

# 断层泥强度参数与含水率关系研究

刘 彬, 聂德新

(成都理工大学工程地质研究所, 四川 成都, 610059)

**摘 要:** 在岩质边坡工程中, 断层往往是构成边坡失稳块体的边界条件, 而断层的强度参数一般取决于断层泥的强度参数。断层泥的强度参数与含水率密切相关, 通过对工程区典型断层泥强度参数与其含水率关系的研究, 揭示了断层泥强度参数随含水率增加而不断降低过程中拐点的存在, 即断层泥含水率低于此点时, 其强度参数随含水率的增加降低迅速, 当含水率高于此点时, 其强度参数随含水率增加降低缓慢。最后建立了拐点含水率同试样塑液限之间的相互关系。

**关键词:** 断层泥; 强度参数; 含水率; 液塑限

中图分类号: TU457 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2006)12-2164-04

作者简介: 刘 彬(1978-), 男, 四川仁寿人, 博士研究生, 主要从事工程岩土体特性方面的研究。

## Study on relation between strength parameter and water content of gouge

LIU Bin, NIE De-xin

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** In the engineering project of rocky slope, the faults are the boundary condition of destabilization mass. The strength parameters of fault depend on the gouge and the water content of gouge is an important factor for the strength parameters. There was an inflection point in the relation between the strength and water content of gouges. When the water content of gouge was less than the water content of inflection point, its strength parameters rapidly decreased with the increasing of water content. On the other hand, the strength parameters decreased gradually with the increasing of water content when the water content of gouge was greater than the water content of inflection point. At last, the relation between the water content of inflection point and the plastic and liquid limit was established.

**Key words:** gouge; strength parameter; water content; plastic and liquid limit

## 0 概 述

在位于中国西南部某大型工程的边坡稳定评价中涉及到大量发育于边坡岩体的中小规模断层, 这些断层一般延伸长度在数十米至数百米之间, 影响带宽度在几厘米到几十厘米, 是未来边坡失稳块体的重要边界之一。断层的强度参数将直接影响到对边坡稳定性评价的准确性。通过现场的调查和研究, 发现工程区边坡中发育的断层在结构上具有一个普遍的共性, 即绝大多数断层都具有较连续的厚度不一(一般 0.5~1.5 cm)的断层泥, 这使得工程区断层的强度参数基本上取决于断层泥的强度, 因此取到具有代表性的断层泥原状样进行剪切试验就能获得断层泥的强度参数。但工程区断层的揭露主要依靠勘探平洞, 由于断层泥的厚度薄(小于直接剪切试验试样的环刀高度 2 cm), 因此要在平洞中取到能进行直接剪切试验的原状样是很困难的。为此, 就需要另寻路径, 找出断层泥强度参数跟其它水理指标间的对应关系, 从而间接地获得断层泥地强度参数。已有的研究表明<sup>[1]</sup>, 断层

泥的强度参数主要跟其物质成分、结构特征和含水率相关。物质成分中以粘土矿物的成分和含量最为重要, 粘土矿物含量越高, 断层泥对水的吸附能力就越强, 随着含水率的增大, 断层泥的  $c$  和  $\varphi$  值也随之降低。断层泥结构特征中的分散度对其强度影响很大, 分散度越高, 则其亲水性越强, 土粒间联结弱, 内摩擦角小, 故其强度低。在实际工程中, 通常一个工程边坡岩性相同, 边坡中发育的同等规模的断层一般具有相同或相近的形成环境, 因此这些断层的断层泥就具有相近的物质成分和结构特征, 在这种情况下影响断层泥强度参数的主要因素就是含水率了。所以在研究同一工程区的断层强度参数时, 断层泥的含水率的重要性就显得尤为突出。

## 1 断层泥在不同含水率下的强度试验

大量的研究表明<sup>[2-5]</sup>, 勘探平洞开挖后, 断层暴露

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(4372127)

收稿日期: 2005-10-14

出来, 断层泥会立即开始吸收空气中的水分而发生吸湿松弛, 即一段时间后, 洞壁上的断层泥会呈稀泥状挤出; 另一方面, 因洞室的开挖引起靠近洞壁岩体的应力松弛同时也造成断层泥的应力松弛。鉴于以上两方面, 笔者认为在勘探平洞开挖后于洞壁直接获取的断层泥试样已经是扰动样(取样时间离洞室开挖越久, 则试样受扰动越大), 这些扰动样的任何物理指标都不能代表断层泥原状样的指标, 因此要获得断层泥原状样的物理指标需避开靠近洞壁的扰动区取样。为了获得洞壁松弛带的厚度, 在平洞内选择断层泥较连续、走向与洞壁垂直或大角度相交的断层, 顺断层面掘进, 每掘进 10 cm 取一组断层泥试样, 现场测定天然含水率和天然密度, 比较不同深度断层泥的含水率和密度发现, 断层泥含水率随掘进深度增加而减小, 密度随掘进深度的增加而增大, 当取样点离洞壁的深度达到 0.5~1.0 m 之后, 断层泥的含水率和密度都开始趋于稳定。这说明工程区平洞的松弛厚度一般在 0.5~1.0 m 之间, 这与洞室围岩条件及洞室形成的时间长短有关。故本试验研究的试样全部于同一时间(2004 年 12 月)取自洞壁以内 1.0 m 之后, 取样时尽量保持其原状, 并现场测定其含水率(表 1)和天然密度。然后取足试样进行室内不同含水率的不固结快剪试验, 研究断层泥强度参数和其含水率之间的对应关系。试验时, 首先将所有断层泥试样低温烘干, 取足量的某一断层泥烘干样, 通过计算, 调制成不同含水率, 每组合含水率制 5 个剪切试样(剪切环刀内径 6.18 cm、高 2 cm), 每组试样皆充分压密, 控制同一组试样密度相同。试验成果见表 1 和 2。

表 1 断层泥天然物理指标

Table 1 The natural physical indices of gouge

断层编号	天然水理指标		
	含水率/%	塑限/%	液限/%
F <sub>1</sub>	9.6	10.7	29.5
F <sub>2</sub>	29.2	31.0	54.0
F <sub>3</sub>	17.1	18.2	41.5
F <sub>4</sub>	43.0	45.0	69.0

从表 1 中可以看出, 各断层泥的天然含水率都低于其塑限, 说明断层泥的原状样皆处于半坚硬状态,

表 2 不同含水率下断层泥的强度参数

Table 2 The strength parameter of different water content about gouge

F <sub>1</sub>			F <sub>2</sub>			F <sub>3</sub>			F <sub>4</sub>		
含水率 /%	$\phi$ (°)	c/kPa	含水率 /%	$\phi$ (°)	c/kPa	含水率 /%	$\phi$ (°)	c/kPa	含水率 /%	$\phi$ (°)	c/kPa
9.5	33.2	80.8	33.5	42.3	49.2	17.8	37.8	208	48.7	25.2	70.0
13.2	28.0	48.8	36.3	30.5	29.1	20.4	27.5	142	51.4	22.3	42.6
14.9	21.8	42.0	39.1	17.7	21.0	22.7	15.6	84.5	52.4	20.3	24.1
16.8	19.3	32.0	43.1	10.6	10.2	28.9	8.5	39.8	55.8	10.8	15.6
19.5	10.4	16.0	45.1	5.0	8.2	30.5	3.6	25.5	57.5	9.1	12.4
20.3	5.7	10.5	46.5	4.5	6.6	31.9	3.0	19.6	58.6	8.0	8.2
20.9	4.3	8.0	48.0	4.1	6.0	33.2	2.9	10.0	63.5	4.5	8.4
23.3	3.2	6.1	49.0	3.9	5.2	36.6	1.8	6.0	63.7	3.4	8.6
24.9	2.7	3.8				37.6	1.3	5.2	65.7	3.2	5.9
									68.5	2.9	5.0

即未受扰动的断层泥应该具有相对较高的强度参数。

## 2 断层泥强度与含水率的关系研究

分析表 2 中不同含水率情况下断层泥的内摩擦角  $\phi$ 、粘聚力  $c$  与含水率  $w$  的相互关系, 建立二者的相关曲线(图 1~8)。从图 1~8 可以看出, 断层泥的内摩擦角和粘聚力都随其含水率的增加的迅速降低, 但当含水率增加到一定程度后, 断层泥的强度参数降低的幅度明显减小, 这使得强度参数随含水率的变化出现一个拐点, 分析发现这一拐点含水率在试样塑限和液限之间。在拐点两端, 断层泥的强度参数与含水率都近似呈直线关系, 因此以拐点为界建立两侧强度参数与含水率的相关关系曲线, 根据两条直线方程解出拐点(两直线的交点)坐标, 获得拐点处的含水率值, 计算结果见表 3。

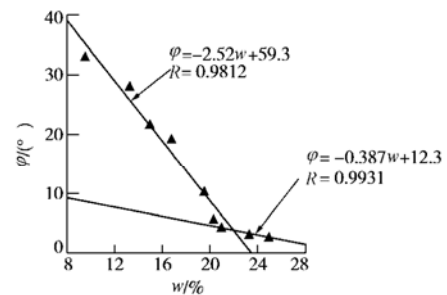


图 1 F<sub>1</sub> 断层泥  $\phi$  与  $w$  关系曲线

Fig. 1 Relation between internal friction angle and water content of gouge F<sub>1</sub>

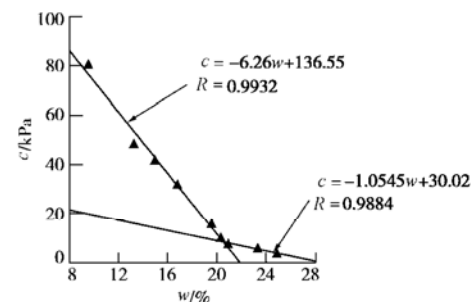


图 2 F<sub>1</sub> 断层泥  $c$  与  $w$  关系曲线

Fig. 2 Relation between cohesion and water content of gouge F<sub>1</sub>

表 3 拐点含水率与液塑限关系表

Table 3 The relation of water content at inflection point with plastic and liquid limit

断层编号	$\phi/(\circ)$	$c/\text{kPa}$	塑限 $w_p$	液限 $w_L$	拐点含水率计算值 $w_g = w_p + (w_L - w_p)/2$
F <sub>1</sub>	22.0	20.5	10.7	29.5	20.1
F <sub>2</sub>	43.9	42.6	31.0	54.0	42.5
F <sub>3</sub>	29.7	28.8	18.2	41.5	29.9
F <sub>4</sub>	60.0	56.5	45.0	69.0	57.0

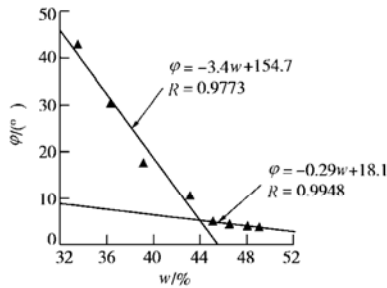


图 3 F<sub>2</sub> 断层泥  $\phi$  与  $w$  关系曲线

Fig. 3 Relation between internal friction angle and water content of gouge F<sub>2</sub>

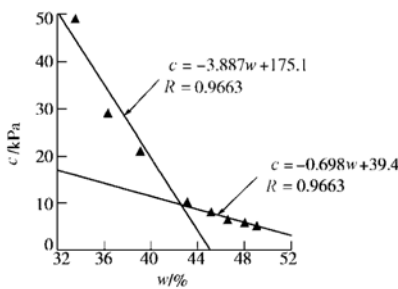


图 4 F<sub>2</sub> 断层泥  $c$  与  $w$  关系曲线

Fig. 4 Relation between cohesion and water content of gouge F<sub>2</sub>

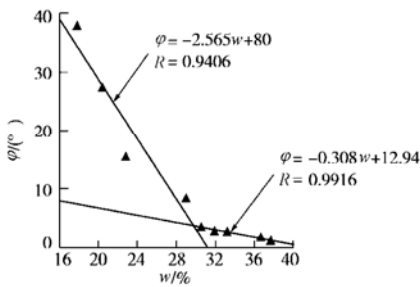


图 5 F<sub>3</sub> 断层泥  $\phi$  与  $w$  关系曲线

Fig. 5 Relation between internal friction angle and water content of gouge F<sub>3</sub>

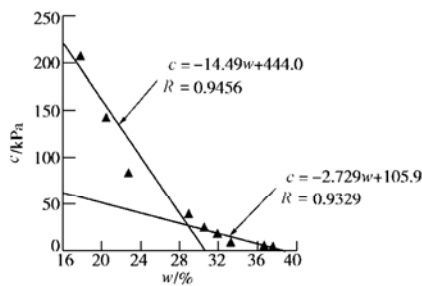


图 6 F<sub>3</sub> 断层泥  $c$  与  $w$  关系曲线

Fig. 6 Relation between cohesion and water content of gouge F<sub>3</sub>

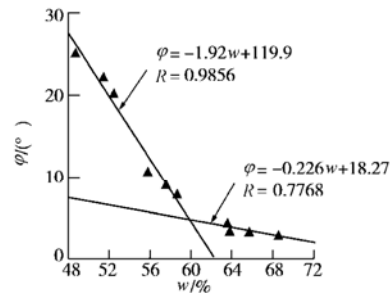


图 7 F<sub>4</sub> 断层泥  $\phi$  与  $w$  关系曲线

Fig. 7 Relation between internal friction angle and water content of gouge F<sub>4</sub>

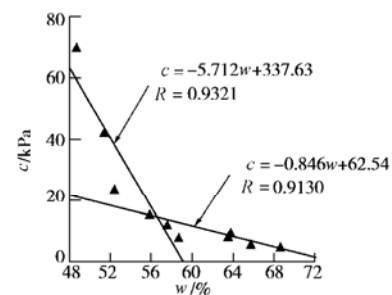


图 8 F<sub>4</sub> 断层泥  $c$  与  $w$  关系曲线

Fig. 8 Relation between cohesion and water content of gouge F<sub>4</sub>

由表 3 可以看出同一试样内摩擦角、粘聚力与含水率变化关系的拐点位置十分接近。如果排除试验误差，可以认为同一断层泥强度参数（内摩擦角和粘聚力）与含水率变化关系具有同一拐点，而且拐点处含水率都位于塑限和液限之间的某个值。经过回归分析，建立拐点处含水率与试样塑限和液限的相关式，即

$$w_g = w_p + (w_L - w_p)/2 \quad (1)$$

式中， $w_g$  为拐点处含水率（%）， $w_p$  为塑限（%）， $w_L$  为液限（%）。

表 3 结果表明由式（1）计算的拐点处含水率与试验值很接近，说明式（1）是符合研究区断层泥强度参数与含水率变化关系拐点处含水率的计算的。

上述分析和研究结果对研究区断层泥强度参数的评价具有以下现实意义：

（1）通过测定试样的天然含水率，塑液限等指标结合室内不同含水率的剪切试验可以获得断层泥原状

样的近似强度参数。

(2) 断层泥的强度参数在其含水率低于拐点含水率时, 随含水率的降低升高很快, 而在高于拐点含水率时, 随含水率的降低升高很慢。因此在边坡的未来开挖中要尽量保证断层泥的含水率低于拐点含水率, 且在此基础上断层泥含水率每降低 1 个百分点对断层泥的强度参数而言都具有十分重大的意义。

### 3 结 论

(1) 一般情况下, 未扰动的断层泥含水率一般低于塑限, 处于半坚硬状态, 具有较高的强度参数。

(2) 断层泥强度参数随含水率的增加而降低并存在一个明显拐点。拐点处含水率可由公式  $w_g = w_p + (w_L - w_p)/2$  计算获得。

(3) 当断层泥含水率低于拐点含水率时, 随含水率的降低其强度参数升高很快, 而在高于拐点含水率时, 随含水率的降低其强度参数升高很慢。

(4) 鉴于不同地区、不同断层的个性差异, 本文的结果能否推广应用于其他工程中遇到的断层泥, 需要另行研究。

#### 参考文献:

- [1] 孔德坊. 工程岩土学[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 69 - 72. (KONG De-fang. Rock and soil engineering [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 69 - 72.)
- [2] 张咸恭, 聂德新, 韩文峰. 围压效应与软弱夹层泥化的可能性分析[J]. 地质评论, 1990, 6(2): 114 - 119. (ZHANG Xian-gong, NIE De-xin, HAN Wen-feng. The effect of confining pressure and the possibility of argillization of weak intercalations[J]. Geological Review, 1990, 6(2): 114 - 119.)
- [3] 聂德新, 符文烹, 任光明. 天然围压下软弱层带的工程特性及当前研究中存在的问题分析[J]. 工程地质学报, 1999, 7(4): 296 - 302. (NIE De-xin, FU Wen-xi, REN Guang-ming. Analysis of engineering properties of weak layer zone under natural confining pressure and the existing problems in present studies[J]. Journal of Engineering Geology, 1999, 7(4): 296 - 302)
- [4] 聂德新. 地应力对夹泥抗剪强度的影响[C]// 1983 年全国水电中青年科技干部报告会论文集. 北京: 水利电力出版社, 1985: 131 - 138. (NIE De-xin. The effects of field stress for the gouge shear strength[C]// The Memoir of Middle Age and Puber Management Meeting in National Hydroelectricity. Beijiing: Water Resources and Hydropower Publishing House, 1985: 131 - 138.)
- [5] 任光明, 等. 软弱层带夹泥物理力学特征的仿真研究[J]. 工程地质学报, 1999, 7(1): 65 - 71. (REN Guang-ming. A simulation study of physical-mechanical properties of intercalated gouge in layered weak zones[J]. Journal of Engineering Geology, 1999, 7(1): 65 - 71.)

### 本期广告索引

- 彩色广告 封 2 北京理正软件设计研究院: 理正岩土升级到 - 5.0 版  
封 3 江苏金坛柚山电器仪表厂: 原观仪器  
封 4 欧美大地仪器设备中国有限公司: Geocomp 三轴系统
- 单色广告 后插 1 吴江良工机械有限公司: 良工桩机  
后插 2 山东科技大学洛赛尔传感技术有限公司: 振弦式传感器