

沥青针入度试验不确定度的参数分析

梁胜

(吉首市海昇交通建设有限责任公司, 湖南 吉首 416000)

摘要: 针入度作为沥青流变性能的显示指标,其检测结果的准确度直接影响对沥青性能的判定。文中根据 GB/T 4509—2010《沥青针入度测定法》和 JJG(交通) 067—2015《沥青针入度试验仪》,对沥青针入度试验不确定度的参数进行分析,得出试验人员自身观测能力是沥青针入度不确定度的主要来源,仪器性能对沥青针入度不确定度的影响较小。

关键词: 公路;沥青;针入度;不确定度;沥青针入度仪

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)05-0062-03

沥青作为沥青砼最重要的原材料,其性能优劣直接决定沥青砼道路的使用性能。沥青针入度作为沥青流变性能的显示指标,其检测结果的准确度直接影响试验人员对沥青性能的判定。近年来很多学者对沥青针入度试验的不确定度进行了分析,如陈柏年对沥青针入度试验的误差来源进行系统阐述,并进行了测量不确定度计算;刘璐等通过仪器的精度允许误差限值对沥青针入度仪校准的不确定度进行了分析;武冬生等对一台针入度试验仪进行校准分析,考虑校准仪器使用的标准器精度误差,阐述了仪器各参数所引入的不确定度分量。该文采用 A 类不确定度评定方法,对沥青针入度仪的控制指标进行参数分析,计算各指标引入的不确定度分量,并进行重复性试验,导出除沥青针入度仪外的不确定度分量。

1 沥青针入度试验仪器和原理

沥青针入度试验采用符合 JJG(交通) 067—2015《沥青针入度试验仪》要求的沥青针入度试验仪,试验仪主要包含示值系统、标准针、盛样皿、恒温水箱、温度计等。

试验方法: 采用一根具有特定形状的标准针,标准针具有特定的质量,在连接杆和砝码作用下竖直沉入恒温(25℃)的标准沥青试样中,下沉时间为 5 s,检测标准针沉入沥青的针入度值,一个针入度值对应 0.1 mm。重复进行 3 次试验,取算术平均值作为沥青的针入度值。

2 试验参数概要

(1) 依据:GB/T 4509—2010《沥青针入度测定

法》;JJG(交通)067—2015《沥青针入度试验仪》。

(2) 示值系统参数:量程 0~400 个针入度值,精度值 0.1 mm,误差控制为 1 个针入度值。

(3) 标准针参数:针体长度 50 mm,允许误差 1 mm;针体直径 1 mm,允许误差 0.05 mm;针柄长度 38 mm,容许误差 1 mm;针总质量 25 g,允许误差 0.05 g;针连杆质量 47.5 g,允许误差 0.05 g。

(4) 计时设定系统参数:采用电子装置,时间精度控制值为 0.1 s。

(5) 恒温装置参数:采用恒温水槽,水槽容积大于 10 000 mL,水槽恒定温度控制精度为 0.1℃。

3 误差分析

根据沥青针入度试验的试验仪器、材料参数和试验人员操作过程将试验误差分为两类:

(1) 沥青针入度仪装置及材料性能误差,包括仪器位移示值转换系统的误差 ΔL 、仪器设定针的下沉时间误差 Δt 、温度监测系统的误差 ΔT_1 、恒温水箱温度稳定性引入的误差 ΔT_2 及仪器中针、连杆与配重砝码变化引入的误差 Δm 。

(2) 试验人员自身观测能力引入的误差,包括试验人员将针与沥青表面接触距离误差 ΔZ_1 、试验人员所选定的针沉入点不同引入的误差 ΔZ_2 。

4 试验仪器不确定度的参数分析

4.1 参数分析方法

采用 A 类不确定度评定方法进行分析。考虑到试验次数的有限性,利用有限次试验结果的标准差来近似反映试验中标准差。采用贝塞尔法计算标准差,公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

4.2 仪器位移示值转换系统的不确定度参数分析

将 20 mm 标准量块放置于仪器底座平台,设置 20 mm 标准测量点。仪器共测量 5 次,测量结果分别为 20.01、20.03、19.99、20.01、20.02 mm,算术平均值 $\bar{L} = 20.012$ mm。按式(1)计算,得标准差 $\sigma_L = 0.0133$ mm。

试验中测量结果取 3 次同条件测量结果的平均值,仪器位移示值转换系统的不确定度参数 $U_A(L) = \sigma_L / \sqrt{3} = 0.0076$ mm。

用相对不确定度表示,沥青针入度试验中假定实际测量距离为 4.5 mm,则 $U_r(L) = 0.0076 / 4.5 = 0.00169$ 。

假定试验中沥青针入度测量值为 45 (0.1 mm),则仪器位移示值转换系统引入的不确定度分量 $U(L) = 0.00169 \times 45 = 0.076$ (0.1 mm)。

4.3 仪器设定针下沉时间的不确定度参数分析

采用精度为 0.01 s 的秒表,测量仪器开启计时到 60 s 时所对应的秒表时长。测量 5 次,结果分别为 60.04、60.07、60.05、60.05、60.04 s,算术平均值 $\bar{t} = 60.05$ s。按式(1)计算,得标准差 $\sigma_t = 0.0110$ s。

试验中测量结果取 3 次同条件测量结果的平均值,针的下沉时间引入的不确定度参数 $U_A(t) = \sigma_t / \sqrt{3} = 0.0063$ s。

用相对不确定度表示,沥青针入度试验中针下沉时间为 5 s,则 $U_r(t) = 0.0063 / 5 = 1.26 \times 10^{-3}$ 。

假定试验中沥青针入度测量值为 45 (0.1 mm),则针的下沉时间引入的不确定度分量 $U(t) = 1.26 \times 10^{-3} \times 45 = 0.0567$ (0.1 mm)。

4.4 温度监测系统的不确定度参数分析

采用精度为 0.01 °C 的标准温度计,测量仪器水箱在 25 °C 恒温状态下的温度值。测量 5 次,结果分别为 24.98、24.96、25.02、25.00、24.98 °C,算术平均值 $\bar{T} = 24.988$ °C。按式(1)计算,得标准差 $\sigma_T = 0.0204$ °C。

试验中测量结果取 3 次同条件测量结果的平均值,温度监测系统的不确定度参数 $U_A(T) = \sigma_T / \sqrt{3} = 0.0118$ °C。

用相对不确定度表示,则 $U_r(T) = 0.0118 / 25 = 4.72 \times 10^{-4}$ 。

假定试验中沥青针入度测量值为 45 (0.1 mm),则温度监测系统引入的不确定度分量 $U(T) = 4.72 \times 10^{-4} \times 45 = 0.02124$ (0.1 mm)。

4.5 标准针、连杆、配重砝码的不确定度参数分析

采用精度为 0.001 g 的电子天平,测量针、连杆与配重砝码的总质量。共测量 5 次,结果分别为 100.006、100.005、100.006、100.004、100.006 g,算术平均值 $\bar{M} = 100.0054$ g。按式(1)计算,得标准差 $\sigma_M = 0.0008$ g。

试验中测量结果取 3 次同条件测量结果的平均值,针、连杆与配重砝码的总质量的不确定度参数 $U_A(M) = \sigma_M / \sqrt{3} = 0.00046$ g。

以相对不确定度表示,则 $U_r(M) = 0.00046 / 100 = 4.6 \times 10^{-6}$ 。

假定试验中沥青针入度测量值为 45 (0.1 mm),则针、连杆与配重砝码的总质量引入的不确定度分量 $U(M) = 4.6 \times 10^{-6} \times 45 = 2.07 \times 10^{-4}$ (0.1 mm)。

4.6 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度为:

$$U_c = \sqrt{(U(L))^2 + (U(t))^2 + (U(T))^2 + (U(M))^2} = 0.0972$$

4.7 扩展不确定度

取置信率为 95%,包含因子为 1.96,扩展不确定度 $U = 1.96 \times 0.0972 = 0.1905$ 。

5 沥青针入度重复性试验

选用性能稳定的沥青,由有资质的试验员制作沥青针入度标准试样,在同一试验环境下在短时间内完成沥青针入度的重复性试验。完成 6 组试验,每组进行 3 次检测,检测结果见表 1。

表 1 25 °C 下针入度试验结果

试验组号	针入度/(0.1 mm)				
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值	标准差
1	45.2	45.7	44.9	45.27	0.33
2	45.6	45.1	45.6	45.43	0.24
3	45.9	45.1	45.3	45.43	0.34
4	45.2	46.0	45.0	45.40	0.43
5	44.7	45.1	44.9	44.90	0.16
6	45.5	45.2	46.2	45.63	0.42

按式(1)计算各组试验的标准差,取其平均值,得到试验重复性标准差为:

$$S = \sigma = \sqrt{\frac{0.33^2 + 0.24^2 + 0.34^2 + 0.43^2 + 0.16^2 + 0.42^2}{6}} = 0.33$$

测量标准不确定度 $U_a = S = 0.33$ 。取置信率为 95%、包含因子为 1.96，扩展不确定度 $U = 1.96 \times 0.33 = 0.646 8$ 。

6 结论

(1) 沥青针入度试验中针入度仪各参数的不确定度分量为：示值转换系统 $U(L) = 0.076$ (0.1 mm)；针的下沉时间 $U(t) = 0.056 7$ (0.1 mm)；温度监测系统 $U(T) = 0.021 24$ (0.1 mm)；针、连杆与配重砝码的总质量 $U(M) = 2.07 \times 10^{-4}$ (0.1 mm)。

(2) 沥青针入度试验中针入度仪合成标准不确定度 $U_c = 0.097 2$ ；扩展不确定度为 0.190 5，包含因子取 1.96。

(3) 重复性试验测量标准不确定度 $U_a = 0.33$ ；扩展不确定度为 0.646 8，包含因子取 1.96。

(4) 已知重复性试验标准不确定度 U_a 和由仪器引入的合成标准不确定度 U_c ，则由试验人员自身观测能力引入的不确定度 $U_b = U_c - U_a = 0.232 8$ 。

(5) 沥青针入度试验不确定度的主要来源为试验人员自身的观测能力；沥青针入度仪对试验结果的影响较小。

参考文献：

- [1] 江苏省交通工程试验专用检测仪器计量检定站. 沥青针入度试验仪: JJG(交通)067—2015[S]. 南京: 江苏省交通工程试验专用检测仪器计量检定站, 2015.
- [2] 中国石油大学(华东)重质油研究所. 沥青针入度测定法: GB/T 4509—2010[S]. 东营: 中国石油大学(华东)重质油研究所, 2010.
- [3] 交通部科学研究院. 道路石油沥青针入度仪计量检定规程: JJG(交通)067—2006[S]. 北京: 交通部科学研究院, 2006.
- [4] 陈柏年. 公路工程专业检测技术中测量不确定度评定讲座: 采用沥青针入度仪检测沥青针入度测量不确定度的合理评定[S]. 交通标准化, 2004(5): 26—29.
- [5] 刘璐, 郭鸿博, 周毅姝, 等. 沥青针入度仪校准不确定度分析的初探[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016(6): 69+90.
- [6] 武冬生, 丁志军. 沥青针入度试验仪测量结果的不确定度评定[J]. 工业计量, 2020(3): 67—69.
- [7] 崔尧尧, 刘红光, 孙博, 等. 通道式标准漏孔测量结果不确定度评定[J]. 工业计量, 2018(3): 76—78.
- [8] 陈聪. 沥青针入度试验测量不确定度的合理评定[J]. 科学之友, 2010(22): 43—44.
- [9] 武冬生, 丁志军. 沥青针入度试验仪测量结果的不确定度评定[J]. 工业计量, 2020(3): 67—69.

收稿日期: 2020—08—31

(上接第 61 页)

层大厚度施工和双层面层一体摊铺的基面连铺技术获得成功。

5 结语

针对国、省道路面结构层形式，提出基于基层大厚度和双层面层一体摊铺的基面连铺技术。在这 2 种技术本就大幅节省施工工期的基础上，基面连铺技术可再节省 7 d 养生期，共节省 28 d 养生期，具有重要的经济效益。采用传感光纤对 G204 基层裂缝情况进行测量，平均裂缝间距 22.6 m，基层裂缝间距在合理范围内，并没有因大厚度施工导致基层裂缝数量增多；面层和基层芯样整体完好，基于基层大厚度施工和双层面层一体摊铺的基面连铺技术可行。采用该技术可增强半刚性基层沥青路面基层、面层的一体性，提高路面平整度；提升生产效率，缩短工期，降低工程费用。

参考文献：

- [1] 朱梦良, 郁飞. 沥青路面双层联铺技术的应用[J]. 中外公路, 2014, 34(1): 83—86.
- [2] 邱丽鹏. 沥青双层摊铺设备及施工特点[J]. 筑路机械与施工机械化, 2016, 33(11): 103—107.
- [3] 王选仓, 王吉昌, 杨育生, 等. 沥青路面双层摊铺与传统摊铺等效厚度转换试验研究[J]. 公路交通科技, 2014, 31(1): 21—25.
- [4] 王选仓, 穆柯, 王朝辉, 等. 沥青路面双层摊铺技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(1): 24—27.
- [5] 李刚, 张琦, 黄欢. 大厚度基层施工工艺及质量控制技术研究[J]. 工程与建设, 2019, 33(6): 948—950.
- [6] 杨武. 水泥稳定碎石基层双层连续摊铺施工工艺及质量控制[J]. 交通世界, 2020, 7(3): 22—49.
- [7] 何纪国. 高速公路水泥稳定碎石底基层大厚度一次摊铺工艺[J]. 四川建筑, 2016, 36(6): 203—204.

收稿日期: 2020—12—01