

Analysis on the Regeneration Technology of Asphalt Pavement

Peng Yin, Ruoyu Li

College of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400041, China

Abstract: With the development and progress of today's society, people's consciousness of resource saving is increasing day by day, used road materials is increasing, and the regeneration forms and methods of asphalt pavement are put forward and applied. In order to provide theoretical guidance and technical support for the development and utilization of new asphalt pavement regeneration methods, this paper systematically investigates the advantages and disadvantages of existing asphalt pavement regeneration forms and regeneration methods in China, as well as the effective research and analysis made by the predecessors. This paper puts forward some problems and research ideas of asphalt pavement regeneration technology.

Keywords: Regeneration form; Regeneration mode; Comparative analysis; Regeneration in warm mix

沥青路面再生技术浅析

殷鹏, 李若愚

重庆交通大学, 土木工程学院, 重庆, 中国, 400041

摘要: 伴随着当今社会的发展和进步, 人们的资源节约意识日益增强, 对于废旧的道路材料的利用意识也逐渐提高, 各种沥青路面的再生形式以及再生方式也逐渐被提出并加以应用, 但对于各种沥青路面再生形式与方式并没有具体的文献参考, 为了给予开发和利用新的沥青路面再生方式提供理论指导与技术支持, 本文系统调查了目前国内存在各种沥青路面再生形式与再生方式的优缺点, 以及前人所作出的有效研究, 进行系统分析, 并在此基础上, 通过对比分析的方式, 提出沥青路面温拌再生技术目前存在的一些问题以及研究思路。

关键词: 再生形式; 再生方式; 对比分析; 温拌再生

1 引言

目前我国公路运输建设正处于高速发展的状态, 高速公路网以及国家干线网与过去相比得到了极大的发展完善。因为环境气候以及交通负荷等多方面因素的影响, 部分建成时间相对较早的高速公路已经出现了如龟裂、块裂、横向裂缝、松散、车辙、波浪、拥包、泛油等各类路面病害, 上述路面病害又是其他病害出现的重要诱因, 对路面的平整性以及行车的安全性等造成了十分严重的影响, 导致公路的使用寿命严重降低。传统的路面维修方法不仅费用昂贵, 而且还会产生大量的废旧材料, 造成一定程度的环境污染和资源浪费。于是一种新的解决手段应运而生, 这就是所谓的路面再生技术, 这一技术可以归入到道路维修技术的基本范畴当中, 按旧路面的性质不同, 可以划分为以下两类: 1、沥青路面再生; 2、水泥路面再生。以再生形成层位的差异, 则主要可以划分为: 再生面

层、再生基层以及再生底基层等。如果按照再生方式的差异进行分类, 则主要可以划分为热再生与冷再生两类。如果以拌合地点的差异进行分类, 则主要可以划分为以下两类: 现场再生、厂拌再生。

本文系统的调查了国内沥青路面的再生形式以及再生方式的研究现状, 从我国沥青路面的热再生、冷再生以及温拌再生这三种主要再生形式入手, 通过对比分析前人对于这三种再生形式所作的试验研究, 分析这三种再生形式的优缺点, 并在此基础上提出温拌再生技术目前存在的一些问题以及对应的研究思路。

2 沥青路面热再生技术

热再生技术的原理是将旧沥青路面混合料进行回收、加热、破碎、筛分后, 与再生剂、新沥青、新集料等按一定比例重新拌和成新混合料, 重新铺设到路面^[1]。热再生技术分为就地热再生与厂拌热再生, 对于表层沥青混凝土的维修可以采用就地热再生技术,

对于结构性深层损坏,甚至需要基层处治的路段,采用厂拌热再生。就地热再生一般包括以下两类,分别是:1、加铺再生;2、复拌再生,主要具有的优势如下:①就地热再生能够使旧路面材料得到充分的利用,从而使沥青、石料等建筑材料被节省出,另外也不需要考虑废弃料以及堆放等可能存在的问题;②就地热再生技术具有工序容易、流程完全、效率与铣刨再重铺相比更高;③就地热再生再生层、下承层与接缝等位置均采用的是热粘法,结合良好,从而有效地提高了层间粘结能力以及抗剪能力,实现了接缝处由于雨水下渗而导致的脱离问题的有效解决;④开展就地热再生的施工任务的过程中,一般只需要维修某一个车道,因此维修过程中关闭的车道数量通常为一个,所以交通受到的影响相对较小。厂拌热再生是一种结构性再生^[2],可以充分利用不同条件下的旧沥青从而达到再生利用等目的。厂拌热再生技术首先要求进行旧沥青混凝土路面的铣刨处理,然后将处理后的材料运输到工厂当中,以破碎、筛分等方式进行处理,按照沥青含量、老化程度等指标对天然集料、沥青以及再生剂进行相应的添加拌和,从而确保混合料达到了相应标准,基于新建沥青混凝土路面的铺筑方法进行铺筑过程^[3]。厂拌热再生工艺流程的复杂性相对较大,主要包括四大方面:①旧沥青路面材料的回收;②旧沥青路面材料的破碎和筛分;③回收料的储存和性能检测;④再生沥青混合料的配合比设计以及拌和、摊铺、碾压。

基于厂拌热再生 SBS 改性沥青研究表明^[4],选择的再生剂能通常是用于进行旧沥青损失组分的补充,从而提高与旧沥青的相容性,再生剂掺量通常是按照再生沥青的部分性能指标与再生剂掺量之间存在的回归关系进行确定。对于该实验来讲,旧沥青完成抽提处理之后,其老化沥青的针入度以及延度等都有一定程度的降低,性能已经不符合道路沥青技术性能的标准,软化点也有一定程度的降低,主要是因为 SBS 改性沥青由于长期的老化作用,聚合物已经出现了一定的降低,其结构也逐渐被破坏,因此老化沥青软化点也有了一定程度的减小。通过实验分析,针入度与旧沥青掺量的关系并不是简单的反比关系,再生剂的掺量会对其变化趋势产生直接的影响,新沥青以及再生剂等能够在改善旧沥青低温延度性能发挥重要作用,然而单独其中一种材料时,延度恢复效果一般较差,因此一般采取的恢复方式为新沥青与再生剂复合的方

式。然而 SBS 改性沥青因为其存在特殊的交联网络结构以及软化点对再生沥青配比的影响,通过对厂拌热再生沥青混合料进行力学方面的性能测试试验发现:^[5]在 RAP 料质量分数增大时,厂拌热再生沥青混合料抗压回弹模量以及劈裂强度等均处于不断增大的状态,疲劳方程截距和斜率减小,抗疲劳性能下降。此外,随着再生剂掺量的增加,老化沥青结合料的物理、力学性能得到了极大的提升,在 RAP 质量分数处于增大的过程中,再生沥青混合料高温稳定性也在逐渐提升,而当 RAP 质量分数不断降低时,水稳定性则会有一定程度的提升,同时再生沥青混合料劲度等也会不断增强,但是疲劳寿命回因为劲度的增大而逐渐减小,主要是由于 RAP 被施加了无数次的荷载作用,因此与普通热拌沥青混合料相比敏感性相对较差。在对含 LSPM 路面结构当中的厂拌热再生沥青混合料的应用与评价进行分析过程中发现^[6]:由于再生剂掺量的不断增大,老化沥青结合料的力学、物理等性能都将得到一定的优化,在 RAP 掺配比例不断增大的过程中,厂拌热再生沥青混合料最佳沥青用量也会有一定程度的提升,然而掺配比例在沥青最佳用量中影响相对较小,另外,当再生混合料当中的 RAP 料用量水平不断上升的过程中,混合料的高温稳定性将会得到一定的提升,而混合料的水稳定性则会由于 RAP 料含量的减小而得到一定的增强。通过进行 RAP 料掺量再生混合料疲劳性能等方面的研究容易发现^[7]:RAP 料掺量不断增加的过程中,沥青混合料的弯拉强度也将得到一定的提升,另外 RAP 料含量的增加也有利于疲劳性能的改善,两者在一定范围内约成正比关系,同时混合料的热稳定性会因为 RAP 料掺量的不断增大而增大,而抗疲劳性能则会降低,假定级配条件相同, RAP 料不断增大的过程中,沥青混合料最佳石油比会不断降低,但是动稳定度却处于不断增大的状态,说明沥青混合料的抵抗高温变形能力将会有一定程度的上升。然而,由于 RAP 料掺量的不断提升,冻融劈裂强度将会不断降低,同时也会导致低温性能变差,主要是由于沥青混合料逐渐老化的过程中,其四组分发生了变化,各自的变化也不一样,饱和酚和胶质等并不会出现较大改变,而芳香酚和沥青质的改变相对较大,而芳香酚含量有一定程度的下降,沥青质含量则有一定程度的上升。对 SCB 试验高 RAP 掺量热再生混合料低温抗裂性进行研究的过程中发现^[8]:如果 RAP 料掺量增大时,热再生混合料低温抗裂能力将会有一定程

度的下降,因此一般是通过 SCB 试验来进行热再生混合料低温抗裂能力的测试与评价,另外还能够以橡胶粉以及聚酯纤维等材料进行热再生混合料低温抗裂能力的优化,对其进行疲劳试验之后发现:橡胶粉以及聚酯纤维等都有利于热再生混合料低温抗疲劳能力的优化与提升。同时,若应力相同,聚酯纤维在热再生混合料得低温抗疲劳改性发挥的作用大于橡胶粉,橡胶颗粒主要是通过银改作业实现混凝土柔性性能的提升,而聚酯纤维则是通过增粘作用与加筋作用实现沥青胶浆对集料约束力的增强,进而达到改善热再生混合料柔性性能的目的。

3 沥青路面冷再生技术

该技术主要有厂拌冷再生以及就地冷再生等两类再生方式,前者^[9]主要是运送回收所得的沥青路面材料到有关的集中厂站中开展筛分机破碎操作,然后针对不同的 RAP 料,根据特定比例来混合水、活性填料、再生结合料以及各类新的集料等,在常温的条件下进行搅拌,然后在常温的环境中进行碾压得到和常规路面具有同一结构形式的材料,采用该类技术可以得到较好的混合料生产质量水平。而后者^[10]所指的主要是通过专门的沥青再生设备来讲旧的路面材料进行机械破碎,接着在混合料里加入改性材料以及沥青,再开展搅拌及压实等操作。它属于绿色环保类型的新型施工方法,所用的材料一般都是旧的路面材料,所以更加的环保节能。普及这一技术有望达到下述效果:首先,能够进行各种破坏类型的路面的合理处置,具有良好的施工成效;其次,可有效地拓宽路面,使行车服务质量显著提高;而且,相关的指标诸如断面及线形等均可得到良好的恢复;最后,在路面上所存在的反射及横纵向等类型的裂缝都会得到良好的治理。

基于不同水性环氧树脂掺量乳化沥青冷再生混合料耐久性试验研究可得^[11],将水性环氧树脂加入进去之后,冷再生混合料(乳化沥青)所具有的早期强度得到明显的提高,而且当逐渐增加该类树脂的加入量时,提升了其低温性能以及混合料的比例,尤其是材料的耐久性得到显著的提升,具有极佳的抗疲劳性能。该类添加水性环氧树脂所用的分散相为环氧树脂的微粒,所用的连续相为水,由此形成一个液态的体系,它的固化过程可于潮湿和常温的环境下进行,优势是有极强的粘结性,强度及高温稳定性。此外,基于掺加纤维的乳化沥青冷再生混合料的路用性能及机理分

析^[12]显示,当逐渐地提高聚酯纤维的加入量时,水以及乳化沥青等两者的最佳用量也会相应地提升,究其原因,主要受到聚酯纤维所具有的吸油性大小的影响,而且,如果加入聚酯纤维的总量提高,则干湿劈裂强度的实际参数值和比值均会出现先增后减的基本趋势,极大地增加混合料所具有的高温性能,当聚酯纤维被掺加进去之后,明显地提高了混合料所具有的应变增幅,而且有相对较小的劲度模量值,提高了采用该类混合料所制备的小梁试件自身的柔性以及其低温抗裂性能;需要指出的是,当提高聚酯纤维的添加量时,下述三个性能指标(破坏应变能、弯拉应变最大值及抗弯拉强度等)都会先增后减,尤其是显著地增加了最终的抗疲劳性。基于泡沫沥青冷再生混合料低温抗裂性评价方法及影响机理分析^[13]显示,增大水泥掺量和泡沫沥青用量均可改善泡沫沥青冷再生混合料的低温抗裂性,RAP 料掺量对泡沫沥青冷再生混合料低温性能影响不大,相同 RAP 料掺量和水泥用量情况下,随着泡沫沥青用量增大,冷再生混合料抗弯拉强度、弯拉应变和破坏应变能均呈线性增大,劲度模量随泡沫沥青用量增大呈线性关系减小,当泡沫沥青具有更高的用量时,冷再生混合料所具有的低温抗裂性能也相应地提高,而且该性能还会受到泡沫沥青以及水泥等的用量影响。而该性能受到 RAP 料加入量的具体作用规律为:当提高该加入量时,在该混合料之中将会出现更为密集的“电焊”类型的结合,而且,当所添加的泡沫沥青增加之后,该混合料具有显著更强的综合性能及柔性。基于泡沫沥青冷再生技术性能评价^[14]显示,泡沫沥青稳定剂相较于水泥稳定剂,避免了收缩裂缝的出现,此外,使其水稳定性以及剪切强度等性能都显著增加,同时提高了耐疲劳性能以及材料的柔性,这些对于真实的应用具有极高的意义,使混合料在服役过程中的抗车辙及高温性能都明显地改善了。

4 沥青路面温拌再生技术

基于厂拌热再生的相关技术,逐步发展出了厂拌温拌再生技术,由此,温拌及热再生等两类技术在减排方面的相关优势都得以有效地发挥出来,目前该技术的发展备受重视,使之前存在的不足之处得到改进和克服,由于采用了温拌技术,所以沥青路面的热再生过程具有更加良好的环保功能,它有效地融合了两者技术的优越之处,在旧沥青混合料再生过程中合理地

结合了温拌技术,取得了非常理想的效果^[15]。它使再生过程所需的加热温度得以降低,降低了排放以及能耗,使再生剂和沥青的老化现象均显著降低,使旧料利用具有更高的比例,因此其环保及节能意义是非常重大的,在进行再生时,最为重要的目标如下:将再生剂及新的沥青加入进去^[16],有效地恢复之前路面里已经出现不同程度老化的沥青的综合使用性能,而且该技术过程无需加热 RAP 料,所以很好地避免了生产旧沥青时的二次老化问题出现,极大地提高了再生旧沥青的效率,促进了混合料性能的提升,而且使厂拌再生混合料具有更加良好的施工性能,从而可在比较低的温度条件下进行施工,使其运输的距离得以延长,促进了再生混合料应用的不断发展及范围的扩大。

基于厂拌温再生沥青混合料的应用分析^[17]可得,该实验同过三种不同情况的再生方式的混合料来得出结论:如果油石比是固定的,则这些沥青混合料所具有的相关体积指标都能够达到要求,而它们的性能指标则显著更高;如果其成型的温度减小 20 摄氏度,则通过厂拌温再生方法所得的孔隙率更低,具有显著更高的密实度以及更好的成型压实质量;和其它的方法相比,其浸水残留方面的稳定度相对更低,但是有明显更好的冻融劈裂残留强度;比较这些方法所得的高温稳定性可知,采用该法具有相对低的稳定度。此外,有文献研究了以 RAP 直投式为基础的厂拌温再生技术工艺^[18],发现通过温拌再生的方法可使在从 130 摄氏度到 140 摄氏度的成品料温度区间下,如果旧料为 30%,则加热新料的温度无需明显增加,这样就不会出现混合料发生老化的现象。也有文献探讨了温拌再生新旧沥青所具有的融合性^[19],其研究结果表明,采用温拌的相关技术,可利用表面活性剂来减小料温,由此达到公路施工领域中的具体指标要求,同时,材料的车辙稳定性以及冻融劈裂性等均得到一定的提升;尤其是该工艺通过其表面活性剂的使用,使掺入旧料的具体比例不再局限于 30%,甚至可达到 40%或 50%的范围,该工作也分析了上述三个不同的旧料添加量下所得的融合性,发现样品的一系列性能均随着回收料加入量的提高而相应地增大,这些性能包括拉伸模量、冻融劈裂强度、浸水劈裂强度以及劈裂强度等。基于不同 RAP 料掺量对泡沫沥青温再生沥青混合料路用性能分析^[20]结果发现,当提高了 RAP 料的添加量之后,所得的混合料具有了显著更好的机械性能以及高温稳定性能,而其低温抗裂性能却出现了一定程度的

减小;该文献研究了材料的水稳定性,发现它的变化是先增后减的趋势。此外,也有文献探讨了比较大的 RAP 加入量的 SMA-16 混合料厂拌温再生的研究,侧重于开展材料的耐久性测试^[21],结果发现,当提高 RAP 料的加入量之后,明显地增加了混合料在高温环境下的稳定性,而且当提高 RAP 的添加量时,其耐疲劳及抗低温开裂性能均有不同程度的减小,而后者被认为是 RAP 料加入量增加造成一定限制的主要影响因素。基于回收沥青路面材料掺量对温再生沥青混合料性能影响的研究分析^[22]可得,再生混合料总的沥青用量在增大,却降低了新沥青的用量,所以, RAP 料添加量将不会限制影响到沥青总用量的大小,但却显著地影响到新沥青的掺入量,如果是站在 RAP 料的利用率水平以及新沥青的实际用量的角度来审视可知,如果 RAP 料的加入量增加,一方面是石料得以节约,另一方面也促进新沥青用量的节省,所以推动整个工程造价的有效降低。基于温再生沥青混合料水稳定性变化特征试验研究分析^[23]结果发现,在添加了温拌剂之后,将不会显著地影响到主要的性能指标,稍微减小了沥青所具有的 15 摄氏度延度以及针入度,但是相应增加其软化点;此外,当提高废旧沥青混合料加入量之后,也提高了材料的最终劈裂强度比以及残留稳定度等两项指标,如果为 40%的添加量,则上述指标均得到其最高值,在旧沥青混合料的添加量进一步增加之后,反而降低了材料的水稳定性。

5 结语

厂拌温再生技术是在厂拌热再生的基础上发展而来的,是目前沥青路面再生技术的新方向,其具有很多优势,比如高温稳定性能、动稳定度高、加热温度地、避免沥青二次老化等,然而同样有尚待改进之处,最为重要的原因就是还不能够有效地突破当前关于掺入回收旧料总量方面的限制性,此外,关于废旧及新增等两类不同沥青之间的融合性方面认识还不够深入,此外材料的低温抗裂性能也有待进一步提高,对于新旧沥青的融合性的研究不确定问题,我们发现无论是孙吉书等人采用的 Sasobit 法温拌技术亦或是章顺风等人利用浓度梯度虽然未解决该问题,但我们通过实验得到对于掺量为 30%的温再生混合料,其劈裂强度值、浸水劈裂强度值都大于完全融合的沥青混合料。同时,当旧料掺量达到 40%, 50%条件下,其强度对比结果具有一致性,故对该问题可先不进行考虑,对于 RAP

料掺量的局限问题,通过多个试验发现推荐 RAP 料掺量均为 30%,使得利用 RAP 料的效率较低,所以相较于冷再生的相关技术工艺,更加理想的是泡沫沥青以作为新沥青,主要的原因如下:该类混合料所具有的低温性能不会受到 RAP 加入量的显著影响,此外,当泡沫沥青的加入量提高之后,使得材料的低温抗裂性有了一定的提高;对于低温抗裂性不足问题,通过冷再生工艺对比,发现掺加水性环氧树脂、聚酯纤维、橡胶粉等三种添加剂,不但低温性能得到改善,且水稳定性也得到提升,故假设是否可通过上述三种添加剂来改善温再生工艺的低温抗裂性能,当然这些假设还需要进一步的试验论证,笔者仅通过不同实验结果对比分析提出几种解决问题的可能性。

References (参考文献)

- [1] 陈晓. 沥青混凝土路面热再生施工技术. 黑龙江交通科技, 2017, v.40; No. 275(01): 19+21.
- [2] 张晗, 宋绍华. 厂拌热再生沥青路面施工工艺研究. 中国高新技术企业, 2015, (13): 97-98.
- [3] 张娜, 李刚, 欧国林. 浅谈厂拌热再生技术与沥青路面养护. 交通标准化, 2008, (14): 99-102.
- [4] 周志刚, 孙宁, 杨文灿, 王彦霖. 厂拌热再生 SBS 改性沥青优化设计方法研究. 公路交通科技, 2017, 34(11): 15-22.
- [5] 薛彦卿, 黄晓明. 厂拌热再生沥青混合料力学性能试验研究. 建筑材料学报, 2011, 14(04): 507-511.
- [6] 薛彦卿, 黄晓明. 厂拌热再生沥青混合料在含 LSPM 路面结构中的应用及评价. 湖南大学学报(自然科学版), 2011, 38(10): 26-33.
- [7] 秦炜. 高 RAP 掺量热再生混合料疲劳性能研究. 公路工程, 2016, 41(01): 211-215.
- [8] 张艳, 周军伟. 基于 SCB 试验高 RAP 掺量热再生混合料低温抗裂性能研究. 公路工程, 2016, 41(06): 112-116+134.
- [9] 张大永. 沥青路面厂拌冷再生技术应用及发展研究. 科学技术创新, 2019, (03): 123-124.
- [10] 杨维东. 沥青路面就地冷再生技术分析. 科技视界, 2020, (02): 125-126.
- [11] 李亚菲. 不同水性环氧树脂掺量乳化沥青冷再生混合料耐久性试验研究. 公路工程, 2016, 41(05): 82-87+101.
- [12] 王志刚. 掺加纤维的乳化沥青冷再生混合料路用性能及机理分析. 公路工程, 2016, 41(06): 262-266+288.
- [13] 李蓬. 泡沫沥青冷再生混合料低温抗裂性评价方法及影响机理分析. 公路工程, 2017, 42(02): 233-237+266.
- [14] 蒋双全, 张蓉, 张晓华. 泡沫沥青现场冷再生技术应用及性能评价. 中外公路, 2012, 32(01): 249-253.
- [15] 尹海佳, 方杨, 吴传海, 李善强, 范洪源. 厂拌温再生沥青混合料应用. 广东公路交通, 2016, (04): 6-9.
- [16] 刘伟, 程一鸣. 温拌技术在厂拌热再生中的应用研究. 中国水运(下半月), 2012, 12(05): 265-266.
- [17] 尹海佳, 方杨, 吴传海, 李善强, 范洪源. 厂拌温再生沥青混合料应用. 广东公路交通, 2016, (04): 6-9.
- [18] 熊健, 范磊, 刘先淼. RAP 直投式厂拌温再生技术应用研究. 山西建筑, 2016, 42(17): 134-135.
- [19] 张飞龙. 温拌再生新旧沥青的融合性试验研究. 建材与装饰, 2018, (43): 256-257.
- [20] 杨泽华, 张丹丹. 不同 RAP 掺量对泡沫温再生沥青混合料路用性能分析. 公路工程, 2017, 42(01): 257-261.
- [21] 方磊. 高 RAP 掺量厂拌温再生 SMA-16 混合料耐久性试验研究. 公路工程, 2016, 41(04): 237-241+296.
- [22] 赵志帅. 回收沥青路面材料掺量对温再生沥青混合料性能的影响研究. 公路交通科技(应用技术版), 2016, 12(09): 119-121.
- [23] 李斌, 蔡伟, 刘康, 董建勋. 温再生沥青混合料水稳定性变化特征试验研究. 山西建筑, 2014, 40(33): 98-100.