

14

# 三门峡市湿陷性黄土湿陷系数的回归分析

周静芋<sup>1</sup> 周静华<sup>2</sup> ✓刘润英<sup>2</sup> 史洛琳<sup>2</sup>

(1 西北农业大学基础科学系, 陕西杨陵 712100) (2 洛阳水利勘测设计院, 河南洛阳 471002)

**摘要** 通过地质勘测试验, 建立了三门峡市区湿陷性黄土的湿陷系数与几个物理力学性质指标之间的回归关系, 并做了通径分析。结果表明: 天然含水量, 干容重和压缩模量与湿陷性系数有显著的负相关性, 天然含水量对湿陷系数的总影响最大, 干容重次之。

**关键词** 湿陷系数, 物理力学性质, 多元回归分析, 通径分析

**中图分类号** S152.9, O212.1

黄土的湿陷性与建筑业的关系极为密切, 其值的大小受许多因素的影响, 如黄土的微粒结构特征, 成土时代, 应力状态, 物理力学性质, 浸湿范围和浸湿程度都与其有很大关系。黄土的湿陷系数是研究和评价黄土湿陷性的重要参数。豫西是我国一个重要的湿陷性黄土分布区, 其中以三门峡市区黄土湿陷性最为严重, 且具有代表性。本文为了客观地评价黄土物理力学性质对黄土湿陷系数影响的显著性以及影响的相对重要性, 对三门峡市区的大量土样的统计数据做了多元回归分析和通径分析。

## 1 材料和方法

洛阳地区水利勘测设计院近十多年对三门峡市数百个工程作了地质勘探试验, 土样的物理力学性质指标皆在室内按照现行“土工试验规范”及“湿陷性黄土地基建筑规范”的有关规定测得。作者对具有代表性的 53 个工程的 1 561 个土样资料进行了统计分析。首先将市区按地面高程分为 4 个地区: 市中心地区, 海拔高程约为 392 m, 5 个工地, 98 个土样; 火车站附近地区, 高程约为 435 m, 8 个工地, 229 个土样; 陇海铁路环绕的地区, 高程约为 405 m, 17 个工地, 350 个土样; 市政府附近地区, 高程约为 370 m, 23 个工地, 884 个土样。根据土质的差异, 再将各工地的土样分为 3 层, 上层土由地表向下至 3 m 左右, 土质为浅黄色粉土, 具有较多的 1~2 mm 垂直孔洞, 少量 5 mm 大孔, 含多量白色可溶性盐类, 粉质含量大; 中层土是从 3~7.5 m 左右, 土质为黄色和褐黄色粉土或黄色粉质粘土, 具有垂直孔洞和较多白色可溶性盐类和钙结核; 下层土从 7.5 m 向下至非湿陷层, 厚约 3 m 左右, 土质为黄色粉土、红黄色粉质粘土, 有较多到少量小孔隙, 含可溶性盐类, 硬或稍硬。然后将每一探坑同一层土样的试验资料进行平均, 这样 4 个地区的 1 561 个土样的试验资料就变为 719 个土样资料, 最后进行多元统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 多元回归分析和逐步回归分析

为了了解黄土的基本物理力学性质对湿陷系数影响的显著性, 对 4 个地区和 4 个地

区合起来的统计数据做了多元线性回归分析,结果如下:

市中心地区 (43 个土样)	$\delta_i = 0.1774 - 0.0034w - 0.0619r_d - 0.0001w_L - 0.0018I_p -$ $0.0005E_i$ $R = 0.602 \quad R^2 = 0.363$
火车站附近地区 (90 个土样)	$\delta_i = 0.1885 - 0.0051w - 0.0693r_d + 0.0010w_L + 0.0026I_p -$ $0.0017E_i$ $R = 0.774 \quad R^2 = 0.598$
陇海铁路环绕的地区 (143 个土样)	$\delta_i = 0.3267 - 0.0042w - 0.1333r_d - 0.0032w_L + 0.0076I_p -$ $0.0008E_i$ $R = 0.714 \quad R^2 = 0.510$
市政府附近地区 (443 个土样)	$\delta_i = 0.1481 - 0.0036w - 0.0481r_d + 0.0005w_L + 0.0022I_p -$ $0.0010E_i$ $R = 0.668 \quad R^2 = 0.447$
四地区合并 (719 个土样)	$\delta_i = 0.1988 - 0.0040w - 0.0732r_d - 0.0002w_L + 0.0032I_p -$ $0.0009E_i$ $R = 0.697 \quad R^2 = 0.482$

上面 5 个回归方程的  $F$  检验都是极其显著的 ( $\alpha = 0.01$ ), 但对各个偏回归系数的检验不都是显著的 (特别是  $w_L$  的系数在  $\alpha = 0.1$  的水平下都不是显著的), 于是取  $F = 3$  作为引入或剔除变量的标准, 再做多元逐步回归分析, 得到下面 5 个方程:

市中心地区	$\delta_i = 0.1835 - 0.0032w - 0.0819r_d$ $R = 0.588 \quad R^2 = 0.345$
火车站附近地区	$\delta_i = 0.2127 - 0.0049w - 0.0785r_d + 0.0032I_p - 0.0016E_i$ $R = 0.772 \quad R^2 = 0.597$
陇海铁路环绕的地区	$\delta_i = 0.2581 - 0.0049w - 0.1063r_d + 0.0057I_p - 0.0010E_i$ $R = 0.708 \quad R^2 = 0.501$
市政府附近地区	$\delta_i = 0.1592 - 0.0036w - 0.0540r_d + 0.0026I_p - 0.0010E_i$ $R = 0.667 \quad R^2 = 0.445$
四地区合并	$\delta_i = 0.1947 - 0.0040w - 0.0712r_d + 0.0031I_p - 0.0009E_i$ $R = 0.694 \quad R^2 = 0.482$

上述 5 个方程除市中心地区外, 建立的  $\delta_i$  关于  $w, r_d, I_p$  和  $E_i$  的回归方程的  $F$  检验都是极其显著的。偏回归系数的检验除火车站附近地区的  $I_p$  在  $\alpha = 0.05$  的水平下是显著的, 其余皆是极其显著的。市中心地区的例外 (回归方程和  $w$  系数的  $F$  检验都是极其显著的,  $r_d$  系数的检验在  $\alpha = 0.1$  的水平下是显著的) 原因是多方面的。如  $w$  和  $r_d$  的相关系数为不正常的正相关, 做回归分析时, 样本数小于变量的 10 倍 (在多元回归分析时, 实际计算中应注意变量数与样本数的适当比例, 一般认为应取样本数至少为变量数的 5 到 10 倍为宜<sup>[1]</sup>), 这些都是市中心地区情况特殊的原因。各地区  $w_L$  在逐步回归分析中都被剔除这主要是由于  $w_L$  和  $I_p$  有较强的相关性所致。

## 2.2 通径分析(标准多元回归分析)<sup>[2]</sup>

为了进一步分析各物理力学性质对  $\delta$  影响的具体情况和相对重要性,下面给出通径分析结果。由于火车站附近地区,陇海铁路环绕的地区,市政府附近地区的统计数据得到的  $\delta$ ,关于天然含水量  $w(\%)$ ,干容重  $r_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ ,液限  $w_L(\%)$ ,塑性指数  $I_p$  和压缩模量  $E_s$  (MPa)的标准回归方程的  $F$  检验都是极其显著的,但关于  $w_L$  的偏回归系数的检验都是不显著的,故本文的分析结果都是只列出去掉物理性质  $w_L$  的分析结果。由市中心地区的统计数据得到的  $\delta$ ,关于  $w, r_d, I_p$  和  $E_s$  的标准回归方程的  $F$  检验是极显著的,但  $I_p$  和  $E_s$  的偏回归系数检验都是不显著的,通径分析无实际意义,故该地区的分析结果未列出。

下面给出几个地区黄土的物理力学性质对湿陷系数影响的通径系数。

附表 通径分析结果

		$w$	$r_d$	$I_p$	$E_s$	总影响
火车站 附近 地区	$w$	-0.794	-0.287 × (-0.293)	0.172 × 0.385	-0.509 × (-0.295)	-0.493
	$r_d$	-0.794 × (-0.293)	-0.287	0.172 × (-0.285)	-0.509 × 0.297	-0.250
	$I_p$	-0.794 × 0.385	-0.287 × (-0.258)	0.172	-0.509 × 0.228	-0.176
	$E_s$	-0.794 × (-0.295)	-0.287 × 0.297	0.172 × 0.228	-0.509	-0.321
陇海铁 路环绕 的地区	$w$	-0.767	-0.276 × (-0.079)	0.249 × 0.148	-0.315 × (-0.542)	-0.537
	$r_d$	-0.767 × (-0.079)	-0.276	0.249 × (-0.062)	-0.315 × 0.307	-0.327
	$I_p$	-0.767 × 0.148	-0.276 × (-0.062)	0.249	-0.315 × 0.223	0.082
	$E_s$	-0.767 × (-0.542)	-0.276 × 0.307	0.249 × 0.223	-0.315	0.071
市政府 附近 地区	$w$	-0.725	-0.209 × (-0.219)	0.170 × 0.189	-0.313 × (-0.439)	-0.509
	$r_d$	-0.725 × (-0.219)	-0.209	0.170 × (-0.143)	-0.313 × 0.323	-0.175
	$I_p$	-0.725 × 0.189	-0.209 × (-0.143)	0.170	-0.313 × (-0.082)	0.088
	$E_s$	-0.725 × (-0.439)	-0.209 × 0.323	0.170 × (-0.082)	-0.313	-0.076
四地区 合并	$w$	-0.763	-0.242 × (-0.148)	0.167 × 0.190	-0.300 × (-0.488)	-0.548
	$r_d$	-0.763 × (-0.148)	-0.242	0.167 × (-0.141)	-0.300 × 0.277	-0.237
	$I_p$	-0.763 × 0.190	-0.242 × (-0.141)	0.167	-0.300 × 0.027	0.048
	$E_s$	-0.763 × (-0.488)	-0.242 × 0.227	0.167 × 0.027	-0.300	0.008

附表中前 4 列对角线各数据为直接通径系数(标准回归方程的回归系数),表示所在行的变量对湿陷系数的直接影响。表中前 4 列其它各元素为间接通径系数。它们是由所在列的变量对湿陷系数的直接影响(第一个因子)乘以所在行的变量与所在列的变量之间的相关系数(第二个因子)所得,表示所在行的变量通过所在列的变量对湿陷系数的间接影响。最后一列各元素是该行前 4 个元素之和,表示所在行的变量对湿陷系数的总影响。

从附表中看出,  $w$  和  $r_d$  之间呈现微弱的负相关。各地区  $w$  和  $I_p$  皆呈正相关,和  $E_s$  与  $\delta$ , 皆呈负相关。 $r_d$  和  $I_p, \delta$ , 负相关,和  $E_s$  正相关。 $w$  通过  $r_d, I_p$  和  $E_s$  对  $\delta$  的间接影响,  $r_d$  通过  $w, I_p$  和  $E_s$  对  $\delta$  的间接影响的符号一致。各地区  $I_p$  和  $E_s$  的相关系数的符号不一致,因此  $I_p$  通过  $E_s$  或  $E_s$  通过  $I_p$  对  $\delta$  的间接影响的符号不一致,这也是造成  $I_p$  和  $E_s$  对  $\delta$  的总影响符号不一致的原因之一。从附表中还可以看出,各性质指标通过  $w$  对  $\delta$  的间接影响大于其它一些性质指标通过另一些性质指标对  $\delta$  的间接影响。各地区  $I_p$  和  $E_s$  对  $\delta$  的总影响符号的不一致也说明这两个指标和  $\delta$  没有如同  $w$  和  $r_d$  与  $\delta$  那样明显的统计规律。特别是  $I_p$  对  $\delta$  的直接影响为正,与传统的认识不一致,这是否是由于分析的三门峡市区这些场地绝大多数土质为  $w_L < 30\%$ ,  $I_p < 10$  的粉土,造成  $I_p$  与  $\delta$  呈现为弱的正相关。

还有待进一步分析讨论。

### 3 结 论

1)建立的三门峡市各地区湿陷性黄土的湿陷系数  $\delta_s$  与黄土物理力学性质指标  $w, r_d, I_p$  和  $E_s$  的多元线性回归方程是极其显著的,偏回归系数的检验也都是显著的,这表明,天然含水量、干容重和压缩模量对湿陷系数有负的显著影响,塑性指数对湿陷系数有正的显著影响。但从决定系数  $R^2$  来看,都还不够大( $<0.6$ ),故不能用这些回归方程做预报和计算  $\delta_s$  的公式,但做为对湿陷系数的初步估计和评价是可以的,说明决定黄土湿陷系数的原因是多方面的,这几个物理力学性质不能完全决定湿陷性黄土湿陷系数的大小。

2)从通径分析结果看出,在三门峡市区湿陷性黄土的  $w, r_d$  和  $E_s$  对  $\delta_s$  的直接影响为负,  $I_p$  对  $\delta_s$  的直接影响为正。从统计观点来看,在三门峡市区,天然含水量  $w$  对  $\delta_s$  的直接影响最大,塑性指数  $I_p$  对  $\delta_s$  的直接影响最小,而压缩模量  $E_s$  对  $\delta_s$  的直接影响相对于干容重  $r_d$  对  $\delta_s$  的直接影响来说是不能忽略的。

3)从各通径分析结果看出,在三门峡市区,  $w$  分别通过  $r_d, I_p$  和  $E_s$  对  $\delta_s$  的间接影响为正,  $w$  对  $\delta_s$  的总影响为负。  $r_d$  通过  $w$  对  $\delta_s$  的间接影响为正,通过  $I_p$  和  $E_s$  对  $\delta_s$  的间接影响为负,  $r_d$  对  $\delta_s$  的总影响为负。  $w$  和  $r_d$  对  $\delta_s$  的直接影响和总影响皆为负,这与文献[3]和文献[4]的结论是一致的。

#### 参 考 文 献

- 1 裴鑫德.多元统计分析及其应用.北京:北京农业大学出版社,1991
- 2 莫惠栋.农业试验设计.上海:上海科学技术出版社,1984
- 3 钱鸿缙,王继唐,罗宇生等.湿陷性黄土地基.北京:中国建筑工业出版社,1985
- 4 马连昌,郑晏武.中国湿陷性黄土.北京:中国铁道出版社,1982

## Regression Analysis on Collapsible Coefficient of Collapsible Loess at Sanmenxia City

Zhou Jingyu<sup>1</sup> Zhou Jinghua<sup>2</sup> Liu Runying<sup>2</sup> Shi Luolin<sup>2</sup>

(1 Department of Basic Science, Northwestern Agricultural University, Yangling Shaanxi 712100)

(2 Water Conservancy Investigation and Design Institute of Luoyang, Luoyang, Henan 471002)

**Abstract** This paper has established the regression relation between collapsible coefficient and some other physical mechanical properties of the collapsible loess collected in Sanmenxia City and has also conducted the path analysis. The result shows that negative correlation has been found between the collapsible coefficient and natural water content, dry density and modulus of compressibility, with the natural water content the greatest and dry density next.

**Key words** collapsible coefficient, physical mechanical properties, multivariate regression analysis, path analysis