

# 不同煤级煤结构成分应力效应的红外光谱研究\*

屈争辉<sup>1,2)</sup>, 姜波<sup>1,2)</sup>, 汪吉林<sup>1,2)</sup>, 李明<sup>1,2)</sup>

1) 中国矿业大学, 江苏徐州, 221116;

2) 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏徐州, 221008

我国地质条件复杂, 煤层除受到区域和岩浆热变质作用形成不同煤级煤外, 往往叠加动力变质作用, 导致包括分子尺度在内的煤结构成分进一步复杂化, 而煤分子尺度的结构成分是影响其物理化学性质及有效利用的重要因素。煤的红外光谱图分析可以获得煤中有机质化学结构信息(董庆年, 1979), 被国内外学者广泛用于不同类型煤及其组成和衍生物的分子结构成分研究, 但较少被用于煤结构成分应力效应的研究, 且多是针对单一类型构造煤(李小明等, 2005; 乔伟等, 2014), 据宣文等(2005)基于淮北、淮南地区煤变质变形环境系统分析, 首先运用 FTIR 开展同变质背景的煤分子尺度结构成分应力效应研究, 李小诗等(2011, 2012)进一步运用 FTIR, 结合激光 Raman 光谱和 X 射线衍射等方法, 探讨不同变质阶段煤大分子结构叠加脆性、韧性和脆韧性变形作用下的演化, 增进了对煤分子尺度结构随变质和变形演化规律和机制的认知。但尚有两方面待完善: 其一, 样品煤级跨度大, 说明变形前煤变质程度可能存在较大差异, 难以突显后期应力-应变环境的影响; 其二, 从变形机制入手探讨应力影响效应, 仅考虑变形时煤岩力学性质, 忽略了应力本身的性质。本文拟筛选气煤、焦煤和无烟煤级的构造煤样品, 开展 FTIR 测试分析, 并在考虑构造煤变形机制的基础上, 将具典型剪切变形作用特征的片状煤、薄片煤和鳞片煤作为单独的变形序列分析, 探究不同煤级煤分子尺度结构成分的应力效应。

结果表明, 构造煤 FT-IR 结构参数同样受煤化程度和构造变形的共同影响, 且不同的参数, 两个因素的影响程度存在差异。部分参数表现出与煤化程度较好的相关性, K、D、F、M 和 N 峰的吸收率

均随煤化程度的增高, 表现为由气煤级到焦煤级变化不大, 而至无烟煤级的明显减小; A 峰吸收率起始由气煤级到焦煤级亦变化不大, 而至无烟煤级表现为明显的增大; R 峰的吸收率则随煤化程度的增大表现为先减后增的变化趋势。构造变形对 FT-IR 参数的影响较为复杂, 且不同参数的变化规律随煤级的不同, 变形环境类型的不同而存在差异。

脆性碎裂变形对 K 峰吸收率的影响表现为, 低、高煤级煤随变形的增强而增大, 中煤级煤随变形程度变化不明显; 对 D 和 F 峰吸收率的影响表现为, 仅低煤级煤随变形的增强而增大, 中、高煤级煤随变形增强的变化不明显; 对 M 和 N 峰吸收率的影响表现为, 仅中煤级煤在强脆性碎裂变形作用下明显降低; 对 A 峰吸收率的影响表现为, 仅高煤级煤随变形的增强而增大; 对 R 峰吸收率的影响表现为, 低、中煤级煤随变形的增强而增大, 高煤级煤随变形的增强有小幅下降。

韧性变形对 K 峰吸收率的影响表现为, 低、高煤级煤随变形增强而增大, 中煤级煤随变形程度变化不明显; 对 U、V 和 W 峰的吸收率的影响表现为, 中、高煤级煤随变形的增强而增大, 低煤级煤随变形增强的变化不明显; 对 D 和 F 峰吸收率的影响表现为, 低、高煤级煤随变形的增强而增大, 中煤级煤仅在较强韧性变形下明显降低; 对 M 和 N 峰吸收率的影响表现为, 仅中煤级煤随变形的增强而明显降低; 对 A 峰吸收率的影响表现为, 中、高煤级煤随变形增强而增大, 低煤级煤随变形增强的变化不明显; 对 R 峰吸收率的影响表现为, 低、中煤级随变形的增强而增大, 高煤级煤则随变形的增强大幅下降。

剪切变形对 K 峰吸收率的影响表现为, 低、高

注: 本文为国家科技重大专项(编号 2011ZX05034-01-02)和国家自然科学基金项目(编号 41302130、41430317)资助的成果。

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 屈争辉, 男, 1981 年生。博士, 矿产普查与勘探专业。Email: quzhenghui@cumt.edu.cn。

煤级煤随变形增强而增大, 中煤级煤随变形程度变化不明显; 对 U、V 和 W 峰吸收率的影响表现为, 低煤级不同剪切变形程度煤样的 U、V 和 W 峰吸收率均明显高于其它变形类型煤样, 但不同剪切变形程度煤样之间的 U、V 和 W 峰吸收率变化不大, 中煤级煤仅在强剪切作用下有明显降低, 高煤级煤在较强剪切作用下有明显增大, 但剪切变形进一步增强又导致 U、V 和 W 峰吸收率的减小; 对 D 和 F 峰吸收率的影响, 低煤级煤随变形的增强而降低,

中煤级煤随变形增强的变化不明显, 高煤级煤仅在强剪切变形作用下表现为明显增大; 对 M 和 N 峰吸收率的影响, 仅低煤级煤在中等和强剪切作用下有所降低; 对于 A 峰吸收率的影响, 低煤级各剪切变形程度构造煤的 A 峰吸收率明显低于其它类型构造煤; 中煤级煤表现为仅强剪切变形作用下的大幅增大, 高煤级煤随变形的增强而增大; 对 R 峰吸收率的影响, 低煤级煤随变形增强而增大, 中、高煤级煤随变形增强均表现为先增后降的变化趋势。

表 1 FT-IR 参数计算结果

编号	构造煤类型	应力-应变环境	$R_{o,max}$ (%)	A (%)	D (%)	F (%)	K (%)	M (%)	N (%)	R (%)	U (%)	V (%)	W (%)
SY-01	原生结构煤	-	0.89	16.86	12.79	10.54	11.77	11.19	10.20	11.53	5.24	5.03	4.84
SY-02	碎裂煤	脆性碎裂	0.78	19.71	12.95	10.49	11.71	10.40	9.97	12.20	4.44	4.20	3.94
SY-03	碎斑煤		0.84	15.28	13.72	11.36	11.92	11.64	10.65	12.38	4.68	4.47	3.90
SY-04	片状煤	剪切	0.65	13.01	12.27	10.57	10.85	11.55	11.13	12.62	6.33	5.93	5.74
SY-05	薄片煤		0.69	13.64	11.76	10.09	12.24	10.76	10.12	13.15	6.14	6.21	5.89
SY-06	鳞片煤		0.85	12.30	10.38	9.06	12.74	10.89	10.51	14.18	6.49	6.62	6.83
SY-07	揉皱煤	韧性	0.79	16.91	14.05	11.04	12.30	9.72	9.41	12.34	4.93	4.44	4.88
SY-08	糜棱煤		0.89	15.01	13.06	11.33	13.80	11.00	10.06	12.67	4.24	4.45	4.38
SY-09	碎裂煤	脆性碎裂	1.52	13.82	12.02	10.03	13.20	11.65	10.34	10.84	5.37	5.87	6.86
SY-10	碎斑煤		1.53	14.88	12.03	10.11	13.55	11.56	10.11	10.57	5.20	5.27	6.73
SY-11	碎粉煤		1.63	13.36	10.67	9.44	12.13	11.08	10.14	10.38	6.58	6.98	9.26
SY-12	片状煤	剪切	1.54	14.08	11.61	9.95	11.68	10.94	10.32	10.81	6.75	6.81	7.05
SY-13	薄片煤		1.43	13.24	12.74	10.50	14.24	12.62	10.68	10.13	5.14	5.20	5.51
SY-14	鳞片煤		1.35	25.44	13.86	10.96	12.08	9.19	9.41	11.75	2.51	2.17	2.62
SY-15	揉皱煤	韧性	1.4	18.27	12.59	10.51	11.71	10.27	9.95	10.91	5.31	5.00	5.48
SY-16	揉皱煤		1.34	17.30	11.18	9.64	10.87	9.71	9.87	11.65	6.93	6.31	6.54
SY-17	碎裂煤	脆性碎裂	2.58	22.95	8.88	7.55	8.98	7.96	8.27	16.79	5.39	5.70	7.55
SY-18	碎粉煤		2.42	20.30	8.36	7.01	9.45	8.73	9.63	15.60	6.73	6.65	7.55
SY-19	薄片煤	剪切	2.69	18.40	6.92	7.74	8.41	9.55	10.20	17.50	6.52	8.24	6.52
SY-20	鳞片煤		2.63	18.34	8.16	7.18	9.39	8.57	9.97	16.04	7.10	7.26	8.00
SY-21	鳞片煤		2.89	26.01	10.14	7.48	11.06	7.47	9.33	14.19	5.16	4.34	4.81
SY-22	鳞片煤		2.96	27.58	10.87	8.29	10.50	6.70	8.54	13.45	4.85	4.24	4.98
SY-23	揉皱煤	韧性	3.05	24.32	9.74	7.89	9.74	8.11	9.63	14.52	5.71	4.85	5.49

## 参 考 文 献 / References

- 董庆年. 1979. 红外光谱法. 北京: 化学工业出版社, 1~271.
- 据宜文, 姜波, 侯泉林, 王桂梁. 2005. 构造煤结构成分应力效应的傅里叶变换红外光谱研究. 光谱学与光谱分析, 25(8): 1216~1220.
- 李小明, 曹代勇, 张守仁, 魏迎春. 2005. 构造煤与原生结构煤的显微傅立叶红外光谱特征对比研究. 中国煤田地质, 17(3): 9~11.
- 李小诗, 据宜文, 侯泉林, 林红. 2011. 不同变形机制构造煤大分子结构演化的谱学响应. 中国科学: 地球科学, 42(11): 1690~1700.
- 李小诗, 据宜文, 侯泉林, 林红. 2011. 煤岩变质变形的谱学研究. 光谱学与光谱分析, 31(8): 2176~2182.
- 乔伟, 张小东, 简瑞. 2014. 不同煤体结构特征对比研究. 煤炭科学技术, 42(3): 61~65.