

中国公路论坛

CHINA HIGHWAY FORUM

主 编：王元庆

第4卷 2006年

西安地图出版社

中国公路论坛

CHINA HIGHWAY FORUM

主 编：王元庆

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国公路论坛/《中国公路论坛》编委会编. —西安:
西安地图出版社, 2006
ISBN 7-80670-931-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 042586 号

中国公路论坛

王元庆 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

880×1230 毫米·1/16 开本 8 印张 250 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7-80670-931-2/G·333

定价:58.00 元

中国公路论坛(第4卷)

China Highway Forum

目次

·权威观点·

海底隧道修建中的关键问题	王梦恕,皇甫明(1)
提高沥青路面使用性能和耐久性的最关键因素	沙庆林(5)
层间约束引起的双层水泥混凝土路面板的温度应力	姚祖康(14)
斜拉索风雨振现场观测与振动控制	陈政清(18)
三面受火钢筋混凝土梁温度场非线性分析	余志武,唐国庆,丁发兴(24)

·学术前言·

既有钢筋混凝土桥梁构件承载力估算方法	张建仁,王磊(29)
考虑土体蠕变特性的桥台软基变形分析	赵明华,肖燕,陈昌富,贺炜(36)
实测轻型货车轮载作用下沥青路面力学响应分析	孙立军,胡小弟(42)
代建制在公路工程项目中的应用	赵文义,赵桂娟(48)
工程项目成本管理分析	田智远(53)
代建制模式的经济学分析	赵文义(56)

·实用技术·

沥青混凝土路面施工质量控制与管理	李春尧(70)
高等级公路二灰碎石基层的施工和质量控制	费建龙(75)
公路建设与环境保护	刘强,张理斌(79)
公路几何设计与外部景观协调分析	李培林,胡海霞(83)
热沥青混合料施工过程中的离析现象及其防治措施	费建龙,赵莉(86)
沥青路面常见病害及处治方法研究	王立强(89)
遥感的发展及其在公路勘测选线中的应用	闫加宽(93)
高速公路湿陷性黄土地基处治方法研究	李春尧(96)
高速公路路面底基层材料合理组成研究	谢超(99)
高速公路沥青路面预防性养护管理研究	赵莉(105)
农村公路建养中存在的问题及对策	刘利平(110)
联合督查机制的建立及其对高速公路建设的监督效果	李志强(113)
高等级公路弯沉检测方法发展动态及评价	谢超(117)
特大桥悬臂施工及控制	陆永林(122)

CHINA HIGHWAY FORUM(Vol.4)

CONTENTS

Key problems on subsea tunnel construction	WANG Meng-shu, HUANGFU Ming(1)
The most key factor of improving use performance and durability of asphalt surface	SHA Qing-lin(5)
Thermal stress in two-layer concrete slab due to restraint of interface	YAO Zu-kang(14)
On-site observation of wind-rain induced vibration of stay cables and its control	CHEN Zheng-qing(18)
Nonlinear analysis of temperature field of reinforced concrete beam with three surfaces exposing to fire	YU Zhi-wu, TANG Guo-qing, DING Fa-xing(24)
Estimated approach to carrying capacity of existing reinforced concrete bridge member	ZHANG Jian-ren, WANG Lei(29)
Analysis of deformation on soft subsoil around bridge abutment considering soil creep property	ZHAO Ming-hua, XIAO Yan, CHEN Chang-fu, HE Wei(36)
Stress response analysis of asphalt pavement under measured tire ground pressure of light vehicle	SUN Li-jun, Hu Xiao-di(42)
Application of agent construction system on highway project	ZHAO Wen-yi, ZHAO Gui-juan(48)
Analysis of project cost management	TIAN Zhi-yuan(53)
Economics analysis for mode of agent construction system	ZHAO Wen-yi(56)
Construction quality control and management of asphalt concrete pavement	LI Chun-yao(70)
Construction and quality control of lime-fly ash gravel roadbase in higher road	FEI Jian-long(75)
Road construction and environment protection	LIU Qiang, ZHANG Li-bin(79)
Harmony analysis of geometry design and exterior sight of road	LI Pei-lin, HU Hai-xia(83)
Isolation phenomenon and prevention measure in hot asphalt mixture construction	FEI Jian-long, ZHAO Li(86)
Research on familiar disease and disposement method of asphalt pavement	WANG Li-qiang(89)
Development of remote sensing and application in the reconnaissance selecting line	YAN Jia-kuan(93)
Research on disposement method of humid and falling loess of expressway	LI Chun-yao(96)
Research on subbase material reasonable mixture in Anyang highway of A-sheng route	XIE Chao(99)
Research on defending maintenance and management of asphalt pavement of highway	ZHAO Li(105)
Problem and countermeasure of construction and maintenance of rural road	LIU Li-ping(110)
Establishment of unite superintend mechanism and the effect of expressway construction	LI Zhi-qiang(113)
The development and assessment of deflection testing method of high-grade highways	XIE Chao(117)
Suspending construction and control for an unusual big bridge	LU Yong-lin(122)

海底隧道修建中的关键问题

王梦恕,皇甫明

(北京交通大学 土木建筑工程学院,北京 100044)

摘要:结合厦门东通道海底隧道工程,对海底隧道最小岩石覆盖层厚度、水压力设计值的确定,衬砌结构断面优化与防排水方案,穿越海底不良地质段(断层、溶槽)的施工措施及服务隧道设置的必要性问题进行了分析。提出应从围岩稳定性和隧道涌水量的大小综合考虑最小岩石覆盖层厚度;采用限量排放的防排水方案对海底隧道较为适宜;施工中可采用注浆和冻结法穿越海底的不良地质段;设置服务隧道有利于隧道施工和运营管理。

关键词:岩石覆盖层厚度;水压力设计值;衬砌断面优化;防排水设计;服务隧道

中图分类号:U459.5

文献标识码:A

0 引言

发达国家从20世纪30年代起,就开始修建海峡海底隧道,现在建成海峡海底隧道的国家有日本、挪威、英国、法国等。目前中国正在规划或建设的海峡隧道有琼州海峡隧道、厦门东通道海底隧道及青岛—黄岛之间的海底隧道等。厦门东通道海底隧道工程是中国计划建设的第一个用钻爆法修建的海底隧道,1998年以来厦门市路桥建设投资总公司委托中交第二公路勘察设计院承担了该工程的预可行性研究和可行性研究,此外还委托多家科研单位进行了相关专题研究,目前已经取得了一定的成果。笔者结合厦门东通道海底隧道工程,着重对海底隧道修建中的关键问题进行探讨。

1 最小岩石覆盖层厚度的确定

在海底隧道的设计过程中,当线路方案选定后,合理地确定海底隧道拱顶的岩石覆盖层厚度十分重要。如果岩石覆盖层过于薄弱,海底隧道施工过程中就可能发生严重的失稳问题和海水涌入的危险,即使不发生,也会导致辅助工法的投入增大;如果覆盖层厚度太厚,不仅会使作用于衬砌结构上的水压力增大,而且也会使海底隧道的长度增加。由此可见:海底隧道覆盖层厚度的选定不仅是一个安全问题,而且主要是一个经济问题。

不过应该明确的一点是:覆盖层厚度并没有技术上的限制,也就是说不会因为最小岩石覆盖层厚度的问题,在技术上使海底隧道无法修建。无非是采用较高的开挖支护技术和投入较高的费用而已,但这样做工程风险之大是显而易见的。

日本青函海底隧道位于水深140m处,其最小岩石覆盖层厚度为100m,该厚度是根据当时日本水下采煤的安全规程确定的,即隧道最小埋深不小于60m。鉴于日本水下采煤安全规程并没有考虑水深这一因素,最后为了安全起见,将该隧道最小覆盖层厚度定为100m。而日本关门海底隧道海底地段平均覆盖层厚度仅为11m。

挪威是目前世界上采用钻爆法修建海底隧道最多的国家,至今已累计建成 100 多 km。挪威的交通海底隧道大部分位于火成岩和变质岩等比较坚硬的岩层,针对海底隧道最小岩石覆盖层厚度的问题,挪威专家曾经做过专门的研究,提出了一些经验值(表 1)。1993 年 NILSEN B 对挪威当时已竣工的近 20 多条海底隧道工程的最小岩石覆盖层厚度进行了统计分析,并给出了两条统计经验曲线,如图 1 所示。图 2 为目前各国主要海底隧道最小岩石覆盖层厚度的统计结果。

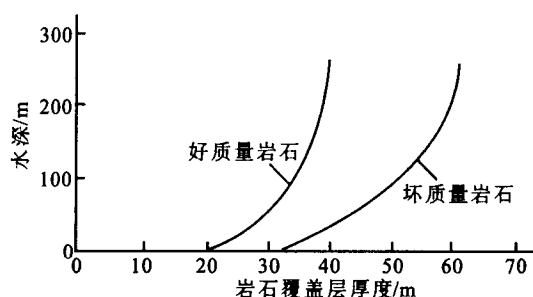


图1 挪威海底隧道最小岩石覆盖层厚度

表1 挪威海底隧道最小岩石覆盖层厚度经验值

水深(至基岩)/m	最小岩石覆盖层厚度/m		最大坡度/%
	好质量围岩	坏质量围岩	
0~25	25	30~35	2.0
25~50	30	35~40	2.6
50~100	35	40~50	3.8
100~200	40	45~60	6.0

此外,英法海峡隧道在施工服务隧道的过程中,曾进行了覆盖层厚度与渗入水量之间的关系研究,如图 3 所示(图 3 中 k 为渗透系数)。研究表明:在一定深(厚)度时,渗入水量会逐渐增加到一个极限。因而,由此也可以确定一个最佳的覆盖层厚度。

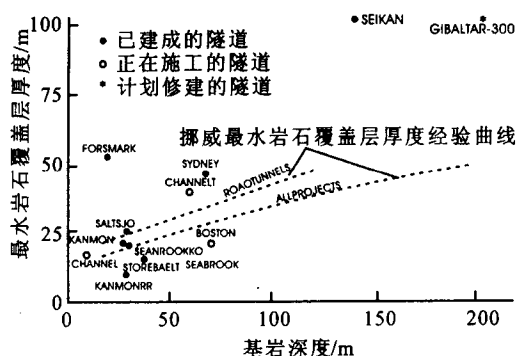


图2 各国主要海底隧道最小岩石覆盖层厚度

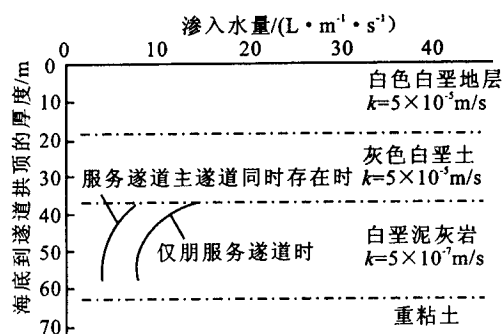


图3 英法海峡隧道服务隧道覆盖层厚度与渗水量关系

显然,在确定最小岩石覆盖层厚度时,应该从围岩稳定性和隧道涌水量的大小两方面综合考虑,文献中在这方面进行了有益探讨。

2 水压力设计值的确定

对于海底隧道而言,支护结构除了承受围岩压力,还会承受很高的水压力。作用于支护结构上的围岩压力可以被地层拱作用降低,而静水压力荷载并不受此影响,不能用任何成拱作用来降低。可以说,海底隧道水压力设计值的大小是决定衬砌结构强度的关键,水压力设计值大小不仅与水头有关,还与地下水处理方式有关(全封堵方式和排导方式)。

目前,中国铁路隧道设计规范和公路隧道设计规范在确定衬砌结构外水压力时,对地下水从“以排为主”的原则出发,不考虑水压力。但对于具有稳定高水头的海底隧道,如何确定作用在衬砌结构上的水压力,是一个复杂的问题。通常是参照水工隧洞设计规范和经验,根据开挖后地下水的渗入情况,采用折减系数的方

法计算隧道衬砌的外水压力。但是,水工隧洞仅仅要求围岩的稳定性,并不需要控制地下水的排放量,通常采用隧洞附近的天然排水(溶洞)或人工排水等措施来减小其外水压力;而海底隧道不能自然排水,显然从设计理念上,水工隧洞与海底隧道存在一定差别。

隧道工程中对地下水的处理方式有全封堵方式和排导方式两种。通常情况下,当水头小于60m时,采用全封堵方式;当水头大于60m时,宜采用排导方式,并通过施做注浆圈来达到限量排放的目的。在这两种情况下,如何计算衬砌水压力,目前还没有系统地进行研究。厦门东通道海底隧道的地下水和海水总水头在50~70m,从技术、经济合理性出发,采用全封堵方式或排导方式都是可行的,故有必要结合海底隧道的特点,对地下水处理方式的选择进行系统地研究。

厦门市路桥建设投资总公司委托中铁西南科学研究院等单位,根据厦门东通道隧道工程的地质情况,分别设计了全封堵方案和限量排放方案两种模型试验。试验过程中考虑了地层渗透性的相似、水压的相似、注浆圈大小及其注浆效果对衬砌背后水压力的影响等多方面因素,对海底隧道衬砌水压力值的确定进行了研究,结果表明:

(1)若采用全封堵方式防水,则衬砌背后的水压力不能折减,即使采用了注浆加固(防坍塌),水压力也不能折减。

(2)采用排导系统防排水,能有效降低水压力。但如果排水系统中的盲管堵塞时水压力会上升,即使有出水孔也无济于事。因此,排水系统须可维修。

(3)与全封堵的情况不同,对于排水情况,围岩的渗透系数与传递到衬砌上的水压力有密切的关系,在相同的排导系统设计参数下,随着隧道围岩渗透系数的减少,衬砌水压力亦随之减小,即折减系数增大。

(4)与全封堵的情况不同,对于排水情况,在相同的排导系统设计参数下,若对围岩注浆,可以降低渗透系数,能够起到限量排放的作用,也可减小衬砌的水压力。

(5)假定盲沟全环布置,且长度等于隧道轮廓周长,排水沟设于隧道底。在盲管排水系统的设计参数中,对压力有显著影响的主要是盲管间距、管直径及衬砌中的出水口直径,为了确保排水减压效果,盲管间距应不大于某临界值,盲管直径及衬砌中的出水口直径则应不小于某临界值。

3 衬砌结构断面优化与防排水方案

根据海水深度和隧道最小岩石覆盖层厚度,厦门东通道海底隧道最大水头压力为0.7MPa,若采用全封堵方案,水压力对衬砌结构内力的影响最大,并起着控制作用。在这种情况下,从经济的角度考虑,有必要选取一种隧道结构受力合理和开挖面积较小的断面形式。如果采用排导方案,则需要确定出注浆加固圈的厚度及其渗透系数的大小,其结果不仅与隧道结构承受的静水压力大小有关,还和排放量的大小有关;此外,若达不到设计要求时,可能会影响注浆加固圈的稳定性和是否能够控制排放量,最终对隧道安全会很不利。故采用限量排放方式时,应对加固圈的厚度和渗透系数的大小进行专门研究,以便确定出不同静水压力条件下隧道加固圈的最为合理的加固范围。可见,采用限量排放方案,关键与隧道周围围岩的注浆效果和注浆加固圈的厚度等有关,而与二次衬砌的断面形式关系不大,因此注浆加固需要进行专门设计。

由于厦门海底隧道水头压力相对不高,建议在具体设计时,衬砌计算考虑全水头水压力;防水体系设计的原则是“以堵为主,限排为辅”,即采用防水板+埋设填料+排水孔,从而达到限量排放的目的。此外,同时也可以考虑用注浆圈。

4 穿越海底不良地质段的施工措施

厦门东通道海底隧道主要位于海底弱、微风化花岗岩中,穿越3条强风化基岩深槽和4号风化囊,而且微风化风化槽附近存在微风化岩破碎带,地下水具有一定的承压性。开挖扰动后,极易发生涌水、突水的现象,威胁施工的安全。由于水压力较高,水源补给无限,且施工中不具有自然坡排水的条件,一旦发生大的突、涌水,就可能引起严重的后果。日本的青函隧道在施工期间,曾发生了4次严重涌水事故,不但影响了工程进度,而且造成了重大安全事故。因此,能否安全穿越软弱不良地质段,是海底隧道工程施工成败的关键。日本青函隧道海底段施工过程中,采取的方式是探水、注浆、开挖3个环节交替进行,而水平超前钻探和注浆

被认为是青函隧道最为成功的两项技术。

穿越软弱不良地质段的问题,主要是加固堵水的问题。目前各国经常采用的方法有注浆法、冻结法以及其他辅助方法。

日本青函海底隧道在施工中根据土质和渗水情况,确定注浆范围,并使注浆带厚度延伸到松弛带外侧,采用全断面帷幕注浆,一般注浆范围为毛洞洞径的 2~3 倍,在海底段为 3 倍。哥伦比亚 GUAVIO 水电站污水渠穿越溶槽地段(溶槽宽约 80 m,水压高达 2.0 MPa)采用了导坑超前帷幕注浆扩挖法。

冻结法的优点是适应地层条件广,但缺点是可靠程度不高,造价高,周期长,融冻过程对地层破坏严重。因此采用先注浆后冻结的方法可以提高可靠度,降低造价和工期,该方法适于在注浆加固方法不能全部堵住水流的情况下采用,且完全有条件用于海底隧道穿越断层破碎带,尤其对于注浆法不能实现的渗透系数小于 10^{-4} cm/s 的断层泥,可以作为一种最后手段加以应用,以确保隧道安全可靠地穿越断层破碎带。该方法在中国用于隧道方面的实例很少,并且也有其弱点和使用条件,主要问题是所用设备多,成本较高,对冻结本身的质量和施工准确性要求高;此外,冻结法要求地下水流速不能太大(不宜超过每天 2.0 m),否则土体将难以冻结。

挪威 OSLOFJORD 海峡隧道,在穿越断层破碎带时,通过超前探水发现,上部围岩含有粘土、砂子、卵石和块石等;下部围岩为碎石,并含有粘土,渗透系数较小,水压高达 1.2 MPa。为了确保该工程如期完成,采用迂回式施工法,做了 350 m 长的辅助通道,断面面积为 47 m²。

5 服务隧道设置的必要性

在海底隧道施工阶段,服务隧道的作用有:可以作为平行导坑,能够超前探明地质状况,从而取得不良地质段处理的方法和工艺;可以通过横洞及时沟通左右线正洞,还可开辟多个工作面,加快施工进度;有利于隧道施工通风、排水及施工资源的合理分配;在两条主隧道开挖之前,由服务隧道向主隧道拱部范围进行侧向探测,可做芯心钻探并做压水透水性试验,以验证岩石质量与涌水量;主隧道施工过程中,对于局部不良地质段,可在服务隧道内进行提前注浆,而不会影响其余地段的施工。

在海底隧道运营阶段,服务隧道的作用有:作为紧急避难通道,在隧道运营期间突发灾害时,可供人员避难、逃生和救援作用;作为检修通道,其上下空间又可作为管线通道,便于隧道管理人员的日常维护,同时可适当减小洞断面;服务隧道里可以铺设各种电线、电缆,作为城市公用管道;可作为排水、维修、养护、安全通道等。

6 结 语

- (1)应从围岩稳定性和隧道漏水量的大小两方面综合考虑,合理确定海底隧道最小岩石覆盖层厚度。
- (2)海底隧道水压力设计值的确定与地下水的处理方式有关,采用限量排放的防排水措施,可有效地降低作用于支护结构上的水压力。
- (3)隧道衬砌结构与防排水方式、隧道周围岩的注浆效果和注浆加固圈的厚度有很大关系。
- (4)可采用注浆法、冻结法等方案穿越海底断层、溶槽等地段。
- (5)设置服务隧道有利于海底隧道的施工和运营管理。

参 考 文 献

- [1] 谭忠盛. 琼州海峡铁路隧道可行性研究. 岩土工程学报, 2001.
- [2] 王梦恕. 海底隧道在青岛—黄岛之间的应用. 隧道建设, 1992.
- [3] FUKUCHI G. Seikan tunnel and water. Tunnels and Water. Rotterdam: Balkema, 1989.
- [4] PALMSTROM A. Norwegian experience with subsea rock tunnels. Tunnels and Water. Rotterdam: Balkema, 1989.
- [5] PALMSTROM A. The challenge of subsea tunnelling. Tunnelling and Underground Space Technology, 1994.
- [6] 皇甫明. 暗挖海底隧道围岩稳定性及支护结构受力特征的研究. 北京交通大学, 2005.

提高沥青路面使用性能和耐久性的最关键因素

沙庆林

(长沙理工大学,湖南 长沙 410076)

摘要:沥青路面使用性能和耐久性受多方面因素的影响,与沥青混合料类型、配合比设计、沥青质量、矿料质量与级配、施工工艺与材料的均匀性、气候环境、交通条件等有较大的关系。该文通过分析得出集料的岩石类型和质量以及矿料级配对沥青混凝土的物理—力学性质最关键的影响因素,因此,应重视矿实质量与级配,以提高沥青路面使用性能。

关键词:道路工程;使用性能;耐久性;影响因素

中图分类号:U416

文献标识码:A

沥青混凝土面层的使用性能主要指平整度、抗滑性和减少噪音。

众所周知,沥青混凝土面层的平整度既与下卧各层的结构强度和平整度有关,又与面层各层沥青混凝土的均匀性(拌和均匀性、有无集料离析和温度离析及压实均匀性)、施工工艺的先进性和严格程度有关,它与沥青和矿料的质量及级配关系不大。沥青混凝土面层的抗滑性能和减噪性能,主要取决于表面层矿料的质量和矿料级配,它与沥青的质量关系不大。

为了使沥青混凝土面层的使用性能耐久,除路面有足够的承载能力、使路面不会产生结构性破坏外,还必须解决沥青混凝土面层本身可能产生的一些早期破坏,常见的早期破坏有沥青混凝土层产生严重辙槽、严重泛油;沥青混凝土层,特别是表面层容易透水,并导致早期水破坏;沥青混凝土表面层产生严重低温裂缝,沥青混凝土层产生疲劳开裂(主要针对柔性路面)。因此,沥青混凝土的高温抗永久形变能力要强,使沥青混凝土层能承受重载车辆的反复作用,不易产生严重的辙槽;沥青混凝土的油石比应该适宜,避免产生泛油;沥青混凝土层要密实、透水性小和均匀性好,使水不易透入并滞留在某层内,以避免早期水破坏。从长远看,还要减少严重温度裂缝(含对应裂缝)和增长沥青混凝土层的疲劳寿命。

一旦产生上述3种早期破坏中的任何一种,都会直接影响沥青混凝土面层的使用性能。

1 最关键因素是矿料质量和矿料级配

从高温抗永久形变能力来说,首先要使用质量好的矿料,其次要有能形成骨架—密实结构的矿料级配,在此前提下,再使用高温粘度大的沥青,才能使沥青混凝土具有较高的高温抗永久形变能力。因此,矿料质量和矿料级配是最关键的因素。

从泛油来说,主要是沥青用量和沥青混凝土的现场孔隙率问题。也可以说主要是矿料级配和确定合适沥青用量问题而不是沥青质量问题。在合适沥青用量的前提下,密实式级配沥青混凝土在室内的孔隙率常小于4%,在现场孔隙率达到要求(如小于6%)的情况下,往往透水性小,不易产生水破坏;半开级配和抗滑表层沥青混凝土在室内的孔率为8%左右,现场孔隙率为10%左右,水较易透入沥青混凝土层并导致水破坏。其中最关键的因素,是矿料级配而不是沥青。

此外,沥青混凝土的抗疲劳破坏能力和表面层的低温抗裂缝能力,对沥青混凝土面层的使用性能都有显著影响。沥青混凝土的疲劳寿命与沥青混凝土的均匀性有关,也与沥青的粘度和沥青的用量(油石比)有关。沥青混凝土的均匀性则与矿料级配和施工有关。由于国内还没有进行不同矿料级配沥青混凝土的疲劳寿命系统试验,目前还不能确定哪个因素是最关键的。沥青混凝土的低温抗裂性能通常与沥青的稀稠、沥青用量和沥青质量优劣有关。但它与沥青混凝土层的高温抗永久形变能力又有矛盾。而且一旦沥青面层产生了裂缝,只要采取及时封缝的养护措施,防止降水从裂缝进入沥青面层,即可以基本消除水的破坏作用。

对华北地区已建高速公路沥青面层的横向裂缝观测表明,重交沥青面层、改性沥青面层和改性沥青 SMA 面层通车 3 年后的裂缝数量差别不大。每公里长路面,裂缝少者约 30~40 条,多数为 40~50 条,少数约 60 条。但重交沥青混凝土面层的裂缝少于改性沥青面层。前者多数为 30~40 条。吉林省长营高速公路,重交沥青面层厚 10cm,通车 6 年后的横向裂缝数量与上述华北地区高速公路重交沥青面层厚 15~16cm 的裂缝无明显差别。京津塘高速公路北京段 35km,重交沥青面层厚 23cm,通车 8 年后的横缝数量,每公里长路段平均 37.6 条,全段共有横缝 1315 条;天津段 100.8km,重交沥青面层厚 20cm 和 23cm,通车 5 年后,每公里长路段平均 31.8 条,全段共有横缝 3204 条。此高速路沥青面层的裂缝数,与上述仅通车 3 年、沥青面层裂缝较少的路段相同。但是,这些裂缝并没有引起明显的水破坏。在此期间,北京段共修补路面和桥面坑洞 213 个,天津段共修补两种坑洞 504 个,而且这些坑洞绝大多数与裂缝无关。

广深高速公路,除深圳市段外,共长 100km,其中路基路面段约 60km,1993 年 6 月通车到 2001 年共产生横缝约 70 条;由于桥面有伸缩缝,所以上述沥青混凝土面层通常无横缝。但是若连续降雨 4~5 d,就要产生 2000 多个水破坏坑洞。这些坑洞几乎与裂缝无关。因此,将沥青面层产生水破坏归结为半刚性路面会产生反射裂缝使雨水容易进入,是毫无事实依据的。实践证明,在使用重交沥青和提高混合料均匀性的情况下,对于裂缝,没有必要过多关心,因为它是不可避免的,只要及时采用封缝措施,就可以大幅度减少雨水进入和基本避免水破坏。

沥青混合料主要由矿料和沥青两大类材料组成。密实沥青混凝土通常包括矿料、沥青和空气 3 部分。在用各自所占的体积百分率表示时,绝大部分是矿料体积率,约占 83%~85%,沥青体积率占 10%~13%,空气体积率(简称空气率)约占 3%~4%。由于空气体积实际上就是沥青混凝土内部的孔隙,所以空气率又称孔隙率。沥青混凝土的各项物理力学性质既与上述两类材料有关,又与这 3 个体积率各自所占的比例有关。室内外的试验和实际面层的使用经验都证明,沥青混凝土的使用性和耐久性主要取决于矿料类型和质量、矿料级配组成、沥青混合料试件的试验方法、试件的技术指标及其标准值等。沥青是沥青混凝土中必不可少的重要组成部分,但沥青绝不是决定沥青混凝土物理-力学性质的最关键因素。

2 沥青是必要的成分

据统计,近年来全世界每年用于道路工程的沥青总量为 6000 万 t,其中又有 80% 用于旧路面的维修养护;用于新建路面的沥青每年只有 1200 万 t。美国道路沥青用量每年约 2400 万 t。各国采用的沥青分级方法并不相同。比较早的使用最普遍的方法是按沥青的针入度分级。美国最先也按针入度分级,中间又按沥青粘度分级。1993 年美国发布的 SHRP 有关沥青和沥青混合料的研究成果的商标名称为 Superpave (SUP),有人翻译成“优质沥青路面”。

2.1 SUP 的沥青分级和针入度分级

SUP 提出了沥青按使用性能分级的方法,即 PG 等级(见 AASHTO MP1)。例如,经试验证明,符合中国“重交通道路石油沥青技术要求”的沥青(简称重交沥青),包括国产重交沥青通常都属于 PG64-22。按 PG 等级的说法,此沥青的性能满足设计高温 64℃ 和设计低温 -22℃ 的要求。早期 SUP 同时声称,PG 等级既适用于普通沥青,又适用于聚合物改性沥青(PmB)。实际上,后一句话成为一些高速公路使用改性沥青的技术依据,改性沥青的使用量较快增加。因为,只有改性沥青能满足 PG70-XX 以上以及 PGXX-22 以下的要求。

SUP 正式公布后,受到美国国内和不同国家道路工作者的普遍关注和不同反映。对于沥青的 PG 分级,有赞同者,也有持不同意见者。1999 年,在美国谈起中国仍采用按针入度分级时,有的公路专家和教授表

明,按针入度分级也很好,同样可以解决问题。为了在美国推广应用 SUP,美国联邦公路局向各个州的交通厅无偿提供全套 SUP 所需的沥青和沥青混合料试验仪器。1998 年,欧洲个公路专家表示,SUP 考虑的沥青和沥青混合料的低温性能不行,中温性能尚可,高温性能可以。南非公路专家则公开声称 SUP 不适用于南非。2002 年,在第四次国际道路和机场路面技术会议(昆明召开)上,“欧洲沥青”副主席 Knut S. Soraas 说:AASHTO MP1 还没有证明 SUP 是较好的体系,没有理由要采用美国的体系。在同一次会议上,瑞典皇家工学院的吕晓虎等用 5 种针入度级沥青和用 5 种不同聚合物及 3 种不同含量(3%、6%、9%)的聚合物改性沥青(PmB)做的对比试验证明,SUP 中确定沥青高温性能和低温性能的指标和试验方法均不适用于 PmB。在中国,用 PG 等级来评价沥青和改性沥青的性质显得越来越多。笔者认为,这样做没有必要,而且对于改性沥青可能得出不合适的结论。

2.2 沥青不是最关键的因素

中国使用交通部颁布的按针入度分级的“重交通道路石油沥青技术要求”已近 20 年。在此期间建成的中国 30000km 高速公路沥青路面,虽然多数产生了程度不同的各种早期破坏现象,但这并不是沥青分级和沥青技术指标及其标准值显著不合适产生的结果。这些早期破坏现象是沥青、矿料质量和级配组成、沥青混合料的不均匀性大和压实度偏低以及气候和交通条件等因素综合作用的结果。

近几年来,有几条高速公路的沥青面层都是按 SUP 的 PG 等级要求沥青的质量,甚至采用 SBS 改性沥青来满足 PG 等级的要求,也都是按 SUP 的矿料级配和体积设计方法(用 SHRP 的旋转击实仪 SGC)设计沥青混合料。但开放交通 1 年左右,铺成的沥青面层就产生了严重的早期破坏现象——辙槽。

近 5~6 年来,在广东、四川、山东等省用重交沥青 SAC 矿料级配,建成的多条高速公路沥青路面都没有产生明显的早期破坏。实践证明,在重视矿料质量和级配、重视施工的情况下,高速公路沥青混凝土面层的使用状况往往是相当满意的。就沥青混凝土的综合性能而言,矿料的质量和级配组成以及施工控制和压实度往往更为重要。

美国负责研究开发 SUP 的主要教授和专家共同铺筑的西部环境试验路的失败,证明仅依靠符合 PG 等级的沥青,通过控制点之间和避开限制区的矿料级配组成、SGC 等是不够的。SHRP 的研究还表明,沥青的性能对路面抵抗永久形变的贡献率为 29%,对抵抗疲劳破坏的贡献率为 52%,对抵抗低温开裂的贡献率为 87%。这种估计是否符合中国沥青路面的实际使用情况,也值得进一步研究。因为它没有说明,这些结论是针对什么矿料级配、什么品种沥青和沥青混凝土的什么空气率等重要条件。

直到 1998 年,中国已建高速公路沥青面层中,约 95% 采用了进口沥青和少数改性沥青。但是,通车后,多数高速公路的沥青面层都产生了较严重的早期破坏,特别是水破坏、辙槽、泛油,以及抗滑性能达不到要求。即使采用了进口名牌沥青,如壳牌沥青和埃索沥青,也没有使沥青面层少出严重早期破坏。

自 1985 年提出“重交通道路石油沥青技术要求”以后,某种沥青虽符合此重交沥青技术要求,但仍不放心使用,只将它用于底面层,其表面层还要求用进口沥青。约在 20 世纪 90 年代上半期,某高速公路在采购进口沥青时,提出比重交沥青技术要求更高的技术指标值。例如,原重交沥青技术要求中提出含蜡量不大于 3%,该高速公路提出含蜡量不大于 2%。同时,开始使用 PE 改性沥青铺筑表面层和中面层,或 PE、SBS 综合改性沥青铺筑 SMA 表面层。结果有的高速公路,由于忽视了矿料质量和级配以及路面结构和施工等因素的重要作用,开放交通后 1~2 年,沥青面层就产生了严重的水破坏。

1993 年被誉为国门第一路的北京机场高速公路,沥青面层厚 18cm,中面层采用 PE 改性沥青,表面层采用了 PE 和 SBS 综合改性沥青 SMA。这是中国第一条使用改性沥青 SMA 表面层的高速公路。虽然,此高速公路的交通量中,95% 以上是小汽车,除民航班车外,载货卡车很少,但其路面状况并不好。该高速公路通车 1 年就产生了横向裂缝,至今横向裂缝很多,比相当路龄的仅采用重交沥青面层的裂缝只多不少。近 4~5 年来,更出现了很多纵向裂缝,几乎每个车道都有一条,甚至 2 条,局部伴随细小网裂带。其路面状况远不如同年通车的济青高速公路青岛段。

1997 年,中国开始生产符合重交沥青技术要求的中海 36-1 高级沥青,随后辽宁盘锦也生产出了符合重交沥青技术要求的优质沥青,克拉玛依生产的翼龙牌重交沥青多年来质量都很稳定。实际上,这 3 种沥青都在高速公路上得到了较多的应用。它们的性能一点不亚于进口名牌沥青。例如,1999 年江苏省交通科学

研究院用泰州沥青厂生产的中海 36-1 高级沥青与沪宁高速公路上使用的壳牌沥青和埃索沥青,分别都用中国重交沥青技术指标和美国 SUP 的 PG 等级进行了沥青和沥青混合料的对比试验研究。结果证明,中海 36-1 高级沥青的性能与两个名牌沥青处于同一等级,其混合料的个别性能还优于这两个名牌沥青的混合料。

1998 年以来,国家加大了公路建设的投资,高速公路进入快速发展的阶段。同时,改性沥青的应用也较快增加。特别是 2002 年以来,公路上重载货车和超载货车大量增加,使路面的早期破坏,特别是辙槽更为严重和普遍。在这种情况下,改性沥青几乎成了能防治百病的良药。沥青面层产生了早期破坏,不认真分析其原因,就想用改性沥青来解决。有的甚至说,使用改性沥青有个好处,它可以弥补或掩盖其他方面的不足。于是,一层用改性沥青出问题,就上面两层都用改性沥青;两层都用改性沥青,还不放心,有的高速公路干脆三层全用改性沥青。据统计,到 2003 年年底,中国道路改性沥青的用量占到全部道路沥青用量的 30%,它已是发达国家改性沥青用量的 3 倍多(据介绍,美国改性沥青的用量不到全部沥青用量的 10%,法国改性沥青的用量仅为总沥青用量的 7%~8%)。而且,一些高速公路还要求用进口沥青来改性,似乎优质国产沥青连做改性沥青的基质沥青都不够条件。据估计,2004 年改性沥青的用量将达到全部沥青用量的 50% 以上。

使用这么多改性沥青后,是不是沥青面层就不产生早期破坏?不是的。2002 年年底通车的表面层使用改性沥青 SMA 的某高速公路,通车不到 1 年,从东北到南部都有产生严重水破坏的路段。有的修补面积(指行车道,下同)达到 20% 之多。有的 1 年之内铣刨重铺了两次。使用改性沥青 SUP 表面层,甚至中、底面层也用 SUP 的国道主干线某段高速公路,通车不到 1 年,就产生了严重辙槽,不得不将辙槽深度 25mm 以上的面层铣刨 1~2 层后,重铺面层,其量达到 50% 左右。使用改性沥青 SUP 表面层的某非国道主干线高速公路某段,通车不到 1 年,由于辙槽严重,不得不铣刨一层后重铺,铣刨重辅量也达到 50%。早在 1999 年,南方某大城市附近,有两段高速公路,其中一段使用了重交沥青 SAC16 表面层和 SAC25 底面层和调平层,另一段使用了改性沥青 SMA16 表面层。两段高速公路几乎同时通车。前一条由于重视了矿料质量和矿料级配,并采取了一些减少沥青混合料不均匀性的措施和注意了压实,通车 4 年后,沥青面层产生的小坑洞,总共修补面积不到 1/300000。而后一条高速公路,通车不到 2 年,沥青面层就产生了明显的水破坏,有多块大修补面积的小补块。

多条高速公路的实践证明,单纯依靠使用改性沥青,不会得到满意的结果。同时也证明,重视了矿料质量和矿料级配,同时重视施工,即使使用重交沥青也能取得满意的结果。

虽然某些高速公路提高了重交沥青的技术要求,或采用了改性沥青,但到底有哪些高速公因此而取得了明显的技术效果,明显地减少了沥青混凝土面层的早期破坏?这是很值得进行研究和总结的。

使用沥青的历程证明,中国建设高速公路以来,片面强调了沥青对沥青混凝土使用性能和耐久性的影响,而忽略了矿料质量、矿料级配和由多个施工因素产生的沥青混凝土不均匀性大及压实度对沥青混凝土使用性能和耐久性的影响。

3 岩石类型和级配对沥青混凝土性质的影响

集料的岩石类型和质量以及矿料级配沥青混凝土的物理-力学性质有最关键的影响。因此,100 多年来,不少学者和研究工作者花了不少时间、精力和资金,研究集料类型、质量和级配对沥青混凝土使用性能的影响。至今,国内外仍有一些学者和研究工作者在认真研究优化矿料级配,力图得到一个高温抗永久形变能力强、在使用期间不会产生严重辙槽又不易产生明显水破坏的矿料级配。

原哈尔滨建筑工程学院研究了岩石类型(岩石类型,实际上就是反映了岩石的质量和特性)对沥青混凝土性质的影响。现摘引其试验结果并简要分析如下:

从不同产地取得了 5 种岩石砸制的碎石粗集料($>4.75\text{mm}$)的性质如表 1 所示。从表 1 可以看到,这 5 种粗集料的性质符合施工规范规定的要求。 $2.36\sim 4.75\text{mm}$ 的集料为石灰岩,其视密度为 $2.674\text{g}/\text{cm}^3$ 。 $0.15\sim 2.36\text{mm}$ 的集料为细砂,其视密度为 $2.605\text{g}/\text{cm}^3$ 。矿粉的视密度为 $2.460\text{g}/\text{cm}^3$ 。采用了壳牌 AH-90 沥青。不同碎石与沥青的粘附性均为四级。

表 1 5 种粗集料的性质

编号	压碎值%	冲击值/%	视密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	磨光值/%	针片状颗粒含量/%
1	9.4	5.7	2.944	48	5.4
2	11.7	7.8	2.630	44	6.6
3	11.3	4.1	2.920	45	6.8
4	13.4	4.2	2.850	45	3.2
5	13.7	5.8	2.700	45	10.9

从表 1 可以看到,压碎值与冲击值并无一定关系。

用上述原料按表 2 列的 6 个级配制成沥青混合料,分别用马歇尔试验研究同一个级配 5 种不同碎石沥青混合料的性质,以及同一种碎石 6 个不同级配沥青混合料的性质。

从表 2 中的 6 个级配,可看到:级配 A 仅 4.75mm 的通过量略超出上限;级配 F 有中间的 6 个点超出下限,是最粗的一种级配;级配 E 恰好是级配范围的下限;级配 B、C、D 都位于级配范围内,且级配 C 正好是级配范围的中值。级配 D 与 C 的差别仅在 65%粗集料的分布。级配 D 中没有大于 13.2mm 的颗粒,且 4.75~9.5mm 的颗粒占 37%。级配 C 中有 5%的 13.2~16mm 的较大颗粒,而且另有 60%的颗粒平均分布在 4.75~9.5mm 和 9.5~13.2mm。

一般来说,使用同一种碎石时,级配 F 沥青混凝土的空气率最大,级配 E 沥青混凝土的空气率小于级配 F,级配 A 沥青混凝土的空气率可能最小。30 组沥青混合料的马歇尔试验结果见表 3。从表 3 可以看到:

表 2 矿料级配组成

筛孔尺寸/mm	级配范围(通过率)/%	通过率/%					
		级配 A(最细)	B	C(中值)	D	E(下限)	F(最粗)
13.2	90~100	95	90	95	100	90	92.5
9.5	58~72	90	60	65	72	58	60
4.75	30~40	41.5	35	35	35	30	29
2.36	24~34	30	28	29	29	24	20
1.18	18~28	22.5	21	23	23	18	15
0.6	14~21	16.5	14	18	18	14	10
0.3	10~17	12.5	11	14	14	10	7.5
0.15	6~13	8.5	8	9	9	6	6
0.075	4~8	6	6	6	6	4	4

(1)级配相同时,不同岩石粗集料沥青混合料马歇尔试验的主要技术指标都有显著差别。如:①最佳油石比之差为 0.3%~0.9%;②空气率之差为 1.6%~3.7%;③饱和度之差为 4.1%~17.7%;④稳定度之差为 1.0~5.2kN。

(2)在同一岩石粗集料的情况下,6 种不同级配沥青混凝土的空气率并无一定规律。按分析,空气率可能最小的级配 A,5 种粗集料中只有 3[#]、4[#]、5[#] 3 种粗集料沥青混凝土的空气率最小。2[#]粗集料沥青混凝土的试验结果可能有操作上的问题。

(3)如果要求沥青混凝土的空气率为 3%~4.5%、饱和度为 65%~75%,则 1[#]粗集料仅级配 A、C、D, 3[#]粗集料仅级配 A、B、D,4[#]粗集料仅级配 A、D 以及 5[#]粗集料仅级配 A、C 能满足要求。也就是说,除 2[#]岩石粗集料外,在 6 个级配中 4 种岩石粗集料的 A 级配沥青混凝土全满足上述指标的要求;有 3 种岩石粗集料的 D 级配沥青混凝土满足上述指标的要求;只有两种岩石粗集料的 C 级配沥青混凝土满足上述指标的要求;无一种岩石粗集料的 E 级配沥青混凝土和 F 级配沥青混凝土能满足上述指标的要求,主要原因是这两

个级配混合料的空气率偏大。

上述结果说明,虽然规定的级配范围仅 9.5mm 的通过量为 14%,另有 4 个筛孔的通过量为 10%,其余 4 个筛孔的通过量仅 4%~7%,对于同一种碎石,即使其颗粒组成在规定范围内变化,也会导致有的沥青混凝土的性质满足要求,有的则不满足要求。因此:

(1)矿料级配范围不宜过宽。过宽的范围不能保证沥青混凝土应有的性质。

(2)对某一岩石碎石合适的颗粒组成曲线,对另一岩石碎石不一定合适;需通过试验确定其适用性,必要时要在级配范围内对颗粒组成曲线进行适当调整。

表 3 不同沥青混合料的马歇尔试验结果

沥青 混合料	A				B				C			
	油石比 /%	空气率 /%	饱和度 /%	稳定度 /KN	油石比 /%	空气率 /%	饱和度 /%	稳定度 /KN	油石比 /%	空气率 /%	饱和度 /%	稳定度 /KN
1#	4.7	4.2	72.8	11.2	4.3	6.6	61.2	5.02	4.5	4.5	70.1	6.13
2#	5.0	6.5	62.3	6.0	4.6	6.7	62.5	5.40	5.1	5.8	68.4	6.15
3#	4.8	4.2	71.1	6.05	4.6	4.2	70.7	5.60	4.6	5.0	68.3	7.10
4#	5.0	4.0	74.6	8.01	4.6	5.2	70.3	5.51	4.7	5.0	70.7	5.51
5#	4.5	3.2	75.0	6.93	4.6	5.6	66.7	6.02	4.8	4.2	72.4	5.10
1#	4.3	4.1	74.1	7.69	4.6	5.4	65.8	5.10	4.8	7.1	64.3	5.95
2#	5.1	6.8	63.0	5.23	4.8	6.9	60.1	5.53	4.6	10.8	46.6	5.03
3#	4.5	4.3	71.3	8.12	4.9	5.0	69.8	6.50	4.8	8.7	55.3	4.86
4#	4.6	4.3	72.3	7.83	5.0	5.8	67.0	6.18	5.0	7.7	59.9	6.59
5#	4.2	5.2	64.7	5.73	4.5	6.1	63.5	5.18	4.5	7.8	62.8	6.33

注:表中油石比均指最佳用油量,表中仅列入沥青混凝土的空气率、饱和度和稳定度

4 沥青混凝土的分类

综观当今世界各国使用的沥青混凝土可分为两类 4 种。一类是密实式沥青混凝土,其孔隙率或空气率 V_a 常为 3%~4%,因而透水性小。由于矿料颗粒级配的组成方式不同,密实式沥青混凝土又可以区分为 3 种,它们分别是传统连续式密级配沥青混凝土、粗集料断级配沥青混凝土和细集料断级配沥青混凝土。第二类是多孔隙沥青混凝土 PAC,它是开级配沥青混凝土,其孔隙率常在 18% 以上,最大的达 28%。由于多孔隙沥青混凝土常被用作磨耗层,所以一些国家称其为开级配磨耗层 OGFC。

4.1 传统连续式密级配沥青混凝土

美国研究沥青混凝土的矿料级配已有近 100 年的历史。早在 20 世纪初美国学者富勒(Fuller)发表了组成最大密度沥青混凝土的公式,称富勒公式,如下式:

$$P_d = \left(\frac{d}{D} \right)^{0.5} \quad (1)$$

式中: d ——某一筛孔尺寸(mm)

D ——最大粒径(mm)

P_d ——筛孔尺寸 d 的通过百分率(%)

直到 1964 年,美国联邦公路局才将幂值 0.5 改为 0.45,使矿料级配较细。该公式被许多国家的道路工作者使用了大半个世纪,在美国一直使用到 1993 年。按照上述幂函数组成的矿料级配,由于已使用了近百年,所以俗称其为传统连续式密级配。在国外,常用的沥青混凝土孔隙率,20 世纪 80 年代以前为 2%~5%。后来,有的国家采用 3%~5%,也有的国家采用 3%~4%。

中国《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032-94)中的 AC-xxI 属于这种传统连续式密级配沥青混凝土

土,其孔隙率被定为3%~6%。结合对压实度的要求分析, V_a 达6%显然偏大。

4.2 粗集料断级配沥青混凝土

矿料中,粗集料占一半以上,同时又不能同一个幂函数拟合矿料级配曲线时,称作粗集料断级配沥青混凝土。

粗集料断级配沥青混凝土有法国1982年建立的BBM(薄沥青混凝土)、德国1984年制定规范的SMA、中国1988年研究成功的SAC和美国1993年发表的SUP。实际上,粗集料断级配沥青混凝土有悬浮式密实结构和骨架密实结构两种。

4.3 细集料断级配沥青混凝土

矿料中,细集料占一半以上,同时不能用一幂函数拟合矿料级配曲线时,称作细集料级配沥青混凝土。如英国的热压式沥青混凝土,德国的浇注式沥青混凝土等。

上述3种密实沥青混凝土各有特点和能适应的交通状况背景。传统连续式密级配沥青混凝土的惟一特点是空隙率小、水不易侵入并导致水破坏。粗集料断级配沥青混凝土的特点是既密实、空隙率小,高温抗永久变形能力强,又有优秀的抗滑能力,特别是骨架密实结构粗集料断级配沥青混凝土的后两个性能更好。

在20世纪50年代以前,公路交通量不大,特别是重型货车少,沥青混凝土面层的主要早期破坏是水破坏。所以一直使用传统的连续级配。随着高速公路兴起,一些发达国家开始研究影响交通事故的因素和提高路面抗滑性能的措施。随着高速公路上重型货车数量和载重量的增加,沥青混凝土路面的早期破坏除水破坏外,又增加了辙槽和泛油。为适应交通状况的显著变化和解决沥青面层的早期破坏,从1982年开始,先后在法国、德国(1984年)、中国(1988年)和美国(1993年)产生了粗集料断级配沥青混凝土,而且近几年来,骨架密实结构粗集料断级配沥青混凝土用得愈来愈多,并为日益增多的路面工程师所接受。它也是当前沥青混凝土矿料级配发展的总方向。

5 沥青混凝土设计原则

从设计角度讲,由于矿料级配对沥青混凝土的性质有很重要的作用,所以早在100年以前,在美国就有一些学者开始研究矿料的级配问题。美国SHRP于1993年春发表的SUP中又提出了7个控制点和1个限制区的矿料级配设计方法。但后者并没有作为一项硬性要求。后来的一些试验证明通过限制区的矿料级配,其沥青混凝土的性质并不次于不通过限制区矿料级配沥青混凝土的性质。

把最大密度级配线、控制点和限制区都画在一张图上,见图1。因此,Superpave并不主张用图上对角线幕值为0.45的连续级配。它要求级配线既通过图上的7个控制点之间,原先要求又不要进入限制区,这样的级配线就不再是连续级配。在美国通常要求级配曲线走在限制区的下面,并称其为粗集料断级配。SUP矿料级配组成方法的发表,实际上等在美国放弃了使用近百年的传统连续级配。应该说,SUP的矿料级配设计没有明确的原则,属于纯经验性的。其矿料级配密实性、骨架性不足,是一种悬浮式密实结构。

20世纪90年代初,美国得克萨斯州交通厅根据混合料中碎石与碎石最佳接触的理论,提出了新粗骨架高结合料含量混合料的设计方法。美国于2002年又发表了热拌混合料矿料级配的贝雷设计方法。其基本思想也是要用粗集料形成骨架,使设计的沥青混凝土具有较高的高温抗永久变形能力。同时通过调整粗细集料的比例,获得合适的VMA,以保证设计的混合料具有较好的耐久性。

SAC矿料级配的设计原则是用粗集料形成骨架,用细集料填充骨架中的孔隙,使设计得到沥青混凝土既密实空隙率小,使水不容易透入,又具有较高的高温抗永久变形能力。

用做表面层时,还具有良好的抗滑性能。根据沿线气温和交通量及车辆组成的需要,既可设计成骨架密实结构,又可设计成密实但骨架稍有撑开的结构,甚至设计成悬浮式密实结构。

但是,不管用什么方法设计出的矿料级配,都必须在室内用合适的仪器进行沥青混凝土性能的试验研

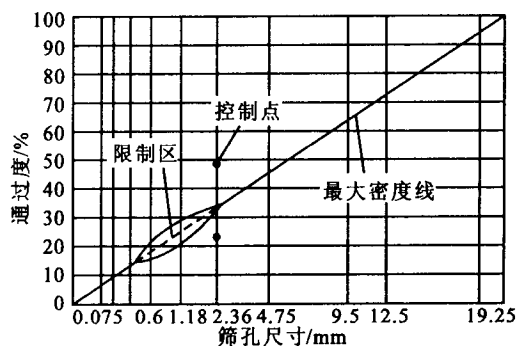


图1 Superpave的矿料级配设计方法图

究,以证明其性能确实符合要求。更重要的,还必须通过工程实践的检验,证明其实际使用性能满足要求。

6 目前矿料级配设计中存在的问题

6.1 目前矿料级配设计与计算方法

从上述分析可以清楚地看到目前矿料级配设计与计算的方法有:

(1)在国外,只有对传统连续级配有一个矿料级配计算方法,即美国的 FULLER 公式;前苏联也有一个计算方法,称 K 法;国内林绣贤教授也提出过一个计算方法,称 I 法。

(2)对于目前广泛使用的粗集料断级配沥青混凝土的矿料级配,国内外文献上都没有看到有计算方法。各个国家都凭自己的经验确定一个较宽的级配范围或一条级配曲线(仅法国)。让使用者按照较宽范围的中值和根据矿料的组成,自己选择一条级配曲线。然后通过试验确定所选定级配的沥青混凝土的性能指标是否符合要求。如不符合要求,就重新调整级配和再重复做试验。

这种方法不能事先判断所用的矿料级配将提供什么性能,如其沥青混凝土的透水性如何,抗高温永久形变能力如何,可能需要用多少沥青,以及如果性能不符合要求,该如何调整级配等。

由于这种方法的严重缺点,使用者只能凭自己的经验在规定的级配范围内进行调整,或按照规定范围中的中值配料。配出来的沥青混凝土的物理-力学性质是否符合要求,则心中无数。只能等待性能试验做完后,才能知道矿料级配是否合适。但是,性能的指标值又缺少实践依据。因此,这种方法费时、费力又费钱。

6.2 目前热门的几种粗集料断级配矿料级配设计方法

为了弥补上述方法的缺点,国内外都有学者在研究如何为粗集料断级配提供一个合适的矿料级配设计方法。例如:

(1)美国的 Bailey(贝雷)法

国内有些学者和路面工程师认为,采用此方法设计出的沥青混合料,在压实后具有良好的骨架结构,同时可以达到密实的效果。贝雷法按照惯例将沥青混合料中的矿料分为形成骨架的粗集料和填充孔隙的细集料,只是粗细集料的分界筛孔尺寸随标称最大粒径 $D_{\max, n}$ 而变。通常采用 0.22 倍标称最大粒径的筛孔作为粗细集料的分点。同时将此分界点作为第一个控制筛孔 (PCS),将 0.22 倍 PCS 的筛孔尺寸作为第二个控制点 FAC,将 0.22 FAC 的筛孔尺寸作为第三个控制点 FAF。然后用下列 3 个比值,式(2)、(3)、(4) 检验曲线。

$$CA = \frac{\frac{PD_{\max, u}}{2} - P_{PCS}}{100 - \frac{PD_{\max, u}}{2}} \quad (2)$$

$$FAC = \frac{P_{FAC}}{P_{PCS}} \quad (3)$$

$$FAF = \frac{P_{FAF}}{P_{FAC}} \quad (4)$$

式中: $\frac{PD_{\max, u}}{2}$ —— $\frac{1}{2}$ 标称最大粒径筛孔的通过质量(%);

P_{PCS} —— 第一个控制筛孔尺寸的通过质量(%);

P_{FAC} —— 第二个控制筛孔尺寸的通过质量(%);

P_{FAF} —— 第三个控制筛孔尺寸的通过质量(%)。

贝雷法要求 CA 值在 0.4 ~ 0.8 之间,并认为 CA 值小于 0.4,则沥青混合料容易产生离析和难以压实;要求 FAC 值和 FAF 值都小于 0.5。

据介绍,用贝雷法作矿料级配设计非常复杂,整个计算和修正过程需要有相应的试验规程和计算机设计程序。该方法从理论基础到实际应用都还存在着一些问题,例如:采用的是平面三圆模型,控制点和级配参数计算都是采用的标准筛孔尺寸,并没有真正按照 0.22 倍确定的筛孔的通过质量(%)来计算 CA、FAC 和 FAF 值;实际上它只控制相距较大的 3 个筛孔的通过量。因此,在国内仅将它用于检验级配,而且即使这 3 个比值没有完全符合要求,沥青混凝土的性能也不一定不好。相反,即使这 3 个比值完全符合要求,也不一定不