

昆明红土微观结构特征参数分析

金克盛¹ 黄英¹ 陈晓娜²

(1. 昆明理工大学电力工程学院, 云南昆明 650504; 2. 云南农业职业技术学院, 云南昆明 650031)

【摘要】 红土的特殊物理力学性质主要是由它的微观结构特征决定的。分析了昆明红土在电子显微镜下的微观结构特征, 从经过处理的红土微观结构照片中提取了面积比例、平均周长、最大面积、圆形度、复杂度、定向度和分布分维等量化参数, 并将这些量化参数与红土的物理力学性质之间建立了联系。

【关键词】 昆明红土; 微观结构; 定量分析

【中图分类号】 TU 446

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2012.04.001

The Analysis of Microstructure Characteristic Parameters of Kunming Laterite

Jin Kesheng¹ Huang Ying¹ Chen Xiaona²

(1. The Faculty of Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650504, Yunnan, China;

2. Yunnan Vocational and Technical College of Agriculture, Kunming, 650031, Yunnan, China)

【Abstract】 Exceptional physical and mechanical properties of laterite is mainly determined by the micro-structure characteristic of it. This article analysed microstructural characteristics of Kunming laterite under the electron microscope, extracted from the processed photos in the microstructure of laterite. The average perimeter, the maximum area, the degrees of roundness, the degrees of complexity, the degrees of directed and quantitative parameters of fractal dimension and distribution, and also the quantitative parameter associated with the physical and mechanical properties of laterite.

【Key words】 the laterite of Kunming; microstructure; quantitative analysis

0 引言

所谓微观结构是指土体内土颗粒的大小、形状、表面特征, 颗粒之间的连结方式及排列方式。在长期的工程实践中, 人们发现土体的宏观工程性状在很大程度上受到微观结构的系统状态或整体行为的控制, 复杂的物理力学性状是其微观结构特性的集中体现, 任何一种基于适度均匀化处理的连续介质模式都很难准确地表述其结构的复杂性, 难以逾越土体微观结构的多样性和不确定性这一巨大的障碍^[1]。土的工程性质从本质上来说是取决于其微观结构, 是土体结构单元体性质的综合表现。

因此, 从微观结构出发, 搞清楚土体微观结构特征及其随外部荷载变化的规律是必要的。土体材料微观结构演化规律的试验研究可以为土体宏观理论提供重要的依据, 有利于对土体材料微观位移场变化的认识、本构关系的建立以及土体固结、流变机理

的深入研究。

目前, 土体微观结构研究以测试手段为主, 包括直接研究和间接研究两种手段, 主要是针对颗粒的定向性和孔隙性, 反映的内容相当有限。计算机图像分析技术则可以较为全面的提取微观结构信息, 反映微观结构的变化情况, 即实现结构要素(颗粒大小、形状、分布、定向性, 孔隙大小、粒间连接方式等)的量化分析。微观结构定量分析的重要前提是微观结构量化信息的真实有效提取。现阶段微观结构的定量试验大多利用显微仪器(如电子显微镜(SEM), X射线透射仪, CT机等)观测不同荷载状态下制作的土体试样薄片, 得到其微观结构图像, 在利用计算机图像处理的方法获取微观结构图片的量化信息^[2-10]。

红土在云南广泛分布, 特别是十二五期间, 云南的快速发展, 红土被普遍用于地基、路基和水库大坝

基金项目: 国家自然科学基金项目(50868009; 51168022)

作者简介: 金克盛, 1980年生, 男, 汉族, 浙江绍兴人, 硕士, 讲师, 从事特殊土的工程地质特性研究。E-mail: tencherjin 2005@126.com

等实际工程,因而对红土微观结构的研究,从而更深入的了解红土的工程地质特性,是目前非常迫切的任务,对实际应用红土具有重要意义。本文就是运用VB语言编写的图像处理程序,通过提取云南红土的微观结构特征参数,从微观角度定量分析红土的工程地质特性。

1 试验试样

红土是一种特殊土,它的物理性质和力学性质具有明显的不一致,其物理性质差,孔隙比大、密度低、粘粒含量高、高液限、高塑性,但它同时又具有优良的力学性质,较低的压缩性和较高的抗剪强度及承载力,是一种较好的地基土,应该加以充分利用。按《土工试验规程》测得昆明玄武岩红土的物理性质指标见表1(试验所用土样为昆明地区黄土坡冶炼厂后山的玄武岩红土):

表1 红土物理性质指标

相对密度 G_s	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_p/\%$	塑性指数 I_p
2.77	45	26	19

可见,玄武岩红土的液塑限较高,塑性指数大于17,按塑性指数分类属典型的粘土。

按轻型击实试验测最佳击实指标,而抗剪强度指标、渗透性指标、压缩性指标则以最佳击实指标作为控制标准,测得红土力学性质指标见表2:

表2 红土力学性质指标

最大干密度 ρ_{dmax} /($g \cdot cm^{-3}$)	最优含水率 $w_{op}/\%$	粘聚力 c /kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	渗透系数 k_{20} /($cm \cdot s^{-1}$)	压缩系数 a_{1-2} /(kPa^{-1})	压缩模量 E_s /MPa
1.42	29.90	21.25	20.58	1.76×10^{-6}	3.80×10^{-4}	1.83

从表2可以看出:

1)红土的压实性差,在一定击实功作用下,最大干密度低而最优含水率高,即使增大击实功,干密度的增量也是很有限。造成干密度低的原因是红土具有稳固的团粒结构,在压实过程中粘结牢固,其内部的孔隙改变很小,而且团粒之间也存在孔隙,故压实干密度较低,一般在 $1.2 \sim 1.5g/cm^3$ 之间,有些甚至只达到 $1.15g/cm^3$,而昆明玄武岩红土的最大干密度达 $1.42g/cm^3$,在红土中属较高的一种土;

2)昆明红土天然含水率较小,该红土由于没有植被覆盖,长期暴露在外面,受昆明日照强及风大的影响,因而天然含水率较小,特别在上部,含水率很小;

3)昆明红土的干密度较低,孔隙比较大,但这类

土的抗剪强度值并不低,其内摩擦角一般在 $20^\circ \sim 30^\circ$ 之间,凝聚力一般在 $13 \sim 60kPa$ 之间,红土在用作筑坝材料时,其强度是能满足要求的;

4)昆明红土属弱透水性土,其抗渗性比较好,这是因为红土中的游离氧化铁胶结作用水稳性较好,胶结体在水中不易分散。又由于该类土中存在着大小集合体,集合体间存在较大孔隙,故其渗透系数比分散性粘土的渗透系数相对要大,一般在 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-7}cm/s$ 之间;

5)昆明红土的压缩性一般不高,例如:昆明松花坝水库的土样在 $100 \sim 200kPa$ 压力范围内,压缩系数均在 $0.1 \sim 0.5MPa^{-1}$ 之间,按照分类标准,均属于中等或中等偏低压缩性土,这对控制坝体的沉陷量是非常有利的。

2 红土微观结构图像特征

红土的微观结构状态是决定红土特殊物理力学性质的根本原因。目前,分析红土的微观结构主要是通过扫描电子显微镜获得微观结构图像,再根据经验,对微观结构图像进行定性分析。红土典型的微观结构类型有:

1)流状结构:其结构单元以片状和扁平状颗粒为主,含有粒状颗粒,粘粒微聚集体之间按面-面,少数按面-边相互作用,形成似山涧小溪流水似的结构,孔隙主要分布不均匀的粒间孔隙(见图1)。



图1 紊流状结构

2)蜂窝状结构:该类结构的土中存在有开放性的蜂窝状孔隙,孔隙壁由按面-面,面-边相互作用的微聚集体构成。其中弯曲的聚集体常常彼此覆盖,形成此种结构的单个蜂窝。孔隙类型主要是粒间孔隙,外形有的呈圆形,直径 $3 \sim 7\mu m$;有的呈椭圆形,长轴 $5 \sim 15\mu m$;有的呈楔形,粒内孔隙发育(见图2)。

3)絮凝状结构:其基本单元体也以扁平状聚集

体和片状颗粒为主。它们以边一面接触为主,边一边和面一面接触为辅构成(见图3)。

4)粒状胶结结构:在这类结构中,粒状集合体彼此相互接触,外形有的呈圆形,直径 $2\sim 10\mu\text{m}$;有的呈椭圆形,长轴 $5.5\mu\text{m}$ 左右,短轴 $3.7\mu\text{m}$ 左右,孔隙主要是粒间孔隙和粒内孔隙(见图4)。



图2 蜂窝状结构

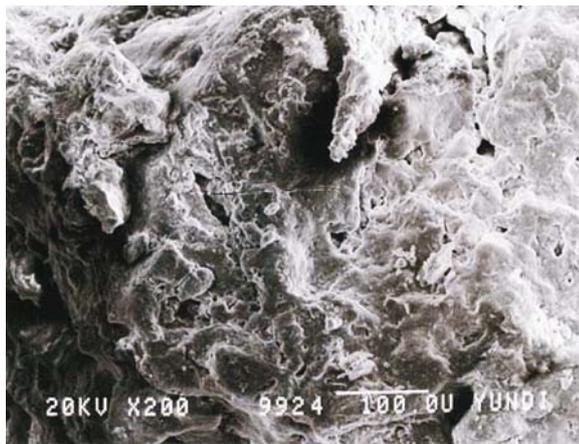


图3 絮凝状结构

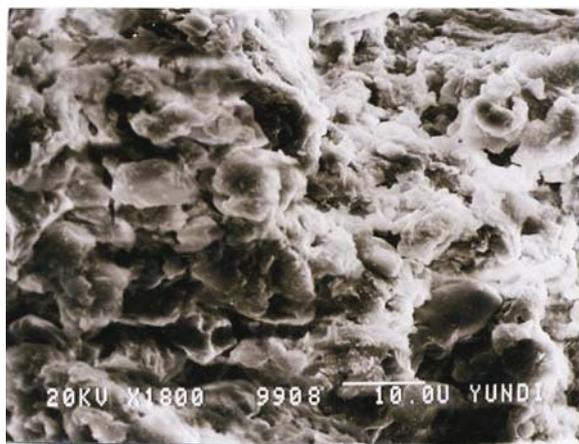


图4 粒状胶结结构

3 红土微观结构图像特征参数分析

利用编制的计算机图像处理程序,对云南典型红土的微观结构图像进行处理,得到二值化的红土微观结构图像(见图5~图14),从中便可提取红土微观结构图像的特征参数。

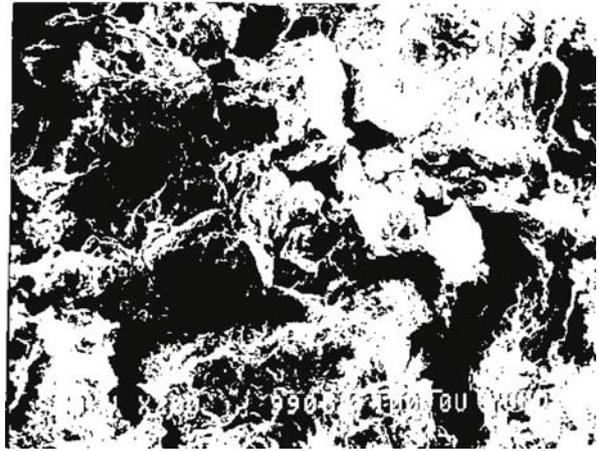


图5 放大倍数为200倍的1#图



图6 放大倍数为200倍的2#图



图7 放大倍数为540倍的3#图



图8 放大倍数为1000倍的4#图

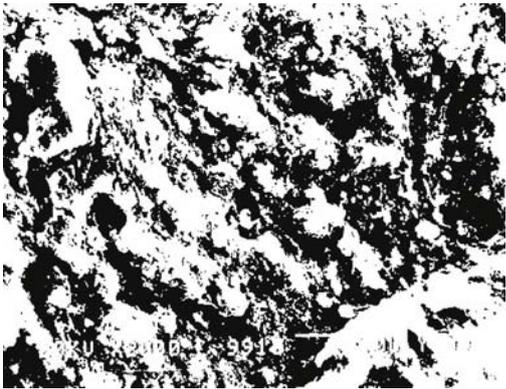


图9 放大倍数为2000倍的5#图

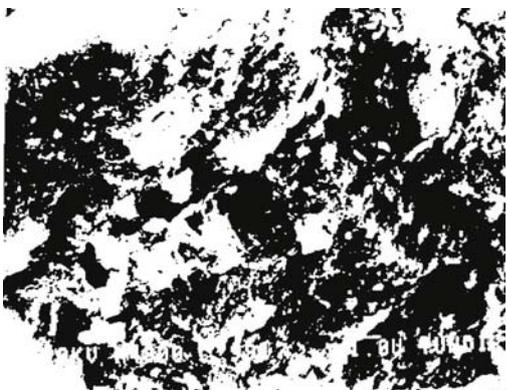


图10 放大倍数为4800倍的6#图



图11 放大倍数为10000倍的7#图

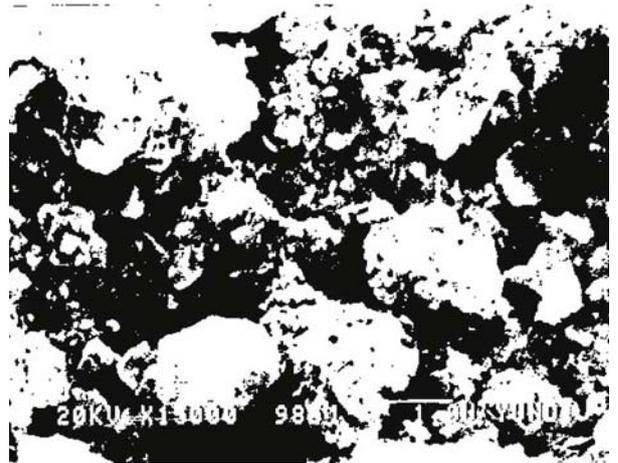


图12 放大倍数为15000倍的8#图



图13 放大倍数为15000倍的9#图

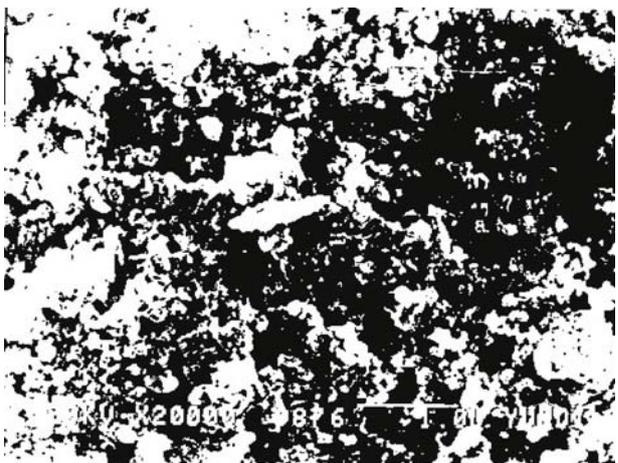


图14 放大倍数为20000倍的10#图

根据红土微观结构图像特征参数分析步骤,编制计算机图像处理程序,提取的红土微观结构图像特征参数见表3。

表3 红土微观结构图像特征参数

编号	目标类型	面积比例	平均周长	最大面积	圆形度	复杂度	定向度	分布分维
1 [#]	颗粒	53.2	9.23	12 653	0.52	1.60	0.51	2.73
	孔隙	46.8	9.12	11 349	0.46	1.78	0.53	2.70
2 [#]	颗粒	51.7	9.18	11 985	0.53	1.63	0.49	2.72
	孔隙	48.3	9.09	11 026	0.49	1.71	0.52	2.71
3 [#]	颗粒	56.1	10.56	13 986	0.51	2.81	0.50	2.79
	孔隙	43.9	9.03	10 986	0.43	1.86	0.52	2.68
4 [#]	颗粒	60.2	7.12	9 836	0.58	0.84	0.40	2.81
	孔隙	39.8	7.01	9 257	0.47	1.25	0.42	2.66
5 [#]	颗粒	63.8	7.09	9 975	0.55	0.79	0.39	2.83
	孔隙	36.2	7.03	9 128	0.45	1.37	0.41	2.65
6 [#]	颗粒	59.3	7.17	9 658	0.56	0.98	0.41	2.80
	孔隙	40.7	7.01	9 026	0.47	0.99	0.44	2.67
7 [#]	颗粒	51.1	8.96	1 0035	0.79	1.35	0.50	2.73
	孔隙	48.9	8.73	9 986	0.49	1.87	0.51	2.68
8 [#]	颗粒	50.8	8.91	10 027	0.81	1.55	0.51	2.72
	孔隙	49.2	8.63	9 873	0.49	1.52	0.53	2.67
9 [#]	颗粒	51.3	9.11	9 932	0.73	2.05	0.52	2.75
	孔隙	48.7	8.76	9 841	0.45	1.58	0.53	2.67
10 [#]	颗粒	50.7	7.23	9 752	0.69	1.03	0.51	2.71
	孔隙	49.3	7.14	9 267	0.57	1.04	0.52	2.69

红土微观结构图像特征参数表明:

1)不同放大倍数下,红土微观结构图像中土颗粒所占的面积都大于孔隙所占的面积,表示这类红土中的颗粒所占的空间大于孔隙所占的空间,孔隙比小于1,土体较紧密。这与扫描电镜得到的微观结构图像中所反映的现象是一致的。而每一种土体在不同的放大倍数下,颗粒和孔隙所占空间的比例大小不同,更进一步反映土体的松密情况,如4[#]、5[#]颗粒所占的比例较大,而原图也反映出土体较密实;9[#]、10[#]颗粒与孔隙所占比例接近,从原图也可以观察到大量孔隙的存在,反映了土体颗粒排列的松散性。

2)放大倍数不同的红土微观结构图像中,放大倍数较低的1[#]、2[#]、3[#],其平均周长和最大面积均大于放大倍数较大的其它七幅图像,表示这些红土中的团粒比较大。这与扫描电镜得到的微观结构原图所反映的现象是一致的。在放大倍数较低时,看到的是土体的表观现象,所看到的孔隙是表面的孔隙,而红土内部的孔隙看不到,所以平均周长和最大面积都要大于放大倍数较大的图像所反映的

土体。

3)放大倍数不同的红土微观结构图像中,总体上放大倍数大的图像所反映的土体圆形度要大于放大倍数小的图像所反映的土体圆形度。说明放大倍数大的图像中的颗粒形状比放大倍数小的图像中的更接近圆形。这与扫描电镜得到的微观结构图像中所反映的现象是一致的。如在1[#]、2[#]图像中,反映的是土体表观现象,颗粒形状很不规则;在4[#]、5[#]、6[#]图像中,反映的是团粒间的结构,颗粒形状也不规则,但与1[#]、2[#]相比更接近圆形;在7[#]、8[#]、9[#]、10[#]图像中,反映的是团粒内的结构,看到的单元体是构成红土的基本单元,其中有许多形状比较接近圆形。

4)在不同的放大倍数下,放大倍数比较低的1[#]、2[#]、3[#]和放大倍数比较高的7[#]、8[#]、9[#]、10[#]颗粒复杂度较高,表明颗粒与孔隙所占的面积接近,或颗粒的周长比较大,颗粒排列较松散;而放大倍数居中的4[#]、5[#]、6[#]颗粒复杂度较低,表明颗粒所占的面积比孔隙所占面积大很多,颗粒排列较密实,或颗粒的周长比较小。这与面积比例和平均周长的计算结果以及原图是相符的。

5)定向度的变化趋势和复杂度的变化趋势相符,即放大倍数比较低的1[#]、2[#]、3[#]和放大倍数比较高的7[#]、8[#]、9[#]、10[#]颗粒定向度比较高,而放大倍数居中的4[#]、5[#]、6[#]颗粒定向度较小。说明1[#]、2[#]、3[#]和7[#]、8[#]、9[#]、10[#]的颗粒排列比较混乱,有序性较差;而4[#]、5[#]、6[#]的颗粒排列比较有序。这与扫描电镜获得的微观结构图像中反映的一致。

6)在不同的放大倍数下,放大倍数居中的4[#]、5[#]、6[#]颗粒的分布分维值较大,并且随着颗粒的增大而减小;而1[#]、2[#]、3[#]和7[#]、8[#]、9[#]、10[#]颗粒的分布分维值较小,并且随着颗粒的增大而增大。在1[#]、2[#]、3[#]和7[#]、8[#]、9[#]、10[#]微观结构图像中,颗粒的分布分维值越大,反映颗粒越粗,所占的面积也越大,土体越密实;颗粒的分布分维值越小,反映颗粒越细,所占的面积越小,土体相对也就越松散。在4[#]、5[#]、6[#]微观结构图像中,颗粒的分布分维值越大,反映颗粒越细;反之,颗粒的分布分维值越小,反映颗粒越粗。

4 结论

1)明确昆明玄武岩红土的液塑限较高,塑性指数较小;压实性较差,干密度较低,孔隙比较大,但抗剪强度值并不低,抗渗性比较好,压缩性比较低;

2)用编制的图像处理程序对红土微观结构图像进行处理,从二值化土体微观结构图像中提取红土微观结构特征参数:面积比例、平均周长、最大面积、圆形度、复杂度、定向度、分布分维,从中可以看出:

① 红土中颗粒所占的面积要大于孔隙所占的面积,孔隙比都小于1,土体较紧密。

② 放大倍数较低的土体微观结构图像中,提取的平均周长和最大面积均大于放大倍数较大的其它几幅图像。这是因为放大倍数比较低时,看到的是红土的表现现象,红土内的孔隙是不可见的。

③ 放大倍数大的红土微观结构图像中的颗粒比放大倍数小的图像中的颗粒更接近圆形。

④ 放大倍数居中的红土微观结构图像中,颗粒的复杂度和定向度都较小,土体比较密实,并且颗粒排列比较有序;而放大倍数较大或较小的图像中,颗粒的复杂度和定向度都较大,颗粒排列混乱,且较松散;而且孔隙的复杂度大于颗粒的复杂度,表明孔隙比颗粒复杂;孔隙的定向度大于颗粒的定向度,表明颗粒比孔隙有序。

⑤ 在放大倍数居中的红土微观结构图像中,颗粒的分布分维值越大,颗粒越细,而在其它放大倍数较大或较小的图像中,颗粒的分布分维值越大,颗粒越粗。

参 考 文 献

[1] 沈珠江. 土体结构性的数学模型:21世纪土力学的

核心问题[J]. 岩土工程学报,1996,18(1):95-97

- [2] 谢定义. 21世纪土力学的思考[J]. 岩土工程学报,1997,19(4):111-114
- [3] 吴义祥,张宗祜,凌泽民. 土体微观结构的研究现状评述[J]. 地质论评,1992,38(3):250-259
- [4] Casagrade A, The structure of clay and its importance in foundation engineering, [J]. Boston Soc. Civ. Engrs, 19(4):168-209
- [5] Lambe, T. W, The Structure of Inorganic Soil, Proc [C]. ASCE, 79(315), 1952:1-49
- [6] Lambe, T. W, The Structure of Compacted Clay[J], J. SMFD, ASCE, 1958, 84(SM2)
- [7] Lambe, T. W, The engineering behaviour of compacted clay[J], J. SMFD, ASCE, 85(SM2), 1958
- [8] Gillott, J. E, Study of the fabric of fine-grained sediments with the scanning electron microscope[J], Journal of Sedimentary Petrology, 39(1):90-105
- [9] Morgenstern, N. R., Tchalenko, J. S., Microscopic structure in kaolin subjected to direct shear[J]. Geotechnique, 1967, 17(4):309-328.
- [10] Osipov, J. B., Soklov, B. K., On the texture of clay soils of different genesis investigated by magnetic anisotropy method[C], Proceedings of the International Symposium on soil Structure, Gothenburg, Sweden, 1973:21-29

收稿日期:2012-05-21