

节理岩体法向蠕变特性的数值模拟

李观波¹, 熊良宵^{2,3}

(1. 核工业西南勘察设计研究院有限公司, 成都 610061; 2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059;
3. 华东交通大学土木与建筑学院, 南昌 330013)

摘要: 对含节理面的岩体模型进行数值模拟, 研究节理面倾角、间距和条数等对节理岩体的轴向瞬时应变、轴向蠕变应变的影响。结果表明: (1) 含单组平行贯通节理时, 且节理面等间距均匀分布时, 当节理面的倾角 β 为 90° 时, 轴向瞬时应变和蠕变应变随节理面条数的增加几乎没有变化。当节理面条数保持不变, 随着节理面的倾角 β 由 0° 增加至 90° 时, 轴向瞬时应变和轴向蠕变应变呈先增加后减小的变化规律。(2) 当节理岩体模型中含有 2 条交叉的贯通节理面时, 垂直荷载方向与第 1 条节理面间的夹角, 以及两条节理面间的夹角对节理岩体的轴向瞬时应变和蠕变应变均有所影响。

关键词: 节理岩体; 法向蠕变; 数值模拟

中图分类号: TU452; TU458 **文献标识码:** A

NUMERICAL SIMULATION OF NORMAL CREEP CHARACTERISTICS OF JOINTED ROCK MASS

LI Guan-bo¹, XIONG Liang-xiao^{2,3}

(1. Limited Company of Nuclear Industry Southwest Institute of Survey and Design, Chengdu 610061, China;
2. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
3. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The rock mass model with joint faces is numerically simulated to study the effects of the inclined angle of joint plane, joint spacing and number of joint plane on the axial instantaneous strain and axial creep strain of jointed rock mass. The results show that: (1) when there is a single group of parallel through joints, the joint surfaces are evenly spaced, and the dip angle β of the joint plane is 90° , the axial instantaneous strain and axial creep strain hardly change with the increase of the number of joint planes. When the number of joint planes remains unchanged, with the inclined angle β of joint planes increasing from 0° to 90° , the axial instantaneous strain and axial creep strain increase first and then decrease. (2) When there are two intersecting joint planes in the jointed rock mass model, the inclined angle between the vertical load direction and the first joint plane and the angle between the two joint planes have an impact on the axial instantaneous strain and axial creep strain of the jointed rock mass.

Key words: jointed rock mass; normal creep; numerical simulation

1 引言

岩体节理面的蠕变特性是影响岩体稳定性的重要因素。目前,国内外很多研究者针对节理面的剪切蠕变特性进行了很多的试验研究。

沈明荣等^[1]通过规则齿形结构面在剪切应力条件下的双轴蠕变试验,研究不同爬坡角的结构面在不同法向应力时的蠕变特性;沈明荣等^[2]选取巴顿提出的10条标准剖面线中的第1、10条作为人工模拟结构面的表面形态,并用水泥砂浆浇注成试件,在岩石双轴流变仪上,进行不同法向应力水平下的室内剪切蠕变试验;徐卫亚等^[3]对龙滩水电站大型地下洞室群围岩中的无充填节理岩石进行了剪切流变试验;张清照等^[4]通过规则齿形结构面在不同法向应力条件下的剪切蠕变试验,研究了不同角度结构面的剪切蠕变特征;杨圣奇等^[5]对龙滩水电站泥板岩进行了剪切流变试验,分析了泥板岩剪切位移随时间的变化规律;沈明荣等^[6]对含有软弱结构面的大理岩试样进行分级加载剪切流变试验,并对试验结果进行分析,探讨软弱结构面的蠕变特性。但文献[1~6]主要针对结构面的剪切蠕变特性进行试验研究。实际工程中,还需要考虑结构面的法向蠕变。

熊良宵等^[7]采用Fish语言对FLAC^{3D}软件中的Interface单元进行修正,将Interface单元的法向刚度和切向刚度转化为时间的蠕变函数,在数值分析中考虑节理面法向蠕变的节理岩体蠕变模型。但在计算时,在模型中只设置了一条倾斜的节理面和一组平行的节理面。因此,本文在文献[7]的基础上,增加节理面条数的影响,同时设置两组交叉节理面的情况,分析节理面间的夹角对节理岩体轴向应变的影响。

2 模型选择及参数选取

当节理面等间距分布时,节理面与水平面间的夹角为 0° 时,不同节理面条数时节理岩体的数值计算模型见图1。本文在进行数值模拟时,仍然采用FLAC^{3D}进行计算,计算时仍采用修正的interface。岩体模型仍然采用广义Kelvin模型。参数与文献[7]中的表1~表3相同。

3 含单组平行贯通节理时

3.1 节理面等间距均匀分布时

当节理面等间距分布时,节理面与水平面间的夹角为 0° 时,不同节理面条数时节理岩体的数值计

算模型见图1。

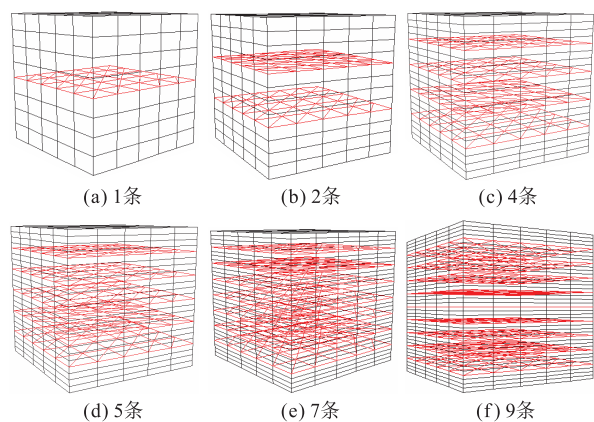


图1 含单组平行贯通节理且节理面等间距均匀分布时节理岩体的数值计算模型

当节理面的倾角 β 为 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 和 90° 时,模型中含有的节理面条数对节理岩体的轴向应变的影响见图2。

当节理面的倾角 β 为 90° 时,轴向瞬时应变随节理面条数的增加几乎没有变化,但当节理面倾角为 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 70° 时,轴向瞬时应变随节理面条数的增加呈逐渐增加的趋势。当节理面的倾角 β 为 0° 、 15° 和 90° 时,轴向蠕变应变随节理面条数的增加几乎没有变化,但当节理面倾角为 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 70° 时,轴向瞬时应变随节理面条数的增加呈逐渐增加的趋势。

当节理面条数保持不变,随着节理面的倾角 β 由 0° 增加至 90° 时,轴向瞬时应变和轴向蠕变应变呈先增加后减小的变化规律,当节理面倾角为 30° 时,轴向瞬时应变达到最大值,当节理面倾角为 60° 时,轴向蠕变应变达到最大值。

含单组平行贯通节理且节理面等间距均匀分布时节理岩体的轴向应变与节理面条数的关系曲线见图3,含单组平行贯通节理且节理面等间距均匀分布时节理岩体的轴向应变与节理面倾角的关系曲线见图4。

3.2 节理面呈不均匀分布时

当节理面与水平面间的夹角为 0° 时,且第一条节理面与模型顶面的距离保持0.1 m不变时,依次往下每隔0.1 m增加1条节理面,此时,节理面条数为1条、2条、4条、5条、7条、9条时的节理岩体的数值计算模型见图5。模型中含有的节理面条数对节理岩体的轴向应变的影响见图6~7。

当节理面的倾角 β 为 0° 时,节理面不均匀分布时,随着节理面条数的增加,节理岩体的轴向瞬时应

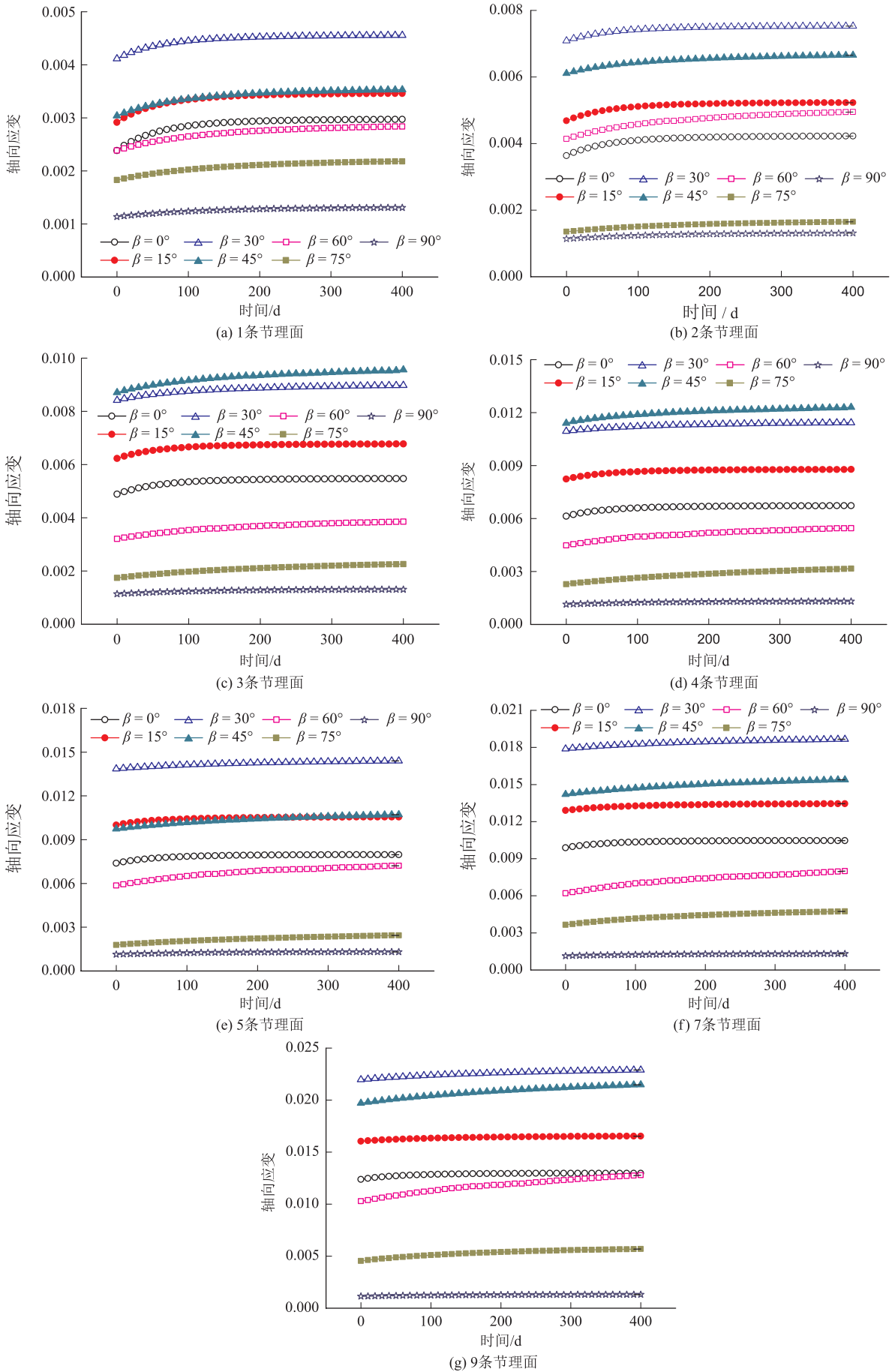


图 2 含单组平行贯通节理且节理面等间距均匀分布时节理岩体的轴向应变与时间关系曲线

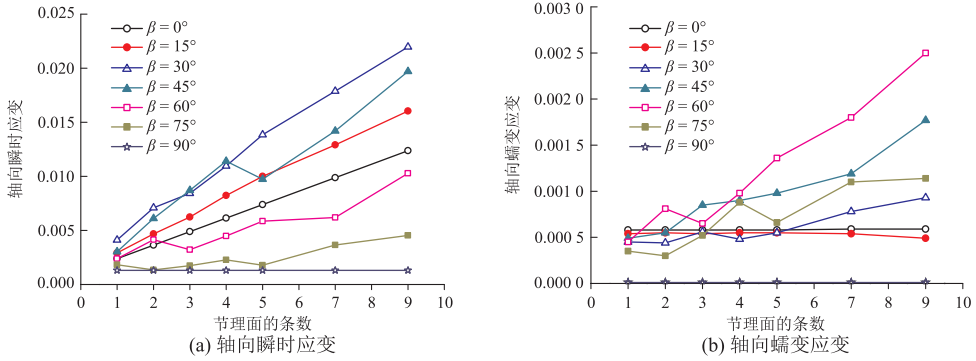


图 3 含单组平行贯通节理且节理面等间距均匀分布时节理岩体的轴向应变与节理面条数的关系曲线

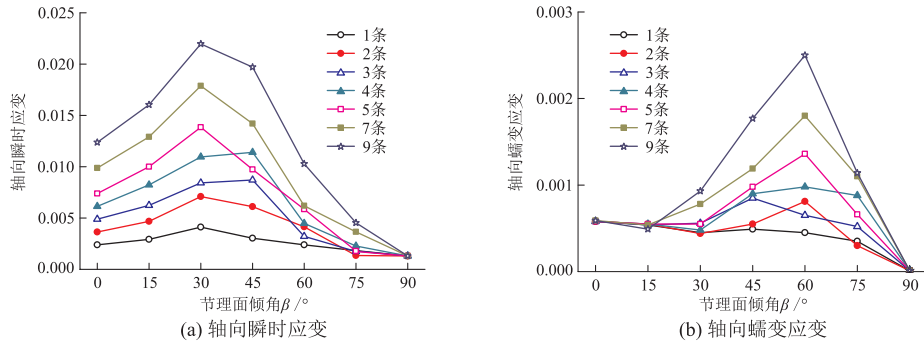


图 4 含单组平行贯通节理且节理面等间距均匀分布时节理岩体的轴向应变与节理面倾角的关系曲线

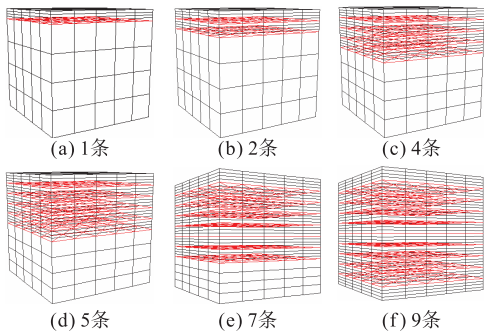


图 5 节理面不均匀分布时不同节理面条数的节理岩体的数值计算模型

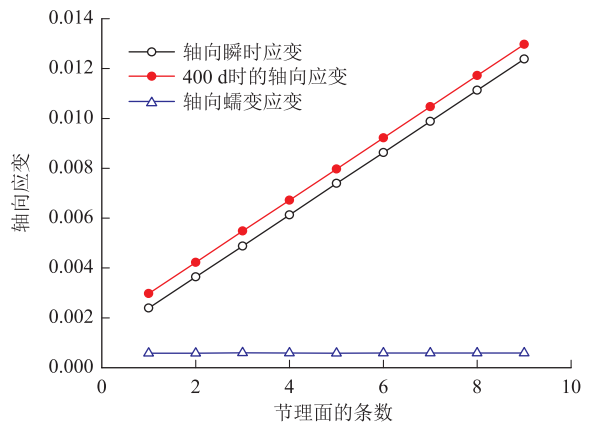


图 7 节理面不均匀分布时不同节理面条数的节理岩体的轴向应变与节理面条数的关系曲线

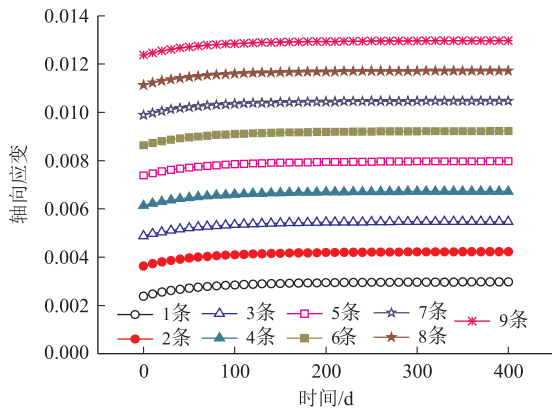


图 6 节理面不均匀分布时不同节理面条数的节理岩体的轴向应变与时间的关系曲线

变和 400 d 时的轴向应变均呈逐渐增加的趋势,但轴向蠕变应变几乎未有变化。

当模型中含有 2 条节理面,这 2 条节理面与水平面间的夹角为 0° 时,且第一条节理面与模型顶面的距离保持 0.1 m 不变时,依次改变第 2 条节理面与第 1 条节理面间的距离 d ,当 d 值依次为 0.1 m、0.5 m 和 0.8 m 时节理岩体的数值计算模型见图 8。节理面间距 d 对节理岩体的轴向应变的影响见图 9。

当模型中含有 2 条节理面,这 2 条节理面与水

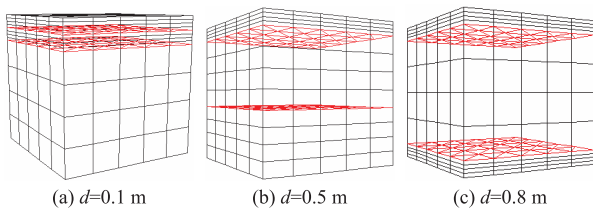


图 8 含有 2 条平行节理面时节理岩体的数值计算模型

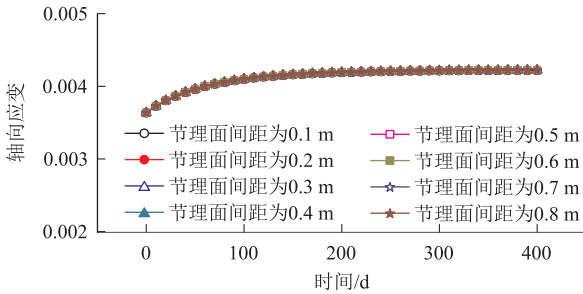


图 9 含有 2 条平行节理面时节理岩体的轴向应变与时间关系曲线

平面间的夹角为 0° 时,且第一条节理面与模型顶面的距离保持 0.1 m 不变时,随着第 2 条节理面与第 1 条节理面间的距离 d 逐渐增加,节理岩体的轴向应变未有明显变化。

4 含 2 条交叉的贯通节理面时

当节理岩体模型中含有 2 条交叉的贯通节理面时,其模型示意图如图 10 所示。

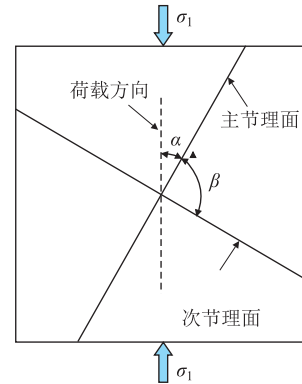


图 10 含 2 条贯通交叉节理面的节理岩体模型

图 10 中, α 为竖直荷载方向与第 1 条节理面间的夹角, β 为第 2 条节理面与第 1 条节理面间的夹角。当保持 α 为 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 时,依次改变 β 时节理岩体模型的轴向应变-时间关系曲线见图 11。

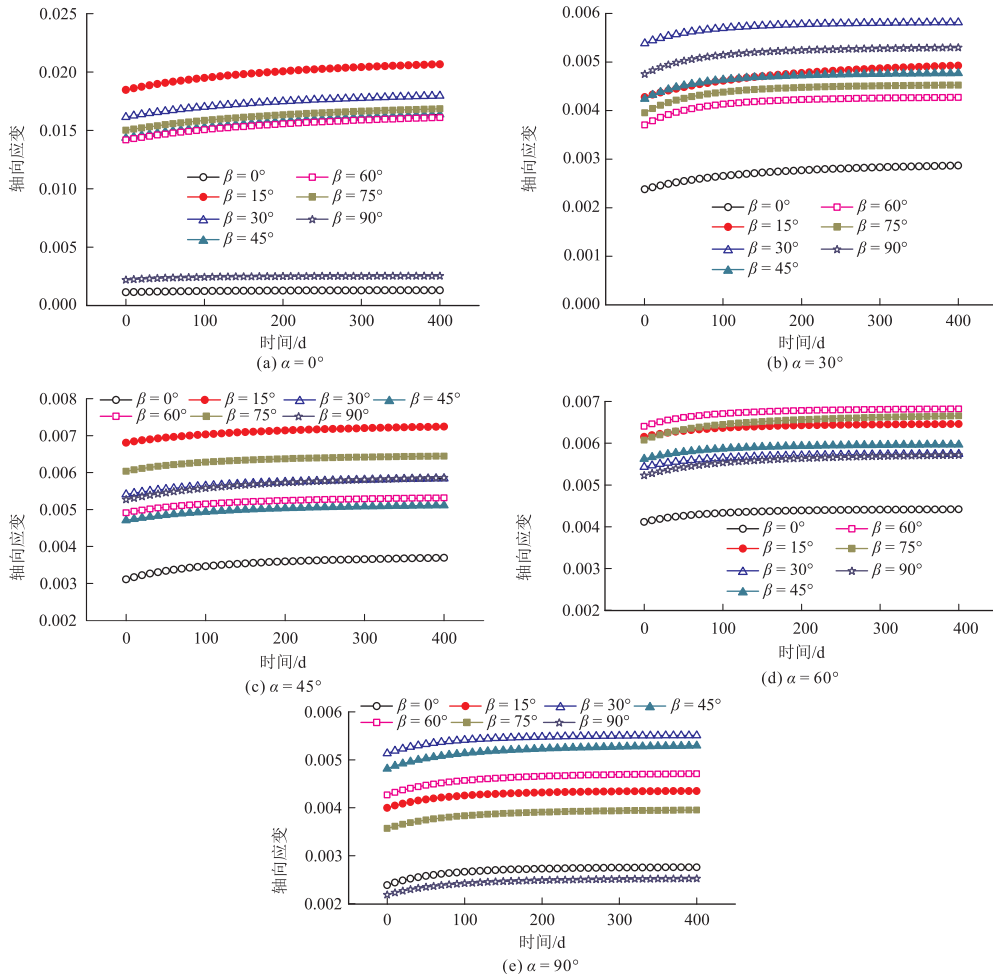


图 11 含有 2 条交叉的贯通节理面时节理岩体的轴向应变与时间的关系曲线

含有 2 条交叉的贯通节理面时节理岩体的轴向应变与 β 的关系曲线见图 12, 含有 2 条交叉的贯通

节理面时节理岩体的轴向应变与 α 的关系曲线见图 13。

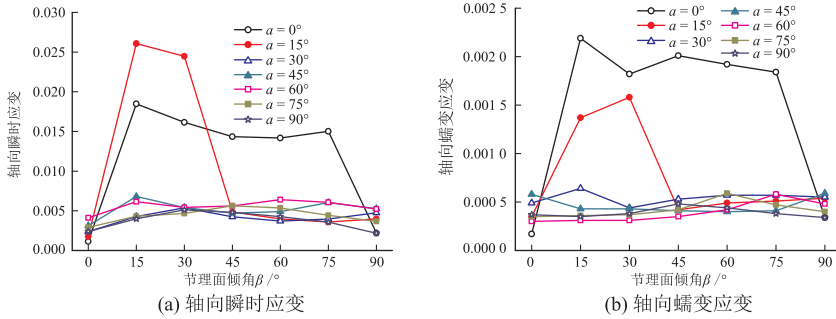


图 12 含有 2 条交叉的贯通节理面时节理岩体的轴向应变与 β 的关系曲线

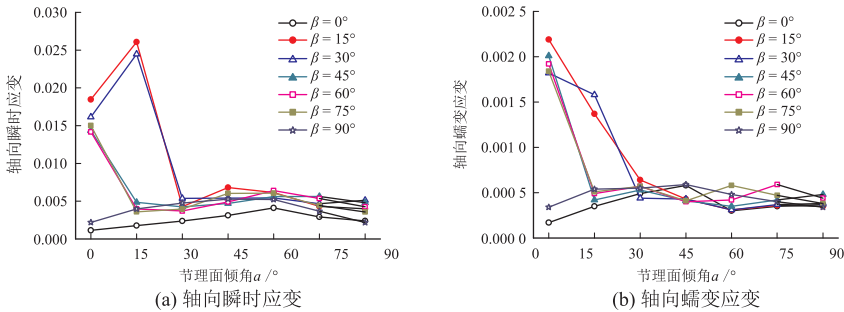


图 13 含有 2 条交叉的贯通节理面时节理岩体的轴向应变与 α 的关系曲线

当 α 为 0° 和 15° 时, 轴向瞬时应变和蠕变应变随 β 的增加有明显变化, 但当 α 为 $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 和 90° 时, 轴向瞬时应变和蠕变应变随 β 的增加未有明显变化。

当 β 为 0° 和 90° 时, 轴向瞬时应变和蠕变应变随 α 的增加未有明显变化, 但当 β 为 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 和 75° 时, 轴向瞬时应变和蠕变应变随 β 的增加有明显变化。

今后还有待进一步结合实验和其它数值模拟查明出现这种结果的原因。

5 结论

(1) 含单组平行贯通节理时, 且节理面等间距均匀分布时, 当节理面的倾角 β 为 90° 时, 轴向瞬时应变和蠕变应变随节理面条数的增加几乎没有变化。当节理面条数保持不变, 随着节理面的倾角 β 由 0° 增加至 90° 时, 轴向瞬时应变和轴向蠕变应变呈先增加后减小的变化规律。

(2) 含单组平行贯通节理时, 当节理面的倾角 β 为 0° 时, 节理面不均匀分布时, 随着节理面条数的增加, 节理岩体的轴向瞬时应变和轴向应变均呈逐渐增加的趋势, 但轴向蠕变应变几乎未有变化。

(3) 当模型中含有 2 条节理面, 这 2 条节理面

与水平面间的夹角为 0° 时, 且第一条节理面与模型顶面的距离保持不变时, 随着第 2 条节理面与第 1 条节理面间的距离 d 逐渐增加, 节理岩体的轴向应变未有明显变化。

(4) 当节理岩体模型中含有 2 条交叉的贯通节理面时, 竖直荷载方向与第 1 条节理面间的夹角, 以及两条节理面间的夹角对节理岩体的轴向瞬时应变和蠕变应变均有所影响。

参考文献

- [1] 沈明荣, 张清照. 规则岩体结构面的蠕变特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增 2): 3973-3979.
- [2] 沈明荣, 谌洪菊, 张清照. 基于蠕变试验的结构面长期强度确定方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 1-7.
- [3] 徐卫亚, 杨圣奇. 节理岩石剪切流变特性试验与模型研究[J]. 岩土力学, 2005, 24(增 2): 5536-5542.
- [4] 张清照, 沈明荣, 丁文其. 结构面的剪切蠕变特性及本构模型研究[J]. 土木工程学报, 2011, 44(7): 127-132.
- [5] 杨圣奇, 徐卫亚, 杨松林. 龙滩水电站泥板岩剪切流变力学特性研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(5): 895-902.
- [6] 沈明荣, 张清照. 绿片岩软弱结构面的剪切蠕变特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(6): 1149-1155.
- [7] 熊良宵, 杨林德. 考虑节理面法向蠕变的节理岩体蠕变模型[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(3): 814-821.