

文章编号: 0451-0712(2006)12-0151-05

中图分类号: U414.750.3

文献标识码: A

# 高温重载下沥青混合料变形特性 三轴重复荷载蠕变试验研究

张裕卿, 黄晓明

(东南大学交通学院 南京市 210096)

**摘 要:** 为评价高温和重载对沥青混合料变形特性的影响,对 AC-20 级配的沥青混合料进行三轴重复荷载蠕变试验研究。结果表明:沥青混合料的变形随温度或应力水平的增大而迅速增大,且高温和重载同时作用会相互促进变形的发展;指标流变次数  $F_N$  和斜率  $b$  均可以较好地反映沥青混合料的高温性能,但是对于高温重载同时作用情况,斜率  $b$  或许更合适;指标截距  $a$  和永久应变  $\epsilon_p$  不适于评价沥青混合料的高温性能。

**关键词:** 沥青混合料; 三轴重复荷载蠕变试验; 高温; 重载; 流变次数

车辙是在车辆荷载的反复作用下,内部材料发生流动变形,其中无法恢复的部分变形日积月累而形成的。沥青混合料是一种粘弹性材料,其力学性能与温度和荷载密切相关。在通常的汽车荷载作用下,沥青路面的永久变形主要发生在气温高于 25℃,路表温度高于 40℃ 的高温情况<sup>[1]</sup>。另外,由于我国经济的发展,超载重载的车辆比例越来越高,这些车辆的轮胎胎压普遍高于标准的 0.7 MPa,会达到 1.0 MPa 甚至 1.3 MPa,导致路面迅速产生较大的变形而失去使用功能。可见,高温重载是影响沥青路面产生车辙的重要因素;因而,研究高温重载对沥青混合料流动变形的影响十分必要。

本文主要从温度和应力水平两方面对 AC-20

级配沥青混合料进行蠕变试验研究,为了更好地模拟实际路面受力状态,采用三轴重复荷载蠕变试验,分析和研究高温和高应力水平对沥青混合料流动变形特性的影响。

## 1 原材料选择与配合比设计

本文试验采用 70 号普通沥青,集料采用石灰岩,并选择石灰岩矿粉作为填充料。各级石料的实测密度见表 1 所示。试验采用 AC-20 级配,各筛孔集料通过百分率如表 2 所示。采用旋转压实方法成型试件并确定沥青用量,设定目标空隙率为 4%,最终确定沥青用量为 3.5%。

表 1 各级集料实测密度

集料粒径/mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	<0.075
毛体积相对密度	2.682	2.705	2.706	2.701	2.699	2.667	2.658	2.662	2.547	2.506	2.662	2.719
表观相对密度	2.706	2.735	2.742	2.749	2.755	2.713	2.725	2.701	2.704	2.686	2.670	2.719

表 2 试验采用的 AC-20 级配

筛孔尺寸/mm	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率/%	100	95.0	85.0	75.0	64.0	43.0	29.0	18.0	12.0	10.0	6.5	5.0

## 2 试验原理与方法及试件成型

### 2.1 试验原理

已有大量研究表明<sup>[1,2]</sup>,沥青混合料在荷载作用

下的变形经历三个阶段:(1)迁移期,在荷载作用下,变形迅速增大,但应变速率随时间增加逐渐减小;(2)稳定期,在荷载作用下,应变稳定增长,但应变速

率基本保持不变；(3)破坏期，在荷载作用下，应变、应变速率随时间增加迅速增大直至破坏。NCHRP 报告建议的用于评价沥青混合料高温稳定性的指标之一为流变次数  $F_N$ <sup>[2]</sup> 即定义为第三阶段开始点对应的荷载作用次数。可以通过计算永久应变  $\epsilon_p$  对荷载作用次数  $N$  的变化率 ( $\epsilon_p$  slope)，当永久应变率降低到最小后会保持恒定一段时间，其开始增大的点对应的荷载作用次数即为流动次数  $F_N$ 。图1表示了混合料变形三阶段以及  $F_N$ 。对于稳定期，永久应变和作用次数在双对数坐标系中呈指数关系，可用  $\epsilon_p = aN^b$  来拟合<sup>[3]</sup>，如图2所示。截距  $a$  为  $N=1$  时的永久应变，斜率  $b$  反映了永久应变随荷载循环次数  $N$  的变化率， $a$  和  $b$  均可以通过在双对数坐标系下线性回归得到。

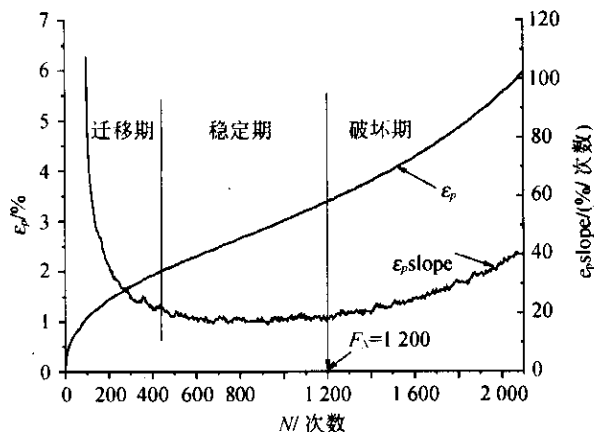


图1 蠕变变形三阶段及永久应变率曲线

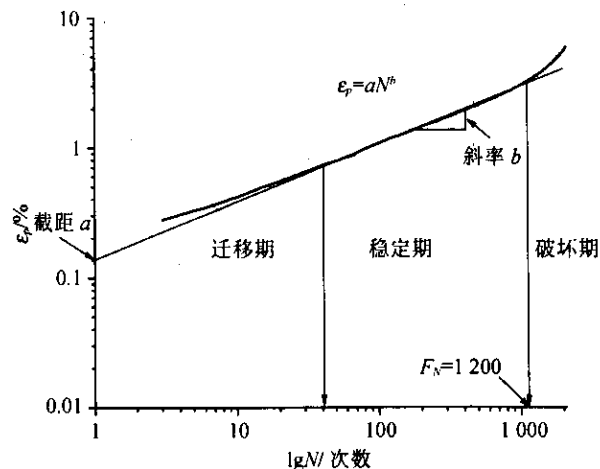


图2 双对数坐标下的变形曲线示意

NCHRP 的研究表明<sup>[2]</sup>：对于有侧限的重复荷载蠕变试验，流变次数  $F_N$  与混合料的高温性能相关性最好， $F_N$  越大，混合料劲度越大，高温性能越好；斜率  $b$

和 5 000 次作用时的永久应变  $\epsilon_p@5000$  也都能较好地反映混合料的高温稳定性能，且  $b$  和  $\epsilon_p@5000$  越大，沥青混合料高温抗变形性能越差；而截距  $a$  与高温性能相关性和准确度相对较差，不适合评价高温性能。

## 2.2 试验方法与试件成型

为了更好地模拟实际路面材料受力状态和行车荷载特性，本文试验采用 UTM4 材料试验机进行重复荷载三轴蠕变试验。对 3 个应力水平和 3 个高温水平进行全组合试验。试验参数如下。

预加载：以 5% 的轴心应力预压 90 s；

围压：138 kPa，整个试验过程保持恒定；

应力水平：0.7 MPa、0.8 MPa、1.0 MPa；

高温水平：40℃、50℃、60℃；

荷载波形：半正弦波间歇荷载，加载时间 0.1 s，间歇时间 0.9 s。

试验中通过向三轴室内气体加压，进而气体向三轴室内水加压，以达到对试件均匀施加围压之目的。试件采用旋转压实成型，为了得到端面平整且高度均匀的试件，首先成型  $\phi 150 \text{ mm} \times H165 \text{ mm}$  的大型试件，再钻芯并切割出尺寸为  $\phi 100 \text{ mm} \times H150 \text{ mm}$  的试件。并对钻芯后的试件测量空隙率，保证空隙率在  $4\% \pm 0.5\%$ ，每组试验平行试件为 3 个。为消除试件端部约束效应对蠕变结果和试验精度的影响，试验中对试件采用铺垫橡胶薄膜和薄膜间涂润滑油的方法；同时，为了防止三轴室内水对试件的侵蚀，采用乳胶膜包裹试件。试验前，将试件放置于空气浴中保温 3 h 以上，要求 UTM 实测试样芯部温度达到试验温度；同时在试验过程中，保持水温为试验温度。

## 3 试验结果分析

### 3.1 试验结果

将不同高温水平下不同高应力水平的沥青混合料永久应变变形曲线绘出如图 3 所示。

将试验结果按照 2.1 节中所述方法，得到流变次数  $F_N$  及相应永久应变  $\epsilon_p@F_N$ ，在双对数坐标系下回归得到参数  $a$  和  $b$ ，结果见表 3 所示，图示各参数变化趋势如图 4 所示。

### 3.2 应力水平对沥青混合料变形特性的影响

由图 3(a)、3(b)和 3(c)可见，在相同的温度下，随着应力水平的增大，沥青混合料变形加快，破坏期会提前到来，说明重载会加速路面车辙的产生，使路

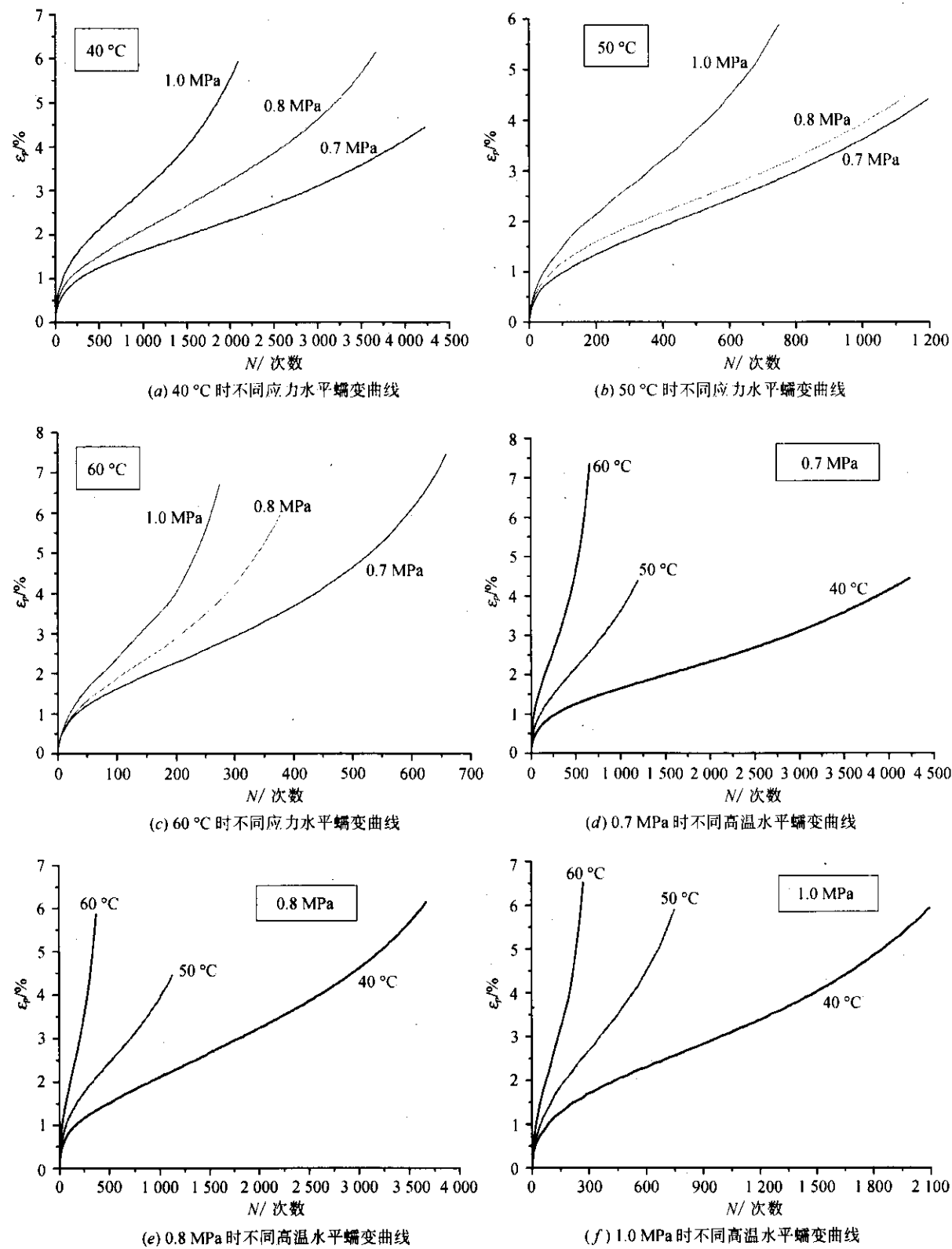


图 3 不同高温、应力水平时永久应变变形曲线

面提前失去使用功能,应当严格限制超载、高胎压车辆的行驶。由表 3 和图 4(a)、4(c)可见,在相同的温度下,随着应力水平的增大,流动次数 $F_N$  值下降,斜

率 $b$  增大;这也从具体指标上反映了沥青混合料变形随应力增大而加速的规律。

表 3 试验结果回归各参数

指标	试验条件/MPa	40 C	50 C	60 C	指标	试验条件/MPa	40 C	50 C	60 C
$F_N$ 循环次数	0.7	2 415	840	321	$\epsilon_p@F_N/\%$	0.7	2. 619	3. 102	3. 062
	0.8	1 835	720	196		0.8	3. 032	3. 024	2. 836
	1.0	1 223	452	183		1.0	3. 423	3. 496	3. 695
$a$	0.7	0. 107 1	0. 139 8	0. 204 0	$b$	0.7	0. 395 6	0. 419 7	0. 453 5
	0.8	0. 134 1	0. 152 6	0. 194 6		0.8	0. 402 4	0. 441 9	0. 489 7
	1.0	0. 144 7	0. 140 3	0. 194 5		1.0	0. 430 4	0. 510 7	0. 540 4

3.3 温度水平对沥青混合料变形特性的影响

由图 3(d)、3(e)和 3(f)可见,在相同的应力水平下,随着温度的升高,沥青混合料变形急速增大,破坏期过早到来;表 3 和图 4(b)、4(d)中的指标也可以反映出同样的规律,在相同的应力水平下, $F_N$  随温度升高而急速下降,斜率  $b$  随温度升高而增大。说明温度的升高会极大地提早车辙的发生,因此,在气温较高的地区,应当采取各方面适当的措施来提供沥青混合料高温抗车辙性能,保证路面的使用功能。

3.4 高温重载时各指标的适用性讨论

由图 4(a)可见,温度水平越高, $F_N$  值随应力水平增加而下降的幅度越小;同时,由图 4(b)可见,应力水平增大, $F_N$  值随温度升高而下降的幅度减小,说明在一般的高温 and 荷载下, $F_N$  可以较好地地区分混合料的抗变形性能,但是在极端高温重载下, $F_N$  值比较小,其变化幅度不大,或许不足以充分反映高温重载同时作用时混合料的性能,因此,作为高温重载同时下混合料变形特性的评价指标不合适。

由图 4(c)可见,温度水平越高,斜率  $b$  值随应力水平增加而增大的幅度越大;同时,由图 4(d)可见,应力水平增大,斜率  $b$  值随温度升高而增大的幅度也变大;这反映出在高温重载同时出现时,会相互促进沥青混合料变形加速。因此,指标斜率  $b$  或许是反映高温重载下沥青混合料变形特性较好的指标。

由图 4(e)及图 4(f)可见,指数模型的参数截距  $a$  和混合料发生流变时的永久应变  $\epsilon_p$  与温度和应力水平的关系都没有显示出明显的规律性,因此,将它们作为评价沥青混合料高温重载下变形性能的指标是不合适的。这与 NCHRP 报告的研究结论相一致。

4 结论

(1)在相同的温度下,随着应力水平的增大,沥青混合料变形加快,流动次数  $F_N$  值下降,斜率  $b$  增

大;破坏期提前到来,说明重载会加速路面车辙的产生,因此,应当严格限制超载、高胎压车辆的行驶。

(2)在相同的应力水平下,随着温度的升高,沥青混合料变形急速增大, $F_N$  随温度升高而急速下降,斜率  $b$  随温度升高而增大。说明温度的升高会极大地提早车辙的发生。

(3)在高温重载同时出现时,会相互促进混合料变形加速。温度水平越高, $F_N$  值随应力水平增加而下降的幅度越小;同样,应力水平越大, $F_N$  值随温度升高而下降的幅度减小,即在极端高温重载下, $F_N$  值比较小且变化幅度不大,或许不足以充分反映高温重载同时作用时混合料的变形性能。

(4)温度水平越高,斜率  $b$  值随应力水平增加而增大的幅度越大;同样,应力水平增大,斜率  $b$  值随温度升高而增大的幅度也变大;这可以很好地反映高温重载对混合料变形相互促进的规律,因此,斜率  $b$  或许是反映高温重载下沥青混合料变形特性较好的指标。

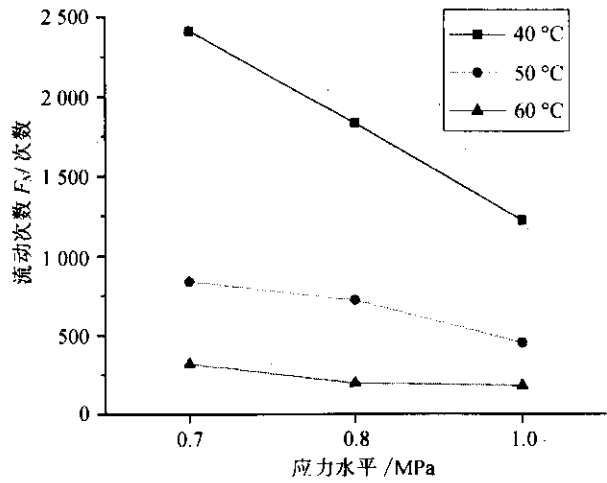
(5)指数模型的截距  $a$  和混合料发生流变时的永久应变  $\epsilon_p$  与温度和应力水平的关系都没有显示出明显的规律性,这与 NCHRP 报告的研究结论相一致。因此,将它们作为评价沥青混合料高温重载下变形性能的指标是不合适的。

参考文献:

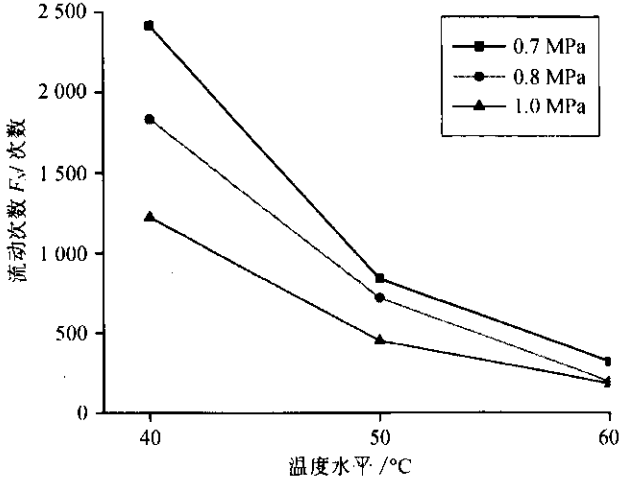
[1] 沈金安. 沥青与沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[2] Witczak M W, Kaloush K. Simple Performance Test For Superpave Mix Design [R]. Transportation Research Board NCHRP Report 465. National Research Council, Washington, D. C., 2001.

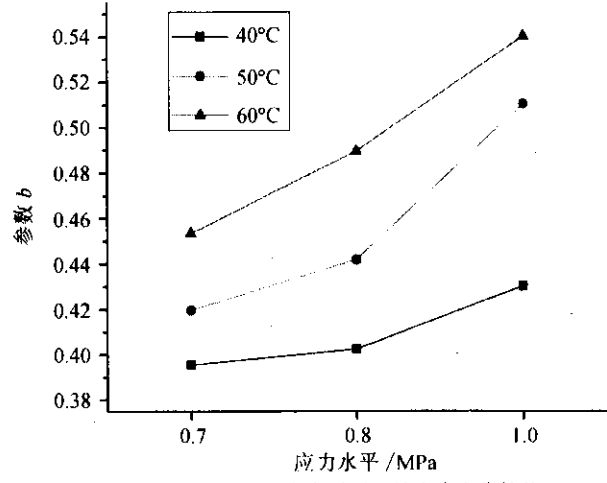
[3] Kamil. Simple Performance Test For Permanent Deformation of Asphalt Mixtures[D]. Arizona State, USA; Arizona State University,2001.



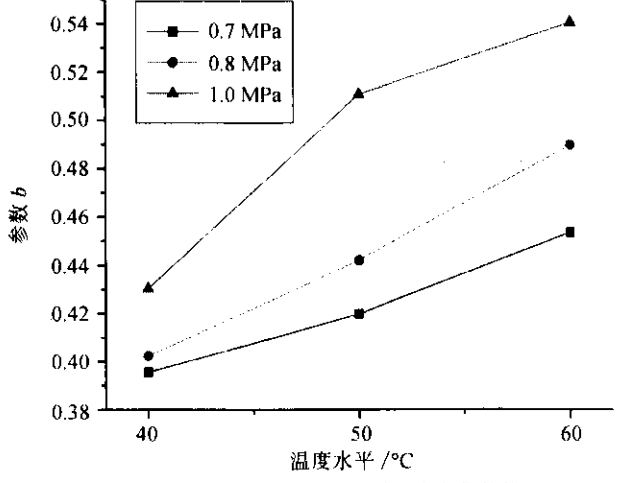
(a) 不同温度水平下  $F_N$  随应力变化趋势



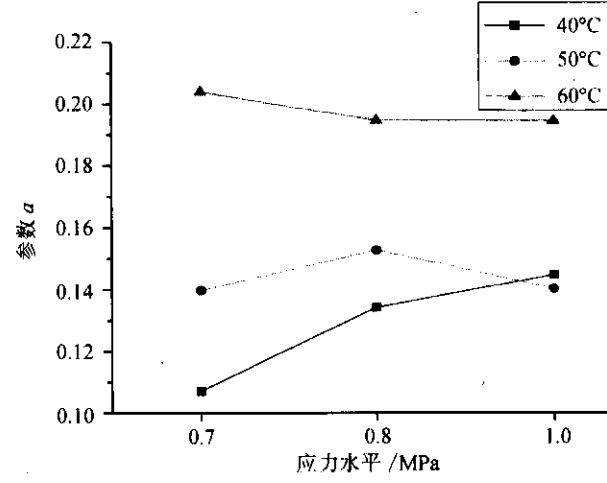
(b) 不同应力水平下  $F_N$  随温度变化趋势



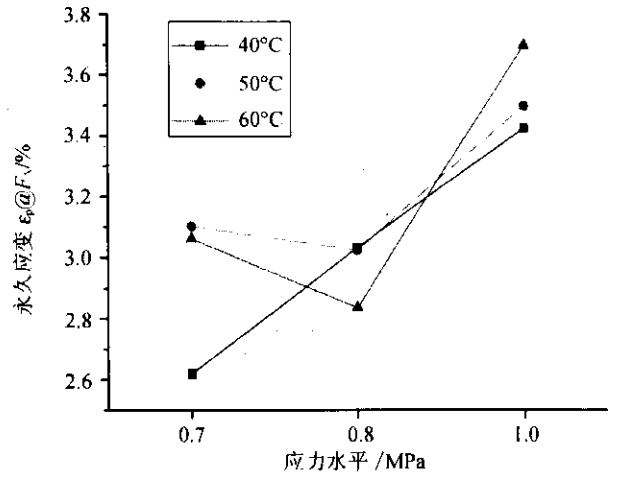
(c) 不同温度水平下  $b$  随应力变化趋势



(d) 不同应力水平下  $b$  随温度变化趋势



(e) 不同温度、应力水平时  $a$  变化趋势



(f) 不同高温、应力水平时  $\epsilon_p @ F_N$  变化趋势

图 4 不同高温、应力水平时各参数变化趋势

文章编号: 0451-0712(2006)12-0156-04

中图分类号: TU528.042.2

文献标识码: A

# 适于钢管高强混凝土的缓凝保塑 高效减水剂的研制

彭艳周, 丁庆军, 胡曙光

(武汉理工大学硅酸盐材料工程教育部重点实验室 武汉市 430070)

**摘 要:** 将聚羧酸减水剂、葡萄糖酸钠、硫酸锌等按一定比例复合, 研制出一种高减水率、低引气量的钢管混凝土专用缓凝保塑高效减水剂WUT-G(I)。配制C50 钢管混凝土时, 其最佳掺量为0.9%~1.3%; 配制C60 钢管混凝土时, 其最佳掺量为1.2%~1.6%。所配制的混凝土具有良好的工作性能: 初始坍落度大于23 cm、扩展度大于60 cm, 5 h 坍落度仍达14 cm 以上, 不离析、不泌水, 满足钢管混凝土泵送施工工艺要求。同时, 混凝土含气量小于1.8%, 能有效减少钢管混凝土中普遍存在的混凝土与钢管壁脱粘现象的产生。

**关键词:** 钢管高强混凝土; 缓凝保塑减水剂; 低引气量; 高减水率

钢管混凝土结构因其突出优点和特点在现代高层建筑和大跨径拱桥中有着广阔的应用前景<sup>[1,2]</sup>。钢管混凝土的施工工艺多采用泵送顶升法, 因而对钢管混凝土的工作性能和硬化性能指标提出了特殊的要求: 首先要求混凝土具有良好的可泵性和可操作性; 第二, 要求混凝土具有合适的补偿收缩性能和一

定的自密实性能; 第三, 核心混凝土应具有早强特性和合适的刚度, 以确保在顺序灌注钢管混凝土, 特别是灌注多根钢管组成的桁架式拱肋过程中拱肋的线形<sup>[3]</sup>。在进行钢管混凝土的配合比设计时, 通常采用掺加一定量混凝土减水剂(或复合外加剂)的方法来制备满足泵送施工工艺要求的钢管混凝土<sup>[1,2,4]</sup>。目

收稿日期: 2006-07-31

## Triaxial Repeated Load Creep Tests and Research on Deformation Property of Asphalt Mixture at High Temperature and Heavy Load

ZHANG Yu-qing, HUANG Xiao-ming

(Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Triaxial repeated load creep tests are employed to evaluate the influence of high temperature and heavy load on the deformation property of AC-20 asphalt mixture. The results indicate that the deformation of asphalt mixture ascends with the increase of temperature or stress level, and it would be accelerated in the condition of high temperature and the simultaneous high stress level. Both flow number  $F_N$  and slope  $b$  could reflect the high temperature stability of asphalt mixture, and slope  $b$  seems to be more suitable in high temperature and heavy load. The experiments also show that intercept  $a$  and permanent strain  $\epsilon_p$  are improper to estimate the high temperature characters of asphalt mixture.

**Key words:** asphalt mixture; triaxial repeated load creep tests; high temperature; heavy load; flow number