

2009

# 交通论坛

2009 TRAFFIC FORUM

主 编：王元清

副主编：邵国一 刘建中

西安地图出版社

2009

# 交通论坛

2009 TRAFFIC FORUM

主 编：王元清

副主编：邵国一 刘建中

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

2009 交通论坛/王元清主编. —西安:西安地图出版社,  
2009.9  
ISBN 978-7-80748-459-2

I. 2... II. 王... III. 道路工程—文集 IV. U41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 137908 号

2009 交通论坛

王元清 主编

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码:710054)

新华书店经销 长安大学雁塔印刷厂印刷

880 毫米×1230 毫米·1/16 开本 7 印张 200 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 978-7-80748-459-2

定价:58.00 元

# 2009 交 通 论 坛

2009 Traffic Forum

## 目 次

### ·权威观点·

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| 我国公路桥梁安全状况及对策·····         | 郑皆连(1)      |
| 隧道设计的基本原则和理念·····          | 王梦恕(3)      |
| 大力推进城市轨道交通科学发展·····        | 黄 卫(8)      |
| 改革开放 30 年公路及路面技术的快速发展····· | 沙庆林(11)     |
| 城市交通枢纽旅客换乘问题研究·····        | 周 伟,姜彩良(17) |

### ·学术前沿·

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| 高速公路沥青路面养护质量评价方法研究·····     | 杨 强,陈 长,孙立军(25)     |
| 设置路内停车对路段交通流形成的延误模型·····    | 梅振宇,陈 峻,王 炜(29)     |
| 硬质沥青及其混合料高温性能试验研究·····      | 刘朝晖,李文科,沙庆林(34)     |
| 大跨径钢桥面环氧沥青混凝土铺装层施工技术研究····· | 刘建中,翟世通(39)         |
| 加州算法在城市快速路交通事件检测中的应用研究····· | 汤 震,杜豫川,蔡晓禹,孙立军(42) |
| 水泥混凝土桥面环氧沥青防水粘结层性能研究·····   | 邵国一,刘建中(45)         |
| 重载交通长寿命半刚性基层沥青路面浅析·····     | 谭 炯,刘朝晖,沙庆林(48)     |
| 钢桥面环氧沥青混凝土铺装层性能研究·····      | 姜志伟,宋长政(53)         |

### ·实用技术·

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 农村公路沥青路面养护管理研究·····          | 侯会峰(56)      |
| 高速公路沥青路面早期损坏原因及对策·····       | 闫加宽(59)      |
| 沥青路面抗滑能力的改进措施·····           | 殷 烽(62)      |
| 路基施工的常见问题及解决办法研究·····        | 侯会峰,郭益虎(65)  |
| 薄层沥青混凝土罩面施工的质量控制·····        | 韩文玉(68)      |
| 我国沥青路面设计指标分析·····            | 吴惠彦(74)      |
| 对加强县级项目管理工作的思考·····          | 黄国政(78)      |
| 我国沥青路面层间推移破坏的原因分析·····       | 韩文玉(81)      |
| 橡胶沥青应力吸收层在水泥混凝土路面改造中的应用····· | 应学军(85)      |
| 高等级公路路线线形设计研究·····           | 曹支才(88)      |
| 沥青路面预防性养护措施及应用·····          | 孙 东(95)      |
| GPS 在公路工程测量中的应用·····         | 郭召银(98)      |
| 公路工程管理中的问题及措施研究·····         | 郭召银,徐 赟(100) |
| SMA 路面施工质量控制与常见问题研究·····     | 徐 赟(102)     |
| 应用自调式检查井框盖提高路面平整度·····       | 应学军(106)     |

# 2009 TRAFFIC FORUM

## CONTENTS

|                                                                                                                            |                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| China road and bridge security situation and countermeasures .....                                                         | ZHENG Jie-lian(1)                                   |
| Tunnel design of the basic principles and concepts .....                                                                   | WANG Meng-shu(3)                                    |
| Vigorously promote the scientific development of urban rail transit .....                                                  | HUANG Wei(8)                                        |
| 30 years of reform and opening up the road and the road of rapid development of technology .....                           | SHA Qing-lin(11)                                    |
| Urban passenger transport hub and Ride Study .....                                                                         | ZHOU Wei,JIANG Cai-liang(17)                        |
| Study on evaluation method of freeway asphalt pavement maintenance .....                                                   | YANG Qiang, CHEN Zhang, SUN Li-jun(25)              |
| A model of road traffic delay caused by curb parking .....                                                                 | MEI Zhen-yu, CHEN Jun, WANG We(29)                  |
| Rigid high-temperature mixture of asphalt and its performance test study .....                                             | LIU Chao-hui, LI Wen-ke, SHA Qing-lin(34)           |
| Long-span steel bridge of epoxy asphalt concrete pavement construction technology .....                                    | LIU Jian-zhong,ZHAI Shi-tong(39)                    |
| Research on application of california algorithm in urban expressway incident detection .....                               | TANG Zhen, DU Yu-chuan, CAI Xiao-yu, SUN Li-jun(42) |
| Epoxy asphalt concrete bridge deck waterproofing properties of the bonding layer .....                                     | SHAO Guo-yi,LIU Jian-zhong(45)                      |
| A study on the long lifeHeavy load Semi rigidBase asphalt pavements .....                                                  | TAN Jiong, LIU Zhao-hui,SHA Qing-lin(48)            |
| Epoxy asphalt concrete steel bridge deck pavement performance .....                                                        | JIANG Zhi-wei,SONG Chang-zheng(53)                  |
| Rural road maintenance management study of asphalt pavement .....                                                          | HOU Hui-feng(56)                                    |
| Asphalt pavement and the reasons for the early damage response .....                                                       | YAN Jia-kuan(59)                                    |
| Anti-slide capacity of asphalt pavement improvements .....                                                                 | YIN Feng(62)                                        |
| Subgrade construction frequently asked questions and solutions .....                                                       | HOU Hui-feng, GUO Yi-hu(65)                         |
| Thin layer asphalt concrete overlay construction quality control .....                                                     | HAN Wen-yu(68)                                      |
| China asphalt pavement design analysis .....                                                                               | WU Hui-yan(74)                                      |
| To strengthen the work of county-level project management thinking .....                                                   | HUANG Guo-zheng(78)                                 |
| Between layers of asphalt pavement in our country over the reasons for the destruction analysis method .....               | HAN Wen-yu(81)                                      |
| Application of asphalt rubber stress absorbing membrane Interlayer in reconstruction of ole cement concrete pavement ..... | YING Xue-jun(85)                                    |
| Design of highway route .....                                                                                              | CAO Zhi-cai(88)                                     |
| Asphalt pavement and the application of preventive conservation measures .....                                             | SUN Dong(95)                                        |
| Highway engineering application of GPS measurement .....                                                                   | GUO Zhao-yin(98)                                    |
| Highway project management issues and measures in the study .....                                                          | GUO Zhao-yin,XU Yun(100)                            |
| SMA pavement construction quality control and research frequently asked questions .....                                    | XU Yun(102)                                         |
| Application of self-regulation to raise the level of the road surface smoothness .....                                     | YING Xue-jun(106)                                   |

# 我国公路桥梁安全状况及对策

郑皆连

(广西壮族自治区交通厅, 广西 南宁 530011)

**摘要:**论述了我国公路桥梁安全状况,桥梁安全事故发生的多方面原因及安全是一个系统问题。

**关键词:**公路;桥梁;安全状况

## 1 我国桥梁的安全状况

我国桥梁设计载重标准经历了从汽-10、汽-13、汽-15、汽-20。汽-超20的发展过程,其中汽-20以下占多数,近20年来大量修建的预应力混凝土连续刚构桥,普遍出现在收缩徐变完成后,跨中仍然持续下挠,腹板底板开裂,而且原因没有完全找到;近10多年发展起来的钢管混凝土拱桥,以其优异的施工性、经济性、造型美风靡全国,但真实反映这一组合结构的计算方法不成熟,管节点焊缝疲劳没很好解决,吊杆寿命难于估计;近30年大量修建的钢筋混凝土箱型拱桥,桥道系病害多;诞生于20世纪60年代初的双曲拱桥,以它耗钢材少、造价低、施工方便的优点而风靡全国。到1979年全国建双曲拱桥4085座,总长达到35万延m,占全国当时大中型公路桥梁的25.7%,双曲拱桥施工中突出优点是化整为零,施工完成后聚零为整,这又是它的突出缺点,因为大量的接缝形成了结构中的薄弱环节,加上当时人们认识局限,钢材投资又严重不足,过分强调浅基薄面,建成的双曲拱桥,经短期通车,少数垮塌,部分弃而不用,部分已经加固,部分正在或等待加固,正常使用的甚少。贵州省交通厅在1979年提出的桁式组合拱桥,悬拼施工设备极为简单,只是两台人字钢桅杆,经济指标好,短短时间内在贵州等地修建了40座,跨径绝大多数在100m以上,最大跨径达330m,在中国甚至国际上都有影响,曾经两次获得国家科技进步二等奖。但最近据了解,多数桁式组合拱桥存在较严重的病害,为了查明原因,研究对这批大桥加固的可能性和改进此类桥的设计,交通部西部办立题研究。对贵州省内30座桥进行调查,其中三类桥占36.7%,有的已废弃,或者准备废弃,即使加固也只能降载使用,有16.6%属二类桥须及时加固维修,二、三类桥相加超过50%;再加上部分桥梁设计施工不当,存在结构性质量缺陷,亟待加固的桥梁估计在1/3以上。如果改建或加固速度跟不上,垮桥的事故还会发生。

## 2 多方面的原因

桥梁安全事故原因通常是多方面的,涉及政府主管部门、工程参建各方、使用管理部门;涉及对安全的认识,规范的科学性,研究工作的开展。施工中出现事故,设计方可能有责,但施工承包人有责的可能性更大。湖南凤凰沱江堤溪大桥、韶关大桥等在施工中垮塌的大桥都是拱桥,它们的垮塌都与拆支架有关。支架是临时工程,因此常被忽视,实际它承受的重量,大大超过拱桥承受的汽车荷载。拆拱架是拱桥完成体系转换过程,是拱桥施工最危险的工序,拱桥施工失败的几率比其他桥高。因施工计算不当、施工控制不好、施工质量低都可能造成严重的安全事故。沱江堤溪大桥并不是非常大的桥,跨径65m,共4孔。世界跨径最大的石拱桥是146m的山西丹河大桥,全国跨径超100m以上的石拱桥已经有20座。1991年湖南凤凰就建成了跨径

120m 的鸟巢石拱桥,也不是技术非常难的桥,但在施工能力很强的施工队伍施工下仍然酿成了重大惨剧,非常值得我们深思。所以我们的眼睛不能只是盯在施工难度大、工艺复杂的大桥上,而忽略了规模或难度不大的一般工程。这些工程不注意安全工作,仍然可能发生特大事故。在役桥梁出现大量病害往往设计是主要原因。施工质量不好,养护不到位也是原因,如宜宾市南门大桥、上饶傍罗桥、冷水桥等部分采用了存在结构缺陷的双曲拱桁式组合拱桥。压塌桥与大量超载车行驶关系重大,山西省交通厅在“治超”行动开始时,曾经公布了一组数据:山西运煤车辆 90% 超载,超载车辆中 60% 超载幅度在 100% 以上。总质量达 183.2t 的货车在压塌柳林桥前,在公路上行驶了 200km。

### 3 安全是一个系统工程

解决桥梁安全问题是一个系统工程,须政府部门、建设各方、养护管理方、使用单位共同努力、各司其职才能取得成效。

2003 年 11 月国务院出台的《建设工程安全生产管理条例》规定,建设单位、设计单位、施工单位、工程监理单位及其他与建设工程安全生产有关的单位,依法承担建设工程安全责任。政府主管部门要实施严格的监督检查、出台细则,提高安全第一的认识,除战争、抢险工程外,在安全与投资、工期发生矛盾时仍坚持安全第一。

建设单位是国家规定的工程责任单位之一。对整个工程进行总体控制应该给予选择设计、施工、监理单位的权利。为了防止腐败而采用最低价中标或者对业主削权的做法是不可取的,因为业主腐败更易发生在长时间的建设过程中,且不易监控。业主要清醒地认识到一个处于亏损的施工企业是无法保证施工质量、安全和进度的。业主要为设计、施工、监理单位服务,让他们全心全意保证质量安全。

设计单位是决定工程成败的关键单位,要有足够的时间,进行精心设计,要遵守设计必须采用成熟技术的原则。对科学、科学家的失败要宽容,但对工程、工程师是不容许失败的。要处理好采用成熟技术与创新的关系不提倡为创新而冒险。希望国家尽快出台桥梁创新评价标准。要注意选择施工风险小、质量易检查控制的结构和施工方法,对于质量主要掌握在重体力劳动的操作者手里,又难于检测和控制的片块石砌体要避免采用在主受力部位。对一些重大工程或者工程的关键部位,最好采用多个软件计算从而有效地防止因建模或者输入数据有误,而使计算结果出错事故的发生。同时还要注意与相似工程作对比,以求万无一失。要注意细部结构设计,往往细部决定成败。

施工单位对施工质量安全负有最大的责任,质量安全好坏直接影响企业兴衰,要编好施工组织设计,一个不漏地找到施工难点,容易出安全事故的环节,做好充分防范。要管理好劳务队伍,劳务队伍出了安全事故,从合同上、法律上毫无疑问责任是施工单位的,甚至监理的错误也不能减轻施工单位的责任,出了安全、质量事故,第一责任人首先是项目经理,因此必须把更多精力放在抓安全和质量上。监理单位对施工质量安全同样负有重要的责任。监理受聘于业主单位必须为业主单位把关,要兢兢业业,如履薄冰。因此,监理必须清楚自己的神圣职责,要全天候、全过程监理,该旁站的要旁站、该巡检的要巡检、该做试验的要试验,不能处处依赖承包商。

我国在役的 53.36 万座公路桥的安危取决于养护单位的工作质量,养护单位要通过经常性的维护,使状态优良的桥梁延长寿命。按危险程度,排出改建,加固桥梁次序,采取汽车限重、限速通行,甚至中断交通的措施。加强治超力度,按交通部要求,坚决禁止超过 55t 的汽车在公路上行驶。

我国桥规修改间隔时间太长,至今尚无桥梁寿命的规定,无法进行全寿命设计,也难于执行终身责任制。而修改规范需要实践经验和科研工作的支撑,如桥梁寿命问题,钢管混凝土拱桥问题,连续梁、连续钢构病害问题,桥梁施工工艺、旧桥评价、加固技术等亟须研究。我相信只要桥梁工程有关各方,认识到我国公路桥梁安全问题的严重性,认识到安全、质量第一是不能动摇的原则,齐抓共管,我国桥梁安全状况一定会好转。

#### 参 考 文 献

- [1] 徐洪涛,郭国忠,蒲焕玲,苑敏.我国近年来桥梁事故发生的原因与教训,中国安全科学学报.

## 隧道设计的基本原则和理念

王梦恕

(北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

**摘 要:**论述了隧道设计的四个理念,铁路隧道建设要点。

**关键词:**隧道;设计;建设

### 1 铁路隧道建设应建立四个理念

1.1 中国铁路勘测设计应给后代留下遗产。

(1)轻方案研究是产生根本性遗憾之源。

(2)铁路设计标准低,技术含量不高,小半径、沿沟线不应出现。

(3)取消单线建设,修建复线、多线或局部多线。

1.2 多搞指南及技术条件,少搞规范,为创新构建平台。

1.3 在建设过程中必须及时修改图纸。毛泽东主席在 1965 年对北京地铁修建批示“精心设计、精心施工,在建设过程中会有不少错误失败,随时注意修正”。隧道工程不定因素很多,设计者必须实事求是,及时修改图纸。这是衡量设计水平高低的标准之一。

1.4 设计应起点高、技术平台高,按照获取国家奖的标准考虑。

### 2 铁路隧道建设要点

2.1 洞门前不设路堑,必须早进晚出,不破坏山体环境。

(1)洞口位置不当,产生塌方、偏压的理念。

(2)洞口间距过大,不利管理和节约土地,应使用小间距的理念。

(3)洞口不设深路堑(应小于 10m)的理念。

(4)优选切削式不受力洞门的理念。

(5)美化洞口及周边环境的理念。

(6)上下行洞口错开,设挡墙防止废气进入另一洞口、气流短路的理念。

(7)洞口段、洞门、明洞之间合理施工方法的理念。

(8)洞口变坡点合理设置的理念。

宜万铁路高阳寨隧道进口边坡崩塌事故发生的直接原因是隧道洞口边坡岩体在长期表生地质作用下,受施工爆破动力作用,致使边坡岩石沿原生节理面与母岩分离,在其自身重力作用下失稳向坡外滑出,岩体瞬间向下崩塌解体,造成事故发生。虽然这起事故原因复杂,但也暴露出施工企业安全生产责任不落实,勘察设计单位的勘察设计工作不到位,监理单位对施工现场疏于监管,建设单位对工程项目安全监控不利等问

题。

2.2 全隧道不设变形缝,特殊地段设置诱导缝,8级地震区在洞13段40~50m处设减震缝。

2.3 必须重视岩溶地区的综合地质超前预报,长短结合以短为主,预报范围前方 $\geq 30\text{m}$ ,隧道周边外1倍洞径作为工序列入。

2.4 一次支护要强,承受部分水压和全部土荷载,浅埋和海底隧道则承受全部水荷载和土荷载,二次模筑衬砌作为安全储备。

2.5 全部采用网构钢拱架,取消型钢拱架,靠近工作面的第一排钢拱架不受力。网构钢拱架在X、Y方向能做到等强度、等刚度、等稳定度。喷混凝土后的网构拱架承受10倍荷载,工钢则承受4倍荷载;工钢后部混凝土喷不上,渗漏水;耐久性好;便宜省钢材;安装容易;宜和小导管、锁脚锚管结合。

2.6 一次支护由钢筋网、钢拱架、喷混凝土组成,钢拱架接头联结处设索脚锚管(灌浆)。

2.7 取消系统锚杆,目前锚杆结构不是永久锚杆,只是临时锚杆。软弱地层不设锚杆,只设索脚锚管。有钢拱架区段不设临时锚杆;V~VI级围岩不设锚杆;III~IV级围岩局部破碎设置锚杆;钢筋网;锚杆在设计计算中是无法作为支护结构来考虑的;锚杆是施工时临时加固的手段;锚杆施作的时空效应很难实现。

2.8 软弱地层必须采用潮喷混凝土,不提倡湿喷混凝土。

2.9 必须采用复合式衬砌结构型式,一次支护和二次模筑衬砌之间必须设半包式防水隔离层,不允许全包,采用无钉铺设防水板,无纺布后部必须设置系统排水盲管。水的处理有两个理念:一是以堵为主,限排为辅。二是全堵方案,但要给水有排出的通道。

2.10 取消中部排水沟。

2.11 反对长隧短打。提倡设置平行导坑,可提高正洞2倍速度;斜井设置仅是0.5倍的正洞速度;竖井是0.1~0.3倍的正洞速度;斜坡道不同于斜井,是无轨运输,仅是0.5倍的正洞速度;平行导坑+横通道实现快速施工;终南山公路隧道有成功事例。终南山公路隧道18.4km,利用铁路平导及8个横通道建成,没有设置任何竖井、斜井,节约造价3.6亿元,一年半建成上行线。

平行双洞特长隧道施工多工作面圆梁山隧道11km,无斜、竖井施工实例。采用平行双洞射流通风模型,可解决长大隧道施工通风难题。采用无轨运输模式,施工通风可达10km以上。

2.12 正台阶施工不允许分长、中、微台阶,台阶长度为一倍洞径,第一个上台阶高度必须为2.5m,小导管长度为台阶高度加1m。

2.13 支护结构施工必须是一次支护从上向下施作,二次模筑衬砌必须从下向上施作。二次模筑采用素混凝土可实现百年寿命。钢筋混凝土衬砌,迎水面钢筋保护层厚度应大于5~7cm。建议今后采用小偏心受压素混凝土衬砌。

2.14 选择适宜的辅助施工工法,常用的有环形开挖留核心土、喷射混凝土封闭开挖工作面、超前锚杆式、超前小导管支护、超前小导管周边注浆支护、设置上台阶临时仰拱、跟踪注浆加固地层、水平旋喷超前支护、洞内真空泵降水、洞内超前降排水、洞外深井泵降水、地面高压旋喷加固、先注浆后冻结法。注意全断面帷幕注浆应改为上半断面周边注浆,下半断面降水、排水。采用上堵下排的原理、方法。

2.15 大跨施工应选择变大跨为小跨的施工方法,如CD法、双CD法、CRD法、双侧壁法、柱洞法、中洞法、侧洞法等。临时侧壁应拉直,以减少中间跨度。

2.16 隧道内一般不设长管棚,只在洞口设置。长管棚的直径应和地层刚度相匹配,当 $\Phi$ 超过150mm时,对控制地表下沉作用很小。

2.17 隧道宜近不宜联,可采用小间距隧道,反对双联拱、多联拱,取消盾构隧道的横通道。

2.18 大断面硬岩隧道宜采用小导洞超前爆破,可减震30%,也可采用小于TBM超前,钻爆法扩大。

注意:隧道及路堑边坡采用光面爆破,不准预裂爆破。

全断面开挖改为小TBM超前打通,后部用钻爆法扩大。

优点:(1)可以超前预报;(2)爆破减震30%,炸药比全断面爆破减少5~10%;(3)扩大爆破,炮眼利用率

为 100%, 所以提高开挖速度 2~3 倍; (4) 炮眼半孔保存率 80%, 线形超挖 < 10cm; (5) 爆破碴堆、碴块均匀、集中, 便于快速出碴; (6) 纵向爆破冲击波小, 对后部工序影响小。

### 2.19 地铁盾构施工的经济效益分析。

(1) 盾构  $\Phi 6.23\text{m}$  一台 6000 万元, 资金沉积, 周转太慢, 3.5 年至 4 年收回 6000 万元, 第五年可开始盈利, 每年最多能赚 1000 万元。

(2) 盾构搬家, 一般城市之间 300 万元/次~400 万元/次。

(3) 盾构从竖井拆除再组装一次 30~50 万/次。

(4) 适用盾构法施工, 一个盾构掘进长度为 6km 以上, 这是发挥盾构快速施工, 性价比最好的工程筹划。

(5) 一班人马配 2~3 台盾构才能提高稳定技术人员、高级技工的施工能力。这是施工单位合理部署的举措。

结论: 应合理慎重规划应用盾构与钻爆法、浅埋暗挖法相比, 经济效益要低 10% 左右。

### 2.20 TBM 硬岩掘进机。

(1) 机型方案选择: 开敞式 TBM 优于双护盾构式、单护盾式。

有五个优点: ①长度与直径之比小于 1, 调方向灵活, 可确保  $\pm 30\text{mm}$  调整误差; ②能及时支护, 有利于洞室稳定, 护盾式不利于及时支护, 易塌方; ③不易被地压力卡死护盾; ④造价比双护盾便宜 10%~30%; ⑤衬砌支护比管片便宜 2 倍以上。

#### (2) 支护结构

① 开敞式 TBM 用复合式衬砌, 最易适应不同地层和水量, 支护寿命长, 可确保 10 年, 出事故维护方便。

② 双护盾式 TBM 必须采用软弱地层管片衬砌厚度, 不适应变化多端的山岭隧道(土压、水压), 管片厚度不能调整, 管片寿命不可靠, 且造价高于复合衬砌数倍以上, 因此不宜采用。

#### (3) 必须重视盾构和 TBM 的国产化

目前一些甲方盲目追求使用国外最先进的技术设备, 既不考虑性能价格比, 也不考虑国内制造业的同步发展, 造成不断的重复引进。建议国家对国外采购要设立强有力的评价体系、规定和制度; 要建立项目业主、装备制造企业和保险公司风险同担, 利益共享的重大技术装备保险机制; 国产化率中的关键部件必须进口, 国产率在 50%~60% 为宜。

### 2.21 盾构设计和施工应重视的几个新动向。

盾构分为有刀盘和无刀盘两大类。

(1) 无刀盘盾构: 无刀盘盾构称为开敞式简易盾构, 人可以站在平台上进行地层开挖。

① 开敞网格式: 用于地层自稳较差, 但降排水后还能自稳。将工作面用网格结构支撑, 盾构刀脚插入地层 0.5m 左右, 起超前支护作用。

② 开敞正台: 格栅一般分为 3 个台阶, 人可直立工作。

③ CD 开敞格栅式。

④ 双 CD 开敞格栅式。

⑤ 插刀式盾构, 单臂掘进机开挖, 地层较好, 无水处采用。

(2) 无刀盘开敞式后部衬砌支护形式。

① 管片式。

② 压缩混凝土式: 边推进边压缩混凝土。

(3) 无刀盘开敞式适用范围。

① 水少之地, 地层较能自稳。

② 降水后沙卵石地层, 如成都地铁、沈阳部分区段地铁; 降水后的黄土地层, 如西安地铁。

③ 性价比高, 易国产化, 造价比有刀盘便宜一半以上。

(4) 有刀盘盾构: 有刀盘盾构是指靠土压、泥水压、局部气压稳定工作面的盾构。

① 有刀盘盾构分类:土平衡式盾构;泥水平衡式盾构;泥水加局部气压平衡式盾构。

② 刀盘类型和设计:刀盘是盾构设计的关键技术,对隧道不同地层应及时设计和调整刀盘的开口率和布刀方式。

③ 盘形刀盘:指硬岩地层,开口率仅在 30% 左右。靠刀盘压紧地层进行稳定,土压力、泥水压力仅部分稳定工作面。

④ 辐条式刀盘:由于盾构所穿地层松软,扭矩较大、推力小,土压、泥水压易平衡工作面,应予推广。对刀盘刀具的磨损也小。

⑤ 无水、少水之地不利于延长刀盘的寿命,应改为无刀盘盾构。

⑥ 适应范围:在流沙、富水及不稳定的地层中应用,但不能包打天下。因性价比差,不易国产化,但必须走向国产化,可在南方地铁及不稳定地层中应用,江河水底隧道应用。

## 2.22 不同地况应选择不同类型的盾构。

(1) 地层、砂卵石地层宜选择开敞式。网格盾构少水或无水地层,地层具有较好的自稳性,降水下沉量小(如沈阳、成都等地层),土体颗粒对刀盘刀具磨损也很大,选择开敞式盾构网格盾构比较适宜。

(2) 平衡盾构不是全能的,应同时考虑选用泥水盾构与土压盾构土压平衡盾构,不稳定的粉沙是最适合使用土压平衡式盾构机。在含水的黄土地层,有时不需要水或只需要加很少量的水,通过搅拌形成塑性好的泥浆将刀盘全部糊死。该地层不适合土压平衡盾构,应采用降水配合开敞式网格盾构。

泥水加压盾构的考虑:①泥水加压盾构对于不稳定的软弱地层或地下水位开敞式高,含水砂层,黏土以及冲积层、洪积层等流动性高的土质,使用效果较好。②泥水加压平衡盾构具有土层适应性强、对周围土体影响小、施工机械化程度高等优点。③在沙层中进行大断面、长距离推进的盾构机,大多采用泥水加压式盾构机。实践证明,掘进断面越大,用泥水加压式盾构机的效果越好。④泥水加压式盾构机除在控制开挖面稳定以减少地面沉降方面较为有利外,还在减少刀头磨损、适应长距离推进方面显示出优越性。⑤泥水加压盾构存在盾尾的漏水以及难以确认开挖面状态等缺点,还需要较大的泥水处理场地。

## 2.23 不同地层应选择不同的刀盘类型。

(1) 开口面板式刀盘。

(2) 辐条式刀盘。

## 2.24 水底公路隧道盾构直径的确定。

(1) 双向 4 车道  $\Phi 11.4\text{m}$  左右的盾构安全风险最小,国内外成功的水底公路隧道盾构直径多在  $\Phi 11.4\text{m}$  左右,实践证明,制造、施工及运营风险较小,较经济(1.2 亿元/台)。

(2) 双向 6 车道  $\Phi 15\text{m}$  左右的盾构风险较大,盾构制造成本很高,价格昂贵(3~3.5 元/台);盾构掘进压力平衡不易控制,施工风险大;管理、运营风险较大;埋深加大,纵坡不利;空间浪费,约  $80\text{m}^2$ 。

## 2.25 TBM 的选择考虑。

(1) 开敞式 TBM 适应软硬地层。开敞式 TBM 转向控制灵活,对地层能及时支护。开敞式 TBM 通过软岩地层,采用先锚后喷及先喷后锚,并架设钢拱架的一次支护,在磨沟岭沙页岩含水软弱的地层中实现了日掘进快支护 41.3m 和月掘进快支护 574m 快速施工水平,平均进尺 232 米/月。

在 TBM 上加装锚杆机、混凝土喷射机、钢拱架安装机以及超前钻机,而且在确定刀间距、推力和扭矩的参数上以及撑靴的支撑力上,能适应软岩、硬岩的切削特性。

(2) 半护盾、全护盾不适应软岩地层,护盾式 TBM 转向不灵活、控制较为困难,软弱破碎地层不能及时支护。

## 2.26 支护形式的考虑。

(1) 衬砌。广泛应用于软土地层盾构隧道的支护,管片接头部位是防水薄弱环节,应研究接头形式及防水材料管片形状及分块形式管片厚度及钢筋配置与地层压力的关系。

(2) 喷混凝土衬砌。应用于开敞式 TBM 隧道,能及时支护,很好地适应软弱破碎围岩,在秦岭隧道及磨

沟岭隧道中得到了成功应用。

(3)压缩混凝土衬砌。压缩混凝土衬砌(ECL-Extruded Concrete Lining),就是以现浇混凝土作衬砌来代替传统的管片衬砌。

ECL工法具有以下特点;

ECL工法的筑造衬砌质量高;

ECL极大地抑制了地层沉降,无须降低地下水;

采用全机械化施工,节省人员,安全性高,作业环境好;

ECL工法采用一次衬砌,材料用量少,不需要同步注浆;

施工阶段工序少,衬砌与拼装同步进行,加快了施工进度,缩短了工期。

(4)薄管片+二次模筑=复合衬砌结构。该形式耐久性好,强度高,适于铁路隧道或重要通道。

2.27 必须坚持动态设计、动态施工、动态管理,设计人员必须及时修改图纸,必须尊重施工信息。

2.28 设计人员必须提高思想品德、业务素质,要超越规范,创新设计,有新理念。应用新技术、新工艺、新材料、新设备、新仪器,反对抄袭图纸。

2.29 要实事求是,确定合理工期,合理造价。不合理工期、不合理造价是造成质量差、工程寿命短及安全事故发生的主要原因。

2.30 要建立循环经济的理念,要有系统地下工程的理念,要有方便运营维修的理念,要有保护环境的理念,要有重视方案设计比选的理念。特别要注意,不要将工程的简单问题复杂化。

2.31 隧道顶部允许塌方空洞存在,拱顶上方要有2m土厚保护。

2.32 运营的隧道应简化通风、照明、防灾、监控,简化思路,节约能源。建议小于1km隧道不设通风、照明。横向通风、半横向通风因土建、运营费用很高不可取,应采用纵向竖井分段射流通风方式。

2.33 城市立交桥应简化规模,节约土地,方便市民。

2.34 从安全风险角度出发,从有利于长大隧道施工通风出发,上下行隧道必须分洞修建,分洞运营。

2.35 隧道施工洞口无主扇风机,U型气流射流风机,该技术适用于上下行、分离式双洞隧道。这是打破常规的新模式,取消了在洞口采用大功率主扇压入式向洞内输送新风的模式。采用在洞内横通道之间设置射流风机(15~30kW/台),风机本身产生高速气流(30m)的卷吸作用,产生很大的压力差,从而强迫诱导大量新风,在U型风道中产生单向巨大风流,达到换气目的。

2.36 江河隧道施工方法应优选钻爆法和浅埋暗挖法,其次选择盾构法、掘进机法,在松软地带才可采用沉管法。严禁在岩石中采用沉管法,水下爆破不可行。

2.37 铁路进入城市采取客内货外原则,应重视枢纽换乘车站设计,处理好客流与地铁的关系。

#### 参 考 文 献

- [1] 王梦恕.客运专线隧道设计的基本原则.隧道建设,2006.

## 大力推进城市轨道交通科学发展

黄 卫

(东南大学, 江苏 南京 210096)

**摘 要:**论述了城市轨道交通的贡献,实现轨道交通科学发展须处理关系,发展轨道交通注意将质量和安全放在突出位置。

**关键词:**城市轨道交通;质量;安全

### 1 我国城市轨道交通为改善城市交通条件、促进国民经济和社会发展做出了重要贡献

中国城市轨道交通自 1965 年北京地铁一期工程建设开始,经过 40 余年的建设和发展,取得了令人瞩目的显著成就。目前,全国已开通运营城市轨道交通的城市有北京、天津、上海、广州等 10 个城市,线路总长 630km,2006 年全年运送旅客达 18 亿人次。城市轨道交通的迅速发展,为促进国家经济和社会的健康发展,发挥了重要作用,有利于改善群众出行条件。城市轨道交通作为城市公共交通的骨干,以其大容量、准时快捷、安全高效的优势,对改善城市人民群众出行问题,缓解城市的交通拥堵状况,发挥了其他交通工具难以替代的作用。至奥运会举办前,北京已建成运营线路 8 条,共 123 座车站,运营里程 200km 以上,奥运期间日均客运量超过 400 万人次。上海目前已建成运营线路 7 条(不含磁浮线),建有车站 161 座,运营里程 234km,2008 年上半年轨道交通日均客流已达 300 万人次。有利于节约利用土地资源。在动态情况下,平均每位旅客占用的道路面积,城市轨道交通为  $0.2\text{m}^2$ ,而公共电汽车、小型轿车、摩托车、自行车分别是它的 4.6 倍、115 倍、100 倍和 50 倍。当城市轨道交通发展达到一定规模后,可以明显减少地面交通方式对用地需求。另外,随着城市轨道交通的发展,线路及车站周边住宅、办公、商业用地的内部凝聚力大大增加,城市内各个功能区之间的相互联系也更为便利、更加紧密。有资料表明,全香港约 45% 的人口居住在离地铁站仅 500m 的范围内,如果以九龙、新九龙以及香港岛的居民统计,上述比例高达 65%。

有利于节约能源,保护环境。按照目前的发展速度,若不采取有效措施,我国机动车的燃油需求将直线上升,2010 年和 2020 年交通运输的石油能源消耗量将分别达到 130 亿 t 和 250 亿 t,占石油消耗总量的一半以上。当前机动车污染已经上升为我国城市大气和噪声的主要污染源,在我国大城市空气污染中,60% 的一氧化碳、50% 的氮氧化物、30% 的碳氢化合物污染来源于机动车的尾气排放。城市交通节能,对实现我国节能环保目标具有十分重要的作用。以每百公里的人均能耗比较,公共汽车是小汽车的 84%,地铁只有小汽车的 5%,城市轨道交通是一种节约能源的交通方式,对大气污染的影响程度远远低于其他交通方式。

有利于引导城市合理布局。从城市轨道交通发展的实践来看,一条稳定、安全、舒适的城市轨道交通线路,可以有效地促进沿线特别是车站附近土地的综合开发,吸引大量的人口向周边地带聚集,带动商业和服务业迅速发展,显著地提升该地区的区域价值,从而使城市各功能区划更加合理,城市布局更加科学。从上

海徐家汇、莘庄地区,广州天河地区,北京北部回龙观等地区发生的巨变可以看出,城市轨道交通不仅对城市布局调整和结构优化有巨大的促进作用,而且有利于旧城改造,改善市中心区环境,提升市民的生活质量。

有利于促进产业升级换代。在城市轨道交通工程总造价中,土建工程和机电设备一般各占40%左右,如此巨大的规模效应,对工程技术和车辆装备的升级换代都起到了明显的推动作用。目前,中国企业在城市轨道交通车辆、牵引供电系统、环境控制、信息服务等领域都有了较快的发展,技术含量不断提高,产业升级换代明显加快。安全远程监控预警、土建施工盾构等工程技术已达到国际先进水平。在交通系统制式方面,已由单一的传统轮轨模式发展成大运量地铁、中运量轻轨、城际快速铁路、磁悬浮等多种制式因地制宜、并存发展的态势。

总体来看,我国城市轨道交通运营线路已初具规模,产业化规模逐步扩大,人才骨干不断积累,技术水平稳步提升。我们还根据国情,并参考国内外成功经验,正在研究制定投融资、运营模式选择、土地利用、沿线商业开发等相关政策,努力推动提高设备国产化水平,建立专业技术、管理人才培养机制,这些都为中国城市轨道交通的快速发展奠定了良好的基础。

## 2 实现城市轨道交通科学发展必须处理好五个关系

优先发展城市公共交通,是促进我国城市健康持续发展的重要战略。发展城市轨道交通,是城市公交战略的重要内容。根据我国城市发展规划和经济实力,到2010年,将有20个城市(包括已建设轨道交通)可能具备发展城市轨道交通的条件;而到2020年,我国将有30个左右的城市有发展城市轨道交通的可能。按目前每年开工建设100~120km线路的发展速度,到2020年,我国建设城市轨道交通线路有可能达到2000~2500km规模。

面对这一快速发展前景,我们必须按照科学发展观的要求,结合当前我国城市轨道交通发展的实际情况,妥善处理好五个关系,促进城市轨道交通又好又快发展。

现实需要与发展可能的关系。发展城市轨道交通既要考虑改善城市交通和方便居民出行的需要,又要考虑城市的社会发展水平和经济承受能力,还要从城市土地利用、资源供给和环境支撑等条件出发,统筹考虑,综合决策。北京、上海两个超大城市,应积极支持加快城市轨道交通建设速度,争取2020年左右,基本建成城市轨道交通网络体系,基本完成大规模建设城市轨道交通任务。广州等一些经济条件好,具有较为丰富建设运营管理经验的,应积极推进轨道交通网络化建设。其他城市可以有步骤、有次序地推进轨道交通建设,逐步建设城市轨道交通网络。其他具备条件将要建设城市轨道交通的城市,应积极推进城市公交优先战略,合理规划城市公共交通发展模式,在公共交通发展到一定水平时,适时建设城市轨道交通,根据国家审批的建设规划,逐步发展。

科学规划与适时建设的关系。发展轨道交通是一个复杂的系统工程,是一项长期的任务,涉及到城市经济社会发展水平、土地利用、政府财力和公共管理等多个方面,必须要有前瞻性和战略性,提前做好科学规划。一个科学、务实的轨道交通规划不仅可以有效缓解城市交通压力,降低城市整体运行成本,而且还可以引导城市合理布局,促进城市经济与社会和谐发展。要坚持科学规划、合理布局,正确处理好城市总体规划与城市综合交通规划的关系,以及城市综合交通规划与轨道交通规划的关系。在具体实施时又必须把握好时机,要根据经济社会发展需要、交通需求和财力等,因时制宜、因地制宜地进行建设,适时适度地满足广大人民群众和城市发展的需要。

社会效益与经济效益的关系。发展城市轨道交通要坚持经济合理,既要注重社会效益,又要注重经济效益。城市轨道交通投资巨大,一条线路,少则几十亿元,多则上百亿元,而建成投入运营后,每年还需要大量的运营费用。轨道交通只有形成网络效应,才能最大限度地发挥其作用。现在,有的城市建了轨道交通,但初期运量不到预测运量的1/2,甚至更少,每年的票款收入还不足以偿还贷款利息。有的城市修建地铁线路并不注重老百姓的出行需求,而是与其他城市攀比,盲目地比里程、比标准。不根据交通需要而刻意拉长线路长度、提高建设标准,表面上运营公里数不低,但实际上运营效率不高。这种状况不仅浪费了国家和社会财富,而且不利于节能减排目标的实现,必须引起我们的高度重视,并采取切实措施加以解决。

引进吸收与自主创新的关系。建设创新型国家,是党中央作出的重大决策。经过多年的发展,我国城市轨道交通——交通走过了一段全盘引进、逐步消化吸收,再到自主创新的科技发展历程。当前,我国城市轨道交

通产业化已初具规模,车辆、设备等领域国产化的水平大幅提高,工程造价逐步降低。我们的产品研发和运营方式,已由单一的传统轮轨制式发展到自主研发的直线电机制式、胶轮单轨制式等多种制式并存的局面,技术进步和科技创新对产业和经济的带动作用越来越明显。我们要继续坚持“两手抓”,在继续认真学习国外先进经验的同时,更加注重增强自主创新能力,不断提高产业水平,不断满足城市交通发展的需要。

城市中心与郊区发展的关系。现阶段发展城市轨道交通最迫切的任务是疏解城市中心区的交通压力,满足人口稠密区人员流动的需要。现在不少城市都已编制了城市轨道交通路网规划,但城市中心区的线网密度比较低,甚至一些城市中心区线路网密度只有国外发达城市的1/2。在郊区修建城市轨道交通,要结合郊区交通特点,可采用轻轨、地铁支线、通勤铁路等多种方式,在建设时序上要有轻重缓急的安排,优先解决好当前城市中心区紧迫的交通出行问题。要注重当前,立足长远,统筹考虑城市中心区与郊区的发展。

### 3 发展城市轨道交通要将质量和安全放在突出位置

目前,我国轨道交通的发展规模和速度在全世界都是史无前例的。以北京、上海、广州为代表的特大城市等已经进入到城市轨道交通网络化建设时代,每年都要建成40~60km的线路;其他城市的建设速度也很快。由于比较多的城市同时启动轨道交通项目,造成建设和运营技术力量不足,高端人才和富有经验的技术骨干缺乏等问题,从而加大了城市轨道交通建设和运营的风险。我们还要注意到,一些城市轨道交通项目建设后急于交付使用,建设周期太短,很多线路存在着边设计、边勘测、边施工的现象,抢工期、抢进度问题比较突出,工程质量和安全隐患不断增加。近年来,已有不少地方的城市轨道交通在建设过程中发生了质量和安全事故,有的造成了较大的人员伤亡和经济损失。城市轨道交通运营安全虽然保持了比较稳定的态势,但也存在一些薄弱环节和安全隐患,如部分乘客安全意识薄弱,往往成为事故的诱因;又如地铁容易成为人为破坏和恐怖袭击的目标,安全防范措施有待加强,需要认真地研究和解决。根据城市轨道交通安全工作的特点,我们要重点从以下几个方面,切实加强城市轨道交通建设质量和安全运营管理,加强法律法规和制度建设。要逐步健全城市轨道交通安全管理的法规,全面落实项目业主、勘察、设计、施工、监理等相关单位的质量安全法定责任制度,依法规范乘客行为,保护城市轨道交通安全设施,促进城市轨道交通建设和运营管理的规范化和法制化。要研究和实行城市轨道交通建设与运营安全保险和安全风险评估制度,综合运用经济政策、法律约束、行政执法等手段强化工程勘察、设计、施工和运营全过程的安全管理工作。完善城市轨道交通安全监控与评估体系,既要从企业内部规章制度入手,从源头建立可控机制,又要强化外部第三方监测,建立相应评估和控制体系。

完善质量安全标准体系。要加快修订和完善城市轨道交通质量安全标准体系,把国家有关城市轨道交通发展的方针政策和科研成果落实到技术标准中,充分发挥标准规范的引导和约束作用。目前有关主管部门已着手组织编写轨道交通工程建设安全风险等方面的规范标准。要积极做好相关技术标准的宣贯与实施,特别是要强化对强制性标准执行情况的监督检查,对违反强制性标准的单位和个人,要依据有关法律、法规和部门规章予以处罚。加快关键技术的研究和推广。科技进步是提高城市轨道交通质量安全水平的根本。我国已启动了城市轨道交通关键技术研究,充分发挥政府支持、产学研结合的优势,组织全国力量,集中解决了一批城市轨道交通发展过程中的核心和全局性的问题。与发达国家相比,中国城市轨道交通起步晚,在技术、经验、人才的积累方面,与发达国家还有差距,需要我们向国外同行学习、借鉴。中国城市轨道交通的快速发展也使我们在较短的时间内,创造并保持了世界罕有的建设速度与运营规模,很多经验和成果也要能够与其他国家分享,共同推动世界轨道交通事业的进步。

建立健全应急管理机制。城市轨道交通是一个高速运转、相对封闭的复杂系统,发生各类突发事件的可能性很大,须高度重视突发事件应急管理工作。一是要加强预警机制建设。按照反恐、消防、事故救援等有关规定,在城市轨道交通设施内,设置报警、灭火、逃生、防汛、防爆、防护监视、紧急疏散救援等器材和设备。二是要加强应急处置能力建设。制订和完善城市轨道交通的各类事故灾难应急预案,并切实提高预案的针对性和可操作性。三是要加强应急力量和资源的建设,培养一支训练有素、处置有方的专业抢险队伍和专家咨询队伍,并加强应急抢险物资、装备的储备和管理,确保事故灾难得到及时、妥善处置。

# 改革开放 30 年公路及路面技术的快速发展

沙庆林

(交通部公路科学研究院, 北京 100088)

**摘要:**论述了改革开放前的路面技术及公路建设大发展推动路面技术, 高速公路路面设计与施工的创新发展。

**关键词:**改革开放; 公路路面; 技术

1978 年 12 月中共十一届三中全会开启了我国改革开放历史新时期, 同年召开了全国科技大会, 制定了科技发展十年规划, 迎来了我国科学技术发展的春天。在此 30 年期间, 党和国家提出“科学技术是第一生产力”, “知识分子是工人阶级的一部分”; 制定了“科教兴国”、“人才强国”战略, 实施了许多重大科技项目, 激发了广大知识分子的积极性和创造性, 我国公路路面技术的发展也走上一个个新台阶。

## 1 改革开放前的公路路面技术

改革开放前我国的公路路面技术相当落后, 为了适应交通量增大和消除晴天扬尘、雨天泥泞及提高行车舒适性的需要, 在公路建设中, 开始在泥结碎石和级配砾石中掺加石灰, 并试用水泥碎石或水泥砂砾基层。同时, 开始使用由渣油氧化得到的多蜡沥青铺筑贯入式、下贯上拌等沥青面层。由于没有施工技术规范, 缺乏仪器设备, 很少做试验, 主要靠人工施工。因此, 路面质量差, 常常出现“前修后坏”, “一年修, 二年坏”的过早破坏现象。

## 2 公路建设大发展推动路面技术进步

1979 年国家设立重点科技项目“高速公路修建技术的研究”。1980 年末, 我国公路总里程约  $89 \times 10^4$  km, 其中一级公路只有 200 km, 二级公路  $1.26 \times 10^4$  km。1981 年交通部颁布了《公路工程技术标准》含高速公路技术标准。交通部公路科学研究所路面研究组, 针对当时路面普遍发生的早期破坏现象, 开展了多方面的技术研究, 历时 2 年, 先后在广西、北京、黑龙江和广东铺筑了 4 条含重型压实标准、半刚性基层和次高级沥青面层的试验路, 取得了丰富的第一手资料与实践经验。1982 年提出的重要研究成果有: 重型压实标准、材料技术指标和标准值、半刚性材料特性和设计参数、半刚性材料组成设计方法、施工技术、配套的试验仪器和试验结果及结果评定方法以及质量管理和检验内容, 等等。成果获得交通部科技进步二等奖。这些成果为随后的高速公路建设做了较好的技术准备, 为 1986 年交通部颁布的《公路路面基层材料试验规程》和《公路路面基层施工技术规范》等奠定了技术基础。

1984 年 4 月, 为了解决公路建设制约国民经济发展的瓶颈问题, 国务院批准利用世行贷款建设京津唐高速公路。标志着我国公路建设开始进入一个崭新的历史时期。此高速公路从设计、施工到监理都由我国技术人员自行完成。该高速公路的路面设计, 是我国公路部门首次做沥青和沥青混凝土试验。根据从路基

土、半刚性材料到沥青混合料的全面室内试验数据,并认真总结已有研究成果,提出的路面设计方案是:半刚性基层,3层(15cm厚)沥青混凝土面层,它对随后的高速公路建设产生了重要影响。

为配合高速公路建设,1986年交通部又颁布了《公路柔性路面设计规范》和《公路沥青路面施工技术规范》(以下简称沥青路面施工规范)。但后者继承了20世纪80年代初《大交通量沥青路面施工规范》中的矿料级配AC-I型(美国的传统连续密级配)和美国学者泰尔普特建议的幂值(在美国并未应用)计算得出的AC-II型半开级配(设计孔隙率8%左右),并延续至今。AC-II型级配是导致我国高速公路沥青面层产生严重水破坏的主要内因之一,其他多个内因是该规范中存在着较多缺陷甚至错误所致。在沥青面层的关键因素矿料级配方面,始终没有任何创新。唯一的变化是,最后增加了未经任何室内外试验研究的SMA。导致不少高速公路使用SMA后,不是产生泛油和严重辙槽,就是产生水破坏。1986年,国家设立重点攻关项目“高等级公路半刚性基层沥青路面结构设计和抗滑表层”课题,取得了多项创新成果,如:

(1)半刚性基层沥青面层的承载能力由半刚性材料层承担,沥青面层仅起功能作用。

(2)沥青面层的横向裂缝主要是面层本身的低温收缩裂缝和温度疲劳裂缝,裂缝起始于表面,自上而下传播。用优质重交沥青可以显著减少和延缓温度裂缝。

(3)由基层先开裂后导致面层产生的自下而上的反射裂缝,仅发生在薄面层的情况。京石高速公路正定试验路证明,如面层厚度超过8cm,在面层表面仅产生由表面开始的对应裂缝。

(4)上述成果与20世纪80年代初的研究成果一起,形成了我国高速公路的路面建设模式,即重型压实标准、半刚性基层和底基层、沥青混凝土面层,其特点是“强基薄面”。这种结构可就地取材,为国家节约投资,同时更能适应现代重型交通的需要。研究成果获国家科技进步二等奖。

1988年笔者研究开发了具有自主知识产权的多碎石沥青混凝土SAC-16。SAC-16的矿料级配吸取了AC16-II型粗集料多,高温抗永久形变能力强,抗滑性能好的优点,同时吸取了AC16-I型细集料多密实透水性小优点。SAC-16矿料级配范围的中值,大于4.75mm粗集料的含量为59%,较AC16-I的粗集料含量42.5%多16.5%。为了与AC16-I区别,特取名为多碎石沥青混凝土,用SAC-16表示。SAC-16既具有AC16-I型和AC16-II型的优点,又避免了二者各自的缺点。虽然,沥青路面施工规范始终拒绝接纳SAC-16,但在改革开放,实施创新工程的大氛围下,高速公路的业主们在了解SAC-16的优点后,喜欢采用它做表面层。在SAC-16诞生后的约16年中,共有总长约2000km逾10条高速公路使用了SAC-16。在推广应用SAC-16的过程中,笔者又开发了SAC-13、SAC-25和SAC-10,并在高速公路上使用,但这些SAC都是经验性的。总结这些高速公路使用SAC-16等的经验,其优点为:

①密实透水性小,不宜产生水破坏。

②是我国所用矿料级配中高温抗永久形变能力最强的。

③抗滑性能满足要求,如SAC-16的表面构造深度TD多数在0.8~0.9mm,SAC-13的TD多数在0.8~0.83mm,SAC-10的TD大于0.6mm,而沥青路面施工规范中的AC16-I型的TD常不满足路面设计规范要求的0.55mm。

④可以趁沥青混凝土高温时,从开始就用振动压路机振动碾压,直到复压结束,复压过程中增加大型轮胎压路机。

⑤很少有粗细集料离析现象,表面美观。

⑥节约投资,由于SAC的油石比小于AC-I型级配0.5%以上,比SMA的油石比更小,且不用添加纤维,节约的投资更多。实际使用性能却优于AC-I型和SMA。可以说SAC价廉物美。

上述我国高速公路路面的建设模式为我国高速公路跨越式发展作出了巨大贡献。1988年10月31日我国大陆第一条高速公路(沪嘉高速公路,全长15km)正式通车。1990年底,高速公路总里程为522km。1995年底,高速公路总里程为2141km。2000年底,高速公路总里程为16000km。2001年底我国高速公路总里程就位居世界第二位。同年,公路被评为20世纪我国26项重大工程技术成就之一。2007年底,高速公路总里程为53600km。这是在党的领导下交通战线广大科技工作者与工程一线的全体员工,用自己的聪