

沥青路面再生技术的原理与应用

黄煜斌¹, 吕伟民², 周小平¹

(1.重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2.同济大学 交通运输工程学院, 上海 200092)

摘要:我国许多高速公路路面已经进入全面维修期,旧沥青路面的再生利用是一种主要养护方法。通过对沥青路面再生原理及其应用现状的分析和观察,认为沥青路面再生利用不仅具有理论依据,在工程上具有多种工艺方法,而且实施后能获得良好的经济效益和社会效益。

关键词:沥青路面; 再生利用; 原理; 工艺

中图分类号:U416.0 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2004)05-0129-04

Principle and Application of the Asphalt Pavement Recycling Technology

HUANG Yu-bin¹, LU Wei-min², ZHOU Xiao-ping¹

(1.College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; ; 2. Institute of Traffic and Transportation, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

Abstract: With the coming maintenance period of the aging road in China, the old asphalt pavement's recycling has become an important issue. By introducing the principle of the asphalt pavement recycling technology and the status quo of the application, this paper calls for a strengthened relational research and a heavy concern with the issues, so as to gain the optimum economical and social benefit.

Keywords: asphalt pavement; aging bitumen; recycling utilization

目前我国公路建设发展迅速,经过10多年的建设,到2002年底,高速公路总里程已经跃居世界第二位。沥青路面在使用过程中,由于受到车辆荷载以及日照、雨水等各种自然因素的作用,会逐渐变形、老化以至损坏。如按照沥青路面的设计寿命15年,从现在开始,我国的许多高速公路都已进入大、中修期,每年翻修开挖出来的旧沥青混合料将超过1000万t。废弃的旧沥青混合料不仅需要场地堆放,以至造成环境污染,还浪费了大量有价值的资源。因此,旧沥青路面的再生利用已成为迫切需要解决的问题,它具有显著的经济效益和社会效益,仅节省材料费每年就可节约15亿元以上。

沥青混合料再生技术早在国外工业发达国家应用,目前已得到普遍推广,如美国80%废旧沥青路面得到重复利用,日本70%路面采用旧沥青路面再生技术。我国从20世纪70年代以来开始也先后对旧沥青路面再生利用技术的可行性、经济合理性和实用技术等方面进行了大量的试验研究,但从20世纪80年代中后期开始,由于进入大规模的高速公路建设,而使旧沥青路面再生利用工作处于停滞状态。

20世纪80年代以来,国外随着沥青路面施工工艺、施工机械等多方面技术的不断发展和沥青材料研究方法的突破,沥青路面再生技术领域也相应得到了长足进步,形成一套比较完整的再生技术,达到了规范化和标准化的成熟程度。然而,我国直到目前还没有完全掌握旧沥青混凝土的再生技术,普遍缺乏可供工程应用的大型沥青再生设备,因此需要引起充分重视并加强相关技术的开发研究。

1 沥青再生的原理

沥青路面再生利用技术,是将需要翻修或者废弃的旧沥青路面,经过翻挖回收、破碎、筛分,再添加

* 收稿日期:2004-07-01

作者简介:黄煜斌(1974-),男,福建闽清人,博士,主要从事土建材料研究。

再生剂、新沥青、新集料等,重新拌和,形成具有一定路用性能的再生沥青混合料,用于铺筑路面面层或基层的整套工艺技术。然而沥青再生是其中的技术关键。沥青再生技术是将已经老化的沥青,经适当处理使其恢复(或接近)原来性能,以便重新作为结合料使用。

1.1 沥青材料的老化

沥青路面在使用过程中逐步脆硬老化,其实质是其中的沥青结合料发生老化。引起沥青组分变化的原因是多方面的,如沥青中的轻质组分(饱和分和芳香分)挥发,以及由氧及光照引起的氧化、缩合作用等,主要原因是氧化缩合作用。由于沥青路面中矿质集料对沥青中轻质组分的吸附,促使高分子化合物的增加,沥青中饱和分比较稳定,变化不大,而芳香烃分子量增大,向胶质转化,胶质向沥青质转化,沥青中的低分子聚合为更大的分子。这种组分转化从对旧沥青路面材料的抽提试验可以看出,表现为芳香分减少,胶质和沥青质增加。由于沥青化学组分的移行,因而引起沥青物理、力学性质的变化,通常表现为针入度变小、延度降低、软化点和脆点升高,沥青变硬、变脆、延伸性降低。

随着沥青路面使用年限的延长,沥青质的浓度相对增大,老化加重,沥青材料各组分之间配伍失调,其胶体结构发生了变化。作为溶剂的软沥青质和作为溶质的沥青质溶度参数也发生变化,这就破坏了它们之间的相容性,造成沥青性质的变化。和性能优良的初始沥青结合料相比,老化严重的沥青结合料在常规路面性能上的差距主要体现在两方面:一是粘性过高;二是柔韧性不足。其中,柔韧性不足是沥青结合料路用性能不良的主要原因。

1.2 沥青的再生

旧沥青再生的机理研究目前有两种理论,这与对沥青溶液的认识有两种不同的观点有关。对于沥青溶液,一种观点认为,沥青溶液表现有一系列的胶体性质,沥青溶液中存在着三种成分:即憎液的沥青质颗粒;包围着憎液颗粒避免其发生聚合的亲液颗粒,这是胶质,胶质包围着沥青质形成胶团;悬浮胶团的油相。当它们的相对含量和性质相配伍时,就形成了相对稳定的胶体溶液。另一种观点则认为,沥青是以沥青质为溶质,而以软沥青质(沥青中除沥青质以外组分的总称)为溶剂的高分子浓溶液。但对于沥青再生,这两种理论并没有冲突;而是相互补充的。

组分调节理论是从化学组分出发,认为如将老化沥青和原沥青的组分进行比较,向老化沥青中加入所失去的组分(沥青再生剂),使组分重新协调,就能恢复沥青的原有性能。这一过程是根据石油工业中生产调和沥青的工艺原理,所以再生沥青实际上是一种调合沥青。尽管从理论上讲调节组分是再生的基本途径,然而根据旧沥青组分,对照优质沥青的组分,来确定旧沥青应该补充的组分及其数量,以获得品质优良的再生沥青的生产工艺却难以实现,并且最佳组分比例事实上也难以确定。

相容性理论从化学热力学出发,认为如能掺入一定的再生剂使沥青组分间溶度参数差减小,则沥青就可实现再生。这一由希尔布兰德提出的“溶度参数理论”也常被作为沥青再生的理论依据。这种理论认为,当溶质的溶度参数与溶剂(由胶质、油分构成的软沥青质)的溶度参数的差值 $\Delta\delta$ 小于某一定值时,沥青即能形成稳定的溶液。以公式的形式

$$\Delta\delta = \delta_{A_i} - \delta_M < K \quad (1)$$

式中: $\Delta\delta$ 为沥青质与软沥青质溶度参数差值(J/m^3)^{0.5}; δ_{A_i} 为沥青质的溶度参数(J/m^3)^{0.5}; δ_M 为软沥青质的溶度参数(J/m^3)^{0.5}; K 为规定的溶度参数差值的限值(J/m^3)^{0.5}。

由于相容性理论所采用的溶度参数指标与沥青的宏观物理性能(如流变参数指标等)有较好的相关性,前者从沥青化学结构的角度来阐述再生的机理,物理化学意义明确;后者从沥青力学行为的角度来描述再生的机理,在实际应用中可操作性强。所以,采用相容性理论作为老化沥青再生的指导理论具有很高的研究和应用价值。

从化学的角度来看,沥青再生就是老化的逆过程,以组分调和作为方法依据,以相容性理论作为理论依据,具体措施通常是掺加新沥青材料以及再生剂。

1.3 再生沥青性质的控制指标

尽管组分调节理论和相容性理论都从理论上说明了沥青再生的可行性及技术途径,然而在实际工

程应用中,无论是以组分还是以溶度参数指标作为沥青再生的控制条件都是有困难的。因此必须通过其他途径,寻求适当的控制指标,使得既能够在内在本质上达到调节组分使旧油获得再生的目的,又能够在实际操作中便于测试和计算。

按照沥青胶体结构理论,沥青由于化学组分不同,会形成不同的胶体结构,在宏观上表现出不同的粘流性质。由于沥青的常规路用指标,针入度、软化点以及延度等与沥青的流变指标,如粘度等有密切关系,因此采用流变参数来分析沥青再生的机理容易被人们所理解。分析沥青材料在老化过程中流变行为的变化规律可以发现,若能使旧沥青材料的流变行为反向逆转,使之回到适当的流变状态,那么旧沥青性能也就能得以恢复而获得再生。因此,从流变学的观点来看,旧沥青再生方式可以归结为:(1)将旧沥青的粘度调节到所需要的粘度范围内;(2)将旧沥青的流变指标予以适当提高,使旧沥青重新获得良好的流变性质^[1]。

现在欧美国家也都应用粘度指标来控制再生沥青的性能。只要使老化沥青的粘度恢复到正常状态,那么沥青的其它性能指标也可以得到恢复。

2 沥青混合料再生的关键技术

再生沥青混合料组成设计主要包括以下几个方面的内容:1)合理地确定旧料的掺配率(利用率);2)根据旧料老化的程度决定是否掺加再生剂,并确定其掺加的数量;3)确定旧沥青和新沥青的配合比,使调配而成的再生沥青具有适当的粘度,并且在性能上获得某种程度的改善,以满足路用要求;4)根据再生路面结构类型和旧料级配的情况调整再生混合料的集料级配,以满足混合料在强度、抗滑、防渗、稳定等方面的要求;同时为适应新路用环境的特殊要求,还可以考虑掺加改性剂以及一些添加剂等。总的说来,再生混合料组成设计与普通的新拌沥青混合料有所不同,尽管设计原理和思路基本一致,再生混合料配合比设计却具有自身的特点。

2.1 再生沥青结合料中新、旧沥青结合料配比关系的确定

当旧沥青结合料老化不很严重时,可采用添加新沥青结合料的方法来实现其路面性能的再生,测定再生沥青结合料是否满足高等级公路使用性能的要求,并根据测试结果来调整新、旧结合料的比例。目前沥青结合料性能评价标准及性能指标测试方法可分为两类:(1)以常规性能指标评价再生结合料的路用性能,确定再生结合料中旧料的用量;(2)以 Superpave 方法中的性能分级(Performance Grade)指标再生结合料的性能,优化再生结合料的旧料掺配率。两者以常规方法更能被广泛采用。

旧沥青结合料需要改善的是粘性和柔韧性,常规指标中分别采用针入度(或粘度)和延度来表征这两种性能。调整旧料的掺配比例,并与预定品种的新沥青结合料配成一系列不同配比的再生结合料,测定各再生结合的针入度(或粘度)和延度。通常,随着旧料掺配率的减小,再生料的针入度值和延度值会增大,粘度值会减小。分别建立再生结合料的针入度(或粘度)、延度指标实测值对旧结合料掺配率的回归关系,根据这些回归关系反算再生结合料各性能指标满足目标要求的旧料掺配率范围,考察粘性和柔韧性均满足要求的掺配率范围,可最终确定新、旧结合料的配比关系。

2.2 再生剂的选择及调和比例的确定

一般当回收的旧油其针入度小于粘稠道路沥青最稠沥青的针入度,即旧油针入度小于 40(1/10 mm)时,宜考虑使用再生剂。基于流变学和实际应用的观点,再生剂对旧沥青主要起到两方面的作用:1)调粘——将旧沥青的粘度调节到所需要的范围内;2)调柔——恢复旧沥青的柔韧性,使其具备一定的延伸能力。从使用性能上讲,品质良好的再生剂既含有调节粘性的组分,同时又含有改善柔韧性的组分。它在有效降低旧沥青粘度的同时,还能提高沥青结合料的延伸能力。“调粘”和“调柔”通常是同一过程的两种结果。同时为了使再生沥青能适应新路用环境的特殊需要,还可掺加改性剂。

再生剂必须具有良好的流变性和溶解、分散沥青质的能力。选择再生剂的主要指标是老化的沥青与再生剂混合后的粘度。国内外大量资料显示,降低沥青粘度有效的方法是向其中加入低粘度的油分。因此常用作再生剂的是低粘度油料,如:润滑油、机油、减压油及其废料等。工程上为了降低造价常用各

种油料的废料。我国20世纪80年代初期所使用的再生剂就是石油工业生产出来的轻质油或者它们的混合物,国外的再生剂主要采用石油工业生产低粘度油分和树脂。

如只要求再生剂能软化旧沥青,调节其粘度,则可任意选用各种低粘度油料作再生剂;如还要求对旧油的路用性质有所改善,则必须根据旧油沥青质含量多少,选取芳香分含量足够多的油料作再生剂。

再生剂适当的粘度、良好的流变性质、足够的芳香分含量以及比较低的薄膜烘箱试验粘度比,是再生剂良好品质的重要表征。如旧油的沥青质含量小于或等于15%,则再生剂质量技术指标建议值由表1给出。在实际工程中也可以根据旧油沥青质的实际含量和对再生效果的具体要求进行确定。

表1 再生剂技术指标建议值

技术指标	粘度 25℃/Pa·s	流变指标 25℃	芳香分含量/%	表面张力 25℃/10 ⁻³ N·m ⁻¹	薄膜烘箱试验粘度比/η _后 /η _前 ⁻¹
建议值	0.01~20	≥0.90	≥30	≥36	<3

再生剂的用量与旧油粘度、再生混合料的设计粘度以及再生剂本身的粘度有关。优化再生剂掺量的方法类似于确定再生沥青结合料新、旧结合料配比关系时采用的方法。

3.3 再生混合集料的配合

沥青路面在自然因素和车轮荷载的反复作用下,引起粒料疲劳、损伤和破碎;旧路面材料经过翻挖、破碎,筛分分级,集料级配发生变化。旧沥青混合料的集料级配变化主要表现为:粗集料最大粒径变小;粉料增多;集料级配整体变细,并且在路面的不同截面处分布不均匀。因此,必须添加新集料重新调整级配,以满足不同类型的混合料对集料级配的要求。再生混合料的级配标准与普通沥青混合料相同,没有另外制定标准的必要。

与全新混合料集料配合设计不同的是,旧集料的配合比例在确定旧料掺配时就被确定。因此,再生混合料集料的配合比设计,全新混合料集料配合的自由度大。集料配合设计时,应先将旧集料的颗粒级配对照设计级配范围进行比较分析,以便知道粗粒料或细粒料是多还是少,从而确定各档新集料的大致配合比。集料配合的方法有图解法、试算法等。比较直观的方法是在级配曲线图中比较。

2.4 再生沥青混合料物理力学性能评价

由于旧沥青结合料的再生效果制约着再生沥青混合料的路用性能,因此与结合料路用性能直接相关的混合料的性能,是再生混合料性能评价的重点。对所配制的再生沥青混合料除进行马歇尔试验、轮辙试验、水稳性试验,以确定是否满足路用要求外,还以抗缩裂性能和耐疲劳性能作为性能评价的重点内容,因为这两种性能显著受结合料品质的影响,是旧沥青混合料主要缺陷。

对于再生沥青混合料的抗缩裂性能评价,采用与拉伸测试相关的试验方法,其中劈裂试验是较为理想的方法。在特定的温度和加载条件下,劈裂强度值越高,混合料的抗缩裂能力越强。同时,混合料的劈裂强度值越高往往也表明具有越好的柔韧性,因此通过测试再生沥青混合料的劈裂强度,也可以反映旧结合料的再生效果。

对于耐疲劳性能,由于沥青混合料的劲度模量是决定其疲劳寿命的重要特性,而不同程度的柔韧性会使再生沥青混合料的劲度模量值(特别是低温劲度模量)呈现较明显的差异,也就是说,再生混合料抗疲劳性能的决定因素是再生沥青结合料柔韧性的恢复程度。当以控制应变的方式测试混合料的抗疲劳性能时,柔韧性恢复良好的再生结合料,其混合料的劲度模量相对较小,使得在相同的常应变条件下,每次作用于试件的应力也较小,从而混合料表现出较好的疲劳性能。

3 沥青路面再生技术的应用

尽管旧沥青混合料的路用性能在理论上可以得到充分恢复,但在实际应用中,根据不同的情况(如应用于面层还是基层等),可采用不同的利用方式。通过事先对破损的路面进行采样检测分析,再选择相应的施工方法,制定具体的施工方案,并确定应添加材料的性质和比例。

从再生施工方式上,路面再生技术,按再生地点的不同可分为集中厂拌再生和现场就地再生;按加

热方式的不同可分为热拌再生和冷拌再生。厂拌再生是指将旧的沥青路面材料翻挖铣刨回收,在沥青拌和厂拌和成符合路用要求的再生混合料。厂拌再生通常采用热拌再生技术。热拌再生是将旧料、新集料和新沥青在热态下拌和而成的沥青混合料,并在热态下摊铺、碾压成路面;而冷拌再生是将旧料、新集料在常温下和乳化沥青或泡沫沥青等拌和并进行摊铺、压实施工,同时还可添加适量水泥、水泥稀浆、石灰、粉煤灰等其他再生添加剂以提高材料的强度。这两种方式在现场就地再生中均得到应用。由于热拌再生在热态下拌和,无论旧油和新沥青都处于熔融状态,经过机械强烈搅拌,旧油、再生剂和新沥青能够充分地混和,再生效果较好,其路用性能可以和普通热拌沥青混合料媲美。现场表面热再生一般是在路面损坏程度还没有波及到下层时采用这种再生方法;而用冷拌再生混合料铺筑的再生路面,再生效果较差,优点是大大降低路面维修成本,主要适用于基层或低等级道路的维修。由于热再生沥青具有较高的结构强度,适于应用于重要交通道路。而从节约能源和运输费用角度看,现场冷再生则是一种合适的方式,但从根本上说,冷再生并不是真正意义上的沥青再生,只是一种材料的利用,因为它没有将旧沥青经过加工和处理,变成可以达到沥青路面技术要求的新材料。

在20世纪80年代之前,国外沥青路面的再生基本采用厂拌再生工艺。80年代后,随着路面加热设备和就地试验检测技术的发展,路面现场就地再生技术开始受到各国的重视。由于就地再生工艺是将旧路面的加热、铣刨、新材料的定量掺配拌和、铺筑碾压等作业就地完成,具有施工速度快、运输量少的特点,目前许多工业发达国家已逐步采用这种工艺方法。但较厂拌再生工艺而言,就地再生混合料的拌和质量难以控制,再生设备价格也比较昂贵,因而今后厂拌再生仍会是我国路面材料再生的主要方法。

目前国外沥青路面再生技术已日趋成熟,不同的再生工艺形成了不同的再生机械设备,实现了全套机械化作业,以德国维特根(Virgen)公司、意大利玛莲尼(Marini)公司为代表。尽管我国对再生技术的研究起步较早,然而目前再生技术的应用水平尚比较落后,以就地冷再生为例,直到1998年10月才首次引进维特根公司的WR2500再生机进行现场试验,对泡沫沥青的试验室研究也才刚刚开展,沥青路面现场就地再生设备也才近年引进。因此积极开展再生技术及再生机械的开发研究已成为当务之急。

4 结语

旧沥青路面材料再生,在理论上是有科学依据的。实践也证明,沥青再生路与同类型的全新沥青路面相比,无论从外观上还是从实际使用效果上都没有明显差别,这说明旧沥青路面再生利用,不但是可能的,而且是行之有效的。

随着公路建设的迅速发展,公路的维修量将大量增加,旧沥青路面利用问题也必然越来越突出。与传统的维修方法相比,再生技术具有节省新混合料的用量、节约运输费用、工程费用低、施工速度快、施工周期短、减少环境污染等优点。由于环境保护和可持续发展是公路今后发展的一个方向,因此积极进行沥青路面的再生利用技术研究已成为摆在我们面前的一项重要任务。

作为一项系统的科学技术,对沥青路面再生技术,我国应推进再生利用技术的规范化与标准化,提出诸如有关再生剂的技术标准、再生沥青混合料的技术指标、各种再生路面可能适应的道路等级,再生路面结构设计中再生路面的技术参数等;促进再生剂的规格化与系列化;加强再生机械的研制与开发。

参考文献:

- [1] 吕伟民. 沥青路面再生技术[M]. 北京:人民交通出版社,1989.
- [2] 李立寒,张南鹭. 道路建筑材料[M]. 上海:同济大学出版社,1999.
- [3] 常魁和,高群. 公路沥青路面养护新技术[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [4] 黄晓明,赵永利,江臣. 沥青路面再生利用试验分析[J]. 岩土工程学报,2001,23(4):468-471.
- [5] 杨建明,杨仁教,熊韶峰,等. 旧沥青路面再生研究的现状与工艺[J]. 南华大学学报,2003,17(1):20-25.
- [6] 陈启宗. 我国沥青路面再生设备开发对策[J]. 建筑机械,2001,(3):34-36.
- [7] 陈启宗. “工厂热法”沥青混凝土路面再生技术[J]. 工程机械,2001,(5):27-29.
- [8] 王永刚,廖克俭,闫锋,等. 废旧沥青的再生[J]. 石化技术与应用,2003,21(2):134-136.
- [9] 王永刚,廖克俭,闫锋,等. 用调和法再生废旧沥青[J]. 化工科技,2003,11(2):22-24.