

轻质油分再生剂掺量对冷再生沥青混合料性能改善研究

程培峰, 李炬辉, 寇洪源

(东北林业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 冷再生技术是将旧沥青路面铣刨料、新集料以及乳化沥青和水泥按照一定级配曲线拌和形成再生沥青混合料,再经摊铺压实形成新路面。但中国现阶段对旧路面材料的使用仅限于将其作为“黑色集料”,其所含有的老化沥青基本未得到利用,是对资源的极大浪费。该文针对轻质油分再生剂对冷再生沥青混合料性能的改善效果展开试验分析,通过对掺入再生剂的再生混合料进行路用性能试验以确定再生剂掺量与改善效果之间的关系。根据试验结果可知再生剂掺加比例较小时,对冷再生混合料性能的改善作用并不明显,而当掺量过多反而会降低路用性能。再生剂对动稳定度的改善效果较为明显,当再生剂掺量为0.6%时,动稳定度达到极值,随着再生剂掺量的继续增加,动稳定度呈下降趋势。

关键词: 冷再生沥青混合料; 轻质油分再生剂; 掺量; 路用性能

公路工程的发展与中国经济和政治建设紧密相关,自建国之初中国大力新建公路至今已近70年,大部分公路因为年久失修出现不同程度的病害,如裂缝、坑洞、唧水等。对这些出现病害路面进行修整已成为关系国计民生的大事。使用再生技术对病害路面进行修整一方面可以减少旧沥青混合料对环境造成的污

染;另一方面也可以变废为宝,节约资源。根据再生过程中是否需要加热主要分为热再生技术和冷再生技术,冷再生技术无需对集料进行加热因而节约能源,而且对旧沥青混合料利用率高应用越来越多。

新建路面的沥青混合料都是通过加热然后拌和而成,而且沥青加热状态可以润滑集料,减少其内摩阻

(3) 碳纤维掺量为0.05%左右时,沥青及其混合料的性能达到最佳,其中车辙性能为1420次/mm,抗弯拉强度达到2.74 MPa,相应的破坏应变为2650 $\mu\epsilon$,最大TSR为90%。

参考文献:

- [1] 王萌,刘慧杰,龚明辉,等.碳纳米纤维改性热拌沥青混合料特性研究[J].中外公路,2016(1).
- [2] 张岭岭,吴金荣.聚酯纤维透水性沥青混合料配合比设计[J].中外公路,2015(5).
- [3] 孙家瑛,任传军,戴亚英.纤维对沥青混合料路用性能影响研究[J].中外公路,2006(2).
- [4] 鲁华英,陈小丽,郭彦章,等.纤维沥青混凝土的作用及机理[J].中外公路,2004(4).
- [5] Kobets L,Deev I,Carbon Fibres:Structure and Mechanical Properties[J].Composites Science and Technology,1998,

57(12):1571-1580.

- [6] 贺福.碳纤维及石墨纤维[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [7] Ruland W,Carbon Fibers[J].Adv Mater,1990,2(11):528-36.
- [8] 张明德.短切沥青碳纤维混凝土马歇尔试验研究[J].山西建筑,2012(29).
- [9] 姜嵩.短切沥青碳纤维在沥青混凝土路面的应用研究[D].济南大学硕士学位论文,2009.
- [10] 冯鹏,田野,覃兆平.纤维增强复合材料拉挤型桁架桥静动力性能研究[J].工业建筑,2013(6).
- [11] Jahromi S G,Khodaii A,Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete[J].Arabian Journal Forence & Engineering,2008,33(2):355-364.
- [12] 李建辉,邓宗才.碳纤维增强混凝土的单轴拉伸特性[J].公路,2011(4).

收稿日期:2018-07-11

作者简介:程培峰,男,教授,博士生导师.E-mail:chengpeifeng@126.com

力,使混合料空隙率降低,沥青利用率高,集料本身强度得到提高。冷再生沥青混合料一般需要通过调节含水率保证其压实度,而经过养生以后,混合料中水分蒸发以后不可避免地导致再生混合料空隙率偏大。乳化沥青本身沥青含量有限,所以冷再生沥青混合料养生时间长,早期强度低,目前冷再生技术仍是只应用于路面基层和底基层。

就地冷再生技术是在旧沥青路面现场将病害路面铣刨,然后将旧沥青混合料与新集料、水、乳化沥青和水泥拌和,经摊铺和碾压及养生以后建成新路面。由于冷再生技术制备混合料过程未经过加热,而且乳化沥青的沥青含量一般为 50%~60%,即使也有水泥增强再生混合料强度,但由于本身局限性,冷再生沥青混合料强度只能满足路面基层或下基层的要求。现在的就地冷再生技术对旧沥青混合料的利用仅限于作为集料,其中老化沥青基本未发挥应有价值。该文将轻质油分再生剂运用于冷再生技术,通过轻质油分对老化

沥青的稀释溶解增强再生剂在老化沥青中的扩散作用。同时加入新集料以增加再生混合料黏聚力和强度,推广冷再生技术的应用。

1 原材料准备

1.1 旧沥青混合料

旧料取自哈尔滨江北区某条主干道,道路已使用 6 年。对旧料采用烘干法测量其含水率为 0.7%,利用阿布森沥青回收方法得到其油石比为 4.2%,由此预估再生剂掺量以 0.3%为间隔同时以旧料质量的 0.9%上下浮动掺加。通过对旧料筛分称量获得旧料级配如表 1 所示,旧沥青混合料级配与 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》AC—16 级配接近。再生混合料级配设计参考旧料级配采用再生规范中的中粒式级配,级配曲线如图 1 所示。

表 1 RAP 集料级配

集料	通过下列筛孔(方孔筛:mm)的质量百分率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP	99.6	97.1	90.6	74.4	32.6	4.8	1.1	0.4	0.2	0.1	0.0
抽提集料	99.8	97.3	92.0	77.4	53.7	25.4	18.7	13.3	8.4	5.5	2.8

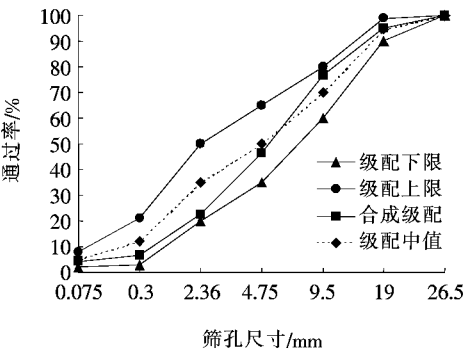


图 1 再生混合料级配曲线图

1.2 乳化沥青

旧料及新集料都偏碱性,使用阳离子乳化沥青有利于乳化沥青与集料结合,同时考虑就地冷再生过程需足够时间拌和使用慢裂慢凝型,各项指标见表 2。

1.3 水泥

冷再生沥青混合料需在拌和过程添加水分以保证压实密度,但水分蒸发过程中再生路面的早期强度不能保证。水泥在冷再生沥青混合料中作为填料的同时加速乳化沥青破乳,提高早期强度。水泥性能指标如

表 3 所示。

表 2 乳化沥青性能指标

指标项	单位	检测值	规范值	
筛上残留物(1.18 mm)	%	0.09	0.1	
恩格拉黏度		18	2~30	
储存稳定性(1 d,25 ℃)	%	0.8	≤1	
裹覆面积		合格	2/3	
残留分含量	%	63.1	≥62	
蒸发残留物	针入度(25 ℃)	0.1 mm	101.6	52~300
	延度(15 ℃)	cm	123.0	≥40
	软化点	℃	43.2	≤50

表 3 水泥性能指标试验结果

细度/%	标准稠度/%	初凝时间/min	终凝时间/min
1.8	26.2	265	377

1.4 轻质油分再生剂

沥青老化主要表现为沥青中饱和分和芳香分减

少,同时胶质和沥青质增多。SHARP 机构就沥青老化过程中成分转化做出具体研究,结果表明:沥青老化过程中低分子有机物结合形成高分子有机物,生成含有羟基、亚砷基的有机物,这些基团增强了沥青极性。极性促进了沥青分子缔合,使沥青的劲度大大增加。再生剂的主要作用是改善老化沥青性能或作为新结合料提高再生混合料强度。彭钦帮等通过在冷再生沥青混合料中添加二灰、粉煤灰等,研究它们对路用性能的影响;罗耀平等通过确定稀释沥青、PTN、环氧树脂等再生剂得到其最佳掺量和路用性能。

根据有机物之间的相似相溶原理,使用轻质油分溶解缔合完成的沥青,减少老化沥青中大分子链长度及相互引力,因而在混合料击实过程中获得黏聚力。同时在轻质油分的稀释溶解下再生剂更容易与老化沥青融合,提高老化沥青性能。轻质油分再生剂相对于其他再生剂的主要优势在于其对老化沥青的性能改善和发挥老化沥青黏聚力作用。轻质油分再生剂由轻质油分和现在市场提供的再生剂组成,试验选用再生剂与轻质油分比例为 3:7 的轻质油分再生剂,其中再生剂的各项指标如表 4 所示。

表 4 再生剂性能指标

检测指标	单位	测量结果
60℃黏度	m ² /s	155×10 ⁻⁶
闪点	℃	≥220
饱和分含量	%	≤30
薄膜烘箱试验前后黏度比	%	≤3
15℃密度	g/cm ³	1.13

2 试验准备

水分在冷再生沥青混合料中的主要作用是保证其具有最大干密度,同时使再生集料有足够的和易性。冷再生沥青混合料的最佳含水率参照 JTG E40—2007《公路土工试验规程》中 T0131 的方法,在固定乳化沥青掺量的前提下改变外掺水量,以重型击实试验对应混合料最大干密度得到最佳含水率,从而确定最佳外掺水量为 4.1%,结果如图 2 所示。

冷再生沥青混合料主要应用于路面基层,沥青路面基层常见病害为裂缝病害,当基层出现病害,经常会以反射裂缝的形式作用于面层。劈裂强度是衡量冷再生沥青混合料路用性能的重要指标,一方面劈裂强度反映再生沥青路面的间接抗拉强度;另一方面通过最

大劈裂强度所对应的乳化沥青掺量可确定乳化沥青的最佳掺量,即再生混合料最大干湿劈裂强度和干湿劈裂强度比对应的乳化沥青用量为最佳,确定最佳乳化沥青用量为 4.3%。

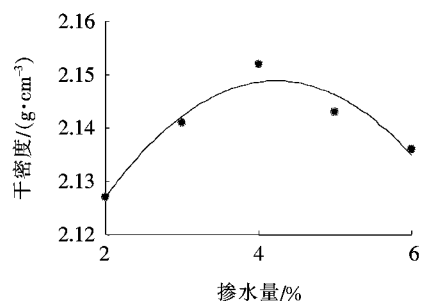


图 2 干密度随外掺水量的变化曲线图

将水泥应用于就地冷再生技术是因为水泥与再生混合料中的水分发生水化反应增强再生混合料的强度,此过程表现为水泥在冷再生沥青混合料中起到加筋作用,此外水泥水化过程中要与水发生化学反应,由于水分减少加快了乳化沥青破乳,对集料发挥黏聚力作用。两者共同提高再生混合料强度。但水泥掺量应适中,水泥掺量过多会在其水化完成后由于干缩出现裂缝,水泥添量不足会导致路面强度不足,参考文献试验采用 2% 水泥掺量。

就地冷再生沥青混合料中水泥和乳化沥青都需要经过养生以后获得强度,在养生过程中乳化沥青破乳和水泥水化使再生路面强度提升。所以室内试验所选择的击实和养生方法对冷再生混合料的最终强度至关重要。李志刚运用开放、半密闭和密闭 3 种方式下马歇尔试件进行养生,然后测量其劈裂强度和抗压强度,对比发现影响不大;中国目前对冷再生技术比较成熟的养生方式是采用“50 次+25 次”的击实方式:将装有冷再生沥青混合料的试模及时在击实仪上进行正反两面各 50 次击实,然后试件置于 60℃ 烘箱养生至少 40 h,以试件质量恒重为宜,将试件取出后及时进行第二次击实,击实次数为双面各 25 次,在室温冷却至少 12 h,然后脱模。

3 再生剂掺量对冷再生混合料性能的影响

3.1 再生剂掺量对劈裂强度的影响

按照旧沥青混合料质量的 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5% 共 5 个比例添加再生剂,同时与不掺加再

生剂的试件进行对比。将制作并养生好的试件置于 15℃ 恒温水浴箱中保温 90 min, 然后在 50 mm/min 加载速率下进行劈裂试验, 试验结果如图 3 所示。

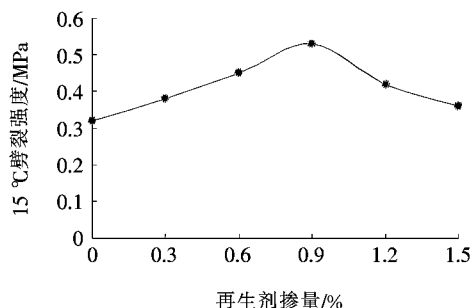
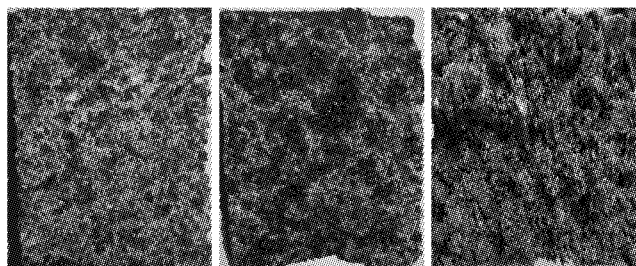


图 3 15℃ 劈裂强度

由图 3 可知: ① 当再生剂掺量为 0.9% 时, 冷再生混合料干劈裂强度达到极值, 为 0.53 MPa, 相对于未掺加再生剂的冷再生沥青混合料劈裂强度 (0.32 MPa), 提高了 39.6%; ② 当轻质油分再生剂掺量超过 0.9% 时, 再生混合料的劈裂强度出现下降趋势。分析原因: ① 当再生剂掺量小于 0.9% 时, 旧沥青混合料表面的老化沥青得到稀释溶解, 且老化沥青的性能得到改善, 但由于再生剂掺量较小改善效果未达到最佳; ② 当再生剂掺量大于 0.9% 时, 再生剂对老化沥青及破乳的乳化沥青软化稀释严重, 反而降低了黏聚力。再生剂掺量为 0.3%、0.9%、1.5% 的劈裂试件内部图片如图 4 所示。



(a) 0.3% 再生剂掺量 (b) 0.9% 再生剂掺量 (c) 1.5% 再生剂掺量

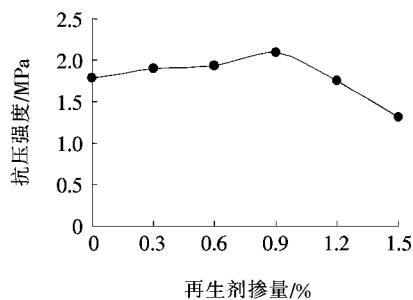
图 4 不同再生剂掺量下试件内部状况

由图 4 可知: 再生剂掺量为 0.3% 时, 冷再生沥青混合料表面沥青变色较浅, 当再生剂掺量为 0.9% 时冷再生沥青混合料显棕色, 当再生剂掺量为 1.5% 时, 再生混合料内部出现多余的未与老化沥青融合的再生剂。

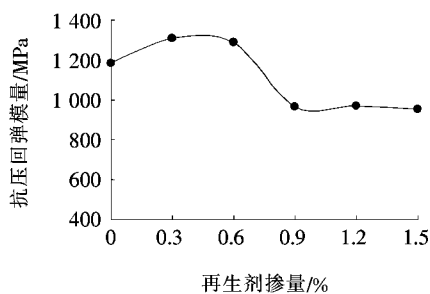
3.2 再生剂掺量对抗压强度及抗压回弹模量的影响

乳化沥青冷再生沥青混合料主要应用于路面基层, 抗压强度及其模量能很好地反映再生路面的强度,

也能很好地表现路用性能的优劣。选取 0%、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5% 几个不同再生剂掺量拌和集料, 应用前述成型和养生方法制作成型标准高度试件。成型试件根据 JTGE20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中沥青混合料单轴压缩试验方法进行, 试验温度 20℃, 加载速率 2 mm/min。试验结果如图 5 所示。



(a) 抗压强度



(b) 抗压回弹模量

图 5 冷再生沥青混合料抗压强度和抗压回弹模量变化曲线

由图 5 可以看到: 再生剂掺量对两者性能都有所改善, 但改善效果不明显, 再生剂掺量为 0.9% 时抗压强度达到最大。当再生剂掺量大于 0.9% 时, 再生混合料抗压强度反而降低; 而回弹模量在 0.3% 达到最大, 当再生剂掺量大于 0.6% 时, 回弹模量降低明显。

3.3 再生剂掺量对水稳定性的影响

将压实及养生完成的试件浸水 24 h 后测量其劈裂强度, 以浸水以后的残留稳定度作为指标衡量冷再生沥青混合料的水稳定性, 浸水劈裂强度和残留劈裂强度变化曲线如图 6 所示。

由图 6 可知: ① 冷再生混合料的浸水劈裂强度随再生剂掺量变化趋势与前文 15℃ 条件下的劈裂强度 (图 3) 变化趋势基本一致, 冷再生混合料的浸水劈裂强度同样在再生剂掺量为 0.9% 时达到最大, 其值为 0.41 MPa, 相对于未掺加再生剂的混合料浸水劈裂强度变化明显; ② 残留劈裂强度在再生剂掺量为 0.9% 时达到极值, 为 77%。

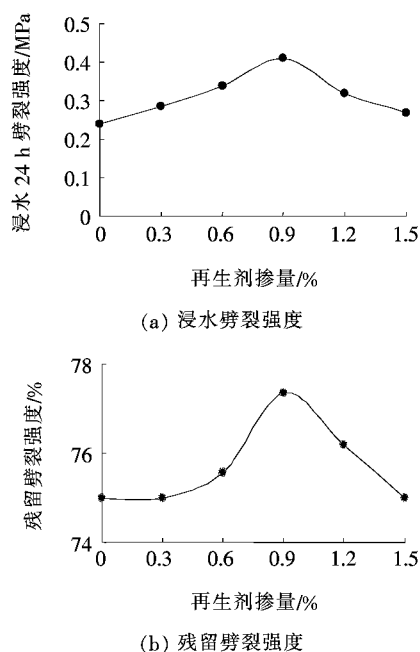


图 6 冷再生沥青混合料水稳定性变化曲线

3.4 再生剂掺量对高温稳定性的影响

通过车辙试验对沥青混合料高温稳定性进行测量,不同再生剂掺量下车辙试验结果见表 5。

表 5 冷再生沥青混合料的动稳定度

再生剂掺量/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	再生剂掺量/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)
0	3 765	0.9	2 128
0.3	4 145	1.2	1 858
0.6	5 338		

由表 5 可得:随着再生剂掺量的增加,再生沥青混合料的动稳定度先升高再下降,当再生剂掺量为 0.6% 时,混合料的动稳定度达到最大。分析原因:当未添加再生剂时,再生混合料仅有水泥和乳化沥青发挥黏聚力作用,其动稳定度较低;随着再生剂掺量的不断增加,旧沥青混合料中老化沥青性能得到改善,再生混合料由水泥、乳化沥青和再生沥青发挥黏聚力作用,且随着再生剂掺量的不断增加,老化沥青的改善效果越明显,再生剂掺量为 0.6% 时老化沥青的改善效果最佳,动稳定度最高;随着再生剂掺量的进一步增加,轻质油分再生剂中的轻质油分使老化沥青及乳化沥青软化过度,不能发挥黏聚力作用,主要由水泥发挥黏聚力,动稳定度下降明显。

4 结论

(1) 当再生剂掺量为 0.9% 时再生混合料劈裂强度达到最大,为 0.53 MPa,相对于未添加再生剂的劈裂强度,提高了 39.6%,当再生剂掺量再增加时,再生混合料劈裂强度反而下降。

(2) 冷再生沥青混合料的抗压强度随再生剂的掺量增加变化不明显,当再生剂掺量小于 0.9% 时,再生混合料的抗压强度随再生剂掺量的增加而增加,在 0.9% 时达到最大,为 2.096 MPa;当再生剂掺量为 0.3% 时,抗压回弹模量最大,为 1 306 MPa。

(3) 冷再生沥青混合料水稳定性随再生剂掺量变化不明显,但都能满足冷再生沥青混合料作为基层或底基层使用要求,再生剂掺量为 0.9% 时残留稳定度为 77%。冷再生混合料的动稳定度受再生剂的影响明显,再生剂掺量 0.6% 时再生混合料的车辙稳定度最大,为 5 338 次/mm,当再生剂掺量超过 0.6% 时再生混合料的车辙稳定度下降明显。

参考文献:

- [1] 耿九光. 沥青老化机理及再生技术研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2009.
- [2] 王宏, 郝培文, 张航. 乳化沥青冷再生拌和用水量和水泥掺加方式研究[J]. 公路, 2013(9).
- [3] 张科飞. 沥青路面就地冷再生技术研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2008.
- [4] 胡森. 基于现代物相技术的沥青结合料热老化机理研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2015.
- [5] 彭钦帮, 黄国卿, 谢树荣, 等. 复合式再生剂对冷再生材料路用性能影响分析[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2010(1).
- [6] 罗耀平. 旧沥青路面面层冷再生技术研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文, 2011.
- [7] 高光彬. 沥青混凝土路面就地水泥冷再生技术的质量控制[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2015(11).
- [8] 李志刚, 郝培文. 养生方法对泡沫沥青冷再生混合料性能的影响[J]. 北京工业大学学报, 2016(10).
- [9] 刘娜. 泡沫沥青与乳化沥青冷再生混合料中长期使用性能研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2012.
- [10] 杨彦海, 杨野, 温俊生, 等. 基于正交试验的乳化沥青冷再生材料成型养生方法试验研究[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2014(2).