乳化沥青冷再生混合料压实特性研究

刘娜
（河南省交通科学技术研究院有限公司，河南 郑州 450006）

摘要：分别采用旋转压实和马歇尔压实成型乳化沥青冷再生混合料试件，分析其体积参数随旋转压实次数的变化及不同成型方法对其体积参数、强度指标的影响，结果表明旋转压实次数为50次时，乳化沥青冷再生混合料已基本密实，其体积参数、强度指标与马歇尔标准成型基本一致；根据旋转压实的密度曲线计算压实参数，分析乳化沥青用量对乳化沥青冷再生混合料压实特性的影响，结果表明乳化沥青用量为4.0%时，冷再生混合料在摊铺、碾压阶段的施工和易性较好，开放交通后抵抗变形的能力最强。

关键词：公路；乳化沥青冷再生混合料；旋转压实；压实特性
中图分类号：U418.6 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－2668(2018)02－0081－04

乳化沥青冷再生技术可实现旧沥青路面材料的循环利用，作为一种节能、环保的绿色低碳技术在交通运输行业得到广泛应用。国内针对乳化沥青冷再生技术的研究较晚，目前主要是根据JTG F41－2008《公路沥青路面再生技术规范》进行设计、施工，但在实际应用中发现规范中的马歇尔击实法不能反映路面材料的实际受力状态，且其击实功不能充分模拟现场碾压功，成型的冷再生混合料的结构与施工现场混合料差异较大。与传统热拌沥青混合料相比，乳化沥青用量、成型方法、RAP掺配率等均会影响乳化沥青冷再生混合料的压实特性，而具有良好压实特性的乳化沥青冷再生混合料在碾压中易于压实且不易变形。因此，研究乳化沥青冷再生混合料压实特性的影响因素及发展规律，可为乳化沥青冷再生混合料的施工碾压提供科学指导。目前国内外对沥青混合料压实特性的研究成果大多是关于传统热拌工艺，对乳化沥青冷再生混合料压实特性的研究较少。该文采用旋转压实法成型试件，根据混合料的体积参数、强度指标分析压实次数、乳化沥青用量及成型方法对乳化沥青冷再生混合料压实特性的影响。

1 原材料及级配设计

1.1 RAP

RAP来自河南某干线公路铣刨料，其油石比为4.6%，其中回收沥青的技术指标见表1。为使级配满足冷再生混合料中粒式级配的要求，减少级配变异性，加入15～25 mm石灰岩新集料，并将RAP筛分为0～3、3～5、5～10、10～20 mm，级配见表2。

表1 回收沥青的技术指标

检测项目	检测结果
针入度(25 ℃，5 s)/(0.1 mm)	32.1
延度(15 ℃)/cm	13.6
软化点/℃	59.7
粘度(60 ℃)/(Pa·s)	764

表2 RAP抽提前级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
19.00	100.0	1.180	5.0
16.00	89.9	0.600	2.7
13.20	73.2	0.300	1.4
9.50	48.2	0.150	0.7
4.75	16.2	0.075	0.3
2.36	8.0		

1.2 乳化沥青

采用阳离子慢裂乳化沥青，其技术性能试验结果见表3。

表3 乳化沥青试验结果

检测项目		检测结果
电荷		阳离子
破乳速度		慢
筛上剩余量(1.18 mm)/%		0.04
固含量/%		63.8
粘度(恩格拉粘度计E25)		9.8
储存稳定性/%	1 d	0.3
	5 d	2.1

续表 3

检测项目		检测结果
蒸发残留物性质	残留分含量/%	63.8
	溶解度(三氯乙烯)/%	99.1
	针入度(25 ℃,5 s)/(0.01 mm)	67.1
	延度(15 ℃)/cm	≥100
	软化点/℃	50.4

1.3 混合料级配设计

进行乳化沥青冷再生混合料级配设计时,为提高混合料的早期强度,掺入 1%的水泥、3.8%的自来水,新集料掺量为 10%。设计级配曲线见图 1。

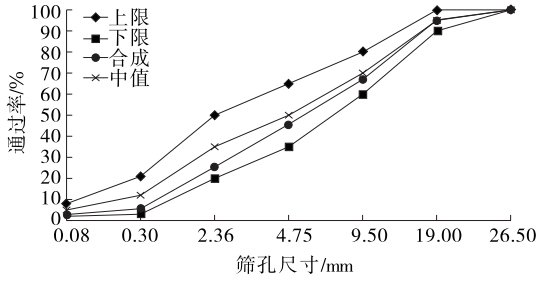


图 1 乳化沥青冷再生混合料的设计级配

2 乳化沥青冷再生混合料的压实参数

压实特性反映乳化沥青冷再生混合料在摊铺、碾压阶段的施工和易性,可采用压实能量指数 *CEI*、密实能量指数 *TDI*、密实度斜率 K_1 和 K_2 来描述(见图 2)。

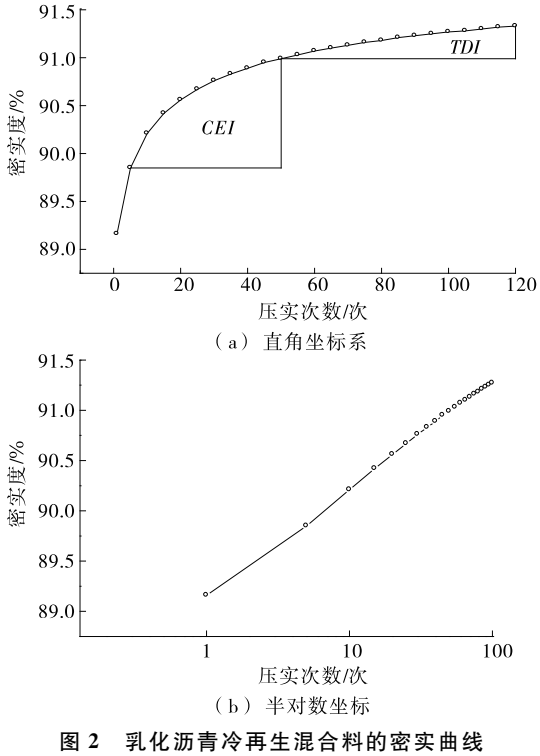


图 2 乳化沥青冷再生混合料的密实曲线

压实能量指数 *CEI* 是指在施工过程中使乳化沥青冷再生混合料压实到指定密实度时施工设备所做的功,通常以混合料从初始密实状态至 92%密实度时的密实曲线反映混合料在摊铺、碾压阶段的压实特性,*CEI* 越大,混合料越不易压实。

交通能量指数 *TDI* 是指在开放交通后混合料被压实至设计密实度时所做的功,对于乳化沥青冷再生混合料,一般采用 92%～98%密实曲线的密度来表示,*TDI* 越大,乳化沥青冷再生混合料抵抗变形的能力越强。

斜率 K_1 为半对数坐标中密实度曲线在初始压实次数 N_0～设计压实次数 N_1 时的平均斜率,按式(1)计算。K_2 为直角坐标系中密实度曲线在 N_0～N_1 时的平均斜率,其值越小,混合料抵抗变形的能力越强。

$$K_1=\frac{\gamma_1-\gamma_0}{\lg N_1-\lg N_0} \tag{1}$$

式中:γ_1、γ_0 分别为压实次数 N_1、N_0 时的密实度。

3 试验结果及分析

采用旋转压实法成型乳化沥青冷再生混合料试件,压实倾角为 1.25°,电机驱动转速为 30 r/s。

3.1 旋转压实次数的确定

采用同一级配,分别在 3.0%、3.5%、4.0%和 4.5%乳化沥青用量下拌制、旋转压实成型乳化沥青冷再生混合料试件,分析乳化沥青冷再生混合料体积参数随压实次数的变化规律,结果见图 3、图 4。

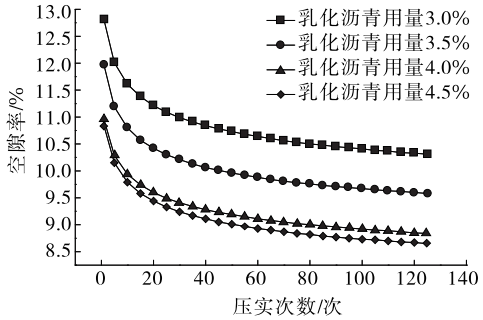


图 3 乳化沥青冷再生混合料试件空隙率随压实次数的变化

由图 3、图 4 可知:不同乳化沥青用量下,在压实的初始阶段,试件高度变化较大,空隙率下降也较明显;压实 30 次后,每压实 10 次,试件高度变化率小于 1.8%,空隙率下降不超过 0.2%;压实 50 次后,每压实 10 次,试件高度变化率小于 1%,空隙率下降幅度小于 0.1%。说明旋转压实 50 次时乳化沥青

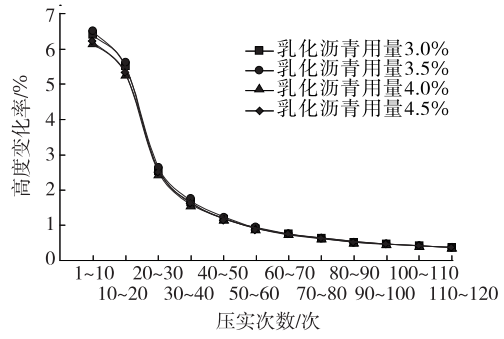


图 4　乳化沥青冷再生混合料试件高度在各压实区间的变化情况

冷再生混合料已基本密实,增加压实次数对混合料的压实作用不大。因此,将设计旋转压实次数 N_1 暂定为 50 次。

3.2　成型方法及压实次数的影响

采用相同级配,分别采用旋转压实法、马歇尔击实法,在 3.0%、3.5%、4.0%、4.5%乳化沥青用量下成型高 63.5 mm、直径 100 mm 的乳化沥青冷再生混合料试件,养生后测试其空隙率、15 ℃劈裂强度,结果见表 4 和图 5、图 6。

由表 4 与图 5、图 6 可知:1) 在相同乳化沥青用量下,空隙率随压实次数的增大而减小。旋转压实次数从 30 次增加到 50 次,试件的空隙率明显下降;从 50 次增加到 75 次,试件的空隙率下降趋势减缓;从 75 次增加到 100 次,试件的空隙率下降不超过 0.3%。表明旋转压实 50 次时试件已基本密实,再增大压实次数,压实效果下降。2) 在相同乳化沥青用量下,劈裂强度随压实次数的增大而增大。旋转压实次数从 30 次增加到 50 次,劈裂强度明显增大;从 50 次增加到 75 次,劈裂强度增大趋势减缓;从 75 次增加到 100 次,劈裂强度增大不超过 0.05 MPa。表明旋转压实 50 次时试件已基本密实,再增大压实次数,对强度的提高作用不明显。3) 旋转压实 50 次时试件的空隙率比马歇尔击实成型试件的稍小,说明旋转压实 50 次的压实功比马歇尔两面击实 75 次的击实功大,马歇尔两面击实 75 次的击实效果与旋转压实 40～50 次的相当。旋转压实 50 次时,试件的 15 ℃劈裂强度大于马歇尔击实试件,这主要是因为旋转压实 50 次的压实功更大,而且旋转压实的揉搓作用更符合现场碾压效果。综上,将设计旋转压实次数 N_1 确定为 50 次。

表 4　不同成型方法下乳化沥青冷再生混合料试件的空隙率及劈裂强度

成型方法		不同乳化沥青用量(%)下的空隙率/%				不同乳化沥青用量(%)下的劈裂强度/MPa			
		3.0	3.5	4.0	4.5	3.0	3.5	4.0	4.5
旋转压实	30 次	12.7	12.2	11.0	10.6	0.46	0.67	0.71	0.73
	50 次	11.2	10.3	9.6	9.3	0.58	0.78	0.85	0.88
	75 次	10.6	10.0	9.4	9.0	0.65	0.82	0.92	0.96
	100 次	10.3	9.7	9.1	8.9	0.70	0.83	0.94	0.98
马歇尔击实		11.4	10.4	9.7	9.5	0.55	0.74	0.81	0.80

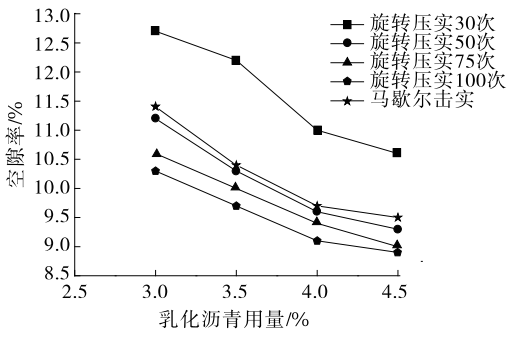


图 5　不同成型方法下乳化沥青冷再生混合料试件的空隙率

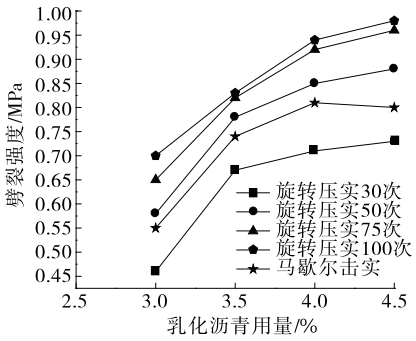


图 6　不同成型方法下乳化沥青冷再生混合料试件的劈裂强度

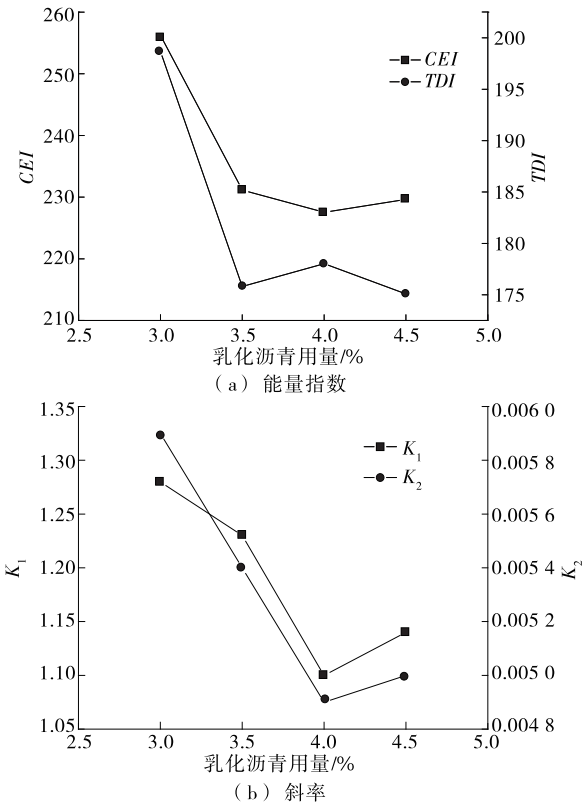
3.3　乳化沥青用量的影响

根据上述试验结果,初始旋转压实次数 $N_0=8$ 次,设计旋转压实次数 $N_1=50$ 次,最终旋转压实次

数 N_{max}=120 次。试件成型后，经过自然养生 24 h，再放入 40 ℃鼓风烘箱中加速养生不少于 72 h。结合不同旋转压实次数对应的试件高度、空隙率，计算不同旋转压实次数下的密实度（毛体积密度与最大理论密度的比值），获取乳化沥青冷再生混合料试件的密实曲线。根据压实数据、密实曲线计算各乳化沥青用量下冷再生混合料的压实参数，结果见表 5 和图 7。

表 5 不同乳化沥青用量下冷再生混合料的压实参数计算结果

乳化沥青用量/%	空隙率/%	压实参数			
		K_1	K_2	*CEI*	*TDI*
3.0	10.73	1.28	0.005 9	256.26	198.66
3.5	9.96	1.23	0.005 4	231.15	175.80
4.0	9.19	1.10	0.004 9	227.52	178.02
4.5	9.01	1.14	0.005 0	232.62	175.08



（a）能量指数

（b）斜率

图 7 乳化沥青冷再生混合料试件压实参数随乳化沥青用量的变化

由表 5 和图 7 可知：1）乳化沥青用量为 4.0% 时，冷再生混合料的 *CEI* 值最小，冷再生混合料在摊铺、碾压阶段的施工和易性较好；乳化沥青用量为 3.5%、4.5%时的 *CEI* 值接近，混合料的施工和易性较接近；乳化沥青用量为 3.0%时，冷再生混合料的 *CEI* 值最大，其在摊铺、碾压阶段不易压实。2）乳化沥青用量为 3.0%时，冷再生混合料的 *TDI* 值最大，冷再生混合料在开放交通后抵抗变形的能力最强；乳化沥青用量为 4.0%时，抵抗变形的能力次之；乳化沥青用量为 3.5%、4.5%时抵抗变形的能力最差。3）乳化沥青用量为 4.0%时，K_2 值最小，冷再生混合料抵抗变形的能力最强；乳化沥青用量为 3.0 时，K_1 最大，冷再生混合料碾压时速率较大，达到设计密实度时所需碾压次数较少。

4 结论

（1）旋转压实次数 50 次时，乳化沥青冷再生混合料试件的体积参数、强度指标与马歇尔法成型试件的相当。

（2）乳化沥青用量在 4.0%以下时冷再生混合料在摊铺、碾压阶段的施工和易性较好；乳化沥青用量为 3.0%时冷再生混合料在开放交通后抵抗变形的能力最强；乳化沥青用量为 4.0%时冷再生混合料抵抗变形的能力最强；乳化沥青用量为 3.0%时冷再生混合料碾压时速率较大，达到设计密实度时所需碾压次数较少。

参考文献：

[1] 袁迎捷，胡长顺.旋转压实原理与参数设置[J].广西交通科技，2003(2).

[2] 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).

[3] 纪小平，郑南翔，甘新立.再生沥青混合料压实特性的研究[J].中外公路，2013，33(5).

[4] 高磊.乳化沥青冷再生混合料的裂纹发展行为及抗裂机理研究[D].南京：东南大学，2016.

[5] 李锋，严金海，朱浩然，等.乳化沥青冷再生混合料低温性能研究[J].公路，2015(3).

[6] 林烈琼，包双雁.泡沫沥青冷再生技术在海南公路改建中的应用[J].公路与汽运，2017(6).

[7] 赵丹.营口地区城市道路泡沫沥青再生技术的应用研究[D].沈阳：沈阳建筑大学，2015.

[8] 汪德才，张海伟，张华.乳化沥青冷再生混合料抗剪特性及其永久变形预估[J].江苏大学学报：自然科学版，2017，38(2).

[9] 张伟，史爱芬.就地冷再生技术在农村公路改造中应用策略研究[J].公路与汽运，2017(6).

收稿日期：2017－09－10