

交通运输行业标准

《沥青路面雾封层材料 还原剂类雾封材料》

(征求意见稿)

编制说明

《沥青路面雾封层材料：还原剂类雾封材料》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·····	2
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·····	7
四、	与国际、国外同类标准水平的对比情况·····	18
五、	与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系·····	18
六、	重大意见分歧的处理结果和依据·····	18
七、	其他应予说明的事项·····	18

一、工作简况

1.1 任务来源

雾封层是沥青路面广泛使用的早期预防性养护技术，即在沥青路面上喷洒专门配置的制剂或特殊乳化沥青稀释液，使老化的旧沥青得以还原再生，进而提高旧沥青的录用性能指标，封闭道路表面的孔隙和微裂缝，抑制沥青路面的早期病害，改善路面外观，延长道路的使用寿命。这种技术不久施工工艺简单，而且开放交通迅速，具有良好的社会和经济效益。但该类材料在沥青路面施工规范的标准中尚无技术要求。实际工程中，所用材料质量差别大，效果也良莠不齐，产品质量差会导致路面抗滑性能下降，危害行车安全。因此，亟需通过标准的制订来规范产品质量，改善路用性能。2016年交通运输部在“关于下达2016年交通运输部标准化计划的通知”（交科技函【2016】506号）中下达了《沥青路面雾封层材料 还原剂类雾封材料》标准制定工作，由交通运输部公路科学研究院主持编制，计划编号：JT 2016-127。

1.2 协作单位

在本标准编制过程中，多次组织行业专家进行研讨，并开展了广泛的调研工作和大量的试验验证工作，得到了相关单位的支持、协助与配合，取得了大量的具有建设性的意见、建议和试验数据，保证标准的编制质量。协作单位名单如下：

- (1) 科来福（无锡）路面养护设备有限公司
- (2) 上海市浦东新区公路管理署
- (3) 上海尔润实业有限公司

科来福（无锡）路面养护设备有限公司、上海尔润实业有限公司负责收集国内外还原剂样品，进行标准的验证工作；上海市浦东新区公路管理署作为标准的使用单位，负责进行标准的验证工作。

1.3 主要工作过程

交通运输部公路科学研究院于2016年8月接到标准制修订计划任务后，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~10月,交通运输部公路科学研究院牵头成立了标准编制组。编制组广泛收集了国内外主要的还原剂类雾封层材料,以及各企业标准等资料,提出标准制定原则、编写思路及人员分工。

(2) 2016年11月~2017年2月,开展调研工作,搜集近几年实施还原剂封层的有关资料,了解还原剂封层的应用情况、使用效果及存在问题。

(3) 2017年3月~2017年8月,确定试验方案,进行室内试验。

(4) 2017年7月~2017年8月,进行室内试验,整理试验数据,编制标准征求意见稿(初稿)。

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、曾蔚、黄颂昌、王杰、徐剑、黄文元、宋洪明、周旭、席红专、李桥林、唐小群、何志敏、秦志山、冯国利、徐海平、张艳鸽、邱浩、车法、毛利建、薄占顺、黄伟、石小培、王随原。

——秦永春 负责组织、协调,参与标准编写

——曾蔚 负责室内试验、标准编写

——黄颂昌 参与标准编写

——王杰 参与室内试验

——徐剑 参与收集国内外还原剂类雾封层材料的相关资料

——黄文元、宋洪明、何志敏 负责收集国内外还原剂样品,进行标准的验证工作

——周旭、席红专、李桥林、唐小群 负责进行标准的验证工作

——秦志山、冯国利、徐海平、张艳鸽、邱浩、车法、毛利建、薄占顺、黄伟、石小培、王随原 参与室内试验,路面检测等工作

二、标准编制原则和标准主要内容

2.1 标准编制原则

(1) 简洁适用:条文编写简洁明了,便于理解掌握,充分考虑还原剂封层工程实际和工程应用经验,易于操作,适用性强。

(2) 便于操作:为便于工程应用,标准条文清晰、规范,试验方法中仪器、

关键步骤等内容应明确，便于操作。

(3) 适应性强：由于本标准为新制定标准，需考虑一定适应性，不可将指标定的太低，失去了制定标准的意义；也不可将指标定的过高，使大部分产品不能满足要求。希望次标准的制定有助于规范现有产品市场，逐步提升产品质量。

2.2 标准主要内容说明

本标准属于新制定，主要包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等内容。

本标准借鉴的相关技术标准、规范：

- (1) 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)
- (2) 《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)
- (3) 《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60-2008)
- (4) 《乳化沥青蒸发残留物含量测定方法》(SH/T 0099.4-2005)

2.2.1 术语

2.2.1.1 雾封层 fog seal

雾封层是将乳化沥青、改性乳化沥青、带有还原性能的溶液或其他液态防护剂等以雾状喷洒在沥青路面上形成的薄层，起到填封道路表面微小裂缝和表面空隙，改善路面外观、延长路面使用寿命的作用。

雾封层材料一般为高渗透性、强粘结力的特殊沥青，应具有较好的耐磨性、良好的防水性。

2.2.1.2 还原剂类雾封层材料 Fog Seal with Rejuvenators

还原剂类雾封层材料是指具有改善老化沥青性能的雾封层材料。

在冶金行业，还原剂是指自由基及活性氧的清除剂、阻断剂及修复剂等物质的总称。公路行业，还原剂类雾封层材料是指具有改善老化沥青性能的雾封层材料，可分为水稀释型和溶剂稀释型特殊沥青。

水稀释型还原剂主要原材料为乳化沥青、水、胶乳和成膜剂，另外可根据需要加入一定量的添加剂。乳化沥青必须采用阳离子类型，并根据一般要求快速开放交通的特点，选择快裂型。

溶剂稀释型还原剂是一种由特殊沥青、高效助黏剂和防水油等材料制成。它

具有良好的渗透性，可有效封堵沥青路面上微小裂缝。但在工程实际应用中，溶剂型还原剂通常含有苯、甲苯、二甲苯等有毒物质，并且闪点较低，威胁施工安全，因此本标准不推荐使用。

2.2.2 技术指标

2.2.2.1 还原剂类雾封层材料技术指标

目前，我国还没有还原剂类雾封层材料的技术标准，即无法单独针对还原剂类雾封层材料进行检测。

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》并参考美国材料与试验协会（American Society For Testing and Materials）、日本道路沥青协会等国家的试验方法，比选均匀性、恩格拉黏度、蒸发残留物含量、筛上剩余量、微粒离子电荷、常温储存稳定性（1d）、与水混合稳定性表征还原剂类雾封层材料的性能。

（1）黏度

溶液中有效物质的浓度直接影响溶液的黏度。从施工角度考虑，黏度须保持在一定范围内，既要保证其能够顺畅均匀地喷洒，又不能从随意流淌。黏度过大会影响渗透性，黏度过低会使溶液流失。国外乳化沥青黏度有恩格拉黏度、赛波特黏度。本标准推荐采用水稀释型还原剂类雾封层材料，恩格拉黏度与赛波特黏度均可使用。恩格拉黏度在我国应用广泛，但由于赛波特黏度在我国仅有试验方法，暂无技术要求，因此本标准将恩格拉黏度换算为赛波特黏度，黏度指标采用恩格拉黏度或赛波特黏度均可。

（2）蒸发残留物含量

蒸发残留物含量是将还原剂类雾封层材料中的水或轻质溶液蒸发掉，留下有效物质。残留物是还原剂类雾封层材料中实际与沥青发生反应的成分，从节约运输费用、降低助剂（乳化剂、稳定剂等）的生产成本考虑，溶液中的有效物质含量应高些；但是溶液的浓度高，增加了有效物质颗粒碰撞、凝聚的机会，所以从溶液的储存稳定性角度考虑，溶液中有效物质的含量应低些。因此，蒸发残留物含量须保持在一定范围内。

（3）筛上剩余量

筛上剩余量指标反映了沥青乳化的好坏，溶液的质量。即溶液是否均匀，是否结团。美国标准中采用 0.85mm 标准筛进行试验，我国《公路工程沥青及沥青

混合料试验规程》筛上剩余量中规定采用 1.18mm。孔径的大小反映对溶液质量要求不同，孔径小，筛上剩余量必定高。我国近年来一直采用 1.18mm 筛，并以此制定了技术要求，因此本此试验采用我国规范所列试验方法。

(4) 微粒离子电荷

微粒离子电荷，阳性“+”与石料有较好的黏聚力。

(5) 常温储存稳定性

还原剂类雾封层材料是一个不稳定体系，受乳化剂、助剂微粒尺寸、外界温度、湿度等因素的影响，溶液在储存过程中会产生一定程度的絮凝、沉淀和分离，从而影响溶液的施工性能和应用效果。

(6) 与水混合稳定性

由于还原剂类雾封层材料属于喷洒型材料，为了保证顺利、均匀的洒布，需要在施工前对较高残留物含量的溶液用水稀释。这时需要检验在用水稀释溶液时，是否会导致溶液破乳，影响正常的施工。因此，为保证施工质量，必须对还原剂类雾封层材料与水混合稳定性进行评定。

2.2.2.2 对老化沥青性能改善的测试

高温和氧化作用是造成沥青老化的主要原因。在沥青混合料拌制过程中，沥青同时承受高温和氧化作用，一方面高温造成沥青中轻质组分挥发，另一方面高温促进了沥青的氧化。薄膜烘箱老化试验在 163℃ 下对沥青进行强制加速老化，此时空气中氧气处于高温活跃状态，模拟沥青热氧老化过程。因此在 163℃ 条件下制备老化沥青。

还原剂类雾封层材料对老化沥青性能改善的测试，通过测定基质（原样）沥青经薄膜烘箱老化后初始针入度，分别掺入不同剂量的还原剂类雾封层材料后，测试其针入度、延度指标的变化，确定老化沥青中加入还原剂类雾封层材料后的针入度、延度提高率。针入度、延度指标试验相对容易，他们的变化规律与黏度等指标变化规律之间有一定的关联性，因此选择针入度、延度指标试验作为评价还原剂类雾封层材料对老化沥青性能改善的评判指标。

2.2.2.3 路用性能测试

还原剂类雾封层材料路用性能主要考虑封水效果和抗滑性能。沥青路面的渗水性能是反映路面沥青混合料级配组成的一个间接指标，也是沥青路面水稳定性的一个重要指标。还原剂类雾封层材料既要在原路面上形成一层保护层，降低路

面的渗水系数，又不能对路面抗滑性能造成较大的影响。因此，采用渗水系数与路面摩擦系数双指标测试其路用性能。

2.2.3 试验方法

2.2.3.1 老化沥青制备

考虑到还原剂类雾封层材料通常在通车 3-5 年后使用，此时沥青的针入度大约为 25-40 (0.1mm)。考虑到实际收集老化沥青具有一定困难，试验室选用工程常用的普通 70#沥青，根据研究经验，经过“沥青薄膜加热试验”(T0609-93)将其在 163℃老化 10 小时，得到针入度大约在 25-40 (0.1mm) 之间、延度不大于 10cm 的老化沥青。

2.2.3.2 蒸发残留物含量试验

在石油化工有限公司标准《乳化沥青蒸发残留物测定法》SH/T0099.4-2005 中，其核心内容是在三或四个已和玻璃棒一起称量的 1000ml 烧杯中分别称取 50g±0.1g 搅拌均匀的乳化沥青，然后将其放入 163℃±3.0℃的烘箱中保温 2h，然后取出烧杯充分搅拌残留物，再放入烘箱中保持 1h 取出，冷却至室温称量质量。

《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中“乳化沥青蒸发残留物含量试验”T0651-1993 中规定，试样取 300g±1g，在放有石棉垫的电炉或燃气炉上加热 20~30min，后在 163℃±3.0℃温度下加热 1min。《乳化沥青蒸发残留物测定法》SH/T0099.4-2005 试验方法由于取样少，代表性差；加热至 163℃左右，保温 3h，对残留物老化的影响较大；因此本标准在《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中“乳化沥青蒸发残留物含量试验”T0651-1993 基础上修改形成蒸发残留物含量试验方法。

2.2.3.3 针入度试验

本标准采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中“针入度”T0604-2011 试验方法，通过测定基质（原样）沥青经薄膜烘箱老化后针入度 N_0 及掺入不同剂量的还原剂类雾封层材料后针入度 N_1 ，最终得到二者针入度之差与老化沥青针入度 N_0 的比值，即针入度提高率，来评价还原剂类雾封层材料对老化沥青性能改善能力。

2.2.3.4 延度试验

本标准采用《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中“延度”T0605-2011

试验方法，通过测定基质（原样）沥青经薄膜烘箱老化后延度 D_0 及掺入不同剂量的还原剂类雾封层材料后延度 D_1 ，最终得到二者延度之差与老化沥青延度 D_0 的比值，即延度提高率，来评价还原剂类雾封层材料对老化沥青性能改善能力。

2.2.3.5 还原剂封层抗滑性能试验

本标准参考常用的 AC-13 级配要求，具体级配范围见表 1。油石比为 3.5-4.5%，按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》沥青混合料试件制作方法（轮碾法）T 0703-1993 制备车辙试件，试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm，车辙渗水系数控制在 50-300ml/min 之间。

表 1 沥青混合料矿料级配范围

通过下列筛孔尺寸(mm)的矿料质量百分率(%)									
16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
100	90~100	68~85	38~68	24~50	15~38	10~28	7~20	5~15	4~8

按照《公路路基路面现场测试规程》摆式仪测定路面抗滑值试验方法 T 0964-2008 在车辙试件上测试摆值。选取抗滑系数剩余率作为还原剂类雾封层材料抗滑性能的评价指标，即还原剂类雾封层材料涂布后摆值与还原剂类雾封层材料涂布前摆值的比值满足本标准的要求，并满足规范和设计文件的要求。

2.2.3.6 还原剂封层渗水性能试验

按照还原剂类雾封层材料抗滑性能试验级配和油石比，制备车辙试件。车辙渗水系数控制在 50-300ml/min 之间。

按照《公路路基路面现场测试规程》沥青路面渗水试验 T 0971-2008 在车辙试件上测试涂布还原剂类雾封层材料前后的渗水系数。选取渗水系数降低率作为还原剂类雾封层材料封水性能的评价指标。

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 还原剂类雾封层材料试验

编制组从目前市场上选取工程中运用较为广泛的国内外七种还原剂类雾封层材料，其外观性状存在各种差异，见图 1，其中 4#为溶剂稀释型还原剂类雾封

层材料。

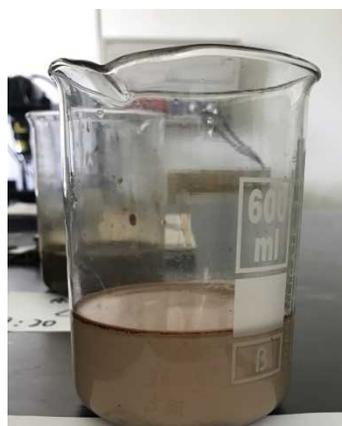
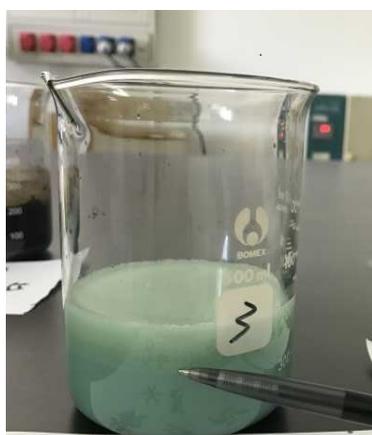
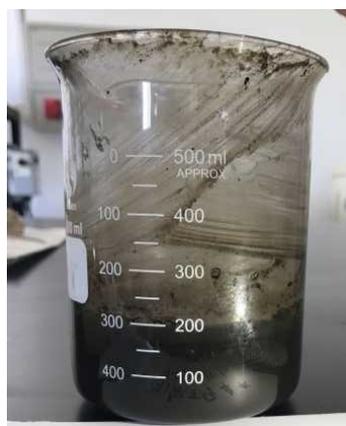
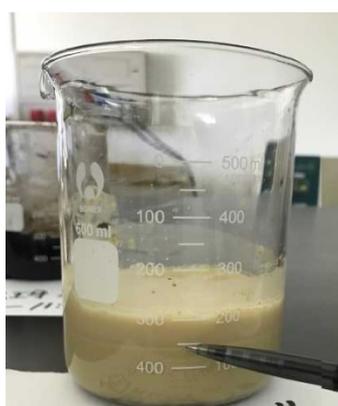
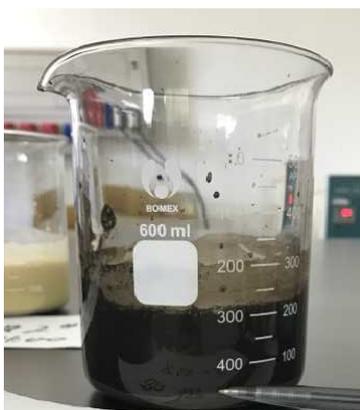


图 1 七种还原剂类雾封层材料

选择均匀性、恩格拉黏度、蒸发残留物含量、筛上剩余量、微粒离子电荷、储存稳定性（1d）、与水混合稳定性表征还原剂类雾封层材料的性能。将还原剂类雾封层材料进行了以上试验测试，具体结果如下表 2：

表 2 还原剂类雾封层材料试验结果

试验项目 材料序号	性均匀	恩格拉黏度	蒸发残留物含量 (%)	筛上剩余量	微粒离子电荷	储存稳定性 (1d)	与水混合稳定性
1	通过略微搅拌，液体的分离，结块或沉淀即消失	4.8 ^①	55.1	0	+	0.07	通过
2	通过略微搅拌，液体的分离，结块或沉淀即消失	26.8 ^①	55.6	0	+	0.1	通过
3	通过略微搅拌，液体的分离，结块或沉淀即消失	太稠 ^①	55.4	0	+	0.1	通过
4	均匀	1.7	49.9	0	-	0.7	通过
5	均匀	1.4 ^②	60.9	0	+	0.1	通过
6	均匀	1.4 ^③	63.3	0	+	0.5	通过
7	均匀	1.3 ^③	68.8	0	+	0.6	通过

注：①1#~3#按照原液：水=4：1 的比例稀释；

②4#按照原液：水=1：2 的比例稀释；

③6#、7#按照原液：水=1：1 的比例稀释。

均匀性指标：1#~3#材料较为粘稠，放置一段时间后会有沉淀并伴随液体分离，通过搅拌后即消失，变为均匀。4#~7#材料较为均匀。

黏度指标：试验按照施工时实际稀释比例进行测试。除 3#材料稀释后仍然黏度较大、2#黏度大于现行规范喷洒型乳化沥青材料的技术要求；其余材料均满足喷洒型材料要求，即恩格拉黏度在 1~6 之间。选择黏度较小的材料，具有较好的施工性能。赛波特黏度能够准确控温，减少试验误差，本标准推荐有条件的单位使用赛波特黏度指标。

蒸发残留物含量指标：由于 4#为溶剂稀释型还原剂类雾封层材料，施工现场不需要再稀释，因此蒸发残留物含量较低。除 4#材料蒸发残留物含量为 49.9%外，其余材料运输至施工现场均需不同程度的稀释，蒸发残留物含量均大于 55%，满足喷洒型乳化沥青材料的技术要求。

筛上剩余量：1#~7#材料筛上剩余量均为 0。

微粒离子电荷：除 4#材料外，其余材料均带“+”电荷。

1d 储存稳定性：1#~7#材料储存稳定性均小于 1。

与水混合稳定性：1#~7#材料与水混合稳定性均为通过，没有结团现象。

根据以上的试验结果，拟定标准中还原剂类雾封层材料的技术要求如表 3 所示。

表 3 还原剂类雾封层材料的技术要求

项目	单位	技术要求	试验方法
均匀性	-	搅拌后无结块或沉淀	目测
恩格拉黏度	-	1-6	T 0622
蒸发残留物含量	%	≥55	T 0651
筛上剩余量	%	≤0.1	T0652
微粒离子电荷	-	阳离子 (+)	T0653
常温储存稳定性 (1d)	%	≤1	T 0655
与水混合稳定性	-	通过	T0665

3.2 对老化沥青性能改善的试验

3.2.1 制备老化沥青

要检测还原剂类雾封层材料的对老化沥青的改善，需收集老化沥青，将还原剂类雾封层材料加入老化沥青中，测试其老化沥青性能改善情况。考虑到还原剂类雾封层通常在通车 3-5 年后使用，此时沥青的针入度大约为 25-40 (0.1mm)。考虑到实际收集老化沥青具有一定困难，试验室采用普通 70#沥青，经过“沥青薄膜加热试验”(T0609-93) 将其在 163℃老化 10 小时，得到针入度大约 37 左右，满足针入度 25-40 之间的要求。基质沥青及老化沥青具体指标见表 4。

表 4 沥青三大指标

试验项目 材料序号	针入度 (0.1mm)	软化点 (°C)	延度 (cm)
基质沥青 70#	61.2	52.9	40.3
老化沥青	37.1	58.9	5.9

经过老化试验后, 沥青针入度下降, 延度衰减, 表明老化造成沥青硬化脆化, 降低了其流变性能, 使得沥青路面在低温下或重复荷载作用下更容易产生开裂, 为路面的进一步水损害等病害埋下隐患。同时, 沥青软化点上升、黏度增加, 表明沥青的高温性能提高。

3.2.2 对老化沥青性能的改善试验

试验选择七种不同的还原剂类雾封层材料, 根据材料供应商提供的下渗深度, 计算老化沥青掺加还原剂类雾封层材料的最佳剂量, 进行沥青针入度、延度试验。每种材料选择 2-3 种剂量, 掺加到老化沥青中进行老化沥青性能测试。针入度为 25°C 环境下测试, 延度为 10°C 环境下测试。针入度提高率: 将掺加老化沥青还原剂类雾封层材料后的针入度与老化沥青针入度的差, 与老化沥青针入度的比值。延度提高率意义相同。用于表达还原剂类雾封层材料对老化沥青性能的改善程度。具体测试指标见表 5。

表 5 还原剂类雾封层材料不同剂量对老化沥青性能的改善试验

试验项目 材料序号	针入度 (0.1mm)	针入度提高率 (%)	软化点 (°C)	延度 (cm)	延度提高率 (%)
+6.5%1#还原剂	44.6	20.2	60.1	6.2	5.1
+13%1#还原剂	45.0	21.3	60.7	6.4	8.5
+6.5%2#还原剂	37.3	0.5	59.9	5.5	-6.8
+13%2#还原剂	36.5	-1.6	59.5	6.2	5.1
+6.5%3#还原剂	37.0	-0.4	61.1	5.4	-8.5
+13%3#还原剂	35.9	-3.2	60.8	1.2	-80.0
+6.5%4#还原剂	64.7	74.4	54.2	19.4	228.8
+13%4#还原剂	139.1	274.9	46.9	>100	-
+6.5%5#还原剂	50.2	35.3	54.7	8.5	44.1
+10%5#还原剂	60.3	62.5	53.1	14.9	152.5

+13%5#还原剂	69.8	88.1	52.8	26.0	340.7
+6.5%6#还原剂	47.2	27.2	56.8	9.0	52.5
+10%6#还原剂	54.6	47.2	55.8	16.8	184.7
+13%6#还原剂	61.0	64.4	53.7	19.8	235.6
+6.5%7#还原剂	38.6	4.0	58.9	6.6	11.9
+10%7#还原剂	43.9	18.3	57.7	8.7	47.5
+13%7#还原剂	46.2	24.5	56.9	9.2	55.9

针入度

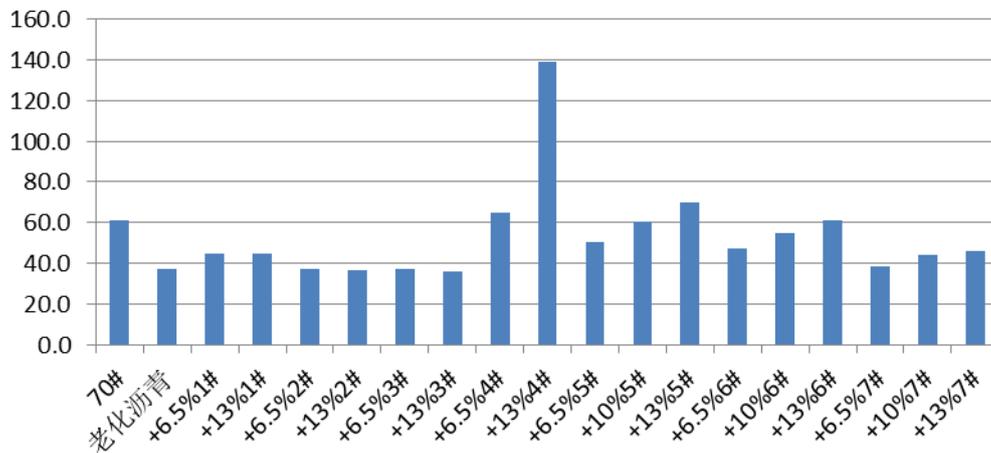


图2 还原剂类雾封层材料不同剂量下的针入度指标

从图2、表5中看到：2#、3#还原剂类雾封层材料不同剂量对老化沥青的针入度没有恢复作用；1#还原剂类雾封层材料对老化沥青针入度有一定的改善作用，掺加6.5%还原剂类雾封层材料时针入度提高率为20.2%。但随着剂量的增加针入度提高率没有提高，说明1#剂量对针入度的提高没有帮助；4#~7#还原剂类雾封层材料对老化沥青具有不同程度的恢复作用，随着还原剂类雾封层材料掺加剂量的增加针入度提高，针入度提高率增大。其中4#还原剂类雾封层材料掺加6.5%已恢复到基质沥青的水平，针入度提高率达到74.4%，掺加13%提高针入度提高到139.1（0.1mm）；5#还原剂类雾封层材料掺加6.5%时，针入度提高率已达35.3%，6#还原剂类雾封层材料掺加6.5%时，针入度提高率达到27.2%，对比针入度试验数据，得出还原效果4#>5#>6#>7#>1#。

软化点

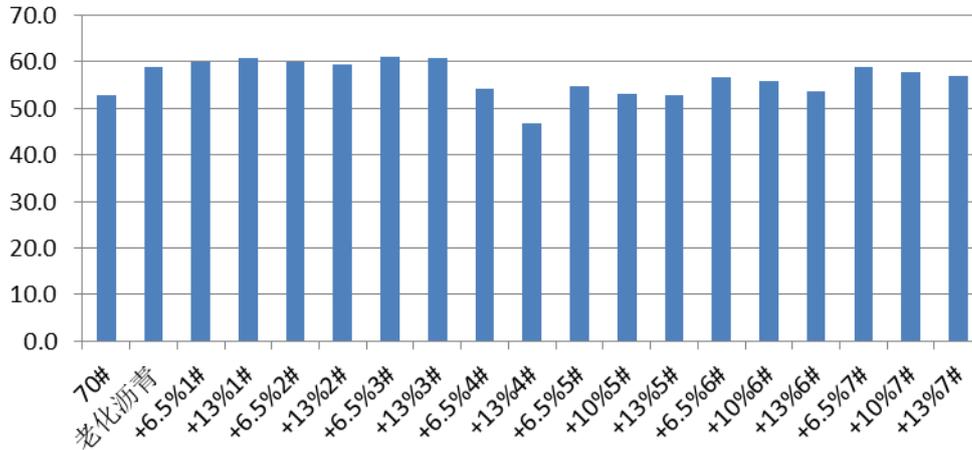


图 3 还原剂类雾封层材料不同剂量下的软化点指标

沥青作为黏弹性材料在夏季高温条件下，沥青性能由弹性体向塑性体转化，劲度模量大幅下降，抗变形能力急剧衰减。老化沥青因其软化点升高，从图 3、表 5 中看到：1#~3#还原剂类雾封层材料不同剂量对老化沥青的软化点略有提高；4#~7#还原剂类雾封层材料对老化沥青软化点有不同程度的降低，其中 4#还原剂类雾封层材料掺加 13%时，软化点降低至 46.9℃。软化点较低的道路沥青在经历炎热的夏季高温时，会产生更大的流动变形，从而成为集料的润滑剂，对沥青混合料的抗车辙性能有很大损害，因此再生剂的掺加在一定程度上降低了旧沥青良好的高温性能。

延度

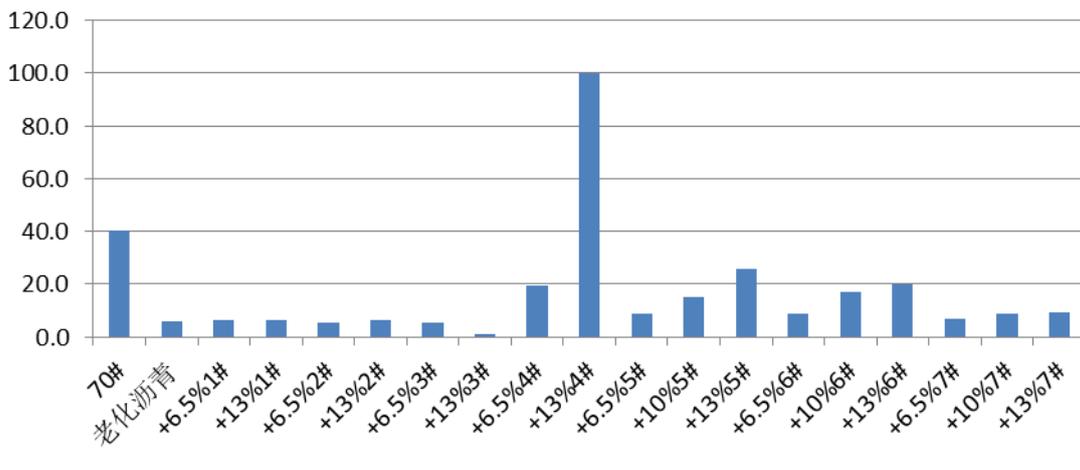


图 4 还原剂类雾封层材料不同剂量下的延度指标

从图 4、表 5 中看到：2#还原剂类雾封层材料掺加 6.5%时，延度没有提高，

反而降低，掺加 13%时，延度略有提高；3#还原剂类雾封层材料不同剂量对老化沥青的延度没有恢复作用，说明此材料本身老化较为严重，与老化沥青没有发生反应；1#还原剂类雾封层材料对老化沥青延度有一定的还原作用，掺加 6.5%还原剂时延度提高率为 5.1%，掺加 13%还原剂时延度提高率为 8.5%，随着剂量的增加延度提高率没有明显的提高；4#~7#还原剂类雾封层材料对老化沥青具有不同程度的恢复作用，随着还原剂类雾封层材料掺加剂量的增加延度提高，延度提高率增大。其中 4#还原剂掺加 6.5%时，延度到达 19.4cm，延度提高率达到 228.8%，掺加 13%时延度大于 100cm；5#还原剂类雾封层材料掺加 6.5%时，延度提高率已达 44.1%，6#还原剂类雾封层材料掺加 6.5%时，延度提高率达到 52.5%，对比延度试验数据，得出还原效果 4#>5#>6#>7#>1#。

根据以上的试验结果，针入度提高率仅有 2#、3#还原剂类雾封层材料达不到 20%的要求，延度提高率为 1#、2#、3#不满足 20%的要求。拟定标准中还原剂类雾封层材料对老化沥青性能改善的技术要求如表 6 所示。

表 6 还原剂类雾封层材料对老化沥青性能改善的技术要求

项目	单位	技术要求	试验方法
老化沥青中加入还原剂类雾封层材料后的针入度提高率（25℃，100g）	%	不小于 20	按本标准 5.8 试验方法
老化沥青中加入还原剂类雾封层材料后的延度提高率（10℃）	%	不小于 20	按本标准 5.9 试验方法

3.3 路用性能试验

试验选择常用 AC-13 级配，具体级配见表 7。原材料级配见表 8。车辙试件级配见表 9、图 5。考虑到还原剂类雾封层通常在通车 3-5 年后使用，此时路面油石比较新铺筑路面油石比有所降低，本标准制备车辙试件时选取油石比为 3.6%。

表 7 AC-13 级配

		通过下列筛孔尺寸（mm）百分率%（方孔筛）									
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规定 通过 率(%)	上限	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8
	下限	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
	中值	100	95	76.5	53	37	26.5	19	13.5	10	6

表 8 原材料级配

序号	材料规格	通过下列筛孔尺寸 (mm) 百分率% (方孔筛)									
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#	10~15	100	91.4	25.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2#	5~10	100	100	96.3	2.1	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
3#	3~5	100	100	100	94.9	5.6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
4#	0~3	100	100	100	100	100	63.7	45.3	32.0	23.3	17.4
5#	矿粉	100	100	100	100	100	100	100	98.6	97.2	91.9

表 9 车辙试件级配

序号	用量	通过下列筛孔尺寸 (mm) 百分率% (方孔筛)									
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1#	32.0%	32.0	29.3	8.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2#	26.0%	26.0	26.0	25.0	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3#	15.0%	15.0	15.0	15.0	14.2	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4#	25.0%	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	15.9	11.3	8.0	5.8	4.4
5#	2.0%	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8
合成级配	100%	100	97.3	75.1	41.9	28.1	18.2	13.6	10.2	8.0	6.3

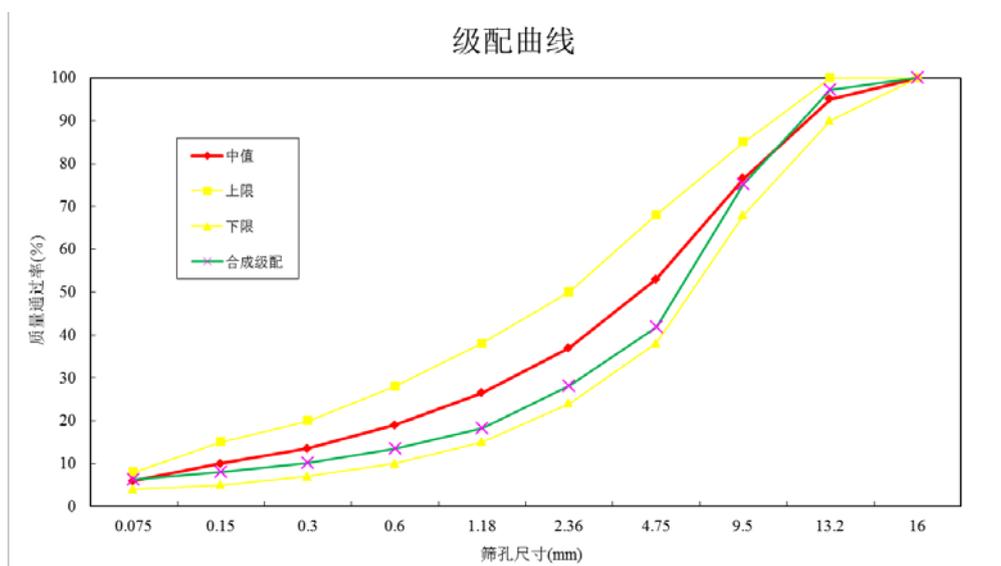


图 5 车辙试件级配曲线

成型车辙试件后，测定其初始渗水系数 C_{w0} 及抗滑系数 BPN_0 ，选取 5#还原剂类雾封层材料涂布后，再次测定其渗水系数 C_{w1} 和抗滑系数 BPN_1 ，具体数据见表 10。

表 10 车辙试件涂布 5#还原剂类雾封层材料前后渗水与抗滑系数

项 目	空隙率 (%)				
	5.0	5.9	6.6	7.1	7.6
渗水系数 C_{w0} (ml/min)	172.0	249.2	390.9	819.2	1364.7
渗水系数 C_{w1} (ml/min)	67.3	99.0	206.5	825.6	1380.3
渗水系数降低率 P_c (%)	60.8	60.3	52.8	-0.7	-1.1
抗滑系数 BPN_0	75.8	78.1	77.6	75.7	76.9
抗滑系数 BPN_1	50.4	49.8	47.9	48.6	46.7
抗滑系数剩余率 P_B (%)	66.5	63.8	61.7	64.2	60.7

渗水系数

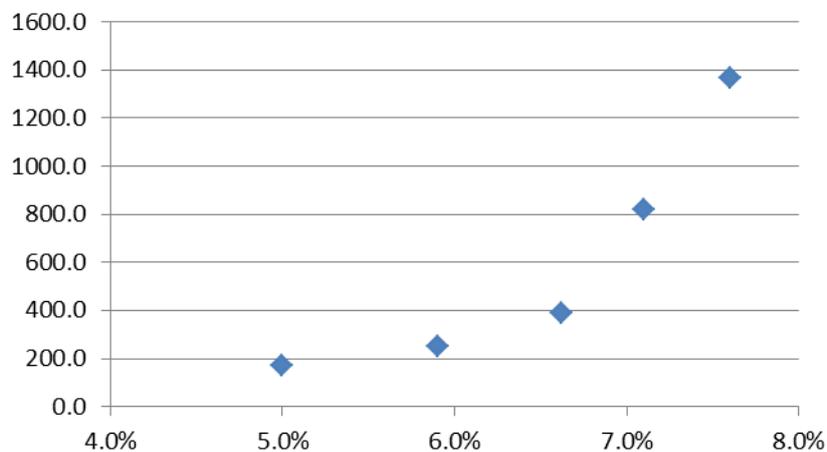


图 6 车辙试件空隙率与渗水系数之间的关系

从表 10、图 6 看出，车辙试件渗水系数随着空隙率的增加而增大；当空隙率较小时，涂布还原剂类雾封层材料后，渗水系数明显降低，渗水系数降低率在 52.8~60.8% 之间；当空隙率较大时，涂布还原剂类雾封层材料后，渗水系数没有降低，反而增大。由于空隙率较大，还原剂类雾封层材料涂布后，与沥青发生反应，使沥青膜减薄，表面可见石料棱角。当测定渗水系数时，在一定压力的水流冲刷下，带走少量的细集料，使渗水系数不降反升。

试验选取实际路面测定其渗水系数 C_{w0} 及抗滑系数 BPN_0 ，选取 5#、6#、7# 还原剂类雾封层材料涂布后，再次测定其渗水系数 C_{w1} 和抗滑系数 BPN_1 ，具体数据见表 11。

表 11 实际路面涂布还原剂类雾封层材料前后渗水与抗滑系数

还原剂	渗水系数	抗滑系数
-----	------	------

类雾封层材料	C_{w0} (ml/min)	C_{w1} (ml/min)	P_c (%)	BPN_0	BPN_1	P_B (%)
5#	73.3	0	100	77.3	51.8	67.0
	22.5	0	100	82.0	49.0	59.8
	22.7	0	100	78.5	53.4	68.0
6#	133.3	73.9	44.6	77.4	78.1	100.9
	65.3	43.9	32.8	83.8	77.0	91.9
	95.2	42.7	55.1	84.0	78.0	92.9
7#	24.0	11.6	51.7	75.8	74.2	97.9%
	24.0	13.4	44.2	76.9	71.4	92.8%
	26.7	8.4	68.5	78.1	73.9	94.6%

从表 11 中看出，渗水系数较小时，涂布 5#还原剂类雾封层材料后，渗水系数为 0，说明 5#还原剂类雾封层材料具有良好的封水效果；其抗滑系数降低较多，抗滑系数剩余率大约在 60~70%之间。6#、7#还原剂类雾封层材料涂布后，渗水系数有明显降低，但未达到完全封水的效果，渗水系数降低率在 32.8~68.5%之间；抗滑系数降低较少，抗滑系数残留率均在 90%以上。

四、与国际、国外同类标准水平的对比关系

对于还原剂类雾封层材料没有国外标准，但美国等国家有相关的雾封层材料乳化沥青的技术标准。本标准与之相比较，恩格拉黏度、蒸发残留物含量等指标相同，但是指标值和试验方法不尽相同；同时根据工程实践经验，增加了筛上剩余量、微粒离子电荷、常温储存稳定性（1d）、与水混合稳定性等指标。

本标准增加对老化沥青性能改善的测试与路用性能测试。国外无相关技术标准。

五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系

不涉及有关法律、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，尚无重大意见分歧。

七、其他应予以说明的事项

无。