

沥青软化点试验测量不确定度的参数分析

黄虎刚

(上海同纳建设工程质量检测有限公司 湖南分公司, 湖南 长沙 410116)

摘要: 根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》和 JJG(交通)057—2017《沥青软化点试验仪检定规程》,以软化点在 80 ℃ 以下沥青试样为例,对软化点仪装置各参数进行分析,得出沥青软化点试验测量中软化点仪合成标准不确定度为 $U=2.031\text{ }^{\circ}\text{C}$,扩展不确定度为 $U'=3.981\text{ }^{\circ}\text{C}$, k 取 1.96,其中钢球质量的相对不确定度最大。

关键词: 公路;沥青软化点;环球法;不确定度;参数分析

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)01-0061-03

沥青性能优劣决定沥青砼的稳定性、耐久性等性能,而软化点是反映沥青稳定性的关键指标。近年来很多学者对沥青软化点试验进行了研究分析,如郝树伟采用不确定度 B 类判定方法对沥青软化点试验各参数容许误差的不确定度进行了评定;张艳秋等研究了超高软化点沥青的软化点测试方法;豆晓娟通过试验对比分析了各试验参数对沥青软化点测试结果的影响;陈金明对沥青延度仪的测量值进行了不确定度分析;曹恒涛分析了人员、仪器、环境、操作方法等对沥青路面渗水系数测试的影响,对测试结果进行了不确定度评定。该文采用 A 类不确定度评定方法,选取低软化点沥青试样,结合沥青软化点仪控制指标进行参数分析,考虑标准检测设备自身误差,得出各参数指标误差引入的相对不确定值,评定沥青软化点试验测量不确定度。

1 沥青软化点试验仪器和原理

沥青软化点试验(环球法)采用达到 JJG(交通)057—2017《沥青软化点试验仪检定规程》要求的沥青软化点试验仪,试验仪主要包含钢球和钢球定位器、玻璃烧杯、加热器、测温及显示系统、肩环及支撑板、温度计等。

沥青软化点试验按 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行,步骤如下:1) 将已装好试样的试样环及底板、钢球及定位环、金属支架放入恒温水槽中 15 min 以上,水槽水温为 $(5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$;2) 将水槽中试样环安放在支架圆孔中,安装定位环;3) 将环架放入装有温度为 $(5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水的烧杯中,将烧杯放置到垫有石棉网的加热装置上;4) 将钢球放在试样中间位置,开始加热,使

烧杯水温在 3 min 内的上升速度为 $(5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$;
5) 沥青试样受热软化并逐渐下坠,读取试样与下层底板接触时水温,控制读数精度在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 试验参数

(1) 钢球参数。直径 9.53 mm,容许误差 0.02 mm;质量 3.5 g,容许偏差 0.05 g。

(2) 肩环参数。肩环上径 19.80 mm,容许误差 0.10 mm;肩环下径 15.90 mm,容许误差 0.10 mm;肩环高度 6.40 mm,容许误差 0.10 mm。

(3) 肩环底面与下落高度基准线垂直距离参数。垂直距离 25.00 mm,容许误差 0.40 mm。

(4) 温度计。量程 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,分度值 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 误差分析

根据试验仪器、材料参数和试验人员操作过程将试验误差分为两类:

第一类为沥青软化点试验仪器及材料性能误差,包括仪器中钢球质量误差 Δm 和直径误差 Δr 、肩环尺寸误差 ΔL (包含肩环上径误差 ΔL_1 、肩环下径误差 ΔL_2 和肩环高度误差 ΔL_3)、肩环底面与下落高度基准线垂直距离误差 Δh 、温度监测系统误差 ΔT 。

第二类为试验人员自身观测能力引入的误差,包括试样表面平整度差异引入的误差 ΔZ_1 、观测温度计读数不同引入的误差 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 类不确定度分析方法进行参数分析。由

于试验人员自身观测能力引入的误差无法量化,主要针对第一类试验误差进行不确定度分析。考虑试验次数的有限性,利用有限次试验结果的标准偏差来近似反映试验中标准偏差。采用贝塞尔法计算标准偏差:

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

4.2 仪器中钢球质量的不确定度参数分析

测量模型:

$$\Delta m = m_d - 3.5 - m_0$$

式中: Δm 为质量偏差(g); m_d 为标准天平显示质量(g); m_0 为标准天平质量修正值(g)。

(1) 钢球质量的不确定度。采用A类不确定度方法进行钢球质量不确定度参数分析。选用标准天平测量钢球质量,测量5次,测量结果分别为3.52、3.51、3.52、3.51、3.52 g,算术平均值 $\bar{M} = 3.516$ g。采用贝塞尔法得出标准偏差 $\sigma_{md} = 0.187$ 1 g。取3次同条件测量结果的平均值,得出钢球质量的不确定度参数 $U_A(m_d) = \sigma_{md}/\sqrt{3} = 0.108$ 0 g,以相对不确定度表示为:

$$U_r(m_d) = 0.108\ 0/3.5 = 0.030\ 8$$

(2) 标准天平修正值引入的不确定度。从标准天平检定证书得知,标准天平装置修正值 m_0 扩展不确定度 $U_0 = 0.003$ g、 $k=2$,则标准天平修正值引入的不确定度为:

$$U(m_0) = 0.003/2 = 0.001\ 5$$

(3) 合成不确定度为:

$$U(\Delta m) = \sqrt{U_r^2(m_d) + U^2(m_0)} = 0.030\ 84$$

4.3 仪器中钢球尺寸的不确定度参数分析

测量模型:

$$\Delta r = r_d - 9.53 - r_0$$

式中: Δr 为尺寸偏差(mm); r_d 为标准外径千分尺显示读数(mm); r_0 为标准外径千分尺尺寸修正值(mm)。

(1) 钢球直径的不确定度。采用A类不确定度方法进行钢球直径不确定度参数分析。选用标准外径千分尺测量钢球外径,2次测量角度间隔 60° ,测量5次,测量结果分别为9.537、9.536、9.538、9.537、9.538 mm,算术平均值 $\bar{r} = 9.537$ 6 mm。采用贝塞尔法得出标准偏差 $\sigma_{rd} = 0.008$ 1 mm。取3次不同位置测量结果的平均值,得出钢球直径的不确定度参数 $U_A(r_d) = \sigma_{rd}/\sqrt{3} = 0.004$ 7 mm,以相对不确定

度表示为:

$$U_r(r_d) = 0.004\ 7/9.53 = 0.000\ 5$$

(2) 标准外径千分尺修正值引入的不确定度。从标准外径千分尺检定证书得知,标准天平装置修正值 r_0 扩展不确定度 $U_0 = 0.000$ 4 g、 $k=2$,标准外径千分尺修正值引入的不确定度为:

$$U(r_0) = 0.000\ 4/2 = 0.000\ 2$$

(3) 合成不确定度为:

$$U(\Delta r) = \sqrt{U_r^2(r_d) + U^2(r_0)} = 0.000\ 54$$

4.4 仪器中肩环尺寸的不确定度参数分析

测量模型:

$$\Delta L = L_d - L_s - L_0$$

式中: ΔL 为尺寸偏差(mm); L_d 为标准卡尺显示读数(mm); L_s 为肩环尺寸设计值(mm); L_0 为标准外径千分尺尺寸修正值(mm)。

(1) 肩环尺寸的不确定度。采用A类不确定度方法进行肩环尺寸不确定度参数分析。选用标准卡尺测量肩环上径、肩环下径、肩环高度,各测量5次,结果见表1。算术平均值 $\bar{L}_{d1} = 19.836$ mm、 $\bar{L}_{d2} = 15.918$ mm、 $\bar{L}_{d3} = 6.420$ mm。采用贝塞尔法得出标准偏差 $\sigma_{Ld1} = 0.040$ 6 mm、 $\sigma_{Ld2} = 0.020$ 6 mm、 $\sigma_{Ld3} = 0.023$ 5 mm。取3次不同位置测量结果的平均值,得出肩环尺寸不确定度参数 $U_A(L_{d1}) = \sigma_{Ld1}/\sqrt{3} = 0.023$ 4 mm、 $U_A(L_{d2}) = \sigma_{Ld2}/\sqrt{3} = 0.011$ 9 mm、 $U_A(L_{d3}) = \sigma_{Ld3}/\sqrt{3} = 0.013$ 6 mm。以相对不确定度表示为:

$$U_r(L_{d1}) = 0.023\ 4/19.8 = 0.001\ 18$$

$$U_r(L_{d2}) = 0.011\ 9/15.9 = 0.000\ 7$$

$$U_r(L_{d3}) = 0.013\ 6/6.4 = 0.002\ 13$$

表1 肩环尺寸测量数据 mm

测量次数	肩环上径 L_{d1}	肩环下径 L_{d2}	肩环高度 L_{d3}
1	19.83	15.92	6.43
2	19.84	15.91	6.42
3	19.83	15.92	6.42
4	19.84	15.92	6.41
5	19.84	15.92	6.42

(2) 标准卡尺修正值引入的不确定度。从标准卡尺检定证书得知,标准天平装置修正值 L_0 扩展不确定度 $U_0 = 0.003$ mm、 $k=2$ 。标准卡尺修正值引入的不确定度为:

$$U(L_0) = 0.003/2 = 0.001\ 5$$

(3) 合成不确定度为:

$$U(\Delta L) = \sqrt{U_r^2(L_{d1}) + U_r^2(L_{d2}) + U_r^2(L_{d3}) + 3U^2(L_0)} = 0.003\ 64$$

4.5 肩环底面与下落高度基准线垂直距离的不确定度参数分析

测量模型:

$$\Delta h = h_d - 25.0 - h_0$$

式中: Δh 为尺寸偏差(mm); h_d 为标准卡尺显示读数(mm); h_0 为标准卡尺修正值(mm)。

(1) 肩环底面与下落高度基准线垂直距离的不确定度。采用 A 类不确定度方法分析, 选用标准卡尺测量肩环底面与下落高度基准线垂直距离, 测量 5 次, 结果分别为 25.04、25.03、25.03、25.03、25.03 mm, 算术平均值 $\bar{h} = 25.032$ mm。采用贝塞尔法得出标准差 $\sigma_{hd} = 0.036\ 1$ mm。取 3 次不同位置测量结果的平均值, 得出肩环底面与下落高度基准线垂直距离的不确定度参数 $U_A(h_d) = \sigma_{hd}/\sqrt{3} = 0.020\ 8$ mm。以相对不确定度表示为:

$$U_r(h_d) = 0.020\ 8/25.0 = 0.000\ 83$$

(2) 标准卡尺修正值引入的不确定度。从标准卡尺检定证书得知, 标准天平装置修正值 h_0 扩展不确定度 $U_0 = 0.003$ mm、 $k=2$, 标准卡尺修正值引入的不确定度为:

$$U(h_0) = 0.003/2 = 0.001\ 5$$

(3) 合成不确定度为:

$$U(\Delta h) = \sqrt{U_r^2(h_d) + U^2(h_0)} = 0.001\ 71$$

$$U_C = \sqrt{(U(\Delta m))^2 + (U(\Delta r))^2 + (U(\Delta L))^2 + (U(\Delta h))^2 + (U(\Delta T))^2} = 0.031\ 25$$

以普通沥青软化点 65 °C 为例, 得出沥青软化点试验测量的合成标准不确定度为:

$$U = 0.031\ 25 \times 65.0 = 2.031\ ^\circ\text{C}$$

4.8 扩展不确定度

选取置信率为 95%, 包含因子 $k=1.96$, 相应扩展不确定度为:

$$U' = 1.96 \times 2.031 = 3.981\ ^\circ\text{C}$$

5 结论

(1) 沥青软化点试验中, 各参数相对不确定度分量如下: 钢球质量 $U(\Delta m) = 0.030\ 84$; 钢球直径 $U(\Delta r) = 0.000\ 54$; 肩环尺寸 $U(\Delta L) = 0.003\ 64$; 肩环底面与下落高度基准线垂直距离 $U(\Delta h) = 0.001\ 71$; 温度监测系统 $U(\Delta T) = 0.002\ 98$ 。

4.6 温度监测系统不确定度参数分析

测量模型:

$$\Delta T = T_s - T_d - T_0$$

式中: ΔT 为温度偏差(°C); T_s 为沥青软化点仪显示读数(°C); T_d 为标准温度计显示读数(°C); T_0 为标准温度计读数修正值(°C)。

(1) 温度监测系统的不确定。采用 A 类不确定度方法, 通过沥青软化点仪加热使烧杯水温上升速度为 (5 ± 0.5) °C/min, 软化点仪显示读数为 60.0 °C 时, 读取标准温度计温度值。重复 5 次上述操作, 5 次测量结果分别为 59.76、59.85、60.12、59.88、59.93 °C, 算术平均值 $\bar{T} = 59.908$ °C。采用贝塞尔法得出标准差 $\sigma_{Td} = 0.168\ 7$ °C。取 3 次不同位置测量结果的平均值, 得出温度监测系统的不确定度参数 $U_A(T_d) = \sigma_{Td}/\sqrt{3} = 0.097\ 4$ °C。以相对不确定度表示为:

$$U_r(T_d) = 0.097\ 4/60.0 = 0.001\ 62$$

(2) 标准温度计读数修正值引入的不确定度。从标准温度计检定证书得知, 标准温度计读数修正值 T_0 扩展不确定度为 $U_0 = 0.005$ °C、 $k=2$, 标准温度计修正值引入的不确定度为:

$$U(T_0) = 0.005/2 = 0.002\ 5$$

(3) 合成不确定度为:

$$U(\Delta T) = \sqrt{U_r^2(T_d) + U^2(T_0)} = 0.002\ 98$$

4.7 沥青软化点试验测量不确定度的判定

综上, 沥青软化点试验测量的合成相对不确定度为:

(2) 沥青软化点试验测量中, 软化点仪合成标准不确定度 $U = 2.031$ °C, 扩展不确定度 $U' = 3.981$ °C, k 取 1.96。

(3) 沥青软化点试验测量不确定度中, 软化点仪设备参数误差约为实际结果的 6.1%, 其中钢球质量误差占比最大。

参考文献:

- [1] 交通运输部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [2] 交通运输部公路科学研究院. 沥青软化点试验仪检定规程: JJG(交通)057—2017[S]. 北京: 中华人民共和国

(下转第 69 页)

- 型[J].中国公路学报,2019,32(2):39-46+96.
- [4] 黄民如.减薄高模量沥青路面厚度的可行性分析[J].广东公路交通,2018,44(1):26-30+34.
- [5] 李剑波,肖雷.高模量沥青混合料在高速公路养护工程中的应用分析[J].中国建材科技,2018,27(6):28-29+6.
- [6] 宋乐春,李志军,陈保莲,等.高模量沥青混凝土添加剂研究[J].硅酸盐通报,2018,37(4):1221-1224.
- [7] 汪于凯,李立寒,孙艳娜.高模量沥青混合料模量的试验研究[J].上海理工大学学报,2014,36(2):194-198.
- [8] 王知乐,袁学锋.高模量 Superpave 混合料的抗车辙性能影响机理分析及强化方法研究[J].工业建筑,2018,48(6):119-123.
- [9] 戚林玲,龚建君,王晓菲,等.基于抗车辙性能提升的复合高模量沥青混合料研究[J].工程技术研究,2019,4(2):9-11.
- [10] 刘华敏.适用于湿热地区的湖沥青改性高模量沥青混合料设计与关键性能评价[J].福建交通科技,2018(5):18-21+48.
- [11] 高晓伟,颜薇,宋琿,等.温度与移动荷载作用下特重交通 RCC 基层沥青路面结构响应分析[J].中外公路,2019,39(1):28-33.
- [12] 张海伟,郝培文,梁建军,等.高模量剂改性沥青混合料拌和压实温度研究[J].中外公路,2015,35(2):272-276.
- [13] 张楠,郑南翔,高志敏.中空聚酯纤维沥青混合料的热阻及路用性能研究[J].公路交通科技,2018,35(10):19-25.
- [14] 马立杰,杨春风.掺加纤维对高模量沥青混合料柔韧性及路用性能影响研究[J].功能材料,2019,50(1):1164-1173+1177.
- [15] 郑健龙.基于结构层寿命递增的耐久性沥青路面设计新思想[J].中国公路学报,2014,27(1):1-7.
- [16] 周彦壘.PR.P 高模量沥青混合料的动态模量及疲劳性能研究[J].中外公路,2017,37(6):292-295.
- [17] 余波,施晓强,王力.高模量沥青及混合料疲劳性能评价研究[J].材料导报,2014,28(增刊2):353-355.
- [18] 杨琳.基于低标号沥青与岩沥青掺配技术高模量沥青混合料耐久性试验研究[J].公路工程,2016,41(4):297-301.
- [19] 陆青清,孙艳娜.基于疲劳寿命的高模量材料结构层适用性研究[J].上海公路,2017(1):16-19.
- [20] 徐明非,郭平,李俊.蒙脱土/SBS 复合改性沥青混合料路用性能研究[J].公路交通科技,2019,36(1):4-7.

收稿日期:2021-04-13

(上接第 50 页)

能强迫自己转头看后方来车,避免车祸的发生;不闯红灯;不逆行等。

4 结语

转变驾校驾驶培训理念,将驾驶技能与安全教育相辅相成;教练员先行,将安全教育贯穿于驾驶培训的始终;虚实结合,使宣传教育与实际操作教育相辅相成。从而提升学员的驾驶技能素质,将不文明驾驶行为扼杀于萌芽之中。同时加大科技设施投入,科技强警,运用现代科技手段降低交通违法量,提升交通通畅率、降低事故发生率,营造良好的道路交通环境。

(上接第 63 页)

交通运输部,2017.

- [3] 郝树伟.沥青软化点试验(环球法)测量不确定度评定[J].天津建设科技,2018,28(1):72-73.
- [4] 张艳秋,许超,杜亚平.超高软化点沥青软化点测定方法的探讨[J].燃料与化工,2019,50(5):37-39.
- [5] 豆晓娟.沥青软化点检测结果的影响因素分析[J].交通

参考文献:

- [1] 范才彬.机动车驾驶培训政府治理研究[D].大连:大连海事大学,2018.
- [2] 朱松巍.河南省交通违法行为特征及影响因素的研究[D].北京:清华大学,2017.
- [3] 罗义学,杜岩,黎美清,等.机动车驾驶人交通违法行为相关因素分析[J].广西医科大学学报,2010,27(6):956-961.
- [4] 何庆,刘君,弯美娜,等.多重对应分析在交通安全宣传重点群体识别中的应用[J].道路交通与安全,2018,18(1):38-42.

收稿日期:2021-06-09

世界(下旬刊),2020(9):140-141+149.

- [6] 陈金明.沥青延度仪测量值的不确定度分析[J].计量与测试技术,2016,43(8):98-99.
- [7] 曹恒涛.沥青路面渗水系数不确定度的评定[J].公路与汽运,2020(3):56-57.

收稿日期:2021-04-19