

## 晋城离石黄土在滑坡中的作用分析

苏道武<sup>1</sup>,苏诗雅<sup>2\*</sup>,王有良<sup>3</sup>

1. 东阿县水务局, 山东 聊城 252200
2. 聊城市南水北调工程建设管理局, 山东 聊城 252000
3. 山东农业大学信息与工程学院, 山东 泰安 271018

**摘要:** 本文运用极限平衡理论分析砂土抗剪指标的变化规律。通过对大量的勘察资料的分析, 找出了区域性离石黄土的内摩擦角变化特点。分析表明对于赵庄矿区的 Q2 黄土, 存在着滑坡危险, 在地下水或地表水作用下, 土层的饱和度由 75% 上升到饱和状态时, 土层的内摩擦角减小 0.5 倍。提出了针对离石黄土滑坡的治理方案。

**关键词:** 极限平衡; 离石黄土; 内摩擦角; 饱和度

**中图分类号:** P642.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)01-0052-04

## The Analysis on Role of Loess away from Stone in the Landslide in Jincheng

SU Dao-wu<sup>1</sup>, SU Shi-ya<sup>2\*</sup>, WANG You-liang<sup>3</sup>

1. Dongge County Water Affairs Bureau, Liaocheng 252200, China
2. Liaocheng City Administration of South-to-north Water Transfer Project Construction, Liaocheng 252000, China
3. College of information Science and Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

**Abstract:** This article utilizes the limit equilibrium theoretical analysis the change rule of sandy soil anti-to cut index. Through the massive reconnaissance material's analysis, the regional loess away from stone internal friction angle's variation characteristic had been discovered. The analysis indicated that the Zhao village mining area's Q2 loess has the landslide danger. With the ground water or the surface water function, the soil layer degree of saturation by 75% rise to the saturated condition, the soil layer internal friction angle reduces 0.5 time. The remediation plans and considerations had been raised to the loess away from stone in a landslide.

**Keywords:** Limit equilibrium; loess away from stone; internal friction angle; degree of saturation

晋城赵庄矿区位于长子县内, 地面多为风积沙区和黄土丘陵, 第四系松散沉积物主要有中更新统(Q2)浅红色含砂黏土, 厚 1~15 m, 与下伏地层不整合接触, 该地层易形成滑坡。上更新统(Q3), 为浅黄色、褐黄色砂质黏土, 厚 3~61 m。全新统(Q4)主要分布于表土层, 厚 0~20 m, 由细砂、粉砂、砂土及砾石组成。在矿业开发过程中, 工程建设项目日益增多, 伴随着的边坡失稳现象也日益增多, 其中黄土滑坡是黄土边坡失稳破坏的最主要类型。黄土滑坡因其具有频发性、广泛性、复杂性、灾难性而威胁人民生命财产、交通等工农业设施安全, 已经成为黄土地区一种典型的、至今依然不能有效根治的灾害现象<sup>[1]</sup>。由于黄土滑坡严重限制了黄土地区经济发展, 威胁黄土地区人民的生命财产安全, 因此, 黄土滑坡灾害受到了空前重视, 众多学者、专家、工程技术人员在黄土滑坡的类型、机理、成因、预测预报、防治措施等方面做了大量研究, 取得了一系列成果<sup>[2-4]</sup>。本文通过对勘察资料的分析, 找出了区域性离石黄土的内摩擦角变化特点, 并提出了针对离石黄土滑坡的治理方案和注意事项。

### 1 滑坡灾害产生机理

边坡的变形失稳, 从根本上说是边坡自身求得稳定状态的自然调整过程。在边坡受力模型中边坡角度和软弱面的抗剪强度是影响边坡稳定的重要因素, 假设滑坡体是一个受力整体, 以滑坡带为界面, 当滑坡体处于临界状态时, 可以建立极限平衡方程(如图 1 所示), 在无水的情况下, 边坡稳定性安全系数可以表示如下(对松散土层可不考虑粘聚力):

$$K = \frac{F}{T} = \frac{W \cos \alpha \tan \phi}{W \sin \alpha} = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} \quad (1)$$

收稿日期: 2016-05-11

修回日期: 2016-05-26

作者简介: 苏道武(1964-),男,工程师,主要从事水利工程施工与管理。

\*通讯作者: Author for correspondence. E-mail:sushiya@126.com

式 1 中,  $\phi$  为无粘性土内摩擦角, 取黄土内摩擦角为  $35^\circ$ , 当安全系数  $K$  取 1.25 时, 土坡坡角  $\alpha$  为  $29.3^\circ$ 。在坡面渗水的情况下 (如图 2 所示), 设在 A 处取一微体, 体积为  $V$ , 该微体沿土坡面下力  $T$  为:  $T = Vr' \sin \alpha + JV = Vr' \sin \alpha + ir_w V$ , 式中:  $i$  为坡面水在溢出处的水力梯度, 因坡面水沿坡面溢出,  $i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \sin \alpha$ , 下滑力  $T$  可以简化为:  $T = V(r' + r_w) \sin \alpha$ , 微体的抗滑力  $F$  为:  $F = Vr' \cos \alpha \tan \phi$ , 边坡稳定安全系数  $K$ :

$$K = \frac{F}{T} = \frac{Vr' \cos \alpha \tan \phi}{V(r' + r_w) \sin \alpha} = \frac{r' \tan \phi}{(r' + r_w) \tan \alpha} \quad (2)$$

若取土的浮重度  $r' \approx r_w = 10 \text{ kN/m}^3$ , 则:  $K = 0.5 \tan \phi / \tan \alpha$

当安全系数  $K$  取 1.25, 土坡坡角  $\alpha$  为  $15.6^\circ$ , 当安全系数  $K$  取 1.5, 土坡坡角  $\alpha$  为  $13.1^\circ$ , 分析表明, 产生渗流的边坡很容易塌方, 因此一方面要在整形时设置完善的地面排水系统, 另一方面采取边坡加固措施, 提高边坡的稳定性。

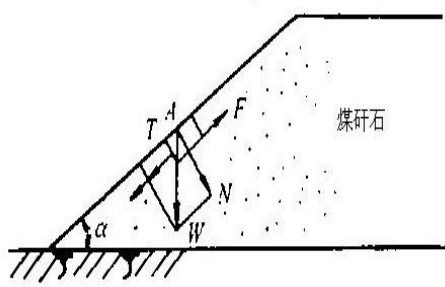


图 1 边坡单元体受力模型

Fig.1 Slope force unit model

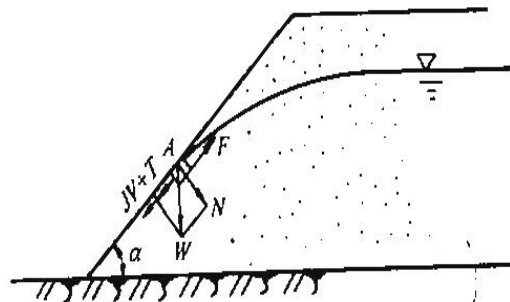


图 2 渗水作用受力模型

Fig.2 Slope force model of water seepage

边坡角一般应小于土层的自然休止角, 当取  $35^\circ$  时, 在无水的情况下边坡稳定可靠, 降雨后土层抗剪强度降低, 即使边坡坡角小于  $15.6^\circ$  安全系数也只有 1.25。因些在边坡治理工程中强调多种措施综合治理的原则, 以加强边坡的稳定性。滑坡整形的同时应设置完善的排水系统。完善的排水系统可将径流水和渗透水尽快排出, 减小坡面侵蚀和降低滑坡的可能性<sup>[5-7]</sup>。

## 2 勘察资料分析

赵庄矿区工业广场工程地质勘察资料显示, 表层覆盖 0~1 m 厚的第四系风化残积土, 其下是上更新统 Q3 马兰黄土, 和中更新统离石黄土 Q2, 总厚度 0~76 m, 其中马兰黄土具有垂直节理, 浅黄色、褐黄色砂质黏土, 不宜发生滑坡等地质灾害, 但垂直节理发育, 有利于水入渗, 离石黄土具有蒜瓣式节理, 浅红色, 极宜发生滑坡、崩塌等地质灾害, 本次研究收集赵庄工业广场工程地质勘察资料的全部离石黄土 Q2 进行研究, 为揭示含水量与内摩擦角的关系, 以孔隙比大小分组统计分析。分析如表 1~3。

表 1 饱和度与内摩擦角关系

Table1 Relationship between saturation and internal friction angle

序号 No.	孔隙比 e Porosity ratio	饱和度 Sr Saturation	内摩擦角 Internal friction angle	线性回归 1 Linear regression 1	线性回归 2 Linear regression 2
1	0.597	76.7	32.6	35.86	35.81
2	0.533	87.8	32.6	29.62	28.88
3	0.572	92.6	30.6	26.92	25.88
4	0.561	94.0	28.1	26.13	25.00
5*	0.590	94.1	32.8	26.08	
5	0.578	95.1	26.5	25.52	24.32
6	0.585	95.8	21.2	25.12	23.88
7	0.586	97	15.3	24.45	23.13
		100		22.76	21.26

表 1 中孔隙比为 0.500~0.599, 全部统计数据是 8 个, 统计结果用  $F$  法检验,  $F=U/(Q/(n-2))$ , 在

给定显著水平 $\alpha=0.1$ 时,  $F$  值为 3.21, 小于  $F(1,n-1)=3.78$ , 回归不显著, 根据实际情况, 剔除带\*号的异常数据后, 用余下的 7 个数据统计分析,  $F$  值等于 4.56, 大于  $F(1,n-1)$  等于 4.06, 回归效果显著。取统计表中最大内摩擦角的摩擦系数为 0.72, 最小内摩擦角的摩擦系数为 0.38, 摩擦系数减小接近 0.5 倍, 表中统计数据最小饱和度 76.7, 近于 75.0。

表 2 饱和度与内摩擦角关系

Table 2 Relationship between saturation and internal friction angle

序号 No.	孔隙比 e Porosity ratio	饱和度 Sr Saturation	内摩擦角 Internal friction angle	线性回归 Linear regression
1	0.657	78.6	35.1	32.19
2	0.644	82.1	32.5	30.05
3	0.693	82.9	29.4	29.55
4	0.674	86.6	28.5	27.28
5	0.634	86.8	19.3	27.16
6	0.637	88.5	25.8	26.12
7	0.694	89.7	20.7	25.38
8	0.659	90.8	26.9	24.71
9	0.691	90.9	25.0	24.65
10*	0.669	91.3	32.6	24.40
11	0.674	91.6	15.3	24.22
12	0.65	94.9	13.5	22.19
13	0.696	95.3	24.8	21.95
14*	0.698	95.4	32.1	21.89
15	0.669	100	19.3	19.06

表 2 中孔隙比为 0.600~0.699, 全部统计数据是 15 个, 统计结果用  $F$  法检验,  $F=U/(Q/(n-2))$ , 在给定显著水平 $\alpha=0.05$ 时,  $F$  值为 5.04, 大于  $F(1,n-1)=4.67$ , 回归显著, 表中带\*号的数据变化较大, 但由于统计数据较多, 不影响整体规律性。取统计表中最大内摩擦角的摩擦系数为 0.70, 最小内摩擦角的摩擦系数为 0.35, 摩擦系数减小 0.5 倍, 本统计表中最小饱和度 78.6, 接近于 75.0。

表 3 饱和度与内摩擦角关系

Table 3 Relationship between saturation and internal friction angle

序号 No.	孔隙比 e Porosity ratio	饱和度 Sr Saturation	内摩擦角 Internal friction angle	线性回归 Linear regression
1	0.755	81.4	30.7	33.27
2	0.722	82.6	30.5	32.51
3	0.752	83.2	31.5	32.14
4	0.73	86.1	31.4	30.31
5*	0.733	87.2	39.3	29.62
6	0.701	87.6	25	29.37
7	0.774	91	19.7	27.23
8	0.76	90.1	35.3	27.79
9	0.798	93.5	20.3	25.65
10	0.751	93.8	27.4	25.46
11	0.737	95.2	20.3	24.58
12*	0.755	95.8	31.6	24.20
13*	0.734	97.1	30.3	23.39
14	0.798	97.2	20.3	23.32
15	0.731	98.2	24.2	22.69
16	0.741	100	15.3	21.56

表 3 中孔隙比为 0.700~0.799, 全部统计数据是 16 个, 统计结果用  $F$  法检验,  $F=U/(Q/(n-2))$ , 在给定显著水平 $\alpha=0.05$ 时,  $F$  值为 6.73, 大于  $F(1,n-1)=4.60$ , 回归显著。取统计表中最大内摩擦角的

摩擦系数为 0.59, 最小内摩擦角的摩擦系数为 0.39, 摩擦系数减小 33.8%, 原因是本组数据的含水量较大, 饱和度最小为 81.4, 如取饱和度 75.0, 按线性插值, 可求得内摩擦系数为 0.76, 即由饱和度 75 上升到 100 时的内摩擦系数下降 0.5 倍。综合分析可得出如下结论: 对于赵庄矿区的中更新统离石黄土 Q<sub>2</sub> 黄土, 存在着滑坡危险, 在地下水或地表水作用下, 土层的饱和度由 75% 上升到饱和状态时, 土层的内摩擦角减小 0.5 倍, 在其它饱和度情况下可由线性内插求得。

### 3 黄土滑坡防治

在组成的黄土边坡中马兰黄土具有垂直节理, 浅黄色、褐黄色砂质黏土, 不宜发生滑坡等地质灾害, 离石黄土具有蒜瓣式节理, 浅红色, 极宜发生滑坡、崩塌等地质灾害, 因此治理的重点是离石黄土。但对垂直节理发育的马兰黄土应以防治地表水入渗为主。防治的重点是, 地面坡度大于 16°, 并以威胁村庄、主要交通道路为重点。可选的方案有以抗滑预应力锚索, 挡土墙, 削坡减载及生物工程为辅的综合治理措施。

预应力锚索施工要点。锚索结构由锚固段、自由段和外锚头三部分共同组成。锚固段是滑动面以下部分, 设计在稳定土层中, 砂浆的灰砂比采用 1:1, 如要提高早期的强度, 可加食盐(水泥重量的 0.3%)。插入锚索时, 把一根  $\Phi 30$  mm 左右的胶皮管作为导管, 一端与压浆泵相连, 另一端与锚索同时送入孔底, 但距孔底应预留约 0.5 m 的孔隙, 第一次灌浆至潜在滑动面, 达到强度后, 再二次灌浆至表面, 二次灌浆主要是防腐(如不采用预应力可一次灌浆), 非锚固段可用强度等级低的水泥砂浆。对锚索体的进行张拉施加预应力, 锚头采用 C30 混凝土锚固, 锚头应埋于地表下 0.5 m, 以便表土覆盖和植被的生长。挡土墙可采用片石混凝土重力式挡土墙。在计算抗倾覆抗滑动中可不考虑被动土压力(对稳定有利), 应特别注意墙基的处理, 夯实地基; 在泄水孔附近用粗颗粒材料覆盖, 并做成反滤层, 以免淤塞, 在填土表面铺设防水层, 用黏土夯实; 墙后填土应选择透水性较强的填料, 如炉渣、碎石、矸石等, 当采用粘性土时, 应掺入适量的矸石, 为提高填土的摩擦系数减小主动土压力, 墙后填土必须分层夯实保证质量。各项计算依据《建筑边坡工程技术规范》。

### 4 结论

通过对赵庄矿区勘察资料全面的分析, 揭示了赵庄矿区 Q<sub>2</sub> 黄土在水力作用下土层内摩擦角的变化规律, 对于赵庄矿区的离石 Q<sub>2</sub> 黄土, 存在着滑坡危险, 在地下水或地表水作用下, 土层的饱和度由 75% 上升到饱和状态时, 土层的内摩擦角减小 0.5 倍, 与松散土层内摩擦角在水力作用下变化一致。

针对矿区的滑坡现状及潜在的滑坡危险, 结合矿区的实际情况及滑坡体周围的地形、地貌特点, 提出适合黄土滑坡治理的抗滑预应力锚索和挡土墙的治理工程, 并同时考虑削坡减载及生物工程为辅的综合治理措施, 治理的主要目标是离石黄土。本文对黄土滑坡主要因素的研究, 对黄土地区滑坡的治理及防治中有一定指导作用。

### 参考文献

- [1] 刘传正, 刘艳辉. 论地质灾害防治与地质环境利用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(5): 1469-1476
- [2] 刘传正. 地质灾害防治研究的认识论与方法论[J]. 工程地质学报, 2015, 23(5): 809-820
- [3] 侯俊东, 肖人彬. 地质灾害防治项目治理的社会网络结构优化及策略[J]. 管理评论, 2015, 27(2): 17-25
- [4] 韦仕川, 栾乔林, 黄朝明, 等. 地质灾害防治的土地利用规划软措施研究综述及展望[J]. 自然灾害学报, 2014, 6, 23(3): 159-165
- [5] 姬怡微, 李永红, 向茂西, 等. 陕西秦岭南麓 316 国道沿线地质灾害防治对策研究[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 199-204
- [6] 徐倩. 浅谈环境保护下水工环地质勘察工作的开展[J]. 科技创新与应用, 2016(35): 155-157
- [7] 谢凡东. 公路施工中特殊路基的处理措施[J]. 交通世界, 2016(33): 32-33