

北方煤系高岭岩矿床中高岭岩的有序度研究

张笑玉*

(中国地质科学院矿床地质研究所,北京)

提 要: 高岭岩的结晶有序度除了受物源和成岩强度的影响外,还与显微结构和高岭岩的纯度有关。高岭岩有4种显微结构:同一剖面的高岭岩中,假象结构高岭岩的结晶有序度最高;隐晶高岭岩、隐晶团块状高岭岩的结晶有序度相差不大;蠕晶高岭岩的结晶有序度最低。高岭岩中混入的其他矿物越多,其结晶有序度越低。高岭岩中高岭石的结晶有序度有不同的表示方法,不同表示方法所表示的结晶有序度有不同的物理意义,且相互间存在着一定的对应关系。

关键词: 煤系高岭岩 结晶有序度 欣克利指数

1 研究区高岭岩的显微结构特征

研究区的高岭岩产自山西的平朔、大同,内蒙古的乌海、准格尔。所研究的几个地区在高岭岩显微结构上没有太大差异,基本上均由四种显微结构组分单独或按不同比例混合组成一系列特征结构类型。

1.1 高岭岩的显微结构组分

(1) 假象晶体:具长石、云母假象,或不规则颗粒状,磨圆的四方、六方状表面往往比较脏,有时内有包裹物,是先于基质就以晶粒形式存在的。

(2) 隐晶:由隐晶质高岭石组成,多呈均一结构。有时隐晶基质可具定向。隐晶结构组分可以单独形成隐晶结构高岭岩,也可以作为基质存在于其他结构的高岭岩中。

(3) 团块:团块由隐晶或微晶高岭石组成,“团块”这一词在英文中为 *graupe*,译成中文时不同的作者名称有所差异,有“颗粒”、“团粒”等名称,都是指同一种结构现象。为区别于灰岩中的颗粒,作者称之为“团块”。

团块形态主要为透镜状、椭球状,少量呈圆球状、近圆状、楔状等,长轴往往平行于层面排列,团块大小不一,一般的团块中呈均匀结构,少数团块中有平行纹层。

(4) 蠕虫状晶体:主要由大晶粒高岭石组成,晶粒的形态可为蠕虫状、书册状、手风琴状、旋卷半圆状等,蠕晶高岭石往往表面干净,无一点杂质,显然是在成岩中新生的。

1.2 煤系高岭岩的特征结构

(1) 假象结晶结构:假象结晶结构单独组成假象结晶结构,这种情况比较少见,更常见的情况是假象结晶结构为主含少量隐晶结构组成假象结晶结构高岭岩。也可以形成假象高岭石“漂浮”于定向或不定向的隐晶基质中,形成假象隐晶结构、含假象隐晶结构等过渡结构类型。

(2) 隐晶结晶结构:全部由隐晶结晶结构组成,也可以含少量其他3种结构。

* 张笑玉,女,1966年生,博士,助研,长期从事粘土矿床、矿物和沉积地球化学研究。邮政编码 100037

(3) 团块状结构:由团块组构分布于定向或不定向的隐晶基质中。

(4) 蠕晶结构:由蠕虫状结晶组构不含或含少量隐晶组构组成。

还有团块含团块蠕晶结构、假象含假象蠕晶结构、假象含假象团块结构等过渡结构。

2 煤系高岭岩的结晶有序度

高岭石矿物结构中有序—无序现象极为普遍^[3],粘土矿物中存在各种无序现象,这些无序现象可由结构中阳离子的分布、层的堆垛和混合层等因素引起。其中最重要的结晶无序由层的堆垛和混合而引起。

核磁共振研究表明,无论是结晶好(欣克利指数高)还是结晶不好(欣克利指数低)的高岭石,²⁹Si-MAS/MNR谱和²⁷Al-MAS/NMR均有一尖锐的共振带,说明短程都是有序的^[1],核磁共振谱不能反映长程结晶有序情况。X射线粉晶衍射(XRD)能反映层堆垛引起的结晶无序和层混合引起的结晶无序,红外光谱由分子各种键的振动引起,如键—OH、Si—O等,主要反映离子占位和结构中的原子热运动等引起的无序,与XRD反映的结晶无序是一个问题的不同侧面。

高岭石的有序度有不同的表示方法,最通用的方法是欣克利指数。

2.1 煤系高岭岩欣克利指数与产地和成岩强度的关系

本文所研究的平朔、大同、准格尔、乌海4个地区的石炭—二叠系煤系高岭岩的HI范围从0.72~1.58,与煤层密切相关硬质高岭岩的欣克利指数可以低至0.64,软质高岭土的欣克利指数可以高至1.65,与煤层无密切关系的淮南B层高岭岩的欣克利指数可以低至0.25(刘钦甫,1997)^[2]。总之,华北石炭—二叠系煤系高岭岩的HI范围从0.25~1.58,华北石炭系—二叠系煤系中产出的高岭石的欣克利指数可以从0.25~1.65。

本文所研究的各地区高岭岩的欣克利指数总体上看有一定的差异,准格尔的HI较高,平

表1 研究区高岭岩的欣克利指数表

平朔 3314 孔		同忻 201 孔		准格尔 6#		平朔 4#		平朔 9#		乌海 9#	
样号	指数	样号	指数	样号	指数	样号	指数	样号	指数	样号	指数
ZX-1	1.05	3-1	0.98	l-5	1.27	J-2	0.72	Q-10	0.92	W-101	1.30
ZX-2	0.74	3-2	1.23	l-4	1.36	J-3	1.07	Q-12	0.75	W-102	1.08
ZX-4	1.29	4-1	1.36	L-3	0.86	J-4	0.76	Q-14	0.94		
ZX-5	0.88	4-2	0.96	l-2	1.23	J-7	1.24	Q-20	1.13		
ZX-6	0.88	6-1	1.14	l-1	1.48	J-8	1.04	Q-24	0.85		
ZX-7	0.91	9-1	1.11	y-6	1.31	J-9	0.97	9#底	0.81		
ZX-8	0.93	9-2	0.89	y-5	1.45	J-11	1.0				
ZX-9	1.34	10-1	1.04	z-2,3	1.35						
ZX-14	1.08	11-1	1.09	y-4	1.58						
				y-3	1.24						
				y-2	1.03						
				y-1	1.18						
平均	1.01		1.09		1.28		0.93		0.9		1.19

朔的 HI 较低(表 1)。

从表 1 可以看出四个地区欣克利指数平均值从大小的顺序是准格尔、乌海、大同和平朔。而上述几个地区的最高成岩温度从大到小的顺序是乌海、平朔、大同和准格尔^①。两者的顺序并不相同,准 6# 夹矸是成岩温度最低的,而结晶度最好。看来,造成高岭岩结晶有序度高低的原因在上述研究地区不是成岩作用为主要因素,说明横向上物质沉积作用的差异是造成高岭岩结晶有序度差异的主要原因。

表 2 平朔夹矸结构与 HI 的关系

隐晶	团块	碎屑高岭石	蠕晶
J-2 0.72	J-4 0.76	J-3 1.07	Q-12 0.75
J-9 0.97	J-7 1.24	J-11 1.00	J-10 0.94
Q-10 0.92	J-8 1.04	Q-14 0.94	
Q-20 1.13		4# 顶 1.05	
Q-24 0.85			
9# 底 0.81			
平均值 0.90	1.01	1.02	0.85

2.2 煤系高岭岩欣克利指数与显微结构的关系

同一剖面中不同层位高岭岩的结晶有序度与它的显微结构密切相关,高岭岩中 HI 是平均效应,实际上不同显微形态的高岭石的 HI 是有差别的,这种差别应除去物源地区差异。现以乌海和平朔(表 2)为例,分别讨论。表 2 给出了平朔夹矸高岭岩欣克利指数与显微结构的关系。

乌海 9# 和其他煤夹矸 HI 与结构的关系可见图 1。

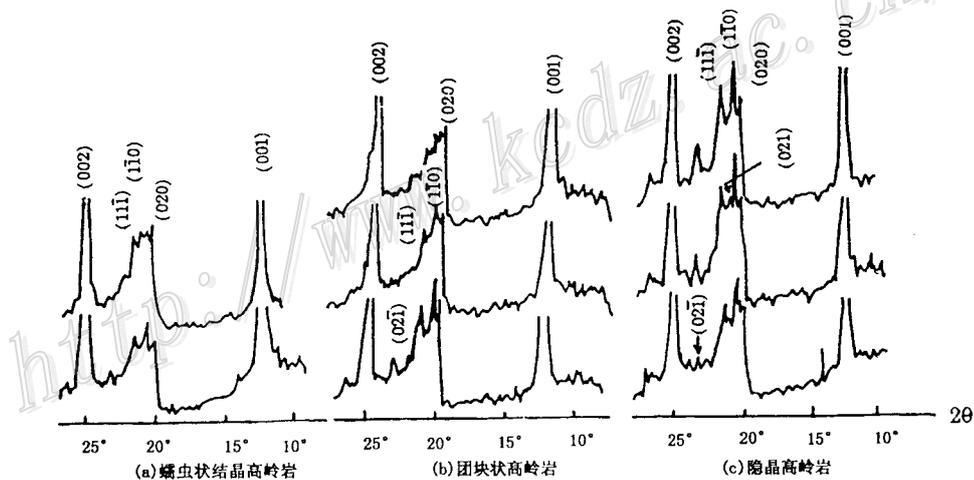


图 1 乌海不同结构高岭岩(001)与(002)间 X 射线衍射图

从上述两地区可看出大致的趋势是碎屑状结晶的高岭岩有序度最好;隐晶高岭岩、隐晶团块高岭岩两者差异不大,次之;而最小者为蠕虫状高岭岩。由此推知,碎屑高岭石的结晶度最好,隐晶高岭石次之,蠕虫状高岭石结晶最差。

2.3 其他矿物含量与高岭岩的欣克利指数的关系

平朔 3314 孔中 9# 顶板 4 m 厚的含粉砂高岭岩,从上到下,ZX-6—ZX-9 越近煤层颜色越

① 张笑玉,1994,北京大学地质系博士论文

深,有机质含量越高,从粉砂质高岭岩过渡至紧邻煤层的含粉砂隐晶团块状高岭岩。成分的变化(表3),石英减少,I/S从少量到无,高岭石含量增加,且结晶指数(欣克利指数)增加。

表3 平3314孔9#煤顶板4m厚含粉砂高岭岩成分变化

	Q	K	I	HI	pH	颜色
ZX-6	19.6	66.0	14.4	0.88	6.96	灰色
ZX-7	17.7	82.3	—	0.91	7.73	灰色
ZX-8	16.4	83.6	—	0.93	6.70	深灰色
ZX-9	12.3	87.7	—	1.34	6.55	灰黑色

pH系岩石粉<200目:H₂O=1:1,60小时后测得

3 不同方法表示的有序度间的关系的研究

除欣克利指数法外,高岭岩结晶有序度还有以下表示方法:①红外光谱的—OH振动谱带中两强吸收峰强度比值($I_{3695\text{cm}^{-1}}/I_{3620\text{cm}^{-1}}$)法;②红外光谱的Si—O振动最强吸收峰1030

cm^{-1} 半高宽(厘米波数)。不同的表示方法的意义不同。

$I_{3695\text{cm}^{-1}}/I_{3620\text{cm}^{-1}}$ 表示结晶中由于—OH基团的环境差异造成振动能的改变,而1030 cm^{-1} 左右的峰的半高宽则表示晶体结构中的无序造成的Si—O键的振动能范围的改变,两者反映最强的是结构中离子的替换无序,对层堆垛有、无序有一定反映,但很弱。原因是层间范德华引力作用的数量级小于成键原子间的键力。而XRD方法中的欣克利指数反映晶体结构中非基面反射出现的规律性,主要与层的堆垛、错叠有关,堆垛有规律性则出现的反射面的反射强,且不连续,分辨率良好;若堆垛无序,则反射面出现少,且连续反射。欣克利指数直接反映层堆垛的有序性。离子替换造成的晶格畸变很小,在晶体衍射中的影响也很小。

从上述分析可看出,不同有序度表示的物理意义是不同的,理论上讲也不一定有相关性,这从研究区高岭岩的不同形式表现的有序度的相关性分析中可以得到证实。

$I_{3695\text{cm}^{-1}}/I_{3620\text{cm}^{-1}}$

用IO(—OH)表示

半高宽(cm)1030 cm^{-1}

用IO(Si—O)表示

欣克利指数

用HI表示

相关方程为:

$$\text{IO}(-\text{OH}) = -6.0066 \times 10^{-2} \text{IO}(\text{Si}-\text{O}) + 2.2260 \quad r = -0.7268$$

$$\text{HI} = 1.7664 \text{IO}(-\text{OH}) - 1.3364 \quad r = 0.5978$$

$$\text{HI} = -6.64701 \times 10^{-2} \text{IO}(\text{Si}-\text{O}) + 2.03448 \quad r = -0.2613$$

可以看出,红外光谱法给出的两个有序指数的相关性较好;而欣克利指数与上述二指数的相关性较差,几乎与(Si—O)能带的改变无关。这说明Si—O四面体中的离子替换较少,对欣克利指数几乎没有什么影响,但AlO(OH)八面体中离子的替换较多,对欣克利指数有一定的影响。四面体层和八面体层间的相互影响较强。

参 考 文 献

- 1 夏铮.高岭石族矿物研究的新进展.建材地质,1991,(增刊):41~44.
- 2 刘钦甫,张鹏飞.华北晚古生代煤系高岭岩物质组成和成矿机理研究.北京:海洋出版社,1997,25~26.
- 3 Brindley G W. Order-disorder in clay mineral structures:in crystal structure of clay minerals and their X-ray identification, G.W.Brindley and G. Brown, ets., monograph 5, Mineralogical Society, London:1980,341~356.