

原状黄土的地区湿陷特性及其潜在湿陷率*

骆亚生^{1,2}, 谢定义¹, 邢义川²

(1 西安理工大学 岩土研究所, 陕西 西安 710048; 2 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 对3个典型黄土地区的原状黄土样在不同湿度状态下的湿陷特性进行了研究, 探讨了含水率、干密度、压力对黄土湿陷性的影响规律, 着重从结构性的角度解释了不同地区间黄土湿陷特性的差异。基于不同地区间黄土湿陷特性的差异这一事实, 提出了黄土潜在湿陷率的概念。结果表明, 这一概念可用于对黄土湿陷性的分析, 并能较好地反映不同黄土种类的结构特性。

[关键词] 原状黄土; 湿陷特性; 潜在湿陷率

[中图分类号] TU 444

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2002)05-0090-06

黄土广泛分布于我国西北与华北地区, 长期的研究实践表明^[1], 含水率对湿陷性黄土场地的工程性质构成重大影响, 随着含水率的增大, 黄土的压缩性增强, 而湿陷性减弱。很明显, 含水率对湿陷性的影响是一个动态的过程, 而现行的《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25-90)显然对因含水率长期变化引起的黄土工程性质的变化缺乏考虑^[2], 用完全饱和和状态来考虑黄土的湿陷特性在经济上是浪费的, 在技术上是保守的。黄土湿陷特性具有的明显地域特征以及工农业生产活动对黄土工程性质的影响, 使得研究不同地区黄土在不同湿度状态下的湿陷特性具有重要的理论意义和应用价值。

近年来, 对黄土在不同含水率下工程性质的研究已取得了一些成果^[3~6], 但从深度上看距离实际应用尚早, 从广度上看涉及黄土区域单一, 有进一步研究的必要。本研究从西安、兰州和太原三个典型黄土地区采集原状黄土样, 对黄土在不同湿度状态下

的湿陷特性进行了研究, 并对含水率、干密度、压力对黄土湿陷性的影响规律以及它们在不同黄土中的表现进行了探讨; 考虑不同地区黄土的结构特性, 提出了黄土潜在湿陷率的概念, 并尝试性地用这一概念对不同地区黄土的湿陷性进行了分析。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用土样分别来源于西安、兰州和太原3个典型黄土地区。西安地区的原状黄土取自西安市灞桥区神峪寺沟的某典型黄土沉积剖面上, 取样深度6m左右, 属Q₃黄土。兰州地区的原状黄土取自兰州市内黄河左岸的叉不叉沟, 从该沟的沟岸地层可见厚约50m的黄土覆盖层, 试验取样深度约30m, 属Q₃黄土。太原地区的原状黄土取自太原市北营农业厅某仓库的黄土地基中, 取样深度4~5m, 属Q₃黄土。试验土样的物理性质指标见表1。

表1 黄土土样的物理性质指标

Table 1 Physical character index of loess samples

土样来源 Samples source	干密度/ (g · cm ⁻³) Dry density	孔隙比 Void ratio	液限/% Liquid limit	塑限/% Plastic limit	塑性指数/% Plasticity index	按塑性 图分类 Plasticity classifi- cation chart	颗粒组成/% Grain composition			按颗粒组 成分类 Grain composition classifi- cation
							> 0.05 (mm)	0.05~ 0.005 (mm)	< 0.005 (mm)	
西安 Xi'an	1.26	1.151	38.0	18.6	19.6	CI	9.8	61.8	28.4	重粉质壤土 Heavy silty loam
兰州 Lanzhou	1.45	0.862	25.5	14.5	11.0	CL	18.0	72.0	10.0	重粉质砂壤土 Heavy silty sandy loam
太原 Taiyuan	1.34	1.015	28.0	15.6	12.4	CI	27.8	58.2	14.0	轻粉质壤土 Light silty loam

[收稿日期] 2001-09-07

[基金项目] 国土资源部岩土工程开放研究实验室基金项目(KF009)

[作者简介] 骆亚生(1967-), 男, 陕西泾阳人, 高级工程师, 在读博士, 主要从事黄土的力学性质及其工程应用的研究。

1.2 试验方法

将各地用来试验的原状黄土土样按要求用面积 50 cm²、高 20 mm 的环刀制成标准压缩试样各 10 个, 用风干法和水膜转移法(配水法)^[3]对试样分别按含水率为 50, 100, 150, 200, 250, 300 和 350 g/kg 进行控制, 然后将不同含水率的黄土试样放入密闭养护缸进行养护, 待试样内部水分分布均匀后备用。对不同地区的黄土试样分别在相应的含水率情况下进行压缩试验(其中饱和状态为在压缩仪上直接加水饱和), 根据压缩试验资料, 采用双线法得出不同地区的黄土分别在不同含水率下的湿陷系数曲线, 进而得到黄土在不同浸水压力下初始含水率对湿陷系数的影响曲线。

2 结果与分析

2.1 不同含水率下黄土的湿陷变形特性

由不同含水率下的湿陷系数曲线(图 1)可以看出, 总体上在同一压力下初始含水率愈低, 相应的湿陷系数愈大; 而初始含水率愈接近饱和含水率, 相应

的湿陷系数也愈低。但不同地区的黄土, 初始含水率对湿陷系数的影响有所不同, 西安黄土在含水率小于 100 g/kg 时具有较大的湿陷系数, 而当含水率达到 150 g/kg 以上时湿陷系数迅速降低; 太原黄土在含水率为 50 g/kg 时湿陷系数较大, 当含水率达到 100 g/kg 以上时湿陷系数有明显的降低; 兰州黄土初始含水率对湿陷系数在试验的压力范围内随压力的增大没有表现出降低趋势, 但其整个湿陷系数值相对较小。这种情形可以从黄土的结构性方面做出解释, 西安黄土和太原黄土具有较强的结构性, 在含水率低时能维持较高的结构强度, 因此即使承受较大压力, 压缩量也相当有限, 但其干密度偏低, 说明还具有很大的潜在压缩空间, 所以一旦浸水, 其湿陷系数是相当大的; 在含水率较高时其结构强度迅速降低, 承受压力时产生的压缩变形量已经较大, 而浸水时的变形量相应要小得多, 因此其湿陷系数也迅速降低。兰州黄土由于干密度较大, 土质较密, 变形发展的空间本来有限, 湿陷系数随压力发展虽缓慢增加, 但终究数值不大。

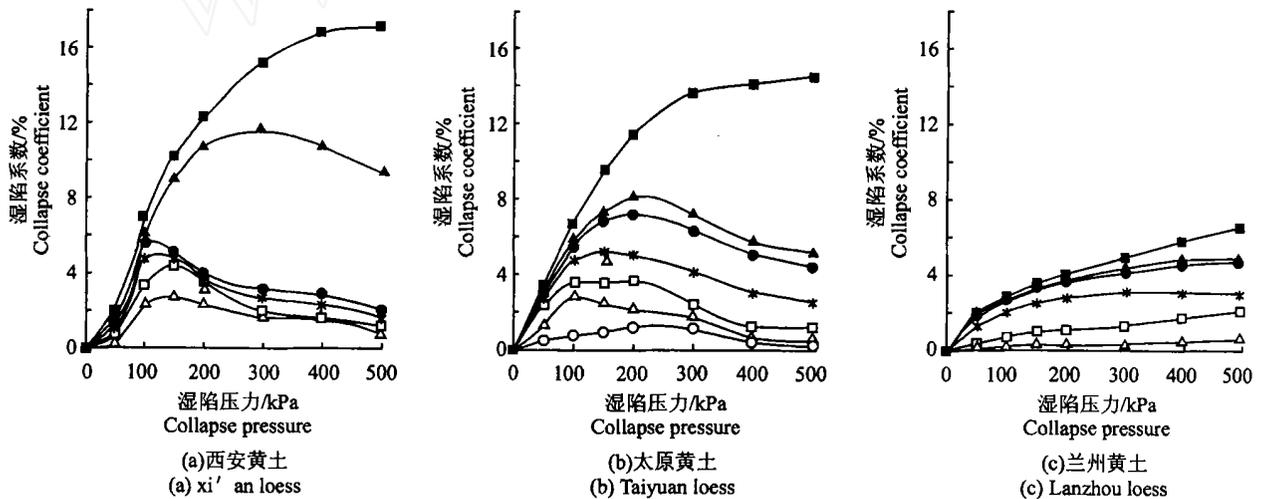


图1 湿陷压力与湿陷系数关系曲线

Fig.1 Relation curve between collapse pressure and collapse coefficient

—■—.50 g/kg; —▲—.100 g/kg; —●—.150 g/kg; —*—.200 g/kg; —□—.250 g/kg; —△—.300 g/kg; —○—.350 g/kg

2.2 湿陷系数与湿陷压力的关系

湿陷系数与含水率的关系是明显的, 在不同湿陷压力作用时的表现也是不同的。从图 2 可以看出, 同一压力下初始含水率愈大则湿陷系数愈小。西安黄土、太原黄土干密度较小, 由于具有较高的结构强度, 在低含水率下, 基本上是上压力愈大对应的湿陷系数愈大。随着含水率的增大结构强度迅速降低, 因压

力愈高对结构强度降低的敏感性愈高, 所以高压下对应的湿陷系数降低的反而更剧烈。兰州黄土的结构性较差, 但因其干密度较高, 压缩变形的空间有限, 基本上是压力愈高, 含水率愈大, 而相应的湿陷系数也就高一些, 同一含水率下按压力大小其湿陷系数值的层次较为明显, 但湿陷系数的值与西安、太原黄土相比总体来说较低。

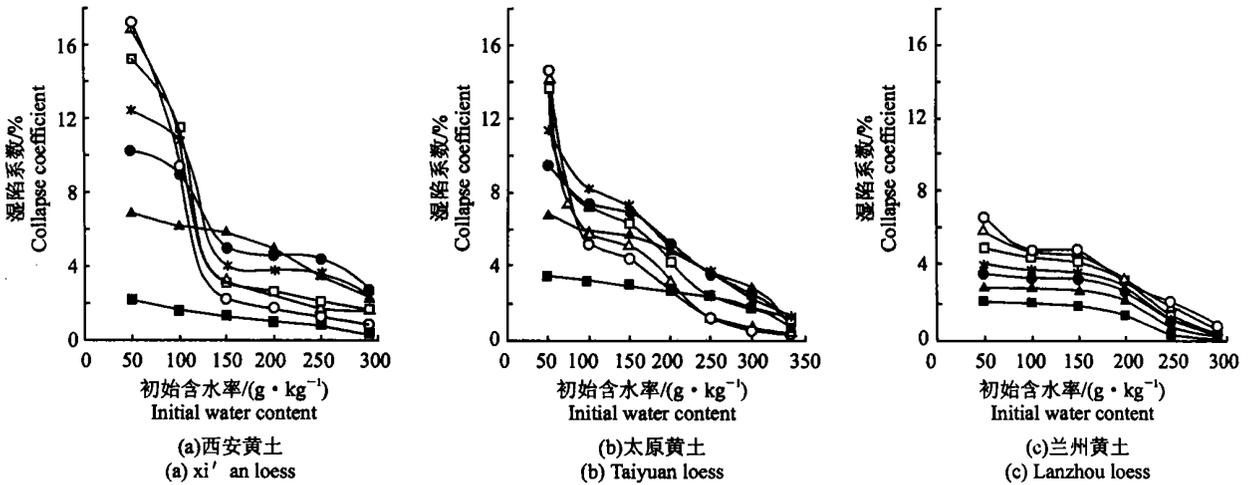


图2 初始含水率与湿陷系数关系曲线

Fig.2 Relation curve between initial water content and collapse coefficient

—■— .50 kPa; —▲— .100 kPa; —●— .150 kPa; —*— .200 kPa; —□— .300 kPa; —△— .400 kPa; —○— .500 kPa

2.3 黄土的潜在湿陷率及湿陷性的讨论

黄土湿陷是黄土作为具有一定结构强度的欠压密土体,由力和水共同作用的结果。大量的试验资料^[3,4,6]表明,天然状态下的非饱和黄土在一定的压力作用下变形稳定后,再进行浸水增湿时都会或多或少地产生一定量的附加增湿变形量,而且黄土的湿陷变形量随含水率和压力的变化表现出明显的动态特性。因此,从严格意义上来说,天然状态下的非饱和黄土都具有湿陷性。我国《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25-90)中,将湿陷系数 $\delta_s = 0.015$ 作为判定非湿陷性黄土和湿陷性黄土的界线值,显然是从解决工程应用中的实际问题方面考虑的。同时,人们通过黄土湿陷试验的统计资料^[7]还发现,黄土的湿陷系数与某一单个因数(如含水率、干密度)在一个地区内具有较好的归一性,而在涉及不同地区之间时往往显得比较散乱。这也说明不同地区黄土具有明显不同的结构特性,而同一地区的黄土因其地理位置、形成条件上的相似性而具有相同或相近的结构特性。如何表现这种结构特性,并使之与力和含水率一起来表述不同地区黄土的湿陷特性无疑是十分有意义的。

根据以上思路,以黄土湿陷试验的双线法为基础,笔者定义在某一压力下黄土试样在某一含水率时,湿陷变形量与该试样在饱和状态时的压缩变形量之比为黄土试样在相应压力和含水率下压缩稳定后的潜在湿陷率,用以表示在总变形量中湿陷变形

所占份额的多少。其计算公式如下:

$$\delta_{ps} = \frac{S_{sw}^p}{S_{ab}^p} \times 100 = \frac{S_{ab}^p - S_{av}^p}{S_{ab}^p} \times 100 \quad (1)$$

式中, δ_{ps} 为含水率 w 的黄土试样在压力 p 时的潜在湿陷率; S_{sw}^p 为含水率 w 的黄土试样在压力 p 时的湿陷变形量 (cm); S_{av}^p 为含水率 w 的黄土试样在压力 p 时的压缩变形量 (cm); S_{ab}^p 为黄土试样饱和状态时在压力 p 时的压缩变形量 (cm)。

由式(1)可以整理出西安、太原、兰州黄土在不同含水率下压力与潜在湿陷率的关系曲线(图3),及不同压力下初始含水率与潜在湿陷率关系曲线(图4)。从图3可以看出,对应于同一含水率,压力与潜在湿陷率的关系曲线随黄土种类的不同有所差异,表现为西安黄土同一含水率下潜在湿陷率随着压力的增大先上升后降低,在100~200 kPa压力段表现出明显的峰值;太原黄土同一含水率下潜在湿陷率基本上表现为随着压力的增大而降低,潜在湿陷率的最大值在初始的50~100 kPa压力段;兰州黄土同一含水率下潜在湿陷率随压力的变化无明显变化。从图4可以看出,对应于同一压力,含水率愈大相应的潜在湿陷率愈低,说明同一压力下,含水率愈大,压缩变形在总变形中所占的比例愈大。但对于不同的黄土种类来说,潜在湿陷率与初始含水率的关系曲线却各有特点,西安黄土在压力大于100 kPa时,潜在湿陷率在含水率小于150 g/kg前急剧降低,在含水率大于150 g/kg后缓慢下降,总体呈

凹形曲线; 兰州黄土不同压力下潜在湿陷率分布区域狭窄, 随含水率增大在 150 g/kg 前降低较缓, 在 150 g/kg 后降低较快, 呈凸形曲线; 太原黄土潜在湿陷率与初始含水率的关系曲线具有明显的过渡特

性, 压力较大时与西安黄土线形相似呈凹形, 压力较小时与兰州黄土线形相似呈凸形。通过以上的分析表明, 黄土的潜在湿陷率可以较好地反映不同黄土种类的结构特性。

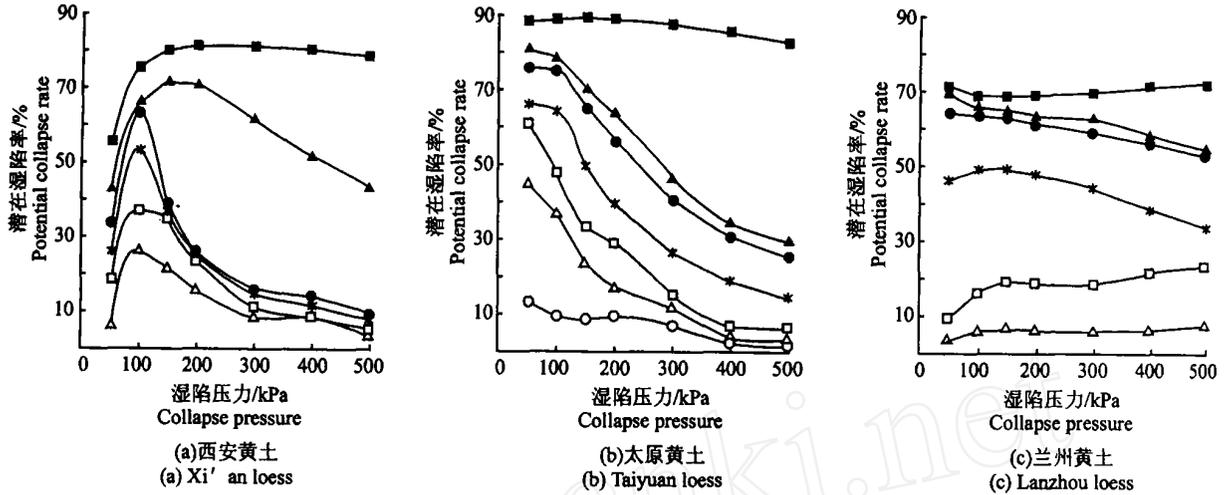


图3 湿陷压力与潜在湿陷率关系曲线

Fig.3 Relation curve between collapse pressure and potential collapse rate

—■—.50 g/kg; —▲—.100 g/kg; —●—.150 g/kg; —*—.200 g/kg; —□—.250 g/kg; —△—.300 g/kg; —○—.350 g/kg

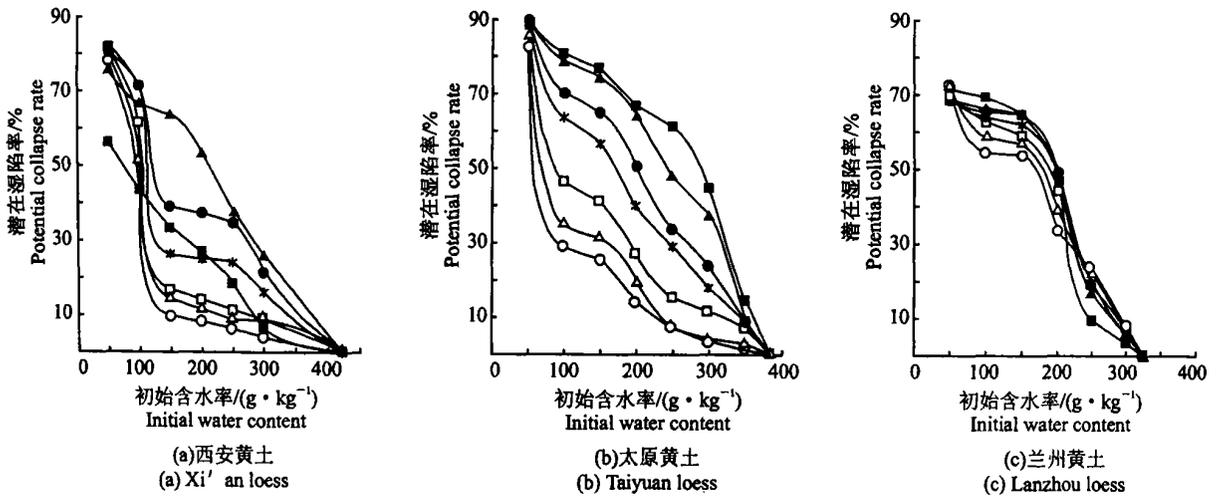


图4 初始含水率与潜在湿陷率关系曲线

Fig.4 Relation curve between initial water content and potential collapse rate

—■—.50 kPa; —▲—.100 kPa; —●—.150 kPa; —*—.200 kPa; —□—.300 kPa; —△—.400 kPa; —○—.500 kPa

从式(1)不难看出, 黄土的湿陷系数和潜在湿陷率之间存在下列关系:

$$\delta_s = \frac{\delta_{sp} \cdot S_{sp}^p}{h_0} \quad (2)$$

式中, δ_s 为黄土的湿陷系数; h_0 为试样的原始高度 (cm), 其他符号意义同前。

因为常规压缩试验中黄土试样的原始高度为定

值 (2 cm), 黄土的湿陷系数实际上取决于所在状态下的潜在湿陷率及饱和压缩变形量的大小。笔者认为同一地区的黄土具有相同或相近的结构特性, 假定潜在湿陷率曲线所反映出的正是这种结构特性, 则这种潜在湿陷率曲线在同一地区的黄土中也应该是相同或相近的, 即用当地有代表性的黄土试样所求出的潜在湿陷率曲线就可以代表当地黄土的结构

特性。黄土饱和压缩变形量的大小主要取决于黄土干密度的大小,干密度愈大黄土可压缩的空间愈小,其饱和压缩变形量也就愈小;反之,干密度愈小,其饱和压缩变形量也就愈大。从本次试验可以看出,西安黄土因其干密度最小,其饱和压缩变形量最大,在较高含水率、较大压力下其湿陷系数并不大,主要是因为此时的潜在湿陷率很小;相反,兰州黄土因其干密度最大,其饱和压缩量最小,但在较大压力下的湿陷系数却并不小,则是因为其一直维持较高潜在湿陷率的缘故。

我国黄土的湿陷系数从资料统计结果上素有西北高东南低之说^[8],结合本次黄土采样地区即兰州黄土的湿陷系数最高,太原黄土次之,西安黄土最低。用本文得到的各地潜在湿陷率曲线结合当地的含水率、干密度分布特征可以很好的回答这一问题。《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25-90)^[2]规定测定黄土湿陷系数的压力,应自基础底面算起,10 m 以内土层应用 200 kPa,10 m 以下至非湿陷性土层顶面,应用其上覆土的饱和自重压力(当大于 300 kPa 时,仍应用 300 kPa)。西安黄土的天然含水率一般为 180~220 g/kg,其干密度通常在 1.5 g/cm³ 左右,从图 3(a)可知,在所给范围内其潜在湿陷率仅为 15%~25%,而所给干密度又远大于试验土样的干密度,其饱和压缩变形量必然远小于试验值,因而通常西安黄土的湿陷系数较小;兰州黄土的天然含水率一般为 100~120 g/kg,其干密度通常在 1.3

g/cm³ 左右,从图 3(c)可知,在所给范围内其潜在湿陷率高达 60%~70%,而所给干密度又小于试验土样的干密度许多,其饱和压缩变形量必然也要大于试验值,因而兰州黄土的湿陷系数通常较大;太原黄土的天然含水率一般在 150~190 g/kg,其干密度通常在 1.38 g/cm³ 左右,从图 3(b)可知,在所给范围内其潜在湿陷率为 27%~66%,其所给统计指标均在西安黄土与兰州黄土之间,因而通常其湿陷系数也处于两地黄土湿陷系数的统计值之间,即比兰州黄土的湿陷系数小,比西安黄土的湿陷系数大。

3 结 论

1) 不同地区黄土的干密度大小对黄土湿陷系数的影响与含水率大小对黄土结构强度的削弱程度密切相关。不同地区黄土湿陷变形特性的差异可以用黄土的结构性加以解释。

2) 黄土的湿陷特性为一动态的过程,表现为在同一压力下初始含水率愈低,相应的湿陷系数愈大;初始含水率愈接近饱和含水率,相应的湿陷系数也愈低。在同一含水率下,压力对湿陷特性的影响因该含水率对黄土结构的削弱程度的不同而不同。

3) 相对于不同地区的黄土,初始含水率对湿陷系数的影响因该黄土结构性强弱而有所不同,本研究所定义的黄土的潜在湿陷率可以较好地反映不同黄土种类的结构特性,并可用于对黄土湿陷性的分析。

[参考文献]

- [1] 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
- [2] GBJ 25-90 湿陷性黄土地区建筑规范[S]. 北京:中国计划出版社,1991.
- [3] 余雄飞 原状黄土的增湿结构弱化性对静动荷载下变形强度特性的影响[D]. 西安:陕西机械学院,1986
- [4] 张苏民,郑建国 湿陷性黄土(Q₃)的增湿变形特征[J]. 岩土工程学报,1990,12(4): 21-31.
- [5] 巫志辉,谢定义,方彦,等 湿型原状黄土的震陷特性[A]. 汪闻韶 第三届全国土动力学学术会议论文集[C]. 上海:同济大学出版社,1990 285-290
- [6] 张苏民,张焯 减湿和增湿时黄土的湿陷性[J]. 岩土工程学报,1992,14(1): 57-61.
- [7] 刘祖典 黄土力学与工程[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [8] 钱鸿缙,王继堂,罗宇生,等 湿陷性黄土地基[M]. 北京:中国建筑出版社,1985

Regional collapse characteristics of intact loess and its rate of potential collapse

LUO Ya-sheng^{1,2}, XIE Ding-yi², XING Yi-chuan¹

(1 Institute of civil engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this paper, collapse characteristics of intact loess from three typical loess areas under different moisture condition are studied, and the principles of loess collapsibility influenced by water content, dry density as well as pressure and behaviors of these in different loess are approached respectively. Base on the collapsibility difference existing in different loess area, a concept of rate of potential collapse is presented, and the test results show that it can be used to analyses the loess collapsibility and reflect the structure characteristics for different kinds of loess preferably.

Key words: intact loess; collapse characteristics; rate of potential collapse

(上接第 84 页)

Artificial neural network model of rainfall-runoff forecasting for rain gage unevenly distributed watersheds

WANG Shuang-yin, FENG Guo-zhang, SONG Song-bai

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper presents the possibility of using artificial neural network model to forecast runoff for rain gage unevenly distributed watersheds. Case study shows that the BP network model is significantly efficient for forecasting for rain gage unevenly distributed watersheds by using the total rainfall and the previous affected rainfall as model input, and net rainfall for runoff as model output. The forecasting relative error of the BP network model has an average value 9.2% lower than that of runoff yield at natural storage model. It is shown that artificial neural network model might be used to forecast or predict stream flow when the rainfall observation exhibits systematic errors.

Key words: rainfall-runoff forecasting; artificial neural network model; error control criteria; rain gage; watershed