

文章编号: 1000- 6524 (2001) 04- 0437- 04

昆明盆区第四系粘性土中的粘土矿物与地面沉降

薛传东¹, 谈树成^{1,2}, 李 峰¹, 刘 星¹, 秦德先¹

(1. 昆明理工大学地球科学系, 云南 昆明 650093; 2. 云南大学地球科学系, 云南 昆明 650091)

摘 要: 用X衍射和扫描电镜法研究了昆明盆区第四系粘性土中粘土矿物的矿物学、微结构等特征, 讨论了在地下水抽汲导致物理化学条件变化的情况下, 粘土矿物微结构的改变对地面沉降灾害效应的影响, 认为粘土矿物含量与微结构是在相同外界条件下引起地面沉降差异的主因。

关键词: 粘土矿物; 微结构; 地面沉降; 昆明盆区

中图分类号: P57; P642. 26

文献标识码: A

昆明盆区内第四系发育, 从早更新世地层到全新世地层均有出露, 以残(坡)积相、洪(冲)积相和湖(沼)相沉积沿盆地边缘的山前缓坡谷地和河谷边坡地带裸露地表。从盆地北部边缘台地至南部盆区, 洪冲积层、残(坡)积层逐渐变薄乃至尖灭, 冲湖积层逐渐变厚。在城区中心一大普吉、茨坝—黑龙潭、关上一黑土凹—望朔村等地, 第四系普遍发育2~3个孔隙含水层, 厚3.5~68.6m不等。各含水层之间则为以高孔隙比、高含水量、饱水为特征的泥质粘性土及砂质粘土层, 一般厚5~35m, 埋深1.2~51.5m^[1,2]。这些层位是昆明地区近年地下水集中超采和人类工程活动频繁的地段, 也是地面沉降的发灾层。在区内地面沉降日趋加剧的现今, 土层中规模不等的固结变形仍在持续。因此, 研究该区第四系粘性土中粘土矿物及其微结构等特征, 探讨地下水抽汲条件下粘土矿物的变化对粘性土体性质和地面沉降的影响, 具有重要的意义^[3]。

1 粘土矿物的产状特征

1.1 矿物成分

样品采自该区不同成因类型粘性土。对样品进行粉晶X衍射分析和扫描电子显微镜分析(表1), 结合化学及物理化学性质的分析资料, 得到不同产状风化土体的矿物成分。该区粘性土中有石英、褐铁矿、氢氧化铝及少量的氢氧化铁、氢氧化锰、硫酸盐、碳酸盐、长石、云母及有机质等, 而粘土矿物主要有高岭石(有的已转化为埃洛石)、伊利石、绿泥石、蒙脱石及少量的蛭石等。

1.2 粘土矿物产状

该区粘土矿物产于地表碳酸盐岩及玄武岩等各种基岩的风化粘土、新生界碎屑岩风化粘土、湖相沉积物及滇池现代湖底底泥中, 不同产出状态下的矿物组合不同(表2)。一般在碎屑岩风化残坡积粘土和洪积粘土中, 伊利石等为主要粘土矿物, 玄武岩和碳酸盐岩及其碎屑的风化粘土中, 则含有大量的埃洛石(多水高岭石)。

收稿日期: 2001- 05- 16; 修订日期: 2001- 09- 10

基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(99D006Q)

作者简介: 薛传东(1971-), 男, 讲师, 博士生, 目前主要从事矿物学及资源环境地质的教学与科研工作。

表1 昆明地区粘性土中粘土矿物的X衍射和扫描电镜特征

Table 1 X-ray diffraction and SEM features of clay minerals from Kunming area

矿物	X衍射分析特征	扫描电子显微镜下特征
高岭石	$d_{(001)} = 7\text{A}$, $d_{(002)} = 3.56\sim 3.58\text{A}$	假六方体, 结晶差, 边缘呈圆滑状, 常聚合成叠层状
伊利石	$d_{(001)} = 10\text{A}$, $d_{(002)} = 5\text{A}$, $d_{(003)} = 3.33\text{A}$	等轴片状, 边部圆滑, 大小不等, 部分有溶蚀, 时有聚集体
绿泥石	$d_{(001)} = 14\text{A}$, $d_{(002)} = 7\text{A}$, $d_{(003)} = 4.7\text{A}$, $d_{(004)} = 3.53\text{A}$	等轴薄片状, 结晶好而大, 内有干涉条纹, 边缘常呈棱角状
蒙脱石	$d_{(001)} = 12\sim 15\text{A}$, 加镁-甘油饱和处理后, 膨胀为18A; 加KCl处理, 反射峰收缩为12.20A	花絮状薄片和集集体, 结晶差, 因具强烈的膨胀性而在边缘呈现一定的波状挠曲
蒙脱石-伊利石混层	不对称, 在10~15A之间处理后显示伊利石 $d_{(001)} = 10\text{A}$ 的反射峰, 在10~14.2A之间为宽反射峰	

表2 昆明地区不同产状粘性土的粘土矿物组合

Table 2 Associations of clay minerals of different occurrence modes in Kunming area

产状	地段	样数	粘土矿物含量(wt%)					
			高岭石	伊利石	绿泥石	蒙脱石	蒙脱石-伊利石混层矿物	
基岩 风化层	P ₂ β 风化粘土层	松华坝	3	35	44	18	2	微
	P ₂ β 风化粘土层	西山	2	28	54	19	1	微
	G ₁ 风化粘土层	蛇山	2	30	42	25	3	微
第四系 风化层	湖积层	竹园村	3	41	32	5	12	少量
	冲洪积层	陈家庵	2	37	44	3	14	微
	河流沉积物*	盘龙江	13	23~36	45~54	16~29	1~9	—
滇池底泥*	淤泥	滇池	49	20	>50	15~20	1~5	—

* 据云南省地矿局^①和实测资料整理。

粘土矿物组合在横向和垂向上也有明显差别。对于同一层位的粘性土, 湖盆北半部高岭石所占比例普遍高于25%, 向湖盆中心有增加的趋势, 最高达40%, 蒙脱石的含量由湖盆边部向中部明显增高; 盆地南部伊利石含量超过60%, 高岭石最高达25%, 而向湖盆中心伊利石减少, 绿泥石含量一般小于15%。这一现象与物源和风化差异、沉积环境和介质特征有关, 滇池湖水的弱碱性环境(现代湖水 pH=7.4~8.9)加剧了高岭石、伊利石等矿物的蒙脱石化。

典型钻孔剖面分析表明, 蒙脱石含量随埋藏深度的加大而迅速增高, 表层为2%~3%, 埋深几米以下即增加到10%~30%, 埋深50m以下可达40%~70%以上, 并出现蒙脱石-伊利石、蒙脱石-绿泥石混层矿物, 而高岭石、伊利石等则相应减少。这表明, 该区大部分蒙脱石类矿物不是陆源碎屑成分, 而是由早期埋藏的其他粘土矿物退化而成, 蒙脱石、伊利石组合是指示湖相沉积的特征矿物。

2 粘土矿物的结构特性

粘土矿物为层硅酸盐矿物, 矿物晶格内存在类质同象置换, 结构单元层之间存在一定的阳离子。在同性电荷排斥作用下, 两结构单元层间的联结十分薄弱, 阳离子易于水化, 水分子更易进入矿物晶格内, 使矿物结构变得不稳定。同时, 粘土矿物颗粒细小, 性质活泼, 比表面积大, 有充分发生物理化学作用的条件,

① 云南省地质矿产局. 昆明地区城市地质环境综合评价研究报告, 1990, 489~590.

矿物表现出具吸附性、膨胀性、离子交换性及可压缩性。

伊利石是片状矿物, 结晶格架较稳定, 以二八面体型为主, 遇水几乎不膨胀。单个晶片的压缩性甚微, 但伊利石多数以不规则集粒存在于土中, 这些集粒是疏松可压缩的。高岭石(及埃洛石)、绿泥石等矿物的膨胀性也很小, 且性较脆, 抗压强度小, 多以集粒存在于土中。蒙脱石亦是片状矿物, 但晶片不稳定, 容易吸水膨胀, 该区粘性土中的蒙脱石结晶差, 含量少。从矿物晶格活动性来看, 蒙脱石、绿泥石晶格活动性最大, 高岭石最小, 伊利石介于中间, 它们的存在可能使土体的强度降低。

3 粘土矿物集粒的结构特性

粘性土的基本结构单元是由同种粘土矿物片状晶体叠聚而形成的叠片体。粘土矿物的成分不同, 叠片体的形态也有差别。高岭石和绿泥石叠聚体为叠层状, 伊利石为平行片状, 蒙脱石呈皱片状。叠片体之间常构成大量片间孔隙。叠片体与同等尺度细碎屑颗粒聚合成的絮凝体, 构成粘性土的骨架。絮凝状结构由粘粒搭成的絮凝状结构单元体构成, 颗粒排列疏松, 联结弱, 孔隙比增大, 孔隙间连通性变差。为水所饱和的这种孔隙的分布特征, 决定了在固结条件下赋存其中孔隙水的疏排是极为缓慢的, 但在荷载作用下水流速会加快。本区粘性土的结构是有序的, 结构联结一旦被消弱或破坏, 大的孔隙比必将产生大的可压缩性。

通过粒度分析, 该区粘性土中含有较多粘粒和胶粒, 次为少量的砂粒、粉粒。一般地, 玄武岩风化残坡积粘土中粘粒约占 80%, 碳酸盐岩风化残坡积粘土中粘粒含量约为 40%~60%, 碎屑岩风化残坡积粘土中粘粒与砂、粉粒含量各约占 40%, 洪积粘土粘粒含量多大于 45%。在玄武岩和碳酸盐岩风化残坡积粘土中, 部分粘粒与粉粒结合可形成假粉粒, 当达到一定深度后, 粘粒间也可通过 CaCO_3 和 Fe_2O_3 等的胶结而形成假粉粒。

同时, 粘性土是多相体系, 且水的体积多大于固体颗粒的体积, 孔隙溶液的浓度和主要离子类型对粘粒絮凝的影响不容忽视。本次采用土水比例为 1:10 的水提取液法获取粘性土中孔隙溶液, 进行水化学分析(6件水样)。结果显示区内粘性土孔隙中水溶液主要含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 等离子, 矿化度多小于 0.8 g/L。这些离子含量的增加可造成粘土矿物结构单元层的压缩和粒间静电引力的增加, 促进粘粒的絮凝, 进而导致粘性土固结形变加大。

虽然本区粘性土中粘粒的存在以絮凝为主, 但粘土颗粒和胶粒多为半絮凝半分散状态, 彼此间的结构联结减弱, 絮凝结构处于次稳定状态, 表现出压缩性大、结构稳定性差的特性。较高含量的粘粒、假粉粒和有机质, 还使粘性土表现出较强的亲水性。

4 粘土矿物与地面沉降

地面沉降的过程实际上就是下伏各松散土层中固体颗粒间有效应力增加、孔隙水压力消散、土层进一步压缩的过程。地下水位的升降变化, 可造成上覆粘性土中粘土矿物含量及微结构等的改变, 导致土体力学性能变坏, 进而诱发地面沉降等与土体变形有关的环境灾害。

该区粘性土中粘土矿物主要以高岭石、伊利石为主, 有少量的绿泥石、蒙脱石、蒙脱石-伊利石混层矿物等。土体中粘土矿物含量越高, 土体的压缩性越强。土体压缩变形是通过颗粒产生滑移和孔隙体积减小发生的, 迫使水从孔隙中排出, 产生压缩变形并固结, 粘土矿物、碎屑矿物及其他物质成分很少发生变化。该区粘性土以絮凝结构为主, 结构疏松, 孔隙发育但连通性差, 透水性小, 压缩性强。土体在自重压力下或人们抽汲地下水的过程中, 产生压缩变形而导致地面下沉。小板桥-巫家坝-小街-河尾村-海埂一带粘性土层的厚度大, 因地下水集中超量抽汲, 目前地面沉降量较其他地段大, 沉降中心的累计沉降量达 227.5 mm 以上, 平均沉降速率约 20.0 mm/a, 近期最大沉降速率高达 30.3 mm/a, 最小沉降速率均在 10.0 mm/a 以上^[4]。

粘土矿物的结构水不易流失, 但在地下水疏干(开采造成水位的持续下降)或相邻含水层被疏干造成

压力明显增大条件下,地下水的越流补给和循环加剧使孔隙水中离子含量加大,阳离子的增加促使水分子大量进入矿物晶格,而导致沿结构单元间软弱面的滑移(称蠕滑效应)。同时,粘性土中絮凝结构及褐铁矿、钙华等形成的松软结构在压力增加时即发生破碎而压实,叠加气、液相组分的大量流逸,都是加剧地面下沉的诱因。

事实上,本区第四系粘性土地层具有较大的倾角,多为 $4\sim 12^\circ$,加之强烈新构造运动使盆地差异性断块隆升明显,加剧了粘土矿物结构的蠕滑效应。加之受其他因素的控制,从而造成目前区内地面沉降的格局。地层本身的倾斜对蠕滑效应的控制影响,尚有待于进一步研究。

5 结论

(1) 昆明盆区第四系粘性土中粘土矿物种类较多,有高岭石、伊利石、绿泥石、蒙脱石、蒙脱石-伊利石混层矿物等,其中以伊利石、高岭石为主。

(2) 粘性土微结构以絮凝体结构类型为主,其特点是颗粒联结不紧密,孔隙发育但连通性差,孔隙水不易排出,粘性土层的固结变形缓慢。

(3) 在地下(热)水资源集中超采条件下,浅层地下水水位的持续下降可改变多层粘性土层中粘土矿物的含量、组合及微结构,使土体压缩固结,从而加剧地面沉降的进程。

(4) 粘土矿物含量、组合和土体微结构类型是在相同外界条件下引起地面沉降差异的主要因素。

参考文献:

- [1] 阎庆桐,白声贵. 昆明盆地的第四系[A]. 中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会,江苏地质学会. 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第5集)[C]. 北京:地质出版社,1988,252~261.
- [2] 地质矿产部成都地质矿产研究所,云南省地质矿产局. 昆明盆地晚新生代地质与沉积演化[M]. 重庆:重庆出版社,1990,40~79.
- [3] 鲁安怀. 矿物学研究从资源属性到环境属性的发展[J]. 高校地质学报,2000,6(2):245~251.
- [4] 姜朝松,樊友心,邵德晟,等. 昆明市地面沉降[M]. 昆明:云南科技出版社,1999,140~163.

Clay Minerals in Quaternary Clayey Soil and Its Relation to the Land Subsidence in Kunming Basin Area

XUE Chuan_dong¹, TAN Shu_cheng^{1,2}, LI Feng¹, LIU Xing¹ and QIN De_xian¹

(1. Department of Earth Sciences, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Department of Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Based on X-ray diffraction and scanning electron microscopic analyses of Quaternary clayey soil from Kunming basin area, the authors have extensively studied the combination, mineralogy and micro_textures of the clay minerals, and discussed the relationship between the clay minerals and the land subsidence under the over-draft of the groundwater which may alter the combination, micro_textures and physicochemical conditions of the clay minerals. The results show that, under the same condition, the content, mineral combination and micro_textures of the clay minerals play most important roles in leading to land subsidence.

Key words: clay minerals; micro_textures; land subsidence; Kunming basin area