

文章编号: 1000-7598-(2012)07-1993-07

基于强度条件的黄土结构性静力试验研究

田堪良^{1,2}, 张慧莉³, 马 俊⁴

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3.西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 4.中国石油天然气股份有限公司西气东输管道分公司, 上海 200122)

摘 要: 土体的结构是其强度、变形的内在决定因素, 黄土的结构性由黄土颗粒之间的联结结构强度和摩擦结构强度所决定。由此, 提出了基于强度条件的黄土静力结构性参数即联结结构静力强度势参数 m_{e1} 、摩擦结构静力强度势参数 m_{e2} 以及结构静力强度势参数 m_e , 并通过黄土的三轴试验研究了原状黄土和人工水泥结构性黄土的结构性及基于强度条件的黄土静力结构性参数的变化规律, 揭示了含水率、围压、轴向变形对原状黄土和水泥人工结构性黄土结构性的影响。结果表明, 原状黄土的含水率越小, 其结构性越强, 结构破坏后土体强度损失越大; 黄土结构的损伤破坏主要发生在小应变阶段。并对所提出的基于强度条件的黄土静力结构性参数的合理性进行了讨论。

关 键 词: 黄土; 结构性; 联结结构静力强度势参数; 摩擦结构静力强度势参数; 结构静力强度势参数; 试验研究
中图分类号: TU 411 **文献标识码:** A

Test study of loess structure based on static strength conditions

TIAN Kan-liang^{1,2}, ZHANG Hui-li³, MA Jun⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
4. West to East Gas Pipeline Corporation of CNPC, Shanghai 200122, China)

Abstract: Soil structure is the intrinsic determinants of its strength and deformation. Loess structure is determined by the link structural strength and the friction structural strength. Based on this, some new and reasonable structural parameters of loess are suggested based on soil static strength, such as the link structural static strength potential parameters m_{e1} , the friction structural static strength potential parameters m_{e2} and the structural static strength potential parameters m_e . The variation of the structure and the structural parameters based on the static strength conditions are studied with the triaxial compression tests of intact loess and artificial cement structural loess; and the impacts of moisture content, confining pressure and axial deformation on the structure of intact loess and artificial cement structural loess are revealed. The results show that the water content of loess is smaller; its structure is stronger; and the greater loss of soil mass strength will occur after the structural damage. Loess structure damage mainly occurs in the small strain stage. Finally, the rationality of these structural parameters based on the static strength conditions are discussed.

Key words: loess; structure; link structural static strength potential parameters; friction structural static strength potential parameters; structural static strength potential parameters; test study

1 引 言

土体的结构是其强度、变形的内在决定因素。土的结构性对其工程性质的重要性已成为共识, 沈珠江^[1]认为, 土结构性的研究是“21 世纪土力学的核心问题”。黄土是一种典型的结构性土, 其独特的结构性是其发生脆性破坏、湿陷的重要原因。为了

探究黄土结构性对其力学特性的影响, 许多学者也做了大量工作, 高国瑞^[2-4]研究指出, 黄土中存在架空大孔隙是黄土具有湿陷性的内在原因。苗天德^[5]、王兰民^[6]和陈正汉^[7]等采用电子显微镜、数字扫描电镜和 CT 成像技术对黄土的微观结构变化和力学宏观表现进行了研究。近年来, 许多研究者采用土力学的方法研究黄土的结构性, 取得了丰硕的成果。

收稿日期: 2011-04-12

第一作者简介: 田堪良, 男, 1968 年生, 博士, 副教授, 主要从事岩土力学与防灾减灾工程方面的科研和生产工作。E-mail: tiankanliang@163.com

谢定义等^[8-10]研究者先后提出了反映黄土结构性的量化参数,并将其引入土的变形本构关系和强度本构关系,使结构性土的研究具有了新的特色。邵生俊等^[11-12]通过三轴试验,由原状土、重塑土和饱和土的主应力差比值提出了另一种结构性参数,并将结构性参数引入到原状黄土应力-应变关系分析中,建立了非饱和湿陷性黄土的本构模型。陈存礼等^[13]根据同压力下原状、重塑及饱和黄土的孔隙比定义了一个结构性定量参数,并通过试验研究了原状黄土的结构性随压力及含水率变化的规律性。骆亚生等^[14-15]基于三轴试验提出了反映黄土结构性的应变综合结构势参数,建立了对应于复杂应力条件的土结构性本构模型。

笔者在文献[16]中提出黄土颗粒之间的力由两种力组成,一种是联结力,属于短程力,包括土颗粒之间化学胶结力、分子引力以及吸力,这些力形成了黄土的联结结构强度;另一种力是摩擦力,属于远程力,是土体受力时土颗粒之间的联结力被克服后有相互错动、移位、重新排列的运动或趋势时才产生的阻止土体变形的力,包括颗粒之间的摩擦力、咬合力,这种力形成了黄土的摩擦结构强度,黄土的结构强度就是由联结结构强度和摩擦结构强度组成的。并提出了黄土联结结构强度、摩擦结构强度、压密强度以及压密变形的量化概念。本文将在在此基础上从强度的角度定量分析黄土的结构性,提出定量描述黄土结构性的基于强度条件的黄土静力结构性参数,通过三轴试验研究黄土的结构性及其变化规律。

2 基于强度条件的黄土静力结构性参数

黄土的结构性强弱可以通过结构破坏、弱化后强度变化的大小反映出来,因此,可通过原状黄土、重塑黄土及饱和重塑黄土静三轴试验得出的强度差异来分析原状黄土的结构性。

图1为原状黄土、重塑黄土和饱和重塑黄土静三轴试验应力-应变曲线, q_0 、 q_r 及 q_s 分别为某一应变 ε 时原状黄土、重塑黄土和饱和重塑黄土的强度值($\sigma_1 - \sigma_3$)。相同应变 ε 时,原状黄土的强度值 q_0 最大,饱和重塑黄土的强度值 q_s 最小。($q_0 -$

q_r)的大小反映了原状黄土的联结结构的强弱,以 $m_{e1} = (q_0 - q_r) / q_s$ 来反映原状黄土联结结构的强弱,称之为黄土的联结结构静力强度势参数。 m_{e1} 越大,表明原状黄土的联结结构性愈强,联结结构被完全扰动破坏后的强度损失越大,因此, m_{e1} 反映了黄土联结结构所蕴藏的结构强度势。

($q_r - q_s$)的大小反映了重塑黄土遇水后结构的弱化和结构强度的损失。可以 $m_{e2} = (q_r - q_s) / q_s$ 来表示重塑黄土摩擦结构性的强弱,称之为黄土的摩擦结构静力强度势参数。 m_{e2} 越大,表明重塑黄土的摩擦结构性愈强,摩擦结构遇水弱化后强度损失越大,因此, m_{e2} 反映了黄土摩擦结构所蕴藏的静力强度势。

黄土所蕴藏的联结结构势和摩擦结构势之和即为黄土所蕴藏的总的结构势,可以用黄土的联结结构静力强度势和摩擦结构静力强度势之和即 $m_e = m_{e1} + m_{e2}$ 来反映黄土所蕴藏的总的结构强度势,称之为黄土的结构静力强度势参数。 m_e 既包含了黄土的联结结构静力强度势,又包含了黄土的摩擦结构静力强度势,综合反映了黄土结构性的强弱,可作为一个定量描述黄土结构性的参数。

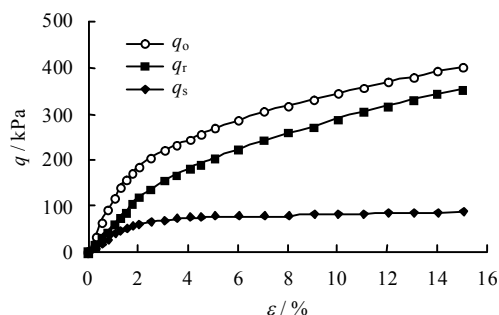


图1 原状黄土、重塑黄土和饱和重塑三轴试验应力-应变曲线

Fig.1 Stress-strain curves of intact loess, remolded loess and saturated remolded loess

3 试验土样与试验方法

试验所用黄土土样均取自陕西杨凌的渭河Ⅱ级阶地,取土深度为3.5~4.0 m,属于Q₃黄土。试验土样的物理性质指标见表1。

表1 土样的物理性质指标
Table 1 Indices of physical properties of soil samples

土粒相对密度	含水率 /%	干密度 /(g/cm ³)	孔隙比	天然饱和度 /%	液限 /%	塑限 /%	塑性指数	不同粒径(mm)颗粒组成/%		
								>0.05	0.05~0.005	<0.005
2.71	17.8	1.26	1.151	42.5	28.7	17.5	11.2	16.5	62.8	20.7

试样分为原状试样、重塑试样和水泥结构性试样，重塑试样和水泥结构性试样分为3种干密度：1.26、1.4、1.5 g/cm³，采用分层压样法制备，对应的饱和含水率分别为42.5%、34.5%、29.8%，用水膜转移法或风干法按要求调节试样的含水率，饱和样采用抽气饱和的方法进行饱和。

试验采用固结不排水（测孔隙压力CU），剪切速率为每分钟应变为0.3%。

4 基于强度条件的黄土结构性分析

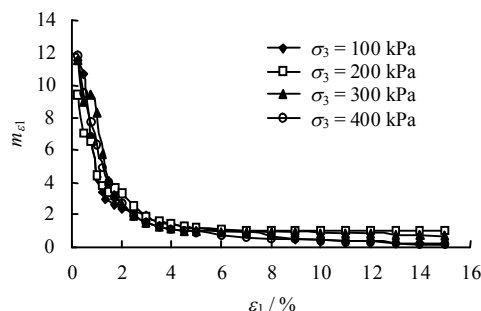
4.1 黄土联结结构静力强度势分析

图2所示分别为不同含水率 ω 的原状黄土和水泥人工结构性黄土的联结结构静力强度势参数曲线。从图中可以看出：①随着应变的增大，原状黄土和水泥人工结构性黄土的联结结构静力强度势参数在小应变（ $\varepsilon_1 < 3\%$ ）时快速减小，应变较大时减小速度放缓，最后趋于平稳，表明联结结构在受力初期损伤破坏比较快、比较大，也表明原状黄土和水泥人工结构性黄土的结构损伤破坏主要发生在小应变阶段即应变 $\varepsilon_1 < 3\%$ 的阶段，三轴应力条件下在较小的荷载作用下黄土的联结结构就很容易被损伤破坏；②在同一含水率下不同围压的联结结构静力强度势参数曲线均处在一条较窄的条带范围内即联结结构静力强度势参数数值比较接近，表明联结结构静力强度势参数受围压的影响较小，本文所提出的联结结构静力强度势参数对不同围压有较好的归一性。

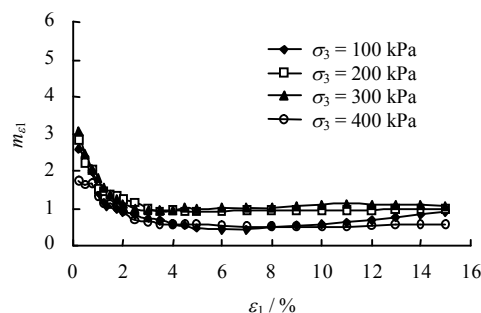
图3所示为原状黄土与人工结构性黄土联结结构静力强度势参数平均值（4个围压的平均值）曲线。由图可以看出：含水率为 $\omega = 17.8\%$ 的不同密度和水泥含量的人工结构性黄土的联结结构静力强度势参数曲线与含水率为 $\omega = 17.8\%$ 及 $\omega = 26\%$ 的原状黄土的联结结构静力强度势参数曲线具有相似的形态，而且人工结构性黄土的联结结构静力强度势参数曲线基本上均处在这两条原状黄土联结结构静力强度势参数曲线之间，这表明采用水泥作为胶结材料模拟原状黄土的联结结构强度是可行的。

表2为不同状态下黄土的联结结构静力强度势参数 m_{ε_1} 的最大值（4个围压的平均值曲线的最大值）。可以看出，不同含水率时原状土的联结结构静力强度势参数存在明显差异，含水率越小，联结结构静力强度势参数越大，表明，含水率是影响黄土联结结构静力强度的主要因素，含水率越小，联结结构性越强；相同含水率条件下，干密度为 $\rho_d = 1.26 \text{ g/cm}^3$ 时，人工结构性黄土的联结结构静力强度势参数 m_{ε_1} 随水泥含量的增加而增大，表明，水泥

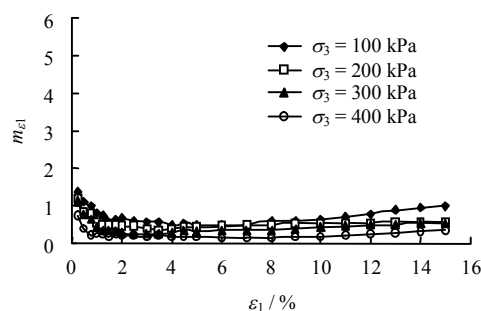
含量越高，土颗粒之间的胶结力越强，黄土的联结结构性越强。



(a) 原状黄土, $\omega = 5\%$



(b) 原状黄土, $\omega = 17.8\%$



(c) 人工结构性黄土(1%水泥), $\omega = 17.8\%$

Fig.2 黄土联结结构静力强度势参数曲线 ($\rho_d = 1.26 \text{ g/cm}^3$)

Fig.2 Curves of link structural static strength potential parameter for loess ($\rho_d = 1.26 \text{ g/cm}^3$)

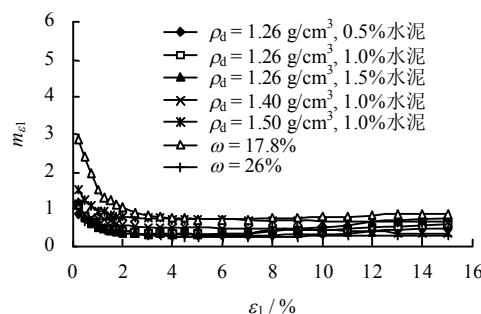


图3 原状黄土与人工结构性黄土联结结构静力强度势参数(平均值)曲线

Fig.3 Curves of link structural static strength potential parameter (averages) for intact loess and artificial structural loess

表 2 黄土联结结构静力强度势参数 m_{e1} 的最大值Table 2 Maximum values of m_{e1}

干密度 /(g/cm ³)	试样状态	不同含水率(%)时 m_{e1} 最大值			
		5	12	17.8	26
1.26	原状	11.10	4.88	2.85	1.19
	0.5%水泥			0.87	
1.26	1.0%水泥			0.96	
	1.5%水泥			1.18	
1.40	1.0%水泥			0.99	
1.50	1.0%水泥			1.52	

4.2 黄土摩擦结构静力强度势分析

图 4 所示分别为不同含水率的原状黄土的摩擦结构静力强度势参数曲线。从图中可以看出：① 当含水率很小 ($\omega=5\%$) 时，随着应变的增大，黄土的摩擦结构静力强度势参数在小应变 ($\varepsilon_1 < 1\%$) 时快速增加，达到峰值后，随着应变的增大又快速减小，当应变 $\varepsilon_1 > 5\%$ 后减小速度放缓、最后趋于平稳。这是由含水率很小时，黄土颗粒之间的摩擦力很大，摩擦强度也很大，在较小的力作用下结构难以被破坏，随着轴力的增大，结构才逐渐损伤破坏，摩擦结构强度才逐渐发挥出来，摩擦结构静力强度势参数 m_{e2} 也逐渐达到最大。随后，摩擦结构的不断损伤破坏，摩擦结构静力强度势参数 m_{e2} 开始减小，并趋于平稳。② 当含水率较大 ($\omega=17.8\%$) 时，摩擦结构静力强度势参数随着应变的增加由小应变时的逐渐减小到趋于平稳，再到后来略有增大。这表明当含水率较大时，黄土的摩擦结构强度较小，在小应变（轴向力较小）时，摩擦结构损伤破坏快速较大，摩擦结构静力强度势参数随着应变的增加减小较快，随着颗粒的相互错动、重新排列，形成了新的相对更加稳定的摩擦结构，摩擦结构的损伤破坏速度放缓，摩擦结构静力强度势参数趋于平稳，但随着应变的增大，轴向力也不断增大，新的摩擦结构又被逐渐损伤破坏，破坏速度也略有增加，所以，摩擦结构静力强度势参数又随应变的增大逐渐略有增大。③ 同一含水率下不同围压的摩擦结构静力强度势参数曲线同样均处在一较窄的条带范围内即摩擦结构静力强度势参数数值比较接近，表明摩擦结构静力强度势参数受围压的影响较小，本文所提出的摩擦结构静力强度势参数对不同围压有较好的归一性。

图 5 为不同含水率的重塑黄土的摩擦结构静力强度势参数平均值（4 个围压的平均值）曲线。可以看出：不同含水率时重塑黄土的摩擦结构静力强度势参数存在明显差异，含水率越小，摩擦结构静

力强度势参数越大；摩擦结构静力强度势参数在小应变时差值较大，随着应变的增加差值减小，且趋于平稳。这表明，含水率同样也是影响黄土摩擦结构强度的主要因素，含水率越小，摩擦结构强度越大，摩擦结构性越强。

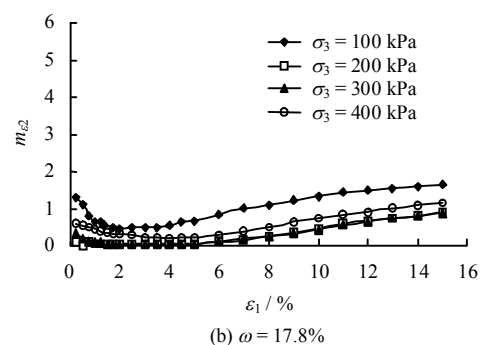
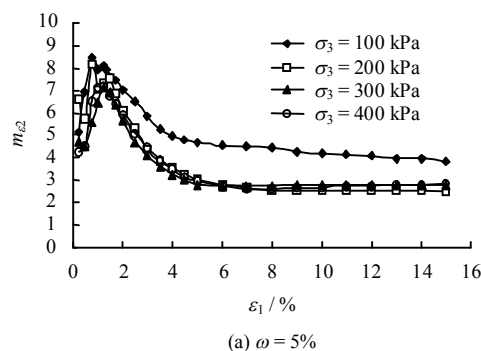


图 4 重塑黄土摩擦结构静力强度势参数曲线
($\rho_d=1.26 \text{ g/cm}^3$)

Fig.4 Curves of friction structural static strength potential parameter for remolded loess ($\rho_d=1.26 \text{ g/cm}^3$)

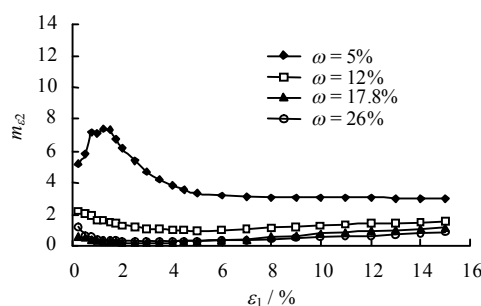


图 5 不同含水率重塑黄土摩擦结构静力强度势参数
平均值曲线 ($\rho_d=1.26 \text{ g/cm}^3$)

Fig.5 Curves of friction structural static strength potential parameter for remolded loess under different water contents ($\rho_d=1.26 \text{ g/cm}^3$)

4.3 黄土结构静力强度势分析

图 6(a)、6(b)分别为不同含水率条件下的原状黄土结构静力强度势参数曲线。从图中可以看出：①随着应变的增大，原状黄土的结构静力强度势参数在小应变 ($\varepsilon_1 < 4\%$) 时快速减小，应变较大时减

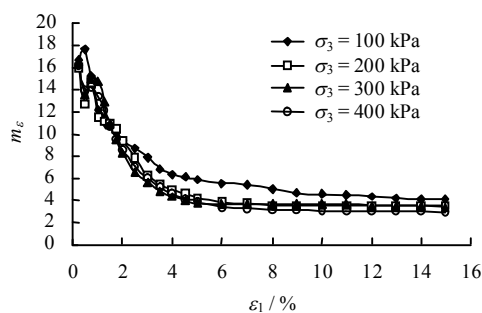
小速度放缓,最后趋于平稳。这表明:黄土结构的损伤破坏主要发生在小应变阶段,结构损伤破坏的速度随着应变的增加逐渐减缓,结构性逐渐减弱。

②同一含水率、不同围压下原状黄土结构静力强度势参数曲线同样均处在一条较窄的条带范围内即结构静力强度势参数数值比较接近,表明结构静力强度势参数受围压的影响较小,本文所提出的结构静力强度势参数对不同围压有较好的归一性,显示出较好的稳定性。

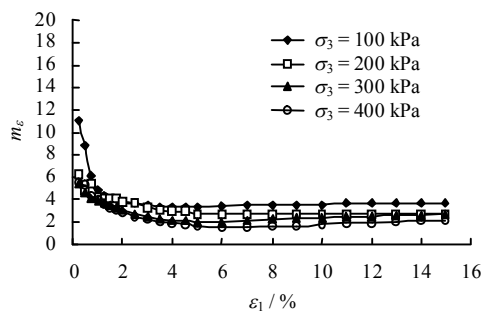
图 6(c)为水泥人工结构性黄土的结构静力强度势参数曲线。可以看出:随着应变的增大,结构静力强度势参数 m_e 在小应变 ($\varepsilon_1 < 2\%$) 时快速减小,应变较大时减小速度放缓,最后略有增加,这种后期略有增大的趋势也是由于摩擦结构静力强度势参

数的变化趋势所引起的。②不同周围压力下人工结构性黄土的结构静力强度势参数曲线同样均处在一条较窄的条带范围内(除 $\sigma_3 = 100$ kPa 的结构静力强度势参数曲线稍高外)即结构静力强度势参数数值比较接近。表明水泥人工结构性黄土的结构静力强度势参数对不同围压有较好的归一性,同样显示出较好的稳定性。

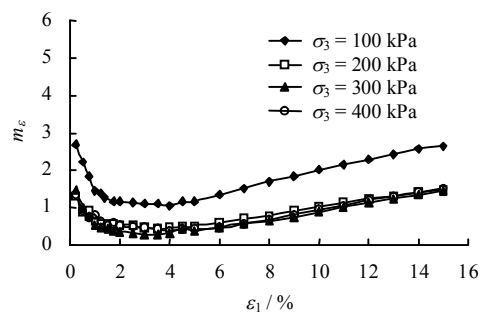
图 7 为原状黄土与人工结构性黄土的结构静力强度势参数平均值(4 个围压的平均值)曲线。可以看出:含水率为 $\omega = 17.8\%$ 的不同密度和水泥含量的人工结构性黄土的结构静力强度势参数曲线与含水率为 $\omega = 17.8\%$ 及 $\omega = 26\%$ 的原状黄土的结构静力强度势参数曲线具有相似的形态,而且两个含水率条件的原状黄土的结构静力强度势参数曲线处在人工结构性黄土的结构静力强度势参数曲线所在的条带内,表明采用水泥作为胶结材料模拟原状黄土的结构性是可行的。



(a) 原状黄土, $\omega = 5\%$



(b) 原状黄土, $\omega = 17.8\%$



(c) 人工结构性黄土(1%水泥), $\omega = 17.8\%$

图 6 黄土结构静力强度势参数曲线 ($\rho_d = 1.26 \text{ g/cm}^3$)

Fig.6 Curves of structural static strength potential parameter for loess ($\rho_d = 1.26 \text{ g/cm}^3$)

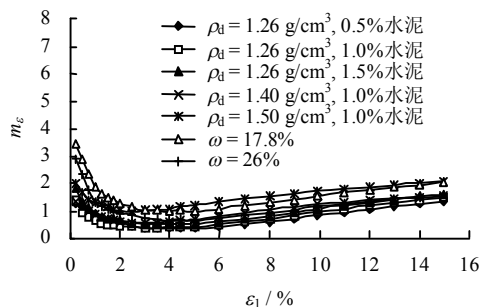


图 7 原状黄土与人工结构性黄土 ($\omega = 17.8\%$) 结构静力强度势参数平均值曲线

Fig.7 Curves of structural static strength potential parameter (average) for intact loess and artificial structural loess ($\omega = 17.8\%$)

表 3 为不同状态下黄土的结构静力强度势参数 m_e 的最大值(4 个围压的平均值曲线的峰值)。从表中可以看出:①含水率是影响黄土结构强度的主要因素,含水率越小,结构强度越大,结构性越强。②相同含水率条件下,干密度为 $\rho_d = 1.26 \text{ g/cm}^3$ 时,人工结构性黄土的结构静力强度势参数 m_e 随着水泥含量的增加而增大,表明水泥含量越高,土颗粒之间的胶结力越强,土的结构性越强,结构静力强度势参数 m_e 的值就越大。

不同围压下某一应变时的黄土的结构静力强度势参数能够准确反映该状态下结构损伤破坏后结构强度的损失变化趋势;某一状态下黄土的结构静力强度势参数的最大值能够代表黄土结构性的强弱, m_e 值越大,表明黄土的结构性越强。

表3 黄土结构静力强度势参数 m_e 的最大值
Table 3 Maximum values of m_e

干密度 /(g/cm ³)	试样状态	不同含水率(%)时 m_e 最大值			
		5	12	17.8	26
1.26	原状	16.30	7.07	3.44	2.90
	0.5%水泥			1.26	
1.26	1.0%水泥			1.38	
	1.5%水泥			1.83	
1.4	1.0%水泥			1.55	
1.5	1.0%水泥			2.09	

5 基于强度条件的黄土静力结构性参数的讨论

基于强度条件的黄土结构性参数是通过黄土结构损伤破坏后土体强度损失的大小来反映黄土结构性强弱的。在力的作用下或在力与水的共同作用下,黄土的结构会被损伤破坏、弱化,土体的强度就会损失(减小),这部分损失或减小的强度就是联结结构强度和摩擦结构强度。由于土体的强度、结构强度均与土体的应力状态有关,主要受围压的影响,因此,为了准确反映黄土结构性强弱,基于强度条件的黄土结构性参数均采用相同压力状态下饱和重塑黄土的强度(压密强度)作为标尺来衡量黄土结构损伤破坏、弱化后土体强度损失的大小,即通过黄土的联结结构静力强度势参数 m_{e1} 来反映黄土联结结构性的强弱、通过黄土的摩擦结构静力强度势参数 m_{e2} 来反映黄土摩擦结构性的强弱、通过黄土的结构静力强度势参数 m_e 来综合反映黄土结构性的强弱。饱和重塑黄土的强度最小、最稳定,正是由于采用了饱和重塑黄土的强度(压密强度)作为标尺,才使得相同状态的黄土在不同围压下所得到的基于强度条件的黄土结构性参数具有较好一致性、稳定性。

6 结 论

(1) 原状黄土的含水率越小,黄土颗粒之间的联结力和摩擦力均越大,联结结构静力强度势参数 m_{e1} 、摩擦结构静力强度势参数 m_{e2} 以及结构静力强度势参数 m_e 均越大,其结构性越强;结构性越强,结构破坏后土体强度损失越大,反之,越小。

(2) 黄土结构的损伤破坏主要发生在小应变阶段,随着应变的增加结构损伤破坏的速度逐渐放缓,因此,结构性参数开始减小较快,最后逐渐趋于平稳或略有增大。

(3) 人工结构性黄土的结构静力强度势参数 m_e 随着水泥含量的增加而增大,表明水泥含量越高,

土颗粒之间的胶结力越强,土的结构性越强,结构静力强度势参数 m_e 的值就越大。

(4) 采用水泥作为胶结材料,通过调节人工结构性黄土的水泥含量和含水率来模拟原状黄土的结构性是可行的。

(5) 基于强度条件的黄土结构性参数对不同围压有较好的归一性,显示出较好的稳定性。

参 考 文 献

- [1] 沈珠江. 土体结构性的数学模型——21 世纪土力学的核心问题[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 95—97.
- [2] GAO Guo-rui. Classification of microstructures of loess in China and their collapsibility[J]. *Science in China, Ser. A*, 1981, (7): 962—974.
- [3] 高国瑞. 中国黄土微结构[J]. 科学通报, 1980, (20): 945—948.
- [4] 高国瑞. 黄土显微结构分类与湿陷性[J]. 中国科学 A 辑, 1980, (12): 1203—1208.
- [5] 苗天德, 王正贵. 考虑微结构失稳的湿陷性和黄土变形机理[J]. 中国科学(B 辑), 1990, (1): 86—89.
- [6] 王兰民, 邓津, 黄媛. 黄土震陷性的微观结构量化分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增刊 1): 3025—3031.
- WANG Lan-min, DENG Jin, HUANG Yuan. Quantitative analysis of microstructure of loess seismic subsidence[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2007, 26(Supp. 1): 3025—3031.
- [7] 陈正汉, 方祥位, 朱元青, 等. 膨胀土和黄土的细观结构及其演化规律研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(1): 1—11.
- CHEN Zheng-han, FANG Xiang-wei, ZHU Yuan-qing, et al. Research on meso-structures and their evolution laws of expansive soil and loess[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2009, 30(1): 1—11.
- [8] 谢定义, 齐吉琳, 张振中. 考虑土结构性的本构关系[J]. 土木工程学报, 2000, 33(4): 35—41.
- XIE Ding-yi, QI Ji-lin, ZHANG Zhen-zhong. Constitutive relationship considering soil structure[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2000, 33(4): 35—41.
- [9] 谢定义, 齐吉琳, 朱元林. 土的结构性参数及其与变形强度的关系[J]. 水利学报, 1999, 30(10): 1—6.
- XIE Ding-yi, QI Ji-lin, ZHU Yuan-lin. The parameter of soil structure and the relationship of it with deformation and strength of soil[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1999, 30(10): 1—6.
- [10] 谢定义, 齐吉琳. 土结构性及其量化参数研究的新

- 途径[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6): 651—656.
- XIE Ding-yi, QI Ji-lin. New path of research on soil structure and its quantitative parameter[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 1999, 21(6): 651—656.
- [11] 邵生俊, 周飞飞, 龙吉勇. 原状黄土结构性及其量化参数研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(4): 531—636.
- SHAO Sheng-jun, ZHOU Fei-fei, LONG Ji-yong. Structural properties of loess and its quantitative parameter[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2004, 26(4): 531—636.
- [12] 邵生俊, 龙吉勇, 于清高, 等. 湿陷性黄土的结构性参数本构模型[J]. 水利学报, 2006, 37(11): 1315—1322.
- SHAO Sheng-jun, LONG Ji-yong, YU Qing-gao, et al. A constitutive model of collapsible loess with structural parameter[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2006, 37(11): 1315—1322.
- [13] 陈存礼, 胡再强, 高鹏. 原状黄土的结构性及其与变形特性关系研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(11): 1891—1896.
- CHEN Cun-li, HU Zai-qiang, GAO Peng. Research on relationship between structure and deformation property of intact loess[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2006, 27(11): 1891—1896.
- [14] 骆亚生, 谢定义, 邵生俊, 等. 复杂应力状态下的土结构性参数[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(24): 4248—4251.
- LUO Ya-sheng, XIE Ding-yi, SHAO Sheng-jun, et al. Structural parameter of soil under complex stress conditions[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(24): 4248—4251.
- [15] 骆亚生, 谢定义. 复杂应力条件下土的结构性本构关系[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2005, 37(5): 14—18.
- LUO Ya-sheng, XIE Ding-yi. Structural constitutive relation of soils under complex stress conditions[J]. **Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)**, 2005, 37(5): 14—18.
- [16] 田堪良. 黄土的结构性及其结构性本构关系研究[D]. 南京: 河海大学, 2009.

第3届全国工程安全与防护学术会议(第2号通知)

(2012年11月16—20日, 武汉)

主办单位: 中国岩石力学与工程学会工程安全与防护分会

承办单位: 武汉理工大学

协办单位: 中科院武汉岩土力学研究所 武汉大学 华中科技大学 中国地质大学(武汉) 广州军区空军建设局 武汉市市政建设集团有限公司 三峡大学 中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会 湖北省岩石力学与工程学会 《岩土力学》编辑部

会议专题: (1) 工程安全与防护中的新理论、新方法和新进展; (2) 冲击爆炸作用下岩土工程防灾减灾; (3) 地震作用下岩土工程的安全与防护; (4) 深部地下工程的灾害预测与防控技术; (5) 地下工程安全风险管理与控制技术; (6) 地下工程新材料、新结构、新技术; (7) 地下工程兼顾人防设防技术与规划; (8) 核电工程中的安全与防护; (9) 重大岩土工程中的安全检测、监测、监控与加固技术; (10) 其他与工程安全与防护相关的研究。

会议论文与出版: 论文稿件经会议学术委员会审查通过后, 2012年6月20日发论文正式录用通知, 2012年7月10日论文修改稿截止, 优秀论文将以《岩土力学》正刊和增刊形式公开出版, 其余论文经评审合格刊登在《武汉理工大学学报》正刊和增刊上。本次学术会议仍对优秀论文进行评奖。

会议内容: 工程安全与防护分会理事会会议; 工程安全与防护学术交流。

会议重要日程: 2012年9月20日会议发报到通知; 2012年11月16日代表报到, 晚上召开分会理事会会议; 2012年11月17—18日大会学术报告; 2012年11月19—20日会后考察。

会议秘书处:

联系人一: 王德荣(13305172907)、邵明姬(18905157151) 电话/传真: 025-80822026

E-mail: aqfhfh@163.com 地址: 南京市海福巷1号解放军理工大学结构爆炸实验研究中心

联系人二: 黄理兴(13907148025)、潘玲(13807135421) 电话/传真: 027-87677266

E-mail: gcaqyfh@whut.edu.cn, lxhuang@whrsm.ac.cn 地址: 武汉市洪山区珞狮路122号武汉理工大学