

文章编号: 1006-544X(2005)03-0301-04

水土相互作用与土细观结构变异的X射线衍射分析

张信贵, 吴恒, 方崇, 易念平

(广西大学 土木建筑工程学院, 南宁 530004)

摘要: 城市建设改变了水-土-电解质之间的平衡状态, 地下水因扰动而日益“变异”, 水土相互作用引发组分变异从而引发土结构发生变化. 土结构应按三层次划分, 即微观—细观—宏观结构, 这样有利于甄别各自的作用与贡献, 为此提出细观结构概念. 通过构筑试验环境并进行X射线衍射测试, 对原有衍射峰数、剩余衍射峰数、消失衍射峰数、新增衍射峰数分析发现, 水土作用引发的结构变化来自于细观结构的变异, 证实了在城市常温、常压、缓慢的地下水变异环境下, 细观结构是水土相互作用发生、发展的“平台”及主要场所.

关键词: 土; 细观结构; 成分; 水化学组分; X射线衍射分析

中图分类号: TU411.92

文献标识码: A^①

城市建设加大了对环境扰动, 城市环境变化或破坏的最直接的指示器——贮存、运移在土孔隙中的地下水, 因扰动而日益“变异”, 地下水变异引发水化学组分变异. 原有的水土之间的化学组分间的平衡遭到破坏, 原有的水-土-电解质之间的平衡瓦解, 吸附溶蚀作用随之活跃. 对于特殊土或极限环境而言, 水化学环境变异是显著且短暂的, 在短时间内往往会使土体强度发生质的变化. 对于城市常温、常压环境下的一般粘性土, 水土相互作用却是长期的、缓慢的, 尽管如此, 与土体形成和经历的整个地质历史进程的水土作用相比, 水化学环境变异依然是显著的. 当考虑到城市的建设是日复一日的进行, 人类活动对地质环境的扰动不可能是一个常量等事实, 则水-土-电解质之间的不平衡状态就持续存在. 地下水化学组分变异通过改变土体的溶蚀、吸附、结晶、固结等性状影响土体结构, 最终对土的宏观强度施加影响, 水土相互作用引起组分变异从而引发土强度变化是一个不争的事实.

为此在室内一定的酸度、碱度溶液中模拟城

市自然环境即常温、常压条件下的水土相互作用, 并进行了4项试验: SEM测试、CT试验、扫描隧道显微镜测试和X射线衍射测试, 下面仅以X射线衍射来研究土细观结构的变异情况.

1 土的细观结构

土的强度是由不同层次结构构成的, 反映出土结构的层次性. 目前土结构层次基本按宏观和微观划分为2个层次. 宏观结构一般是指同一土层中的物质成分和颗粒大小等都相近的各部分之间的相互关系的特征; 微观结构在采用二级划分中的含义是指土的物质组成的空间相互排列以及土粒的联结特征的综合. 二级划分可以看出, 目前划分的微观结构层次是将土颗粒、颗粒集合体连结的结构与土中矿物的晶格结构混合在一起, 这样的划分不利于认识问题的本质. 吴恒等^[1]认为两极划分比较粗糙, 提出结构应按三层次划分比较合适, 即微观—细观—宏观结构, 三者关系为: 微观 \ll 细观 \ll 宏观. 细观结构的基本物理涵义可概括为: 土体的细观结构是指土颗粒或颗粒集合体之间的相对位置、排列特征、接触状

① 收稿日期: 2004-10-20

基金项目: 教育部科技研究重点项目(教技司[2003]77); 国家自然科学基金资助项目(40062002); 广西自然科学基金资助项目(桂科自0447001、0249010); 广西水利厅科技专项(桂水科合字[2004]4)资助项目

作者简介: 张信贵(1965-), 男, 博士, 副教授, 岩土工程专业. E-mail: zxg1127@163.com

态、粒间连结、胶结物及胶结状态、粒间孔隙大小与形状. 微观结构研究的对象是颗粒或颗粒聚合体间所发生的作用、结果及内在的原因. 微观结构与土体宏观结构、土的微观结构研究的重点差异是土体宏观结构着重研究土层赋存状态及不同性状土体在空间的相对位置、组合单元的形态及组合特征. 土的微观结构着重研究颗粒内部的晶体结构、矿物组分、形态及相互关系, 显然, 从研究对象的空间尺度看, 土体的微观结构是介于土的微观结构与土体的宏观结构之间, 可将其定义为比微观结构低一层次, 比宏观结构高一层次的中间结构. 三级划分的意义在于: 土结构层次尺寸量级不同, 某一层次的不均匀性在它的高一层次上可忽略不计, 不同的层次在不同环境下所起作用不同, 划分后有利于甄别各自的作用与贡献.

在通常情况下, 一般外部环境变化所激发的作用力远小于矿物颗粒内部结晶力, 要使结晶晶格的原子活化和使它产生某个缺陷和位移往往是不够的. 对于松散的土体来说, 土微观结构的骨架主要是各种形态大小的集合体 (可是单个颗粒、颗粒与胶结物组成的凝块等), 粒间连结破坏使颗粒从平衡状态中脱离所赋与的能量要比使矿物晶格的位移要求的能量小得多, 因此决定土体力场变化的就是颗粒之间连接能. 土结构连结能与颗粒、颗粒集合体形态、尺寸排列、方向、固体和液相的化学成分, 以及颗粒之间的距离有关. 外部环境并不需要出现剧烈变化, 其结构在普通的常温、常压或常浓度环境下就已开始发生变异, 土体的破坏在未破坏或未完全破坏矿物的晶格时, 其结构强度已耗尽, 因此矿物晶格结构以外的颗粒间的连接结构对土体强度的贡献是最大的. 土结构的破裂面并不是通过颗粒本身, 而是通过颗粒、颗粒集合体与集合体之间粒间连结^[2].

综上所述, 在城市常温、常压、缓慢的地下水变异环境下, 微观结构是水土相互作用发生、发展的“平台”及主要场所, 微观结构的变化通过对宏观结构的强化与弱化最终在对土强度的贡献中得到体现, 它往往决定着结构单元的平衡状态.

2 X射线衍射分析

2.1 试验环境模拟

试验土样为粉质粘土, 人工挖取自南宁市某工程深基坑地下水水面附近. 试验的模拟溶液采用

盐酸、氢氧化钠和去离子水配制, 设计5种模拟溶液, pH值依次为: pH=1, 4, 7, 10, 14, 用于模拟地下水化学场变异情况. 取相同质量的6份粉末样品: 5份分别浸泡在装有pH=1, 4, 7, 10, 14五种模拟溶液烧杯中, 在室温下浸泡72h, 研究土微观结构变异情况. 另外的一份粉末样品, 保持原状态, 不做任何处理, 做为背景值. 实验仪器采用日本Rigaku D/MAX2500V型X射线衍射仪, 在整个试验中保持相同的实验参数, 以保证分析结果的精度与准确性^[3-6].

2.2 试验结果分析

未做任何处理、保持原状态样品的初始成分定性分析见图1, 6份样品X射线衍射分析试验曲线对比见图2. 采用晶面间距 d (Å)、衍射角(2θ)、衍射强度百分比(%)3个指标与一个矿物成分X衍射数据库(Grim, 1968; Brown, 1961; Carroll, 1970), 对6种环境下土样的X射线特征做比较与评价分析. 对一个多相、多晶体构成的土体来说, 水土作用前后若晶面间距 d (Å)与衍射角(原衍射峰, 2θ)不变, 说明原有的矿物成分未发生变化; 若有新的晶面间距 d (Å)与衍射角(新的衍射峰, 2θ)产生, 说明生成了新矿物成分. 通过比较原有衍射峰数、剩余衍射峰数、消失衍射峰数、新增衍射峰数对不同水化学环境下水土作用的程度进行分析, 并判断水土作用的发生场所与平台.

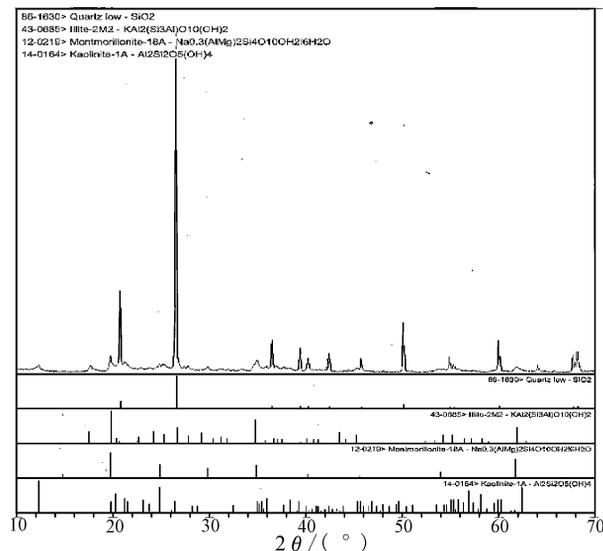


图1 原状土样、未浸泡前初始成分定性分析曲线

Fig. 1 Initial qualitative analysis curves for the undisturbed soil before immersing

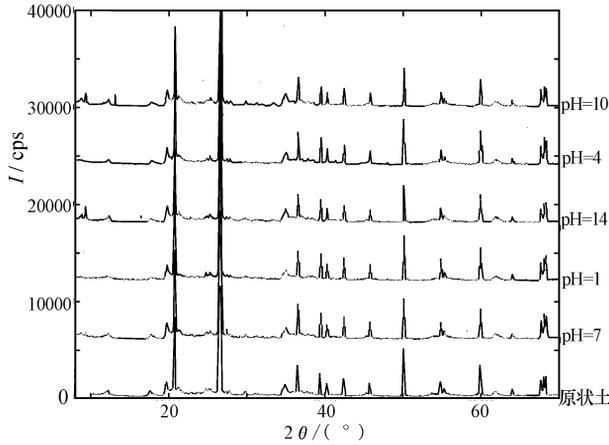


图 2 不同水环境下土样 X 射线衍射对比分析曲线

Fig. 2 X-ray diffraction contrast analysis curves for the samples in different water condition

由图 1 的矿物成分定性分析图可以看出，土中的高岭石含量 > 伊利石含量 > 蒙脱石含量，图上显示比较突出的反射峰主要是石英 (SiO₂)。

从图 2 看，6 份样品各晶面的 X 射线衍射峰很相似，衍射角仅在 12° 以前衍射峰有变化，其它衍射角范围看不出有明显的变化。一个原因是因图形比例失真，无法显示衍射峰的差异，即无法表征出水土作用下的成分的改变；另外也从一个侧面反映出矿物成分在水土作用下改变量并不如想象中那么大，即通过矿物晶格的结构——微观结构变化影响土的性质贡献率很小。

为了清晰量化问题的实质，下面利用表 1 及图 3 进行分析。表 1 为不同环境下的衍射峰所占百分数，图 3 表示不同水环境下的衍射峰个数与百分数。其中参数的含义如下：

参照值——与其它环境下的浸泡溶液相比较，取同样在水环境下 (pH = 7) 的土样 X 射线衍射的值作为参照值 (pH7 衍射峰数 = 32)，以消除比较的误差；衍射峰数——实质是指矿物的种类；现

表 1 不同环境下的衍射峰所占百分数

Table 1 Percentage of diffraction apex in different condition

水环境	剩余衍射峰数		消失衍射峰数		新增衍射峰数		消失与新增衍射峰总数		现衍射峰数
	个数	百分数	个数	百分数	个数	百分数	个数	百分数	
pH7	32	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	34
pH1	19	59.4	13	40.6	10	31.3	23	71.9	31
pH4	32	100.0	0	0.0	1	3.1	1	3.1	28
pH10	27	84.4	5	15.6	2	6.3	7	21.9	33
pH14	25	78.1	7	21.9	5	15.6	12	37.5	33

注：百分数为各水环境下的衍射峰数个数与 pH7 水环境时的衍射峰数个数 (32) 相比得到

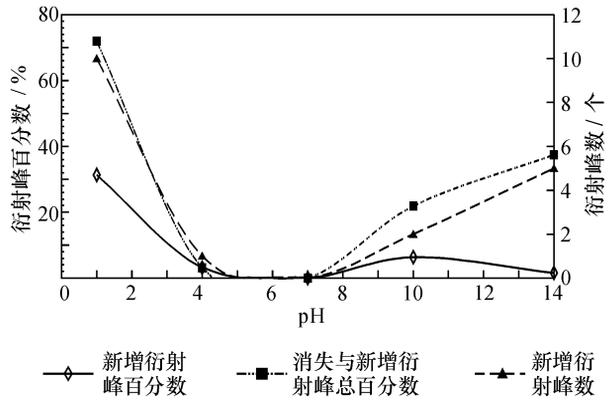


图 3 不同水环境下的衍射峰个数与百分比数

Fig. 3 Numbers and percentage of diffraction apices on different water condition

衍射峰数——不同环境水土作用下实际出现的衍射峰个数，表示实际出现的矿物种类；剩余衍射峰数——与参照值相比，在经过水土作用后剩余的原有衍射峰个数，即表示与参照值相同的衍射峰的剩余个数；消失衍射峰数——与参照值相比，在经过水土作用后消失了的原有衍射峰个数，即表示与参照值相同的衍射峰的消失个数；新增衍射峰数——与参照值相比，在经过水土作用后新出现的、原来没有的衍射峰个数，表示新产生的矿物种类。

由试验结果可以看出，在不同水土作用环境下，土中矿物成分发生了不同程度的变化，改变的程度与水化学环境密切相关，有如下规律：

(1) 不同水环境下、相同晶面间距 d (Å) 与衍射角 (2θ) 矿物的 X 衍射强度百分比变化比较小，说明除新生成的与溶蚀的矿物外，相同矿物的晶格结构在不同水环境下并未发生破坏。另外也说明 6 份样品压入 X 射线衍射分析盒内的压力基本相等，试验条件基本一致，试验结果的准确度很高，有可比性。

(2) 在酸性环境下，矿物变异的种类比在碱性环境下变异的种类多，矿物变异的种类主要指新增的与溶蚀掉的矿物种类，在图表中用新增与消失衍射峰数及百分数来表示。

随酸度增高或碱度增大，矿物变异的种类、数量也逐渐增多。如在 pH = 1 环境下新增的与溶蚀掉的矿物种类百分数达 71.9%，在 pH = 14 环境下新增的与溶蚀掉的矿物种类百分数达 37.5%，而在其它的环境中矿物变异的种类相对较少。

随酸度增高或碱度增大，矿物有伊利石化与

蛭石化趋势. 伊利石化与蛭石化的趋势将使土体中膨胀性矿物增加, 使土体的膨胀势增强.

在弱酸环境与碱性环境下, 矿物变异的种类及数量小于 22%. 说明对于试验中采用的粘性土而言, 在此水环境下矿物变异对土性质改变的贡献最多占 22%, 表明其它因素的贡献远大于矿物变异因素.

(3) 由图 3 可以看出, 新增衍射峰与 pH 值、新增衍射峰数与 pH 值的曲线呈宽阔峰谷的表现形态, 说明 pH 值的变化对矿物变异存在突变点. pH 值在 4~10 范围内矿物变异的量不大.

3 结 语

(1) 强酸碱环境尤其是强酸环境对土的性质改变除破坏颗粒间的连接以外, 还通过破坏矿物的晶格结构来达到, 因此在强酸碱环境中矿物的变异对土性质本质的变化是起至关重要作用的.

(2) 水土作用发生的结构层次可通过 X 射线衍射变化的特征来定量表征. 采用晶面间距 $d(\text{\AA})$ 、衍射角 (2θ) 、衍射强度百分比 (%) 3 个指标, 通过比较原土的衍射峰数及不同水化学环境下浸泡后土的剩余衍射峰数、消失衍射峰数、新增衍射峰数, 可定量甄别水土作用发生的结构层次.

(3) 试验表明, 随酸度或碱度增大, 微观结

构即矿物变异的种类、数量也逐渐增多. 如在 pH = 1 环境下新增的与溶蚀掉的矿物种类百分数达 71.9%, 在 pH = 14 环境下新增的与溶蚀掉的矿物种类百分数达 37.5%. 在弱酸环境与碱性环境下, 矿物变异的种类及数量基本处在同一数量级, 小于 22%, 说明对于试验中采用的粘性土而言, 在此水环境下矿物变异对土性质改变的贡献最多占 22%, 表明微观结构因素的贡献远大于微观结构——矿物变异因素, 说明水土作用主要是在微观结构的“平台”上进行的, 即微观结构是水土作用的主要场所.

参考文献

- [1] 吴恒, 张信贵, 易念平, 等. 水土作用与土体微观结构研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(2): 199-204.
- [2] 杨庆生. 复合结构微观结构力学与设计 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
- [3] 张德玉. 数种粘性土矿物经酸碱溶液处理前后的 X 射线衍射特值的比较研究 [R]. 北京: 国家海洋局第一海洋研究所, 1980.
- [4] Ostrom M E. Separation of clay minerals from carbonate rocks by using acid [J]. J Sediment Petrol, 1961, (31): 123-129.
- [5] Snoeyin V L, Jenkins D. 水化学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [6] 吴恒, 张信贵, 韩立华. 水化学变异对土体性质的影响 [J]. 广西大学学报, 1999, 24 (2): 85-88.

Analysis of X-Ray Diffraction on Variation of Soil Ministructure and Interaction Between Groundwater and Soil

ZHANG Xin-gui, WU Heng, FANG Chong, YI Nian-ping

(College of Civil and Architecture Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Balance among groundwater, soil and electrolyte are often destroyed by city construction, so there is variation of environment and component in groundwater. Interaction between groundwater and soil can change soil structure strength because of the chemical component changes in groundwater. It is pointed out that soil structure can be classified into three kinds of microstructure, ministructure and macrostructure, so that their functions can be easily distinguished. By simulating experiment and X-ray diffraction, and experiment with original, residual, disappeared, increased numbers of diffraction spices, it is proved that the structure is due to the interaction between groundwater and soil under slow changing environment of groundwater in city district.

Key words: soil; ministructure; groundwater chemical component; X-ray diffraction