

贵州红粘土的孔隙特征及区域性分布规律

尤英锋,张洪

(1. 贵州省地质环境监测院,贵州 贵阳 550081,2. 贵州地环工程有限公司,贵州 贵阳 550081)

[摘要] 本文通过红粘土电镜资料研究贵州红粘土微观结构,印证了其微结构是复杂的二重空间结构,并运用 SPSS 数据分析软件,对贵州七个地区 1858 组土工实验数据进行统计分析,研究红粘土的孔隙性指标在水平方向上的分布规律及深度方向上的变化规律,得出贵州红粘土孔隙性指标在水平横向的总趋势为由西向东逐渐减小;水平纵向孔隙指标北部由北向南孔隙指标呈现减小趋势,南部由北向南孔隙指标亦呈现减小趋势;而在剖面深度方向孔隙性指标由上至下呈增大的趋势。

[关键词] 红粘土;孔隙特征;孔隙性指标;分布规律;贵州

[中图分类号] P642.11;P642.13 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2022)01-0055-05

1 前言

红粘土在我国南方分布广泛,它的分布有很明显的地域性。在贵州省内,红粘土主要分布在贵阳市贵阳盆地、遵义地区、六盘水岩溶盆地、安顺、兴义、铜仁及黔南地区等。文章通过对红粘土微观结构的研究,并对大量实验数据进行分析,得出孔隙指标的区域性分布的规律,对进一步研究红粘土的物理性质有着一定的意义。

2 贵州红粘土的孔隙特征及其指标

2.1 贵州红粘土的孔隙特征

红粘土的孔隙特征一是孔隙极发育,是高孔隙粘土,二是孔隙具有两个层次。根据扫描电镜资料的研究证实,红粘土微结构是一种复杂的二重空间结构。这种二重空间结构可以划分为两个微结构的层次,即一种为粘土矿物粒团组成的基本结构单元,另一种是由这种结构单元组合起来,再通过单

元与单元之间的结构连接,构成复杂的总体结构,而有粘土矿物粒团组成的基本结构占据二重空间结构的主要地位(高国瑞,1985)。相对应的,红粘土存在两种结构连接:一种为粒团内粘土矿物颗粒之间的连结和粒团之间的结构连结。而红粘土中的孔隙类型也可相对应的分为两种类型(图 1a、b 所示),即粒团内孔隙和粒团间孔隙(粒团即有的学者所称的聚集体)(廖义玲等,2004)。

红粘土粒团内的孔隙非常发育,约占孔隙总体积的四分之三以上,孔隙半径非常小,呈封闭或是半封闭状态,受到压力之后,孔隙相对稳定,是具有“惰性”的孔隙,这种“惰性”孔隙数量非常多,也是这种孔隙让红粘土具有与其它土类不同的物理力学性质(李景阳等,2002)。

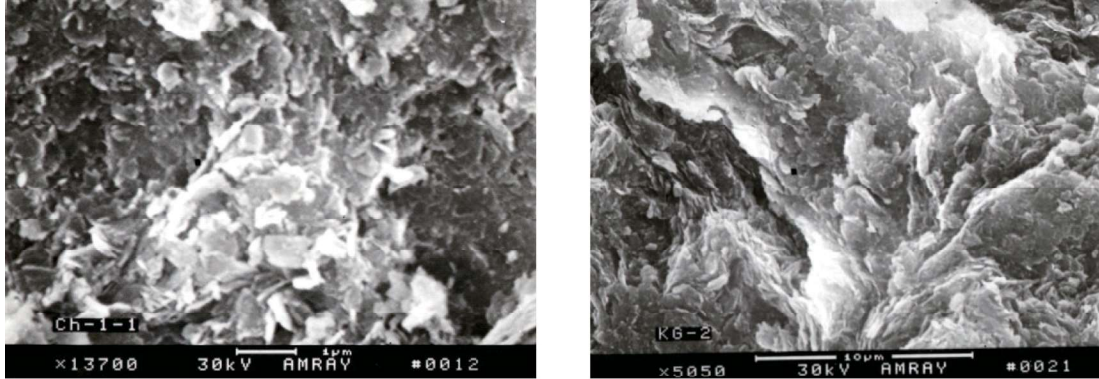
红粘土中的粒团间的孔隙半径则较大,体积在土中孔隙总体积中则不到四分之一,这类孔隙受到外力作用时容易发生变化,是活性孔隙,可影响土的变形性能(李景阳等,1995)。

2.2 贵州红粘土的孔隙性指标

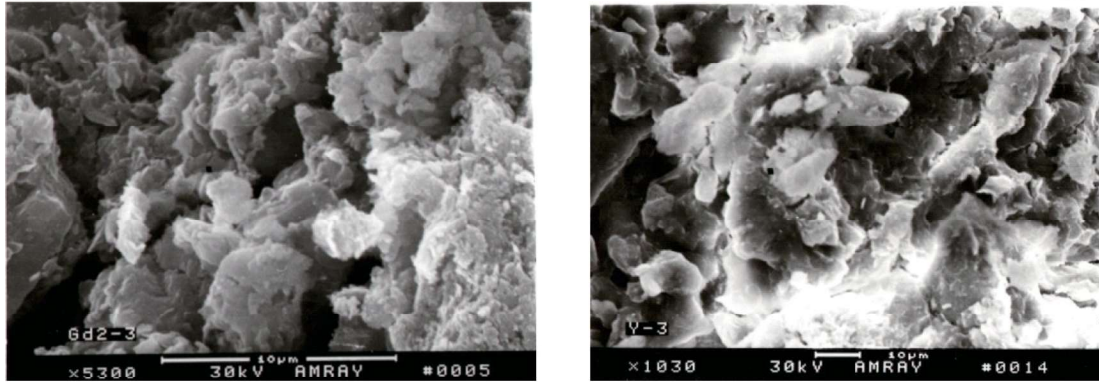
不同的土由于其孔隙体积不同,表现出不同的松密状态。土的孔隙性指标对于分析土的物理

[收稿日期] 2021-01-06 [修回日期] 2021-12-31

[作者简介] 尤英锋(1987—),女,工程师,硕士研究生,从事水工环地质工作。



a. 团内结构



b. 团间孔隙

图1 红粘土的微观结构电镜照片

Fig. 1 The SEM photo of the microscopic structure of red clay

力学性质有着重要意义。笔者收集了贵州省七个市州的 1858 组土工试验分析资料并进行统计(见图 2),统计结果显示贵州红粘土的天然孔隙比常见值范围在 1.0~1.80 之间,其最小值为 0.37,最大值为 2.40,可见红粘土孔隙指标表现出两个特征,一是孔隙比大,二是孔隙比变化范围很大(尤英锋等,2015)。

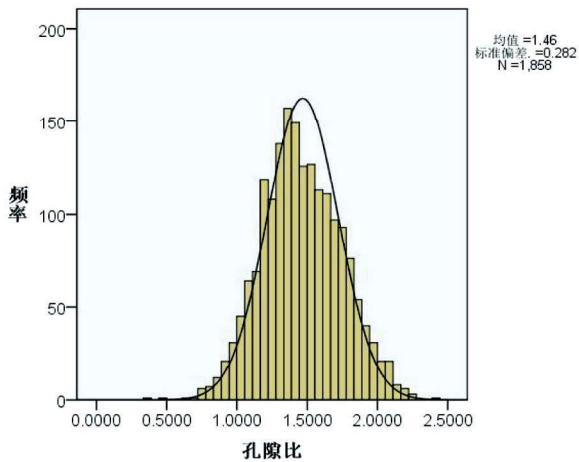


图2 贵州地区红粘土孔隙比分布图

Fig. 2 Pore ratio distribution diagram of red clay in Guizhou

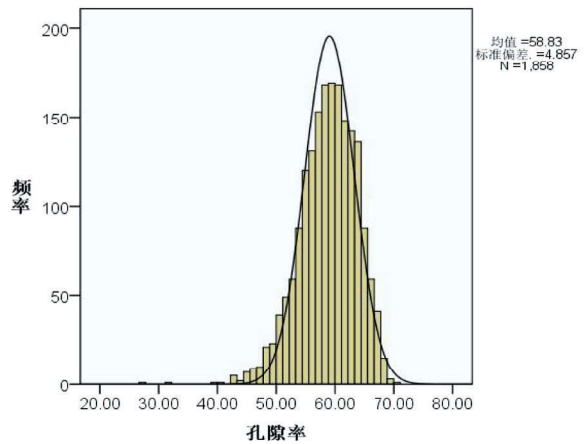


图3 贵州地区红粘土孔隙率分布图

Fig. 3 Porosity distribution diagram of red clay in Guizhou

表 1、表 2 为根据 SPSS 统计软件分析的贵州省七个地区孔隙比与孔隙率的结果。据表 1 所示,在贵州省的七个地区中,红粘土的孔隙比均值均大于 1.0,超出了一般土的天然孔隙比常见值范围,红粘土的孔隙比相对于其他土来说具有特殊性。从整体来看,方差与标准差值都比较小,说明各个地区的孔隙比的离散程度较低,较为集中;变化范围对于该指标来讲较大,说明孔隙比的值分

布不稳定;从偏度来看,毕节、铜仁及贵阳的偏度值接近 0,说明这三个地区的孔隙比值更接近正态分布;从峰度值来讲,只有毕节地区大于 0,说明其孔隙比值集中在平均数周围,呈陡峭正态分布,其他地区孔隙比则分布较分散,呈平缓正态分布。

据图 2 所示,孔隙率的常见值范围在 50%~

70%之间,高于一般粘性土的常见值,据表 2 所示孔隙率最小值为 31.35%,最大值为 70.6%,可见其孔隙率变化范围很大,遵义及六盘水的偏度值接近 0,其孔隙率值分布接近正态分布;从峰度来看贵阳与安顺地区的值相对于其他地区峰度值大很多,说明其孔隙率值分布集中在平均值左右,其他地区相对分布较分散。

表 1 贵州地区红粘土孔隙比的统计分析结果

Table 1 Statistical analysis results of pore ratio of red clay in Guizhou

地区	样本数	均值(%)	置信区间(%)		方差	标准差	最小值(%)	最大值(%)	全距	偏度	峰度
			下限	上限							
六盘水	158	1.552	1.509	1.596	0.078	0.279	0.99	2.40	1.41	0.446	0.446
安顺	169	1.467	1.432	1.503	0.055	0.234	0.93	2.16	1.23	0.214	0.214
毕节	195	1.265	1.227	1.303	0.072	0.268	0.46	2.08	1.63	0.051	0.051
黔南州	91	1.304	1.252	1.356	0.062	0.249	0.80	2.10	1.3	0.297	0.297
铜仁	91	1.352	1.307	1.397	0.047	0.217	0.80	1.79	0.99	0.037	0.037
遵义	100	1.368	1.322	1.414	0.053	0.231	0.90	1.96	1.06	0.483	0.483
贵阳	1 054	1.516	1.499	1.533	0.077	0.277	0.37	2.26	1.89	-0.011	-0.011

表 2 贵州地区红粘土孔隙率的统计分析结果

Table 2 Statistical analysis results of porosity of red clay in Guizhou

地区	样本数	均值(%)	置信区间(%)		方差	标准差	最小值(%)	最大值(%)	全距	偏度	峰度
			下限	上限							
六盘水	158	60.36	59.70	61.03	0.002	0.042	49.82	70.60	20.78	0.049	-0.791
安顺	169	59.11	58.52	59.69	0.001	0.039	48.09	68.35	20.26	-0.191	-0.580
毕节	195	55.21	54.43	55.99	0.003	0.055	31.35	67.56	36.21	-0.845	1.520
黔南州	91	56.10	55.12	57.08	0.002	0.047	44.36	67.76	23.40	-0.228	-0.381
铜仁	91	57.11	56.27	57.95	0.002	0.040	44.54	64.16	19.62	-0.453	0.283
遵义	100	57.38	56.58	58.19	0.002	0.041	47.34	66.21	18.87	0.017	-0.367
贵阳	1 054	59.75	59.47	60.03	0.002	0.046	27.20	69.40	42.20	-0.784	2.112

3 贵州红粘土孔隙性指标的区域性差异

红粘土形成的气候、水文、母岩地层岩性、地质环境等条件不同,其孔隙性指标亦存在差异,表现在水平方向和垂直深度方向上的区别。

表 3 贵州各地区孔隙指标统计结果

Table 3 Statistical results of porosity index of each area in Guizhou

地区	样本数	孔隙比均值	孔隙率均值	孔隙比 95%置信区间	孔隙率 95%置信区间
六盘水	158	1.552 4	60.36	1.508 5~1.596 3	59.70~61.03
安顺	169	1.467 2	59.11	1.431 7~1.502 7	58.52~59.69
毕节	195	1.265 1	55.21	1.227 2~1.302 9	54.43~55.99
黔南州	91	1.304 2	56.10	1.252 4~1.356 0	55.12~57.08
铜仁	91	1.351 8	57.11	1.306 6~1.397 0	56.27~57.95
遵义	100	1.368 1	57.38	1.322 2~1.413 9	56.58~58.19
贵阳	1 054	1.515 9	59.75	1.499 1~1.532 6	59.47~60.03

3.1 水平方向对比分析结果

对贵州省七个地区的孔隙性指标进行统计,统计量为均值和 95%置信区间,统计结果如表 3 所示。从表中可以看出,孔隙指标值从大到小分别为六盘水,贵阳,安顺,遵义,铜仁,黔南州,毕节(尤英锋,2016)。

对贵州省七个地区的孔隙比自西向东用箱型图标示在图上,如图4所示,图中每个地区的箱型图展现出孔隙比的主要分布范围与集中趋势,而图5所示为贵州省各地区自西向东的孔隙比均值分布情况。总体来看,孔隙比的值从大到小分别为六盘水,贵阳,安顺,遵义,铜仁,黔南州,毕节,与表4的统计结果相对应。统计结果表明,除了毕节地区以外,红粘土孔隙性指标的大小总的趋势为由西向东逐渐减小。

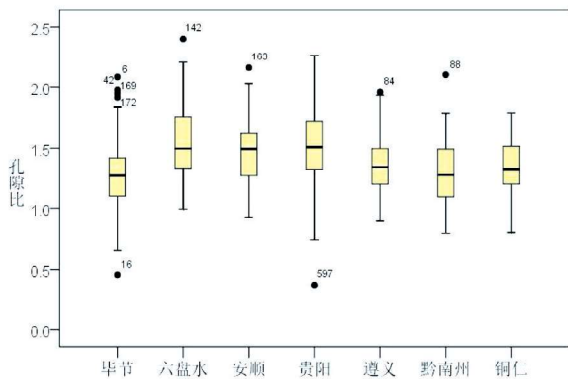


图4 贵州省各地区孔隙比分布箱型图(自西向东)

Fig. 4 Plot ratio distribution box diagram of each area in Guizhou (From west to east)

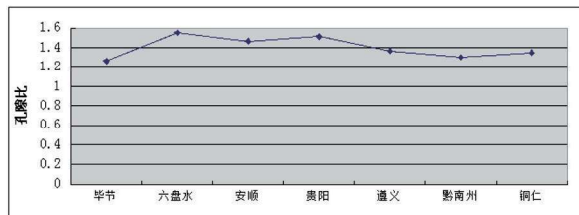


图5 贵州省各地区孔隙比均值分布图(自西向东)

Fig. 5 The average distribution of pore ratio in various regions of each area in Guizhou (From west to east)

此外,将贵州省各地区的孔隙比指标常见分布区间按照由北向南的顺序用箱型图表示在图上,如图6所示;同时,将孔隙比的均值也按照由北向南的顺序标示在图上,如图7。可以看出,孔隙比的分布以黔中一带为界,北部由北向南孔隙比数值逐渐减小;南部由北向南孔隙比的数值亦逐步减小。

在贵州区域内,东部地区红粘土的红土化作用强于西部地区,原因是东部山地丘陵地带,西部为高原山地区,西部地区的海拔高于东部地区,气温则随着海拔的高度增加而降低,红土化作用随着气温的升高而进行的更彻底;而南部的红土化作用强于北部地区,因为南部地区的温度则高于北部地区(李景阳等,1996)。红土化作用过程可以将松散溶蚀残余堆积物胶结形成土的结构连结,使松散物变

得密集,土体中孔隙体积减小,同时提高了土体的强度。在贵州中部的高原山地区,气温相差不大,由于贵阳与安顺地区的岩性以白云岩为主(韩贵琳,1992),而遵义地区的岩性以石灰岩为主,岩性的差异是红土化作用程度有差异的重要因素,所以红粘土的孔隙比自北向南方向的变化规律并不十分明显(廖义玲等,2001)。

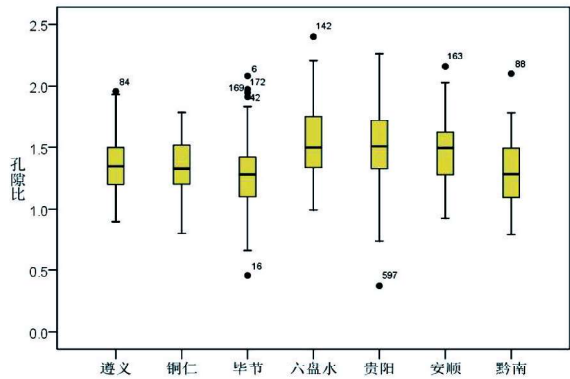


图6 贵州省各地区孔隙比分布箱型图(自北向南)

Fig. 6 Plot ratio distribution box diagram of each area in Guizhou (From north to south)

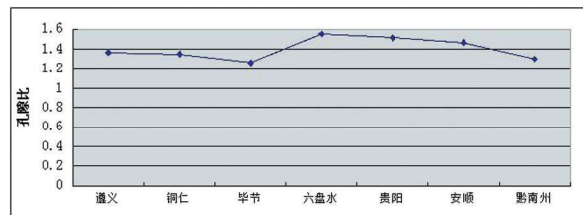


图7 贵州省各地区孔隙比均值分布图(自北向南)

Fig. 7 The average distribution of pore ratio of each area in Guizhou (From north to south)

3.2 深度方向对比分析结果

红粘土在不同深度上红土化程度不同,一般来说,在剖面上从地表往下由强到弱(秦刚等,1994)。此外,暴露于地表的红粘土,温度较高,土体中水分的蒸发作用也较强,土体失水收缩,孔隙减小,土体变得更加致密,因此其孔隙比应该呈减小趋势(廖义玲等,2004)。对贵州红粘土具有有效深度的1641组数据进行统计分析,以2m的间距分别统计不同深度范围的孔隙性指标的均值和均值的95%置信区间,结果如表4所示。

图8所示为贵州省红粘土在不同深度范围内孔隙比分布的常见区间值,而其孔隙比均值在深度上的变化趋势如图9所示,总体而言,除了6~8m和10~12m深度的孔隙性指标出现奇异,贵州红粘土在剖面深度方向上自上至下呈现增大的

表 4 孔隙指标在深度上的变化规律

Table 4 The changing rule of the porosity index in the depth direction

深度(m)	样本数	孔隙比均值	孔隙率均值	孔隙比值 95%置信区间	孔隙率值 95%置信区间
0~2	225	1.421 5	58.28	1.39~1.45	57.71~58.85
2~4	564	1.451 3	58.69	1.43~1.47	58.31~59.03
4~6	387	1.487 9	59.13	1.46~1.52	58.58~59.68
6~8	181	1.433 7	58.44	1.40~1.47	57.79~59.09
8~10	99	1.523 3	59.74	1.46~1.59	58.72~60.76
10~12	136	1.419 2	58.22	1.38~1.46	57.48~58.96
>12	49	1.603 3	61.05	1.56~1.65	60.29~61.81

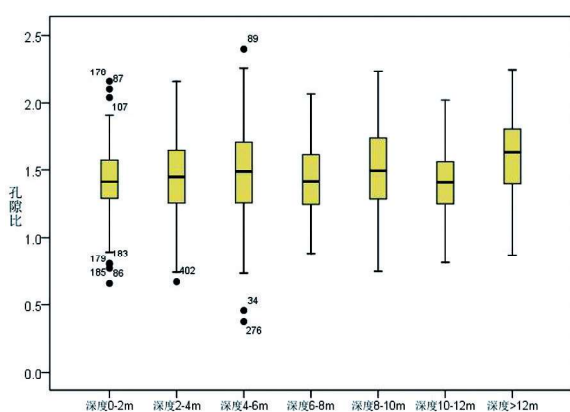


图 8 贵州省红粘土不同深度孔隙比箱型图

Fig. 8 Box plot of red clay in different depth porosity ratio of Guizhou

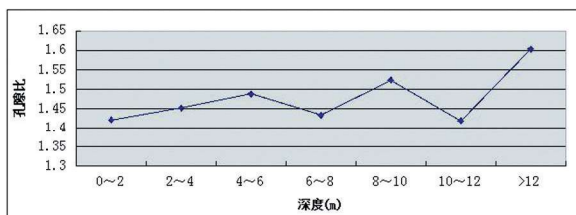


图 9 贵州省红粘土不同深度孔隙比均值趋势图

Fig. 9 The trend graph of the mean value of the void ratio of red clay int different depths of Guizhou Province

趋势,即深度越深,孔隙性指标越大。

由图 8 的箱型图与图 9 的均值趋势图均可看出,红粘土的孔隙指标在深度方向上由上至下总体呈增大的趋势。红粘土的红土化作用从地表开始,并逐渐向下发展,在地质剖面方向上表现为红土化作用随着土层深度的增加而逐步减弱,孔隙比逐渐增大。并且,随着土层深度的增加,土体受到的蒸发作用就逐渐减弱,含水量逐渐增大,所以红粘土的稠度状态由硬塑状态向可塑状态(或软塑状态)逐步过渡。

4 结论

(1) 贵州红粘土是一种区域性特殊土,对贵州

省内七个地区的 1858 组红粘土土工数据进行分析,其孔隙有如下特征:孔隙性指标较一般粘性土高,更接近于淤泥类土。

(2) 经过对贵州各地区的数据进行统计分析后,发现贵州红粘土的孔隙具有两个基本特征,一个是孔隙多(e 值大),另一个是土中存在大量的细小孔隙,且这些细小孔隙多数存在于胶结的粒团当中。

(3) 在贵州地区,红粘土的孔隙指标在地域上存在差异,经对大量红粘土的数据进行统计分析,得出贵州红粘土孔隙性指标在水平横向的总趋势为由西向东逐渐减小;水平纵向孔隙指标分布以黔中一带为界,北部由北向南孔隙指标呈现减小趋势,南部由北向南孔隙指标亦呈现减小趋势;而在剖面深度方向孔隙性指标由上至下呈增大的趋势,即深度越深,孔隙指标越大。

[参考文献]

高国瑞. 1985, 中国红土的微结构和工程性质[J]. 岩土工程学报, (05): 10-21.
 韩贵琳. 1992. 贵阳地区红粘土工程地质特征[J]. 贵州地质, 9 (03): 292-296.
 李景阳, 王朝富, 樊廷章, 等. 1995. 碳酸盐岩残积红土的结构构造特征及其成因研究[J]. 中国岩溶, 14(01): 31-39.
 李景阳, 朱立军, 王朝富, 等. 1996. 碳酸盐岩风化壳及喀斯特成土作用研究[J]. 贵州地质, 13(02): 139-145.
 李景阳, 朱立军, 梁风, 等. 碳酸盐岩残积红粘土微观结构的扫描电镜研究[J]. 中国岩溶, 2002, 21(4): 233-237.
 廖义玲, 朱立军, 朱训华. 土体中惰性孔隙及其物理力学属性的研究[J]. 工程勘察, 2001(01): 5-8.
 廖义玲, 朱立军. 2004. 贵州碳酸盐岩红土[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 49-64.
 秦刚, 廖义玲. 1994. 红粘土的“反剖面”特征及其形成条件分析[J]. 贵州地质, 11(01): 89-93.
 尤英锋, 廖义玲. 2015. 贵州红粘土的孔隙特征及其对物理性质的影响[J]. 贵州大学学报, 32: 132-136.
 尤英锋. 2016. 贵州红粘土的孔隙特殊性及其形成原因探讨[D]. 贵阳: 贵州大学.
 (下转第 65 页)

Discussion on Safety Classification in Slope Engineering

Wu Zhan-ting

(Guizhou Kaili Zhongye Geological Engineering Survey Co., Ltd., Kaili 556000, Guizhou, China)

[**Abstract**] National standard ‘code for building slope engineering technology’ on slope engineering safety hierarchy is based on the failure consequences severity, slope height, slope type three factors, national standard ‘code for building slope engineering technology’, the basic standard of ‘the engineering structure reliability design standard’ and other related industry standard main divisions of failure consequences severity based on inconsistent situation exists. In this paper, by comparing the foundational engineering structure reliability design standard and industry on the basis of the other specifications of the destruction of the severity of the consequences of the proposed project is given priority to, with the security level of geological environmental complexity is complementary classification scheme, a new slope engineering safety hierarchy scheme on the basis of the basic standard combined with slope geological environmental complexity slope safety level division, It makes the division of slope engineering safety grade have a unified standard.

[**Key Words**] Slope Engineering; Safety Grade division; Damage consequence

(上接第 59 页)

Pore Characteristics and The Regular of Regional Distribution of Red Clay in Guizhou

YOU Ying-feng, ZHANG Hong

(1. Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Guiyang 550081, Guizhou, China;
2. Dihuan Engineering Co. LTD Of Guizhou Province, Guiyang, 550081, Guizhou, China)

[**Abstract**] In this paper, it studies the microstructure of red clay by using red clay electron microscope data, confirming that its microstructure is a complex dual space structure, 1858 groups of experiment data of seven regions in Guizhou are statistically analyzed by using SPSS data analysis software, and the distribution in horizontal direction and the changing rule of the depth direction of the porosity index of the red clay are studied, it is concluded that the general trend of the porosity index of Guizhou red clay in the horizontal direction is gradually decreasing from west to east. The horizontal vertical pore index shows a decreasing trend from north to south, the pore index also shows a decreasing trend from north to south in the south area, in the depth direction of the profile, the porosity index shows an increasing trend from top to bottom.

[**Key Words**] Red clay; Pore characteristics; Porosity index; Distribution rule; Guizhou