

文章编号:1671-1637(2004)01-0007-04

## 沥青路面冷再生混合料疲劳性能

李 强<sup>1</sup>, 马松林<sup>2</sup>, 王鹏飞<sup>2</sup>

(1. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 哈尔滨工业大学 交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘要:**通过劈裂拉伸和控制应力的方式对再生混合料的疲劳性能进行了室内试验研究,总结了疲劳方程和疲劳曲线,分析了温度对疲劳性能的影响,并与相似试验条件下一般水泥稳定类材料的疲劳规律进行了比较。结果表明,随温度降低再生混合料的疲劳阻抗提高了,同时其疲劳寿命对应力水平的敏感程度也有所增强,在高应力水平下其具有比一般水泥稳定类材料更为优越的疲劳性能。

**关键词:**道路工程; 沥青路面; 冷再生; 疲劳性能; 温度

**中图分类号:** U414 **文献标识码:** A

### Fatigue properties of cold-recycled asphalt mixture

LI Qiang<sup>1</sup>, MA Song-lin<sup>2</sup>, WANG Peng-fei<sup>2</sup>

(1. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. School of Transportation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** The paper studied the fatigue properties of recycled mixture under stress-controlling mode through cleavage test, analyzed the influence of temperature on them and made properties comparison with general cement-stabilized materials in some condition. The research indicates that with the temperature dropping, the fatigue impedance is enhanced and the susceptibility of fatigue life towards the stress level is also raised. The recycled mixture possesses more superior fatigue properties than general cement-stabilized materials under high stress levels. 6 tabs, 3 figs, 8 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt pavement; cold-recycled; fatigue properties; temperature

**Author resume:** LI Qiang(1978-), male, doctoral student, 86-10-62079596, lq224@sina.com.

## 0 引 言

目前中国仍然处于公路建设的高峰期,但是一批早期修建的高速公路和地方道路已经相继进入了维修和改建阶段。沥青路面是中国公路的主要形式,在这一时期将会产生大量的废旧沥青混合料,它是一种可以被再生利用的材料,如果废弃不仅会造成资源浪费,同时也会污染环境。发达国家对沥青路面再生技术的应用已经比较成熟,而国内在这方面的研究尚显缺乏。

利用水泥稳定处治废旧沥青混合料属于冷再生

技术的范畴。研究表明,应用这种再生材料铺筑路面基层或底基层完全能够满足路用性能的要求<sup>[1]</sup>。作为一种再生复合材料,了解其在一定荷载和环境条件下的疲劳特性具有重要的意义,本文采用室内小型疲劳试验方法对此进行了研究,以便在路面设计中予以充分考虑。

## 1 原材料性质

### 1.1 水泥

本次试验研究所用再生添加剂为哈尔滨水泥厂生产的425#普通硅酸盐水泥,用量为6%;使用之

收稿日期:2003-12-06

作者简介:李 强(1978-),男,天津人,东南大学博士研究生,从事道路工程研究。

前对其主要技术指标进行了复测(表1),均满足规范要求。

表1 水泥技术指标检测结果

标准稠度 /%	初凝时间 /min	终凝时间 /min	安定性 (沸煮法)	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
				3 d	28 d	3 d	28 d
25.6	80	230	合格	20.1	48.8	4.6	7.8

## 1.2 废旧沥青混合料

废旧沥青混合料取自102国道(哈尔滨段),是在路面改建过程中产生的。经过机械铣刨(铣刨厚度一般为10~20 cm)和人工破碎后的废旧沥青混

合料成分比较复杂,包括粗集料、细集料(原路面结构层中的碎石)以及裹覆有沥青的团块等等。在再生路面中废旧沥青混合料是作为骨料被重新利用的,本文采用直接原样筛分和抽提筛分两种方式对其颗粒组成状况进行分析,测定旧料沥青含量为4.6%,筛分结果见表2。通过与一般基层材料的级配标准进行比较可见,原样废旧沥青混合料基本可以满足基层材料要求,但其中细料含量偏少,这主要是由于沥青团块裹覆所造成的。考虑到便于在实际工程中应用,本次试验研究直接采用原样废料,没有添加新集料<sup>[2]</sup>。

表2 废旧沥青混合料级配组成

试验方法	通过下列筛孔(方孔筛/mm)的质量百分率/%							
	37.500	31.500	19.000	9.500	4.750	2.360	0.600	0.075
原样筛分	100	96.7	85.6	59.7	30.8	14.7	5.4	0.5
抽提筛分		100.0	98.8	87.1	56.6	36.6	25.6	8.0
基层级配要求	100	90~100	67~90	45~68	29~50	18~38	8~22	0~7

$$t = 1/(2\pi f) \quad (1)$$

## 2 疲劳试验方法<sup>[3,4]</sup>

在选择疲劳试验方法时,需要考虑的准则有:对现场情况的模拟程度;试验结果的可应用性;试验方法的简便性。综合以上各项因素,本次研究采用圆柱体试件的劈裂疲劳试验方式。

本次疲劳试验加载频率采用10 Hz,相应车轮荷载的加载时间为0.016 s,对于路面表面大致相当于60~65 km/h的行车速度。

### 2.1 试验装置与试件制备

### 2.5 荷载波形

应用MTS-810型材料试验机进行再生混合料力学强度和疲劳试验,配有应力、应变及位移等数据自动采集系统。试件采用静压法成型,尺寸 $\Phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ ,平行试件数量4~6个,在标准条件下(温度 $20 \pm 2^\circ \text{C}$ ,湿度 $> 90\%$ )养生90 d,试验前饱水24 h。

材料的疲劳寿命与荷载波形有一定的关系,通常认为正弦波比较接近实际路面所承受的荷载波形。本文采用正弦波荷载进行疲劳试验,为了加快试验速度,在相邻波形之间未插入间歇时间;为避免长时间试验可能出现零点漂移而引起的试件脱空现象,设置正弦波荷载的最小值为最大值的2%。

### 2.2 试验温度

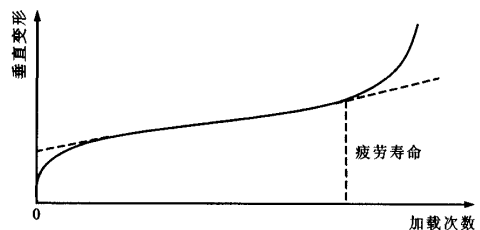
### 2.6 疲劳破坏判据

由于沥青是感温性材料,再生混合料的力学性能必然会受到温度的影响。考虑到基层材料的实际温度影响范围,选择15、25和 $35^\circ \text{C}$ 3个试验温度,为制定设计参数的温度标准提供依据。

在应力控制加载方式下,以试件的完全断裂作为疲劳破坏标准。如图1所示,试件的垂直变形在稳定阶段发展为加速变形阶段时,其反弯点对应的加荷次数定义为疲劳破坏作用次数。

### 2.3 荷载控制方式

材料的疲劳响应与加载控制方式有关,控制方式一般有2种:控制应力和控制应变。应力控制方式的再现能力较好,疲劳破坏定义明确,而且精度控制可靠,因此,本次疲劳试验采用应力控制加载方式。



### 2.4 荷载频率

对于室内小型疲劳试验,加载时间可以根据下列公式来确定

图1 控制应力方式疲劳破坏定义

Fig. 1 Fatigue destruction definition of stress controlling mode

### 3 再生混合料疲劳性能

#### 3.1 力学性质

在疲劳试验之前,对再生混合料的力学强度进

行了测定,试验方法参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)<sup>[5]</sup>,表 3 中列出了试验结果的平均值。

试验分析表明,再生混合料的力学性质基本符

表 3 再生混合料力学性质试验结果

Tab. 3 Mechanical testing result of recycled mixture

龄期/d	6%水泥								
	无侧限抗压强度/MPa			抗压回弹模量/MPa			劈裂强度/MPa		
	15℃	25℃	35℃	15℃	25℃	35℃	15℃	25℃	35℃
7	2.63	1.65	1.22	1 101	979	730	0.37	0.23	0.16
28	3.02	1.80	1.44	1 281	1 181	861	0.44	0.29	0.23
90	3.48	2.59	1.94	1 465	1 277	936	0.49	0.37	0.27

合一般水泥稳定类材料的特征,但与原材料性质密切相关,会在不同程度上受到温度的影响。本次研究所采用路面废料中沥青含量较多(4.6%),细料含量偏少(参见表 2 中筛分结果),这些因素都会对再生混合料的力学强度造成影响。

#### 3.2 疲劳试验结果

疲劳试验进行 4~5 个应力水平,每个应力水平选用 4~6 个试件。根据试验概率理论,同一应力水平下若干试件的对数疲劳寿命呈现正态分布<sup>[6]</sup>。经过舍弃检验,得到再生混合料在不同温度下的劈裂疲劳试验结果见表 4。

表 4 再生混合料劈裂疲劳试验结果

Tab. 4 Fatigue testing result of recycled mixture

温度/℃	应力比	疲劳寿命均值/次	标准差	试件个数
15	0.861 9	2 770	276.2	5
	0.807 3	6 517	1 094.7	5
	0.714 0	12 574	1 809.0	6
	0.614 4	33 075	6 671.6	5
25	0.908 5	1 420	235.2	4
	0.859 1	2 270	223.9	5
	0.762 6	4 426	533.5	6
	0.663 0	10 613	1 669.4	5
	0.622 7	20 325	1 166.7	4
35	0.920 1	928	153.9	5
	0.871 8	1 450	263.2	5
	0.771 0	2 570	546.4	6
	0.677 5	6 398	1 093.8	6

根据试验结果可以得到应力水平与疲劳寿命之间的关系曲线(图 2 为 50%保证率疲劳曲线)。由此可见,应力水平与疲劳寿命在单对数坐标上表现为较好的线性关系,可以用下列方程进行拟合

$$\lg N_f = k - n(r/R) \quad (2)$$

表 5 中给出了 50%和 95%两种保证率的疲劳

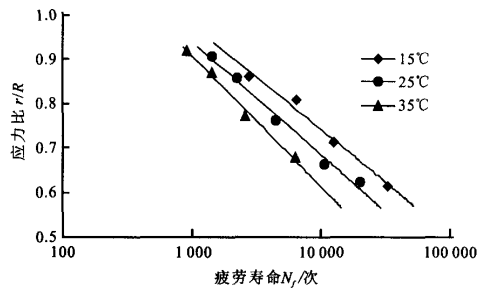


图 2 再生混合料疲劳曲线

Fig. 2 Fatigue curves of recycled mixture

方程回归结果。系数  $n$  和  $k$  具有明显的物理意义, $n$  值反映了再生混合料疲劳寿命对所施加应力的敏感程度, $n$  值越大表明疲劳寿命对应力水平的敏感程度越大; $k$  值代表了疲劳曲线的位置, $k$  值越大曲线越靠向上方,表明材料的抗疲劳性能越好<sup>[7]</sup>。

表 5 再生混合料疲劳方程回归结果

Tab. 5 Fatigue regression equation of recycled mixture

温度/℃	保证率/%	疲劳方程 $\lg N_f = k - n(r/R)$		相关系数
		$k$	$n$	
15	50	7.076 5	4.146 8	-0.972 9
	95	6.718 6	3.839 5	-0.985 1
25	50	6.625 8	3.836 8	-0.982 1
	95	6.190 3	3.451 7	-0.983 6
35	50	6.032 3	3.328 1	-0.987 5
	95	5.839 8	3.282 7	-0.973 0

### 3.3 疲劳特性分析

#### 3.3.1 温度对疲劳性能的影响

从试验图表可以看出,再生混合料疲劳系数  $n$  和  $k$  随温度变化而不同,温度越低, $n$  值和  $k$  值越大,曲线越靠近上方。这表明在应力控制方式下再生混合料的疲劳阻抗随温度降低而提高,同时其疲

劳寿命对应力水平的敏感程度也有所增强。

试验过程中通过观察试件的疲劳变形特征发现,在较低温度下试件的垂直变形随荷载作用次数的增加而缓慢增长,临近破坏时会出现一个变形急剧增大的短暂过程,试件多呈现脆性断裂。这说明在低温下再生混合料的力学性质明显表现为弹性,而其强度和模量随温度降低亦有提高这一特性已经被前述试验所证明,故疲劳试验结果与实际状况是一致的。

### 3.3.2 不同材料疲劳特性比较

为了比较再生混合料与一般基层材料疲劳性能的差异,本文总结了《沥青路面设计规范》(JTJ 014-97)中提出的水泥稳定类材料疲劳研究的一些成果(试验条件相似)<sup>[8]</sup>,见表 6 和图 3。

表 6 不同材料疲劳方程比较  
Tab. 6 Comparison of fatigue equations

混合料类型	温度 / °C	疲劳方程 $\lg N_f = k - n(r/R)$		相关系数
		k	n	
再生混合料	15	7.076 5	4.146 8	-0.972 9
	25	6.625 8	3.836 8	-0.982 1
	35	6.032 3	3.328 1	-0.987 5
水泥稳定土	---	8.728 1	7.392 8	-0.996 0
水泥稳定粒料	---	10.091 0	8.409 4	-0.998 0

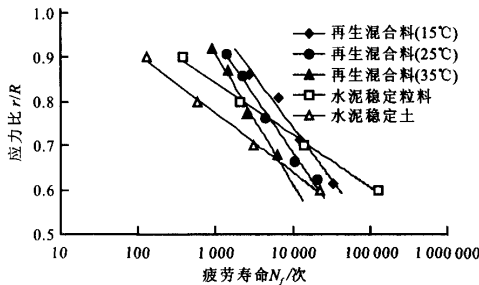


图 3 不同材料疲劳曲线比较

Fig. 3 Comparison of fatigue curves

由此可知,再生混合料的疲劳特性与一般水泥稳定类材料存在较大的差异。当应力强度比较高时( $>0.8$ ),再生混合料具有较好的疲劳性能,其各温度下的疲劳寿命都高于水泥稳定土与粒料;随着应

力水平的降低再生混合料的疲劳阻抗开始减小;并且在各温度下再生混合料的疲劳寿命对应力水平的敏感程度都要低于一般水泥稳定类材料。这主要是由于再生混合料中含有沥青,与水泥稳定土和粒料等脆性材料相比,其性状更多地偏向于粘弹性。

## 4 结 语

(1)再生混合料的力学强度性质与一般水泥稳定类材料相似,但是根据原材料类型的差异会在不同程度上受到温度的影响。

(2)在应力控制加载方式下,再生混合料的疲劳阻抗随温度降低而提高,同时其疲劳寿命对应力水平的敏感程度也有所增强。

(3)再生混合料的疲劳特性与一般水泥稳定类材料存在较大差异,在高应力水平下其具有更为优越的疲劳性能,随着应力水平的降低其疲劳阻抗开始减小,并且其疲劳寿命对应力水平的敏感程度要低于一般水泥稳定类材料。

(4)本次室内试验仅选择了一种原材料,在进一步研究中还需要扩大选材范围,用以验证和补充本文所总结的再生混合料疲劳规律。

## 参 考 文 献 :

### References :

- [1] 李 强. 水泥稳定废旧沥青混合料用于路面基层(底基层)的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2002.
- [2] 肖桂彰. 道路复合材料[M]. 北京:人民交通出版社, 1999.
- [3] Richard E Y Y, Kieran G S. Recycled crushed concrete stabilized with cementitious binders[A]. The 3<sup>rd</sup> International Conference on Road and Airfield Pavement Technology[C]. Beijing, China Communications Press, 1998.
- [4] Santucci L E, Hayashida M T. Design and testing of cold recycled asphalt mixes[J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1983, 52(3): 230—262.
- [5] JTJ 057-94, 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [6] 叶国铮. 柔性路面疲劳与优化设计[M]. 北京:人民交通出版社, 1989.
- [7] 沙爱民. 半刚性路面材料结构与性能[M]. 北京:人民交通出版社, 1998.
- [8] JTJ 014-97, 沥青路面设计规范[S].