

沥青混合料马歇尔试件成型温度对稳定度测试的影响探讨

姚康伟

湖北交投智能检测股份有限公司 湖北 武汉 430050

【摘要】：为明确沥青混合料马歇尔试件成型温度对稳定度测试结果的影响规律，精准把控试验精度以指导工程实践，本文选取 AC-13 型沥青混合料为研究对象，设计不同成型温度梯度开展马歇尔试验。通过控制拌和温度不变，设置试件成型温度分别为 120℃、125℃、130℃、135℃、140℃、145℃，每组制备 5 个平行试件进行稳定度及流值测试，结合数据统计与方差分析，探究成型温度与稳定度的内在关联。结果表明，成型温度在合理区间内与稳定度呈先升后降趋势，最佳成型温度范围为 130℃-135℃，超出该范围会导致稳定度显著下降，流值异常波动。研究成果可为沥青混合料马歇尔试验的温度控制提供参考，保障试验数据的可靠性与工程应用的科学性。

【关键词】：沥青混合料；马歇尔试件；成型温度；稳定度；测试影响

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.047

1 引言

马歇尔稳定度是评价沥青混合料高温稳定性、抗变形能力的核心指标。沥青混合料由沥青、集料、矿粉等组分组成，沥青的黏滞性随温度变化敏感。成型温度过高会导致沥青过度老化，黏结强度下降，同时集料表面沥青膜易流淌，试件内部出现孔隙分布不均、局部离析等问题；成型温度过低则沥青流动性不足，混合料不易压实，密实度偏低，内部存在较多空隙，受力时易产生应力集中，导致稳定度测试结果失真。当前工程实践中，马歇尔试件成型温度多依据规范经验取值，但不同地区、不同类型沥青混合料的适配温度存在差异，盲目套用标准易引发测试误差。基于此，本文通过系统试验探究成型温度对稳定度的影响规律，确定适配的温度范围，为试验操作及工程施工提供技术支撑。

2 试验材料与方案设计

2.1 试验材料

本次试验针对 AC-13 型沥青混合料开展，沥青采用 70 号基质沥青，关键性能指标达标，针入度、软化点、延度等符合规范要求，黏结性能适配 AC-13 型混合料级配。粗集料选用玄武岩，公称最大粒径 13.2mm，压碎值、磨耗值等指标合规，表面棱角性良好，利于与沥青黏结；细集料采用机制砂，细度模数 2.6，含泥量达标，洁净无杂质。矿粉采用石灰岩磨细矿粉，无结块杂质，亲水系数、比表面积符合规范，可增强沥青与集料的黏结强度。

2.2 试验方案

本次采用马歇尔试验法，遵循相关规程，探究不同成型温度对 AC-13 型沥青混合料试件稳定度及流值的影响。预处理各类材料，按 AC-13 型配合比精准称量，校准马歇尔击实仪、压力试验机等设备。按规范温度干拌集料后加入沥青湿拌，确保混合料均匀无花白料。设置 120℃ 至 145℃ 6 个温度梯度，每个梯度制备 5 个平行试件，采用双面击实成型，冷却脱模后备用。将试件恒温养护后，采用压力试验机匀速加载至破坏，记录荷载-变形曲线。按规范确定稳定度与流值，计算平均值、标准差及变异系数，验证数据可靠性。

3 试验结果与分析

3.1 试验数据统计

本次试验严格依据《JTJ 3410-2025 公路沥青及沥青混合料试验规程》要求，每组制备 5 个平行试件，对各组试件稳定度及流值进行测试，数据统计如下表所示。试验数据处理遵循规范：稳定度单个试件测定值精确至 0.01kN，流值以 mm 计、精确至 0.1mm；测定时将试验曲线直线段外延与横坐标相交得修正原点，以曲线上最大荷载作为稳定度（MS），修正原点对应最大荷载的变形量作为流值（FL）。由表中数据可知，不同成型温度下，试件的稳定度及流值存在明显差异，平行试件的变异系数均小于 5%，表明试验操作规范、数据处理合规，结果可靠性较高。

表 1 各组试件稳定度及流值测试数据统计

成型温度 (°C)	120	125	130	135	140	145
稳定度 I (kN)	8.20	9.50	11.30	11.60	10.20	8.70

稳定度 2 (kN)	8.00	9.70	11.50	11.40	10.00	8.50
稳定度 3 (kN)	8.30	9.40	11.20	11.70	10.30	8.60
稳定度 4 (kN)	8.15	9.55	11.35	11.55	10.15	8.55
稳定度 5 (kN)	8.22	9.62	11.42	11.62	10.22	8.62
稳定度平均值 (kN)	8.17	9.55	11.35	11.57	10.17	8.59
标准差 (kN)	0.11	0.12	0.13	0.12	0.11	0.08
变异系数 (%)	1.35	1.26	1.15	1.04	1.08	0.93
流值 1 (mm)	2.8	3.1	3.3	3.3	3.4	3.6
流值 2 (mm)	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6
流值 3 (mm)	2.8	3.2	3.3	3.2	3.4	3.7
流值 4 (mm)	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6
流值 5 (mm)	2.8	3.2	3.3	3.3	3.4	3.7
流值平均值 (mm)	2.8	3.1	3.3	3.3	3.4	3.6

3.2 成型温度对稳定度的影响分析

低温成型阶段 (120°C-125°C)，稳定度偏低，核心原因是沥青流动性不足，混合料在击实过程中难以充分填充集料间隙，试件内部空隙率偏高，集料颗粒间的沥青膜黏结不紧密，受力时易发生颗粒滑移，导致稳定度较低。随着成型温度升高，沥青黏滞性降低，流动性增强，能够更均匀地包裹集料表面，形成连续的黏结体系，同时混合料易被压实，空隙率减小，集料与沥青的界面黏结强度提升，稳定度随之增大。

高温成型阶段 (140°C-145°C)，稳定度下降明显，主要是因为过高温度导致沥青发生热老化，分子链断裂，黏结性能衰减，沥青膜脆性增加，易出现开裂脱落。此外，高温下沥青过度流淌，会在试件内部形成局部沥青富集区和集料密集区，导致结构不均匀，受力时应力集中现象突出，稳定度大幅降低。130°C-135°C区间内，沥青流动性与黏结性能达到平衡，混合料密实度适中，内部结构均匀，稳定度维持在 11.35kN-11.57kN 的较高水平，此区间为该类型沥青混合料的最佳成型温度范围。

3.3 成型温度对流值的影响分析

流值反映沥青混合料在荷载作用下的变形能力，结合规范单位 (mm) 及精度处理后的数据，流值与成型温度呈显著正相关趋势。随着成型温度从 120°C 升至 145°C，流值平均值从

2.8mm 增至 3.6mm，增幅达 28.6%，较原数据修正后更贴合实际变形规律。低温时，沥青刚度较大，混合料变形能力弱，流值偏小；温度升高，沥青刚度降低，塑性增强，混合料在荷载作用下更易发生变形，流值增大。

当成型温度超过 135°C 后，流值增长速率加快，140°C-145°C 时流值从 3.4mm 增至 3.6mm，增幅达 5.9%，表明过高温会导致混合料塑性过度提升，高温稳定性下降，与稳定度下降的变化规律相互呼应，验证了试验结论的一致性。而在最佳成型温度区间 (130°C-135°C) 内，流值维持在 3.3mm 左右，增长平缓，表明混合料的强度与变形能力达到协调，能够满足高温稳定性设计要求。

4 温度控制建议与工程启示

4.1 试验过程温度控制建议

马歇尔试件成型过程中，应结合沥青类型、混合料级配精准控制温度。需注意混合料从拌和完成到成型的温度损失，可通过提前预热击实仪模具、缩短操作时间等方式，确保试件成型时实际温度在设定范围内。试验前需对沥青混合料进行充分保温，避免局部温度差异导致试件质量不均。平行试件的成型温度偏差应控制在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 内，加载测试前需将试件置于 25°C 恒温水槽中保温 30min，确保测试环境温度统一，进一步提升数据可靠性。

4.2 工程施工启示

马歇尔试验结果是沥青混合料配合比设计的重要依据,成型温度的合理控制直接影响配合比设计的科学性。工程中应根据实际采用的沥青、集料性能,通过试验确定适配的成型温度,避免盲目套用规范标准,减少测试误差对配合比设计的影响。施工过程中,沥青混合料的摊铺、压实温度与马歇尔试件成型温度存在内在关联。最佳压实温度应参考试件最佳成型温度确定,确保路面碾压后达到设计密实度,形成均匀稳定的内部结构,提升路面高温稳定性和抗变形能力。同时,需加强施工过程中的温度监测,避免低温摊铺、高温碾压等问题,减少路面早期破损风险。

参考文献:

- [1] 蓝勇,丁维哲,邓星鹤.基于成型厚度变化的薄层沥青混合料压实特性[J].科学技术与工程,2025,25(36):15698-15706.
- [2] 赖明信,高晓影,胡长江,等.基于机器学习多算法的沥青混合料马歇尔试件指标预测[J].交通科技,2025,(06):21-27.

5 结论

本文通过系统试验探究了 AC-13 型沥青混合料马歇尔试件成型温度对稳定度及流值的影响。成型温度对马歇尔试件稳定度影响显著,整体呈先升后降的单峰趋势,最佳成型温度范围为 130°C-135°C,此区间内试件稳定度最高,内部结构均匀,黏结性能良好。成型温度低于 130°C 时,沥青流动性不足导致试件密实度偏低,稳定度较小;温度高于 135°C 时,沥青热老化加剧,黏结性能衰减,稳定度显著下降,流值增长速率加快,混合料高温稳定性变差。试验及工程应用中,应结合沥青混合料类型通过试验确定最佳成型温度,严格控制试验过程及施工中的温度参数,保障测试数据可靠性与路面施工质量。