

基于数字图像测量技术的粉状煤系土 微观结构分形特性分析

韩博¹, 鲁光银², 郭友军², 夏雨波¹, 裴艳东¹, 郭旭¹

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘要:以武深高速广东段沿线的粉状煤系土为研究对象,利用环境扫描电镜技术(ESEM)获得了不同含水率直剪试验后粉状煤系土剪切面的微观结构SEM图像;结合MATLAB及Image Pro Plus(IPP)软件,对剪切面微观结构特征进行了分析;基于分形理论,建立了煤系土的分形模型,求出了二维空间内煤系土孔隙轮廓分维数、孔隙数量~孔径分布分维数。结果表明:煤系土微观结构多为片状颗粒集合体,接触关系主要为面-面接触和面-边接触;随着含水率的增加,剪切面粗糙度先增加后减小,力学强度参数先增大后减小,转折点在最优含水率附近(10%~15%之间);煤系土微观结构具有明显的分形特征,可用孔隙等效面积-等效周长分形模型、孔隙数量~孔径分布分形模型描述,其分维数介于1~2。

关键词:粉状煤系土;微观结构;数字图像测量技术;分形;分维数

中图分类号: TU42

文献标志码: A

文章编号: 1672-4135(2019)02-0109-08

在我国南方山区或丘陵地带进行工程建设时,经常会遇到煤系土。煤系土一般呈灰黑色,具有天然含水率低、黏结能力差、遇水膨胀软化结构易破坏等特点,煤系土作为路基土或路堑边坡材料是一种很差的工程材料。目前,国外对煤系土的研究比较少,主要集中在煤层的开采领域^[1-4]。国内主要集中在煤系土的物理力学特性试验研究以及数值模拟方面^[5-9]。

相关研究表明,土体的力学性质与微观结构密切相关^[10-15],所以从微观角度来研究,将更能从本质上来揭示煤系土的力学性质。国内外主要是针对黄土等其他非饱和土的微观结构开展了相应的定性研究,鲜有煤系土微观结构的相关报道。

20世纪90年代以来,随着扫描电子显微镜技术、数字图像测量技术的快速发展,为煤系土微观结构的定量分析提供了有力的工具^[16-18]。分形理论的发展为土体微观结构的定量研究提供了新的思路^[19-29]。

本文以武深高速公路广东段沿线的煤系土为研究对象,在不同含水率(10%、15%、20%和25%)条件下进行直剪试验后,利用环境扫描电子显微镜技术(ESEM)获取了粉状煤系土的微观结构SEM图像,

分析了粉状煤系土微观结构颗粒及孔隙特征,利用MATLAB模拟了剪切面的三维结构;结合数字图像处理软件Image-pro-plus(IPP),测得粉状煤系土的颗粒和孔隙的大小、形状、分布等微观结构参数特征;基于分形理论,建立了煤系土的分形模型,分析了煤系土颗粒分布分维数、孔隙分布分维数和孔隙度的关系。

1 试样制备与图像获取

1.1 制作试样

为了揭露煤系土微观结构与宏观力学性能的关系,本次试验采取广东地区的扰动煤系土。对所取的煤系土选择2份样品,进行了颗分试验,试验结果如图1所示。

利用环刀制作直径61.8 mm、干密度为1.80 g/cm³的重塑煤系土样,首先进行不同含水率下(5%、10%、15%、20%、25%)的直剪试验,获得不同含水率下煤系土的抗剪强度参数,然后取剪切面的样品进行微观结构分析。通过室内土工试验和剪切试验,获得的煤系土样物理力学参数如表1所示。

微观结构观测样品制备的关键在于使拍摄的照

收稿日期:2019-04-14

资助项目:中国地质调查局地质调查项目“雄安新区水土质量与工程地质调查评价(DD20189122)”

作者简介:韩博(1984-),男,博士,工程师,主要从事水文地质、工程地质、环境地质方面的调查与研究, E-mail: han-bo1984@126.com。

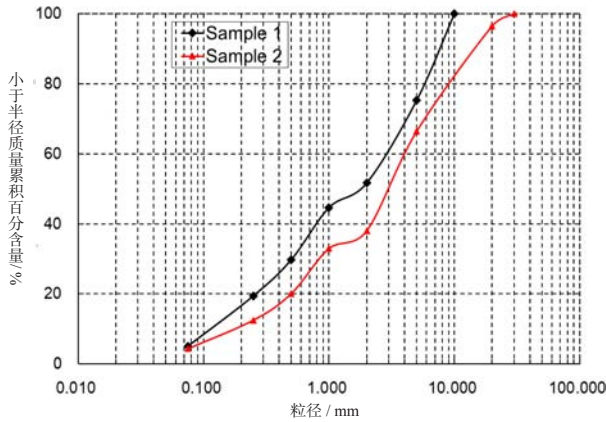


图1 粉状煤系土的颗粒级配曲线

Fig.1 Particle gradation curves of powdery coal-bearing soil

表1 不同含水率下煤系土的物理力学参数表

Tab.1 Physical and mechanical parameters of coal-bearing soil under different water content

样品	干密度/(g/cm ³)	含水率 / %	黏聚力 / kPa	内摩擦角/°
1	1.80	5	28	33
2		10	32	35
3		15	30	30
4		20	12	25
5		25	8	18

片能清晰准确反映样品的真实面貌,也就是土样的制作过程不应破坏土样的结构。常用的干燥方法有风干、冻干、置换干燥和再结晶干燥法。风干法是一种最为简单和经济的干燥方法,它不需任何设备和仪器,也不需要置换液,只需将试样放在室温下进行干燥即可。因此,本文选择风干法制作样品。

将剪切试验后的试样保持剪切断面向上,选择1 cm×1 cm大小的剪切面切出样品,放在样品板上,并对其进行编号,待风干后观测。由于含水率为5%的样品含水太少,切样时易散开,所以只制作出含水率10%、15%、20%、25%的4个样品。

1.2 微观结构图像获取

风干后的样品干燥,导电性差,为了保证样品能够在环境扫描电子显微镜(ESEM)高真空度的电镜室内顺利的进行观察和拍照,以防拍摄过程中电子束轰击试样激起表面粉尘,引起放电现象,污染物镜,在上电镜之前,应先将样品放进真空蒸发镀膜仪进行镀金膜,使金粉均匀附在样品表面,镀金膜厚度为20~30 nm^[16,28]。

将喷金处理后的4个样品放入Quanta-200型环境扫描电镜的电镜室进行观察,每个试样分别拍摄了不同放大倍数的ESEM图

片,如图2所示。拍摄时为了保证所得图像的清晰度,应先在较高放大倍数下找到典型的结构单元体,再逐步降低放大倍数拍摄。

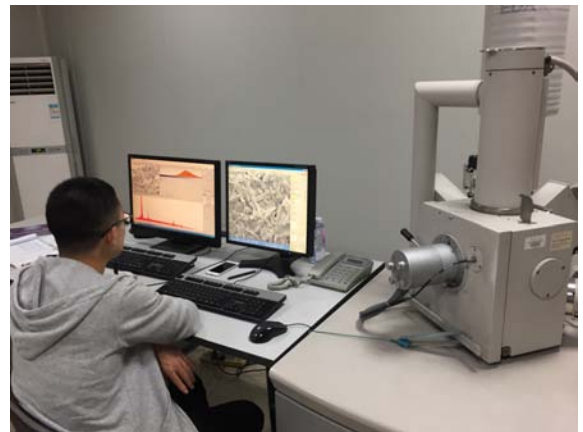


图2 环境扫描电镜

Fig.2 Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM)

2 粉状煤系土结构特征分析

2.1 粉状煤系土的矿物组成及化学成分

为了定量化分析粉状煤系土的矿物组成和化学成分,分别对土样进行了X射线衍射测试与化学全量测试,结果如表2和表3所示。由表2可知,X射线衍射测试粉状煤系土中矿物成分主要为黏土矿物,约占60%,其次为石英、钾长石和方解石,分别约占20%、10%和10%。黏土矿物主要为高岭石和绿泥石,分别占约35%、15%;其次为伊利石和蒙脱石,各约占5%、5%。由表3可知,粉状煤系土的化学成分主要为SiO₂、Al₂O₃、CaO、K₂O和烧失量(包括碳、硫、灰分及有机物等)。

2.2 粉状煤系土的微观结构特征分析

本文利用环境扫描电子显微镜所得不同含水率(10%、15%、20%、25%)下煤系土样剪切面放大1 000倍和5 000倍的微观结构扫描图像,如图3所示。从

表2 粉状煤系土矿物成分X衍射定量统计

Tab.2 The X-ray diffraction quantitative statistical table of mineral composition in powdery coal-bearing soil

样品	粒状矿物总含量 / %				黏土矿物总含量 / %			
	石英	钾长石	方解石	高岭石	绿泥石	伊利石	蒙脱石	
煤系土	20	10	10	35	15	5	5	

表3 粉状煤系土的化学成分

Tab.3 Chemical compositions of powdery coal-bearing soil

样品	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TFe ₂ O ₃	MgO	MnO	烧失量
粉状煤系土	35.450	15.820	15.332	18.040	0.023	1.530	0.580	0.005	13.220

图3中可以看出,粉状煤系土的微观颗粒呈片状结构,颗粒结构不明显,多是颗粒集合体,直径小至约1 μm,大到约200 μm;接触关系主要是面-面、面-边接触,若用于分析具体的粒径级配等参数显得不够精确。总的来说,颗粒集合体并无明显定向排列,形状不规则。孔隙多是颗粒集合体之间的大孔隙,孔隙直径可以小至约0.29 μm,大至约300 μm;孔隙形状偏于长圆柱形和缝隙状,等轴程度较低,大多呈长轴状,孔隙排列无明显定向性。随着含水率的增加,针状晶簇逐渐增多,经成分分析可知,针状晶簇为碳酸钙晶体。

为了能够更形象地表达剪切面的三维微观孔隙结构特征,展示不同含水率与剪切面起伏度以及力学性质之间的关系,利用Matlab对各煤系土样品(1 000倍)剪切面的微观结构进行了三维模拟,其三维模拟结果如图4所示,其较逼真地显示了不同含水率煤系土剪切断面的微观结构特征,定性地展现了不同含水率与剪切面起伏度以及力学强度之间的关系。

从图4中可看出,随着含水率的增大,煤系土剪切面粗糙度先增加后减小,起伏度先增大后降低,逐渐变为较平直,孔隙之间的连通性由差变好,结合表

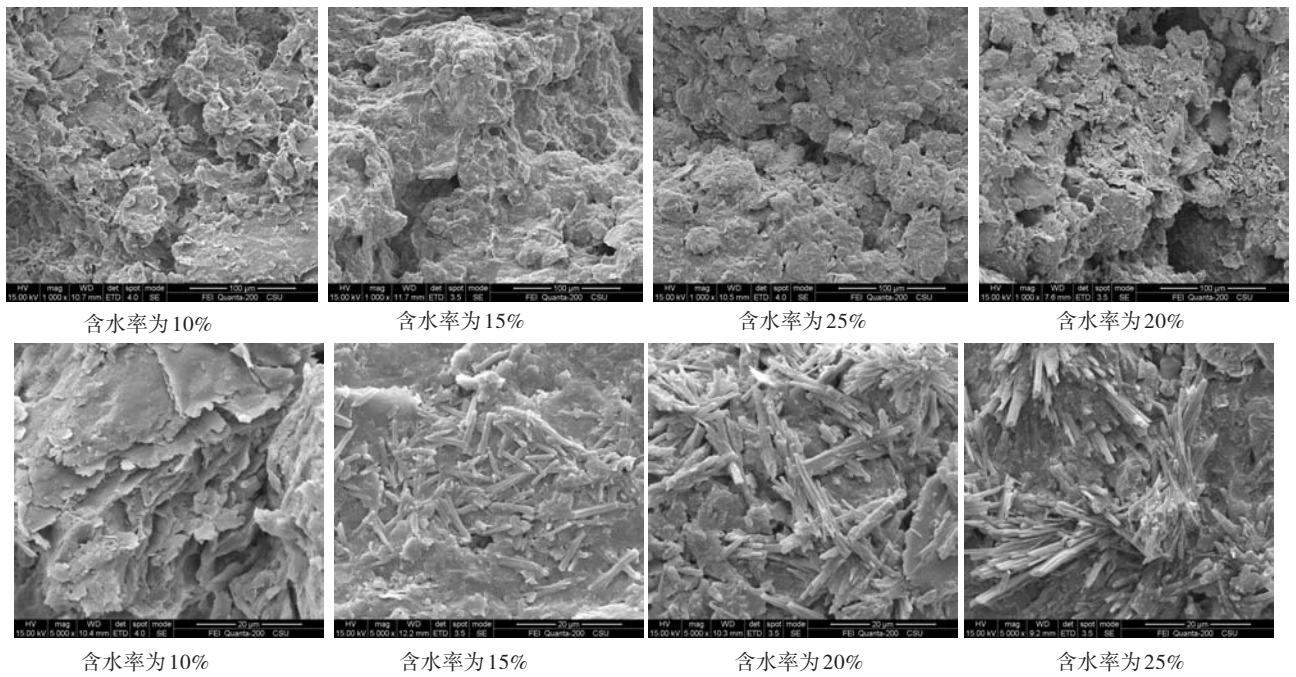


图3 不同含水率下放大倍率分别为1 000倍和5 000倍的煤系土微观结构ESEM图像

Fig.3 ESEM images of coal-bearing soil microstructure magnified by 1 000 and 5 000 times under different water content ratio

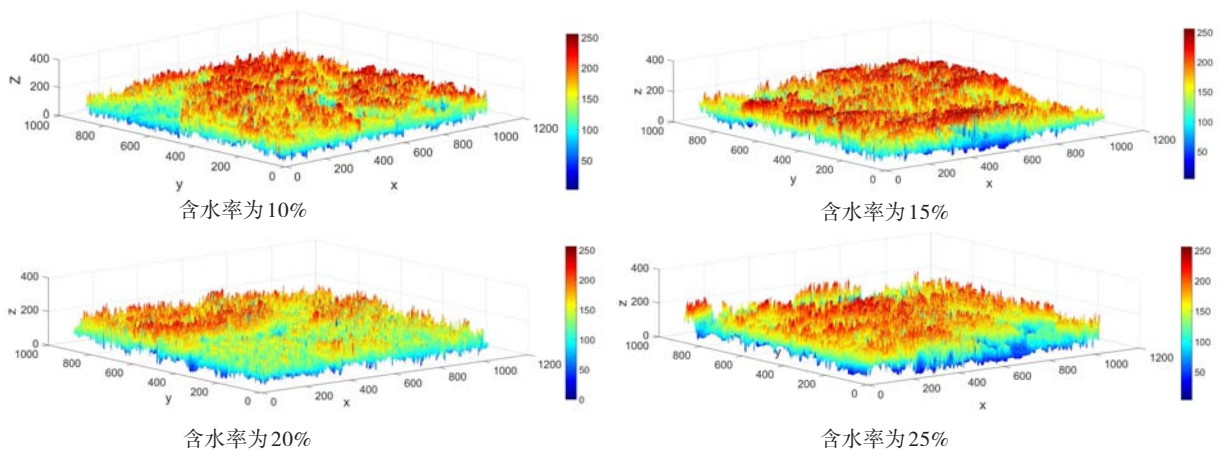


图4 不同含水率下煤系土剪切面三维模拟图

Fig.4 Three-dimensional simulation of shear layer of coal-bearing soil under different water content

1可知,随着含水率的增加,粉状煤系土的工程力学性质由先变好而后逐渐变差,力学强度参数值先增大后减小;转折点在最优含水率附近(10%~15%之间)。

3 粉状煤系土微观结构分形特征

3.1 微观结构分形模型

煤系土属于多孔介质,研究表明,多孔介质的微观结构具有分形特征^[18,20,28]。多孔介质分形几何学理论为分形物体的量度与测量的尺度服从以下标度关系:

$$M(\varepsilon) \propto \varepsilon^D \tag{1}$$

式中: D 为分维数, $M(\varepsilon)$ 可以是一个物体的质量、体积、面积或曲线的长度, ε 为测量的尺度。

3.1.1 孔隙等效面积-等效周长分形模型

在二维平面空间内($d=2$),根据式(1),某特定值为 l 时的孔隙边界轮廓数量为:

$$N(L \geq l) \propto l^{-D_l} \tag{2}$$

式中: $N(L \geq l)$ 为特征尺寸 L 大于等于某特定值 l 的孔隙边界轮廓数量, D_l 为孔隙轮廓边界形态分维数,则特征尺寸 L 所对应的孔隙等效面积为:

$$A \approx L^d \tag{3}$$

等效周长 P 为:

$$P \approx l \cdot N(l) \approx l \cdot (L/l)^{D_l} \tag{4}$$

则等效面积与周长的关系满足:

$$P \propto A^{D_l/d} \tag{5}$$

当 $d=2$ 时,上式两边取对数,则有:

$$\log P = \frac{D_l}{2} \log A + C \tag{6}$$

式中: P 、 A —图像中任意一个多边形的等效周长、等效面积; C —常数; D_l —微观结构孔隙轮廓形态的分维数。

通过计算机图像分析软件 Image Pro-Plus,将扫描图片中每个孔隙的等效周长和等效面积数据提取出来,并绘制在双对数坐标系中,若这些数据点可拟合成一直线,则煤系土微观结构孔隙轮廓形态分维数可通过直线的斜率求得,即

$$D_l = K \times 2 \tag{7}$$

式中: K 为双对数坐标下直线的斜率, D_l 为煤系土微观结构中孔隙轮廓形态的分维数。

3.1.2 孔隙数量-孔径分布分形模型

根据分形理论,多孔介质的孔隙(固体颗粒)表

面及孔隙(固体颗粒)大小分布满足分形标度律。多孔介质中孔隙直径大于或等于 r 的累计孔隙数目和孔径大小分布满足式(8)关系。

$$N(\geq r) = Cr^{-D_r} \tag{8}$$

式中: $N(\geq r)$ 为孔隙直径大于或等于 r 的累计孔隙数目, r 为孔隙直径, C 为常数, D_r 为孔隙数量-孔径分布分维数。

两边取对数,可计算出孔隙数量-孔径分布分维数 D_r ,即

$$D_r = - \frac{\ln(N(\geq r))}{\ln(r)} \tag{9}$$

3.2 模型验证

3.2.1 图像处理

环境扫描电镜得到的图像一般为灰度图像,而利用计算机图像分析软件提取微观参数时的对象须是二值图像,即需将灰度图像进行二值化分割处理。图像分割现在应用较多的是通过阈值来分界,选取适当的阈值是得到孔隙特征参数的关键。借助计算机图像处理软件 Image Pro-Plus 首先对扫描图像进行预处理,如背景平滑、背景弱化或背景校正及增强对比度等,使图像更有利于后面的二值分割与测量。

对于同一张灰度图,如果阈值取得越大,则越多的目标点被归为背景(黑色),其黑色像素的个数也会增加,这就可能导致原本是代表煤系土颗粒骨架的像素点被误归为孔隙,从而在整体上增加孔隙的分布和实际尺寸,所以这一步骤的精确与否将关系到能否真实反映样品的孔隙结构特征。

煤系土的微观孔隙特征可用孔隙最大直径、最小直径、平均直径、等效面积、等效周长等参数表示,阈值的选择直接影响孔隙的数量、大小,从而影响孔隙等效面积、等效周长等参数,因此,必须选择合适的阈值来测量微观孔隙结构参数。本文对1000倍的4张SEM图像分别选择110、100、90、90的阈值,二值化后的图像如图5所示,测量参数值如表4所示。

3.2.2 孔隙等效面积-等效周长分形模型

根据分形理论及式(2),利用IPP软件,可计算出二维平面内每幅SEM图像中每个孔隙的轮廓分形维数,当测量尺度 r 大于0时,微观结构孔隙轮廓的分形维数如图6所示。由图6可知,所有孔隙轮廓分维数基本在1.1~1.4之间。

根据式(6)、(7),绘制煤系土微观结构孔隙等效

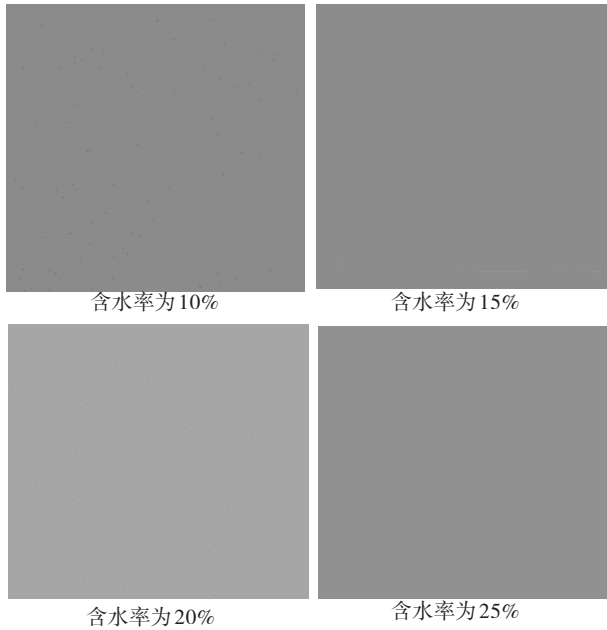


图5 二值化图像
Fig.5 White-black images

表4 粉状煤系土微观结构孔隙尺寸参数表

Tab.4 The size parameters table of pores of the microstructures of powdered coal-bearing soil

编号	面积A / μm^2	最大直径/ μm	最小直径/ μm	平均直径/ μm	周长P / μm	分维数	Log (A)	Log (P)
1	1 335.289	89.449	14.752	37.666	724.993	1.380	3.126	2.860
2	5.133	2.646	1.261	2.093	9.960	1.215	0.710	0.998
3	19.890	6.333	2.616	4.900	18.580	1.141	1.299	1.269
4	68.561	12.642	4.942	9.070	71.798	1.357	1.836	1.856
5	57.470	22.029	3.860	10.592	65.362	1.196	1.759	1.815
6	10.999	5.078	2.282	3.630	17.301	1.195	1.041	1.238
7	278.460	39.770	4.099	16.140	209.646	1.348	2.445	2.321
8	5 533.180	176.844	36.621	102.143	2 050.717	1.372	3.743	3.312
9	4.308	2.778	1.734	2.146	11.130	1.387	0.634	1.046
10	1 716.040	64.640	31.931	44.617	372.510	1.234	3.235	2.571
11	4.216	5.559	2.244	3.254	11.727	1.121	0.625	1.069
12	7.608	3.431	1.772	2.883	10.182	1.130	0.881	1.008
13	3.575	2.511	1.287	1.857	9.646	1.102	0.553	0.984
...
427	8.158	4.053	1.984	2.777	14.904	1.243	0.912	1.173

面积($\log(A)$)-等效周长($\log(P)$)图,如图7所示,图中 $\log(A)$ 为孔隙等效面积的对数, $\log(P)$ 为孔隙等效周长的对数。由图7可知,煤系土微观结构孔隙等效面积($\log(A)$)-等效周长($\log(P)$)回归曲线具有稳定且良好的线性拟合关系,拟合相关系数 R^2 分别为0.958 9, 0.936 9, 0.941 8, 0.942 3。说明煤系土微观孔隙结构分布形态具有明显的分形特征,4张ESEM图像微观结构孔隙轮廓形态分维数分别为1.355 2、1.290 4、1.372 2和1.305 4。

根据观测尺度 r 值的大小,微观孔隙结构的孔隙度与孔隙轮廓分形维数的关系如图8所示。由图8

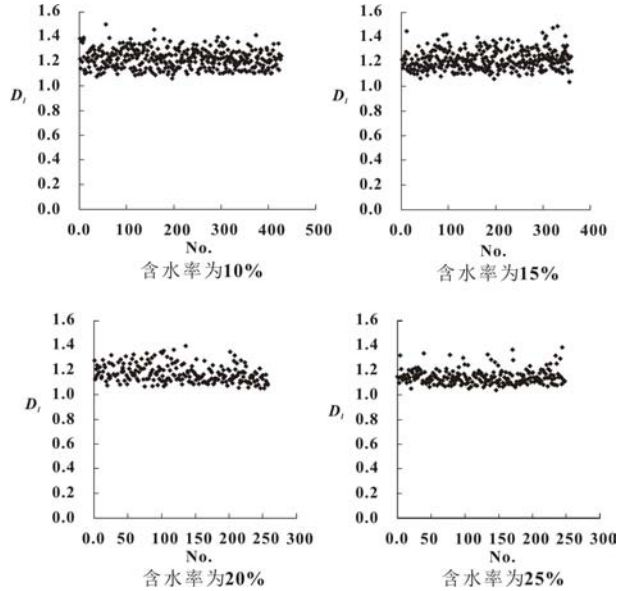


图6 煤系土微观结构孔隙轮廓分维数

Fig.6 Fractal dimension of microstructure pore profile in coal-bearing soil

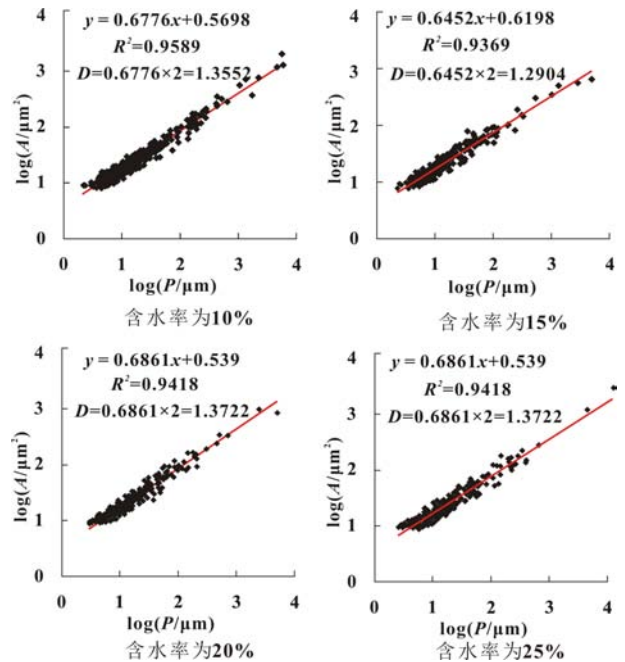


图7 煤系土微观结构孔隙等效面积~等效周长双对数图

Fig.7 The log (Perimeter) – log (Area) graphs of microstructure pores of powdered coal-bearing soil

可知,随着观测尺度 r 值的增加,孔隙度逐渐减小,分维数总体呈增大趋势。

3.2.3 孔隙数量-孔径分布分形模型

在二维空间内,根据式(9)以及微观孔隙结构测量结果,以 $\ln(N(\geq r))$ 为纵坐标, $\ln(r)$ 为横坐标绘制散点图,若满足线性关系,斜率为 k ,则孔隙数量-孔径分布分维数 $D_f = -k$,如图9所示。由图9可知,拟合直

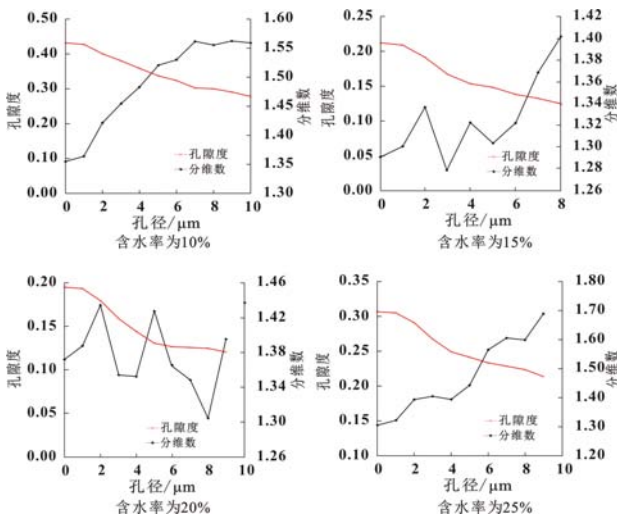


图8 孔隙度与分维数随孔径变化曲线图

Fig.8 The graphs of porosity and fractal dimension changing with size of pore

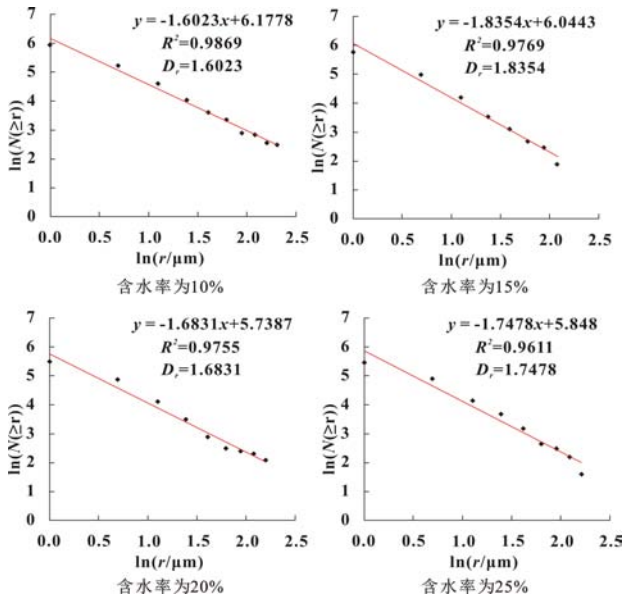


图9 不同含水率下孔隙数量-孔径分布分维数自然对数图

Fig.9 The ln(N(≥r)) and ln(r) graphs of fractal dimension of number and size distribution of pores under different water content

线的相关系数 R^2 分别为 0.986 9、0.976 9、0.975 5、0.961 1, 可见散点图满足线性关系, 故粉状煤系土孔隙分布具有良好的分形特性。孔隙数量-孔径分布分维数分别为 1.602 3、1.835 4、1.683 1、1.747 8。

4 结论

通过对粉状煤系土微观结构的分析, 可得出以下结论:

(1) 粉状煤系土颗粒的基本结构单元多为片状

颗粒和片状集合体, 接触关系主要为面-面接触和面-边接触, 颗粒形状不规则, 定向性不明显。孔隙形状多为不等轴和缝隙状孔隙, 孔隙率较低, 孔隙之间的联通性较差。随着含水量增加, 针状碳酸钙晶体结构增多。

(2) 随着含水率的增大, 煤系土剪切面粗糙度先增加后减小, 起伏度先增大后降低, 逐渐变为较平直, 孔隙之间的连通性由差变好, 工程力学性质由好变差, 力学强度参数先增大后减小; 转折点在最优含水率附近(10%~15%之间)。

(3) 图像处理软件 Image Pro-Plus(IPP) 可用于粉状煤系土微观结构图像的定量分析, 可提取土体微观结构的定量参数。

(4) 煤系土微观结构较复杂, 微观结构中的土颗粒、孔隙的分布具有分形特征, 可用孔隙等效面积-等效周长分形模型、孔隙数量-孔径分布分形模型来描述; 在二维空间内, 其孔隙轮廓形态分维数介于 1.1~1.4 之间, 孔隙数量-孔径分布分维数介于 1.5~1.9 之间。

参考文献:

- [1] Wang J A, Park H D. Coal mining above a confined aquifer [J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2003, 40, 537-551.
- [2] Zhang J C, Shen B H. Coal mining under aquifers in China: a case study [J]. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2004, 41 (4), 629-639.
- [3] Majdi A, Hassani F P, Nasiri M Y. Prediction of the height of distressed zone above the mined panel roof in longwall coal mining [J]. Int. J. Coal Geol., 2012, 98, 62-72.
- [4] Meng Z P, Shi X C, Li G Q. Deformation, failure and permeability of coal-bearing strata during longwall mining [J]. Engineering Geology, 2016, 208:69-80.
- [5] 胡昕, 洪宝宁, 杜强, 等. 含水率对煤系土抗剪强度的影响 [J]. 岩土力学, 2009, 30(8):2291-2294.
- [6] 周邦良, 褚兰哲, 王爱华. 广梧高速公路煤系土抗剪强度特性试验研究 [J]. 路基工程, 2009, (2): 119-120.
- [7] 祝磊, 洪宝宁. 粉状煤系土的物理力学特性 [J]. 岩土力学, 2009, 30(5):1317-1322.
- [8] 杨文军, 洪宝宁, 周邦良, 等. 砾状煤系土改良性能的试验研究 [J]. 岩土力学, 2012, 33(1): 96-102.
- [9] 李辉, 刘顺青. 重塑红黏土和粉状煤系土的水敏感性比较研究 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(6):89-93.
- [10] 姚环. 黏性土微观结构与力学性质关系的研究 [J]. 福州大学学报, 1995, 23(4):113-118.
- [11] 胡瑞林, 王思敬. 21 世纪工程地质学生长点: 土体微结构力学 [J]. 水文地质工程地质, 1999, (4): 5-8.

- [12] Al-Rawas A A, McGown A. Microstructure of Omani expansive soils [J]. *Can. Geotech. J.*, 1999, 36(2): 272–290.
- [13] 李向全, 胡瑞林, 张莉. 软土固结过程中的微结构变化特征[J]. *地学前缘*, 2000, 7(1): 147–152.
- [14] Horpibulsuk S, Rachan R, Chinkulkijniwat A, Raksachon Y, Suddeepong A. Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations [J]. *Constr. Build. Mater.*, 2010, 24: 2011–2021.
- [15] Aldaood A, Bouasker M, Al-Mukhtar M. Impact of wetting-drying cycles on the microstructure and mechanical properties of lime-stabilized gypseous soils [J]. *Engineering Geology*, 2014, 174:11–21.
- [16] Reimer I. *Scanning Electron Microscopy* [M]. New York: Springer, 1995:136.
- [17] Harnson C, Park M, Chaikin P M, et al. Layer by layer imaging of diblock copolymer films with a scanning electron microscope [J]. *Polymer*, 1998, 39(13):2733–2745.
- [18] Lyubenova T S, Matteucci F, Costa A, et al. Ceramic pigments with sphenic structure obtained by both spray and freeze-drying techniques [J]. *Powder Technology*, 2009, 193(1):1–5.
- [19] Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature* [M]. San Francisco: W.H. Freeman, 1982.
- [20] Katz A J, Thompson A H. Fractal sandstone pores: Implications for conductivity and pore formation [J]. *Phys Rev Lett.* 1985, 54: 1325– 1328.
- [21] Feder J. *Fractals*[M]. Plenum Press New York, 1988, 1–199.
- [22] Turcotte D L. Fractals and fragmentation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91(B2): 1921– 1926.
- [23] Tyler SW, Wheatcraft SW. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53: 987–996.
- [24] Yu B M, Li J H. Fractal dimensions for unsaturated porous media. *Fractals*, 2004, 12(1):12–22.
- [25] 许勇, 张季超, 李伍平. 饱和软土微结构分形特征的试验研究[J]. *岩土力学*, 2007, 28(增刊): 49–52.
- [26] Xiao BQ, Fan JT, Ding F. Prediction of relative permeability of unsaturated porous media based on fractal theory and Monte Carlo simulation [J]. *Energy Fuels*, 2012, 26(11): 6971–6978.
- [27] Liu R, Jiang Y, Li B, et al. A fractal model for characterizing fluid flow in fractured rock masses based on randomly distributed rock fracture networks [J]. *Comput. Geotech.*, 2015, 65: 45–55.
- [28] Pia G, Corcione CE, Striani R et al. Thermal conductivity of porous stones treated with UV light-cured hybrid organic-inorganic methacrylic-based coating [J]. *Experimental and fractal modeling procedure. Prog. Org. Coat*, 2016, 94:105–115.
- [29] 谭之东, 梁收运, 周自强, 等. 基于SEM图像的分形维数与泥岩颜色关系—以崆峒山国家地质公园白垩系斑马状泥岩为例[J]. *地质调查与研究*, 2018, 41(2):153–160.

Fractal analysis of microstructure characterization of powdery coal-bearing soil based on digital image measurement technology

HAN Bo¹, LU Guang-yin², GUO You-jun², XIA Yu-bo¹, PEI Yan-dong¹, GUO Xu¹

(1. *Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;*

2. *School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China)*

Abstract: Taking powdery coal-bearing soil along the Guangdong district of Wushen Expressway as research object, the SEM images of powdery coal-bearing soil microstructure were obtained by using Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM) under different water content after direct shear test. The microstructural morphology characterization of shear surface is analyzed by MATLAB and Image Pro-Plus (IPP) software. Based on fractal theory, the fractal model of coal-bearing soil microstructure is established, and the fractal dimensions of pore profile and number and size distribution of pores of coal-bearing soil are obtained in two-dimensional space. The results show that the microstructure of coal-bearing soil is schistose aggregated particles. The contact relationship is mainly surface-surface contact and face-side contact. The shape of the flaky granule aggregated body is irregular and the orientation is not obvious. The shape of pore is anisometric and slotted. With the increase of water content, the roughness and fluctuation degree of the shear surface first increase and then

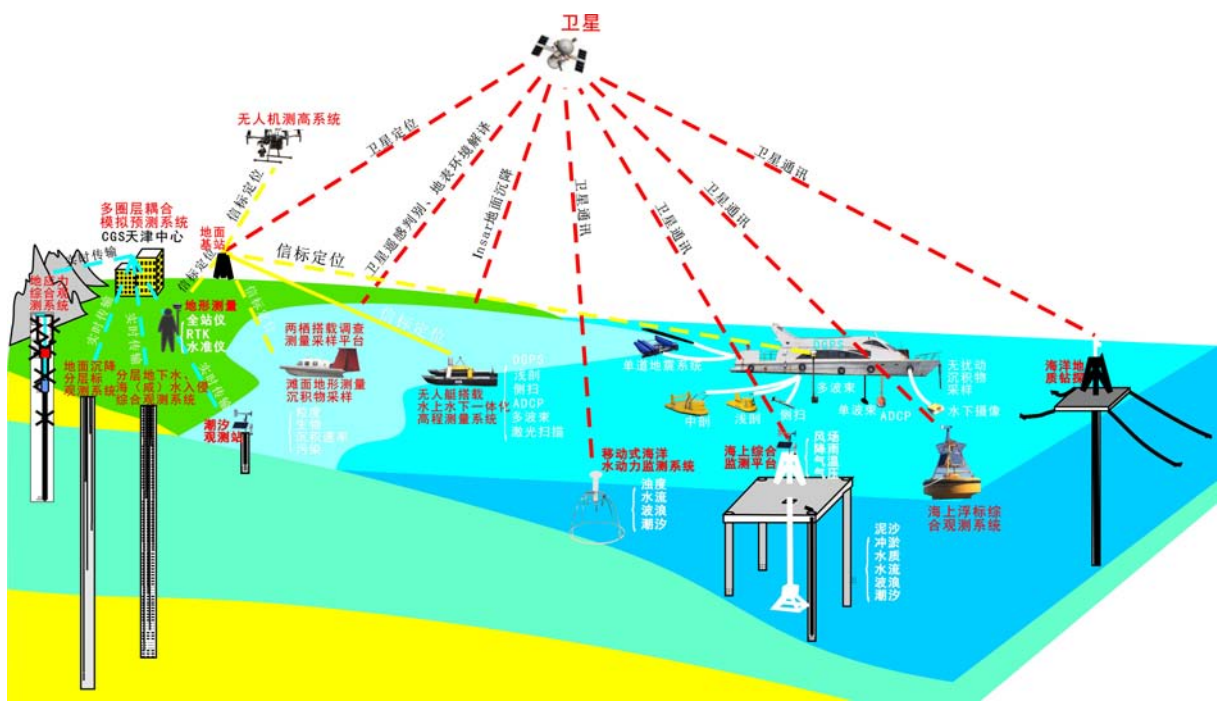
decrease, the shearing strength parameters also increases first and then decreases. The turning point is near the optimum moisture content (between 10% and 15%). The microstructure of coal-bearing soil has obvious fractal characteristics. It is described by the fractal model of the equivalent area and equivalent perimeter of pores and fractal model of pore number and pore diameter distribution, and the fractal dimension is between 1 and 2 in 2D space.

Key words: power coal-bearing soil; microstructure; digital image measurement technology; fractal theory; fractal dimension

中国地质调查局天津地质调查中心在津冀沿海初步构建“星空陆海”综合地质调查监测技术方法体系

中国地质调查局天津地质调查中心津冀沿海资源环境承载能力调查二级项目组在天津-河北海岸带地区初步搭建了津冀沿海陆海统筹综合地质调查监测技术方法体系,可对海岸带地区的岸线、湿地、滩涂和地表高程等资源指标,地下水、地面沉降、水平位移、海洋水文、气象、海底地形、侵蚀淤积、底质类型和沉积速率等环境指标进行监测。基于该系统可以对外提供以下服务:(1)提供海岸带陆海统筹综合地质调查方案及调查研究服务;(2)提供海岸带、湿地、湖泊等水上水下一体化地形测量全链条解决方案及测量服务;(3)提供海岸带、湿地、湖泊等水下底质、无扰动柱状样取样及相关测试服务;(4)提供海岸带、湿地、湖泊等水下地层结构(200 m以浅地层)调查解决方案及调查服务;(5)提供滩浅海调查解决方案及综合调查、监测和研究服务;提供水动力监测解决方案及数据服务;(6)提供海岸带四场耦合建模方案及模拟服务;提供第四纪年代学(古地磁、OSL、²¹⁰Pb/¹³⁷Cs)解决方案及测试服务。

(天津地质调查中心海岸带地质室)



津冀沿海陆海统筹综合地质调查监测技术方法体系示意图