

交通运输行业标准
《沥青路面冷再生混合料抗磨耗性能评价
方法和技术标准》
(征求意见稿)

编制说明

《沥青路面冷再生混合料抗磨耗性能评价方法和技术标准》编制组

2017年9月

目 录

一、工作简况.....	1
二、标准编制原则和标准主要内容.....	3
三、主要试验（或验证）的分析、技术经济认证或预期的经济效果.....	5
四、与国际、国外同类标准水平的比较情况.....	20
五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系.....	20
六、重大意见分歧的处理结果和依据.....	20
七、其他应予以说明的事项.....	20

一、工作简况

1.1 任务来源

在实际工程应用过程中，常常由于施工路段的交通量过大或者是附近没有可疏导交通的其他通道，冷再生混合料路面碾压完毕后难以封闭 7 天，有时封闭交通 2-3 天都非常困难，甚至于冷再生层碾压完毕后就不得不立即开放交通。在这种情况下，冷再生层在经受行车荷载作用时处于强度没有完全形成的不利状态，此时未养生或者部分养生的路面状况其实与混合料设计时养生完全的状态根本不一样；此时冷再生层的强度根本达不到设计时完全养生的强度。在不能完全封闭交通的路段实施冷再生工艺，就面临着混合料碾压完毕后在行车作用下表面产生松散的风险。在无法继续通过优化施工组织等手段实现路面完全养生目的的情况下，为避免早期开放交通对冷再生层的不利影响，迫切需要在冷再生混合料设计阶段就考虑混合料提高早期强度、提高冷再生混合料抗磨耗抗松散的能力，以便在配合比设计阶段优化材料配方、混合料配比和添加剂等的添加比例，实现冷再生混合料早开放交通、快开放交通的目的。

现阶段，我国的沥青路面再生规范中没有评价乳化沥青（泡沫沥青）冷再生混合料成型后抗磨耗的试验方法和设备，更没有标准来评价冷再生混合料的早期开放交通的实际路用性能。鉴于此，迫切需要通过研究提出乳化沥青冷再生混合料抗磨耗性能试验方法、确定适合的试验仪器并形成技术标准，以解决工程难题指导工程实施，扩大乳化沥青冷再生工艺的应用量，提高应用质量。

基于此，交通运输部科技司下达了《交通运输部关于下达 2017 年交通运输标准化计划的通知》（交科技发 2016[506]）中下达了《沥青路面冷再生混合料抗磨耗性能评价方法和技术标准》标准制定工作，该工作由交通运输部公路科学研究院主持，计划号 2016-126。

该标准立项名称为《沥青路面冷再生混合料抗磨耗性能评价方法和技术标准》，根据调研和专家建议，拟将现标准名称《沥青路面冷再生混合料抗磨耗性能评价方法和技术标准》更改为《乳化沥青冷再生混合料磨耗损失技术要求和试

验方法》（理由见第三章 3.1 节）。

1.2 协作单位

在本标准的制定过程中，开展了广泛的调研和大量的试验验证工作，得到了相关单位的支持、协助，取得了大量试验数据和标准制定建议，保证了标准的制定质量。协作单位名单如下：

- （1）美德维实伟克贸易（上海）有限公司
- （2）北京盛广拓公路科技有限公司
- （3）江西省高速公路投资集团有限责任公司
- （4）漯河市天龙化工有限公司

各单位主要工作如下：

交通运输部公路科学研究所：负责项目的组织、协调，负责试验方案设计和标准编写；

美德维实伟克贸易（上海）有限公司：提供部分原材料，参与试验方案设计；

北京盛广拓公路科技有限公司：参与室内试验；

江西省高速公路投资集团有限责任公司：参与室内试验；

漯河市天龙化工有限公司：提供部分原材料，参与室内试验。

1.3 主要工作过程

交通运输部公路科学研究院接到标准制定计划任务后，立即着手进行标准制定工作，主要工作过程如下：

（1）2016年8月~2016年9月，交通运输部公路科学研究院牵头成立了标准起草组。课题组广泛收集了国内外关于混合料抗磨耗性等资料，进行了技术分析，提出了标准制定原则、编写思路及人员分工，编写了标准制定大纲。

（2）2016年10月~2016年12月，编写组主要人员赴国内进行标准、试验方法的调研。

（3）2017年1月~2017年2月，确定试验方案、购置仪器设备，准备铣刨料、新集料等原材料，以及广泛收集国内工程上主要用乳化剂等原材料，准备试

验。

(4) 2017年3月~2017年7月，进行大量室内抗磨耗性能试验。

(5) 2017年8月~2017年9月，整理数据，编写标准征求意见稿初稿，以及编制说明，进行标准起草组内部的讨论和初稿完善。

1.4 主要起草人及其所做的工作

本标准主要起草人：秦永春、王杰、徐剑、董文龙、黄颂昌、程其瑜、曾蔚、秦志山、江涛、李秋平、马卫民、邱浩、石小培、王随原、史越、孙斌、周朝晖、张艳鸽、冯国利、黄伟、徐海平。

各起草人员主要工作如下：

——秦永春主要负责组织、协调，并负责试验方案设计、标准编写工作。

——王杰、徐剑、董文龙参与试验方案设计、国内外资料调研，参与标准编写工作。

——黄颂昌、程其瑜参与试验方案设计。

——曾蔚、秦志山、邱浩、石小培、王随原、张艳鸽、冯国利、黄伟、徐海平负责具体试验，参与试验数据的收集和整理。

——江涛、李秋平、马卫民、史越、孙斌、周朝晖负责乳化剂、沥青等原材料的收集，参与试验数据的收集和整理。

二、标准编制原则和标准主要内容

2.1 标准编制原则

①协调性原则

做好与相关标准、规范的协调、衔接，保证本标准相关内容与现行相关规范及标准的统一性和一致性。

②可操作性原则

本标准所制定内容为首次，试验方法和试验设备均首次提出。为便于工程应用，起草的条文应明晰、规范，试验方法中仪器、关键步骤等内容应详细、明确，

可操作性强。

③成熟性原则

标准必须进行充分技术论证或试验论证，应根据充分，理论正确，验证可信，确保技术成熟性、可靠性。

④代表性和先进性原则

标准必须能够满足工程应用的基本要求，同时也必须考虑试验验证样品的代表性，确保技术指标能大部分覆盖工程要求；同时能够引导工程的改进、完善，从而有利于行业的持续进步。

2.2 标准主要内容的说明

本标准为《乳化沥青冷再生混合料磨耗损失技术要求和试验方法》，属于新制定，包括范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、试验方法、计算和报告等内容。

本标准借鉴的相关技术标准有：

JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

JTG F40 公路沥青路面上施工技术规范

JTG F41 公路沥青路面再生技术规范

JT/T 1085 沥青混合料马歇尔击实仪

JT/T 1103 沥青混合料拌和机

欧美相关标准

(1) 关于标准名称

该标准立项目的是确定乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的技术要求和试验方法，对于泡沫沥青冷再生混合料只是进行适用性分析。

(2) “磨耗损失”术语

冷再生层在铺筑形成早期，冷再生层的强度还没达到设计时完全养生的强度，因而面临着混合料碾压完毕后在行车作用下表面产生松散的风险。为避免早期开放交通对冷再生层的不利影响，迫切需要在冷再生混合料设计阶段就考虑混

合料抗磨耗松散的能力，以便在配合比设计阶段优化材料配方、混合料配比和添加剂等的添加比例，实现冷再生混合料早开放交通、快开放交通的目的。

借助《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 中稀浆混合料湿轮磨耗试验和美国 ASTM D7196-06 冷再生混合料抗松散试验方法，提出了乳化沥青冷再生混合料“磨耗损失”这个术语。该指标的获得需要在特定试验条件下，采用专用设备对冷再生混合料试件施加旋转磨耗力，其损失的质量以磨耗损失(%)表示。

(3) 技术要求

乳化沥青冷再生混合料强度的形成是一个较为漫长的过程，其在乳化沥青完全破乳凝结之前的强度较低，在受到早期临时车辆等交通荷载作用而容易导致松散、磨耗损失等现象，影响道路的最终使用性能。

其次，美国 ASTM D7196-06 虽然提出了乳化沥青冷再生混合料抗磨耗性能的试验方法，但没有提出磨耗损失的技术要求。这与该标准没有统一试验条件有关。众所周知，乳化沥青冷再生混合料含有水泥、乳化沥青，需要一定的养生条件，才能形成最终强度。不同的养生条件，对早期性能影响相当显著。

因此，应首先通过研究，确定乳化沥青冷再生混合料的试验条件；其次，在规定试验条件下，通过对不同乳化沥青种类、乳化沥青用量、级配类型等进行广泛试验研究，得出技术要求。具体试验研究内容见第 3 章内容。

(4) 试验方法

试验方法主要参考了美国 ASTM D7196-06，但本标准对于冷再生混合料磨耗损失试件的成型方式、养生温度、养生相对湿度的确定做出了相应的试验研究，结合我国的实际情况，明确了冷再生混合料试件的成型方式、养生温度和养生相对湿度。

三、主要试验（或验证）的分析、技术经济认证或预期的经济效果

3.1 成型方式的确定

乳化沥青冷再生混合料试件的成型可通过旋转压实成型或大型马歇尔击实

成型，为了分析这两种成型方式对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的影响，本文分别对这两种成型方式进行了研究。

为了减小 RAP 级配变异性对试验结果的影响，首先将 RAP 进行了多级分档。分档筛孔分别为：2.36mm，4.75mm，9.5mm，13.2mm。

乳化沥青冷再生混合料级配设计见表 1 所示。级配采用粗粒式。

表 1 乳化沥青冷再生混合料级配设计

筛孔 (mm)	通过率 (%)							合成级配	级配范围	
	RAP					6	7			
	1	2	3	4	5					
	0-2.36	2.36	4.75	9.5	13.2	新料 10-30	矿粉		上限	下限
37.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0	100	100
26.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	100	100	99.8	100	80
13.2	100.0	100.0	100.0	97.9	4.9	7.8	100	68.5	80	60
4.75	100.0	99.0	1.5	0.2	0.9	0.2	100	36.4	60	25
2.36	99.5	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	100	24.3	45	15
0.3	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.3	5.8	20	3
0.075	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.2	3.6	7	1
各档料用量 /%	23	12	14	17	25	8	1	-	-	-

乳化沥青室内制备，乳化剂采用 S 和 W，扫刷时间统一为 15min。

马歇尔双面击实次数各为 75 次，通过试件高度来预先调整装料质量；旋转压实次数同样通过试件高度来控制，经过预先试验，表明旋转压实 30 次较为合理，能有效控制试件高度在范围之内。试件养生温度 25℃、养生相对湿度 70%、养生时间 4h，试验结果见表 2 所示。

表 2 不同成型方式乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

试件编号	成型方式	水泥用量 /%	预加水量 /%	乳化沥青用 量/%	磨耗损失 /%	平均值/%
------	------	------------	------------	--------------	------------	-------

1	大马歇尔 (75次*2)	0	2.4	3.5	27.5	25.6
2		0	2.4		22.8	
3		0	2.4		28.4	
4		0	2.4		23.7	
5		1.5	2.5		2.6	3.1
6		1.5	2.5		3.0	
7		1.5	2.5		3.2	
8		1.5	2.5		3.6	
9	旋转压实 (30次)	0	2.4		17.8	21.5
10		0	2.4		22.8	
11		0	2.4		26.2	
12		0	2.4		19.1	
13		1.5	2.5		3.9	3.5
14		1.5	2.5		3.3	
15		1.5	2.5		3.1	
16		1.5	2.5		3.7	

马歇尔击实试件和旋转压实试件均能在成型后立马脱模完整取出进行养生，两者并无明显差别，考虑马歇尔击实仪在我国的普遍性，决定本标准乳化沥青冷再生混合料成型方法为大型马歇尔击实法（双面75次）。

从表2中，还可以看出，不加水泥的冷再生混合料相比于加了水泥的混合料磨耗损失明显偏大，经扫刷后，呈松散状态，表面基本与试验托盘上层金属盘持平。因此，水泥对提高乳化沥青冷再生混合料的早期强度至关重要。

3.2 养生条件的确定

3.2.1 养生温度的确定

养生温度对水泥、乳化沥青等材料早期强度的形成至关重要，参考国内外研究资料，本文拟将养生温度设定在15℃~35℃，通过试验确定最终养生温度。本

试验将养生温度设定为 15℃、25℃、35℃。再生混合料级配设计与上节相同，水泥用量为 1.5%，预加水量 2.5%，乳化沥青用量 3.5%，养生时间统一为 4h。试验结果见表 3 所示。

表 3 不同养生温度条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

试件编号	成型方式	养生温度/℃	养生相对相对湿度/%	磨耗损失/%	平均值/%
1	大马歇尔 (75 次 *2)	15	70	4.5	4.6
2				5.2	
3				4.1	
4				4.7	
5		25	70	2.6	3.1
6				3.0	
7				3.2	
8				3.6	
9		35	70	2.2	1.8
10				1.6	
11				1.8	
12				1.5	

乳化沥青冷再生混合料磨耗损失随温度的变化情况见图 1 所示。

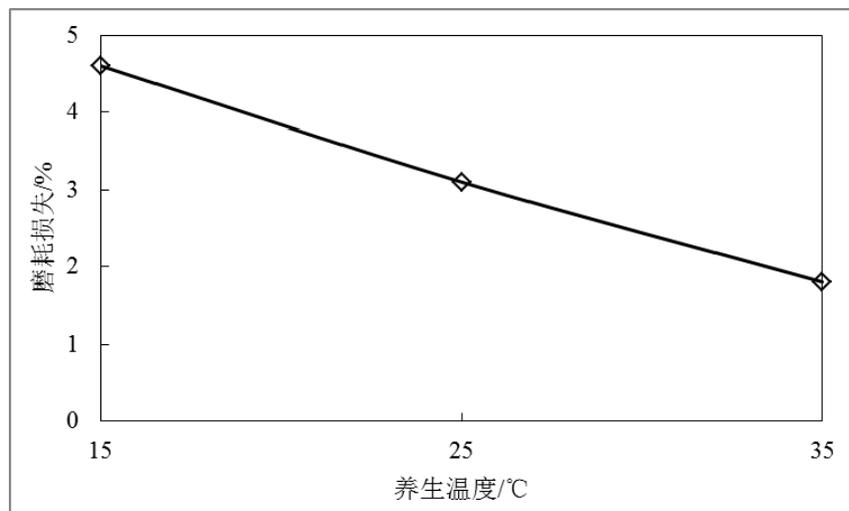


图 1 不同养生温度条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失变化曲线

由上述试验结果可知，温度对乳化沥青冷再生混合料影响显著，随温度的升高，磨耗损失逐渐减小，表明提高温度，可以增强乳化沥青冷再生混合料的早期强度。主要是因为当温度升高，水泥水化反应加快，强度增长加快，以及高温可以加快再生混合料中水分的蒸发，加快黏结强度的形成。

由于磨耗试验是在室温条件下进行，结合美国 ASTM D7196-06 推荐温度 18~24℃，以及我国沥青混合料试验规程大多室温试验都为 25℃。考虑若温度过高，则无法较好模拟冷再生混合料初期强度形成过程；若温度过低，则，因此设定乳化沥青冷再生混合料养生温度为 25℃。

3.2.2 养生相对湿度的确定

研究资料表明，养生相对相对湿度对于水泥的水化反应影响显著，本试验分析了相对相对湿度对冷再生混合料磨耗损失的要求。再生混合料级配设计同样与上节相同，水泥用量为 1.5%，预加水量 2.5%，乳化沥青用量 3.5%，养生时间统一为 4h。

表 4 不同养生相对相对湿度条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

试件编号	成型方式	养生温度/℃	养生相对相对湿度/%	磨耗损失/%	平均值/%
1	大马歇尔 (75 次 *2)	25	40	0.4	0.4
2				0.6	
3				0.3	
4				0.2	
5		25	60	2.3	2.3
6				1.9	
7				2.6	
8				2.4	
9		25	70	2.6	3.1
10				3.0	

11				3.2	
12				3.6	
13		25	80	5.1	4.9
14	4.4				
15	5.5				
16	4.9				

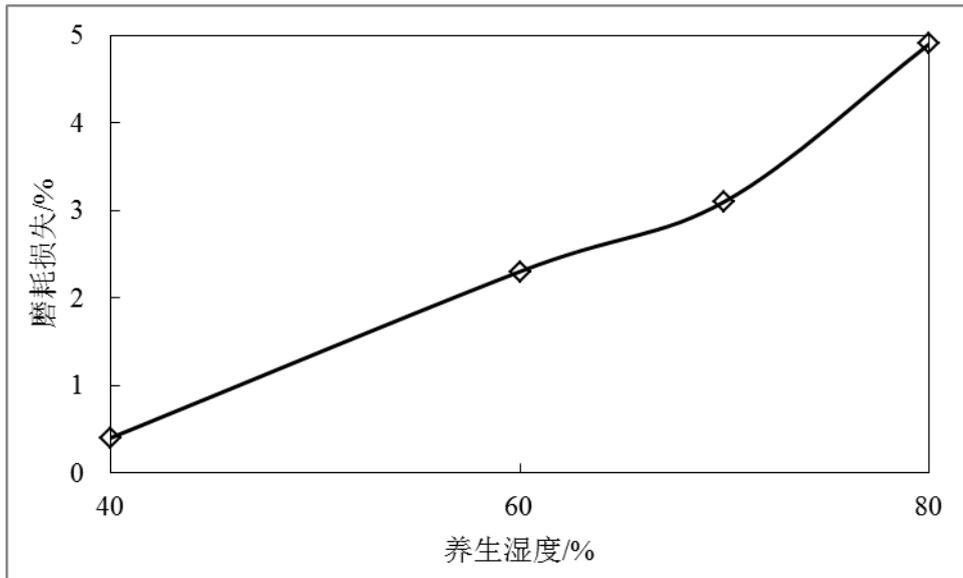


图 2 不同养生相对相对湿度条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失变化曲线

由表 4 试验结果可知，随着相对湿度的增加，乳化沥青冷再生混合料的磨耗损失逐渐增大。这主要是因为高湿环境下，延缓了乳化沥青混合料中水分的蒸发，影响了混合料强度的形成。相对湿度 40% 时，磨耗损失平均值仅 0.4%，数值过小，可能无法有效区分不同类型乳化沥青冷再生混合料的抗磨耗性能，同时相对湿度过小，会影响水泥水化反应的进行。

列举我国由北向南部分省市全年相对湿度情况，见表 5 所示。

表 5 我国部分省市相对湿度情况

地区	全年平均相对湿度/%			每年 6~9 月平均相对湿度		
	2014 年	2015 年	2016 年	2014 年	2015 年	2016 年
北京市	45.3	49.4	48.8	55.4	56.9	56.7
江西省	70.6	74.8	75.7	78.6	78.4	76
湖北省	63.3	65.3	66.9	73.1	72.0	72.8
广东省	73.3	75.9	76.3	79.1	78.9	78.5
平均值	63.1	66.4	66.9	71.6	71.6	71.0

由表 5 可知，近三年来，这四个省市的平均相对湿度变化并不大，全年平均湿度为 65.5%，6~9 月平均相对湿度为 71.4%。通过收集其他省市相对湿度资料，以及冷再生路面的施工工期，相对湿度 70% 能较大范围覆盖。因此，本标准拟定相对湿度 70% 为乳化沥青冷再生混合料标准养生条件。

3.2.3 养生时间的确定

本标准是确定乳化沥青冷再生混合料早期抗磨耗性能的技术要求，因此，养生时间不能过长。本试验分析了养生时间对冷再生混合料磨耗损失的要求。再生混合料级配设计同样与上节相同，水泥用量为 1.5%，预加水量 2.5%，乳化沥青用量 3.5%。养生温度为 25℃，养生相对湿度为 70%。

表 6 不同养生时间条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

试件编号	成型方式	养生时间/h	磨耗损失/%	平均值/%
1	大马歇尔 (75 次*2)	2	5.3	5.3
2			5.8	
3			4.7	
4			5.5	
5		4	2.6	3.1
6			3.0	
7			3.2	
8			3.6	
9		6	1.8	1.7
10			1.4	
11			2.0	
12			1.6	

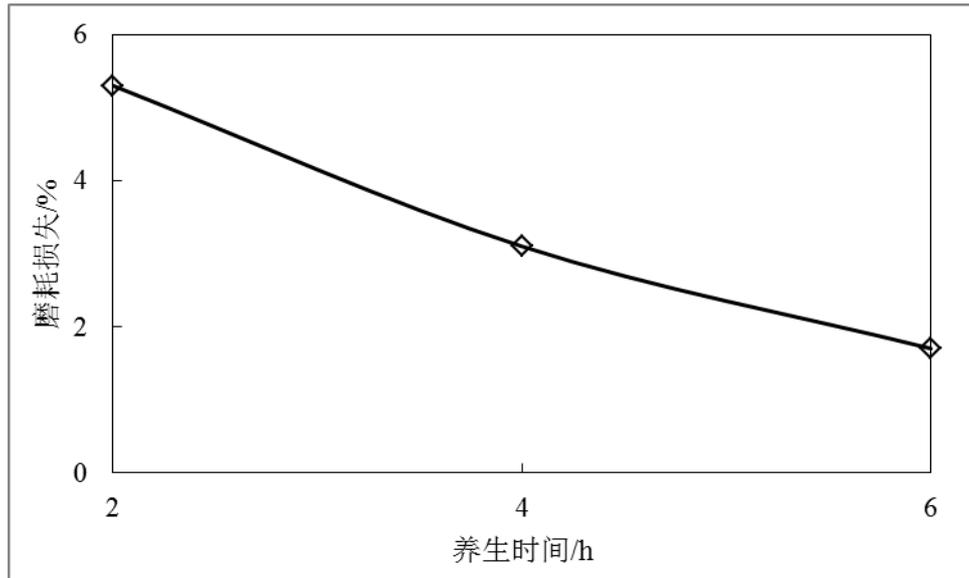


图 3 不同养生时间条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失变化曲线

由试验结果可知，养生时间的变化对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失有显著影响。随养生时间的延长，乳化沥青冷再生混合料磨耗损失逐渐减小，表明其强度逐渐形成。考虑本标准主要是界定乳化沥青冷再生混合料的初期强度，结合美国 ASTM D7196-06 推荐养生时间 4h，本标准拟定乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验养生时间为 4h。

3.3 技术要求的确定

经上节试验研究，拟定乳化沥青冷再生混合料成型方式为大型马歇尔击实（双面击实 75 次），试件养生条件：温度为 25℃，相对湿度为 70%，时间为 4h。

试验条件统一后，对于乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的影响可主要归结为以下几类：乳化剂种类、乳化剂剂量、乳化沥青用量、级配等。本研究将对这几项关键影响因素进行广泛试验，以制定冷再生混合料磨耗损失的标准。

3.3.1 乳化剂种类的影响

为了研究乳化剂种类对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的影响，本试验共选用了 5 种乳化剂，分别以 S、W、S+W、LS、KZ 表示，乳化沥青均在室内试验室制备。乳化沥青冷再生混合料级配设计见表 7 所示。

表 7 乳化沥青冷再生混合料级配设计

筛孔 (mm)	通过率 (%)							合成 级配	级配范围	
	RAP					6	7			
	1	2	3	4	5					
	0-2.36	2.36	4.75	9.5	13.2	新料 10-30	矿粉		上 限	下 限
31.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0	100	100
26.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	100	100	99.8	100	80
13.2	100.0	100.0	100.0	97.9	4.9	7.8	100	68.5	80	60
4.75	100.0	99.0	1.5	0.2	0.9	0.2	100	36.4	60	25
2.36	99.5	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	100	24.3	45	15
0.3	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.3	5.8	20	3
0.075	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.2	3.6	7	1
各档料用量 /%	23	12	14	17	25	8	1	-	-	-

乳化沥青冷再生混合料预加水量统一为 2.5%，水泥用量统一为 1.5%。试件养生温度为 25℃，养生相对湿度为 70%，养生时间为 4h，试验结果见表 8 所示。

表 8 不同乳化剂条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

乳化剂种类	乳化剂剂量/%	乳化沥青用量/%	磨耗损失/%	平均值/%
S	2.4	3.5	4.1	3.6
			3.9	
			3.2	
			3.2	
W	3.0	3.5	3.4	3.8
			4.1	
			3.5	
			4.0	
S+W	2.4	3.5	2.6	3.1

			3.0	
			3.2	
			3.6	
LS	2.2	3.5	3.0	6.4
			6.1	
			7.2	
			5.9	
KZ	3.2	3.5	2.2	2.8
			3.0	
			3.1	
			4.5	

表 8 中平均值的获得按照下述精度法则进行处理：当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目 n 为 3、4、5、6 时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

由表 8 可知，不同乳化剂对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失有影响，其中 LS 乳化剂的磨耗损失最大，明显大于其他乳化剂类型。其余 4 种类型乳化剂的磨耗损失的平均值为 3.3%。

3.3.2 乳化剂剂量的影响

乳化剂的剂量直接关系乳化沥青的性能。因此，本试验分析了乳化剂剂量对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的影响。乳化剂选用乳化剂 S+W，级配采用 4.3.1 节的级配。

乳化沥青冷再生混合料预加水量统一为 2.5%，水泥用量统一为 1.5%。试件养生温度为 25℃，养生相对湿度为 70%，养生时间为 4h，试验结果见表 9 所示。

表 9 不同乳化剂剂量条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

乳化剂剂量/%	乳化沥青用量/%	磨耗损失/%	平均值/%
---------	----------	--------	-------

1.4	3.5	2.2	2.4
		2.4	
		3.5	
		2.6	
2.4	3.5	2.6	3.1
		3.0	
		3.2	
		3.6	
3.4	3.5	2.6	3.3
		4.0	
		3.2	
		3.5	

表 9 中平均值的获得同样按照下述精度法则进行处理：当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目 n 为 3、4、5、6 时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

不同乳化剂剂量对乳化沥青冷再生混合料的磨耗损失有影响，但差异并不大。3 种乳化剂剂量类型的磨耗损失平均值为 2.9%。

3.3.3 乳化沥青用量的影响

为了确定乳化沥青用量对冷再生混合料磨耗损失的影响，本试验对不同乳化沥青用量的冷再生混合料进行了试验。乳化剂选用复配乳化剂 S+W，乳化剂剂量为 2.4%，级配采用 4.3.1 节的级配。

乳化沥青冷再生混合料预加水量统一为 2.5%，水泥用量统一为 1.5%。试件养生温度为 25℃，养生相对湿度为 70%，养生时间为 4h，试验结果见表 10 所示。

表 10 不同乳化沥青用量条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

乳化沥青用量/%	乳化剂剂量/%	磨耗损失/%	平均值/%
----------	---------	--------	-------

	0-2.36	2.36	4.75	9.5	13.2	新料 10-30	矿粉			
37.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100.0	100.0	100.0
26.5	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	100	100	99.8	99.9	99.9
13.2	100.0	100.0	100.0	97.9	4.9	7.8	100	68.5	72.3	78.0
4.75	100.0	99.0	1.5	0.2	0.9	0.2	100	36.4	43.3	49.2
2.36	99.5	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	100	24.3	28.3	31.4
0.3	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.3	5.8	6.6	8.8
0.075	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.2	3.6	4.1	6.0

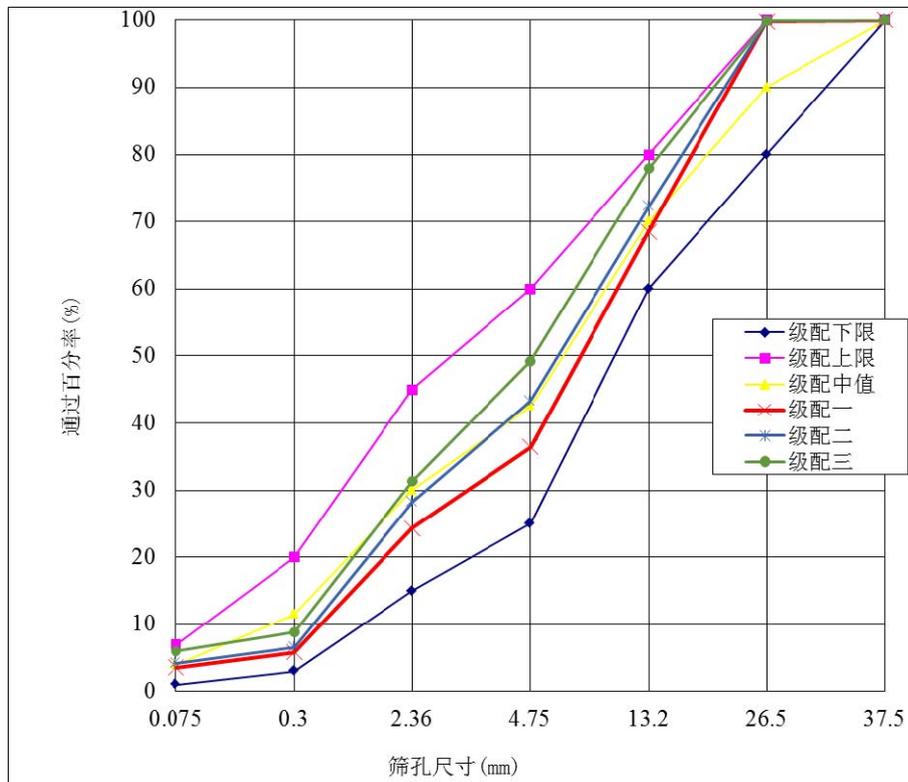


图 4.3 种乳化沥青冷再生混合料级配曲线

乳化剂选用复配乳化剂 S+W，乳化剂剂量为 2.4%，乳化沥青用量为 3.5%，水泥用量统一为 1.5%。试件养生温度为 25℃，养生相对湿度为 70%，养生时间为 4h，试验结果见表 12 所示。

表 12 不同级配条件下乳化沥青冷再生混合料磨耗损失试验结果

级配类型	预加水量/%	磨耗损失/%	平均值/%
------	--------	--------	-------

级配一	2.5	2.6	3.1
		3.0	
		3.2	
		3.6	
级配二	2.7	1.0	2.3
		2.0	
		2.9	
		2.1	
级配三	2.7	2.3	2.4
		2.4	
		2.6	
		1.7	

表 12 中平均值的获得同样按照下述精度法则进行处理：当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目 n 为 3、4、5、6 时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

由表 12 试验结果可知，级配对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失存在影响，三种级配的磨耗损失平均值为 2.6%。

综上，通过研究不同乳化剂种类、乳化剂剂量、乳化沥青用量、不同级配对乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的影响，以及国内外资料调研，拟定乳化沥青冷再生混合料磨耗损失应不大于 3.5%。

3.4 试验方法

试件制备过程主要参考再生规范对于乳化沥青冷再生混合料配合比设计方法的规定。对试验方法中几个主要问题进行了如下说明。

①试验方法中试件高度应满足 $66 \pm 2\text{mm}$ ，若不满足，可调整装料质量，合格试件可直接脱模。规定该高度是保证试件装入磨耗仪后，应使磨耗头能自由垂

直移动 5mm 左右。

②对于装料质量，美国 ASTM D7196-06 建议为 2750g，由于本试验规定试件高度为 $66\pm 2\text{mm}$ ，比美国标准高度略低，结合本研究室内大量试验，因此，建议乳化沥青冷再生混合料装料质量约为 2600g。

③磨耗仪转动 15min 主要参考了美国 ASTM D7196-06 的建议磨耗时间。



图 6 乳化沥青冷再生混合料磨耗试验

④磨耗损失的计算主要参考了美国 ASTM D7196-06，即磨耗损失 W ：

$$W = 100 \times (m_a - m_b) / m_a$$

式中： W —沥青冷再生混合料磨耗损失（%）；

m_a —磨耗前的试件质量（g）；

m_b —磨耗后的试件质量（g）；

⑤参考《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 中稀浆混合料湿轮磨耗试验对试验结果的处理，也根据本试验大量试验处理分析。拟定试验数据依据为：当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目 n 为 3、4、5、6 时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。一组试样个数应不少于 3 个。

四、与国际、国外同类标准水平的比较情况

对于乳化沥青冷再生抗磨性能没有国际相关标准，但美国有相关技术标准，具体见 ASTM D7196-06。本标准与国外标准相比，对于乳化沥青冷再生混合料的养生条件提出了明确要求，即：养生温度 25℃，养生相对湿度：70%，养生时间：4h，扫刷时间：15min。明确试验条件后，对于不同类型的乳化沥青冷再生混合料就可以进行横向比较，对比乳化沥青类型、乳化沥青用量、级配等因素对冷再生混合料磨耗性能的影响。

其次，本标准提出了乳化沥青冷再生混合料磨耗损失的技术要求，该技术要求对于规范和提高冷再生混合料早期强度具有重要意义，可以在混合料配合比设计阶段优化材料配方、混合料配比等，以指导工程实施，实现冷再生混合料路面早开放交通的目的。

五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系

本标准不涉及有关现行法律、法规和其他强制性标准。

六、重大意见分歧的处理结果和依据

目前本标准处于征求意见稿阶段，尚无遗留的重大意见分歧。

七、其他应予以说明的事项

无。