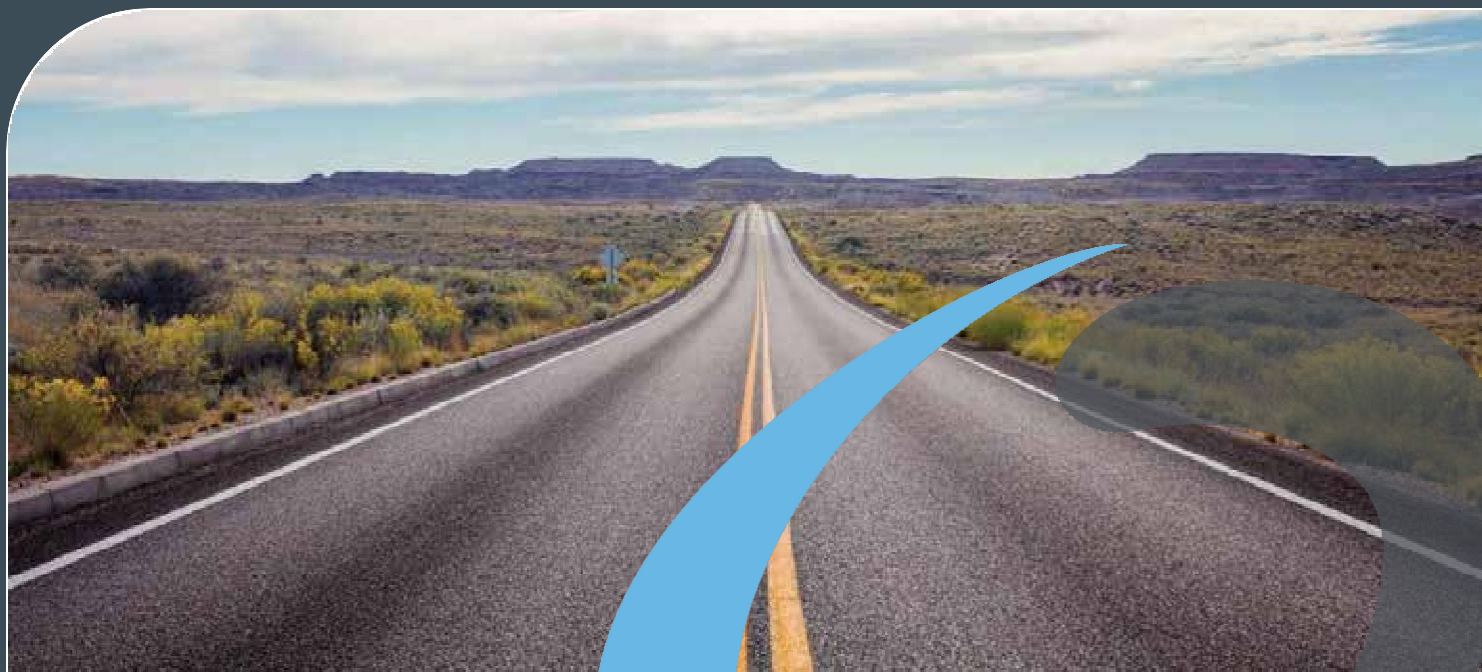




International Bitumen
Emulsion Federation

可持续的乳化沥青

白皮书



第一二版
2024年6月

前言

乳化沥青在道路网络的建设和养护中起着至关重要的作用。这种资产维护的路径符合全球可持续发展的原则。

国际乳化沥青联合会(IBEf)通过各国家协会和合作伙伴将乳化沥青生产商联系起来，由来自世界各地的35个成员组成。IBEf是公认的国际权威机构，致力于提高乳化沥青相关技术与促进信息交流。

本白皮书旨在阐述沥青行业在此背景下的行动和动向。此文献给国际沥青乳化剂联合会前执行委员会成员卡尔·罗伯图斯 (Carl Robertus) ，他的贡献促成了该文件的完成。

参编者

AEMA	Arlis A Kadrmas
AEMA	Mike Tyree
AEMA	George Mariani
ARKEMA	Abdeltif Belkahia
REPSOL	Lucia Miranda Pérez
ATEB	Patricia Lameda Febles
IBEf	Carl Robertus
IBEf	Xavier Guyot
IBEf	Etienne Lebouteiller
IBEf	Hamidreza Saheb Zamani
Ingevity	Stephane Charmot
SFERB	Brice Delaporte
REA	Dennis Day
SABITA	Phil Hendricks

目录

引言.....	1
1. 路面耐久性.....	2
1.1 施工：透层和粘层在路面耐久性中的作用.....	2
1.1.1 透层.....	2
1.1.2 粘层.....	3
1.2 预养护与养护：乳化沥青的主要应用领域.....	5
1.2.1 预防性养护有效降低隐含碳排放.....	5
1.2.2 表面处治技术与工艺.....	6
1.2.3 碎石封层和微表处的独特性和特定性.....	11
1.2.4 单层表面处理.....	13
1.2.5 生命周期评价.....	17
2. 结构优化.....	17
2.1 路面结构优化技术与工艺.....	17
2.2 就地与厂拌应用比较.....	22
2.3 “就地施工”与远距离运输相比所节省的能源、温室气体排放与成本.....	23
2.4 健康、安全与环境（HSE），包括非运输、节约资源等方面的实践.....	25
3. 环境与社会影响.....	26
3.1 节约能源与降低碳足迹.....	26
3.2 节约原材料(与能源+碳足迹)的再生方案与多次再生的可行性.....	30
3.3 健康、安全与环境（HSE）方面.....	33
3.4 乳化沥青技术与应用的社会影响.....	35
3.5 经济效益：上述主题的结果：节约材料和能源.....	37
参考文献	

引言

本项目的目标是明确并强调乳化沥青如何为可持续性、可持续发展以及减少环境影响做出的贡献，从而推动其在道路建设中的使用。

乳化沥青在可持续性方面的关键核心如下：

1 - 路面耐久性：

- 主要目标是优化或最大化路面耐久性和使用寿命。
- 乳化沥青的应用和处理在实现这一目标中起着至关重要的作用。
- 各分支进一步阐述了提高路面耐久性的策略。

2 - 路面结构改进：

- 修复工作侧重于恢复受损路面的结构承载能力，这超出了常规的养护或预养护工作范围。

3 - 环境和社会影响：

- 考虑乳化沥青技术及其应用对全球环境和社会的影响。

1. 路面耐久性

1.1 施工：透层和粘层在路面耐久性中的作用

1.1.1 透层

对于新建或改建的道路，防水和稳定碎石基层是至关重要的。在经过透层处理的碎石基层上铺设牢固粘合的热拌沥青层，可以减少沥青层推移、开裂和破碎的可能性，而这些病害都可能导致高昂的维修成本。

透层是专门为增强热拌沥青层与碎石或稳定基层之间的粘附性而设计的，从而形成结构更坚固、更稳定的基础。

透层处理是指在铺设沥青基层或面层之前，将沥青胶结料涂抹在非沥青碎石基层上的初步处理。

透层的主要目的是：

- 促进基层与新铺沥青基层或面层之间的粘附力。
- 防止雨水渗入基层，同时允许水汽从基层蒸发。
- 在后续喷洒作业中，尽量减少粘结剂被基层的吸收。
- 固结基层表面较细颗粒，以便在新面层铺设前暂时承载轻度交通。
-

长期以来，由于工艺简单且效果显著，软质沥青或稀释沥青广泛用于透层施工。然而，这些材料有诸多缺点，例如闪点低导致爆炸风险、加热时溶剂挥发损失大、固化时间长[1]。

相比之下，乳化沥青透层油具有以下几个优点：

- 无火灾或爆炸风险。
- 对环境的危害较小。
- 改善润湿性和粘附性。
- 固化时间更快。

由于这些实操优点和安全性，乳化沥青透层成为施工各阶段的理想粘合剂，显著提高了路面的耐久性[2, 3]。



图1-透层的应用

1.1.2 粘层

路面厚度设计假设所有层共同作为一个统一的整体，而不是作为一系列独立的层叠加在一起。粘层作为每一层之间的连接层，旨在形成所需的整体路面结构。

如果在现有道路表面与新铺设的沥青面层之间未建立良好的粘结，就可能发生层间剥离现象，导致各层之间的分离。层间剥离会引发各种结构性损伤，主要类型包括滑移开裂和疲劳裂缝[4]。

这些病害需要昂贵的维修措施，因为需要加固层级或者铣刨并重铺粘接不良的层级。粘层质量的重要性不容忽视。不涂或少涂粘层的后果远比任何初期路面施工节省的成本要高得多[5]。

根据不同国家或地区的规范，针对粘层存在多种已经验证的解决方案。然而，实现高质量粘层的最佳推荐工艺如下[6, 7]：

- 阳离子快凝乳化沥青是一种传统的粘层产品，通常含有50%至65%的沥青。建议使用聚合物改性乳化沥青，加入乳胶改性或在乳化前对基质沥青进行改性，特别是在薄层沥青磨耗面层下。
- 粘层油的洒布量应至少为 0.30 升/平方米，在薄层或开级配磨耗面层下应增加到至少0.40升/平方米。
- 粘层油应尽可能均匀洒布，推荐使用校准过的洒布设备，以实现
对现有路面的完整、均匀覆盖。
- 在洒布粘层油之前，必须清除路面所有松动或附着物，保持干燥，任何潮湿区域应该完全无积水。

粘层技术的一项重要进展是“不粘轮”粘层的开发，通过最大限度地减少传统产品粘轮问题来提高路面性能。这些材料通常经过配方设计，实现快速破乳，并且对轮胎的粘附性也较小 [8]。



图2-粘层施工



图3-不粘轮粘层-粘层不会被施工车辆轮胎粘附

1.2 预养护与养护：乳化沥青的主要应用领域

1.2.1 预防性养护有效降低隐含碳排放

预防性养护通过提高耐久性，有效减少了现有路面的隐含碳排放和自然资源的使用。近年来，路面预养护的应用有所增加，这主要得益于管理机构开始考虑不同层级的生命周期成本。现在这些机构评估在更长时间内维护道路的整体经济负担，而不是传统上等待道路严重损坏后再进行拆除和更换。通过延迟大规模维修，路面预养护可以节约能源和天然资源，具有内在的可持续性。

在道路生命周期中，材料生产阶段是二氧化碳排放的主要贡献阶段，涵盖原材料的开采、混合料的生产及将它们运输至生产和施工现场等。第二大二氧化碳排放阶段是使用阶段，车辆燃油消耗因路面粗糙度（以国际粗糙度指数IRI衡量）而略有增加[9]。尽管每辆车的影响较小，但在高交通量道路上，累积效应显著。在一项研究中，作者对不同IRI值的道路创建了燃料消耗指数[10]。

目前一些管理机构采用“最差优先”的模式，即仅在需要大规模修复时才对道路进行养护。然而，在道路使用寿命的前75%期间，其质量下降40%，而仅在其随后的12%寿命期间，其质量继续下降40%(来源：roadresource.org)。这种“最差优先”的方法无法最大限度

利用材料生产阶段和使用阶段。此外，当道路状况明显恶化却仍在服役，车辆的额外燃油消耗会继续增加。

为了使道路初始二氧化碳排放投资效益最大化并保持良好路况，必须纳入路面预防性养护。预养护有效使用两种有助于减少温室气体的材料技术：乳化沥青和沥青路面再生。这些材料技术减少了新沥青的使用，在部分情况下也减少了新集料的使用。许多路面预养护技术也不需要拌合站。除了减少新料和大型生产设备的使用外，路面预养护还能使路况良好的道路保持良好状态，从而最大限度地提高初始投资和二氧化碳排放效益。

预养护所需的时间、增加的服役年限和二氧化碳排放分摊额因情况而异。Roadresource.org提供了一种计算模型来计算各种预养护方法的货币和可持续性价值，链接如下：

<https://roadresource.org/preservation/calculator>。例如，一项研究比较了三种养护技术(裂缝修补、薄层封层和碎石封层)，结果表明在道路生命周期内均降低了IRI和二氧化碳排放[11]。与热拌铣刨修补或加铺相比，这些养护技术也提供了更快的恢复交通时间。

1.2.2 表面处治技术与工艺

全球道路路面受到各种因素的影响，主要取决于当地气候条件和交通水平。这些因素导致了一系列病害机制，包括表面磨损或磨光，减少抗滑性能，以及过度阳光照射导致的老化，导致路面裂缝的形成。其它病害机制包括由于渗水和地面变形导致的粘层失效和结构弱化，从而导致深层裂缝形成。此外，交通荷载会导致骨料飞散和变形，胶结材料也会随着时间推移而逐渐老化。

如果这些病害机制得不到及时处理，路面可能会提前出现损伤，需要昂贵且资源密集的维修。然而，有多种利用乳化沥青的养护技术方法。当在适当的时机使用时，这些养护技术可以帮助减缓路

面开裂的速度、恢复防滑性能、密封路面以防止阳光和水分的侵入，并承受重载交通的影响。实施这些养护技术不仅有助于延长路面的使用寿命，还能在不同程度上降低资源消耗和成本。

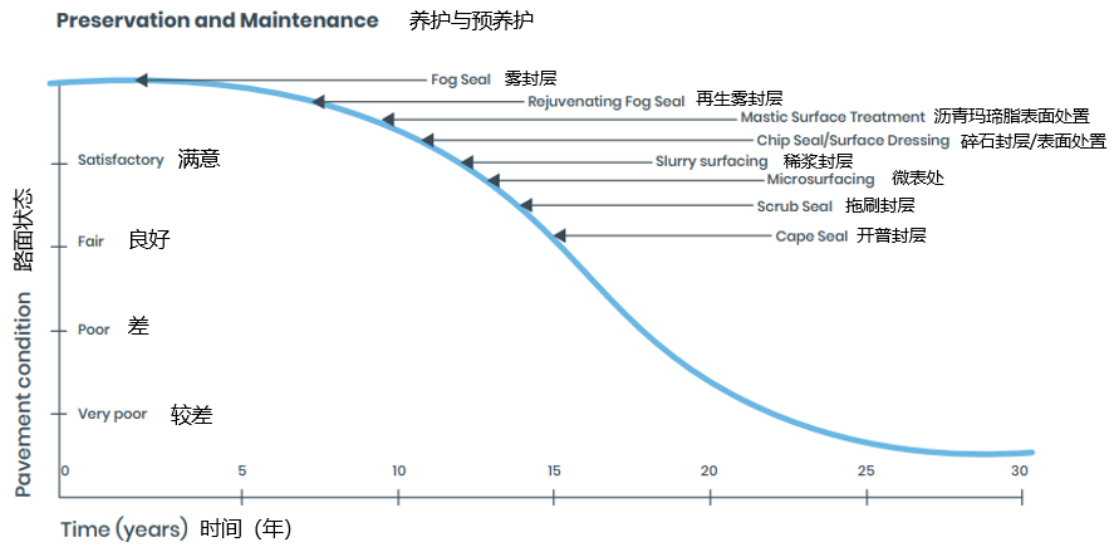


图4-养护技术矩阵，路面状况随时间变化

表面洒布，如雾封层、再生封层等，确实可以道路服役初期应用，以保护现有路面免受表面氧化和裂缝形成的影响。这些类型的表面洒布通常不包括额外的骨料或矿物材料[12]。表面封层可以应用于面层的上方，以防止集料飞散，包括抑制扬尘和锁固新铺表面处理中的集料[12]。不含骨料的表面洒布技术不能改善抗滑性能，也不适合非常致密或失去表面构造的路面。雾封层的使用已被证明可以减缓路面裂缝的早期形成，延长路面寿命[13]，并减少新铺面层的早期集料飞散[14]。

一项2023年发表的最新研究[13]指出，使用雾封层可在至少八年内防止20%的路面裂缝形成。另一项研究[14]表明，雾封层在旧路面上能够有效防止表面氧化和水分渗透，并减少新路面的早期集料脱落。



图5-农村道路上的雾封层

含有额外骨料或矿料的表面洒布可用于表面处治、薄浆封层（沥青玛蒂脂封层）和拖刷封层。其应用方法和时间取决于现场状况、道路等级和病害类型。这三种养护技术均可提高防滑性能，同时具有其它可持续性效益。使用再生拖刷封层可通过减少铣刨重铺和裂缝修复实现成本节约，并增加高交通量道路的抗滑能力[15]。表面处治或碎石封层的设计和应用方式受到基层状况、当地气候和交通水平的影响[16,17]。表面处治可通过封闭表面、防止水分渗入来防止坑槽的形成，从而以可持续且经济的方式延长道路使用寿命[18]。

使用表面处治或碎石封层作为养护项目计划的一部分、并在正确的时间间隔使用，可以延长道路寿命长达60年。与未进行处理的路面相比，可节省70%的成本，降低69%的二氧化碳排放[18]。



图6-表面处治时的碎石洒布



图7-拖刷封层

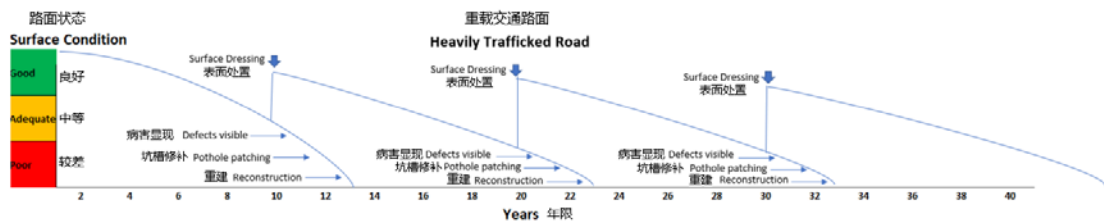


图8-路面养护流程-图片由RSTA提供

与表面洒布相比，乳化沥青与骨料的混合物通常具有更好的耐久性，通常被归类为“冷沥青混合料”。这种稀浆面层材料既可以人工施工，也可以使用机器施工。

一项研究[19]表明，微表处技术应用一次即可将路面寿命延长15年或更久，从而帮助当地道路管理部门将节约的资金重新分配到其它项目。

上述技术单独使用时均能有效延长路面寿命，并提供不同的可持续性优势，但一些结合了多种工艺的组合处治技术可能更具优势。例如，开普封层是一种将表面处治与微表处结合的工艺，具有更高的耐久性并降低路面噪音。此外，在新铺表面处治上应用雾封层可减少早期碎石脱落并增加表面处治的耐久性[14]。

一份关于将开普封层作为养护计划一部分的报告[20]表明，该工艺在路面寿命方面带来了净增益，相当于延长了60英里道路的使用年限。



图9-微表处的应用

1.2.3 碎石封层和微表处的独特性和特定性

“乳化沥青碎石是最适合路面调平的材料。”这是法国道路管理部门一位高管的评价。

这种特殊性能的原因在于，乳化沥青碎石是一种两相材料：包含10至20毫米的大粒径集料骨架包裹在富含沥青的砂浆中。大粒径骨料的高内摩擦力使材料能够抵抗车辙，即使在不同厚度条件下依然表现出色。另一方面，砂浆使得材料能够直接粘结到需要调平的面层上，这在以调平为主要目标时可节省材料成本。



图10-乳化沥青碎石的应用

乳化沥青碎石是一种抗裂材料；因此，在厚度足够的情况下使用它可以代替“抗反射裂缝”系统(SAMI, 纤维, 土工织物, 网格等)。

在难以设置道路分流的情况下，碎石乳化沥青碎石因其内聚力强，甚至可以在施工过程中通行车辆。这在山区道路尤其适用。在

这些区域，理想的路面结构是在乳化沥青碎石层之上叠加微表处层。实践表明，这种系统在雪犁铲刀的冲击下仍具有极强的耐久性，适用于需要保障常年通行的道路，如通往滑雪场的道路。在偏远地区，由于运输距离较长，热拌沥青的温度控制可能会受到限制，而且通常缺乏附近的沥青厂。在丘陵地区，安装分流设施几乎不可能，但乳化沥青碎石在施工过程中仍能保持通行能力。

在远离沥青拌合站的地区进行道路施工时，使用移动式设备生产乳化沥青碎石是一种经济的选择，甚至在许多情况下是唯一的选择。山区和人口密度较低的区域通常需要这种技术。

微表处为路面提供了类似传统沥青混合料的外观（冷拌、温拌或热拌），但由于厚度较薄，使其比许多其它技术更具成本效益。在适当使用的情况下，微表处是一种高性价比的技术。例如，在法国凡尔赛地区，采用基于乳化沥青的技术（微表处和表面处治）已使养护预算节省了25% [21]。

微表处允许在基础层状况良好的情况下无需初步整平即可施工，同时施工时也无需覆盖或更改道路标志、路面标线和地面信号等设施。

此外，对于轻微变形的路面，冷拌微表处设备即可完成调平。最后，在已通行的道路上使用这些养护技术主要优点之一是微表处施工后可快速恢复通行，通常在30分钟内即可重新开放交通。



图11-乳化沥青碎石道路



图12-乳化沥青碎石上的微表处层纹理

1.2.4 单层表面处理

乳化沥青可用于多种表路处理技术，包括拖刷封层、雾封层、表面处治、稀浆封层和微表处。

这些路面养护技术可以组合使用，例如。

- 双层表面处治
- 开普封层
- 双层微表处

选择最合适的处理方式或组合取决于多个因素，包括：

- 路面状况
- 预计交通量
- 养护预算

需要注意的是，表面处理是一薄层，不应视为加固工艺。然而，表面处理的应用可以提高路面的防水性、降低路基的水敏性，从而保护其承载能力。

路面状况主要由表面情况决定，包括抗滑性能、轻微变形、地面是否干燥或富含沥青等因素。多样的表面处理方法允许选择最合适的处理方案。包括美国在内的许多国家已制定了关于表面处理的手册和指南[22]。

任何表面处理的耐久性都与预期交通荷载密切相关。使用改性胶结料可以提高抗剪能力，在系统中加入纤维也能进一步增强抗剪强度。

采用较厚的体系或增加表面处理的厚度可以延长处理的使用寿命。

在考虑任何表面层的使用寿命时，通常应参考10至15年的范围[23]。

预算始终是道路管理部门在选择合适处理方式时的关键因素。通常，选择比厚层体系更经济的薄层体系会导致较短的耐久性，因此在选择过程中应优先考虑如何找到最具性价比的方案。

微表处特别适合要求低交通噪音的城市区域；而表面处治则适用于表面轻微变形、无结构性问题的路面。



图13-南非，开普密封

相比之下，研究表明，基于乳化沥青的表面处治比基于稀释沥青的表面处治的失败风险显著较低[24]。

微表处是一种高度通用的体系，可用于修复发生早期损坏的透水沥青表面，例如骨料剥落或飞散的情况。透水沥青在高交通负荷下可能变得脆弱。在这种情况下，在受损的透水沥青上施加微表处可增强表面粘结力，从而合理应用道路管理机构的财政资源，延缓路面更换时间[25]。

乳化沥青在全球范围内的应用日益增多，逐渐取代了热洒布体系。这种转变的主要原因是与热洒布体系的安全隐患和附着力问题。改性乳化沥青的开发提供了高粘结力的残留沥青(高达 1.2 J/cm^2)并能迅速形成粘结力，从而便于快速恢复道路通行。对于单层表面处治，通常认为采用“嵌固体系”是最佳选择[26-29]。



图14-用于表面处治的聚合物改性沥青



图15-快速破乳微表处

1.2.5 生命周期评价

生命周期分析应被用来确定预养护与养护处理的最佳时机，并评估其效果。

预养护的时间安排对其在路面中所产生的价值有显著影响。一些机构倾向于在路面出现轻微病害后再进行表面处理，而另一些则选择在加铺层或较厚的养护层完成后尽早进行处理。在美国明尼苏达州进行的试验显示了早期处理的优势[30,31]。

冷再生（CIR）和全深式再生（FDR）等养护技术通常在路面损坏到仅靠表面处理不再经济、有效时进行。这些处理的时机通常取决于路面的行驶状况、交通量的增加以及路面结构承载需求。对使用再生材料的生命周期和可持续性进行对比是一个有效的方法[32]。

实施周密的路面养护计划，按时进行针对性处治来应对特定病害，不仅可以节约成本，还能整体提升管理机构管辖的路网系统质量[33]。

2. 结构优化

2.1 路面结构优化技术与工艺

路面修复旨在恢复已受损路面的结构完整性，这类路面需要的不仅仅是常规养护或预养护技术。可根据项目条件和需求选择有效的修复技术，包括：

- 就地冷再生(CIR) -局部深度
- 厂拌冷再生(CCPR)
- 基层稳定化
- 全深式再生(FDR)
- 冷再生或温拌再生
- 冷补(洒布和人工拌合)

冷再生是指在施工过程中无需加热的沥青路面修复方法，再生方式可包括全深度或局部深度[34-37]。全深式原位冷再生通常被称为全深式再生（FDR）。CIR和CCPR的局部深度技术通常处理并更换旧的受损沥青混凝土层，而FDR则对沥青混凝土及其碎石基层进行完全替换。

就地冷再生(CIR) -部分深度

CIR 是通过单个或多个设备组进行沥青路面的就地再生处理过程。CIR的部分深度再生通常再利用5至12厘米厚的沥青混凝土，采用从生产到压实的连续作业方式。CIR显著降低了运输需求、施工时间、自然资源的使用和成本，主要是通过就地再利用现有材料实现的。



图16-就地冷再生，部分深度，多单元设备组

厂拌冷再生(CCPR)

CCPR(厂拌冷再生)是一种在集中地点通过静态冷拌混合设备和现有的回收沥青路面 (RAP) 储料进行沥青再生的工艺。该设备可特别设计为配有RAP冷料仓和搅拌设备, 在其中将RAP、水、活性填料、乳化沥青及其他添加剂进行混合。该设备也可以配置为不带铣刨机的CIR (就地冷再生) 设备。

通常, CCPR铺设的层厚为75至150毫米(3至6英寸), 并且可以铺设多层。CCPR适用于由于后勤原因无法进行就地再生的现有路面, 或在需要移除现有沥青混凝土以处理底层材料时。此外, 随着铣刨沥青路面产生的RAP储量的增加, CCPR能够有效利用这些RAP, 以生产高质量、经济且环保的铺装材料。



图17-厂拌冷再生装置

全深式再生(FDR)

FDR(全深式再生)是一种修复技术, 涉及对全厚度沥青路面及其下方材料的预设部分 (如基层、底基层或土基) 进行粉碎。此过程生产均匀且升级再生的材料。通过沥青基材料稳定, 可以进一步改善再生材料的性能。FDR 是针对状态较差或需要提高结构承载能力的道路的一种可行替代方案。

FDR 施工有多种设备或配置可供选择。这些设备包括附属或不带铺设器的再生机，以及使用再生机直接供料给摊铺机的选项。



图18-全深式再生

基层稳定化

基层稳定化是一种修复技术，涉及对沥青混凝土下方的材料进行粉碎和混合，这些材料可以包括集料基层、底基层或土基。该过程生成均匀且升级再生的层。通过沥青基材料稳定化，可以进一步改善再生材料的性能。基层稳定化是一种具有吸引力的替代方案，旨在提高基础层的结构价值，避免对基础层下方的公用设施造成干扰，并减少所需的沥青混凝土覆盖层厚度。



图19-使用乳化沥青进行基层稳定

冷再生和温拌再生

在混合物中使用回收沥青路面 (RAP) 具有显著的价值, 因为集料已经裹附了胶结料, 从而减少了在生产RAP掺量相对较大的混合料时新沥青的用量。

除了在常温或“低”温下混合RAP之外, 另一种选择是采用温拌再生法与乳化沥青相结合[38]。温拌乳化沥青混合料在适中的温度下制造, 通常在80至90°C左右, 其性能类似于热拌混合料。该工艺消耗的能源较少, 并减少了老化。乳化沥青通常经过稀释沥青处理, 能够与RAP旧沥青实现一定程度的相容。该过程主要包括两种生产方法。第一种方法是在冷拌混合料厂缓慢加热之前生产的乳化沥青混合料。在这种方法中, RAP的掺量通常可以在50%到100%之间变化。第二种方法涉及用RAP和乳化沥青裹附加热的粗集料和/或细集料, 在这种情况下, 部分或全部集料会被加热。这类混合料中RAP的含量可以高达60%。

冷补料

沥青混凝土路面坑槽的形成主要归因于交通荷载、湿气渗透和反复的冻融循环。修补这些坑槽对于保持路面的行驶质量、保障驾驶安全及减少车辆损害至关重要。坑槽修补材料可通过人工或喷注修补设备进行施工[39]。

喷注修补是一种工艺，利用专用设备将加热的乳化沥青和集料同时预混合，然后通过软管和喷嘴将混合料直接喷射到坑槽中。基于乳化沥青的冷拌修补混合料可采用新集料或回收沥青路面（RAP）材料生产[40]。



图20-喷注修补设备

2.2 就地与厂拌应用比较

理解和量化就地与厂拌再生工艺在项目选择、性能、施工速度和可持续性方面的差异至关重要。

厂拌再生的一项显著优势在于对混合料一致性和质量的控制。通过对再生沥青路面 (RAP) 的分级可以实现一致性, 并且如含水量和级配等因素可作为质量控制的一部分轻松测量和计算[41]。

全深度再生 (FDR) 由于包含了RAP和非结合材料, 在低荷载频率或高温时表现出较低的温度依赖性和更高的刚度。相比之下, 冷厂拌再生 (CCPR) 和就地冷再生 (CIR) 主要由RAP组成, RAP在CIR和CCPR的温度依赖刚度特性中起着重要作用。在某些情况下, FDR试样表现出比CCPR和CIR试样更低的永久变形[42]。

与厂拌再生相比, 就地再生在能耗和二氧化碳排放方面具有显著优势, 主要由于运输需求减少。优势的大小取决于拌合站位置与施工现场之间的距离。

生命周期评估数据显示, 与传统铣刨和摊铺方法相比, 冷再生技术的能耗和温室气体排放分别可减少50%以上和40%以上。CIR的能耗和温室气体排放略低于CCPR, 主要原因在于运输影响[43]。

就地应用的另一个优势是缩短了施工时间, 从而减小对公众出行的影响、减少用户延误, 并因封闭车道时间较短而降低对道路使用者的干扰。

利用乳化沥青对碎石基层进行稳定化是一种有效的市区繁忙街道修复方法。拉斯维加斯的一个项目显示, 与传统重建方法相比, 施工时间从120天减少到40天。这一时间缩短对附近的居民、企业和道路使用者产生了积极影响。该市估计节省了约322,661美元, 相当于节约了30%的成本[44]。

2.3 “就地施工”与远距离运输相比所节省的能源、温室气体排放与成本

就地冷再生(CIR), 特别是全深式再生(FDR), 常被与传统的铣刨和摊铺技术进行比较, 后者涉及对已受损沥青层的完全移除和更换。

在路面修复技术中，就地冷再生仍然被认为是最环保的解决方案。多项路面养护项目已证明，使用基于乳化沥青的冷再生工艺相比传统的铣刨和摊铺方法，可将温室气体（GHG）排放和过程能耗（涉及材料开采、沥青混合料生产、运输和施工）减少一半。

根据roadresources.org的数据，就地冷再生技术比传统的修补或重建技术成本低20%至50%。这些成本节约主要通过以下方式实现：

- 显著减少材料消耗（再生率超过98%）和运输需求（典型工程项目节省超过300次运输）。主要费用仅为必要时添加的材料，如乳化沥青、水泥和/或调整性新集料。
- 提高施工速度(比传统技术快20% ~ 40%)。
- 减少了施工现场设备和人员的调动。

综上所述，利用乳化沥青的冷再生技术在环保影响最小化、项目管理效率和成本效益方面表现最佳[45-47]。



图21-就地冷再生，法国



图22-就地冷再生，沙特阿拉伯

2.4 健康、安全与环境（HSE），包括非运输、节约资源等方面的实践

就地冷再生还带来了显著的健康、安全与环境（HSE）效益。实际上，由于路面材料的铣刨、破碎和拌合均由同一台设备完成，施工现场潜在的操作事故风险大大降低。同时，由于不需要运输铣刨材料，运输和现场交通相关的事故也得到有效减少。

此外，由于乳化沥青在再生过程中无需加热，因此不会产生烟雾或挥发性有机化合物（VOCs），为现场工作人员提供了更安全的工作环境[48]。



图23-就地冷再生，越南

3.环境与社会影响

3.1 节约能源与降低碳足迹

冷拌沥青混合料通过将集料（可能包含回收沥青路面材料，RAP）与裹附的乳化沥青混合制成。与传统热拌沥青混合料不同，冷拌沥青混合料不需要干燥或加热阶段，这带来了节能效果，因为无需对集料加热或蒸发水分。从环境角度来看，冷拌沥青混合料具有独特的吸引力[49-53]。

冷拌沥青混合料厂拌生产

冷拌沥青混合料的环境足迹已在多个研究中得到量化。通过对冷拌沥青混合料和热拌沥青混合料生产的能耗进行对比，可观察到以下趋势：

- “原材料”部分的能耗略有增加，主要归因于乳化沥青的生产过程。
- 在工厂生产阶段的能耗显著降低，因为乳化沥青混合料不需要加热。

- 从“摇篮到大门”或“摇篮到施工”整个生命周期来看，乳化沥青混合料的总体能耗有显著减少。

如图24所示，能耗差异为-33%（从摇篮到施工）。在某些情况下，根据具体成分和运输距离，这一差异甚至可达-50%。

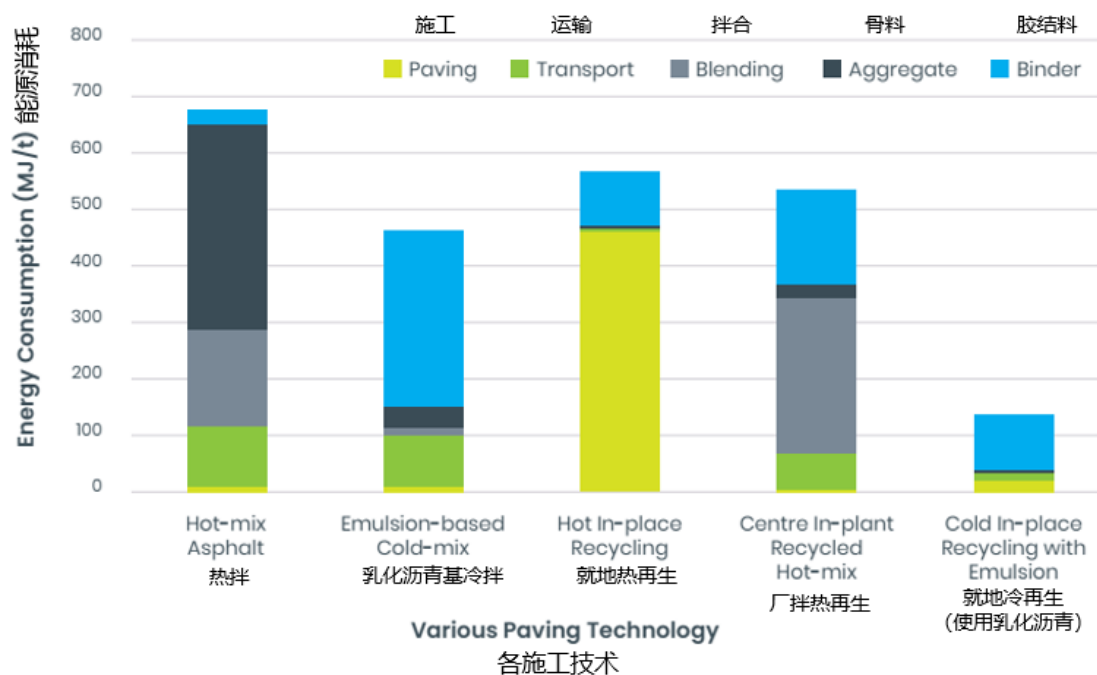


图24-各种摊铺技术的能耗

冷拌生产工艺对温室气体（GHG）排放的影响也非常显著。例如，Jain等人估算，在“原材料、生产、运输和施工”方面，乳化沥青混合料的GHG排放量比热拌沥青低32%（见图25）。在一些研究中，这一差异甚至达到60%。

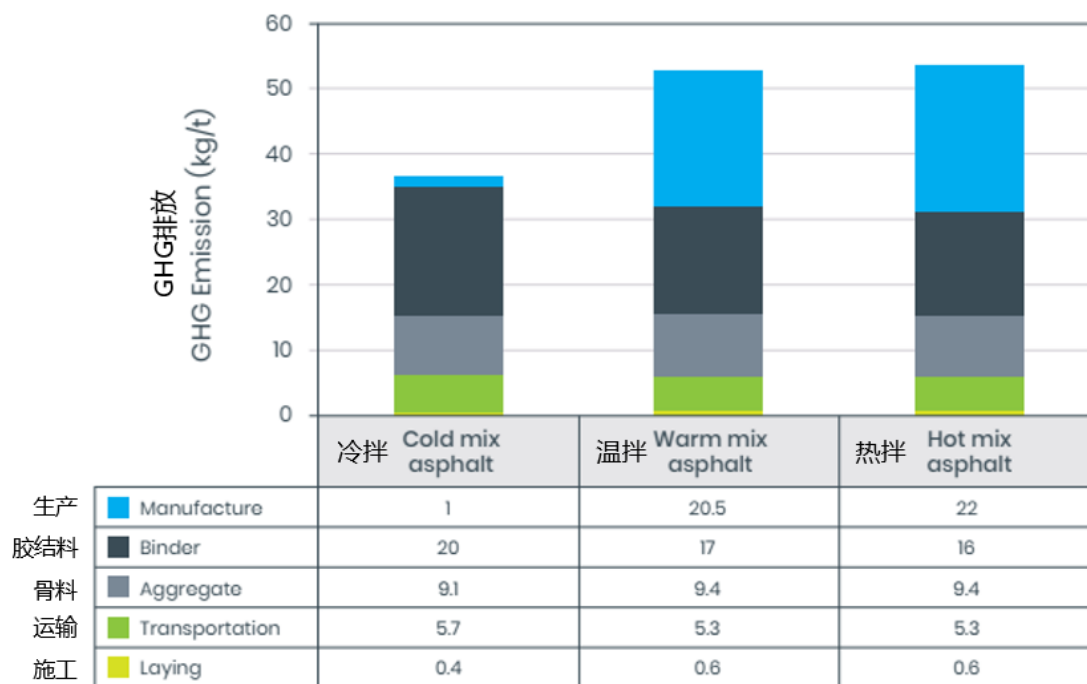


图25- 各种沥青混合料的温室气体排放

在法国，由法国公路协会（Routes de France）进行的一项生命周期分析研究促成了2022年“轻量交通用冷拌沥青路面”环境产品声明（EPD）的发布。在“从摇篮到大门”基础上，与传统热拌沥青混合料相比，每吨沥青混合料的能耗（过程能耗）减少约21%，温室气体排放减少约31%。

法国IDRRIM于2020年发布的《厂拌冷拌沥青混合料指南》使用SEVE生态对比工具，对材料和施工现场的环境影响进行了多项比较。表1所示的示例是一个典型的1000平方米新建路面项目，将13厘米乳化沥青碎石结构与变更运输距离的同类型结构以及12厘米乳化沥青碎石结构进行对比，均采用两层表面处治（ESU）。结果显示温室气体排放的差异约为-37%。

解决方案	材料	原材料 运输	混合料 生产	运输至 施工现场	施工	合计	比值	
Solution	Matériaux	Transport en amont	Fabrication des mélanges	Transport chantier	Mise en oeuvre	Total	Comparaiso n/Base	
12cm乳化沥青碎石结构 +双层表面处置	12GB3+ESU bicouche	4,3	1,7	4,8	0,7	0,0	11,5	
13cm乳化沥青碎石结构 (40km乳化沥青) +双层表面处置	13GE3 (40km emulsion)+ESU bicouche	4,6	1,5	0,4	0,8	0,0	7,3	-36,8%
13cm乳化沥青碎石结构 (0km乳化沥青) +双层表面处置	13GE3 (0km emulsion)+ESU bicouche	4,6	1,4	0,4	0,8	0,0	7,2	-37,4%

表1-不同路面结构在1,000平米施工现场的温室气体排放量比较

按结构类型划分的案例研究

根据交通等级，SFERB进行了一项比较不同结构类型环境影响的研究[参考文献X]。研究发现，使用乳化沥青技术（如BBE/GE）相比BB/GB3类型的热拌技术可将路面施工的温室气体排放量减少超过50%（见图26）。与高模量沥青混合料路面相比，减排效果约为30%。结果还包括能耗指标的相关数据。

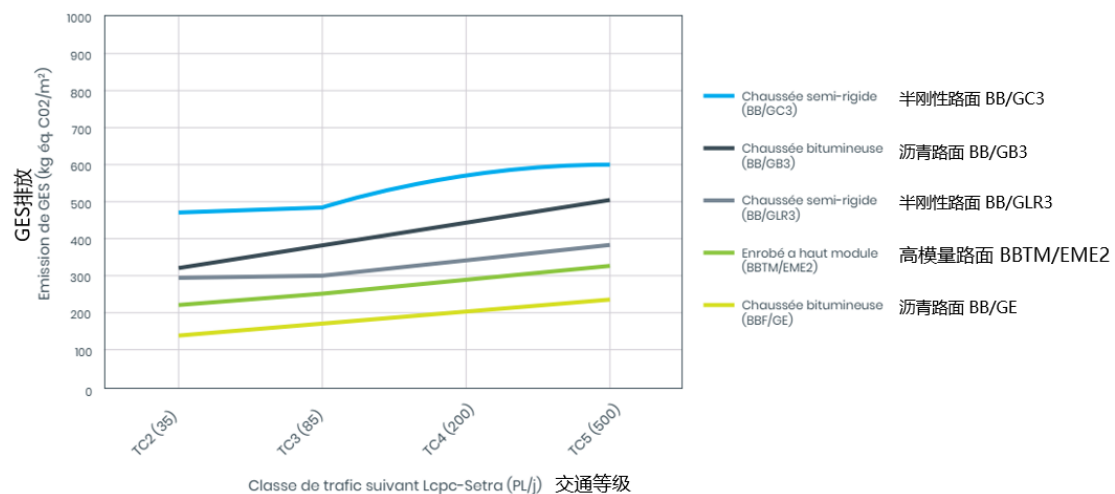


图26-根据交通等级，在PF2平台上，每平方米路面结构用于路面施工的温室气体（GHG）排放量

就地冷再生

与厂拌乳化沥青混合料相比，就地冷再生技术在环境影响方面提供了两项互补优势：

- 有助于保护新材料资源。

- 消除了材料运输的需求，除了少量“校正性”材料如新沥青和集料。

因此，与热拌技术相比，就地冷再生对环境影响的减少更为显著。

Xiao等人证明，就地冷再生技术可以减少超过75%的能耗。在法国，使用SEVE生态对比工具可估算温室气体（GHG）排放减少范围在55%至70%之间，具体取决于个案和再加工条件。开展参数化研究有助于评估这两种工艺之间环境效益的差异。

3.2 节约原材料(与能源+碳足迹)的再生方案与多次再生的可行性

可持续发展的关键要素之一是为后代保护资源，这一点在数十年的可持续发展政策中已被反复强调。提高回收率和减少自然资源的使用是实现这一目标的关键因素。采用乳化沥青的处理和工艺，使道路业主和建设者能够在现场对道路进行再生，或利用废旧道路材料（包括工业过程中的副产物集料）进行修复或养护。这些项目的附加效益在于减少了采石和材料运输所需的能耗和碳排放。

表面处理

- 骨料

历史上，表面处治或碎石封层施工中产生的路面清扫骨料通常被填埋或用于其它用途。然而，移动回收和清洗设备的发展使得路面清扫骨料可以堆存和清洗，从而使其在未来的表面处治施工中再利用。在2023年，英国某地方当局[54]在其表面处治项目中利用了21,000吨集料，其中12,000吨是回收的。这相当于在表面处治项目中使用原材料减少了57%，可覆盖137英里的道路。此外，在施工过程中使用的多余骨料可以回收作为新的路面洒布集料，进一步促进了表面处治路面清扫骨料的多次回收。这种累积的方法有助于在原材料使用上实现长期节约。

钢渣是炼钢过程中产生的副产品骨料，已成功用于表面处治达几十年之久。它的使用不仅在增加防滑性方面具有可持续性效益，而且还减少了对石料开采的需求，从而节省了能源并保护了原材料资源。

- RAP

一份报告[55]对回收沥青路面(RAP)和税收沥青路面骨料(RAGG)在把表面处治中的利用进行了研究，该报告回顾了在各种处理方法中加入RAP或RAGG的好处，如拖刷封层、碎石封层、稀浆封层、微表处和CIPR(就地冷再生)加铺微表处。洛杉矶县设定了公路的可持续发展目标，重点关注三个关键领域：预养护、再利用和强化。2018年，洛杉矶县公路项目预算中约有35%分配用于基于RAP的路面预养护措施。报告总结指出，RAP的引入使其可持续发展计划节省了5200万美元，温室气体排放减少了84%，能耗降低了80%，以及与传统方法相比，填埋量减少了418,000立方米。

翻新

- CCPR

厂拌冷再生(CCPR)是一种数十年来已被国际广泛采用的成熟工艺，涉及使用乳化沥青对再加工的沥青混合料颗粒和其它回收材料进行厂区拌合。2008年，苏格兰的一项主要公路合同[56]包括在800米的路段上铺设冷拌沥青。这种方法节省了43吨二氧化碳当量，使用Tay-set再生冷拌料相比于传统材料每吨节省了25千克的CO₂e[57]。在瑞典进行的一项研究中[58]，Lundberg等人比较了在相同运输参数下，CCPR生产和运输48公里与标准材料的排放，发现CCPR每吨沥青的二氧化碳排放减少了68%，能耗降低了50%。铺设后，沥青每平方米的二氧化碳排放减少了64%，能耗降低了48%。此外，在这两个例子中，经过十年或更长的使用期，CCPR材料在现场表现良好。



图27-CCPR 生产



图28-CCPR铺设



图29-CCPR最终路面

- CIR

使用乳化沥青的就地冷再生包括对现有路面进行就地铣刨和筛分。此过程将破碎后的材料与乳化沥青混合并压实，无需将任何材料移出现场。在某些情况下，为了在施工中实现理想的级配，可适量添加新集料。

由于此工艺本质上将所有材料现场再利用，大幅减少了对新集料的需求，同时减少了新材料运输至现场所产生的能耗和排放。根据Lysenko[59]的研究，就地冷再生可使路面施工的总能耗减少84.3%，二氧化碳排放减少85%。

3.3 健康、安全与环境 (HSE) 方面

乳化沥青在健康、安全与环境 (HSE) 方面具有多重优势，包括在施工过程中无烟雾和粉尘、低或无挥发性有机化合物 (VOC) 含量，以及改善的工作环境。通过生命周期评价 (LCA) 可以量化其环境影响，并通过环境产品声明 (EPD) 进行公开透明地传达，从而推动道路建设行业的可持续实践。

更少的烟气、粉尘以及低挥发性有机化合物（VOC）排放：

乳化沥青材料的加工温度低于常规沥青材料，从而显著减少了烟气排放，包括挥发性有机化合物（VOC）的排放。此外，在施工过程中，这类材料有潜力降低粉尘的产生。

改善工作环境

降低的温度要求有助于营造更安全的工作环境；乳化沥青通常易于操作和施工，这不仅能够提高工作效率，还能减少工人的体力负担。在乳化状态下，乳化沥青为非易燃材料，这进一步提升了储存和操作过程中的安全性。此外，该材料可在多种天气条件下应用，为施工安排提供了更大的灵活性，同时减少了工人停工等待的时间。当然，这些优势可能会因多种因素而有所不同，包括具体的应用场景、所使用的乳化沥青类型，以及工作环境中实施的整体安全措施等。

环境影响量化

通过生命周期评估（LCA）对建筑材料的环境影响进行量化，涉及评估产品整个生命周期中所产生的环境负担，包括从原材料的开采与生产，到使用阶段以及最终的处置过程。LCA提供了全面了解产品或工艺环境影响的方法。

需要指出的是，具体的LCA可能因乳化沥青的种类、生产方式和区域因素而有所不同。研究人员和从业者可以根据具体情况定制LCA，以获得准确和相关的结果。

乳化沥青的环境产品声明（EPD）的可用性可能会有所不同，其具体内容取决于生产该乳化沥青的制造商或组织。环境产品声明（EPD）是提供产品在整个生命周期内环境表现信息的文件，符合相关标准。请注意，EPD的可用性可能因地区而异，并非所有产品都有相关的EPD。

以下是一些查找环境产品声明（EPD）或材料环境表现信息的来源：

- 制造商网站
- 行业协会
- 可持续性认证项目
- 政府或环境机构
- 第三方认证机构
- 研究和文献



图30 - 使用乳化沥青进行道路加固

3.4 乳化沥青技术与应用的社会影响

在道路施工中使用乳化沥青不仅提升了施工的效果和可持续性，还对道路使用者和社区带来了多方面的社会影响[62,63]。主要的社会影响包括：

减少异味

乳化沥青的异味通常比热沥青弱。道路施工现场气味的减少有助于为施工团队创造更为宜人的工作环境，并改善周边社区的生活质量。

异味减少有若干原因。乳化沥青通常在环境温度或略高的温度下施工，产生的沥青烟气较少。

改善抗滑性能

对于沥青路面，其抗滑性能取决于骨料类型、混合料级配、路面微观和宏观纹理等因素。在多种养护应用中使用乳化沥青可以通过影响路面表面的特性来改善或恢复抗滑性能，从而提升摩擦力。

典型的乳化沥青养护应用包括：

- 表面处理：包括碎石封层，稀浆封层和微表处。这些工艺中表面骨料颗粒增加了微观纹理，可能提升抗滑性能。乳化沥青也可用于表面处理中的再生剂，恢复老化路面的沥青性能，保持路面纹理。

延长施工季节

- 延长施工时间：与热沥青混合料相比，乳化沥青可以在较低的温度下使用。这使得其可以在温度较低的情况下施工，而热沥青混合料的铺设是不可行的，为工作时间提供了更大的灵活性。
- 无需专门设备/较少人力：乳化沥青不需要专门的加热设备或大量人力，从而简化了运输和后勤问题。

提高安全性

乳化沥青的使用在许多方面有助于提高施工和养护期间的安全性：

- 乳化沥青无需加热，在应用过程中产生的烟雾较少。
- 乳化沥青的较低应用温度和较低挥发性，显著减少了运输和处理相关的风险，也降低了溢出或飞溅的危险，提升了安全性。
- 在运输和施工操作中，乳化沥青对环境的风险也有所降低。



图31 - 使用乳化沥青进行路面冷再生

3.5 经济效益：上述主题的结果：节约材料和能源

乳化沥青用于各种表面处理和再生应用，已被证明可以通过减少材料和能源使用来节省成本。

表面处理技术可以单独使用或组合使用，延长现有路面的使用寿命并降低能耗。就地冷再生(CIR)、基层稳定化和厂拌冷再生(CCPR)等技术利用了道路上的现有材料。基层稳定化和CIR通过铣刨、拌合并将回收材料直接铺设在道路上，有助于降低运输成本。

相关报告已用于向用户介绍这些应用的性能和成本节约效果[65,66]。

通过降低混合温度，乳化沥青在这些混合料的生产中带来了显著的节能效果。这种节能效果在冷拌、CIR和CCPR应用中尤为显著，并且不会影响最终产品的性能。

表面处理乳化沥青的较低施工温度也成为一项重要优势，突显其较低的能耗[64]。



图32：再生项目

参考文献:

- 1 Congres Mondial Emulsion CEPESA / Maria del Mar Colas 2006 Spain NEW IMPREGNATING EMULSIONS WITH ECOLOGICS FLUXES
- 2 Newsletter Issue 23 Texas Pavement Preservation Center 2011 USA Evaluation of the Curing Time and Other Characteristics of Prime Coats applied to a granular base
- 3 Thesis University of Texas Osman Okuyucu 2014 USA Comparing Various Characteristics of Oven Cured and Field Cured Prime Coat Materials applied to Granular Bases
- 4 South African Pavement Engineering Manual SANRAL 2013 South Africa Chapter 9 Extract - Materials Utilisation and Design
- 5 Annexe au Bulletin CRR n 90 Centre de Recherches routieres 2012 Belgique Les emulsions cationiques bitumineuses en tant que couche de collage
- 6 National Cooperative Highway Research Program Danny Gierhart and David R. Johnson 2018 USA Tack Coat Specifications, Materials and Constrcution Practices
- 7 Technical Data Sheet n 5 Road Emulsion Association Limited 2023 United Kingdom Bond Coating
- 8 Japan Emulsified Asphalt Emulsion JEAA 2007 Japan Trackless Asphalt Emulsion
- 9 International Journal of Sustainable Transportation Department of Civil and Environmental Engineering Rutgers University 2020 USA Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment
- 10 Transportation Research Part D: Transport and Environment University of South Florida 2012 USA Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study
- 11 Materials and Structures Journal LUNAM Université, IFSTTAR 2012 France Evaluation of the structure-induced rolling resistance (SRR) for pavements including viscoelastic material layers
- 12 MTAG Volume I Flexible Pavement Preservation 2nd Edition Caltrans division of maintenance 2007 USA CHAPTER 6—FOG AND REJUVENATING SEALS
- 13 NPPC 2023 NCAT - Adriana Vargas 2023 USA NCAT Preservation Findings
- 14 Web article Bituchem 2012 United Kingdom Fortseal Carriageway Preservation System
- 15 Web article Ergon 2015 USA Scrub seal cuts costs, seals mass cracking
- 16 TRL Bateman 2016 United Kingdom Design Guide for Road Surface Dressing
- 17 Technical report Oregon DOT & FHWA 2016 USA Chip Seal Design and Specification Final Report
- 18 RSTA Website RSTA/REA 2023 United Kingdom The case for surface dressing

- 19 Road resource.org Mississippi DOT 2020 USA Microsurfacing success story
- 20 Road resource.org PPRA 2021 USA cape seal success story
- 21 Le Moniteur Magazine Conseil General Yvelines 2012 France Route - Les defis de l'entretien
- 22 National Cooperative Highway Research Program Colorado State University / Texas A&M University 2011 USA Report 680 - Manual for Emulsion Based Chip Seals for Pavement Preservation
- 23 Publication ADEPT / RSTA 2017 United Kingdom The Service Life of Road Surface Treatments for Asset Management Purposes
- 24 SaferRoads Internation Conference Sean Bearsley - Darcy Rogers 2017 New Zealand Emulsion Chipsealing: Generating Conscious Capital
- 25 ISSA 50th Annual Convention Abdeltif Belkahia 2012 France High performance laboratory tests for microsurfacing
- 26 European Roads Review Colas 2013 France New High Performance emulsions for surface dressings aimed at heavy traffic with heavy constraints
- 27 ISSA 51th Annual Convention Abdeltif Belkahia - Christine Deneuvillers 2013 France French High Traffic Chip Seal
- 28 RSTA Paul Boss 2021 United Kingdom Whole lifecycle cost planning for sustainability
- 29 RSTA Virtual conference Roy O'Connor 2021 United Kingdom Future Concerns and Positives for the Road Surface Treatment Industry
- 30 Asphalt Institute Presentation Minnesota DOT Zeinali . Blankenship Mahboub 2016 USA Quantifying the Pavement Preservation Value of Chip Seals
- 31 Road Materials and Pavement Design Minnesota DOT Zeinali . Blankenship Mahboub 2016 USA Evaluation of the DC(T) test in discerning the variations in cracking properties of asphalt mixtures
- 32 Resources, Conservation and Recycling Journal Giani and al 2015 Italy Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling
- 33 Brochure SABITA 2005 South Africa Why you need to maintain surfaced roads
- 34 FHWA-HIF-17-042, Federal Highway Administration Wagner, C. 2018 USA Overview of Project Selection Guidelines for Cold In-place and Cold Central Plant Pavement Recycling
- 35 National Cooperative Highway Research Program Stroup-Gardiner, M. 2011 USA NCHRP Synthesis of Highway Practice 421: Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In-Place Methods.

- 36 Comite Francais pour les Techniques Routieres (CFTR) Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) 2004 France Guide technique Retraitement en place à froid des anciennes chaussées.
- 37 FHWA-HIF-14-001 Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA) 2015 USA Basic Asphalt Recycling Manual (BARM)
- 38 Sustainability Ana R. Pasandín, Ignacio Pérez and Breixo Gómez-Meijide. 2020 USA Performance of High RAP Half-Warm Mix Asphalt
- 39 National Cooperative Highway Research Program 463 McDaniel, RS., Olek, J., Magee, B. J., Behnood, A., & Pollock, R. 2014 USA Pavement Patching Practices - A Synthesis of Highway Practice.
- 40 Construction and Building Materials Bong Ju Kwon, Dahae Kim, Suk-Keun Rhee, Y. Richard Kim. 2018 USA Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement.
- 41 National Cooperative Highway Research Program 569 M. Stroup-Gardiner 2021 USA Practice and Performance of Cold In Place Recycling and Cold Central Plant Recycling
- 42 National Cooperative Highway Research Program 863 Schwartz, C. W., B. K. Diefenderfer, and B. F. Bowers. 2017 USA Material Properties of Cold In-Place Recycled and Full-Depth Reclamation Asphalt Concrete.
- 43 Journal of Cleaner Production Fan Gu a, Wangyu Ma a, Randy C. West a, Adam J. Taylor a, Yuqing Zhang 2018 USA "Structural performance and sustainability assessment of cold central-plant and in-place recycled asphalt pavements: A case study"
- 44 Transportation Research Board Annual Meeting Finberg, Quire, and Thomas 2008 USA Granular Base Stabilization with Emulsion in Las Vegas, Nevada
- 45 European Roads Review S. Bemanian - Optimum Pavement 2007 France Cold In Place Recycling in Nevada
- 46 Transportation Research Record 2179 Robinette and Epps 2010 United States Energy, Emissions, Material Conservation, and Prices Associated with Construction, Rehabilitation, and Material Alternatives for Flexible Pavement
- 47 Recycled Materials Resource Center Dr. Arpad Horvath University of California at Berkeley 2004 United States Report Project 23 A Life-Cycle Analysis Model and Decision-Support Tool for Selecting Recycled Versus Virgin Materials for Highway Applications
- 48 ISAP Conference 2008 Uhlmeier et al 2008 United States Case study : COLD IN-PLACE RECYCLING IN WASHINGTON STATE
- 49 Construction and Building Materials Xiao et al. 2018 China A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement
- 50 ISAP Conference 2012 Goyer et al. 2012 France Environmental data of cold mix using emulsified bitumen for a better selection of road materials
- 51 SFERB SFERB 2008 France Bitumen Emulsions handbook

- 52 E&E Congress 2016 Lundberg et al. 2016 Sweden Production and durability of cold mix asphalt
- 53 Journal of Cleaner Production Jain et al.2021 India Cold mix asphalt: An overview
- 54 Web Lincolnshire county council 2023 United Kingdom Dressing up the roads network
- 55 FHWA Gregory Duncan et al 2020 USA Using reclaimed asphalt pavement in Pavement-Preservation Treatments
- 56 JTTE 2019; 6 (4): 359-365 Day et al 2019 United Kingdom Emulsion cold mix in the Uk : a decade of site and laboratory experience
- 57 ISSA world congress 2010 Day D et al 2010 United Kingdom DEVELOPING A STRATEGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND CARBON MANAGEMENT
- 58 NCC Roads Lundberg et al. 2016 Sweden Production and durability of cold mix asphalt
- 59 World of Emulsion Lyon 2010 Lysenko J et al 2010 Australia Sustainable Development
- 60 SABITA SABITA 2020 South Africa Technical Guideline TG2 3rd edition Bitumen Stabilised Materials
- 61 WSP - OPUS Report Kate Mora, Jeremy Wu, Phil Herrington 2019 New Zealand Implications of the substitution of Cut-Back Bitumens with bitumen emulsions for chip sealing
- 62 EDC-4 Pavement Preservation: How | Implementation Plan US Department of Transportation - FHWA 2017 USA Pavement Preservation: How
- 63 Best Practices for EMULSION TACK COATS NAPA - Author Dale S. Decker, P.E. 2020 USA Quality Improvement Publication 128
- 64 E&E Congress 2020 Marimar Colás, Vicente Pérez, Antonio García CEPSA 2020 Spain High Performance Recycling with Bituminous Emulsions
- 65 National Pavement Preservation Conference Adriana Vargas-Nordcbeck - NCAT 2023 USA NCAT Preservation Findings
- 66 National Pavement Preservation Conference Jerry Geib - MnROAD 2023 USA MnROAD NCAT Preservation Study

IBEF 成员

正式会员

Aema 美国

AfPA 澳大利亚

Amaac 墨西哥

Ateb 西班牙

Fbk e.V. 德国

Jeaa 日本

PSWNA 波兰

Rea 英国

Sabita 南非

Sferb 法国

Siteb 意大利

关联会员

Arkema - 法国

BASF SE – Asphalt Performance - 德国

BitChem Asphalt Technologies Limited - 印度

Buckau-Wolf - 德国

Chemoran - 爱尔兰

China Emulsified Asphalt Association 中国乳化沥青协会 - 中国

Enfalt - 土耳其

Hincol - 印度

Ingevity - 美国

Insung - 韩国

Kandovan Pars - 伊朗

Ooms Products - 荷兰

Paragon Technical Services - 美国

Patpribor Ltd - 保加利亚

Quimi Kao - 墨西哥

Rad Group - 俄罗斯

SAE Fayat Group - 法国

SurfactGreen SAS - 法国

Tipco Asphalt - 泰国

Total BTM - 法国

VALOCHEM - 法国

Vialab - 法国

VIALIT - 奥地利

XiYuefa Group 喜跃发集团- 中国