

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.04.08

河南栾川县上疙瘩沟泥石流成因及危险度评价

陈鹏宇¹, 戴巍², 彭祖武³

(1. 内江师范学院地理与资源科学学院, 四川 内江 641100; 2. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510000; 3. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410000)

摘要:以栾川县上疙瘩沟为研究对象,分析其泥石流形成条件,计算泥石流静力学参数,并对其危险度进行定量评价。结果表明:上疙瘩沟的沟床比降和山坡坡度属于泥石流易发范围,沟道松散堆积物、人工耕地、坡面崩滑物为泥石流提供物源,前期降雨量丰富、日降雨量高和短历时高雨强是泥石流的诱发因素。上疙瘩沟泥石流流体容重为 1.874 g/cm^3 ,属于黏性泥石流,泥石流流速为 $3.12 \sim 4.17 \text{ m/s}$,流量为 $250.97 \sim 345.39 \text{ m}^3/\text{s}$,一次泥石流固体物质冲出总量约为 $7.45 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。泥石流危险度等级为轻度危险。

关键词:上疙瘩沟;泥石流;形成条件;特征参数;危险度

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)04-0044-06

Formation mechanism and risk assessment of debris flow in Shanggeda gully, Luanchuan county, Henan province

CHEN Pengyu¹, DAI wei², PENG Zuwu³

(1. School of Geography and Resources Science, Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan 641100, China;
2. Guangdong Hualu Transport Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000, China;
3. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha, Hunan 410000, China)

Abstract: Taking Shanggeda gully in Luanchuan county as research object, this paper analyzed its formation condition, calculated the dynamic and static mechanical parameters and accessed the risk. The results show that the average gradient of gully bed and the average slope of mountain slope drop fall within the prone scope of debris flow. Loose sediments in the channel, artificial cultivated farmland soil and slope collapse provided source of the debris flow. The abundant prophase rainfall, high rainfall and short duration rainfall intensity are the inducing factors of the debris flow. The fluid density of the debris flow is 1.874 g/cm^3 , belongs to viscous debris flow. The velocity is $3.12 \sim 4.17 \text{ m/s}$, the discharge is $250.97 \sim 345.39 \text{ m}^3/\text{s}$, and the total amount rushed out of the debris flow is about $7.45 \times 10^4 \text{ m}^3$. Risk assessment is belongs to moderately dangerous.

Keywords: Shanggeda gully; debris flow; formation condition; characteristic parameter; risk

0 引言

泥石流是发生在山区的常见地质灾害,它是在重

力作用下水渗混土、固体砾石等堆积物后沿陡峻沟道运动的饱和流体。我国是世界上遭受泥石流损失最惨重的国家之一,泥石流灾害遍布多个省、市的山区,对

收稿日期: 2016-01-15; 修订日期: 2016-01-20

基金项目: 河南省国土资源厅 2011 年度“两权价款”地质科研项目(2011-622-23)

第一作者: 陈鹏宇(1987-),男,四川富顺人,博士,讲师,主要研究方向为地质灾害分析评估、预测预报和数值模拟。E-mail: andycoyl@163.com

我国山区的经济发展和工程建设造成难以忽视的损失^[1-2]。栾川县山多地少,且位于河南西部腹地。境内深山老林,地势险峻,人均耕地不到0.6亩,历来有“八山一水一分田”之说。县内耕地资源贫瘠,为求发展,大面积削坡填沟、毁林开荒等不合理行为从古至今从未断绝,县内大量玉米、小麦等庄稼地都是在人为填平冲沟、削缓山坡后形成。上疙瘩沟即为其中一条典型的沟道,当地居民在沟道内圈地开垦,修建类似梯田的种植地,占用了沟道原本的径流空间,削弱了沟道的过水能力,人为地增加了泥石流的物质来源。2010年7月24日,栾川县遭遇百年一遇暴雨,致使栾川县多地暴发泥石流灾害,造成了重大的生命财产损失^[3-6]。上疙瘩沟作为一条人类活动改造严重的沟谷,其泥石流灾害具有典型性,分析上疙瘩沟泥石流的形成条件,计算其特征参数,并对其进行危险度评价,可为今后泥石流防灾减灾提供依据。

1 上疙瘩沟泥石流形成条件

上疙瘩沟位于栾川县石庙镇观星村15组,属于伊河二级支流。其流域面积0.17 km²,沟长近1 km,植被覆盖率85%,平面示意图见图1。2010年7月24日,受强降雨影响,上疙瘩沟暴发泥石流,大量泥石流物质冲出沟口,冲毁公路。在此之前,未曾有泥石流发生的历史记录。

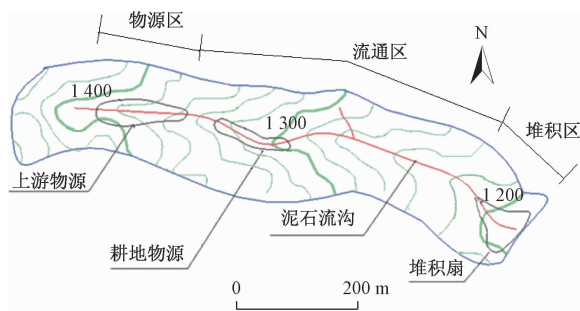


图1 上疙瘩沟平面示意图及“7·24”泥石流物源分布

Fig.1 Schematic plan of Shanggeda gully and the distribution of material sources for “7·24” debris flow

1.1 地形条件

上疙瘩沟流域分水岭最高点海拔为1396 m,沟口堆积区海拔1154 m,相对高差242 m,平均沟床坡度为11.2°,即沟床比降为205.42‰,属于易发泥石流的沟床比降范围^[7]。同时沟道流通区狭窄,泥石流在沟道流动时对沟道松散堆积物和两岸边坡第四系堆积物进行强烈冲刷,将其卷入泥石流中带走。

沟道形成区两侧谷坡坡度约63°,流通区两侧谷坡

坡度约53°。谷坡坡度对泥石流发育的影响表现为两方面:一是坡面坡度越大,分水岭内水流汇集到沟道的时间越少,洪峰值较大而且历时较短;二是坡面陡峭,第四系残坡积物则容易沿坡面下滑,在坡脚堆积形成沿途松散物补给。因此,上疙瘩沟两侧谷坡坡度对于径流沿坡面冲刷和提高丰富的堆积物是极为有利的。

1.2 物源条件

沟道内松散堆积物是形成泥石流的固体物质基础,受风化营力和人类开垦行为影响,上疙瘩沟的沟道中已积聚了数量十分可观的松散堆积物。通过实地勘察分析,上疙瘩沟“7·24”泥石流的固体物质来源主要为三大类:沟道松散堆积物、流通区耕地、坡面崩滑物。大部分物源已被泥石流冲走,特别是流通区耕地几乎被消耗殆尽。

1.2.1 沟道松散堆积物

上疙瘩沟基岩为花岗岩,两侧谷坡有基岩裸露,节理裂隙发育,风化较严重,表层有剥落。在重力及风化营力等作用下,两侧的岩土体通过重力侵蚀作用不断堆积在坡脚和沟道中(图2)。这些原来处于较稳定状态的大粒径花岗岩块和第四系残坡积物,受强烈降雨影响,岩土体内含水量增加,力学强度降低,失稳后成为泥石流最初物源。这些花岗岩物源粒径较大,其中不乏0.5 m以上粒径块石。这种岩土体从高位落下具有很大的势能,沿途的冲击力和破坏作用极大。这一类物源主要分布于沟道上游,见图1。这类物源大部分已被“7·24”泥石流冲走,残留较少。



图2 上疙瘩沟沟道松散堆积物

Fig.2 Loose sediments in the channel of Shanggeda gully

1.2.2 人工耕地

栾川县境内耕地较少,当地村民为求生计,历来有在山沟内开垦耕地的习惯,上疙瘩沟沟道内有季节性水流及天然陡坎,自然也不例外。开垦耕地的形式往往以20 m沟道为一段,下游以大块状花岗岩堆填,如重力式挡土墙般对耕地起拦挡作用,耕地内则堆填2~3 m厚度不等松散土体,种植玉米等农作物。这些堆积体往往孔隙比大,渗水能力强,力学性质差。上疙瘩沟中部400 m沟道有7道平均高约5 m天然陡坎,

如图 3(a) 所示,经村民改造后成 8 块耕地,现场调查时沟道只剩裸露基岩和残留块石。



图 3 上疙瘩沟陡坎典型照片和纵断面示意图
Fig. 3 Typical picture and schematic diagram of the scarp in Shanggeda gully

2010 年 7 月以来的连续降雨,雨水倾入耕地土壤中,岩土体强度和结构弱化。加之疙瘩沟特有的陡坎地形,使泥石流经过时产生跌水,该过程中,由于势能的转变,泥石流的能量也增大,破坏力增强,见图 3(b)。泥石流的巨大冲击,致使土体结构更为松散,原本不堪重负的花岗岩挡墙瞬间崩溃,积蓄的能量如决堤般释放,8 块耕地如多米诺骨牌一层一层推倒,成为新的物源补给泥石流,这些土体占据泥石流固体中小颗粒较大比重,大量的松散土体掺混入泥石流中,使得泥石流黏性大大增强。这一类物源主要分布于沟道中游(图 1)。这部分物源几乎都被“7·24”泥石流冲走。

1.2.3 坡面崩滑物

总体来说,上疙瘩沟沟道两侧植被覆盖率较高,水土保持较好,但近年由于当地居民开垦山林对边坡土体进行改造,破坏了土体的稳定性,造成坡面小规模崩滑(图 4)。这类崩滑物大多发成在坡度大于 40° 的谷坡,土体结构疏松,在降雨条件下遇坡面水流冲刷极易发生崩滑而进入沟道补给泥石流。虽然这种侵蚀分布面积较小,但也是构成泥石流固体物质的部分来源。

1.3 降雨条件

栾川县为河南省暴雨中心部位,降雨量较大,多年



图 4 上疙瘩沟坡面崩滑物
Fig. 4 Collapsed and slid material in Shanggeda gully

平均降水量 868.8 mm。降雨量主要集中在夏季,6~9 月份降水量占全年的 64.3% 左右。实测 24 h 降水量最大达 373.3 mm,最大 6 h 降雨量 199.9 mm,最大 1 h 降水量 39.85 mm。据《河南省暴雨参数图集》(2005) 资料,栾川县百年一遇 1 h 降水量 90~110 mm。如此大的降雨量,易诱发泥石流灾害。

栾川县的地下水等水资源不丰富,上疙瘩沟泥石流沟道内无泉水出露,尽管沟道内常年有季节性水流,但是流速较缓,流量不大,沟道上游也没有大的湖泊、水库,不足以提供充沛水量激发泥石流的形成。

上疙瘩沟泥石流暴发时间处于 2010 年 7 月下旬,是夏季汛期。在泥石流暴发之前,当月累积降雨量已达 245.7 mm,特别是在暴发前一天降雨量达到 80.9 mm,见图 5(a)。持续的前期降雨改变了沟道内松散堆积物的原有性质,土体结构和强度均被弱化。

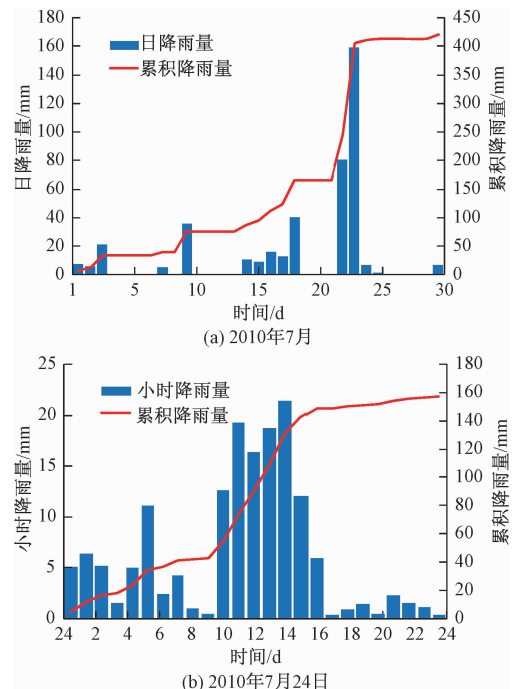


图 5 栾川气象站 2010 年 7 月及当月 24 日的降雨资料
Fig. 5 Rainfall data of Luanchuan weather stations on July 24, and in July 2010

在7月24日当天,降雨量达到了159 mm,特别是10~15时的6小时内降雨量达100.5 mm,见图5(b)。由此可以推断,特大暴雨所汇集而成的地表径流是促使此次上疙瘩沟泥石流暴发的水动力来源。前期降雨量丰富、日降雨量高和短历时高雨强是此次泥石流的诱发因素。

1.4 堆积场地

上疙瘩沟沟口开阔、平坦,有利于泥石流出沟后堆积。“7·24”泥石流形成的堆积扇见图6。泥石流暴发时沟道冲淤变幅近3 m,停集粒径4 m至6 m大石块粒径6颗,现已清除。堆积扇现保存30%,以40~70 cm粒径居多,叠置结构,岩性主要为花岗岩,大石块有明显撞痕,块呈次棱角状至圆状。



图6 上疙瘩沟堆积体典型照片

Fig.6 Typical picture of debris flow fan in Shanggeda gully

2 上疙瘩沟泥石流特征参数

2.1 容重

通过泥石流浆体容重和细颗粒含量计算泥石流容重,具体公式如下^[7]:

$$\gamma_c = 1 + \frac{\gamma_s - 1}{1 + \frac{X'(\gamma_s - \gamma_f)}{\gamma_f - 1}} \quad (1)$$

式中: γ_c ——泥石流流体的容重/(g/cm³);

γ_s ——固体物质的容重/(g/cm³);

γ_f ——泥石流浆体的容重/(g/m³);

X' ——细颗粒占全部固体质量的百分比。

取堆积物质配制泥石流浆体进行现场容重试验,得出其容重值为1.60 g/cm³。坑探测定堆积物中细颗粒含量 $X'=0.3266$, $\gamma_s=2.13$ g/cm³,由此计算得 $\gamma_c=1.874$ g/cm³,属于黏性泥石流。此次上疙瘩沟泥石流为百年一遇泥石流,根据百年一遇(泥石流暴发周期)泥石流容重与其他频率泥石流容重之间的关系^[8],可

得不同频率泥石流的容重。

2.2 流速

上疙瘩沟属于黏性泥石流。选用黏性泥石流通用公式^[9]:

$$v_c = \frac{1}{n_c} H_c^{2/3} I^{1/2} \quad (2)$$

式中: H_c ——计算断面的平均泥深/m;

I ——泥石流水力坡度/%,一般可采用沟床坡度比降;

n_c ——河床糙率(查规范获得)。

通过野外地质调查,进行泥石流沟典型断面的绘制,计算水力半径,坡度比等参数,得出泥石流的流速流量的数据见表1。

表1 泥石流流速计算结果

Table 1 Calculation results of the velocity of debris flow				
断面编号	坡度比	河床糙率	平均泥深/m	平均流速/(m·s ⁻¹)
断面1	0.120	3.57	4.0	3.12
断面2	0.215	3.57	4.0	4.17

2.3 流量

采用形态调查法计算泥石流流量,计算公式如下^[10]:

$$Q_c = W_c v_c \quad (3)$$

式中: Q_c ——断面峰值流量,m³/s;

W_c ——过流断面面积,m²。

计算结果见表2。

表2 泥石流流量计算结果

Table 2 Calculation results of the discharge of debris flow			
断面编号	断面面积/m ²	平均流速/(m·s ⁻¹)	峰值流量/(m ³ ·s ⁻¹)
断面1	80.54	3.12	250.97
断面2	82.80	4.17	345.39

2.4 一次固体物质冲出量

一次泥石流总量按照计算公式^[10]:

$$Q = KT Q_c \quad (4)$$

式中: Q ——一次泥石流总量/m³;

T ——泥石流历时/s,调查访问当地目击泥石流发生的居民确定;

K ——流域面积修正系数,取0.202。

一次泥石流冲出的固体物质总量为:

$$Q_H = Q(\gamma_c - \gamma_w)/(\gamma_H - \gamma_w) \quad (5)$$

式中, Q_H ——一次泥石流固体物质总量/m³;

Q ——一次泥石流总量/m³;

γ_c ——泥石流容重/(g/cm³);

γ_w ——水的容重/(g/cm^3);

γ_H ——固体颗粒的容重/(g/cm^3)。

根据上式计算, Q_c 取两个断面的平均值, 上疙瘩沟一次固体物质冲出量约为 $7.45 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3 泥石流危险度评价

上疙瘩沟“7·24”泥石流发生后, 物源大部分已被冲走, 但是仍然有部分残留, 本文对其未来泥石流发生的危险性进行评价。我国泥石流危险度的评价模型以刘希林的函数赋值模型^[11]为代表。陈鹏宇等^[12]对其进行了改进。本文采用这两种方法进行危险度评价。

刘希林模型为:

$$R_d = 0.29M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \quad (6)$$

陈鹏宇等改进公式为:

$$R_d = 0.103M + 0.143F + 0.070S_2 + 0.068S_3 + 0.149S_6 + 0.057S_7 + 0.169S_8 + 0.085S_9 + 0.155S_{12} \quad (7)$$

式中: R_d ——泥石流危险度;

M ——泥石流规模;

F ——泥石流频率;

S_2 ——主沟长度;

S_3 ——流域最大相对高差;

S_6 ——流域切割密度;

S_7 ——主沟床弯曲系数;

S_8 ——松散固体物质储量;

S_9 ——泥砂补给段长度;

S_{12} ——植被覆盖率。

泥石流危险因子等级及赋值表见文献[12], 具体结果见表3。危险度等级与危险度的关系为^[11]: 轻度危险(0~0.35), 中度危险(0.35~0.60), 高度危险(0.60~0.85), 极度危险(0.85~1)。

表3 危险因子及其赋值

Table 3 Risk factors and their values

危险因子	评价指标	原值	赋值
泥石流规模/($\times 10^4 \text{ m}^3$)	M	7.45	0.4
泥石流频率/%	F	1.00	0.0
流域面积/ km^2	S_1	0.17	0.0
主沟长度/km	S_2	0.99	0.2
流域最大相对高差/km	S_3	0.24	0.2
流域切割密度/ km^{-1}	S_6	5.80	0.4
主沟床弯曲系数	S_7	1.03	0.0
松散固体物质储量/($\times 10^4 \text{ m}^3$)	S_8	5.60	0.0
泥砂补给段长度比	S_9	0.24	0.4
植被覆盖率	S_{12}	0.85	0.0

采用刘希林模型计算泥石流危险度为0.202, 属于轻度危险; 采用陈鹏宇等改进公式计算泥石流危险度为0.162, 属于轻度危险。

综合两种模型结果可确定上疙瘩沟泥石流危险度等级为轻度危险, 其原因本文认为有以下几点:

(1) 上疙瘩沟是一条低频泥石流沟, 在如2010年7月24日的百年一遇降雨条件下才发生泥石流灾害, 在通常降雨条件下, 泥石流危险度较低。

(2) “7·24”泥石流暴发后, 沟道内大部分物源已经被冲出沟口, 物源量减少, 导致再次发生泥石流的危险性降低。

(3) 泥石流流域面积小, 主沟长度较短, 弯曲系数小, 流域植被覆盖率高, 这些也是导致泥石流危险度低的原因。

4 结论

(1) 上疙瘩沟沟床比降和山坡坡度属于泥石流易发范围, 沟道松散堆积物、人工耕地、坡面崩滑物为泥石流形成的物源, 前期降雨量丰富、日降雨量高和短历时高雨强是泥石流的诱发因素。

(2) 上疙瘩沟泥石流流体容重为 $1.874 \text{ g}/\text{cm}^3$, 判定为黏性泥石流; 泥石流流速为 $3.12 \sim 4.17 \text{ m}/\text{s}$, 流量为 $250.97 \sim 345.39 \text{ m}^3/\text{s}$; 泥石流一次固体物质冲出总量约为 $7.45 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(3) 上疙瘩沟泥石流危险度等级为轻度危险, 泥石流暴发频率低, 在极端降雨条件下暴发泥石流的可能性增大, 需要合理规划耕地利用。

参考文献:

- [1] 王家柱, 任光明, 余天斌, 等. 四川芦山震区大叶龙沟泥石流发育特征及危险度评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(4): 1-5.

WANG Jiazhu, REN Guangming, YU Tianbin, et al. Development characteristics and risk assessment of Dayelong ditch's debris flows in Sichuan Lushan meizoseismal area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(4): 1-5.

- [2] 高波, 任光明, 王军, 等. 四川汶川高家沟泥石流形成条件与启动机理研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(4): 1-5.

GAO Bo, REN Guangming, WANG Jun, et al. Study on formation conditions and initiation mechanism of Gaojia Gully's debris flow in Wenchuan County [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and

- Control, 2014, 25(4): 1-5.
- [3] 邵莲芬, 彭祖武, 王硕楠, 等. 栾川“7·24”暴雨泥石流启动模式分类[J]. 山地学报, 2013, 31(3): 334-341.
- SHAO Lianfen, PENG Zuwu, WANG Shuonan, et al. Classification of “7·24” rainstorm debris flow based on start-up model in Luanchuan County of Henan, China[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(3): 334-341.
- [4] 彭祖武. 栾川县泥石流灾害危险性区划研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2013.
- PENG Zuwu, Research on hazard zonation of Luanchuan County debris [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2013.
- [5] 曾红彪, 余宏明, 陈鹏宇, 等. 栾川县暴雨泥石流预警模型研究——以“7·24”暴雨泥石流为例[J]. 广东水利水电, 2014(3): 38-44.
- ZENG Hongbiao, YU Hongming, CHEN Pengyu, et al. Research on early warning model of Luanchuan County's rainstorm debris flow——Take “7·24” rainstorm debris flow as an example[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2014(3): 38-44.
- [6] 邵莲芬, 彭祖武, 余宏明, 等. 栾川暴雨泥石流易发性实时动态区划[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(6): 131-141.
- SHAO Lianfen, PENG Zuwu, YU Hongming, et al. Real-time dynamic zoning of rainstorm debris flow-prone characteristics in Luanchuan County [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(6): 131-141.
- [7] 陈宁生, 杨成林, 周伟, 等. 泥石流勘查技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- CHEN Ningsheng, YANG Chenglin, ZHOU Wei, et al. Investigation technology for debris flows[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [8] 康志成, 李焯芬, 马嵩乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- KANG Zhicheng, LI Zhuofen, MA Ainai, et al. Research of debris flows in china [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [9] 王继康. 泥石流防治工程技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- WANG Jikang. Technique on prevention-control engineering of debris flows [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1996.
- [10] 中华人民共和国国土资源部. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 2005.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Debris flow disaster prevention engineering surveying specification[S]. 2005.
- [11] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- LIU Xilin, TANG Chuan. Hazard assessment of debris flows[M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [12] 陈鹏宇, 乔景顺, 彭祖武, 等. 基于等级相关的泥石流危险因子筛选与危险度评价[J]. 岩土力学, 2013, 34(5): 1409-1415.
- CHEN Pengyu, QIAO Jingshun, PENG Zuwu, et al. Screening of debris flow risk factors and risk evaluation based on rank correlation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(5): 1409-1415.