

冷拌冷铺沥青混合料研究现状与发展

梁 铎¹, 徐书东², 孙英健¹, 董 昭²

¹内蒙古高等级公路建设开发有限责任公司第一公路建设管理分公司, 内蒙古 呼和浩特

²山东省交通科学研究院, 山东 济南

Email: 842631849@qq.com

收稿日期: 2021年3月12日; 录用日期: 2021年6月2日; 发布日期: 2021年6月9日

摘 要

为进一步推广冷拌冷铺技术的工程应用, 论文在综合国内外研究现状的基础上, 根据胶结料不同分别论述了乳化型、溶剂型、反应型三种冷拌冷铺沥青混合料的强度形成机理, 从混合料拌和、摊铺、碾压的角度总结了冷拌冷铺沥青混合料施工工艺, 结合冷拌冷铺沥青混合料材料特性, 分析了其社会及环境效益, 针对冷拌冷铺技术现状从混合料配合比设计方法、性能评价体系、耐久性提升方面提出了冷拌冷铺沥青混合料进一步研究建议, 对于冷拌冷铺技术的推广应用具有积极地推动作用。

关键词

冷拌冷铺, 沥青混合料, 施工工艺, 道路工程

Research Status and Development of Cold Mix and Cold Paving Asphalt Mixture

Duo Liang¹, Shudong Xu², Yingjian Sun¹, Zhao Dong²

¹The First Highway Construction Management Branch of Inner Mongolia High Grade Highway Construction and Development Co., Ltd., Hohhot Inner Mongolia

²Shandong Transportation Research Institute, Jinan Shandong

Email: 842631849@qq.com

Received: Mar. 12th, 2021; accepted: Jun. 2nd, 2021; published: Jun. 9th, 2021

Abstract

In order to further promote the application of cold mix cold paving technology, based on the comprehensive research status at home and abroad, the paper analyzes the strength formation mechanism of three cold mixed cold pave asphalt mixtures, namely emulsification, solvent and reac-

tion, according to the different cementation materials. The construction technology of cold mixed cold asphalt mixture is summarized from the perspective of mixture mixing, spreading and rolling, and combined with cold mixed cold asphalt. The paper analyzes the social and environmental benefits of the green mixture material. According to the current situation of cold mix cold paving technology, the further research suggestions on the mix ratio design method, performance evaluation system and durability improvement are put forward, which will promote the promotion and application of cold mix cold paving technology.

Keywords

Cold Mix and Cold Paving, Asphalt Mixture, Construction Technology, Road Engineering

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

沥青路面作为我国高等级公路的主要形式,对于我国公路交通建设有着积极的推动作用。但沥青路面施工不仅需要较高的温度,缩短了施工工期,而且消耗能源,排放大量的温室气体,破坏了生态环境。在国家大力提倡“绿色交通”的新时代背景下,迫切需要在道路交通建设中提供一种低能耗、少污染、成本低、资源节约、施工便捷的道路修筑材料,从而满足“绿色施工”的技术要求[1]。基于上述问题,冷拌冷铺技术一经提出便得到快速发展应用,冷拌冷铺沥青混合料即将沥青胶结料(乳化沥青或液体沥青)与一定级配要求的集料、添加剂等按照一定比例常温条件下拌和、摊铺的新型道路材料[2]。该技术实现了常温下施工,不受气温、季节的影响,克服了传统路面资源浪费、环境污染的弊端,具有显著的社会、环境效益。

2. 冷拌冷铺沥青混合料研究现状

2.1. 国外研究现状

20世纪初,欧洲国家开始致力于冷拌材料的研究,乳化沥青冷补材料作为其典型代表,得到了广泛应用。法国 JeanIafevre 公司[3]根据乳化沥青材料特性,分别对可控制破乳时间的乳化沥青、掺加聚合物的乳化沥青、高浓度乳化沥青等胶结料进行了研究,根据使用目的不同可灵活选用乳化沥青类型。

Doyle T A 等人[4]分析了级配对乳化沥青混合料劲度模量和抗疲劳性能的影响,研究发现骨料的结构组成对乳化沥青混合料力学性能有着重要影响,级配过粗会导致乳化沥青混合料发生完全裂解,造成混合料的劲度模量和抗疲劳性能不足。

加拿大 TCG 材料公司[5]致力于溶剂型冷补沥青材料的研发。溶剂型沥青主要由沥青、柴油、溶剂型轻蒸馏物以及重蒸馏物组成,通常在沥青中掺加 0.8%~1.2%的氨类增粘剂,以保证胶结料的良好粘附性。胶结料的硬度通过改变各组成成分的掺配比例来实现,以满足沥青路面对混合料刚度、硬度、塑性的技术要求。

日本昭和沥青工业株式会社[6]对环氧冷拌沥青进行了系统研究,环氧沥青是将环氧树脂加入到沥青中,经过固化剂的固化作用,沥青分子可以均匀分散于环氧树脂中,形成互相缠绕的网状结构,从而使沥青具有良好的物理及力学性能。由于添加了环氧树脂材料,混合料力学性能显著优于传统沥青混合料,

但同时也增加了其工程投资，一定程度上限制了其工程应用。

美国[7]颁布了《冷铺沥青混合料手册》，从原材料指标控制、混合料配合比设计及性能评价、混合料施工工艺及质量控制等方面对冷拌冷铺混合料工程应用提供了必要的技术标准。

Cho Y S、Lin F B 等人[8]根据冷补材料特性提出了一种基于洛杉矶磨耗法的冷补材料抗松散性能评价方法，用以评价冷补材料的抗松散性能及压实特性。

日本大有株式会社[9]分析了冷拌冷铺沥青混合料的高温性能及环境效益，为了保证路面具有良好的抗车辙性能，提出冷拌冷铺混合料动稳定度应大于 3000 次/mm；冷拌冷铺混合料实现了常温施工，具有良好的环境效益，提出相比于热拌沥青混合料，能源消耗应减少 10%以上，并根据工程特点开发出了多种冷拌冷铺沥青路面结构层组合方案。

2.2. 国内研究现状

我国对于冷拌冷铺技术的研究仍滞后于西方发达国家，现阶段我国研究学者主要从混合料配合比设计及性能评价、冷拌沥青技术指标控制、冷拌冷铺混合料工程应用等方面进行了系列研究。

20 世纪 70 年代初，我国开始了冷补材料的研究。四川公路科技有限责任公司[10]通过将集料、沥青、隔离剂、冷拌剂按照一定的比例混合料，成功制备了冷拌冷铺沥青混合料，并根据我国交通环境和交通条件，成功研制了分别应用于高速公路(70#)、非低温一般公路(100#)、低温一般公路(140#)的沥青胶结料。

同济大学吕伟民[11]根据胶结料不同，提出了不同类型冷拌沥青混合料的强度形成机理。研究表明沥青黏度、沥青膜厚度、冷拌沥青类型、矿粉用量等因素是影响混合料性能指标的重要因素，提出沥青对矿料的黏附作用主要源于沥青分子的作用，当沥青与集料充分裹覆时，沥青与矿料的黏附性主要取决于沥青分子的稠密程度。

东北林业大学张海涛[12]对比分析了冷拌沥青对混合料性能的影响，并分别铺筑试验路进行了长期性能监测，研究表明溶剂型冷拌冷铺路面未出现松散、裂缝、剥落等病害，相比于乳化沥青冷拌冷铺路面具有更好的耐久性能。

沈阳建筑大学李凯[13]分析了击实方式对乳化型冷补材料压实特性的影响，提出乳化型冷补材料需要二次击实才能达到规定的密实度；分析了添加水泥对冷补材料性能指标的影响，发现添加水泥可以提高冷补材料的强度、高温性能和水稳定性，但对混合料的低温抗裂性能不利。

北京建筑大学李思童[14]分析了室内养生方式对乳化型冷补材料高温性能、低温性能、水稳定性等性能指标的影响，提出可通过室内 90℃ 养生 24 h 的方式加速冷补材料的养生。

交通部公路交通科学研究院李峰[15]指出现阶段基于马歇尔击实法进行冷再生混合料性能评价不能完全反映冷补材料的性能指标，通过室内试验提出了冷补材料的评价标准，更加强调了混合料的低温性能。

长沙理工大学刘大梁[16]根据溶剂型沥青材料特性分析了混合料初始强度与最终强度性能指标，提出混合料初始强度(2 h)应大于 5 kN，成型稳定度(12 h)应大于 10 kN 的技术标准，对比分析了冷拌沥青混合料与热拌沥青混合料的高温、低温和水稳定性，研究表明二者性能差异不明显，但冷拌沥青混合料施工更加方便，具有更好的应用推广价值。

3. 冷拌冷铺沥青混合料强度形成机理

根据冷拌沥青与矿料的作用机理不同，将冷拌冷铺沥青混合料分为乳化型、溶剂型、反应型三种混合料类型[17]。

1) 乳化型冷拌冷铺沥青混合料

该混合料采用乳化沥青作为胶结料与矿料常温下拌合而成，乳化沥青破乳前黏度较低，混合料间的

黏附性较差，具有良好的施工和易性，混合料拌和过程中，乳化沥青与集料充分接触，外力作用下包裹沥青的水分被挤出，沥青与集料的黏附性增强，混合料强度增加[18]。但相关研究表明其初始强度较低，耐久性较差，容易出现早期病害。乳化型冷拌冷铺沥青混合料强度形成过程如图 1 所示。

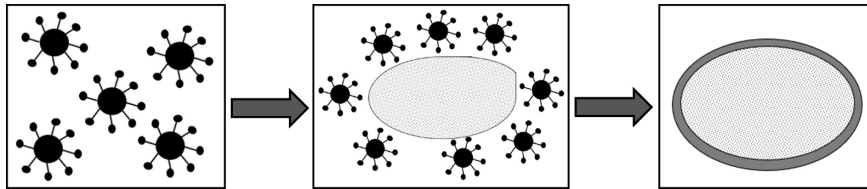


Figure 1. Strength formation process of emulsified cold mix cold paving asphalt mixture [7]
图 1. 乳化型冷拌冷铺沥青混合料强度形成过程[7]

2) 溶剂型冷拌冷铺沥青混合料

该混合料由沥青、稀释剂、外加剂按照一定掺配比例制备冷拌沥青然后与集料常温条件下拌和而成。稀释剂的成分主要为各种石油组分，能够将黏稠的沥青溶解成流动的液体，降低沥青的黏度，保证混合料施工过程中具有良好的施工和易性[19]。在行车荷载和自然环境的作用下，沥青中的稀释剂逐渐挥发，沥青黏结力增强，混合料间的密实度逐渐增加，最终强度逐渐形成[20]。溶剂型冷拌冷铺沥青混合料具有初始强度低，随时间延长强度显著增加的典型特点，其强度形成过程如图 2 所示。

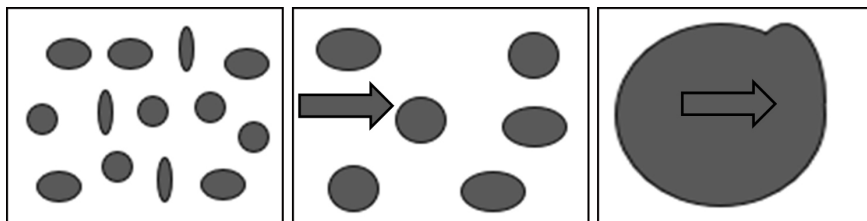


Figure 2. Strength forming process of solvent cold mixed cold paved asphalt mixture [7]
图 2. 溶剂型冷拌冷铺沥青混合料强度形成过程[7]

3) 反应型冷拌冷铺沥青混合料

该混合料由环氧改性沥青作为胶结料，常温下与矿料拌和而成。由于胶结料中添加了环氧树脂改性剂，沥青黏结力显著增强，混合料多用于沥青路面坑槽的修补。混合料拌和过程中撒入适量的固化剂，固化剂均匀分散于混合料的空隙间，与环氧沥青发生反应形成错综复杂的网状结构，显著提高混合料间的强度[21]。此外环氧树脂胶结料在反应过程中会释放热量，加快稀释剂的挥发，促进了混合料最终强度形成[22]。其强度形成过程如图 3 所示。

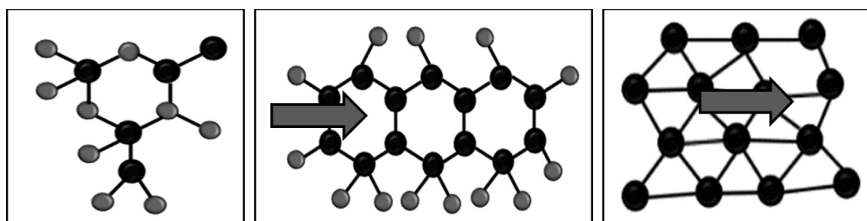


Figure 3. Strength formation process of reactive cold mix cold paving asphalt mixture [7]
图 3. 反应型冷拌冷铺沥青混合料强度形成过程[7]

4. 冷拌冷铺沥青路面施工工艺

4.1. 混合料拌和

冷拌沥青常温条件下具有较好的流动性，能够与矿料充分拌合，制备均匀的混合料。工程应用中混合料生产宜采用集中厂拌法，拌合设备可采用间歇式稳定土拌合设备，为保证混合料的拌和均匀性，应当适当延长拌合时间，拌合时间不宜短于 60 s (图 4)。拌和后的混合料不应出现花白边或者沥青流淌现象，以沥青均匀裹附矿料为最佳的拌和状态。

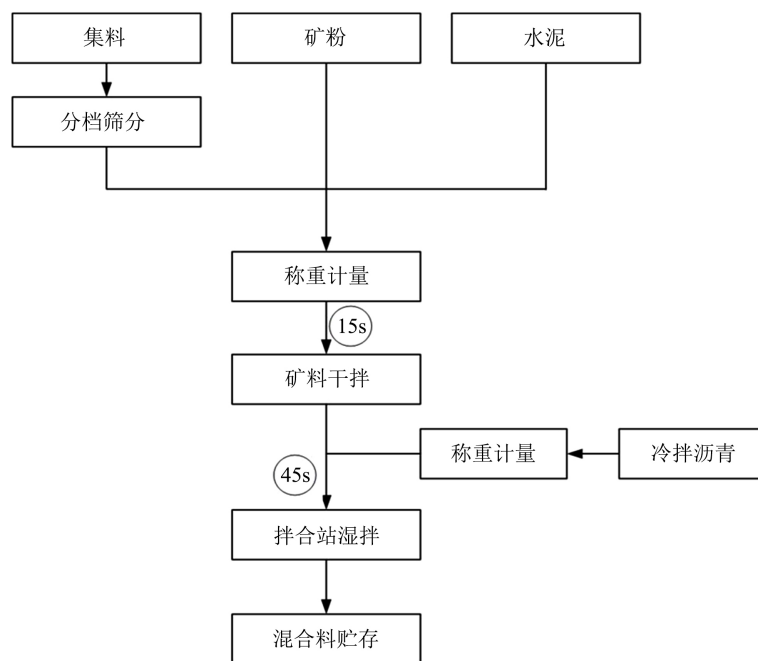


Figure 4. Mixing process of cold mixed cold paved asphalt mixture
图 4. 冷拌冷铺沥青混合料拌和工艺流程

4.2. 摊铺

混合料摊铺前应对下承层进行清扫并撒布粘层油，以提高沥青路面结构层间的黏结力。由于稀释剂的存在，混合料具有较好的施工和易性，可以在常温条件下摊铺，但摊铺温度不宜低于 20℃，当施工温度低于 20℃时宜对混合料加热，加热温度应控制为 40℃~80℃。为减少混合料的离析，应采用摊铺机进行混合料的摊铺，为保证混合料均匀性，摊铺机摊铺宽度不宜大于 6 (双车道道路)~7.5 m (三车道道路)，道路较宽时可采用两台摊铺机成梯队同步摊铺，摊铺机前后距离应错开 10~20 m，两台摊铺机的接缝避开车道轮迹带，并重叠 5~10 cm，摊铺过程应保持连续，减少离析现象的发生(图 5、图 6)。

4.3. 混合料压实

为保证混合料良好的压实效果，应选择合理的压实机械组合。混合料碾压过程分为初压、复压和终压。初压应紧跟摊铺机进行，宜选用钢轮压路机尽快将混合料表面压实；复压是混合料的压密过程，为保证混合料达到规定的密实度，应选用大吨位的轮胎压路机反复碾压；终压选用双钢轮压路机静压，消除路面的轮迹，以保证路面满足平整度要求(图 7)。混合料碾压既要满足压实度的要求也不能过压，导致石料压碎，磨损集料的棱角性，破坏集料嵌挤。冷拌冷铺沥青混合料压实方案如表 1 所示。



Figure 5. Cleaning of lower bearing layer
图 5. 下承层清扫



Figure 6. Cold mix cold paving asphalt mixture paving
图 6. 冷拌冷铺沥青混合料摊铺



Figure 7. Compaction of cold mix and cold paving asphalt mixture
图 7. 冷拌冷铺沥青混合料压实

Table 1. Compaction scheme of cold mix and cold paving asphalt pavement**表 1.** 冷拌冷铺沥青路面压实方案

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
双钢轮压路机	1~2 (静压、振动)	3 (静压、振动)	3 (振动)	5 (振动)	1~2 (静压)	3 (静压)
轮胎式压路机			5~6 (静压)	8 (静压)		

5. 冷拌冷铺沥青混合料社会及环境效益

冷拌冷铺沥青混合料常温施工，减少了能源消耗及温室气体的排放，是践行“资源节约型社会”和“环境友好型社会”的重要途径，具有显著的社会及环境效益：

1) 便于生产，存放备用。传统热拌沥青混合料拌和设备不需改装即可进行冷拌冷铺沥青混合料的生产，且拌和好的混合料装入密封袋中即可长期保存，不影响混合料的使用性能。

2) 减少温室气体排放，保护生态环境。冷拌冷铺沥青混合料在常温条件下即可均匀拌和，相比于传统的热拌沥青混合料，减少了集料加热过程中的温室气体排放，具有良好的环保作用。

3) 节约资源，降低能耗。冷拌冷铺沥青混合料在常温条件下拌和，省去了集料的加热过程，大大节省了燃料资源，减少了能源消耗。

4) 延长施工季节。冷拌冷铺沥青混合料对成型温度不敏感，施工过程不受温度、季节的影响，延长了混合料的施工季节，加快了工程进度。

5) 开放交通快。混合料经压实后既具有一定的早期强度，用于路面坑槽修补，不经养生即可开放交通，不会影响车辆的通行。

6. 冷拌冷铺沥青混合料进一步研究建议

1) 混合料配合比设计。马歇尔击实法是我国进行沥青混合料配合比设计普遍采用的方法，但对于冷拌冷铺沥青混合料，不但设计步骤繁琐，又不能与工程现场相匹配。研究表明旋转压实成型方法可以更好的模拟压路机实际工作时的行车作用，与施工现场具有较高的一致性，因此基于旋转压实成型方法进行混合料配合比设计是完善冷拌冷铺沥青混合料设计体系的重要方向，对于指导混合料现场施工具有更加现实的意义，建议基于旋转压实成型方法开展冷拌冷铺沥青混合料配合比设计研究，从而真正达到基于室内试验控制施工现场的目的。

2) 混合料性能评价。现阶段尚未建立明确的冷拌冷铺沥青混合料性能评价体系。根据冷拌沥青材料特性，可以将混合料强度形成过程分为初始强度和最终强度，早期由于沥青胶结料中稀释剂的存在，导致混合料间黏聚力小，混合料初始强度较低，随着稀释剂的挥发和车辆荷载作用下混合料的逐渐密实，混合料黏聚力和嵌挤力逐渐增大，最终强度形成。建议分别对混合料初始强度和最终强度评价指标进行研究，建立基于粘附性、高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性及抗疲劳性能的两阶段混合料性能评价体系。

3) 混合料耐久性提升。常温施工导致冷拌冷铺沥青混合料难以有效压实，造成混合料间空隙更大且多为连通空隙，水分容易沿连通空隙进入到混合料内部，造成路面坑槽、松散病害的发生。建议从新型冷拌沥青研发、混合料级配设计优化、施工工艺完善等角度出发，提出增强沥青胶结料黏度和混合料密实度的措施，增强混合料抗水损害能力，提升冷拌冷铺沥青混合料的抗疲劳性能及耐久性能。

7. 结语

1) 在综合分析冷拌冷铺技术国内外研究现状的基础上，根据胶结料不同，分析了乳化型、溶剂型及

反应型三种冷拌冷铺沥青混合料的强度形成机理。

2) 论述了冷拌冷铺沥青路面施工工艺, 从混合料拌和、摊铺、碾压等方面提出了冷拌冷铺沥青路面施工要点。

3) 分析了冷拌冷铺沥青混合料的社会、环境效益, 从混合料配合比设计、性能评价、耐久性提升等角度提出了进一步研究建议。

参考文献

- [1] 杜鹃. 储存式冷铺沥青混合料的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2001.
- [2] 张幸杰. AH 冷补沥青混合料技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2011.
- [3] Guo, M., Tan, Y. and Zhou, S. (2014) Multiscale Test Research on Interfacial Adhesion Property of Cold Mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, **68**, 769-776. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.031>
- [4] Doyle, T.A., McNally, C. and Gibney, A. (2013) Developing Maturity Methods for the Assessment of Cold-Mix Bituminous Materials. *Construction and Building Materials*, **38**, 524-529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.008>
- [5] 李思童, 黄玉颖, 蔡硕果. AC-10 冷拌冷铺乳化沥青混合料路用性能评价[J]. 石油沥青, 2018, 32(3): 12-16.
- [6] Diaz, L.G. (2016) Creep Performance Evaluation of Cold Mix Asphalt Patching Mixes. *International Journal of Pavement Research and Technology*, **9**, 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.04.002>
- [7] 费杰. 冷拌冷铺沥青混合料在路面修补中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2009.
- [8] Cho, Y.S. and Lin, F.B. (2000) Integrity Analysis of Single and Multi-Layer Thin Cement Mortar Slab Structures Using the Spectral Analysis of Surface wave NDT Method. *Construction and Building Materials*, **14**, 387-395. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00040-4)
- [9] 胡芑, 阮玉非, 张伟. 反应型冷拌沥青混合料的制备与强度性能研究[J]. 施工技术, 2016(S1): 373-375.
- [10] 刘建芳, 李九苏, 杨帆, 石扬, 王争愿. 反应型冷拌沥青混合料制备及性能研究[J]. 交通科学与工程, 2019, 35(2): 16-21.
- [11] 吕伟民. 乳化沥青冷再生技术关键与应用前景[J]. 石油沥青, 2009, 23(3): 29-34.
- [12] 张海涛. 溶剂型常温沥青混合料室外试验研究[J]. 公路, 2001, 3(3): 74-76.
- [13] 李凯. AC-13 型冷拌冷铺乳化沥青混合料配合比设计方法研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2020.
- [14] 李思童. 冷拌冷铺沥青混合料长期路用性能研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
- [15] 李峰, 黄颂昌, 徐剑, 秦永春. 冷补沥青混合料性能评价指标体系[J]. 公路, 2010(11): 156-162.
- [16] 刘大梁, 刘小燕, 罗立武, 赵锋. 储存式冷铺沥青混合料的研制和应用[J]. 中外公路, 2005, 25(2): 118-120.
- [17] 赵志超. 新型冷拌冷铺乳化沥青混合料研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2015.
- [18] 范鹏, 安丰伟, 徐金玉, 刘林林. 冷拌沥青混合料配合比设计及性能研究[J]. 现代交通技术, 2017, 14(1): 8-11.
- [19] 金晓晴. LB(冷拌冷铺)沥青及其路面修补技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2005.
- [20] 周玉利, 王亚玲, 颜祖兴, 张幸杰, 漆亮. AH 型冷补沥青混合料技术性能的试验研究[J]. 中外公路, 2011, 31(2): 240-242.
- [21] 姚海臣. 沥青路面混合料冷补技术机理研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [22] 刘晓文. 冷补沥青混合料性能评价方法研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(18): 5593-5595.