

Microscopic Morphological Characteristics of Main Clay Minerals in Zhangcun Illite Ores and Their Genetic Type Analysis

Rui Yang¹, Yuan Tian¹, Xiaobo Li², Ruihua Lin³, Yuxin Song¹, Bohui Xu^{1*}

¹School of Earth Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

²Shandong 5th Geo-Mineral Prospecting Institute, Tai'an Shandong

³The Second Hydrogeologic Team, China Coal Geology Bureau, Xingtai Hebei

Email: xubohui056@163.com

Received: Jan. 30th, 2020; accepted: Feb. 12th, 2020; published: Feb. 19th, 2020

Abstract

The microscopic morphological characteristics of main clay minerals in Zhangcun illite ores were studied by using high-resolution scanning electron microscopic (SEM) and image analysis technology. The results show that: 1) the illites generally appear as crooked scaly and foliated partly; 2) illite/smectite (I/S) mixed layered minerals are banding flake with filamentous edge mostly and cusp type flake partly; 3) pyrophyllite appears to be flake and tabular sheet forming hollow pipe; 4) serpentinite is obviously fine flake with wavy shape; 5) chlorite appears as rose flower-like. The genetic types of main clay minerals were analyzed according to their microscopic morphological characteristics combining with geological conditions and geological background of study area. It is concluded that illite is sedimentation reformation type; the formation of pyrophyllite, serpentinite and chlorite were controlled by hydrothermal process and the I/S mixed layered mineral is transitional product during the transformation from illite to smectite.

Keywords

SEM, Zhangcun, Clay Minerals, Sedimentation Reformation, Hydrothermal Process

章村伊利石矿中主要粘土矿物的微观形貌特征及成因分析

杨瑞¹, 田元¹, 李晓波², 吝瑞华³, 宋玉鑫¹, 徐博会^{1*}

¹河北工程大学地球科学与工程学院, 河北 邯郸

*通讯作者。

文章引用: 杨瑞, 田元, 李晓波, 吝瑞华, 宋玉鑫, 徐博会. 章村伊利石矿中主要粘土矿物的微观形貌特征及成因分析[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(2): 62-68. DOI: 10.12677/ag.2020.102008

²山东省第五地质矿产勘查院, 山东 泰安

³中国煤炭地质总局第二水文地质队, 河北 邢台

Email: xubohui056@163.com

收稿日期: 2020年1月30日; 录用日期: 2020年2月12日; 发布日期: 2020年2月19日

摘要

使用高分辨率扫描电镜和图像分析技术对章村伊利石矿中主要粘土矿物的微观形貌特征进行了研究。结果表明: 1) 伊利石的镜下形貌一般呈弯曲的鳞片状, 也有的呈叶片状; 2) 伊/蒙混层矿物主要有带状薄片, 片状边缘有丝状, 部分呈尖角直边的鳞片状; 3) 叶腊石多呈鳞片状, 有的呈板片环绕而成的空心管状; 4) 蛇纹石呈明显的波形褶皱的细小片状; 5) 绿泥石主要呈玫瑰花朵状。结合该伊利石矿的地质条件和地质背景, 依据各种粘土矿物的微观形貌特征对它们的成因类型进行了分析, 分析结果表明: 该伊利石矿中伊利石矿物为沉积改造型伊利石; 叶腊石、蛇纹石与绿泥石是受热液作用控制而形成; 伊/蒙混层矿物为伊利石向蒙脱石转化过程中所形成的产物。

关键词

扫描电镜, 章村, 粘土矿物, 沉积改造, 热液作用

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

粘土矿物在自然界中的产出状态有三种, 包括土壤及风化岩、由热液、温泉形成的岩脉、矿脉及其蚀变围岩以及现代沉积物和沉积岩。这三种产出状态分别代表了三种粘土矿物形成的地质作用, 即风化作用(风化粘土矿物)、热液、温泉作用(蚀变粘土矿物)和沉积作用、成岩作用(自生粘土矿物、成岩粘土矿物) [1] [2]。不同地质条件下所形成的粘土矿物的单体形状及集合体形态都有所不同[3]。扫描电镜(SEM)因其能直接观察粘土矿物样品的原始表面, 具有景深大、图像立体感强、分辨率高等特点, 因此被广泛应用于粘土矿物微观形貌的测定[4] [5], 由于扫描电镜揭示了粘土岩及粘土矿物的微观形貌特征, 因而有可能将粘土矿物的形态特征同其产状、成因联系起来进行综合分析[5] [6]。Keler [5]根据扫描电镜下粘土矿物形貌特征将粘土矿物大体上分为硅酸盐风化型、热液蚀变性、残积型; 陈丽华[7]、周剑雄[8]、杨雅秀[9]等都在粘土矿物的扫描电镜研究方面做了大量的工作, 对不同成因条件下粘土矿物微观形貌特征作了详细的描述。本文利用扫描电镜对采自章村伊利石矿中的 140 多个样品进行了大量研究, 描述了伊利石矿中主要粘土矿物的微观形貌特征, 并依据其微观形貌特征对各自的成因进行了判别。

2. 地质背景

华北地区在早二叠世早期海水向东南退出, 广大地区呈现出一个有山前冲积平原、滨海平原和泻湖海湾沉积环境所组成的海退式古地理景观[10]。该伊利石矿位于武安煤盆地北部边缘, 本区从山西组开始为陆相沉积, 根据地层中原始物质成分、粒度、分选性、层理及岩层厚度来看, 矿区在早二叠晚期属

大陆湖泊相沉积环境，伊利石矿的原始沉积物富集于湖泊环境中。后来受中生代燕山期中酸性岩浆活动的影响，原始沉积物发生一定程度的热力变质，从而使先期的湖泊沉积的粘土岩经多因复成叠加改造而形成现在的伊利石矿床。

根据区内地表出露及钻孔揭露情况，区内地层由老到新依次为奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、第四系。伊利石矿床主要赋存与发育层位在二叠系石盒子组。矿区南部存在岩浆侵入现象，中酸性岩浆侵入到下石盒子组一段、下石盒子组二段和上石盒子组二段地层中。矿区中部发育一条近南北走向的大型正断层，倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，断距 0~450 米。

3. 样品与测试方法

3.1. 样品的采集与处理

通过野外地质钻探，从 7 个钻孔中采了 143 块伊利石样品，然后用样品袋进行封装。在试验室内将样品粉碎至 3 mm 左右的块状体，选取断面新鲜、表面平整的样品，按照顺序将其粘放到带有乳胶胶带(镀膜厚可构成样品表面和样品桩之间的导电通路)的样品台上，然后对样品进行镀金(电流：8 毫安，镀金时间：60 秒)，以保证岩石样品与样品桩之间具有良好的导电性。

3.2. 扫描电镜测试

样品镀金后放入电镜的样品仓中，抽真空后，再进行观察；实验所用扫描电镜为日本产 JSM6360 扫描电镜，电镜配有 LinkISIS 能谱自动分析系统，用来获取矿物颗粒的化学成分。实验中所用电压 20 keV，电流 600 pA；电子束斑直径为 1 μm ，电子束的穿透能力为 5 μm ，信号采集时间为 100 s，使总计数值超过 100,000；本文的电镜图像均为二次电子图像，放大倍数： $\times 4000$ ， $\times 8000$ 。

4. 结果

根据 X 射线衍射的结果，该伊利石样品中主要的粘土矿物成分为伊利石、伊/蒙混层、叶腊石、蛇纹石，还有少量的绿泥石。这些矿物成分在镜下微观形貌如图 1 所示。

5. 讨论

5.1. 主要粘土矿物的微观形貌

1) 伊利石：扫描电镜下，伊利石常呈弯曲片状、板条状，集合体呈蜂窝状、丝缕状、毛发状等。该伊利石矿中伊利石的镜下形貌一般呈弯曲的鳞片状，鳞片粒径大部分为 0.02~0.005 毫米，个别晶体达 0.2~0.6 毫米。有的呈定向平行排列，形成鳞片状连晶(图版 a)，也有的呈叶片状，具有较清晰的轮廓(图版 b)。由于伊利石的镜下形貌特征与蒙脱石具有较大的相似性，在扫描电镜下一般不容易把它们区分开。因此鉴定中必须谨慎，应全面考虑地质条件和充分利用它们特有的形态特征，并借助于能谱、X 射线衍射分析等数据。

2) 伊/蒙混层矿物：伊/蒙混层矿物在扫描电镜下的形态既象蒙脱石，又象伊利石，主要有带状薄片，片状边缘有丝状(图版 g)、指状、蜂窝状，样品中部分伊/蒙混层矿物在镜下呈尖角直边的鳞片状(图版 f)。为了准确的把伊/蒙混层矿物与蒙脱石区别开，需借助电子探针和 X 射线衍射等手段。

3) 叶腊石：在扫描电镜观察中，叶腊石很少具有完整的晶体，一般为叶片状、纤维状、辐射状、粒状或致密块状，多呈鳞片状或隐晶质致密块状体。本文所观测样品中叶腊石多呈鳞片状，边界圆滑(图版 c)，有的呈板片环绕而成的空心管状(图版 d)。单体的结晶度都比较好，轮廓界限明显。

4) 蛇纹石：蛇纹石矿物的同质多象和多型变体很多，根据其形态大致可分为三种：利蛇纹石、纤蛇

纹石和叶蛇纹石[11]。它们在镜下的形态特征也各有不同，纤蛇纹石呈管状纤维，单根纤维粗细较均匀，常呈束状集合体；叶蛇纹石是蛇纹石矿物的叶片状变种，镜下常呈片状或板状，集合体呈波形褶皱的细小片状；利蛇纹石与叶蛇纹石相似，区别在于除了底面之外没有其它良好的解理。本文所观测样品中蛇纹石矿物镜下多呈明显的波形褶皱的细小片状(图版 e)，属叶蛇纹石矿物，这与 X 射线衍射分析的结果也相一致(图 2)。

5) 绿泥石：在电镜扫描下，其单晶形态呈薄六角板状或叶片状，常见粒径为 $2\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ ；集合体形态常常为：由叶片组成的蜂窝状、玫瑰花朵状(图版 h)、绒球状、针叶状和叠片状，有时见其杂乱堆积状态。在本文所测试的样品中绿泥石矿物并不多见，仅在个别层位和地区中能发现绿泥石。

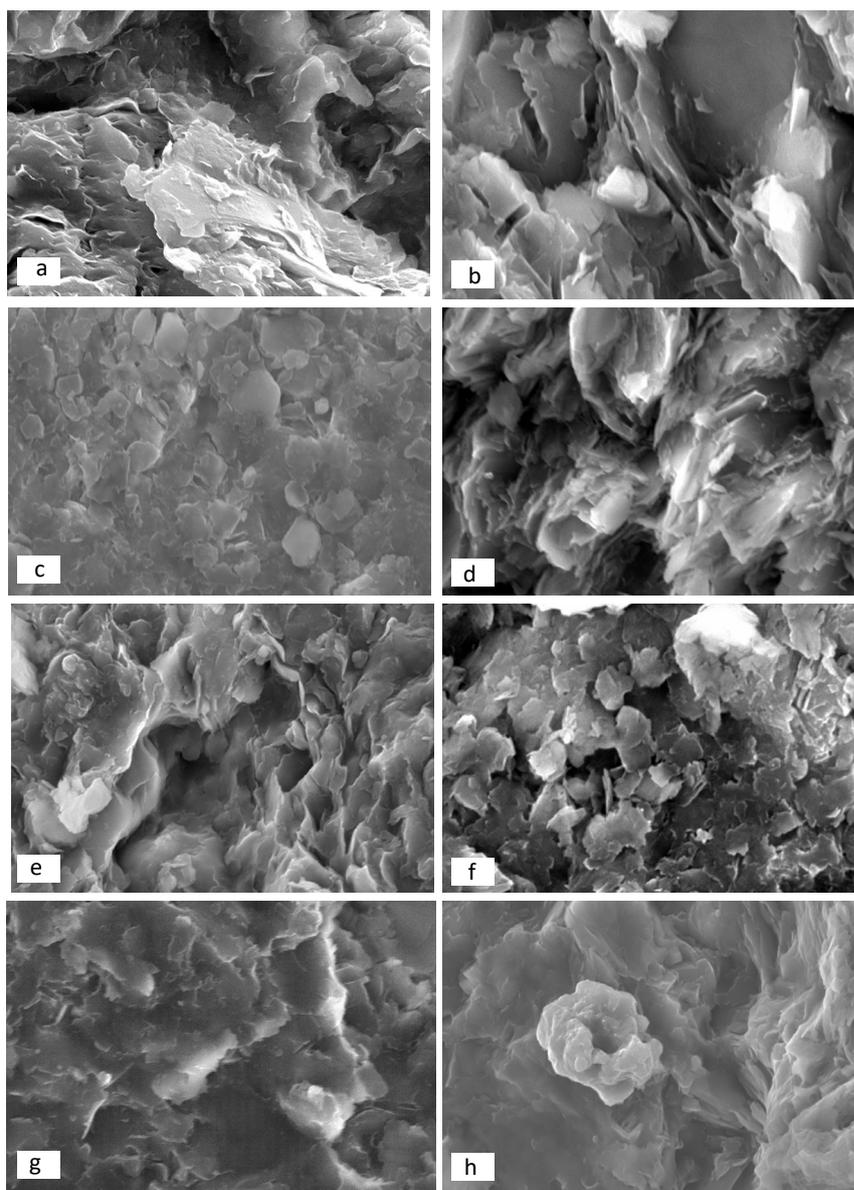


Figure 1. SEM images of main clay minerals in Zhancun illite mine. a, b: Illite; c, d: Pyrophyllite; e: Serpentine; f, g: Illite/montmorillonite; h: Rosette chlorite

图 1. 章村伊利石矿中主要粘土矿物的扫描电镜图片。a, b: 伊利石; c, d: 叶腊石; e: 蛇纹石; f, g: 伊/蒙混层矿物; h: 玫瑰花朵状绿泥石

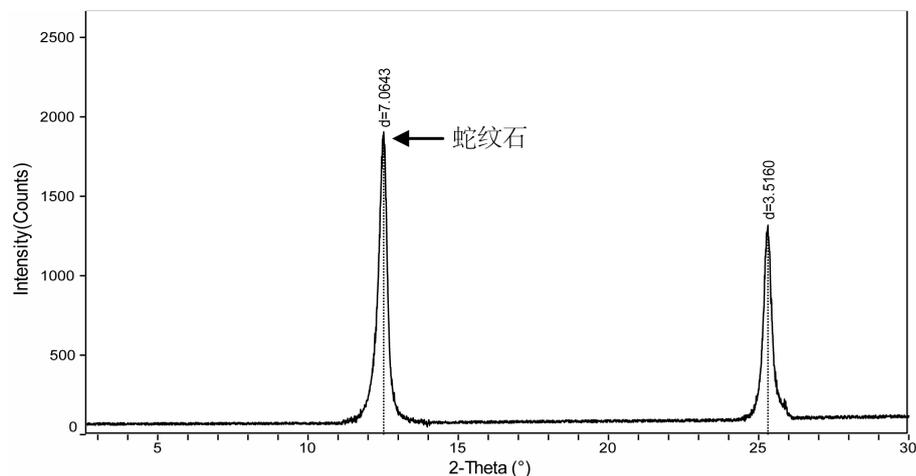


Figure 2. The XRD pattern of serpentine
图 2. 蛇纹石的 X 射线衍射图谱

5.2. 主要粘土矿物的成因分析

5.2.1. 伊利石成因分析

伊利石是常见的低温热变矿物，被作为沉积岩成岩作用的指示矿物[12]。伊利石有多种产状。沉积环境中(包括海相和湖相伊利石)，有陆源碎屑及自生成因两种[13] [14] [15]。在陆源碎屑成因中，伊利石是白云母、蒙脱石、高岭石以及长石等矿物经风化作用而转变为粘土矿物的中间过渡产物。常见于云母片岩、片麻岩等风化后所形成的粘土中。也常见于由中、酸性火成岩经风化而形成的土壤中。在砂岩孔洞中的伊利石是自生作用生成的，呈毛发状。

张天乐[16]在电镜下，以伊利石单体形态划分其成因类型，认为呈尖角直边状薄片或呈板条状的伊利石为热液蚀变或成岩变质成因，边界圆滑的伊利石为碎屑成因。扫描电镜下，本研究中的伊利石呈弯曲的薄片状、集合体呈蜂窝状、丝缕状等，具有典型的变质形态。该地区富含铝、钾的沉积粘土岩，受岩浆活动的影响，经重结晶、排杂、富化等过程，形成了该沉积改造型伊利石。

5.2.2. 伊/蒙混层矿物成因分析

由 Weaver [17], Hower [18]等人提出，认为长石、云母等富钾矿物的分解提供了足够的 K^+ 和 Al^{3+} ，随埋深的增加、温度的升高，蒙脱石脱水并且八面体 Al^{3+} 对四面体 Si^{4+} 进行代替，引起层间负电荷增加而使 K^+ 进入晶层开始形成伊/蒙混层矿物，但是本项研究中未见有蒙脱石矿物成分，而且伊/蒙混层矿物赋存的深度较浅，大致在地下 170~580 米的范围内，X 射线衍射结果表明伊/蒙混层矿物中伊利石晶层含量较高，混层有序度较高，表明该研究中的伊/蒙混层矿物显然不是蒙脱石向伊利石转化过程中的产物。由 Burst [19]给出的海绿石和层状硅酸盐矿物转化图(图 3)可以看出，在一定地质条件下，伊利石和蒙脱石的相互转化是可逆的。由扫描电镜分析结果来看，伊/蒙混层矿物大都继承了伊利石的微观形貌特征，多具鳞片状，表明本文所研究样品中的伊/蒙混层矿物是由先前所形成的伊利石释放 K^+ 而形成的，是伊利石向蒙脱石转化初期阶段的产物。

5.2.3. 叶腊石成因分析

叶腊石按其成因可大致分为以下几类[1]: 1) 沉积成因的叶腊石; 2) 酸性火山岩热液蚀变的叶腊石; 3) 变质成因的叶腊石; 其中由酸性火山岩热液蚀变而成的叶腊石岩主要分布在我国中生代酸性火山凝灰岩中，此种类型显然与本区的地质情况不相一致。在扫描电镜下，沉积成因叶腊石的呈鳞片状集合体，

变质成因的叶腊石呈鳞片状、板条状，板片常构成空心管状集合体。据任磊夫[1]所指：沉积环境中形成的叶腊石可能是由沉积的高岭石在成岩作用过程中经硅酸化作用而形成，在本研究过程中，并未发现样品中有高岭石存在的证据。因此，测试样品中叶腊石应属变质成因叶腊石。我们可以从以下两个方面对此做出论证，一方面其镜下特征符合变质成因叶腊石的微观形貌特征；另一方面，受岩浆活动的影响，区内的富铝矿石极易与沿断裂带侵入的热液发生作用而形成热液蚀变型叶腊石。

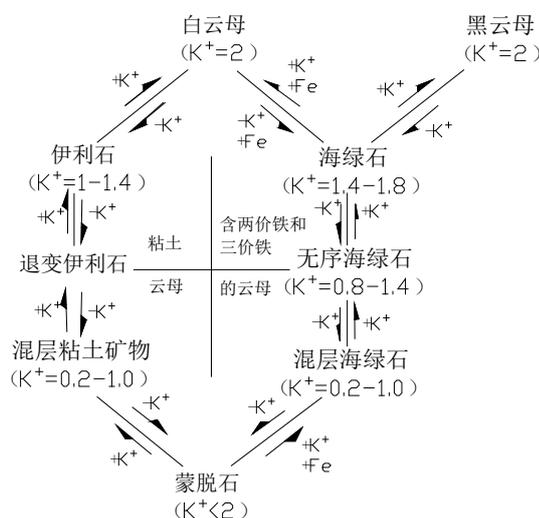


Figure 3. Conversion plans of layered silicate minerals
图 3. 层状硅酸盐矿物转化图

5.2.4. 蛇纹石成因分析

蛇纹石是一种典型的蚀变粘土矿物，它的形成方式有两种，一是由含镁矿物，如橄榄石等风化带或热水溶液作用下变质而成；二是由白云岩等与花岗岩接触，受热水溶液的作用而成[20] [21]。利用蛇纹石的镜下微观形貌特征很难确定其成因，必须结合实际的成矿环境和地质条件。前面我们提到，该区在早二叠世早期，形成了一系列泻湖海湾沉积环境，随着古湖泊中水份的蒸发，含盐量不断升高，于是便沉积形成了一定的白云岩。白云岩与后期中生代侵入的中酸性岩浆岩发生热液作用而最终形成了蛇纹石。

5.2.5. 绿泥石成因分析

绿泥石在自然界中分布很广，是沉积岩、低级变质岩、水热蚀变岩中的主要矿物之一，也是热液蚀变作用的重要产物之一[22]。它的形成方式有两种：一种是直接从溶液中沉淀出来，另一种是交代原先存在的矿物(通常是铁镁质矿物)，其中含有铁、镁和硅酸的热液沿裂隙下渗与孔隙水中的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 作用，可以形成玫瑰花瓣状绿泥石[23]。本研究过程中，从部分岩浆岩侵入区与断层活动带附近采集的样品中可见少量玫瑰花朵状绿泥石(图版 h)。因该伊利石原岩为富含铝、钾的沉积粘土岩，铁、镁等元素的含量较少，不利于绿泥石矿物的形成。但是受后期中生代燕山期中酸性岩浆活动的影响，含少量铁、镁和硅酸的热液沿区内的断层侵入到部分富含铝的地层中，与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 发生作用而形成少量的热液蚀变型绿泥石矿物。

6. 结论

第一，章村伊利石矿中主要粘土矿物的微观形貌如下：1) 伊利石的镜下形貌一般呈弯曲的鳞片状，有的呈定向平行排列，形成鳞片状连晶，也有的呈叶片状，具有较清晰的轮廓；2) 伊/蒙混层矿物主要

有带状薄片,片状边缘有丝状,部分伊/蒙混层矿物在镜下呈尖角直边的鳞片状;3)叶腊石多呈鳞片状,边界圆滑,有的呈板片环绕而成的空心管状,单体的结晶度都比较好,轮廓界限明显;4)蛇纹石呈明显的波形褶皱的细小片状;5)本文所测试的样品中绿泥石矿物并不多见,镜下主要呈玫瑰花朵状;

第二,根据各种粘土矿物的微观形貌特征,结合该矿物的地质条件,判断该伊利石矿中伊利石矿物为沉积改造型伊利石;叶腊石、蛇纹石与绿泥石是受热液作用控制而形成;伊/蒙混层矿物则是伊利石向蒙脱石转化过程中所形成的产物。

基金项目

河北省自然科学基金(D2019402055、D2017402150)、山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室开放基金(DMSM201818)项目资助。

参考文献

- [1] 任磊夫. 粘土矿物与粘土岩[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [2] Khoury, H.N. (2019) Review of Clays and Clay Minerals in Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, **12**, 706. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4882-2>
- [3] 张慧, 李小彦, 郝琦, 等. 中国煤的扫描电子显微镜研究[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [4] 高瑞祺, 孔庆云, 幸国强, 等. 石油地质试验手册[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1992.
- [5] 亦然, 徐国盛, 刘勇, 等. 西湖凹陷西次凹花港组致密砂岩储层成岩环境与孔隙演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2020, 47(1): 35-49.
- [6] 黎盼. 低渗透砂岩储层微观孔隙结构表征及生产特征分析[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2019.
- [7] 陈丽华. 扫描电镜在地质上的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [8] 周剑雄. 矿物微区分析概论[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [9] 杨雅秀. 中国粘土矿物[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [10] 韩德馨. 中国煤田地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1980.
- [11] 朱继存. 蛇纹石的物质成分特征和利用[J]. 石材, 2000(12): 33-35.
- [12] 焦玉国. 伊利石结晶度指数在岩石变质程度研究中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(1): 41-44.
- [13] 刘玲, 汤达祯, 王烽. 鄂尔多斯盆地临兴区块太原组致密砂岩黏土矿物特征及其对储层物性的影响[J]. 油气地质与采收率, 2019, 26(6): 28-35.
- [14] 赵杏媛. 粘土矿物与粘土矿物分析[M]. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [15] Drits, V.A. and Derkowski, A. (2015) Kinetic Behavior of Partially Dehydroxylated Kaolinite. *American Mineralogist*, **100**, 883-896. <https://doi.org/10.2138/am-2015-5083>
- [16] 张天乐, 王宗良. 中国粘土矿物的电子显微研究[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [17] Weaver, C.E. (1956) The Distribution and Identification of Mixed-Layer Clays in Sedimentary Rocks. *American Mineralogist*, **41**, 202-221.
- [18] Hower, J., Eslinger, E., Hower, M., et al. (1976) The Mechanism of Burial Diagenetic Reaction in Argillaceous Sediments, I. Mineralogical and Chemical Evidence. *Geological Society of America Bulletin*, **87**, 725-737. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87<725:MOBMOA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87<725:MOBMOA>2.0.CO;2)
- [19] Burst, J.F. (1958) Glauconite Pellets: Their Mineral Nature and Applications for Stratigraphic Interpretations. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **42**, 310-327. <https://doi.org/10.1306/0BDA5A7D-16BD-11D7-8645000102C1865D>
- [20] 宋青春, 张振春. 地质学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [21] 莫志亚, 佟建冬, 吕少复. 11种蛇纹石物理化学特征的分析[J]. 中国地方病防治杂志, 2005, 20(2): 84-86.
- [22] 王勇生, 朱光, 刘国生. 糜棱岩化过程中绿泥石多型与结晶度的演变[J]. 矿物学报, 2004, 24(3): 271-277.
- [23] 韩宝平, 冯启言. 兖州矿区红层砂岩中自生绿泥石的产状和成因[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 53-56.