

# 廣東公路勘察設計

GUANGDONG HIGHWAY SURVEY AND DESIGN

2  
总第162期

2016



技术交流 信息共享

广东省交通规划设计研究院股份有限公司

地址：广州市沙河兴华路22号  
邮政编码：510507  
电话：020-37393172  
传真：020-37393172  
E-mail：841622401@qq.com  
网址：www.ghdi.com.cn



由公司设计的“广东省河口至平台（粤桂界）高速公路”荣获第十三届中国土木工程詹天佑奖。



为了开拓工程技术人员设计思路，了解现有的预制桥梁构件技术，4月26日，在公司梁立农总工程师的带领下，公司技术人员参观考察了中山建华管桩集团。



听取产品工艺情况介绍



参观预制车间



了解产品性能



参观考察合影

为了开拓工程技术人员软基处理设计思路，了解多向加芯搅拌桩施工工艺，5月16日公司梁立农总工程师带领专业技术人员前往深茂铁路江门南站软基处理现场进行了为期一天的技术交流参观活动。



听取施工项目情况介绍



参观多向加芯搅拌桩施工

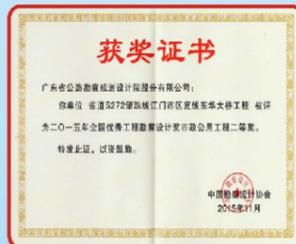


了解多向加芯搅拌桩工艺

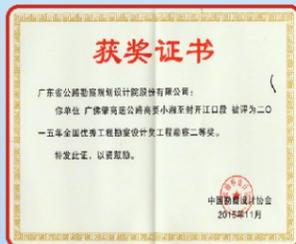


参观考察合影

### 公司喜获四项2015年度中国勘察设计协会优秀勘察设计行业奖



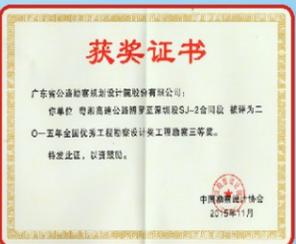
“省道S272肇珠线江门市区复线东华大桥”工程荣获市政公用工程二等奖



“广佛肇高速公路高要小湘至封开江口段”测量荣获工程勘察二等奖



“珠江三角洲经济区外环公路江门至肇庆段（B合同段）”勘察荣获工程勘察二等奖



“粤湘高速公路博罗至深圳段SJ-2合同段”勘察荣获工程勘察三等奖

由中国土木工程学会桥梁及结构工程分会和长大公司主办、公司等单位协办的第二十二届全国桥梁学术会议于2016年5月9日至11日在广州召开，公司梁立农总工程师等六位同志分享了学术成果，会议现场设立了展示我公司形象和实力的展位。



技术质量部于4月19日召开“湛江环城高速南三岛大桥(坡头至南三岛段)工程初测方案”公司级设计评审会议。



会议由梁志勇总工程师主持



项目组人员向专家介绍初测情况



与会专家讨论初测方案

技术质量部于6月1日召开“玉林（省界）至湛江高速公路初测方案”公司级设计评审会议。



会议由梁志勇总工程师主持



项目负责人作初测情况介绍



与会专家讨论初测方案

# 广东公路勘察设计

(季刊)

2016年6月30日出版

2016年第2期

(总第162期)

内部资料 免费交流

准印证号: (粤O) L0150076号

## 编辑委员会

主任: 黄湛军

副主任: 梁立农 王强

委员: 谢伟强 彭向荣 陈潮锐

孙向东 王景奇 陈新富

梁志勇

主编: 梁立农

副主编: 王强

责任编辑: 刘祥兴

编辑: 《广东公路勘察设计》编辑部

编印单位: 广东省交通规划设计研究院  
股份有限公司

地址: 广州市沙河兴华路22号

邮政编码: 510507

电话: 020-37393172

传真: 020-37393172

E-mail: 841622401@qq.com

印刷单位: 广州广卫印刷厂

封面: 大广高速从化至连平段

## 目次

### 桥梁工程

广东虎门二桥引桥跨径选择

..... 徐德志 (1)

钢箱梁桥面板第三体系下参数化分析

..... 袁霖宇 (6)

一座桥梁的景观概念设计

..... 徐东进 (9)

### 道路工程

山区高速公路全寿命成本选线研究

..... 丘 桑 (15)

高速公路软土路基处理及沉降观测技术综合评述

..... 李红中, 刘祥兴 (16)

高速公路路堤排水沟标准化设计探讨

..... 鄂海清 (26)

### 交通工程

高速公路隧道出口与收费站最小间距研究

..... 谢陈峰 (31)

基于 VoIP 技术的高速公路综合语音解决方案

..... 关小杰 (36)

### 检测工程

某曲线连续箱梁桥火灾后检测评定

..... 钟建国 (39)

### 信息专栏

“广东省桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术标准”

项目成果鉴定验收会报道 ..... (44)

高性能桥梁钢在桥梁建设中的应用与发展技术交流

报道 ..... (45)

GB18306-2015《中国地震动参数区划图》宣贯会培训

报道 ..... (46)

公司与和立子公司举行公路检测、监测及桥梁维修加固

技术交流会 ..... (47)

工程地质勘察技术交流报道 ..... (48)

“广东省河口至平台(粤桂界)高速公路”喜获第十三届

中国土木工程詹天佑奖 ..... (48)

钢结构与组合结构桥梁发展论坛暨枫溪大桥技术参观活

动报道 ..... (49)



# 广东虎门二桥引桥跨径选择

徐德志

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:**虎门二桥是广东省连接广州和东莞的重要东西向通道,本文结合项目的具体建设条件,针对项目引桥桥梁长、软基深厚、桥墩高、墩高变化范围较大的特点,综合考虑景观要求等因素,对跨径进行了多方案综合比较,选择了适合本项目的经济合理跨径组合。

**关键词:**虎门二桥;引桥;合理跨径

## 0 工程概况

虎门二桥工程是广东省高速公路网规划中连接广州和东莞的重要东西向通道,路线起于广州市南沙区东涌镇,经广州市南沙区、番禺区,先后跨越大沙水道、海鸥岛、坭洲水道后,终点与广深沿江高速公路相接。虎门二桥上游距珠江黄

埔大桥约20km,下游距虎门大桥约10km。

虎门二桥工程主线全线均采用桥梁方式建设,共设置跨海特大桥两座,分别是:坭洲水道桥采用主跨658m+1688m双塔双跨悬索桥,大沙水道桥采用主跨1200m双塔单跨悬索桥;引桥主要采用30.0m~62.5m跨径的预应力混凝土桥梁。

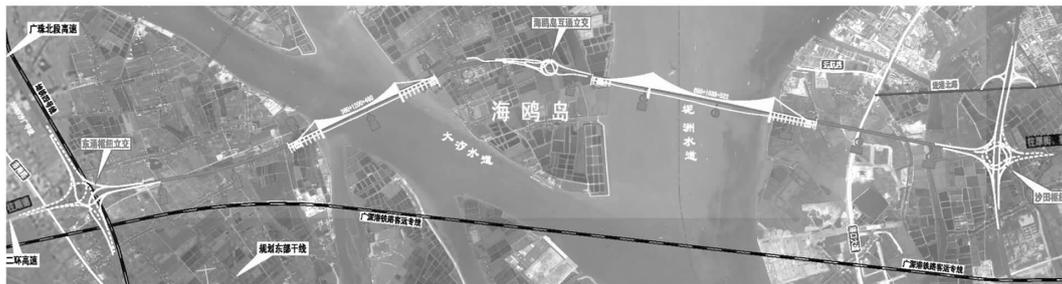


图1 虎门二桥总体平面布置

## 1 引桥跨径选择原则

虎门二桥引桥主线桥全长10.078km,按其相对于两座主桥的相对关系,可分为西(番禺)、中(海鸥岛)、东(东莞)三个部分;按墩高又可分为高墩区(墩高40m以上)、中墩区(墩高25~40m)、低墩区(墩高25m以下)。可见,本项目桥梁长、桥墩高、墩高变化范围大,因此,在项目的初步设计阶段针对桥梁所处位置,根据墩高、地质条件等因素,对桥梁跨径进行详细研究比选,桥梁跨径的选择合理与否对工程的经济性、美观性及施工速度有较大的影响,选择了上下部结构形式后,需要对同种墩高不同跨径之间进行全面的比选,以确定与墩高和基础对应的经济跨径。同时,跨

径的布置还要考虑与主桥的配合及跨堤、跨线要求等因素。

## 2 布跨控制因素

引桥跨径的选择,应充分考虑墩高、地质、景观和跨越地面构造物的要求。若引桥跨径过大,虽可减少基础工程,但与主桥边跨梁高的协调性较差,且会给施工带来一定的困难。若引桥跨径过小则与主桥整体规模不协调,且桥墩林立,较高的桥墩与较小的跨径比例失衡,势必造成景观上的不协调。从经济合理性考虑,结构的经济跨径与桥墩高度相关联。结合本桥桥梁区域覆盖层较厚、基岩埋藏较深、地基承载力较低等特点,在不同墩高区域内选择合理的经济跨径。

表 1 主线桥各墩高范围桥梁长度

墩高范围	墩高/m	桥梁长度/m	
低墩区	≤20	2 490	3 532
	20 ~ 25	1 042	
中墩区	25 ~ 30	445	2 399
	30 ~ 35	1 031	
	35 ~ 40	923	
高墩区	40 ~ 45	936	4 097
	45 ~ 50	933	
	50 ~ 65	2 228	

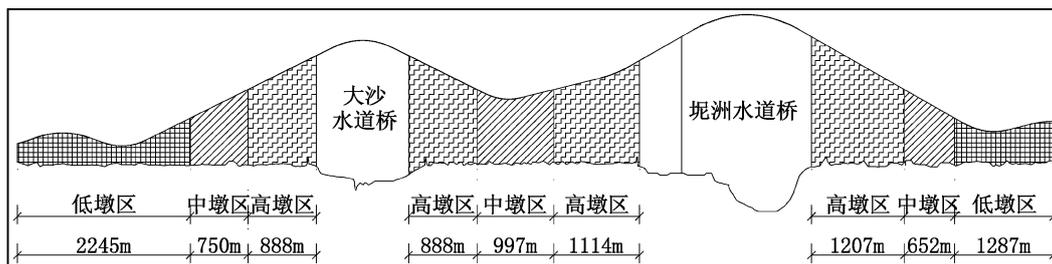


图 2 主线桥各墩高范围立面布置

虎门二桥桥梁区域覆盖层较厚、基岩埋藏较深、地基承载力较低,桥梁桩基长度较大,因此从经济性考虑,同时参考区域内类似桥梁的设计经验以及景观设计的考虑,引桥主线桥跨径不宜小于 30m。

2.3 经济性原则

最合理的经济跨径就是使上部结构和下部结构的总造价达到最低。经济跨径的选择宜根据墩高,对不同的跨径进行经济分析,以确定与墩高和基础对应的经济跨径组合。引桥主线桥全线桥跨布置时,考虑平均墩高和桩基长度来确定推荐方案,以取得最佳组合。

2.4 引桥主线桥跨径初选

综合考虑以上各布跨控制因素,对引桥主线桥各墩高范围内合适跨径进行初步选定,如表 2 所示。

表 2 主线桥各墩高范围跨径初步选定

墩高	墩高/m	桥梁长度/m	初选跨径/m
低墩区	≤25	3 532	30、35
中墩区	25 ~ 40	2 399	40、45
高墩区	≥40	4 097	50、55、62.5、75

2.1 跨堤处安全距离要求

根据主桥跨径及桥位布置,大沙水道桥两侧跨堤处采用 62.5m 跨径,坭洲水道桥两侧采用 55.0m 跨径,方可满足跨堤安全距离的要求。

2.2 景观设计要求

参考已建成桥梁的景观效果,一般认为墩高小于跨径一定范围时可取得较好的景观效果,因此,本项目根据不同的墩高范围选择不同跨径。同时,从方便施工的角度考虑,不宜使用过多的跨径。根据墩高将本项目引桥范围分为低墩区、中墩区和高墩区,在不同墩高范围内采用不同跨径,以取得最佳景观效果。

3 经济跨径比选

最合理的经济跨径就是使上部结构和下部结构的总造价达到最低。经济跨径的选择宜根据墩高,对不同的跨径进行经济分析,以取得最佳组合。综合上述各项比选分析,在虎门二桥初步设计阶段上部结构选取预应力混凝土箱梁,跨径在 30.0 ~ 62.5m 之间。下部结构选取花篮型双柱墩及薄壁花瓶墩配钻孔灌注桩基础。施工方案为节段拼装方案,进行不同跨径的经济比选,以确定与墩高和基础对应的经济跨径组合。

3.1 跨径比选范围

根据有关部门跨越堤坝安全距离的要求,跨堤处高墩范围内跨径必须分别采用 62.5m 和 55.0m 方可满足。

从桥梁景观设计的角度考虑,跨径大于墩高时可以取得较好的景观效果,为保证桥梁整体协调性,除特殊跨线桥梁外,一般桥梁跨径建议按表 3 范围选取。

3.2 跨径比选结果

上部结构采用连续箱梁,施工方案采用节段

拼装法,对各种墩高范围内进行造价估算,得出各墩高、跨径组合条件下单位面积造价(表4)。

表3 主线桥不同墩高区域建议采用跨径范围

墩高/m	跨径/m						
	30	35	40	45	50	55	62.5
≤20	√	√	-	-	-	-	-
20~25	√	√	√	-	-	-	-
25~30	-	√	√	√	-	-	-
30~35	-	-	√	√	√	-	-
35~40	-	-	-	√	√	√	-
40~45	-	-	-	-	√	√	√
45~50	-	-	-	-	-	√	√
50~55	-	-	-	-	-	√	√
≥55	-	-	-	-	-	√	√

表4 主线桥不同墩高、跨径组合工程造价估算(单位:万元)

墩高/m	跨径/m						
	30	35	40	45	50	55	62.5
20	3 534.2	3 671.7	-	-	-	-	-
25	3 752.9	3 881.4	4 334.9	-	-	-	-
30	-	4 278.6	4 517.3	4 664.8	-	-	-
35	-	-	4 581.5	4 730.1	4 984.9	-	-
40	-	-	-	4 812.0	5 080.8	5 249.8	-
45	-	-	-	-	5 293.8	5 490.3	5 811.3
50	-	-	-	-	-	5 583.5	5 911.7
55	-	-	-	-	-	5 861.9	6 217.1
60	-	-	-	-	-	6 150.5	6 495.9

表5 主线桥各墩高范围内跨径组合方案

墩高/m	桥梁长度/m	跨径组合/m			
		方案一	方案二	方案三	方案四
≤20	2 490				
20~25	943	30	30		35
25~30	445				
30~35	1 371	40	45		
35~40	923			45	50
40~45	936				
45~50	933	55.0/62.5	55.0/62.5	55.0/62.5	
50~65	1 979				55.0/62.5

从表4可以看出,相同墩高的条件下,跨径较小时经济性较好。

### 3.3 全桥经济跨径选择

引桥主线桥全线桥跨布置时,考虑平均墩高和桩基长度来确定推荐方案,并适当结合施工、设计、景观要求,采取简化和统一的方案。从施工和景观角度考虑,全桥不宜采用过多的跨径,因此在中墩区和低墩区各选择一种跨径与跨堤处的大跨径进行组合,形成四种组合方案(表5)。

在以上各跨径组合方案下,估算各方案的全桥造价(表6)。

表6 主线桥各墩高范围内跨径组合造价估算

墩高	桥梁长度/m	方案一		方案二		方案三		方案四	
		跨径组合/m	造价/万元	跨径组合/m	造价/万元	跨径组合/m	造价/万元	跨径组合/m	造价/万元
≤20	2 490	30	35 640.7	30	35 640.7	35	37 026.9	35	37 026.9
20~25	943	30	14 333.0	30	14 333.0	35	14 823.6	35	14 823.6
25~30	445	40	8 141.3	45	8 407.1	35	7 711.1	35	7 711.1
30~35	1 371	40	25 438.9	45	26 264.4	45	26 264.4	50	27 678.6
35~40	923	55.0/62.5	19 624.6	45	17 987.9	45	17 987.9	50	18 992.6
40~45	936	55.0/62.5	20 812.5	55	20 812.5	55	20 812.5	50	20 067.6
45~50	933	55.0/62.5	21 097.9	55	21 097.9	55	21 097.9	55	21 097.9
50~65	1 979	55.0/62.5	46 982.6	55	46 982.6	55	46 982.6	55	46 982.6
合计			192 071.4		191 526.0		192 706.8		194 380.9

从表6中可以看出,在虎门二桥的纵坡条件下,各跨径组合方案总造价相差不大,且采用小跨径组合较为经济。采用跨径组合方案二即30m、45m和55.0m/62.5m方案总体经济性最好,且该方案各墩高范围内跨径分布较均匀,因此,在初步设计阶段将方案二作为虎门二桥引桥主线桥的推荐跨径组合,如表7。

表7 主线桥推荐跨径组合方案

	高墩区	中墩区	低墩区
墩高	≥40	25~40	≤25
跨径	55.0/62.5	45	30

注:55.0m跨径用于坭洲水道桥两侧跨堤处,62.5m跨径用于大沙水道桥两侧跨堤处。

### 3.4 关于减少全桥跨径种类的比较

因本项目全线为桥梁,且桥梁规模较大,若采

用上述四种跨径,则全桥跨径种类较多,低墩区跨径较小,桥墩较多,景观效果略差。且不同的跨径需分别采用不同的施工设备,施工较麻烦,施工设备规模效益不明显。因此,在初步设计过程中还提出了减少全线跨径种类的方案,并与前述方案进行比较。

从前述分析来看,跨堤位置因受有关要求的制约,跨径几乎没有调整的余地,因此,减少跨径种类主要考虑跨堤范围以外的部分,跨堤处仍采用55.0m和62.5m。

从全线墩高分布来看,中墩区在东涌、海鸥岛和沙田三个区域均有分布,但各个区域桥梁长度均不是很长,分别是750m、997m和652m。因此,考虑以墩高30m为界限,将墩高划分为低墩区和中高墩区两个区域。调整后全线墩高划分如图3所示。

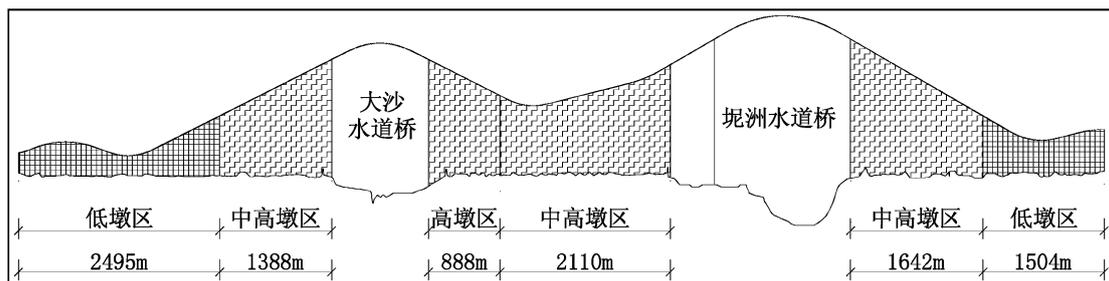


图3 主线桥各墩高范围立面布置

中高墩区跨径布置仍根据跨堤要求采用55.0m和62.5m;低墩区为了保证跨径与中高墩区

协调,同时尽量减少墩柱数量,优化全线景观,分别考虑采用35m和40m跨径。

本项目低墩区大部分位于立交范围内,立交匝道较多,通过增大主线桥跨径来改善景观效果有限,因此,仍考虑采用30m作为低墩区的一个比选方案,则全线墩高及跨径方案如表8所示。

表8 主线桥调整跨径组合方案

	中高墩区	低墩区
墩高/m	≥30	≤30
跨径调整方案一	55.0m/62.5m	40m
跨径调整方案二	55.0m/62.5m	35m
跨径调整方案三	55.0m/62.5m	30m

根据此跨径组合方案,计算其建安费,并与前述推荐方案建安费进行比较,比较结果如表9所示。

表9 主线桥调整跨径方案经济性比较

跨径组合方案/m	全桥建安费/万元	增加费用/万元
30、45、55.0/62.5	191 526.0	-
40、55.0/62.5	200 830.0	9 304.0
35、55.0/62.5	198 604.8	7 078.8
30、55.0/62.5	196 586.4	5 060.4

从上述经济性比较来看,跨径调整方案分别增加建安费9 304万元、7 079万元和5 060万元,建安费有所增加,经济性稍差。

从全桥来看,减少跨径种类后,桥梁跨径有所增加,全桥桥墩数量有所减少,全线桥梁景观效果与原方案相比有一定的改善。同时,跨径种类减少后,施工设备的种类可相应减少,设备规模效益有所提高。

低墩区若采用35m或40m跨径,本项目墩高

小于20m的桥梁长度约2.5km,长度较长,同时低墩区主要位于东涌立交和沙田立交内,立交内本身桥墩较多,因此,在立交范围内采用大跨径来减少桥墩的景观效果很难显现。

因此,从上述比较可知,采用两个墩高区段划分的方案,从全桥整体来看,景观效果有一定的改善,但全桥经济性稍差,故不作推荐。

#### 4 引桥跨径比选结论

综上所述,结合虎门二桥引桥现场建设条件,综合考虑施工、景观、跨越构造物要求及经济性等控制因素,虎门二桥引桥墩高划分及最终采用的跨径布置如表10。

表10 主线桥跨径采用情况

墩高范围/m	≤25	25~40	≥40
推荐跨径/m	30	45	55.0/62.5

#### 5 结语

在虎门二桥的初步设计阶段,结合项目的具体建设条件,针对项目引桥桥梁长、软基深厚、桥墩高、墩高变化范围较大的特点,综合考虑景观要求等因素,对跨径进行了多方案综合比较,选择了适合本项目的经济合理跨径组合。本文跨径比选的思路及方法可供其他类似项目参考借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 节段式混凝土桥梁设计与施工指导性规范 AASHTO[S]. 1989.
- [2] 徐德志,万志勇,梁立农. 虎门二桥引桥总体设计[J]. 国防交通工程与技术, 2015(4):22-25.

# 钢箱梁桥面板第三体系下参数化分析

袁霖宇

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 本文以某钢箱梁的正交异性板第三结构体系为研究对象, 采用 Midas - FEA 建立有限元模型。以 U 肋间距、U 肋厚度及顶板厚度为变量参数, 对比分析不同参数下的结构受力行为。研究表明: 在 U 肋间距不变情况下, 增加桥面板厚度、增加 U 肋厚度能降低桥面板在第三体系下的挠曲变形。在桥面板厚度与 U 肋厚度不变情况下, 当 U 肋壁间距与 U 肋开口宽度一致时, 桥面板挠曲变形最小。对于城 - A 车辆的轮载, 当 U 肋开口为 300mm 时, U 肋间距宜采用 600mm。

**关键词:** 钢箱梁正交异性板第三体系; FEA

## 1 概述

在我国, 随着近几年的经济飞跃发展, 钢箱梁桥得到大量的应用。由于钢桥面板其独特的受力特性, 其耐久性受到不同程度的考验。当车轮作用于正交异性桥面板时, 桥面板在承受车辆荷载的反复作用后, 因面外变形而出现疲劳开裂现象, 同时桥面板过大的局部变形易使得桥面板上的沥青混凝土铺装层开裂。

为了提高钢桥面系寿命, 避免钢桥面板和铺装层裂缝的产生, 文章针对城市某钢箱梁桥, 根据规范中有关正交异性板钢桥面的构造规定, 结合正交异性板在第三体系中的受力行为, 对钢桥面板进行参数化分析。

## 2 有限元模型建立

为了研究桥面在纵肋间的竖向位移及横向应

力状态, 取 U 肋和桥面板建立第三体系计算模型, 长度为 2m, 宽度随 U 间距变化而变化, U 数量为 6 个, U 肋开口宽度为 300mm, 约束 U 肋腹板与 U 肋底板交接线上所有点的三向位移。第三体系局部模型三维图如图 1 所示。

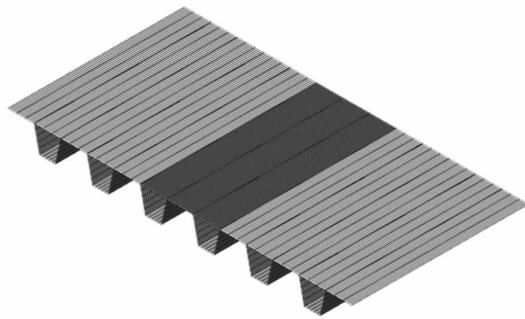


图 1 第三体系局部模型

在 Midas - FEA 板单元精细模型中, 采用的城 - A 级车辆荷载, 并考虑铺装层扩散角, 荷载冲击系数取为 0.4。车辆荷载技术指标见表 2。

表 2 车轮技术指标

车轮编号	车轮 1	车轮 2	车轮 3	车轮 4	车轮 5
规范轮重/kN	30	70	70	100	80
计入冲击系数后轮重/kN	42	98	98	140	112
规范轮载接触面积	0.25m × 0.25m		0.25m × 0.6m		
考虑扩散角轮载接触面积	0.39m × 0.39m		0.39m × 0.74m		
轮胎间距/m	0	3.6	1.23	6	7.2
等效面荷载/(kN/m <sup>2</sup> )	276.1	339.6	339.6	485.1	388.1

### 3 变量参数设置及荷载布置

以下参数根据设计经验及实例调查所得出,各国规范中对于U肋厚度最低要求皆为6mm,城市钢箱梁桥面板厚度普遍采用16mm~24mm的规格。

表3 设计变量

设计变量	变化取值
U肋间距	500mm、600mm、700mm
U肋厚度	6mm、8mm、10mm
桥面板厚度	16mm、18mm、20mm、22mm、24mm

车轮与U肋的相对位置,直接影响横向受力的大小,故设置四中横向荷载布置形式:(1)荷载关于U肋壁间距的中点对称布置;(2)荷载关于U肋开口中点对称布置;(3)荷载单向布置,以布满第一个U肋开口开始;(4)荷载单向布置,以布满第一个U肋壁间距开始。布置形式见图2。

### 4 结果分析

通过计算分析四种荷载形式在不同参数下的有限元模型的结果,可以得知,在U肋厚度与桥面

板厚度不变的情况,当U肋间距为500mm时,位移最大值发生于荷载布置形式1下;当U肋间距为600mm时,位移最大值发生于荷载布置形式4下;当U肋间距为700mm时,位移最大值发生于荷载布置形式4下。将三种U肋间距下的最大挠度值见表4。

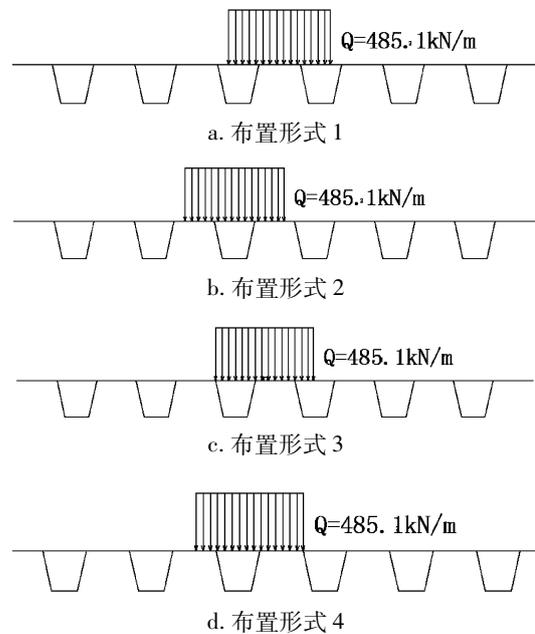


图2 车轮与在桥面板的布置位置

表4 三种U肋间距下的最大挠度情况(单位:mm)

桥面板厚度 /mm	间距 500mm			间距 600mm			间距 700mm		
	6mm	8mm	10mm	6mm	8mm	10mm	6mm	8mm	10mm
16	0.246	0.232	0.223	0.219	0.209	0.202	0.589	0.572	0.554
18	0.178	0.170	0.164	0.162	0.155	0.149	0.426	0.414	0.402
20	0.136	0.130	0.125	0.126	0.119	0.114	0.322	0.311	0.303
22	0.108	0.103	0.098	0.101	0.095	0.090	0.251	0.242	0.235
24	0.089	0.083	0.080	0.084	0.078	0.074	0.202	0.193	0.187

由表4可以看出,在U肋间距为700mm,桥面板厚度小于18mm时,其竖向挠度值均大于0.4mm,不满足纵肋间面板的相对挠度应≤0.4mm的规范要求。

由于车轮荷载通过铺装层扩散过后,其尺寸为0.74m×0.39m,可见车轮宽度大于U开口宽度的两倍,因此U肋间距的大小、U肋与车轮的相对位置,对桥面板的受力结果产生最为显著的影响。

因此针对中国规范的车辆荷载,对于开口宽度为300mm的U肋,其间距为600mm最为适宜。

在U肋厚度与桥面板厚度不变的情况,当U肋间距为500mm时,横向应力最大值发生于荷载布置形式2下;当U肋间距为600mm时,位移最大值发生于荷载布置形式4下;当U肋间距为700mm时,位移最大值发生于荷载布置形式4下。将三种U肋间距下的最大横向应力见表5。

表5 三种U肋间距下的最大横向应力情况(单位:mm)

桥面板厚度 /mm	间距 500mm			间距 600mm			间距 700mm		
	6mm	8mm	10mm	6mm	8mm	10mm	6mm	8mm	10mm
16	62.36	62.30	62.11	93.11	92.26	92.05	128.12	127.46	126.27
18	49.17	49.20	49.13	73.31	73.23	72.89	100.83	100.66	100.07
20	39.67	39.78	39.78	59.03	59.16	59.03	81.14	81.29	81.05
22	32.60	32.77	32.82	48.37	48.65	48.67	66.46	66.82	66.81
24	27.17	27.39	27.49	40.20	40.59	40.71	55.21	55.72	55.88

由表5可以得出,横向应力均小于规范允许的容许应力,满足规范要求。由于模型支承形式约束了U肋加劲整体的竖向变形,U厚度的变化对于计算模型的影响不大。U肋间距对横向应力的影响最大,间距每增大100mm,应力增大30MPa。在U肋间距不变的情况下,随着桥面板厚度的增加,桥面板横向应力减小,其减小幅度也随之减小。

## 5 结论

本文以某钢箱梁的正交异性板第三结构体系为研究对象,采用Midas-FEA建立有限元模型。以U肋间距、U肋厚度及顶板厚度为变量参数,对比分析不同参数下的结构受力行为。研究表明:在U肋间距不变情况下,增加加桥面板厚度、增加U肋厚度能降低桥面板在第三体系下的挠曲变形。

在桥面板厚度与U肋厚度不变情况下,当U肋壁间距与U肋开口宽度一致时,桥面板挠曲变形最小。对于城-A车辆的轮载,当U肋开口为300mm时,U肋间距宜采用600mm。

### 参考文献:

- [1] CJJ11-2011. 城市桥梁设计规范[S].
- [2] 小西一郎. 钢桥[M]. 北京:人民铁道出版社, 1980.
- [3] 中交公路规划设计院. 正交异性钢桥面系统的设计和基本维护指南[M].
- [4] 李延东,梁田,鲍宇文,刘孝寒. 正交异性钢桥面板的精细有限元分析研究[J]. 路基工程,2011.
- [5] 李立峰,邵旭东. 计入局部刚度和稳定约束的钢桥面板优化设计[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2009.
- [6] 苏彦江. 钢桥构造与设计[M]. 成都:西南交通大学出版社,2006.

# 一座桥梁的景观概念设计

徐东进

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 兴旺大桥主桥为蝴蝶拱桥,桥梁造型艺术现代,寓意丰富,具有良好的交通功能和出众的艺术表现。本文以兴旺大桥为例,从项目的自然状况、人文历史、景观等方面出发,介绍该桥景观方案设计方面相关内容,为类似景观桥梁设计提供一个案例参考。

**关键词:** 桥梁景观;蝴蝶拱桥;斜拉桥;葵花拱桥;比选

## 1 引言

随着经济的发展,桥梁景观设计日益受到重视。桥梁景观通常应用“造型设计”、“色彩设计”、“肌理设计”和“装饰设计”等理论和方法,对桥梁的侧面、桥面和底面的景观造型进行细致地设计<sup>[1]</sup>。本文通过兴旺大桥桥型方案设计为例,重点对桥梁“造型设计”方面内容进行论述。

## 2 背景调查分析

### 2.1 桥位环境分析

(1)兴旺大桥位于兴宁市规划的南部新城中心区,是兴宁市南部新城重要的南北向通道。道路沿线将成为南部新城中心区,规划有图书馆、科技大厦等建筑群,以现代建筑风格为主。大桥的造型要与现代建筑风格相协调。大桥的造型设计也应具有前瞻性和超前性,并与未来发展相协调。

(2)大桥桥位处河床宽约70m,全桥按上、下行分幅设计,两幅桥净距23m,单幅桥宽25m,两幅桥间距相对较大为本桥的一大特点,如何将这一特点与桥型方案完美结合是桥型设计的重点。

(3)大堤附近地形平坦,在这种空旷、平坦,以天和水为主要背景的环境下,大桥造型将成为河中景观主体,但由于跨径不大,无法从体量上打造雄伟壮观景观,对桥梁造型及构造细节要求比较高。

### 2.2 空间环境分析

(1)桥梁地处宁江河上,主桥位于河道中间,

除雾天外,空间可视度清晰,可以远处观赏到大桥的英姿。

(2)主桥构筑物高度与及体量应与空间环境相协调。由于左右幅距离关系,应妥善处理桥面建筑高度与桥梁宽度、左右幅间距的关系,且应避免使桥面上构筑物数量过多而导致繁杂感。故方案不宜采用结构繁琐、塔柱林立的桥梁形式。

(3)河上视野通透,可以全观大桥风貌;两岸都有沿河大道,故对大桥的造型、平纵面线形、夜景、色彩都提出了更高的要求。

### 2.3 人文历史背景分析

准确把握兴宁的人文精神,溶入桥梁文化之中,使之融景观性、象征性、文化性和统一性于一体,创造出属于兴宁地域特色的桥梁景观。

兴宁是客家之乡、华侨之乡,客家先民继承和发扬了中华民族的优良传统,披荆斩棘,艰苦创业,繁衍生息,在客居地的漫长岁月里,将中原文化与岭南古文化熔于一炉,融铸成具有地方特色的客家精神。客家精神在兴宁人中的表现,可以概括为以下主要几点:(1)刻苦耐劳、艰苦创业的精神;(2)勇于开拓、冒险犯难的精神;(3)崇尚科技、革新创造的精神;(4)爱国爱乡的爱国精神。

## 3 桥梁方案设计总体原则

在桥型方案设计时应遵循以下原则:

(1)在根据地形、地质、路线纵坡要求,满足水利、规划等主管部门对跨河、跨堤的净空要求,选

择合理的主桥跨径布置。

(2)本桥应以打造突出景观造型为目标,景观造型应有深刻寓意,能深刻反映当地历史、人文等特殊文化,也应反映新时代兴宁人精神风貌。丰富城市文化内涵。

(3)在满足承载能力和使用功能的前提下,设计时要考虑桥型与周围景观设计统一。桥型要创新,主体结构要有独特的艺术造型,防止公式化,在统一中求变化。在线条、形体、色彩、质感的运用上应以简为主,加强对比,突出重点和个性<sup>[2]</sup>。

(4)遵循技术可行、经济合理、造型美观的原则,通过桥梁造型、色彩、灯光营造与周边环境和谐相融的意境<sup>[3]</sup>。

(5)拓展桥梁功能,使之具有交通、旅游观光等多功能性。

### 4 主桥方案设计

结合地形、地貌及本桥景观要求,适合的桥型有拱式桥、斜拉桥及梁式桥,考虑到景观需要,将常规的梁式桥排除,以下对拱式桥、斜拉桥两种结构体系的桥梁进行比选。

#### 4.1 方案一蝴蝶拱桥(宁江蝶恋)

本方案采用一孔跨越主河道的中乘式系杆拱桥,跨径组合为(35+75+35)m。见图1~图3。



图1 方案一效果图

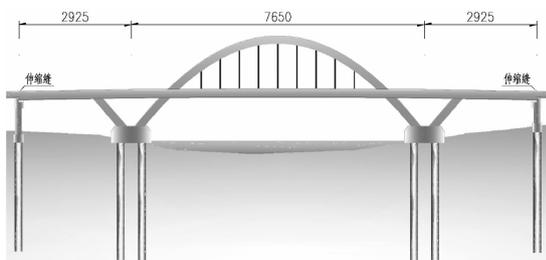


图2 方案一桥型立面布置(单位:cm)

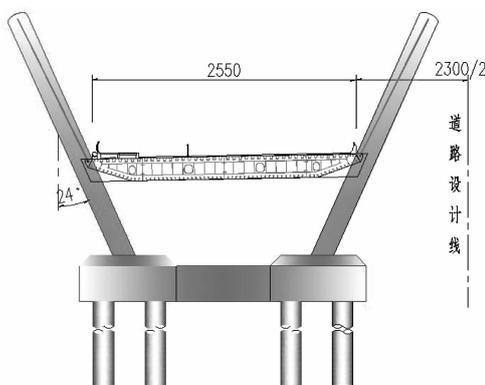


图3 方案一桥梁横断面(单位:cm)

主梁采用钢箱梁,梁高为2.2m。主跨为单箱三室截面,边跨为单箱四室截面。主拱采用直径2m钢管截面,单幅桥两片拱肋均外倾24°,拱轴线采用二次抛物线。拱肋跨径L为55.5m,平面内矢高f为14.8m,矢跨比为1/3.75。

主墩基础采用8根D200cm钻孔灌注桩基础,按摩擦桩设计。承台采用分离式,上设拱座,承台厚3m。迎水面做成弧形,以减小对水流的阻力。承台顶拱座高1.5m,拱座横桥向尺寸为7.3m,顺桥型尺寸为8.5m。承台间设系梁,系梁宽5m,高3m。

本方案结合特有的地形特点,设计了蝴蝶双飞的造型,充满了浪漫主义气息,表达了人们对自由爱情的向往与追求,延伸了城市内涵。另一方面,桥面以上拱圈整体呈“兴”字造型,使两幅桥形成有机整体,兴宁地名蕴含其中,寓意兴旺、安宁。桥梁造型具现代感,与周边规划现代建筑风格相适应,建成后将成为兴宁一景。

#### 4.2 方案二独塔斜拉桥(扬帆起航)

本方案为两孔跨越河道、规划路,将主墩落在南岸堤脚滩涂处。主桥采用独塔双索面斜拉桥,为塔、梁固结刚构体系,跨径组合为(85+50+25)m。见图4~图6。



图4 方案二效果图面

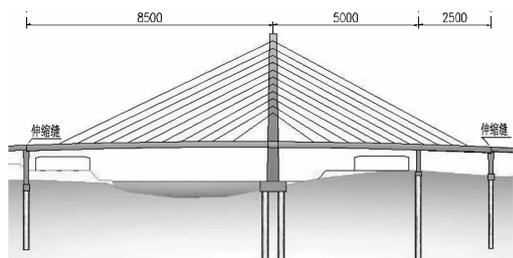


图5 方案二桥型立面(单位:cm)

主梁采用鱼腹式箱梁,单箱四室断面构造。主梁梁高2m,顶板宽27.4m。主梁沿纵向对应拉索锚固点位置设置加劲横隔板。

单幅两侧主塔均向外倾10°,高52m。主塔采用风帆造型,主塔主体顶部宽3m,横向塔宽2.5m;底部宽4m,横向塔宽4m。单个塔上共设11对拉索,主跨拉索索距为7m,边跨拉索间距为7m、5m。每根主塔横桥向外侧均设风帆造型,由竖向直径100cm的钢管和水平向直径80cm的钢管构成。

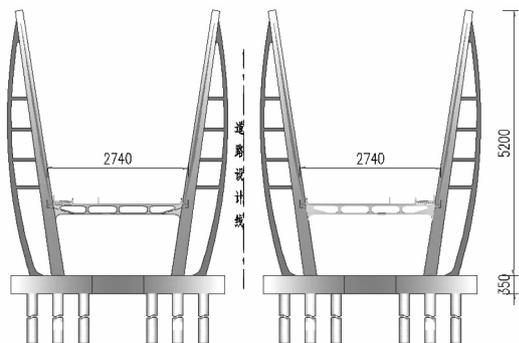


图6 方案二桥梁横断面(单位:cm)

单幅主塔基础采用2个承台,承台间采用系梁连接,单个承台下布置12根D200m钻孔桩,承台厚3.5m。承台平面尺寸15.7×8.9m,系梁宽4m,厚3.5m。

斜拉桥是景观性较为显著的桥型,矗立于桥面系之上的索塔体系十分醒目,是最重要的景观元素和设计要点。本方案将主塔轮廓设计成风帆造型,主梁和墩身则抽象为船体。塔身倾斜使全桥整体宛如一座迎风破浪的大船,寓意兴宁市借南部新城强势崛起之机,扬帆起航,驶向美好的明天。同时也寓意兴宁人民勇立潮头、锐意改革拼搏进取的精神。

### 4.3 方案三葵花拱桥(卧波掠影)

本方案两主墩落于近岸处的水中,采用拱、梁组合体系的上承式葵花拱桥,跨径组合为(40+65+40)m。见图7~图9。



图7 方案三效果图

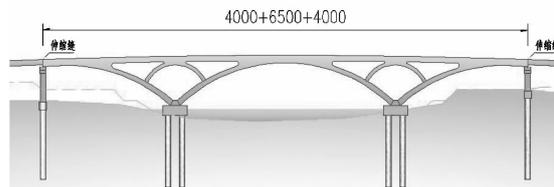


图8 方案三桥型立面(单位:cm)

主桥单幅桥宽25m。拱腿和跨中实腹段段的底缘外轮廓线为圆弧线,矢跨比为1/5。单幅拱腿采用分离式,为矩形截面,单个横向宽6.7m,截面高由拱脚处的1.2m渐变为大节点处的2m。拱上小拱采用1m厚砗板,宽度同拱腿一致。弦杆和跨中实腹段采用箱型截面,截面形式为双箱单室。弦杆梁高1.8m,顶板宽25m,悬臂宽3m。跨中实腹段梁高渐变,由大节点处的4.3m渐变为跨中的2.0m。拱腿按普通钢筋混凝土构件设计,弦杆和跨中实腹段按预应力混凝土A类构件设计。

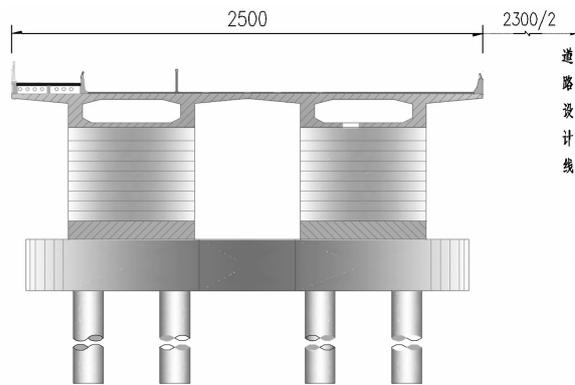


图9 方案三桥梁横断面(单位:cm)

主桥基础采用群桩基础,单个主墩设2个承台,承台间采用系梁相连,单个承台下设8根D160桩基础,桩顶承台作为拱座使上下部结构连接成一体,拱座厚1m,承台厚度2.8m。

本方案立意为“卧波掠影”,采用叠拱的外形,宛如飞雁掠影于宁江之上,又犹如葵花盛开,造型优美简洁。

#### 4.4 桥型方案景观比选

三个方案均采用了新颖的结构形式,时代感强,三方案景观比选见表1。

表1 方案比选表

方案	方案一 蝴蝶拱桥	方案二 斜拉桥	方案三 葵花拱桥
景观比选	造型独特、新颖,寓意较丰富。	立意较为抽象,四根塔柱林立,稍显繁杂。	桥面以上景观效果不突出。

方案一采用了蝴蝶双飞的造型,使之整体形象栩栩如生,令人印象深刻。另一方面,主桥的整体呈“兴”字造型,与兴宁市名称相呼应,寓意振兴、兴旺。桥名蝶恋更是多了一分宁静、浪漫之

意,将城市内涵予以进一步扩展,建成后将成为兴宁又一地标性建筑物。

综合考虑技术、经济和景观性因素,特别是景观性方面,方案一优势明显,因此设计将方案一作为推荐方案。

## 5 结语

桥梁景观的建设成为一种反映城市特色、体现地域文化、展示时代风貌的精神文明建设活动,这给桥梁景观设计提供了广阔空间,同时也对桥梁设计提出了新的要求。本文通过兴旺大桥桥型方案的设计为类似景观桥梁设计提供一个案例参考。

#### 参考文献:

- [1] 王卿,王凯.天津市永乐桥桥梁景观设计[J].武汉:世界桥梁,2010,4:12-13.
- [2] 张涛.浅析城市桥梁景观中的结构造型设计[J].合肥:工程与建设,2006,20(4):334-335.
- [3] 罗治国.城市桥梁建筑美学欣赏与价值分析[J].太原:山西建筑,2010,36(14):307-308.

# 山区高速公路全寿命成本选线研究

丘 燊

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘 要:** 本文依托大潮高速公路项目,主要介绍了在复杂地形条件下山区高速公路路线选线研究,在分析了常规的工程规模及投资对比的基础上,引入道路使用周期内全寿命评价方法,对路线方案从工程投资、营运管理投入、节能环保、社会效益等方面进行深入的分析对比论证和综合选定,为类似地形条件下山区高速公路选线及投资决策提供了一定的参考、借鉴作用。

**关键词:** 山区;高速公路;全寿命;选线;研究

## 0 引言

改革开放三十多年来,我国公路建设发展迅猛,从1988年国内第一条高速公路建成通车到2013年底,国内高速公路通车里程已突破10万km,位居世界第一。随着经济社会发展及国家高速公路网规划“7918网”的逐步实施,高速公路建设重点也由沿海经济发达地区和平原区向地形复杂、经济落后的山区转移,长大隧道及高跨、长跨桥梁占的比例也越来越大,同时高速公路的平均造价也大幅度提高,给高速公路的建设带来很大的挑战。如何选择合理的路线方案、降低造价、减小工程规模和建设风险是当前加快山区高速公路建设的迫切要求。

## 1 工程概况

本项目位于广东省东北部低山、丘陵地貌区,区内地形起伏大,海拔高度在0~1 255.0m之间,受构造影响,山体及沟谷总体呈NW或NE走向,侵蚀切割强烈,多形成“V”字形山谷。该项目为山区高速公路,设计速度为100km/h,路线全长125km,路基宽度24.5m,路线主要技术指标见表1。

## 2 路线方案研究

本项目起点K0~K22路段沿线地势陡峻山

峰林立,路线走向为北西往南东向,与区域内的韩江走向基本一致。受地形和规划影响,路线只能沿河的东岸布线,根据地形、地貌条件和多方案比选,本路段最终拟定了两条大的路线走廊带进行方案比选,一是沿河的低线桥梁方案,二是走山谷哑口的高线隧道方案。路线方案详见图1。

## 3 路线方案比选

本路段路线方案围绕采用高线隧道方案还是低线沿河桥梁方案进行了细致的分析论证,从常规的工程规模及投资角度对比分析如表2。

表1 路线主要技术指标表

序号	项目	技术指标
1	公路等级	高速公路
2	路线长度/km	125
3	设计速度/(km·h <sup>-1</sup> )	100
4	路基宽度/m	24.5
5	平曲线最小半径/m	800
6	不设超高平曲线最小半径/m	4 000
7	最大纵坡/(%)	4%
8	停车视距/m	160
9	凸形曲线一般最小半径/m	10 000
10	凹形曲线一般最小半径/m	4 500

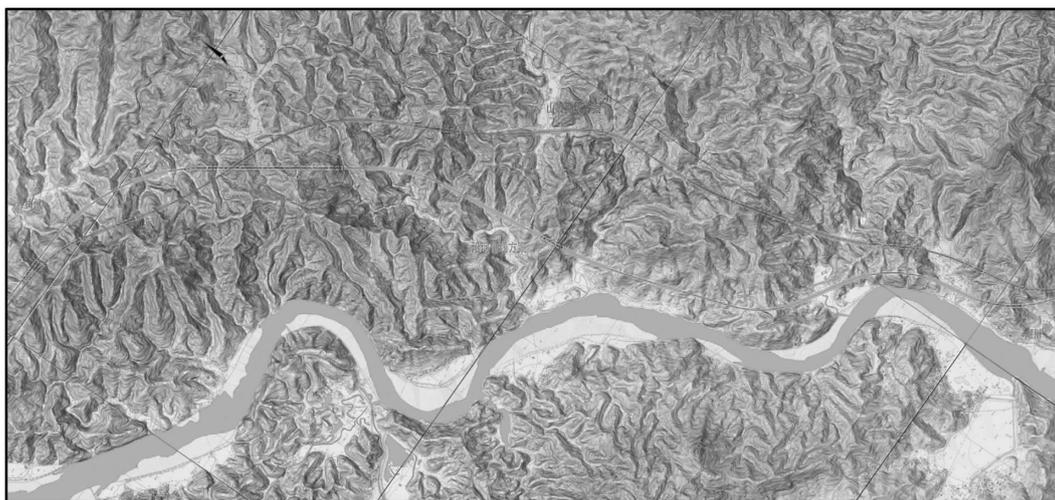


图1 路线方案示意图

表2 路线方案比较表

序号	项目	山岭高线方案	沿河低线方案
1	路线长度/km	21.140	21.45
2	最大纵坡/%/m	3.8/800	4.0/700
3	最小平曲线半径/m	1 000/1	1 000/3
4	计价土石方/1 000m <sup>3</sup>	7447	3481
5	墩高≤20m	38 129	72 012
	墩高≤40m	64 435	37 559
	墩高≤60m	33 320	9 800
	墩高≤80m	12 741	—
6	长隧道 m/座	1 832/1	2 456/2
	中、短隧道 m/座	1 321/4	2 878/7
7	造价/亿元	23.3	25.2

从表2可以看出,采用山岭高线方案较沿河低线方案,虽平纵面线形指标有所降低,隧道规模有较大增加,但桥梁长度特别是高墩桥梁规模及土石方数量大幅度的降低,工程投资减少约2个亿。

按一般山区高速建设经验,路线方案有条件时一般都以沿河线方案作为首选,但本项目由于深“V”山谷地形条件,导致沿河线桥梁规模较大特别是60m以上高墩桥梁占比31%,而山岭高线方案则为8%;隧道方面,山岭高线方案较沿河低线

方案增加的隧道规模主要是中短隧道,从工程规模、技术难度、实施风险上来看,山岭高线方案均占有优势。

#### 4 周期全寿命成本方案比选

为全面评价路线方案的合理性,本项目路线选线引入道路使用期内全寿命成本分析理念,将项目总成本从建设成本,运营维护成本,社会效益成本等几方面对工程建设方案进行深入对比分析,综合评价,为投资决策提供全面的参考。

##### 4.1 长隧道通风及运营费用

考虑长隧道采用流射风机通风方案,山岭高线方案有长隧道2座,共设16台风机;沿河低线方案有长隧道1座,设12台风机,风机功率为45kW,风机按每天工作16h计算,电费按1.5元/度,运营期20年内,山岭高线方案较沿河低线方案耗电费增加约2102万元。

##### 4.2 隧道照明系统及运营费用

隧道洞内照明分为入口照明段、过渡照明段1、过渡照明段2、中间照明段、出口照明段、横通道照明、紧急停车带照明、应急照明和洞外引道照明共九部分;基本照明双侧壁交错布置;基本照明的1/4灯具作为应急照明。经计算,20年运营期内,山岭高线方案隧道照明较沿河低线方案增加约2129万元。

### 4.3 运营里程产生的经济效益

本项目山岭高线比沿河低线短 0.31km, 缩短运输里程产生的经济效益主要为减少汽车运营成本即汽车的油耗量, 为简化计算本次分析所采用的车辆全部为交通量预测的标准小汽车, 油耗按 0.8 元/km 的标准进行。各特征年的交通量和油耗成本见表 3。

表 3 各特征年交通量及油耗成本表

年份	2020	2025	2030	2037
交通量/(pcu/d)	7 506	12 053	17 799	27 607
油耗成本(万元/年)	67.9	109.1	161.1	249.9

### 4.4 全寿命成本分析

综上所述, 在整个建设和运营期内, 山岭高线方案较沿河低线方案节省约 1 535.7 万元, 详见表 4。

表 4 各方案全寿命成本对比表(亿元)

方案	造价	通风	照明	油耗
山岭高线方案	23.3	0.841	0.495	—
沿河低线方案	25.2	0.631	0.282	0.059

## 5 结语

山区高速公路路线方案的选择对工程规模、行车安全、运营管理和投资决策都影响甚大, 如何根据地形条件灵活、全面、合理地选择路线方案是

山区高速公路设计的关键, 本文依托大潮高速公路项目选线研究, 对深“V”型山谷地形条件下, 山区高速公路路线方案的选择, 进行了不同常规的路线方案研究, 并引入周期全寿命成本分析方法, 对拟定的路线方案进行了全面的技术、经济和社会效益分析, 对推荐方案的建设及运营管理价值进行了深入的分析, 为项目投资决策提供了详尽的参考数据, 为我省其它同类项目的方案选择、投资分析提供了有益的借鉴和参考。

### 参考文献:

- [1] 公路工程技术标准(JTG B01-2003). 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 公路路线设计规范(JTG D20-2006). 北京:人民交通出版社,2006.
- [3] 大埔至潮州港高速公路(含大埔至漳州支线)可行性研究报告. 广州:广东省公路勘察规划设计院股份有限公司,2013.
- [4] 公路勘察设计典型示范工程咨询示范要点[Z]. 北京,交通部,2004.
- [5] 霍明. 山区高速公路勘察设计指南. 人民交通出版社,2003.
- [6] 梁志勇等. 广梧高速公路路线方案设计. 公路交通科技,2010年11期(总第71期).
- [7] 卢耀英. 全寿命周期成本理论在高速公路建设方案决策中的应用. 黑龙江交通科技,2012年第6期(第220期).

# 高速公路软土路基处理及沉降观测技术综合评述

李红中,刘祥兴

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司,广州 510507)

**摘要:**软土路基沉降及稳定性是高速公路修筑的重要技术难点之一,这是因为广泛存在的软土路基沉降变形是造成交通事故的重大隐患。为了减小软土路基工后沉降和提高路基稳定性,软基处理成为了软土分布地区公路路基修筑的关键技术。目前,人们针对不同深度软土提出了相应的处理方法:表层软土的处理方法主要有压实加固法、土工格栅法和反压(护道)法、表层排水法、砂垫层法、敷设材料法和添加剂法等;浅层软土的常见处理方法主要有换填垫层法、加筋垫层法、加载预压法、渗沟、砂沟、碎石沟等;深层软土的加固方法主要包括排水固结法、砂石粒料桩井法、化学加固法、刚性桩复合地基法和桩基加固法;现场施工中碰到的局部软弱土层则可采用换填法、抛石挤淤法、新老路基联合处理法和轻质材料处理法。为了掌握软土路基的变形动态,现场必须要对软土地区路基的地表沉降量、地表水平位移量及隆起量、地下土体水平位移、地基内部土体和倾斜度等项目进行观测。随着科技的不断进步,软土路基的处理方法和沉降及稳定性观测技术也得到了不断完善。根据软土路基的实际情况,采取有针对性的方法对软土路基进行处理和变形观测将势在必行,而必要时联合使用某几种方法以互补长处也是一种很好的思路。

**关键词:**高速公路;软土路基;处理技术;观测技术

## 0 引言

当前是高速公路快速发展的黄金时期,地质地理条件和土地资源有限性导致高速公路的选线很难回避软土分布地区。作为公路工程中一种常见的特殊性岩土类型,软土因具有诸多工程不良特性而受到人们的广泛关注<sup>[1]</sup>。理论研究和工程实践综合表明,我国的大多数软土灵敏度高且遭受完全扰动后的强度会降低70%~80%<sup>[2]</sup>,这导致诸多软土地区高速公路的路基都面临了路面整体沉降<sup>[3,4]</sup>、开裂<sup>[5]</sup>、凹凸变形<sup>[6]</sup>、伸缩缝<sup>[7]</sup>、桥头跳车<sup>[8]</sup>和麻涌<sup>[9]</sup>等病害。随着经济的发展,公路工程的数量在取得巨大进步的同时,工程质量及行车的舒适度等也愈发受到人们的重视。由于软土路基的病害影响了车速、乘员舒适度、车辆磨损速度和公路破坏速度等,理论研究和工程实践均予以了软土路基的处理及沉降观测大量的关注<sup>[5,8-18]</sup>。鉴于此,本文对公路软土路基的处理及沉降观测等关键技术的研究成果进行了系统梳理,旨在为软土路基关键修筑技术的完善及应用提供借鉴。

## 1 软土路基沉降

软土(即软弱粘性土的简称,也称软粘土)包括淤泥、淤泥质土(如淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土、淤泥混砂土)、有机土、腐殖土和泥炭<sup>[1,2]</sup>,它是一种从软塑到流塑状态的粘性土系并归属于静水或缓流环境中沉积作用和生物化学作用共同参与的产物<sup>[2]</sup>。在工程分类中,软土属于细粒土中的高、中塑性粘性土,该类型的土长期处于饱和状态且孔隙中充满水分<sup>[19]</sup>,具有天然含水量高、塑性指数大、显著流变性、抗剪强度低、孔隙比大、压缩性高、渗透性低等工程不良性质<sup>[1,20-25]</sup>。软土的分布范围广泛且形成环境复杂,它可根据沉积环境大致划分为山地型软土、平原型软土、滨海型软土和沼泽型软土四个大的类型<sup>[2,21,26-28]</sup>。

软土路基是指修筑于软土之上的路面基础构造物,它可以进一步划分为路堤(填方路基)和路堑(挖方路基),其具有强度低、变形量大、变形持续时间长、含水量高和透水性差等特点<sup>[2]</sup>。研究和实践均表明,外荷载作用下的软土路基沉降存在瞬时沉降、固结沉降、次固结沉降三个沉降阶

段<sup>[29]</sup>,它们在时间上可划分为施工沉降(即填筑体填筑施工过程中的沉降)和工后沉降(即填筑体施工结束后的工后沉降)<sup>[30]</sup>,在空间上可划分为地基的沉降(即软土地基在包括上部填筑体自重应力的变化荷载作用下的固结沉降)和构筑物的沉降(即路堤填筑体本身在分级加载下的自重压密沉降)<sup>[30]</sup>。为了减小软土路基的工后沉降(即路面设计使用年限内残余沉降)和提高路基稳定性,人们在施工中势必要采取必要的方法对软土路基进行处理,同时还需开展变形观测工作来评价软土路基处理方法效果的优劣并指导下一步的工作。因此,软土路基的处理及变形观测构成了公路软土地区公路路基修筑的关键环节,它们得到了理论研究和工程实践的广泛关注。

## 2 软土路基处理技术

软土路基可根据淤泥分布的深度划分为表层、浅层和深层三类,其中尤其以山区浅层软土地基和沿海深层软土路基处理最为广泛。工程实践表明<sup>[31,32]</sup>,软土路基极易发生沉降并导致公路受损,这使得软土路基的沉降控制成为了软基处理的首要工作,即开展软土路基处理是确保路基(尤其是路堤)稳定性和工后沉降(或叫基准期残余沉降)满足使用要求的必须工作。在实际工作中,常常将几种互补的方法同时使用以提高处理效果或控制排水固结速率,亦或是在某种主要处理方法的基础上辅以其它方法来加强效果。

### 2.1 表层软土

表层软土是浅层软土的一部分,表层软土处理方法的针对对象通常为承载力不足的地表极软弱土。通过对软土进行处理,可以有效的提高地表强度、防止局部地基变形、均布填土荷载并保证施工机械的正常作业。目前,常见的表层软土的处理方法主要包括土工格栅法、反压(护道)法、压实加固法、表层排水法、砂垫层法、敷设材料法和添加剂法等,其中最常见的方法为<sup>[33,34]</sup>:

(1)土工格栅法。土工格栅加固路基的方法是指在表层存在软土的地基上修筑路堤时铺设一

定量的土工格栅,待铺设土工格栅后再进行填土压实处理。该方法属于机械式的土体加固方式,可以有效的加固土体但并未改变填料的基本性状(如颗粒成分和相互连接等)。从力学的角度分析,土工格栅法对软弱土体产生网兜效应、侧向约束作用和摩擦作用进而实现对软土路基的加固。与具有类似相同功能的材料相比,土工格栅具有尺寸稳定性好、强度大、耐腐蚀、模量高、耐热及耐寒性高和膨胀系数低等特点。通过铺设土工格栅,可以有效的提高地基及填土的强度,降低不均匀沉降、增强土体整体性和阻止土体破坏面的形成。

(2)反压(护道)法。反压(护道)软基处理方法是“为防止软弱地基产生剪切、滑移而影响路基稳定性,对积水路段和填土高度超过临界高度路段的路堤单侧(或两侧)填筑具有一定宽度和厚度的土体起到反压作用”。该方法的处理对象为施工中达不到滑动破坏安全系数要求的路堤(填筑高度超过极限高度1.5~2倍以内的路堤)<sup>[34]</sup>,施工时需要在填筑主路堤之前首先开展包括反压护道在内的砂垫层及路堤的填筑,护道的宽度一般为路堤高度的30%~50%。在路基沉降满足要求的前提下,采用反压(护道)可以加强路基的稳定性,尤其适用于施工期间路堤失稳的应急处理和修复。虽然反压(护道)对提高路堤的稳定性效果明显,但同样需要额外增加土石方和用地。实际工作中,反压(护道)的方法多与其它方法配合使用,也可以在山区高填土路段单独使用。通过与土方调配相结合<sup>[33]</sup>,反压平台也可作为后面运营期间的工作场地加以利用。

(3)压实加固法。表层压实加固法的主要处理对象是地表浅层砂土或亚粘土等软弱土层<sup>[35]</sup>。工程实践表明,该方法处理表层软土的效果主要取决于含水率、土质、压实机械性能、分层厚度以及压实遍数。压实土的含水率控制在最佳含水率左右效果最好,对于含水率偏大的软土需要采取拌石灰吸水或晾晒等方法进行预压处理及分层压实。

(4)表层排水法。表层排水法是指为保障施工机械通行,填土前在地表面开挖横向和纵向沟槽排水的软土路基处理方法。通过开挖横向和纵向沟槽,可以加速地表水的排除和地基表层含水率的降低。表层排水法的主要目的是减少路基沉降和提高路基稳定性,该方法主要在软弱土层不太厚且换填措施受限制时使用。工程实践表明,该方法主要针对含水量过大导致较好土质形成的软土。沟槽包括渗沟、砂沟、碎石沟等,其尺寸一般取宽0.5m和深0.5~1.0m,布置需满足利用地形自然坡度排水,避免四周挖方部位的地表水和渗透水浸入填土部位。将这些开挖的沟槽在施工中回填透水性好的砂砾或碎石可形成较好的盲沟效果。若沟槽内埋设多孔排水管时,必须用优质反滤层加以保护。

(5)砂垫层法。砂垫层法是指在软土地基上敷垫0.5~1.2m左右厚的砂垫层固结软土层的软土路基处理方法,该方法主要针对地基上部极薄且含水量大的软土层。砂垫层可以兼具“下部软土”的上部排水层和“上部填土”的地下排水层功能,同时在进行填土及地基处理施工时也可施工机械提供通行条件。如采用机械施工,在确定砂垫层厚度时需要考虑机械的重量、轮胎对地面接触压力、偏心程度及软土地基表层强度等。如果仅利用砂垫层确保大型施工机械的通行,在极软地基上因需要的砂垫层较厚而并不经济,这就需要与表层排水或敷垫材料等方法联合使用。由于砂垫层内的排水距离不能太长,填土面积大、排

水距离长并可能有多处地下水渗出时应同时辅以设置盲沟的方法。

(6)敷垫材料法。当施工机械通行能力受到影响时,利用所敷垫材料的抗剪和拉抗力来增强的软土路基的强度以满足施工机械通行的软土路基处理方法即为敷垫材料法。该方法主要针对不均匀的地基土层,这些土层极易发生局部不均匀沉降和侧向变位。目前,敷垫材料主要有化纤无纺布、土工布、玻璃纤维格栅等,它通过均匀支承填土荷载、减少地基局部沉降和侧向变位来提高地基的支承能力。敷垫材料的选择取决于地基表层强度、施工机械重量和填土荷载尺寸大小等,敷垫材料四周应超过填土边缘、端部卷入填土内且上面用填土压紧,含砾石时需注意避免敷垫物的损坏。

(7)添加剂法。添加剂法是指在表层粘性土内渗入添加剂以改善地基的压缩性能和强度特性的软土路基处理方法,该方法可提高填土稳定及固结的效果进而保证施工机械正常通行。常见的添加材料包括生石灰、熟石灰和水泥,其中石灰类添加材料可通过现场拌和或工厂拌和。添加材料除了降低土壤含水量、产生团粒效果外,还对被固结土产生化学性固结作用并促进土体稳定性。值得注意的是,生石灰消解期间进行碾压效果较差,这是因为消解过程中存在体积膨胀。因此,在固结时要充分掌握发热温度并准确判断消解结束时间。目前主要的添加材料配比详见表1,其中采用水泥或熟石灰处理时还需要注意固结和养生。

表1 添加材料的类型、成分及特点(据文献<sup>[36-39]</sup>)

添加材料类型	主要成分	特点
改良土 <sup>[36,37]</sup>	利用现场地基土掺和一定量的石灰构成添加材料,一般含灰6%。	施工方便,造价低
石灰土 <sup>[38]</sup>	利用黄土掺和一定量的石灰构成添加材料,一般含灰10%~12%。	造价较改良土更高
水泥稳定土 <sup>[39]</sup>	利用黄土掺水泥构成添加材料,一般含水泥3%~5%。	①优点:不需太长的养生时间就能使地基固结板结达到施工要求的强度;②缺点:造价较贵;③使用条件:仅在在秋冬季雨天施工时和工期短时不得已时采用。

## 2.2 浅层软土

浅层软土是山区坡洪积、冲积和湖积的产物,这些软土的土层厚度一般较薄。工程实践表明,浅层软土处理后的工后沉降要求极易满足,但山区高速公路因路基填土高并与沟谷底部形成的坡度影响路基稳定性,这也就使得控制稳定性成为了山区浅层软土路基处理的主要任务。综合前人研究和工程实践成果<sup>[33]</sup>,浅层软土的处理方法主要如下:

(1)换填垫层法。地表的饱和淤泥质粘土通常要求采用换土垫层法(即挖后换填透水性材料),其中垫层厚度通常介于0.5~3m。目前,透水性材料主要包括砂(砾)土、碎石、石碴、矿碴等,而一般的合格填土也可以在排水条件好的时候被用作换填材料。工程实践中,换填方法处理的软土层厚度通常在小于3m时经济合理,但是否选择该方法需要结合实际情况而不必完全受限于3m的深度。在实际工程中,从横坡较大的沟谷区路堤外侧起坡换填软土时超过10m深的软土也可以用换填方法来处理<sup>[33]</sup>。值得注意的是,采用风积砂对软土地基进行分层填筑时,填筑的宽度 $b \geq 1\text{m}$ 且两侧用天然砂砾的含泥量 $< 50\%$ 。在路基拓宽工程中,老路路堤未采用换填方案且厚度小于3m的软土一般难以采用换填方案。

(2)加筋垫层法。加筋垫层法处理软土地基时的常见方法包括加筋碎石垫层法和换土加筋垫层法,该方法适用于处理浅层淤泥、淤泥质土及冲填土等软弱地基。采用此方法进行软土路基处理时,垫层厚度通常介于0.5~3m。作为地下水位较高、表层软土松湿地带(如山间谷底等)浅层软土常见处理方法,加筋法宜选用受力时伸长率 $\delta > 4\% \sim 5\%$ 、抗拉强度 $\sigma_b < 30\text{kn/mm}^2$ 、耐久性好、糙度大的土工格栅或其它材料<sup>[40]</sup>。实际操作中,在路基底部设置水平排水垫层,同时采用土工布、土工织物或土工格栅分层型隔路堤或包裹覆盖堤身,该方法可以较好的调整不均匀沉降或加强路基稳定性。工程实践表明,这种处理方法主要用于软土较薄、路基填土不高和计算沉降可以略超

过规范要求时的软土路基,但是当垫层下地基持力层土的压缩模量低于2.5mPa时往往并不适用。

(3)加载预压法。加载预压法需要采用比路堤荷载重或接近的荷载预压地基(超载大小可控制地基固结速率),也可结合塑料排水板(土中孔隙水在受压时会顺着板中深沟向上排至地面以外)或砂井竖向排水。等载预压(即利用路堤本身重力作为外加荷载)是高速公路常见的预压方式,当预先施加的压力比实际路堤重量更大时称为超载预压。当等载预压难以满足沉降提前到位的要求时,往往采用超载预压以缩短工期和减小工后沉降。近年来,一些工程实践为超载预压法累积了一定的参考技术标准<sup>[41,42]</sup>,但因该方法中额外土石方卸载后将作为废弃物而很难广泛使用。

## 2.3 深层软土

沿海地区的软土通常比较厚且埋深较大,高速公路的软基处理以深层处理为主。据此,沿海高速公路软基处理的主要目标为满足沉降要求和路堤整体稳定性<sup>[33]</sup>。综合前人研究和工程实践成果<sup>[33,43]</sup>,深层软土的处理方法主要如下:

(1)排水固结法。排水固结法处理深层软土是节约工程造价的良好方法,该方法使用的前提是工期要求要满足预压时间。实践表明,仅设置地表水平排水垫层可以在基准期残余沉降满足要求时使用,深层软土路基处理在时间有限时可以通过设置竖向排水体和顶部的水平排水通道加快软土固结速度<sup>[44]</sup>,尤其是竖向排水体(如砂井和塑料排水板)的性能及施工质量是决定预压固结固法的关键。竖向排水体的关键是“保证应有的长度”和“长久排水功能”,尤其是(高通水量)塑料排水板具有对土体扰动小、施工快捷、方便等特点而具有明显优势,最大有效处理深度可达18m<sup>[34]</sup>。当工期比较紧时,可采用预压法加速排水和固结沉降,其中:①加载预压法一般需要同时结合井点降水和水平排水垫层等以改善上层土质;②通过塑料排水芯板和砂井的竖向排水功能相结合可加速深层土层的固结;③真空(联合堆载)预压法<sup>[45,46]</sup>和劈裂真空预压法<sup>[24]</sup>在加快填土速度和

缩短施工工期时最为有效但要求加固土层范围不能存在与外界连通的强透水层。

(2)砂石粒料桩井法。砂石粒料桩井法是指桩身采用砂、碎石、钢渣砂等无粘结散粒材料或袋装砂井,配合地基表面砂垫层排水和填土等进行超载预压以促进地基排水固结、提早完成沉降。砂桩或碎石桩属于挤土桩并以“施工振动”和“挤土效应”为关键选择因素,该方法常用于挤密素填土、粘性土、粉土、杂填土和松散砂土等地基。用砂桩处理路基软土时,稳定性计算往往需要考虑桩的置换作用及软土强度的增加,但进行沉降计算时需要按照排水固结法进行。工程实践表明<sup>[33]</sup>,桩进入持力层的深度 $h \geq 50\text{cm}$ ,施工之前需要在地层分布明确的位置进行振动电流变化的对比,而正式施工中需要严格按照电流变化进行施工控制。袋装砂井法是指将装实粗砂、中砂的直径70cm塑料编制袋直接打入土中,该方法尤其要注意砂袋的直径变化、插入长度并注意防止袋装砂井拉断,当需要砂井的长度很大时可考虑采用塑料排水板或类似的复合排水体代替。值得注意的是,碎石桩作排水通道时应注意特定级配,不能在临近地下管线或居民区的工程中采用。粒料桩井法对于饱和软土具有置换作用和竖向排水作用,适用于软土厚度超过5m且地基承载力不足的松散砂土、粉土、粘性土、素填土、杂填土和对变形控制要求不是很严格的饱和软粘土地基工程(对十字板抗剪强度小于10kPa的饱和软粘土地基应谨慎选用)。

(3)化学加固法。化学加固法适用于深度20m以内的软土,具体包括针对液状材料为加固料的高压喷射灌注技术加固法和以粉体材料作加固料的粉体喷射搅拌技术加固法:

①高压喷射灌注加固法。高压喷射灌注法是通过钻机(单钻杆或双钻杆)将高压状态下的药液材料喷注到土体内。目前常用的注浆药液材料见表2,这些药液借助高压作用渗透到土颗粒间的孔隙内,它们与土颗粒混合后产生凝胶作用,最终形成透水系数很小且具有增加土体强度效果的不透

水层,该不透水层可以起到截水堵漏的作用。值得说明的是,应用化学法加固软土地基需要通常先通过试验和现场经验来确定相关参数,这些参数涉及被加固地基的基本性况和加固材料的性质、配比及用量,具体实践中的各种细微差异都会直接影响加固效果。

表2 高压喷射灌注加固法的药液材料(据文献<sup>[43]</sup>)

材料类型	成分
水泥系	水泥悬浊液、水泥加砂浆、水泥加速凝剂等
水泥系药液	水玻璃加水泥系、水玻璃加矿渣加水泥系等
药液系	水玻璃系酸性、碱性凝胶化物质和金属盐类
高分子系	尿素系、丙烯酰胺系等

②粉体喷射搅拌加固法。该方法运用较为广泛,生石灰、水泥、粉煤灰、水硬性膨胀粉、干氢氧化铝粉等均可以作为喷射搅拌技术加固软土地基的粉体加固料。以水泥搅拌(桩)法为例,它根据施工的工艺不同可分为水泥浆搅拌和粉体喷射搅拌两种<sup>[47]</sup>,其中后者即属于典型粉体喷射搅拌加固法。粉体喷射搅拌加固的水泥搅拌桩与桩间土共同构成复合地基来改善地基承载力,该方法通过用注浆泵将水泥等固化材料的浆液经输浆管送到搅拌头并从喷浆叶片小孔喷出,搅拌头在地基深处就将水泥浆与地基土拌合并经物理化学反应发生硬结形成柱状固体<sup>[48]</sup>。水泥搅拌(桩)法的工程质量控制的要求相对较高,因而主要用于处理公路工程路基与构筑物过渡段的软土路基<sup>[33]</sup>。前人研究表明<sup>[49]</sup>,保证水泥土强度条件下的搅拌桩复合地基路堤填筑应在搅拌桩龄期达到28天后进行,粉喷桩和浆喷桩的无侧限抗压强度与水泥掺入比、龄期呈正相关关系,但与水灰比呈反相关关系,粉喷桩优于浆喷桩且干法施工优于湿法施工。工程实践表明<sup>[48]</sup>,双向水泥搅拌桩工艺其成桩质量明显优于单向搅拌工艺,尤其是在软土工程性质较差、特别是有地震液化层的软土地基处理中效果最为明显。近年来,人们开发了钉形搅拌桩<sup>[50]</sup>、粉喷桩与排水板有机结合的2D

法、长(排水)板短(搅拌)桩法、顶部扩大的钉形搅拌桩等<sup>[24]</sup>,这些都构成了水泥土搅拌桩复合地基的重要发展方向。

(4)刚性桩复合地基。刚性桩(如CFG桩、PHC管桩、PCC管桩、素混凝土桩、注浆碎石桩、塑

料套管灌注桩等)复合地基是指桩和土共同承担上部填土荷载<sup>[24]</sup>,但桩和土二者在物理上并未形成一个整体,该方法主要用于深度超过20m的深厚软土地基。高速公路工程中最常用的刚性桩主要有四类<sup>[33]</sup>,施工工艺及特点详见表3。

表3 常见刚性桩复合地基的施工工艺及特点(据文献<sup>[33]</sup>)

类型	施工工艺	特点
预应力混凝土薄壁管桩(PTC桩)	通常采用“施工速度快、无振动、无噪音”的静压施工法施工,无需穿透硬夹层时可不使用桩尖。	具有桩材质量好、施工快、工程地质适应性强、场地文明等优点,运用最广泛。
水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)	用成桩机将碎石、石屑、粉煤灰、水泥通过加水拌和形成的可变粘结强度的桩型,其施工工艺包括“沉管灌注式”和“长螺旋钻孔管内泵压式”。	它主要在填土高度不太高和软土厚度不太厚的条件下使用。
小直径钻孔灌注混凝土桩	通过机械钻孔在地基土中形成桩孔,在孔内放置钢筋笼、灌注混凝土形成的小直径桩。	优点:无挤土效应、场地适应性强且桩身质量可靠;缺点:价格昂贵;适用条件:“对挤土效应需要严格控制”或“采用其它方法时施工受干扰”的地段。
振动沉模现浇混凝土薄壁大直径管桩(PCC桩)	利用沉腔上部锤头的振动力将内外双层套管所形成的环形腔体在活瓣桩靴的保护下打入预定的设计深度,在腔体内现成浇注混凝土,之后振动拔管,在环形域中土体与外部的土体之间便形成混凝土管桩。在形成复合地基时,在桩顶设置褥垫层形成现浇薄壁管桩复合地基。	结合了预应力管桩和振动沉管桩等技术的优点:桩体表面积大提高了桩的摩擦力和承载力,节省大量混凝土并降低造价;做为刚性桩,其环体与外土体构成复合地基进而提高了地基承载力;其设计方法、施工工艺及其质量检测方法已形成规范。

(5)桩基加固法。桩基加固法<sup>[43]</sup>是将加固料填入软土路基中制孔机械设备所钻成的钻孔中制成桩,这些桩和软土构成复合地基(即加固料和土体共同作用以增加地基承载力)。根据填入孔中加固料进行划分,目前常见桩基加固法的桩包括碎石桩、生石灰桩、挤密砂桩等,桩基加固法的主

要类型、施工工艺及机理详见表4。此外,还有粉煤灰柱桩和侧向约束桩(木排桩、钢筋混凝土桩)等。在上述桩基加固法中,尤其以生石灰桩的效果最为明显,该方法加固后的软土地基沉降量大减小,因而沉降要求严格的情况下使用生石灰桩最为常见。

表4 桩基加固法的主要类型、施工工艺及机理(据文献<sup>[43]</sup>)

类型	施工工艺	机理	备注
碎石桩	碎石桩的直径一般为80~90cm且桩长视软土层厚度而定并按梅花或方形排列,具体包括锤击式碎石桩、预配式碎石桩和振冲碎石桩等工艺类型。	当地基受到外荷载作用时因碎石桩的变形模量较大而集中于桩上(桩体应力要比土体应力通常高3~5倍)。	尤其以振冲碎石桩操作简单、施工方便、成桩效率高而被广泛采用。
挤密砂桩	在软土地基已经制成的孔中灌入中、粗混合砂料或砂与角砾的混合料,以振动或冲击方式挤密形成砂桩。	桩与该过程中挤密的软土层形成复合地基。	当在约束力很小的超软土层中进行挤密砂桩施工时,若置换率很大时应避免产生地面隆起和侧向挤出,如果发生这些情况时将采用摩擦力较大的回填材料(如砂和角砾)和间隔挤密法处理。
生石灰桩	生石灰桩加固软土地基的是将粒径2~5cm的生石灰块填入预先在软土层中冲好的孔眼中形成石灰桩地基。	生石灰吸收土体中孔隙水导致软土含水量降低,生石灰吸水后体积膨胀并挤密土体。	生石灰与土体通过离子交换和胶凝作用改善了土的物理、力学性能和结构进而提高了土体的强度。

## 2.4 局部软土

在现场施工过程中经常碰到局部地段一定范围内存在软弱土层致使地基承载力达不到设计要求。当埋深3m以内的局部软土可采取换填的方法进行处理,鱼塘和常年积水的洼地中表层无硬壳的薄层(厚度为3~4m)软土(或泥沼)可采用抛石挤淤法处理,路堤底部地面上铺设一层0.6~1.0m砂层作为排水面引导荷载增加导致软土地基排水固结渗出的水。在山区沟谷内,一些有别于典型软土的极为软弱的土层需要提高路基稳定性,这种状况一般可采用挡墙(浆砌、片石混凝土、干砌)、桩基挡墙、片石垛等措施进行加固。

路基拓宽工程的软土地基处理需充分考虑老路基的处理方法。对于路基加宽工程<sup>[51]</sup>,常见的处理方法包括开挖老路基以扩大新建路基的软土处理范围、新老路基结合处铺设土工材料(如土工格栅)以提高整体降、新路堤的填筑需综合区域料源和老路堤的填筑材料合理选择填筑材料(土石混合料、砂砾、粉质土、粉煤灰和轻质填料),而采用间隙法<sup>[52]</sup>(Gap-method)填筑处理软土路基对路基加宽工程具有极好的效果<sup>[53]</sup>。

表层含水率大且抗剪强度低的深厚软土地基可利用轻质材料来处理。实践表明,常见的轻质材料包括粉煤灰、EPS块体(聚苯乙烯泡沫塑料,Expanded Polystyrene的简称)轻质土、EPS夹层轻质土和泡沫塑料颗粒混合轻质土(SLS)等,这些材料昂贵并主要用于处理有限范围内的软土路基。工程实践表明<sup>[33]</sup>:用量受限制致使粉煤灰的规模不大,EPS这类超轻质填料的造价昂贵且耐久性暂不确定,泡沫轻质土主要用于软土路段的桥头及挡墙位置减轻路堤填土重量且价格也较高。

## 3 沉降观测技术

软土地基上修筑高等级公路最关键的问题是如何控制路堤的稳定性与沉降量,这是因为路基的沉降变形存在造成交通事故的重大隐患。确保满足路堤的稳定性与沉降量要求需要准确掌握路堤的变形动态,这就要求对软土地区路基的地表

沉降量、地表水平位移量及隆起量、地下土体水平位移、地基内部土体和倾斜度四个项目进行观测<sup>[54]</sup>。工程实践表明,开展路堤施工沉降量观测是软土路基修筑的关键环节并具有如下实际意义<sup>[54]</sup>:①实测数据是确定填土速率控制的根本依据,这是保证路堤在施工中安全性与稳定性的重要条件;②实测数据的曲线可以用来预测工后沉降和确定施工期(构造物和路面结构),保证工后沉降能控制在设计允许的范围;③施工计算需要以实测路堤沉降数据为依据。综合前人研究成果<sup>[2,54,55]</sup>,目前软基施工常用的沉降和稳定性观测内容详见下文。

### 3.1 沉降观测

软土路基的沉降包括地表和深层两个层次<sup>[2]</sup>,它们都是重要的观测内容。目前,地表的沉降观测装置主要包括“水准仪、沉降板和水准点”三部分。沉降板由沉降底板、沉降杆、保护套管和套管帽等部件组成。沉降观测的水准仪及对应的读数方法随着观测要求而不同,其中:①特级、一级沉降观测采用光学测微法观测,主要采用因瓦合金标尺和DSZ05或DS05型水准仪;②二级沉降观测采用光学测微法观测,主要采用因瓦合金标尺和DS1或DS05型水准仪;③三级沉降观测可采用“区格式木质标尺和DS3型仪器”并按中丝读数法观测或“因瓦合金标尺和DS1、DS05型仪器”并按光学测微法观测。工程实践中,有时还可能通过深层沉降观测来确定地基土的有效压缩厚度及各成层土的变形特征,而相应的深层沉降观测多采用CFC-1型分层沉降仪(由导管、磁环、测头和信号指示系统组成)和波纹状塑料管钻孔沉降仪(由波纹状塑料管导管、磁环、测头和信号指示系统组成且磁环直接套于管外)。水准点应设置在不受垂直和水平向变形影响的坚固地基上或永久建筑物上,其位置应尽量满足观测时不用转点的要求。

### 3.2 地表水平位移量及隆起量观测

由于地表水平位移量和隆起量是确定合理加载速率的依据,在软土地基的加载过程中开展地

表水平位移量及隆起量的观测将有助于分析路基整体稳定性和确保路堤施工的安全和稳定<sup>[54]</sup>。实际观测中,边桩埋设在路堤两侧趾部以及边沟外缘以外10m内,同时还需要结合稳定性分析所预测的可能滑移面与地面的切面位置来共同确定观测范围。关于边桩的设置,趾部以外还需要各设置2~3根位移边桩,而同一观测断面的边桩需要埋设在同一横轴线上。始位置的测定在边桩埋设后立即进行,之后按1次/3d的频率再填土施工期间观测边桩位移值并记录相邻场地的填土高度。在恒载预压期内,连续观测2周后如果位移收敛则可以停止边桩的地表水平位移量及隆起量观测工作。

### 3.3 地下土体水平位移观测

路基填方体侧向挤出造成的沉降量路基占总沉降量的1/4以上<sup>[56]</sup>,这充分反映了路基填筑过程中水平位移观测的重要性。在路基水平位移的观测,深层地基的水平位移是控制和评价路堤稳定性的重要参数<sup>[57]</sup>,即地下土体水平位移观测将有助于掌握分层位移量和推定土体剪力破坏的位置<sup>[54]</sup>。地下土体水平位移测试的仪器为测斜仪,其中常用的型号为DIS-500数字式测斜仪。工程实践表明<sup>[54,58]</sup>,DIS-500数字式测斜仪可精确测量沿垂直方向或围护结构内部土层的水平位移。路堤内部土体深层水平位移观测的常用仪器为活动式测斜仪,测量之前要先将含有四个相互垂直导槽的测斜管提前埋入土体中。测量过程中,通过将活动式测头放入测斜管并使测头上的导向滚轮卡在测斜管内壁的导槽中沿槽滚动,该测头可连续地测定沿测斜管整个深度的水平位移变化。值得说明的是,测量过程中需要对测斜管导槽方位、管口坐标及高程进行同步测量,同时还要同步做好孔口保护和记录工作。

### 3.4 地基内部土体观测

地基内部土体观测的仪器包括孔隙水压力计、水位计和土压力盒<sup>[59]</sup>,测试结果可以反映软土在堆载作用下的超静孔隙水压力的上升、消散过程<sup>[54]</sup>。通过地基内部土体观测,这可以为推算固

结系数和固结度及指导施工提供基础。实际工作中,水位观测主要通过LY-2水位计和探头来完成<sup>[58]</sup>,即在孔隙水压力计观测点附近预先设置自由水位观测孔,观测时可将探头放入自由水位观测孔内观测水位高程。孔隙水压力计采用钻孔法埋设,埋设时的孔隙水压计应紧密贴近测点土层,埋设关键是封孔以隔断水压计上下水源。采用干燥的膨胀土或黄土球封孔密闭,使测点土层孔隙水和土层孔隙水完全隔绝。此外,还需要利用施工控制点作为位移观测控制点,同时还需要定期校核观测控制基点。

### 3.5 测斜观测

测斜是指使用测斜仪观测土体内部水平位移<sup>[60]</sup>。对软土地基而言,利用测斜仪观测地基水平变形可进而获得不同深度的变形,便于对地基变形进行分层研究。测斜仪包括便携式测斜仪和固定式测斜仪,前者在目前应用最广并包含垂直测斜仪和水平测斜仪两种。目前,常用的测斜仪有CX-01型数字显示测斜仪<sup>[2]</sup>,该测斜仪主要包括测头、电缆、测读仪和充电电源。将导管预埋在被测土体内部,导管方面应面对准预测斜方向。测斜导管的内壁开有导槽,导管的内径为40~70mm。使用数字垂直活动测斜仪探头、控制电缆、滑轮装置和读数仪来观测测斜管的变形。通过绘制观测曲线指导施工,其基本原理为利用观测曲线揭示地基的滑动趋势与滑动面的位置。

## 4 结语

软土路基分布广泛并伴随了大量的病害发生,这使得软土路基成为了高速公路建设中的主要难点之一。为了减小软土路基的工后沉降和提高路基稳定性,软土路基处理的关键技术成为了人们关注的焦点。为了处理不同深度范围的软土路基,人们将软土按深度划分为表层、浅层和深层软土并提出了有针对性的处理方法。通过对软土路基开展沉降及稳定性的观测,路堤在施工中的安全、稳定性及施工进度得到了准确保障。随着研究的不断深入,软土路基处理的关键技术得到

了不断的推进,而软基沉降的观测技术也日趋精确。尽管现有的软土路基基底加固方法非常多,但各种方法都具有各自的优缺点。现实中,往往需要通过自然环境、试验确定物理力学性能、经济条件、技术及施工条件等,工程地质条件比较复杂或是对工程有特殊要求时可联合采用两种或两种以上的加固方法。

#### 参考文献:

- [1] 杨顺安,冯晓腊,张聪辰. 软土理论与工程[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [2] 陈天翔. 岳阳松阳湖港区软土地基沉降观测及沉降预测研究(硕士学位论文,导师:刘晓平)[D]. 长沙:长沙理工大学,2009.
- [3] 朱得华,梁斌,李治国. 软岩隧道掌子面挤出与拱顶沉降变形相关性[J]. 河南科技大学学报(自然科学版). 2013, 34(03): 68-73.
- [4] 李立,马秉务,薛祥. 北京某高速公路软土段高填方路基沉降计算及地基处理方法分析[J]. 工程勘察. 2010, (S1): 242-247.
- [5] 傅波,王桂尧. 路基差异沉降的形成原因及对路面开裂的影响分析[J]. 中外公路. 2006(03): 39-41.
- [6] Dayong H, Ai Y, Hu J. Finite Element Analysis of Influence of Soft Clays Creep Deformation on Highways Roadbed Settlement and Widening Engineering[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences). 2014, 36(2): 56-62.
- [7] 陈永昌. 粉喷搅拌桩施工工艺[J]. 交通世界(建养.机械). 2012, (07): 122-123.
- [8] Zhao H, Hui Z, Lin J. Study on Soft Foundation Settlement Analysis and Treatment of Bridge-Head[J]. Advanced Materials Research. 2013, 779-780: 632-635.
- [9] 曹利凌. 车辆荷载作用下道路-软土地基结构体系动态响应分析(硕士学位论文,导师:王俊刚)[D]. 青岛:青岛理工大学,2014.
- [10] Peng X, Wang Z, Yu M. A Soft-roadbed Settlement Prediction Model based on RBFNN[J]. Advanced Materials Research. 2013, 639-640(1): 535-538.
- [11] Xie L, Wang X, Zhang M. Analysis of consolidation for soft lying-layer soil of roadbed[J]. Journal of Central South University (Science and Technology). 2012, 43(11): 4426-4432.
- [12] Zhou A, Gu W, Wang W. Study on Prediction Models for Time-Dependent Settlement of Soft Road Foundation[J]. Applied Mechanics and Materials. 2012, 204-208: 1880-1885.
- [13] Sun M, Su Z, Liu H. Settlement prediction of soft clay roadbed based on Richards model[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development. 2008, 25(10): 41-44.
- [14] 彭小东,刘望坤. 山区硬壳软土路基变形特性研究[J]. 公路与汽运. 2013, (06): 117-120.
- [15] 李国维,边圣川,陆晓岑,等. 软基路堤拓宽静压PHC管桩挤土效应现场试验[J]. 岩土力学. 2013, 34(4): 1089-1096.
- [16] 姚兆明,侯潇,徐颖. 考虑主应力轴偏转角影响的饱和软粘土路基长期沉降分析[J]. 水文地质工程地质. 2012, 39(05): 49-53.
- [17] 丁洲祥,袁大军,赵成刚,等. 路基固结性状的非保守大变形有限元分析[J]. 中国公路学报. 2009, 22(04): 9-14.
- [18] Pang Y L, Dai D M. Simulation of dynamic compaction on soft soil foundation[J]. Computer and Information Technology. 2014, 989-994: 2373-2376.
- [19] 孙四平,刘胜利. 浅谈软土路堤施工观测与控制[J]. 安徽建筑. 2002, (02): 39-41.
- [20] 许永明,徐泽中. 一种预测路基工后沉降量的方法[J]. 河海大学学报(自然科学版). 2000, 28(05): 111-113.
- [21] 王克红. 粉煤灰处理软基的数值模拟研究与应用(硕士学位论文,导师:杨万斌)[D]. 邯郸:河北工程大学,2010.
- [22] 宰金珉,梅国雄. 成长曲线在地基沉降预测中的应用[J]. 南京建筑工程学院学报. 2000, (02): 8-13.
- [23] 王晓谋,袁怀宇. 高等级公路软土地基路堤设计与施工技术[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [24] 刘松玉,陈国靖,章定文. 我国高速公路软土地基处理技术进展[A]. 第十四届中国科协年会第21会场:山区高速公路技术创新论坛论文集[C]. 中国:河北石家庄,2012, 1-8.
- [25] 陈文苏. 软土蠕变沉降的数值模拟(硕士学位论文,导师:别社安)[D]. 天津:天津大学,2004.
- [26] 侯兆霞,刘中欣,开春龙. 特殊土地基[M]. 北京:中国建材工业出版社,2007.
- [27] 马艳. 虎门港西大坦进港道路软基沉降监控和预报(硕士毕业论文,导师:赵利平)[D]. 长沙:长沙理工大学,2007.
- [28] Du Y. The application for reinforced concrete piles of marine sedimentary soft soil foundation treatment[J]. Applied Mechanics and Materials. 2013, 353-354: 411-414.
- [29] 东南大学,浙江大学,湖南大学,等. 土力学(第3版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010: 1-318.
- [30] 程冠初. 路堤软基沉降变形数值分析(硕士学位论文,导师:鄢贵权)[D]. 贵阳:贵州大学,2006.

- [31] Wu X, Feng Z, Tian T, et al. Improved Technology of Cast - in - Site Concrete Pile on Soft Soil Foundation [J]. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2013, 2013: 4343 - 4352.
- [32] Hu H Y, Zhang Y C, Huang Z X. Experimental research for the soft soil foundation reinforced by vibro - replacement stone pile [J]. *Advances in Civil and Structural Engineering III*. 2014, 501 - 504: 101 - 106.
- [33] 曾庆有. 福建省高速公路软土路基处理最新进展 [J]. *福建建筑*. 2011, (08): 98 - 101.
- [34] 刘东. 道路工程中软基处理措施综述 [J]. *采矿技术*. 2009, (04): 35 - 36.
- [35] 何茂维, 杨光飞. 软土地基的处理方法及工艺综述 [J]. *黑龙江交通科技*. 2011, (06): 121 - 123.
- [36] 陈宝, 郭家兴, 李池龙. 交通荷载下石灰改良软土路基的动力特性试验研究 [J]. *路基工程*. 2014, (05): 103 - 109.
- [37] 贺建清, 张家生. 石灰改良软土路基填料饱水强度特性研究 [J]. *矿冶工程*. 2004, (04): 18 - 21.
- [38] 何强. 黄土填料掺生石灰改良后 CBR 承载能力分析 [J]. *四川建筑*. 2010, (01): 76 - 77.
- [39] 沙爱民, 田莉. 水泥稳定土动态压缩模量影响因素试验分析 [J]. *西安公路交通大学学报*. 1998, (S1): 55 - 58.
- [40] 周皓明. 浅谈道路工程软土路基处理的方法 [J]. *科技信息*. 2009, (18): 274.
- [41] 杨涛, 李国维. 公路软基超载预压卸荷时间确定的沉降速率法研究 [J]. *岩土工程学报*. 2006, 28(11): 1942 - 1946.
- [42] 秦现军. 软土地基超载预压卸载控制标准研究 [J]. *工程勘察*. 2011, (01): 15 - 19.
- [43] 庞士荣. 软土路基加固方法综述 [J]. *路基工程*. 1995, (02): 6 - 10.
- [44] Tao S, Zhao Z, Zhang Z, et al. New construction technique of soft soil foundation consolidated by plastic drainage slab [J]. *Trends in Civil Engineering*. 2012, 446 - 449: 2673 - 2680.
- [45] Feng Y Q. The applied research of underwater vacuum preloading method in soft soil foundation [J]. *Advances in Civil and Industrial Engineering IV*. 2014, 580 - 583: 742 - 745.
- [46] Feng Y Q, Zhang L. The application of vacuum preloading method in soft soil foundation underwater [J]. *Advances in Civil and Industrial Engineering IV*. 2014, 580 - 583: 209 - 212.
- [47] 李粮纲, 陈惟明, 李小青. 基础工程施工技术 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [48] 张启顺. 双向水泥搅拌桩在软土路基地基处理中的应用 [J]. *铁道建筑*. 2014, (11): 119 - 121.
- [49] 赵永刚, 李粮纲, 余雷. 水泥搅拌桩粉喷法和浆喷法处理软土路基研究 [J]. *铁道建筑*. 2009, (09): 79 - 82.
- [50] 刘松玉, 易耀林, 杜延军, 等. 变径搅拌桩处理成层软弱地基的现场试验 [J]. *中国公路学报*. 2012(02): 1 - 8.
- [51] 陈磊, 陈永辉. 软土地基上高速公路加宽工程建设与研究进展 [A]. 第一届中国水利水电岩土力学与工程学术讨论会论文集(下册) [C]. 中国: 云南昆明, 2006, 1 - 3.
- [52] van Meurs A N G, van den Berg A, Venmans A A M, et al. Embankment widening with the Gap - method [A]. *Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure* [C]. Rotterdam: A A Balkema, 1999.
- [53] 高翔, 刘松玉, 石名磊. 软土地基上高速公路路基扩建加宽中的关键问题 [J]. *公路交通科技*. 2004, (02): 29 - 33.
- [54] 白志平, 杜玉良. 高速公路软土路基沉降与稳定观测 [J]. *交通标准化*. 2006, (10): 82 - 86.
- [55] 叶国良. 地基基础沉降观测方法综述 [J]. *中国港湾建设*. 2003, (03): 18 - 21.
- [56] 刘增贤, 汤连生. 路堤荷载下软土侧向挤出沉降分析 [J]. *工程勘察*. 2003, (02): 1 - 4.
- [57] 马宏敏, 杜兴无, 辛俊生, 等. 高填软土路基深层水平位移监测相关问题及处理 [J]. *土工基础*. 2011, (02): 80 - 82.
- [58] 陈小兰. 关于高速公路软土路基沉降及稳定性监测 [J]. *价值工程*. 2010, (33): 77.
- [59] 金智涛. 基于神经网络的软土路基最终沉降量的分析研究(硕士学位论文, 导师: 欧湘潭) [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
- [60] 尹湃, 张二林, 孔庆宇. 测斜仪在软土地基监测中的应用及成果分析 [J]. *港工技术*. 2009, (S1): 109 - 112.

# 高速公路路堤排水沟标准化设计探讨

鄂海清

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 依据公路排水设计理论,结合实际工程项目,分析不同设计参数对高速公路路堤排水沟尺寸及使用条件的影响,进而尽可能统一路堤排水沟的尺寸及使用条件,为高速公路路堤排水沟的标准化设计提供参考借鉴。

**关键词:** 高速公路;设计参数;路堤排水沟;标准化设计

## 0 引言

目前高速公路路基排水设计基本采用以经验、工程类比为主,理论计算为辅的设计方法,各单位设计方法基本一致,同等技术条件,地域条件等,不同单位采用的排水设施断面尺寸及使用条件还是各不相同。排水设施设计的粗放一方面造成浪费,另一方面可能由于排水设施过水断面的不足造成高速公路的水毁,影响高速公路的功能性及耐久性。

交通部现在推行施工标准化,为此开展路基路面排水设计标准化也是推行施工标准化的需要。通过设计标准化可避免诸多重复性工作造成人力和资源的浪费,提高工作效率、设计水平和工程质量。

本文结合广东省内高速公路工程项目,分析不同设计参数对常用路堤排水沟尺寸及使用条件的影响,进而尽可能统一路堤排水沟的尺寸及使用条件,既满足路堤排水沟功能性的要求,又满足经济性的需要,为高速公路路堤排水沟标准化设计提供参考借鉴。

## 1 路堤排水沟的设计原则

高速公路路界地表排水设施主要为集水沟或集水管,沟管的设计准则主要有:

(1) 沟管的泄水能力  $Q_c$  不小于沟管的设计流量  $Q$ ,用公式表示为:

$$Q_c \geq Q$$

(2) 沟管的平均流速  $v$  不小于出现淤积时的流速  $v_{\min}$ ,不大于沟管出现冲刷的速度  $v_{\max}$ ,用公式表示为:

$$v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$$

其中,不出现淤积的最小允许流速  $v_{\min}$ ,主要和水流所携带的土颗粒粒径的大小有关。作为沟管不冲刷的允许最大流速  $v_{\max}$ ,主要取决于沟管的材料。

## 2 设计参数对路堤排水沟尺寸及使用条件的影响分析

通过广东省内某高速公路所在地区的水文分析,估算路堤排水沟需排泄的设计径流量,结合水力计算分析沟底纵坡、路面结构型式、沟身材料、填土高度、设计车速以及行车道数,对高速公路常用的明矩形路堤排水沟尺寸和使用条件的影响。

以广东省某高速公路工程项目为例,设计车速 120km/h,双向六车道,横坡为 2%,纵坡为  $i\%$ ,对不同设计参数下明矩形路堤排水沟尺寸及使用条件进行分析。

假定路堤填土高度为 8m,填土坡面为细粒土,边坡坡率为 1:1.5,护坡道宽度为 2.0m,排水沟采用浆砌片石砌筑,路面材料为沥青混凝土。

### 2.1 沟底纵坡对排水沟尺寸的影响

根据《公路设计手册 路基》对于矩形沟渠,在已知纵坡的条件下,欲排一定的排泄量,其水

力最佳断面条件下的宽深比为2(即  $b/h=2$ )。

对由于同一条件下,路堤排水沟的过水断面面积与沟底纵坡的关系进行计算分析,如图1所示。

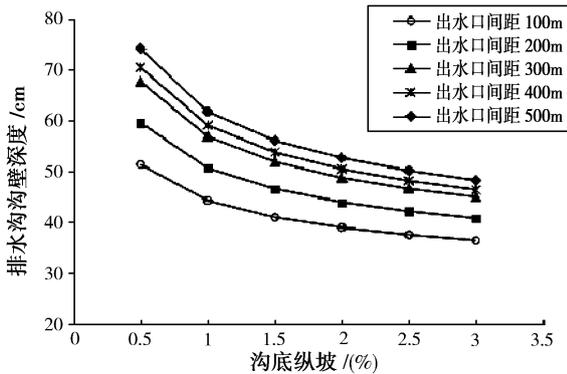


图1 排水沟沟壁深度随沟底纵坡变化趋势

图1表明,在沟宽一定的情况下,排水沟的最佳过水断面的沟壁深度随沟底纵坡的增大而减小,且变化敏感。

### 2.2 路面结构型式对排水沟尺寸的影响

路面采用不同的结构型式时,不同路面材料径流系数不同,目前广东省内高速公路路面结构常采用水泥混凝土或沥青混凝土,水泥混凝土路

面的径流系数比沥青混凝土路面小0.05。

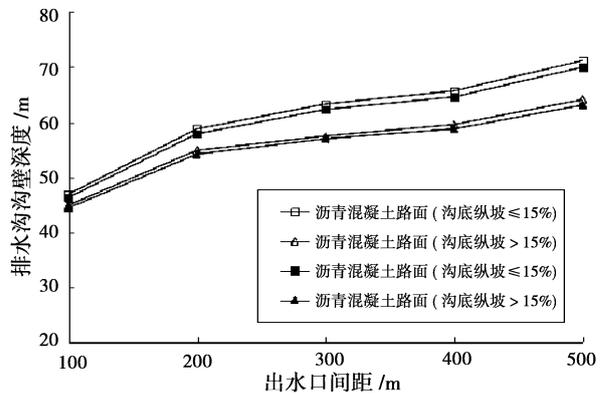


图2 排水沟沟壁深度随路面结构型式变化趋势

图2表明,由于径流系数相差0.05,对设计净流量的影响较小,故在相同条件下,水泥混凝土路面与沥青混凝土路面排水沟尺寸可取相同值,即路面结构型式的不同对排水沟尺寸的影响可忽略不计。

### 2.3 沟身材料对排水沟尺寸的影响

路堤排水沟采用不同砌筑材料时,由于不同材料的粗糙系数不同,对沟内平均流速影响较大,进而影响排水沟的尺寸。计算结果如图3所示。

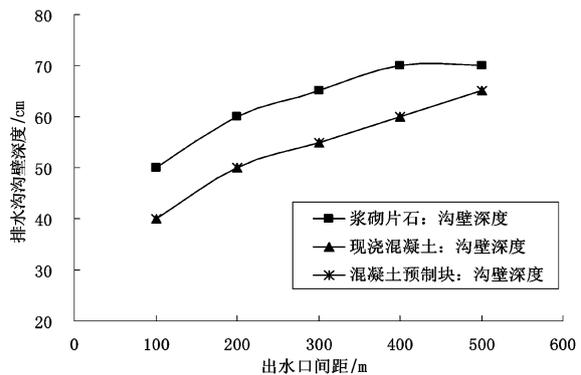
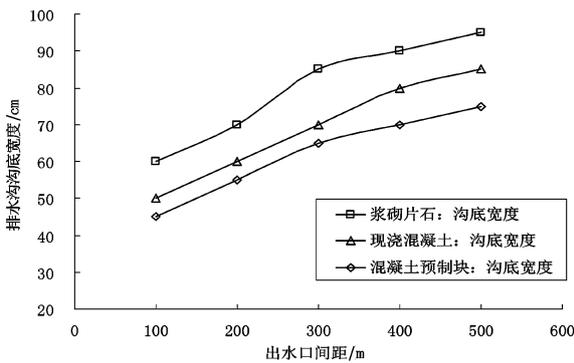


图3 路堤排水沟尺寸随沟身材料变化趋势

图3表明,随着路堤排水沟沟身材料粗糙系数的增加,相同条件下,路堤排水沟尺寸将减小。

### 2.4 路堤填土高度对排水沟尺寸的影响

路堤填土高度不同时,相同条件下,路面表面水量不变,只是坡面水不同,对路堤填土高度分别

为4m和8m时,不同沟身材料的路堤排水沟尺寸计算结果如图4所示。

图4表明,在相同条件下,填土高度增加1倍,同一出水口间距下,同一种沟身材料的路堤排水沟尺寸最大相差不超过5cm,故填土高度对路堤排水沟尺寸的影响可以忽略不计。

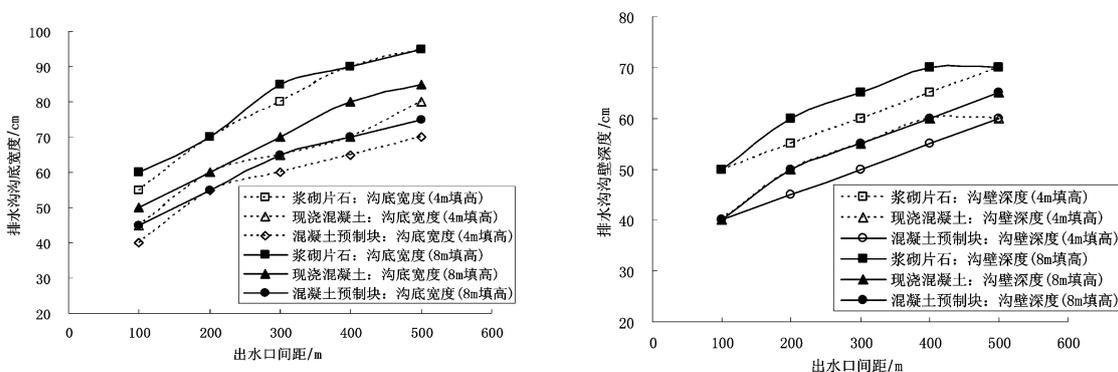


图4 排水沟尺寸随填土高度变化趋势

2.5 设计车速对排水沟尺寸的影响

设计车速不同时,仅4车道高速公路的路面汇水宽度有所不同,分别为12.5m(120km/h)和12.0m(100km/h),而6车道和8车道的路面汇水宽度分别为15.75m和19.5m。现对4车道不同设计车速,在不同情况下的路堤排水沟尺寸进行计算,如图5所示。

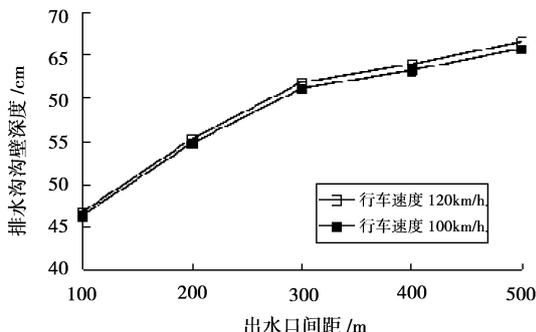


图5 排水沟沟壁深度随设计车速变化趋势

图5表明,对于4车道高速公路,设计车速引起的路面汇水宽度不同,对路堤排水沟沟壁深度的

影响较小,最大不超过4cm,相同条件下的路堤排水沟可取相同尺寸。

故在设计过程中可仅考虑不同行车道宽度,而不考虑设计车速对路堤排水沟尺寸的影响。

2.6 路堤排水沟尺寸及使用条件

通过计算分析不同设计参数对高速公路路堤排水沟断面尺寸及使用条件的影响,不同车道数、不同沟底纵坡、不同排水沟材料的路堤排水沟尺寸及使用条件有所不同;而在其他条件相同的情况下,路面结构型式、填土高度及设计车速对路堤排水沟断面尺寸及使用条件的影响可以忽略不计。

本文对广东省高速公路常使用的明矩形路堤排水沟,通过对不同车道数、不同沟底纵坡及不同沟身材料等进行分类计算分析,得到表1所示的断面尺寸及使用条件,为路堤排水沟的标准化设计提供借鉴和参考。

表1 明矩形路堤排水沟尺寸及使用条件

车道数	排水沟材料	断面尺寸 (底宽 $b \times$ 沟深 $h$ ) /(cm $\times$ cm)	沟底纵坡 /(%)	排水路径 /m	车道数	排水沟材料	断面尺寸 (底宽 $b \times$ 沟深 $h$ ) /(cm $\times$ cm)	沟底纵坡 /(%)	排水路径 /m
4	浆砌片石	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 150$	4	现浇混凝土	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 250$
			$\leq 2.0$	$\leq 200$				$\leq 2.0$	$\leq 350$
			$\leq 3.0$	$\leq 300$				$\leq 3.0$	$\leq 520$
			$\leq 4.0$	$\leq 350$				$\leq 4.0$	$\leq 600$
	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 250$	$\leq 1.0$	$\leq 400$				
		$\leq 2.0$	$\leq 350$	$\leq 2.0$	$\leq 550$				
		$\leq 3.0$	$\leq 500$	$\leq 3.0$	$\leq 800$				
		$\leq 4.0$	$\leq 600$	$\leq 4.0$	$\leq 1000$				

(续表1)

车道数	排水沟材料	断面尺寸 (底宽 $b \times$ 沟深 $h$ ) /(cm $\times$ cm)	沟底纵坡 /(%)	排水路径 /m	车道数	排水沟材料	断面尺寸 (底宽 $b \times$ 沟深 $h$ ) /(cm $\times$ cm)	沟底纵坡 /(%)	排水路径 /m
4	浆砌片石	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 350$	4	现浇混凝土	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 600$
			$\leq 2.0$	$\leq 500$				$\leq 2.0$	$\leq 800$
			$\leq 3.0$	$\leq 700$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 100$
			$\leq 4.0$	$\leq 900$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 500$
	混凝土预制块	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 300$	4	混凝土预制块	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 700$
			$\leq 2.0$	$\leq 400$				$\leq 2.0$	$\leq 1\ 000$
			$\leq 3.0$	$\leq 550$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 250$
			$\leq 4.0$	$\leq 750$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 500$
6	浆砌片石	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 500$	6	现浇混凝土	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 850$
			$\leq 2.0$	$\leq 700$				$\leq 2.0$	$\leq 1\ 200$
			$\leq 3.0$	$\leq 900$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 650$
			$\leq 4.0$	$\leq 1\ 100$				$\leq 4.0$	$\leq 2\ 000$
	混凝土预制块	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 130$	6	现浇混凝土	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 220$
			$\leq 2.0$	$\leq 180$				$\leq 2.0$	$\leq 300$
			$\leq 3.0$	$\leq 250$				$\leq 3.0$	$\leq 450$
			$\leq 4.0$	$\leq 300$				$\leq 4.0$	$\leq 550$
浆砌片石	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 220$	6	现浇混凝土	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 350$	
		$\leq 2.0$	$\leq 300$				$\leq 2.0$	$\leq 500$	
		$\leq 3.0$	$\leq 400$				$\leq 3.0$	$\leq 700$	
		$\leq 4.0$	$\leq 500$				$\leq 4.0$	$\leq 900$	
混凝土预制块	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 300$	6	现浇混凝土	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 500$	
		$\leq 2.0$	$\leq 450$				$\leq 2.0$	$\leq 700$	
		$\leq 3.0$	$\leq 650$				$\leq 3.0$	$\leq 1000$	
		$\leq 4.0$	$\leq 800$				$\leq 4.0$	$\leq 1300$	
6	浆砌片石	100 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 430$	6	现浇混凝土	100 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 700$
			$\leq 2.0$	$\leq 600$				$\leq 2.0$	$\leq 900$
			$\leq 3.0$	$\leq 850$				$\leq 3.0$	$\leq 1400$
			$\leq 4.0$	$\leq 1050$				$\leq 4.0$	$\leq 1700$
	混凝土预制块	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 250$	6	混凝土预制块	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 650$
			$\leq 2.0$	$\leq 350$				$\leq 2.0$	$\leq 850$
			$\leq 3.0$	$\leq 500$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 150$
			$\leq 4.0$	$\leq 650$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 400$
混凝土预制块	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 400$	6	混凝土预制块	100 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 800$	
		$\leq 2.0$	$\leq 600$				$\leq 2.0$	$\leq 1\ 000$	
		$\leq 3.0$	$\leq 850$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 500$	
		$\leq 4.0$	$\leq 1\ 000$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 800$	

(续表1)

车道数	排水沟材料	断面尺寸 (底宽 $b \times$ 沟深 $h$ ) /(cm $\times$ cm)	沟底纵坡 /(%)	排水路径 /m	车道数	排水沟材料	断面尺寸 (底宽 $b \times$ 沟深 $h$ ) /(cm $\times$ cm)	沟底纵坡 /(%)	排水路径 /m	
8	浆砌片石	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 100$	8	现浇混凝土	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 180$	
			$\leq 2.0$	$\leq 160$				$\leq 2.0$	$\leq 250$	
			$\leq 3.0$	$\leq 230$				$\leq 3.0$	$\leq 350$	
			$\leq 4.0$	$\leq 280$				$\leq 4.0$	$\leq 450$	
	浆砌片石	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 180$		8	现浇混凝土	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 300$
			$\leq 2.0$	$\leq 250$					$\leq 2.0$	$\leq 450$
			$\leq 3.0$	$\leq 350$					$\leq 3.0$	$\leq 600$
			$\leq 4.0$	$\leq 450$					$\leq 4.0$	$\leq 750$
浆砌片石	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 250$	8	现浇混凝土	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 450$		
		$\leq 2.0$	$\leq 400$				$\leq 2.0$	$\leq 600$		
		$\leq 3.0$	$\leq 550$				$\leq 3.0$	$\leq 900$		
		$\leq 4.0$	$\leq 700$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 100$		
浆砌片石	100 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 380$	8	现浇混凝土	100 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 600$		
		$\leq 2.0$	$\leq 550$				$\leq 2.0$	$\leq 900$		
		$\leq 3.0$	$\leq 750$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 300$		
		$\leq 4.0$	$\leq 950$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 600$		
混凝土预制块	60 $\times$ 60	$\leq 1.0$	$\leq 200$	8	混凝土预制块	80 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 600$		
		$\leq 2.0$	$\leq 330$				$\leq 2.0$	$\leq 800$		
		$\leq 3.0$	$\leq 450$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 100$		
		$\leq 4.0$	$\leq 600$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 300$		
混凝土预制块	60 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 350$	8	混凝土预制块	100 $\times$ 80	$\leq 1.0$	$\leq 750$		
		$\leq 2.0$	$\leq 550$				$\leq 2.0$	$\leq 900$		
		$\leq 3.0$	$\leq 800$				$\leq 3.0$	$\leq 1\ 400$		
		$\leq 4.0$	$\leq 950$				$\leq 4.0$	$\leq 1\ 700$		

表1表明,广东省内高速公路明矩形路堤排水沟尺寸可归纳为四种,分别为(底宽 $\times$ 沟深):60cm $\times$ 60cm、60cm $\times$ 80cm、80cm $\times$ 80cm、100cm $\times$ 80cm。

### 3 结论

(1)在其他条件相同的情况下,高速公路的路面结构型式、填土高度及设计车速对路堤排水沟尺寸及使用条件的影响可忽略不计。

(2)不同沟底纵坡、不同行车道数及不同排水沟材料,同一断面尺寸路堤排水沟适用的排水路径长度不同,使用时应分别选取。

(3)广东省内高速公路常用明矩形路堤排水沟断面尺寸选取可归纳为四种,分别为(底宽 $\times$ 沟深):60cm $\times$ 60cm、60cm $\times$ 80cm、80cm $\times$ 80cm、100cm $\times$ 80cm,且不同行车道数、不同沟底纵坡、不同排水沟材料,适用的排水路径长度不同。

### 参考文献:

- [1] 公路排水设计规范[S].北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 姚祖康.公路排水设计手册[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [3] 交通部第二公路勘察设计院.公路设计手册—路基(第二版)[M].北京:人民交通出版社,1997.
- [4] 四川省公路局,同济大学,凉山州公路局.西部交通建设科技项目“公路排水系统设计方法的研究”研究报告[R].2003.
- [5] 俞玉良.允许流速的修正系数[J].重庆交通学院学报,1997,16(3):117-120.
- [6] 王芳.高速公路排水系统设计方法研究[D].西安:长安大学,2007.
- [7] 黄开宇.高速公路路面防排水设计探讨[J].中外公路,2003(8):68-70.
- [8] 杨铁轮.高速公路排水设计的改进[J].兰州铁道学院学报,2002(6):99-102.

# 高速公路隧道出口与收费站最小间距研究

谢陈峰

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** 针对高速公路隧道出口与收费站距离较近的工程实际,利用数据分析、仿真技术等方法,从交通安全、运行速度、驾驶员反应时间和车辆操作时间需求等角度,对公路隧道出口与收费站距离间距值进行了定量分析,提出了高速公路隧道出口与收费站的最小间距的推荐值。对隧道出口与收费站间距方面的研究进行了补充和细化,对于建设条件受限情况下的高速公路设计指标的选择有重要意义,供设计人员和营运管理人员参考。

**关键词:** 公路;交通安全;隧道出口;收费站;最小间距

## 0 前言

当隧道出口与收费站间距过小时,车辆驶出隧道后进入收费站前驾驶员需要对大量道路信息做出判断,受隧道特殊环境和“白洞”的影响,容易引起驾驶人员产生紧张和急躁情绪,发生突然变换车道、急刹车等影响正常行车的驾驶行为,严重时可能会导致交通事故,影响收费站和隧道的正常运营。现有的标准规范对公路隧道出口与收费站最小间距,并未做出详细的规定和要求,无法满足公路设计及营运需求。

## 1 隧道出口至收费站驾驶过程分析

由于隧道内不允许换道,针对 MTC (Manual

Ton Collection, 人工半自动收费) 和 ETC (Electronic Ton Collection, 电子不停车收费) 车辆在隧道出口与收费站之间可以分以下三种情况分别分析:

- (1) 隧道之前各种车型已经完成换道, MTC 车辆已经换至外侧车道;
- (2) 隧道之前正常行驶, 隧道敞开段设置预告标志, 敞开段允许换道;
- (3) 隧道之前正常行驶, 隧道敞开段设置预告标志, 敞开段不允许换道。

### 1.1 情况 1

隧道之前各种车型已经完成换道, MTC 车辆已经换至外侧车道。

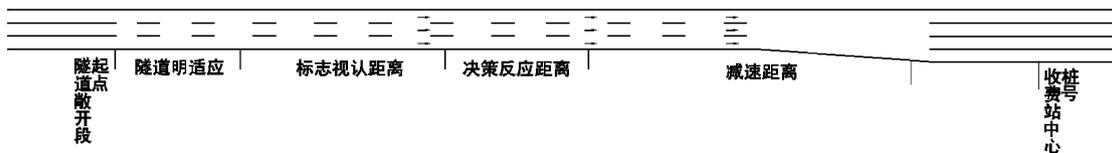


图 1 车辆运行过程

在隧道之前已经完成换道的车辆,在进入隧道后的行驶过程主要有:

- (1) 隧道敞开段的明适应阶段和收费站预告标志视认阶段;
- (2) 决策反应阶段:当驾驶员视认到前方收费站标志后,各种车型的车辆需要决策选择目标收费车道,并为此进行相关驾驶准备。

- (3) 减速阶段:确认前方收费站后,驾驶员应减速通过收费站,其中,ETC 车辆减速至 ETC 车道的允许速度, MTC 车辆减速至停车。

### 1.2 情况 2

隧道之前正常行驶,隧道敞开段设置预告标志,敞开段允许换道。

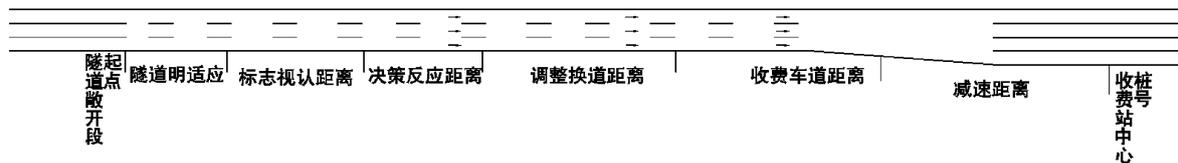


图2 车辆运行过程

(1)隧道敞开端、明适应阶段、收费站预告标志视认阶段、决策反应阶段与1.1相同。

(2)调整换道阶段

该阶段主要是考虑MTC车辆最不利的驾驶情况,即MTC车辆行驶在最内侧车道时,需换至最外侧车道才能进行收费。ETC收费车辆只需在原车道进行减速,或最外车道换至相邻车道。另外,需假设车辆A在当前车道上的车速不低于目标车道车速。

① $t_{BC}$ (B车和C车保持安全距离对应的时间,以下类同)足够大,且 $t_{AC}$ 、 $t_{AB}$ 足够大。如图3所示,当车辆A与目标车道前后车间距都满足时,车辆A一般直接换道,不需要任何等待和减速过程。

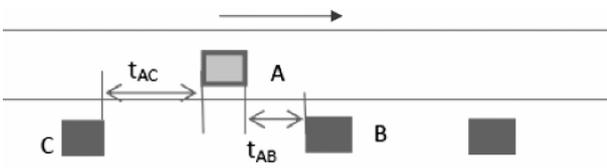


图3 换道车辆示意图一

② $t_{BC}$ 足够大, $t_{AC}$ 小。如图4所示,当车辆A与目标车道的前车间距满足,与后车的间距不能满足时,有两种可能:

a. 在交通量比较小的情况,且车辆不易受目标车道前车的影响,加速条件满足,车辆A加速使 $t_{AC}$ 足够,车辆A汇入目标车道。

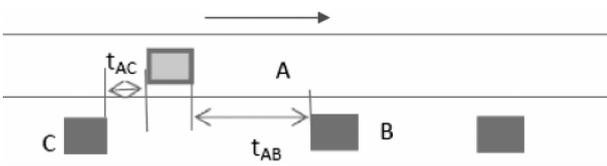


图4 换道车辆示意图二

b. A车减速等待接下来足够的 $t_{AX}$ (C车后的一辆或多辆车后的安全距离对应的时间)后汇入,或挤道汇入,此时需要计算等待时间。交通

量比较大或者比较保守的驾驶员一般会选择这种方式。

③ $t_{BC}$ 足够大, $t_{AB}$ 小。如图5所示,当车辆A与目标车道的后车间距满足,与前车的间距不能满足时,有两种可能:

a. 车辆A车加速超过车辆B,并使 $t_{AB}$ 足够,但要保证车辆A不受当前车道前车以及目标车道车辆B前方车辆的影响,这种选择比较冒险,一般只有在交通量比较小时才允许。

b. A车减速,调整车辆与B、C车辆的位置合适,保证 $t_{AC}$ 和 $t_{AB}$ 足够,并汇入到车辆B、C之间,在强制性换道行为中,尤其当交通量比较大时,驾驶员一般采取此选择。

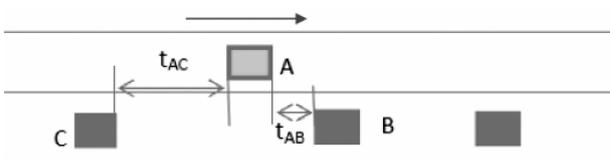


图5 换道车辆示意图三

④ $t_{BC}$ 不够。如图6所示,当目标车道的前后两辆车间距不能满足,即车辆A不能汇入到车辆B和车辆C之间,分两种情况:

a. 车辆A车加速超过车辆B,并使 $t_{AB}$ 足够,与③ $t_{BC}$ 足够大, $t_{AB}$ 小a)情形相同。

b. A车减速(匀速)等待接下来足够的 $t_{AX}$ ,进行汇入,或挤道汇入,此时需要计算等待时间。交通量比较大或者比较保守的驾驶员一般会此选择。

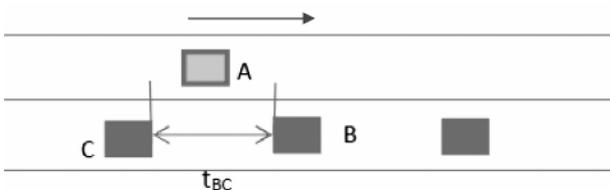


图6 换道车辆示意图四

强制性换道过程中,按匀速或减速等待可接受的汇入间隙寻找可接受间隙。实际运行过程中不同车道存在速度差,调整过程中部分车辆,尤其是当交通量比较大时,会经过一个微弱的减速过程,一般经发动机减速减至合适的换道车速。

(5) 收费车道确认阶段:该阶段主要是各种

类型的收费车辆确认各自的收费车道。

(6) 减速阶段:在确认收费车道后,驾驶员应进行减速才能通过收费站,其中,ETC 车辆减速至 ETC 车道的允许速度,MTC 车辆减速至停车。

### 1.3 情况 3

隧道之前正常行驶,隧道敞开端设置预告标志,敞开端不允许换道。



图 7 车辆运行过程

(1) 隧道明适应、标志视认阶段:该过程与 1.1 阶段相同。

(2) 减速阶段:视认到前方收费站预告标志后,车辆应提前减速。

(3) 隧道后换道阶段:由于隧道敞开端不允许换道,该阶段主要考虑最内侧车道 MTC 车辆换至最外侧车道的需求距离。

(4) 收费车道确认:该阶段主要是考虑换道后的车辆确认收费车道。

(5) 减速阶段:在确认收费车道后,驾驶员应进行减速才能通过收费站,其中,ETC 车辆减速至 ETC 车道的允许速度,MTC 车辆减速至停车。

## 2 参数标定与距离计算

### 2.1 交通量

按照《公路路线设计规范》规定,高速公路在二级服务水平、不同行驶速度状态下,一条车道的设计通行能力如表 2。

表 2 高速公路一条车道的设计通行能力

实际行驶速度/(km/h)	120	100	80
高速公路设计通行能力/(pcu/(h·ln))	1 600	1 400	1 200

考虑到开通初期车流量较小的情况,以及考虑高速公路的设计通行能力以及车辆在收费站开始排队的情形,因此,分别按照自由流和设计交通

量进行计算。

### 2.2 速度

隧道出口与收费站之间距离较近,运行速度取 80km/h 或 60km/h 进行计算。

### 2.3 模型其它参数

(1) 隧道出口明适应距离

研究隧道出口与隧道的间距时,驾驶员的明适应时间取 3s 进行分析,所需的明适应距离见表 3。

表 3 不同速度对应的明适应距离

速度/(km/h)	120	100	80
明适应距离/m	100	84	67

(2) 标志判读距离

表 4 高速公路不同速度下的最小视认距离

速度/(km/h)	120	100	80	60
安装于路侧标志的距离/m	127	114	100	86
安装于头顶标志的距离/m	144	130	116	102

(3) 决策反应距离

$$S_3 = V_1 \times t_{反}$$

其中:V<sub>1</sub> 为最内侧车道车速,该决策反应为驾驶员看到前方收费车道布置后,判断自身车辆是否有 ETC 装置,决策下一步的驾驶行为,属于复杂反应过程,决策反应时间可参照 AASHTO(美国国家高速公路和交通运输协会)中取值 2.5s。

## (4) 调整等待距离

$$S_4 = \frac{V_1^2 - V_{\text{换}}^2}{2a} + V_{\text{换}} t_{\text{等}}$$

式中,  $V_1$  为车道车速;  $V_{\text{换}}$  为换道车速, 一般为  $0.76V_1$ ;  $t_{\text{等}}$  为等待目标车头间隙所需要的时间, 由目标车道的车头时距分布、交通量、可接受车头时距等因素决定。

## ① 调整过程

当交通量比较大, 各个车道车速差比较大时, 换道前会经过一个微弱的减速过程, 一般经发动机减速减至合适的换道车速, 减速度大小参考取值  $1\text{m/s}^2$ 。

当各个车道车速差较小时, 车辆通过微弱的减速或加速来调整自己的位置, 调整时间取值  $3\text{s}$ 。

## ② 车头时距分布

目前较为成熟和较有代表性的车头时距的分布模型主要有 3 种。

(a) 车流量很低, 车辆之间基本上是相互独立的, 车头时距是随机的, 其概率一般服从负指数分布或移位负指数分布:

$$P(h > t) = e^{-Qt/3600} \quad (1)$$

其中,  $P(h > t)$  为车头时距大于等于  $t$  的概率;  $Q$  为交通流平均小时流量;  $t$  为所选定的时间间隔;  $e$  为常数 ( $e = 2.71828$ )。

(b) 车流量很大, 接近于通行能力, 这时的车头时距值基本上认为是恒定的,  $t = 3600/Q$ 。

(c) 交通流量介于上述两种情况之间, 部分车辆独立行驶, 另外一些车辆相互影响, 此时较为通用的车头时距分布模型是  $K$  阶 Erlang 分布模型。

$$P(h > t) = \sum_{i=0}^{k-1} (\lambda t)^i \frac{e^{-\lambda t}}{i!} \quad (2)$$

其中,  $\lambda$  为来车强度;  $P(h > t)$  为车头时距大于  $t$  的概率。  $\lambda = 1/M$ ,  $K = M^2/D$ ,  $M$ 、 $D$  分别为采集的车头时距的均值和方差。

最小的可接受的车头时距称为临界间隙, 记为  $t_0$ , 当车头时距小于  $t_0$  时, 车辆就不能合流进入

目标车道, 当车头时距大于  $t_0$  时, 目标车辆可以合流进目标车道。由车头时距的分布可计算主线的任一车头时距  $h$  大于  $t_0$  的概率  $P$  为:

$$P(h > t_0) = \sum_{i=0}^{k-1} (\lambda t_0)^i \frac{e^{-\lambda t_0}}{i!}$$

$$\text{因此, 拒绝概率 } P_0 = 1 - \sum_{i=0}^{k-1} (\lambda t_0)^i \frac{e^{-\lambda t_0}}{i!}$$

根据现场实地观测数据和相关研究成果, 针对高速公路的情况, 主线 3 个车道更服从 2 阶 ( $K = 2$ ) Erlang 分布,  $F(t) = P(h > t) = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t}$ , 拒绝汇入的概率  $P_0 = 1 - e^{-\lambda t_0} - \lambda t_0 e^{-\lambda t_0}$

经过对大量调查数据的处理分析, 交织段两个车道车头时距在合流区鼻前为移位负指数分布, 移位负指数分布能较好的反映高速公路分流区断面车头时距的分布规律,  $F(t) = P(h > t) = e^{-(t-\Delta t)/(M-\Delta t)}$  ( $t \geq \Delta t$ ), 其中,  $\Delta t$  为最小车头时距。交织段两个车道拒绝汇入的概率  $P_0 = 1 - e^{-(t-\Delta t)/(M-\Delta t)}$ 。

③ 可接受车头时距, 取值为  $4\text{s}$ 。

## (5) 车道转移距离

$$S_5 = V_{\text{换}} t_{\text{转}}$$

车辆横移速度取值  $J = 1\text{m/s}$ , 高速公路车道宽度取值为  $3.75\text{m}$ , 所以一般取横移时间  $t_{\text{转}}$  为  $3.75\text{s}$ 。

## (6) 收费车道确认距离

$$S_6 = V_{\text{交}} t_{\text{反}}$$

收费车道确认距离是指所有车速在确定安全的停车距离, 借鉴 AASHTO, 反应时间采用  $2.5\text{s}$ 。

## (7) 减速距离

$$S_7 = \frac{V_{\text{交}}^2 - V_{\text{限}}^2}{2a}, \text{减速度值借鉴 AASHTO 的推荐}$$

值  $2\text{m/s}^2$ 。

## 3 计算结果

综上所述, 分别对三种情况的隧道出口与收费站最小间距进行了分析计算, 得出了三种情况下的隧道出口与收费站最小间距推荐值。

表5 隧道出口与收费站最小间距推荐值

		运行速度:80km/h		运行速度:60km/h	
		自由流/m	达到设计交通量/m	自由流/m	达到设计交通量/m
隧道出口与收费站 最小间距	情况1	361	361	263	263
	情况2	583	684	419	495
	情况3	529	629	390	466

#### 4 结语

本文从高速公路建设特征和工程实际出发,利用数据分析、仿真技术,从交通安全、运行速度、通行能力、驾驶员反应时间和车辆操作时间需求等角度,对隧道洞口与互通出口最小间距做了重点分析,综合考虑定量分析结果和相关研究成果,提出了运行速度80km/h、60km/h下自由流和达到设计交通量条件下最小间距要求。

#### 参考文献:

- [1] 孙明玲,赵源. 双车道高速公路隧道与互通式立交出口最小间距分析[J]. 公路,2014,(7):274-275.
- [2] JTG D20-2006 公路路线设计规范[S].
- [3] 任福田,刘小明,荣建. 交通工程学[M]. 北京:人民交通出版社.
- [4] 李文权,王炜,周荣贵. 高速公路合流区1车道车头时距分布特征[J]. 公路交通科技,2003,20(1):114-117.
- [5] 王少飞,李伟聪,林志,吴春光. 三车道高速公路隧道出口与互通式立交最小间距研究[J]. 公路交通科技,2013,12(6):103-106.

# 基于 VoIP 技术的高速公路综合语音解决方案

关小杰

(广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广州 510507)

**摘要:** VoIP(Voice over IP, IP 承载语音)技术经过近年的发展,已经克服了网络拥塞造成的丢包、包重组出错以及时延等带来的通话质量下降问题。随着 VoIP 技术的日趋成熟,适用于网络实时语音传输的各种协议如 SIP、H. 323 等不断完善,通话质量已经有了可靠的保证。本文以广东省内高速公路为实施背景,探讨高速公路综合语音解决方案。

**关键词:** VoIP 技术;语音业务;隧道紧急电话与广播

## 1 实施背景

对于开通较早,运营年份较久的高速公路,在建设初期设置的程控交换机存在语音业务单一,设备老化,通信质量下降的情况,随着 VoIP 技术发展,收费站对讲电话、指令电话、广场广播、隧道紧急电话与广播系统均可实现语音业务 IP 网络化。目前,广东省内高速公路大部分路段已设置了万兆以太网传输平台,IP 化语音业务均可通过万兆网承载,对于改造中的收费站、隧道语音业务可考虑采用基于 VoIP 技术的语音解决方案。

## 2 现有语音业务系统现状和综合解决方案思路

### 2.1 收费站和管理中心语音业务现状

从广东省内已开通路段来看,各路段在管理中心设置数字程控交换系统,主要用来实现业务电话和收费对讲的需求。根据各收费站、集中住宿区、养护工区及管理中心的语音需求,在通信中心设置 1 台数字程控交换机。

从收费语音设备配置方面来看,路段管理中心一般配备话务台、指令电话主机、业务电话等,在各收费亭配备对讲电话分机,各收费站配备指令电话和业务电话,各养护工区、集中住宿区、隧道管理所等配置业务电话。各收费站一般未设

置广场广播设施。

通信系统为对讲系统提供传输通道,对讲电话通过程控交换机的“热线电话功能”实现车道收费员与监控中心值班员之间的对讲。

### 2.2 隧道紧急电话与广播系统现状

从广东省内已开通路段来看,现有的隧道紧急电话与广播系统自成一体,大部分采用光纤型一体化系统实现,与对讲系统功能类似却相互独立,在日常使用中设备繁多,应用复杂,且备品备件不具备通用性。在路段管理中心、隧道管理所或隧道变电所各设置 1 台紧急电话与广播主机,负责对隧道段紧急电话进行现场监听和发布广播。

从隧道语音设备配置方面来看,各隧道内紧急电话分机约 200m 一对布设,隧道洞口外设 1 部紧急电话,隧道内紧急电话分机采用普通壁挂式电话,洞口采用立柱式外框内装普通电话。紧急电话采用缩位编号方式,摘机即通话。为便于隧道内紧急事件的信息发布,在隧道内设置隧道有线广播系统。隧道洞口两端各设置 1 套扬声器,隧道内按 50m 间距均匀设置扬声器,采用分左右洞、音区和通道的广播方式。

### 2.3 语音业务和广播系统综合解决方案

本方案旨在建立 1 套高速公路综合语音解决方案,即收费站对讲系统、广场广播、隧道紧急电话和广播系统共用同一控制主机,共用同一软

件平台,综合利用路段现有的万兆传输网作为传输通道,各个子系统可由路段管理中心的综合语

音指挥调度平台统一管理,系统集成度高,便于管理和维护,同时节省成本。

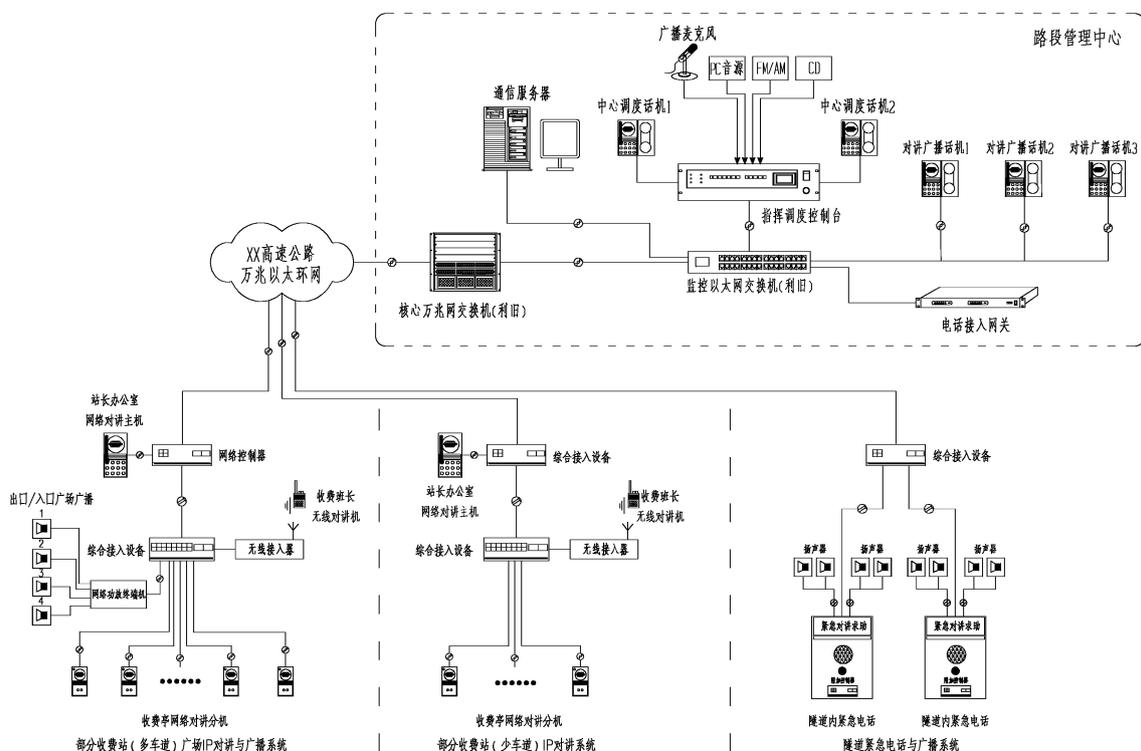


图1 收费站IP对讲系统与隧道紧急电话及隧道广播系统结构图

本方案在管理中心设置1套综合语音指挥调度平台,用于收费站语音业务、隧道紧急电话及广播的集中管理。

在管理中心设置指挥调度控制台、广播话筒、通信服务器、中心调度话机、对讲广播主机、电话接入网关、调度控制软件。利用管理中心监控系统交换机组建语音局域网,同时接入核心万兆网交换机,与路段万兆网互联,用于管理中心与收费站和隧道之间传输语音信号。

### 3 收费站IP对讲系统与广场广播系统解决方案

本方案在监控中心和各个收费站站长室分别设置1台网络对讲主机,在各收费亭内设置1台网络对讲分机,用于替代原有的指令电话、对讲电话分机,实现监控中心值班员、收费站站长、车道收费员之间的对讲功能。

在中心收费亭内增加1台无线接入网关,值

班收费班长、站长分别配置1台手持无线对讲机,无线对讲机选取特定频道接入无线网关,无线网关与站内对讲电话系统互联,可实现收费班长、站长与收费员实时通话,灵活应对现场突发情况。

对于车道数多、交通量大的收费站,可以在收费广场增加广场广播,在收费站中心亭内增加1台网络功放设备,在内、外广场利用摄像机立柱或者广场照明灯杆安装室外防水扬声器,网络功放设备接入对讲电话系统后,由值班收费班长、站长通过站内对讲系统或对讲机发布广播信息。

收费站IP对讲系统与广场广播系统解决方案,在完全替代收费站原有对讲功能的同时,站内管理人员利用无线对讲机或对讲系统,对内可及时与收费员通话,对外可及时发布广播信息,增强现场的可控性和时效性。以上收费站对讲和广场广播设备均接入站内万兆以太网交换机,接入路段万兆网,传往路段管理中心。

### 4 隧道紧急电话与广播系统解决方案

本方案在实施过程中,可保留隧道内原有的号角扬声器,隧道内原有的紧急电话和功率放大器更换为基于 VoIP 技术的 IP 紧急电话和 IP 功率放大器,将原隧道内光纤型一体化系统

的光中继器更换为具备交换和接入功能的综合接入设备(集成数据交换、网管、光传输),将隧道内所有 IP 紧急电话和功放就近接入综合接入设备,级联后接入隧道变电所内工业环网,利用原有传输通道接入管理中心,由指挥调度控制台统一管理。

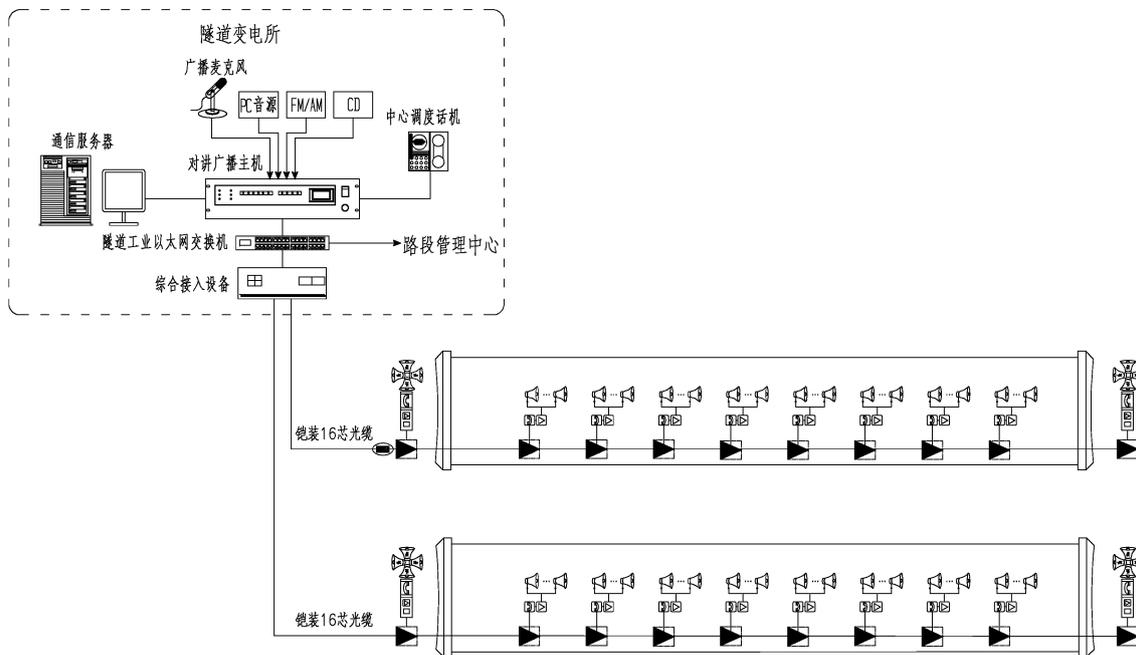


图2 隧道紧急电话和广播系统系统图

### 5 结语

以上语音解决方案已部分应用于高速公路,但尚未构成整体解决方案,在万兆网成为 IP 数据传输的标准配置的时代,整合全路段的语音业务

已成为趋势,对于即将进行改造的路段,建议在改造相关语音设备的同时,应注重隧道内电指示标志,预埋管线的整改,整体提高高速公路的安全运营水平。

# 某曲线连续箱梁桥火灾后检测评定

钟建国<sup>1,2</sup>

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

**摘要:**某跨线曲线连续箱梁桥的桥跨正下方发生了火灾事故,梁体被大火熏黑,火灾事故对桥梁损伤不明,但由于燃烧时间比较长,桥梁的承载能力可能会降低,为全面获得桥梁的既有承载能力及结构损伤状况,本文采用多种手段及方法对该桥进行综合评定。检测结果表明火灾事故并未对该桥跨承载能力产生严重影响,尚不影响结构安全,但火灾事故对桥梁结构耐久性能的影响需进一步研究。

**关键词:**曲线连续箱梁桥;火灾事故;桥梁损伤;承载能力;检测评定

## 0 引言

随着经济和交通建设的快速发展,穿越桥梁的重型硬脂酸车、苯酚运输车、运油(气)卡车、海上油(气)轮等易燃易爆运输工具增多,桥梁火灾爆炸事件频频发生,引发的火灾将对桥梁结构带来严重威胁。作为桥梁偶然荷载之一的火灾作用对大桥造成的破坏不可估量。

在高温下,桥梁结构的材料力学性能退化,钢筋与砼间的粘结强度下降,预应力损失增大,结构承载力降低,导致安全隐患,进而影响公路桥梁的运营安全。目前没有专门针对公路桥梁火灾后的检测评定规范,通用做法是参考中国工程建设标准化协会的《火灾后建筑结构鉴定标准》(CECS252:2009)<sup>[1]</sup>。

为更加全面了解火灾对桥梁结构的损伤,笔者拟采用承载能力评定和火灾后结构鉴定相结合的综合评定方法,既通过火灾后桥跨结构的外观评定等级、材质状况与状态参数检测评定等级、火灾损伤等级及荷载试验检测结果,对桥梁主要承重结构进行火灾后检测综合评定。

## 1 工程案例<sup>[2]</sup>

凌坑互通 F 匝道桥位于广惠东沿线高速公路凌坑互通立交匝道(广惠东沿线南行转向沈海高速东行线匝道)上,位于半径  $R = 220\text{m}$  的圆曲线、 $A = 124\text{m}$  的缓和曲线以及  $R = 135.5\text{m}$  的圆

曲线上。桥梁设计跨径组合为  $(5 \times 20.3 + 31 + 26.149 + 25.371 + 2 \times 30 + 26 + 4 \times 25)\text{m}$ ,上部结构为先简支后桥面连续的小箱梁和预应力砼连续箱梁。

2015年9月1日凌晨4时许,深汕西主线 K2808+600 往深圳方向上一辆满载大货车起火燃烧,着火点正上方为凌坑立交 F 匝道桥(惠州往汕头)第四联第 12 跨跨中区域,大火燃烧持续约一个半小时,该桥跨主梁底板被大火完全熏黑,桥梁结构损伤状况不明,事件发生后,交管部门及时对该桥梁路段交通进行封闭处理。



图1 火灾后主梁底照片

## 2 火灾后桥梁状况检测评定

### 2.1 外观检查评定<sup>[3]</sup>

根据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21-2011),综合考虑上述病害检查状况,对该桥第四联桥跨桥梁结构进行桥梁技术状况评定,该桥第四联桥梁结构技术状况评分为 87.03,技术状况评定等级为 2 类。

表1 桥梁技术状况评定表

部位	评价部件	评分值	折算权值	部件得分	结构得分	总体评分
上部结构	承重构件	65.8	0.7	46.06	76.06	87.03
	一般构件	100	0.18	18.00		
	支座	100	0.12	12.00		
下部结构	桥墩	95.5	0.52	49.66	97.66	
	墩台基础	100	0.48	48.00		
	桥面铺装	100	0.44	44.44		
桥面系	伸缩缝	78	0.28	21.67	87.69	
	栏杆护栏	77.6	0.11	8.62		
	排水系统	66.6	0.11	7.40		
	标志照明	100	0.06	5.56		

2.2 火灾后结构损伤评定<sup>[4]</sup>

凌坑互通 F 匝道桥第四联第 4 跨轻度烧伤, 箱梁整体被浓烟熏黑, 主要病害为梁底混凝土表面留下较明显痕迹, 局部梁体混凝土烧伤后呈浅灰, 局部有粉刷层脱落, 火烧重点区域混凝土锤敲声音较闷、约有 2cm 厚混凝土成烧酥状态, 局部敲击有混凝土脱落, 脱落面积约 0.10m<sup>2</sup>, 表层混凝土呈浅灰, 初步估计此火烧重点区域内混凝土表面温度可达 300℃ ~ 500℃ 左右, 其余熏黑部分温度 < 300℃, 对结构影响不大, 此外 11-2# 支座局部轻微熏黑现象。火灾损伤见图 2。

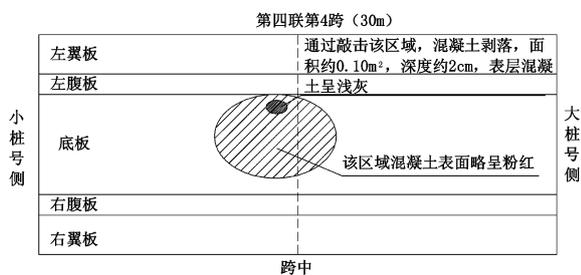


图2 第四联第4跨梁体火灾损伤示意图

根据本次检查结果, 初步判断为 II b 级烧伤, 未对结构材料及结构性能产生明显影响, 尚不影响结构安全, 但应采取提高耐久性或局部处理和外观修复措施。

2.3 材质状况与状态参数检测评定<sup>[5]</sup>

根据实桥状况, 此次材质状况与状态参数检测的内容包括: (1) 桥面线形测量; (2) 混凝土强

度检测; (3) 混凝土碳化深度检测; (4) 钢筋间距和保护层厚度检测。检测结果详述如下:

①桥面线形较平顺, 说明营运至今, 主梁异常变形值较小, 表明目前桥面线形较稳定;

②该桥桥跨箱梁混凝土强度推定值在 60MPa 以上, 推定强度匀质系数 ≥ 1.00, 评定标度为 1;

③混凝土桥梁碳化深度检测, 测试桥跨箱梁混凝土无明显碳化现象, 主梁混凝土碳化深度检测结果评定标度为 1;

④全联选取第 3、4 跨主梁进行钢筋定位保护层厚度测试, 共 10 个箍筋测试区域及 5 个主筋测试区域, 所有测区钢筋保护层厚度评定标度值均为 2、3, 对结构钢筋耐久性有轻度影响或有影响。

3 桥梁荷载试验分析评定

荷载试验评定主要通过静载试验和动载试验来分析评定, 它能检验桥跨结构的实际承载能力、结构变形及抗裂性能是否满足有关技术规范要求, 并结合理论计算分析结果, 科学评定桥梁结构目前的技术状态是否满足设计要求, 能否正常使用。

3.1 曲线连续箱梁桥理论分析

在箱形桥的静载试验中, 特别是曲线弯桥, 对箱梁的腹板应力和桥面两侧挠度数据较为关

心。在建立箱形桥模型时,主要采用三种计算方法:(1)按杆系单元进行桥梁整体分析,该方法计算简便,可得到桥梁整体计算结果,但不能得到两侧准确的应力和挠度数据;(2)对桥梁整个结构进行三维有限元离散,可求得桥梁全部的变形,但建模工作量大;(3)对箱形桥截面进行拆分,用梁格法的概念,以工字梁模拟纵梁,用横向单元来模拟横向联系,建模较为简单,并且能得到需要的应力和挠度数据<sup>[6]</sup>。本文分别采用第一种和第三种计算方法建立计算模型,即建立整联曲线连续箱梁的梁格模型计算得到静载试验需要的理论应力和挠度数据(见图 3);建立单梁模型进行桥梁整体分析计算得到动载试验的自振频率和理论振型(见图 4)。

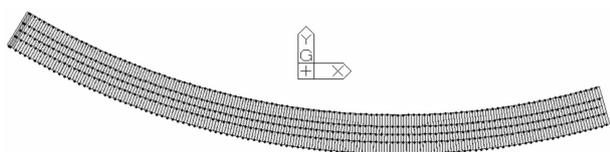


图 3 整联曲线连续箱梁梁格模型

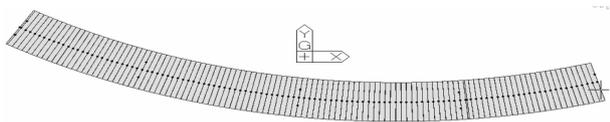


图 4 整联曲线连续箱梁单梁模型

### 3.2 静载试验评定

本桥设计实施的静载试验工况主要有五个:工况 1:第四联第 1 跨(边跨)跨内最大正弯矩偏

载工况;工况 2:第四联第 4 跨(边跨)跨内最大正弯矩偏载工况;工况 3:第四联第 4 跨(边跨)跨内最大正弯矩中载工况;工况 4:第四联第 3 跨(中跨)跨中最大正弯矩偏载工况;工况 5:中支点(第 10#墩)截面最大负弯矩偏载工况。通过计算得到测试截面的荷载试验加载效率计算表见下表 2。

由于篇幅的原因,本文仅以第四联第 4 跨(被火烧桥跨)跨内最大正弯矩荷载试验工况进行说明,控制截面应变、位移测点布置见图 5;试验测试结果见表 3、表 4。

在试验荷载作用下,试验桥跨控制截面最大实测挠度和应变的校验系数均满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》中评定值  $\zeta \leq 1.00$  要求,说明试验跨段主要控制截面的实际强度和刚度满足设计要求;实测残余变形值与实测总变形值的比值均满足《公路桥梁承载能力检测评定规程》中评定值  $S_p \leq 0.20$  要求,说明试验跨段结构的弹性工作性能较好,具有良好的弹性恢复能力;从裂缝检查情况可知,在加载前、加载后,试验跨段各箱梁跨中截面梁底、墩柱顶等主要受力构件未出现肉眼可见裂缝,说明结构处于正常工作状态;试验跨段箱梁结构边梁沿腹板高度应变测点的实测值基本呈线性变化,与理论值相关性较好,符合平截面假定,说明试验跨段结构处于良好的弹性工作阶段。

表 2 测试截面及荷载加载效率计算表

测试截面	设计荷载/(kN·m)	试验荷载/(kN·m)	荷载效率系数
第四联第 1 跨边跨跨内最大正弯矩	5 254.9	5 260.8	1.001
第四联第 4 跨边跨跨内最大正弯矩	5 485.4	5 517.2	1.006
第四联第 3 跨中跨跨中最大正弯矩	5 259.3	5 341.7	1.016
第 10#墩支点截面最大负弯矩	-3 457.1	-3 597.9	1.041

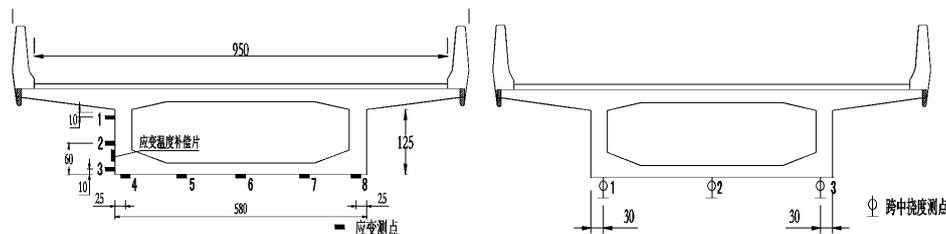


图 5 控制截面应变、位移测点布置图

表3 第四联第4跨跨内最大正弯矩偏载工况应变测试结果

测点号	腹板				底板			
	1 μ $\epsilon$	2 μ $\epsilon$	3 μ $\epsilon$	4 μ $\epsilon$	5 μ $\epsilon$	6 μ $\epsilon$	7 μ $\epsilon$	8 μ $\epsilon$
总应变实测值 A	-7	20	55	54	47	49	42	51
应变卸载残余值 B	-1	1	10	2	1	0	-1	7
弹性应变试验值 C	-6	18	45	52	46	49	43	43
应变理论值 D	-7	34	76	84	80	76	72	69
$\zeta = C/D$	0.84	0.54	0.59	0.62	0.57	0.64	0.59	0.63
残余校验系数 B/A	0.15	0.07	0.18	0.04	0.02	0.00	-0.02	0.15

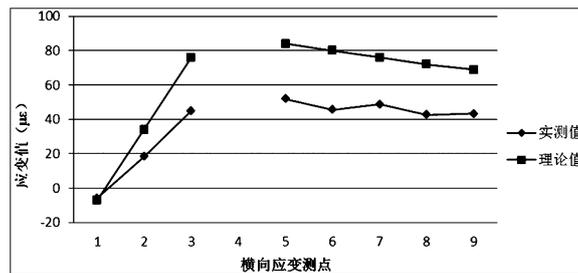
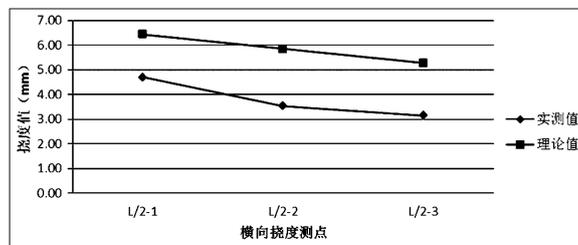


表4 第四联第4跨跨内最大正弯矩偏载工况挠度测试结果

测点号	L/4		控制截面			3L/4	
	1 /mm	2 /mm	1 /mm	2 /mm	3 /mm	1 /mm	2 /mm
总挠度实测值 A	3.20	2.88	5.09	3.90	3.40	2.97	2.35
挠度卸载残余值 B	0.25	0.15	0.40	0.37	0.25	0.27	0.16
弹性挠度试验值 C	2.95	2.73	4.69	3.53	3.15	2.70	2.19
挠度理论值 D	4.47	4.04	6.44	5.85	5.27	4.46	4.04
$\zeta = C/D$	0.66	0.68	0.73	0.60	0.60	0.61	0.54
残余校验系数 B/A	0.08	0.05	0.08	0.09	0.07	0.09	0.07



3.3 动载试验评定

自振特性测试试验,在桥面无任何交通荷载以及桥址附近无规则振源的情况下,通过高灵敏度动力测试系统测定桥址处风荷载、地脉动、水流等随机荷载激振而引起桥跨结构的微幅振动响应,测得结构的自振频率、振型和阻尼比等动

力学特征。测试结果见图6、图7及表5。

车辆激励试验,车辆激励方法在原理上为结构的自由振动衰减法,即给结构一个初位移或初速度使结构产生振动,然后测得结构的自由振动衰减曲线,进而分析处理得到结构的自振特性参数,见表6。

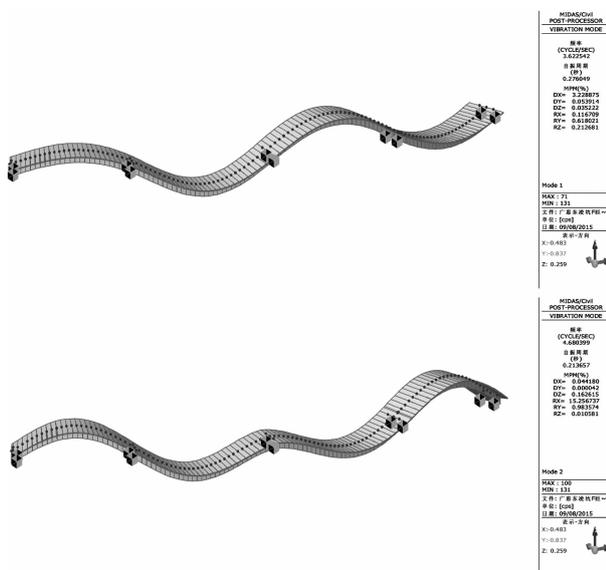


图6 理论全联一阶反对称竖弯及全联一阶对称竖弯振型

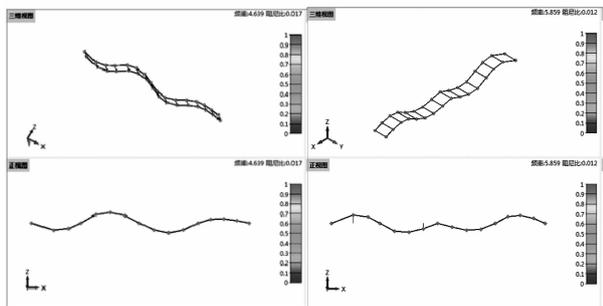


图7 实测全联一阶反对称竖弯及全联一阶对称竖弯振型

表5 桥跨动力特性结果表

试验桥跨 / 阶次	理论自振频率 / Hz	实测自振频率 / Hz	阻尼比 / (%)
全联一阶	3.62	4.639	1.7
全联二阶	4.68	5.859	1.2

该试验桥跨跨中实测竖向振动一阶、二阶自振频率大于理论计算的一阶、二阶自振频率,表明该桥跨有足够的竖向抗弯刚度;实测第4跨跨中最大正弯矩效应冲击系数小于理论计算值冲击系数,桥跨行车性能较好,桥面平整度较好。

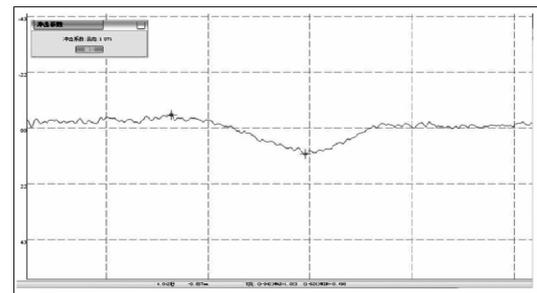
### 4 结语

(1) 提出采用承载能力评定和火灾后结构鉴定相结合的综合评定方法,既通过火灾后桥跨结构的外观评定等级、材质状况与状态参数检测评

定等级、火灾损伤等级及荷载试验检测结果,对该曲线连续箱梁桥进行火灾后检测综合评定。

表6 实测桥跨跨中动力特性结果

试验桥跨	工况	冲击系数
第四联第4跨	跑车	0.074



(2) 依据外观检查、火灾损伤检测、材质状况与状态参数检测及荷载试验的评定结果,表明火灾事故并未对该桥跨承载能力产生严重影响,尚不影响结构安全,但火灾事故对桥梁结构耐久性能的影响需进一步研究。

(3) 桥梁管理部门及时开放了交通,缓解的交通压力及降低了造成的社会不良影响。

(4) 建议增加对桥梁烧伤桥跨定期检查的频率,并针对伤桥跨建立永久性观测点,定期对桥梁的结构变形进行监测。

### 参考文献:

[1] 徐嵩基. 某公路桥梁火灾后的检测与评估[J]. 城市建设理论研究(电子版). 2014(14).

[2] 《惠州广惠东延线高速公路凌坑互通 F 匝道桥火灾损伤检测报告》[R]. 广东盛翔交通工程检测有限公司. 2015.

[3] JTG/T H21 - 2011, 公路桥梁技术状况评定标准[S]. 中华人民共和国交通运输部, 2011.

[4] 《火灾后建筑结构鉴定标准》(CECS252: 2009) [S]. 中国工程建设标准化协会.

[5] JTG/T J21 - 2011, 公路桥梁承载能力检测评定规程[S]. 中华人民共和国交通运输部, 2011.

[6] 罗振华, 姜海波, 梁格法在箱梁桥静载试验中的应用[J]. 广东公路交通. 2008(4): 16 - 18.

## “广东省桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术标准” 项目成果鉴定验收会报道

“广东省桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术标准”是2014年立项的广东省交通运输厅科技项目,编号为科技2014-02-023,由广东省交通规划设计研究院股份有限公司、广东和立土木工程有限公司、广东盛翔交通工程检测有限公司、柳州欧维姆结构检测技术有限公司共同承担研究任务。项目研究主要完成了如下研究内容:

(1)形成一套专门针对采用磁致伸缩导波检测技术进行桥梁索杆内部锈蚀断丝检测的评价体系。评价体系将索杆状态描述、依据距离-波幅曲线信号评价、依据相对幅值信号评价三方面结合统一起来,并给出5级评定标度分类的具体评判指标。

(2)结合索杆桥梁检测的工程特点,给出适合工程情况的经济合理的检测条件及检测周期建议;给出抽检比例和数量建议;给出复检周期建议等。

(3)给出在理想化的情况下得到的九种典型检测波形示意图,形成评判分析参考图库,可为实际检测的评判提供参考。

(4)编制《广东省桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术指南》及条文说明。

2016年5月12日,广东省交通运输厅在广州市组织召开了本项目的成果鉴定验收会议,省交通运输厅相关人员及领导,项目验收组专家,特邀嘉宾以及项目完成单位代表参加了会议。

项目鉴定验收专家组由来自国内相关专业的知名专家组成,主任由东南大学黄侨教授担任,成员有佛山科学技术学院罗旗帜教授等。鉴定验收专家组在认真听取了项目组的汇报,审查了鉴定验收材料的基础上,经过讨论和质询,一致同意本项目通过鉴定验收。鉴定验收组专家

认为:

一、课题组提交的鉴定材料完整齐全,完成了项目任务书规定的研究内容,达到了科技成果鉴定的要求。

二、课题组对广东省桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术标准进行了研究,并取得如下成果:

(1)通过室内试验、现场试验和收集相关检测数据,进行数据分析总结,基于磁致伸缩导波理论,提出了桥梁索杆内部锈蚀断丝检测的技术。

(2)提出了桥梁索杆内部锈蚀断丝检测的评价指标。

(3)形成了广东省桥梁平行钢丝索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术指南。

三、上述研究成果得到了实际工程的应用,效果良好。

综上所述,该研究成果具有实用价值,对于指导和规范桥梁平行钢丝索杆的内部锈蚀断丝检测,保障桥梁安全性具有重要意义。

鉴定委员会一致认为导波检测方法应用于桥梁索杆检测的研究成果填补了国内外空白,达到了国际先进水平。



(刘祥兴 报道)

## 高性能桥梁钢在桥梁建设中的应用 与发展技术交流报道

2016年4月26日至28日,由中设协冶金行业国际合作服务中心与桥梁工程与技术网主办的“高性能桥梁钢在桥梁建设中的应用与发展技术交流会”在河北省唐山市举行。

桥梁是交通线路中的重要组成部分,其材质的优劣,对保证交通安全畅通起着决定性作用。我国钢桥的比例仍很低。截至2015年底,全国公路桥梁75.7万座中,钢结构桥梁不足1%;而美国钢结构桥梁占35%,日本钢结构桥梁占41%。随着我国现代化建设的飞速发展,科学技术的不断进步,高性能的桥梁用钢已备受关注。2016年4月13日,交通运输部公路局副局长周荣峰在江西南昌举行的“2016年全国公路建设管理新标准规范技术研讨会”上表示,今年交通运输部公路局将推进的第一项重点任务就是加快推广钢结构桥梁在公路建设行业的应用,以化解我国钢铁行业过剩产能的问题。交通运输部拟发布《关于在公路建设中加快推进钢结构桥梁应用的指导意见》,加强政策层面的引导,并进一步完善相关标准规范,为钢结构应用提供政策和技术保障。同时,加强钢结构桥梁建设的相关技术研究,重点开展耐腐蚀、防火、抗疲劳等方面的研究,保证桥梁安全耐久,降低养护成本。

为了进一步提高我国桥梁建设水平,推广高性能钢在桥梁建设中的应用,宣传桥梁制造绿色环保理念,加强安全耐久性产品的研发,促进企业间交流合作,中国设备管理协会冶金行业国际合作服务中心与桥梁工程与技术网组织召开了2016“绿色钢铁 服务桥梁 美好生活”高性能桥梁钢在桥梁建设中应用与发展技术交流会。

本次会议围绕高性能桥梁钢在桥梁建设中的应用与发展展开了研讨和交流。会上主讲专家们对国内外高性能桥梁钢在桥梁建设中的应用与发展进行了介绍,从材料、设计、加工、检测、防腐养护、加固维修等多方面进行交流和探讨,各位专家各抒己见,为我国桥梁钢结构的发展建言献策。

中国工程院院士柯伟,就“碳钢和低合金钢耐候性研究的现状和发展”做了专题报告,重点介绍耐候钢的研究、开发与应用、低成本耐候钢研究进展及高性能耐候桥梁钢研发前景和应用;中交公路规划设计院有限公司副总工程师赵君黎的报告主题是“公路钢结构桥梁设计规范修订情况介绍”,重点介绍最新颁布的《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)的修订情况;北京交通大学雷俊卿教授就“公铁两用大桥与钢桥的可持续发展研究”做了专题报告,重点介绍大跨度公铁两用大桥的发展现状、公铁两用大桥的桥面布置与结构体系、公铁两用大桥可持续的发展展望、典型的钢结构桥梁工程实例简介;中交公路规划设计院有限公司桥梁研究室主任黄李骥的报告主题是“我国钢结构桥梁与桥梁用钢的现状与发展”,重点介绍我国公路钢桥的历程、桥梁用钢的需求、桥梁用钢的未来;中国钢结构协会桥梁钢结构分会常务副理事长张玉玲做了题为“对我国钢梁建设情况及发展方向的思考”的报告,重点介绍我国铁路钢桥建设情况回顾、钢桥建造技术特征、钢桥、砼桥的科研积淀、新时期推广钢桥梁的思考;鞍钢钢铁研究院总工侯华兴的报告主题是“鞍钢高性能耐候桥梁钢生产技术及产品开发”,重点介绍国内外高性能耐候桥梁用钢发

展、全面提高耐候钢综合性能的途径、鞍钢高性能耐候桥梁用钢关键工艺技术、鞍钢高性能耐候桥梁用钢耐候性能、鞍钢高性能耐候桥梁用钢工程应用;山西太原不锈钢股份有限公司王辉绵高工做了题为“跨海桥梁用耐腐蚀不锈钢钢筋的特点及国内外应用情况”的报告,重点介绍国内外不锈钢在桥梁工程中的应用情况。

纵观世界桥梁建设的发展趋势,钢结构桥梁将取代砼结构桥梁,引领桥梁建设新时代。伴随经济高速发展,为拓展生活空间,我国已进入现代桥梁设新时代,将建造越来越多、越来越大、越来越长桥梁,这为钢结构桥梁提供了广阔的天地。

(马玉全 报道)

## GB18306 - 2015《中国地震动参数区划图》 宣贯会培训报道

2016年5月17日~18日,由中国地震局、广东省地震局联合主办的“GB18306 - 2015《中国地震动参数区划图》宣贯会”在广州市华泰宾馆召开。

主要有以下几个专题:

(1)区划图编制基本情况;四级地震作用。高孟潭主讲;

(2)地震动双参数调整;地震动参数与地震反应谱。李小军主讲;

(3)地震动参数确定方法。吴健主讲;

(4)区划图实施中的法律问题。李一行主讲;

(5)区划图实施中的政策问题。赵凤新主讲;

(6)区划图编制科技支撑。俞言祥、吕悦军、潘华、周本刚主讲;

2015版《中国地震动参数区划图》相比2001版有较大变化,主要体现在:

(1)新版地震动参数区划图部分地区的基本地震动峰值加速度及基本地震动加速度反应谱特征周期有所提高;同时,新版区划图取消了不设防区域。

(2)新版地震动参数区划图明确了四级地震作用相关的五类场地地震动参数。四级地震作用即多遇地震、基本地震、罕遇地震和极罕遇地震,五类场地Ⅰ0类,Ⅰ1类,Ⅱ类,Ⅲ类,Ⅳ类。

(3)新版地震动参数区划图规定依据标准确定的地震动参数值是最低要求。

(4)新的“区划图”采用“双参数调整”,即加速度反应谱特征周期调整和地震动峰值加速度调整。2001版区划图只根据场地类别和地震分组调整加速度反应谱特征周期 $T_g$ 值;新版区划图不仅调整加速度反应谱特征周期 $T_g$ 值,还调整了峰值加速度,二者均需同时按照场地类别以及地震概率水平进行调整。加速度反应谱特征周期的地震概率水平调整和场地调整分别见新版区划图7.2条和8.2条规定;地震动峰值加速度的地震概率水平调整和场地调整按照新版区划图6.2条和8.1条规定。

新版区划图自2016年6月1日开始实施,对地质勘察及结构抗震设计提出了更高的要求,目前国内对结构抗震的重视程度有待进一步提高。

(王兹刚 报道)

## 公司与和立子公司举行公路检测、监测及桥梁维修加固 技术交流会

4月12日,公司与和立子公司举行公路检测、监测及桥梁维修加固技术交流会,和立、盛翔子公司各分管领导分别对锚下预应力检测、岩土工程监测检测、路桥及桥索检测维修、高明大桥维修加固等技术作专题报告,向与会人员介绍和立子公司目前的技术力量情况。公司技术质量部、各部门、分公司部门领导、副总工以及相关的技术骨干近40人参加了交流会。

和立子公司于2013年完成了《桥梁锚下预应力检测》课题,并申请发明专利一项,取得实用新型专利二项,目前已完成第二代产品研发和升级。该技术先后在广珠西线三期高速公路、港珠澳大桥东西人工岛非通航孔桥现浇箱梁等多个项目应用。



公路岩土工程监测检测是和立公司的主营

业务之一,至今共完成软基、高路基监测,高边坡监测检测,隧道监测检测近百项,包括广东省广中江高速公路工程软土路基施工监测、广东省东山(闽粤界)至潮州古巷公路高边坡、高路基监测、广梧高速公路双凤至平台段第十四合同段隧道工程施工监控量测等。

路桥检测技术及桥梁索体系特殊检测维修技术满足甲级和现行路桥检测的相关要求。典型工程项目分别有佛开高速改扩建工程、佛山均安勒均桥检测及承载能力评估等项目。动静载试验先后应用于柬埔寨水净华桥、老挝北本湄公河大桥等桥梁。桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测技术研究获2015土木学会科学技术奖二等奖;现承担桥梁索杆内部锈蚀断丝导波无损检测的广东省技术标准的制定。

和立子公司拥有特种专业工程(限结构补强)资质、安全生产许可证等,维修加固技术方面现正在申报拱桥吊杆技术相关的专利。技术典型的施工项目分别有中江睦州大桥、三水油金大桥和电白新河大桥、广清高速与北环连接线匝道桥、佛山高明大桥等。

(刘祥兴 报道)

## 工程地质勘察技术交流报道

2016年5月14日,岩土勘察分公司邀请全国著名公路工程地质勘察专家余波来分公司开展培训,并深入开展工程地质勘察技术的交流。

余波教授的培训内容主要分两部分:

(1)公路工程地质勘察相关知识讲解,含工程地质调绘、工程地质钻探、物探、原位测试、工程地质报告编制等专业知识讲解及应用。

(2)公路工程地质勘察技术和经验交流。

余波教授提炼了几十年工程地质勘察工作的经验,结合岩土勘察分公司的生产现状,精心准备了培训课件和案例材料,对公路工程地质勘察的发展前景、地质勘察实际工作中的知识应用和经验判断,做了全面科学的分析,对分公司技术人员提出的疑问都耐心细致地一一解答。同时,我司参会的技术人员就目前勘察过程中原位测试、隧道涌水量计算、钻孔深度控制等方面的问题与余教授进行了交流和探讨。



本次交流会针对工程地质勘察实际应用中的知识点做了详尽的分析,并结合《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011)的要点做了深入的阐释,开拓了技术人员的视野,帮助大家更好地了解地质勘察行业的现状和前景,有效地促进了技术的交流,经验的分享,得到了技术人员的好评。

(郑蔚雯 张金平 报道)

## “广东省河口至平台(粤桂界)高速公路”喜获第十三届中国土木工程詹天佑奖

由公司负责设计的“广东省河口至平台(粤桂界)高速公路”喜获第十三届中国土木工程詹天佑奖。

广东省河口至平台(粤桂界)高速公路是国家重点公路规划“7918网”中第十八横向路线广东省广州至云南昆明的一段,在初步设计过程中,河口至平台段分成两段:河口至双凤段和双凤至平台段进行勘察设计,其中双凤至平台段被列为部省联合公路勘察设计典型示范工程。本项目的建设是国家重点公路网的组成部分,它串连了广



肇高速公路、国道 G324 线、省道 S368 线、省道 S352 线、省道 S279 线；通过设置封开连接线，本项目还串联了国道 G321 线。它的建设改善了我省西部山区路网结构，完善我省高速公路网具有重要意义；它的建设加强了我省西部城镇与珠江三角洲的联系；它的建设加强了我省与广西、云南、贵州的运输往来，促进“泛珠江三角洲”经济发展，促进社会发展具有重要意义。

本项目按照“安全、环保、舒适、和谐”的设计理念，树立“可持续发展”的设计观念。把安全放在首位，采取一切有效方法和措施，保证公路设施自身安全、运行车辆行驶安全及行人等的安全。本着有利于社会进步和发展的原则，对社会环境有重大影响部位，根据可持续发展原则进行方案论证，尽量少占农田、少干扰居民村落及学校，保护名胜古迹等人文景观，促进社会经济发展。根

据本项目特定的地理位置、地形地貌特征、气候气象特征及社会环境特征，以及项目区域范围内的文化传统、风俗习惯及审美观。设计中充分考虑和尊重了这些地区特性，并将对自然环境的尊重放在首位。



(刘祥兴 报道)

## 钢结构与组合结构桥梁发展论坛 暨枫溪大桥技术参观活动报道

6月25至27日，由湖南大学与《桥梁》杂志社主办的“2016 钢结构与组合结构桥梁发展论坛暨枫溪大桥技术参观活动”在湖南省长沙市举行。

钢结构具有绿色、环保、可再生等特点，钢结构桥梁自重轻、跨越能力强，混凝土结构桥梁具有较好的经济性，结合两种材料的各自优势，钢混组合结构桥梁可以使结构设计、施工、维修更趋合理并具有全寿命经济性，可以最大程度地实现工厂化制造，因而具有整体受力的经济性与工程质量的可靠性。组合结构桥梁在欧美日各国的桥梁建设中占有重要地位，我国在这方面的研究和实践都存在着差距，研究并推动钢结构与组合结构桥梁的应用，对促进我国桥梁技术的全面发展具有积极地意义。值得注意的是，钢桥的正交异性钢桥面板疲劳开裂和沥青铺装层损坏在我国十分严

重，已成为钢桥建设的拦路虎。为避免出现类似病害，枫溪大桥（ $3 \times 45 + 300 + 3 \times 45$ ）钢—混凝土混合梁自锚式悬索桥）钢桥面采用了“钢—超高韧性混凝土轻型组合桥面新体系”。

在枫溪大桥超高韧性混凝土即将铺设完成之际，《桥梁》杂志社召开“2016 钢结构与组合结构桥梁发展论坛暨枫溪大桥技术参观活动”。

本次会议特邀周旭红院士做大会主席，组织开展对于钢结构与组合结构桥梁的研究探讨，归纳总结钢结构与组合结构桥梁的建设经验，提高钢结构与组合结构桥梁设计、施工、养护及管理水平，解决钢结构与组合结构桥梁建设的新问题。各位专家各抒己见，为我国桥梁钢结构的发展建言献策。

中国工程院院士周绪红就“钢—混凝土组合结构索塔锚固体系”做了专题报告，重点介绍钢

锚板、钢锚梁、钢锚箱的传力机理、破坏形态和极限承载能力,其中包括钢锚板、钢锚梁组合索塔锚固体体系的足尺节段模型试验以及三种锚固体体系的精细化弹塑性有限元数值分析,提出三种锚固体体系各自的设计思路和方法,对钢—混凝土组合索塔锚固体体系未来的发展趋势和应用前景进行展望。

中国工程院院士聂建国就“桥梁结构的创新与实践”做了专题报告,对钢—混组合结构桥梁的发展历程、发展方向、技术难点及解决措施等问题进行深入的剖析。

由于现有的颤振设防标准没有考虑颤振后的实际情况,对今后特大跨度悬索桥的建设制约很大,中国工程院院士陈政清在“特大跨度悬索桥振动及其对策的思考”专题报告中就颤振后临界状态研究,车振与地震分开设防问题和多阶模型涡振问题等提出了一些新的看法。

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司总工程师邵长宇设计大师的报告主题是“组合结构在大跨度桥梁中的应用现状与前景”,分别针对斜拉桥、悬索桥和拱桥三种大跨度桥型,分析阐述组合结构的技术发展和应用现状。从力学性能、工程环境、经济竞争力以及技术进步角度,分析组合结构在大跨度桥梁发展中的技术需求及发展前景。

湖南省交通规划勘察设计院党委书记兼副院长胡建华设计大师的报告主题是“钢—UHPC 轻型组合梁设计与实践”,结合岳阳洞庭湖二桥、株洲枫溪大桥、湘潭昭华桥与益阳胜天大桥等工程实践,介绍钢—UHPC 轻型组合结构的基本性能与构造特点,阐述钢—UHPC 轻型组合桥梁的结构设计计算的具体方法和步骤。

湖南大学邵旭东教授就“钢—UHPC 轻型组合桥梁结构的研发”做了专题报告,介绍了 UHPC 的基本性能、新结构体系的构成与特点、主要技术指标、前期的工程应用效果、今后进一步发展的前

景等。

中交公路规划设计院有限公司副总工程师赵君黎的报告主题是“《公路钢结构桥梁设计规范》和钢桥应用调研情况介绍”,重点介绍最新颁布的《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64 - 2015)的修订情况。

同济大学刘玉擎教授的报告主题是“组合折腹板桥梁设计标准研究”,对折腹板桥梁结构性能、受力特点、构造特点及难点做了详细的介绍,特别是在波形腹板与顶、底板常规连接的方式上,提出了新的构造措施,可有效改善连接性能,提高应用范围。

浙江大学项贻强教授的报告主题是“体外预应力钢—混组合梁长期滑移及自振频率计算”,针对线形规范中钢—混组合梁桥设计时界面滑移未计入混凝土收缩徐变效应的影响,在线形滑移和混凝土钢梁之间无掀起的假定下,推导综合考虑桥面板混凝土长期性能和施加预应力影响的体外预应力钢—混组合梁桥的滑移计算公式。

湖南大学祝志文教授的报告主题是“基于实桥监测的钢—UHPC 组合结构桥面板构造细节的疲劳性能研究”,介绍某座实桥通过监测随机车流下全部构造细节的应力时程,获得应力谱、最大和等效应力幅及疲劳加载数,基于典型短时应力时程揭示构造细节对车辆轮载的相应特征。

湖南大学方志教授的报告主题是“UHPC 灌注钢—混结合段中 PBL 剪力键受力性能的试验研究”,结合云南六库怒江二桥的工程实际,介绍采用超高性能混凝土灌注混合梁钢—混结合段的设计与施工,对混合段内 PBL 剪力键的受力性能进行了试验研究,基于试验结果,明确了 PBL/UHPC 剪力键的受力变形性能及其抗剪承载能力的构成机理,提出了相应的抗剪承载能力计算公式。

(宁立、盛捷 报道)