

文章编号:1000-582X(2007)05-0027-04

# 沥青路面轴载作用下疲劳开裂损坏比的预测

谭红霞<sup>1,2</sup>, 黄立睽<sup>2</sup>

(1. 湘潭大学 土木工程与力学学院, 湖南 湘潭 411105; 2. 湖南大学 土木学院, 湖南 长沙 410008)

**摘要:**应用落锤式弯沉盆表面弯曲指数和沥青面层底部拉应变及轴载作用次数之间的关系,研究了在轴载作用下沥青路面疲劳开裂的损坏比,并就某典型路段的实测数据分别在标准荷载作用和多级荷载作用下预测损坏比,发现在标准荷载模式和多级荷载模式作用下对沥青路面的疲劳开裂损坏比预测结果相差较大,且损坏比随着时间的增长速率也不同。结果表明多级荷载作用下能切实地反映沥青路面的疲劳特性,是一种在轴载作用下预测沥青路面疲劳寿命的有效方法。

**关键词:**沥青路面;轴载;疲劳开裂;弯沉盆;损坏比

**中图分类号:**U416.217

**文献标志码:**A

由于沥青路面始终处在交通荷载和温度荷载的循环作用下,其破坏主要体现为疲劳破坏特征<sup>[1-2]</sup>。就目前而言,研究沥青路面疲劳寿命,主要是通过研究沥青混合料的疲劳特性来确定的。由于室内沥青混合料疲劳特性试验条件与实际道路上的情况有较大的区别,室内得到的疲劳方程不能直接应用于实际道路的疲劳寿命预测,必须进行必要的修正和调整。笔者采用落锤式弯沉仪对沥青路面进行调查和评定,利用疲劳开裂的损坏比作为评价沥青路面寿命的指标之一,分别就标准荷载和多级荷载的预测结果进行了比较,并与实际路况调查进行对比分析,以验证预测方法的可靠性。

## 1 沥青路面疲劳开裂模型

疲劳开裂的程度用损坏比来描述。损坏比定义为某一具体荷载实际的荷载作用次数与允许的荷载作用次数的比。因此,当损坏比超过1时,即认为路面达到破坏。其表达式如下:

$$S_i = \frac{N_i}{N_{f,i}}, \quad (1)$$

式中: $N_i$ 为荷载组*i*实际的重复作用次数; $N_{f,i}$ 为荷载组*i*允许的重复作用次数。

根据 Miner 的假定<sup>[3]</sup>,损坏是线性累积的,也就是在某一特定点的损坏可以通过将各种荷载下的损坏以累加的方式进行计算,如式(2)所示。

$$S = \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2)$$

式中: $S$ 为*n*组荷载作用的损坏; $n$ 为荷载组数; $S_i$ 为第*i*组荷载作用的损坏比。

## 2 预测方法

落锤式弯沉仪(Falling Weight Deflector Meter,简称 FWD)是一种路面结构强度测试器,笔者采用 FWD 弯沉盆表面弯曲指数(Surface Curved Index,简称 SCI)来预测沥青路面疲劳开裂损坏比。

$$SCI = D_0 - D_{305}, \quad (3)$$

式中: $D_0$ 、 $D_{305}$ 分别为距荷载底板中心距离 0、305 mm 处的弯沉值,mm。

### 2.1 沥青面层底部拉应变

表面弯曲指数(SCI)与面层底部拉应变 $\epsilon_{ac}$ 有极好的相关性,其相关性如图1所示。对 $\epsilon_{ac}$ 可用回归方程式(4)进行计算<sup>[4]</sup>。

$$\log(\epsilon_{ac}) = -0.391 \log(p) + 1.262 \log(SCI) + 0.122 \log(H_{ac}) + 0.035 \log(H_{base}) + 3.172, \quad (4)$$

收稿日期:2007-01-12。

基金项目:交通部西部课题(200131800095)。

作者简介:谭红霞(1969-),女,湘潭大学讲师,湖南大学博士研究生,主要从事道路与铁道工程研究(Tel)0732-8293084;  
(E-mail) thx\_123@163.com。

式中: $p$  为荷载强度,MPa; $H_{ac}$  为沥青面层厚度, $H_{base}$  为基层厚度,mm。

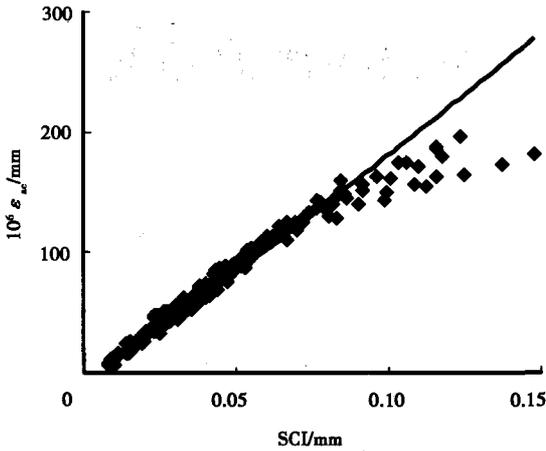


图1 表面弯曲指数(SCI)与 $\epsilon_{ac}$ 的关系图

### 2.2 荷载作用次数

沥青路面的疲劳开裂是重复应力或应变水平低

于材料的极限强度,由荷载引起的开裂现象<sup>[5-7]</sup>。当荷载作用到一定次数后,路面将会开裂。根据疲劳试验规律和路上实际情况的修正,得到容许拉应变与轴载反复作用次数间关系如下:

$$N_f = a \left( \frac{1}{\epsilon_{ac}} \right)^b, \quad (5)$$

式中: $N_f$  为路面开裂时容许轴载作用次数; $\epsilon_{ac}$  为轴载通过次数达到 $N_f$ 次时AC层底部的拉应变; $a, b$  分别为系数,由疲劳试验规律及路上实际检测修正后得到。

### 3 算例

中南地区某高速公路于1998年12月开通,预测路段长为1000m,四车道,路面结构形式:面层为AK(Asphalt Kneeding)-16I(5cm)+AC(Asphalt Concrete)-20I(6cm)+AC(Asphalt Concrete)-25I(7cm),基层为20cm水泥稳定碎石+20cm水泥稳定碎石+20cm水泥稳定砂砾<sup>[8]</sup>,路段弯沉盆实测记录 and 荷载疲劳作用次数计算如表1所示。

表1 路段弯沉盆实测记录和荷载疲劳作用次数计算表

相当轴载 /t	荷载强度 /MPa	弯沉值/mm		SCI/mm	$\epsilon_{ac}$ /10 <sup>-6</sup> mm	$N_f$ /次
		$D_0$	$D_{305}$			
3	0.525	0.039	0.029	0.010	19.9	112 185 165
6	0.600	0.072	0.055	0.017	32.2	35 947 335
9	0.675	0.102	0.079	0.022	42.0	19 827 239
10	0.700	0.112	0.087	0.025	45.3	16 793 145
11	0.725	0.121	0.095	0.027	48.5	14 484 231
12	0.750	0.130	0.102	0.028	49.6	14 023 933
13	0.775	0.138	0.109	0.029	50.6	13 607 263
14	0.800	0.147	0.117	0.030	51.6	13 228 303
15	0.825	0.155	0.124	0.031	53.2	12 523 624
16	0.850	0.164	0.131	0.033	54.7	11 901 567
17	0.875	0.173	0.138	0.034	56.2	11 348 893
18	0.900	0.182	0.146	0.036	58.0	10 685 853
19	0.925	0.191	0.153	0.037	59.7	10 102 168
20	0.950	0.200	0.161	0.039	61.4	9 585 002
21	0.975	0.209	0.169	0.041	62.8	9 196 472
22	1.000	0.219	0.177	0.042	64.3	8 844 688
10	标准荷载			0.025	45.3	16 793 145

说明: $N_f$  为路面开裂时容许轴载作用次数,由式(5)计算得到, $a$ 取 $8.710 \times 10^{-4}$ , $b$ 取2.364;荷载强度即轮胎与路面的接触压力。

第一年内实际交通量结果及第一年内疲劳开裂损坏比预测结果如表2所示,几年后的路面疲劳损坏比

预测结果如表3所示。

表2 第一年度实际荷载作用次数和疲劳开裂损坏比

p/MPa	起 止 日 期									
	1月1日 - 3月31日		4月1日 - 5月31日		6月1日 - 8月31日		9月1日 - 10月31日		11月1日 - 12月31日	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
0.525	256 750	2.3	190 041	1.7	32 2378	2.9	244 138	2.2	273 852	2.4
0.600	61 761	1.7	45 714	1.3	77 548	2.2	58 727	1.6	65 874	1.8
0.675	20 456	1.0	15 142	0.8	25 686	1.3	19 452	1.0	21 819	1.1
0.700	22 541	1.3	16 685	1.0	28 304	1.7	21 434	1.3	24 043	1.4
0.725	9 052	1.8	20 011	1.4	33 947	2.3	25 708	1.8	28 837	2.0
0.750	35 506	2.5	26 281	1.9	44 581	3.2	33 762	2.4	37 871	2.7
0.775	49 578	3.6	36 697	2.7	62 251	4.6	47 142	3.5	52 880	3.9
0.800	56 679	4.3	41 952	3.1	71 167	5.4	53 895	4.1	60 454	4.6
0.825	57 266	4.5	42 387	3.4	71 903	5.7	54 453	4.3	61 080	4.9
0.850	37 656	3.2	27 872	2.3	47 281	4.0	35 806	3.0	40 164	3.4
0.875	16 874	1.5	12 489	1.1	21 187	1.9	16 045	1.4	17 998	1.6
0.900	6 711	0.6	4 967	0.4	8 426	0.8	6 381	0.6	7 157	0.7
0.925	1 890	0.2	1 398	0.2	2 372	0.3	1 796	0.2	2 015	0.2
0.950	586	0	434	0	736	0	557	0.1	625	0.1
0.975	195	0	145	0	245	0	186	0	208	0
1.000	65	0	48	0	82	0	62	0	70	0
总和		26.9		21.4		36.2		27.4		30.8
标准荷载 (10 <sup>4</sup> )	186.45	111.0	137.98	82.2	234.08	139.4	177.10	105.6	198.84	118.4

说明:N为荷载实际作用次数;各荷载损坏比S由式(1)计算;损坏比总和由式(2)获得。

表3 各年度疲劳损坏比计算结果

预测 时间 /a	起 止 日 期								总 和	累 计	
	1月1日 - 1月31日	2月1日 - 3月31日	4月1日 - 4月30日	5月1日 - 5月31日	6月1日 - 7月31日	8月1日 - 8月31日	9月1日 - 10月31日	11月1日 - 12月31日			
	多级荷载	1	9.7	19.2	10.3	11.1	23.4	12.8			27.4
	2	10.7	21.2	10.3	12.3	25.9	14.2	30.4	34.0	160.0	304.6
	3	11.2	22.3	12.0	12.9	27.2	14.9	31.9	35.8	168.4	472.9
	4	11.8	23.5	12.6	13.6	28.7	15.7	33.6	37.7	177.1	650.1
	5	12.4	24.7	13.2	14.3	30.1	16.5	35.3	39.6	186.4	836.4
	6	13.1	26.0	13.9	15.0	31.7	17.4	37.2	41.7	196.1	1 032.5
标准荷载	1	37.2	73.8	39.6	42.6	90.0	49.4	105.6	118.4	556.5	556.5
	2	41.1	81.7	43.8	47.2	99.7	54.6	116.8	131.1	616.0	1 172.6
	3	43.3	86.0	46.1	49.6	104.8	57.5	122.9	137.9	648.1	1 820.7

由表2、表3的计算结果可以看出,两种荷载模式的预测结果是不同的,如图2、图3所示。

由图2可知,标准荷载作用下预测的路面疲劳开裂损坏比较多级荷载作用下预测的结果大,其各月增

长趋势也比多级荷载的陡。图3则显示了两种荷载模式下各年累计损坏对比情况,标准荷载下的预测损坏比在2年内已经达到破坏极限,多级荷载下的疲劳损坏比相对较缓,需要6年达到破坏极限。

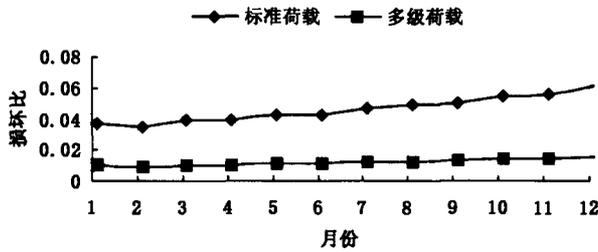


图2 第一年各月多级荷载和标准荷载疲劳损坏比对比图

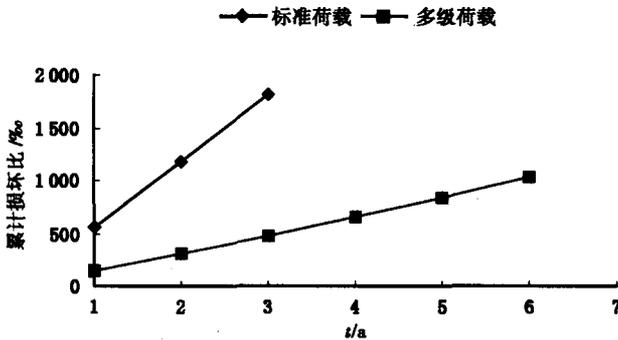


图3 两种荷载模式各年的累计疲劳损坏比对比图

#### 4 结语

从以上分析可得出如下结论:

- 1) 落锤式弯沉盆表面弯曲指数和沥青面层底部拉应变及轴载作用次数之间存在密切的关系;
- 2) 采用弯沉盆表面弯曲指数来预测沥青路面疲劳开裂损坏比是可行的;

3) 在标准荷载和多级荷载作用下预测沥青路面疲劳开裂损坏比, 每年的预测结果和随时间的增长率都相差较大;

4) 根据实际路况调查表明: 在多级荷载作用下预测沥青路面的疲劳特性更符合实际情况, 用其损坏比描述沥青路面疲劳开裂的损坏程度比较切实。

#### 参考文献:

- [1] 郑健龙, 周志刚, 张起森. 沥青路面抗裂设计理论与方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 申爱琴, 蒋庆华. 沥青混合料低温抗裂性能评价及影响因素[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(5): 1-6.
- [3] KIM Y R, PARK H M. Use of falling weight deflector meter multi-load level data for pavement strength estimation. In: NCDOT report [R]. Carolina; North Carolina State University, 2001, 32-80.
- [4] BARKSDALE R D. Practical application of fatigue and rutting test on bituminous base mixes. In: Pro Ass of Asp Pav Tech[R]. Washington; National Research Council, 1978: 25-28.
- [5] 邓学钧, 黄晓明. 路面设计原理与方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [6] 林绣贤. 柔性路面结构设计方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 1988.
- [7] 王辉, 武和平. 沥青路面按弯沉等效轴载换算的研究[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 19-21.
- [8] 湖南交通科学研究所. 107国道主干线长潭高速公路交通调查报告[R]. 长沙: 湖南交通科学研究所, 2004.

## Predicting Damage Rate of Asphalt Pavement for the Fatigue Performance Cracking with Axial Loading

TAN Hong-xia<sup>1,2</sup>, HUANG Li-kui<sup>2</sup>

- (1. College of Civil Engineering and Mechanics, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China;
2. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410008, China)

**Abstract:** The damage rate of asphalt pavement for the fatigue performance cracking is studied with axial loading by the relationship of surface curved index with Falling Weight Deflection basin, bottom pulling strain of asphalt surface and numbers of axial loading. The predicting result of standard axial loading and more-classified loading is very different, so as its increasing rate with the time going. It fits real circumstance to predict the fatigue character of asphalt pavement according to more-classified loading and could be an effective measurement for predicting fatigue life of asphalt pavement under axial loading.

**Key words:** asphalt pavement; axial loading; fatigue performance cracking; deflection basin; damage rate