

DOI:10.13347/j.cnki.mkaq.2017.11.017

频率信号激励下煤电性试验及其特征研究

柳 苏¹,张玉贵¹,许小凯²,赵晨光¹

(1.河南理工大学 安全科学与工程学院,河南 焦作 454000;2.中国科学院地球化学研究所,贵州 贵阳 550081)

摘 要:对煤在频率信号激励下的复电性进行了测量。结果显示:不同煤种 振幅谱及相位谱各自呈现出不同的特征。试验频率范围 0.1 Hz~100 kHz,测量结果为不同变质程度的煤样幅频特性 $Z-f$ 整体趋势单调递减;不同煤种及岩矿石幅频曲线各不相同,拐点位置也不一样;各煤体相频曲线呈现不同的特征,相位一般为负值,煤体与岩石总体表现出容抗的性质,曲线形状及极值点位置也各不相同。根据在相同电性频率域下不同变质程度的煤种所表现出来的阻抗及相位的不同,分析其导电机理与其结构模型,为电法勘探提供理论支撑与试验基础。

关键词:煤电性响应特征;复电性;阻抗;相位;频谱

中图分类号:TD12

文献标志码:A

文章编号:1003-496X(2017)11-0065-03

Research on Coal Electrical Experiment Stimulated by Frequency Signal and Its Characteristics

LIU Su¹, ZHANG Yugui¹, XU Xiaokai², ZHAO Chenguang¹

(1.College of Safety Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;2.Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550081, China)

Abstract: Plural electrical property of coal was measured under frequency signal excitation. The results show that amplitude spectrum and phase spectrum of different kinds of coal respectively present different characteristics. In the test frequency range of 0.1 Hz to 100 kHz, $Z-f$ curves of coals all show monotone decrease. The amplitude-frequency curves of different types of coal and rocks differ from one another, and inflection point positions are also different. Phase frequency curves of different coal and rocks present different characteristics. Phase is generally negative. Coal and rocks overall show the property of capacitive reactance. Curve shapes and extreme value point positions are respectively different. The amplitude frequency and phase frequency characteristics of coal and rocks were first analyzed. According to the differences of impedance and phase of coal in different metamorphic extent under the same electrical frequency domain, electricity exploration is used to prospect its compositions and structures, which provides theoretical and experimental basis for electric prospecting.

Key words: response characteristics of coal electricity; plural electrical property; impedance; phase; frequency spectrum

研究煤电性响应特征是获取其结构和成分的重要手段。很多学者对直流电场作用下煤岩的电性响应特征做了大量研究^[1-14],主要包括导电性和介电性。由于直流电场作用下,反映煤体电性响应特征参数有限且与煤体结构及成分的联系只是将试验标量数据进行了一般性的关联分析。所以很难得到有价值的煤体电性本质及机理的信息。而在交变电场作用下,地下介质导电模型和介电模型会在不同的电场频率下呈现出不同的形式,即会表现出丰富的频率域响应特征。所以除了宏观上的交流导电率与交流介电常数外,各个电性参数的频散、不同

频率下的介质极化及电化学反应等特征为地下介质的电法勘探开辟了新的途径。前人在研究中,先后提出了随频率信号变化下地下介质的等10余种不同的导电模型^[15]。已有学者对煤体的频率域电法响应进行了研究,结论主要有煤的视电阻率与测试频率成反比^[8]且遵从指数规律^[16]。所以煤岩在交流电场下电性频散现象明显,为此借鉴前人研究岩石电性的研究方法,建立针对于煤岩的导电模型进行研究。

1 煤样采集与制作

煤样采集地点为淮南矿区、平顶山矿区及和焦作矿区,煤样采集点信息见表1。

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05067006-002);河南省高校科技创新团队支持计划资助项目(14IRTSTHN002)

表 1 煤样采集点信息

| 煤样编号 | 变质程度 | 矿区名 | 矿名 | 煤层 | 具体采样点 |
|------|------|-----|-----|--------------------------|------------------|
| 1 号 | 气煤 | 淮南 | 潘一 | 石盒子组 ₁₃₋₁ 煤 | 2331(3)工作面 30 m |
| 2 号 | 肥煤 | 平顶山 | 八矿 | 下石盒子组戊 ₉₋₁₀ 煤 | 12160 工作面 177 m |
| 3 号 | 焦煤 | 平顶山 | 八矿 | 山西组己 ₁₅ 煤 | 14120 工作面 22.5 m |
| 4 号 | 无烟煤 | 焦作 | 古汉山 | 山西组二 ₁ 煤 | 14181 工作面 75 m |

加工煤块时根据平行层理面与垂直层理面进行切割,平行层理面又分为平行面割理与平行端割理,在实验室中按这 3 个方向切割加工成块状立方体。煤样按其在煤层中标定的走向、倾向和垂直层理方向切割加工成 6 cm³ 的块状,并将 6 个端面打磨光滑以使与测试电极耦合良好。对于 4 种变质程度的煤,每种加工 1 块煤样。

2 试验方法与测量

1)测试方法及仪器。试验采用二极法,试验仪器采用的是日置 LCR3522-50 测试仪。开始测量前,先进行开路补偿与短路补偿,这样做的目的是避免电极装置对所测电性参数的影响。采用串联的方式将煤样接入到待测装置中,测量得到各个频率下的电压和电流值,然后根据测得的电压与电流值计算出煤样的阻抗及相位等电性参数。

2)测量测量频率域 0.1 Hz~100 kHz。测量条件为常温常压(25 ℃室温,1 个大气压),采用对数等间距的取点方法,选取了 80 个频率点,测量了 4 个待测煤样平行面割理方向的阻抗、相位等电性参数。

3 测试结果与分析

3.1 测试结果

所测 4 类煤的阻抗(Z)及相位(φ)频谱结果如图 1 和图 2。其中 1 号~4 号为煤样编号(见表 1)。5 号样品为页岩,6 号为含碳质较高的岩石,7 号为含磁铁矿岩石,8 号为含硫化物矿石,5 号~8 号样品频谱数据引自文献[17]。将 4 类岩石与 4 类煤的阻抗频谱和相位频谱特征进行比较,反映煤岩的复电性特征及与其它岩石的复电性差异。从以上结果可以看出不同煤岩类型阻抗和相位 2 个参数的频谱各自呈现出不同的特征。

3.2 幅频特征

各类煤岩 Z - f 整体趋势单调递减,与一般岩石激发极化特征相符合。当 $f \rightarrow 0$ 相当于直流,地下介质可以被很好的激发极化,通过极化引起二次场,

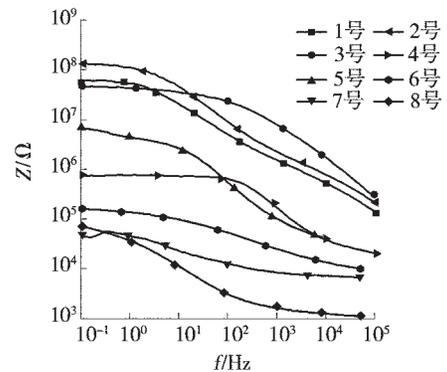


图 1 煤样和岩石样的幅频特性

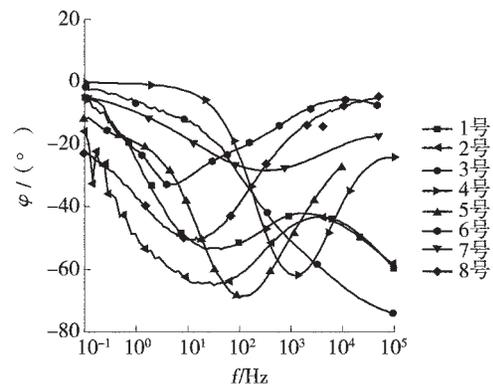


图 2 煤样和岩石样相频特性

该二次场会叠加在原来的激发电场上,此时 Z 取得极大值;当 $f \rightarrow \infty$,介质来不及极化, Z 取得极小值。 f 在 0.1 Hz~100 kHz 范围内,5 号页岩、6 号含碳质较高、7 号含磁铁矿岩石、8 号含硫化物矿石及 4 号无烟煤幅频曲线可明显分为 3 个不同的阶段。第 1 阶段斜率较小,4 类煤甚至近于水平直线;第 2 阶段斜率较大,曲线迅速下降;第 3 阶段斜率又减小,最终曲线将趋于水平。1 至 3 类煤在该频率范围内只表现出前 2 个阶段特征,可推测第 3 阶段将出现在比 100 kHz 更高的频率范围。5 号至 8 号岩石幅频曲线第 1 阶段表现非近水平的特性(斜率较大),推测其近水平的特性将表现在低于 0.1 kHz 的更低频。

不同煤种及岩石在 0.1 Hz~100 kHz 范围内

3 阶段的幅频曲线各不相同, 拐点位置也不一样。煤与其它岩矿石的在幅频特征曲线上的明显差别表现在: 煤第 1 阶段都表现出近水平的特性(斜率非常小), 第 2 阶段曲线迅速下降(斜率迅速增大), 由第 1 阶段进入第 2 阶段曲线拐点明显。而其它岩矿石前 2 个阶段之间拐点不明显。 $Z(f)$ 域值范围 1~3 类煤>5 号页岩>4 号无烟煤>6 号~8 号岩矿石。由激发极化理论可知时间常数 τ 代表极化过程的缓慢性, 由图 1 可知 $\tau_8>\tau_5>\tau_7>\tau_6>\tau_2>\tau_1>\tau_3>\tau_4$ 。直流电阻率 ρ 比较可近似通过图 1 截距的相对大小来表示, 即 $\rho_2>\rho_1>\rho_3>\rho_5>\rho_4>\rho_7>\rho_6>\rho_8$ 。

3.3 相频特征

总的来说, 相位(φ)较阻抗(Z)变化规律更加明显, 并且也与一般岩石激发极化特征相符合。即当 $f \rightarrow 0$ 相当于直流, 地下介质受到充分的激发极化; 当 $f \rightarrow \infty$, 介质来不及极化 φ 都将趋于 0。在中频段, 各煤岩相频曲线呈现不同的特征 φ 一般为负值, 地下介质表现出容抗的性质。但值得注意的是, 4 号无烟煤样在 0.1 Hz 时所测 φ 为 0.01° 为正数, 表现出感抗的性质。在 0.1 Hz~100 kHz 频率范围内, 1 号、2 号样 φ 呈现出先减小后增大又减小的趋势, 有 1 个极小值点和极大值点; 3 号样呈单调递减趋势; 4 号~8 号样品整体趋势先减小后增大, 并且都存在 1 个极小值点。1 号~3 号煤样在所测频率范围的高频段 φ 还未出现趋于 0 的特征。

4 结 语

1) 不同煤体与岩石, 阻抗和相位 2 个参数的频谱各自呈现出不同的特征。不同变质程度的煤样和岩石 $Z \sim f$ 整体趋势单调递减。不同煤种及岩矿石在 0.1 Hz~100 kHz 的频率范围内幅频曲线各不相同, 拐点位置也不一样。直流导电性肥煤<气煤<焦煤<页岩<无烟煤<含磁铁矿岩石<含碳质较高的岩石<含硫化物矿石。

2) 各煤体与岩石相频曲线呈现不同的特征 φ 一般为负值, 地下介质表现出容抗的性质。但 4 号无烟煤样在 0.1 Hz 时表现出感抗的性质。在 0.1 Hz~100 kHz 频率范围内, 1 号、2 号样 φ 有 1 个极小值点和极大值点; 3 号样呈单调递减趋势; 4 号~8 号样存在 1 个极小值点。

参考文献:

[1] Liu Ming-ju, He Xue-qiu. Electromagnetic response of outburst-prone coal[J]. International Journal of Coal

Geology, 2001, 45: 47-89.

- [2] 徐小兵. 煤与瓦斯突出倾向性的电磁波场特征研究[D].青岛:山东科技大学, 2007.
- [3] 吴荣新, 张卫, 张平松. 并行电法监测工作面“垮落带”岩层动态变化[J]. 煤炭学报, 2012, 37(4): 571-577.
- [4] 汤友谊, 孙四清, 郭纯, 等. 不同煤体结构类型煤分层视电阻率值的测试[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(3): 70-72.
- [5] 王云刚, 魏建平, 刘明举. 构造软煤电性参数影响因素的分析[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(8): 77-80.
- [6] 卢建军, 赵彦生, 鲍卫仁, 等. 超细煤粉填充高分子绝缘材料[J]. 煤炭学报, 2005, 30(2): 229-232.
- [7] 虞继舜. 煤化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.
- [8] 徐宏武. 煤层电性参数测试及其与煤岩特性关系的研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(3): 42-46.
- [9] 张广洋, 谭学米, 解学福, 等. 煤的导电性与煤大分子结构关系的实验研究[J]. 煤炭转化, 1994, 17(2): 10.
- [10] 徐龙君, 刘成伦, 鲜学福. 焦耳热效应和矿物质对煤导电性的影响[J]. 重庆大学学报, 2000, 23(3): 47.
- [11] 单沙沙. 低渗透泥质砂岩导电模型研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2011.
- [12] 刘学锋. 基于数字岩心的岩石声电特性微观数值模拟研究[D]. 东营: 中国石油大学, 2010.
- [13] 邓少贵, 范宜仁, 刘兵开, 等. 含油气泥质砂岩导电性研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(4): 30-33.
- [14] 康建宁, 黄学满. 煤的电性参数与瓦斯突出危险性之间关系研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(1): 56-59.
- [15] 程辉, 底青云, 李帝铨. 频率信号激励下岩石电性参数研究[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(3): 918-925.
- [16] Xu Xiao-kai, Zhang Yu-gui, Hou Jin-xiu. Coal resistivity anisotropy and frequency response characteristics [C]//Proceedings of the 4th international symposium on mine safety(2012). Fu Xin: LiaoNing Technical University, 2012:402-406.
- [17] 林方丽, 王光杰, 李英贤, 等. 岩石复电阻率频谱分析 [C]//第十届中国国际地球电磁学术讨论会论文集. 北京: 中国地球物理学会, 2011: 146-148.

作者简介: 柳 苏(1991—), 女, 河南安阳人, 在读硕士研究生, 从事瓦斯监测和瓦斯地质研究工作。

(收稿日期: 2017-01-13; 责任编辑: 李力欣)