

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqfh.241062

环境温度对沥青混合料性能影响的研究进展

陈丽¹, 刘璐²

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610000; 2. 四川济通工程试验检测有限公司, 四川 成都 610000)

摘要: 作为路面的主要结构形式之一, 沥青路面被广泛应用于国内外的道路建设中。由于材料组成的影响, 沥青混合料对环境温度较为敏感。在沥青路面服役环境中, 环境温度变化会导致沥青混合料性能的劣化, 较早的出现各种病害, 影响其耐久性, 造成服役寿命下降。基于此, 介绍常用的蠕变、剪切、车辙试验等沥青混合料高温性能测试方法, 半圆弯曲试验、三点弯曲试验等低温性能测试方法, 间接拉伸试验、四点弯曲试验等疲劳性能测试方法; 重点分析了不同环境温度下沥青混合料高温、低温及疲劳性能的劣化特征及规律, 总结了沥青混合料高温、低温及疲劳性能的最新研究进展; 最后展望未来的发展方向, 以期对沥青混合料的设计和应用提供技术支撑。

关键词: 道路工程; 沥青混合料; 温度

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)03-0267-04

Research on Influence of Ambient Temperature on Properties of Asphalt Mixtures

CHEN Li¹, LIU Luo²

(1. Sichuan Transportation Survey & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610000, China; 2. Sichuan Jitong Engineering Test & Inspection Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: As one of the main structural forms of pavement, the asphalt pavement is widely used in the road construction at home and abroad. Due to the influence of material composition, the asphalt mixture is more sensitive to the ambient temperature. In the service environment of asphalt pavement, the change of ambient temperature will lead to the deterioration of the asphalt mixture properties and various diseases will occur early, which will affect its durability and cause the reduction of its service life. Based on this, the test methods of high temperature performance of asphalt mixture such as creep, shear and rutting test, the low-temperature performance testing methods of half-circle bending test and three-point bending test, and the fatigue performance testing methods of indirect tensile test and four-point bending test are introduced. The degradation characteristics and rules of high temperature, low temperature and fatigue properties of asphalt mixture under different ambient temperatures are analyzed. The latest research progress on high temperature, low temperature and fatigue properties of asphalt mixture is summarized. Finally, the future development orientation is prospected in order to provide the support for the design and application of asphalt mixture.

Keywords: road engineering; asphalt mixture; temperature

0 引言

随着经济的快速发展, 沥青路面被广泛应用于国内外道路建设中^[1]。在服役期内, 沥青路面受到车辆荷载及环境温度等因素的耦合作用, 对其性能提出了更高的要求。由于组成材料的影响, 沥青混合料对温度较为敏感; 随着温度的升高, 沥青混合料从固态转变为液态, 流动性提高, 但抗变形能力下

降, 易出现车辙等病害。随着温度的降低, 沥青混合料逐渐转变为固态, 韧性降低, 易发生脆断等病害。美国 SHRP 计划较早地考虑了温度对沥青性能的影响, 并依据使用温度对沥青进行 PG 分级, 以较好地匹配实际服役环境, 最大限度地发挥沥青性能^[2]。在此基础上, 国内外研究人员进行了大量研究, 以进一步分析温度对沥青混合料性能的影响。例如, 李峰等^[3]研究了 6 种温度下沥青混合料高温性能的变化规律, 发现乳化沥青性能受高温环境条件的影响较大。Peng 等^[4]利用单轴贯入测试和离散元模拟分析了不同温度下沥青混合料高温稳定性的劣化特

收稿日期: 2024-10-31

作者简介: 陈丽(1986—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事公路建设与养护工作。

征,发现当温度从30℃提高到60℃时,沥青混合料的贯入强度降低了约50%,表明温度升高会给沥青混合料的高温性能带来不利影响。

一般来说,温度的剧烈变化会对沥青路面的耐久性造成负面影响,例如夏季温度较高,沥青混合料易产生车辙等病害,冬季温度极低,易出现各种裂缝,对沥青混合料性能是非常严峻的考验。因此,本文介绍了常用的沥青混合料性能测试方法,分析了温度对沥青混合料性能的影响规律,以期对沥青混合料的设计和应用提供支撑。

1 温度对沥青混合料高温稳定性的影响

车辙是沥青混合料在荷载作用下产生的永久变形,对行车安全有重要影响。随着轴载的不断上升加之服役环境的恶化,现有沥青混合料性能很难满足服役要求。为明确温度对沥青混合料高温稳定性的影响,国内外学者在此方面开展了大量研究,具体如下表1所列。

刘正伟等^[5]借助灰熵方法研究了不同因素对沥青混合料高温稳定性的影响,发现试验温度与沥青混合料高温稳定性负相关。在60℃和70℃条件下,张鹏等^[6]借助动稳定度来评价抗车辙剂对沥青混合料高温稳定性的提升效果。结果表明:随着温度的增加,沥青混合料的动稳定度降低。借助动态蠕变试验,Alireza Azarhoosh等^[7]发现当温度从50℃提高到60℃时,沥青混合料的永久变形增加了1倍。Li等^[8]调查了不同温度(60℃及70℃)对沥青混合料抗压强度的影响,发现当温度提高10℃时,不同沥青混合料的抗压强度分别下降40%左右。付建村等^[9]则分析了不同温度下(60、65、70、75℃)沥青混合料高温性能的劣化过程。结果表明:所有沥青混合料的高稳定性都随温度的升高而下降,且温度越高,下降幅度越大。张亚娟^[10]借助汉堡车辙试验发现:温度越高越容易区分沥青混合料的高温性能。利用单轴压缩试验,Huang等^[11]发现60℃时AC-13C沥青混合料的抗压强度是40℃时的2倍。苑经纬^[12]发现当温度大于20℃时,沥青混合料的动态模量下降趋势减小。由上可知,温度对沥青混合料高温性能有显著影响,且温度越高负面影响越大。

2 温度对沥青混合料低温性能的影响

表2总结了沥青混合料相关低温性能测试方法。沥青混合料在低温下有变脆的趋势,因而相关文献

表1 沥青混合料高温性能相关测试

| 作者 | 试验方法 | 设置温度/℃ | 结论 |
|----------------------------------|---------|----------------|---|
| 张鹏等 ^[6] | 车辙试验 | 60、70 | 随着温度的提高,高温性能明显降低 |
| 刘正伟等 ^[5] | 车辙试验 | 59.5、60.0、60.5 | 试验温度与高温性能负相关 |
| 付建村等 ^[9] | 车辙试验 | 60、65、70、75、 | 所有沥青混合料的高温稳定性都随温度的升高而下降,且温度越高,下降幅度越大 |
| 张亚娟 ^[10] | 汉堡车辙试验 | 50、55、60 | 温度越高更容易区分沥青混合料的高温性能 |
| Li等 ^[8] | 无侧限压缩试验 | 50、60、70 | 当温度升高10℃时,不同沥青混合料的无侧限抗压强度分别下降40% |
| Huang等 ^[11] | 单轴压缩试验 | 40、45、50、55、60 | 60℃时AC-13C沥青混合料的抗压强度是40℃时的2倍 |
| 苑经纬 ^[12] | 动态模量试验 | -10、5、20、35、50 | 当温度大于20℃时,沥青混合料的动态模量下降趋势减小 |
| Peng等 ^[2] | 单轴贯入试验 | 30、60 | 当温度从30℃增加到60℃时,沥青混合料的贯入强度降低超过了50%,且模拟与试验结果相一致 |
| Alireza Azarhoosh ^[5] | 动态蠕变试验 | 50、60 | 温度从50℃增加到60℃时,沥青混合料的永久变形增加了1倍 |

多集中于表征负温下的相关性能。Dawid Rys等^[13]发现随着温度的降低,沥青混合料刚度显著增加。Amir Hossein Sheikhmotevali等^[14]借助间接拉伸试验发现,0℃时的沥青混合料的拉伸强度显著高于-10℃时,说明沥青混合料的低温抗裂性随着温度的降低而降低。张磊等^[15]进一步扩大温度区间,发现当温度从0℃降低到-12℃时,沥青混合料断裂能降低了约50%。冉武平等^[16]进一步扩大温度区间,发现当温度从-10℃降低到-15℃时,沥青混合料弯拉强度降低了3%。在此基础上,Li等^[17]在-10℃到-30℃范围内选取了3个代表温度即-10、-20、-30℃,来分析北方寒冷地区冬季沥青混合料的低温性能。结果表明:随着温度的降低,在相同温度下(10℃),沥青混合料性能劣化速率增加。除了研究降温对沥青混合料低温性能的劣化程度之外,部分学者也从提高温度改善沥青混合料低温性能这一角度入手。例如,刘占良等^[18]借助低温弯曲试验来分析温度对沥青混合料低温性能的影响,发现:当温度从-15℃提高到-5℃时,不同类型沥青混合料的最大弯拉应变增加幅度分别为17.4%、23.1%。上述关于温度对沥青混合料低温性能影响的研究均集中在负温区,

然而考虑到极端天气及昼夜温度差,沥青混合料实际服役温度情况可能是从正温区过渡到负温区。因此Wu等^[19]选取了3个典型温度,借助断裂韧性来评价不同温度下沥青混合料的低温性能,发现:当温度从-10℃提高至0、10℃时,沥青混合料断裂韧性显著增加。在此基础上,曹海波等^[20]分析了不同温度下(-20、-10、0、10、20℃)对沥青混合料性能劣化规律,发现相比于负温区,10~20℃区间内沥青混合料的最大弯拉应变下降速率最快。

表2 沥青混合料低温性能评价方法

| 作者 | 试验方法 | 设置温度/℃ | 结论 |
|---------------------|--------|-----------------|--|
| 张磊 ^[15] | 半圆弯曲试验 | 0、-12 | 当温度从0℃降低到-12℃时,沥青混合料断裂能降低了约50% |
| Wu ^[19] | 三点弯曲试验 | -10、0、10、10 | 当温度从-10℃增加至0、10℃,沥青混合料断裂韧性值显著增加 |
| 刘占良 ^[18] | 低温弯曲试验 | -15~5 | 当温度从-15℃增加到-5℃时,不同类型沥青混合料的最大弯拉应变增幅分别为17.4%、23.1% |
| 曹海波 ^[20] | 低温弯曲试验 | -20、-10、0、10、20 | 劣化速率逐渐减小,其中10~20℃区间下降速率最快 |

3 温度对沥青混合料疲劳特性的影响

控制应力与控制应变是测试混合料疲劳性能的常用方法,如表3所列。在控制应变模式下,王凯^[21]发现:在10~20℃范围内,随着温度降低,沥青混合料疲劳性能降低。在控制应力模式下,Guo等^[22]发现随着温度的提高,沥青混合料小梁试件的疲劳寿命降低。当温度不变时,疲劳寿命与应力比负相关。在此基础上,Al-Khateeb^[23]利用间接拉伸试验,发现当温度从20℃提高到30℃时,疲劳寿命逐渐降低。具体来说,当温度从20℃提高到30℃时,不同应力水平下沥青混合料的疲劳寿命下降了约95%~99%,这与王凯等人的结果相矛盾。不仅如此,即使在同一种模式下,温度对疲劳的影响也可能不一致。例如,在Cheng等^[24]的研究中,借助四点弯曲和间接拉伸试验得到的结果表明温度对混合料的疲劳寿命影响相反。

4 结语

在服役期内,沥青混合料对环境温度较为敏感。温度与沥青混合料高温性能负相关,且温度对高温性能的影响程度受级配类型、沥青材料类型的影响;

表3 沥青混合料疲劳性能评价方法

| 作者 | 模式 | 试验方法 | 设置温度/℃ | 结论 |
|-----------------------------|------|-------------|-------------------|-------------------------------------|
| 王凯等 ^[21] | 控制应变 | 四点弯曲试验 | 10~20 | 随着温度降低,沥青混合料疲劳性能降低 |
| Guo等 ^[22] | 控制应力 | 三点弯曲试验 | -10、-5、0、5、15 | 在相同温度下,随着应力比的增大,疲劳寿命会降低 |
| Al-Khateeb等 ^[23] | 控制应力 | 间接拉伸试验 | 20~30 | 20~30℃,不同应力水平下沥青混合料的疲劳寿命下降了约95%~99% |
| Cheng等 ^[24] | 控制应力 | 四点弯曲和间接拉伸试验 | 15、20、25、30、35、40 | 四点弯曲和间接拉伸试验得到的结果表明温度对混合料的疲劳寿命影响相反 |

通过调整级配可在一定程度上提升沥青材料的高温性能。就低温性能而言,相比于负温区,低温区的沥青混合料损伤速率更快。就疲劳性能而言,主要有应力控制与应变控制2种方式,温度对疲劳性能的影响与加载模式及试验方法有关。未来,在实际应用中,设计人员应当关注应用地区的温度情况,并与沥青类型、级配类型、路面类型相结合,因地制宜,在充分发挥材料性能的基础上进行路面设计。

参考文献:

- [1] 刘金召. Sup-13 沥青混合料在省级公路养护中的应用[J]. 四川建材, 2024, 50(8): 173-174, 177.
- [2] 沈金安. 美国 SHRP 沥青新标准简介[J]. 石油沥青, 1993(2): 64-67.
- [3] 李锋. 温度差异对沥青混合料路用性能影响研究[J]. 安徽建筑, 2023, 30(1): 176-178.
- [4] Peng Y, Xia S, Xu Y, et al. Mechanical response of asphalt surfaces under moving traffic loads using 3D discrete element method[J]. Journal of Transportation Engineering Part B-Pavements, 2022, 148(2), 04022006.
- [5] 刘正伟, 郭瑞, 李萍, 等. 沥青混合料抗车辙性能的灰色理论分析[J]. 公路, 2020, 65(3): 36-42.
- [6] 张鹏, 黄建平, 尹乃玉. PCF 抗车辙剂改性沥青混合料性能评价与蠕变特性研究[J]. 公路, 2020, 65(1): 184-190.
- [7] Azarhoosh A, Koohmishi M. Investigation of the rutting potential of asphalt binder and mixture modified by styrene ethylene propylene styrene nanocomposite[J]. Construction and Building Materials, 2020 (255): 119363.
- [8] Li H, Li W, Sheng Y, et al. Influence of compound action of rubber powder and SBS on high-temperature performance of asphalt pavement surface[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2021, 33(6): 04021126.
- [9] 付建村, 杨飞, 黄军瑞, 等. RARP 聚烯烃添加剂对沥青混合料路用性能及和易性影响研究[J]. 化工新型材料, 2022, 50(增刊1): 527-534.
- [10] 张亚娟. 沥青混合料汉堡车辙试验温度的探讨[J]. 山西交通科

- 技,2019(3):6-8,27.
- [11] Huang J N, Li R D, Yin S, *et al.* Experimental study on the high-temperature shear performance of asphalt mixtures[J]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021(20):452-467.
- [12] 苑经纬. 公路路面沥青混合料动态模量试验研究[J]. *交通世界*, 2024(27):38-40.
- [13] Rys D, Jaczewski M, Pszczola M, *et al.* Effect of bitumen characteristics obtained according to EN and Superpave specifications on asphalt mixture performance in low-temperature laboratory tests[J]. *Construction and Building Materials*, 2020(231):117156.
- [14] Sheikhmotevali, A H, Ameri M, 2014. Application of bitumen rheological parameters to predict thermal cracking behavior of polymer modified asphalt mixture[J]. *Construction and Building Materials* 66, 259-267.
- [15] 张磊,李凌云,薛海方,等. 基于不同温度SCB试验的沥青混合料低温抗裂性能评价[J]. *公路交通科技*, 2024, 41(2):39-47.
- [16] 冉武平,凌建明,谷志峰. 环氧沥青混合料低温性能及评价指标[J]. *西南交通大学学报*, 2017, 52(5):935-942.
- [17] Li Z, Shen A, Wang H, *et al.* Effect of basalt fiber on the low-temperature performance of an asphalt mixture in a heavily frozen area [J]. *Construction and Building Materials*, 2020(253):119080.
- [18] 刘占良,张琛,许金良. 高寒地区成品橡胶沥青混合料的低温性能及评价方法[J]. *长安大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(6):31-38.
- [19] Wu J, Hong R, Gu C, *et al.* Influence of fiber type on low-temperature fracture performance of Presawed asphalt mixture beams[J]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 5087395.
- [20] 曹海波,李智,丁彪. 高寒大温差条件下沥青混合料低温性能研究[J]. *公路*, 2021, 66(7):234-239.
- [21] 王凯. 基于损伤理论的沥青混合料抗疲劳性能试验[J]. *材料科学与工程学报*, 2024, 42(2):305-310.
- [22] Guo X, Sun M, Dai W, *et al.* Research on the fatigue whole life of asphalt mixture based on the nonlinear damage theory[J]. *Construction and Building Materials*, 2017(156):546-554.
- [23] Al-Khateeb G, Ghuzlan K. The combined effect of loading frequency, temperature, and stress level on the fatigue life of asphalt paving mixtures using the IDT test configuration[J]. *International Journal of Fatigue*, 2014(59):254-261.
- [24] Cheng H, Liu J, Sun L, *et al.* Fatigue behaviours of asphalt mixture at different temperatures in four-point bending and indirect tensile fatigue tests[J]. *Construction and Building Materials, B-Pavements*, 2022, 148(2):04022006.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

