

合徐高速公路南段膨胀土矿物成分及微结构

柏立懂^{1,2}, 崔可锐², 胡文奎³

(1. 上海岩土工程勘察设计研究院有限公司, 上海 200002;

2. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009; 3. 济南市勘察测绘研究院, 济南 250013)

摘要: 运用 X—射线衍射、偏光显微镜、扫描电镜以及化学全量分析等方法, 对合徐高速公路南段膨胀土的矿物组分及微结构等方面进行较为深入的研究, 探明其特殊的工程性质不仅与膨胀土的矿物组分、阳离子交换量有关, 更与其微结构密切相关, 特别是其结构联结特征; 膨胀土的胀缩特性随着粘土矿物含量的增大, 特别是蒙脱石、阳离子交换量能力的增强而增强; 土的微结构是控制膨胀土胀缩性的另一个重要因素, 随着粘土基质中的卷曲片状物质的增多而增强, 而膨胀土的物理力学性质很大程度上取决于膨胀土粘土颗粒之间的结合连接程度。

关键词: 膨胀土; 胀缩性; 微结构; 矿物成分; 合徐高速公路南段

中图分类号: TU443; P642.11⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2005)04-0013-04

1 前言

合徐高速公路分南北两期修建, 其中南段南起肥东, 北至蚌埠, 沿线的肥东、定远、凤阳和蚌埠 4 个县市均有膨胀土分布。目前, 对沿线各地膨胀土已做了最优掺灰率的研究, 并在工程设计和施工中得到应用^[1,2]。要全面了解研究区内膨胀土的工程地质性质, 还须对其矿物组分以及微结构进行深入研究。本文仅对肥东、定远以及凤阳三地的膨胀土进行研究, 进一步探讨膨胀土工程特性的本质特征。

2 地貌、气候条件及膨胀土地层

合徐高速公路南段穿越合肥盆地和蚌埠—淮南山地等 2 个地貌单元(图 1), 区内地势较低, 海拔 19~95m。研究区地处长江、淮河两大水系之间, 地形以平原为主, 兼有残丘、河间洼地、河漫滩以及较多的人工沟渠。总体上, 地势比较平坦, 海拔较低, 大部分地区处于盆地之内。

研究区属亚热带温湿季风气候区, 气候温和, 雨量适中。多年平均气温为 15~17℃, 冬季平均气温为 -3℃, 以 12 月份和 1 月份最冷, 极低温度可达 -20℃; 夏季平均气温为 34℃左右, 以 7、8 月份为最热, 极高可达 41℃。冬夏较长, 春秋较短, 较适合膨胀

土的发育生成。

区内膨胀土一般分布在 II 级或 II 级以上的阶地、山前丘陵地区, 个别分布在 I 级阶地, 埋藏较浅, 常见于地表。研究区内的膨胀土形成的地质年代大多为第四纪中晚更新世(Q₂₋₃), 地层为下蜀组冲洪积膨胀土, 其它地层未发现有膨胀土的存在。

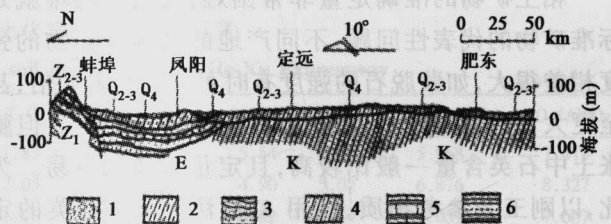


图 1 合徐高速公路南段地貌及膨胀土分布剖面图

Fig.1 Section plane of physiognomy and expansive soil distribution in south part of He-Xu Expressway

1—第四纪近代堆积物; 2—第四系下蜀组(含膨胀土); 3—第三系戚家桥组、望虎墩组; 4—白垩系浮山组、朱巷浮山组、朱巷组; 5—中晚震旦系硅质灰岩; 6—早震旦系石英岩夹页岩

3 矿物组分及粒度成分特征

3.1 矿物成分

为了鉴定膨胀土中的矿物成分, 以 X—射线衍射为主, 结合偏光显微镜、扫描电镜以及化学全量分析对采自研究区内的膨胀土样做了综合鉴定。

(1) X—射线衍射结果分析 试验所用 X—射线衍射仪为日本理学电机株式会社生产的 D/max-r B 衍射仪, 靶: Cu K α ; 管电压: 40kV; 管电流: 80mA; 狭缝系统: DS = SS = 1°, RS = 0.3mm; 步进扫描、步长: 0.01°。粘土

收稿日期: 2004-10-21; 修订日期: 2004-11-17

作者简介: 柏立懂(1979-), 男(布依族), 硕士研究生, 从事岩土工程与测试技术的研究。

E-mail: bailidong@163.com

矿物中,蒙脱石“M”、伊利石“I”和高岭石“K”分别以 1.45nm、0.999nm 和 0.714nm 附近的衍射峰为鉴定依据;在非粘土矿物中石英“Q”,以 0.426nm 和 0.335nm 为其特征衍射峰,长石“F”和方解石“C”分别以 0.320nm 和 0.303nm 附近的衍射峰为其特征峰(部分膨胀土 X—射线衍射谱线见图 2)。

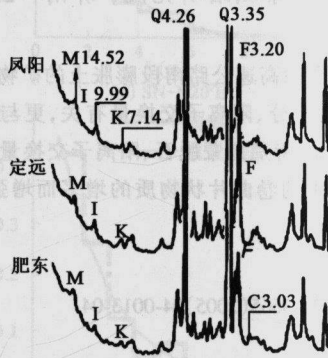


图 2 合徐高速公路北段膨胀土 X—射线衍射谱线

Fig.2 Diagrams of diffraction of X—ray of expansive soil in south part of He-Xu Expressway

M—蒙脱石;I—伊利石;K—高岭石;Q—石英;F—长石;C—方解石;
(图中数据单位均为 Å)

粘土矿物的准确定量非常困难,最大的困难就是标准矿物的代表性问题,不同产地的粘性土矿物的强度相差很大,如蒙脱石的强度有时可能会相差几倍,甚至更大,且自然界中也很难得到纯净的蒙脱石。但膨胀土中石英含量一般比较高,且定量也较为容易。为此,以刚玉为参考物质,运用 K 值法^[3]完成石英的定量,在此基础上,假定石英为原膨胀土样的参考物质,再次运用 K 值法求出长石和方解石的含量。根据所用仪器设备对大量样品实验测出石英的 0.335nm 峰、长石的 0.320nm 峰和方解石的 0.303nm 峰所对应晶面权重系数比值为 $K_{0.335} : K_{0.320} : K_{0.303} \approx 1 : 1.25 : 1.1$,从而计算出长石和方解石的相对含量,将其和石英的含量累加起来,则粘土矿物的总含量就等于 100% 减去长石与方解石的相对含量与石英含量之和的差值。根据试验所测出高岭石的 0.714nm 峰、伊利石的 0.999nm 峰、蒙脱石的 1.45nm 峰的权重系数比为 $K_{0.714} : K_{0.999} : K_{1.45} \approx 1.3 : 2.95 : 1$,最后运用文献[4]的方法计算出各自的含量,X—射线衍射半定量分析结果见表 1。

如表 1 所示,区内膨胀土粘土矿物含量中,蒙脱石含量变化范围为 15.5% ~ 19.73%,伊利石为 28.39% ~ 35.42%,高岭石含量最大者为 10.62%,总体含量比较低,石英等碎屑矿物的含量相对比较高,均大于

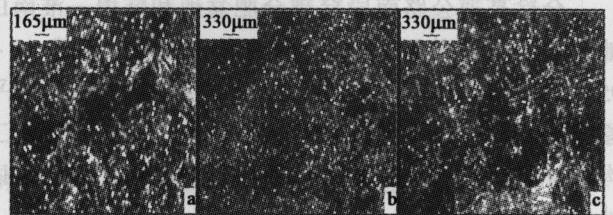
36%,这也是影响膨胀土胀缩性的另一个因素,膨胀性随石英等矿物含量的增大,出现逐渐递减的趋势。

表 1 合徐高速公路南段膨胀土 X—射线衍射半定量分析成果表

Table 1 Half-quantitative XDA result of expansive soil in south part of He-Xu Expressway

地点	蒙脱石	伊利石	高岭石	石英	长石	方解石
凤阳	1	18.90	31.27	8.54	33.20	8.09
	2	17.14	35.42	8.89	33.89	4.65
定远	1	16.74	28.39	7.03	41.57	6.27
	2	15.50	32.85	7.61	38.19	5.84
肥东	1	18.27	33.65	10.62	31.60	4.53
	2	19.73	34.09	10.03	30.57	4.50

(2) 偏光显微镜下的中观结构特征 研究区内膨胀土薄片在偏光显微镜下观察(照片 1),发现其砂粒(>0.05mm)主要由石英组成,含少量的长石、方解石以及云母等矿物组成,一般分散在粘胶颗粒构成的基质当中,互不接触,故不起骨架作用。此外,粘胶颗粒构成的基质中,还展布一些裂隙与孔隙。其中凤阳膨胀土局部可见云母的定向排列,主要是沿裂隙的延伸方向展布(照片 1a);定远膨胀土未见云母的片状矿物的定向排列,且裂隙也相对少见,但孔隙相对比较发育(照片 1b);肥东膨胀土的粘胶颗粒构成定向排列比较明显,砂粒较少,孔隙和裂隙也相对较少,同时可见一些磨圆度比较好的泥块无规则分布于基质中(照片 1c)。纵观上述分析,三地膨胀土的基质各具特点,但又不乏共性,粘胶颗粒为基质的结构特征决定和影响该区膨胀土的胀缩特征。



照片 1 研究区内膨胀土的中观结构特征(+)

Photo 1 Moderate structure of expansive soil in research region(+)

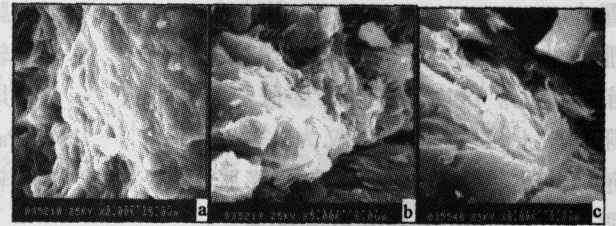
a—凤阳膨胀土;b—定远膨胀土;c—肥东膨胀土

(3) 扫描电镜下的微结构 在高倍数扫描电镜下观察,发现凤阳膨胀土基质中的粘胶颗粒呈叠聚体的形式存在,少见外形呈弯曲的片状粘粒存在,叠聚体本身十分紧密,联结较强,并具有定向排列的特征,微裂隙较少,且微孔隙也比较小,微孔隙呈拉长形状,长轴方向也具有定向特征(照片 2a);低倍数扫描电镜下观

察,发现凤阳膨胀土基质中发育一些裂隙和孔隙,叠聚体定向排列,呈似层流状微结构特征。而在高倍扫描电镜下观察,发现定远膨胀土的粘粒基质被裂隙分割成形状各异的小块,粘土颗粒以单片状的形式存在,但片状颗粒一般呈平片状,很少见弯曲的单片,少量片状颗粒呈稍曲,边缘无规则,结构单元体多以微集聚体或粘粒片呈“面—面”、“面—边”形式叠聚构成,很显然,定远膨胀土的片状颗粒相对多于凤阳膨胀土,裂隙也明显增多,且主要为垂向发育,裂隙连通性比较好,叠聚体之间的联结程度较差(照片 2b);低倍数扫描电镜下观察,发现叠聚体之间的展布具有一定的定向性,土体表面很不平整,这主要是由于发育大量的垂向和沿层面方向的裂隙所致。与上述两地膨胀土的微结构不同,肥东膨胀土的粘胶基质主要以卷曲的片状形式存在,单片极薄,结构单元体之间的联结比较松散,裂隙相当发育,具有明显的定向排列特征(照片 2c),片状颗粒定向排列,具有层流状微结构特征。正是这种结构特征,使得肥东膨胀土比凤阳和定远膨胀土具有更强的膨胀性。

上述微观结构特征是研究区内膨胀土产生胀缩特性的物质基础格架,其格架中的裂隙或孔隙是渗水的

良好通道,当水渗入时,蒙脱石和伊利石等粘土矿物组成结构单元体粘片吸水膨胀,水膜增厚,反之,失水水膜减薄,脱水收缩。



照片 2 研究区内膨胀土的微结构特征

Photo 2 Microstructure of expansive soil in research region

a—凤阳膨胀土;b—定远膨胀土;c—肥东膨胀土

(4)化学全量分析 为检验 X—射线衍射半定量分析的可靠性,进行了化学全量分析(表 2)。表 2 中,定远膨胀土中 SiO₂ 的含量(69.63%)最高,凤阳膨胀土次之,肥东膨胀土最小。石英、SiO₂ 含量的变化趋势均为:定远 > 凤阳 > 肥东;同样肥东膨胀土的 CaO 含量最高,凤阳膨胀土和肥东膨胀土的物质组分比较接近,这在 X—射线衍射半定量分析中都得到证实,说明 X—射线衍射半定量分析的结果还是可靠的。

表 2 合徐高速公路南段膨胀土化学全量分析成果表

Table 2 Chemistry analysis result of expansive soil in south part of He-Xu Expressway

地点	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	FeO	H ₂ O ⁺	烧失量	SiO ₂ /R ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
凤阳	67.27	5.84	15.40	0.83	1.18	1.23	0.033	0.130	1.83	0.86	0.061	5.54	5.73	5.968	7.413
定远	69.63	4.69	14.19	0.85	0.93	1.14	0.070	0.047	2.05	1.16	0.39	4.90	5.02	6.876	8.327
肥东	66.79	5.96	14.90	0.77	1.31	1.25	0.038	0.190	1.96	0.90	0.10	5.82	5.54	6.059	7.607

3.2 粒度成分及阳离子交换量

如表 3 所示(按照《公路土工试验规程》(JTJ051-93)要求进行),3 个地区膨胀土的粉粒含量均小于粘

粒含量,属于粘土,但粘粒含量并不是很大,基本上只占总含量的 50% 左右,甚至更低,这就决定了研究区内的膨胀土所具有的胀缩性比较弱,即为低膨胀土。

表 3 合徐高速公路南段膨胀土的某些工程地质性质

Table 3 Some engineering properties of expansive soil in south part of He-Xu Expressway

地点	粒度(mm)成分%			物理水理性质					物理力学性质				物理化学性质		胀缩性质	
	>0.05	0.05~0.005	<0.005	比重 G (g/cm ³)	孔隙比 e	液限 W _l (%)	塑限 W _p (%)	塑性指数 I _p	压缩系数 a ₁₋₂ (MPa ⁻¹)	压缩模量 E ₁₋₂ (MPa)	粘聚力 c(kPa)	内摩擦角 φ(°)	阳离子交换量 CEC (me/100g 土)	自由膨胀率 F _s (%)	膨胀力 P _e (kPa)	
凤阳	11.5	40.2	48.3	2.71	0.81	43.90	22.00	21.90	0.23	8.73	103	15.0	20.6	43.00	40.00	
定远	13.4	36.1	50.5	2.74	0.75	46.70	23.80	22.90	0.25	8.21	109	18.2	26.4	55.00	55.00	
肥东	11.1	41.3	47.6	2.74	0.75	47.70	23.90	23.80	0.26	7.77	117	18.4	30.3	59.00	65.00	

土的阳离子交换量对膨胀土胀缩性以及一些物理水理性质的影响也不容忽视。如表 3 所示,不难看出研究区内的膨胀土的阳离子交换量都在 20me/100g 土以上,但最大值仅为 30.3me/100g 土,因而其液限以及

胀缩性都相对比较小,其胀缩性均未达到中等膨胀土。

3.3 膨胀土胀缩性特征

研究区内的粘土的液限均大于 40%,塑性指数也均大于 20,自由膨胀率均大于 40% 以及阳离子交换量

均在 20me/100g 土以上,均为膨胀土。比重在 2.71 ~ 2.74 g/cm³ 之间,孔隙比在 0.71 ~ 0.81 之间,而压缩系数在 0.23 ~ 0.26 MPa⁻¹ 之间,属中等压缩性,压缩模量在 7.77 ~ 8.73 MPa 之间,其中定远膨胀土和肥东膨胀土的粘聚力以及内摩擦力比较大,凤阳膨胀土的较前两者小。区内膨胀土的膨胀势不是很强,特别是凤阳膨胀土,自由膨胀率仅为 43%,膨胀力仅为 40kPa,液限也比较低,但定远和肥东膨胀土的胀缩性相对较强,但其自由膨胀率也不足 60%。

尽管该区膨胀土的胀缩性比较低,但在这些地区修建公路和铁路等低负荷的路基工程时必须对膨胀土进行改性处理。

4 结论

(1)合徐高速公路南段的肥东、定远和凤阳三地均为第四系下蜀组(Q₂₋₃)的冲洪积粘土,具有弱胀缩性,属低膨胀土。

(2)膨胀土的粘粒含量较高,自然分散程度较高,粘粒含量在 47.6% ~ 50.5% 之间。

(3)膨胀土粘土矿物中以伊利石、蒙脱石为主,并含有一定量的高岭石,主要赋存于粘胶粒组中。三地膨胀土的蒙脱石含量都在 14% ~ 25% 之间,应属中等膨胀势土,但其仅具有低等膨胀势。

(4)膨胀土中的砂粒矿物含量较少,无规则分布于粘土颗粒构成的基质中,不起骨架作用,膨胀土的结构单元体多以“面一面”、“面一边”叠聚形成的叠聚体,局部可见独立的卷曲片状颗粒,具有一定的定向排列性,发育良好的层间裂隙。其中肥东膨胀土具有层流状微结构特征,其余两地具有似层流状的微结构特征。

参考文献:

[1] 顾中华. 合徐高速公路沿线地区膨胀土最优掺灰率试验研究[J]. 岩土工程技术, 2003,5(5):286 - 288.
 [2] 顾中华. 合徐高速公路南段膨胀土改性研究及膨胀土与构造的关系[D]. 合肥:合肥工业大学, 2002.
 [3] GB5225 - 85,金属材料定量相分析——X 射线衍射 K 值法[S].
 [4] 闵连太,黄凤贞. 粘土矿物的 X 射线定量研究[J]. 水文地质工程地质, 1994,21 (4): 17 - 20.

Mineral composition and microstructure of expansive soil in south part of Hefei-Xuzhou Expressway

BAI Li-dong¹, CUI Ke-rui¹, HU Wen-kui²

(1. Shanghai Geotechnical Investigation & Design Institute Ltd. Co., Shanghai 200002, China; 2. College of Resource and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 3. Jinan Prospect and Surveying Research Institute, Jinan 250013, China)

Abstract: The mineral composition and microstructure of expansive soil in south part of Hefei-Xuzhou Expressway are studied mainly by X-ray Diffraction Analysis (XDA), Partial Microscope, Scanning Electron Microscope (SEM) and Chemistry Analysis in this paper. Study shows that the engineering property of expansive soil is mainly controlled by not only its mineral composition and capability of exchangeable cation (CEC) but also more microstructure and even its characteristics of structural combining, at the same time, the microstructure also plays a very important role in its distensibility and shrinkage and mechanics property, etc. The distensibility and shrinkage potential of expansive soil becomes stronger with the increase of clay mineral content, the capability of exchangeable cation (CEC) and the crinkle flake grain content, and the mechanics property of expansive soil lies on the combining degree between clay grains.

Key words: expansive soil; distensibility and shrinkage; microstructure; mineral composition; south part of He-Xu Expressway