

全风化花岗岩物理化学特征数值统计及指标相关性分析

尚彦军¹, 王思敬¹, 岳中琦², 赵建军³

1. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029;
2. 香港大学 土木工程系 香港; 3. 河海大学 土木工程学院, 南京 210098

摘 要: 广布于华南(尤其是香港)地区全风化花岗岩与地质灾害关系密切。其物化指标统计结果以及相互关系研究似很欠缺。通过对香港九龙两处边坡上部3个探坑中48个全风化花岗岩样品物理化学实验结果分析, 本文给出了物理化学性质统计值, 并对比表面积和阳离子交换容量等主要指标进行了相关分析。这就将物理化学指标间相关关系具体量化, 揭示了它们同矿物成分间的关系, 并可对化学、物理化学和矿物学实验分析结果进行校验。本文结果对分析其风化特征及其工程地质性质, 有一定实际意义。

关 键 词: 全风化花岗岩; 物理化学; 阳离子交换量; 比表面积; 香港

中图分类号: P628⁺. 1 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2004)02-0093-07

对土的物理化学性质的讨论和分析早就出现在有关专著中^[1,2]。对比表面积、阳离子交换量的影响因素也曾做过许多分析, 如对第四纪红色粘土^[3]与网纹红土的研究^[4]。研究表明, 比表面积主要受粒度和矿物成分的影响, 离子交换量则受粘粒含量和粘粒硅铝率的影响^[1]。但对这些作用不同的影响因素在一种土体中的分布特征及其相互关系的定量刻画则较少见。

全风化花岗岩在我国华南(尤其是香港)地区广布, 与滑坡、碎屑流等地质灾害关系密切。以往从工程地质和岩土工程角度对其物理化学性质作过许多工作, 并取得了很多宝贵的数据和认识^[5]。然而, 这些物化指标的统计结果以及相互关系的研究似很欠缺。针对这个问题, 本文通过实验、数据统计及相关分析, 得到了全风化花岗岩的物化性质指标统计结果, 对指标间及其同粒度和矿物成分的相关性进行了较为系统的分析。其结果一方面反映土粘粒含量和矿物成分概况, 可与化学、物理化学和矿物学实验分析结果进行对照和校验, 另一方面对风化特征, 乃至对该土体工程地质性质影响的探讨, 都具有重

要的理论 and 实际意义。

1 实验样品和测试方法

22箱(长×宽×高为30 cm×30 cm×30 cm)中的48个样品采自香港九龙石硤尾和观塘(分别标为S和K)两处人工边坡上部3个探坑(代号分别为SKM1、SKM2与KT。坑体宽2~3 m, 深3 m)中, 分别为褐红色中粗粒和灰黄色细粒全风化花岗岩(CDG)。花岗岩形成时代为晚中生代。肉眼观察两者最大的区别是前者(S)为中粗粒结构, 风化程度较高, 而后者(K)为细粒结构, 风化程度较低。

石硤尾(S)边坡出露的核石为红褐色中粗粒半自形黑云花岗岩。全风化花岗岩一探坑(SKM2)中见陡接触蚀变带。全风化土体中有残留的缓倾原生冷凝面、中等倾斜的剪节理。前者呈灰黑色条带, 后者呈褐黄色条斑结构。样品开挖容易, 风干后成散土状。

观塘(K)所采为褐黄色细粒全风化花岗岩, 夹有粗大钾长石斑晶条块。探坑中有一组剪节理和一组张节理。样品较硬, 不易切削而易沿陡倾节理面张开。

收稿日期: 2003-07-25 收到, 12-10 改回

基金项目: 本文为香港大学边坡信息资讯中心资助项目(No. 1)部分成果
第一作者简介: 尚彦军(1967—), 男, 副研究员, 水文工程地质专业。

对样品进行颜色、结构和矿物成分观察后分别进行测试。测试样品采用 40 目以下筛(小于0.45 mm)粒级部分,一般占土样质量的 60% 以上。研究表明,这部分主要由风化矿物和过渡状态的矿物组成,含有游离氧化铁,对土的内聚力 C 值起着重要控制作用(有关论文尚未发表)。

用 pH 法测定水土比为 5: 1;用醋酸铵法测定阳离子交换量,以乙二醇乙醚有机分子吸附法测定比表面积;以 NaOH 提取硅钼蓝比色法测定游离 SiO_2 , NaOH 提取酸碱中和容量法测定游离 Al_2O_3 , 速二亚硫酸钠邻啡罗林比色法测定游离 Fe_2O_3 。

2 结 果

离子交换特性用(阳离子)交换(容)量和交换性阳离子容量表示,单位 $\text{me}/100\text{ g}$ 。48 个样品的物理化学指标统计值如表 1 所示。先分别统计 S 与 K 样品,再将结果一起统计。发现它们有较大差别。从均值看,S 和 K 的 pH 值分别为 4.83 与 5.39,阳离子交换量为 6.98 与 4.88 $\text{me}/100\text{ g}$,比表面积为 72.89和 49.99 m^2/g 。可见这两处样品物理化学性质客观不同,各指标间表现出一定的相关性。

表 1 全风化花岗岩物理化学指标统计值
Table 1 The statistical values of physicochemical properties of CDG

样 品 统 计	pH	交换量	交换阳离子组成($\text{me}/100\text{g}$)							盐基总量	盐基	游离氧化物(%)			比表面积
		CEC ($\text{me}/100\text{g}$)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	H^{+}	Al^{3+}	($\text{me}/100\text{g}$)	饱和度 (%)	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	$/\text{m}^2\text{g}^{-1}$	
48组S与K	最小值	4.35	3.62	1.22	0.28	0.11	0.05	0.03	0.03	1.84	44.34	1.38	0.2	1.04	30.14
	最大值	6.06	10.02	5.31	3.45	0.41	0.57	0.37	2.5	9.11	96.86	5.51	2.26	4.03	89.26
	平 均	5.09	6.00	2.35	1.72	0.26	0.15	0.16	0.87	4.38	74.03	2.79	0.84	2.32	62.17
	标准差	0.49	1.68	0.97	0.59	0.07	0.14	0.07	0.76	1.29	13.28	0.97	0.52	0.74	16.28
27组S	最小值	4.35	4.15	1.22	0.28	0.11	0.06	0.08	0.28	1.84	44.34	1.87	0.52	1.34	47.20
	最大值	5.66	10.02	5.31	3.45	0.40	0.28	0.37	2.50	9.11	90.92	5.51	2.26	4.03	89.26
	平 均	4.83	6.98	2.70	1.91	0.25	0.12	0.19	1.32	4.88	69.57	3.39	1.14	2.64	72.89
	标准差	0.40	1.40	1.05	0.64	0.07	0.08	0.07	0.62	1.41	11.57	0.94	0.47	0.76	11.78
21组K	最小值	4.52	3.62	1.24	0.53	0.19	0.05	0.03	0.03	2.21	49.69	1.38	0.2	1.04	30.14
	最大值	6.06	7.12	3.56	2.65	0.41	0.57	0.25	2.31	5.2	96.86	3.14	1.54	3.52	79.08
	平 均	5.39	4.88	1.95	1.49	0.29	0.2	0.13	0.34	3.8	79.18	2.14	0.5	1.98	49.99
	标准差	0.41	1.22	0.71	0.44	0.05	0.21	0.05	0.53	0.87	13.54	0.46	0.35	0.55	11.39

图 1 为样品的交换性阳离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 H^{+} 和 Al^{3+})容量及 pH 值关系。一价的 K^{+} 、 Na^{+} 、 H^{+} 交换量都较小,二价的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 交换容量较大。一般情况下,高价离子的交换能力大于低价离子, H^{+} 的交换能力大于一价和二价阳离子^[1]。实际上 Al^{3+} 的交换量却并不是最高, H^{+} 交换量也低于 K^{+} 和几乎所有的高价离子。这些样品粒级小于 0.45 mm,为含砾土和细碎屑土中的砂土与亚砂土,粉粘粒含量一般少于 10%,不属于粘性土。在

酸性湿热风化条件下,出现上述异常或许是正常的。
三种游离氧化物含量从大到小依次为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 (图 2)。三者曲线近乎协调一致。比表面积为 40~90 m^2/g ,由此推测所对应的粘土矿物应以高岭石和水云母为主(图 3)。游离氧化铁/全铁之比为 20%~70%。说明结晶态的游离氧化铁(赤铁矿、针铁矿)的含量不等,在红褐色的 S 样品中其含量高,而褐黄色的 K 样品中其含量较低。

矿物岩石地球化学通报

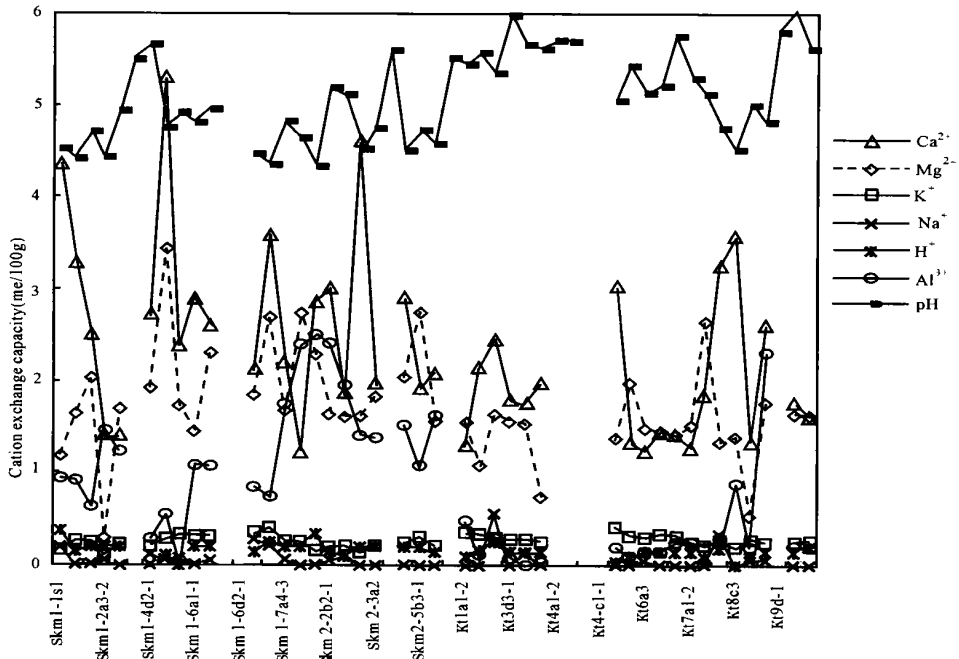


图 1 全风化花岗岩交换性阳离子容量及 pH 值

Fig. 1 The CEC and pH value of the CDG

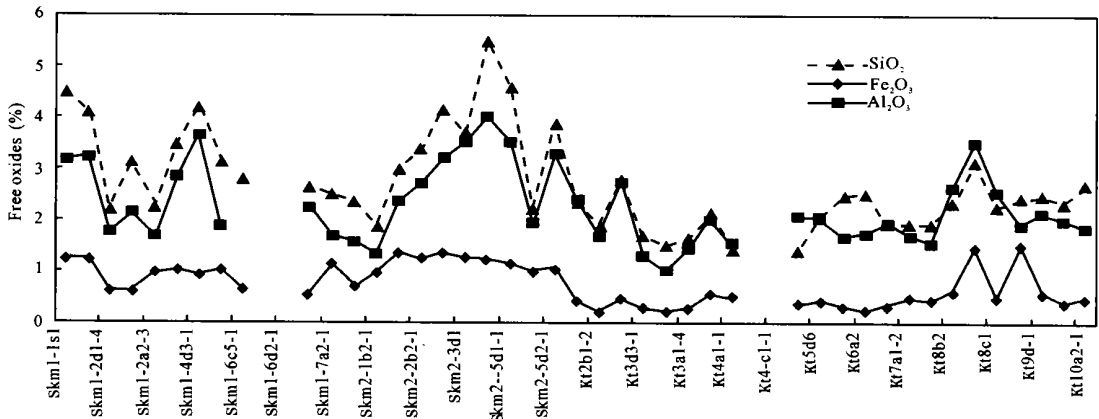


图 2 全风化花岗岩游离氧化物含量

Fig. 2 The contents of free oxides of CDG

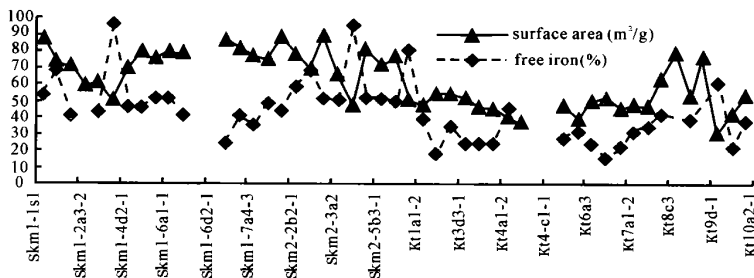


图 3 全风化花岗岩比表面积及游离铁/全铁

Fig. 3 Specific surface area and ratio of free iron oxides to the total iron contents

3 相关性分析

首先是交换容量与比表面积的关系。图 4 显示两者呈正对数相关, 相关系数 $R = 0.815$ 。这部分数据应处在文献^[6](图 5)的“水云母(伊利石)为主”下面的位置上, 矿物成分应以高岭石为主, 次为伊利石。

其次是比表面积、交换容量和粒度成分、化学指标和矿物成分含量的关系(图 5、6、7、8)。

由图 5 可见比表面积、交换量和粘粒、粉粘粒含量都呈对数相关。后者粒组含量虽然增多, 但仍服从这一变化趋势(图 5)。它们和化学指标, 如常用

的风化指标硅铝比 SA 和硅/倍半氧化物之比 K_r ^[7,8], 呈反比关系, 即随着后两个指标的增大, 比表面积和交换容量减小(图 6)。

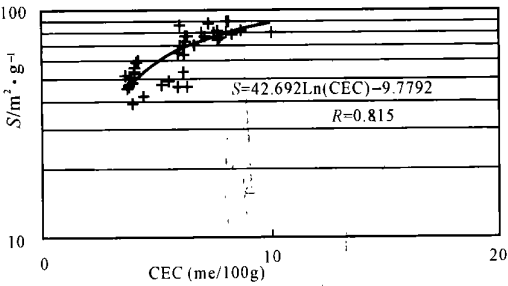


图 4 全风化花岗岩比表面积与交换容量关系曲线
Fig. 4 Curves of surface area versus cation exchange capacity

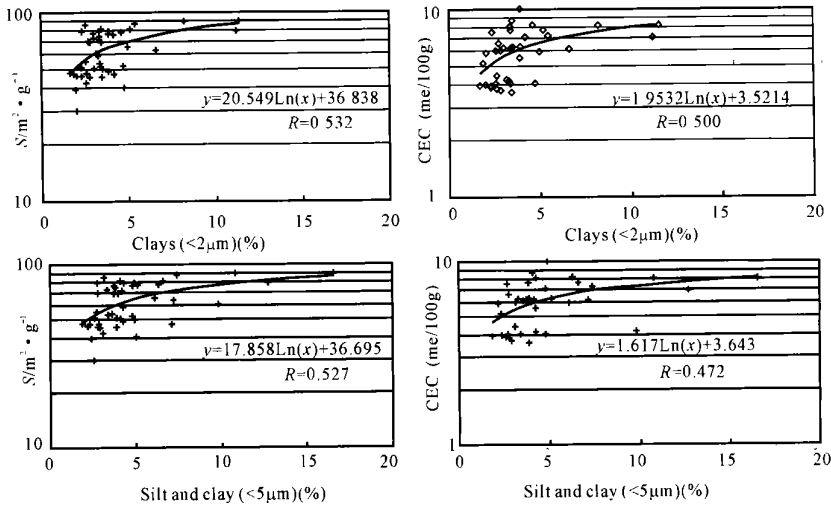


图 5 比表面积和交换容量与粒度成分的关系
Fig. 5 Relationship between surface area and cation exchange capacity

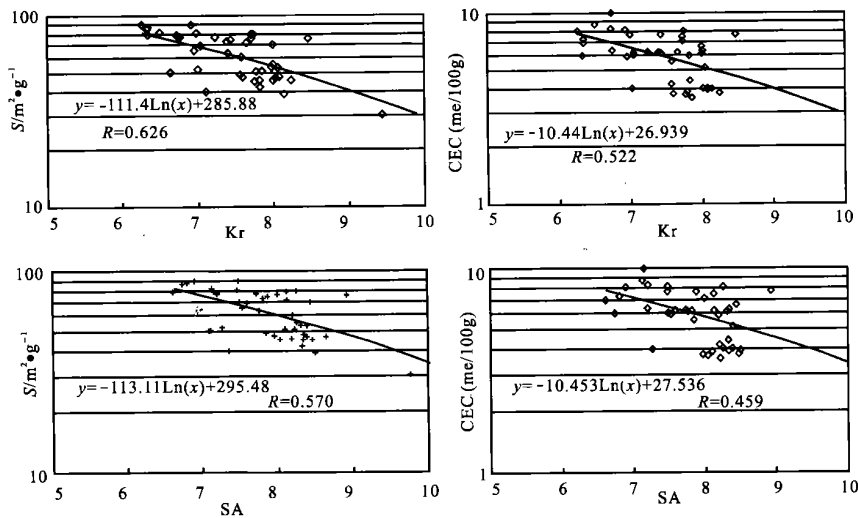


图 6 比表面积和交换容量与化学指标的关系
Fig. 6 Relationship between surface area, cation exchange capacity, and chemical weathering index

矿物岩石地球化学通报

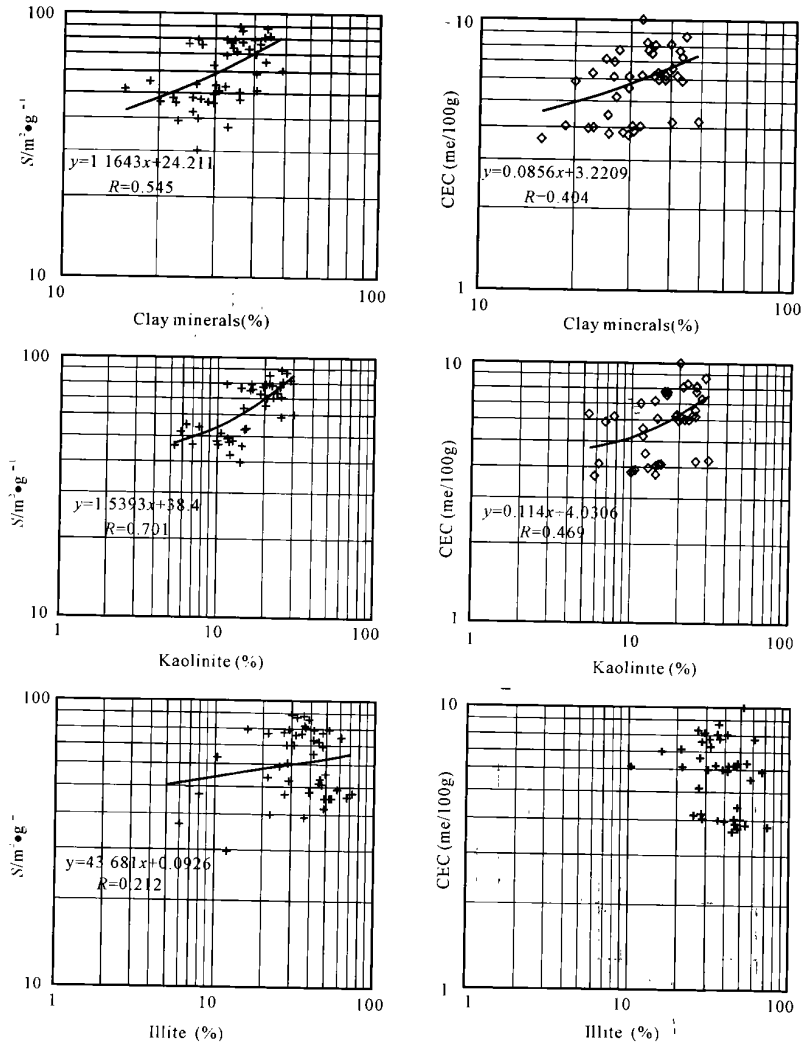


图 7 比表面积和交换容量与粘土矿物的关系

Fig. 7 Correlation of surface area and cation exchange capacity with clay minerals

图 7 给出了比表面积、交换容量同粘土矿物总含量、高岭石和伊利石含量关系: 随着粘土矿物含量的增多, 比表面积和交换容量也线性增加。图中可见如果随着拟合曲线接近粘土矿物含量的零值, 则比表面积和交换容量也变得很小, 但不会为零。相比之下, 同粘粒中伊利石的关系不很明朗, 相关系数很小。其原因可能是后者是相对百分比, 其绝对含量肯定很小; 另外, 伊利石成分和结构比较复杂, 与比表面积和交换量的关系也不会简单。

比表面积、交换容量和石英含量关系不密切, 前者关系呈弱负相关, 后者关系略呈正相关。与长石含量基本为负相关, 而与云母则基本为正比关系(图 8)。

4 讨 论

比表面积和离子交换量呈正对数相关。两者同粒度成分、化学指标和矿物成分的关系曲线拟合都不是很好, 相关系数也不高, 相关数据在一定范围内变化。文献^[1]认为一般情况下交换容量随着粘粒硅铝率的增高而增大, 本文情况是前者随着全土硅铝率的增大而变小(图 6)。后者是反映花岗岩风化程度的指标, 值越大表示风化程度越低。这也说明了比表面积和交换容量随着风化程度的提高而增大。

48 个样品给出的阳离子交换量与其交换能力和水化离子半径呈正相关^[1]。本文所给出的 H^+ 和

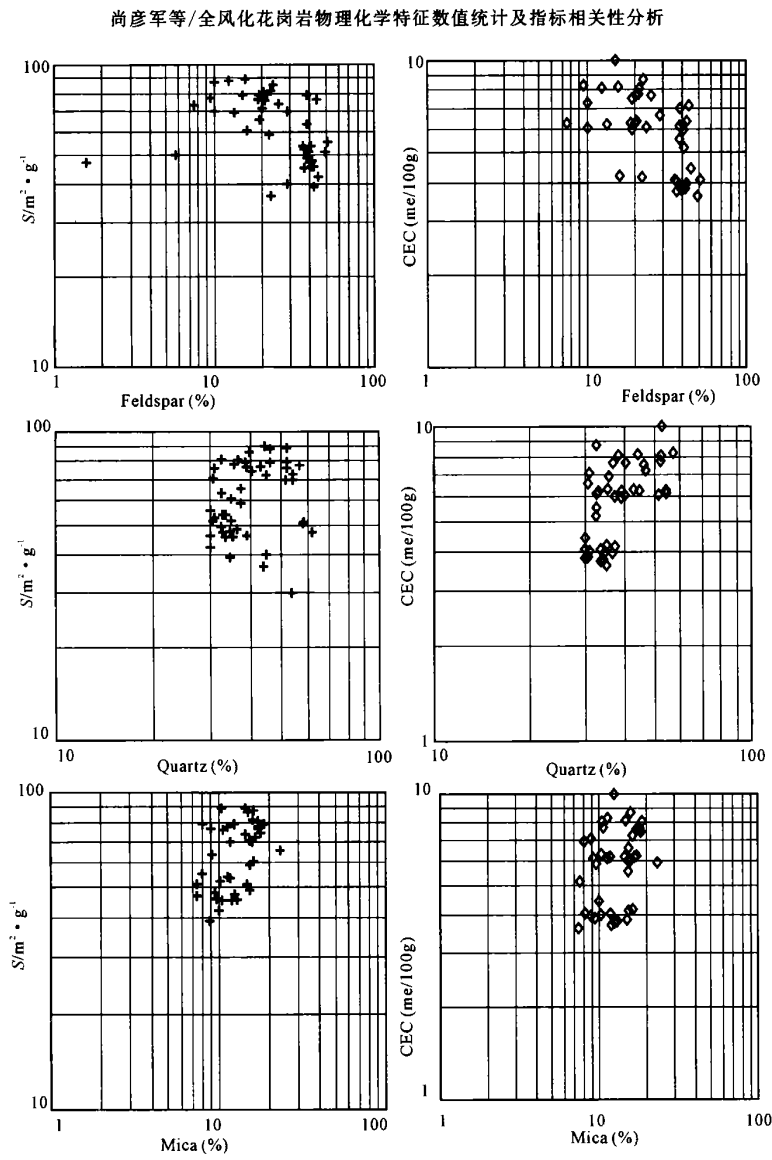


图 8 比表面积和交换容量与造岩矿物的关系

Fig. 8 Relationship between surface area, cation exchange capacity and petrogenetic minerals

Al_2O_3 的数值位置与理论分析不一致。究其原因,可能是全风化花岗岩富高价阳离子,形成了大量富水的粘土矿物,且土为酸性,故有此异常。

5 结 论

本文通过对香港两处边坡上部 3 个探坑中的 48 个全风化花岗岩样品物理化学性质统计值,并对比表面积和交换量等主要指标相关分析,得到了物理化学指标间的相关关系量化结果,也揭示了它们同矿物成分之间存在的关系。其中比较明显的是:

(1) 全风化花岗岩中的 H^+ 和 Al^{3+} 含量比一般

粘性土中的低;

(2) 比表面积和交换容量呈正相关。两者和全土硅铝比成反比,同粘土矿物和高岭石正相关,和长石含量负相关;

(3) 比表面积和交换容量与风化指标 SA 和 Kr 成反比。

致谢: 物理化学分析在中国科学院地质与地球物理所实验室曲永新研究员的指导帮助下完成。参加样品制备工作的还有胡瑞林研究员和涂新斌硕士。在此一并致谢。

参考文献(Reference):

- [1] 唐大雄, 孙懋文. 工程岩土学[M]. 北京: 地质出版社, 1987. Tang Daxiong, Sun Suwen. Soil and rock mechanics for engineering[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. (in Chinese)
- [2] 张乃娴, 李幼琴, 赵慧敏, 姬素荣. 粘土矿物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1990. Zhang Naixian, Li Youqin, Zhao Huimin, Ji Surong. Methods used for studying clay minerals [M]. Beijing: Science Press, 1990. (in Chinese)
- [3] 王幼麟, 蒲圻. 第四纪红色粘土的物质成分和结构特性及其与工程性质的关系[A]. 首届全国工程地质大会论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1983. 91- 97. Wang Youlin, Pu Qi. Compositions and textures of red Quaternary clay soils and its relations with the engineering geological characteristics[A]. Proceedings of the 1st National Engineering Geological Symposium[C]. Beijing: Science Press, 1983. 91- 97. (in Chinese).
- [4] 曲永新, 徐晓岚, 吴芝兰. 从网纹的成分和性质探讨网纹红土的成因和特性[A]. 第2届全国红土工程地质研讨会论文集[C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1991. 53- 59. Qu Yongxin, Xu Xiaolan, Wu Zhilan. Formation and characteristics of red soils with worm-shaped veins according to composition and feature auestitions feautre of the veins[A]. Proceedings of the 2nd Symposium on Engineering Geology of Red Soils in China [C]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1991. 53- 59. (in Chinese)
- [5] 王清, 唐大雄, 张庆云, 赵继增. 中国东部花岗岩残积土物质成分和结构特征的研究[J]. 长春地质学院学报, 1991, 21(1): 73- 81. Wang Qing, Tang Daxiong, Zhang Qingyun, Zhao Jizeng. A study on the structure and composition of granite residual soil in the Eastern China [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1991, 21(1): 73- 81. (in Chinese with English abstract)
- [6] 曲永新, 时梦熊, 徐晓岚. 比表面积指标在泥化夹层、断层泥、粘性土研究中的应用[A]. 中国科学院地质研究所. 岩体工程地质力学问题(二)[M]. 北京: 科学出版社, 1978. 48- 57. Qu Yongxin, Shi Mengxiong, Xu Xiaolan. Application of surface area values in argillation interlayers, fault clays and clay soils [A]. Institute of Geology and Geophysics. Chinese Academy of Sciences (2)[M]. Beijing: Science Press, 1978. 48- 57. (in Chinese)
- [7] Irfan T Y. Mineralogy and fabric characterization and classification of weathered granitic rocks in Hong Kong [R]. GEO Report No.41, 1996. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong.
- [8] 尚彦军, 吴宏伟, 曲永新. 花岗岩风化程度的化学指标及微观特征对比——以香港九龙地区为例[J]. 地质科学, 2001, 36(3): 279- 294. Shang Yanjun, Wu Hongwei, Qu Yongxin. Comparison of chemical indices and micro-properties of weathering degrees of granitic rocks— A case study from Kowloon, Hong Kong [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36(3): 279- 294. (in Chinese with English abstract)

Statistical Analysis of Characteristic Physicochemical Parameters and Correlations of Indices with Respect to Completely Decomposed Granite

SHANG Yan-jun¹, WANG Si-jing¹, YUE Zhong-qi², ZHAO Jian-jun³

1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong;

3. College of Civil Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China

Abstract: The completely decomposed granite (CDG), which has close relations with geological disaster, is widely distributed in Southeastern China (esp. in Hong Kong). There are few researches on the statistical values and correlations of the physicochemical parameters. Based on analysis of 48 CDG specimens obtained from 3 trial pits at summits of 2 slopes in Hong Kong, this paper provided statistical values of physicochemical parameters from laboratory tests, and the correlation between surface area and cation exchange capacity. These results quantified the correlation among the physicochemical indices. Furthermore, the relationship between parameters of physicochemical property and mineral compositions was also analyzed. Actually these values are of potential importance to classification of granite weathering and prediction of their engineering geological characteristics.

Key words: completely decomposed granite; physicochemistry; cation exchange capacity (CEC); surface area (S); Hong Kong