

河北磁县膨胀岩(土)现场鉴别方法

何运龙, 刘晓琪, 郝国增, 郭晓东, 韩胜杰

(河北省水利水电第二勘测设计研究院, 石家庄 050021)

摘要: 南水北调中线工程河北省磁县段广泛分布的上第三系中新统(N_1)地层中大部分黏土岩具有膨胀性, 强、中、弱、非膨胀岩(土)交错分布, 可与其他地区膨胀岩(土)进行对比研究。通过野外鉴别与室内试验数据判别, 对研究区膨胀岩(土)各指标之间的相关关系进行分析, 总结了从颜色、结构构造、裂隙发育特点等宏观工程地质特征, 得出了膨胀岩(土)膨胀等级的野外快速鉴别方法。研究结果对工程处理方法选择、施工开挖、野外施工地质工作都有积极意义。

关键词: 南水北调中线工程; 磁县; 膨胀岩(土); 自由膨胀率; 野外鉴别

中图分类号: TU41; TV68 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)03-0198-03

Research on Field Identification Method of Swelling Rock (Soil) in Ci County of Hebei

HE Yunlong, LIU Xiaoqi, XI Guozeng, GUO Xiaodong, HAN Shengjie

(The Second Design and Research Institute of Water Conservancy and Hydropower of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: In the Middle Route of South to North Water Transfer Project in Ci county of Hebei, most of the widespread clay rock of the Neogene system Miocene series stratum shows swelling characteristics. Strong, medium, weak, and non swelling rock (soil) is in interlaced distribution, which can be compared with the swelling rock (soil) in other areas. Based on the identification of field and laboratory data, the relationship between each index of the swelling rock (soil) was analyzed. The rapid field identification method of the grade of swelling rock (soil) was obtained from the engineering geological characteristics such as color, structure, and fracture development. The research result is of important significance to the selection of engineering method, excavation, and field geology.

Key words: Middle Route of South to North Water Transfer Project; Ci County; swelling rock (soil); free swelling ratio; field identification

南水北调中线工程磁县段分布的膨胀性岩(土)主要为上第三系中新统(N_1)黏土岩、黏土, 大部分具有膨胀性, 且强、中、弱、非膨胀岩(土)交错分布。膨胀岩(土)等级的变化对工程处理措施的选定有重要影响, 但由于室内试验的周期较长, 制约着判别时间, 所以, 研究、总结出一套简便易行的膨胀土分级快速鉴别方法非常必要。

1 野外取样试验及成果分析

根据多年的地质测绘、勘察及样品测试资料, 选定不同膨胀等级岩(土)的位置进行取样, 在野外进行颜色、裂隙发育、节理特征等的描述, 估计自由膨胀率值, 随后进行室内自由膨胀率试验。

1.1 野外预估值与试验值对比分析

自由膨胀率野外预估值为强膨胀组的试样共 11 组, 样品

全部具膨胀性。其中 1 号-6 号样为纯净灰白灰绿色, 自由膨胀率试验值全部接近 90%, 估计值与试验值相差小于 10%, 误差不大。7 号-8 号样为橙黄杂灰白灰绿色, 试验值为 75% 左右, 与估计值相差 15%。25 号-27 号样为灰绿色, 试验值 60% 左右, 偏低。估计值与试验值相差较大。由此可以看出, 强膨胀组中一般强、中、弱膨胀互相混杂, 交错分布, 具强膨胀性者一般超过总体的 1/3。

自由膨胀率野外预估值为中膨胀组的试样共 13 组, 样品全部具有膨胀性。自由膨胀率试验值大部分位于中膨胀区间(65%~90%), 大于 65% 的 9 组, 占总样品数的 69%, 估计值与试验值相差不大, 一般在 10% 以内。其余部分为弱膨胀, 自由膨胀率接近 65%, 属弱偏强。由此, 中膨胀组中具中膨胀性样品一般超过总体的 1/3 以上。

自由膨胀率野外预估值为弱膨胀组试样共 21 组, 样品部

收稿日期: 2013-07-18 修回日期: 2014-04-02 网络出版时间: 2014-05-07

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.042.html>

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAB10B01)

作者简介: 何运龙(1973-), 男, 河北石家庄人, 高级工程师, 主要从事工程地质方面的研究工作。E-mail: lyheyun@163.com

分具膨胀性。自由膨胀率的试验值大于40%的9组,占样品总数的40%。其余自由膨胀率小于但接近40%。由此,弱膨胀组中具弱膨胀样品一般超过总体的1/3以上,其余为非膨胀。

仅仅从自由膨胀率来判断膨胀性的强弱是有一定局限性的,膨胀性等级的判别应具有区域和统计概念,结合其它宏观特征综合分析判定,才能接近其实际工程地质条件。具代表性野外鉴别特征、预估值与试验值的对比情况见表1。

表1 膨胀土野外鉴别与试验对比

Table 1 Comparison of the field Identification and experiment of swelling soil

编号	土名	颜色	干湿度	裂隙	节理面情况	皂感	估计自由膨胀率(%)	试验自由膨胀率(%)	膨胀等级
CX-N 4	黏土	灰绿色	湿	发育	光滑	强烈	90	94	强
CX-N 5	黏土	灰绿色	湿	发育	光滑	强烈	90	88	强
CX-N 6	黏土	灰绿色	湿	发育	光滑	强烈	90	91	强
CX-N 7	黏土	橙黄色杂灰绿色	稍湿	发育	光滑	强烈	90	75	中
CX-N 8	黏土	橙黄色杂灰绿色	稍湿	发育	光滑	强烈	90	78	中
CX-N 9	黏土	橙黄色杂灰绿色渐变红	稍湿	发育	较光滑	强烈	80	72	中
CX-N 13	黏土	浅棕红杂橙黄	稍湿	较发育	较光滑	中等	70	63	中
CX-N 14	黏土	浅棕红杂橙黄	稍湿	较发育	较光滑	中等	70	69	中
CX-N 15	黏土	浅棕红杂橙黄	稍湿	较发育	较光滑	中等	70	69	中
CX-N 34	黏土	紫红色	稍湿	不发育	粗糙	稍有	60	56	弱
CX-N 35	黏土	紫红色	稍湿	不发育	粗糙	稍有	60	50	弱
CX-N 33	重壤土	紫红色	稍湿	不发育	粗糙	稍有	50	44	弱
CX-N 31	重粉质壤土	紫红色(含姜石)	稍湿	不发育	粗糙	稍有	50	36	非
CX-N 20	轻壤土	橙黄杂少量灰绿色棕红色	稍湿	较发育	粗糙有砂性	低	40	21	非
CX-N 21	重粉质壤土	橙黄杂少量灰绿色棕红色	稍湿	较发育	粗糙有砂性	低	40	27	非
CX-N 22	轻壤土	橙黄杂少量灰绿色棕红色	稍湿	较发育	粗糙有砂性	低	40	38	非
CX-N 23	中壤土	橙黄杂少量灰绿色棕红色	稍湿	较发育	粗糙有砂性	低	40	31	非
CX-N 24	中粉质壤土	橙黄杂少量灰绿色棕红色	稍湿	较发育	粗糙有砂性	低	40	31	非

1.2 自由膨胀率与矿物成分、颗粒组成含量之间的关系

根据试验成果、野外鉴别特征,将膨胀岩(土)分为两个系列组进行分析,即:以灰白灰绿色为主的序列组(N̄组)和以棕红色为主的序列组(ò组)。

(1) 两种颜色序列矿物成分特点。

N̄组膨胀岩(土)矿物成分中以蒙脱石为主,含量为42%~

60%,高岭石含量3%~15%,伊利石含量3%~10%。ò组膨胀岩(土)矿物成分中蒙脱石含量为20%~50%,高岭石含量5%左右,伊利石含量3%~10%。ò组的蒙脱石总体平均含量明显低于N̄组,而两组的伊利石、高岭石含量均为少量,且差别不大。ò组里含少量赤铁矿,是其呈红色的原因。两种序列膨胀岩(土)矿物成分含量组成特征见表2。

表2 膨胀岩(土)矿物成分统计

Table 2 Statistics of the mineral components of the swelling rock(soil)

序列	项目	蒙脱石	伊利石	绿泥石	高岭石	石英	长石	闪石	方解石	赤铁矿
N̄组	范围值(%)	42~60	3~10	3~3	3~15	25~45	2~10	2~2	2~2	
	平均值(%) / 组数	52.7 / 13	4.8 / 4	3 / 1	5.8 / 12	34.3 / 13	7 / 10	2 / 1	2 / 3	
ò组	范围值(%)	20~50	5~10	5~5	5~5	22~40	3~23		2~16	2~3
	平均值(%) / 组数	39.2 / 9	5.6 / 8	5 / 7	5 / 8	30.8 / 9	11.2 / 9		9.5 / 4	2.2 / 5

(2) 两种颜色序列颗粒组成含量与自由膨胀率之间关系。

通过自由膨胀率与胶粒、黏粒、粉黏总量散点图(图1、图2),可以看出膨胀岩(土)膨胀性强弱与颗粒组成中胶粒、黏粒、粉粒的含量有关。在野外宏观上可以判断其黏粒含量,因此,黏粒、粉粒含量可以作为野外判别的参考。

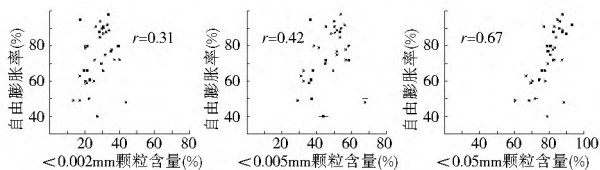


图1 灰白灰绿色序列散点图

Fig. 1 Scatter plots of gray-white gray-green series

N̄组中均具膨胀性,弱、中、强膨胀性均有分布,且以中、强膨胀性岩(土)为主。从图1可以看出,自由膨胀率与<0.002mm胶粒含量及<0.005mm黏粒含量关系不明显,虽然自由膨胀率具有上升趋势,但数据比较发散;自由膨胀率与粉粒黏粒总和相关性较大,因此在判定野外膨胀性强度时可作为判定参考指标。

ò组中部分具膨胀性,以中、弱分布为主,另外有一部分非膨胀性岩(土)。从图2可以看出,自由膨胀率与<0.002mm胶粒含量及<0.005mm黏粒含量相关关系明显,自由膨胀率具有上升趋势;自由膨胀率与<0.05mm粉粒黏粒总和的相关性较小,数据较发散。

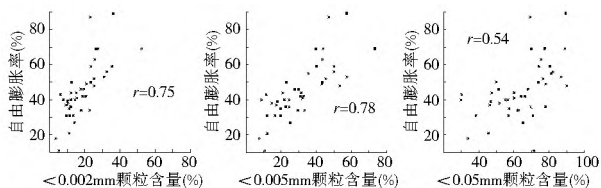


图 2 棕红色序列散点图

Fig. 2 Scatter plots of red brown series

另外,从自由膨胀率与< 0.05 mm 颗粒含量散点图上看

出,当> 0.05 mm 颗粒含量超过 50% 以上时,岩土体自由膨胀率一般降至 40% 以下。

2 野外简易鉴别特征

通过对野外取样颜色、裂隙发育程度、颗粒组成百分含量、矿物成分、节理面光滑程度、皂感等与自由膨胀率试验值的关系进行分析,可以总结出膨胀岩(土)野外简易鉴别特征,见表 3。

表 3 南水北调中线工程河北省磁县段膨胀岩(土)膨胀潜势简易判别特征

Table 3 Simplified identification of the swelling potentiality of swelling rock (soil) in the Ci County section of Middle Route of the South North Water Transfer Project

膨胀潜势等级	土的类型	颜色	结构、构造	裂隙特征	胀缩程度	皂感	自由膨胀率
强膨胀	黏土岩(重黏土、黏土)	灰绿色、灰绿杂少量橙黄	泥质结构具层理,土质颜色均匀,细腻。	裂隙发育,间距约 5~15 cm,裂隙内充填约 10 mm 厚细腻黏土,杂少量锈染,裂面光滑,蜡质光泽明显。	经雨水浸湿及日晒反复胀缩后,地表可见干缩裂缝,龟裂,土体表层呈菜花状,松软,向上鼓起,局部向下滑落。	强烈	≥90% 占 1/3 以上
中膨胀	黏土岩(黏土、重壤土)	橙黄杂灰绿色、棕红色杂灰绿色	泥质结构具层理,土质颜色不均混杂,致密,细腻。	裂隙发育,间距 10~50 cm,裂隙表面有细腻黏土,杂锈染,裂面光滑,有蜡质光泽。	经雨水浸湿及日晒反复胀缩后,龟裂,土体表面呈碎块、片状,局部呈菜花状。	中等	≥65% 占 1/3 以上
弱膨胀	黏土岩(黏土、重壤土)	棕红色杂少量灰绿斑块	泥质结构具层理,土质致密、坚硬,局部有胶结。	裂隙较发育或不发育,间距约 30~100 cm,裂面较光滑,杂锈染较多,稍有蜡质光泽。	经雨水浸湿及日晒反复胀缩后,土体表面呈碎块、片状,被雨水冲蚀,形成小型冲沟,但底部土体仍较坚硬。	稍有	≥40% 占 1/3 以上
非膨胀	黏土岩(中壤土-砂壤土)	棕红为主、少量为橙黄、灰白色	泥质结构具层理,致密、坚硬、局部砂性较大,有胶结。	粗糙或不可见	经雨水浸湿及日晒后,土体表面呈稍有干裂,片状,被雨水冲蚀,形成小型冲沟,但底部土体仍较坚硬。	无	≥40% 小于 1/3

注:用于开挖面天然稍湿-湿的土。

强膨胀岩(土):一般黏粒含量高达 50% 以上,胶粒含量一般大于 30%,粉粒与黏粒总和达到 90%,一般不含粗颗粒。颜色较单一,为灰绿色、灰绿杂少量橙黄。具层理结构,土质致密、细腻。裂隙发育,裂隙面光滑,蜡质光泽明显。自然环境中干缩较快,经反复循环后形成小颗粒。试验自由膨胀率一般在 90% 左右。

中膨胀岩(土):一般黏粒 30% 以上,胶粒含量一般大于 20%,含少量砂粒等粗颗粒。颜色为橙黄杂灰绿色或棕红色杂灰绿色等杂色,少量为棕红色。具层理结构,土质致密、细腻。裂隙较发育,裂隙面光滑,表面有粗颗粒杂质等,具蜡质光泽。自然环境中干缩较快,形成碎块状。试验自由膨胀率一般在 65% 以上。

弱膨胀岩(土):一般黏粒含量相对中强较低,20% 以上,胶粒含量一般大于 10%,含粗颗粒。颜色以棕红色为主,或棕红色杂少量灰绿斑块。具层理结构,土质致密、坚硬,局部有胶结。裂隙不发育,裂隙面较光滑,表面粗糙,可见杂质较多,稍有蜡质光泽。自然环境中,干缩速度较慢。试验自由膨胀率一般在 40% 左右。

非膨胀岩(土):一般黏粒含量较低,含粗颗粒较多,> 0.05 mm 颗粒含量超过 50%,但黏粒含量通常低于 30% 以下。颜色以棕红为主、少量为橙黄、灰白色。具层理,致密、坚硬、局部砂性较大,有胶结。裂隙不发育,裂隙面粗糙。试验自由膨胀率一般在 40% 以下。

3 结语

膨胀岩(土)的膨胀性及其宏观特征,受分布区域、地层时代、成因等因素的控制。因此,膨胀岩(土)的现场鉴别方法,具有很强的地域性。本文是对河北省磁县及其附近区域相同地质时代、成因类型岩(土)膨胀特征的总结,虽然具体判别标准不适合其他地区,但判别思路以及概括的几大宏观特征,对其它区域内膨胀岩(土)的野外鉴别也具有一定的参考意义。

参考文献(References):

- [1] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].清华大学出版社,1994.(CHEN Zhong yi, ZHOU Jing xing, WANG Hong jin. Soil Mechanics[M]. Tsinghua University Press, 1994. (in Chinese))
- [2] 常士骝,张苏民.工程地质手册(第四版)[K].中国建筑工业出版社,2007.(CHANG Shi biao, ZHANG Su min. Engineering Geology Manual (Fourth Edition)[K]. China Architecture and Building Press, 2007. (in Chinese))
- [3] GBJ 123-87, 膨胀土地区建筑技术规范[S]. (GBJ 123-87, Technical Specifications For the Construction in Swelling Soil Area [S]. (in Chinese))
- [4] SL 237-1999, 土工试验规程[S]. (SL237-1999, Specification of Soil Test[S]. (in Chinese))

(上转第 137 页)

- bility and Statistics Series[M]. New York: John Wiley & Sons, 2000: 40-47.
- [10] Cvetkovic V. How Accurate is Predictive Modeling of Groundwater Transport? A Case Study of Advection, Macrodispersion, and Diffusive Mass Transfer at the Forsmark Site (Sweden) [J]. Water Resources Research, 2013, 49: 5317-5327.
- [11] Stothoff S A. Uncertainty and Variability of Infiltration at Yucca Mountain: Part 2. Model Results and Corroboration [J]. Water Resources Research, 2013, 49: 3804-3824.
- [12] Wu J C, Zeng X K. Review of the Uncertainty Analysis of Groundwater Numerical Simulation [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58 (25): 3044-3052.
- [13] 束龙仓, 刘佩贵, 刘波, 等. 傍河水源数学模型的参数灵敏度分析: 以辽宁省北票市某傍河水源地为例 [J]. 工程勘察, 2006 (8): 29-31. (SHU Long cang, LIU Pei gui, LIU Bo, et al. Parameter Sensitivity Analysis of Mathematical Models of Riverside Source Fields: Use a Riverside Source Field in Beipiao City of Liaoning Province as an Example [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2006(8): 29-31. (in Chinese))
- [14] 翟远征, 王金生, 苏小四. 正交试验法在地下水数值模拟敏感性分析中的应用 [J]. 工程勘察, 2011 (1): 46-50. (ZHAI Yuan zheng, WANG Jin sheng, SU Xiao si. The Application of Orthogonal Experiment Method in Sensitivity Analysis of Parameters in Groundwater Numerical Simulation [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2011 (1): 46-50. (in Chinese))
- [15] 翟远征, 王金生, 苏小四, 等. 地下水数值模拟中的参数敏感性分析 [J]. 人民黄河, 2010, 32(12): 99-101. (ZHAI Yuan zheng, WANG Jin sheng, SU Xiao si, et al. Sensitivity Analysis of Parameters in Numerical Simulation of Groundwater [J]. Yellow River, 2010, 32(12): 99-101. (in Chinese))
- [16] 陈建, 梁川, 陈梁. SWAT 模型的参数灵敏度分析—以贡嘎山海螺沟不同植被类型流域为例 [J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(2): 4-45. (CHEN Jian, LIANG Chuan, CHEN Li ang. Parameter Sensitivity Analysis of SWAT Model: A Case Study of Small Watersheds with Different Land Cover Types in Hailuoguo Valley [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(2): 4-45. (in Chinese))
- [17] 郑西来, 钱会, 杨喜成. 地下水含水介质的弥散度测定 [J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(4): 33-36. (ZHENG Xi lai, QIAN Hui, YANG Xi cheng. Measurement on the Dispersivity of Porous Medium in Groundwater [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1998, 20(4): 33-36. (in Chinese))
- [18] 束龙仓, 王茂枚, 刘瑞国, 等. 地下水数值模拟中的参数灵敏度分析 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35(5): 49-495. (SHU Long cang, WANG Mao mei, LIU Rui guo, et al. Sensitivity Analysis of Parameters in Numerical Simulation of Groundwater [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2007, 35(5): 49-495. (in Chinese))
- [19] 吴志伟, 宋汉周. 温度时序资料确定地下水流速解析模型灵敏度分析 [J]. 水科学进展, 2013, 24(6): 877-882. ((WU Zhi wei, SONG Han zhou. Sensitivity Analysis of Determining Seepage Velocity Using Temperature Records [J]. Advances in Water Science, 2013, 24(6): 877-882. (in Chinese))
- [20] McKay M D, Beckman R J, Conover W J. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code [J]. Technometrics, 1979, 21(4): 239-245.
- [21] Morris M D. Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments [J]. Technometrics, 1991, 33(2): 159-172.
- [22] Sobol' I M. Sensitivity Estimates for Nonlinear Mathematical Models [J]. Mathematical Modeling Computational Experiments, 1993, 1(4): 407-414.
- [23] 翟远征. 鄂尔多斯白垩系盆地乌兰陶勒盖水源地地下水数值模拟中介质参数的敏感度分析 [D]. 长春: 吉林大学, 2008. (ZHAI Yuan zheng. Sensitivity Analysis of Media Parameters in Numerical Simulation of Groundwater Flow in Wulantaolegai Water Source Region in Ordos Cretaceous Basin [D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese))

(下接第 200 页)

- [5] 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). (YAN Shou xun, QU Yong xin, HAN Sheng jie. Study on the Correlation between Smectite Content and Swell Potential of Swelling Soil Index [J]. Journal of Engineering Geology, 2004, 12(1). (in Chinese))
- [6] 陈浮华. 膨胀土上的基础 [M]. 中国建筑工业出版社, 1979. (CHEN Fu hua, The Basis of the Swelling Soil [M]. China Architecture And Building Press, 1979. (in Chinese))
- [7] [苏] E. A. 索洛昌. 膨胀土上建筑物的设计与施工 [M]. 中国建筑工业出版社, 1982. ([Russia] E. A. Suo Luo Chang. Design and Construction of Buildings on the Swelling Soils [M]. China Architecture And Building Press, 1982. (in Chinese))
- [8] 陈善雄, 余颂, 孔令伟, 等. 膨胀土判别与分类方法探讨 [J]. 岩土力学, 2005, (12): 1895-1901. (CHEN Shan xiong, XU Song, KONG Ling wei, et al. Identification and Classification Method of the Swelling Soil [J]. Rock And Soil Mechanics, 2005, (12): 1895-1901. (in Chinese))