

道路用沥青性能检测指标与质量评价

冯夏文

安徽省路桥试验检测有限公司

【摘要】在道路工程中，沥青是非常重要的建筑材料，其性能对沥青路面的使用时间和行车安全具有重要作用。本文对道路用沥青的传统针入度体系指标与基于性能的Superpave（高性能沥青路面）体系指标进行系统化梳理，对检测指标物理意义、测试方法、对路面性能贡献率进行深度剖析。基于此，建立多层次质量评价体系，结合实际的工程案例数据，对不同等级沥青的检测结果进行比较和分析，并详细阐述了质量评价在工程实践中的应用流程与决策机制。本文旨在为沥青材料的选择、质量控制及路面设计提供科学、系统的参考依据。

【关键词】道路沥青；性能指标；质量评价；针入度体系；路用性能

Performance Testing Indicators and Quality Evaluation for Road Asphalt
Feng Xiawen

Anhui Provincial Road & Bridge Testing & Inspection Co., Ltd.

【Abstract】 As a critical construction material in road engineering, asphalt performance significantly impacts pavement durability and traffic safety. This study systematically compares traditional penetration test indices with performance-based Superpave (High-Performance Asphalt Pavement) system metrics, conducting in-depth analyses of test parameters' physical significance, measurement methodologies, and their contribution to pavement performance. A multi-tiered quality evaluation framework is established, incorporating real-world engineering case data to analyze test results across asphalt grades. The research details practical application processes and decision-making mechanisms for quality assessment in engineering practice. The findings aim to provide scientific and systematic references for asphalt material selection, quality control, and pavement design optimization.

【Key words】 Road asphalt; Performance indicators; Quality evaluation; Needle penetration system; Road performance

引言

经济的快速发展背景下，我国的交通基础设施建设规模和数量也呈出增加趋势，目前，我国的高速公路通车里程已经位居世界前列。交通荷载的特点表现在：重载、高速、渠化交通，基于此，要求沥青路面使用性能更高^[1]。路面结构中，沥青属于“粘合剂”，其品质高低，对路面性能影响较大，尤其是在路面病害上，包括：高温车辙、低温开裂、水损害及疲劳开裂等。目前我国传统的沥青性能评价和质量控制为针入度分级体系，然而，该体系利用经验性指标，和实际路用性能的关联性局限性较高^[2]。国内外对沥青性能检测的研究较为丰富，其中美国战略公路研究计划（SHRP）提出的Superpave沥青结合料规范，引入了基于性能的指标，包括：动态剪切流变仪（DSR）测定的车辙因子、弯曲梁流变仪（BBR）测定的蠕变劲度等，构建了性能指标体系^[3]。近年来，我国在借鉴国际先进经验的基础上，颁布了《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）及《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20），逐步形成了针入度分级与性能分级并重的检测与评价体系^[4]。

1 沥青性能检测指标体系的演变与内涵

沥青性能检测指标可归纳为两大类：一是基于经验性的传统针入度分级指标体系；二是基于流变学原理的Superpave性能分级（PG）指标体系。

1.1 传统针入度分级指标体系

该体系以25℃针入度作为沥青标号划分的主要依据，辅以软化点、延度、蜡含量、闪点等指标，旨在控制沥青的基本物理性质^[5]。

针入度是25℃时，100g标准针5s内贯入沥青的深度（0.1mm），反映沥青软硬与稠度，是标号划分核心指标。针入度越大，沥青越软，低温性能较好但高温稳定性较差。软化点采用环球法测定，为沥青软化下垂至25mm时的温度（℃），软化点越高，高温抗变形能力越强。延度是规定温度与速度下沥青拉断时的长度（cm），用于评价塑性与低温抗裂性，延度越大变形能力越好，低温开裂风险越低。蜡含量为沥青中蜡的质量占比，会降低低温延度、增大温度敏感性并削弱集料粘附性，需严格控制。

1.2 Superpave性能分级（PG）体系

PG体系的核心是让沥青性能与服役气候、交通荷载相匹配，将高、低温、疲劳及老化性能统一评价。高温性能以DSR测定的车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 表征，该值越大抗车辙能力越强，要求原样沥青 $G^*/\sin\delta \geq 1.0\text{kPa}$ ，RTFOT老化后 $\geq 2.2\text{kPa}$ 。中温疲劳性能采用PAV老化后沥青的疲劳因子 G^*

· $\sin \delta$ 评价, 数值越小疲劳性能越好, 需 $\leq 5000 \text{ kPa}$ 。低温性能由 BBR 测试蠕变劲度 S 和蠕变速率 m , 要求 $S \leq 300 \text{ MPa}$ 、 $m \geq 0.3$ 。老化性能分别通过 RTFOT 模拟短期施工老化、PAV 模拟长期路面老化, 以质量损失、针入度比、粘度比等指标评定。

2 沥青质量评价的关键指标深度解析

2.1 高温稳定性指标: 软化点与车辙因子

软化点虽然是经验指标, 但其与 PG 高温分级存在一定的相关性。一般来说, 软化点每升高 $8-10^\circ\text{C}$, PG 高温等级可提高一个等级。然而, 对于改性沥青 (如 SBS 改性), 其软化点可能很高, 但车辙因子却不一定呈比例增长, 因为改性剂形成的网络结构对温度敏感性影响复杂。

车辙因子 $G^*/\sin \delta$ 是更科学的高温评价指标。对于基质沥青, 随着温度升高, G^* 下降, δ 增大 (接近 90°), 粘性成分增加, 抗车辙能力下降。对于聚合物改性沥青, 在高温区, G^* 显著提高, δ 明显减小 (更接近弹性体), 形成“弹性响应”, 能有效抵抗荷载作用下的累积变形。

2.2 低温抗裂性指标: 延度与蠕变劲度

15°C 延度对普通沥青的低温性能有较好的区分度, 但对改性沥青而言, 由于其大变形能力远超普通沥青, 延度试验往往出现“无限长”或颈缩后断裂, 数据离散性大, 难以准确评价。BBR 测定的蠕变劲度 S 和蠕变速率 m 能够更科学地模拟低温环境下路面内部产生的收缩应力。当温度骤降时, 如果沥青的蠕变劲度过大 (脆硬) 或应力松弛能力不足 (m 值小), 路面内部产生的热应力超过材料的抗拉强度, 便会产生“温缩裂缝”。

2.3 抗老化性能指标

沥青老化分为短期老化 (施工过程中) 和长期老化 (服

役过程中)。RTFOT 模拟的短期老化导致沥青变硬、变脆, 针入度下降, 软化点升高 PAV 模拟的长期老化后, 沥青的疲劳因子 $G^* \cdot \sin \delta$ 和低温劲度 S 会显著增加。抗老化性能差的沥青, 其路面早期开裂风险显著增大。老化指数 (如老化前后针入度比、粘度比) 是评价沥青抗老化能力的直观指标。

2.4 施工与易性指标: 布氏旋转粘度

布氏旋转粘度主要用于评价沥青在施工温度下的流动性, 是确定沥青混合料拌和与压实温度的关键参数。通常要求沥青在 135°C 时的粘度不超过 $3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 以保证良好的和易性。对于高粘度改性沥青, 可能需要更高的施工温度。

3 基于检测数据的质量评价方法

3.1 数据统计与变异分析

在批次质量评价中, 应关注检测数据的平均值、标准差及变异系数。对于关键指标, 如针入度、软化点, 变异系数过大往往意味着生产过程不稳定或材料存在离析。

3.2 指标体系的内在逻辑验证

指标间应存在内在逻辑一致性。例如, 同一批沥青, 其针入度、软化点、延度、粘度等指标应符合其标号特征。如发现某 70 号沥青软化点异常高 (如 $>55^\circ\text{C}$) 但针入度也偏高 (>70), 可能存在掺假或试验误差。改性沥青的弹性恢复、离析试验与 PG 分级结果应相互印证。如 SBS 改性沥青的离析试验 (48h 软化点差) 过大, 其 PG 分级的高温等级和低温等级可能会出现严重不均一。

3.3 路用性能的综合评价模型

建议采用“基本指标+关键性能指标+特定功能指标”的三级评价结构。不同标号/改性沥青关键性能指标对比, 如表 1 所示:

表 1 不同标号/改性沥青关键性能指标对比

指标名称	单位	70 号 A 级道路石油沥青	90 号 A 级道路石油沥青	SBS I-C 改性沥青	PG 76-22 改性沥青
针入度 (25°C)	0.1mm	68	86	56	52
软化点 (环球法)	$^\circ\text{C}$	47.5	45.2	78.5	82.3
延度 (10°C)	cm	32	45	$>100 (5^\circ\text{C})$	$>100 (5^\circ\text{C})$
老化后针入度比 (RTFOT)	%	65	62	84	86
PG 高温等级	$^\circ\text{C}$	64	58	76	82
PG 低温等级	$^\circ\text{C}$	-22	-28	-22	-28
车辙因子 $G^*/\sin \delta$ (原样)	kPa	1.21 (64°C)	1.05 (58°C)	1.98 (76°C)	2.45 (82°C)
疲劳因子 $G^* \cdot \sin \delta$ (PAV)	kPa	4820 (25°C)	3950 (22°C)	3150 (25°C)	2680 (25°C)
蠕变劲度 S (BBR)	MPa	265 (-12°C)	240 (-18°C)	220 (-12°C)	190 (-18°C)
弹性恢复 (25°C)	%	15	12	88	92

从表 1 可以清晰看出: 90 号沥青相较于 70 号沥青, 针入度更大、软化点更低、延度更大, 表明其更软、低温性能

更优, 但高温稳定性 (PG 高温等级) 较差; SBS 改性沥青相比基质沥青, 针入度减小, 软化点急剧升高, 低温延度显

著提高,老化后针入度比大幅增加,且具备了优异的弹性恢复能力,直观反映了改性剂对沥青高温、低温、抗老化性能的全面提升;PG76-22 沥青明确其适用高温 76℃、低温-22℃的环境,与 SBSI-C 相比,其 PG 高温等级更高(82℃),表明其具有更优的高温抗车辙能力,适用于更炎热或重载地区。

4 质量评价的工程应用与案例分析

以某高速公路中面层(AC-20)沥青采购与施工质量控制全过程为例,详细阐述沥青质量评价在工程实践中的应用。该项目地处夏炎热冬温区,交通等级为特重交通,中面层采用 PG76-22 改性沥青,设计要求同时满足传统指标与 PG 性能指标的双控标准。

4.1 材料招标与供应商准入阶段的质量预控

在工程招标阶段,业主单位要求所有沥青供应商提供完整的型式检验报告,该报告必须由国家认可的公路工程综合甲级试验检测机构出具。型式检验报告内容涵盖针入度体系全套指标、PG 分级全套指标、以及针对改性沥青的特有指标如弹性恢复、离析试验等。业主组织专家对供应商的生产能力、检测能力、质量保证体系进行现场考察。最终入围的供应商均具备 SBS 改性沥青成套生产线,且配备了 DSR、BBR 等精密检测设备,确保了材料来源的可靠性。此阶段的质量评价侧重于“供应商”资质与产品长期稳定性的确认,从源头上规避质量风险。

4.2 材料进场验收阶段的检测与判定

沥青材料采用罐车分批运输,每车次均为一个检验批。材料进场后,由监理单位和施工单位共同取样,送往项目驻地试验室进行检测。在施工高峰期,共进场 PG76-22 改性沥青 86 批次。大部分批次检测结果稳定,但其中第 23 批次样品出现了异常情况。该批次样品快速检测结果显示:针入度(25℃)为 54(0.1mm),软化点 81.5℃,延度(5℃)为 86cm,弹性恢复 88%,上述指标均满足 PG76-22 的常规要求。然而,135℃旋转粘度检测结果为 3.4Pa·s,超出了规范建议值 3.0Pa·s。该异常引起了质量控制人员的警觉。

参考文献

- [1]于洪彬,冀彦美,刘欢,等.沥青混凝土薄层罩面与黏结层结构组合优化研究——基于内蒙古地区路用性能检测与后评价[J].实验室检测,2025,3(20):62-64.
- [2]褚军轮.高速公路沥青路面上面层施工质量检测与均匀性评价[J].居舍,2022(9):64-65,74.
- [3]冯金库.潮莞高速公路沥青路面施工质量的符合性检验[J].交通科技与管理,2021(25):0125-0126.
- [4]张萍.二级公路沥青路面性能检测与综合评价[J].交通世界,2024(28):93-95.
- [5]孙若楠.高速公路沥青路面上面层施工质量检测与均匀性评价[J].南北桥,2022(13):184-186.

4.3 异常数据的深度分析与验证

质量控制小组对异常批次启动了深度分析。重复试验确认 135℃粘度为 3.4Pa·s,RTFOT 后粘度为 4.1 Pa·s,均超出常规范范围。第三方检测的 PG 分级报告显示,原样沥青在 76℃下车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 为 1.82 kPa,PAV 老化后疲劳因子 $G^* \cdot \sin\delta$ 为 2950 kPa,BBR 试验蠕变劲度 S 为 210MPa、 m 值为 0.31,各项 PG 指标均满足 PG76-22 要求,形成了“PG 性能合格但施工粘度超标”的矛盾局面。进一步的红外光谱分析表明,该批次 SBS 改性剂含量约为 4.8%,且分子量分布较宽,虽使车辙因子提高约 8%,但也显著增加了粘度。离析试验(48h 软化点差)结果为 2.8℃,超出规范要求的 2.5℃,表明改性剂与基质沥青的相容性或稳定性存在一定问题。

4.4 综合评价与处置决策

该批次沥青 PG 高温等级虽满足设计,但施工粘度超标。经过评估,建议适当提高拌和与压实温度(提高 10-15℃),以保证压实度,要求供应商排查改性剂种类或掺量,后续批次必须控制 135℃粘度在 3.0Pa·s 以内。

4.5 后续跟踪与效果验证

该批次沥青投入使用后,质量控制小组对使用该材料的路段进行了全程跟踪检测。沥青质量评价不应仅停留于“合格/不合格”的简单二元判定,而应建立在对指标体系的深入理解和对工程实际影响的综合判断基础上,通过科学的评价和精准的施工调控,实现质量风险的可控与工程目标的达成。

5 结论

道路沥青质量评价采用传统经验指标与现代性能指标相结合的模式。针入度、软化点、延度等基础指标简便实用,PG 分级体系则直接对应路用性能,是高品质沥青控制的关键。科学评价应建立多层次指标体系,开展综合分析与逻辑验证,并覆盖招标、验收及施工全过程。对异常数据需深入分析,结合安全性、施工性科学决策,必要时优化施工工艺管控质量风险,保障沥青路面工程质量与长期使用性能。