

# 基于半圆弯曲试验的在役沥青路面抗裂性能评价方法研究

蔡海泉

(1.苏交科集团股份有限公司,江苏南京 211112; 2.新型道路材料国家工程研究中心,江苏南京 211112)

**摘要:**针对在役沥青路面抗裂性能评价难题,采用半圆弯曲试验方法及临界应变能指标评价其抗裂性能,基于江苏省典型高速公路现场芯样开展了35组上面层半圆弯曲试验,并通过20%和80%分位临界应变能结果提出了在役沥青路面抗裂性能三级评价标准,不同等级临界应变能分级标准分别为0.3 kJ/m<sup>2</sup>和0.7 kJ/m<sup>2</sup>。

**关键词:**半圆弯曲试验;抗裂性能;临界应变能;评价标准

**中图分类号:** U416.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2023)09-0272-03

## 0 引言

近年来,沥青路面“老龄化”日趋严重,以江苏省为例,截至目前,全省高速公路通车里程达到5 026 km,其中通车时间超过10 a的路段占比达到86.97%,超过15 a的占比达到70.79%。虽然路面结构的整体状况良好,但是“老龄化”路面的裂缝病害频发,对路面结构整体性以及行车舒适性产生一定程度影响。

沥青混合料抗裂性能评估一直是研究的重点,常用的评价方法包括间接拉伸试验和小梁弯曲试验。但是,间接拉伸试验中,试件呈双向应力状态,试件中间的最大水平向拉应力是该处竖直向压应力的三分之一左右,与路面内部结构的真实受力状态有较大差异。小梁弯曲试验可用于新成型沥青混合料的抗裂性能评价,对于既有沥青路面的评估时,试件获取制备较困难。与常用的这两种试验相比,半圆弯曲试验(semi-circular bending test, SCB)试件的制备、试验都比较简便,而且试件的受力状态与实际受力状态差异较小,较适合用于评价沥青路面抗裂性能。

近年来,国内外学者开展了较多抗裂性能的研究。Erkens<sup>[1]</sup>等人认为SCB试验较为简单、便捷,且能够满足沥青混合料质量控制要求;Huang Baoshan<sup>[2]</sup>等通过对比SCB试验和间接拉伸试验,认为SCB试验

用于评价沥青混合料抗弯拉性能更好;刘宇<sup>[3]</sup>等人调研分析了SCB试验的发展和应用情况;杨大田<sup>[4]</sup>等人对比了SCB与小梁弯曲试验,认为SCB对于沥青混合料的力学特性的表征更适合;付欣<sup>[5]</sup>等人通过有限元模型模拟了SCB试验,并提出了适宜的试验参数;熊爱明<sup>[6]</sup>等人通过对比试验分析,认为SCB试验中采用断裂能能较好地评价低温性能。

可见,国内外学者较为关注半圆弯曲试验与间接拉伸试验的比较,对于抗裂性能评价指标和评价标准关注较少。本文重点基于江苏省多条长期服役高速公路芯样的半圆弯曲试验结果,提出在役沥青路面抗裂性能评价标准,为半圆弯曲试验的研究和应用提供参考。

## 1 半圆弯曲试验评价方法

### (1) 试验方法

SCB试验采用万能材料试验机(UTM)进行,采用三点加载模式,底部为梁式支座,支座与上压头均为直径1 cm的圆柱体,支座中心间距为12 cm。通过设备的自动数据采集系统自动记录竖向的压力与位移。

### (2) 试件尺寸

混合料芯样试件尺寸为直径150 mm,厚度38~60 mm,试件中间预切缝,切缝深度分别为25.4 mm和38 mm<sup>[7]</sup>。

### (3) 试验条件

试验温度25℃,加载速率0.5 mm/min,分别测定不同开口深度试件的累积能量。

### (4) 评价指标

收稿日期: 2022-11-10

作者简介: 蔡海泉(1988—),男,硕士,高级工程师,从事公路检测、养护规划、设计、科研等工作。

采用临界应变能  $J_c$  评价沥青混合料的抗裂性能,  $J_c$  指标表示单位宽度沥青混合料条件下开裂单位深度所需的能量值, 具体按以下公式计算。

$$J_c = \frac{-1}{b} \left( \frac{dU}{da} \right) \quad (1)$$

式中:  $J_c$  为临界应变能,  $\text{kJ}/\text{m}^2$ ;  $b$  为试件厚度,  $\text{m}$ ;  $a$  为开口深度,  $\text{m}$ ;  $U$  为试件破坏时的累积能量,  $\text{kJ}$ ;  $dU/da$  为不同开口深度条件下破坏时累积能量变化,  $\text{kJ}/\text{m}$ 。

累积能量  $U$  按式(2)计算。

$$U = \sum_{i=0}^n [(x_{i+1}-x_i)y_i + 0.5(x_{i+1}-x_i)(y_{i+1}-y_i)] \quad (2)$$

式中:  $U$  为试件破坏时的累积能量, 即荷载-跨中挠度曲线下的面积;  $x_i$  为第  $i$  点的竖向位移,  $\text{mm}$ ;  $x_{i+1}$  第  $i+1$  点的竖向位移,  $\text{mm}$ ;  $y_i$  第  $i$  点的荷载,  $\text{kN}$ ;  $y_{i+1}$  第  $i+1$  点的荷载,  $\text{kN}$ 。

## 2 抗裂性能评价标准建立

在江苏省多条典型高速公路进行现场取芯, 覆盖全省 8 条高速公路, 通车年限及现场裂缝间距不等, 现场取芯过程中同步记录平均横向裂缝间距, 累计取芯 35 处。采用本文的半圆弯曲试验方法分别开展试验, 各路段芯样上面层半圆弯曲试验结果见表 1。

表 1 半圆弯曲试验结果

序号	裂缝间距/m	$J_c / (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$	序号	裂缝间距/m	$J_c / (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$	序号	裂缝间距/m	$J_c / (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$	序号	裂缝间距/m	$J_c / (\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$
1	7.7	0.394	10	33.3	0.510	19	98.8	0.330	28	1 000	0.964
2	7.7	0.180	11	100	0.500	20	98.8	0.586	29	1 000	0.481
3	22.2	0.585	12	100	0.580	21	166.7	0.361	30	1 000	0.662
4	22.2	0.513	13	40	0.241	22	166.7	0.484	31	55.6	0.602
5	25	0.460	14	40	0.267	23	166.7	0.451	32	34.5	1.205
6	25	0.690	15	13.8	0.386	24	166.7	0.481	33	34.5	0.677
7	16.7	0.520	16	13.8	1.067	25	43.5	1.100	34	20.8	0.384
8	16.7	0.560	17	5.7	0.363	26	43.5	0.300	35	20.8	0.499
9	33.3	0.690	18	5.7	0.463	27	166.7	0.451	/	/	/

注:表中  $J_c$  值为同一位置两个芯样试验结果的平均值。

根据临界应变能试验结果, 总体而言临界应变能分布集中在  $0.3 \sim 0.7 \text{ kJ}/\text{m}^2$  之间。同时, 将临界应变能与横向裂缝间距进行比对, 二者呈一定的正相关关系, 即临界应变能越大, 横向裂缝间距越大, 裂缝密度越小, 但是相关性显著性较低。

将临界应变能分布曲线的 20% 和 80% 分位点作为评价标准界限, 可得到半圆弯曲试验评价沥青混合料抗裂性能的标准见表 2。

根据取芯路段路面的横向裂缝间距, 同样取 20% 和 80% 分界点作为路面状况指标分界点, 对应的横

统计半圆弯曲试验结果, 并绘制临界应变能频率直方图和正态曲线, 见图 1。同时, 绘制临界应变能与横向裂缝间距关系曲线, 见图 2。

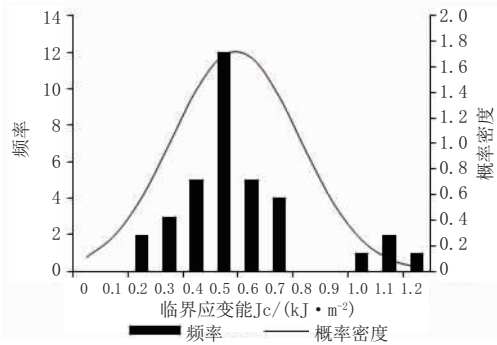


图 1 临界应变能分布图

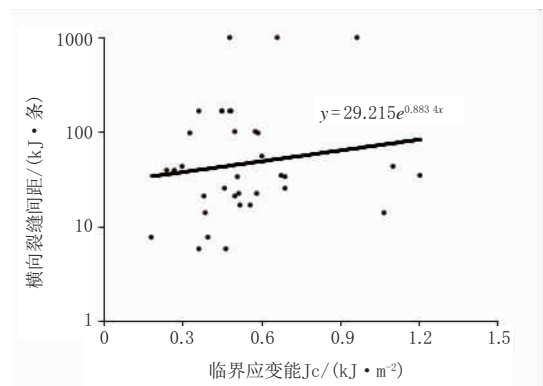


图 2 临界应变能与横向裂缝间距关系图

表 2 上面层临界应变能评价标准

评价等级	1	2	3
临界应变能 $J_c / (\text{kJ} \cdot \text{m}^2)$	$>0.7$	$0.3 \sim 0.7$	$<0.3$

向裂缝间距分别为 15 m 和 150 m, 将临界应变能评价等级与横向裂缝间距进行交叉分析, 结果见表 3。

由表 3 可见, 临界应变能评价等级为 1 和 2 时, 横向裂缝间距大于 150 m 的概率为 25%, 显著高于评价等级 3 路段横向裂缝间距; 当临界应变能评价等级为 3 时, 横向裂缝间距小于 15 m 的概率为

表3 不同评价等级路段横向裂缝分布概率

评价等级	裂缝间距区间发生的概率 /%		
	小于 15 m	15~150 m	大于 150 m
1	25	50	25
2	14	61	25
3	33	67	0

33%,较1级和2级偏高。

### 3 结论

基于江苏省高速公路典型路段芯样半圆弯曲试验研究及分析,得到以下结论:

(1)采用半圆弯曲试验能够量化评价沥青路面的抗裂性能,一般而言,临界应变能越大,横向裂缝间距越大。

(2)根据临界应变能分布规律,将抗裂性能评价等级分为3级,不同等级临界应变能分别为0.3 kJ/m<sup>2</sup>和0.7 kJ/m<sup>2</sup>。

同时,本文的研究结论主要基于所选取高速公

路芯样的试验结果,随着研究的深入,通过更多的代表性芯样不断更新完善本文提出的评价标准。

#### 参考文献:

[1] Erkens,S. M. J. G.,Liu,X,et al.Asphalt Concrete Response:Experimental Determinationand Finite Element Implementation.Proceedings[J],Ninth International Conferenceon Asphalt Pavements,Copenhagen,Denmark,2002,2(3):3-6.

[2] Baoshan Huang,Xiang Shu.Comparison of Semi-Circular Bending and Inderiction Tensile Strength Tests for HMA Mixtures[R].Proceedings of ICTP 2005.

[3] 刘宇,张肖宁,迟凤霞.国外 SCB(半圆弯拉)试验方法在沥青混合料中的研究与应用[J].中外公路,2008,28(3):190-192.

[4] 杨大田,朱洪洲.沥青混合料的半圆弯拉与小梁三点弯拉对比试验[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2010,34(6):4.

[5] 付欣,刘秋,陈拴发.基于 ANSYS 的带切口半圆弯曲试验参数分析[J].公路交通科技,2012,29(2):13-17.

[6] 熊爱明,黄卫东,吕泉,等.半圆弯拉试验评价沥青混合料低温性能指标选取[J].石油沥青,2020,34(4):7.

[7] Louay N,Mohammad.Development of Performance-based Specifications for Louisiana Asphalt Mixtures[R].Louisiana Transportation Research Center,2016.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com