

节理控制的降雨入渗通道 对黄土开挖边坡稳定性的影响

王新刚¹ 余宏明^{1*} 胡 斌¹ 连宝琴²

(1. 中国地质大学工程学院 湖北 武汉 430074; 2. 广州城建职业学院建筑工程系 广东 广州 510925)

摘 要: 黄土节理控制着黄土开挖边坡地表径流的主要入渗通道,在降雨作用下黄土节理将逐步发育成大的入渗通道,加剧了黄土开挖边坡的破坏。通过野外现场地质调查,统计黄土开挖边坡的节理裂隙、入渗贯穿通道分布状况,得出不同开挖边坡高度的入渗通道间距与开挖边坡高度高斯拟合关系式;根据入渗通道分布关系式,概化建立降雨入渗通道的演化数值分析模型,利用岩土工程软件 Flac3D 模拟分析山西忻州河曲运煤大道黄土开挖边坡在降雨状况下入渗通道发育过程,分析了 40 mm/d、80 mm/d、120 mm/d 三种降雨工况下降雨 24 h 的入渗通道演化过程及开挖边坡破坏程度,以及降雨对黄土开挖边坡的影响;指出在降雨作用下入渗通道在坡高 60 m 左右破坏严重,坡高高于此高度应注意入渗通道的剧烈扩展并加以防治。借用野外统计、调查结果概化建立入渗通道扩展演化数值模型,可以为工程地质条件相同黄土开挖边坡地区降雨作用下稳定破坏分析以及防治提供一种有效分析方法。

关键词: 入渗通道;黄土节理;演化过程;数值分析模型

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

降雨与人类工程活动是黄土地区滑坡灾害的主要诱发因素^[1]。在降雨过程中,雨水难以完全入渗至土体内部,大部分形成地表径流^[2];节理在我国黄土地区普遍发育,而黄土中天然存在的节理控制着黄土开挖边坡地表水的入渗通道^[3],节理在降雨作用下逐步发育成大的落水孔、洞形成大的入渗通道,加剧了黄土开挖边坡的破坏^[4],从而导致边坡产生塌滑,进而导致黄土开挖边坡失稳。

本文以山西忻州神达梁家碛露天矿运煤大道开挖边坡为研究对象,通过野外现场地质调查,统计黄土开挖边坡的节理裂隙、入渗贯穿通道分布状况;利用岩土工程软件 Flac3D 模拟分析黄土开挖边坡在降雨状况下入渗通道发育过程,以及降雨对开挖

边坡的影响。

1 工程概况

山西忻州神达梁家碛煤矿位于河曲县城东北处,矿区地表大部分被黄土所覆盖,基岩出露很少,其地貌形态以中低山、低山丘及黄土梁峁为主,山顶呈浑圆状,河谷呈树枝状,多为“V”形谷。矿区地处黄土低山丘陵区,生态环境比较脆弱,水土流失较严重。在该区域进行大规模的露天开采工程,会加剧水土的流失,进而导致各种突发性地质灾害发生。通过野外现场调查,发现该区域已开挖的黄土运煤大道边坡(图 1)具有明显的构造节理(图 2),黄土

收稿日期(Received date): 2013 - 04 - 09; 改回日期(Accepted): 2013 - 04 - 27。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金面上项目(41172281), 中央高校基本科研业务费专项资金项目(摇篮人才计划 CUGL100413、特色学科团队 CUG090104), 国家科技部 973 项目(2011CB710604) 资助。[These research results are supported by the National Natural Science Fund Projects (41172281); the Fundamental Research Funds for the Central Universities of China (No. CUGL100413), National Science and Technology of China 973 Item(No. 2011CB710604).]

作者简介(Biography): 王新刚(1985 -) 男,中国地质大学在读博士,主要从事边坡稳定性分析、数值模拟等研究。[Wang Xingang, male, born in 1985, Ph D. student in Department of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China. Major research: slope stability analysis, numerical simulation.]E - mail: 328062223@qq.com

* 通信作者(Corresponding author): 余宏明 男 教授 博士生导师。[Yu Hongming, professor, doctoral tutor.]E - mail: yuhongming56@sohu.com

节理在降雨作用下会形成地表径流的入渗通道,进而加剧黄土开挖边坡的破坏。



图 1 运煤大道边坡位置图
Fig. 1 The coal transport road's slope position

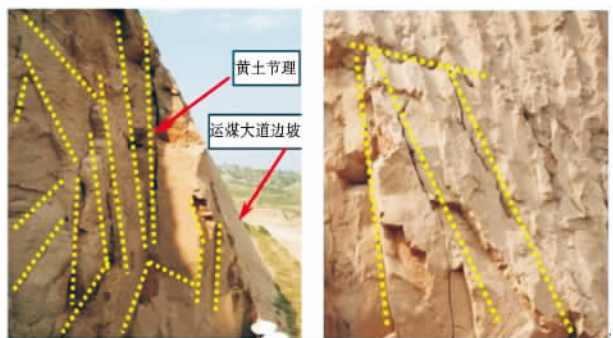


图 2 黄土节理
Fig. 2 Loess joint

2 开挖边坡节理与入渗通道分析

2.1 开挖边坡节理

根据现场区域节理裂隙调查成果以及前期边坡勘察试验成果,用 disp 软件绘制节理散点图(图 3)和节理玫瑰花图(图 4)。从图 5 可以看出该区域黄土开挖边坡缓倾角节理的较少,垂直节理较多,垂直节理更易在降雨作用下形成贯通的地表径流通道。

2.2 开挖边坡入渗通道调查

由于开挖边坡坡顶为原始山坡山脚,开挖边坡坡顶雨水大量汇集于此(图 6),受降雨水流冲刷作用,坡面上形成了大小不等的贯通型入渗通道。对不同高度开挖边坡入渗通道条数统计分析,得出入渗通道间距与开挖边坡高度关系(图 7)。

入渗通道间距与开挖边坡高度关系高斯拟合公式为

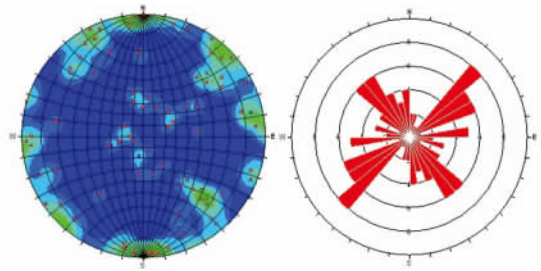


图 3 黄土节理散点图
图 4 黄土节理玫瑰花图
Fig. 3 Loess joint scatter diagram
Fig. 4 Loess joint rose diagram

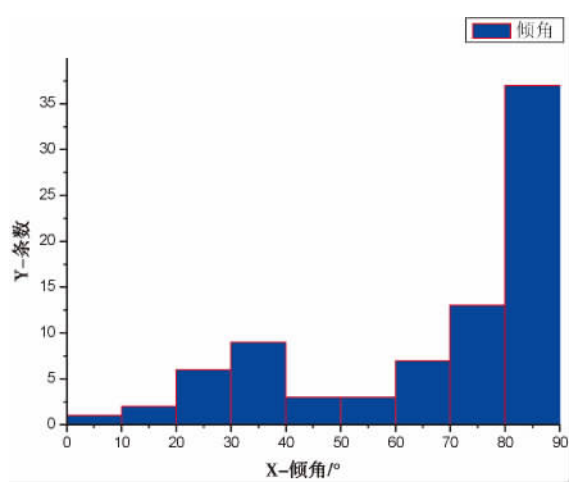


图 5 黄土节理倾角分布统计图
Fig. 5 Loess joint Angle distribution diagram



图 6 运煤大道开挖边坡
Fig. 6 Excavation slope of coal road

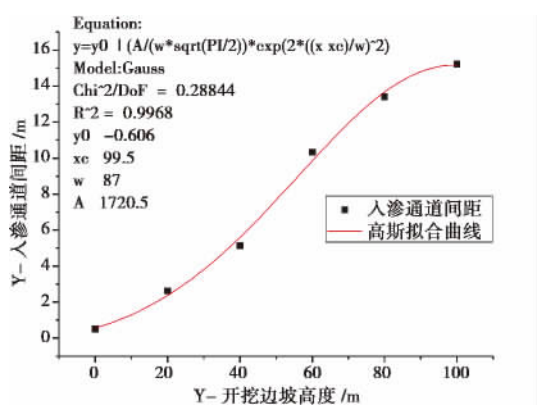


图 7 入渗通道间距与开挖边坡高度关系图
Fig. 7 The relationship of infiltration channel spacing and excavation slope height's diagram

$$y = -0.6 + (1720.5 / (87 \times (\pi/2) - 2)) \times e^{(-2 \times ((x - 99.5) / 87)^2)}$$

(1)

式中 y 为开挖边坡高度 x 为渗流通道间距。

降雨通过渗入黄土边坡而影响其稳定性,但黄土的渗透性很低,当雨强达到 40 mm/d 时,下渗深度不超过 2 m,而达到 120 mm/d,则下渗深度不超过 3 m^[4-7]。在连续降雨作用下,因为渗透深度有限,地表径流作用变强,雨水通过入渗通道流失,入渗通道也随地表径流的流失而扩展,入渗通道的扩展会加剧开挖边坡的破坏。随降雨量的增大,开挖边坡坡面破坏严重稳定性降低。

3 降雨情况下渗透通道演化数值分析

根据野外现场调查资料,以及山西忻州神达梁家碛露天矿运煤大道开挖边坡开挖设计图,建立数值分析模型,入渗通道分布根据图 7 和(1)式选取,采用有限元软件 ANSYS 的前处理,导入岩土工程模拟计算软件 FLAC3D 中(图 8),模型共 92 245 个单元,12 894 个节点,将计算模型底面和 4 个侧面固定,顶面自由。模型计算参数如表 1。

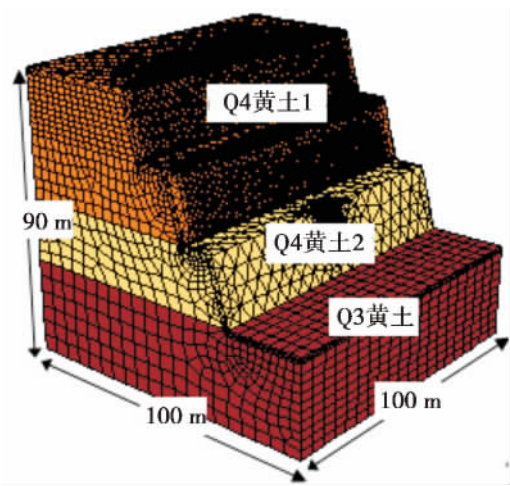


图 8 数值模型图
Fig. 8 Numerical model

降雨作用分 40 mm/d、80 mm/d、120 mm/d 三种工况,降雨时间为 1 d,雨水下渗深度为 2 m、2.5 m、3 m,其他通过地表径流以及入渗通道流失。第一种工况,降雨 1 d 后开挖边坡第一级台阶渗透通道扩展形成;第二种工况,降雨 1 d 后开挖边坡第二级台阶渗透通道扩展形成;第三种工况,降雨 1 d 后开挖边坡第三级台阶渗透通道扩展形成。

表 1 模型计算参数

Table 1 Calculation parameters of model

岩土名称	密度/(g/cm ³)	内聚力/(kPa)	内摩擦角/°
Q4 黄土 1	1.86	5	22
Q4 黄土 1 饱和	1.97	4	18
Q4 黄土 2	1.96	16	26
Q4 黄土 2 饱和	2.13	11	20
Q3 黄土	2.2	27	35
Q3 黄土饱和	2.3	25	34

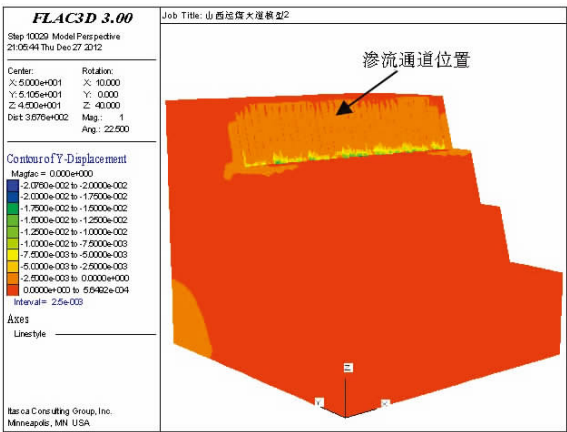


图 9 40 mm/d 降雨 24 h 后位移云图
Fig. 9 Displacement nephogram after 40 mm rainfall

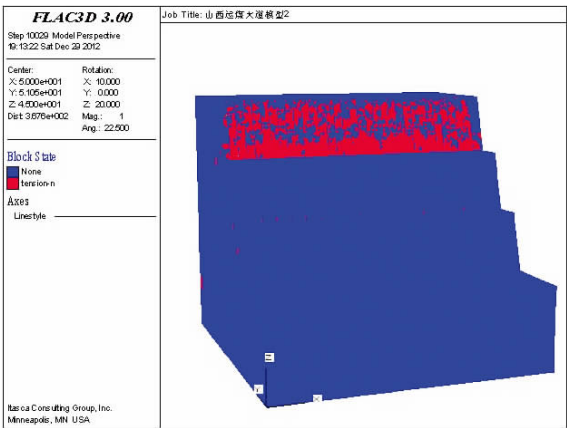


图 10 40 mm/d 降雨 24 h 后塑性区图
Fig. 10 Plastic zone map after 40mm rainfall

从图 9 可以看出 40 mm/d 降雨 24 h 后第一级台阶边坡渗透通道形成,地表径流通过入渗通道携带的物质堆于第一级台阶坡脚。坡脚堆积物最大位移为 20.7 mm;靠近第一级台阶坡脚处塑性区较大见图 10 红色部分。

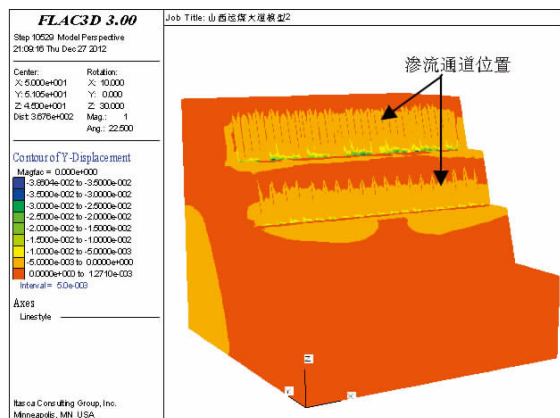


图 11 80 mm/d 降雨 24 h 后位移云图

Fig. 11 Displacement nephogram after 80 mm rainfall

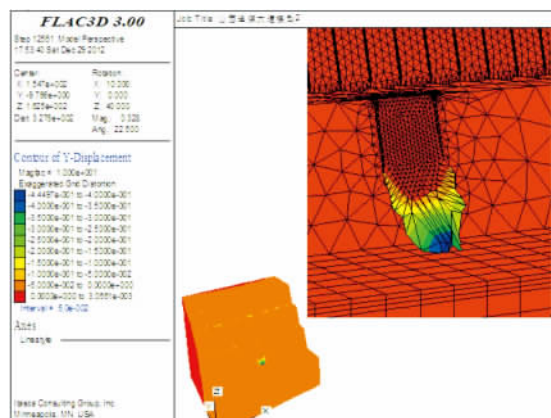


图 13 120 mm/d 降雨 24 h 后位移云图

Fig. 13 Displacement nephogram after 120 mm rainfall

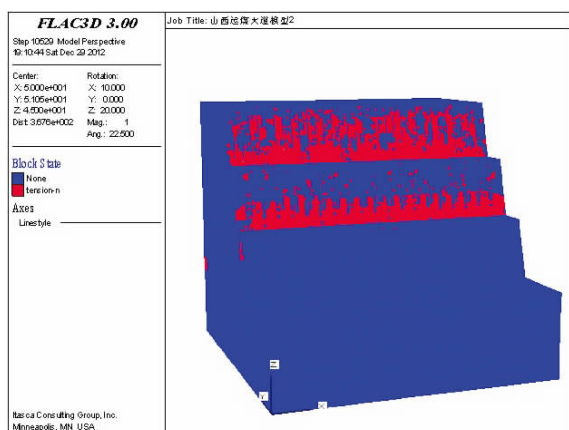


图 12 80 mm/d 降雨 24 h 后塑性区图

Fig. 12 Plastic zone map after 80 mm rainfall



图 14 入渗通道扩展剧烈

Fig. 14 Severe infiltration channel expansion

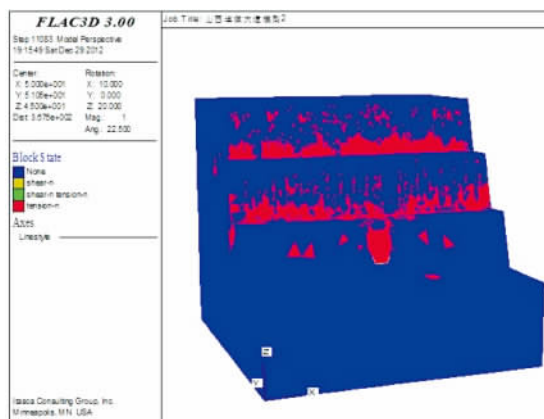


图 15 120 mm/d 降雨 24 h 后塑性区图

Fig. 15 Plastic zone map after 40 mm rainfall

80 mm/d 降雨 24 h 后第二级台阶边坡渗透通道形成,地表径流通过入渗通道携带的物质堆于第一二级台阶坡脚(图 11)。第一级坡脚堆积物最大位移为 38.8 mm,第二级坡脚堆积物最大位移为 18 mm;第一二级台阶坡脚处塑性区较大见图 12 红色部分。

120 mm/d 降雨 24 h 后第三级台阶边坡渗透通道形成,地表径流通过入渗通道携带的物质堆于第一二级台阶坡脚(图 13),第三级入渗通道扩展剧烈加深加宽,大量运移物质堆积于第三级台阶坡脚处(图 14)边坡破坏严重。第三级坡脚堆积物最大位移为 440 mm,位移较大;第一二级台阶坡脚处塑性区较大,第三级渗透通道所夹“楔形体”塑性区较大见图 15 红色部分边坡破坏严重。故黄土区开挖边坡在降雨作用下入渗通道在第三级台阶(坡高 60 m)左右破坏严重,坡高高于此高度应注意入渗通道的剧烈扩展并加以防治。

4 结论

1. 节理的存在,控制着黄土开挖边坡地表径流的入渗通道,在降雨作用下节理将逐步发育成大的落水孔、洞形成大的入渗通道,加剧了黄土开挖边坡的破坏。

2. 通过野外现场地质调查,统计黄土开挖边坡的节理裂隙、入渗贯穿通道分布状况,得出不同高度

开挖边坡入渗通道间距与开挖边坡高度高斯拟合关系式(1)。

3. 根据入渗通道分布关系式,建立数值分析模型,分析三种降雨工况下入渗通道演化过程及开挖边坡破坏程度。在降雨作用下入渗通道在坡高60 m左右破坏严重,坡高高于此高度应注意入渗通道的剧烈扩展并加以防治。

4. 本文借用野外统计、调查结果概化建立入渗通道扩展演化数值模型,可以为工程地质条件相同黄土开挖边坡地区降雨作用下稳定破坏分析以及防治提供一种有效分析方法。

参考文献(References)

- [1] Wang Janguang, Liang Bing [J]. Affection of Rainfall Factor to Seepage and Stability of Loess Slope [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering 2009, 21(1): 42-45 [王俊光,梁冰. 降雨要素对黄土边坡渗流及稳定性的影响[J]. 水资源与水工程学, 2009, 21(1): 42-45]
- [2] Zhang Maosheng, Li Tonglu [J]. Journal of Engineering Geology. 2011, 19(4): 530-540 [张茂省,李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540]
- [3] Zeng Lei. Study on the influence of the prior infiltrate on channels on loess slope stability [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. [曾磊. 优势渗流通道对黄土斜坡稳定性影响研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.]
- [4] Lu Quanzhong, Peng Jianbing, Chen Zhi xin, et al. Research on Characteristics of Cracks and Fissures of Loess and Their Distribution in Loess Plateau of China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 191-194 [卢全中,彭建兵,陈志新,等. 黄土高原地区黄土裂隙发育特征及其规律研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 191-194]
- [5] X B Tu, AKL Kwong, FC Dai et al. Field monitoring of rainfall infiltration in a loess slope and analysis of failure mechanism of rainfall-induced landslides. Engineering Geology 2009, 105: 134-150
- [6] Li Haisong, Ni Wangkui, Yang Hongquan et al. Site test on infiltration of loess subgrade under rainfall circumstance. Journal of Earth Sciences and Environment 2008, 30(1): 60-63 [刘海松,倪万魁,杨鸿全,等. 黄土路基现场入渗试验[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 60-63]
- [7] Liu Baojian, Xie Yongli, Yu Youcheng. In-situ testing study on infiltration in unsaturated loess [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2004, 23(24): 4156-4160 [刘保健,谢永利,于友成. 黄土非饱和入渗规律原位试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(24): 4156-4160]

Impact Analysis of the Joint Control Excavation Loess Slope's Stability under the Influence of Rainfall Infiltration Channel

WANG Xingang¹, YU Hongming¹, HU Bin¹, LIAN Baoqin²

(1. Department of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Department of Building Engineering, Guangzhou City Construction College, Guangzhou 510925, China)

Abstract: The main infiltration channel of excavation loess slope's surface runoff be controlled by loess's joint, the loess joint will gradually develop into a big infiltration channels under the action of rainfall and the destruction of loess slope will be increased. Different excavation slope height of infiltration channel spacing and excavation slope height gaussian fitting relation are concluded through the field geological survey, loess slope joint fissures and infiltration through channel's distribution statistics; The rainfall infiltration channel evolution's numerical analysis generalized model be establish according to the infiltration channel distribution relation, the rainfall infiltration channel evolution process and excavation slope damage be analyses under three rainfall condition 40 mm/day, 80 mm/day, 120 mm/day; Pointed out that the rainfall infiltration channel be destroyed under the action of rainfall when Slope high is about 60 m, should pay attention to the infiltration channel severe expansion and controlled while the slope is higher than 60 m. Use field statistics, survey results generalized infiltration channel extension evolution numerical model is established, can for the engineering geological conditions of the same region under the action of rainfall in loess excavation slope stability failure analysis and prevention and control to provide an effective analysis method.

Key words: infiltration channel; Loess joint; evolution process; numerical analysis model