

煤介质损失角正切的分形特征

徐龙君^{a*} 顾乐观^b 鲜学福^a

(重庆大学 a. 矿山工程物理研究所, b. 电气工程学院 重庆 400044)

摘要: 利用分形几何理论对煤的介质损失角正切的特征作了深入的探讨, 结果表明, 煤的介质损失角正切 $\text{tg}\delta$ 具有分形特征; 通过类比和实验证实的方法得到了 $\text{tg}\delta$ 与 f 间的定量关系: $\text{tg}\delta \propto f^{D-d}$, 借此求得了煤分形介质损失角正切维数。

关键词: 煤; 介质损失角正切; 分形; 频率

中图分类号: TQ531.3 **文献标识码:** A

1 引言

在过去几十年中, 材料的介电性质引起了人们极大的兴趣, 这不仅是为了弄清各种技术材料的电性质, 而且是源于介电响应的基本物理特征而引起的无序材料物理现象理论描述的兴趣。介电响应可认为是分形时间过程和分形结构上的导电性引起的^[1], 即无序材料中荷电载流子的介电响应具有分形特征。中低变质程度煤是非晶态物质, 属于一种结构无序材料, 煤介电性质也应该具有分形特征。

介质损失角正切(以 $\text{tg}\delta$ 表示)是描述电介质的一个重要的物理量, 但研究者在进行无序结构材料的分形介电谱研究时, 只涉及到复介电常数的实部和虚部(作者近期的研究业已证实煤复介电常数实部具有分形特征^[2]), 未有人对介质损失角正切的分形特征进行过研究。为此, 笔者拟以无序结构材料分形介电谱的有关研究成果以及电介质物理学的有关理论对煤的 $\text{tg}\delta$ 所具有的分形特征做一初步探讨。

2 理论分析方法

近年来, 对结构无序材料介电谱的物理解释已有不少的工作^[1], 其中关于分形的研究成果起了关键性的作用; 最引人注目的理论是对 Jonscher 引入的反常低频色散 (Anomalous Low-Frequency Dispersion, ALFD) 标度规律的分形解释, 大量实验证明, 许多无序结构材料的介电谱显示出反常低频色散, 其关系式为^[1, 3, 4]:

$$\chi_1(\omega) \propto \chi_2(\omega) \propto \omega^{-p}, \quad (\omega < \omega_c) \quad (1a)$$

$$\chi_1(\omega) \propto \chi_2(\omega) \propto \omega^{n-1}, \quad (\omega > \omega_c) \quad (1b)$$

式中, p, n 为经验常数; χ 为磁化率; $\chi(\omega) = \epsilon(\omega) / \epsilon_0 - 1 = \epsilon_r(\omega) - 1$; ω_c 为特征频率。

分形无序结构材料介电常数与频率之间的关系如下^[3](d 为欧氏维数):

$$\epsilon(\omega) \propto \omega^{(D-d)/2} \quad (2)$$

* 通讯联系人。

若将方程(1)与(2)对照,应该有:

$$\chi_1(\omega) \propto \chi_2(\omega) \propto \omega^{(D-d)/2} \quad (3)$$

按 χ 的定义,由方程(3)可得到:

$$\varepsilon_r''(\omega) \propto \varepsilon_r''(\omega) \propto \omega^{(D-d)/2} \quad (4)$$

一般电介质的 ε_r'' 与 ω 的关系曲线和 $\text{tg}\delta$ 与 ω 的关系曲线极为相似^[6],只是达到最大值时的 ω 值略有差异,根据方程(4)类推可以得到:

$$\text{tg}\delta \propto \omega^{(D-d)/2} \quad (5)$$

另外,研究指出^[5],无序结构材料的电导率 σ 与 ω 的关系为:

$$\sigma \propto \omega^{1+(D-d)/2} \quad (6)$$

而笔者在研究同一煤样之 σ 和 $\text{tg}\delta$ 与频率的关系时发现^[7], σ 和 $\text{tg}\delta$ 均与 f 的指数次方有关,且有:

$$\frac{\sigma}{\text{tg}\delta} \propto f \quad (7)$$

将方程(7)代入方程(6)即可得到方程(5)。方程(5)可改写为:

$$\text{tg}\delta \propto f^{(D-d)/2} \quad (8)$$

3 结果与讨论

作者研究四川白皎无烟煤煤样 I 时^[7]得到:

$$\log(\text{tg}\delta) = 0.17656 - 0.15039 \lg f$$

利用方程(8)并取 $d=3$,便得到分形介质损失角正切维数 $D=2.699$,这与同种煤的分形交流电导率维数^[8](2.659)非常接近。

利用文献[9]研究 Illions #6 煤及其密度 2.0 重液下沉样时得到的频率在 50、150、300、1000 和 2450 MHz 的介电常数实部和虚部,可求出相应频率下的介质损失角正切,用方程(8)进行拟合,分形维数分别为 2.483 和 2.319,置信度分别为 95%~98% 和大于 99%;对 Kentucky #11 和 Pittsburgh #8 煤也可得到置信度大于 95% 的拟合结果。可见,煤的介质损失角正切确实具有分形特征,只是目前关于煤(或其它无序结构材料)的介质损失角正切的研究较少,这是今后有待加强的研究领域。

4 结论

煤的介质损失角正切 $\text{tg}\delta$ 具有分形特征,通过类比和实验验证的方法得到了 $\text{tg}\delta$ 与 f 间的定量关系: $\text{tg}\delta \propto f^{(D-d)/2}$,借此可求得煤分形介质损失角正切维数。

参 考 文 献

- [1] Niklasson G A. *J Appl. Phys.*, 1987, **62**: R1
- [2] Xu Longjun (徐龙君), Liu Chenglun (刘成伦), Xian Xuefu (鲜学福). *China Mining Magazine* (中国矿业), 2000, **9**(2): 69
- [3] Laibowitz R B, Gefen Y. *Phys. Rev. Lett.*, 1984, **53**:380
- [4] Yao Hebao (姚合宝), He Qingli (贺庆丽). *Fractal Theory and its Application* (分形理论及其应用), Xin Houwen (辛厚文) Ed. University of Scientific and Technical of Chinese Press (中国科学技术大学出版社)

- 社), Hefei (合肥), 1993: 197
- [5] Wang Yuhui (王域辉), Liao Shuhua (廖淑华), Xing Jingyun (邢锦云). Fractal Theory and its Application (分形理论及其应用), Xin Houwen (辛厚文) Ed. University of Scientific and Technical of Chinese Press (中国科学技术大学出版社), Hefei (合肥), 1993: 327
- [6] Jin Weifang (金维芳). Physics of Dielectric 2nd (电介质物理学 第2版), Mechanic Industry Press (机械工业出版社), Beijing (北京), 1997: 73
- [7] Xu Longjun (徐龙君). Dissertation of Ph. D. (博士学位论文), Chongqing University (重庆大学), 1996
- [8] Xu Longjun (徐龙君). Research Report of Postdoctor (博士后研究报告), Chongqing University (重庆大学), 1999
- [9] Bluhm D D, Farnsloe G E, Beck-montgomery S. in: Chemistry and Physics of Coal Utilization-1980, Ed. Cooper B R, Petrskis L. New York: American Institute of Physics, 1981: 417

Fractal Characteristic on the Tangent of Dielectric Loss Angle for Coal

Xu Longjun^a Gu Leguan^b Xian Xuefu^a

(*Institute Mine Eng. Phys. , College of Electrical Eng. , Chongqing University, Chongqing 400044*)

Abstract Characteristic on the tangent of dielectric loss angle for coal has been researched by using fractal geometry theory. The results show that the tangent of dielectric loss angle of coal has fractal characteristic, relationship between and frequency is: $\text{tg}\delta \propto f^{(D-d)/2}$, and fractal dimension of $\text{tg}\delta$ for coal could be obtained.

Key words Coal, Tangent of dielectric loss angle, Fractal, Frequency

* To whom correspondence should be addressed, E-mail: xdxian@public.cta.cq.cn