

文章编号: 1001-1986(2008)02-0052-03

# 陕北台塬区深层黄土湿陷性研究及地基处理

董转运, 吕远强

(中煤西安设计工程有限责任公司岩土所, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 陕北台塬区深层湿性黄土厚度大, 地基处理困难。室内试验表明: 该区黄土的湿陷性与其结构、天然含水量、孔隙比、时代成因等因素相关, 黄土的湿陷系数由上到下逐渐递减, 表明湿陷性随深度增加而逐渐减弱; 黄土的含水量和孔隙比分别与湿陷系数呈反相关和正相关关系。提出陕北台塬区深层湿陷性黄土地基处理时, 对单位荷重小于250 kPa的建筑物, 适宜采用灰土垫层、灰土挤密桩或灰土挤密桩与灰土垫层相结合方案; 单位荷重大于或等于250 kPa的建筑物, 宜采用桩基础方案。

**关键词:** 深层黄土; 湿陷性; 室内试验; 地基处理

中图分类号: TU444 文献标识码: A

## Study on collapsibility and ground treatment to deep-seated loess of Taiyuan area in northern Shaanxi

DONG Zhan-yun, LU Yuan-qiang

(Geotechnical Institute, China Coal Xi'an Design and Engineering Co., Ltd, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The ground treatment in Taiyuan area of northern Shaanxi is difficult because of thick deep-seated loess. Ted laboratory experiment reveals that the loess collapsibility correlates with loess structure, primitive water content, void ratio, forming times, cause of formation and other factors. The collapsibility is gradually decreasing downwards. The water content and void ratio are correlated to loess collapsibility. It is suggested that the common ground treatment of the building with weight less than 250 kPa in Taiyuan area need adopt the construction in collapsible loess region, such as soil stratification and soil pipe or combined soil stratification and piles, but for buildings with weight larger than 250 kPa need adopt pile foundation construction.

**Key words:** deep-seated loess; collapsibility; laboratory experiment; ground treatment

我国湿陷性黄土是指第四纪全新世( $Q_4$ )至晚更新世( $Q_3$ )形成的黄土, 即全新统( $Q_4$ )和上更新统( $Q_3$ )的黄土为湿陷性黄土地层<sup>[1]</sup>。随着西部大开发, 陕北湿陷性黄土地区的建设工程越来越多, 但是陕北台塬地区深层湿陷性黄土的厚度大, 地基处理困难, 按通用规范处理达不到良好的效果。本文以陕北台塬区深层黄土为研究对象, 证明这类黄土的湿陷性具有特殊性。并针对该区地基按规范处理后仍具有湿陷性的问题, 对深层湿陷性黄土地基处理提出了解决方案。

## 1 物理力学指标特性

研究区为陕西彬县黄土台塬, 地形平坦开阔, 黄土覆盖厚度大, 区内地层主要为第四系人工填土( $Q_4^{\text{ml}}$ )、全新统黄土( $Q_4^{\text{eol}}$ )、上更新统黄土( $Q_3^{\text{eol}}$ ), 中

更新统黄土( $Q_2^{\text{eol}}$ )。本文研究中, 野外取样采用探井刻槽取样和黄土薄壁取土器静压法取样, 取样间距为1.00 m。

通过对研究区深层湿陷性黄土进行室内试验研究, 得出其主要物理力学指标, 如含水量、容重、孔隙比、塑性指数以及湿陷系数均随深度增加在古土壤处出现明显的拐点(图1), 其值都偏小; 含水量、孔隙比和塑性指数的变化比较小, 容重和湿陷系数的变化比较大。图上的含水量、容重、孔隙比、塑性指数和湿陷系数的值都符合实际, 表现明显的分层规律。值得注意的是, 这类黄土的湿陷系数由上向下逐渐递减, 表明其湿陷性随深度的增加逐渐减弱, 17.00 m以下具有明显的减弱拐点, 即中更新统( $Q_2$ )黄土的湿陷性明显比全新统( $Q_4$ )和上更新统( $Q_3$ )黄土的湿陷性弱, 且古土壤层具轻微湿陷性, 也表

现出分层规律。

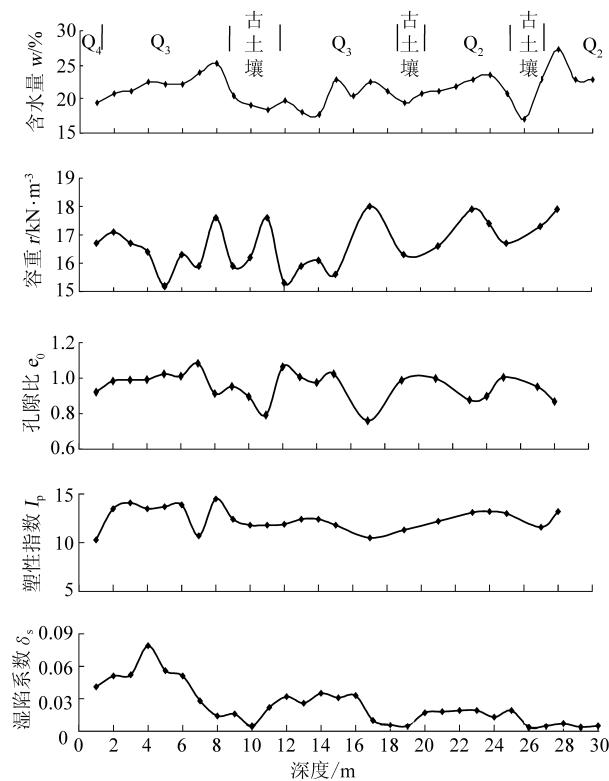


图1 深层黄土主要物理力学指标随深度变化曲线

Fig.1 Curve of main physic and mechanics indexes of the deep-seated loess along with depth

## 2 湿陷性研究

### 2.1 黄土结构与湿陷性关系

黄土的多孔性是引起黄土产生湿陷现象的主要原因,但是不同类型、不同大小的孔隙在湿陷变形中所起的作用不同。其中,中孔隙(即支架孔隙)是导致黄土产生湿陷的主要因素<sup>[2-3]</sup>。研究区深层黄土颗粒在显微镜下观察呈棱角状和次棱角状接触,主要为支架大孔结构,有少部分支架大孔半胶结结构和镶嵌微孔结构,颗粒表面有零星的胶结物碎片,构架松散,表现为针孔、虫孔特别发育,这为产生湿陷创造了空间条件<sup>[4-5]</sup>。所以,支架大孔结构是该区深层湿陷性黄土产生湿陷的主要因素之一。

### 2.2 天然含水量与湿陷性关系

黄土湿陷并不是达到浸水饱和时才发生的,而是当浸水到一定程度时开始湿陷。因此土样的天然含水程度对湿陷值有显著的影响。一般含水量越高,黄土湿陷性越低,当含水量达到25%时,基本没有湿陷性<sup>[1]</sup>。根据室内试验结果,研究区黄土含水量与湿陷系数呈反相关(图2),即随着含水量的增大湿陷

系数减小,且湿陷性主要集中在含水量18%~24%。

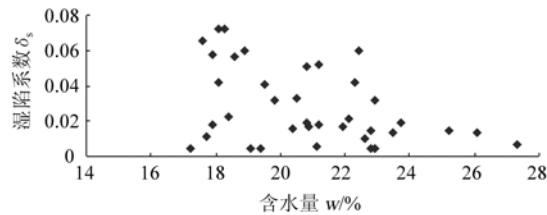


图2 深层黄土含水量与湿陷系数关系图

Fig.2 Relation drawing of natural moisture content and collapsibility coefficient to the deep-seated loess

### 2.3 孔隙比与湿陷性关系

土的孔隙比是反映土的疏密程度的指标,是土中孔隙与固体体积之比。富含孔隙是黄土的一大特点,正因为有如此多的孔隙,才为黄土湿陷提供了空间。根据试验结果,研究区黄土的孔隙比与湿陷系数呈正相关(图3),即孔隙比大湿陷性强,且湿陷性主要集中在孔隙比为0.078~1.030,孔隙比为1.000左右湿陷系数偏大。

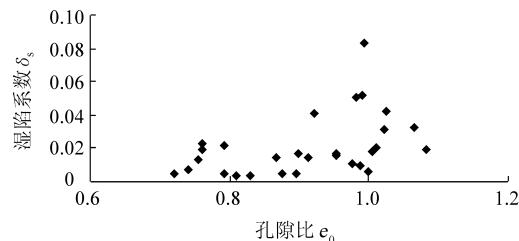


图3 深层黄土孔隙比与湿陷系数关系图

Fig.3 Relation drawing natural void ratio and collapsibility coefficient to the deep-seated loess

同时,黄土的结构及胶结程度与孔隙比有密切的联系。孔隙比大的大孔架空结构的黄土在外力和内力作用下容易破坏,且易湿陷;相反,孔隙比小的结构胶结程度好的黄土在相同力的作用下不易湿陷。所以,孔隙比大和支架大孔结构是该区深层黄土湿陷的主要因素。

### 2.4 黄土的成因时代与湿陷性关系

陕北台塬区黄土为风积黄土,湿陷性黄土主要为Q<sub>4</sub>和Q<sub>3</sub>地层,Q<sub>2</sub>地层具弱湿陷。陕北台塬区黄土在形成过程中,在同一地层时代里比别的区域相对晚,堆积快,颗粒相对较大,粘粒含量较少(一般10%左右),这使得黄土的渗透性较强,颗粒磨圆差,形成较多的支架大孔结构,造成上部黄土湿陷性强。随着Q<sub>4</sub>和Q<sub>3</sub>黄土的不断堆积,Q<sub>2</sub>黄土还未完成固结,加上残积层(古土壤)的隔水作用,致使Q<sub>2</sub>黄土具有弱湿陷性。

### 3 地基处理方案

#### 3.1 地基处理方案分析

目前公认挤密桩是解决湿陷性黄土地基经济有效的方法，对调整地基的不均匀性和提高防水抗渗性能有一定的优越性。本研究场地采用灰土挤密桩方法对深层湿陷性黄土地基处理后，其含水量相应增大，但增大的幅度不大(图 4)；孔隙比相应减小，但局部增大，可能是试验误差所致(图 5)；湿陷系数相应减小，但仍具湿陷性(二次湿陷性)(图 6)，这主要是因灰土挤密桩的处理深度达不到湿陷深度，灰土挤密桩的密实度难以达到理想效果。导致处理后的剩余湿陷量仍不能满足建筑物设计要求，需要再次地基处理。

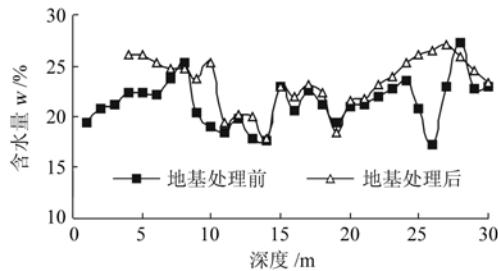


图 4 灰土挤密桩地基处理前后含水量对比曲线

Fig.4 Contrast curve of natural moisture content of lime soil pile former and after ground treatment

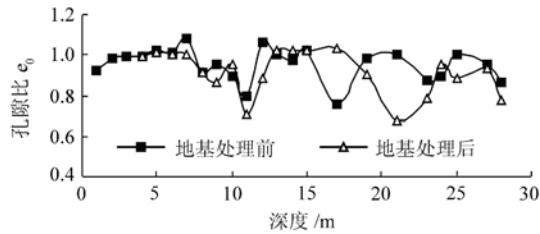


图 5 灰土挤密桩地基处理前后孔隙比对比曲线

Fig.5 Contrast curve of natural void ratio of lime soil pile former and after ground treatment

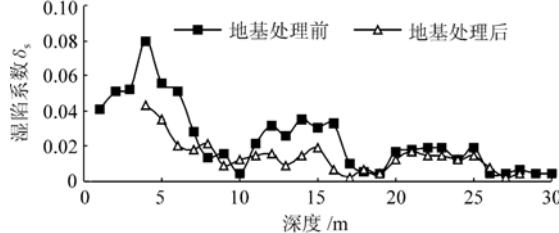


图 6 灰土挤密桩地基处理前后湿陷系数对比曲线

Fig.6 Contrast curve of collapsibility coefficient of lime soil pile former and after ground treatment

#### 3.2 地基处理方案

根据 GB50025 - 2004《湿陷性黄土地区建筑规范》，地基处理的常用方法都各自有一定的适用范围，垫层法处理湿陷性黄土层厚度 1.00 ~ 3.00 m；强

夯法处理湿陷性黄土层厚度 3.00 ~ 12.00 m；挤密法处理湿陷性黄土层厚度 5.00 ~ 15.00 m；预浸水法处理湿陷性黄土层厚度小于 6.00 m。实践表明，对于深层湿陷性黄土的地基处理不宜采用该规范的常用方法，尤其是载荷比较大的建筑物。

本场地最初地基处理采用灰土挤密桩法，但处理效果达不到建筑物的设计要求，需要进行再次地基处理。这主要受下述几个因素的影响：一是湿陷性黄土深度较大，最大深度达 25.00 m，而灰土挤密桩法处理湿陷性土层的适宜厚度为 5.00 ~ 15.00 m；二是施工环境、气候的影响；三是施工人员的不规范操作影响，桩的密实度难以达到理想效果。

结合实际地基处理经验分析研究，对深层湿陷性黄土的地基处理提出以下建议：单位荷重小于 250 kPa 的建筑物，适宜采用灰土垫层方案、灰土挤密桩方案或灰土挤密桩与灰土垫层相结合方案，这有利于防止地表水下渗，因为水是湿陷性黄土地基破坏的最主要因素；单位荷重大于或等于 250 kPa 的建筑物，适宜采用桩基础方案，因为其它地基处理方案处理深度难以满足建筑物设计要求。

### 4 结论

a. 陕北台塬区深层湿陷性黄土的含水量、容重、孔隙比、塑性指数以及湿陷系数随深度的增加均在古土壤层出现明显的拐点，且值都偏小，表现明显的分层规律；黄土的湿陷系数由上到下逐渐递减，表明湿陷性随深度增加而逐渐减弱。

b. 陕北台塬区深层黄土的含水量与湿陷系数呈反相关，湿陷性主要集中在含水量 18% ~ 24% 之间；湿陷系数与孔隙比呈正相关，湿陷性主要集中在孔隙比 0.078 ~ 1.030 之间。

c. 陕北台塬区深层湿陷性黄土地基处理时，对单位荷重小于 250 kPa 的建筑物，适宜采用灰土垫层、灰土挤密桩或灰土挤密桩与灰土垫层相结合方案；单位荷重大于或等于 250 kPa 的建筑物，宜采用桩基础方案。

### 参考文献

- [1] 冯连昌, 郑晏武. 中国湿陷性黄土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1982, 121~280.
- [2] 陈东佐. 黄土显微结构特征与湿陷性的研究现状及发展[J]. 山西建筑, 1994(3): 8~15.
- [3] 关文章. 湿陷性黄土工程性能新篇[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.
- [4] 蒋希雁, 陆培毅. 黄土湿陷机理和影响因素分析[J]. 河北建筑工程学院学报, 2004, 22(1): 25~28.
- [5] 薛武海, 王桂生, 陈志新. 黄土微结构区域变化规律及与湿陷性相关性研究[J]. 地下水, 2005, 27(4): 310~316.