

常用沥青混合料拌和温度对路面性能的影响分析

宗恩来

安徽江鹏建设工程有限公司, 安徽 芜湖 242400

摘要: 沥青混合料拌和温度是决定沥青路面工程质量的关键工艺参数之一。拌和温度直接影响沥青胶结料的黏度、矿料的干燥程度以及沥青在矿料表面的包裹均匀性,进而对混合料的体积特性和路面的最终性能产生深远影响。本研究旨在系统分析常用沥青混合料在拌和过程中,温度偏差对路面高温稳定性、水稳定性和低温抗裂性能的影响机制。论文首先阐述了沥青最佳拌和温度的确定依据和温度偏差产生的常见原因,随后深入探讨了温度变化对混合料空隙率、沥青有效用量等体积特性的影响。研究表明,高温拌和可能导致沥青老化加速和高温稳定性下降,而低温拌和则易造成混合料离析、压实度不足,最终削弱路面的水稳定性和低温抗裂性。为此,本文提出了优化骨料加热和沥青加热的温控策略,以及针对不同混合料类型的精细化控制措施,以期为提升沥青路面施工质量和耐久性提供理论支持和实践指导。

关键词: 沥青混合料; 拌和温度; 路面性能; 高温稳定; 水稳定; 低温抗裂; 温控

引言

沥青路面因其行车舒适性、维修便利性和优越的耐久性,在全球道路建设中占据主导地位。沥青混合料的质量是决定路面使用性能和使用寿命的核心要素,而混合料的制备过程,特别是拌和温度的精确控制,对最终产品质量具有至关重要的作用。拌和温度直接影响沥青胶结料的黏度状态,进而控制沥青对矿料的润湿性、包裹程度以及混合料的和易性。只有将拌和温度控制在合理的范围内,才能确保矿料充分加热、表面干燥,沥青能够均匀裹覆在矿料表面形成坚实的结构体,从而保证混合料具备理想的体积特性和路用性能。然而,在实际工程施工中,由于拌和站设备性能、骨料含水率的波动、环境气温的变化等多种因素的影响,沥青混合料的实际拌和温度难以始终保持在最佳设计值。温度过高会加速沥青热氧化老化,降低其黏结性能和使用寿命;温度过低则会使混合料的和易性变差,导致矿料包裹不均,并严重影响现场的压实效果。这些温度偏差最终都会导致路面出现早期损坏,例如严重的永久变形(车辙)、水损害和各种裂缝。因此,对常用沥青混合料在不同拌和温度下的性能变化规律进行系统而深入的分析,对于制定科学的施工温控标准,提高沥青路面的长期耐久性具有重要的工程意义和学术价值。本文将围绕拌和温度,从材料黏度、混合料体积特性和路用性能三个层面展开研究,并提出优化温控的对策。

1 沥青混合料拌和温度的确定与控制机理

1.1 最佳拌和温度的确定依据

沥青混合料的最佳拌和温度并非一个固定参数,而是依据所使用的沥青材料种类、牌号以及混合料级配类型通过试验确定的一个允许范围。确定最佳拌和温度的核心依据在于沥青的黏度特性。在拌和阶段,沥青需要具备适当的流动性,以确保在有限的拌和时间内能够充分润湿和均匀包裹矿料表面。根据我国公路工程相关规范,通常以沥青在不同温度下的运动黏度或旋转黏度作为确定拌和温度的依据。对于常用的基质沥青而言,其拌和温度被设定为沥青黏度达到某一特定值时所对应的温度。对于采用聚合物改性的沥青混合料,由于改性剂的加入使得沥青的黏温曲线发生变化,且通常具有较高的黏度,因此其最佳拌和温度会相应提高,以保证混合料的和易性和施工可行性。

1.2 温度对沥青材料黏度变化的影响

温度是影响沥青材料黏度最关键的环境因素。沥青作为一种典型的热塑性材料,其黏度对温度变化极其敏感,表现为随着温度的升高而显著降低,随着温度的降低而迅速增大。在混合料的拌和过程中,沥青黏度的变化直接影响到其对矿料的包裹效率。如果拌和温度低于最佳值,沥青黏度过高,流动性不足,则沥青在拌和叶片的剪切作用下难以快速扩散并充分覆盖矿料表面,造成矿料包裹不均。相反,如果拌和温度过高,沥青黏度过低,虽然流动性非常好,但可能

导致沥青膜过度稀释变薄,且更容易在拌和和运输过程中沿矿料表面流淌流失,造成沥青的非均匀分布。因此,精确控制温度是确保沥青黏度处于既能充分包裹矿料,又不至于过度流失的理想平衡状态的关键。

1.3 拌和温度偏差的产生原因分析

沥青混合料在实际工程施工中拌和温度出现偏离设计值是常见现象,其原因具有复杂性和多变性。一个主要因素是骨料含水率的波动。骨料在进入拌和机之前需要经过烘干和加热,如果骨料含水率突然升高或超出预定范围,则会消耗大量的热能用于蒸发水分,直接导致骨料实际温度低于设定值,进而使混合料整体温度偏低。其次,拌和站自身的计量系统或温度传感器的误差也是常见原因。如果温度传感器老化或未能定期校准,所显示的温度可能与混合料的实际温度存在显著差异。此外,设备运行状态和环境因素也影响温度控制,例如拌和机燃烧器的热量供应不稳定、拌和站的热量损失较大,或者在冬季施工时环境温度过低,都会使混合料温度难以准确控制。

2 拌和温度对沥青混合料体积特性的影响

2.1 拌和温度对混合料空隙率的影响分析

拌和温度对沥青混合料压实后的空隙率具有决定性的影响。空隙率是评价混合料密实度、水稳定性和耐久性的核心体积指标。如果拌和温度偏低,混合料的温度不足,沥青黏度高,会导致混合料的和易性变差,混合料“发硬”。在运输、摊铺以及随后的压实阶段,由于混合料内部的黏滞阻力大,使得压实功难以有效发挥,最终难以达到设计所需的密实度,导致路面空隙率增大。空隙率过大则会形成水分和空气进入的通道,显著降低路面的耐久性。即使拌和温度过高,虽然混合料易于压实,但由于沥青老化和流失,也会影响混合料的内聚力,可能导致空隙率控制困难或后期空隙率增大。

2.2 拌和温度对沥青有效用量的影响

沥青混合料中的沥青有效用量是指最终能够均匀包裹在矿料表面、形成有效沥青膜并参与混合料结构稳定性的那部分沥青。拌和温度的偏差会通过物理和化学变化影响沥青有效用量。当拌和温度过高时,长时间的高温作用会加速沥青发生热氧化反应而老化变硬,沥青的轻质组分会挥发,这不仅降低了沥青的柔韧性,也减少了在结构中发挥黏结作用的活性沥青组分比例。这种热老化本质上降低了沥青的有效

用量。此外,高温下沥青黏度极低,流动性过好,容易在矿料颗粒间流动和流失,或渗入多孔矿料内部,使得包裹在矿料表面的沥青膜厚度变薄,进一步减少了用于抵抗水损害和疲劳的有效沥青用量。

2.3 矿料包裹均匀性与拌和温度的关系

矿料包裹均匀性是确保混合料内部结构均匀、防止早期剥落破坏的关键因素。包裹均匀性与拌和温度直接相关。当拌和温度不足时,沥青黏度过高,流动性差,润湿能力不足,沥青胶结料无法在规定的拌和时间内均匀、充分地覆盖所有矿料颗粒。这会导致混合料中出现未被或部分被沥青包裹的矿料,即所谓的“白料”或“花白料”现象。这些未被有效包裹的区域在路面投入使用后,极易受到水分的侵入,尤其是在行车荷载产生的动水压力作用下,水分会加速沥青膜与矿料表面的剥离,形成剥落破坏的源头。因此,只有将拌和温度精确控制在最佳范围,才能确保沥青黏度处于最佳状态,从而在最短时间内实现矿料的均匀包裹,提高混合料的整体抗水损害能力。

3 拌和温度对路面主要性能的影响机制

3.1 高温拌和对混合料高温稳定性的影响

高温稳定性是衡量沥青路面抵抗夏季高温和重载交通作用下产生车辙等永久变形的能力。高温拌和会通过加速沥青热老化来削弱混合料的高温稳定性。过高的温度会使沥青的硬度(低温劲度)增加,虽然短期内可能提高混合料的刚度,但这种过度老化使得沥青膜的黏弹性特性下降,延展性变差,在车辆反复荷载作用下更容易产生疲劳损伤,加速结构破坏。更重要的是,高温拌和可能导致沥青流失、有效用量减少,从而降低了混合料的内聚力和抗剪强度,使其在高温高应力状态下的抵抗塑性变形的能力下降,最终表现为路面车辙的加速形成。

3.2 低温拌和对混合料水稳定性的影响

水稳定性是指沥青混合料抵抗水分侵入和作用的能力,是路面耐久性的重要指标。低温拌和是造成混合料水稳定性差的重要原因。低温拌和导致沥青黏度过高,造成矿料表面包裹不均匀、不完整,形成了大量未被或部分被沥青膜包裹的矿料表面。这些包裹缺陷在路面服役期间,为水分提供了渗入混合料内部的通道。水分一旦进入混合料内部,在水分和动水压力的共同作用下,会破坏沥青膜与矿料表面的黏附力,导致沥青剥落。由于低温拌和导致的包裹缺陷是混合料

内部的结构性弱点, 这些弱点会迅速演化为路面的早期松散、坑洞等水损害形式。

3.3 拌和温度对混合料低温抗裂性能的影响

低温抗裂性能是指路面在冬季低温环境下抵抗温度收缩应力产生裂缝的能力。拌和温度的偏差对低温抗裂性能均有不利影响, 但机理不同。低温拌和造成混合料和易性差, 导致现场压实度不足、空隙率增大, 混合料结构松散。虽然松散的结构在初期可能表现出一定的柔性, 但在低温收缩应力作用下, 由于内部空隙多、应力集中点多, 混合料更容易形成并扩展贯穿性裂缝。高温拌和则导致沥青过度老化变硬变脆, 其低温劲度模量急剧增加, 而延展性大幅下降。当环境温度降低时, 路面产生的温度收缩应力增大, 硬脆的沥青胶结料无法通过自身的松弛和塑性变形来释放应力, 从而引发发热收缩开裂。因此, 只有将拌和温度精确控制在最佳范围, 才能确保沥青保持良好的低温延展性, 保障混合料具备足够的低温抗裂能力。

4 沥青混合料拌和温度的优化控制措施

4.1 骨料加热与沥青加热的精确温控

要实现沥青混合料的拌和温度精确控制, 必须从源头对组成材料的加热温度进行精细化管理。对于骨料加热, 应采用高精度、快速响应的红外测温装置对烘干后的骨料温度进行实时监测。同时, 应建立骨料含水率与所需加热温度的动态模型, 根据骨料含水率的实际波动, 实时调整燃烧器功率, 确保骨料加热温度的稳定性和准确性。对于沥青加热, 应采用高精度温控系统, 对沥青罐进行分层或循环加热管理, 并对输送管道进行有效保温, 防止沥青在输送过程中温度衰减。应定期对所有的测温系统进行校准, 确保温度示数与实际温度的一致性。

4.2 拌和站温度控制系统的精度提升

提升拌和站温度控制系统的集成化和智能化水平是保障拌和精度的关键措施。应采用先进的闭环控制系统, 通过可编程逻辑控制器对骨料温度、沥青温度、环境温度、含水率等多个参数进行实时采集和联动调节。通过计算机控制系统, 将设定温度与实际温度进行对比, 自动修正加热功率和拌和时间。同时, 为了提高检测精度和可靠性, 可以引入红外热成像技术对出料口的成品混合料进行非接触式温度检测, 并将实测温度与设定的容许范围进行比对。对于温度偏离容许范围的混合料, 系统应立即发出警报, 并建议进行废弃或单独处理, 实现对产品质量的即时监控和溯源管理。

4.3 针对不同类型混合料的温控策略

对于不同类型的沥青混合料, 必须制定差异化的温控策略。对于含有聚合物改性沥青的混合料, 由于其黏温敏感性高, 且具有较窄的最佳施工温度区间, 应采取比基质沥青混合料更严格的温度上下限控制, 通常允许的波动范围更小。对于温拌沥青混合料, 由于其添加了温拌剂以降低施工温度和黏度, 其温控策略应着重于确保拌和温度能够充分激活温拌剂的作用, 并且要严格控制温度的上限, 以防止温拌剂因高温而分解失效, 同时避免沥青发生过度老化。对于含有再生沥青(RAP)的混合料, 考虑到RAP中沥青的老化程度和旧沥青的相容性, 应根据再生剂的种类和掺量, 科学确定适当提高的拌和温度, 以促进旧沥青的活化和新沥青的均匀融合。

5 结语

沥青混合料拌和温度是影响沥青路面最终性能的源头性控制因素。精确控制拌和温度是确保沥青黏度适宜、矿料包裹均匀以及混合料体积特性达标的核心。本研究通过系统分析拌和温度偏差对路面主要性能的影响机制可知, 温度偏离最佳范围均会以不同的方式损害路面的耐久性。高温拌和导致沥青老化, 削弱高温稳定性; 低温拌和则造成压实不足和包裹不均, 严重影响水稳定性和低温抗裂性能。因此, 在未来的工程实践中, 必须高度重视拌和温度的精确控制。未来的技术发展方向应集中于开发基于物联网、大数据和人工智能的智能拌和温控系统, 实现对骨料含水率、环境温度与加热功率的动态闭环控制, 并研究适用于各种新型沥青材料的精细化温控模型, 为我国高等级沥青路面的高质量建设和持久耐久服役提供可靠的技术保障。

参考文献:

- [1] 刘佳, 李长城. 沥青混合料拌和温度对路面性能影响的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2021, 42(5): 98-105.
- [2] 周军, 王强. 常用沥青混合料最佳拌和与压实温度的确定方法探讨[J]. 公路交通科技, 2020, 37(1): 112-117.
- [3] 王小明. 沥青混合料拌和温度对改性沥青性能及混合料体积特性的影响分析[D]. 东南大学, 2019.
- [4] 韩天明. 高温和低温拌和对沥青混合料水稳定性和疲劳性能的损伤机制研究[J]. 中国公路学报, 2022, 35(6): 120-128.
- [5] 赵宇, 高远. 基于黏度特性的沥青混合料最佳拌和温度控制策略研究[J]. 交通运输工程学报, 2018, 18(4): 102-109.