

# 蒙皂石含量与膨胀土光谱吸收参量相关关系研究

燕守勋, 李 兴, 张 兵

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 对沿南水北调中线工程邯郸—永年、南阳、平顶山等地区及襄樊、荆门钟祥地区采集的各类地表、近地表膨胀土样品 55 件, 运用现代 XRD 定量方法和有机染料吸附方法测量了粘土矿物成分和蒙皂石含量, 计算了有效蒙皂石含量, 同时测定了它们的可见光-短波红外光谱, 并参量化计算了吸收光谱的位置、深度、宽度、对称性和面积, 统计分析了光谱吸收参量与有效蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量之间的关系。结果表明: 根据蒙皂石 2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收的相对强度, 可以划分不同的膨胀土类型; 根据膨胀土实验室光谱 1900nm, 1400nm 吸收深度和吸收宽度可以估算膨胀土的有效蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量; 吸收对称性和面积不能运用于与有效蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量的光谱估算; 运用实验室光谱测量分析, 可以在工程现场经济、方便、快捷地识别膨胀土、划分膨胀土类型、估算有效蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量, 能够产业化应用。

**关键词:** 膨胀土; 蒙皂石含量; 光谱; 参量化; 工程应用

**中图分类号:** TP79      **文献标识码:** A

## 1 引言

膨胀土是“隐藏的地质灾害”(Hidden disaster), 主要造成轻型建筑物的损害, 年均灾害损失达数亿元<sup>[1,2]</sup>。40 多年来, 国内外在膨胀土粘土矿物成分测试和研究<sup>[3]</sup>、蒙皂石晶层胀缩规律<sup>[4]</sup>、工程性质评价、膨胀土判别与分类和工程治理方面开展了大量研究与实践<sup>[2, 5-8]</sup>, 形成了不同的膨胀土判别、分类方法。国内外大量研究结果表明, 蒙脱石或蒙皂石晶层间的失水收缩、吸水膨胀是膨胀土胀缩性的根源<sup>[4]</sup>, 蒙皂石是膨胀土胀缩性的物质基础, 蒙皂石和混层粘土矿物的识别和量化是膨胀土判别的关键因素之一。由于组成膨胀土的粘土矿物在可见光—近红外波段(0.4—2.5 $\mu\text{m}$ )都有诊断性吸收峰<sup>[9]</sup>, 目前, 国际上在率先运用传统的技术方法, 鉴别膨胀土的粘土矿物成分和判别膨胀势, 并研究膨胀土的矿物成分与膨胀指标的相关关系<sup>[10,11]</sup>后开展了膨胀土识别、填图的遥感技术研究<sup>[12-13]</sup>, 以检验方便、快捷的遥感技术在膨胀土识别、填图方面的应用效能。本文对沿南水北调中线工程在邯郸—永年地区、平

顶山、湖北钟祥市和襄樊地区采集的各类膨胀土进行了矿物成分分析、光谱测量及参量化分析, 统计计算了蒙皂石含量与吸收参量之间的关系, 评价了膨胀土实验室光谱技术在工程应用上的前景。

## 2 方法

### 2.1 采样

采集地表和近地表(0.1—2m)样品共 55 件, 每个取样点均备有 GPS 定位数据, 数据存于中国科学院遥感应用研究所。沿南水北调中线工程在邯郸—永年地区采集上第三系湖相灰绿色、棕红色及杂色硬粘土 27 件; 在南阳盆地采集第四系褐黄色粘土、棕黄色粘土和上第三系湖相灰绿色硬粘土共 15 件, 在平顶山采集上第三系湖相灰绿色硬粘土 7 件, 其中湖北钟祥市和襄樊襄十路样品 6 件由中国科学院武汉岩土研究所孔令伟教授提供。

### 2.2 膨胀土粘土矿物成分测试

测定颗粒组成采用全分散法处理, 用移液管法

收稿日期: 2004-03-05; 修订日期: 2004-04-15

基金项目: 中科院遥感所知识创新前沿项目 CX020007 和“863”项目我国典型岩矿标准波谱数据库 2002AA/30010—30

作者简介: 燕守勋(1961—), 男, 博士, 研究员, 从事地质遥感研究, 发表论文 40 余篇。

分别提取, 测量  $> 0.075\text{mm}$ ,  $0.075-0.005\text{mm}$ ,  $< 0.005\text{mm}$  粘粒和  $< 0.002\text{mm}$  胶粒的含量。

由北京大学地质学采用 Rigaku 12KW 旋转阳极 X 射线衍射仪鉴定了粘土矿物的相对含量。测试前先提取  $< 2\mu\text{m}$  胶粒后, 采用定向片、乙二醇饱和片和  $550^\circ\text{C}$  加热 2h 处理片测量得到的 3 种 X-射线衍射图谱, 按中国石油天然气行业标准 SY/T5163-1995, 使用 CXAN 程序, 根据衍射峰形计算各粘土矿物相对含量、混层矿物含量和混层比, 并根据颗粒分析获得的  $< 2\mu\text{m}$  胶粒含量, 将 XRD 测量的蒙皂石、伊蒙混层等各类粘土矿物相对含量和混层比(蒙皂石在混层中的百分含量)转换为蒙皂石的绝对含量, 计算方法见文献[3], 即有效蒙皂石含量。

### 2.3 膨胀土光谱测量及吸收参量化

将采集的膨胀土样品在空气中自然干燥, 然后, 用玛瑙研钵将膨胀土碾碎, 过筛, 制备粒度小于  $0.5\text{mm}$  的均一粉末样, 采用日本东芝 UV3401 波谱仪在中国科学院安徽光学机械研究所测量室内光谱。该仪器测量波段范围为  $400-2500\text{nm}$ , 光谱分辨率为  $2.00\text{nm}$ , 视场角为  $3.0000$ , 标定日期为 2003-07-08。测量数据在短波红外部分仪器噪音较大, 小的吸收峰不能区分。

采用国际上标准化的光谱参量化方法<sup>[16]</sup>编写程序, 自动计算吸收位置, 吸收深度, 吸收宽度, 吸收对称性和吸收面积等 5 个参量, 以精确描述光谱吸收特征, 计算结果表存于中国科学院遥感应用研究所。

## 3 结果

### 3.1 矿物成分与膨胀势判别

XRD 分析表明, 主要粘土矿物为蒙皂石和伊蒙混层, 两者均为膨胀性粘土矿物, 两者相对含量为  $81\%-51\%$  的 19 个样,  $48\%-41\%$  的 7 个样,  $37\%-10\%$  的 29 个样。伊蒙混层矿物都是高混层比 ( $90\%-50\%$ ) 和中混层比 ( $50\%-45\%$ )。非膨胀性矿物为伊利石, 相对含量为  $65\%-5\%$ ; 高岭石, 相对含量为  $0-19\%$ ; 绿泥石, 相对含量为  $0-16\%$ 。作者在前文<sup>[11]</sup> 研究中还比较了 XRD 方法测量结果与染色法有效蒙皂石含量测量结果, 虽有一定误差, 但总体较为一致。然后, 根据有效蒙皂石含量划分了膨胀势: 有效蒙皂石含量  $< 12\%$  为弱膨胀势,  $12\%-22\%$  为中膨胀势,  $22\%-30\%$  为强膨胀势,  $>$

$30\%$  为剧膨胀势。在作者前文<sup>[11]</sup> 研究中还对比了不同参量对膨胀势的划分结果, 表明有效蒙皂石含量与工程参量划分的膨胀势可相对比。

### 3.2 膨胀土类型的光谱特征

根据 XRD 测量计算的有效蒙皂石含量划分的膨胀势, 将剧、强、中、弱膨胀土的光谱进行归类(图 1, 图 2, 图 3, 图 4), 发现不同类型的膨胀土的光谱特征显著不同,  $1900\text{nm}$ ,  $1400\text{nm}$ ,  $2200\text{nm}$  吸收带的强度差异可以区分膨胀土类型: 剧膨胀土 3 个吸收带的强度特征是:  $1900\text{nm}$  吸收峰强大于  $1400\text{nm}$  吸收峰强,  $1400\text{nm}$  峰强  $>$   $2200\text{nm}$  吸收峰强(图 1); 强膨胀土 3 个吸收带的强度特征是:  $1900\text{nm}$  峰强大于  $1400\text{nm}$  吸收峰强, 约等于  $2200\text{nm}$  吸收峰强(图 2); 中膨胀土 3 个吸收带的强度特征是:  $1900\text{nm}$  吸收强度大于  $2200\text{nm}$  峰的强度,  $2200\text{nm}$  峰的强度大于  $1400\text{nm}$  峰的吸收强度(图 3); 弱膨胀土 3 个吸收带的强度特征是:  $1900\text{nm}$  峰强大于等于  $2200\text{nm}$  峰强, 极大大于  $1400\text{nm}$  峰强(图 4), 且  $1400\text{nm}$  峰变宽平。从剧膨胀土到弱膨胀土, 随蒙皂石含量的减少,  $1400\text{nm}$  吸收峰强度逐渐减弱,  $2200\text{nm}$  吸收峰强度逐渐增强, 尽管  $1900\text{nm}$  吸收峰一直最强, 但到弱膨胀土其强度与  $1400\text{nm}$  吸收峰已相近。

### 3.3 吸收位置

吸收位置是鉴定矿物的首要标志。测量样品出现  $1400\text{nm}$ ,  $1900\text{nm}$ ,  $2200\text{nm}$  吸收, 是蒙皂石的诊断性波谱特征(图 1, 图 2, 图 3, 图 4)。统计表明,  $1400\text{nm}$  吸收峰变化于  $1390-1414\text{nm}$  之间, 相对稳定地集中在  $1400\text{nm}$  附近;  $1900\text{nm}$  吸收峰变化于  $1910-1916\text{nm}$  之间, 相对稳定地集中在  $1900\text{nm}$  附近;  $2200\text{nm}$  吸收峰变化于  $2207-2215\text{nm}$  之间, 主要相对稳定地集中在  $2210\text{nm}$  和  $2208\text{nm}$  处; 这 3 个吸收峰的位置变化与蒙皂石含量之间没有明显的变化规律。Patrick Chege Kariuki<sup>[17]</sup> 的试验研究表明, 在混合矿物中, 端元矿物含量决定其吸收特征: 在蒙皂石、伊利石、高岭石混合样品中, 高岭石含量达到  $40\%$  以上, 才出现其  $2160-2170\text{nm}$  和  $2200\text{nm}$  诊断性双吸收峰和  $1400\text{nm}$  处的双吸收峰; 伊利石含量  $>$   $50\%$ , 才出现其  $2340-2350\text{nm}$  诊断性吸收峰。由于本研究测量的样品高岭石含量为  $0-19\%$ , 伊利石含量为  $6\%-65\%$ , 没有出现高岭石的光谱特征, 仅伊利石含量为  $65\%$  的样品 X2 出现了  $2346\text{nm}$  弱峰, 而且与噪声难以区分; 伊蒙混层与伊利石异物同谱,

没有其光谱特征; 绿泥石含量为 0—16%, 其在 2300nm 处的吸收特征也未出现。本研究测量的样

品仅明显表现了蒙皂石的光谱特征。

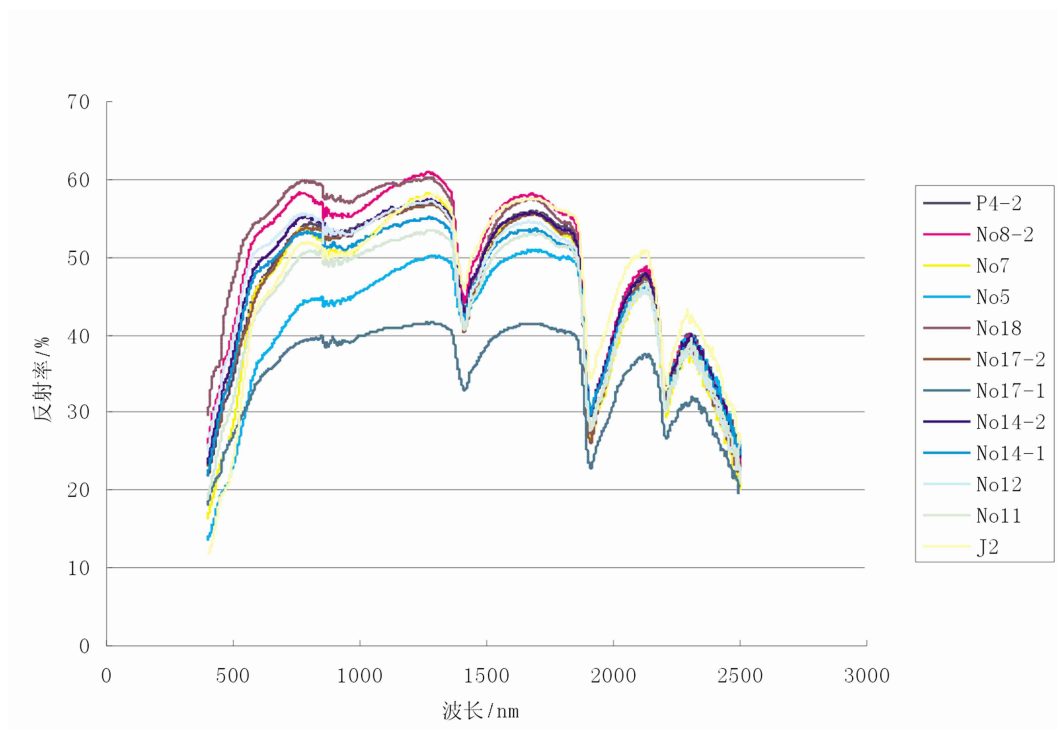


图 1 剧膨胀土光谱曲线

Fig 1 Spectral curves of the very high potential swelling soils

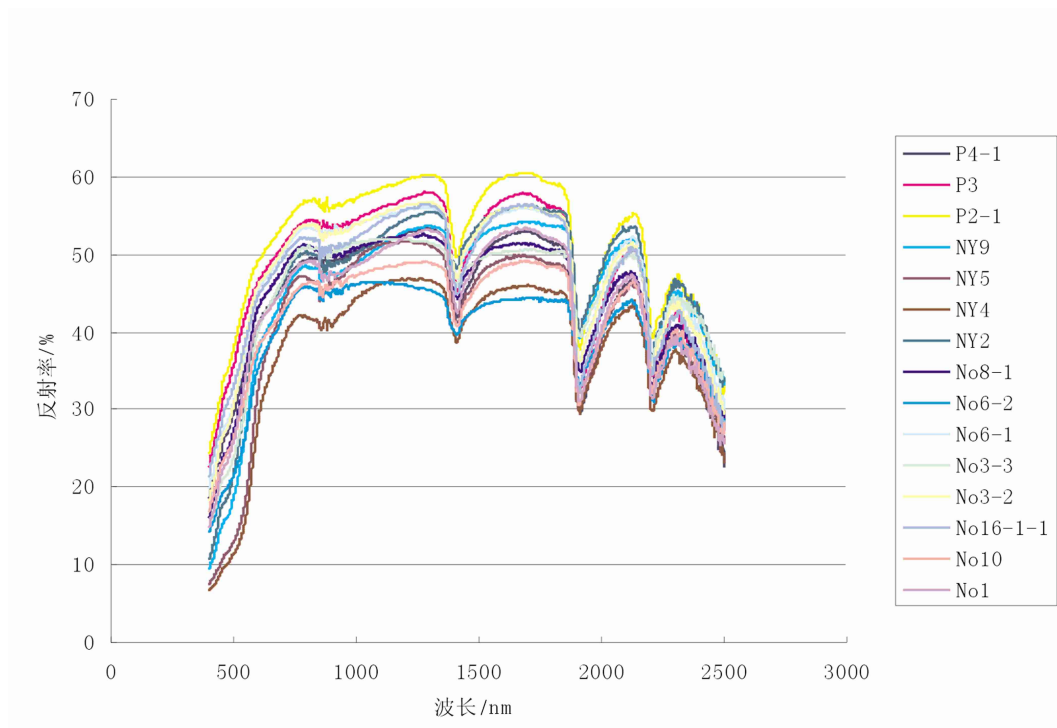


图 2 强膨胀土光谱曲线

Fig 2 Spectral curves of the high potential swelling soils

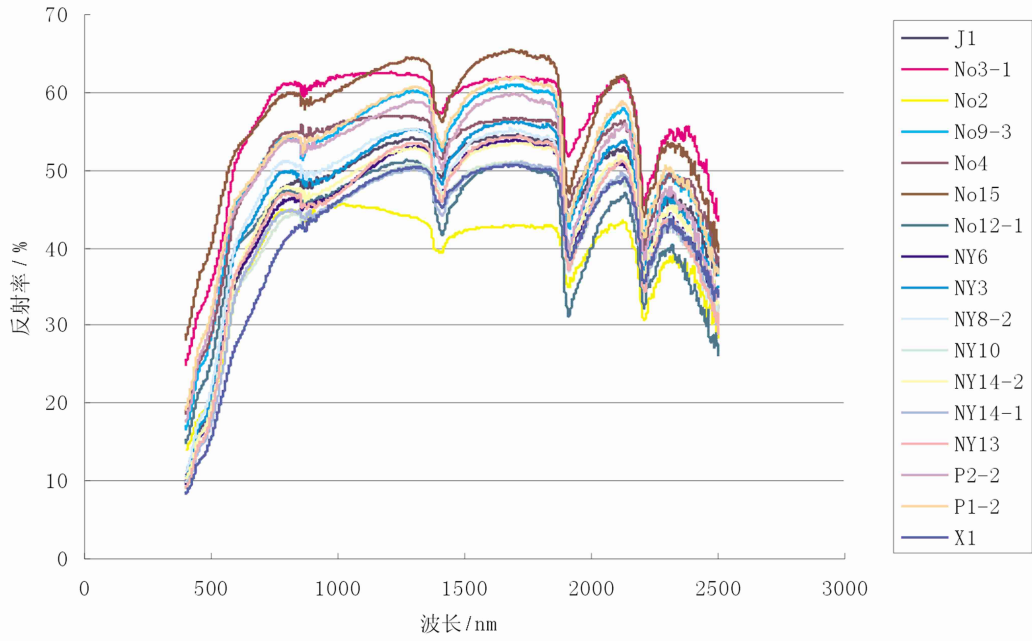


图 3 中膨胀土光谱曲线

Fig 3 Spectral curves of the medium potential swelling soils

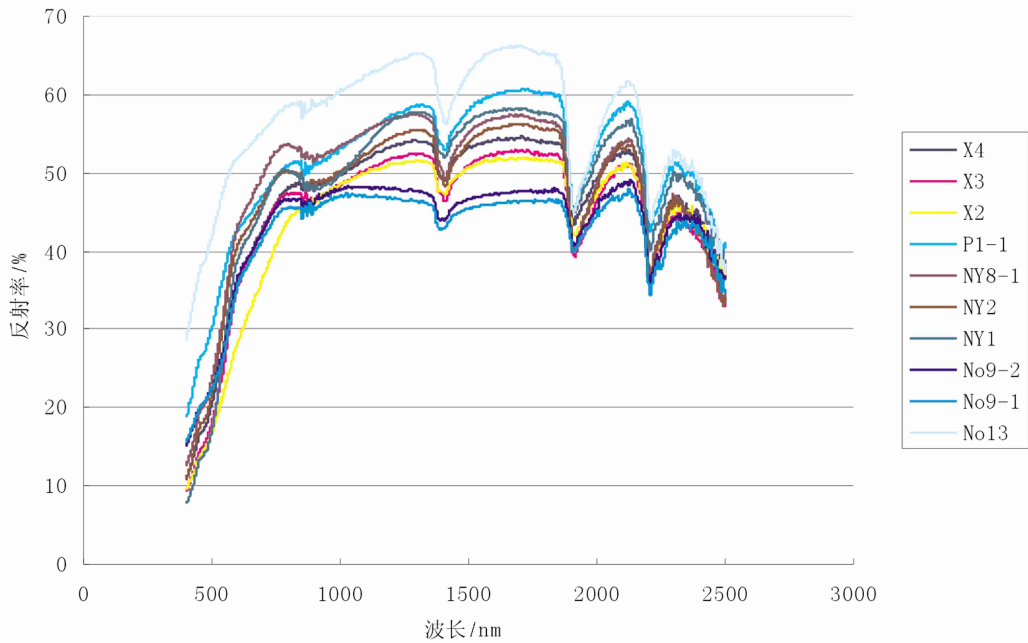


图 4 弱膨胀土光谱曲线

Fig 4 Spectral curves of the weak potential swelling soils

### 3.4 吸收深度

吸收深度是连续统  $R_c$  与吸收谷  $R_b$  之间的差:  $D=R_c-R_b$ , 其取决于吸收矿物丰度和粒度。本研究的样品粒度是均一的  $< 0.5\text{mm}$  的粘土, 因此, 吸收深度主要与成分有关。用 EXCEL 软件回归分析了 2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收深度与蒙皂石含量和胶粒、粘粒含量之间的关系。结果表明: 随蒙皂石含量、胶粒、粘粒含量的增加, 2200nm 吸收深度稳定集中在  $0.23-0.3\text{nm}$  之间, 没有明显变化规律; 1900nm 吸收深度与蒙皂石含量之间呈明显的线性关系(图 5), 拟合关系式为  $y=0.0082x+0.1212$ , 决定系数  $R^2=0.7627$ ; 与胶粒含量之间呈指数关系, 拟合关系式为  $y=0.1e^{0.0261x}$ ,  $R^2=0.6073$ ; 与粘粒含量之间呈线性关系, 拟合关系式为  $y=0.0071x-0.0151$ ,  $R^2=0.6063$ ; 1400nm 吸收深度与蒙皂石含量之间呈明显的线性关系(图 6), 拟合关系式为  $y=0.0055x+0.036$ ,  $R^2=0.8015$ ; 与胶粒含量之间呈指数关系, 拟合关系式为  $y=0.05e^{0.0268x}$ ,  $R^2=0.6204$ ; 与粘粒含量之间呈线性关系, 拟合关系式为  $y=0.0047x-0.0572$ ,  $R^2=0.6255$ 。

### 3.5 吸收宽度

吸收宽度是吸收谷的半高宽。统计结果表明, 随蒙皂石含量、胶粒、粘粒含量的增加, 2200nm 吸收宽度稳定集中在  $60-70\text{nm}$  之间, 无明显变化规律; 1900nm 吸收宽度与蒙皂石含量之间呈明显的线性关系(图 7), 拟合关系式为  $y=0.5876x+91.331$ ,  $R^2=0.66$ ; 与胶粒含量之间呈相关性小的线性关系, 拟合关系式为  $y=0.4701x+85.288$ ,  $R^2=$

$0.4433$ ; 与粘粒含量之间呈相关性小的线性关系, 拟合关系式为  $y=0.4781x+83.005$ ,  $R^2=0.4638$ ; 1400nm 吸收深度与蒙皂石含量之间呈明显的线性关系(图 8), 拟合关系式为  $y=0.0055x+0.036$ ,  $R^2=0.8015$ ; 与胶粒含量之间呈决定系数小的线性关系, 拟合关系式为  $y=0.734x+67.056$ ,  $R^2=0.6586$ ; 与粘粒含量之间呈决定系数小的线性关系, 拟合关系式为  $y=0.5747x+72.911$ ,  $R^2=0.4289$ 。比较上述相关关系可知, 1900nm 吸收宽度和 1400nm 吸收宽度与蒙皂石含量之间呈明显的线性关系, 1900nm 吸收宽度比 1400nm 吸收宽度与胶粒含量和粘粒含量之间相关性小。

### 3.6 吸收对称性

吸收对称性是描述吸收波形的指标, 其是吸收峰左半面积与右半面积的比值, 当左半面  $<$  右半面时, 对称性  $< 1$ ; 反之则  $> 1$ 。在高岭石、伊利石、蒙皂石混合波谱中, 吸收对称性是鉴别不同膨胀图类型的指标。本研究中, 仅为蒙皂石的光谱特征, 统计结果表明, 2200nm 吸收峰对称性  $< 1$ , 稳定集中在  $0.25-0.45$  之间, 这与该吸收峰的右偏峰特征一致; 2200nm 吸收峰对称性与蒙皂石含量、胶粒、粘粒含量之间无明显变化规律; 1900nm 吸收对称性集中稳定在  $0.15-0.25$  之间, 与蒙皂石含量、胶粒、粘粒含量之间无明显变化规律; 1400nm 吸收对称性集中稳定在  $0.1-0.2$  之间, 与蒙皂石含量、胶粒、粘粒含量之间无明显变化规律。2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收对称性全部  $< 1$ , 这与蒙皂石的右偏峰鉴定标志相一致(图 1, 图 2, 图 3, 图 4)。

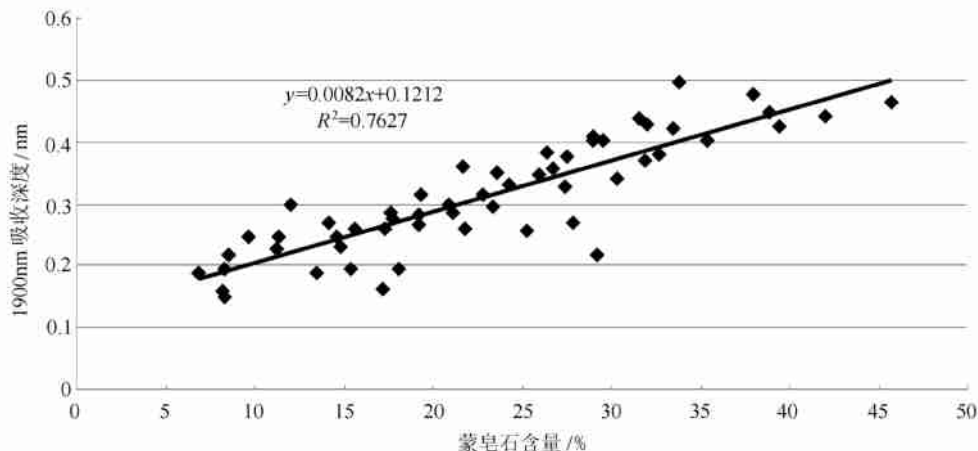


图 5 膨胀土 1900nm 吸收深度与蒙皂石含量相关关系图

Fig. 5 The correlation relationship between the smectite contents and the 1900nm absorption depths

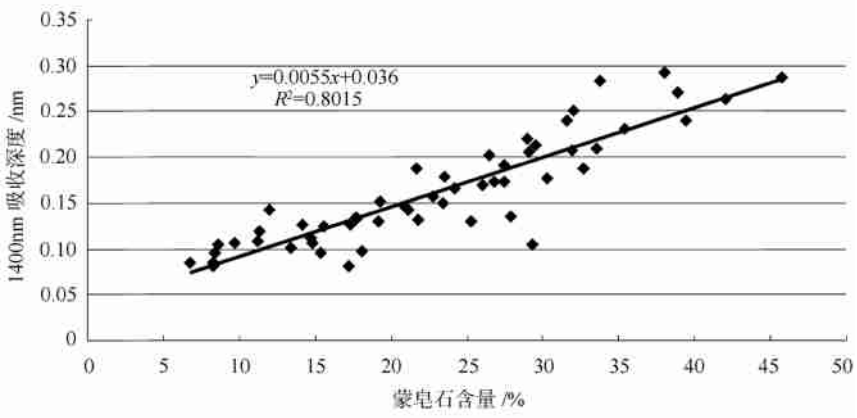


图 6 膨胀土 1400nm 吸收深度与蒙皂石含量相关关系图

Fig 6 The correlation relationship between the smectite contents and the 1400nm absorption depths

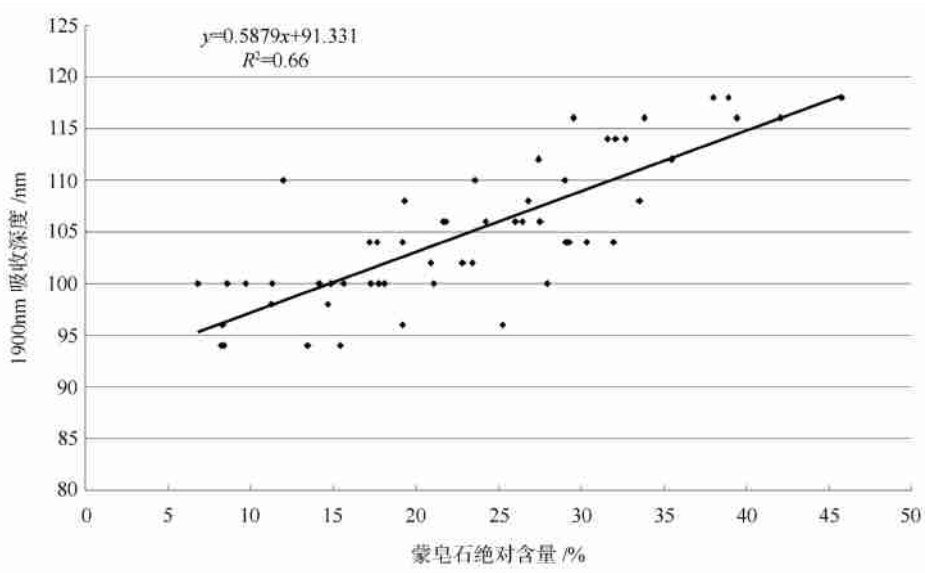


图 7 膨胀土 1900nm 吸收宽度与蒙皂石含量相关关系图

Fig 7 The correlation relationship between smectite contents and the 1900nm absorption widths

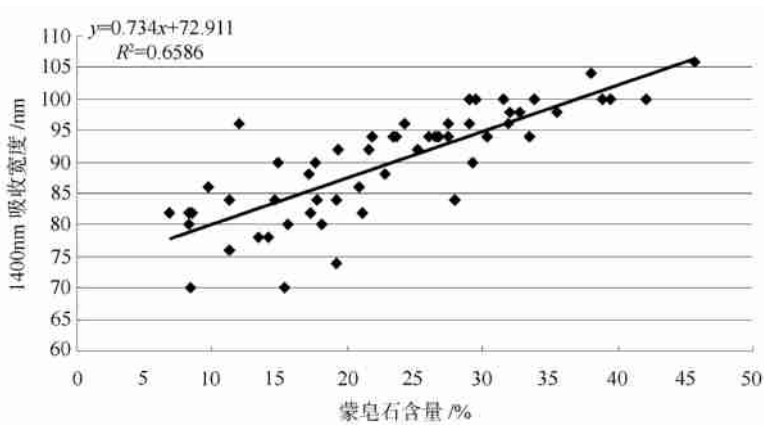


图 8 膨胀土 1400nm 吸收宽度与蒙皂石含量相关关系图

Fig 8 The correlation relationship between smectite contents and the 1400nm absorption widths

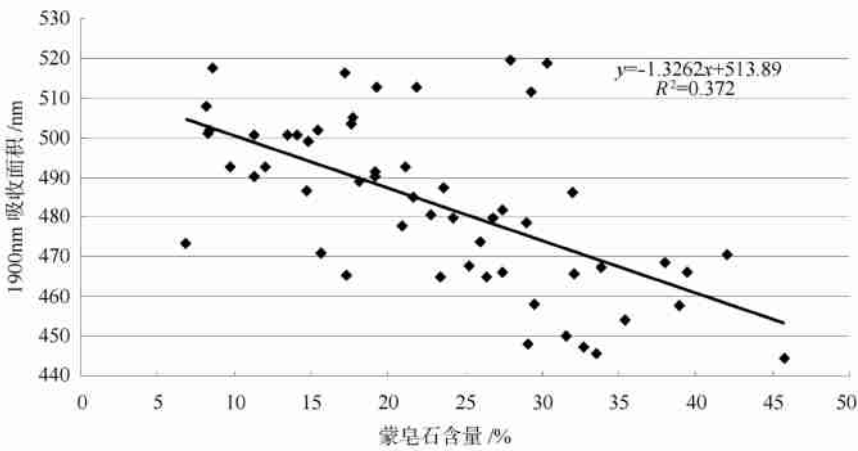


图9 1900nm 吸收面积与蒙皂石含量相关关系图

Fig. 9 Correlation relationship between the effective smectite contents and the 1900nm absorption asymmetries

### 3.7 吸收面积

吸收带的面积是吸收形状的描述参量。统计结果表明, 2200nm 吸收面积稳定集中在 250—350 之间, 离散度小, 与蒙皂石含量之间呈弱的负相关, 相关性公式为:  $y = -1.1584x + 303.54$ ,  $R^2 = 0.1101$ ; 1900nm 吸收面积离散度大, 与蒙皂石含量之间呈弱的负相关, 相关性公式为:  $y = -1.3262x + 513.89$ ,  $R^2 = 0.372$  (图 9); 1400nm 吸收面积稳定集中在 600—700 之间, 离散度小, 与蒙皂石含量之间呈弱的负相关, 相关性公式为:  $y = -2.6822x + 717.22$ ,  $R^2 = 0.2347$ 。总之, 2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收面积与蒙皂石含量之间呈弱的负相关关系, 2200nm, 1400nm 吸收面积相对稳定集中, 1900nm 吸收面积相对离散度大。它们与胶粒、粘粒含量之间具有类似的关系。

## 4 结论

(1) 本文膨胀土实验室光谱研究表明, 膨胀土光谱曲线主要反应决定膨胀性的蒙皂石的光谱特征, 不出现含量小的其它矿物, 如高岭石、伊利石、绿泥石等的吸收特征; 根据蒙皂石 2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收的相对强度, 可以划分不同的膨胀土类型。从剧膨胀势到弱膨胀势粘土, 随蒙皂石含量的减少, 1400nm 吸收峰强度逐渐减弱, 2200nm 吸收峰强度逐渐增强, 尽管 1900nm 吸收峰一直最强, 但到弱膨胀土其强度与 1400nm 吸收峰已相近。1900nm 是水的吸收, 1400nm 是水和羟基的吸收, 2200nm 是羟基吸收。膨胀土蒙皂石含量的变化在光谱上表现

为水和羟基吸收强度的变化; 1900nm, 1400nm 吸收深度和吸收宽度与蒙皂石含量之间具有明显的变化规律, 因此, 根据膨胀土实验室光谱 1900nm, 1400nm 吸收深度和吸收宽度可以估算膨胀土的蒙皂石含量; 根据膨胀土实验室光谱 1900nm, 1400nm 吸收深度还可以估算膨胀土的胶粒、粘粒含量。而且, 1900nm 与 1400nm 吸收深度之间呈对数关系, 关系式为:  $y = 0.2518 \ln x + 0.7858$ ,  $R^2 = 0.9851$  (图 10); 1900nm 与 1400nm 吸收宽度之间呈线性关系, 关系式为:  $y = 0.7099x + 41.115$ ,  $R^2 = 0.7871$  (图 11)。根据膨胀土实验室光谱 1900nm, 1400nm 吸收深度和吸收宽度估算蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量, 两者可以相互印证。

(2) 膨胀土蒙皂石 2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收对称性均  $< 1$ , 这是蒙皂石右偏峰的典型鉴定标志; 吸收对称性不能运用于与蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量的光谱估算。

(3) 膨胀土蒙皂石 2200nm, 1900nm, 1400nm 吸收面积与蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量之间呈弱的负相关关系, 难以应用于蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量的估算。

(4) 航空遥感技术已经成功应用于膨胀土的识别与矿物填图<sup>[13]</sup>, 本文的研究表明, 运用实验室光谱测量分析, 可以在工程现场经济、方便、快捷地识别膨胀土、划分膨胀土类型、估算蒙皂石含量及胶粒、粘粒含量, 能够产业化应用。

致谢 感谢曲永新教授、刘特洪教授、孔令伟研究员、郭爱国副研究员、王永学高级工程师、赵建华高级工程师、赵永超博士、王秀兰高级工程师、韩胜杰高级工程师、王佩英高级工程师对野外和室内工作的支持。

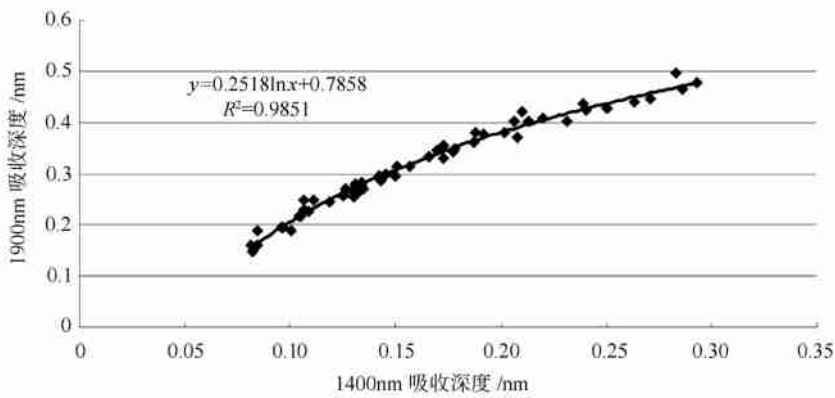


图 10 膨胀土 1400nm 吸收深度与 1900nm 吸收深度相关关系图

Fig. 10 Correlation relationship between the 1400nm absorption depths and the 1900nm absorpthon depths

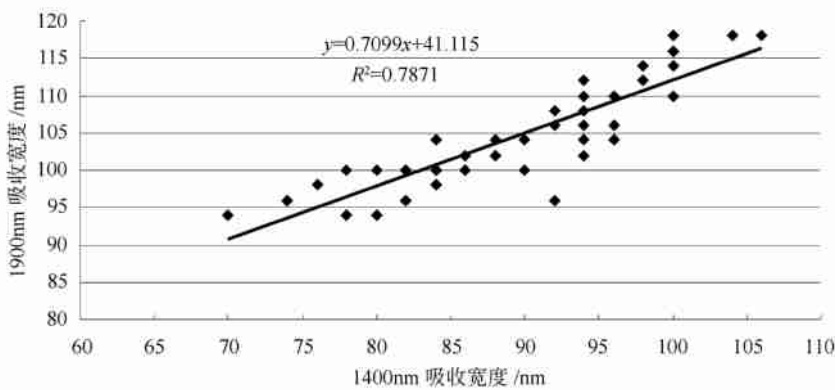


图 11 膨胀土 1400nm 吸收宽度与 1900nm 吸收宽度相关关系图

Fig. 11 Correlation relationship between the 1400nm absorption widths and the 1900nm absorpthon widths

## 参考文献(References)

- [ 1 ] Jones D E, Holtz W G. Expansive Soils -the Hidden Disaster[ J ]. *Civil Engineering, ASCE*, 1973, **43**(8): 49—51.
- [ 2 ] Chen F H. Foundations on Expansive soils[ M ]. 2nd edition, Elsevier, New York, 1988.
- [ 3 ] Qu Y X, Zhang Y S, Feng Y Y, *et al.* Quantitative Study on the Clay Mineral Composition of Expansive Soils in China[ J ]. *Journal of Engineering Geology*, 2002, **10** (Suppl. ): 414—422. [ 曲永新, 张永双, 冯玉勇等. 中国膨胀土粘土矿物组成的定量研究 [ J ]. 工程地质学报, 2002, **10**(增刊): 414—422. ]
- [ 4 ] Tan L R, Kong L W, A Study on the Regularity of Crystalline Swelling-Contraction of Montmorillonite and Its Relationship with Matrix Suction[ J ]. *Science in China ( Series D)*, 2001, **31**(2): 119—126. [ 谭罗荣, 孔令伟. 蒙脱石晶体胀缩规律及其与基质吸力关系研究 [ J ]. 中国科学( D 辑), 2001, **31**(2): 119—126. ]
- [ 5 ] Liao S W, Expansive Soil and Railway Engineering[ M ]. Beijing: Railway Publication House of China, 1984. [ 廖世文. 膨胀土与铁路工程 [ M ]. 北京: 中国铁道出版社, 1984. ]
- [ 6 ] Li S L, Studies on the Engineering Geology of Expansive Oils in China[ M ]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1992. [ 李生林. 中国膨胀土工程地质研究 [ M ]. 南京: 江苏科

学技术出版社, 1992. ]

- [ 7 ] Liu T H. The Problems of Expansive Soils in Engineering Construction[ M ]. Beijing: The construction Industry Publication House of China, 1997. [ 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题 [ M ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. ]
- [ 8 ] Qu Y X, Zhang Y S, Yang J F, *et al.* The Theory and Practice of Swelling Rocks and Soils Engineering Classification in China[ A ]. In: Fifty Years of China Engineering Geology[ C ]. Beijing: Seismic Press, 2000, 140—164. [ 曲永新, 张永双, 杨俊峰等. 中国膨胀性岩、土一体化工程地质分类的理论与实践 [ A ]. 中国工程地质五十年 [ C ]. 北京: 地震出版社, 2000. ]
- [ 9 ] Hunt, G R. Spectral signatures of Particulate Minerals in the Visible and Near-infrared[ J ]. *Geophysics*, 1977, **42**: 501—513.
- [ 10 ] Olsen, H W, Krosley L, Nelson K, *et al.* Mineralogy-swelling potential relationships for Expansive Shales[ A ]. Shackelford C D, Houston S L, Chang N Y. Advances in Unsaturated Geotechnics[ C ] (Geotechnical Special Publication 99). Reston, VA: ASCE, 2000, 361—378.
- [ 11 ] Yan S X, Qu Y X, Han S J, The Relationship between Smectite Contents and Swelling Potential of Swelling Soils [ J ]. *Journal of Engineering Geology*, 2004, **12**(1): 74—92. [ 燕守勋, 曲永新, 韩胜杰. 蒙皂石含量与膨胀土膨胀势指标相关关系研究 [ J ]. 工程地质学报, 2004, **12**(1): 74—92. ]

- [12] Goetz A F H, Chabrilat S, Lu Z. Field Reflectance Spectrometry for Detection of Swelling Clays at Construction Sites[ J] . *Field Analytical Chemistry and Technology*, 2002, 5(3): 143—155.
- [13] Sabine Chabrilat, Alexander F H Goetz, Lisa Krosley, *et al.* Use of Hyperspectral Images in the Identification and Mapping of expansive Clay Soils and the Role of Spatial Resolution[ J] . *Remote Sensing of Environment*, 2002, 82: 431—445.
- [14] Kariuki P C, Van Der Meer F, Verhoef P N W. Cation Exchange Capacity (CEC) Determination from Spectroscopy[ J] . *INT. J. Remote Sensing*, 2003, 24(1): 161—167.
- [15] Kariuki P C, Van Der Meer, F, Siderius W, Classification of Soils Based on Engineering indices and Spectral Data[ J] . *INT. J. Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2567—2574.
- [16] Mustard J K, Sunshine J M. Spectral Analysis for Earth Science: Investigations Using Remote Sensing Data. In *Manual of Remote Sensing*[ M] , New York: Wiley, 1999.
- [17] Kariuki P C. Analysis of the effectiveness of spectrometry in detecting the swelling clay minerals in soils. M. S. thesis. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences Enschede The Netherlands. 1999. 44—67.

## A Study on the Correlation Relationships between Smectite Contents and Spectral Absorption Indices of Swelling Soils

YAN Shou-xun, LI Xing, ZHANG Bing

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** 55 surface and sub-surface samples of expansive soils were collected in the Handan - Yongnian area, Nanyang district, Pingdingshan area along the middle line of the North - South Diversion Water Project and in Xiangfan area and Zhongxiang districts in Jingneng city. Clay mineral composition and smectite contents were measured using XRD and dye absorption methods. The effective smectite contents were calculated. Meanwhile the visible-short wave infrared spectra of the swelling soils was collected, the spectral absorption indices, such as: wavelength position, depth, width, asymmetry, area, were calculated automatically. Then the correlation relationships between the spectral indices and the smectite contents and the colloid contents and clay contents of the swelling soils were statistically analyzed. The results show that the very high, high, medium, weak potential soils can be identified according to the relative strengths of the 2200nm, 1900nm, 1400nm absorptions in the spectral features of the swelling soils; the smectite contents and the colloid contents and the clay contents of the swelling soils can be estimated with the 1400nm and 1900nm absorption; the absorption widths of the 1900nm and 1400nm absorptions can be used to estimate the smectite contents; the absorption area and asymmetry cannot be used to estimate the contents of smectite and colloid and clay; the laboratory spectral measurement and analysis techniques to the dried and homogenous swelling soils can be productively used for quickly, economically, and conveniently identifying swelling soils, and estimating the contents of smectite, colloid, and clay in the engineering sites.

**Key words:** swelling soils; smectite content; spectra; parameterization; engineering application