

公路与桥梁工程 病害防治及检测修复 实用技术大全



长春出版社

公路与桥梁工程病害防治 及检测修复实用技术大全

(中卷)

主 编 张 晖

长 春 出 版 社

总 目 录

公路工程部分

- 第一篇 公路工程结构可靠度理论及其应用 (上卷, P1)
- 第二篇 公路工程常见病害与防治 (上卷, P141)
- 第三篇 公路工程试验方法 (上卷, P229)
- 第四篇 公路路基路面检测技术及仪器设备 (上卷, P361)
- 第五篇 水泥混凝土路面修补技术 (上卷, P491)
- 第六篇 公路路面耐久性的检测与提高 (中卷, P605)
- 第七篇 公路工程养护 (中卷, P767)

桥梁工程部分

- 第一篇 力学性质、地质土质及混凝土试验 (下卷, P1387)
- 第二篇 桥梁检测技术及设备 (下卷, P1433)
- 第三篇 桥梁结构病害防治与加固 (下卷, P1503)
- 第四篇 钢筋砼梁桥的体外预应力加固技术 (下卷, P1755)
- 第五篇 桥梁养护 (下卷, P1856)

本卷目录

第六篇 公路路面耐久性的检测与提高

第一章 概 述	(607)
一、高等级公路沥青路面的耐久性	(608)
〈一〉高等级公路沥青路面面层结构	(609)
〈二〉高等级公路沥青路面耐久性	(612)
二、沥青路面材料	(615)
〈一〉对沥青路面的基本要求	(615)
〈二〉沥青的路用指标与要求	(618)
〈三〉沥青性能与路面损坏机理	(620)
〈四〉矿质材料	(628)
〈五〉沥青混凝土	(634)
三、改性沥青	(635)
〈一〉沥青改性剂	(635)
〈二〉改性沥青的适用性	(639)
第二章 提高沥青路面的耐久性	(642)
一、低温开裂	(642)
〈一〉低温开裂原理	(642)
〈二〉沥青和沥青混合料的粘弹特性	(646)
〈三〉劲度模量	(646)
〈四〉寒冷地区道路沥青感温性能	(646)
二、沥青的老化	(648)
〈一〉沥青的老化机理	(649)
〈二〉沥青光氧化老化	(650)
〈三〉沥青的热氧化老化	(652)
三、沥青的防老化添加剂	(654)
〈一〉抗氧化剂	(655)
〈二〉光屏蔽剂	(656)

〈三〉 淬灭剂	(657)
四、聚合物改性沥青	(657)
〈一〉 PE 改性沥青	(658)
〈二〉 EVA 改性沥青	(663)
〈三〉 SBS 及 SBR 改性沥青	(668)
五、EPS 改性沥青	(672)
〈一〉 EPS 改性沥青的制备及改性原理	(672)
〈二〉 EPS 改性沥青的性能	(673)
〈三〉 EPS 改变沥青中石蜡的晶体结构	(676)
〈四〉 EPS 沥青的高低温性能	(680)
〈五〉 EPS 沥青的路用效果	(681)
〈六〉 EPS 沥青筑路的社会经济效益	(682)
第三章 提高沥青路面耐久性的新技术	(683)
一、沥青路面品质的评价方法及调查	(683)
〈一〉 沥青性能与路面损坏机理	(683)
〈二〉 沥青路面品质的调查	(685)
二、沥青路面使用品质的变化及改善	(688)
〈一〉 对路面养护的要求	(688)
〈二〉 沥青路面使用品质的变化	(688)
〈三〉 改善沥青路面结构材料	(689)
三、减少沥青混合料水害的技术	(690)
〈一〉 水损坏的作用机理及粘附理论	(690)
〈二〉 水稳性的影响因素	(692)
〈三〉 减小水害的处理方法	(693)
四、沥青路面车辙和龟裂的防治	(694)
〈一〉 沥青路面车辙深度预估方法	(695)
〈二〉 产生车辙的机理及其防治	(698)
〈三〉 沥青路面龟裂的防治	(700)
五、掺溶剂提高沥青路面的维修质量	(701)
〈一〉 掺有机溶剂提高路面维修质量	(702)
〈二〉 掺水溶性微量剂 BO	(703)
六、沥青路面维修新技术	(704)
〈一〉 沥青路面坑槽的修补	(704)
〈二〉 反射裂缝抑制方法	(706)
七、沥青路面的快速施工	(709)

〈一〉常规施工方法存在的问题·····	(709)
〈二〉快速施工技术的作用机理·····	(710)
〈三〉试验路的铺筑·····	(710)
〈四〉检 测·····	(711)
第四章 道路水泥及混凝土外加剂·····	(715)
一、硅酸盐水泥·····	(716)
〈一〉硅酸盐水泥的凝结和硬化·····	(716)
〈二〉水泥的主要技术性质·····	(717)
二、路用水泥的品质·····	(719)
〈一〉限制游离石灰的含量·····	(719)
〈二〉碱含量的限制·····	(720)
〈三〉限制水泥水化热·····	(720)
〈四〉使用水泥应注意的问题·····	(721)
〈五〉道路水泥的技术指标·····	(724)
三、道路混凝土外加剂·····	(726)
〈一〉混凝土外加剂概述·····	(726)
〈二〉混凝土掺外加剂的目的及应用前景·····	(727)
〈三〉外加剂的基本功能和特点·····	(729)
四、道路混凝土外加剂的选择·····	(739)
〈一〉道路混凝土应具备的基本性能·····	(739)
〈二〉桥梁、隧道用外加剂的选择·····	(741)
〈三〉选用外加剂注意事项·····	(742)
附表 TJ 与 MIS 混凝土道路专用外加剂·····	(742)
第五章 混凝土路面的耐久性·····	(745)
一、混凝土的渗透性·····	(745)
〈一〉混凝土孔结构及主要影响因素·····	(745)
〈二〉改善抗渗性的措施·····	(747)
二、混凝土的抗冻性·····	(747)
〈一〉混凝土的冻害机理·····	(747)
〈二〉混凝土抗冻性的主要影响因素·····	(748)
〈三〉提高混凝土的抗冻性·····	(750)
三、混凝土的收缩·····	(751)
〈一〉混凝土的收缩·····	(751)
〈二〉收缩的影响因素·····	(752)
四、混凝土耐久性综合症及其防治·····	(752)

〈一〉混凝土的耐久性问题·····	(752)
〈二〉混凝土耐久性综合症的防治·····	(754)
五、路面施工碾压新技术·····	(755)
〈一〉RCCP与普通混凝土的比较·····	(756)
〈二〉RCCP延长接缝间距的措施·····	(758)
〈三〉RCCP路面的摊铺与压实·····	(758)
〈四〉RCCP的耐久性·····	(760)
六、提高水泥混凝土路面的耐久性·····	(760)
〈一〉抗冻性是最大的影响因素·····	(760)
〈二〉提高混凝土路面的耐久性·····	(761)
七、水泥混凝土道路的发展·····	(762)
〈一〉新材料和新工艺的研究·····	(762)
〈二〉路面结构形式的多样化·····	(764)
〈三〉提高水泥混凝土路面施工平整度·····	(765)

第七篇 公路工程养护

第一章 公路养护概述·····	(769)
一、公路养护的目的和基本任务·····	(769)
二、公路养护的方针、政策·····	(769)
三、公路养护工程的分类·····	(770)
四、公路养护的管理体系·····	(771)
第二章 公路养护的技术管理·····	(773)
一、交通量调查·····	(773)
〈一〉调查的目的·····	(773)
〈二〉调查的主要内容与基本要求·····	(773)
〈三〉交通量观测·····	(774)
〈四〉车速调查与观测简介·····	(775)
〈五〉其他调查内容简介·····	(775)
二、公路路况登记·····	(776)
〈一〉路况登记的任务、作用·····	(776)
〈二〉路况登记的内容·····	(776)
〈三〉做好登记的几点要求·····	(776)
三、公路养护质量的检查与评定·····	(777)
〈一〉基本要求·····	(777)

〈二〉 分项计分标准	(778)
〈三〉 公路病害和缺陷的定义	(782)
〈四〉 养护质量综合值的计算	(785)
〈五〉 工程检查与验收	(786)
附录一 沥青路面施工及验收规范 (GB50092-96)	(788)
附录二 公路养护技术规范 (JTJ073-96)	(900)
附录三 公路养护质量检查评定标准 (JTJ075-94)	(1139)
附录四 公路工程质量检验评定标准 (JTJ071-98)	(1154)

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。

一、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

1. 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。

2. 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。

a. 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 >2.5mm 主骨料含量百分率,以利形成一定的骨架。适当控制 <0.074mm 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 (1/10mm)、空隙率 $V_v < 1\%$ 作为控制指标,采用油石比 7.0%~7.5%。

b. 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 1/2~1/3,故选用嵌入矿料粒径为 10~15mm。

c. 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 $70 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。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 1-1

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 $6 \sim 7\text{kg}/\text{m}^2$ 。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。

a. 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 20% ~ 25%;b) 马歇尔稳定度值 $< 2.5\text{kN}$,流值 20 ~ 44 (1/10mm)。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% ~ 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。

b. 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。

c. 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, 竹扫帚横向扫浆整饰, 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_0 均大于 0.5, 构造深度合适, 渗水系数接近于零, 路表弯沉仅 0.2mm; 灌注型面层构造深度为 0.77~0.54mm, f_0 均大于 0.5, 渗水系数接近于零。路表弯沉为 0.17~0.25mm; 整个试验路无任何车辙、推挤、泛油等热稳性不良的病害, 能满足湿热地区大交通量下沥青混凝土面层的行车需要。

造价与细粒式沥青混凝土比较, 嵌入式约增加 14%, 灌入型约增加 21%, 但养护费用可大大减少。若作为高等级公路面层类型推广应用, 则可以作进一步改进: a) 灌注型面层开级配沥青混凝土的稳定度可提高至 4kN, 为此宜适当提高油石比与沥青稠度, 使空隙率减少至 15%~20%; b) 进一步改善灌浆工艺, 确保全厚度渗透; c) 在保证有足够延度前提下, 大交通量下的沥青宜选用稠度较高者为好。在有优质沥青的情况下, 上述两种油路面层结构, 将会更好地发挥其自身的优点, 达到防滑和提高耐久性的目的。为保证路面整体强度与稳定性, 作为高等级公路必须采用半刚性路面基层, 上述半刚性沥青面层的厚度宜增至 4cm 为好。

〈二〉高等级公路沥青路面耐久性

数十年来, 各国的高等级公路主要采用沥青路面, 水泥混凝土路面仅占少数, 其主要原因是沥青路面上行车舒适, 噪声小, 沥青路面的养护和使用性能的恢复较容易; 沥青路面对路基形变的适应性较强, 面层可以分期铺筑, 以适应交通量增长的需要。

沥青路面较容易产生一些损坏现象, 从而影响其使用性和耐久性。即使在高等级公路上铺筑沥青路面已有半个多世纪的发达国家, 其沥青路面的损坏现象也相当严重。如 1979 年美国联邦公路局的报告: 用惯用的方法设计的路面使用寿命不会达到所要求的 20 年, 在多数情况下这些路面的使用寿命在 8~12 年之间。

在实际应用中, 人们要求沥青有尽可能长的耐久性, 老化的速度应尽可能地小一些, 因而提出了对沥青耐久性的要求。而耐久性确实是沥青使用性能方面一个十分重要的综合性指标, 如何提高沥青路面的耐久性, 延长沥青路面的使用寿命, 在国民经济中占有相当重要的地位, 同时也是公路部门面临的一个十分迫切的课题。而提高路面耐久性除了选择适于生产沥青的原油和改善沥青性能外, 还应从控制车辙、防裂和提高基层质量等方面着手。

1. 控制车辙

车辙是工业发达国家高速公路上的主要病害,是路面使用性能降低和导致损坏并要求进行路面维修的最主要原因。在日本,高速公路路面加铺覆层或翻修面层的原因中车辙占80%以上。沈大高速公路上车辙铣刨去两年后又出现了明显的车辙。影响车辙深度主要有两个因素:(1)通常不能控制的客观因素,如交通和气候条件;2)可以控制的因素,如沥青混合料的强度和沥青路面结构。

沥青混合料的强度取决于直接影响混合料的内摩擦角和粘结力的矿料类型和级配、沥青品种、标号和用量以及沥青矿粉比和密实度。矿料的品种、棱角、表面粗糙度、颗粒形状、最大尺寸和5mm以上碎石含量都对沥青混合料的强度和高温稳定性有明显影响。国外常用增大集料的最大颗粒尺寸和碎石含量来提高沥青混合料的抗永久形变能力。根据国内环道试验结果表明,细粒式沥青混凝土的车辙深度为粗粒式和中粒式沥青混凝土的2.29倍。单轴压缩蠕变试验结果表明,最大粒径相同但碎石含量为59%的多碎石沥青混凝土的压缩应变,明显小于碎石含量为42%的沥青混凝土。为提高沥青混合料的高温稳定性,集料中天然砂含量不超过20%。就矿料的级配而言,密级配的沥青混凝土的抗车辙能力明显大于开级配沥青混凝土。研究表明,沥青混凝土中矿料的孔隙率不能小于14%(中或底面层)或15%(表面层),沥青混合料的最小孔隙率以4%~6%为佳。

80年代初,德国公路部门把SMA(填碎石沥青混凝土)作为一种标准材料,现已推广应用到瑞典、丹麦、挪威、荷兰、芬兰、奥地利、法国、瑞士和日本等国。采用SMA的目的是改善磨耗层的使用性能,产生一个更耐久的能抵抗重交通车辙的沥青路面。SMA是一种断级配密实热拌混合料,其中大部分为破碎粗集料,2mm筛孔的通过量限制在20%,并有较多的沥青和填料,细砂较少,加有少量稳定改性剂。粗集料互相嵌锁组成高稳定性的结构框架,沥青、细集料、填料和纤维稳定剂组成砂浆,将结构框架结合在一起,既可将它作表面层,又可将它用作连接层。添加纤维的目的是增加砂浆的稳定性,避免在运输和摊铺过程中产生离析现象。添加纤维可以使用较多的沥青,增厚沥青膜,从而提高路面耐久性。

上述国家使用SMA的结果表明:(1)SMA的抗永久形变和耐久性均佳,其寿命较传统的热拌沥青混凝土延长20%~40%,SMA初期费用约增加20%,相对于长期效益却较经济;(2)对带钉轮胎的磨耗抗力好;(3)抗滑性能好;(4)可用于铺薄面层,造价低;(5)摊铺和压实性能好。

2. 沥青路面防裂

沥青路面的裂缝迄今尚属世界范围内未解决的问题。沥青在正常温度条件下,具有流变性、可塑性,又具有较大吸热性。在阳光照射下,沥青路面表面温度一般可达到空气温度的1.5~1.8倍;在一定低温下,又可能脆裂。混合料的性质主要决定于胶结料的性质。以沥青为胶结料的沥青路面在常温下具有粘弹性,被列入柔性结构,但在一定的低温下,沥青路面又处在无塑性状态而具有刚性结构的特征。因此,沥青混合料结构是具有刚性和柔性的双重特殊结构,它随环境温度变异而转换,并随沥青的老化柔性减弱,可塑性下降,即在低于沥青脆点温度下,沥青路面具有类似于水泥混凝土路面的特征。因而沥青路面无论是半刚性基层还是柔性基层,均出现裂缝。沥青路面的裂缝问题,主要来自沥青混合料本身。路用沥青混合料是由矿料和沥青混合而成,矿料受力时,对于单个矿料颗粒来讲呈现出弹性,而对于整个集料呈现出塑性性质。沥青混合料在受压时表现出弹-粘-塑性;而在受拉状态下,则其塑性可以忽略,原因是此时集料中实际上没有摩擦力。在这种情况下,弹粘性在沥

青混合料中起主导作用。

沥青混合料受热膨胀,受冷收缩。对增强了劲度的路用沥青混合料,在距路边缘的一定距离内,冷却所产生的收缩将为底层的摩擦作用所限制,因此产生了拉应力,高温时,这种拉应力可由沥青混合料本身的松弛性能消除。低温时,沥青混合料的松弛性能随着温度降低及弹性增加而不断减少,以致于在沥青混合料中形成应力积累。当拉应力达到其抗拉强度时,就会引起裂缝。低温下,当拉应力达到抗拉强度时所产生的裂缝的特征是:破裂面既通过砂浆层内,又部分地通过矿料颗粒内,沥青混合料是否开裂,主要取决于结合料的性质,特别依赖于其与温度相关连的粘性,

沥青路面不论其基层是柔性还是半刚性,都会或迟或早产生温度裂缝,早则在路面竣工后的当年冬季,迟则过2~3个冬季,这主要取决于沥青质量和当地的气候条件。国内的研究表明,半刚性基层上沥青面层较厚时,表面的裂缝主要是沥青面层本身的温度裂缝,而面层的温度裂缝与主要由温度引起的对应裂缝都起始于表面并逐渐向下延伸,这两种裂缝的多少都与沥青表面层的抗裂性能和沥青质量有很大关系。1986年夏完成的沈较高速公路欢喜岭830m长的沥青试验路,面层厚15cm,7个冬季后共有4条贯通横缝,裂缝率5m/1000m²,同时完成的用高升沥青的路段(另一侧)相同长度有24条贯通横缝,裂缝率30m/1000m²。

在北方冰冻地区,即使用符合要求的重交通沥青(优质沥青)也难免产生温度裂缝。在华南无冰冻地区,如采用普通沥青,面层的裂缝较使用优质沥青的冰冻地区的面层裂缝还严重。但使用优质沥青,仅可能在使用寿命的早期面层不会产生明显的裂缝。因此,就我国大部分地区来说,沥青的温度裂缝是一个影响其使用寿命的重要病害之一。

采用综合措施可减少温度裂缝。如采用优质沥青,同时采用针入度较大的高粘度沥青,并采用收缩性小的水泥或石灰粉煤灰稳定级配集料作基层,防止半刚性基层在铺筑面层前曝晒开裂。防裂的具体措施如下:(1)整体施工完毕后,增加锯缝工序。在面层上预锯缝是减少温度裂缝的有效措施,锯缝的间距随各地气候条件和沥青质量而变,应通过试验确定。锯缝深度应不小于1/2面层厚度。(2)采用纤维混合料结构,以增强沥青混合料的抗缩能力和抗折强度。对于沥青混合料,在考虑热稳定性的同时,根据不同自然条件注意其低温稳定性。要研究一种不易老化的改性沥青,并能明显提高沥青混合料的低温抗裂性能。

3. 提高基层质量

我国从1986年开始建设高速公路以来,已建成10多条高速公路。而高速公路的优劣以及能否充分发挥巨大的社会效益,取决于路面的质量,它包括路面的使用性能和耐久性。我国的高速公路绝大多数采用半刚性路面,但各自的路面结构有明显差别。如半刚性基层上沥青胶结层的厚度,薄者仅7~10cm,厚者为12~15cm。半刚性基层的质量是影响沥青路面产生唧浆、坑洞、裂缝、沉陷和不平整等损坏现象的关键因素。半刚性基层的质量包括两个方面,一是半刚性材料的强度和抗冲刷能力。二是施工质量,包括拌和及铺筑的均匀性以及铺筑后的高程和平整度。材料的抗冲刷能力与强度和级配集料中小于0.075mm颗粒的含量密切相关。强度不足的基层容易产生唧浆现象,强度满足的半刚性材料还必须有现代化的拌和、摊铺和碾压机械来保证混合料均匀和没有离析现象。

路拌法施工基层混合料容易造成局部拌和不匀及粗细集料离析现象,集中厂拌混合料因用平地机摊铺也容易造成局部粗细集料离析现象。拌和不匀和粗细集料离析都会造成基层局部强度不足,甚至没有形成整体。开放交通后,基层的局部缺陷会引起其上沥青面层龟裂,

雨水从裂缝侵入后产生唧浆,接着面层局部变形。雨水再次侵入,再次唧浆,如此恶性循环,导致沥青面层产生坑洞,实际上这种破坏要比温度裂缝甚至龟裂而无唧浆的严重。

为了避免由于混合料不均匀而造成基层局部缺陷和上述破坏现象,除应该采用集中厂拌法拌和混合料外,还应该用摊铺机摊铺混合料。此外,在重交通高速公路上适当提高基层材料的强度是有利的。随着交通量的发展,提高半刚性基层材料的强度是国际上的趋势。

高等级公路与一般公路无本质区别,主要在于标准不同。能否建好高等级公路,在于修建一般公路的技术基础水平,包括队伍、设备、软硬技术如何,只有普遍提高公路工程技术水平,才能提高高等级公路路面耐久性。

二、沥青路面材料

沥青混合料通常用于铺筑路面的面层,它直接承受车辆作用和大气因素的影响。同时,沥青材料的物理、力学性质受气候因素与时间因素影响很大,这是沥青路面使用中的一个重要特点。铺筑沥青路面的目的,主要是加固行车道,改善车辆运行条件,保证全年畅通,提高行车速度和安全性以及降低运输成本等。为达到这些目的,沥青路面必须满足规定的技术要求。

〈一〉对沥青路面的基本要求

1. 高温稳定性

沥青路面的强度与刚度随温度升高而降低。为了保证沥青路面在高温季节行车荷载的反复作用下,不致于产生诸如波浪、推移、车辙、泛油、粘轮等病害,因此,沥青路面应具有良好的高温稳定性,即在高温时具有足够的强度和刚度。公路路面的强度是指路面结构对行车作用的抵抗能力,路面不会因车辆荷载的垂直压力、震动力、冲击力、刹车及启动时的纵向水平力以及车轮后方与路面间产生的真空吸力等而造成过大的变形、磨损和压碎等破坏现象。路面材料是构成路面强度的物质基础,材料质量的优劣及配制是否合理,选用是否恰当,直接影响路面质量。用松散材料和工业废渣铺筑路面的强度形成,主要有以下几种形式:(1)嵌挤压密型。当有侧限时,尺寸相近的棱角粒料如碎石、块石等在碾压作用下互相嵌挤靠紧,再用细料填充空隙,经压实就能承受荷载,称为嵌挤原则。(2)级配密实型。松散粒料(圆滑的或有棱角的)按由大到小逐级填充空隙,即进行合理级配达到最紧密的组合,经压实就能提供一定的强度,称为密实原则。(3)粘结型。用具有粘结性能的材料,浇洒、灌入或掺拌和到按嵌挤原则或密实原则构成的混合料中,由于胶结材料与松散粒料相互间的物理化学作用,或生成新的胶凝物质或形成粘附薄膜裹覆粒料,从而结成整体,经压实更促进其紧密,有利于相互作用,从而获得较高的整体强度。路面的强度经常受风、霜、雨、雪和日照等自然因素的影响而发生变化。为保证正常通车,路面强度在一年中变化的幅度应尽量减小,这种强度变化的幅度叫稳定性。为了提高沥青混合料的高温稳定性,可采用在混合料中增加粗矿料含量,或限制剩余空隙率,使粗矿料形成空间骨架结构,以提高沥青混合料的内摩阻力;适当地提高沥青材料的稠度,控制沥青与矿粉的比例,严格控制沥青用