

某滑坡炭质软岩抗剪强度受含水量影响分析

肖学沛, 李天斌

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘要: 通过对某滑坡其炭质软岩在不同含水量下进行大量的抗剪强度试验, 得出抗剪强度与含水量的关系曲线, 分析曲线变化特征。因物质成分决定其力学性质, 故进一步对岩样进行 X-射线分析, 得到其矿物成分; 同时进行红外吸收谱分析, 得到其化学成份。从而从内因上解释曲线变化特征及阐述抗剪强度受含水量的影响。

关键词: 炭质软岩; 膨胀性软岩; 抗剪强度; 携剪试验; 直剪试验

中图分类号: S157; P642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2005)01-0075-04

Analysis of Shear Strength Affected by Water Content of Char Weak Rock in One Certain Landslide

XIAO Xue-pei, LI Tian-bin

(College of Environmental and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: On the basis of carrying on a large amount of shear strength tests to char weak rock in one certain landslide under different water content, the relation curves will be drawn which includes shear strength and moisture content, then analyzing the curve's characteristic. Since matter composition determines mechanical property, progressing X-ray analysis of rock specimens further get their mineral composition and meanwhile progressing analyses of infrared spectrum to rock specimens get their chemical composition. Consequently the authors explain the curvilinear characteristic from internal cause that shear strength is affected by water content.

Key words: char weak rock; swelling weak rock; shear strength; carrying shear test; direct shear test

1 引言

随着人类工程活动的不断增强, 在大型隧道工程和边坡工程中, 如安太堡露天煤矿边坡、抚顺露天煤矿边坡、小浪底导流隧洞工程等等也相应出现软岩问题。软岩是一种特定环境下的具有显著塑性变形的复杂岩石力学介质, 随着开采深度的增加, 软岩问题愈趋严重, 直接影响煤矿安全生产, 危及人身安全。从 20 世纪 60 年代到 90 年代初, 关于软岩的概念在国内外一直争论不休, 产生的软岩定义多达几十种。即使到现在, 关于软岩的概念仍然名目繁多, 定义各异, 各有优缺点。但总体看来, 各种定义的软岩都强调的是软岩的软、弱、松、散等低强度的特点。软岩据其强度特性、泥质含量、结构面特点及塑性变形力学特点差异可大体分为四种: 膨胀性软岩(也称低强度软岩)、高应力软岩、节理化软岩和复合型软岩。膨胀性软岩是指含有黏土高膨胀性矿物, 在较低应力水平($< 25 \text{ Mpa}$)条件下即发生显著变形的低强度工程岩体。塑性变形特点是: 在工程力学作用下, 沿片架状硅酸盐黏土矿物产生滑移, 遇水显著膨胀等。

某滑坡位于煤系地层组成的平缓层状边坡(缓倾外)。岩性为厚层砂岩、灰岩中夹薄层炭质泥岩或煤层, 为软岩, 根据软岩工程分类可将其归为膨胀性软岩。岩层产状 $85^\circ \sim 105^\circ$

$15^\circ \sim 23^\circ$ 。岩层中褶皱发育, 发育两组陡倾角裂隙, 走向分别为 $N45^\circ E$ 和 $N20^\circ W$, 它们构成了坡体滑动的后缘切割面。岩体强风化、强卸荷, 炭质泥岩、煤层为散体结构, V 类岩体; 砂岩、灰岩呈碎裂结构, IV 类。公路开挖时, 边坡有变形滑动迹象。在该开挖边坡中取炭质泥岩进行了成份分析, 取原状岩样进行了大量携剪试验, 同时取扰动后土样进行了土工试验。炭质泥岩(煤层)遇水后会软化, 其力学性能将会发生很大的降低。因滑带土为薄层炭质泥岩, 其力学性能受其物质基础和周围环境条件的影响, 周围环境包括地下水、地应力等。对开挖的边坡、滑坡而言, 地应力影响相对较小, 而水的影响不能忽视。实践证明, 大多数滑坡、泥石流等地质灾害都是发生在雨天、甚至暴雨天。将以水为依据, 采用不同的含水率的土样做携剪试验、土工试验, 来讨论含水量多少对软岩、扰动土抗剪强度的影响。

2 滑带土剪切试验分析

2.1 携剪试验分析

携剪试验是采用携带式剪切仪器测定岩石抗剪强度指标的一种简易方法, 可用于难以制成规则几何形状试样的某些岩石, 尤其适用于测定岩石的软弱结构面和弱岩的峰值抗剪强度和残余抗剪强度。携剪试验通常是用不少于 4 个相同

岩性的试样,并制成统一规格,分别在不同正应力 σ 的作用下施加剪应力 τ ,测得破坏时的极限剪应力 τ_{max} ;然后,根据库伦公式 $\tau = \sigma \tan \varphi + C$ 确定剪切面的抗剪强度参数(内摩擦角 φ 和凝聚力 C)。

物质成分对其力学性质的影响主要反映在黏土矿物的水敏性上,故主要从水对炭质泥岩力学性质的影响方面进行一些探索。在滑坡中的原状煤系炭质泥岩中取 5 组试样,开展携带式剪切试验。经过分组后分别在天然状态、饱水 0.5 h、饱水 1 h、饱水 2 h 条件下,进行剪切。炭质泥岩的抗剪强度试验结果如表 1 所示,同时作出相应的剪应力(τ)与位移(μ)曲线图,因每一个岩样可以确定一对(τ, σ),故每组试验则有 4~5 对(τ, σ),然后用最小二乘法原理计算内摩擦角 φ

和凝聚力 C ,最后可获得不同饱水时间下的剪应力(τ)与正应力(σ)值,同时通过土工试验求出含水量,进而分析水的含量不同对抗剪强度参数的影响情况,具体试验参数及成果见表 1。

表 1 滑带土强度试验成果表

取样地点及编号	饱水时间/含水量/h	含水率/%	抗剪强度参数	
			抗剪断峰值 摩擦系数 f	抗剪断峰值 内聚 C /MPa
滑坡 2#、4#	天然状态	9.4	1.13	0.193
滑坡 1#	0.5	11.6	0.977	0.0697
滑坡 3#	1	13.2	0.78	0.0609
滑坡 5#	2	16.5	0.334	0.0289

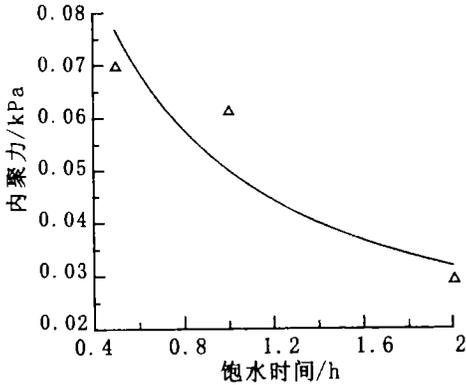


图 1 内聚力与饱水时间关系曲线

为了进一步详细分析含水量对抗剪参数的影响,分别作出内聚力与饱水时间关系曲线图、内聚力与含水量关系曲线图、摩擦系数与饱水时间关系曲线图及摩擦系数与含水量关系曲线图,见图 1、图 2、图 3 及图 4。

有以上试验数据及图表分析可得以下几个特点:(1)炭质泥岩(软岩)抗剪强度受含水量的影响很明显;随着含水量的增加,抗剪强度(抗剪断峰值摩擦系数 f 、抗剪断峰值内聚 C)不断降低。(2)在饱水初期,抗剪强度降低的幅度较大;而在后期,幅度较小,从抗剪强度与时间关系曲线图上表现出的就是:在前期,单位时间内的抗剪强度降低值大,曲线的斜率的绝对值大于后期。(3)当饱水到一定的时间,即含水量达到一定程度后,抗剪强度变化幅度很小,直线趋于平缓。

2.2 直剪试验

为了进一步认识不同的含水量对滑带土抗剪强度的影响,将滑带土样在室内扰动经重塑,模拟炭质泥岩经扰动,在不同的雨季下,尤其是暴雨情况的抗剪强度情况,配制不同

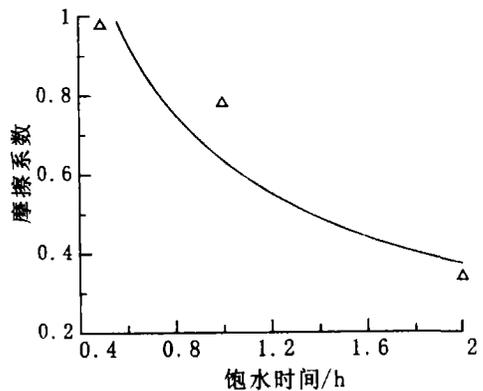


图 2 摩擦系数与饱水时间关系曲线

等级的含水量,分别进行直剪试验测定其剪切强度,测出不同的含水量对应的强度值,试样的抗剪试验结果见表 2,有以上试验数据结果及关系曲线分析可得到与携剪试验相同的几点规律特点,即直剪试验得到的含水量对抗剪强度的影响与携剪试验一致。

表 2 滑坡滑带土不同含水量状态下的物理和力学性质

类别	试样编号	天然含水率/	天然密度/	干密度	孔隙比	重塑快剪	
		配样含水率 w /%	湿密度 ρ /($g \cdot cm^{-3}$)	ρ_d /($g \cdot cm^{-3}$)		内聚力 C /(kPa)	摩擦系数 f
汤巴沟滑坡	原状	19.8	2.03	1.67	0.615	54 (饱水快剪)	0.312 (饱水快剪)
	重塑 1	16.9	1.90	1.67	0.675	70	0.364
	重塑 2	19.5	1.96	1.65	0.665	54	0.287
	重塑 3	23.7	1.96	1.56	0.728	15	0.123
	重塑 4	14.8	1.88	1.71	0.665	96	0.410
	重塑 6	26.9	1.96	1.54	0.773	13	0.07
	重塑 7	21.7	1.97	1.62	0.685	40	0.176

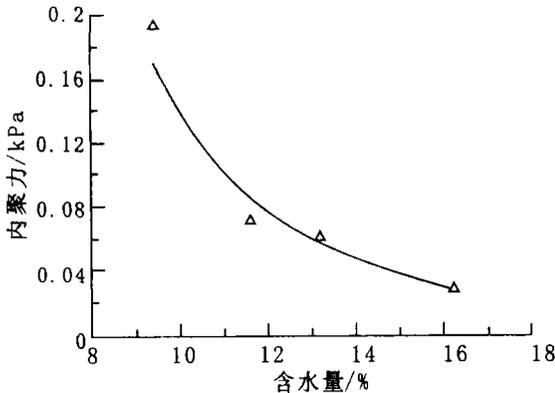


图 3 内聚力与含水量关系曲线

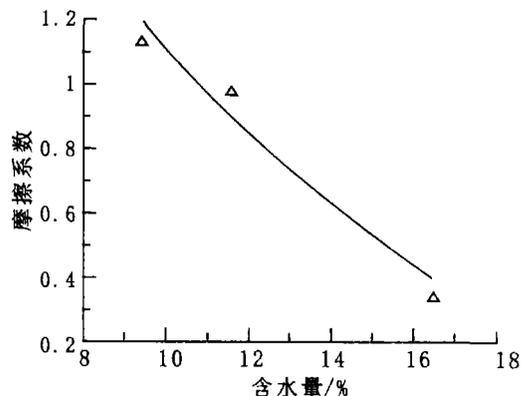


图 4 摩擦系数与含水量关系曲线

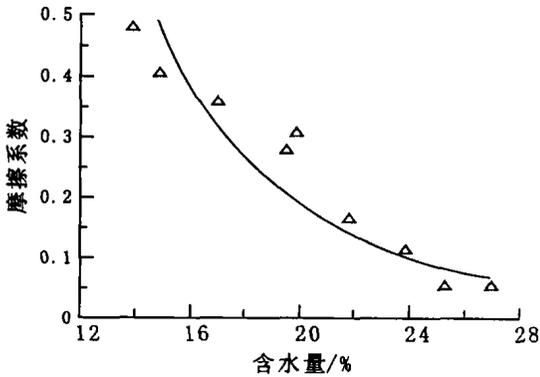


图 5 重塑样摩擦系数与含水量关系曲线

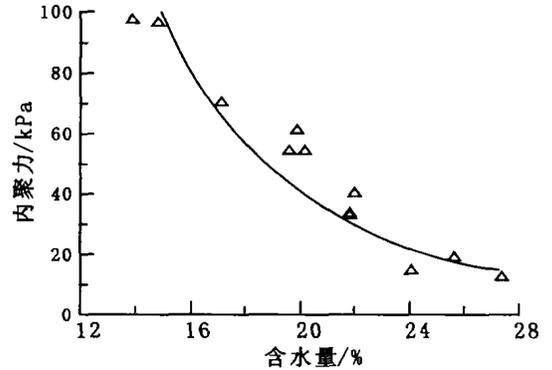


图 6 重塑样内聚力与含水量关系曲线

3 滑带土的化学成分及矿物成分

前人研究表明, 土的物质成分决定其力学性质, 不同的物质成分组成土体表现出不同的力学性质; 土的物质成分为其表现出的力学性质的内因。水是通过对土的结构和构造的影响来改变其力学性质, 主要通过改变: 组成土的固体矿物颗粒的形态及组合特征, 包括颗粒的大小、形状和表面特征, 颗粒的排列组合情况和数量关系, 颗粒间的联系特征和孔隙特征, 以及土的状态等等, 对于含黏土矿物的土体, 因黏土矿物受水影响具有独特的性质, 表现出一定的亲水性, 以及吸水膨胀, 失水收缩等独特性质, 故下面将从内部物质成分方面进行分析、讨论。

3.1 矿物成分

为了了解此软岩的矿物成分, 取其原岩和扰动后的土样(编号分别为 TY、TH) 进行 X- 射线多矿物衍射, 其曲线关系如图 7、图 8 所示, X- 射线多矿物衍射曲线明显反映出样品是由多种矿物组成的, 将其与典型矿物的衍射图谱对比可知, 样品的主要矿物成分是地开石(80% ~ 85%)、埃洛石

(10% ~ 15%)、石英(5% ~ 8%)、蒙脱石(3% ~ 5%)、水云母或蛭石化的黑云母(2%)。

3.2 化学成分

在 perkin- Elmer983 型红外分光光度计上对 TH (扰动后) 样品进行红外吸收谱分析, 从吸收曲线(见图 9)可以判断, TH 样品是一种含水的铝- 硅酸盐矿物。

表 3 滑带土化学成分

样品编号	样品名称	化验项目及成分百分比							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	FeO	NaO	CaO	烧失量
TY	原样	70.44	16.04	1.66	0.59	0.56	0.14	0.10	7.88
TH	扰动后	54.00	27.41	2.65	0.86	0.58	0.20	0.06	12.20

为了进一步鉴别矿物类型, 对 TY、TH 的样品进行全量化学成分分析, 分析结果见表 3。进一步验证了 X- 射线多矿物衍射曲线的分析结果, 并可由表推算出样品中主要成分—地开石为含有结构水的铝- 硅酸盐矿物, 其化学分子式为: $A_2Si_2O_5(OH)_4$ 。



图 7 炭质泥岩原状样(编号 TY)X 射线衍射曲线

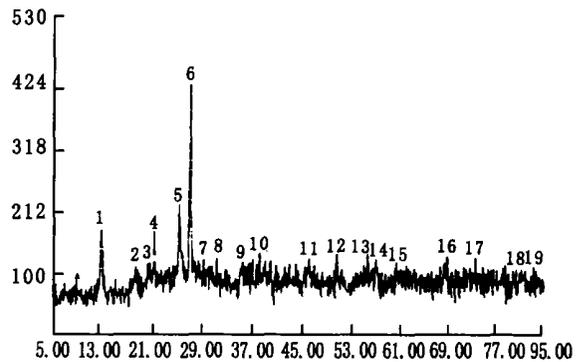


图 8 滑错后形成的滑带土(编号 TH)X 射线衍射曲线

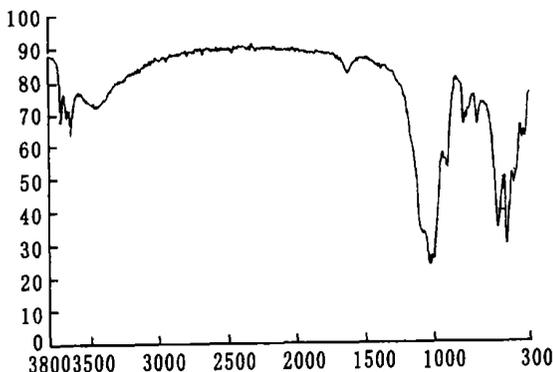


图 9 滑错后形成的滑带土(编号 TH)红外吸收光谱图

4 试验结果分析

上述资料表明, 此滑坡中软岩、扰动土主要是由黏土矿物组成, 其中地开石(80% ~ 85%)、埃洛石(10% ~ 15%)均属于高岭石组, 其晶体结构为两层型 TO 结构; 而蒙脱石(3% ~ 5%)晶体结构为三层型 TOT 型; 水云母实为高岭石(2%), 其晶体结构也为三层型 TOT 型。前人研究表明蒙脱石稳定性最差, 埃洛石、地开石次之, 黏土矿物成分对其力学性质其主导作用, 表现在黏土矿物的亲水性上, 即使在土中的相对含量不大, 其水化学物理特征对黏土及黏土岩力学性质也有极大的影响。同时从表 3 中也可以看出: 扰动后的土与原状炭质泥岩在化学成分上发生了明显的差异。滑带土中

SiO₂ 的含量降低了将近 20% , Al₂O₃ 的含量升高了将近 10% , 其它成分含量变化不大, 反映出炭质泥岩经滑动扰动泥化后, 其物质成分发生了重组, 其黏粒含量增大。

5 结 论

由以上分析可得以下几点结论:

- (1) 同一种炭质软岩, 在不同的含水量下会表现出不同的力学性质, 一般含水量高, 其力学性能要低; 反之要高, 尤其对一些含亲水性的矿物组成的岩土体, 其影响更大。
- (2) 同一种炭质软岩, 扰动前与扰动后力学性能将发生变化, 主要是其物质成分发生了变化, 物质成分决定其力学

性能; 扰动后土的物质成分发生重组, 黏粒含量增加, 降低了其力学性能。

(3) 在饱水初期, 抗剪强度降低的幅度较大, 单位时间内的抗剪强度降低值大, 曲线的斜率的绝对值较大, 主要是蒙脱石受水影响在发生分子膨胀作用, 因蒙脱石晶胞与晶胞以 O⁻ 离子接触, 故不够紧密, 可以吸收不定量的水分子, 体积大大膨胀, 使软岩整体失去连接, 从而强度大大降低; 而后期, 抗剪强度降低的幅度较小, 主要是高岭石受水影响发生胶体膨胀, 高岭石晶胞与晶胞之间联结较强, 亲水性差, 体积膨胀也小, 故抗剪强度降低幅度较小。

参考文献

[1] 李育枢 深挖路堑公路边坡岩体力学参数及获取方法体系研究[D] 成都: 成都理工大学, 2003

[2] 何满潮, 景海河, 孙晓明 软岩工程力学[M] 北京: 科学出版社, 2002

[3] 孔德坊 工程岩土学[M] 北京: 地质出版社, 1992

[4] 地质矿产部水文地质专业实验测试中心 中华人民共和国地质矿产部岩石物理力学性质试验规程 DY- 94 [M] 北京: 地质出版社, 1995

(上接第 29 页)

[22] 赵金荣, 等 黄土高原水土保持灌木[M] 北京: 中国林业出版社, 1994 374

[23] 侯正明 平凉市气候变化特征及其对生态环境的影响[J] 甘肃农村科技, 2001, (3): 15- 16

[24] 黄勇 退耕还林功在千秋利在当代[J] 四川草业, 2003, (2): 8

[25] 代亚丽, 蔡江碧, 王宏丽 植被建设在黄土高原生态环境建设中的地位和作用[J] 西北农业大学学报, 2000, 28(6): 130 - 134

[26] Meyer W B, Turner B L II. Human population growth and global land- use/cover change[J] Annu Rev Eco Syst, 1992, 23: 39- 61.

[27] 李晓兵, 陈云浩, 张云霞, 等 气候变化对我国北方荒漠草原植被的影响[J] 地球科学进展, 2002, 17(2): 395- 400

[28] Uhl C, Kauffman J B. Deforestation, fire susceptibility and potential tree response to fire in eastern Amazon [J] Ecology, 1990, 71: 437- 449

[29] 吕世华, 陈玉春 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[J] 高原气象, 1999, 18(3): 416- 424

[30] 陈继红, 邓玉林 寓科技于产业, 再造山川秀美[J] 林业科技管理, 2001, (1): 31- 33

[31] 封志明, 张蓬涛, 杨艳昭 西北地区的退耕规模\粮食响应及政策建议[J] 2003, 22(1): 105- 113

[32] 邢小方, 杨德福 退耕还林对农民收入和农村产业结构的影响[J] 林业财务与会计, 2002, (11): 46

[33] 杨西岳 退耕还林与产业结构问题的讨论[J] 四川林业科技, 2001, 22(1): 24- 27.

[34] 吴志文 退耕还林中的权益配置及产业结构调整[J] 世界林业研究, 2001, 14(3): 75- 80

[35] 赵雪燕, 师守祥 论西部退耕还林与县域经济结构调整[J] 未来与发展, 2001, (8): 40- 42

[36] 陈绪敖 退耕还林中农民收入增长: 问题与对策[J] 安康师专学报, 2003, (15): 4- 6

[37] 羊绍武, 杨争光 退耕还林与粮食生产[J] 西南民族学院学报(哲学社会科学版), 2001, 22(2): 47- 49

[38] 侯军歧, 等 退耕与西部地区的粮食发展[J] 中国食物与营养, 2000, (3): 45- 46

[39] 郭焕成 社会主义市场经济体制下中国农业持续发展战略研究[M] 北京: 环境科学出版社, 1996 178- 194

[40] 陆大道 1997 中国区域发展报告[M] 北京: 商务印书馆, 1997.

[41] 张落成 中国 21 世纪粮食地区结构变化研究[A] 见: 中国科学院国情分析研究小组 农业与发展——21 世纪中国粮食与农业发展战略研究[M] 沈阳: 辽宁人民出版社, 1997. 308- 333

[42] 郭正模 退耕还林工程对山区土地利用影响的分析[J] 国土经济, 2002, (10): 7- 9

[43] 鲁绍伟, 黄选瑞, 李帅英, 等 退耕还林的背景分析[J] 河北林果研究, 2003, 18(1): 20- 23

[44] 吴钦孝, 等 黄土高原水土流失区的植被资源和植被建设[J] 水土保持研究, 1994, 1(3): 2- 8

[45] 黄河水利委员会 黄河水土保持志[M] 郑州: 黄河水利出版社, 1999

[46] 侯庆春, 等 黄土高原植被建设中的有关问题[J] 水土保持通报, 2000, 20(2): 53- 56

[47] 陈昌笃 陕甘边境子午岭梢林区的植被及其在水土保持上的作用[J] 植物生态学与地植物学资料丛刊, 第二集, 1958

[48] 王占孟 模拟天然植被演替规律建设黄土高原生态系统的研究[J] 甘肃林业科技, 1995, (1): 41- 55

[49] 朱志诚 陕北黄土高原森林草原地带植被恢复演替初步研究[J] 山西大学学报, 1994, 16(1): 94- 100