

半刚性材料抗弯拉强度的测定及不确定度评定

刘国寿 王时越* 刘寒芳¹ 赖正聪

(昆明理工大学建筑工程学院,昆明 650224;昆明市建设工程质量检测中心¹,昆明 650000)

摘 要 针对柔性路面材料中的一种——半刚性材料,在 MTS810 试验机上进行静载试验,得到了半刚性材料的抗弯强度,然后根据试验结果,并考虑多个方面的不确定度来源,对其进行不确定度分析和评定。分析结果表明:自由度是最主要的影响因素,相比较而言,其它因素引入的不确定度几乎可以忽略。在条件允许的情况下,应尽量增加试件数量,并选择大尺寸的试件。

关键词 抗弯拉强度 半刚性材料 不确定度

中图法分类号 TU528. 1; **文献标志码** B

在柔性路面成为当前中国公路的主要路面类型的今天,随着交通量的日益增大,重载车辆的增加,过早开裂的现象也尤为突出。目前国内外针对此种现象进行了大量的研究,但主要对象多为整体形式(沥青混合料和半刚性基层)。然而半刚性材料作为柔性路面组成材料的一种,其力学性能必然对柔性路面的整体性能有影响,并且在 CJJ/T 59—94 中亦已明确沥青混合料和半刚性材料也需要分别进行试验,测定它们的相关力学性能。所以本文根据 CJJ/T 59—94 的要求,对半刚性材料的抗弯拉强度进行试验测定,并根据 JJF 10592—1999 对其不确定度进行评定,以便为设计、研究单位等相关部门提供参考。

1 试件及试验方法

1.1 试件尺寸及成型

根据 CJJ/T 59—94 的要求,制作适于室内试验用的梁式试件和相应的加载装置,试件尺寸严格按照其规定的大梁尺寸(150 mm×150 mm×550 mm)进行制作,并且在标准条件下养护 28 d。然后根据 CJJ/T 59—94 进行试验。

2010 年 6 月 24 日收到 云南省教育厅科研基金项目(07C10617)资助
第一作者简介:刘国寿(1985—),男,云南宣威人,硕士研究生。
E-mail:liugshfirst@126.com。

* 通信作者简介:王时越(1965—),男,教授。

1.2 试件材料

试件所用的材料主要为碎石和水泥,其级配及相关性能见表 1 和表 2。通过击实试验确定最佳含水率为 5.5%,最大干密度 2.29 g/cm³。

表 1 水泥稳定碎石集料碎石级配

项目	孔径通过率(质量比)							
孔径/mm	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过率/%	100	95	85	60	35	25	15	5

表 2 水泥(32.5#普通硅酸盐水泥)技术性能指标

指标	初凝时间/min	终凝时间/min	3 d 强度/MPa		28 d 强度/MPa	
			抗折		抗压	
测定值	233	315	4.3	19.0	8.7	45.6

1.3 试验方法

试验采用四点弯曲方法,如图 1 所示,试件跨距为 450 mm,加载以位移控制方式进行。试件尺寸如表 3 所示。

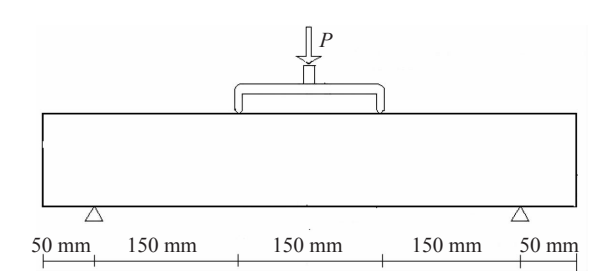


图 1 加载方式示意图

表 3 试件横截面尺寸和跨距

试件编号	1	2	3	4	5
宽度/mm	151.3	152.4	152.6	154.3	153.8
高度/mm	152.5	153.7	154.2	153.1	154.5

2 试验结果

本次试验过程中,根据破坏断面的位置在梁中 1/3 内的要求,共 5 件试样满足,其试验结果如表 4 所示。

表 4 试验结果

试件编号	1	2	3	4	5
破坏荷载/kN	4.325	4.563	4.012	4.687	4.537
抗弯拉强度/MPa	0.553 7	0.571 2	0.498 0	0.583 6	0.556 4

3 数学模型

根据 CJJ/T 59—94,柔性路面整体性材料抗弯拉强度的计算公式:

$$f_m = \frac{P_u \cdot l}{b \cdot h^2} \times 10^{-3} \quad (1)$$

f_m —抗弯拉强度 (MPa); P_u —破坏荷载 (kN); l —梁的跨距 (mm); b —梁的跨中宽度 (mm); h —梁的跨中高度 (mm)。

4 标准不确定度分量评定

4.1 破坏荷载 P_u 测量的标准不确定度

4.1.1 试验机力值测量精度

本文中所涉及的试验是在 MTS810 试验机上完成的,其示值误差为 $\pm 0.5\%$,为均匀分布,因而试验机引入的相对不确定度为:

$$U_{\text{ref}}(P_{u1}) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.002 9 \quad (2)$$

4.1.2 试验机量值溯源的影响

所用 MTS 试验机是采用 0.3 级标准测力仪进行检定的,其置信因子 $k=2$,所以由检定仪器所引

入的相对不确定度为:

$$U_{\text{ref}}(P_{u2}) = \frac{0.3\%}{2} = 0.001 5 \quad (3)$$

4.1.3 数据采集记录所带来的影响

JJF 1103—2003[82]计量技术规范 B3 中规定,一个合格的计算机数据采集系统所引入的 B 类相对标准不确定度为 $U_{\text{ref}}(P_{u3}) = 0.002$,该数据可直接引用。

从以上分析可以看出,在破坏荷载 P_u 的测量中,试验机的精度对 P 测量不确定度的影响最大。同时,由于以上三个因素相互独立,破坏荷载 P_u 测量引入的相对不确定度为:

$$U_{\text{ref}}(P_u) = \sqrt{\sum_{i=1}^3 U_{\text{ref}}^2(P_{ui})} = 0.003 8 \quad (4)$$

4.2 试件尺寸 b, h 测量及梁跨距 l 测定误差影响的

4.2.1 测量工具的精度

试件尺寸的测量工具为钢直尺,其最大允许误差为 $\pm 0.1 \text{ mm}$,因此,其引入的不确定度为:

$$U(b_1) = U(h_1) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.057 7 \text{ mm} \quad (5)$$

4.2.2 人员读数的误差影响

所使用的钢直尺分辨力为 1 mm ,所以人员读数误差所引起的不确定度为:

$$U(b_2) = U(h_2) = \frac{1/2}{\sqrt{3}} = 0.288 7 \text{ mm} \quad (6)$$

由于测量仪器引起的不确定度和人员读数引起的不确定度相互独立, b, h 测量的标准不确定度合成:

$$U(b) = \sqrt{U^2(b_1) + U^2(b_2)} \quad (7)$$

所以

$$U(b) = U(h) = 0.294 4 \text{ mm} \quad (8)$$

因而

$$U_{\text{ref}}(b) = 0.001 9, U_{\text{ref}}(h) = 0.001 9 \quad (9)$$

4.2.3 试验装置加工精度

由于加载时,跨距是由试验装置来控制的,根据加工公差控制为 $\pm 1 \text{ mm}$,所以由跨距引起的不确定度为

$$U(l) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 4 \text{ mm} \quad (10)$$

$$U_{\text{ref}}(l) = 0.001\ 3 \quad (11)$$

在上面的分析中,因检定仪器所带来的影响通常较小,所以忽略。

5 抗弯强度 f_m 的标准不确定度的合成

5.1 f_m 测量的重复性引入的相对不确定度

根据表 4 可知平均值:

$$\bar{f}_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 f_{mi} = 0.552\ 6 \text{ MPa} \quad (12)$$

标准差:

$$S(f_m) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{mi} - \bar{f}_m)^2} = 0.032\ 8 \text{ MPa} \quad (13)$$

所以由测量重复性引入的相对不确定度分量为

$$U_{\text{ref}}(f_m^0) = \frac{S(f_m)}{\bar{f}_m} = 0.059\ 3 \quad (14)$$

5.2 f_m 测量引入的相对不确定度

由于破坏荷载 P_u 测量所引入的不确定度、试件尺寸 b, h 测量引入的不确定度和梁跨距 l 测定所引入的不确定度相互独立,根据弯拉强度计算数学模型和相应的不确定度传播法则合成为:

$$\begin{aligned} U^2(f_m) &= \left(\frac{\partial f_m}{\partial P_u} \right)^2 U^2(P_u) + \left(\frac{\partial f_m}{\partial P_u} \right)^2 U^2(b) + \\ &\quad \left(\frac{\partial f_m}{\partial P_u} \right)^2 U^2(h) + \left(\frac{\partial f_m}{\partial P_u} \right)^2 U^2(l) = \\ &\quad \left(\frac{f_m}{P_u} U(P_u) \right)^2 + \left(-\frac{f_m}{b} U(b) \right)^2 + \\ &\quad \left(-2 \frac{f_m}{h} U(h) \right)^2 + \left(\frac{f_m}{l} U(l) \right)^2 = \\ &\quad f_m^2 (U_{\text{ref}}^2(P_u) + U_{\text{ref}}^2(b) + 4U_{\text{ref}}^2(h) + U_{\text{ref}}^2(l)) \end{aligned} \quad (15)$$

那么此次试验对 f_m 测量所引入的不确定度为

$$U(f_m^1) = 0.003\ 3 \text{ MPa} \quad (16)$$

所以对 f_m 测量所引入的相对不确定度为

$$U_{\text{ref}}(f_m^1) = 0.005\ 9 \quad (17)$$

5.3 f_m 测量不确定度的合成

由于 f_m 测量的重复性引入的不确定度与其它

原因引入的测量不确定度相互独立,所以

$$U_{\text{ref}}(f_m) = \sqrt{U_{\text{ref}}^2(f_m^0) + U_{\text{ref}}^2(f_m^1)} = 0.059\ 6 \quad (18)$$

$$U(f_m) = U_{\text{ref}}(f_m) * \bar{f}_m = 0.033\ 0 \text{ MPa} \quad (19)$$

根据以上分析,测量的重复性引入的不确定度最大。

6 抗弯强度扩展不确定度及不确定度报告

当包含因子 k 取 2 时,此组试件抗弯拉强度的扩展不确定度 $U_p(f_m) = 2 \times 0.033 = 0.066 \text{ MPa}$,所以不确定度报告表示为:

$$f_m = 0.553 \text{ MPa}, U = 0.066 \text{ MPa}, k = 2 \quad (20)$$

7 结语

本文对柔性路面材料中的一种——半刚性材料的抗弯拉强度进行测定和不确定度评定,取得了以下结论:

① 测量的重复性是引入不确定度的最主要影响因素;

② 一般情况下,测量工具的溯源对不确定度的引入影响较小,可以忽略;

③ 试验主要参考 CJJ/T 59—94 进行,试验过程中作者发现此标准对加载装置的加工精度未做出明确的要求,因此试件中间段不一定为纯弯曲状态,所以作者建议,进行类似试验时,宜采用尺寸大的试件,以减小可能存在的剪力对测量结果的影响。

参 考 文 献

- 1 国家质量技术监督局计量司组. 测量不确定度评定与表示指南. 北京:中国计量出版社,2000
- 2 倪育才. 实用测量不确定度评定. 北京:中国计量出版社,2009
- 3 国家质量技术监督局. JJF 1059—1999, 测量不确定度评定与表示. 北京:中国计量出版社,1999
- 4 中华人民共和国建设部. CJJ/T 59—94, 柔性路面设计参数测定方法标准. 北京:中国建筑工业出版社,1995
- 5 国家质量技术监督局. JJF 1103—2003, 万能材料试验机计算机数据采集系统评定. 北京:中国计量出版社,2003

(下转第 6815 页)

- 研究. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2009;24(3): 61—67
- 3 王富玉, 李艳玲, 任立锋. 动荷载作用下的沥青混合料间接拉伸试验参数研究. 交通信息和安全, 2009;27: 70—74
- 4 鲁正兰, 孙立军, 周朝晖. 高性能 SEAM 改性沥青混合料设计及其性能. 石油学报, 2005;21(5): 73—79

Study on Indirect Tensile Stiffness Modulus of Sulfur Modified Asphalt Mixture

PAN Yong

(Bureau of Construction Works Longguang District, Shenzhen 518172, P. R. China)

[Abstract] In order to find the reason why sulfur modified asphalt pavement has low temperature sensitivity, indirect tensile stiffness modulus index of different test temperature is used to analyze the mix temperature sensitive property. Then rutting test and TSRST test are used to verify the law of stiffness modulus. The test result indicate that sulfur modify technique can increase mix stiffness modulus in high temperatue and the same with normal asphalt in low temperature, thus the pavement integrated performance is improved.

[Key words] pavement engineering asphalt mixture sulfur modify indirect tensile stiffness modulus temperature sensitivity

(上接第 5811 页)

An Evaluation of Measurement Uncertainty on Bending Strength of Semi-rigid Material

LIU Guo-shou, WANG Shi-yue*, LIU Han-fang¹, LAI Zheng-cong

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, P. R. China;

Kunming Testing Center of Construction Quality¹, Kunming 650000, P. R. China)

[Abstract] Static test of semi-rigid material is finished on MTS 810 material test system, and the bending strength is obtained. Then the analysis of measurement uncertainty is completed in consideration of many factors. The accuracy of testing machine, measurement tools of the sample size, beam span and the times of tests are the important aspects in analysis. The result shows that the number of samples is the most important factors which affect the result. At the same time, conditions permitting, increasing the amount of samples and the choosing big size specimen could reduce the impact on measurement uncertainty.

[Key words] bending strength semi-rigid material uncertainty