

文章编号: 0253-9993(2009)02-0169-06

不同应力状态下岩石蠕变全过程

王芝银, 艾传志, 唐明明

(中国石油大学 城市油气输配技术北京市重点实验室, 北京 102249)

摘 要: 基于岩石流变理论, 采用解析方法和蠕变试验分析相结合, 研究了不同应力状态下岩石黏弹塑性变形全过程的表述方式、对应的本构方程、蠕变方程、蠕变破坏时间、蠕变变形与破坏属性, 建立了岩石三维黏弹塑性蠕变基本方程的统一格式。该统一格式可方便描述蠕变变形全过程, 包括根据不同应力状态呈现出完整 3 阶段全过程, 或其中某 2 个蠕变阶段组成的蠕变变形全过程。将其应用于以西原模型表述的三轴蠕变试验, 建立了相应的三轴蠕变本构方程、蠕变变形公式的显式。利用某地片麻岩蠕变试验结果, 验证了所建立理论模型的正确性。

关键词: 应力; 岩石; 蠕变

中图分类号: TU451 **文献标识码:** A

Complete process of rock creep in different stress states

WANG Zhi-yin, AI Chuan-zhi, TANG Ming-ming

(Beijing Key Laboratory of Urban Oil and Gas Distribution Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Based on rheological theory of rock, the expression of the complete process of viscoelasto-plastic deformation, the corresponding constitutive relationships, creep equations, creep fracture times, creep deformation and fracture properties were studied systematically using analytic method combined with creep test analysis. The unified patterns of three-dimensional viscoelasto-plastic creep equations of rock were established. The unified patterns are convenient to describe the complete process of rock creep in different stress states, no matter the process is composed by the complete three stages or by any two stages. Furthermore, the unified patterns were utilized in the tri-axial creep test which were described by the Xiyuan model to establish the explicit expressions of the corresponding constitutive relationships and deformation equations. Finally, the established theoretical models were examined by using the creep test result about some gneiss.

Key words: stress; rock; creep

岩石流变特性及蠕变变形全过程的研究从 20 世纪 30 年代末至今一直是岩石力学与工程领域关注的一个重要课题。许多专家学者对各类岩石蠕变变形全过程的第 I (瞬态蠕变或过渡蠕变或衰减蠕变)、第 II 阶段 (稳态蠕变或等速蠕变) 的研究取得了相对成熟和大量的成果, 而对岩石蠕变的第 III 阶段 (蠕变加速) 的表述方法和本构模型等研究的资料和成果相对较少。因此, 近年来, 针对岩石第 III 蠕变阶段的非线性特性, 对岩石蠕变变形全过程的研究更加活跃。综观可描述加速蠕变阶段的这些研究成果大致有以下几种: ① 提出新型流变模型, 建立对应本构方程。如将传统的虎克体、圣维南体、牛顿体与非线性黏

收稿日期: 2008-03-05 责任编辑: 常琛

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50774090)

作者简介: 王芝银 (1956—), 女, 陕西扶风人, 教授, 博士生导师, Tel: 010-89733926, E-mail: wzy3360@163.com

滞阻尼器相组合^[1-2],或再加上裂隙塑性体^[3];或将一个非线性流变元件与西原模型相串联^[4]构成新型流变模型;这些模型一般由 6~8 个元件组成;②改进西原模型中的某元件或元件参数,使得能模拟包括加速蠕变的变形全过程,如用非线性牛顿体代替西原模型中黏塑性部分的线性牛顿体^[5-6],或对西原模型中的圣维南体引入随时间变化的黏聚力和内摩擦因数^[7];③通过对 Burgers 模型中的流变参数建立与时间的非线性关系,以获得对第Ⅲ蠕变阶段的描述,如选取反映第Ⅱ蠕变阶段的黏滞性系数是时间的指数衰减函数^[8],引入损伤参量和硬化参量建立软岩的非线性蠕变模型^[9]等;④基于岩石蠕变试验,建立不同形式不同岩类的非线性蠕变模型,如对盐岩建立蠕变全过程的非线性蠕变损伤本构方程^[10]等。本文试图在已有岩石流变或蠕变研究资料基础上,对不同应力状态下岩石黏弹塑性变形全过程建立一维和三维基本方程的统一格式,并将其应用于某地片麻岩蠕变试验的结果分析。

1 岩石蠕变变形全过程分析

大量蠕变实验表明,对于硬岩和中硬岩,当瞬时施加蠕变应力小于长期强度值时,岩石处于黏弹性应力状态,具有第Ⅰ和第Ⅱ蠕变阶段变形,但第Ⅱ阶段应变速率恒为零,蠕变变形最终趋于稳定值,属稳定蠕变变形。但若岩石应力达到或超过长期强度值,蠕变变形规律与岩石材料受力后呈现出的力学属性特别是蠕变破坏特性有关。根据室内蠕变试验破坏现象,可将非稳定蠕变破坏分为蠕变韧性破坏、蠕变韧-脆破坏和蠕变脆性破坏 3 种。

(1) 蠕变韧性破坏。对应蠕变变形过程具有第Ⅰ、第Ⅱ和第Ⅲ蠕变阶段,而且加速变形阶段持续一定时段后,岩石发生失稳破坏;岩石蠕变变形全过程如图 1(a)所示。图中 t_s 为第Ⅰ和第Ⅱ蠕变阶段的分界时间值; ε_s 为对应时刻的应变值,可取为全应力应变曲线上初始屈服应力所对应的应变值; t_p 为加速变形的起始时间; ε_p 为稳态蠕变与加速蠕变的分界点应变值,可取为全应力应变曲线上峰值应力所对应的应变值; t_{FR} 为岩石的破坏时刻; ε_{FR} 为破坏时刻的应变值。

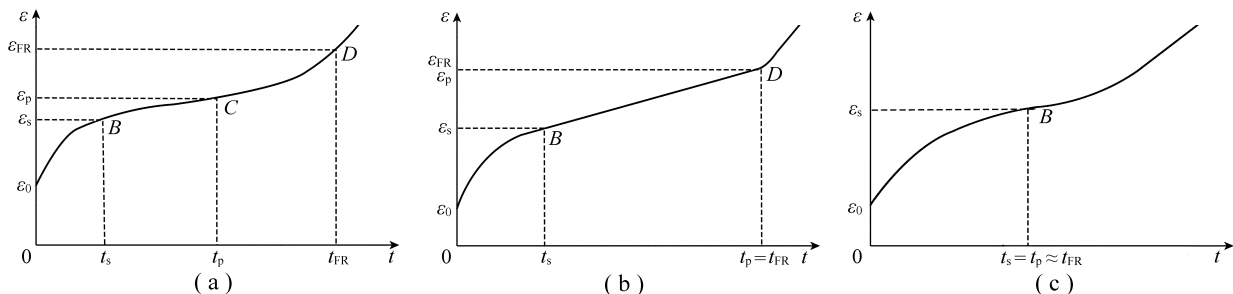


图 1 岩石蠕变全过程曲线

Fig. 1 Complete process curves of rock creep

在蠕变应力作用下,应变随时间发生变化。当应变值达到 ε_p 后,岩石内部微裂隙、孔隙产生扩展、汇聚、贯通,发展至 D 点岩石完全破坏。因此,可以认为蠕变全过程曲线中 C 点是变形损伤的开始点,即加速变形阶段伴随着岩石损伤的演化与发展,岩石最终也是由于内部微裂隙、孔隙发生、扩展、汇聚、贯通而破坏。

(2) 蠕变韧-脆破坏。岩石在蠕变应力作用下,蠕变变形具有第Ⅰ和第Ⅱ蠕变阶段,但第Ⅱ阶段应变速率大于零,变形持续发展,最终岩石发生破坏失稳,且无明显第Ⅲ蠕变阶段出现。岩石蠕变变形全过程如图 1(b)所示。

(3) 蠕变脆性破坏。岩石在瞬时施加较高应力水平,蠕变变形过程只具有第Ⅰ蠕变阶段和短暂的加速蠕变阶段,并迅速破坏。如图 1(c)所示,岩石失稳破坏,无明显第Ⅱ蠕变阶段和显著第Ⅲ蠕变阶段。

由以上对岩石蠕变变形全过程分析可见,岩石所受应力状态不同,其蠕变变形全过程也有一定的差异。对于应力达到或超过初始屈服值的蠕变过程,无论岩石变形属性如何,最终均导致岩石破坏,属于非

稳定蠕变变形。而黏弹塑性不同应力状态下的蠕变变形全过程主要体现在黏塑性阶段的差别, 只要正确表述黏塑性蠕变率在不同时间段的变化规律, 就可获得各种蠕变变形全过程的基本方程。

根据上述认识, 借用岩石全应力应变曲线确定蠕变全过程曲线上不同变形阶段的分界点位置, 建立对应变形阶段的本构关系。同时, 视岩石损伤及最终破坏均是由于变形达到了一定的临界值所致, 在第Ⅲ蠕变阶段引入损伤参数及损伤演化方程, 量化描述蠕变加速变形及变形全过程。

2 岩石蠕变全过程本构方程

2.1 具有蠕变韧性破坏特性的蠕变全过程本构方程

由流变理论^[11]可得到三维问题的黏弹性应变率^[12]为

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{\text{ve}} = \frac{P'(D)}{2Q'(D)}(\dot{\sigma}_{ij} - \dot{\sigma}_m \delta_{ij}) + \frac{1}{3} \frac{P''(D)}{Q''(D)} \dot{\sigma}_m \delta_{ij}, \quad (1)$$

式中, $P''(D)$ 与 $Q''(D)$, $P'(D)$, $Q'(D)$ 为黏弹性模型三维算子函数^[11-12]; $\dot{\varepsilon}_{ij}^{\text{ve}}$, $\dot{\sigma}_{ij}$, $\dot{\sigma}_m$ 分别为黏弹性部分的平均应变对时间的导数、应力张量、平均应力; δ_{ij} 为单位球张量。

对黏塑性变形部分, 考虑长期蠕变引起的参数劣化用损伤萌生、扩展、汇聚等来描述, 引入损伤参数, 假定以塑性初始黏滞性系数 η_2' 和损伤参数 ω 表示的塑性黏滞性系数为

$$\eta = \eta_2' [1 - \langle \omega(t - t_p) \rangle],$$

$$\langle \omega(t - t_p) \rangle = \begin{cases} 0 & (t - t_p < 0 \text{ 或 } \varepsilon < \varepsilon_p), \\ \omega & (t - t_p \geq 0 \text{ 或 } \varepsilon \geq \varepsilon_p), \end{cases}$$

式中, 损伤参数 ω 可由损伤率确定, 根据损伤理论^[13], 建议三维问题的损伤率可表示为

$$\dot{\omega} = A \left[\frac{F}{F_0(1 - \omega)} \right]^n \quad (F \geq 0), \quad (2)$$

式中, A , n 为岩石材料常数, 由实验确定; F 为岩石屈服函数; F_0 为岩石屈服函数的初始参考值。

积分式 (2) 得到岩石单轴蠕变破坏时间 t_{FR} , 即

$$t_{\text{FR}} = t_p + \left[(1 + n) A \left(\frac{F}{F_0} \right)^n \right]^{-1}.$$

于是, 用有效应力表述黏塑性蠕变, 岩石的黏塑性蠕变率可表示为

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{\text{vp}} = \frac{1}{\eta_2} \left\{ \frac{F}{F_0 [1 - \langle \omega(t - t_p) \rangle]} \right\}^m \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (F \geq 0), \quad (3)$$

式中, η_2 为塑性初始剪切黏滞性系数; m 为实验常数。

基于前述观点, 视黏弹性部分与黏塑性部分为串联关系, 由式 (1) 和 (3) 可得到黏弹塑性三维本构方程为

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{P'(D)}{2Q'(D)}(\dot{\sigma}_{ij} - \dot{\sigma}_m \delta_{ij}) + \frac{1}{3} \frac{P''(D)}{Q''(D)} \dot{\sigma}_m \delta_{ij} + \frac{1}{\eta_2} \left\{ \frac{F}{F_0 [1 - \langle \omega(t - t_p) \rangle]} \right\}^m \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (F \geq 0). \quad (4)$$

式 (4) 右端前 2 项描述第Ⅰ蠕变阶段, 最后 1 项在 $t \leq t_p$ 描述第Ⅱ蠕变阶段, $t > t_p$ 描述第Ⅲ蠕变阶段, 式 (4) 所给出的蠕变曲线如图 1 (a) 所示。

2.2 具有蠕变韧-脆破坏特性的蠕变全过程本构方程

具有蠕变韧-脆破坏特性的蠕变全过程如图 1 (b) 所示。在这种应力状态下, 蠕变变形无明显第Ⅲ蠕变阶段, 即当变形达到 ε_p 时, 岩石即刻发生破坏, 则 $\varepsilon_p \approx \varepsilon_{\text{FR}}$, $t_p \approx t_{\text{FR}}$ 。因此, 对于蠕变韧-脆破坏问题, 只需改变黏塑性蠕变率的表述公式, 忽略损伤发展过程 (这一过程很短), 按照具有蠕变韧性破坏特性的岩石蠕变全过程本构方程的建立过程获取变形基本方程。即具有蠕变韧-脆破坏特性的黏弹塑性三维本构方程为

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{P'(D)}{2Q'(D)}(\dot{\sigma}_{ij} - \dot{\sigma}_m \delta_{ij}) + \frac{1}{3} \frac{P''(D)}{Q''(D)} \dot{\sigma}_m \delta_{ij} + \frac{1}{\eta_2} \left(\frac{F}{F_0} \right)^m \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (F \geq 0). \quad (5)$$

式(5)右端前2项描述第Ⅰ蠕变阶段,最后一项描述第Ⅱ蠕变阶段.

2.3 具有蠕变脆性破坏特性的岩石蠕变全过程本构方程

当岩石受力后,蠕变过程无明显第Ⅱ蠕变阶段时,破坏时间接近变形达到 ε_s 时的时间值,而且 $\varepsilon_s \approx \varepsilon_p \rightarrow \varepsilon_{FR}$, $t_s \approx t_p \rightarrow t_{FR}$. 因此,仍可借用具有蠕变韧性破坏特性的岩石蠕变全过程本构方程的建立过程,推导建立相应的本构方程. 根据前面的分析可知,变形达到 ε_s 时,损伤即刻快速或高速发展. 因此,在建立基本方程时需将时间 t_p 换为 t_s ,将应变 ε_p 换为 ε_s ,则与具有蠕变韧性破坏特性的蠕变全过程本构方程推导类似过程得到黏弹塑性三维本构方程为

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{P'(D)}{2Q'(D)}(\dot{\sigma}_{ij} - \dot{\sigma}_m \delta_{ij}) + \frac{1}{3} \frac{P''(D)}{Q''(D)} \dot{\sigma}_m \delta_{ij} + \frac{1}{\eta_2} \left\{ \frac{F}{F_0 [1 - \langle \omega(t - t_s) \rangle]} \right\}^m \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (F \geq 0). \quad (6)$$

式(6)右端前2项描述第Ⅰ蠕变阶段,最后一项描述第Ⅲ蠕变阶段,所给出的蠕变全过程曲线与图1(c)相同.

3 岩石蠕变全过程本构方程的应用

图2为某地片麻岩三轴分级加载蠕变实验曲线. 其中实验曲线及下面相关分析采用以压缩应变为正向描述. 由第9级加载后的实验曲线可见,该岩石在当前应力状态下具有明显蠕变韧性破坏特性. 因此,考虑在常规三轴蠕变实验过程中,围压 $\sigma_2 = \sigma_3$,应变 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$. 根据式(4),基于西原模型,采用德鲁克-普拉格屈服函数,可得到具有蠕变韧性破坏特性的蠕变全过程本构方程的显式为

$$\varepsilon_1(t) = \frac{1}{9K} \left[(\sigma_1 + 2\sigma_2) + \frac{3K}{G_1} (\sigma_1 - \sigma_2) \left(\frac{G_0 + G_1}{G_0} - e^{-\frac{c_1}{m_1 t}} \right) \right] + \frac{F^m (\alpha + 1/\sqrt{3}) t \langle t_p - t \rangle}{\eta_2 F_0^m t_p - t} + \frac{(1+n)(t_{FR} - t_p)(\alpha + 1/\sqrt{3})}{\eta_2 (n-m+1)} \left(\frac{F}{F_0} \right)^m \left[1 - \left(1 - \frac{t - t_p}{t_{FR} - t_p} \right)^{\frac{n-m+1}{n+1}} \right] \frac{\langle t - t_p \rangle}{t - t_p} \quad (t \leq t_{FR}, F \geq 0), \quad (7)$$

式中, $\varepsilon_1(t)$ 为岩石的轴向蠕变分量; K , G_1 , G_0 , η_1 分别为体积弹性模量、剪切黏弹性模量、剪切弹性模量和剪切黏弹性系数; α 为与岩石黏聚力 C 和内摩擦角 φ 相关的系数.

利用本构方程式(7),由实验瞬时加载段的应力应变关系,求出岩石弹性参数 $G_0 = 4.5$ GPa, $K = 10.83$ GPa. 然后,依据蠕变变形表达式(7),选取图2中第5级加载实验曲线进行参数识别,得到 $G_1 = 201$ GPa, $\eta_1 = 502.5$ GPa·h;再取 $m=1$ 由第8级加载实验曲线获取 $\eta_2 = 23\,729.705\,2$ GPa·h. 最后,根据第9级加载实验曲线加速变形的起始点和破坏点,直接得到本次加载后 $t_p = 3.02$ h, $t_{FR} = 6.25$ h(以第9级加载瞬时作为时间起点),利用已经得到的参数 G_1 , η_1 , η_2 ,对参数 n 进行拟合,得到 $n=0.4$.

图3(a)给出了第8级加载后蠕变实验曲线与拟合解析曲线的比较,其中以第8级加载瞬时作为时间起点;图3(b)给出了第9级加载后蠕变实验变形曲线与拟合解析曲线的比较,其中以第9级加载瞬时作为时间起点;在拟合曲线中只包括 $t < t_{FR}$ 的时间段,对 $t > t_{FR}$ 段不进行拟合. 由拟合解析曲线与实验曲线的比较可见,文中所提出的蠕变全过程本构方程能很好地描述本次实验中片麻岩的蠕变变形特征及其全过程.

4 结 论

对硬岩或中硬岩,当蠕变应力水平达到或超过长期强度时,不同应力水平下岩石蠕变变形全过程与蠕变破坏特性密切相关. 本文将岩石蠕变变形全过程划分为3类,包括:

(1) 在蠕变应力水平不高的情况下,岩石具有完整蠕变三阶段的变形全过程,加速变形阶段伴随着

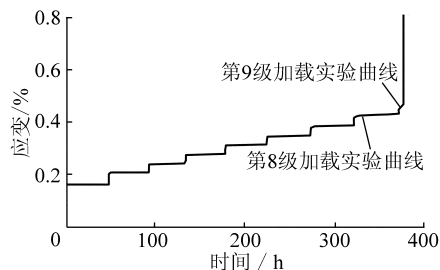


图2 分级加载实验曲线

Fig. 2 Step loading creep curve

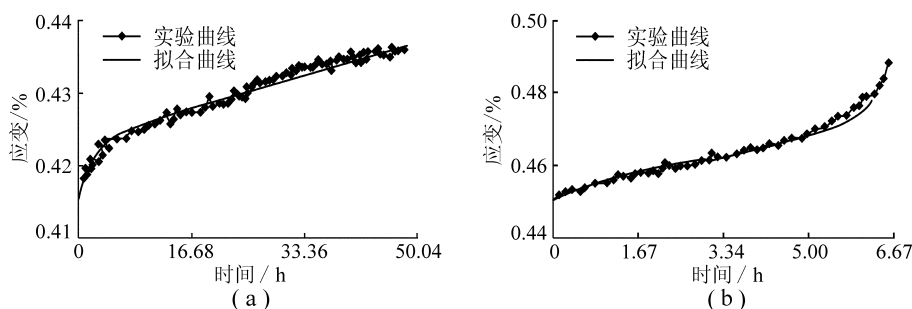


图3 第8和第9级加载实验曲线与拟合曲线的比较

Fig. 3 Comparison of test with theoretic curves (8th and 9th steps)

蠕变损伤、裂纹扩展与汇集, 经历一定时间后产生蠕变韧性破坏。

(2) 在较高应力水平状态下, 岩石蠕变变形全过程仅具有第Ⅰ和较长的第Ⅱ蠕变阶段, 在第Ⅱ蠕变变形阶段经历较长时间后, 无明显第Ⅲ蠕变阶段即刻产生蠕变韧-脆破坏。

(3) 在高应力水平作用下, 岩石蠕变变形全过程只有第Ⅰ和不太显著的第Ⅲ蠕变阶段, 岩石最终破坏呈现为蠕变脆性破坏。

文中研究了以上变形全过程的表述方式、对应的本构方程、蠕变破坏时间, 建立了相应的三维黏弹塑性蠕变基本方程的统一格式, 并将其应用于岩石三轴蠕变试验研究。通过岩石蠕变试验结果, 检验了文中所建立理论模型和本构方程的正确性。

参考文献:

- [1] 邓荣贵, 周德培, 张倬元, 等. 一种新的岩石流变模型 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (6): 780-784.
Deng Ronggui, Zhou Depei, Zhang Zhuoyuan, et al. A new rheological model for rocks [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20 (6): 780-784.
- [2] 徐卫亚, 杨圣奇, 褚卫江. 岩石非线性黏弹塑性流变模型 (河海模型) 及其应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (3): 433-447.
Xu Weiya, Yang Shengqi, Chu Weijiang. Nonlinear viscoelasto-plastic rheological model (Hohai model) of rock and its engineering application [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25 (3): 433-447.
- [3] 陈沅江, 潘长良, 曹平, 等. 软岩流变的一种新力学模型 [J]. 岩土力学, 2003, 24 (2): 209-214.
Chen Yuanjiang, Pan Changliang, Cao Ping, et al. A new mechanical model for soft rock rheology [J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24 (2): 209-214.
- [4] 杨圣奇, 倪红梅, 于世海. 一种岩石非线性流变模型 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2007, 35 (4): 388-392.
Yang Shengqi, Ni Hongmei, Yu Shihai. A kind of nonlinear rheological model for rocks [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2007, 35 (4): 388-392.
- [5] 曹树刚, 边金, 李鹏. 岩石蠕变本构关系及改进的西原正夫模型 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (5): 632-634.
Cao Shugang, Bian Jin, Li Peng. Rheologic constitutive relationship of rocks and a modified model [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21 (5): 632-634.
- [6] 邹友平, 邹友峰, 郭文兵. 改进的西原模型及其稳定性分析 [J]. 河南理工大学学报, 2005, 24 (1): 22-24.
Zou Youping, Zou Youfeng, Guo Wenbing. The modified model and its stability analysis [J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 2005, 24 (1): 22-24.
- [7] 杨圣奇, 朱运华, 于世海. 考虑黏聚力与内摩擦系数的岩石黏弹塑性流变模型 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2007, 35 (3): 291-297.
Yang Shengqi, Zhu Yunhua, Yu Shihai. Nonlinear visco-elasto-plastic rheological model of rock with consideration of cohesion

- and internal friction coefficient [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2007, 35 (3): 291 – 297.
- [8] 罗润林, 阮怀宁, 孙运强, 等. 一种非定常参数的岩石蠕变本构模型 [J]. 桂林工学院学报, 2007, 27 (2): 200 – 203.
- Luo Runlin, Ruan Huaining, Sun Yunqiang, et al. Non-stationary parameter creep constitutive model of rocks [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2007, 27 (2): 200 – 203.
- [9] 范庆忠, 高延法, 崔希海, 等. 软岩非线性蠕变模型研究 [J]. 岩土工程学报, 2007, 29 (4): 505 – 509.
- Fan Qingzhong, Gao Yanfa, Cui Xihai, et al. Study on nonlinear creep model of soft rock [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29 (4): 505 – 509.
- [10] 杨春和, 陈 锋, 曾义金. 盐岩蠕变损伤关系研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (11): 1 602 – 1 604.
- Yang Chunhe, Chen Feng, Zeng Yijin. Investigation on creep damage constitutive theory of saltrock [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21 (11): 1 602 – 1 604.
- [11] 杨挺青, 罗文波, 徐 平, 等. 黏弹性理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- Yang Tingqing, Luo Wenbo, Xu Ping, et al. Theory and application of viscoelasticity [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [12] 王芝银, 李云鹏. 岩体流变理论及其数值模拟 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Wang Zhiyin, Li Yunpeng. Rheological theory and numerical simulation of rock mass [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [13] 楼志文. 损伤力学基础 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1991.
- Lou Zhiwen. Fundamental of damage mechanics [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1991.

2009 年《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》(《煤炭学报》英文版) 征订启事

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是由中国煤炭学会主办的、向国内外公开发行的英文版煤炭科学技术方面的综合性学术刊物. 主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科学研究成果论著和学术论文, 以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结, 也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯.

《煤炭学报》英文版《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是向世界传播我国煤炭科学技术的重要媒体, 对加强中外科学技术交流, 宣传我国煤炭科学成就, 提高我国煤炭科学技术的国际地位将起到重要的作用. 及时报道我国煤炭科技新理论、新技术、新经验也是《煤炭学报》英文版的主要任务. 《煤炭学报》英文版和中文版具有不同的刊登内容和各自的特点.

《煤炭学报》英文版为季刊, 每期 112 页, 每册国内订价 28 元, 全年共收费 112 元. 订阅者可直接和本编辑部联系, 订单函索即寄, 编辑部随时办理订阅手续.

本刊地址: 北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码: 100013

联系电话: (010) 84262930, E-mail: mtxbbyh@126.com, mtxb@vip.163.com