

# 昆明红粘土的基本特征及工程 效应影响机理的探讨\*

张慧颖<sup>1</sup>, 张云淑<sup>1</sup>, 彭玉林<sup>1</sup>, 付黎涅<sup>2</sup>

(1. 云南农业大学水利水电与建筑学院, 云南 昆明 650201;  
2. 云南有色金属昆明勘察设计院, 云南 昆明 650051)

**摘要:** 通过对昆明市区红粘土进行了野外勘察, 确定了昆明市区红粘土的分布特征及形成条件。利用 X-荧光光谱仪、激光粒度分析仪和扫描电子显微镜(SEM), 对昆明市区 50 多个红粘土土样进行了分析, 从土样的化学成分、粒度分布和表面形貌上研究了它们的基本物理特征。同时研究了昆明市区红粘土的力学特性, 并与黔桂地区红粘土的力学性质进行了比较。

**关键词:** 红粘土; 基本特征; 影响机理

**中图分类号:** TU 446 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X(2007)04-0615-03

## Study on Fundamental Characteristics and Infection Mechanism of Red Clay in Kunming

ZHANG Hui-ying<sup>1</sup>, ZHANG Yun-shu<sup>1</sup>, PENG Yu-lin<sup>1</sup>, FU Li-nie<sup>2</sup>

(1. Faculty of Water Resource, Hydraulic Power and Architecture, Y A U, Kunming 650201, China;  
2. Kunming Non-ferrous Prospection Design Institute, Kunming 650051, China)

**Abstract:** In this paper, The granularity distribution, chemical composition, microstructure and physico-mechanical property of Kunming red clay are measured by using X-fluorescence spectrometer, laser granularity analyzer and SEM. The studies on the mechanical property of red clay were carried out and compared with that of red clay in Guizhou and Guangxi provinces.

**Key words:** red clay; fundamental characteristic; infection mechanism

昆明市红粘土多数是由石灰岩、白云岩在湿热气候条件下经强烈风化作用形成的残积、坡积物, 也有少数是由玄武岩经风化作用形成。它分布广泛, 且各地不均, 物理力学性状又不同于一般粘土, 在工程建设中广泛应用。本文根据多年来昆明红粘土的地质考察资料及实验数据, 总结了它的基本特征, 并深入探讨了红粘土的微观结构及化学组成对其工程特性的影响原理。

### 1 昆明红粘土的分布特征

昆明红粘土主要以残、坡积物的形态分布在昆明盆地上层高原面的山坡、山麓和盆地中。其发育厚度变化很大, 受地形地貌和新构造运动的影

响<sup>[1]</sup>, 与原始地貌和下伏基岩的起伏变化密切相关, 总体分布特征为北东地区分布厚度薄, 南西地区厚, 一般发育厚度在 0.4 ~ 10.2 m 之间, 当下伏基岩中岩溶地貌发育, 其上覆红粘土的厚度变化极大, 常在咫尺之隔相差 10 多 m。

### 2 昆明红粘土的形成

昆明红粘土多数是由石灰岩在亚热带高原季风型温湿气候的影响下, 经化学、物理风化作用形成。其形成主要经过两个阶段<sup>[2]</sup>: 第一阶段为碎屑化和红土化作用的准备阶段, 在化学风化主导作用和物理风化的辅助作用下, 母岩风化破碎, 经地下水的溶蚀淋滤作用, 碳酸盐矿物大量分解迁移,

收稿日期: 2006-10-25 修回日期: 2006-11-28

\* 基金项目: 云南农业大学校青年基金项目。

作者简介: 张慧颖(1977-), 女, 讲师, 硕士研究生, 主要从事岩土工程和环境工程地质方面的研究。

E-mail: huiying\_zhy@163.com

硅、铝显著分离,出现大量硅—铝酸体氧化物,形成一些粘土矿物,含大量易溶解的二价铁,风化产物为黄、灰白色或杂色的粘性土;第二阶段为红土化阶段,岩基成分基本淋失,形成大量的以伊利石、高岭石为主的粘土矿物,同时形成大量的三价氧化铁和少量的三水铝石矿物,风化产物为棕红、褐红色粘性土为主。本区的红粘土中缺少三水铝石矿物,反映其成土过程仅达中等程度。

### 3 物质组成

昆明红粘土主要化学成分特征见表 1,其  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量较高 90% 以上;碱金属和碱土金属氧化物含量低,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  氧化物含量总和为 0.4% ~ 5%。一般红粘土中主要的矿物成分为高岭石、伊利石、绿泥石、水铝石、蛭石等,也有少

量特殊红粘土中含蒙脱石,由于多数昆明红粘土中不含非水稳性矿物蒙脱石,却含有亚水稳性矿物蛭石,所以该土体具有弱膨胀性。红粘土的粒度组成特征见图 1,总体颗粒细小而均匀,粘粒含量高,粒径主要分布在 0.317 ~ 399.052  $\mu\text{m}$  之间。

### 4 矿物结构

红粘土矿物结构通过电镜照片(图 2)可以看到,土体是由大小不等的粒状单元聚集而成,基本粒状单元是由粘土矿物颗粒组成,由于游离氧化铁与水作用形成溶胶胶体,充填在粘土矿物颗粒形成的絮凝结构孔隙中,进而形成具有较高的结构连接强度的稳定团粒结构<sup>[3]</sup>,并具有稳定的结晶格架,其晶格结构为层状或链状。红粘土的矿物结构直接影响了土体的性质。

表 1 红粘土化学成分表

Tab. 1 Chemical contents of red clay

化学成分 chemical ingredient	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{SO}_3$	$\text{ZnO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{Cl}$	$\text{CuO}$	$\text{ZnO}$
百分含量/% percentage	32.0	29.7	29.4	6.81	0.43	0.21	0.132	0.129	0.077 5	0.075 2	0.042 3	0.035 9	0.035 1	0.017 3

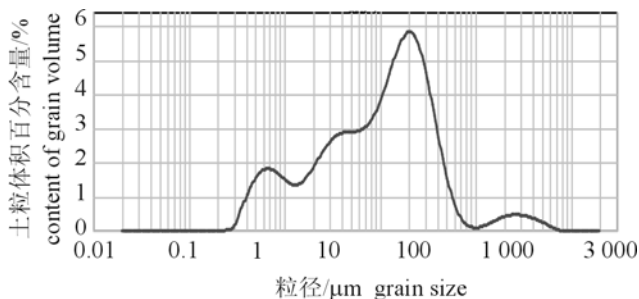


图 1 粒度分布

Fig. 1 The granulometry distribution of red clay

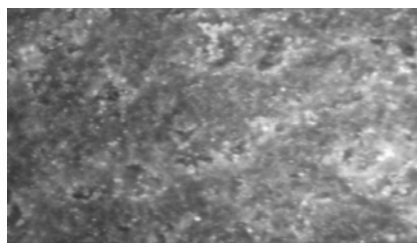


图 2 红粘土电镜照片

Fig. 2 TEM image of red clay

红、褐红、褐黄、土黄色,具有上硬下软的特征,地表土体多数处于坚硬状态和半坚硬状态,下部土体处于可塑至软塑状态。土体中网状裂隙发育。

该土体物理指标特征表现为:

(1) 孔隙比多数为 1 ~ 1.6,最大达到 1.94;

(2) 含水率较一般粉土高,达 40% ~ 65%;

(3) 塑限、液限值较高,塑限一般为 26% ~ 47%,液限一般为 50% ~ 90%,塑性指数在 15 ~ 40 之间,按塑性图(图 3)分类,该土应定名为高液限粉土<sup>[4]</sup>;

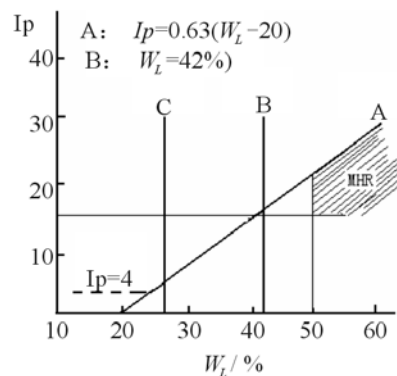


图 3 昆明红粘土在塑性图上的分布

Fig. 3 Plastic distribution graph of red clay

## 5 昆明红粘土的物理力学特征

### 5.1 物理特性

昆明红粘土地表出露特征表现为:颜色呈棕

(4) 比重大,由于昆明红粘土中三价铁和铝含量,三价铁含量高达 15% ~ 31%,三价铝含量高达 30%,所以导致该土体比重高,用比重瓶法测得数值一般在 2.7 ~ 3.0;

(5) 天然容重一般为 16 ~ 18 kN/m<sup>3</sup>;

(6) 饱和度一般在 70% ~ 97% 之间。

### 5.2 力学特征

昆明红粘土力学性质较好,具有低压缩性、高承载力,透水性弱的特点,是很好的持力层和筑坝土体。具体特征表现如下:

(1) 压缩性较低,昆明红粘土压缩系数一般在 0.14 ~ 0.5 MPa<sup>-1</sup>,根据《建筑地基基础设计规范》规定,该土属于中压缩性土。该土体孔隙比大,含水率高,却压缩性较低,其原因与土体结构有关。因为土体的压缩变形主要由于土孔隙中水、气外排引起土体孔隙体积减小,从而引起土体产生压缩,而红粘土的团粒结构是在成土过程中形成的,团粒结构中的孔隙由游离氧化铁与水作用形成的溶胶胶体充填,水分子与铁分子之间为连接力强的化学键,所以稳定性好,孔隙中的水不宜外排,因此该土体抗压压缩性强。

(2) 抗剪强度较高,昆明红粘土粘聚力达 30 ~ 70 kPa,内摩擦角 5.9 ~ 26.4°,高于贵州红粘土<sup>[5]</sup>(粘聚力 6.5 ~ 37 kPa,内摩擦角 3.2 ~ 17°)和广西红粘土<sup>[6]</sup>(粘聚力 4.1 ~ 37 kPa,内摩擦角 2.8 ~ 11.6°)。

(3) 承载力较高,硬·可塑状态的红粘土地基承载力一般为 180 kPa 左右,与贵州红粘土的承载力相近(140 ~ 200 kPa)。

(4) 弱透水性,利用变水头法测量红粘土的透水性,得到其渗透系数一般在  $9.0 \times 10^{-8} \sim 1.2 \times 10^{-7}$  cm/s,其弱透水性已经达到防渗土料( $< 1.0 \times 10^{-4}$  cm/s)的技术标准。通过对不同含水量的红粘土进行渗透试验,发现渗透性随着含水率的增高呈减小趋势,其原因为土中孔隙较小,当有孔隙水存在时,在孔隙水表面张力作用下,孔隙水呈球面体稳定存留在孔隙中,随着孔隙水体积的增加,导致能通过渗流的孔隙体积减小,因此渗透性会减小。

(5) 弱膨胀性、强收缩性,浸水后多数红粘土表现出弱膨胀性,自由膨胀率一般为 43% ~ 56%。失水后原状土的体缩率一般为 11% ~ 23%,扰动土的体缩率可高达 43%。正是由于红粘土具有弱膨胀性和强收缩性才导致其网状裂隙发育。总体

红粘土的胀缩性是由于土中含有膨胀性矿物,但也与红粘土的孔隙率和含水量有关,且呈正相关关系如图 4,图 5。

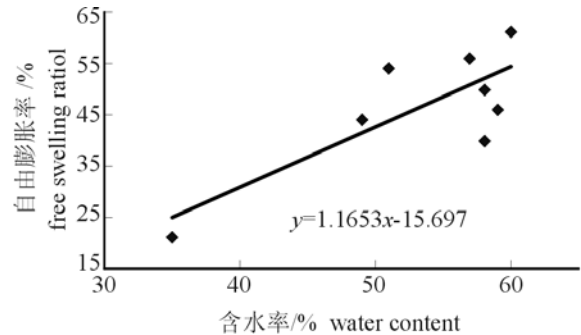


图 4 含水率与自由膨胀率关系图

Fig. 4 Relation of water content and free swelling ratio

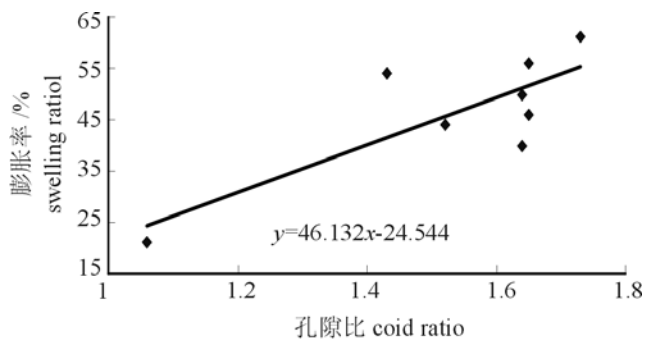


图 5 孔隙比与膨胀率关系图

Fig. 5 Relation of void ratio and swelling ratio

## 6 红粘土的化学成分及微观结构对工程特性的影响机理

### 6.1 红粘土的化学成分对工程特性的影响

组成红粘土的矿物成分控制着土颗粒的大小、形状和表面特征,这些特征以及与液相的相互作用决定了土的塑性、膨胀、压缩、强度等性状,直接影响着红粘土的工程性质。红粘土中粘土矿物含量较高,不同粘土矿物的化学活动性不同<sup>[7]</sup>,蒙脱石、绿泥石晶格活动性最大,其次为伊利石、高岭石,如果粘土中粘土矿物以高岭石、伊利石为主,则粘土的胀缩性较小,如果是蒙脱石、绿泥石含量多则粘土胀缩性比较明显<sup>[7]</sup>。由于多数昆明红粘土中虽然不含非水稳性矿物蒙脱石,却含有亚水稳性矿物蛭石,所以该土体仍具有弱膨胀性。红粘土结构中的胶结物游离氧化铁,颗粒细小,比表面积大,且具有较强的水化能力,它的存在导致红粘土具有较高的液限、塑限。

(下转第 622 页)

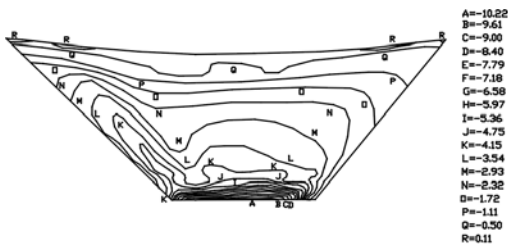


图 8 下游面第三主应力分布图(优化前) (MPa)  
Fig. 8 Contours of the third principal stress on the downstream surface (initial design) (unit MPa)

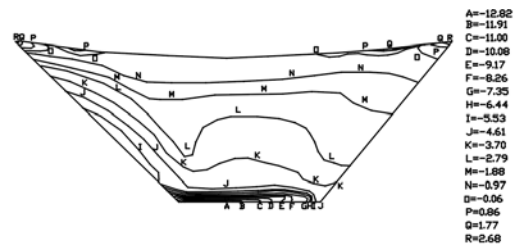


图 9 下游面第三主应力分布图(优化后) (MPa)  
Fig. 9 Contours of the third principal stress on the downstream surface (optimal design) (unit MPa)

[参考文献]

[1] 潘家铮,何璟. 中国大坝 50 年[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.

[2] 蔡新,郭兴文,张旭明. 工程结构优化设计[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.  
[3] 汪树玉. 优化原理、方法与工程应用[M]. 杭州:浙江大学出版社,1991.

(上接第 617 页)

6.2 红粘土的微观结构对工程特性的影响

在所有土性控制因素中,土的结构是最重要的因素,因为土的结构是沉积环境、各种沉积力、土颗粒性质及土颗粒表面力、以及沉积后各种地质力的作用因素综合作用的最终产物,可以说土的结构在某种程度上反映了土的成分和土的历史的所有方面,同时反应了土体的应力状态及应力历史等特征。谭罗荣等曾对红粘土的结构模型做了假设,笔者认为很合理,同时利用该结构模型分析红粘土的微观结构对其工程性质的影响。红粘土结构中,单元粒团的絮凝结构和团粒间的架空结构导致土体具有较大的孔隙比和高含水率。絮凝结构中的胶结物是由游离氧化铁与水形成的一种溶胶胶体,溶胶中的水化胶粒由于化学力的作用相互吸引聚合在一起,化学键的键能最强,不宜破坏,从而对孔隙中的水起牢牢的固结作用,水不宜流失,导致孔隙水所占的体积减少量小,所以红粘土的压缩性相对同孔隙比的其它土体较低,同时由于团粒间的架空结构是最稳定的结构,受力后不宜变形,最终另红粘土虽然孔隙率大但仍然具有低—中等压缩性特

征。同时红粘土结构中的胶结物是成土过程中形成的,具有较高的稳定性和联结强度,另红粘土具有较高的承载力。

[参考文献]

[1] 工程地质手册编写组. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1982.  
[2] 朱立军,傅平秋,李景阳. 贵州碳酸岩红土中粘土矿物及其形成机理[J]. 矿物学报,1996,16(3):290-297.  
[3] 谭罗荣. 红土特性的微观基础[A]. 全国第三次工程地质大会论文集[C]. 成都:成都科技大学出版社,1988,52-58.  
[4] GBJ 145-90,土的分类标准[S].  
[5] 刘前明. 贵州工程地质特征探讨[J]. 中国煤田地质,2002,14(2):47-55.  
[6] 罗维松,欧孝夺. 碳酸岩风化残坡积胀缩性红粘土路基病害的分析[J]. 广西交通科技,2002,27(3):19-21.  
[7] 熊厚金. 岩土工程化学[M]. 北京:科学出版社,2001.