

湍流度大于 17.5% 时。因此,欲提高射程,只有两条路可走:一是增大流量,提高出口流速;二是采取大幅度降低湍流度的积极措施,如在

灭火机出口顺主流方向喷入雾滴,抑制湍流,实践证明,也唯有这两条路是可行的。

(本文于 1990 年 12 月 1 日收到)

表征沥青及沥青混合料高低温蠕变性能的流变学模型*

徐 世 法

(北京建工学院)

摘要 本文根据由高、低温蠕变实验所得到的沥青混合料的变形特性,在分析现有流变学模型性能的基础上,提出了一种能够精确地表征沥青混合料变形特性的流变学模型,导出了其蠕变方程,并根据蠕变实验结果确定了材料的模型参数。这一模型的建立,为采用流变学理论和粘弹性理论研究沥青混合料及沥青路面奠定了基础。

关键词 沥青混合料,蠕变实验,流变学模型,蠕变方程,模型参数

1. 前言

长期的生产实践和大量的科学研究表明,沥青路面常出现两种主要病害,即高温车辙与低温开裂。产生这些病害的主要原因是沥青混合料的高低温稳定性不足。这是工程力学工作者所面临的实际课题。分析国内外对该课题所进行的研究,采用流变学理论和粘弹性理论研究这一课题,不失为一有效途径。在有关的文献中已出现过多种流变学模型^[1],但用这些模型来表征沥青混合料的变形特性都存在局限性和欠精确性。本文在实验研究的基础上,提出了一种能有效地表征沥青混合料高低温变形特性的流变学模型,对这一模型建立过程进行了讨论。关于这一模型的应用,将另文讨论。

2. 沥青混合料的蠕变实验与蠕变特性分析

为了分析沥青混合料的高、低温蠕变特性,进行了既能确保精度又有推广可能性的高温压缩及低温拉伸单轴静态蠕变实验。

2.1 蠕变实验

至今,高温压缩与低温拉伸蠕变实验尚无

统一的实验标准。参考国内外有关文献^[2-5],并根据实验经验和我国路面的具体情况,确定实验条件如表 1 所示。实验中所用沥青的性能指标及沥青混合料的配比,分别列于表 2、表 3、表 4。

表 1 实验条件

实验方法	压缩蠕变实验	拉伸蠕变实验
实验应力	0.1 (MPa)	0.1 (MPa)
试件尺寸	Φ10 × 20cm (圆柱体)	Φ7 × 14cm (圆柱体)
加载时间	3 600 (s)	3 600 (s)
卸载时间	3 600 (s)	0 (s)

表 2 沥青三大指标

实验方法	沥青种类	延度(cm) 25℃	针入度 (mm/10) 25℃	软化点 (℃)
拉伸蠕变	胜利100#	82.0	86.0	50.0
压缩蠕变	丙脱(b)	>100.0	58.0	50.0

2.2 沥青混合料高低温蠕变特性分析

将蠕变实验结果点绘成以应变、应力之比(ϵ/σ_0)为纵坐标,以时间(t)为横坐标的蠕变曲线,如图 1、图 2、图 3 所示。

由图 1、2、3 中所示的蠕变曲线,对沥青混合料的高、低温蠕变特性分析如下:

* 国家自然科学基金资助课题。

表 3 压缩蠕变实验沥青混合料配比(%)

级配类型	级配代码	矿料粒径(mm)				矿粉	油石比
		10-20	5-15	0-5	0-5		
		矿料种类					
		石灰石	花岗岩	石屑	砂		
开级配	K	10	55	16	15	4	4.5
密级配	M	3	45	22	22	8	5.2

表 4 拉伸蠕变实验沥青混合料配比

粒径(mm)	2.5-5	1.2-2.5	0.6-1.2	0.3-0.6	0.15-0.3	0.074-0.15	<0.074	油石比(%)
用量(%)	29	22	15	10	7	5	12	6.5

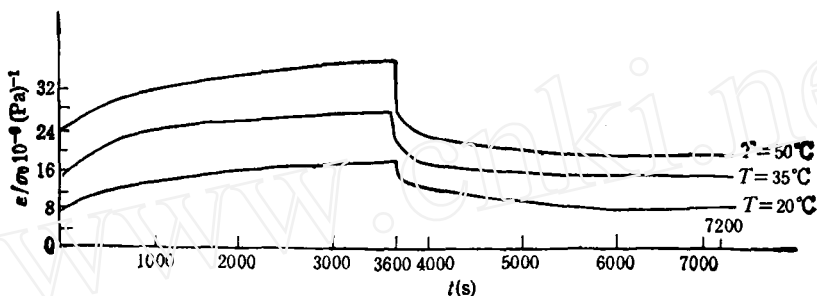


图 1 密级配丙脱沥青混合料 (Mb) 压缩蠕变曲线

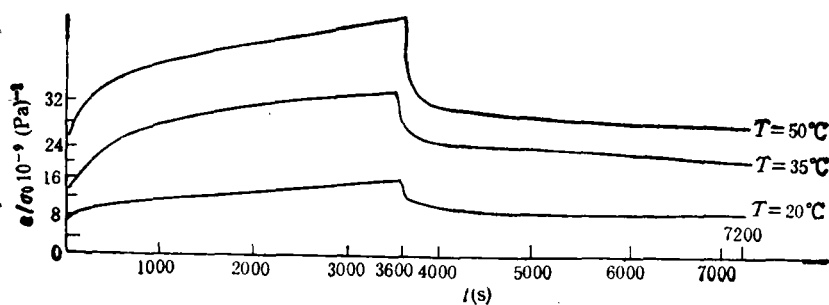


图 2 开级配丙脱沥青混合料 (Kb) 压缩蠕变曲线

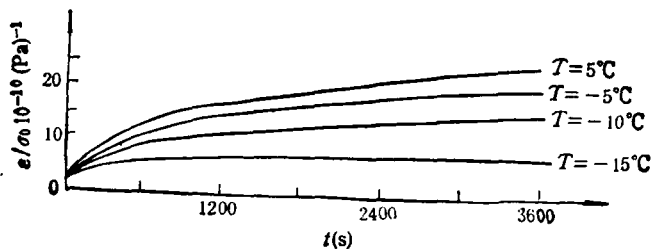


图 3 胜利沥青混合料拉伸蠕变曲线

(1) 不同温度下沥青混合料的蠕变特性在定量上有差异,但在定性上具有相似性,其应变都是由瞬时弹性应变、随时间而变化的粘弹性应变和粘性流动应变组成。

(2) 应变速率随加载时间的延长而减小,这表明沥青混合料对外力所引起应变的阻力越来越大,亦即产生了“固结效应”。

(3) 不同温度下沥青混合料的应变量有较大的差异,这说明沥青混合料具有较强的温度敏感性。

3. 流变学模型的提出

在几种常见流变学模型中, Burgers 模型相对最好,它能反映瞬时弹性应变、粘弹性应变和粘性流动应变,将粘性流动应变描述为加载时间的线性函数,但不能反映沥青混合料的重要蠕变特性——“固结效应”,这正是该模型需要改进之处。

考虑到沥青混合料具有“固结效应”,即其粘滞度随加载时间的延长而增大。对 Burgers 模型进行了如下修正:将该模型的外部粘壶扩展为一广义粘壶,它是由具有不同粘滞度的多个粘壶元件并联而成,并且随着加载时间的延长,并联粘壶的个数按一定规律增加,由此,该广义粘壶的粘滞度便随加载时间而增大,从而有效地弥补了 Burgers 模型的缺陷。结合蠕变实验结果的分析,取广义粘壶的粘滞度 $\eta(t)$ 为 $\eta(t) = A \cdot \exp(B \cdot t)$ (式中 A 、 B 为材料参

数, t 为加载历时), 并称这一模型为“四单元、五参数”模型 (E_0, E_1, η_1, A, B)。该模型能精确地反映沥青混合料的“固结效应”,其简图如图 4 所示(将广义粘壶用一具有粘滞度 $\eta(t) = A \cdot e^{B \cdot t}$ 的单一粘壶表示)。

描述该模型蠕变特性的蠕变方程,可由该模型中上部的弹簧元件(E_0)、中部的 Kelvin 元件和下部的广义粘壶元件的蠕变方程线性叠加而得

加载

$$\epsilon_t = \sigma_0 [1/E_0 + (1 - \exp(-B \cdot t))/A \cdot B + (1 - \exp[-(E_1/\eta_1) \cdot t])/E_1]$$

卸载

$$\epsilon_s = \sigma_0 [(1 - \exp(-B \cdot t_0))/A \cdot B + 1/E_1 \cdot (1 - \exp(-E_1/\eta_1 \cdot t_0))]$$

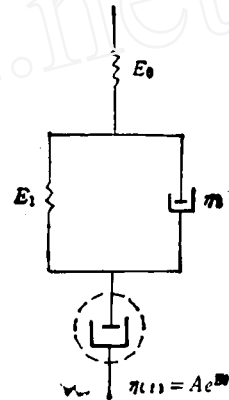


图 4 “四单元五参数”模型简图

表 5 沥青混合料的模型参数

实验方法	混合料类型	实验温度 (°C)	E_0	E_1	η_1	A	B	R
			MPa (10^2)	MPa (10^2)	s (10^4)	s (10^4)	s ⁻¹ (10^{-4})	
压缩蠕变	密级配 丙脱沥青	50	1.3	5.7	3.1	1.7	6.5	0.999
		35	2.0	3.9	15.0	2.2	6.3	0.998
		20	3.5	2.0	660.0	5.7	3.5	0.986
	开级配 丙脱沥青	50	1.0	5.2	7.4	1.0	5.4	0.998
		35	2.5	3.0	11.7	1.2	6.4	0.996
		20	5.0	22.9	148.0	5.3	1.7	0.986
拉伸蠕变	密级配 胜利沥青	5	80.0	32.0	230.0	6.8	6.1	0.999
		-5	90.0	76.0	310.0	5.3	10.6	0.999
		-10	100.0	170.0	450.0	23.5	2.9	0.998
		-15	110.0	250.0	420.0	76.0	2.1	0.995

$$\cdot \exp[-(t - t_0) \cdot E_1/\eta_1]$$

式中, σ_s 为应力, $\varepsilon_L, \varepsilon_s$ 为加、卸载过程中的应变, t 为实验时间, t_0 为加载历时, E_1, η_1, E_0, A, B 为模型的五个参数。

用模型来表征材料的性能, 需要确定材料的模型参数。根据该模型的蠕变方程, 按照最小二乘法原理, 编制了压缩和拉伸蠕变实验的曲线拟合程序 PARAM, 通过输入有关实验数据, 便可以方便地拟合出模型的五个参数, 见表 6。可见, 曲线拟合的相关系数 R 都高于 0.98, 这种相关性是目前常见模型所达不到的, 由此更进一步证明了所提出的模型的合理性及表征沥青混合料蠕变性能的有效性。

4. 结论

(1) 结合由蠕变实验所得的蠕变曲线, 分析了沥青混合性的高、低温蠕变特性。

(2) 评价了常见流变学模型的性能, 提出了“四单元五参数”模型, 导出了该模型的蠕变方程, 并拟合了沥青混合料的模型参数, 曲线拟合的结果进一步证明了所提出的模型的有效性。

(3) 各种沥青混合料的模型参数确定以

后, 便可利用该模型代替沥青混合料, 非常方便而有效地用于沥青路面高低温性能的研究。此外, 它还可用于沥青混合料的组成设计及路面结构设计, 并成为沟通这两种设计的桥梁, 从而弥补现行的沥青混合料设计同路面结构设计相互独立的缺陷, 有关情况另文讨论。

本课题的研究得到了同济大学道路交通系朱照宏教授的指导, 傅裕寿同志在本文撰写过程中提出了有益的建议并予以热情鼓励, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Monismith, C.L., First International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, 2(1962), pp. 476—496.
- [2] Ven de Loo, P.J., Creep Testing, a Sample Tool to Judge Asphalt Mix Stability, Proc. AAPT, 43(1974), pp. 253—270.
- [3] Bolz, H. J.N.A., Fifth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, 1(1962), pp. 302—319.
- [4] 徐国法, 采用粘弹性理论预估沥青路面车辙, 同济大学硕士研究生毕业论文(1988)(导师朱照宏)。
- [5] 毛晓燕, 改性沥青混合料低温松弛特性的研究, 同济大学硕士研究生毕业论文(1988)。

(本文于 1990 年 11 月 8 日收到)

单元系列模型及其在闽江水系的应用

陈毓龄 陈捷

(东南大学, 210018)

摘要 河流环境规划和管理中, 经常采用一维的物质迁移模型, 本文介绍了一个比较简单而适用的单元系列模型。此模型需要知道与模拟河段的物理特性有关的参数, 即单元数 k 和时间常数 α 。这些参数已经通过闽江流域沙溪河段的染色剂示踪试验求得。继而预测了模拟河段中每个单元随时间而变化的物质浓度。物质浓度预测值与实测值拟合良好。

关键词 迁移, 移流, 弥散, 单元系列, 模型

1. 引言

为了改进污水排放到河流的管理和制定河

流水系的环境规划, 经常应用水质模型来进行控制。通常采用移流弥散模型(AD 模型)和单元系列模型(CIS 模型)两种数学描述方法来分析河流中含有可溶解物质或悬浮物污水的移流和弥散的迁移过程。

可溶解物质和悬浮物在河流中的迁移是沿着河谷底线的移流、趋向河岸的横向混合、回水截留和由于河岸和河底的不规则性所形成的分流区综合作用的结果。水质模拟中河流迁移的预测和分析, 过去一直用 AD 模型, 但是天然河