

# 陕西彬县地区湿陷性黄土纵向分布特征及湿陷性计算

张贵秀,张立萍

(山东电力工程咨询院有限公司,山东 济南 250013)

**摘要:**通过对陕西彬县地区黄土进行物性指标及湿陷性试验,探讨了该地区物理性质指标及湿陷性的纵向分布规律,根据分布特征结合数理统计的方法对湿陷性的关键因素进行研究,拟合其相应经验公式,进一步总结出该地区黄土的一些特征,对该地区黄土的研究及工程勘察设计提供参考依据。

**关键词:**黄土;湿陷性;物理指标;湿陷系数;陕西彬县

**中图分类号:**TU602

**文献标识码:**B

## 0 引言

黄土在天然含水率状态下往往具有较高的强度和较低的压缩性。但有些黄土在一定的压力下浸水后发生迅速而显著的变形,强度也随着迅速降低,若没有及时处治,将对工程造成极大破坏。我国黄土分布面积约64万 $\text{km}^2$ <sup>[1]</sup>,湿陷性黄土的分布面积约占我国黄土分布总面积的60%,面积之广,足以引起高度重视。随着国民经济建设的日益发展,黄土湿陷性病害问题日显突出,因此,进行黄土湿陷性的研究,对各种工程建筑来讲,均有着十分重要的现实意义。

目前评价黄土湿陷性的重要指标必须通过黄土湿陷性试验测试得来,试验过程比较繁琐,试验周期较长,如何能简单快速对湿陷性黄土进行初步判断,再针对性有选择的试验,节省人力、物力,缩短试验周期,提高工作效率。物理指标为工程常规测试指标,试验操作简单周期短,极易获得,所以该文通过对彬县地区进行黄土物理性质指标试验和湿陷性指标试验,总结出陕西彬县黄土的物理性和湿陷性的纵向分布规律,对该地区黄土的研究及工程勘察设计提供参考依据。

## 1 研究区概况

陕西彬县坐落于渭北黄土塬上,地形开阔平坦,分布有大面积黄土。试验场地位于并彬长,据当地深井资料,场地黄土层总厚度大于30 m,其中湿陷性土层厚度约20 m,全厚度黄土层均有湿陷性。根据勘探点揭露,黄土由第四纪风积马兰黄土组成。地下水类型为第四纪孔隙潜水,以大气降水的入渗为其主要补给来源,以人工取水和冲沟内排水为其主要排泄方式,地下水位埋深为32.30~41.20 m。

## 2 试验方法

研究区布置6个勘探点,每个探井深度以揭穿黄土的湿陷深度为原则<sup>[2]</sup>,10.00 m深度内取土间距控制在1.00 m左右,15.00~25.00 m深度内取土间距控制在1.50 m左右,25.00 m以下取土间距控制在2.00 m左右。共取得黄土方块试样126件,并及时密封,取样过程严格按照有关规范执行,保证土样质量并及时试验。

### 2.1 黄土的物理性质试验

黄土的一些物理性质指标包括含水率 $W$ 、湿密度 $\rho$ 、孔隙比 $e$ 、液限 $W_l$ 、塑限 $W_p$ 、塑性指数 $I_p$ 等,

\* 收稿日期:2013-06-07;修订日期:2013-07-05;编辑:陶卫卫

作者简介:张贵秀(1979—),女,青海西宁人,工程师,主要从事岩土工程测及岩土性能研究;E-mail:81189133@qq.com。

含水率、湿密度、塑性指数通过土工试验直接测得<sup>[3]</sup>。该次研究着重进行了含水率试验、湿密度试验、界限含水率试验,通过相关计算获得黄土的孔隙比值。含水率试验采用烘干法,密度试验采用环刀法,液限采用圆锥仪法,塑限采用滚搓法。

### 2.2 湿陷性试验

湿陷性试验主要包括湿陷系数试验、湿陷起始压力试验<sup>[3]</sup>。该次试验采用黄土双线法,双线法需要注意的是:从同一土样中制备的 2 个试样,其密度差值不能超过 0.03 g/cm<sup>3</sup>。湿陷起始压力 P<sub>sh</sub> 的确定:以压力为横坐标、湿陷系数为纵坐标,绘制湿陷系数 δ<sub>s</sub> 与压力 P 关系曲线,湿陷系数 δ<sub>s</sub> 为 0.015 所对应的压力即为湿陷起始压力 P<sub>sh</sub>。在此次试验过程中数据采集使用土工微机数据采集系统,一方面减少了试验工作不连续带来的影响,另一方面数据采集处理系统提高了土工试验成果质量。

## 3 纵向分布特征分析

### 3.1 黄土物理性质指标纵向分布特征分析

研究区黄土的主要物理指标统计结果如表 1 所示:

表 1 彬县地区湿陷性黄土物理指标统计分析

指标	平均值	标准差	变异系	最大值	最小值
	$\mu$	$\sigma$	数 $\delta$	max	min
天然含水率( $w$ )	21	2.9	0.14	27.1	14.3
湿密度( $\rho$ )	1.7	0.1	0.07	2.0	1.5
液限( $w_l$ )	31.7	1.5	0.05	37.2	27.1
塑限( $w_p$ )	22	1.5	0.07	25.3	18.2
塑性指数( $I_p$ )	9.7	1.4	0.14	12.9	7.1

研究区黄土的物理性质指标的变异性都不大,这说明在该地区,由于黄土的形成环境、时间等因素的相似性,使黄土的物理指标变异性不大,也反映出黄土的分布和属性均具有一定的区域性。对研究区物性指标随埋深  $h$  变化统计<sup>[3]</sup> 如图 1 所示:

(1)含水率作为表征土中水与土粒质量之比的量,浅层黄土易受大气降水的影响,所以含水率值变化较大,10 m 以下土层含水率随埋深增加而逐渐增大,线性拟合关系较好,关系式为: $w = 0.026h^2 - 0.645h + 22.41, R^2 = 0.400$ (式中  $R$  为相关系数, $R^2$  为 0~1 之间的某一数值,约接近 1 说明相关性越强)。总之研究区 30 m 深度范围内如图 2 中虚线所

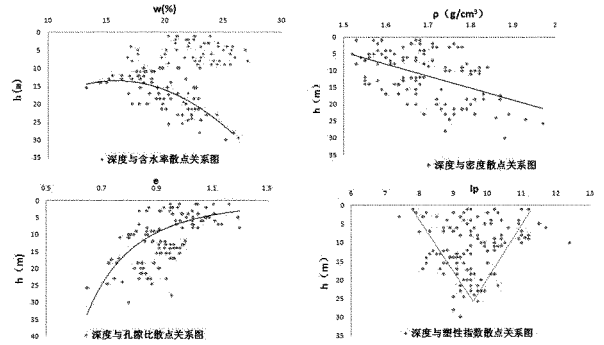


图 1 物理指标随埋深变化图

标含水率主要集中在 14%~24%。

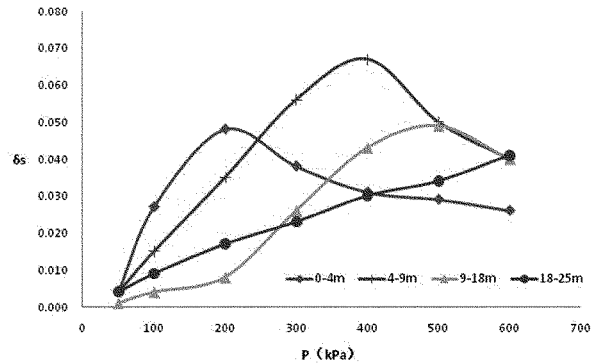


图 2 不同深度湿陷变形与压力关系曲线

(2)单位土体的质量即密度,从散点关系图可以看出研究地区的密度值在 1.50~1.95 之间,并且深度与密度有很好的线性关系: $\rho = 35.7h - 49.09, R^2 = 0.4958$ ,随深度的加深密实度加大。

(3)孔隙比是判定土的密实程度<sup>[4]</sup> 的又一重要指标。一般土的孔隙比小于 0.85,而湿陷性黄土的孔隙比往往大于 0.85,随着孔隙比增大,土的湿陷性越强。表示土中空隙的含量及土的松密程度的指标孔隙比,从图中看出与深度有较好的线性关系:

$e = 1.028e^{-0.01h}, R^2 = 0.340$ ,孔隙比值主要集中在 0.8~1.15 之间。

(4)液限、塑限、塑性指数统称为稠度指标,是反映土的状态的指标。一般液限范围在 18%~65% (76 g 锥),湿陷性黄土的液限范围在 18%~32%,塑限小于 13.0,塑性指数在空间纵向分布上主要取值 8%~11.5% 之间,从散点图看出随着深度的增加塑性指数呈收敛趋势,也就是说随着深度的增加土的可塑性趋于一致,可以将研究对象的土质作为一个均体。

### 3.2 湿陷性指标纵向分布特征分析

通过加载不同的作用力,土的湿陷系数是不一

样的,如图 3 在同一深度下随着压力的增大实现系数增加相对较大。同时该地区的黄土随着深度的变

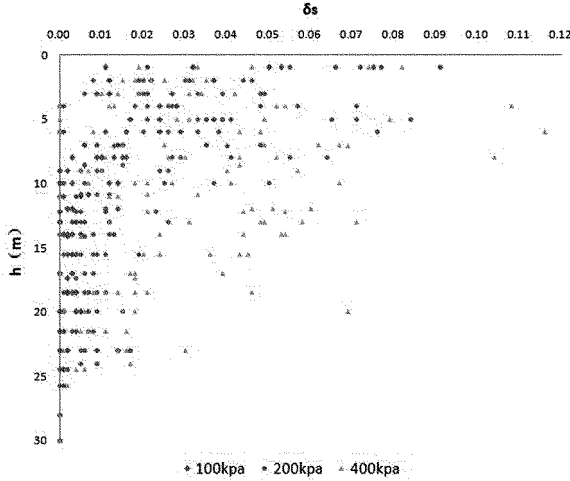


图 3 各级压力下湿陷系数与深度散点关系图

化湿陷性呈现出较为规律的变化。该地区的黄土的湿陷性自地表向下逐渐减弱,埋深 15 m 以内湿陷性较强。埋藏较深时,土的含水率较大,密实度较大,湿陷性降低,至 25 m 以下深度土没有湿陷性。

该地区的黄土随着深度的变化湿陷峰值呈现出较为规律的变化,在不同压力作用下的湿陷系数均有一个峰值<sup>[5]</sup>。在某一压力作用下,土将呈现最大的湿陷性,对应的最大湿陷系数即为峰值湿陷系数,对应的作用压力即为峰值湿陷压力。即开始阶段,随着压力增大,湿陷系数也随之快速增大;当压力达到某一值后,随着压力的增加,湿陷系数反而减小。研究区埋深在 0~4 m 的土湿陷峰值在 200 kPa 左右,埋深在 4~9 m 的土湿陷峰值在 400 kPa 左右,埋深在 9~18 m 的土湿陷峰值在 500 kPa 左右,埋深在 18~24 m 的土湿陷峰值在 600 kPa 左右(图 3)。

土的湿陷系数随着压力的增大而逐渐增加,但是当压力超过某值时,湿陷量急剧增大,结构迅速的明显的破坏,这时出现明显湿陷的压力,称之为湿陷起始压力,国标规定湿陷系数  $\delta_s=0.015$  所对应的压力作为湿陷起始压力(图 4)。

通过统计,研究地区湿陷起始压力显示随着黄土埋藏深度的增加而增大的趋势。线性关系为  $p_{sh}=23.529h-14.941, R^2=0.7799$ ,二者具有很好的线性关系。

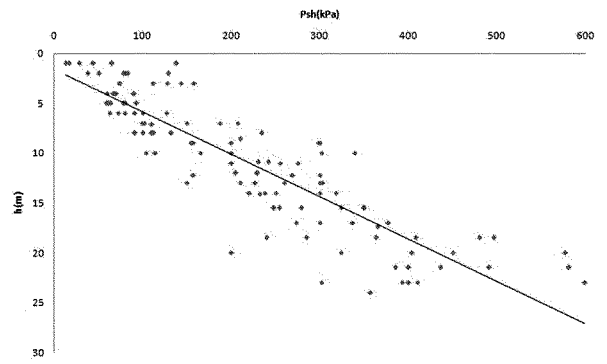


图 4 深度与湿陷起始压力散点关系图

### 4 湿陷系数与物性指标相关性分析

土的湿陷性主要取决与孔隙的发育情况和土中粘粒含量,由于粘粒含量与常规测试的塑性指数有极大的相关性,且从理论上讲,塑性指数进一步体现粘粒对水的敏感性,其塑性指数均在 10 左右并且随着深度的增加土的可塑性趋于一致,因此可以将研究对象的土质作为一个均体,因此湿陷性主要取决于孔隙情况,图 5 为彬县黄土湿陷系数与孔隙比关系。

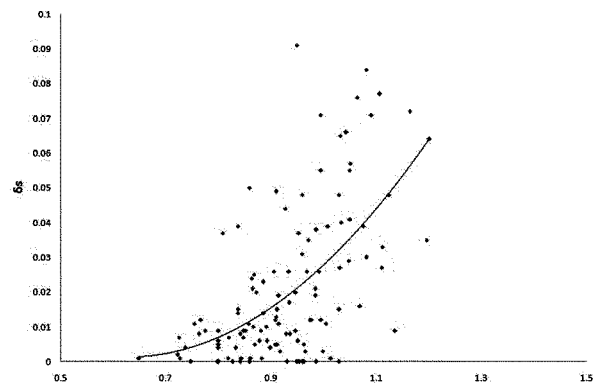


图 5 湿陷系数与孔隙比散点关系图

湿陷系数与孔隙比有较好的正相关,根据点的走势,二者采用多项式关系拟合较好,关系式为: $\delta_s=0.190e^2-0.239e+0.076(R^2=0.436)$ 。

依据上式分别对 2 个探井进行湿陷系数计算,并将计算值与实测值进行比对,结果如图 6 所示:

从图 6 中看出对于同一个探井,实测湿陷系数随深度增加高低变化不定,依据回归方程所得的湿陷系数与实测值较为接近,计算结果能较为真实反映各探井黄土的湿陷性,可以用此回归方程对研究地区的湿陷性进行统计。

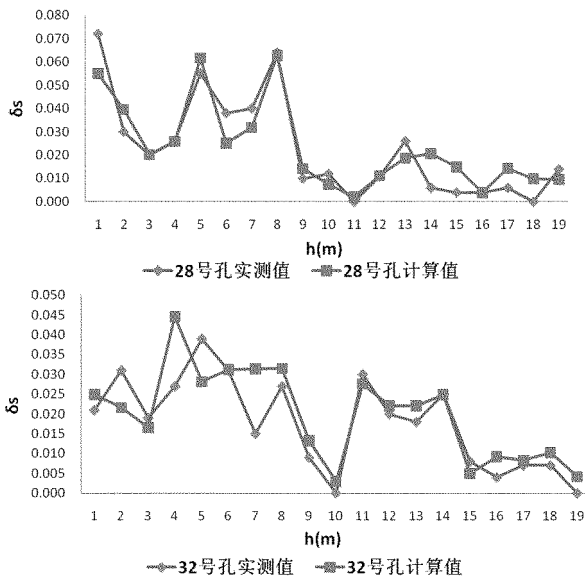


图 6 湿陷系数实测值与计算值对比图

## 5 结论

(1) 彬县地区黄土含水率在 14%~24%，含水率较低，10 m 以下土层随着深度增加含水率增大，线性关系良好。密度值在 1.50~1.95，浅层的土密实度较差，随深度的加深密实度加大，密度与深度有较好的线性关系，值孔隙比主要集中在 0.8~1.1，孔隙较多。塑性指数主要为 8%~11.5%，地层岩性变化不大，随着埋深增大岩性趋于一致。

(2) 不同作用力下，土的湿陷系数是不一样的，该地区的黄土随着深度的变化湿陷峰值呈现出较为规律的变化，埋深在 0~4 m 的土湿陷峰值在 200 kPa 左右，埋深在 4~9 m 的土湿陷峰值在 400 kPa 左右，埋深在 9~18 m 的土湿陷峰值在 500 kPa 左右，埋深在 18~24 m 的土湿陷峰值在 600 kPa 左右，25 m 以下深度土没有湿陷性。而且黄土的湿陷性与深度线性关系较好，可以作为该地区湿陷性初判的参考依据。

(3) 用孔隙比估算湿陷系数，计算值与实测值较为接近，可以快速进行湿陷性初判，在进行勘测时可以有针对性的安排工作量，节约人力物力的投入，具有工程实用价值。同时也为黄土湿陷性研究提供了一些基础数据特征。但是采用的数据有限，想建立更理想的特征数据库还应做更多的数据采集及统计。

## 参考文献：

- [1] 吴军. 甘肃地区湿陷性黄土湿陷性规律的试验研究[J]. 铁道勘察, 2011, (5): 55 - 56.
- [2] 工程地质手册编委会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [3] 李萍, 李同录. 黄土物理性质与湿陷性的关系及其工程意义[J]. 工程地质学报, 2007, (4): 506 - 511.
- [4] 张倩. 湿陷性黄土的物理性质的特殊性[J]. 公路交通科技, 2011, (10): 207 - 208.
- [5] 韩晋华. 黄土湿陷起始压力的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2000(10), 57 - 58.

# Longitudinal Distribution Characteristics and collapsibility

## Calculation of Collapsible Loess in Binxian County of Shanxi Province

ZHANG Guixiu, ZHANG Liping

(1. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Limited Corporation, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Physical indicators and collapsible of loess was tested in binxian county of Shanxi Province. Physical properties indicators and collapsible vertical distribution law have been investigated in this region. According to distribution characteristics and using mathematical statistics method, key factors of collapsibility have been studied. Fitting the corresponding empirical formula, some characteristics of loess in the region have been further summarized. It will provide some references for the loess research and engineering survey and design.

**Key words:** Loess; collapsibility; physical indicators; collapsible coefficient; Binxian county in Shanxi province