

多空隙沥青混合料及其胶结料的应用与研究现状

申 雄

招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆
Email: 328734582@qq.com

收稿日期: 2021年6月11日; 录用日期: 2021年7月12日; 发布日期: 2021年7月21日

摘 要

国内外研究表明多空隙沥青路面凭借其较大空隙率具有透排水与降噪功能。文中通过总结多空隙沥青路面在国内外的应用现状, 发现影响多空隙沥青混合料性能最为重要的因素是使用的沥青胶结料的性能要足以满足其大空隙率的特性。介绍了几种可用于多空隙沥青混合料的胶结料发现其推广应用的阻碍是过于高昂的造价, 因而在发现橡胶沥青可以基本满足多空隙沥青混合料胶结料要求的前提下, 提出采用橡胶粉和高黏改性剂对基质沥青进行复合改性, 一方面可以减少高黏改性剂的用量降低成本, 另一方面也可以合理利用废旧轮胎。如此既节约了成本又使轮胎废弃物得到再次利用, 实现节能减排和环境保护。

关键词

道路工程, 多孔沥青混合料, 高黏沥青, 橡胶沥青, 应用与研究现状

The Application and Research Status of Porous Asphalt Mixture and Its Binder

Xiong Shen

China Merchants Chongqing Communications Research & Design Institute Co., Ltd., Chongqing
Email: 328734582@qq.com

Received: Jun. 11th, 2021; accepted: Jul. 12th, 2021; published: Jul. 21st, 2021

Abstract

Researches at home and abroad show that porous asphalt pavement has the functions of water permeability and noise reduction by virtue of its large void ratio. By summarizing the development

and application status of multi void asphalt pavement at home and abroad, it is found that the most important factor affecting the performance of multi void asphalt mixture is that the performance of asphalt binder should be enough to meet the characteristics of large porosity. This paper introduces several kinds of binders which can be used in multi void asphalt mixture. It is found that the biggest obstacle to its popularization and application is too high cost. Therefore, on the premise that rubber asphalt can basically meet the requirements of multi void asphalt mixture binder, it is proposed to use rubber powder and high viscosity modifier to modify the base asphalt. On the one hand, it can reduce the amount of high viscosity modifier and reduce the cost; on the other hand, it can also make rational use of waste tires. In this way, not only the cost is saved, but also the tire waste is reused to achieve energy conservation and environmental protection.

Keywords

Road Engineering, Porous Asphalt Mixture, High Viscosity Asphalt, Rubber Asphalt, Application and Research Status

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国交通事业与城市化进程的快速发展，道路交通量日益增加，城市占地面积逐年扩大，我国经济也因此得以持续高速增长[1] [2] [3]。但是同时这也给我们带来了交通噪声污染和城市内涝的问题，严重影响了人们的生活环境与状况，而多空沥青路面以其拥有较大的空隙率能够减轻人们所面临的上述问题。然而也正是由于多空沥青路面具有较大的空隙率使沥青胶结料与空气接触面积大，易导致沥青胶结料老化；并且由于具有较好的排水功能而易使其胶结料长时间遭受水的侵害。故多空沥青混合料路面的胶结料必须具有较强的粘附性、耐久性、耐水性、耐流动性等一般沥青不可比拟的性能。

通过对国内外相关资料的总结，介绍了多空沥青路面的研究历程和具体应用现状，分析了几种改性沥青胶结料在多空沥青混合料中的应用，并重点研究了高黏改性沥青在国内的发展应用和面临的问题，期望通过分析能够找到适合于我国的价廉优质的高黏沥青，推动多空沥青路面在国内工程应用。

2. 多空路面国内外研究应用概况

多空沥青路面以优良的路用性能，突出的透排水与降噪功能，使其从英国 1967 年修筑第一条试验路段以来就持续不断受到道路工作者的重视。世界各国也相继开展了针对多空沥青路面的相关研究与改进工作。

2.1. 国外研究应用概况

英国自第一条试验路后，在 1970 年、1975 年、1983 年又铺装了其他试验段以此研究优化了集料级配和结和料的组合；从 1984 年起，在 Burton 辅道相继铺装了 22 条试验段，研究和评价了不同结合料与其用量对道路使用效果的影响。同一时期，其他欧洲国家如法国、比利时、荷兰、瑞士、德国、西班牙、意大利也进行了类似研究，但他们仅为了评价多空沥青路面的有效性和优化混合料研究。美国在场拌

封层的基础上于 1974 年发布了 OGFC (Open Graded Friction Course, 开级配磨耗层)的一套混合料设计方法, 包括了对集料与级配的要求, 最佳拌合温度和混合料所要求的抗水损坏能力, 在 1990 年美国联邦公路管理局正式发布了 OGFC 混合料设计方法。日本从 1980 年开始到德国考察引进了欧洲的多空隙沥青路面, 并于 1987 年在东京都环道 7 号公路铺筑了多空隙路面, 但是使用效果十分不理想[4] [5] [6] [7] [8]。经过日本道路专家的研究发现欧洲的多空隙沥青路面技术并不适宜于日本的气候环境与交通状况, 于是日本在欧洲多空隙沥青路面技术的基础上进行了相关改进, 提出了以高黏度改性沥青胶结料为技术核心的多空隙沥青路面设计理念。

进入 21 世纪多空隙沥青路面在世界各地得到了快速的发展。截止 2010 年欧洲国家荷兰国内所有的高速公路网都铺装了多空隙沥青面层; 日本道路公团自 1996 年起要求所有高速公路必须采用排水沥青路面铺装的决定, 到今天排水沥青路面的铺装面积的占比实现了大幅度的增长; 美国自 19 世纪 80 年代第一次 OGFC 铺装高潮后, 多空隙沥青路面在美国的应用就进入了低谷, 直到 21 世纪初 NCAT 发布了《新一代开级配磨耗层的设计、施工与性能》实现了 OGFC 进一步改进, 再次推动了美国铺装多空隙沥青路面的热潮。

尽管多空隙沥青路面在全世界得到了较为广泛的研究和应用, 但是各个地区和国家对它的关注点和研究重点却不尽相同。欧洲重点关注多空隙沥青路面的降噪功能, 荷兰的未来道路(RTF)计划公布的新型道路表面有很安静声模块、可卷起道路、安静运输、无声路面等; 意大利研制了两种以双层多空隙沥青为核心的低噪声路面: 悦耳路面和生态科技路面。日本虽然也宣传多空隙沥青路面的降噪功能, 但不可否认的是他们的关注和研究重点在透排水功能上。近年来在排水路面的基础上, 研发了保水性和透水性路面, 保水性路面可以将降雨保存在面层中而不侧向排出, 在高温时水直接蒸发排出, 利用蒸发吸热降低路表温度, 一定程度缓解了城市热岛效应; 透水路面的降雨也不通过侧向排出, 而是垂直下渗, 进入地下水系统, 补充地下水资源。图 1 是日本典型的排水、保水、透水三种沥青路面。美国以各个州不同关注和研究的重点不同, 加利福尼亚州和亚利桑那州专注于降噪功能而德克萨斯州更关心透水功能。除了欧洲、日本、美国对多空隙沥青路面进行了相关研究外, 澳大利亚、新西兰、加拿大、南非、东亚和东南亚的一些国家也对多空隙沥青路面进行了研究与应用, 表 1 是各国多空隙沥青路面的简称汇总表。

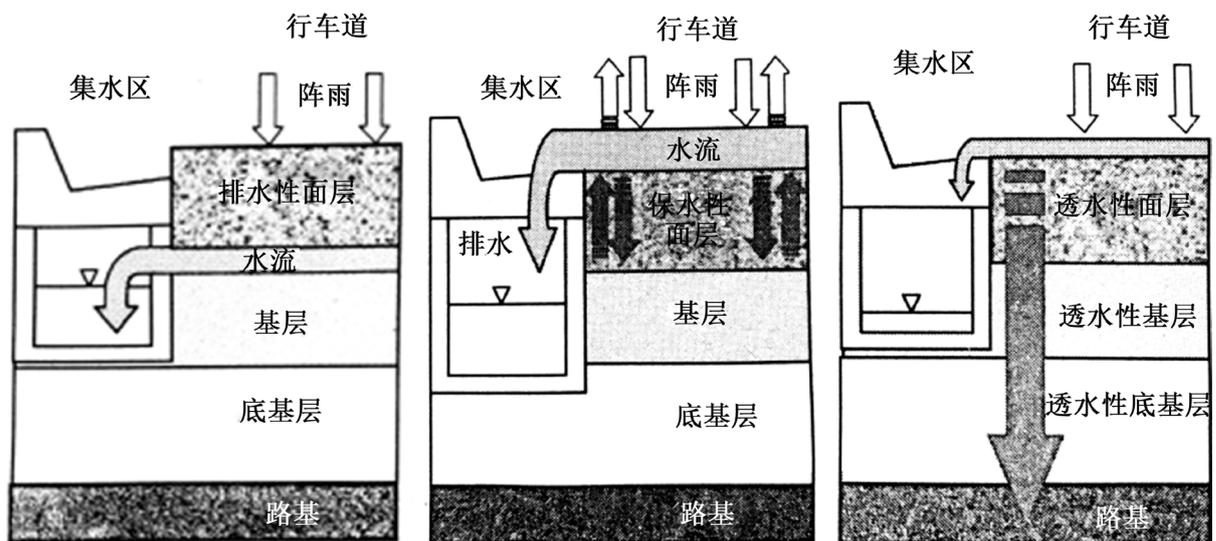


Figure 1. Structural diagram of drainage, water retaining and permeable pavement in Japan
图 1. 日本排水性、保水性、透水性路面结构图

Table 1. Abbreviation of multi void asphalt pavement in various countries**表 1.** 各国多空隙沥青路面的简称

国家	全名	简称
瑞典	Dränerande Asfaltbetong	ABD
荷兰	Zeer Open Asfalt Beton	ZOAB
法国	Bétons Bitumineux Drainant	BBDr
意大利	Drainage Asphalt(Draining Asphalt)	DA
瑞士	Drainasphalt	DRA
加拿大、澳大利亚、南非	Open Graded Asphalt	OGA
美国	Open Graded Friction Course	OGFC
新西兰	Open Graded Porous Asphalt	OGPA
德国	Open Pore Asphalt	OPA
欧洲大部分国家	Porous Asphalt (Concrete)	PA(PAC)
美国(德克萨斯州)	Permeable Friction Course	PFC

2.2. 国内研究应用概况

我国多空隙沥青路面主要以欧洲和美国的技术引进为主,目前国内已有同济大学、西安公路研究所、东南大学、长安大学等高校和研究单位在室内对多孔沥青路面的配合比设计、路用性能以及排水降噪机理进行了初步研究,形成了一些研究成果。同济大学吕伟民教授对多空隙沥青路面所用的结合料的性状与配制进行了研究和评价进行了相关研究;长安大学张玉芬教授利用驻波管测定了沥青路面不同空隙率、级配和厚度的吸声系数。尽管国内出现了对多空隙沥青路面的实验研究和一些研究成果,但是在国内的实际工程中的应用却十分鲜见,直到2001年上海浦东路桥建设股份有限公司引进日本技术并且在浦东北路修筑了1.4公里试验路,才掀起了多空隙沥青路面在国内的应用热潮。

国内的多空隙沥青路面实体工程主要有2003年17 km 西咸机场高速,2005年17 km 盐通高速,2008年21 km 宁杭高速,2009年21 km 西安机场专线,2009年浦东31 km 中环线、机场北通道等等。日本技术在中国运用起到了良好的效果,这主要原因是日本的自然气候与交通环境与中国的相似性,而日本多空隙沥青路面的成功主要得益于高黏度沥青改性剂TPS对沥青胶结料的改善作用。随着多空隙沥青路面的发展,国内道路工作者在日本技术的基础上研发出了国产的高黏度沥青改性剂,比如浦东路桥的RST改性剂、深圳海川的SINOTPS,可以看出多空隙沥青应用于研究的关键点就在于胶结料的性能。

3. 多空隙沥青混合料胶结料应用概况

在多空隙沥青路面的发展过程中,各国对各种沥青胶结料都进行了相关不同的尝试,既有基质沥青,也有改性沥青,它们之中既有成功的也有失败的。并且在胶结料的分级上也存在着不同的标准,有的按针入度分级系统进行分级,有的按黏度分级程序进行分级,有的按Superpave(PG)性能分级系统进行分级。欧洲的沥青胶结料主要采用针入度分级,美国所使用的沥青胶结料很广泛,既有黏度分级也有PG分级[9][10][11][12][13]。

多空隙沥青混合料胶结料的选择被很多因素影响,胶结料选择的基础是工程现场的气候条件和此道路所要承载的预期交通量。此外,胶结料需具有较高劲度,以此防止混合料发生析漏和保证裹覆集料的沥青膜厚度,因此很多国家和机构规定使用改性沥青,表2是多空隙沥青混合料的胶结料所应该具有的特性要求。

Table 2. Required properties of binder for porous asphalt mixture**表 2.** 多空隙沥青混合料的胶结料所要求的特性

项目	混合料要求的特性	胶结料的特性
集料抗飞散性	为确保混合料的稳定性, 应对集料强力黏着, 使其具有高强度的包裹力、黏附性	使用黏附性好的胶结料(高强的、高抗拉强度)
耐候性	混合料因空隙率大, 易受空气、日光等因素影响, 为防由此产生的老化, 包裹集料的胶结料薄膜要足够厚	使用耐候性强, 能形成厚薄膜的高黏度胶结料
耐水性	由于雨水对混合料的浸透, 为确保耐水性(抗剥离性), 胶结料对集料应有很好的黏附性	使用与集料有强黏附性的胶结料(高抗剥离性)
耐流动性	在重交通道路上应用时, 混合料应具有较高的抗塑性变形能力(不易产生车辙)	使用软化点及 60℃黏度指标高的沥青

欧洲一般采用聚合物改性沥青, 常见的聚合物类型有 SBS 和 EVA。英国允许采用苯乙烯丁二烯橡胶 (SBR); 奥地利 SBS、EVA、SBR 和橡胶改性沥青都是允许的; 奥地利与瑞士同时也允许采用未改性的沥青胶结料。美国对于多空隙沥青路面所采用的胶结料类型主要集中在 SBS 改性沥青与橡胶改性沥青上。日本经过多年实践, 提出了独特的高黏度改性沥青概念, 即 60℃绝对黏度在 20,000 Pa·s 以上的改性沥青, 这一概念已被我国在内的东亚以及东南亚地区所接受[14] [15] [16]。

3.1. 橡胶沥青在多空隙沥青路面中的应用

法国从 19 世纪 80 年代起就开始在沥青中掺入橡胶粉并应用于多空隙沥青混合料中, 现如今, 包括美国、日本、欧洲的许多国家、南非、澳大利亚等国也开始了对橡胶沥青的应用研究, 特别是用于多空隙沥青混合料。

随着废旧轮胎数量的激增, 随意堆积所造成的“黑色污染”已经成为一个重要的环境问题。废旧轮胎主要的化学成分是天然橡胶和合成橡胶, 还有硫、碳黑、氧化硅、氧化铁、氧化钙等添加剂, 均为良好的沥青改性剂, 制备成橡胶粉用于生产橡胶沥青, 可改善沥青的高低温性能、抗老化性能、抗疲劳性能, 起到延长路面使用寿命、延缓反射裂缝、减轻行车噪声等作用。因此, 采用橡胶沥青作为多空隙沥青混合料的胶结料, 不仅可解决大量废旧轮胎的回收利用问题, 而且可充分发挥橡胶沥青材料特点。目前橡胶沥青的制备有“湿法”一橡胶粉在与集料拌和前与沥青发生高温反应; 和“干法”一橡胶粉作为另类集料与石料一起加入。为了保证橡胶沥青质量一般采用“湿法”制备。

对于多空隙混合料胶结料我国采用日本的 60℃粘度大于 20,000 这一技术指标。美国材料与试验标准 (ASTM) 中对橡胶沥青 175℃粘度的要求是: 橡胶青的 175℃布氏粘度必须在 1.5~5.0 Pa·s 之间, 以保证良好的施工性能。国内相关研究采用普通基质沥青 AH-70, 改性剂掺量为 4%, 实验结果如下表 3。

Table 3. Test results of rubber asphalt with different rubber powder ratio**表 3.** 橡胶沥青不同橡胶粉比例试验结果

40 目橡胶粉比例/%	针入度 (25℃)/0.1mm	延度 (15℃)/cm	软化点/℃	60℃粘度/Pa·s	175℃粘度/Pa·s	弹性恢复 25℃/%
0	67.2	>150	49.3	310	-	-
15	46	17.1	68	18,200	3.85	71.2
18	43.2	15.4	72	20,300	4.5	75.6
21	40.3	13.8	77	20,800	5.35	78.3
24	36	10.2	80	21,200	5.8	81.1

由此研究可以得出橡胶沥青 60℃粘度随橡胶粉掺量的增加而逐渐增加,在添加 18%的橡胶粉时 60℃黏度才刚达到 20,000 Pa·s,并且随着胶粉量得增加,60℃黏度的增加不太明显。175℃粘度的要求在胶粉掺量 18%可以达到,所以采用 18%的橡胶粉掺量改性沥青可以用于多空隙沥青混合料,混合料路用性能基本可以达到多空隙沥青路面要求。

由于橡胶沥青刚好满足多空隙沥青路面相关性能要求,并且不同橡胶颗粒质量难以控制,以及对其高温性能存在疑虑,我国很少将橡胶沥青应用于多空隙沥青路面上。

3.2. 环氧沥青在多空隙沥青路面中的应用

环氧沥青是环氧树脂、固化剂以及沥青的混合物,在高性能路用材料发展领域,环氧沥青是传统筑路沥青材料的革命性升级材料。环氧沥青一般由两部分构成,一部分为环氧树脂和沥青的混合物称为 A 组分,另一部分为固化剂(B 组分);也有的固化剂和沥青的混合物为 A 组分, B 组分为环氧树脂;分组依据以 A 组分拌制沥青混合料的和易性进行。

环氧沥青相比于传统沥青更为坚硬,具有更高更为显著的内聚强度,更大的抗剪切应力的能力,也更不易于氧化以及具有优良的耐疲劳性能。因此若将环氧沥青用于多空隙沥青路面,其高温性能和抗老化性能会十分优异,这样在重载慢速区域,可以很好避免车辙的产生并长期保证高空隙率;环氧沥青内聚强度很高,可以充分发挥多空隙沥青路面的各项路用功能,并且可以尝试满足超过 25%的空隙率的路面。

环氧沥青于多空隙沥青路面在新西兰有了一定的研究和应用,也取得了很多研究成果,但是相对于国内来说很少应用在多空隙路面上,其中最大的阻碍应该是环氧沥青价格过于昂贵,很难在多空隙沥青路面实际过程应用。但是以新西兰的研究应用和环氧沥青性能优点来说,环氧沥青是完全可以满足应用于多空隙沥青路面的。因此,如果在保证其性能满足多空隙沥青路面的情况下,大为降低费用,将会使其应用前景更为广阔。

3.3. 高黏沥青在多空隙沥青路面中的应用

高黏度沥青是指掺加高黏添加剂制成的沥青胶结料,从而提高沥青的绝对粘度,提高沥青混合料强度、水稳性和抗飞散、耐疲劳等多种性能。大部分高黏添加剂是以高分子聚合物为主要成分,经过一定工艺合成并制备成为均匀粒子状的改性材料,以增强沥青绝对粘度、增强沥青与集料之间的粘结性能为目的,可在沥青混合料拌合过程中快速、均匀熔融分散,显著提高沥青混合料强度、水稳性和抗飞散、耐疲劳等多种性能。

高黏沥青由于具有较多聚合物改性剂,聚合物吸收大量沥青轻质组分,在沥青中形成连续相,从而使胶结料具有了优异的性能,在对浦东建设和上海环线使用三年的高黏沥青胶浆显微观察显示其连续结构依然十分稳定,沥青性能保持良好。

高黏沥青的概念起源于日本,并且随着高黏沥青的出现,多空隙沥青路面才真正在亚洲地区得到了实际推广和应用。如今成品高黏沥青已经能够很好地实现对沥青胶结料质量的控制,而国内相关科研单位和高等院校如上海浦东建设、交通部公路科学研究院、深圳海川、广州路翔、湖北国创、武汉理工等也已经实现了新型成品高黏沥青的开发和初步应用,下表 4 国内外主要的高粘沥青产品。

评价高黏沥青的主要指标是 60℃黏度。日本标准要求其大于 20,000 Pa·s,而国内尚无相应的规范要求,一般采用日本规范参照执行。对于 60℃黏度除了采用真空减压毛细管外,一般采用布氏黏度计或动态剪切流变仪等方法。由于高黏沥青更易剪切变稀,故对其施工和易性 135℃的黏度要求可由普通沥青的 3 Pa·s 提高到 5 Pa·s,其它日本高黏沥青指标要求见下表 5。

Table 4. Main high viscosity asphalt products at home and abroad**表 4.** 国内外主要的高黏沥青产品

产品名称	研发单位	应用特点
PA-T 型添加(HVA)	交通部公路科学研究院	“SBS + 8% HVA”复合改性、干法施工
RST 沥青改性剂	上海浦东建设	掺加量：沥青质量的 12%~16%，干法
SINOTPS	深圳海川	掺加量：沥青质量的 12%~16%，干法
高黏度改性沥青	湖北国创	是以 SBS 改性沥青为主体，添加多种高聚物增粘剂，湿法
高黏度改性沥青	广州路翔	成品高黏度改性沥青，湿法
TPS	日本大有建设	掺加量：沥青质量的 12%~16%，干法

Table 5. Japanese high viscosity asphalt standard**表 5.** 日本高黏沥青标准

检测项目	单位	规范要求
软化点	°C	>80
针入度(25°C)	0.1mm	>40
延度(15°C)	cm	>50
135°C粘度	Pa·s	<3.0
粘韧性	N·m	>20
韧性	N·m	>15
薄膜加热质量变化率	%	≤0.6
薄膜加热针入度残留率	%	≥65
60°C粘度	Pa·s	>20,000

由于多空隙沥青路面对所用的高黏沥青具有如此严格的要求，故改性合格的高黏沥青的价格十分昂贵，进而严重地阻碍了多空隙沥青路面实体工程的推广应用。

4. 高黏沥青在我国的应用研究现状

自高黏度沥青引进国内，使我国多空隙沥青路面性能得到了巨大的改善，开启了国内较大规模多空隙沥青路面实体工程的建设和使用，因此也进一步奠定了高黏沥青在多空隙沥青混合料中不可替代的地位；如今伴随着我国海绵城市概念的提出，更多的企业、科研机构、技术人员开始了对多空隙路面和高黏度胶结料的研究。

20 世纪 80、90 年代，我国曾在广东、上海、黑龙江修筑过多空隙沥青路面试验段，但是由于我国重载车辆较多的交通条件和沥青性能达不到要求导致试验多以失败告终。直到 2001 年上海浦东路桥引进高黏度沥青在 22%的设计空隙率和苛刻的环境修筑了浦东北路实体试验段工程，才真正使多空隙沥青路面符合国内的使用要求，但是也出现了使用一年后空隙堵塞的问题。2003 年，西安机场高速公路采用高黏度改性沥青修筑了 17 km 长的多空隙沥青路面，并进行长期跟踪调查，结果显示了高黏沥青完全可以保证多空隙沥青路面的路用性能。2004 年，重庆榆邻高速铺筑了长 3 km 的多空隙沥青路面试验段，并且进行了 SBS 改性沥青和高黏度改性沥青多空隙沥青路面的性能对比。根据后期的跟踪观测，发现 SBS 改性沥青多空隙路面在使用不到 2 年后，出现了一定程度的早期破坏，主要为坑槽和车辙，而采用高黏度改性沥青的试验段基本没有病害。这些实际工程充分证明了高黏度改性沥青用于我国多空隙沥青路面的可行性和适用性。浦东北路和西咸机场高速都采用 TPS 直投式高黏改性剂与基质沥青以 12:88 比例制

得高黏沥青，只是浦东北路采用 70#埃索沥青，西咸机场高速采用新加坡壳牌 AH-90 重交道路沥青，具体实测数据见下表 6，西咸机场高速级配曲线见下图 2，多空隙沥青混合料性能见下表 7。

Table 6. Measured data of high viscosity asphalt

表 6. 高黏度沥青实测数据

检测项目	浦东北路	西咸机场高速
软化点/°C	94	88.5
针入度(25°C)/0.1mm	43	59
延度(5°C)/cm	50	69
135°C粘度/Pa·s	2.4	-
粘韧性/N·m	28	29.05
韧性/N·m	23.7	21.66
薄膜加热质量变化率/%	0.1	0.054
薄膜加热残留针入度比/%	95	88.1
60°C粘度/Pa·s	344,067	687,000

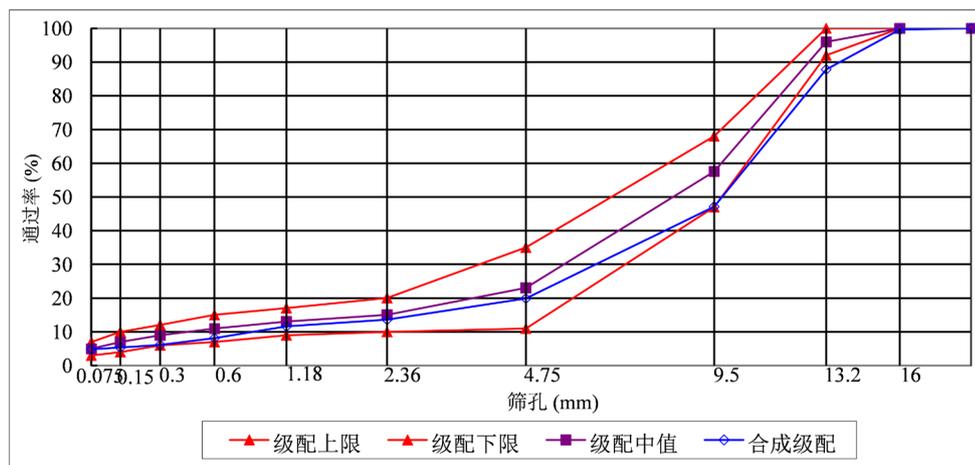


Figure 2. Grading curve of Xixian Airport Expressway

图 2. 西咸机场高速级配曲线图

Table 7. Performance of porous asphalt mixture

表 7. 多空隙沥青混合料性能

检验项目	单位	浦东北路		西咸机场高速		
		设计标准	实测数据	设计标准	数据 1	设数据 2
空隙率	%	22.5	22	20 ± 1	19.52	19.54
马歇尔稳定度	KN	≥5	5.6	≥5	6.23	5.86
流值	0.1 mm	20~40	31.2	20~40	27.43	20.88
残留稳定度	%	≥80	98.1	≥85	81.9	96.2
动稳定度	次/mm	≥5000	7733	≥3000	7875	7438
冻融劈裂强度	%	≥70	94.6	-	-	-
飞散率	%	≤20	13.7	-	-	-

从浦东北路和西咸机场高速的相关数据可以得出高黏改性沥青能够较好地满足多空隙沥青路面的高温性能和抗水损害性能。

随着我国路面结构越来越多样化,高黏沥青对多空隙沥青路面实体工程对实际使用效果的验证,以及多空隙沥青路面独特的透排水和降噪功能,将会有更多的多空隙沥青路面结构出现在公路和市政道路中。但是昂贵的价格往往成为限制多空隙沥青路面在我国发展应用最大的障碍。TPS 价格是 4 万元/吨,因此 TPS 改性沥青价格大概为 1 万元/吨,而对比我国常用的 SBS 改性沥青的价格为 5000~6000 元/吨。由于如此高昂的价格使得一些想要采用多空隙沥青路面的地区迫于财政压力而放弃,也被迫于此国内的很多科研人员研发了国产的高黏沥青改性剂,虽然性能比 TPS 有所降低,但价格也相对有一定幅度的下降[17][18][19][20]。

为促进多空隙沥青路面在国内的发展应用,需要研发低成本的高黏沥青。橡胶轮胎等废弃物是良好的沥青改性剂,并且橡胶粉也可以单独改性为高黏度沥青,只是改性效果较差,因此可以结合利用橡胶粉和高黏改性剂对基质沥青进行复合改性,一方面可以减少高黏改性剂的用量降低成本,另一方面也可以合理利用废旧轮胎。如此既节约了成本又使废弃物得到再次利用,实现节能减排和环境保护。

5. 结论

多空隙沥青路面以其较大的空隙率而拥有良好的透排水和降噪功能,逐渐受到道路工作者的重视,本文通过总结研究多空隙沥青路面从欧洲、美国和日本发展到进入国内,经过国内的探索应用可以得到以下结论:

1) 多空隙沥青路面起源于西方国家,并且不同国家侧重其透排水或降噪性能各有不同;国内多空隙沥青路面的发展得益于日本技术的引进,并且国内逐渐意识到沥青胶结料是决定多空隙沥青路面路用性能最为重要的关键因素之一。

2) 多空隙沥青混合料的胶结料特性具有较为苛刻的要求,最为重要的指标是 60℃黏度需要达到 20,000 Pa·s。经过国内研究发现较好的橡胶沥青 60℃黏度可以基本达到 20,000 Pa·s,但是由于只是刚好满足多空隙沥青路面相关性要求,并且不同橡胶颗粒质量难以控制,以及对其高温性能存在疑虑,我国很少将橡胶沥青应用于多空隙沥青路面上;环氧沥青是完全可以满足应用于多空隙沥青路面,但是环氧沥青价格过于昂贵;由于高黏沥青概念的进入,高黏改性剂的引进和自主研发才促使了目前多空隙沥青路面在国内发展应用,但是相对于普通改性沥青,高黏沥青的改性成本仍然较高,这也是阻碍多空隙路面发展应用的关键要素。

3) 为了降低高黏沥青成本,可以结合利用橡胶粉和高黏改性剂对基质沥青进行复合改性,一方面可以减少高黏改性剂的用量降低成本,另一方面也可以合理利用废旧轮胎。如此既节约了成本又使废弃物得到再次利用,实现节能减排和环境保护。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通部. JTG F40-2004. 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 中华人民共和国行业标准. JTJ052-2000. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [3] 中华人民共和国行业标准. CJJ/T 190-2012. 透水沥青路面技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4] 陈拴发,陈华鑫,郑木莲. 沥青混合料设计与施工[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [5] Wopara, F.O. (2018) Prediction of Flow and Transport Properties in Porous Media. *International Journal of Gas & Coal Technology*, 17, 284-303. <https://doi.org/10.1504/IJOGCT.2018.090144>
- [6] 蒋玮. 透水性沥青路面混合料配合比设计与路用性能研究[D]:[硕士学位论文]. 西安:长安大学,2008:6.

-
- [7] Lala, A.M.S. (2018) Modifications to the Kozeny-Carman Model to Enhance Petrophysical Relationships. *Exploration Geophysics*, **49**, 553-558.
- [8] 马国栋. 透水混凝土路面渗流与堵塞数值模拟[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2019.
- [9] 肖鑫. 排水沥青混合料细观结构及排水特性[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [10] 肖鑫, 张肖宁. 基于工业 CT 的排水沥青混合料连通空隙特征研究[J]. 中国公路学报, 2016, 29(8): 22-28.
- [11] 彭庆华. 排水沥青路面在遂广高速公路的应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016(6): 27-28.
- [12] Zhou, C.H., Liu, S.H. and Yuan, Q. (2014) Experience of Replacing Basalt Aggregate by Limestone's in Porous Asphalt Concrete. *Advanced Materials Research*, **1025-1026**, 749-754.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.749>
- [13] 许斌. 排水沥青路面预防性养护技术研究[D]: [博士学位论文]. 辽宁: 大连理工大学, 2016: 10.
- [14] 曹东伟. 排水沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [15] 苗杰. 低渗煤岩大孔隙结构三维重构及渗流模拟[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2017.
- [16] 李翔, 蔡旭, 肖天佑. 排水路面沥青混合料的连通空隙影响分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 186-191.
- [17] 蒋玮, 沙爱民, 肖晶晶, 王振军. 多孔沥青混合料的细观空隙特征与影响规律[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 67-74.
- [18] 郭芳, 谭海洲, 邵腊庚. 基于沥青路面早期水损害的水-荷载耦合 CT 扫描试验和力学响应分析[J]. 公路交通科技, 2014, 31(10): 38-44.
- [19] 王宏畅, 葛辉, 周明刚. 基于常水头渗透试验的 PAC 排水和抗堵塞能力[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2016, 46(1): 209-214.
- [20] 谢西, 姜成, 林晨彤, 赵金辉. 透水混凝土路面堵塞及其恢复效果研究[J]. 中外公路, 2019, 39(1): 46-49.