

# 乳化沥青冷再生技术的研究进展

孙海南

(山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250101)

**摘要:**我国高等级公路每年因养护维修而产生大量的RAP(废旧沥青混合料)。沥青路面在环境以及荷载的长时间作用下,其整体性能将不能满足规范要求,但是RAP作为路面再生技术的原材料仍然具有很高的价值。在冷再生的施工过程中,RAP中的旧沥青很难与新添加的乳化沥青有效融合,RAP中的颗粒主要是作为“黑色集料”在发挥作用;这样很难实现RAP的利用率最大化。因此,如果能够提高RAP的利用率,既能节约大量的资源,同时避免RAP闲置堆积造成生态环境破坏,符合可持续发展的理念,具有显著的经济和生态效益。研究综述了乳化沥青冷再生混合料的组成及相关性能的评价,探索了乳化沥青冷再生技术未来的发展方向和研究重点。

**关键词:**RAP; 乳化沥青; 冷再生技术; 性能评价

**中图分类号:**U418 **文献标识码:**A **文章编号:**1006—7973(2022)05—0152—03

## 1 引言

沥青路面是一个国家经济发展和日常生活的重要资产。随着交通量的增加,道路行业面临着巨大的压力与挑战,发展节能环保的路面技术似乎具有特殊的意义<sup>[1,2]</sup>。近年来,随着中国高等级公路逐渐进入大修周期,每年因养护维修产生了大量的废旧沥青混合料(RAP);如果不能采取有效的方式对RAP进行处理,不仅会造成资源的浪费,还会破坏生态环境;而对RAP中老化沥青的再生利用,是解决这方面问题最有效的方式<sup>[3,4]</sup>。

冷再生技术以其独特的优势受到了很多研究者的青睐,尤其是以乳化沥青冷再生技术。乳化沥青冷再生是一种节约能源、保护环境、循环利用资源和低成本的沥青路面养护维修技术,已成为实现低碳交通的重要途径之一<sup>[5,6]</sup>。

结合相关文献和技术规范,从乳化沥青冷再生技术的角度展开综述;首先介绍乳化沥青冷再生混合料的组成,其次对冷再生混合料性能评价展开综述,最后对乳化沥青冷再生技术的发展进行总结与展望。

## 2 乳化沥青冷再生混合料的组成

### 2.1 乳化沥青

乳化沥青是由沥青、乳化剂、水及添加剂(如需要)组成,具有节能环保、绿色低碳、冷态施工等一系列的施工优越性,所以非常有助于公路的修建和养护。

### 2.2 集料(新集料和RAP)

刘海鹏<sup>[7]</sup>等综合考虑材料的经济性原则,推荐矿粉用量3%、机制砂和9.5~19.0mm粗集料用量均为20%时对冷再生混合料作用效果最好。蒋应军<sup>[8]</sup>等经过试验

分析冷再生混合料中9.5~19mm粗集料掺量10%~30%、机制砂掺量20%、矿粉掺量3%为宜。此外,RAP分散或成团会影响混合料的级配,从而影响冷再生混合料相应的技术性能;何东坡<sup>[9]</sup>等研究认为相比RAP原样筛分,应用RAP抽提筛分调整冷再生混合料的级配效果更好。

### 2.3 添加剂

#### 2.3.1 再生剂

再生剂(Rejuvenating Agent)作为乳化沥青冷再生技术中的常用添加剂,其主要作用是弥补RAP中老化沥青缺乏的轻组分(饱和分和芳香分)以达到恢复老化沥青性能的目的;此外,应当根据RAP中沥青的老化程度和含量,并考虑沥青与再生剂的配伍性情况综合考虑选择再生剂的种类<sup>[10]</sup>。郝林<sup>[11]</sup>等确定自制再生剂的掺量为8%,且再生剂组成成分基础油、增塑剂及抗氧化剂三者比例为80:20:4时冷再生混合料具有良好的再生效果。废植物油等也可被用来作为再生剂,王林芳<sup>[12]</sup>研究发现当废旧食用油掺量为1.5%时,冷再生混合料的路用性能达到最佳。

#### 2.3.2 纤维

纤维是提高乳化沥青冷再生混合料力学及路用性能常用的添加剂<sup>[5]</sup>。以纤维的类型和掺量作为研究的变量,蒋应军<sup>[13]</sup>等研究发现聚酯纤维、木质素纤维掺量分别为0.6%和0.4%时,冷再生混合料分别具有最佳的低温性能和高温性能。杨东光<sup>[14]</sup>发现玄武岩纤维提高冷再生混合料技术性能的效果最好且掺量为0.3%,其次是聚丙烯腈纤维且用量为0.35%;然后是聚酯纤维及聚丙烯纤维,最佳掺量均为0.3%。从兼顾不同特性纤维的配比设计的角度研究,张庆<sup>[15]</sup>等选用木质素纤维及废

旧玻璃纤维进行配比优化设计；当冷再生混合料具有优良的路用性能时，两种纤维的用量为 0.3% 且二者之比为 7: 3。

### 2.3.3 水泥

在乳化沥青冷再生混合料施工过程中加入一定量的水泥，利用水泥吸水水化加速乳化沥青破乳，达到提高早期强度、提早开放交通的目的<sup>[16, 17]</sup>。郭银涛<sup>[18]</sup>等研究发现当水泥掺量为 3% 时，冷再生混合料抗疲劳性能最佳；而水泥掺量为 2.0% 时，具有较好的低温性能。另外孙岩松<sup>[19]</sup>发现冷再生混合料的高温性能随水泥掺量（0~5%）的提高而不断增强并逐渐稳定，水稳性则是先平缓增长一段时间而后迅速增长；当水泥掺量为 1.5% 时，低温性能最佳。

此外，从微观检测的角度也能研究水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料的影响。魏唐中<sup>[20]</sup>等研究认为在较高的水泥用量下，冷再生混合料的早期及后期强度越高；水泥的水化产物和破乳后的沥青结合使冷再生混合料的强度增加。王宏<sup>[21]</sup>观测分析不同水泥掺量冷再生混合料的细微观形貌特点，认为水泥的掺量不宜超过 2%。与王宏等的研究思路不同，杨彦海<sup>[22]</sup>等将微观检测手段与宏观性能评价相结合，分析认为水泥的水化产物与沥青相结合起到“加筋”的作用使冷再生混合料的强度得到提高；并且建议水泥掺量在 1%~2% 范围内。

### 2.3.4 其他

高炉矿渣随着冶炼工业的迅猛发展而大量产生。目前，大量的高炉矿渣只能闲置堆积而无法被有效的利用，导致大量土地被占用且严重污染环境。杨涟<sup>[23]</sup>等发现掺加 1.5% 高炉矿渣和 0.3% 消石灰对冷再生混合料路用性能的改善效果与掺加 1.5% 水泥相当。

生石灰是一种能与水发生消化反应并放热的无机胶结材料。研究认为掺加一定量的生石灰能显著提高冷再生混合料的强度且节省相应的时间<sup>[24]</sup>。金成<sup>[25]</sup>等发现生石灰掺量（0~1.5%）范围内冷再生混合料的强度基本稳定。杜少文<sup>[26]</sup>研究认为消石灰或消石灰矿渣粉均能提升冷再生混合料相应的技术性能，但是二者的作用效果比水泥差。

## 3 乳化沥青冷再生混合料的性能评价

### 3.1 高低温性能

王宏<sup>[27]</sup>等发现低标号沥青或增加水泥用量均能显著提高冷再生混合料的高温性能，同时受到早期含水率及冷再生混合料后期强度的影响。董文龙<sup>[28]</sup>等比较了三种结构形式的高温性能，发现 ECR（乳化沥青冷再生混合料）的高温性能优于 HMA（热拌普通沥青混合料）

和 ECR/HMA。李瑞红<sup>[29]</sup>研究发现足够的养生时间能够显著提高冷再生混合料的高温性能。随着乳化沥青冷再生混合料层位使用范围的不断扩大，其低温性能也逐渐成为研究者们所关注的焦点；李锋<sup>[30]</sup>等将断裂能作为评价冷再生混合料低温性能的指标，分析认为水泥用量不超过 1.5% 为宜。

### 3.2 疲劳性能

随着交通量和轴载的不断增加，道路使用年限出现大幅度下降；而乳化沥青冷再生混合料优于半刚性材料的主要品质是其优良的抗疲劳性能<sup>[31, 32]</sup>。王之怡<sup>[33]</sup>等研究发现 RAP 掺量 100% 的冷再生混合料比 RAP 掺量 80% 拥有更好的抗疲劳性能。汪德才<sup>[34]</sup>等比较影响冷再生混合料疲劳寿命的因素，RAP 掺量及针入度 > 延度及乳化沥青用量 > 水泥用量及应力水平。目前，缺乏对服役一定时间的冷再生混合料疲劳性能的研究分析，孙立军<sup>[35]</sup>等发现现场服役多年的冷再生混合料存在疲劳性能增长的过程。

### 3.3 水稳定性

我国幅员辽阔，从北向南处于寒带、温带和热带；使得乳化沥青冷再生混合料铺筑的路面需要承受冻融循环的作用<sup>[36]</sup>。杨彦海<sup>[37]</sup>等研究发现冻融循环对非饱和乳化沥青冷再生混合料的高、低温性能影响显著，低温劈裂强度随着冻融循环次数的增加降低幅度逐渐减小，而高温抗剪强度的变化规律正好相反。由于乳化沥青冷再生混合料的孔隙较大，当存在级配不当的情况，再加上受到水的侵蚀以及重载交通作用时很容易损坏<sup>[38]</sup>；高磊<sup>[39]</sup>等研究发现造成冷再生混合料低透水性的重要原因是空隙尺寸和分布特征。

## 4 结论与展望

（1）再生剂是用于恢复 RAP 中老化沥青性能的添加剂，再生剂必须能够提供老化沥青所缺乏的轻组分（饱和分与芳香分），同时应具有耐热性和耐候性。

（2）研究发现水泥能够加速乳化沥青的破乳，其水化产物与破乳后的沥青进一步组合使冷再生混合料强度得到提高。

（3）将微观形貌特征与宏观性能评价结合起来研究冷再生混合料的材料组成与强度机理是乳化沥青冷再生技术研究的发展趋势。

### 参考文献：

- [1] CHERAGHIAN G, FALCHETTO A C, YOU Z, et al. Warm mix asphalt technology: An up to date review [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 268.

- [2] 任瑞波, 张正男, 赵品晖, 等. 沥青路面微表处研究综述 [J]. 石油沥青, 2020, 34(05): 4-8.
- [3] 任瑞波, 范文森, 冯美军, 等. 沥青混合料再生技术研究进展 [J]. 石油沥青, 2020, 34(04): 9-12+23.
- [4] 况栋梁, 刘文昌, 张阳, 等. 基于表面润湿理论的再生剂-老化沥青界面扩散行为评价 [J]. 中国公路学报, 2020, 33(07): 58-67.
- [5] 王恩, 张启志. 纤维对乳化沥青冷再生混合料性能的影响 [J]. 新型建筑材料, 2020, 47(06): 74-78.
- [6] 王志刚. 掺加纤维的乳化沥青冷再生混合料路用性能及机理分析 [J]. 公路工程, 2016, 41(06): 262-266+288.
- [7] 刘海鹏, 蒋应军, 胡永林, 等. 级配对乳化沥青冷再生混合料强度的影响 [J]. 建筑材料学报, 2018, 21(03): 503-510.
- [8] 蒋应军, 韩占闯. 级配对乳化沥青冷再生混合料路用性能影响 [J]. 大连理工大学学报, 2018, 58(06): 607-614.
- [9] 何东坡, 李惠惠, 杨柳, 等. RAP对乳化沥青冷再生混合料级配设计的影响研究 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16(23): 273-279.
- [10] 李立寒. 道路工程材料 [M]. 道路工程材料, 2010.
- [11] 郝林, 吴建灵, 陈兵, 等. 冷拌用再生剂的制备及乳化沥青冷再生混合料路用性能研究 [J]. 公路, 2021, 66(07): 7-16.
- [12] 王林芳. 添加废旧食用油预拌增强型乳化沥青冷再生混合料性能研究 [J]. 新型建筑材料, 2020, 47(02): 36-40.
- [13] 蒋应军, 王瑞祥, 刘鹏, 等. 纤维对乳化沥青冷再生混合料路用性能影响 [J]. 大连理工大学学报, 2020, 60(01): 62-68.
- [14] 杨东光. 不同纤维对乳化沥青冷再生混合料力学及路用性能的影响 [J]. 公路, 2020, 65(03): 1-7.
- [15] 张庆, 侯德华, 史纪村, 等. 混杂废旧纤维对乳化沥青冷再生混合料的性能优化研究 [J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(08): 2662-2671.
- [16] 钟梦武, 吴超凡, 于永生, 等. 掺加水泥的乳化沥青冷再生沥青混合料设计方法研究 [J]. 公路, 2008, 01: 195-199.
- [17] 刘明辉, 段书芬, 李振霞. 水泥-乳化沥青冷再生混合料性能研究及开发应用 [J]. 铁道建筑, 2012, 09: 144-146.
- [18] 郭银涛, 刘清泉, 刘振清. 考虑水泥作用的改性乳化沥青冷再生混合料性能研究 [J]. 公路交通科技, 2012, 29(06): 6-10+21.
- [19] 孙岩松. 水泥掺量对乳化沥青冷再生混合料性能的影响 [J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(04): 45-48.
- [20] 魏唐中, 洪锦祥, 林俊涛. 水泥与乳化沥青对冷再生强度的影响及作用机理 [J]. 建筑材料学报, 2017, 20(02): 310-315.
- [21] 王宏. 不同水泥掺量乳化沥青冷再生混合料微观空隙分布特征 [J]. 公路交通科技, 2016, 33(07): 27-34+67.
- [22] 杨彦海, 郇宇航, 杨野, 等. 水泥对乳化沥青冷再生材料性能影响的宏观分析 [J]. 公路交通科技, 2018, 35(10): 1-8.
- [23] 杨连, 徐周聪, 周浩南, 等. 掺加BFS的乳化沥青冷再生混合料路用性能研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 1-8.
- [24] 周源. 生石灰对乳化沥青冷再生混合料强度的影响 [J]. 中外公路, 2013, 33(02): 282-284.
- [25] 金成, 贾小龙, 任斌. 不同外加材料对乳化沥青冷再生混合料性能的影响 [J]. 公路, 2017, 62(12): 255-258.
- [26] 杜少文. 外加材料对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响 [J]. 建筑材料学报, 2013, 16(03): 534-538.
- [27] 王宏, 郝培文, 南兵章, 等. 乳化沥青冷再生混合料高温稳定性研究 [J]. 公路工程, 2013, 38(04): 191-195.
- [28] 董文龙, 杨群, 黄文元, 等. 乳化沥青冷再生混合料高温变形特征试验研究 [J]. 公路工程, 2014, 39(05): 44-46+87.
- [29] 李瑞红. 乳化沥青冷再生混合料高温稳定性试验研究 [J]. 公路工程, 2017, 42(05): 132-135+177.
- [30] 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, 60(03): 164-168.
- [31] 王真, 何亮, 张捷, 等. 乳化沥青冷再生混合料疲劳性能试验研究 [J]. 公路, 2010, 12: 160-163.
- [32] 吕政桦, 申爱琴, 李悦, 等. 基于遗传优化的乳化沥青冷再生混合料的疲劳性能及机理研究 [J]. 材料导报, 2019, 33(16): 2704-2709.
- [33] 王之怡, 郝培文, 柳浩, 等. 乳化沥青冷再生混合料疲劳性能研究 [J]. 公路交通科技, 2015, 32(02): 28-32.
- [34] 汪德才, 郝培文, 魏新来. 乳化沥青冷再生混合料疲劳性能及影响因素 [J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(04): 541-546.
- [35] 孙立军, 程怀磊, 刘黎萍, 等. 在役乳化沥青冷再生混合料的疲劳性能 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(11): 1648-1654+1687.
- [36] 杨野, 徐剑, 杨彦海, 等. 冻融循环作用下乳化沥青冷再生混合料损伤分析 [J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2020, 36(05): 869-876.
- [37] 杨彦海, 崔宏, 杨野, 等. 冻融循环作用对非饱和乳化沥青冷再生混合料性能的影响 [J]. 吉林大学学报(工学版), 1-8.
- [38] 何亮, 张捷, 金康康, 等. 乳化沥青冷再生混合料水稳定性试验 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(06): 900-903.
- [39] 高磊, 倪富健, 罗海龙, 等. 乳化沥青冷再生混合料的透水性及空隙特征 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2015, 45(03): 581-585.