

DOI:10. 7522/j. issn. 1000-0240. 2017. 0072
YAO Yafeng, RONG Chuanxin, CHENG Hua, et al. Fuzzy genetic inversion of creep parameters of artificial frozen soil in deep alluvium[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(3): 634–640. [姚亚锋, 荣传新, 程桦, 等. 深厚冲积层人工冻土蠕变参数的模糊遗传反演[J]. 冰川冻土, 2017, 39(3): 634–640.]

深厚冲积层人工冻土蠕变参数的模糊遗传反演

姚亚锋^{1,2}, 荣传新², 程桦^{2,3}, 徐广舒¹
(1. 南通职业大学 建筑工程学院, 江苏 南通 226001; 2. 安徽理工大学 安全科学与工程博士后科研流动站, 安徽 淮南 232001; 3. 安徽大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230022)

摘 要: 冻土的蠕变特性对深井冻结法施工至关重要。针对某矿区人工冻土在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行单轴抗压强度试验,发现冻土的抗压强度受冻结温度变化影响,两者间为线性反比例关系。通过小生境原理对传统的遗传算法作模糊随机改进,给出模糊遗传算法的步骤思路,进而运用该算法反演冻土蠕变模型中的参数值,获得各温度下的蠕变模型。试验结果表明:蠕变模型计算值在蠕变各阶段与试验值吻合较好,准确反映了冻土蠕变的整体规律。可见,模糊遗传算法能有效反演蠕变参数,较传统方法更符合工程实际。
关键词: 人工冻土;蠕变参数;模糊遗传算法;参数反演
中图分类号: TU445 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)03-0634-07

0 引言

人工冻土结构复杂,形成要素间性质各异,同时受深厚冲积层周围不确定地质环境的影响,其力学特性具有明显的模糊随机性^[1-4]。因此,如何在人工冻土试验的基础上准确有效的辨识蠕变参数,对深井冻结法设计和施工有着重要意义。

近些年,学者们关于冻土蠕变特性及参数反演纷纷展开研究。张强勇等^[5]通过大岗山坝区岩体现场剪切蠕变试验,获得不同的剪应力水平下的蠕变规律并进行岩体剪切蠕变模型辨识。齐亚静等^[6]推导了岩石在恒应力情况下的三维蠕变本构方程,并采用流变模型对三峡库区万州红层砂岩流变试验全过程曲线进行辨识,获得模型各参数值。李强等^[7]在大量冻土蠕变试验的基础上,建立了多种粘弹性和粘弹塑性流变模型,采用非线性最小二乘法反演冻土流变参数,获得冻土优选模型。袁文华^[8]构建了高应力下抛物线型黏弹塑性蠕变本构模型,编写位移反分析有限元程序,利用现场实测数据对深井冻结井筒开挖过程进行了位移反分析,

获得冻土本构力学模型参数。薛凯喜等^[9]基于加速蠕变曲线的幂函数拟合分析,建立新的非线性黏弹塑性拉、压蠕变模型,并通过 Matlab 编写 Quasi-Newton 优化算法,实现了岩石非线性黏弹塑性拉、压蠕变模型的参数辨识。由此可见,以往蠕变模型分析多数依赖概率统计方法,虽简单易用,却效率低下;另外,部分智能算法在参数反演中得到应用,但结合工程不确定性对算法模糊随机改进后进行参数反演的研究报道很少。

本文基于深厚冲积层人工冻土的单轴试验,采用小生境原理对传统的遗传算法进行模糊随机改进。在此基础上反演冻土蠕变模型中的参数值,获得各温度下的蠕变模型,为冻土蠕变特性的模糊随机分析提供可靠资料。

1 深部人工冻土单轴试验

1.1 土样加工及试验仪器

鉴于两淮地区地质地貌相似,土样选取某矿区深度为 418 ~ 422 m 的砂质粘土,含水率为 15.31%。在取样层位取得土芯样,刮去泥浆,作

收稿日期: 2017-01-08; 修订日期: 2017-03-25
基金项目: 国家自然科学基金项目(51374010; 51474004); 南通职业大学自然科学研究项目(16ZK05); 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目资助
作者简介: 姚亚锋(1978-),男,江苏南通人,讲师,2016年在安徽理工大学获博士学位,从事智能计算在地下结构工程方面的研究。
E-mail: mike. yyf@yeah. net.

好标记，用双层塑料保鲜袋包装密封，贴好标签，装箱后运至实验室加工。

试样制作严格按照我国《人工冻土物理力学性能试验规程》(MT/T593-2011)的有关标准进行。土样试件直径为 50 mm，高度为 100 mm。试件加工的规格不得小于土样中最大颗粒尺寸的 10 倍；整体外观误差 <1.0%，试样上下端平行，水平误差 <0.5 mm。

冻土单轴试验装置为 WDT-100 型试验仪。试验加载应力范围为 0~100 KN，冻结温度为 0~-50℃，试验结果和曲线能按设定程序自动采集和显示。

1.2 冻土单轴抗压试验

根据试验操作规程，将制作好的冻土试件分别在 -5℃、-10℃、-15℃、-20℃ 下进行单轴无侧限抗压强度试验。为使结果具有代表性，每组按 3 个试件分别进行，抗压试验结果如表 1 所示。

1.3 应力应变关系曲线

不同温度条件下，试验获得轴向应力应变关系

表 1 单轴抗压试验结果				
Table 1 A summary of the test results of uniaxial compressive strength				
	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
单轴抗压强度/MPa	2.23	1.43	3.26	4.06
	3.78	3.90	3.78	3.13
	2.56	3.98	3.28	4.34
均值/MPa	2.86	3.10	3.44	3.84

曲线如图 1 所示。

通过试验结果可知，深部冻土的单轴抗压强度受冻结温度变化影响，总体上，两者间呈线性反比例关系。此外，土体样本差异会导致其抗压强度的不确定性，故蠕变特征也具有模糊随机性。

鉴于实际工程中的此类不确定性，单凭有限的样本试验显然不能准确推导冻土的蠕变特性。为此，引入遗传算法进行模糊优化，获得参数的同时

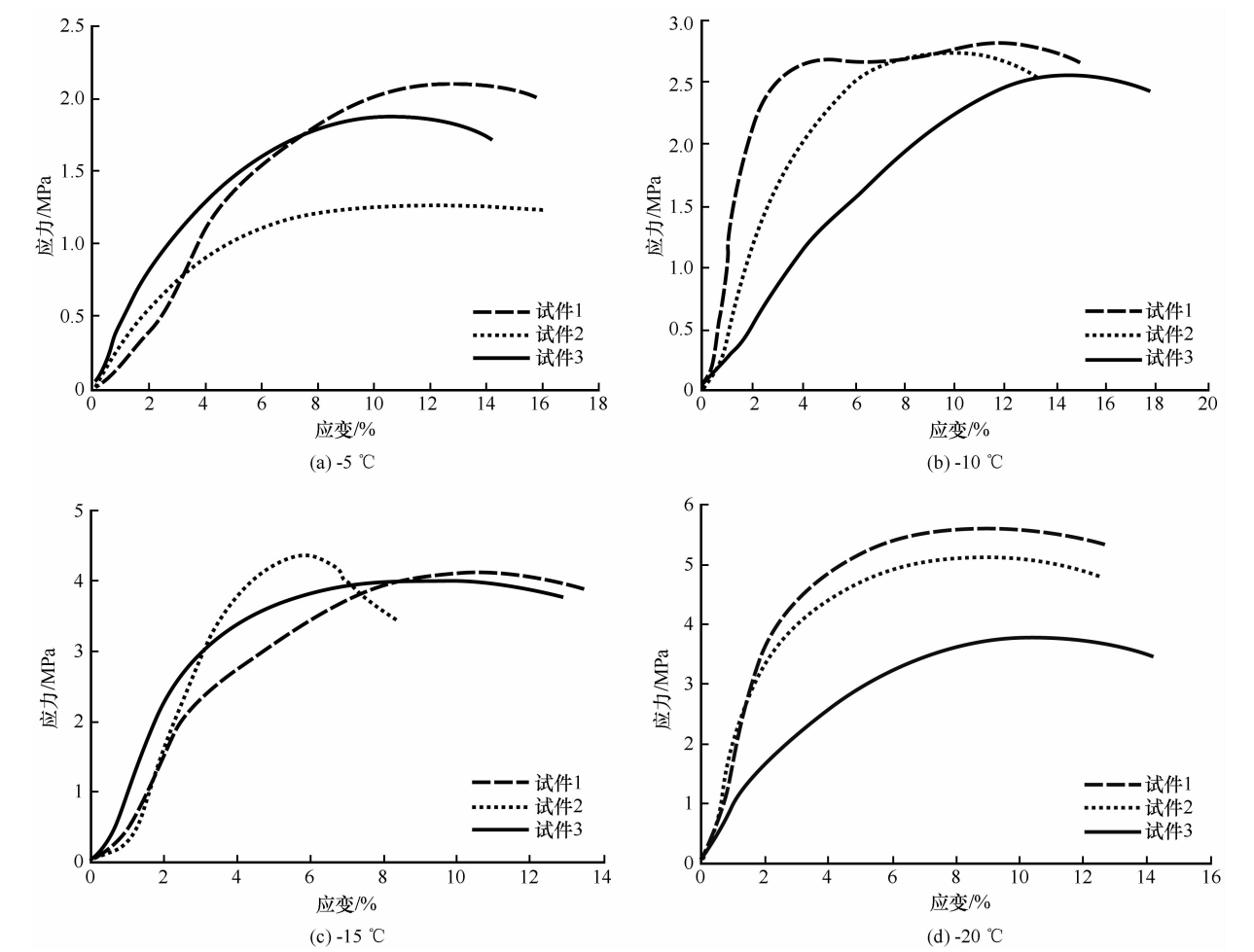


图 1 -5℃ (a)、-10℃ (b)、-15℃ (c) 和 -20℃ (d) 应力-应变关系
Fig. 1 Curves of stress-strain under -5℃ (a), -10℃ (b), -15℃ (c) and -20℃ (d)

建立蠕变特征模型。

2 模糊遗传算法

2.1 传统遗传算法

基于对自然界中生物遗传与进化的模仿,针对不同问题,Goldberg 总结出基本的遗传算法^[10-12]。他在解的空间范围内随机产生一组初始解(总群),计算种群中每个个体(染色体)的适应度,如不满足则编码,然后用遗传算子对种群进行选择、交叉和变异操作,形成新的种群,通过解码计算其适应度,直到满足优化准则为止,即得到全局最优解。

该算法特点是编码方法只使用固定长度的二进制符号串来表示群体中的个体,迭代运算中使用三种基本遗传算子:选择算子、交叉算子和变异算子。传统遗传算法的流程如图2所示。

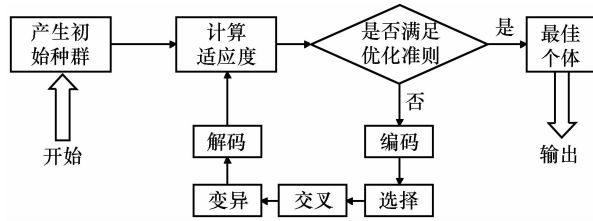


图2 传统遗传算法流程

Fig.2 Flow chart of the traditional genetic algorithm

在处理实际复杂问题时,传统的遗传算法暴露出一些弊端,如稳定性较差、计算量大;难以控制非线性约束,导致算法容易早熟等;尤其在处理工程模糊随机问题时显得无能为力。

2.2 模糊遗传算法

遗传算法通过共享函数来调整个体间的相似程度,由于相似性具有模糊随机性,故可通过小生境原理对传统遗传算法中的适应度(隶属度)进行模糊随机改进。

小生境起源于生物学中的概念,代表物种在少数条件下的特殊生存环境。由此产生的小生境原理描述为:将某代个体按属性分类,划分各自类别,在相应的类别中按适应度(隶属度)大小进行排序,选择每类中前几位组成新的种群,在不满足小生境准则的条件下,采用选择、杂交和变异形成新的个体继续循环运算,直到满足准则为止。小生境原理通过遗传算法模糊随机搜索解空间,避免局部最优的同时保证收敛效率,可为不确定性问题函数的参数辨识提供有效工具。

小生境原理改进后的模糊遗传算法思路^[13-15]:

1) 首先初始化遗传代数计数器值 $t \leftarrow 1$; 按属

性划分类别并随机选取 M 个基因元素,排列组合作为最初群体 $P(t)$ 的个体,然后通过式(1)计算各元素的遗传适应度 $F_i (i=1,2,3,\dots,M)$ 。

$$F_i = \sum_{k=1}^M \omega_k (\tilde{\omega} - f_k) \quad (1)$$

$$\omega_k = \frac{a_k}{\sum_{l=1}^M a_l} \quad (2)$$

式中: a_k 为随机数; $\tilde{\omega}$ 为 0 到 1 之间的模糊数。

2) 依据个体的适应度(隶属度)对其进行降序排列,适应度(隶属度)高的被遗传下去的概率较大,保留适应度(隶属度)较大的前 N 个个体 ($N < M$)。

3) 随机选择算子。按选择概率 P_{is} 对最初群体 $P(t)$ 进行比例选择,其方法为轮盘式随机采样,得到选择运算后的个体 $P'(t)$ 。

$$P_{is} = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^M F_i} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

式中: M 为群体规模; F_i 为个体的适应度(隶属度),可由式(4)得出:

$$F_i = \frac{\#N_i \cdot \sum_{i=1}^M F_i}{M} \quad (4)$$

式中: N_i 代表下代群体中的期望生存数, $\#N_i$ 为 N_i 的整数部分。

4) 模糊交叉算子。按交叉概率 P_c 对选择后的个体 $P'(t)$ 进行交叉运算,其方法为单点模糊交叉,得到交叉后的个体 $P''(t)$ 。

$$P_c(i) = P_c \sqrt{\left(1 - \frac{1}{M}\right)} \quad (5)$$

式中: $P_c(i)$ 表示第 i 个个体的模糊交叉概率, M 表示群体规模, P_c 为常规交叉概率。

5) 模糊变异算子。对交叉得出的个体进行概率 P_m 的变异运算,其方法为高斯模糊变异,得到变异后的个体 $P'''(t)$ 。

$$P_m(i) = 1 - \frac{2}{\exp\left(1 - \frac{i}{M}\right) + 1} \quad (6)$$

式中: $P_m(i)$ 表示第 i 个个体的模糊变异概率, M 表示群体规模。

高斯模糊变异后的新的个体基因值为:

$$G = \mu + \sigma \left(\sum_{i=1}^M r_i - \frac{M}{2} \right) \quad (7)$$

式中: μ 和 σ 分别为高斯模糊变异的均值和标准差,通过式(8)和式(9)求得; r_i 为 0 到 1 之间的模糊数。

$$\mu = \frac{U_{\min}^k + U_{\max}^k}{2}$$

(8)

$$\sigma = \frac{U_{\max}^k - U_{\min}^k}{6}$$

(9)

式中： U_{\max}^k 和 U_{\min}^k 为变异点 k 处基因的最大值和最小值。

6) 按小生境原理模糊遗传进化。将高斯变异后获得的 M 个个体和适应度(隶属度)较大而保留的 N 个个体融合归并, 进化产生新一代种群, 按式(10)计算新种群中任意两个个体间的海明距离:

$$\|X_i - Y_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^M (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

(10)

式中: $i = 1, 2, \dots, M + N - 1$; $j = i + 1, \dots, M + N$ 。当 $\|X_i - Y_j\| < L$ 时(L 为小生境距离), 按式(1)计算其适应度(隶属度), 判断 $F(X_i)$ 和 $F(Y_j)$ 值的大小, 对适应度(隶属度)小的个体通过式(11)进行小生境惩罚。

$$F'(X) = \begin{cases} F(X) & X \text{ 满足约束条件} \\ F(X) - P(X) & X \text{ 不满足约束条件} \end{cases}$$

(11)

式中: $F(X)$ 为初始化时个体的原适应函数或隶属函数; $F'(X)$ 为经过小生境惩罚函数修正后个体的新适应函数或新隶属函数; $P(X)$ 为小生境模糊惩罚函数, 用模糊系数法和拉格朗日法获得。

7) 将新一代种群个体按式(11)重新计算新适应度(新隶属度), 降序排列其值, 同步骤 2) 重新保留新适应度(新隶属度)较大的前 N 个个体($N < M$)。

8) 循环进化准则判断。设定遗传进化终止准则, 如阈值不满足准则, 选取步骤 7) 中的前 M 个个体作为新一轮的 $P(t)$ 继续进化, 置 $t \leftarrow t + 1$; 直到准则得到满足, 输出最佳个体, 退出循环。

3 人工冻土蠕变参数的模糊遗传反演

3.1 冻土蠕变模型及参数

二次世界大战初期, 美国在寒区冻土施工中遇到各种技术难题, 从而开始研究冻土的蠕变特性。大量冻土试验研究发现, 若外加应力的施加时间足够长, 即便应力值未超出弹性极限范围也可能发生蠕变, 因此分析蠕变特性对掌握冻土的力学性能具有重要意义。

蠕变模型及参数是反映冻土蠕变特性的重要指标。根据前期冻土的研究和试验, 西原体模型能较完整的描述蠕变的衰减阶段和非衰减阶段, 故可表示为如下应力应变关系:

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} (1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_1} t}) & \sigma_0 \leq \sigma_s \\ \varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} (1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_1} t}) + \frac{\sigma_0 - \sigma_s}{\eta_2} t & \sigma_0 > \sigma_s \end{cases}$$

(12)

式中: ε 为轴向蠕变应变; σ_0 为蠕变试验恒定应力水平; σ_s 为屈服应力; t 为蠕变时间; E_1, E_2, η_1, η_2 为待反演的蠕变参数。

3.2 模糊遗传算法反演参数

不失一般性, 基于人工冻结黏土试件单轴试验结果, 利用模糊遗传算法对式(12)中的蠕变参数进行模糊随机反演^[16-17], 以获取更加符合实际工况的冻土蠕变参数及模型。

设 $M = 500, N = 60, P_{is} = 0.6, P_c = 0.8, P_m = 0.1$, 小生境之间的距离参数为 0.5, 二进制编码长度为 10 位, 惩罚系数为 10^{-30} 。故以 0.5 倍冻土单轴抗压强度为例, 按模糊遗传算法步骤经过循环迭代, 最后全局最优解即为蠕变参数的反演结果, 具体值见表 2 和表 3 所示。

表 2 蠕变参数反演结果($\sigma_0 \leq \sigma_s$)

Table 2 Inversion results of creep parameters ($\sigma_0 \leq \sigma_s$)

温度 /℃	蠕变参数反演结果($\sigma_0 \leq \sigma_s$)		
	E_1 /MPa	E_2 /MPa	η_1 /MPa · h
-5	65.84	50.32	154.82
-10	78.27	59.01	165.79
-15	86.31	68.06	187.35
-20	97.38	75.14	206.13

表 3 蠕变参数反演结果($\sigma_0 > \sigma_s$)

Table 3 Inversion results of creep parameters ($\sigma_0 > \sigma_s$)

温度 /℃	蠕变参数反演结果($\sigma_0 > \sigma_s$)			
	E_1 /MPa	E_2 /MPa	η_1 /MPa · h	η_2 /MPa · h
-5	48.25	31.50	62.79	127.43
-10	56.36	39.73	76.05	145.26
-15	65.42	47.58	92.34	160.75
-20	76.53	57.92	109.51	187.34

因此, 将模糊随机反演后的蠕变参数值代入表达式可得相应的蠕变模型, 获其规律可推广到其他应力水平。

3.3 蠕变模型计算值与试验值对比

将冻土试样装在蠕变仪的上下加压头之间, 在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 四种温度下, 应力水平分别取 0.3、0.5、0.7 倍冻土单轴抗压强度(按表 1 进行取值), 采用多试件法根据要求对试件进行单轴蠕变试验。其试验结果与蠕变模型计算结

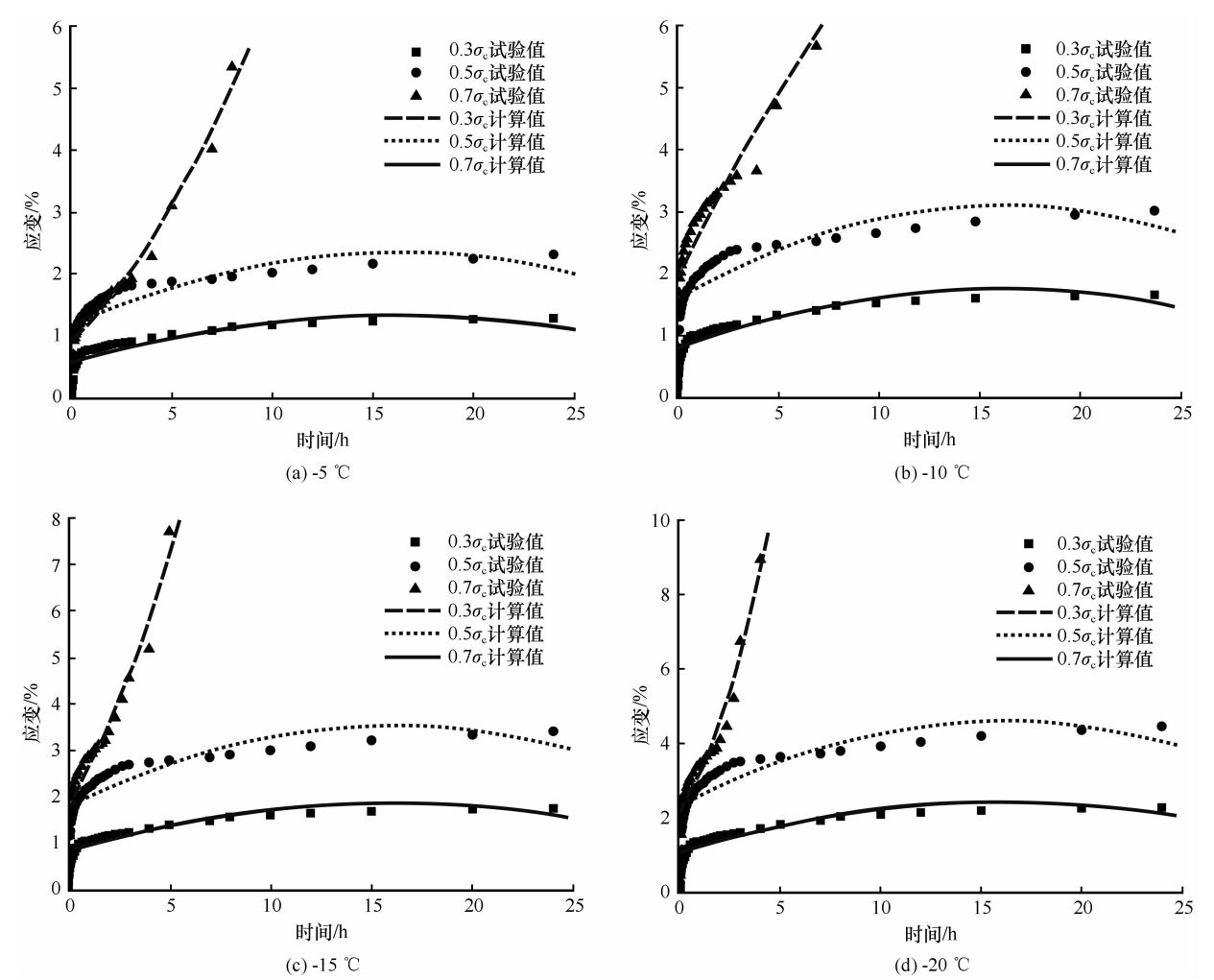


图3 -5 °C (a)、-10 °C (b)、-15 °C (c)和-20 °C (d)蠕变计算值与试验值对比曲线

Fig.3 Curves of creep, calculated and experimental, under -5 °C (a), -10 °C (b), -15 °C (c) and -20 °C (d)

果对比曲线如图3所示。

通过各温度下蠕变模型的计算值与蠕变试验值

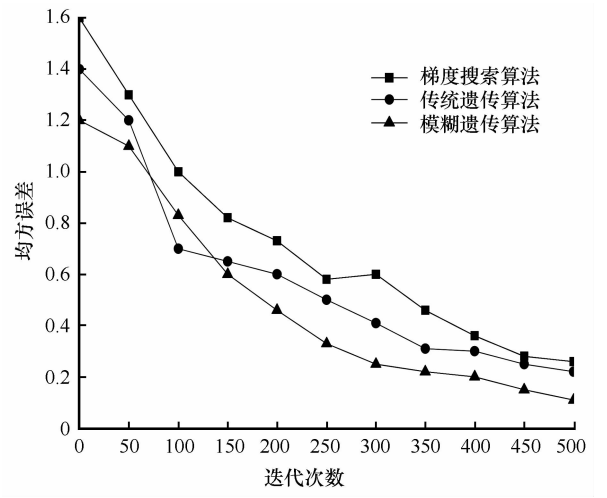


图4 算法效率对比

Fig.4 A contrast of algorithm efficiency

对比发现：改进后的模糊遗传算法能有效反演蠕变参数，使所得的蠕变模型在人工冻土的蠕变初期、稳定期及加速期均能较好的吻合蠕变试验值，准确的反映了冻土蠕变的整体规律。

3.4 模糊遗传算法效率分析

在LUNIX主机上配置RedHat 9.0系统，试验软件平台为MATLAB 2010B。在文中试验数据的基础上，分别使用模糊遗传算法、传统遗传算法和梯度搜索算法对蠕变参数进行反演^[18]，算法反演效率对比如图4所示。

由图4的算法效率对比可知，随着问题规模的增加，模糊遗传算法相比其他算法误差越来越小、效率也越来越高，具有明显的鲁棒性。

4 结论

1) 深部冻土的单轴抗压强度受冻结温度变化影响，总体上，两者间呈线性反比例关系。此外，

土体样本差异同时导致其抗压强度和蠕变特征伴随一定的模糊随机性。

2) 通过小生境原理对传统的遗传算法进行模糊随机改进, 给出模糊遗传算法的步骤思路, 进而模糊随机反演冻土蠕变模型中的参数值, 获得各温度下的蠕变模型, 相比传统方法更符合工程实际。

3) 模糊遗传算法能高效的反演蠕变参数, 使得所得的蠕变模型在冻土的蠕变初期、稳定期及加速期均能较好的吻合蠕变试验值, 准确的反映了冻土蠕变的整体规律。

参考文献 (References):

- [1] Li Dongwei, Fan Juhong, Wang Renhe. Research on visco-elastic-plastic creep model of artificially frozen soil under high confining pressures [J]. Cold Regions Science and Technology, 2011, 65(2): 219–225.
- [2] Wang Yuanzhan, Huang Dongxu, Xiao Zhong. Experimental research on creep properties of two typical soft clays in coastal region of Tianjin [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(2): 379–384. [王元战, 黄东旭, 肖忠. 天津滨海地区两种典型软黏土蠕变特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(2): 379–384.]
- [3] Yang Yugui, Lai Yuanming, Chang Xiaoxiao. Experimental and theoretical studies on the creep behavior of warm ice-rich frozen sand [J]. Cold Regions Science and Technology, 2010, 63(1): 61–67.
- [4] Zhao Baoyun, Liu Dongyan, Zheng Zhiming, et al. Non-linear visco-elastic plastic creep models of rocks based on the short time triaxial creep test [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(3): 446–451. [赵宝云, 刘东燕, 郑志明, 等. 基于短时三轴蠕变试验的岩石非线性黏弹塑性蠕变模型研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(3): 446–451.]
- [5] Zhang Qiangyong, Chen Fang, Yang Wendong, et al. Field shear creep test and creep parameters inversion for dam zone rock mass of Dagangshan hydropower station [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(9): 2584–2590. [张强勇, 陈芳, 杨文东, 等. 大岗山坝区岩体现场剪切蠕变试验及参数反演[J]. 岩土力学, 2011, 32(9): 2584–2590.]
- [6] Qi Yajing, Jiang Qinghui, Wang Zhijian, et al. 3D creep constitutive equation of modified nishihara model and its parameters identification [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(2): 347–355. [齐亚静, 姜清辉, 王志俭, 等. 改进西原模型的三维蠕变本构方程及其参数辨识[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(2): 347–355.]
- [7] Li Qiang, Wang Kuihua, Xie Kanghe. Recognition of models and back analysis of parameters for artificial frozen soils [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(11): 1895–1899. [李强, 王奎华, 谢康和. 人工冻土流变模型的识别与参数反演[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(11): 1895–1899.]
- [8] Yuan Wenhua. Artificial frozen soil sticky-elastoplastic constitutive parameter inverse analysis and research [J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(11): 3091–3095. [袁文华. 人工冻土黏弹塑性本构参数反分析研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(11): 3091–3095.]
- [9] Xue Kaixi, Zhao Baoyun, Liu Dongyan, et al. Nonlinear creep model of rock in tensile or compressive stress and its parameter identification [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(9): 1440–1445. [薛凯喜, 赵宝云, 刘东燕, 等. 岩石非线性拉、压蠕变模型及其参数辨识[J]. 煤炭学报, 2011, 36(9): 1440–1445.]
- [10] Li Shouju, Liu Yingxi, Wang Denggang. Structural vibration parameter identification method based on genetic algorithm [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(5): 256–259. [李守巨, 刘迎曦, 王登刚. 基于遗传算法的结构振动参数识别方法[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(5): 256–259.]
- [11] Gao Wei, Zheng Yingren. Backanalysis in geotechnical engineering based on fast-convergent genetic algorithm [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(1): 120–122. [高玮, 郑颖人. 改进快速遗传算法进行岩土工程反析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(1): 120–122.]
- [12] Zhao Zhenyong, Wang Li, Wang Baohua, et al. Strategy research on improved genetic algorithm [J]. Computer Application, 2006, 26(S2): 189–191. [赵振勇, 王力, 王保华, 等. 遗传算法改进策略的研究[J]. 计算机应用, 2006, 26(S2): 189–191.]
- [13] San José-Revuelta L M. A new adaptive genetic algorithm for fixed channel assignment [J]. Information Sciences, 2007, 177(13): 2655–2678.
- [14] Yin Xiaobo, Zhong Yanming, Guo Qiwu, et al. Improved GA-based identification method of power function model for rock joints [J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(1): 85–89. [尹小波, 钟衍明, 郭棋武, 等. 基于改进遗传算法的岩体结构面幂函数模型参数辨识[J]. 煤田地质与勘探, 2016, 44(1): 85–89.]
- [15] Ferentinos K P, Tsiligiridis T A. Adaptive design optimization of wireless sensor networks using genetic algorithms [J]. Computer Networks, 2007, 51(4): 1031–1051.
- [16] Liu Jie, Wang Yuan. Improved genetic algorithm in back analysis for seepage parameters of fissured rock masses [J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(2): 237–241. [刘杰, 王媛. 改进的遗传算法及其在渗流参数反演中的应用[J]. 岩土力学, 2003, 24(2): 237–241.]
- [17] Xiang Yan, Su Huaizhi. Inverse analysis for mechanical parameters based on genetic algorithm [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2003, 20(6): 55–58. [向衍, 苏怀智. 基于遗传算法的物理力学参数反演[J]. 长江科学院院报, 2003, 20(6): 55–58.]
- [18] Mao Dehua, Zou Jun, Li Jie, et al. Application of projection pursuit method based on genetic algorithm to vulnerability assessment of flood disasters [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(2): 389–396. [毛德华, 邹君, 李杰, 等. 基于遗传算法的投影寻踪方法在洞庭湖区洪灾易损性评价中的应用[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 389–396.]

Fuzzy genetic inversion of creep parameters of artificial frozen soil in deep alluvium

YAO Yafeng^{1,2}, RONG Chuanxin², CHENG Hua^{2,3}, XU Guangshu¹

(1. School of Architectual Engineering, Nantong Vocational University, Nantong 226001, Jiangsu, China; 2. Post-doctoral Research Station of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China; 3. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230022, China)

Abstract: Creep characteristics of frozen soil are the key to freezing method construction of deep shaft. In the mining area, uniaxial compressive strength tests are conducted on the artificial frozen soil at $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. It is found that the compressive strength of artificial frozen soil has a linear relation with temperature, on the whole, when the temperature is decreasing, the uniaxial compressive strength will be increasing. On this basis, traditional genetic algorithm has been fuzzy random improved by niche theory and obtained a new thought, which was used to improve fuzzy genetic algorithm to inverse creep model parameters of artificial frozen soil and obtain corresponding creep model. Experiments show that creep model can accurately reflect the frozen soil creep law because the model calculation values fit the experiment values well in each creep stage. Thus, one can see that fuzzy genetic algorithm is able to inverse parameters effectively, which is more suitable for engineering practice as compared with the traditional inversion algorithm.

Key words: artificial frozen soil; creep parameter; fuzzy genetic algorithm; parameter inversion

(本文编辑: 周成林)