，使参加讲座的技术人员清晰了解了崩塌概念、系统熟悉了崩塌类型和影响因素，并对崩塌防治的方法有了一定的认识。



(简玉燊 报道)

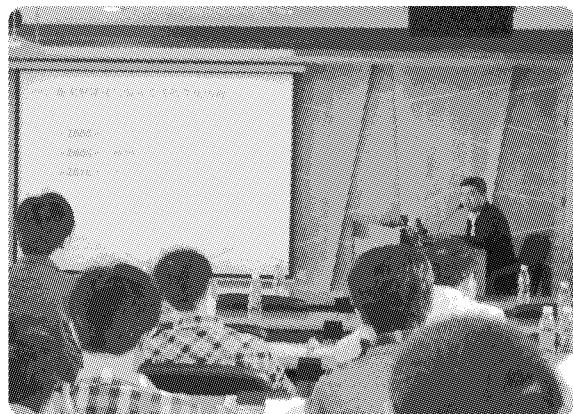
## 2012年设计代表知识讲座报道

为提升公司设计后服务整体水平,公司于11月19日举办了“设计代表知识培训”内部讲座。培训在公司二号楼9楼会议室举行,由李天副主任主讲,包括现任设计代表、设计联络员以及即将担任设计代表的三十多名专业技术人员参加了本次讲座。

李主任的讲课内容包括:业主对设计后服务要求的变化历程、业主对项目的基本管理模式,以及设计代表日常工作应注意的问题等。李主任与大家分享了其多年从事设计代表的经验,他从为业主提供优质高效的设计后服务的理念出发,详细介绍了设计代表工作中的种种关键问题,并指出设计代表工作一定要关注工作细节、用心服务。

课程结束后,学员们纷纷表示收获很大、触动很深。设计代表是公司与业主、监理及施工单位之间的主要沟通桥梁,设计代表的言行体现着公

司的精神面貌和工作作风,高度的服务意识、扎实的专业基础、良好的职业操守缺一不可。继续重视设计后服务质量、努力提升服务水平,是公司领导以及全体员工的共识和追求。



(简玉燊 报道)

## 第一届国际桥梁养护、管理技术研讨与观澜河大桥拆除现场观摩会暨香港青马大桥控制区实地考察

2012年11月21日至23日,“第一届国际桥梁养护、管理技术研讨与观澜河大桥拆除现场观摩会暨香港青马大桥控制区实地考察”在深圳市举办。交通运输部公路科学研究院副院长张劲泉、广东省交通运输厅总工程师王富民、辽宁省交通运输厅副厅长李雁鹏、山西省交通运输厅总工程师郜玉兰、山东省交通运输厅副厅长范正金等来自全国各省市以及包括香港特别行政区、台湾省的近400位领导、专家、工程技术人员参加了本次活动。

本次活动,在举办方的组织下,参加人员主要进行了以下事项:1、参加技术交流会议,聆听、学

习专题演讲报告;2、进行观澜河大桥拆除现场观摩及青马桥控制区考察。



技术交流会议上,参加人员围绕我国桥梁养护管理的发展现状、桥梁技术状况评定、桥梁加固

维修等专题展开了研讨。应主办方邀请,美国新墨西哥州立大学检测中心 Dr. Jauregui、挪威公路局公路桥梁部 Mr. Borre 及台湾中原大学张达德教授等国内、外知名专家、学者在交流会上作了专题演讲,介绍了有关国际桥梁养护管理的成功经验。

举办本次活动的主要目的是为桥梁建设、养护行业搭建一个加强合作与交流的平台,以便相关专业的科技成果和成功经验能够更快的得以推广和应用,为我国桥梁养护管理水平的整体提升做出一定的贡献。

(魏朝柱 报道)

## 城市道路工程设计与改造典型案例及常见 疑难问题解析高级研讨会报道

2012年11月24日至26日,由中国勘察设计协会主办的“《城市道路工程设计与改造典型案例及常见疑难问题解析》高级研讨会”在南京市举行。本次研讨会,主办方邀请了深圳市市政设计研究院有限公司总工程师、教授级高工徐波担任主讲嘉宾。徐总从以下几个方面进行了讲解:

- 1、怎样当好一名优秀的设计项目负责人;
- 2、城市道路设计中常见疑难问题;
- 3、复合路面设计与施工;
- 4、新技术、新工艺、新材料和新理念在市政工程中的应用。

通过参加本次研讨会的学习及与其他参会同行的交流,笔者有以下几点体会:

1、徐波总工程师从事设计和技术管理多年,近年还担任深圳南坪快速二期工程、北环大道、东莞大道等若干重大工程的项目负责人,他对如何当好一名优秀的设计项目负责人有着深刻的认识;他作为《城市道路工程设计规范》主要起

草人、《城市道路交叉口设计规程》主要审查人、大学兼职教授,对相关规范及市政各相关专业的设计知识都很熟悉和了解。其讲课务实、专业、幽默,引人深思,让听课者均感受益匪浅。真切希望能多参加类似专家进行的市政道路设计方面的授课讲座。

2、作为一名市政设计人员,除了要做好日常的工作以外,应全方位地锻炼自己,以成为优秀的项目负责人为目标,努力创造出优秀的设计作品、体现人生的社会价值。

3、在平时的工作中,注重多方位的积累,要善于了解、学习、应用市政工程中的新技术、新工艺、新材料应用等。

4、市政设计涉及专业广泛,要求相关从业人员要能做到一专多能,融合贯通。在工作中要知其然与所以然,努力把自己打造为学者型技术人才。

(钟勇 报道)