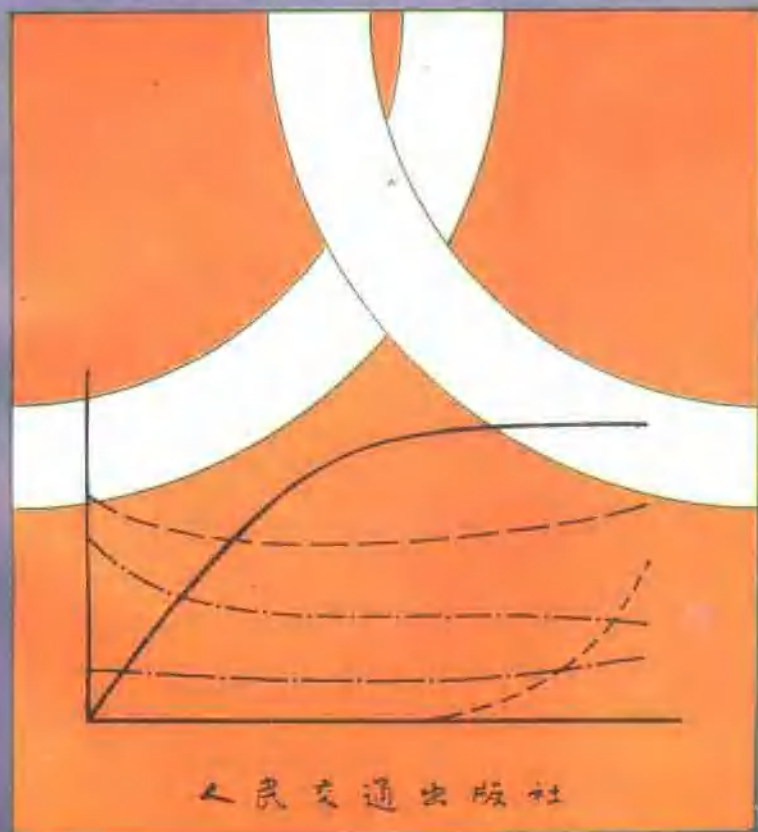


高等级公路 路面耐久性

汤林新 刘治军 王永森 虞勋忠 编著



高等级公路路面耐久性

Gaodengji Gonglulumian Naijiuxing

汤林新 刘治军 王永森 虞勋忠 编著

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

高等级公路路面耐久性/汤林新等编著. -
北京:人民交通出版社,1996.5
ISBS 7-114-02283-2

I. 高… II. 汤… III. 路面, 高级 耐用性 IV.
U416.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第
14980 号

高等级公路路面耐久性

汤林新 刘治军 王永森 虞勋忠 编著

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

通县向阳印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:10.5 字数:239 千

1996 年 3 月 第 1 版

1996 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—1600 册 定价:19.00 元

ISBN 7-114-02283-2

U · 01578

内 容 提 要

耐久性是高等级公路路面在使用过程中,在内部的或外部的、人为的或自然的因素作用下,道路保持优质路况的一种性能,亦是路面使用性能方面的一个十分重要的综合性指标。虽然影响路面耐久性的因素极为复杂,但在一定的条件下,决定路面耐久性最关键的因素则是筑路材料本身的化学组成和路面的施工工艺。

本书对高等级公路的修筑和用料选择有技术指导和参考价值,可供从事这方面研究与应用的人员使用和参考。

前 言

在实际应用中,人们要求高等级公路路面有尽可能长的使用寿命。采用新的筑路材料和施工工艺,可以大幅度提高路面的耐久性,而延长路面的使用寿命在国民经济中占有相当重要的地位,同时亦是公路部门面临的一个亟待研究解决的课题。

本书系统地阐述了90年代初路面耐久性的现状,它反映了近年来国内外提高路面耐久性研究的最新成就。全书共分六章:第一章由刘治军、王永森编写;第二章由汤林新、刘治军编写;第三章由刘治军、虞勋忠编写;第四章由帅希文、李云华编写;第五章由王永森、谢旭峰编写;第六章由虞勋忠、任志博编写。

本书是专门讨论高等级公路路面耐久性的第一次尝试,因此不论在编写体例及内容的取舍方面肯定会有许多不妥之处,甚至会有不少缺点和错误,恳请读者予以批评指正。

在编写过程中承蒙同济大学欧阳妙龄和四川省交通厅公路局钟德鹏大力协助,特此表示谢意。

本书由同济大学高级工程师吕伟民初审;由交通部重庆公路科学研究所研究员(教授)、国家级专家刘茂光终审。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 高等级公路沥青路面的耐久性	(3)
第二节 沥青路面材料	(16)
第三节 改性沥青	(55)
第二章 提高沥青路面的耐久性	(65)
第一节 低温开裂	(65)
第二节 沥青的老化	(76)
第三节 沥青的防老化添加剂	(87)
第四节 聚合物改性沥青	(92)
第五节 EPS 改性沥青	(117)
第三章 提高沥青路面耐久性的新技术	(134)
第一节 沥青路面品质的评价方法及调查	(134)
第二节 沥青路面使用品质的变化及改善	(142)
第三节 减少沥青混合料水害的技术	(147)
第四节 沥青路面车辙和龟裂的防治	(151)
第五节 掺溶剂提高沥青路面的维修质量	(166)
第六节 沥青路面维修新技术	(174)
第七节 沥青路面的快速施工	(179)
第四章 道路水泥及混凝土外加剂	(187)
第一节 硅酸盐水泥	(189)
第二节 路用水泥的品质	(191)
第三节 道路混凝土外加剂	(205)

第四节	道路混凝土外加剂的选择·····	(230)
第五章	混凝土路面的耐久性·····	(239)
第一节	混凝土的渗透性·····	(239)
第二节	混凝土的抗冻性·····	(242)
第三节	混凝土的收缩·····	(249)
第四节	混凝土耐久性综合症及其防治·····	(251)
第五节	路面施工碾压新技术·····	(257)
第六节	提高水泥混凝土路面的耐久性·····	(265)
第七节	水泥混凝土道路的发展·····	(269)
第六章	水泥混凝土路面病害及其维修·····	(277)
第一节	水泥混凝土路面病害的分类及其原因·····	(277)
第二节	混凝土路面的损坏及防治·····	(295)
第三节	水泥混凝土路面的维修·····	(306)

第一章 概 述

高等级公路路面耐久性涉及设计、材料学和工艺学等多方面的技术要求,是一个综合性的问题。提高路面的耐久性,要考虑材料性质掺合物的配比、混凝土的结构、工艺因素、营运和气候作用等方面的相互联系。

在荷载与自然因素长期作用下,路面结构的使用性能在不断变化,就总体而言是个衰减过程。为了保证使用寿命,无论设计与施工都应该概括这个衰减过程,但是衰减过程的周期长达20年以上,荷载、自然因素、路面结构三者相互作用因具体条件而变化,加上人为的养护等因素,它的规律错综复杂。就高等级公路而论,不仅巨额投资要求确保使用寿命,而且作为经济命脉,也不能容许经常修复甚至中断交通大修,因此提高路面耐久性的研究,势在必行。

为保证高速交通在高速、安全、经济和舒适四方面的功能要求,对道路表面特性的研究已经由最初的平整度、滑溜扩展为车辙、裂缝、噪声和反光特性等。为了获得满意的路面特性,大量的技术措施集中在表层材料的选择、混合料的组成设计与工艺等方面,以求建立结构性、使用性能与功能性、使用性能之间的内在联系。

道路工程技术的发展,离不开相关技术的发展,目前科学技术已经发展到多学科间相互渗透交叉及相互综合促进的时代,跨行业、跨学科的研究已显得非常突出。在许多领域,如机械、化工和电子等,其技术的发展,主要表现在材料与工艺的

革新上。同样,道路工程技术也不例外,材料和工艺技术的改进始终是最重要和最基础的,在道路建设中出现的问题,绝大部分都与材料及施工工艺有关。新的结构功能不仅需要对材料进行严格要求,加强材料应用技术的研究,而且要开发新材料与新工艺。在沥青路面结构工程方面相当多的注意力集中在改性沥青上。在沥青改性方面,几十年来在选择外加剂方面进行了大量的工作,试验研究取得了不同程度的效果,相比之下,推广应用却进展缓慢。现有的沥青技术性质是用一个多指标体系控制的,因此必须注意平衡,个别性质具有突破性的提高时必须注意是否削弱了其它,总体是否能在所应用的条件下平衡。许多功能的要求常常相互矛盾,不仅车辙与低温开裂是一对矛盾,抗滑与耐久性,抗疲劳与低温抗裂等都存在矛盾。总之,高速交通引出了一些新的矛盾。平衡和统一多功能所要求的多种相互交叉的矛盾是不易解决的,国际道路界也正在着手研究。沥青是分子量大的高分子化合物,不解决掺配工艺的均匀性,很难从实验室转化为工地生产应用,所以必须加强掺配工艺与设备的技术开发,发挥多学科联合攻关的作用。

材料改性可以通过化学的、物理化学的方法,但也可以通过物理的方法,目的只有一个。满足高速交通的要求,提高路面的耐久性。如塑料格栅在沥青路面结构工程中的应用,这是一种物理改性。由于所用塑料的力学性质与沥青混合料相协调,格栅的抗拉强度得以发挥,使沥青结构层在模量少量增加的同时,大幅度地提高了抗拉强度,从而获得了沥青结构层最不容易提高的力学特性——韧性。在路面结构工程中应用格栅不仅可使车辙减少50%,有效地防治反射裂缝,还可使疲劳裂缝发生时间晚1~9倍。

满足高速交通对路面功能在速度、安全、经济和舒适四个

方面的要求,是高等级公路建设的一个突出问题,为此在材料、工艺和结构三方面都需要进行相应的调整、开发和发展。采用优质材料和先进工艺,才能提高路面的耐久性,防止道路的早期破坏,获得显著的社会经济效益。

沥青路面较容易产生一些损坏现象,从而影响其使用性能和耐久性。沥青路面的损坏现象主要有辙槽、温度裂缝、疲劳破坏和平整度差,而水的侵入和沥青的老化又会加速路面损坏。水泥混凝土路面不论其修建在什么基础上,随着时间的推移,均会产生各种形式的裂缝,并不断地发展成为宽裂缝。裂缝一旦出现,修复十分困难。

“七五”以来,我国相继建成了一些高速公路。这些高速公路虽然克服了以往新建一、二级公路常发生的路面过早破坏现象,但仍出现了一些损坏现象,例如:(1)构造物两端填土沉降和软土地基沉降使开放交通后路面平整度急剧变坏,直接影响车速和行驶舒适;(2)局部路段产生网裂、唧浆和坑洞;(3)有的路段由于使用的沥青质量不好,路面温度裂缝过多;(4)部分路段辙槽严重,甚至超过 30mm。

我国高速公路上的交通量不大,一般只有 1 万辆左右,而国外一些高速公路上的日交通量达 20 多万辆。交通量不大,路面发生的损坏现象不少,它反映了我国建设高等级公路的技术力量不足和缺少经验,这就要求我们加强研究如何提高路面的耐久性这一问题。

第一节 高等级公路沥青路面的耐久性

随着我国国民经济的发展,交通量迅速的增加,特别是重车的比重日益增加,公路部门面临着修建越来越多的高等级公路的任务。到 2000 年,国家对高等级公路的投资将达 200

多亿元,因此,必须对高等级公路结构进行深入研究,制订出一套在生产实践中行之有效的措施,才能使国家的巨额投资发挥最大的效益,从而促进国民经济的发展。

在高等级公路中,路面结构通常是由面层(包括面层上层、面层下层、连接层)、基层(包括基层上层、基层下层)和垫层组成,这是一种多层结构。对于多层结构,以往多假定为由面层、基层和路基组成的三层体系进行设计。对于公路等级不高的路面结构这样做是合理的,但是对于需要巨额投资的高等级公路,就有必要针对具体的多层结构进行深入的分析,寻找在技术上最合理的结构组合及各层的最佳厚度和模量,为半刚性基层沥青路面的结构设计提供理论依据。在进行高等级公路半刚性基层沥青路面这种多层结构的弯沉和荷载应力分析时,采用了当前国际上通用的多层弹性层状体系理论,再采用 R. V. Southasell 给出的轴对称课题基本方程式。在求解时,对于多层体系,目前国内已提出“系数递推法”、“反力递推法”及“矩阵代数法”等,并依此编成电算程序,可计算任意层次、不同接触面条件下任意点的应力与位移。通过大量计算和分析,对于高等级公路半刚性基层沥青路面的弯沉和应力可得出以下的一般规律:(1)在路面设计中,为满足弯沉指标的要求,以提高路基强度为宜。其次是改善和提高底基层、基层材料的刚度或增加其厚度。在设计中必须重视路面结构在高温时的反应。沥青层表面的弯沉与半刚性基层表面的弯沉几乎相同,说明半刚性基层沥青路面的承载能力可依靠半刚性基层来达到,不需沥青面层做贡献。(2)除了人们熟知的黑色面层、半刚性基层底面承受着拉应力外,计算结果发现,底基层底面有可能承受着比基层底面更大的拉应力,因此在结构组合中,该层似应采用比基层更好的材料来铺筑。结构层材料(或模量)的变化仅对其上相邻及本身底面的拉应力产生影

响,而对其余层次的影响不大。在改善路面结构的应力状态方面,首先以提高路基强度为宜,其次是选择适当的底基层、基层材料。(3)表面弯沉大致相同的结构,其抗弯拉、疲劳寿命有可能大不相同,分析与计算表明,加强基础、减薄面层是完全可能的。对黑色面层下级配碎石层,考虑了其应力-应变关系的非线性特性,使面层结构的受力状态有所改善。该层的设置对防止反射裂缝是有利的。(4)对于基层、底基层,除了考虑春融季节的受力状态外,还应注意它在高温时的反应。(5)在路面设计中,不仅要有弯沉,还必须有弯拉作为指标来控制,设计时所用的材料参数宜通过试验分析确定。

一、高等级公路沥青路面面层结构

(一)路面结构层的划分

高速交通的发展正冲击着有关路面结构的理论、原则与设计方法。因为已有的理论、原则和方法是以非高速交通下路面工程的经验总结和层状弹性理论分析为基础建立的。分类是科学研究成果长期积累的凝聚,早期的设计方法只确定路面层厚而不论用的何种材料,发展到今天路面结构层划分为面层、基层、垫层,明确各结构层的作用、指标、计算方法和典型材料,这集中反映了路面工程的技术进步,其主流强调了路面结构的强度与稳定性。例如,基层主要承受由面层传来的车辆荷载垂直力,并把它扩散到垫层和土基中,故基层应有足够的强度和刚度。而大量的工程实践证明,基层的刚度必须适中,并具有较小的干缩与低温收缩变形,否则反射裂缝的发展会导致路面功能的恶化。

尽管高速公路沥青层已发展为三层结构,但就其主流而言,仍然偏重强度与稳定性。目前高速公路路面结构设计大都采用上层中粒式,中层粗粒式,下层黑色碎石。路面结构承受

着汽车荷载,应力分布上大下小,所以结构设置上强下弱。

当沥青层为三层结构时,上层以满足抗滑、防噪声、抗低温缩裂、排水和抗剪切滑移为主,中层以抗车辙、抗低温缩裂和抗渗为主,下层则以抗疲劳和抗渗为主。沥青路面结构按不同沥青层厚度分为薄层(50~70mm),中层(<200mm),厚层(<300mm),各层的应力应变状态是不同的。随着厚度增大到一定程度,沥青层的受力状态可以划分为三个区,从而明确不同的力学要求:

沥青层分区	受力状态	力学要求
上 层	三向压缩区	抗剪切滑移
中 层	竖向压缩区	抗竖向压缩
下 层	两向拉伸区	抗疲劳

在力学分析的基础上再综合功能方面的要求,就可以深化沥青层的划分,相应提出各沥青层不同的技术指标与要求。这是具有十分重大意义的,它不仅是材料组成设计的依据,而且最大限度地缓解了对路面多功能要求后引起的矛盾,因为很难做出满足全功能要求的(平整、抗滑、抗车辙、抗裂、抗渗、排水、抗疲劳、防噪声等)沥青混合料组成设计。划分为应达到不同技术指标与标准的各沥青层后,材料组成设计的工作量表面上增加了,实际上因不必要做满足全功能要求的组成设计,工作量反而减少了,可以充分发挥材料的潜力,大大降低成本。特殊情况下(材料供应或自然因素等),还可以调整结构因素,以保证工程质量,延长使用寿命。

(二)面层结构类型

采用何种类型的沥青路面结构以适合高速交通、高等级公路的需要,已成为路面工作者所关注的重要课题。应元成等进行了国产沥青面层耐久性和防滑性的研究,阐述了嵌入式与灌注型两种面层结构的设计、材料、施工及实际效果。嵌入

式沥青混凝土路面层是一种值得推广的油路面层结构;灌注型沥青混凝土是一种有发展前途的新型面层结构。

1. 嵌入式沥青混凝土 在厚度为 2cm 细集料最大粒径 5mm 的沥青胶砂混凝土层上,嵌入粒径 10~15mm 经沥青预拌的硬质矿料,组成嵌入式沥青混凝土面层,属悬浮密实型结构。2cm 沥青胶砂层空隙率小(1%~3%),密水性好,耐久性好。表面嵌入硬质矿料,在合适的施工工艺下,使凸出在面上的硬质矿料与胶砂层面间从宏观上形成粗糙面,而硬质矿料本身的耐磨表面从微观上保持其粗糙度,最终获得粗糙、耐磨、密水、抗滑的表面效果,这就是嵌入式沥青混凝土的特点。

(1)材料级配与技术要求:胶砂混凝土作为该结构层的主体,首先是从其密实程度来保证力学强度的,故矿质混合料采用密级配,以 2.5mm 与 0.074mm 作为主要控制粒径,级配曲线符合交通部施工技术规范 LH-5-I 型范围,为保证该胶砂混凝土层的热稳性,不使其嵌入的硬质矿料在行车作用下挤入胶砂层而失去防滑作用,采用稠度较高的茂名 60 号乙石油沥青和选用当地产石灰石石屑。矿质混合料级配设计是注重 $>2.5\text{mm}$ 主骨料含量百分率,以利形成一定的骨架。适当控制 $<0.074\text{mm}$ 填充料含量,以保证沥青胶结物的数量,同时碱性矿料与沥青良好的粘附性使胶结物具有致密的结构沥青,以获得粘聚力与内摩阻力都较理想的沥青混合料。最佳沥青用量的确定采用马歇尔试验法,在现行规范推荐的用量范围内,以稳定度 $S \geq 8\text{kN}$ 、流值 f 为 20~40(10mm)、空隙率 $V_v \leq 1\%$ 作为控制指标,采用油石比 7.0%~7.5%。

(2)预拌沥青嵌入矿料的技术要求:嵌入矿料的目的是提高抗滑性,故从保证矿料耐磨性、矿料与胶砂层的粘结性及利于形成凹凸宏观表面出发,在选材上考虑以下几个方面:a)矿料的耐磨性。选用压碎值小、磨光值最好的石英砂岩。b)矿料

表面性质。矿料应具有粗糙表面、多棱角、形似立方体,且尽量减少平行面,使露出胶砂层的矿料为某一个角锥形而不是某一个平面。c)嵌入矿料与胶砂层的粘结。粘结质量的优劣直接影响到整个面层结构的成型与稳定,除了在施工中严格掌握合适的嵌入时机外,对于组成材料的处理,仍采用与胶砂层用油一致的茂名 60 号乙石油沥青,用 2% 的油石比进行硬质矿料预拌,并掺入 0.4% 的活化剂以提高与硬质矿料的粘附性。d)嵌入矿料粒径选择。对于防滑路面提出绝对构造深度在 6~10mm 之间为宜,为保证嵌入矿料与胶砂层的联结,一般理想的嵌入深度应为矿料粒径的 $1/2 \sim 1/3$,故选用嵌入矿料粒径为 10~15mm。

(3)面层施工:胶砂混凝土主层施工与一般沥青混凝土相同,但碾压时仅初碾一遍,即可均匀撒铺预拌沥青的硬质矿料,然后用轮胎式压路机碾压成型开放交通。该面层的施工关键是精确掌握嵌入矿料的嵌入深度,使面层达到理想的宏观构造,并保证整个结构层的稳定性。为此,施工中应掌握以下环节:a)胶砂层的适度初碾。采用 6~8t 压路机碾压一遍,轮迹不必重叠,并保证混合料碾压温度为 70~100℃。b)工序间紧密联结。胶砂层初碾后,应及时撒铺嵌入矿料。c)嵌入矿料用量。矿料撒铺面的大小与抗滑表面的形成密切相关,经测试,撒铺大小与路表构造深度之间存在着如表 11 的关系。

表 11

矿料撒铺面积(%)	80	50~60	40~50	30~40	10	<5
构造深度 TD(mm)	0.8	0.66	0.53	0.45	0.3	≤0.2

矿料铺撒时首先应以不重叠为度。为达到满意的 TD 值,嵌入矿料撒铺面应占 50% 以上,其用量为 6~7kg/m²。d)严格控制胶砂层油石比。试验路检测时,发现局部嵌入矿料分布稀疏之处,矿料多数已被压入胶砂层内,仅表面外露并与胶砂

层面齐平,造成局部光面,据现场分析,是由该处胶砂层用油量偏多所致。随着气温升高,胶砂层相对变软,矿料被车轮压入,所以施工中必须严格掌握胶砂层的实际用油量,同时尽可能采用稠度高的沥青。d)嵌入矿料的碾压。矿料的嵌入状态是形成理想粗糙面的关键,为此必须十分重视嵌入矿料碾压工艺,采用轮胎式压路机碾压,既保证矿料有一定的嵌入深度,又使多数矿料棱角向上,效果较好。

2. 灌注型沥青混凝土面层在开级配沥青混凝土的空隙部位,以掺有粘性乳液的特殊水泥浆加以填充,水泥浆硬化而成的人造骨料成为填充在开级配沥青混凝土骨料间的嵌缝料,达到骨架密实型,同时使混合料兼备柔性与刚性路面的特点。该面层的最大优点是在高温条件下抗塑变能力强,耐热性好,且特殊乳浆中树脂类添加剂能避免水泥硬化引起的收缩裂缝,克服一般刚性路面的不足,使之能适应湿热地区高速交通量的需要。

(1)特殊水泥乳浆:特殊水泥浆是获得半刚性沥青面层的关键,它要求有适度的粘性、耐油性、耐水性、抗腐蚀等物理化学性质,并具有合适的稠度能顺利地灌注于开级配沥青混凝土空隙之中,以其本身的胶凝性能成为密实的整体。同时乳浆还必须具有较高的抗弯、压、剪等力学性能,以改善沥青混凝土的力学强度。采用7d龄期抗压强度 $15\sim 25\text{MPa}$ 、抗折强度 $\geq 31\text{MPa}$ 作为乳浆设计的力学指标。采用425号普通硅酸盐水泥作为胶结料;107建筑胶水、聚醋酸乙烯、水玻璃等作为增加柔韧性的特殊添加剂;粉煤灰、砂等作为填充料,按水泥软炼标号测试方法,制成不同掺配比例的 $4\text{cm}\times 4\text{cm}\times 16\text{cm}$ 小梁试件,测定7、14、28d龄期抗折、抗压强度,最后从技术经济要求出发,选用两种配合比作为试验路特殊水泥乳浆使用。

开级配沥青混凝土作为半刚性沥青面层的主体,其本身

的强度和稳定性是十分重要的。同时主体混凝土空隙率的大小是能否使特殊水泥浆达到全渗透型的另一个主要指标。参考日本等国外同类面层资料,对开级配沥青混凝土提出两个主要技术指标:a)空隙率 $2(\%) \sim 25(\%)$;b)马歇尔稳定度值 $\geq 2.5\text{kN}$,流值 $20 \sim 44(1/10\text{mm})$ 。矿质混合料采用我国公路沥青路面施工技术规范LS-20为级配标准。为提高耐磨性,6~13mm主骨料选用磨光值42.7的闪卡岩碎石(青石)。选用胜利100号石油沥青,按油石比 $2\% \sim 4\%$ 范围作马歇尔稳定度试验,根据主体混凝土是在轻碾后再灌入水泥乳浆的施工程序,采用双面各击实50次成型马歇尔试件,通过对12组不同矿料与油石比试件各项指标的测试,获得满足指标要求的材料组成。

(2)半刚性沥青混凝土:灌注型半刚性沥青混凝土意在解决高速、重交通、大交通量下沥青路面因塑性变形而可能产生车辙的问题,故仍选择马歇尔稳定度作为评价该类面层性能的主要参考,提出半刚性沥青混凝土7d龄期马歇尔稳定度值 $\geq 10\text{kN}$ 作为技术指标。

(3)面层施工:开级配沥青混凝土主层与嵌入式胶砂混凝土主层的施工相同,经6~8t压路机初碾两遍后再待灌浆。特殊水泥浆按配合比采用人工就地配拌,并用人工洒泼、机械碾压。即先按预估渗透量在开级配混凝土上划分段落,洒泼均匀,再用手扶振动压路机来回振压4~6遍,使乳浆充分灌入空隙中,再用轮胎压路机碾压2~3遍,用木板刮除多余浆面,竹扫帚横向打浆整饰,封闭6~8h后即可开放交通。

3. 两种面层的路用品质对试验路进行实地定点检测的结果表明,上述两种面层的使用品质均满足高等级公路沥青混凝土路面抗滑标准值,嵌入式面层凡矿料撒铺面在50%以上地段,路表摩阻系数摆值 f_s 均大于0.5,构造深度合适,渗