

广东公路勘察设计

(季刊)

2011 年 6 月 30 日出版

2011 年第 2 期

(总第 142 期)

内部资料 免费交流

登记证编号: 粤内登字 O 第 10427 号

编辑委员会

主 任: 李江山

副主任: 梁立农 王 强

委 员: 谢伟强 彭向荣 张敬沛

陈潮锐 孙向东 张修杰

王景奇 陈新富

主 编: 梁立农

副 主 编: 王 强

责任编辑: 胡 浩

编 辑: 《广东公路勘察设计》编辑部

主办主管: 广东省公路勘察规划设计院
股份有限公司

出 版: 广东省公路勘察规划设计院
股份有限公司

地 址: 广州市沙河兴华路 22 号

邮政编码: 510507

电 话: 020 - 37393172

传 真: 020 - 37393172

E - mail: huhao2001@yahoo.com.cn

印刷单位: 广州广卫印刷厂

封 面: 富湾特大桥

目 次

道路工程

广清高速公路改扩建软基处理设计 张 文 刘事莲(1)

公路交叉口合理间距研究 吴 艳(5)

桥涵工程

刚性悬索桥动力特性分析 杨建亚(8)

拱涵结构的矢跨比分析 杨 钻, 兰 南(12)

G325 九江大桥主桥斜拉桥模态试验分析 王泉清(16)

隧道工程

中山东部快速路焦树山隧道结构设计施工

..... 金文良 聂玉文 李国安(21)

特长公路隧道紧急停车带通风优化分析研究 温玉辉(26)

交通经济

Google Earth 在公路工程可行性研究中的应用 王子明(31)

广深高速货车载重特征调查与分析 陈爱萍(34)

工程勘测

浅谈机载激光雷达测量(LIDAR)技术在公路勘测中的应用

..... 汤 敏(37)

信息专栏

Vissim 初、中级课程培训报道 (40)

2011 年度沥青路面预养护技术交流培训会报道 (40)

大跨度桥梁和组合结构桥梁新技术论坛报道 (41)

2011 年公路隧道安全设计与运营管理暨水下隧道建设技术

国际会议报道 (42)

节能评估课程培训报道 (44)

城市快速路与城市道路交叉口规范设计疑难问题处理高级

研讨班报道 (44)

公路工程定额编制与工程案例解析实务培训报道 (45)

房屋建筑与市政基础设施工程勘察强制性条文析疑及勘察

文件编制深度规定与审查要点研讨班在广州市举办 (45)

质量管理体系有效性实施及审核能力提高培训班报道 (46)

第三届全国软土地基处理与加固技术学术研讨会报道 (47)

2011 年度正交异性钢桥面病害的检测与治理研讨会报道 (48)

桥梁设计软件知识讲座报道 (49)

项目负责人质量管理体系培训报道 (50)

广清高速公路改扩建软基处理设计

张 文, 刘事莲

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 在高速公路改扩建中, 软基路段的有效处理是减少新老路之间不均匀沉降的关键之一。以广清高速公路北段改扩建工程软基处理设计为依托, 介绍了高速公路软基路段改扩建需注意的问题, 包括旧路基边坡削坡和台阶开挖、软土路基处理、路基拼接填筑与加宽、软基路段监测等。

关键词: 高速公路; 改扩建; 软基处理

1 工程概况及老路基加固情况现状

广州(庆丰)至清远(北江)高速公路改扩建工程, 起点位于广州市白云区石井庆丰收费站, 沿银盏平原、低缓丘陵区、龙塘河冲积平原、北江冲积平原北行, 经清远市清城区龙塘镇与清城区横荷街, 路线全长 57.560km。原广清北高速公路现有车道数为四车道, 路基宽 24.5m, 设计车速 100km/h。

本项目部分路段路基设计填土高度达到 6~7m, 个别路段甚至达到 10.6m。沿线山涧洼地、大燕河一带广泛分布浅层软土, 个别路段达到 12m 深。软土主要为第四系河漫滩相或沼泽相淤泥、淤泥质土、泥炭土, 这类软土分布于平

原区、河流谷地和山间洼地。如表 1 所示, 本项目软土多具有含水量高、孔隙比大、高压缩性和低力学强度等特点。原公路对 3.819km 长的软土路基进行了处理, 采用了如下方式: (1) 软土层底埋深较浅的采用抛石挤淤、换填处治; (2) 软土层较厚的桥头软基路段采用粉喷桩处理; (3) 对地基承载力要求较高的涵洞构造物采用预应力管桩处理; (4) 其他软基路段采用袋装砂井处理。从目前现状调查看, 全线大部分路段沉降基本稳定, 仅局部桥头、涵洞路段沉降尚未稳定, 出现桥头跳车的现象, 老路纵断面拟合情况也证实了这一点。改扩建工程采用双向八车道整体式路基宽度 41.0m, 需要在原四车道路基两侧拓宽。

表 1 软土的主要物理力学指标统计一览表

指标	含水率 W_0 /(%)	孔隙比 e_0	液限 WL /(%)	液限指数 IL /(%)	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	压缩系数 a_{1-2}/MPa	剪切指标(直接快剪)	
							凝聚力 c/kPa	内摩擦角 $\phi/^\circ$
平均值	50.59	1.14	37.63	0.82	3.44	1.05	5.57	7.04
最大值	107.90	2.86	52.60	5.13	6.57	2.94	35.00	23.90
最小值	43.80	0.66	28.10	-0.81	1.10	0.23	4.00	3.00

2 旧路基边坡削坡和台阶开挖

根据以往经验, 拓宽高速公路路基时, 采用在原右侧硬路肩以较大坡率削坡或在原有路基坡面先清表再开挖台阶的方式。考虑到扩建施工时广清高速仍保持通车, 为避免施工过程中

开挖路肩与防撞栏影响行车安全, 综合应用上述两种方案的优点, 本项目确定采用如下削坡清表方案: 首先从土路肩外侧以 1:1 的较大坡率削坡到 1.5m 高度范围, 接着沿与原路基边坡平行坡率进行清表, 然后在清表后的坡面再开挖台阶的方式(如图 1 所示)。

台阶的开挖尺寸(宽度和高度)有一定的限制,一方面需要为新旧路堤间提供尽可能多的接触面积,这就需要台阶要多而小;另一方面需要为土工格栅的铺设提供足够的锚固长度,这就需要台阶较宽;同时,为保持施工时旧路基的稳定,台阶又不宜太高。我国几条高速公路加宽工程都把台阶高度控制在 80cm 以内,台阶宽度根据边坡坡度确定,在 60~200cm 之间。本项目开挖台阶高 80cm,并设向内倾 2% 的斜坡。对于桥头路段、涵台后、挡土墙路段路基拼接时,由于需要开挖基础,开挖深度大,导致开挖坡度陡,甚至开挖到砂层,需要做好开挖台阶的支护。

3 软基处理设计

扩建工程存在新老路堤拼接的问题,应考虑新老地基软土的固结程度不同导致新老路基的沉降差较大,应采取适当的措施。针对软土分布状况和主要物理力学性质指标,结合路基工程对变形的要求,本项目软基处理综合采用了如下方式:(1)软土埋深大于 10m、软土厚度小于 2m 且路基设计填土高度不大的路段采用直接预压。(2)软土埋深小于 2.5m 的弃方路段,采用换填处治,并尽量选用隧道洞渣换填、软土软土直接裸露于地表且软土底部埋深小于 2.5m 的借方路段,采用砂垫层堆载预压处治。

(3)软土埋深为 2.5m~3.5m、软土厚度小于 1.5m 的路段采用砂垫层堆载预压处治。(4)软土埋深大于 3m、软土厚度大于 2m 的路段采用复合地基。(5)复合地基的具体方案为:软土深度小于 15m 的路基、桥头路段采用水泥搅拌桩(湿法)处治;涵洞路段或软土深度大于 15m 的路基、桥头路段采用素砼桩。(6)对于填土高度大于 4m 并且原路基采用袋装砂井处治的复合地基处治路段,采用二次施工平台方式施工。(7)涵洞、桥台均不采用反开挖施工;(8)考虑本项目改扩建工程为拼接加宽软基处理,对于水泥搅拌桩处治的桥头路段、堆载预压路段采用等载预压。

填土高度大于 4m 的扩宽软基路段,采用“二次平台”施工技术。即新路基填筑到一定高度后,再处理旧路基边坡部分的复合地基。如图 1 所示,该方法有如下优点:尽量增大软基处理范围,基本覆盖拓宽车道下方;并且对原土路肩及路基边坡欠压实部分进行重新压实,因而可以减少拓宽路基的沉降。

复合地基设计参数:(1)水泥搅拌桩:直径 0.5m,正三角形布置;新建和扩宽部分间距 S_2 为 1.2~1.4m,现有道路边坡宽度范围内的水泥搅拌桩的间距 S_1 稍微大一些,为 1.3~1.5m。桩底穿透软土进入下卧层不小于 0.5m,桩顶设置 60cm 砂垫层。

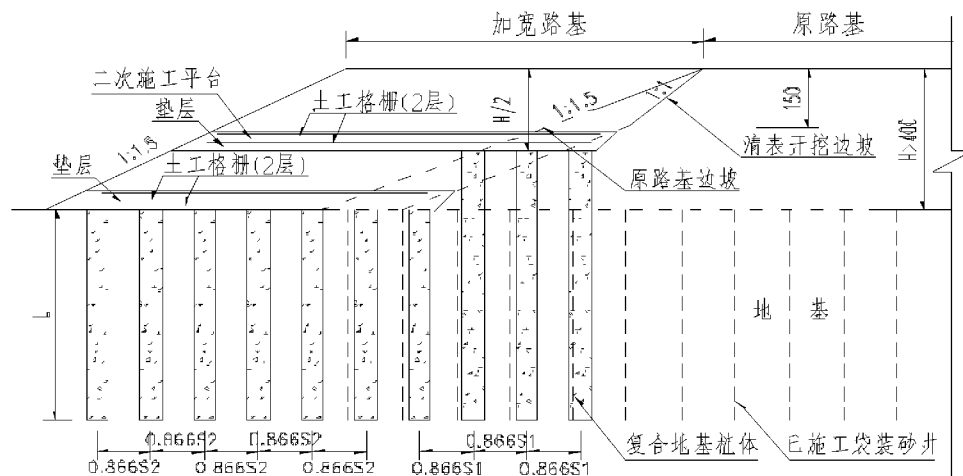


图 1 高路堤软基段复合地基处理横断面

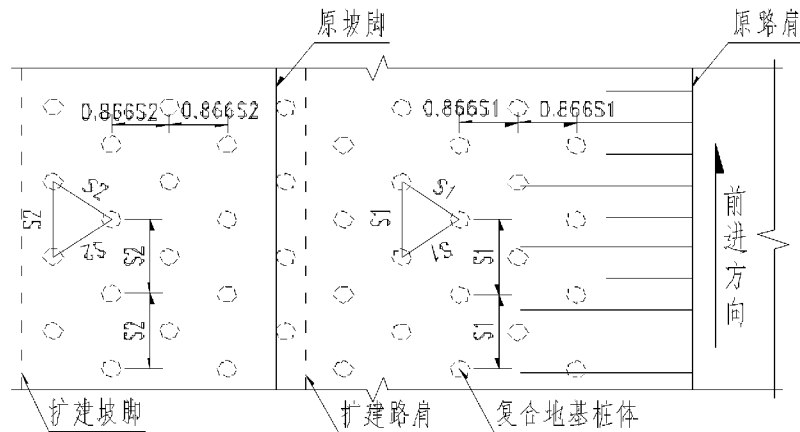


图 2 高路堤软基段复合地基处理平面布置图

(2) 素砼桩: 直径为 0.4 m, 呈正三角形布置; 在新建和扩宽部分, 素砼桩间距 S_2 为 1.5 ~ 1.8 m, 现有道路边坡宽度范围内的素砼桩的间距 S_1 为 2.0 ~ 2.2 m。素砼桩桩底穿透软土进入下卧层不小于 1.0 m, 桩顶设置 60 cm 碎石褥垫层。褥垫层内铺设两层双向土工格栅, 顶部铺设一层, 中下部铺设一层, 格栅层间距 30 cm。高路堤软基段复合地基处理如图 1, 图 2 所示。

广东省大部分高速公路采用土工合成材料来加强路基的稳定。本项目扩建采用如下种类的土工合成材料: (1) 对采用换填、堆载预压处治的一般软土路段, 设置层数 1 ~ 3 层中等强度的单向土工格栅; (2) 对水泥搅拌桩复合地基, 采用较高强度的双向聚酯土工格栅加强褥垫层作用; (3) 对素混凝土桩复合地基, 采用较高强度的双向钢塑土工格栅加强褥垫层作用。

4 软基路段路基拼接填筑与加宽

对复合地基处理软基路段, 桩体施工完毕 28 d 后, 经检测合格方可进行路基填土施工。路基填筑采用“薄层轮加法”, 即在第一级快速填土至极限高度后, 余下的加载高度按碾压机械要求厚度分层填筑, 分段设计每次铺设长度、起始时间, 使其与地基强度增长相协调, 按预压时间长短组织施工计划, 充分利用每薄层填土事地基土的强度增长进行加载, 以达到安全、快速

施工的目的。本项目极限填土高度为 2.0 ~ 3.5 m, 6 m 填土高度的路基需要 4 ~ 6 个月的填筑时间, 每层填土时间一般间隔 7 天。

此外, 高速公路扩建工程软基路段施工还应注意以下几个方面: (1) 对沉降量大的路段, 路堤填筑至设计高程时, 侧坡余宽和边坡率应留有余地, 使其压实宽度大于路基设计宽度, 进行加宽填筑; (2) 在开挖台阶处每隔一级台阶横向铺设一层单向高强土工格栅, 长度为 8 m。对于采用复合地基处治的软土路基, 为了避免桩穿过土工格栅, 除了在桩顶按照软土路基设计设置双向土工格栅外, 仅需要在桩顶以上的台阶处隔台阶布设土工格栅; (3) 为保证土工格栅的正常使用和对开挖边坡加固, 在设置土工格栅的台阶内侧设置长 1.5 m 的 $\phi 16$ 锚杆。锚杆连接土工格栅, 打入土中, 间距 2 m; (4) 高速公路拓宽工程中对于拼接路基的压实是施工质量的重点, 在填筑中, 应按有关规范控制好填土的压实度。

5 软基路段监测

为保证广清高速拓宽施工能顺利进行, 掌握路堤在施工中的变形动态, 施工期间必须动态观测路基的沉降与稳定。建议在如下路段设置监测断面: (1) 软土深度较深及性质极差的路段; (2) 填土高度最高路段或填土高度较高且软

土深度较深的危险路段;(3)桥头搭板尾端;(4)距桥头 50m 左右处;(5)涵洞、挡土墙、气泡轻质土路段;(6)鱼塘等浸水路段;(7)半填半挖及纵横向软土分布变化较大的路段;(8)软土零星分布路段。除上述路段外,连续、均匀分布的一般软土路段可根据处治措施和桥涵设置情况按 100 ~ 300m 左右间距设置监测断面。

对重点路段试验段宜进行下面观测项目的监测:(1)采用沉降板和分层沉降标进行沉降观测。(2)水平位移观测:地面水平位移采用位移边桩观测;地基土体水平位移采用测斜管观测。(3)土压力观测:待复合地基桩施工完毕后及时埋设土压力盒,在初读数稳定后,才可以进行其上的填筑工作。(4)孔隙水压力观测:待软基处理施工完毕后、垫层顶填土前,采用钻孔埋设法及时埋设孔隙水压力计。

由于孔隙水压力、土压力和分层沉降监测要求高,费用昂贵,实际工程中建议采用沉降速率和侧向位移两个指标进行双控监测。观测频率视不同时期、填土高度和监测资料分析结果而定。

6 结语

高速公路改扩建软基路段处理的关键在于保持施工时旧路基稳定和减少新旧路基衔接处的工后沉降。需要根据路基设计填土高度、软土赋存状况和主要物理力学性质指标,结合路基工程对变形的要求,旧路软基处理方式,对旧路基坡面开挖、扩建软基处理以及排水途径的完善等方面来综合考虑拓宽的设计。在广清高速改扩建中,软基路段新老路基拼接的处理措施主要有:选取合适的软基处理方法并保证施工质量、边坡削坡和台阶开挖、土工合成材料的应用、采用高强度的路基填料、路堤的压实度控制等等。

参考文献:

- [1] 广东省公路勘察规划设计院有限公司. 广州(庆丰)至清远(北江)高速公路改扩建工程施工图设计[R]. 2009.
- [2] 陈海珊,胡永深. 广佛高速公路加宽工程的软基处理[J]. 广东公路交通, 1998, (3): 47 ~ 50.

公路交叉口合理间距研究

吴 艳

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 现行《公路路线设计规范》在公路等级分类中引入了公路功能的概念,公路按功能不同可分为干线公路、集散公路和地方公路,不同功能的公路对平面交叉的间距要求也不一样。文章分析了集散公路和地方公路平面交叉间距组成,并给出了相应的间距值供参考。

关键词: 交叉口;合理间距;功能

集散公路和地方公路主要是保证路网通达性,服务短距离交通和地方交通。由于我国对道路接入管理技术的研究起步较晚,因此,对公路沿线交叉口间距缺乏严格的规范要求。研究表明,平面交叉间距过小,数量过多,是引发交通事故的原因之一。交叉口间距过小会造成车辆频繁的停车,多余的延误,增加燃料的消耗、车辆尾气的排放和较高的事故率。过小的间距使车辆行驶交织长度不够,车流紊乱,冲突增加,同时,交叉口间距过近,驾驶员始终处于精神集中状态,加重了驾驶员的操作负荷。在采用固定信号周期控制时,短间距交叉口的抗干扰能力也比较差。若间距过大,禁止道路接入,则会失去公路的功能需求,达不到路网通达的要求。因此,集散公路和地方公路平面交叉合理间距标准的确立是迫切需要解决的问题。

1 集散公路和地方公路合理间距

平面交叉合理间距应能充分发挥公路功能,保证公路车辆正常运行,使交通流平稳到达,降低车辆之间的速度差;保证两交叉口之间具有足够的安全交织的距离,确保驾驶员有足够的时间准备进入下一个平交路口,保障公路交通的安全和运营效率。

《规范》规定了一、二级公路作为集散公路时平面交叉的最小间距,但一、二级公路做为集散公路时,速度差异性较大,平面交叉间距应考虑速度因素,而三、四级集散公路和地方公路交叉

口间距《规范》中尚无明确规定。因此,集散公路和地方公路的平面交叉合理间距由交叉口功能区长度和车辆的平稳运行段长度综合确定。

2 交叉口功能区长度

交叉口的功能区是车辆进出交叉口的区域,驾驶员在这个区域内需要进行加减速、更换车道、转弯等操作,在交叉口功能区之外,车辆以正常速度行驶,其特征符合路段交通特性。功能区包括交叉口物理区、上游功能区长度(驾驶员意识到交叉口的存在并且开始操作通过它)和下游功能区长度(这段距离用于减少直行交通和转弯驶入交叉口交通之间的冲突),如图 1 所示。一般情况下,不得在交叉口功能区内接入其它道路。以防交叉口上下游功能区域互相重叠,增加冲突点数。

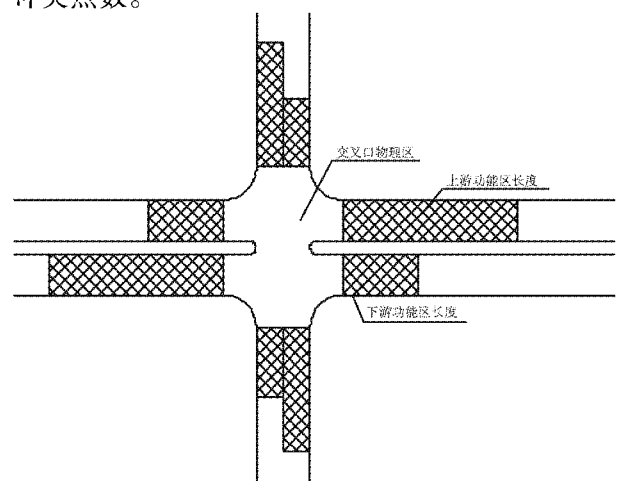


图 1 交叉口功能区长度

(1) 交叉口上游功能区长度。

上游区域包括在反应时间和操纵减速时间内的行驶距离和排队车辆长度。通常交叉口上游功能区由三部分组成:司机发现交叉口的感知

- 反应时间内行驶的距离 d_1 ; 车辆减速行驶的距离 d_2 ; 车辆排队长度 d_3 。交叉口功能区上游长度 $d_{\text{上游}} = d_1 + d_2 + d_3$, 如图 2 所示。

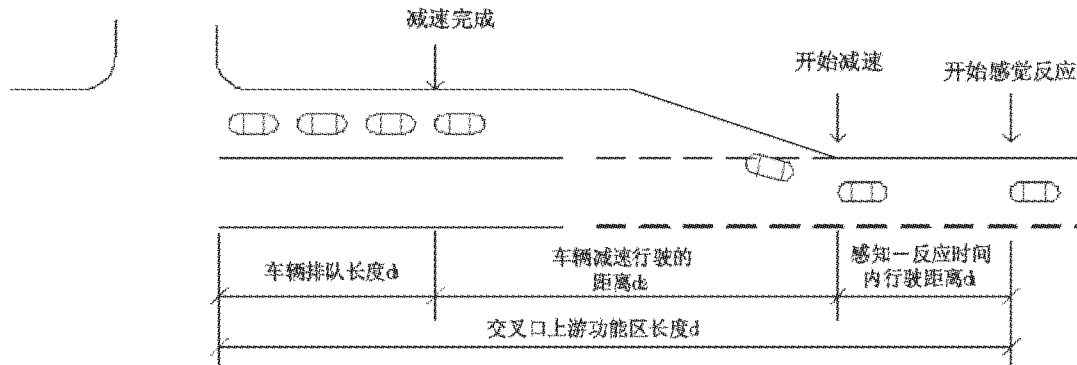


图 2 交叉口上游功能区范围示意图

$$d_1 = \frac{vt}{3.6} (m) \quad (1)$$

式中: v —车辆在路段上的行驶速度 (km/h);

t —驾驶员感知-反应时间。根据《公路项目安全性评价指南 (JTG/TG-2004)》上取 t 为 2.5s, 其中包括 1.5s 的判断时间和 1.0s 的运行时间 (s)。

对于无附加转弯车道的交叉口:

$$d_2 = \frac{v^2}{3.6^2 \times 2a} (m) \quad (2)$$

式中: v —意义同上;

a —车辆的减速率, 取 1.8m/s^2 。

对于有偏移的转弯附加车道 (假设车道宽度 3.5m) 的交叉口:

$$d_2 = \frac{vt_{\text{侧}}}{3.6} - \frac{a_{\text{侧}} t_{\text{侧}}^2}{2} + \frac{v_{\text{侧后}}^2}{2a_{\text{侧后}}} (m) \quad (3)$$

$$v_{\text{侧后}} = \frac{v}{3.6} - a_{\text{侧}} t_{\text{侧}} (m/s)$$

$$t_{\text{侧}} = \frac{3.5}{v_{\text{侧}}} (s)$$

式中: v —意义同上;

$t_{\text{侧}}$ —车辆侧向移动所需的时间 (s);

$a_{\text{侧}}$ —车辆侧向移动的时候车辆沿车道方向的减速率, 取值 1.1m/s^2 ;

$v_{\text{侧}}$ —车辆侧向移动的速度, 取值 0.9m/s ;

$a_{\text{侧后}}$ —车辆不需要进行侧向移动时, 车辆的减速率, 取值 1.8m/s^2 ;

$v_{\text{侧后}}$ —车辆侧向移动完成后行驶的速度 (km/h)。

为车辆排队长度, 在信号交叉口, 车辆排队长度与通行能力、交通量和车速等因素有关, 根据各种研究成果, 建议排队长度取值 45m。对公路无信号交叉口, 考虑到车辆到达的随机性, 其值不小于 30m, 因此无信号交叉口上游功能区车辆排队长度 $d_3 = 30$ 。

由表 1 可以看出, 无附加车道和有附加车道的上游段长度相差不大, 因此从安全考虑, 建议取有附加车道的值作为交叉口上游段长度。

(2) 下游功能区长度。

下游功能区是交叉口功能区的下游部分, 是从人行横道往下游的延伸部分, 是车辆驶离交叉口物理区域后需要进行管理控制的部分。下游功能区的范围要保证车辆右转和左转汇入所需的长度, 同时要保证与下一个接入车道之间有一个安全间距。交叉口下游作用距离可以用货车的停车视距来描述, 这样可以保证车辆在驶出交叉口时有足够的时间来处理在出口处产生的交通冲突。交叉口下游功能区长度如表 2 所示。

表1 信号交叉口上游功能区的长度

速度(km/h)		20	30	40	50	60	70	80	90	100
d_1 (m)		14	21	28	35	42	49	56	63	70
d_2 (m)	无附加车道	9	20	35	54	78	106	138	174	215
	有附加车道	14	29	48	72	100	132	168	209	254
d_3 (m)	信号	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	无信号	30	30	30	30	30	30	30	30	30
上游段长度(m)	无附加车道	信号	68	86	108	134	165	200	239	330
		无信号	53	71	93	119	150	185	224	315
	有附加车道	信号	73	95	121	152	187	226	269	369
		无信号	58	80	106	137	172	211	254	354

表2 交叉口下游功能区长度

速度(km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
下游功能区长度(m)	24	42	65	93	126	163	204	251	301

3 平稳运行段长度

由于设置信号灯对交通的影响比较大,因此,信号交叉口间距是否合理的主要标准是车辆能否在区间内平稳的运行。平稳运行段的长度必须满足车辆交织的需求,由文献^[4],VISSIM 仿真数据表明:交织区的速度在交织长度减少到100m时,交织区的速度下降趋势加快,而当交织区的长度增加到250m时,交织区的速度增加趋势减慢,车流基本不受交织运行的影响。

根据文献^[4]中数据及分析结果,平稳运行段取值如表3所示。

4 结论

集散公路和地方公路信号交叉口最小间距应满足交叉口功能区长度和车辆平稳运行的要求,具体数值如表4所示。

集散公路无信号交叉口最小间距应满足交叉口功能区的长度。具体数值如5所示。

表3 平稳运行段长度

速度(km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
平稳运行段长度(m)	50	75	100	140	180	220	250	250	250

表4 集散公路和地方公路信号交叉口最小间距

速度(km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
上游段长度(m)	73	95	121	152	187	226	269	317	369
下游段长度(m)	24	42	65	93	126	163	204	251	301
平稳段长度(m)	50	75	100	140	180	220	250	250	250
间距计算值(m)	147	212	286	385	493	609	723	818	920
间距采用值(m)	150	210	290	390	490	610	720	820	920

表5 集散公路和地方公路无信号交叉口最小间距

速度(km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
上游段长度(m)	58	80	106	137	172	211	254	302	354
下游段长度(m)	24	42	65	93	126	163	204	251	301
间距计算值(m)	82	122	171	230	298	374	458	553	655
间距采用值(m)	80	120	170	230	300	370	460	550	660

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部行业标准.公路路线设计规范(JTG D20-2006)[S].北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 中华人民共和国交通部行业标准.公路项目安全性评价指南(JTG/T B05-2004)[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 周蔚吾.公路平面交叉优化设计[M].北京:知识产权出版社,2006.
- [4] 陈小鸿,肖海峰.交织区交通特性的微观仿真研究[J].中国公路学报,2001,14(14):88-91.
- [5] Transportation Research Board, Access Management Manual[M]. Washington, D C, 2003.

刚性悬索桥动力特性分析

杨建亚

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 本文以国内首座刚性悬索加劲钢桁梁桥东莞东江大桥作为工程背景, 利用有限元分析软件 Midas/Civil 建立三维空间模型, 运用子空间迭代法计算出该桥结构的自振频率和振型。重点分析了加劲弦、吊杆刚度以及桥面板质量等参数的改变对结构自振频率的影响。分析结果为该新型桥型在今后的设计提供动力特性方面的数据依据和参考。

关键词: 刚性悬索; 子空间迭代法; 自振频率; 振型; 动力特性

刚性悬索加劲钢桁梁桥是一种崭新的桥型^[1], 发挥了桁架结构刚度好的优点, 同时又克服了中小跨度悬索桥由于恒载相对较小而缆索重力刚度不足的缺点, 在中等跨度桥梁中有较强的竞争力。不同于传统的悬索桥缆索要依靠重力刚度来满足活载刚度的需要, 该桥型采用刚性悬索和刚性吊杆, 其结构受力复杂。

目前, 国内学者对悬索桥的动力特性进行了很多研究^[2-4], 但绝大多数都是针对传统的柔性悬索桥, 对刚性悬索桥这种新型桥型的动力特性研究比较少。本文以刚建成的国内首座刚性悬索加劲钢桁梁桥东莞东江大桥作为工程背景, 初步探讨了该桥型的动力特性, 并重点分析了加劲弦、吊杆轴向刚度以及桥面板质量等参数的改变对结构自振频率的影响。

1 工程概况及有限元建模分析

1.1 工程概况

东江特大桥是国内首座双层桥面刚性悬索加劲连续钢桁梁桥。全长 432m, 跨度布置 112m + 208m + 112m。主桁立面采用有竖杆的华伦式桁架, 桁高 10m, 节间长度 8m, 中间支点处上加劲弦中心到上弦中心高度为 28m, 上加劲弦采用二次抛物线, 上弦杆与加劲弦杆之间用吊杆连接。主桁横向采用三桁结构, 桁间距 $2 \times 18\text{m}$ 。主桁三片桁间仅在中间支点上加劲弦与上弦间的大竖杆处设有横向联结系, 其他位置将竖杆与横梁联结成横向框架。东江特大桥采用混凝土桥面板, 用高强螺旋将桥面板和纵横梁连接起来。主桥布置如图 1 所示。

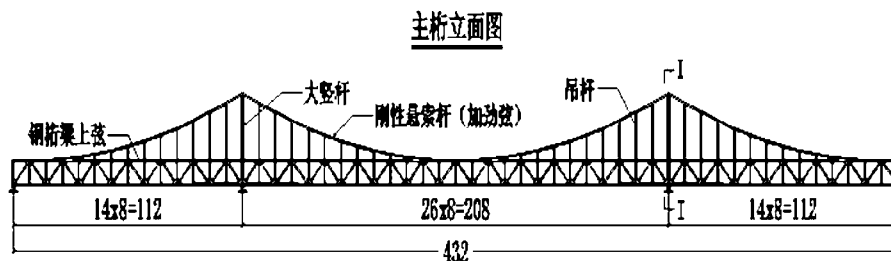


图 1 主桥布置图 (单位: m)

1.2 有限元建模分析

根据各杆件的动力特性, 采用 Midas/Civil 建立全桥三维空间模型, 加劲梁、桥塔和主桁均采用

梁单元进行模拟, 桥面板采用板单元。且桥面板只考虑平动质量, 忽略桥面系刚度的影响。全桥在设置四处支座, 其中一个主墩在中桁设置

纵、横、竖向三向约束的一般支承,在两边桁设置横桥向、竖桥向约束的一般支承;在另外一个主墩和两个边墩,中桁支座采用纵桥向和竖向双向

约束的一般支承,在两边桁上采用竖向单向约束的一般支承。主梁中横梁和纵梁之间的连接采用弹性连接里面的刚性连接连接在一起。

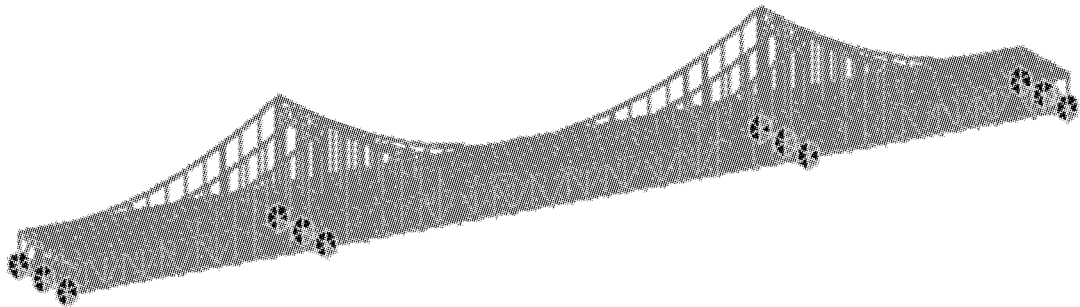


图 2 有限元模型

在进行动力分析求解结构自振特性时,其自由振动的控制方程为:

$$[K]\{\delta\} + [M]\{\ddot{\delta}\} = 0 \quad (1)$$

其特征方程为:

$$\det([k] - w^2[M]) = 0 \quad (2)$$

式中:[*M*]为整体结构质量矩阵;{*δ*}为整体节点位移列阵;[*K*]为整体结构刚度矩阵;

对于求解悬索桥大型结构的特征值问题,目前常用的是子空间迭代法。它可以直接计算得到所需要的几个特征值,是目前求解大型稀疏带状矩阵特征问题的有效方法之一。该方法可以按任意精度逼近精确振型。

2 动力特性分析

在传统的柔性悬索桥中,往往是依靠主缆重力刚度来满足承载要求。而在刚性悬索桥则是依靠刚性加劲弦杆自身的抗弯刚度和轴向刚度来承载。所以在进行动力分析之前,仅需要计入结构几何非线性效应的影响而不必恒载作用下重力刚度的问题。

提取东江大桥前 10 阶的频率和模态,见表 1。

从表 1 中可以看出:

(1)刚性悬索桥结构整体刚度较大,一阶振型为对称竖弯,周期 1.3251s,为短周期振型。而常规悬索桥第一振型基本周期多在 10s 以上,且

一阶振型多为对称侧向挠曲振型。

(2)先出现以梁为主的振型,而后是以吊杆面为主的振型,以塔为主的振型出现较晚,在前 10 阶振型中没有出现。

(3)以扭转为主的振型出现较晚,到第 9 阶才出现全跨一阶对称扭转振型,频率为 1.2541 Hz。说明刚性悬索桥具有较大的抗扭刚度。

(4)刚性悬索桥横弯出现较早,第 2、3、4 阶分别为一到三阶横弯,但由于其频率比传统的柔性悬索桥高,所以其横向刚度也比柔性悬索桥要高得多,抗风性能较好。

表 1 东江大桥前 10 阶频率和模态

振型阶数	频率/Hz	周期/s	振型特点
1	0.7547	1.3251	一阶对称竖弯
2	0.9943	1.0057	一阶横弯
3	1.0977	0.9110	二阶横弯
4	1.1559	0.8651	三阶横弯
5	1.2119	0.8251	吊杆面振动
6	1.2224	0.8181	吊杆面振动
7	1.2443	0.8037	吊杆面振动
8	1.2444	0.8036	吊杆面振动
9	1.2541	0.7974	一阶对称扭转
10	1.2734	0.7853	二阶反对称竖弯

3 结构参数对模态影响分析

$$\beta = \frac{EA}{E_0A_0} \tag{3}$$

3.1 加劲弦轴向刚度

加劲弦的轴向刚度则取决于弹性模量 E 和截面面积 A 。由于加劲弦材料的弹性模量一般不会发生变化,因此轴向刚度可通过改变截面面积 A 来实现。

引入加劲弦相对刚度系数,

式中: EA —表示改变后加劲弦轴向刚度;
 E_0A_0 —表示主缆的标准刚度。

对应不同的加劲弦相对刚度系数进行模态分析,前 5 阶的自振频率计算结果见表 2 和图 3 所示。

表 2 加劲弦刚度变化前 5 阶自振频率

阶数	振型特点	加劲弦相对刚度系数			
		0.5	1	1.5	2
1	一阶对称竖弯	0.7200	0.7547	0.7713	0.7791
2	一阶横弯	1.0334	0.9943	0.9262	0.8480
3	二阶横弯	1.1770	1.0977	0.9882	0.8827
4	三阶横弯	1.2116	1.1559	1.0066	0.8845
5	吊杆面振动	1.2731	1.2119	1.0103	0.8913

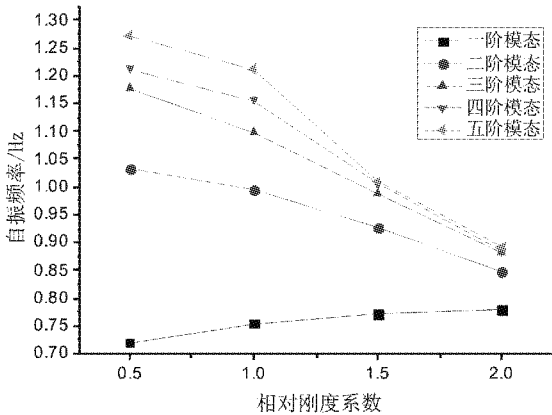


图 3 加劲弦刚度变化对自振频率影响图

从表 2 和图 3 可以看出:随着加劲弦刚度的增大,1 阶对称竖弯自振频率提高,但其增大的幅度较小,当改变后的加劲弦轴向刚度为原来标准刚度的 2 倍时,其 1 阶频率仅增 1.03%。而随着加劲弦轴向刚度增大,2-5 阶自振频率降低且高阶频率降低的幅度比低阶频率大。当轴向刚度为原来标准刚度的 2 倍时,第 5 阶频率降低了 26.5%。究其原因通过增大加劲弦面积的方式来提高其轴向刚度的同时,也增大了自重,故导致高阶频率降低。因此,采用增大加劲弦轴向刚度的方式来提高刚性悬索桥刚度的方法是不

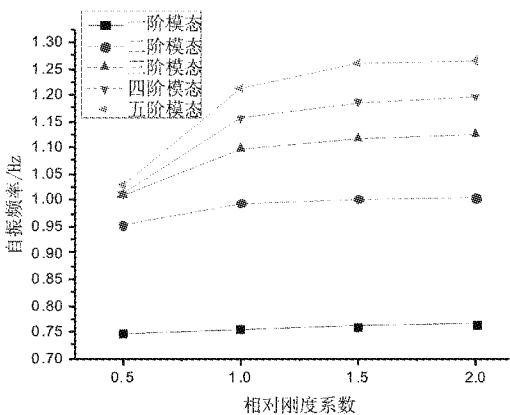


图 4 吊杆刚度变化对自振频率影响

可取的。

3.2 吊杆轴向刚度

和加劲弦轴向刚度的变化原理一样,通过改变吊杆截面面积 A 的方式来提高其轴向刚度,对于不同的相对刚度系数分别进行模态分析,前 5 阶自振频率随吊杆轴向刚度的变化规律如图 4 所示。从图中可以看出:随着吊杆轴向刚度的提高,前五阶自振频率都不同程度的提高,一阶对称竖弯频率提高幅度较小,阶数越高提高的幅度越大。第 5 阶最大频率值相对与标准刚度下的自振频率提高了 19.5%。所以,在刚性悬索桥的

设计中,改变吊杆的轴向刚度并不能有效的提高一阶频率。但对于改变结构的高阶自振特性,却具有较好的作用。

3.3 桥面板质量

刚性悬索桥建立动力分析有限元模型时,常

常忽略桥面板刚度影响而仅将其自重转换为质量参与动力分析。通过修改桥面板的质量,将不同相对质量系数分别进行模态分析,前 5 阶自振频率和扭转振型的自振频率随桥面板质量变化规律的计算结果见表 3 和图 5 所示。

表 3 桥面板质量变化前 5 阶和扭转振型频率

阶数	桥面板相对质量系数					
	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2
1	0.8025	0.7728	0.7547	0.7378	0.7144	0.6800
2	1.0372	1.0114	0.9943	0.9774	0.9529	0.9144
3	1.1313	1.1116	1.0977	1.0835	1.0618	1.0261
4	1.1841	1.1681	1.1559	1.1428	1.1221	1.0865
5	1.2124	1.2121	1.2119	1.2117	1.1961	1.1481
扭转振型	1.3112	1.274	1.2541	1.2373	1.1961	1.153
扭转振型 对应阶数	10	9	9	7	5	6

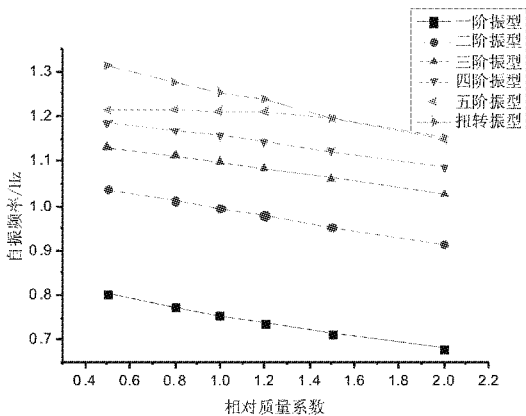


图 5 桥面板质量变化对自振频率影响图

从表 3 和图 5 的计算结果可以看出:随着桥面板质量的增大,前 5 阶振型及扭转振型自振频率降低,且扭转振型出现时间提前。当桥面板质量为原设计标准质量的 2 倍时,1 阶对称竖弯频率降低了 9.9%,扭转振型自振频率降低了 8.1%。因此,降低桥面板质量是提高刚性悬索桥刚度的一种较为有效的方法。在实际工程中,采用钢桥面板加铺沥青的来代替混凝土桥面板有利于降低桥面板质量,提高桥梁整体的刚度。

4 结论

以东莞东江大桥为例,采用有限元的方法分析了刚性悬索桥的动力性能,并从加劲弦轴向刚

度,吊杆刚度以及桥面板质量的改变等方面,进行了自振特性的参数影响分析,得出的结论如下:

(1)从模态分析可见,东江大桥的基本周期 1.3251s,属于短周期振型。且其刚度比传统的柔性悬索桥刚度大得多。

(2)该桥振型先出现以梁为主的振型,而后是以吊杆面为主的振型,扭转振型出现较晚。

(3)提高加劲弦轴向刚度和吊杆轴向刚度的方法对改变一阶自振频率作用不显著,提高加劲弦轴向刚度对减低高阶振型自振频率作用较显著;而提高吊杆轴向刚度反而有利于提高高阶振型的自振频率。采用减小桥面板质量的方法,有利于提高该桥整体刚度,且能推迟扭转振型的出现。

(4)在刚性悬索桥的设计中,若要改变自振特性,需综合考虑各方面参数的变化对各阶频率的影响。

参考文献:

[1] 林长川,李映,凌建中. 刚性悬索桥[J]. 公路,2000(9):41-45.
[2] 张卉,王志清. 悬索桥有限元建模及动力特性分析[J]. 华中科技大学学报,2006(2):25-27.
[3] 张宏斌,孔宪京,张哲. 自锚式悬索桥动力特性分析[J]. 公路交通科技,2004(7):66-69.
[4] 孙胜江,刘书伟. 特大跨悬索桥动力特性及参数分析[J]. 公路,2007(11):41-45.

拱涵结构的矢跨比分析

杨 钻, 兰 南

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 对拱涵设计过程中土压力的计算、计算模型的选择进行了阐述并着重分析了不同拱圈矢跨比对结构内力的影响。分析结果表明, 矢跨比的选择与跨径、地基抗力系数等因素相关, 4m 跨径以下的拱涵当拱圈矢跨比为 1/2 时整体受力优于矢跨比为 1/2.5 和 1/3, 5m、6m 跨径的拱涵矢跨比为 1/2.5 时的整体受力优于 1/2 和 1/3。随着跨径、地基抗力系数的增大, 最优矢跨比减小。

关键词: 拱涵; 结构设计; 矢跨比

1 概述

在山区公路建设中, 为了满足公路平、纵面线形标准要求, 在一些地形高差大的地段需采用高路堤通过, 填土高度往往达到 10 ~ 20m, 有的甚至高达 30m 以上。建设桥梁跨越河沟将增加工程造价, 针对路段土压力大, 拱涵是一种受力合理的跨越形式。

本文对拱涵设计过程中遇到的一些关键问题进行了探讨, 包括计算模型的选取、土压力计算方法的选择及不同跨径和地基抗力系数时矢跨比的选择, 以便在今后的设计中, 设计人员能针对不同的环境条件, 合理地选用分析方法, 方便快捷地拟定设计参数, 设计出既安全又经济的结构。

2 计算模型的选取

典型的拱涵结构如图 1 所示, 由拱圈, 护拱, 涵台, 基础构成。

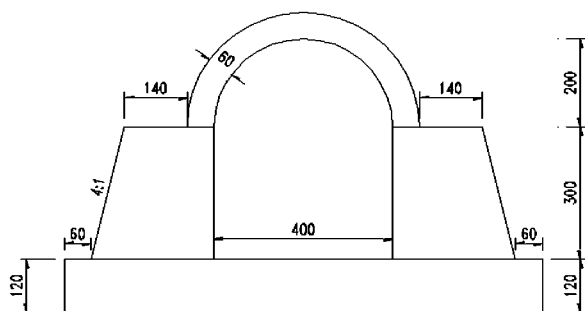


图 1 拱涵整体构造图

对拱圈内力的计算, 通常做法是取出拱圈, 在拱脚处加约束, 按照无铰拱计算。此种算法得到的拱圈轴力较大, 弯矩很小, 拱圈基本不用配筋。但实际工程中, 拱涵受力时, 拱脚会有水平位移和扭转, 这些变位对拱圈内力影响较大。因此, 在建立有限元模型时, 将涵台、基础建立, 用弹簧模拟基础与地基的作用, 让涵洞整体参与受力(称之为弹性地基梁模型)较为合理。本文对拱涵的几种参数分析均采用为弹性地基梁模型。

3 土压力的计算

计算涵洞顶部垂直土压力的理论和方法主要有以下几种:

3.1 马斯顿散体极限平衡法

该理论假定结构物顶部与结构物外侧土体不均匀沉降而产生滑动面, 并设此滑动面处于极限平衡状态。由于涵洞的刚度大于周围填土的刚度, 周围填土的下沉产生一个附加剪应力作用于滑动面, 这样作用在涵洞顶部的竖向土压力大于涵洞顶部填土高度的土柱压力。

文献^[2]给出涵洞承受竖向土压力的公式为 $\sigma = K\lambda h$, h 为填土高度, λ 为土的重度, K 是一个大于 1 的系数, 由 h/D 来决定, D 为涵洞宽度。系数 K 就是考虑了涵洞顶部和涵洞周围土体沉降差对竖向土压力带来的影响。

3.2 土柱法

该法视土为液体, 取涵洞顶部竖向土压力与

填土高度成正比, 即 $\sigma = \lambda h$ 。

3.3 非线性土压力理论^[1]

该理论认为, 填土高度较高时会产生明显的拱效应, 作用在涵洞顶的竖向土压力与填土高度成非线性关系, $\sigma = a\lambda hb$, a, b 为常数, 通过回归分析得到。

在实际工程设计中, 需根据地基条件不同, 选择不同的竖向土压力计算方法: 当涵洞周围为非软土的稳定地基时, 涵顶填土与涵台外填土的沉降差很小, 由沉降差引起的附加剪应力很小, 可以忽略, 此时若填土高度较低, 可采用土柱法计算, 若填土高度较高可采用非线性土压力理论计算。当涵洞周围是较深软基, 而涵洞基础采用桩基时, 必须考虑涵顶填土与外侧填土间沉降差引起的附加剪应力, 此时应按照文献^[2]给出的公式计算。

4 拱圈和底板受力分析

4.1 计算模型

计算模型参数如下(见图 1): 净跨径 4m, 涵台高度 3m, 填土高度 15m。拱圈采用 C35 混凝土, 厚度为 60cm, 涵台采用 C30 片石砼, 台顶宽度 1.4m, 台背坡度 1:4, 采用整体式基础, 厚度取 1.2m, 襟边宽度 60cm。地基比例系数 $m = 10000 \text{ kN/m}^4$, 涵台侧土抗力系数取 10000 kN/m^4 。考虑土层逐层填筑的施工过程对结构的影响, 计算地基和台侧土抗力系数时填土高度取实际填高的一半。土压力荷载按照马斯顿散体极限平衡法计算。活载影响很小, 不予考虑。

采用桥梁计算程序 MIDAS civil 2010, 在涵洞轴线方向取 5m(即一个涵节长度)长结构进行计算。拱圈、基础采用板单元模拟, 涵台采用实体单元模拟, 拱圈和涵台、涵台和基础之间均采用刚性连接, 以保证结构整体受力。采用只受压的弹簧单元模拟土对结构的作用。整个模型共包括 1086 个节点和 525 个单元, 其中板单元 175 个, 实体单元 350 个。结构离散图见图 2。

4.2 计算结果

在自重和土压力荷载作用下, 拱圈、底板的弯矩图如图 3 ~ 图 8 所示。

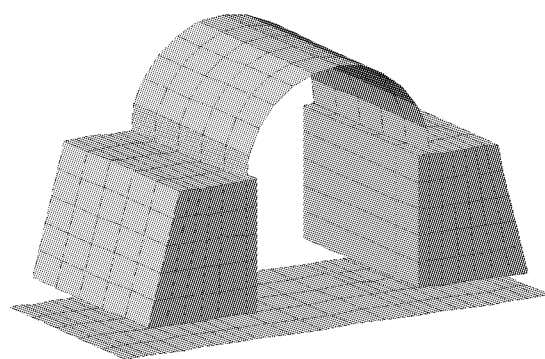


图 2 结构计算有限元图(弹簧单元未示出)

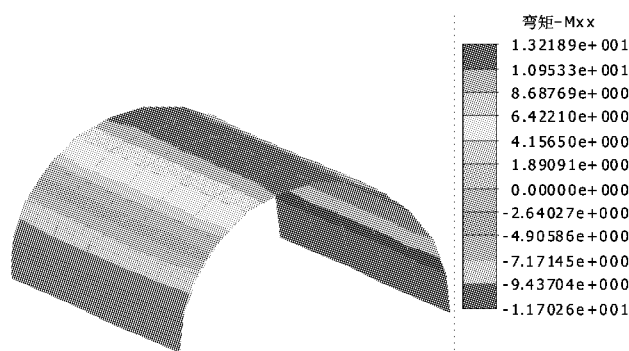


图 3 自重作用下拱圈弯矩图(kN·m)

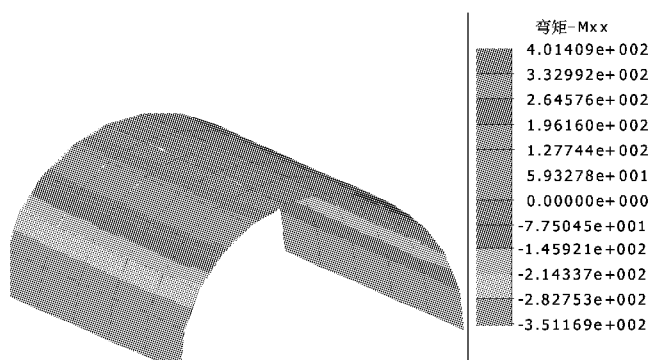


图 4 竖向土压力作用下拱圈弯矩图(kN·m)

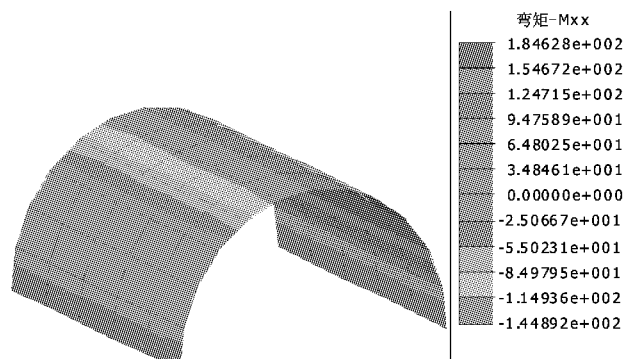


图 5 水平土压力作用下拱圈弯矩图(kN·m)

由图 3 ~ 图 5 可知, 自重、竖向土压力作用下, 拱圈跨中出现最大正弯矩, 拱脚出现最大负

弯矩;而在水平土压力作用下,拱圈跨中出现最大负弯矩,拱脚出现最大负弯矩。计算还显示,自重、竖向土压力、水平土压力作用下拱圈均处于受压状态。

由图 6~图 8 可知,对底板而言,在自重、竖向土压力作用下,跨中出现最大负弯矩,至涵台处迅速减小。在水平土压力作用下,跨中出现最大正弯矩,至涵台处亦迅速减小。

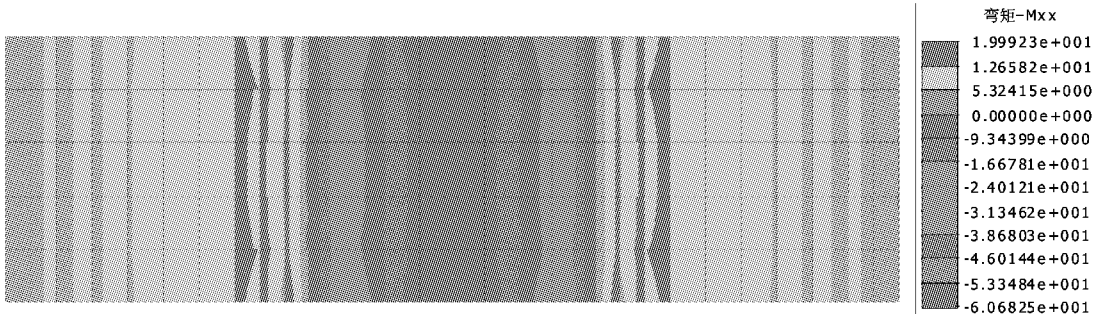


图 6 自重作用下底板弯矩图(kN·m)

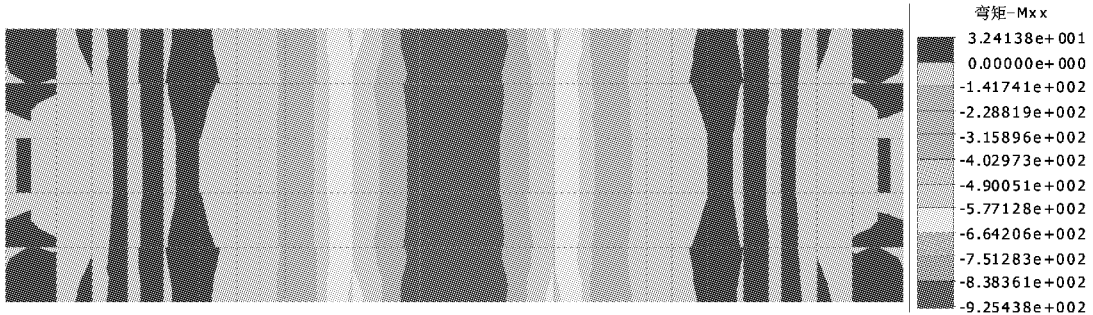


图 7 竖向土压力作用下底板弯矩图(kN·m)

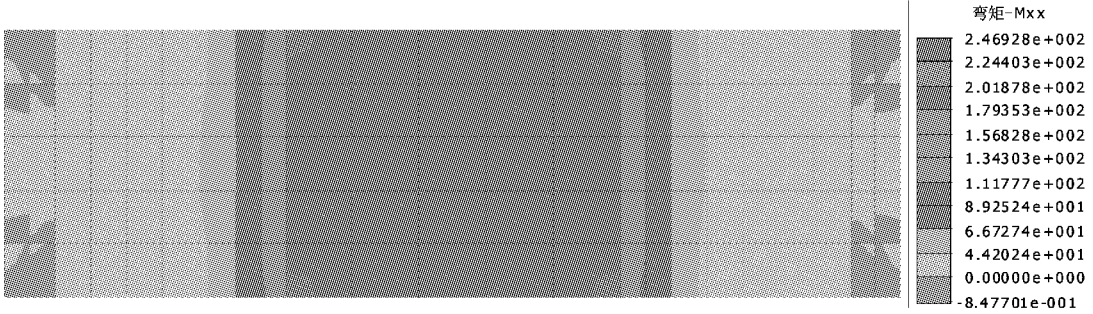


图 8 水平土压力作用下底板弯矩图(kN·m)

5 拱圈矢跨比分析

5.1 跨径对矢跨比的影响

在实际工程中,拱圈矢跨比为 1/2、1/2.5 和 1/3 的拱涵较常见,本文分析了在相同荷载作用和边界条件下,矢跨比变化对拱涵受力的影响。计算模型跨径选取 4m 和 6m 两种,4m 跨径拱涵尺寸同第 3.1 节,6m 跨径涵洞尺寸拱圈厚 0.8m,涵台顶宽 1.8m,底板厚 1.5m,余同 4m 跨径拱涵。考虑到拱涵一般在填土高度较大的情况下使用,为了使计算结果更接近工程实际,填

土高度取 25m。
一般黏土地基(包括可塑黏性土(粉砂)和坚硬黏性土(粗砂))的比例系数 m 值为 10000 ~ 30000kN/m⁴^[3],计算时取 $m = 16000\text{kN/m}^4$;砾砂、卵石等基础的 m 值为 30000 ~ 120000kN/m⁴,计算时取 $m = 48000\text{kN/m}^4$ 。
仅考虑自重、竖向土压力和水平土压力的作用,不考虑活载作用。对于自重、竖向土压力的组合系数,对结构有利时取 1.0,对结构不利时取 1.2;对于水平土压力的组合系数,则分别取 1.0、1.4^[4]。建模过程同第 3 节。计算结果如表 1 所示。

表 1 不同跨径、不同地基条件下各矢跨比拱圈的内力计算结果

模型类别	A:跨径 4m, $m=16000\text{kN/m}^4$			B:跨径 4m, $m=48000\text{kN/m}^4$			C:跨径 6m, $m=16000\text{kN/m}^4$			D:跨径 6m, $m=48000\text{kN/m}^4$		
矢跨比	1/2	1/2.5	1/3	1/2	1/2.5	1/3	1/2	1/2.5	1/3	1/2	1/2.5	1/3
拱顶最大弯矩 $\text{kN} \cdot \text{m}$	552	579.6	608.7	409.9	443.5	485.8	603.3	794.4	968.5	409	546.9	695.1
拱顶最小弯矩 $\text{kN} \cdot \text{m}$	319	360.6	396.8	203.7	251.2	298.9	147	361.4	533.7	-62.8	168.3	328.0
拱脚最大弯矩 $\text{kN} \cdot \text{m}$	-240.4	-341.9	-485.5	-116.6	-197.6	-311.4	444.5	-242.7	-606.8	840.9	248	-227.3
拱脚最小弯矩 $\text{kN} \cdot \text{m}$	-452.7	-599.8	-751	-298.4	-372.5	-540.8	-353.4	-699.8	-1168.4	455.2	-374.3	-657.8
拱圈最大轴力 kN	-700.6	-644.8	-598.7	-844.4	-815.4	-781.7	-1651.2	-1487.6	-1389.2	-1775.1	-1695.5	-1665.6
拱圈最小轴力 kN	-2007.2	-1980.5	-1911.9	-2025.1	-2044.6	-2013.1	-3104	-3092.6	-3078.2	-3139.6	-3202.6	-3267.1

注:1.表中最大弯矩、最小弯矩系弯矩代数最值,非绝对值最值。2.表中轴力为负表示压力,为正表示拉力。

由表 1 可得到如下结论:

(1)对于模型 A,三种矢跨比拱圈的控制正弯矩均出现在拱顶,控制负弯矩均出现在拱脚。当矢跨比 1/2 降低至 1/3 时,控制正弯矩由 $552\text{kN} \cdot \text{m}$ 增加至 $608.7\text{kN} \cdot \text{m}$,控制负弯矩由 $452.7\text{kN} \cdot \text{m}$ 增加至 $751\text{kN} \cdot \text{m}$,说明此条件下矢跨比为 1/2 优于矢跨比 1/2.5 和 1/3。这一结论由模型 C 亦可得出。主要原因是矢跨比越小,拱越坦,水平土压力产生的内力越小,而这部分内力在为非控制内力的前提下对结构是有利的。

(2)对比模型 A 和模型 C 中矢跨比为 1/2 的两种情况可知,在地基条件、矢跨比相同的条件下,当跨径由 4m 变为 6m 时,拱顶弯矩由 $552\text{kN} \cdot \text{m}$ 增加至 $603.3\text{kN} \cdot \text{m}$,增幅为 9.3%,而拱脚最大弯矩由 $-240.4\text{kN} \cdot \text{m}$ 变为 $444.5\text{kN} \cdot \text{m}$,增幅为 285%,不仅由负弯矩变为正弯矩,而且占控制正弯矩的 74%。主要原因是跨径越大,拱圈越高,水平土压力引起的内力值所占比重越大。若跨径继续增大,由水平土压力产生的拱脚正弯矩将会成为控制正弯矩。

(3)在地基条件较差($m < 16000\text{kN/m}^4$),跨径不超过 6m 的情况下,拱涵拱圈矢跨比为 1/2 优于 1/2.5 和 1/3。

5.2 地基条件对矢跨比的影响

由表 1 还可得到如下结论:

(1)比较模型 A 和 B、或模型 C 和 D 可知,当跨径、矢跨比不变,仅地基 m 由 16000kN/m^4 变为 48000kN/m^4 时,拱顶最大弯矩会变小,拱脚最小弯矩也会变小。最大压力、最小压力均变大。主要原因是地基 m 越大,拱圈的变形越小,自重、竖

向土压力引起的内力值越小,而水平土压力引起的内力值变化不大。

(2)比较模型 C 和 D 可知,当地基 m 为 16000kN/m^4 时,矢跨比为 1/2、1/2.5、1/3 时,控制正弯矩分别为 $603.3\text{kN} \cdot \text{m}$ (拱顶)、 $794.4\text{kN} \cdot \text{m}$ (拱顶)、 $968.5\text{kN} \cdot \text{m}$ (拱顶),1/2 为结构受力最优矢跨比。而当地基 m 为 48000kN/m^4 时,矢跨比为 1/2、1/2.5、1/3 时,控制正弯矩分别为 $840.9\text{kN} \cdot \text{m}$ (拱脚)、 $546.9\text{kN} \cdot \text{m}$ (拱顶)、 $695.1\text{kN} \cdot \text{m}$ (拱顶),1/2.5 为结构受力最优矢跨比。主要原因是地基条件越好,自重、竖向土压力引起的拱顶正弯矩和拱脚负弯矩越小,在水平土压力产生控制内力的前提下,这部分内力值是有利的。若地基的 m 值继续增大,矢跨比为 1/2.5 的拱圈将也会由拱脚的正弯矩控制,此时 1/3 或是更小的矢跨比才是合适的。

6 结语

对于拱涵结构,竖直土压力和水平土压力在拱圈中产生的内力是相反的,而前者受地基条件的影响较大,后者受拱圈高度的影响较大。在设计过程中,应该根据不同的地基条件和跨径、涵台高来选择合适的矢跨比,以节约工程造价。

参考文献:

- [1] 杨锡武. 山区公路高填方涵洞土压力计算方法与结构设计[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 交通部部颁标准《公路涵洞设计细则》[S]. JTG/T D65-04-2007.
- [3] 交通部部颁标准《公路桥涵地基与基础设计规范》[S]. JTG D63-2007.
- [4] 交通部部颁标准《公路桥涵设计通用规范》[S]. JTG D60-2004.

G325 九江大桥主桥斜拉桥模态试验分析

王泉清

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 九江大桥位于国道 325 线南海段, 全长 1675.2m, 通航主跨为 $2 \times 160\text{m}$ 的独塔双索面竖琴形斜拉桥。本文介绍该桥模态试验成果, 并结合有限元理论分析, 将计算结果与试验结果对比, 对该桥的结构现状进行评定。

关键词: 斜拉桥; 箱形梁; 模态试验; 有限元分析

1 概述

九江大桥位于国道 325 线南海段, 全长 1675.2m, 自南海市九江镇起连接至鹤山市沙坪镇, 跨越珠江水系宽 1305m 的西江主干流。是广湛公路干线上的一座特大型公路桥梁。该桥于 1988 年 6 月 12 日建成通车, 至今已有 15 年多的运营历史。

九江大桥桥面宽 16m (包括两侧人行道), 斜拉桥部分桥面净宽 14m, 三车道, 桥梁纵坡 2.6%。设计荷载为汽 - 20 级, 挂车 - 100, 人群

荷载 3.5kN/m^2 。桥梁主跨为两通航主孔, 每孔通航净高 22m, 净宽 80m, 可自由航行 3000 吨级海轮, 主墩设计能够承受顺水向船舶撞击力 1200 吨。通航主跨为 $2 \times 160\text{m}$ 独塔双索面竖琴形斜拉桥, 索塔采用塔梁墩固结体系, 从桥面算起塔高 80m, 为 H 型带水平隔板的塔柱。主梁为单箱四室结构, 梁内设有部分体外索, 为混凝土箱梁悬拼施工, 冷铸墩头锚主梁。索面每侧有 18 对拉索, 每索分为两根, 全桥共有 144 根拉索, 拉索防护采用热挤 PE 索套。结构总体布置见图 1。

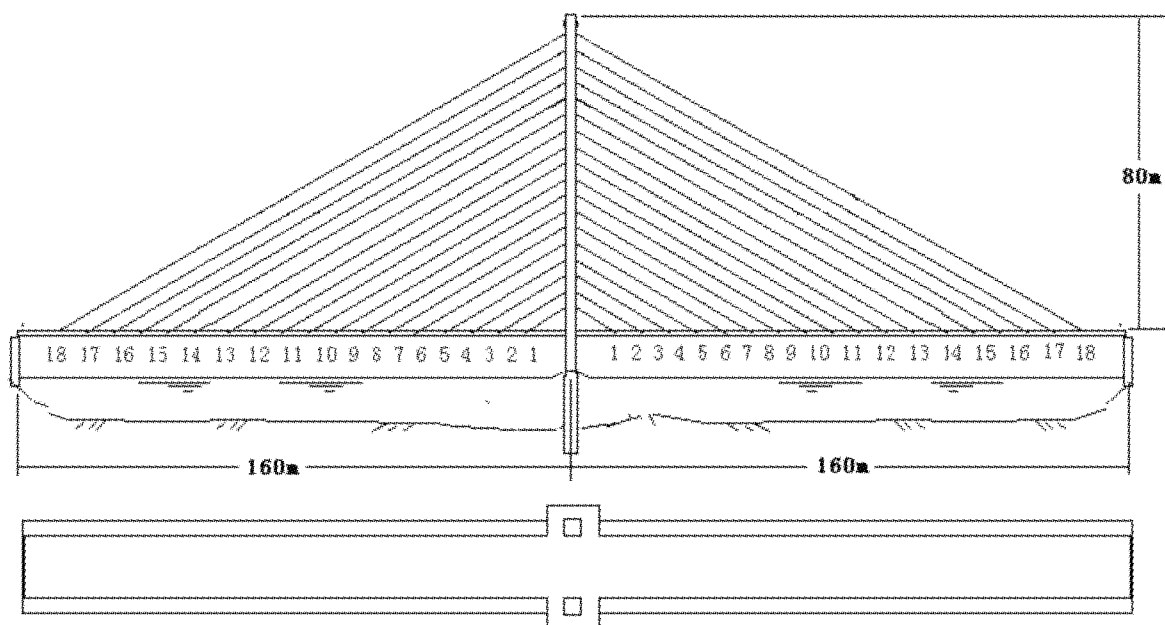


图 1 九江大桥斜拉桥立面示意图

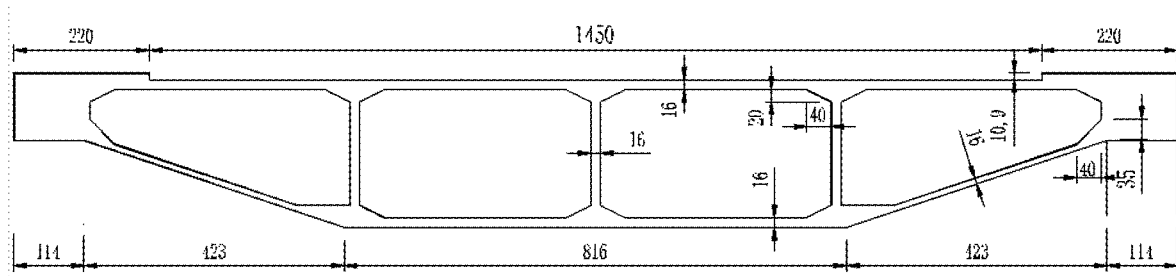


图2 九江大桥斜拉桥梁截面示意图(单位:cm)

2 九江大桥斜拉桥模态参数识别原理

九江大桥斜拉桥的模态试验是利用自然环境激励而引起的振动来识别结构的模态参数。假设激励力的功率谱密度矩阵为 $[S_{ff}(\omega)]$, 响应功率谱密度矩阵为 $[S_{xx}(\omega)]$, 则根据理论分析有:

$$[S_{xx}(\omega)] = [H]^* [S_{ff}(\omega)] [H]^T = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N H_{1k}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{1p} & \sum_{k=1}^N H_{1k}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{2p} & \cdots & \sum_{k=1}^N H_{1k}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{Np} \\ \sum_{k=1}^N H_{2k}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{1p} & \sum_{k=1}^N H_{2k}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{2p} & \cdots & \sum_{k=1}^N H_{2k}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{Np} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sum_{k=1}^N H_{Nk}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{1p} & \sum_{k=1}^N H_{Nk}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{2p} & \cdots & \sum_{k=1}^N H_{Nk}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{Np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 $[H]$ 是频率响应函数矩阵, $[H]^*$ 是 $[H]$ 的共轭, N 是测点的数量,将方程(1)中 $[S_{xx}(\omega)]$ 的元素 $[S_{x_{ij}}(\omega)]$ 表示为

$$[S_{x_{ij}}(\omega)] = \sum_{k=1}^N H_{ik}^* \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} H_{jp} \quad (2)$$

假定结构的固有频率相对分离且结构阻尼小、且激励频率 ω 等于结构第 r 阶固有频率 Ω_r , 有

$$H_{ik} = \sum_{l=1}^h H_{ik}^* \approx (H_{ik})_r = \lambda_r \varphi_{ir} \varphi_{kr} \quad (3)$$

其中 $\lambda_r = (k_r - \omega_r^2 m_r + j\omega_r C_r)^{-1}$, φ_{ir} 是第 r 阶振型的第 i 个元素, h 是所考虑的振型的数量, k_r 、 m_r 和 C_r 分别为对应的模态刚度、模态质量和模态阻尼。将(3)式代入(2)式,有

$$\begin{aligned} S_{x_{ij}}(\omega = \Omega_r) &= \sum_{k=1}^N \gamma_r^* \varphi_{ir} \varphi_{kr} \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} \gamma_r \varphi_{jr} \varphi_{pr} \\ &= \varphi_{ir} \gamma_r^* \left(\sum_{k=1}^N \varphi_{kr} \sum_{p=1}^N S_{f_{df_p}} \varphi_{pr} \right) \gamma_r \varphi_{jr} \\ &= |\gamma_r|^2 \varphi_{ir} \varphi_{jr} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{p=1}^N \varphi_{kr} S_{f_{df_p}} \varphi_{pr} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

由(4)式,有

$$\frac{S_{x_{ij}}(\omega = \Omega_r)}{S_{x_{ij}}(\omega = \Omega_r)} = \frac{|\gamma_r|^2 \varphi_{ir} \varphi_{jr} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{p=1}^N \varphi_{kr} \varphi_{pr} S_{f_{df_p}} \right)}{|\gamma_r|^2 \varphi_{jr} \varphi_{jr} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{p=1}^N \varphi_{kr} \varphi_{pr} S_{f_{df_p}} \right)} = \frac{\varphi_{ir}}{\varphi_{jr}} \quad (5)$$

其中 $S_{x_{ij}}$ 是 $[S_{xx}(\omega)]$ 中的第 i, j 位置上的元素, φ_{ir} 是第 r 阶振型中的第 i 个元素。

从上式可见,结构对于环境脉动的响应,当 $\omega = \Omega_r$ 时, $[S_{xx}(\omega)]$ 的任一列(或任一行)可以代表结构的第 r 阶振型。

3 九江大桥斜拉桥模态试验方法、测点布置和参数分析步骤

3.1 九江大桥斜拉桥模态试验方法和试验流程

模态分析实质是一种坐标变换,其目的在于把原物理坐标系统中描述的物理分量转换到“模态坐标系统”中来描述,对于连续弹性体,理论上这种坐标系是无穷维的,当用有限元离散成质点后有 N 个自由度,则是 N 维的。而在实际应用中

通常取占能量比例大的前几阶来分析。试验模态分析则是通过现场振动测量和分析得到结构的固有频率、模态振型、模态阻尼、模态质量、模态刚度等模态参数,通常用于校正计算模型,或由不同时间对比试验模态参数的变化推出物理参数的变化。

模态试验是在常规动载试验的基础上沿顺、横桥向布设多个测点,除了测取桥梁的各阶固有频率、振幅和阻尼外,还要测取桥梁的振型(即各阶固有频率下各测点振幅的相对关系)。模态试验可分为人工激振和自然脉动两类方法,由于桥梁质量大人工激振困难,通常采用自然脉动方法进行。模态试验的流程见图 3。测点沿桥的上下游两侧布置,每侧各布置 17 个测点,共 34 个测点,测点布置如图 4 所示。用参考基准点作为自

然脉动输入,参考基准点设在 5#测点位置。振动信号采集使用国家地震局工程力学研究所研制的 891-2 型速度传感器,信号滤波与放大及采样使用北京东方振动研究所生产的 DLF-6 型电荷电压滤波积分放大器和 DASP20003 模态、信号处理分析软件系统。

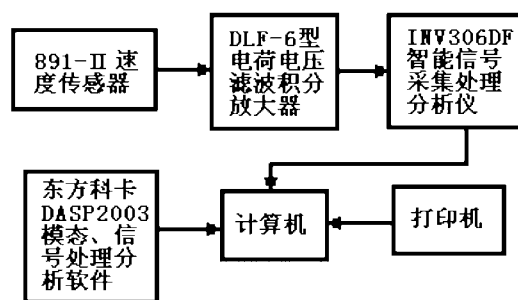


图 3 九江大桥斜拉桥模态试验流程示意图

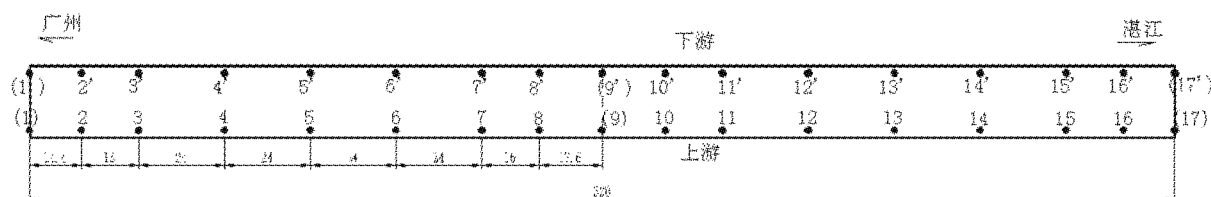


图 4 九江大桥斜拉桥梁模态试验测点布置图(单位: m)

3.2 九江大桥斜拉桥模态参数分析步骤

(1) 根据测得的各测点的振动时域曲线,使用 DASP2003 软件分析获得该测点的功率谱密度曲线,并由功率谱密度曲线的峰值确定各阶固有频率。

(2) 得到所有测点曲线后,可从功率谱密度曲线上读取各个频率峰的幅值,然后根据(5)式计算得到各测点振型值。

(3) 由软件分析出各测点相对于参考基准点的传递函数,从传递函数图中读出各固有频率峰所对应的相位值、相干函数等。

(4) 以参考基准点为振型单位值作归一处理,并由测点相对于参考基准点的相位,计算出各阶模态振型。

4 模态试验分析结果

4.1 理论模态计算分析结果

箱梁采用 C50 混凝土,弹性模量 $E = 3.5 \times 10^4 \text{ MPa}$,泊松比 $\nu = 0.1667$,由于没有考虑桥面铺装和钢筋的重量,在计算时采用等效密度的方法,将结构密度增大 1.44 倍,即 $25 \text{ kN/m}^3 \times 1.44 = 36 \text{ kN/m}^3$,模型中墩梁是固结的,薄壁箱梁壁采用单位 shell63 单元,塔、柱和横梁采用 beam44 单元,斜拉索采用 link10 单元。划分网格单元时采用映射方式及人工自主调整的思路,整个模型共划分为 9648 个节点,11261 个单元。计算振型和频率如图 5 ~ 图 13 所示。

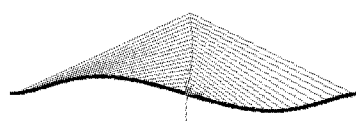
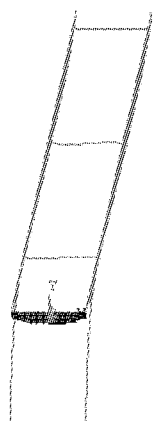
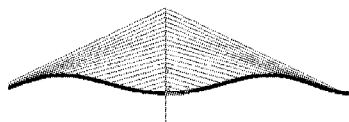
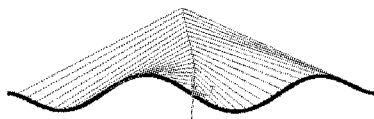
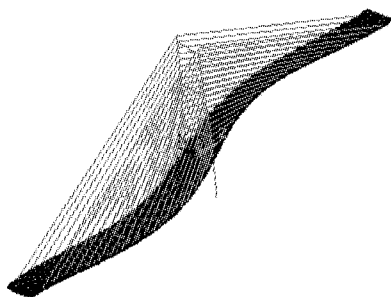
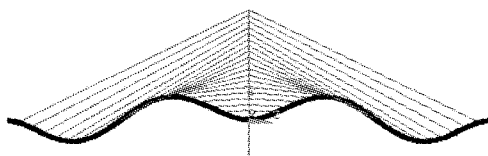
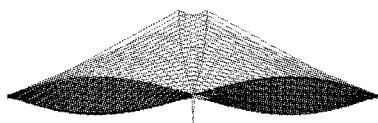
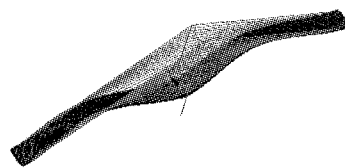
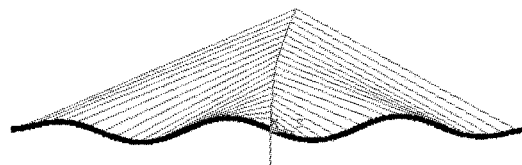


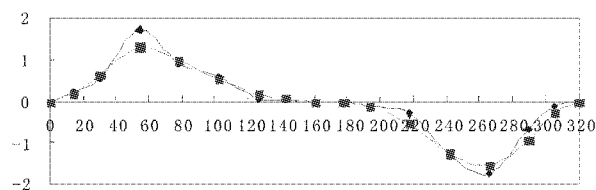
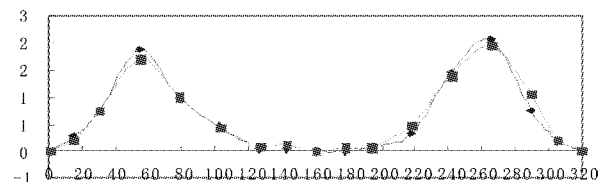
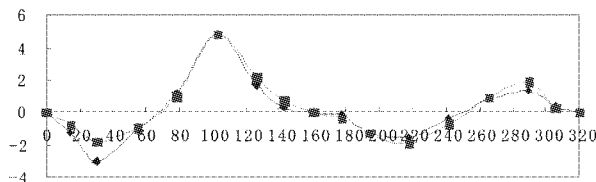
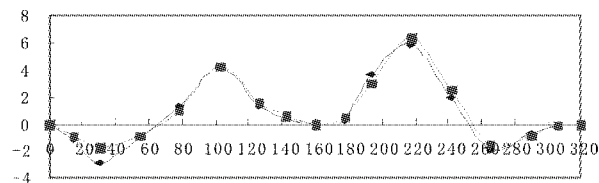
图 5 $f_1 = 0.4923$ 竖向弯曲(反对称)

图 6 $f_2 = 0.5394$ 塔侧向弯曲图 7 $f_3 = 0.9181$ 竖向弯曲(正对称)图 8 $f_4 = 1.125$ 竖向弯曲(反对称)图 9 $f_5 = 1.401$ 梁侧向弯曲图 10 $f_6 = 1.445$, 竖向弯曲(正对称)图 11 $f_7 = 1.901$ 扭转图 12 $f_8 = 1.92$ 梁侧向弯曲图 13 $f_9 = 1.956$ 竖向弯曲(反对称)

4.2 实测模态结果

4.3 实测模态与理论计算结果对比分析

4.3.1 九江大桥斜拉桥模态计算与实验值的比较见表 8 所示。

图 14 第 1 阶竖弯(反对称)振型图($f=0.4297\text{Hz}$)图 15 第 3 阶竖弯(对称)振型图($f=0.7032\text{Hz}$)图 16 第 4 阶竖弯(反对称)振型图($f=1.1719\text{Hz}$)图 17 第 6 阶竖弯(正对称)振型图($f=1.2500\text{Hz}$)

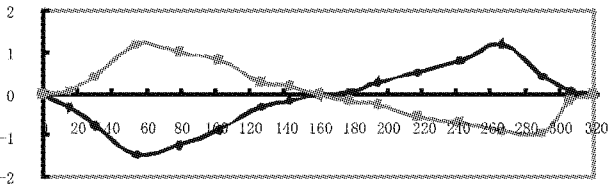


图 18 第 7 阶扭转(反对称)振型图($f=1.6798\text{Hz}$)

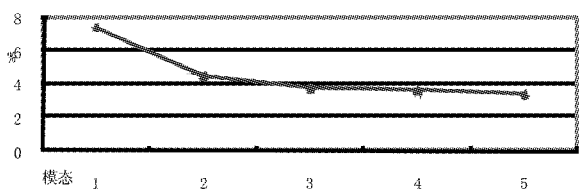


图 19 阻尼比与模态阶数的关系图

表 8 九江大桥模态计算与实验值比较

振型 序号	计算频率 (Hz)	实测频率(Hz)			振型特性	平均阻尼(%)		
		1998 年	2000 年	2005 年		1998 年	2000 年	2005 年
1	0.4923	0.430	0.410	0.4297	竖向弯曲(反对称)	4.383	3.938	7.399
2	0.5394	/	/	/	塔侧向弯曲	/	/	/
3	0.9181	0.703	0.684	0.7032	竖向弯曲(正对称)	2.424	2.746	4.521
4	1.125	1.177	1.152	1.1719	竖向弯曲(反对称)	1.789	1.989	3.786
5	1.401	/	/	/	梁侧向弯曲	/	/	/
6	1.445	1.270	1.250	1.2500	竖向弯曲(正对称)	1.334	1.558	3.640
7	1.901	1.680	1.680	1.6798	扭转	1.989	2.366	3.417
8	1.92	/	/	/	梁侧向弯曲	/	/	/
9	1.956	/	/	/	竖向弯曲(反对称)	/	/	/

5 结论

(1)实测频率小于理论计算值,表明九江斜拉桥实际刚度小于设计值。三次模态试验频率比较结果,表明各阶固有频率变化不大,从而推论九江斜拉桥的整体刚度变化不大。

(2)实验各阶振型与理论计算对应振型一致,表明计算模型正确;各阶振型的振幅与理论振型振幅存在差异,在正常施工和桥梁材料差异不大的情况下,表明斜拉桥索力分配与设计值存在差异;各阶振型的振幅上、下游与顺桥向存在不对称,表明结构自身对称性存在差异,在假定梁体刚度基本一致下,这种不对称主要是由索力不对称引起的。因此模态测量可以为该桥下一步索力调整提供依据。

(3)第三次模态试验阻尼的变化较大,从比较结果来看,2005 年各阶模态阻尼均大幅升高,表明九江大桥在 2000 年换索增加减振器后,结构阻尼增加,桥型的抗振性能比以前提高很大。

参考文献:

[1] 刘士林等. 斜拉桥[M]. 北京:人们交通出版社, 2002.

[2] 王文涛. 斜拉桥换索工程[M]. 北京:人们交通出版社, 1996.

[3] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京:人们交通出版社, 2001.

[4] 郝文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.

[5] 李德葆. 振动模态分析及其应用[M]. 北京:宇航出版社, 1989.

中山东部快速路焦树山隧道结构设计与施工

金文良, 聂玉文, 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: 随着城市经济快速发展,城市快速路大量建设,其中双洞八车道城市快速道路隧道的建设也越来越多,其与山岭隧道的设计施工方法有一定差异。中山市东部快线工程焦树山隧道是双洞八车道小净距隧道,本文以其勘察设计为例,详细介绍焦树山隧道工程地质条件、断面形式、结构设计及施工方案设计。
关键词: 快速路; 双洞八车道; 小净距隧道; 设计与施工

1 概述

近年来,随着国民经济的快速发展,城市基础设施建设发展迅速,城市交通量日益增大,各大中城市的交通堵塞现象越来越严重,为此各大中城市正着手大力发展城市快速路工程,以解决交通拥挤问题。城市快速路为城市提供长距离和快速交通服务,其设计速度一般为 80km/h 或 60km/h,已经达到高速公路的行车速度,对路线指标要求较高。在珠三角大量城市受工程地质条件及环境工程地质条件的限制,在城市快速路建设中越来越多地采用隧道方案,在缩短路线长度、减少征地拆迁工程量、有效保护城市环境诸多方面发挥了积极作用。由于城市道路交通量非常大,需要的车行道相应多,在我省沿海发达地区一般采用双向六车道或双向八车道,导致隧道单洞最大开挖跨度达 23m 左右,其矢跨比只

有 0.45 ~ 0.48,给施工带来了难度。本文以中山东部快线焦树山隧道为依托,介绍该工程隧道设计施工情况,可为类似工程提供参考。

2 工程概况

2.1 隧道工程概述

中山东部快线工程为中山市规划的横四线一部分,路线总体呈东西向。根据路线和工程地质条件,全线设焦树山隧道。焦树山隧道为双洞八车道小净距隧道,隧道穿越焦树山,呈东西走向,隧道为短隧道,采用自然通风和高压钠灯照明,隧道位于圆曲线上,隧道左右线采用人字坡,按路线前进方向,隧道由 1.3% 变为 -1.4%。由于隧道受地形制约,左右线隧道间的线间距最大为 22.3m,最小为 18.5m,隧道最大埋深约 90m,属于大跨径小净距浅埋公路隧道,基本情况见表 1。

表 1 隧道基本情况表

隧道名称	进口桩号	出口桩号	平曲线半径	隧道长度	洞门型式		结构形式
					进口	出口	
左线	ZK43 + 089	ZK43 + 420	5000	331	端墙式	削竹式	小净距隧道
右线	YK43 + 086	YK43 + 428	3500	342	端墙式	削竹式	

2.2 隧道工程地质条件简述

焦树山隧道地处低缓丘陵区,隧道区地形起伏较大,丘陵最大高程为 109.6m,两端洞口一带

地面标高约 16.68 ~ 32.53m,丘陵坡面植被较发育。出口端地形已被人工改造,现为人工边坡。隧址区地层岩性覆盖层由第四系填筑土、坡

积粉质粘土、残积砾质粘性土等组成,基底由燕山期花岗岩及其风化层组成,微风化花岗岩为坚硬岩。围岩级别为Ⅲ~Ⅴ级。左线隧道Ⅲ级围岩占 40.9%,Ⅳ级围岩占 12.6%,Ⅴ级围岩占 46.5%;右线隧道Ⅲ级围岩占 24.9%,Ⅳ级围岩占 14.2%,Ⅴ级围岩占 60.9%。

隧址区地下水主要为基岩裂隙水,主要赋存于基岩的风化裂隙中,水量较贫乏,以大气降水和山谷汇水下渗补给为主,排泄方式则以蒸发和侧向迳流为主。

根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2001),项目区地震基本烈度为Ⅶ度(地震动峰值加速度为 0.05g)。

3 隧道内轮廓设计

焦树山隧道地处中山市东部规划城区,隧道兼具非机动车辆通行功能,在进行内轮廓设计时,充分考虑了隧道建筑标准、断面经济性、工程类比、结构受力特点等因素,兼顾断面的经济性和结构受力较为有利的扁平率,在保证使用功能上的前提下,解决四车道公路隧道的内轮廓问题。

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 等规范进行设计,公路等级为一级公路,设计行车速度 800km/h。隧道建筑限界净宽:0.75 m+0.5m+3×3.75m+0.75m+0.5m+3.5m+0.75m=18.0m,建筑限界净高 5.0m。衬砌内轮廓的确定在满足隧道建筑限界的要求下,考虑了隧道照明、运营管理设备设置的布设以及必要的富余量等,经比选,采用三心圆内轮廓,以提高断面的利用率,内轮廓净高 8.94m,净宽 18.88m,隧道矢跨比为 0.47。

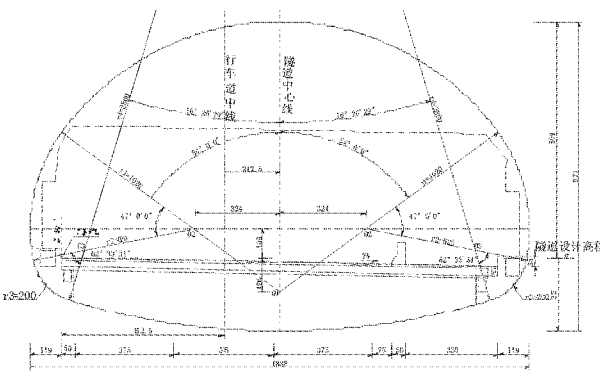


图 1 隧道内轮廓与建筑限界图

4 隧道衬砌结构设计

隧道设计按新奥法原理设计采用复合式衬砌。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,其支护参数见表 2。

表 2 焦树山隧道衬砌支护参数表(单位:cm)

围岩 级别		初 期 支 护					二次衬砌厚度		预留 沉降量 (cm)	
		喷 C25 钢 纤维砼	锚 杆			型钢钢架 (间距 cm)	拱、墙	仰拱		
			直径	长度(m)	位置					间距(m) (纵×环)
Ⅱ		10	22 药卷式	3.0(中岩柱 5.0)	拱、墙	1.5×1.5	——	45	——	5
Ⅲ		24	22 药卷式	3.5(中岩柱 5.5)	拱、墙	1×1.2	I18 型钢钢架(100)	55	55	10
Ⅳ		26(含仰拱)	25 中注式和自进式	4.5(中岩柱 6.5)	拱、墙	1×1	H175 型钢钢架(100)	60	60	15
Ⅴ		30(含仰拱)	25 中注式、自进式	4.5(中岩柱 7.5)	拱、墙	0.75×1	HW200 型钢钢架(75)	65	65	20
加 强 段	Ⅴ	30(含仰拱)	25 中注式和自进式	4.5(中岩柱 8.0)	拱、墙	0.5×1	HW200 型钢钢架(50)	70	70	20
	Ⅳ	28(含仰拱)	25 中注式和自进式	4.5(中岩柱 7.0)	拱、墙	0.75×1	H175 型钢钢架(75)	65	65	15
明洞								85	70	

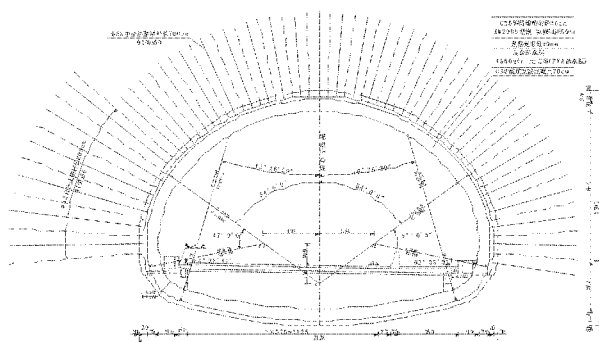


图2 隧道衬砌结构设计图

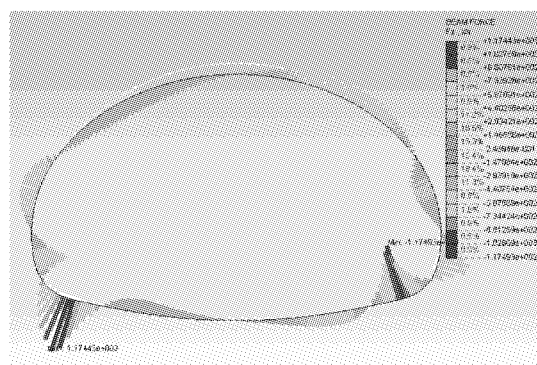


图3 V级围岩二次衬砌剪力图

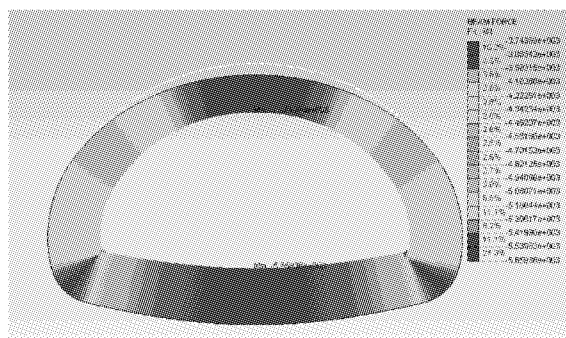


图4 V级围岩二次衬砌轴力图

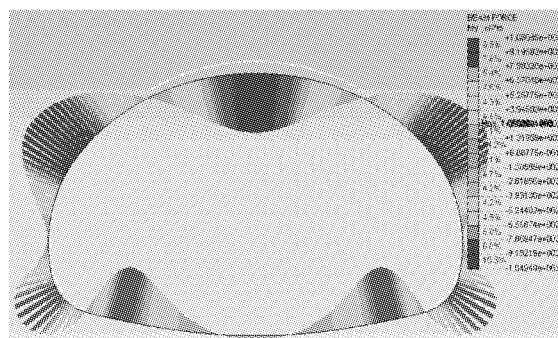


图5 V级围岩二次衬砌弯矩图

5 隧道施工方案设计

由于焦树山隧道开挖跨度大,因此施工方案的选择直接影响着隧道的施工安全、工程费用和工程进度,显得尤其重要。本隧道施工采用信息化施工,按新奥法原理进行,施工步骤如下:

洞身段Ⅱ级围岩施工采用上下台阶法施工,上下台阶距离相隔10m左右;要求台阶线不得超过起拱线,上台阶长度不得大于30m,一次落底并尽快封闭成环。

Ⅲ级围岩施工采用环形开挖留核心图法施

工,将开挖断面分为上、中、下及底部四个部分逐级掘进施工,核心土面积不小于整个面积的50%。上部宜超前中部3~5m,中部超前下部3~5m,下部超前底部10m左右。

Ⅳ、Ⅴ级围岩地段施工采用双侧壁导坑法施工,围岩开挖应尽量采用挖掘机和人工配合无爆破施工,局部爆破应采用弱爆破施工以减少对围岩的扰动,同时要求施工初期支护并尽早封闭成环,侧壁导坑跨度宜为整个隧道跨度的三分之一,左右导坑施工时,后拉开距离不小于15m,导坑与中间土体同时施工时,导坑应超前30~50m,详见图6。

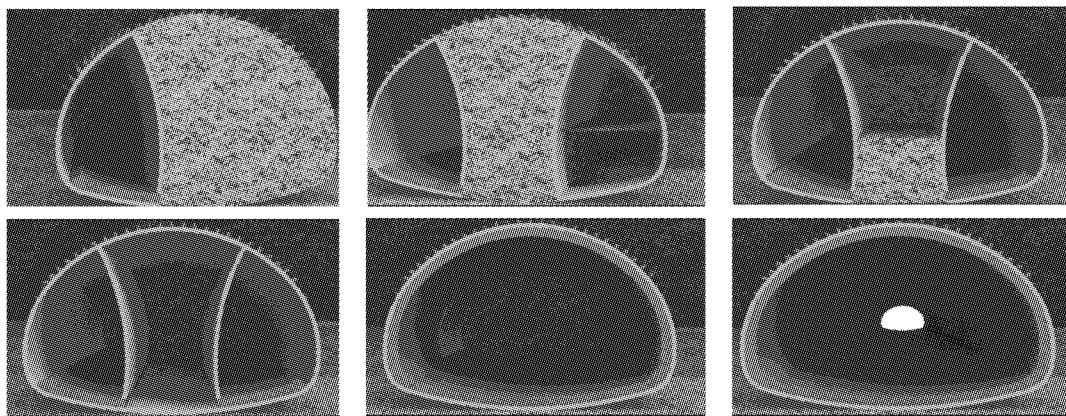


图6 双侧壁导坑施工工序图

6 隧道洞门设计

洞门设计原则:以“早进洞,晚出洞”为原则,遵循“不破坏就是最好的保护”的理念进行设计,减小对洞口自然景观的破坏。

焦树山隧道进口地形较陡,优先考虑端墙式洞门,隧道出口地形较缓、开阔,采用削竹式洞门。进出口均设置明洞,洞口边坡及仰坡均采用三维网护坡,洞口路堑边坡采用喷锚网防护。

7 隧道防排水、路面及其装饰设计

隧道的防排水遵循“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则。在喷射混凝土和二次衬砌之间设 $350\text{g}/\text{m}^2$ 土工布 + EVA 防水板作为衬砌防水层;隧道二衬混凝土采用 C30 防水混凝土,其抗渗标号不小于 P8;沉降缝采用外贴式 + 中埋式遇水膨胀型橡胶止水带。

隧道内设置双层排水沟,地下水水沟与污水沟分离布设,实现洞内污水与地下水分排。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 圆形盲沟排水沟。隧道环向基本按 20m 一处,在围岩与喷射混凝土间设置横向 $140\text{mm} \times 30\text{mm}$ 扁形排水盲沟,在洞口浅埋段、断层破碎带及地下水较多处采用 5m 一处。隧道二次衬砌环向施工缝,在其背后喷射混凝土与防水板之间设置 $140\text{mm} \times 30\text{mm}$ 扁形排水盲沟。

焦树山隧道采用沥青混凝土路面。隧道洞内沥青混凝土路面 10cm 厚的沥青层与洞外路基沥青路面一致,沥青层下面铺设 24cm 厚的水泥混凝土面板。水泥混凝土面板的强度要求 28d 的抗弯拉强度不小于 5.0MPa 。面板下铺设 15cm 厚 C20 混凝土基层。对于有仰拱地段,基层铺设在仰拱填充上;对于无仰拱地段,基层铺设在 C20 混凝土的整平层上。基层的抗弯拉强度不小于 1.8MPa 。

• 24 •

隧道内适当装修,对司机进洞后视觉能起到诱导作用,以提高行车安全: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;拱部喷涂防火涂料,防火涂料耐火极限不小于 2 小时。

8 隧道安全设计

隧道设计贯穿“以人为本,安全至上,全寿命整体安全”的设计理念。综合考虑公路隧道的功能、行车安全、自然环境等因素,对隧道设计、施工和营运各阶段安全性进行综合评价,使隧道在全寿命过程处于可控状态。

8.1 隧道结构安全设计

(1)隧道按新奥法原理进行洞身结构设计,以系统锚杆、钢纤维喷射混凝土、钢筋网、H 型钢组成初期支护与二次模筑(钢筋)混凝土相结合的复合式衬砌形式;通过结构分析计算及工程类比,拟定洞身衬砌支护参数,确保衬砌结构具有足够的强度和保持工程所需要的稳定性和耐久性。

(2)洞门通过计算确定洞门结构的强度、基底承载力等要求。

(3)采用可靠的路面结构,确保路面结构的安全。

(4)洞内装饰采用防火涂料,减轻火灾工况下隧道衬砌的破坏。

8.2 隧道施工安全设计

隧道施工必须遵守相应的施工规范,还应遵守相应的施工安全技术规程;设计不仅考虑隧道结构的安全,还考虑了施工的安全,主要考虑了以下方面:

(1)对洞口临时边仰坡,均增设了临时支护措施,保证施工过程中边仰坡的稳定。

(2)对地质条件较差的地段,采用各种辅助工程措施保证隧道洞室的稳定。

(3)加强监控量测,及时了解围岩动态,并根据监测结果及时调整支护参数。

8.3 隧道内行车安全设计

(1) 隧道内采用流畅的线型, 避免不合理的线型组合。

(2) 充分考虑自然环境对隧道洞内及洞外行车的影响, 合理确定隧道洞口高程。

(3) 采用可靠的防排水措施, 保证隧道内路面干燥。

9 结论

目前双洞八车道公路隧道已建设的较少, 还处于探索阶段, 本文通过对焦树山隧道设计与施工进行探讨, 并应用有限元数值模拟方法对支护结构的强度及围岩稳定性进行模拟分

析, 为今后的大跨径双洞八车道公路隧道积累经验。

参考文献:

[1] 交通部. 公路隧道设计规范 JTG D70 - 2004 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[2] 交通部. 公路隧道施工技术规范 JTG F60 - 2009 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.

[3] 福建省高速公路建设总指挥部. 福建省高速公路施工标准化管理指南 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.

[4] 广东省公路勘察规划设计院, 焦树山隧道两阶段施工图设计文件 [R]. 广州: 广东省公路勘察规划设计院有限公司, 2010.

特长公路隧道紧急停车带通风优化分析研究

温玉辉

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 结合秦岭终南山特长公路隧道紧急停车带设计方案, 运用了 CFD(计算流体动力学)方法对紧急停车带区域流态进行分析, 以确定出较佳的土建结构形式并计算出紧急停车带局部通风压力损失系数。

关键词: 隧道工程; 计算流体动力学; 通风; 数值分析

随着高速公路的建设发展由平原转向山区, 长大、乃至特长公路隧道的建设已经提上日程。但目前仍存在着制约特长公路隧道发展的诸多因素, 其中特长公路隧道的运营通风则是一个迫切需要解决的主要问题。如何有效减少隧道运营通风能耗是运营通风研究中最具有现实意义的一个问题。

在采用纵向式通风方案的特长公路隧道中, 通风沿程压力损失一般难以采用有效方法予以减少; 但对于通风局部压力损失则可以通过土建结构优化等形式予以减小, 进而达到节约通风能耗的目的。

本文主要采用理论分析并结合数值计算方法对特长公路隧道紧急停车带几何形式进行研究并进而达到通风优化的目的。

1 紧急停车带几何形式及通风压力损失理论分析

1.1 紧急停车带几何形式

以目前正在建的秦岭终南山特长公路隧道为例, 其总长达到 18km, 居世界第二, 亚洲第一。初步设计每 750m 设置一处紧急停车带, 则双线共需设置 48 处紧急停车带, 其局部通风压力损失是非常可观的。

相对隧道一般地段, 紧急停车带的断面面积要大很多, 因此就存在不同断面连接的问题。

整体上不同断面之间连接有三种方式:

(1) 不同断面采用 90°折线连接方式;

(2) 不同断面采用 45°折线渐变连接方式;

(3) 不同断面采用 45°曲线渐变连接方式。

具体几何形式平面示意图见图 1 至图 3。

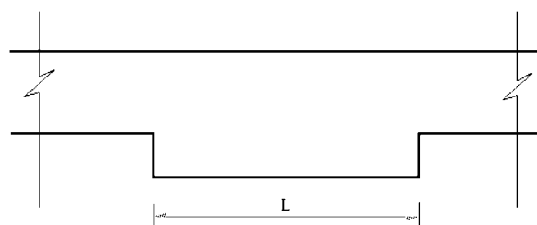


图 1 90°突变连接方式

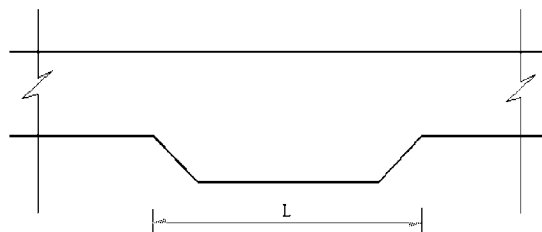


图 2 45°折线渐变连接方式

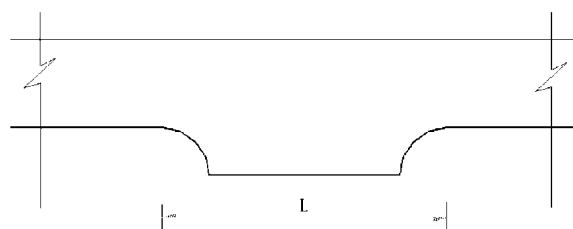


图 3 45°曲线渐变连接方式

1.2 紧急停车带通风压力损失分析

就紧急停车带通风而言, 按传统通风计算观点, 在以上三种连接方式下均存在如下三项风压损失:

(1) 一般隧道地段的风流流向紧急停车带时

存在的局部扩大压力损失 Δp_i ;

(2) 在长度 L 范围内的紧急停车带风流流动的沿程压力损失 Δp_r ;

(3) 紧急停车带的风流流向一般隧道地段时存在的局部缩小压力损失 Δp_o 。

则紧急停车带区段总通风压力损失总和如下:

$$\Delta p = \Delta p_i + \Delta p_o + \Delta p_r \quad (1)$$

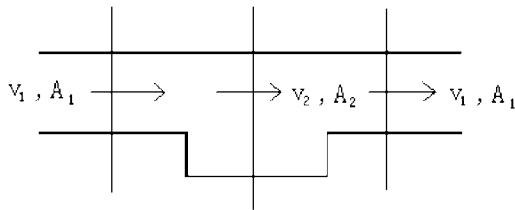


图 4 几何示意图

对于采用 90° 突变方式从一般地段过渡到紧急停车带地段的局部扩大通风压力损失, 可有流体力学中的包尔达 - 卡尔诺公式计算如下:

$$\Delta p_i = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2} \times \rho \quad (2)$$

根据质量守恒方程:

$$Q_1 = Q_2 \quad (3)$$

即:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (4)$$

经过整理可最终得出如下方程:

$$\Delta p_i = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \cdot \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (5)$$

根据公式(5), 确定了隧道一般地段断面积 A_1 、紧急停车带断面积 A_2 以及隧道设计风速 v_1 之后, 即可求出采用 90° 突变连接形式过渡的紧急停车带局部扩大通风压力损失。

对于沿程损失, 可有如下成熟公式进行计算:

$$\Delta P_r = \lambda \cdot \frac{L}{D_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 \quad (6)$$

对于采用 90° 突变方式从紧急停车带地段过渡到一般隧道地段的局部缩小通风压力损失, 可有流体力学中的计算公式求出:

$$\Delta p_o = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^{0.75} \cdot \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (7)$$

以上各项公式中符号表征意义见参考文献[3]。

而采用其他两种渐变形式过渡的紧急停车带的局部通风压力损失, 目前没有成熟的计算理论, 实际工程中大多通过模型试验或采用 CFD 的方法进行数值模拟, 从而确定其局部压力损失。

本文采用国际上通用的 CFD 商业软件 CFX-Design 对以上三种紧急停车带土建形式进行通风模拟, 以期确定出紧急停车带处实际流体运动状态并比较出较佳的有利于通风的土建形式。

2 有限元模型

计算流体动力学程序采用国际上通用的 CFX-Design, 该程序可以进行多维流体运动模拟, 可以采用多种湍流计算模型如标准 $k-\varepsilon$ 模型, RNG $k-\varepsilon$ 计算模型等。该程序通过建立流体运动的质量、动量以及能量守恒方程, 引入相关参数进行求解偏微分方程, 从而求出流体的压力场和速度场。

2.1 湍流模型

公路隧道通风场中流体流速一般小于 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。考虑到公路隧道通风系统的庞大性以及实际工程对计算精度的要求, 计算中进行了如下假定: (1) 流体不可压缩; (2) 流体运动各向同性; (3) 流体是连续介质。

流体运动控制方程采用了“时间平均”的连续性方程和动量方程:

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (8)$$

$$\rho u \cdot \nabla u = -\nabla p + \nabla \cdot [(\mu + \mu_t)(\nabla u + \nabla u^T)] \quad (9)$$

公式中: ρ 是流体密度, u 是流体流速, μ 是粘滞系数, μ_t 是涡流粘度系数。

CFD 模拟中采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型对以上方程进行封闭求解。采用湍流动能 k 以及湍流动能散耗率 ε 来确定涡流粘度系数, 计算公式如下:

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

湍流动能 k 和湍流动能散耗率 ε 由以下输运方程控制:

$$\rho u \cdot \nabla k = \nabla \cdot \left\{ \left[\mu + \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \right] \nabla k \right\} + \mu_t P(u) - \rho \varepsilon \quad (11)$$

$$\rho u \cdot \nabla \varepsilon = \nabla \cdot \left\{ \left[\mu + \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \right] \nabla \varepsilon \right\} + C_1 \left(\frac{\varepsilon}{k} \right) \mu_t P(u) - C_2 \rho \left(\frac{\varepsilon^2}{k} \right) \quad (12)$$

公式中 $P(u)$ 定义如下:

$$P(u) = \nabla u : (\nabla u + \nabla u^T)$$

以上公式中 c_1 、 c_2 、 c_μ 及 σ_k 和 σ_ε 取值如表 1。

表 1 参数取值表

C_1	C_2	C_μ	σ_k	σ_ε
1.44	1.92	0.09	1.00	1.30

壁面处采用壁面函数进行处理:

$$U^+ = \frac{1}{k} \log y^+ + B \quad (13)$$

其中 U^+ 、 y^+ 定义如下:

$$U^+ = U_t / \sqrt{\tau_w / \rho} \quad (14)$$

$$y^+ = \delta \sqrt{\tau_w / \rho} / \nu \quad (15)$$

公式中: U_t 为切向速度; k 和 B 为无量纲常数; τ_w 为壁面切应力; δ 为边界层厚度; ν 为动粘滞系数。

边界条件中 k 、 ε 计算公式如下:

$$k = \frac{1}{2} I^2 u^2 \quad (16)$$

$$\varepsilon = C_\mu \frac{K^{1.5}}{\delta_s} \quad (17)$$

公式中: I 为湍流强度系数(通常取值 0.05); δ_s 为湍流尺度(通常取值 0.001)。

根据以上给定的方程并结合一定的边界条件,CFD 程序通过迭代计算求解控制方程,从而最终给出计算模型流场和压力场的分布情况。

2.2 CFD 有限元求解过程

完成一个完整的有限元分析需以下三个步骤:(1)预处理。在预处理中必须完成几何模型的建立,网格的划分以及边界条件的给定;(2)求解分析。选择一定的数学计算模型对给定边界条件求解平衡方程;(3)后处理。得出所需的计算结果并以文档或云图的形式给出进行进一

步的分析。

3 紧急停车带通风压力损失数值模拟

3.1 模型与参数

在 CFXDesign 软件中建立上述三种紧急停车带几何土建形式的三维模型,设计参数采用规范推荐值。计算参数如下:

隧道一般地段断面面积:66m²,断面当量直径为 $D_r = 7.0\text{m}$;

紧急停车带地段断面面积:85m²,断面当量直径为 $D_{r1} = 8.5\text{m}$;

计算隧道长度范围:300m;

紧急停车带宽度:5m;

紧急停车带长度:40m;

隧道壁面平均粗糙度:0.005m;

入口风速分别取值:6m·s⁻¹以及 8m·s⁻¹;

出口:相对压强为 0;

空气密度: $\rho = 1.2\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

计算平面示意图如图 5。

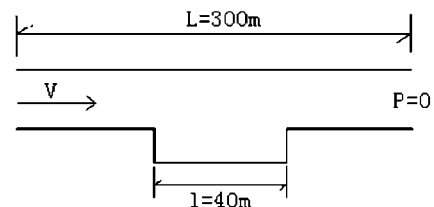


图 5 计算示意图

计算中采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型,对三维模型网格划分进行如下控制:

(1)加密进出口区域以及紧急停车带区域;

(2)对介于进出口与紧急停车带之间的几何模型区域适当加大网格。

对有限元离散方程的求解采用 SIMPLE 算法进行求解,通过控制迭代计算残差在一定范围以满足计算精度要求。

3.2 计算结果分析

运用 CFD 对所建立的模型进行了 6 组计算,计算结果数据以及计算速度云图以及曲线图见表 1 以及图 6 和图 7。

表 2 计算结果

计算工况	几何形式	入口压强/Pa
I: 入口 $v: 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 出口压强为 0	90°折线连接	27.1375
	45°折线连接	27.6813
	45°光滑连接	21.4070
II: 入口 $v: 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 出口压强为 0	90°折线连接	48.0350
	45°折线连接	48.5748
	45°光滑连接	37.8492

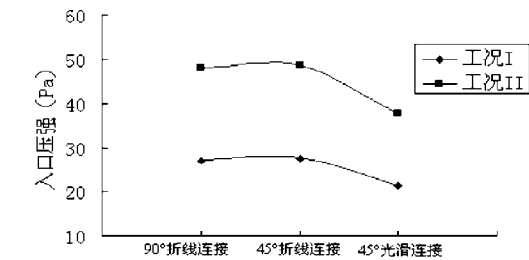


图 6 连接方式—压力关系曲线图

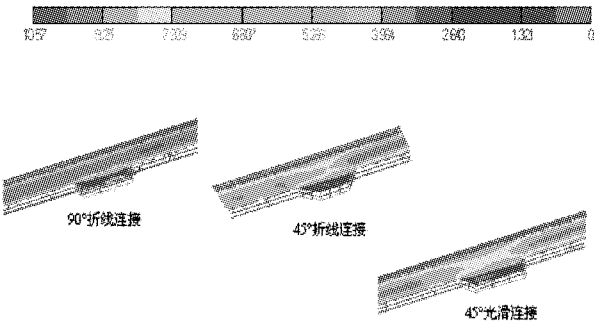


图 7 计算结果速度云图

对计算结果进行分析,可得出如下结论:

(1) 紧急停车带几何结构形式采用 90°或 45°折线进行扩大和缩小时,运营通风所需要的压强差别不大:在工况 I 条件下,需要提供压强约为 27Pa;在工况 II 条件下,需要提供压强约为 48Pa。

(2) 紧急停车带几何结构形式采用光滑曲线进行缓和扩大和缩小时,运营通风所需压强相对较小,根据计算结果可知在工况 I 条件下,需要提供压强为 21.407Pa;在工况 II 条件下,需要提供压强为 37.849Pa。

(3) 结合对云图的直观分析可知,运营通风时,在紧急停车带区域形成局部涡流,特别是采用折线进行扩大和缩小时,局部涡流区域比较大而且涡流强度也较强,因此造成能量在紧急停车带区域的急剧损失;相反采用光滑曲线进行扩大和缩小时,同样在紧急停车带区域也出现涡流,而且涡流体积相对比较大,但其强度小,进而造成的能量损失也相对较小。

(4) 综合比较折线与光滑曲线连接等三种不同方案,可知光滑曲线方案要比折线方案效果好:工况 I 条件下,节约压强 6Pa 达到 21%;工况 II 条件下,节约压强 11Pa 达到 22%。

(5) 根据仿真计算结果并结合秦岭终南山特长公路隧道的实际情况,采用光滑曲线连接方案相比折线方案,在工况 I 条件下双线共可节约压强达到 288Pa,相当于 22 台直径 112 射流风机所能提供的升压强;在工况 II 条件下双线共可节约压强达到 528Pa,相当于 40 台直径 112 射流风机所提供的升压强。

(6) 建议秦岭终南山特长公路隧道在具体紧急停车带设计中,采用光滑曲线进行缓和扩大和缩小的几何形式,以达到节能的目的。

3.3 局部压力损失系数计算

利用以上数值计算结果可反推出紧急停车带局部压力损失系数。计算边界条件中壁面平均粗糙度取 5mm,根据现行《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ026.1-1999)中建议的直管壁面摩阻损失系数计算公式,可得出 $\lambda = 0.018232$;由此可以分别计算出各种工况下对应的沿程通风压力损失。根据计算结果,因为出口相对压强为 0,则入口提供的压强减去沿程压力损失,余下的压力损失即局部压力损失。

计算局部压力损失系数如下:

$$\xi_{\text{局部}} = \frac{\Delta p_{\text{入口}} - \Delta p_{\text{沿程}} - \Delta p_{\text{出口}}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2} \quad (18)$$

综合考虑公式(5)、式(7)及式(18),可得平均计算结果见表 3。

表 3 计算结果

几何形式	数值计算 局部损失系数	理论计算 局部损失系数
90°折线连接	0.501	0.213
45°折线连接	0.481	暂无
45°光滑连接	0.219	暂无

从计算结果发现数值计算出的局部损失系数要比理论计算值偏大一倍多。根据对计算结果云图的分析可知其主要原因在于:理论计算值仅仅考虑突缩突扩局部压力损失;而通过数值计算发现在紧急停车带区域出现了大小、强度不等的涡流,显然涡流的存在将造成更大的压力损失。因此数值计算结果是同时包含了紧急停车带突缩突扩(渐缩渐扩)压力损失和紧急停车带区域内的涡流压力损失。显然数值计算结果更深刻地反映出实际的流态情况,其计算结果也具有说服力,可指导实际通风设计计算。

4 结语

(1)不同的紧急停车带几何土建形式对应不同的局部通风压力损失。根据数值计算结果可知,采用光滑曲线进行断面渐变的紧急停车带土建形式对应局部通风压力损失最小,而采用 90°折线连接和 45°折线连接形式的紧急停车带通风

压力损失较大。

(2)根据数值计算结果,在紧急停车带通风区域内存在大小、强度不等的涡流,而涡流的存在是造成通风压力损失的主要原因之一,因此如果紧急停车带土建形式由于地质条件限制只能采用 90°或 45°折线连接形式时,其局部压力损失系数应在 90°折线连接理论计算出的突缩突扩压力损失系数之和的基础上适当放大一倍左右。

(3)在具体通风设计计算中,必须采用数值计算方法或模型试验方法对通风系统局部压力损失进行模拟仿真计算,以得出较为准确的局部压力损失系数,用以指导实际通风设计计算并最终达到节约通风系统能耗的目的。

(4)随着计算机技术的发展,对长大公路隧道通风系统整体研究将是今后研究的重点。通过对整体的仿真研究,将有利于分析确定公路隧道通风系统风流场和压力场的特性。

参考文献:

[1]长安大学课题组. 秦岭终南山特长公路隧道运营通风研究报告[R]. 2004.
[2]温玉辉. 特长公路隧道纵向通风系统 CFD 三维仿真分析[D]. 西安:长安大学,2004.
[3]JTJ026. 1 - 1999 公路隧道通风照明设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,1999.

Google Earth 在公路工程可行性研究中的应用

王子明

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: google earth 由于其强大的三维卫星影像图浏览技术,在世界各地掀起了一股 google earth 的热潮。各种基于 google earth 的应用不断涌现。在公路工程可行性研究中,经常需要卫星影像图作为放线的基础资料,及后期动画的演示。文章介绍了 google earth 软件与其它相关软件的配合,形成一套完整的应用于公路工程可行性研究的解决方案。

关键词: google earth; 公路; 可行性研究

在公路工程可行性研究中,卫星影像图是比较重要的基础资料。在卫星影像图的基础上,我们可以在上面放线,使项目有一个比较清晰的走向。同时可以在影像图的基础上描绘区域路网图,以供交通量分析之用,还可以在三维影像图上进行公路路线演示,以获得比较直观的效果。在以往的项目可行性研究中,影像图基本上是购买测绘部门的影像图,比例尺一般是 1:50000,而且要获得准确的经纬度还要查图,然后一张一张拼起来,工作量比较大。应用于其它地理信息系统软件时有一定的困难,更难以应用于三维动画演示了。而在 google earth 中的影像图,其大部分地区的精度同样达到 1:50000,个别地区的精度甚至达到 1:1000 以内,道路上的汽车清晰可见,完全满足可行性研究的需要。因此 google earth 对提高公路可行性研究编制的工作效率和丰富汇报效果可以发挥一定的作用。

1 Google Earth 简介

Google Earth 是美国 Google 公司发布的一款全球卫星地图集成软件,它可以经计算得出三维地图,并且具有一定的地理信息系统软件的功能。Google Earth 上的全球地貌影像的有效分辨率至少为 100 米,通常为 30 米(例如中国大陆),山区、军事禁区等分辨率较低,视角海拔高度(Eyealt)为 15 公里左右。但针对大城市、著名风景区、建筑物区域会提供分辨率为 1m 和 0.

6m 左右的高精度影像,视角高度(Eyealt)分别约为 500 米和 350 米。Google Earth 的个人版一共有 3 个版本,Google 将最低版本定为 Free 软件(免费),可以不限时间自由使用。而 Plus 版(20 美元/年)、Pro 版(400 美元/年)都是收费的。这几个版本其区别是 Plus 版、Pro 版增加了一些譬如绘制线条/多边形、GPS 导航、统计、录制电影等功能,但它们的全球的地貌影像都是一样的,如果遇到分辨率不高的地区,可以采用贴图的方式,将高分辨率的影像图贴入 Google Earth。Google Earth 具有丰富的功能和各种各样的应用,在此不能一一赘述,要详细了解可以在网上查找。Google Earth 的运行必须有网络的支持,因此运行 Google Earth 的电脑必须连通互联网。

2 Google Earth 在公路工程可行性研究的应用

Google Earth 在公路工程可行性研究的应用主要有三个方面:一是截取卫星影像图作为公路可行性研究放线之用。截取的影像图可以根据需要采取不同的比例。由于 Google Earth 没有大幅输出影像图的功能,输出的影像图往往采用拷屏的形式,一般不能满足需要。因此要获得满意的影像图,必须依靠其它的软件的配合;二是从 Google Earth 获取路网信息,作为交通量预测的分析路网。通过 Google Earth 获取的路网信息,其路网坐标和里程等属性是比较精确的。其

它的路网信息如公路等级车道数等还是要进行调查获得;第三是公路的动画演示。通过 Google Earth 录制的动画,可以非常直观的考察路线经过地区周边的地形地物,以及与周边路网的相互关系。特别是在山区,演示的效果更好,更能充分发挥 Google Earth 的三维地形的功能。

通过以上三个方面的应用,可以提高可行性研究的工作效率,使交通量预测的分析路网更符合实际情况,出版的文件更加美观,丰富了可行性研究的汇报手段。实践证明,Google Earth 在公路可行性研究中取得了很好的应用。下图是应用于公路可行性研究的一个实例。

图 1 应用实例

3 Google Earth 与其它软件的配合使用

Google Earth 与其它软件的配合使用,就是利用其它软件的相关功能,方便快捷地进行影像图的截取,以及利用地理信息系统软件,对截取的影像图进行处理,同时将公路路线文件导入到 Google Earth 中,以便进行直观的演示和录制动画。其中录制动画在 Google Earth 中可以完成,不需其它软件。AutoCAD 放线是工程人员的基本技术,在此不再细说。各种相关软件及配合使用的流程见图 2。

3.1 StitchMaps 截图

StitchMaps 是德国 Petr Bezdecka 公司开发的专用于截取 Google Earth 卫星图片的软件,软件标准版购买费用是 38 美元。该软件截取的图片带有经纬度信息,它可以比较精确的控制截取的范围和分辨率,截取之后可以自动拼成一张大图。图片格式有 bmp、jpg 和 png 三种,并可以按 Ozi、GPS Tracker、Global Mapper、World - file 和 Mapinfo 等校

准格式存储,方便其它软件的读取。软件必须与 Google Earth V4.0.2091 以上版本同时安装,截图

图 2 软件配合使用流程

前有些参数需要进行调整。其中主要的是重叠度 (Map images overlapping) 和校准格式 (Calibration format), 重叠度一般按 20% 即可, 校准格式要看下一步是用那个软件来处理, 也可以分别存为各种格式, 以便同时使用。专用于 Google Earth 截图的软件有很多, 其中有些是可以同时提取经纬度信息的, 但更多的是没有。本人认为该软件是最适用的, 特别是可以存为各种软件可用的校准格式。

3.2 Global Mapper 处理

Global Mapper 是美国 Global Mapper Software LLC 公司开发的浏览、合成、输入、输出常用的光栅、高程、矢量数据集的软件, 购买费用为 299 美元。它可以编辑、转换、打印各类地图图形文件, 跟踪记录 GPS 及对数据库运用 GIS (地理信息系统) 功能。8.0 版增加了直接访问 USGS (美国地质勘探局) 卫星照片、TerraServer 数据库和 Global Mapper 内部的地形图及以真实的 3D 方式查看海拔数据的功能。它可以转换数据集的投射方式以符合你的项目的座标系统, 并可以同时数据集的范围进行裁剪。它还提供距离和面积计算, 光栅混合、对比度调节、海拔高度查询、视线计算, 以及一些高级功能, 如图像校正、通过地表数据进行轮廓生成、通过地表数据观察分水岭、对 3Dpoint 数据转换为三角多边形和网格化等。

在这里主要用于提取 StitchMaps 截取的图片的坐标信息。打开图片后, 点击控制中心 (Control Center), 点击元数据 (metadata), 就可以获得图片左上角和右下角的经纬度了。另外用于转换 AutoCAD 格式的路线方案为 Google Earth 可读的 KML/KMZ 格式文件, 将路线方案读取到 Google Earth 中, 再作后一步的处理。在转换时, 必须确定两个参考点, 将路线方案在 AutoCAD 上的坐标与在 Google Earth 中经纬度对应起来, 进行坐标转换, 才能以准确的位置在 Google Earth 中反映出来。

3.3 TransCAD 提取路网信息

TransCAD 是美国 Caliper 公司开发的第一个专供交通专业人员使用的地理信息系统 (GIS), 用来储存、显示、管理和分析交通数据。TransCAD 中只能打开 TIF 格式的图片, 因此需将 StitchMaps 截取的 JPG 图片转换为 TIF 格式。打开图片后, 按

照上一步骤提取的经纬度进行校准, 就可以按照图片真实的经纬度进行处理了。要获取路网信息, 一个比较原始的方法是描图, 就是照着图片上显示的公路一步一步的描。这样的方法工作量比较大, 如果没有现成路网时也只能这样。另外一个比较方便的方法是将“中国电子地图”软件中的路网导出, 用 Global Mapper 和 Mapinfo 转换后读入 TransCAD。还可以将 Google Earth 中一些现成的路网地标文件导出, 用 Global Mapper 和 Mapinfo 转换后读入 TransCAD。这些导出的路网都带有经纬度坐标, 可以直接在 TransCAD 中显示。再作进一步处理后就可以用于交通分析了。

最后的动画演示只是利用 Google Earth 的一个功能, 在这里不再介绍。

5 结束语

Google Earth 是一个充满创意的软件, 让我们可以很方便的了解我们所处的地球的情况, 其发展前景也是不可估量的。Google Earth 结合其它软件应用于公路工程可行性研究, 是一个典型的创新型应用, 也只是 Google Earth 在公路工程领域一个小小的发挥。文章介绍的配合应用, 可能有不同的途径或不同的软件, 但这是作者在实际摸索中总结的经验, 供各位工程技术人员参考。

参考文献:

- [1] 党安荣, 贾海峰, 易善桢. ArcGIS8 Desktop 地理信息系统应用指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] 谭浩, 张庆新. Google Earth 在公路设计中的应用 [J]. 西南公路, 2007 年 01 期.
- [3] 沈颖. TransCAD 辅助的高速公路交通量调查方法 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2006 年 12 期.
- [4] 虞颜, 傅建中, 应国强. 基于 MapInfo 的公路工程地理信息系统研究 [J]. 公路, 2002 年 02 期.
- [5] 王佳昌, 王晓民. 数字地面模型 (DTM) 在公路工程可行性研究报告中的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2004 年 08 期.
- [6] 孙小年, 尹良龙. 交通规划地理信息系统技术在交通量预测中的应用 [J]. 广东公路交通, 2000 年 01 期.
- [7] 冯永玖, 童小华, 刘妙龙. 基于 SuperMap 的公路工程地理信息平台研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2008 年 01 期.
- [8] 满延刚. 略论公路 CAD 与 GIS 的集成 [J]. 湖南交通科技, 2004 年 03 期.

广深高速货车载重特征调查与分析

陈爱萍

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 本文基于连续一周的广深高速交通量观测数据,对其交通量和货车超载特征进行详细分析,表明广深高速存在较为严重的超载现象。

关键词: 广深高速; 交通量; 超载

由于过度开放的货运市场和不合理的使用税费刺激了汽车超载,货车超载现象普遍存在,这不仅给社会造成巨大经济损失,也使行车人员安全受到威胁,如何治理超载问题亟待解决。

1 广深高速公路简介

广深高速公路起于广州市,向南途径东莞,止于深圳皇岗口岸,通过落马洲大桥与香港路网连接,全长 122.8 公里,为双向 6 车道。1994 年建成通车。广深高速是国家高速公路网“7918”中“第三条”北京放射线京港澳高速的重要组成部分,也是广东省高速公路网“十纵五横两环”中“第五纵”的一部分。由于广深高速公路途径区域经济发达,目前广深高速公路交通量较大,且货车超载严重,不仅产生了较大的安全隐患,而且影响了周边地区的正常交通。

2 调查时间和方法

本次调查于 2008 年 12 月 20 日(星期六)

~12 月 26 日(星期五)完成,调查点位于广深高速岗贝立交附近,主要调查珠江两岸的过江交通量。本次调查采用了高速动态称重系统进行检测,可以同时采集轴重、轴数、总车重、轴间距、车长、车速、车辆分类等参数。高速称重系统安置于车辆正常行驶路段,待车辆行驶通过后可以得到相应数据,对道路正常通行影响很小。

3 调查结果与分析

3.1 调查流量及其分布

1、交通流量分析

根据调查结果,广深高速交通量较大,周平均交通量为 77397 辆/日(绝对数,下同),交通量周变化幅度较大,客货车最大交通量均出现在星期三,其中客车 63120 辆/日,货车 25168 辆/日,合计 88288 辆/日,已远远超过了六车道高速公路所能适应的最大交通量。广深高速 7 天交通量变化情况见表 1 所示。

表 1 广深高速交通量周变化统计表(veh/d)

星期	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日	周平均
客车	58419	51212	63120	52719	55726	57820	45739	54965
货车	23867	22088	25168	21796	22512	22779	18813	22432
客货合计	82286	73300	88288	74515	78238	80599	64552	77397

2、货车 24 小时分布及高峰小时分析

从广深高速星期三货车 24 小时分布来看,货

车主要集中分布在 9 点~19 点,该时段流量分布较均匀,高峰小时出现在 16 点~17 点,货车高峰

小时流量比为 6.67%。其中大型、特大型货车(三轴及以上车辆,下同)24 小时交通量分布特征与货

车交通量的基本一致,其高峰时段仍为 10 点~19 点,但高峰小时出现在 12 点~13 点。具体见图 1。

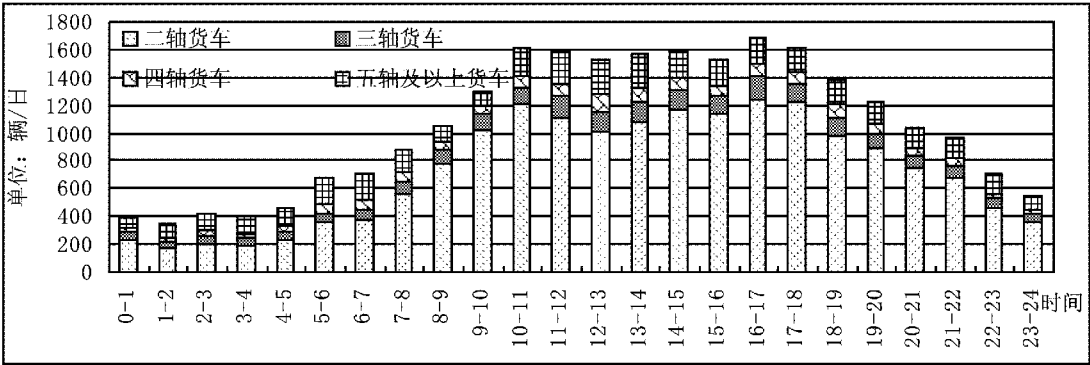


图 1 广深高速 24 小时交通量分布 (周三的数据)

3.2 车型构成分析

根据调查结果可知,广深高速总体交通量中客车周平均占有率为 71.02%,货车为 28.98%。货车中二轴车数量占据绝对优势,为 69.03%,大

型、特大型货车的比例高达 30.97%,该比例在珠江三角洲范围内的高速公路中算比较高的,说明广深高速在疏导时间价值较高的大型、特大型货车中占据主导地位。具体看表 2。

表 2 广深高速交通量周平均车型构成分析表 (veh/d)

车型	货车					客车合计
	二轴车	三轴车	四轴车	五轴及以上	合计	
广州-深圳	7121	1256	714	1752	10843	25536
深圳-广州	8364	898	630	1699	11591	29429
合计	15484	2153	1344	3451	22432	54965
货车比例	69.03%	9.60%	5.99%	15.38%	100.00%	/

3.3 货车重量分布分析

从广深高速星期三不同类型货车车重分布频率来看,二轴车总重主要分布在 10t 以内,占二轴车比例的 61.2% 以上;三轴车总重分布比例最大的区间是 10t~20t,这一区间比例占三

轴车的 35.11%;四轴车总重分布比例最大的区间为 10t~20t,此区间比例占四轴车的 35.29%;五轴及五轴以上车总重分布比例最大的区间为 20t~30t,约占这一类型车的 24.99%。具体见图 2。

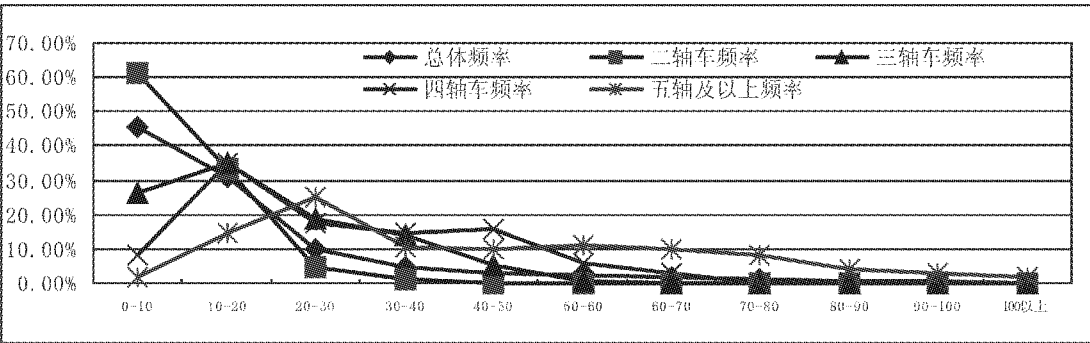


图 2 不同类型汽车车重频率分布示意图

3.4 货车超载分析

1、总体超载情况分析

根据广深高速周三的调查结果,按照货车的限载标准,分别计算超载车辆数量、超载率及平均超载率。计算结果见表 3。

从方向分布看,往深圳方向的超载车辆比

例大于往广州方向的,达到 17.28%,两个方向的平均超载率约为在 31%;从超载率分布看,在超载车辆中,超载率 $\leq 30\%$ 的比例最大,双向平均为 58.92%,随着超载率增加比例呈逐渐减少的趋势,双向平均超载率 $> 50\%$ 的比例为 18.89%。

表 3 广深高速货车超载统计表

方 向	货车 (辆)	超载车 (辆)	超载车占总 量比例(%)	平均超 载率(%)	超载率 $\leq 30\%$ 占超 载车的比例	超载率 $> 30\%$, $\leq 50\%$ 占超载车比例	超载率 $> 50\%$ 占超 载车比例
广州 - 深圳	12874	2224	17.28%	30.70%	58.23%	23.43%	18.35%
深圳 - 广州	12294	1371	11.15%	31.50%	60.03%	20.20%	19.77%
双 向	25168	3595	14.28%	31.00%	58.92%	22.20%	18.89%

2、不同车型超载情况分析

根据广深高速周三的调查结果,从不同类型超载车所占比例分布来看,二轴车所占比例最大,达到 52.80%,四轴车所占比例最小,为 8.93%;从不同类型超载车平均超载率来看,

广深高速平均超载率为 44.59%,其中五轴及以上车超载率最大,达到 56.73%;从超载率比例分布来看,超载率 $\leq 30\%$ 的车辆比例最大,该超载率所占比例为 44.08%。具体结果见表 4。

表 4 广深高速双向不同车型及超载率的超载比例分布表

车型	超载车数 (辆)	所占比例 (%)	平均超载率 (%)	超载率 $\leq 30\%$ 的比例	超载率 $> 30\%$, $\leq 50\%$ 的比例	超载率 $> 50\%$ 的比例
二轴车	745	52.80%	33.84%	53.29%	21.07%	25.64%
三轴车	262	18.57%	44.73%	40.08%	22.14%	37.79%
四轴车	126	8.93%	40.92%	41.27%	27.78%	30.95%
五轴及以上	278	19.70%	56.73%	24.46%	21.94%	53.60%
合计	1411	100.00%	44.59%	44.08%	22.04%	33.88%

4 结 语

从上述分析结果可以看出,广深高速货车超载现象较为严重,不仅给社会造成巨大经济损失,也使行车人员安全受到威胁,为了保障广深高速的正常交通运行及行车安全,应根据广深高速货车超载特征,尽快采取有效措施,改善超载现状。

参考文献:

- [1] 李岚、高衡等 广东虎门二桥工可研究阶段公路桥梁车辆荷载专题研究报告[R]. 中交公路规划设计院有限公司、广东省公路勘察规划设计院有限公司、长安大学, 2009.
- [2] 李伶. 公路货运超限治理策略比较研究[D]. 长安大学硕士论文, 2005.

浅谈机载激光雷达测量(LIDAR)技术在公路勘测中的应用

汤 敏

(广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广州 510507)

摘 要: 机载激光雷达测量技术迅速发展并不断成熟,应用范围不断扩大。本文简单的介绍了机载激光雷达测量技术的系统组成、发展现状和作业流程以及特点。随着其相关技术的发展,在以后的高速公路测量中,机载激光雷达测量技术会更加深入的进行应用,它也将更加广泛的应用到其他各种测绘产品中。

关键词: 机载激光雷达; LIDAR 测量; 公路勘测

1 机载激光雷达测量的发展及现状

激光雷达(LIDAR)测量技术是从 20 世纪中后期逐步发展起来的一门技术,初期用于地球科学和行星科学等许多领域。美国在 20 世纪 70 年代阿波罗登月计划中就使用了激光测高技术。20 世纪 90 年代前后,随着 GPS 动态定位和高精度姿态确定等定位、定姿技术的发展成熟,人们设计将激光测高仪安置在飞机上,同时为了提高采点效率和带宽,采用扫描的方式来改变激光束的发射方向,将设备有机的集成在一起协同工作,就构成了一个机载激光雷达测量系统。

随着机载激光雷达系统的不断成熟,其应用范围不断扩大。美国、加拿大、澳大利亚、瑞典等国为浅海地形测量发展的低空机载激光雷达测量系统使用了机载激光测距设备、全球定位系统(GPS)、陀螺稳定平台等设备,飞行高度为 500 ~ 600m,直接测距与定位,最终得到 DEM。美国 NASA 还开发研制了机载激光植被成像传感器系统,该系统可用于森林资源的调查和管理,可以用来推算植被参数和森林垂直结构等。在国内,机载激光雷达系统已经被应用于 1:2000 甚至 1:1000 大比例尺成图,并取得了很大的成就。在公路领域的应用也是领先与其它行业,在高速公路勘测中,目前有广泛普及应用的势头。

2 机载激光雷达系统的组成

机载激光雷达系统以飞机作为观测平台,以激光扫描测距系统为传感器,能实时获取地球表面的三维空间信息,还能提供一定的红外光谱信息,是获取地球空间信息的高新技术手段之一。

机载激光雷达系统的主要组成部分包括:

(1)机载激光雷达测量设备主要包括四大部分:

GPS:用于确定激光雷达信号发射参考点空间位置的动态差分 GPS 接收机。

惯性导航系统(INS):用于测定扫描装置的主光轴姿态参数的姿态测量装置。

激光测量系统:用于测定激光雷达信号发射参考点到地面激光脚点间距离,一般为激光测距仪。

数码影像系统:一般为 CCD 相机,用于记录地面实况,为后续的数据处理提供参考。

(2)原理:

①GPS + INS:获取空间位置及姿态角。

②激光测量系统:获取地面点到扫描中心的距离。

③数码影像系统:获取测区影像信息。

3 机载激光雷达测量的作业流程

3.1 作业流程

机载激光雷达测量在分型作业前,要先进行详细的飞行计划安排,其中包括飞行的航线、航

带间的重叠度、飞行速度高度等。此外飞行前后还要进行参数检测。具体流程见图 1。

图 1 作业流程图

3.2 空中 GPS 航轨计算

为保证空中动态 GPS 数据的精度,地面静态 GPS 基站在任意时刻与空中 GPS 的距离保持在 30km 的距离范围之内。利用设备自带的 GPS 处理软件将机载 GPS 数据和地面基站进行事后动态差分处理,得到每一个 GPS 时刻所对应得 GPS 坐标。GPS 的测量精度保持在厘米级,解算指标为:正反算较差 $\leq 0.2\text{m}$; PDOP < 3.5 ; 观测卫星数 ≥ 4 颗;预估位置精度 $< 0.1\text{m}$ 。

3.3 激光数据预处理

(1) 对原始数据、系统参数联合处理,转化成后处理软件需要的数据格式;

(2) 将原始数据格式(二进制)转换成标准格式(米)。

3.4 激光点云数据的精度纠正

激光点云数据的精度纠正包括航带间相对高程纠正;航带分区之间相对高程纠正;航带分区之间相对平面位置纠正以及测区绝对平面和高程位置纠正。

利用全站仪在地面实测一定数量的高程考

面数据,位置大致均匀分布。

3.5 激光点云数据分离

根据距离和高差双控原则将激光点云数据分离为地面点和非地面点,利用地面激光点绘制地形和制作数字地面模型。

3.6 数字正射影像

根据定位数据,利用商业软件生成正射影像。

3.7 线划图

在数字正射影像图上直接判读并结合点云数据绘制一定比例尺的线划图。

4 机载激光雷达测量的特点及应用

机载激光雷达测量技术的发展历史虽然不长,但已经引起了人们的广泛关注,成为国际研究开发的热点技术之一。同其他技术手段相比,机载激光雷达测量技术具有其本身的特点,主要表现在以下几个方面。

1. 机载激光雷达测量是一种直接测量系统(主动式);

2. 机载激光雷达的激光脉冲信号只需要少许植被空隙,足以保证激光信号能够被反射,快速获得高精度和高空间分辨率的森林或山区的真实数字地面模型;

3. 机载激光雷达测量只需要很少控制点,测量前一般不需要先进行控制测量,广东地区,收集的国家点基本可以满足要求;

4. 相比传统摄影测量,它可以直接获取地面三维坐标;

5. 内业处理更自动化,作业周期快;

6. DEM 高程精度高是其最大的优势。

相比国外,机载激光雷达测量技术的研究在国内起步较晚。目前,我国十分重视激光雷达测量系统的研制,科技部、电子工业部、中国科学院等单位已经开始研制机载或星载激光雷达系统。武汉大学、中国科学研究院等单位引进国外机载小光斑激光雷达系统。北京星天地信息科技有限公司、山西亚太数字遥感新技术有限公司以及广西桂能信息工程有限公司等已经分别引进了高性能的机载小光斑激光雷达系统,并已经先后开展了实验和工程飞行。

我公司是 Lidar 系统应有于高速公路勘测最早的单位之一,近年来与山西亚太数字遥感新技术有限公司、广东建通测绘技术开发有限公司等单位合作,在广东多条高速公路测量中取得了很好的经济效益和社会效益,主要项目有:湛徐高速、梅大高速、广明延长线、云罗高速、罗阳高速、江罗高速、揭惠高速、汕湛高速、揭河高速、潮揭高速、深外环等项目,还包括深汕西、广清高速扩建等高速公路扩建项目。我们对 Lidar 制作的

DEM 精度也进行了精度研究与开发,如:我们把部分路段实测横断面数据参与修正机载激光雷达测量处理后激光点云数据再生成 DEM,进一步提高 DEM 及 DLG 的精度。我们也在进一步探讨在广东采用 CORS 系统,不需要地面另外设置基准站的可能性。

5 结束语

在后续的高速公路测量中,我们尽量利用机载激光雷达点云数据,进行进一步处理后得到精度更高的数模,以提高其利用率并提高工作效率。

尽管机载激光雷达技术的应用进一步扩大,但是其也有自身的缺点,比方说在点云密度不够的情况下,地物边界不好确定,线划图平面精度有待提高,当地面地物植被非常密集的情况下如何确定其地面准确高程等等,这些有待我们进一步研究,以期在尽量减少外业工作的前提下得到更高精度的数据。随着机载激光雷达测量技术的不断研究与发展,其在公路勘测领域的应用必将越来越广泛。

参考文献:

- [1] 舒宁,激光成像,武汉大学出版社,2005.8.
- [2] 张小红,机载激光雷达测量技术理论与方法,武汉大学出版社.
- [3] 徐祖魁,机载激光雷达测量技术及工程应用实践,武汉大学出版社.
- [4] 罗志清,机载 lidar 技术信息技术-国土资源信息化,2006(2).

Vissim 初、中级课程培训报道

Vissim 是由德国 PTV 公司开发的微观交通流仿真系统,是一个离散的、随机的、以 1/10 秒为步长的微观仿真软件。

VISSIM 的常见应用包括高速公路和干线交通走廊的分析、交通局地区规划分析、高速公路管理政策发展、社区交通安全措施、快速轻轨和快速公交系统设计、铁路交叉口分析、收费站评价、环境影响分析、智能交通(ITS)评估、现状交通和未来交通管理规划、航空站的地面交通和航空交通分析。

VISSIM 软件能够在模拟后输出一系列的计算指标参数结果,便于工程师对设计的方案进行比较和评价。

本次培训由辟途威交通科技(上海)有限公司(PTV 中国)在广州举办。培训的主要内容如下:

1、介绍 Vissim 软件的基本内容及工具使用方法;

2、介绍 Vissim 驾驶行为参数调整和模型校正;

3、VISSIM 动态交通分配

4、介绍 Vissim 行人仿真的内容及操作技巧;

5、介绍 VISSIM 模块功能。

本次培训结合实例和实时上机操作进行授课,学习方式灵活生动,学习内容丰富。通过这次培训,我对 Vissim5.3 版本的内容有了一定的了解,对微观交通仿真解决实际交通问题有了更加深刻的认识。在培训的过程中,通过与授课老师的互动及沟通,拓宽了 Vissim 在专业工作中实际应用的思路。

(吴蕴华、李岚 报道)

2011 年度沥青路面预养护技术交流培训会报道

2011 年 3 月 13 日~16 日,由交通部公路科学研究院主办的“2011 年度沥青路面预养护技术交流培训会”在四川成都召开。两百多位来自全国各地的沥青路面设计、施工和管理领域的专家和工程技术人员参加了会议。

会议上共有十七位代表进行专题报告,内容主要涉及到“沥青路面预防性养护技术应用与发展”、“高速公路路面预防性养护技术研究和应用”、“封层和微表处技术的发展现状及应用前景”和“路面预养护技术的新工艺和新材料”等四个沥青养护内容。

通过聆听专题报告,和对当前沥青路面预养护设计与运营管理技术进行交流探讨,与会

人员及时了解了国内先进沥青路面预养护的设计和运营管理经验,先进技术的推广与应用有较好的促进作用,达到了会议交流的目的,取得了良好的效果。

会议期间,主办方还在成都绕城高速公路现场安排了“微表处稀浆混合料设计拌和”和“微表处现场摊铺”等演示活动。

通过参加本次学习交流和工程参观,总结了以下几点心得和体会:

1、由于我国以沥青路面的为主的高等级路面发展迅速,迄今为止已经有将近 20 年的建设期,对于早期修建的沥青路面我国各省市均已进行了路面的改造和大修,目前的改造和大修

有造价高、社会影响差等种种不利因素,所以引入预养护设计和管理理念,有着重大的经济和社会效益。预养护技术的目的在于延长沥青路面的使用寿命,做到尽量延缓中修、大修的时机,如有条件可以避免路面大修。

2、由于路面预防性养护技术是一个系统工程,需要把路况调查、病害取样、构造深度的衰减、道路的行驶水平各方面的信息进行收集,并建立合理的数学模型,同时引入全寿命沥青路面的概念,根据评估结果,不同时机,采用相应的预养护方案。这也给我们的路面设计带来了启发,有针对性的对路面的早期损害进行预防,可以通过加强排水、加强抗车辙方面的设计来解决。

3、在路面的设计过程中,我们可以借鉴和参考预防性养护技术的系统观念(也就是全寿命路面),在设计上进行尝试,适当增加路面结

构层的厚度,也就是设计年限可以适当加长,突破现有的设计规范,结合国外的高速公路设计经验,对现有的路面设计进行补充和完善,在早期投资增加有限的条件下,减少运营期间的日常养护,延长路面中修的时机,避免路面大修。

4、在会议期间,还参观学习了封层、微表处和路面抛丸设计施工技术,虽然与设计关系不大,但对设计上还是有一些借鉴意义,比如封层、微表处和路面抛丸技术其主要目的是为了增大路面的构造深度,如果我们在路面设计上能够在路面表面层的石料选用上更加严格一些、对级配的要求更加精确一些,对路面的构造要求适当抬高一点,早期的封层、微表处和路面抛丸工作量就会少得多,养护的工作量也会相应的减少。

(栗学铭 报道)

大跨径桥梁和组合结构桥梁创新技术论坛报道

2011 年 3 月 19 日 ~ 20 日,由中国公路学会桥梁和结构工程分会及浙江中隧桥波形钢腹板有限公司主办的"大跨径桥梁和组合结构桥梁创新技术论坛"在广东深圳召开。参会的有清华大学聂建国教授、同济大学肖汝诚教授、东南大学万水教授、福州大学陈宝春教授、中交公路规划设计院有限公司刘晓东副总经理、湖南省交通规划勘察设计院胡建华副院长、中交第二公路勘察设计院有限公司彭元诚副总工、深圳市市政设计研究院有限公司陈宜言院长等特邀领导及嘉宾、各建设单位、设计单位、科研单位、施工单位及土木类工程院校的代表。

3 月 19 日 ~ 20 日两天组织安排了专家报告,主要有以下专题:

1、钢 - 混组合结构桥梁的应用和发展,清

华大学 教授 博导 聂建国;

2、港澳大桥总体设计,中交公路规划设计院有限公司副总经理 刘晓东;

3、湖北沪蓉西四渡河特大桥设计施工技术,中交第二公路勘察设计院有限公司副总工 彭元诚;

4、大跨度波形钢腹板 PC 组合箱梁桥,深圳市市政设计研究院有限公司院长 陈宜言;

5、钢 - FRP 组合结构桥梁关键技术研究,东南大学 教授 博导 万水;

6、辽宁长山大桥设计与施工技术,辽宁省交通规划设计院 高工 王吉英;

7、湖南矮寨特大悬索桥设计施工技术,湖南省交通规划勘察设计院 副院长 胡建华;

8、斜拉桥的过去与未来发展,同济大学 教授 博导 肖汝诚;

9、钢-混凝土组合拱桥的研究进展,福州大学 教授 博导 陈宝春;

通过参观这次学习参观,有几点心得体会:

1、随着桥梁规模与跨度的不断增大,除设计理论、施工技术需要进一步研究、深化外,减轻结构自重,增大结构承受外荷载的能力势在必行。钢-混组合结构能充分发挥钢、混凝土各自的作用。采用钢-混组合结构桥梁,不但可以减轻自重,还可以改善结构受力性能,简化施工等,具有较大的发展前景。

2、钢混组合结构桥梁连接键设计对这个结构能否共同参与受力最为关键。目前波形钢腹板组合箱梁常见的剪力连接方式有栓钉剪力键、PBL 剪力键以及埋入式剪力键。与栓钉剪力键等相比,PBL 剪力键和埋入式剪力键利用了孔内灌注混凝土,在其成型后形成一系列的混凝土榫来抵抗剪力流,但其施工工艺复杂,混凝土内横向钢筋需穿过孔洞。建议采用栓钉剪力键。

3、在组合结构的设计过程中,不应拘泥于

标准组合形式,应根据实际受力情况灵活调整钢-混组合方案。如:组合体系连续梁墩顶负弯矩区段混凝土可后浇并不参与组合;在受压区钢结构内部浇筑混凝土提高结构受压承载力,比采用钢结构加劲肋效果更好,施工更方便。

4、常规单跨悬索桥的加劲梁长度与主塔中心距一致,而湘西矮寨大桥为减少对山体的开挖,采用塔梁分离形式,加劲梁长度小于主塔中心距,导致桥塔附近主缆一定区域无吊索。设计中通过在主缆无吊索区增设锚索增加结构刚度,降低无吊索区主缆的活载变形。设计思路新颖,值得参考。

5、目前,斜拉桥跨径增大的主要控制因素是:超长斜拉索的垂度效应;主梁靠近索塔处的巨大轴力;索塔高度大,施工期裸塔和最大单悬臂状态的风险。为了增大斜拉桥的跨径,应利用组合的思想,对斜拉索采用 CFRP 组合截面拉索;对结构体系,采用部分地锚或斜拉-悬索协作体系。

(罗新才、宁立 报道)

2011 年公路隧道安全设计与运营管理暨水下隧道建设技术国际会议报道

2011 年 3 月 24 日~26 日,由世界道路协会、中国公路学会隧道工程分会主办的“2011 年公路隧道安全设计与运营管理暨水下隧道建设技术国际会议”在福建厦门召开。两百多位来自世界各地的隧道建设和运营管理领域的工程技术人员和专家参加了会议。会议共收录论文 62 篇,内容涉及公路隧道的研究和设计,长大公路隧道运营管理、通风、照明,水下隧道研

究、设计与施工等。

会议安排了“上海长江崇明隧道建设与防灾减灾技术”、“阿尔卑斯山地区公路隧道的集中管理”、“厦门翔安海底隧道建设技术”、“挪威跨江海桥隧方案比选与隧道火灾试验研究”等十七个专项报告。与会代表对当前公路隧道安全设计与运营管理技术进行交流探讨,及时了解国内外先进的隧道安全设计和运营管理经

验,促进先进技术的推广与应用,达到了交流的目的,取得了良好的效果。

26 日下午主办方组织参观了全国第一条海底隧道——厦门翔安海底隧道以及成功大道地下立交工程。

厦门翔安海底隧道是连接厦门本岛和翔安陆域的重要通道,兼具高速公路和城市道路双重功能。隧道全长 5.948km,跨越海域总长约 4200m,双向 6 车道,两主隧道之间设服务隧道,采用钻爆法施工,是我国大陆地区第一座海底隧道。隧道主要穿越海域段微风化花岗岩地段和陆域浅滩段全、强风化花岗岩地带,主要不良地质为翔安浅滩段富水砂层及左线隧道、服务隧道穿越海域段 F2 和 F3 强风化层和风化槽。

万石山隧道按城市快速路标准两车道外加一辅道设计;钟鼓山隧道按原为双洞单项交通的公路隧道,按城市次干道二级改造。万石山隧道下穿既有钟鼓山隧道,其洞顶距钟鼓山隧道路面最近距离 43cm。为了增加通车能力,在两隧道交岔处设置洞内立交,通过 A、B、C 三个匝道,将万石山隧道与钟鼓山隧道实现两隧道间的交通转换。

通过本次学习交流和工程参观,笔者总结了以下几点心得和体会:

1、国外由于公路发展较早,路网建设已基本完成,所以,国外同行主要研究的是隧道的运营、管理、改扩建以及各类火灾试验等方向,而国内主要研究方向则是公路隧道的建设方面,隧道运营方面研究较为欠缺,因此,国外同行的研究成果和经验对我们未来越来越多的运营隧道管理很有借鉴意义。

2、中国大陆首条海底公路隧道——翔安隧

道的建成通车,对中国隧道建设技术的进步和发展起到了里程碑式的作用。在海底复杂的地质条件下,翔安隧道采用钻爆法暗挖隧道方案,其支护体系设计、不良地质设计、防排水设计等关键技术为今后的隧道设计工作提供参考。

3、厦门翔安海底隧道全线设置了视频事件检测,系统通过设置在隧道内的摄像机对各种异常事件自动进行识别和报警,大大提高了隧道的安全运营水平,这很值得我省的隧道机电设施建设学习借鉴。

4、隧道的通风设施、消防设施、监控设施、应急设施等设备的应用对降低隧道内事故、防止二次事故和灾后救援作用很大,尤其是接收到烟雾报警即可自动启动的隧道喷淋消防系统对遏制火灾发展作用明显。同样的,隧道应急预案和日常演练也非常重要。

5、会议中有专家提出了一种设置防火卷帘控制烟雾扩散的方式,较为新颖,为便于烟雾排出,火灾情况下卷帘(一般间隔 50 米设置一处)放下隔断烟雾,同时不影响车辆低速通行。

6、与会专家介绍了福建机场路二期八车道连拱隧道——罗汉山隧道和金鸡岭隧道的主体工程设计要点,对隧道的内轮廓、衬砌结构、施工工序等进行了探讨,提供了最新大跨度连拱隧道的研究成果,可对同类隧道建设起到借鉴作用。

7、此外,中国公路学会隧道工程分会的同事还介绍了获取 PIARC(世界道路协会)资料的渠道,大家可以通过这个网址“<http://tunnels.piarc.org>”,用户名“piarc”,密码“tunnel”下载公路隧道手册、查找公路行业术语的各国语言术语翻译工具、阅读 PIARC 最新的研究成果。

(罗立娜、郭月利 报道)

节能评估课程培训报道

根据《中华人民共和国节约能源法》及国家有关部门的规定和要求,为了进一步规范和做好我国企业节能评估和能源审计工作,国家发改委培训中心在 2011 年 3 月 25 ~ 28 日在西安举办“节能评估、能源审计报告编写及案例分析”培训班,培训内容如下:

1、国家有关节能评估和审查依据的最新相关法律法规、产业和技术政策、标准和设计规范介绍;

- 2、节能评估和审查的主要内容和方法;
- 3、国家鼓励、推广并实行节能奖励政策与办法;
- 4、节能评估和审查的具体操作流程;
- 5、节能评估报告编写及评审要求;
- 6、企业能源审计报告编写及评审要求;
- 7、节能评估案例分析。

(王子明 报道)

城市快速路与城市道路交叉口规范设计 疑难问题处理高级研讨班报道

2011 年城市快速路与城市道路交叉口规范设计疑难问题处理高级研讨班,于 2011 年 3 月 31 日至 4 月 1 日在广州华燕宾馆召开。

本次会议由住房与城乡建设部建设环境工程技术中心主办,出席研讨会的有:中国工程设计大师、上海市工程设计研究总院高级工程师崔健球老师,上海同济大学交通工程实验研究中心主任、交通运输工程学院教授、博士生导师李克平老师及各大设计院工程技术人员。主要研讨内容如下:

一、当前我国城市快速路设计存在的主要问题及国内外发展新趋势

二、行业标准《城市快速路设计规程》的出台背景、制定理由和依据

三、行业标准《城市快速路设计规程》的主要内容深度解析及关键技术应用

四、城市快速路设计疑难、难点问题与对策及经验交流

五、城市道路交叉口设计疑点、难点问题与对策及经验交流

通过研讨与交流,笔者有以下几点心得体会:

1、对行业标准《城市快速路设计规程》的编制背景和编制人的编制思路有了更深入的了解。

2、对当前我国城市快速路设计中存在的主要问题和误解有了更新的认识

3、对当前国内外城市道路交叉口的设计理念有了初步的概念,开阔了视野。

(张骏驰 报道)

公路工程定额编制与工程案例 解析实务培训报道

随着我国公路建设的健康持续发展,公路工程定额为合理确定控制造价发挥了重要作用。根据交通运输部要求“加强标准规范人才培养和培训工作”的指示精神,为提高定额编制和公路造价工程人员综合业务素质与工程案例分析能力,2011 年 4 月 6 日至 4 月 8 日,交通部公路工程定额站在深圳市举办了公路工程定额编制与工程案例解析实务培训。

本次培训的主要内容如下:

- 1、公路工程定额与造价文件编制程序;
- 2、工程量清单与 07 定额的应用;
- 3、补充定额的编制;

4、桥梁工程造价与施工组织之间的关系;

5、现行公路概预算编制办法、定额的使用与主要疑难问题解答。

6、项目估算、概预算咨询与审查重点注意事项。

本次培训结合实际案例进行讲解,学习内容较丰富。通过这次培训,我对清单及补充定额等有了更深的了解,对工程造价与施工组织之间的关系有了更加深刻的认识。在培训的过程中,通过与授课老师的互动及沟通,拓宽了我在专业工作中结合实际分析的思路。

(王婷 报道)

房屋建筑与市政基础设施工程勘察强制性条文 析疑及勘察文件编制深度规定与审查要点 研讨班在广州市举办

工程勘察是岩土工程设计、施工及监测的先行性和基础性工作,在工程建设中的地位十分重要,而强制性条文是规范工程勘察设计全过程质量行为的强制性技术规定,是技术人员执行勘察设计规范的重中之重。为在岩土工程勘察设计工作中严格贯彻执行《建设工程质量管理条例》与《建设工程勘察设计管理条例》等相关技术法规,确保工程勘察设计质量,帮助各单位有关人员正确深入理解勘察设计规范中强制性条文规定与要求,熟练应用岩土工程勘察新技术,科学分析、系统掌握岩土工程勘察报告编制深度与审查要点,全面提升从业人员综合业务技能与水

平,中国工程建设标准化协会举办了本次研讨班。

本次培训班的主要内容如下:

1、岩土工程勘察新规范及岩土工程勘察审图中存在的主要问题与对策探讨;

2、《岩土工程勘察规范》GB50021 - 2001 (2009 年版)强制性条文析疑及关键技术应用;

3、《高层建筑岩土工程勘察规范》JGJ72 - 2004 强制性条文析疑及关键技术应用;

4、《岩土工程勘察安全规范》GB50585 - 2010 强制性条文析疑及关键技术应用;

5、《房屋建筑和市政基础设施工程勘察文件

编制深度规定》(2010 年版)的出台背景及其易发生争议条款的说明与解释;

6、《房屋建筑和市政基础设施工程勘察文件编制深度规定》(2010 年版)主要内容解析与关键技术应用;

7、《岩土工程勘察文件审查要点》(试行)中疑难问题解惑;

8、结合案例讲解房屋建筑与市政基础设施工程勘察文件编制方法、主要内容及技术要求;

9、岩土工程勘察报告编制深度案例分析与审查要点经验交流。

本次研讨班由相关规范编委成员对规范中强制性条文进行了解读,并结合实际工程案例进行讲解,学习内容丰富。通过本次研讨班的学习,相关人员对勘察设计规范中强制性条文有了更深刻的理解,对工程勘察现场工作及报告编写的内容与各阶段工作深度有了进一步的认识,同时还掌握了勘察工作中新技术原理及应用。在培训的过程中,通过与授课老师及各勘察单位学员的互动及沟通,加深了勘察行业相关单位认识,为今后的工作拓宽渠道。

(蓝晓锋 报道)

质量管理体系有效性实施及审核能力 提高培训班报道

2011 年 4 月 22 日至 24 日,国培认证培训中心(以下简称“国培/NECCA”)在海南省海口市主办了“质量管理体系有效性实施及审核能力提高培训班”。本次培训班的目的在于“促进企业质量管理体系有效实施,加强内审员质量体系认识,提高内审员审核能力”。

本次培训班,国培/NECCA 为参加培训的内审人员精心准备了以下学习内容:

一、4 月 22 日,进行 GB/T 50430 - 2007《工程建设施工质量管理规范》标准与质量管理体系结合培训

本课程主要讲解《工程建设施工质量管理规范》的相关知识要点,着重分析介绍了本规范与 ISO 9000 质量管理体系的异同点。《工程建设施工质量管理规范》是在 ISO 9000 质量管理体系文件基础上形成的,其基本框架和核心内容与 ISO 9000 质量管理体系相似,只是内容比

ISO 9000 质量管理体系更加注重工程建设施工专业方面。

二、4 月 23 日至 24 日,进行质量管理体系有效性实施及审核能力的提高培训

本课程讲解了 ISO 9001:2008 标准的主要内容、质量管理体系有效性实施及审核能力提高等相关内容。授课老师从“有关审核的术语;质量管理体系审核分类;目的和准则;内部审核;审核要点;审核方式、方法和技巧;审核案例分析”等几个方面,对如何提高审核能力进行了着重讲解。

通过这三天的培训,笔者对 GB/T 50430 - 2007《工程建设施工质量管理规范》有了初步的了解,加强了对 ISO 9001:2008 标准的理解,并对质量管理体系有效性实施及如何提高审核能力有了更进一步的认识。

(胡浩 报道)

第三届全国软土地基处理与加固技术 学术研讨会报道

2011 年 4 月 22 日 ~ 26 日,由土木工程(中国)科学学会主办的“第三届全国软土地基处理与加固技术学术研讨会”在福建厦门召开。参会的有河海大学张志铁教授、浙江大学宁波理工学院孔清华教授、南京水利科学研究院姜炎研究员、福州大学土木工程学院戴自航教授、管自立高工等特邀嘉宾、相关勘察设计、科研、建设单位的代表。会议主题为“深厚软土地(路)基处理技术新经验、新成果”。

4 月 23 日 ~ 25 日组织安排了专家报告,主要有以下专题:

1、软基处理及延伸技术中的难题解析及工程创新,河海大学张志铁教授主讲;

2、软土地基处理技术新发展,南京水利科学研究院姜炎研究员主讲;

3、超软土地基排水固结与加固新材料及新方法,南京水利科学研究院姜炎研究员主讲;

4、复合桩基、复合地基技术的现状与发展,浙江大学宁波理工学院孔清华教授主讲;

5、复合桩基及其概念性设计,温州同力岩土技术开发公司管自立高工主讲。

通过学习参观,笔者有以下几点心得体会:

1、在我国沿江、沿湖、沿海等处广泛分布着软土,地质条件相当复杂,很多工程建设地处沿海、冲积平原软土地区,其软基处理技术问题一直是工程技术的焦点、疑难问题,及时总结取得的主要成果和经验是必要的,对提高软基处理技术水平是有帮助的。珠江三角洲地区的软土在全国来说非常典型,多年的软基实践也取得了巨大的成就,同时也更应该在成果总结、经验推广方面有所作为。

2、要加强技术创新和工程创新,这些并不是很遥远的东西。正如几位主讲者所说,创新思路常得益于生活小常识,要善于将不利转化为有利。我们作为技术工作者,一方面在遵循强制性规范条文、保证质量安全的同时,大力创新、勇于创新也是目前形势赋予我们时代的要求和使命。

3、真空预压技术是软基处理中的一项先进技术。在应用该技术时,以下几点宜注意:(1)密封技术是关键,一需要对土中的砂层透气层进行深层密封,二需要做好密封沟和砂垫层表面的密封,三是管节与管节之间的密封。(2)连续抽真空是保证真空预压技术成功应用的基础,间断不连续会严重影响真空预压的效果。(3)一般情况单纯采用真空预压技术比较少,真空预压常联合堆载进行。在公路行业尤其需要如此。随着中粗砂的缺乏和成本加大,目前已有单位开发了无排水砂垫层 NS 真空联合堆载预压技术。

4、塑料排水板应用较为广泛,与袋装砂井相比,虽然二者造价相仿、排水效果相当,但排水板具有打设速度快、打设深度大的优势。应用时,最好采用可检测长度、排水渗透性能好的排水板类型,尽量杜绝排水板打设长度不足、回带现象严重的不良情况。

5、软土地区复合桩基常用于建筑基础设计。引申到道路地基处理中,成为复合地基,目前复合地基的发展较为成熟、丰富,如碎石桩、砂石桩、夯实水泥土桩、水泥搅拌桩、高压旋喷桩、CFG 桩、预应力管桩、劲芯水泥土复合桩、型钢水泥搅拌复合桩。在技术发展方面,越来越

多的采用了刚性桩,同时也发展了各种组合类方法或新工艺,如刚性桩+柔性搅拌桩、长短桩、大直径筒桩、钉型水泥搅拌桩、MJS 旋喷桩,目前疏桩技术也是热门的发展方向。在采用各种技术时,要注意各种方法的适应条件、优缺点。

6、组合加固方法是目前的发展趋势之一,如真空联合堆载、碎石桩、强夯方法、深井降水与强夯联合方法,刚性桩和柔性桩、长短桩等。

(张敬沛、刘事莲 报道)

2011 年度正交异性钢桥面病害的检测与治理研讨会报道

2011 年 4 月 26 日~28 日,由《桥梁》杂志社、湖南大学主办的“2011 正交异性钢桥面病害的检测与治理研讨会”在湖南长沙召开。参会的有中国工程院院士邓文中、矮寨大桥建设指挥部指挥长陈明宪、铁道部科学研究院研究员史永吉、南京中纬三路过江通道副指挥长徐风云、湖南大学教授邵旭东、中国船级社实业公司总经理程志虎、同济大学教授吴冲、湖南大学教授黄政宇、重庆鹏方路面工程技术研究院副院长陈仕周、相关勘察设计、科研、建设单位的代表。会议主题为“正交异性钢桥面病害的检测与治理”。

4 月 27 日~28 日会议组织方安排专家作报告,主要有以下专题:

1、正交异性板钢桥桥面设计的几个问题,邓文中院士主讲;

2、湖南桥梁建设的创新特色,陈明宪主讲;

3、钢桥面板的设计、制造、安装与疲劳兼谈钢桥面板无限寿命设计法,史永吉主讲;

4、特大跨钢桥正交异性板与桥面铺装组合体系结构性能研究和设计理念,徐风云主讲;

5、特大型桥梁钢结构的焊接检测技术,程志虎主讲;

6、车辆荷载与铺装对正交异性钢桥面疲劳的影响,吴冲教授主讲;

7、超高性能混凝土的研究进展及在土木工程中的应用,黄政宇教授主讲;

8、中国钢桥面铺装体系存在的问题及发展方向,陈仕周主讲。

通过学习参观,笔者有以下几点心得体会:

1、近十几年来,我国建设了许多大跨度钢箱梁悬索桥、斜拉桥,然而,服役不久,正交异性钢桥面板即产生了不同程度的早发性、多发性、再现性裂纹。这给我们留下了二大课题:①今后新建桥梁,如何正确设计、制造和现场安装钢桥面板,确保其疲劳耐久性;②现已产生疲劳裂纹的钢桥面板,如何正确进行加固,恢复其运营功能。

2、现在一些设计存在误区:不顾面板、纵肋刚度、横肋间距之间的匹配性,当发现源于 U 肋与面板间的角焊缝裂纹并裂穿面板时,就过分增大面板厚度;当发现横肋弧形切口处裂纹时就增大横肋腹板厚度或不适当地增大弧形切口尺寸。

3、造成正交异型板病害最直接的、也是最主要的原因是铺装开裂引起水汽渗入而导致防护漆失效。反过来,正交异性钢桥面板设计不当,使正交异性板在车轮荷载作用下产生大挠度,进而加剧了桥面铺装的破坏,两者相辅相成、互为因果。所以,在设计正交异性板时,应

当把正交异性板和钢桥面铺装作为一个共同受力、互相影响的组合体系。

4、解决正交异性钢桥面铺装破损、钢结构疲劳开裂这一难题,有效途径是提高桥面系的刚度和减小构件的疲劳应力幅,湖南大学邵旭东、黄政宇教授提出的一种高性能轻型组合桥

面结构,即将正交异性板钢桥与改性的超高性能活性粉末混凝土(RPC)形成组合桥面协同受力,已经过实验室试验,并将用于工程实践中,设计者可关注此方面信息。

(郭月芹、李泉彬 报道)

桥梁设计软件知识讲座报道

2011 年 5 月 5 日下午,主题为“桥梁设计软件知识”的讲座在公司二号楼九楼会议室举行,由迈达斯科技有限公司相关技术负责人主讲,当天近 50 名桥梁设计人员参加了讲座。



此次讲座主要针对 Midas Civil 桥梁设计软件的使用进行了详细解说,结合 2008 抗震设计细则进行公路桥梁抗震分析与设计介绍。在讲座过程中,除了对功能使用方法的说明外,还介绍了用户在日常使用中普遍遇到的问题及解决

措施。在讲座的最后,迈达斯公司技术人员针对现场人员提出的问题一一做出了解答。



参加人员纷纷对此次讲座给予了较高评价,认为迈达斯公司派出的技术人员专业水平扎实,准备充分、课程内容丰富,用语专业、讲解透彻,实用性很强。不少参加人员建议多举办类似的技术交流,有助于更好发挥软件功用,提高工作效率和质量。

(简玉桑 报道)

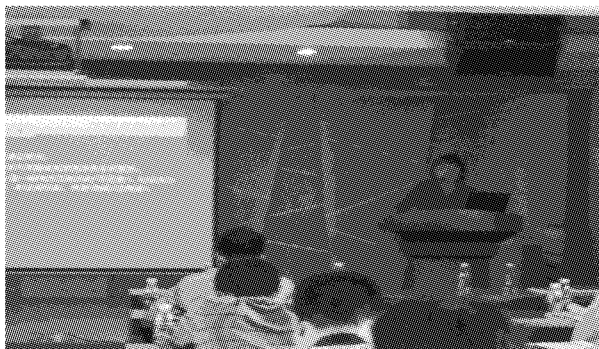
项目负责人质量管理体系培训报道

2011 年 5 月 23 日,项目负责人质量管理体系培训在公司二楼九楼会议室如期举行。公司技术质量部主任、副总工程师王强主讲了当天的课程。作为公司质量管理体系知识宣贯的常规课程,本次培训主要面向各生产部门项目负责人及即将担任项目负责人相关技术人员,近 40 人参加了本次课程。

培训内容包括了公司质量管理体系简介、常用文件介绍、范例介绍三部分。由于项目负责人对质量管理体系已有一定了解,王总先针对质量手册、程序文件、工作文件、质量记录等常用文件重要概念进行了讲解,然后重点介绍了相关范例。课程中,王总与参训学员进行了充分交流,通过提出问题、学员回答的互动,及时检验了听课人员的学习效果,提高学员学习主动性,也活跃了课堂气氛。对于答对问题的学员,王总还赠送书籍一本,激发了学员的学习兴趣。

课后,学员纷纷表示了对此次课程的高度评价,认为此次培训内容针对性、实用性很强,解决了日常工作中遇到的不少疑问,并纠正了以往一些不正确观念。

项目负责人对质量管理文件的理解及重视程度直接关系到公司质量体系的构建,只有在各项目负责人切实落实质量管理文件要求,真正做到“思想重视、主动执行”,才能使规范落到实处,实现质量管理体系的持续改进。本次培训对项目负责人质量管理意识的形成起到积极作用,达到培训目的。



(简玉桑 报道)