

文章编号:1673-9469(2009)04-0056-05

伊/蒙混层粘土矿物研究现状与展望

徐博会,丁述理

(河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038)

摘要:本文在总结前人研究成果的基础上,对伊/蒙混层矿物的形成机制、结构分析及其在地质学领域的应用三个方面作了详细的介绍。总结出六种不同的伊利石-蒙脱石转化模型,并对各种转化模型的优缺点进行了分析;介绍了利用 XRD 图谱推断伊/蒙混层矿物混层形式的计算方法,并对各计算方法作了简要说明;详细介绍了伊/蒙混层矿物在地质学领域的应用现状以及取得的成果,最后指出伊/蒙混层矿物研究工作中存在的两个问题。

关键词:伊/蒙混层矿物;形成机制;晶体结构

中图分类号: P578

文献标识码: A

Research status of illite - smectite mixed - layer mineral and its prospect

XU Bo-hui, DING Shu-li

(College of Natural Resource, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract:The formation mechanism, crystal structure and application of illite - smectite mixed - layer mineral (I/S) were introduced in detail, based on the previous research. Six kinds of transformation models from smectite to illite were proposed and the advantages and disadvantages of the several models were analysed. The calculation methods of mixed - layer ratio in I/S and their scope of application were detailedly summarized. The I/S's application in the field of geology and research results were described in detail. Finally, two problems await to further research on I/S mixed layer mineral were pointed out.

Key words: illite - smectite mixed - layer mineral (I/S); formation mechanism; crystal structure

伊/蒙混层粘土矿物(I/S)是地层中最常见的粘土矿物之一。目前,伊/蒙混层矿物的研究已成为地质学领域研究的热点之一,它在成岩历史恢复^[1,2]、热液蚀变研究^[3]、传统结晶学理论发展^[4]等领域具有重大的科学意义。伊/蒙混层矿物研究的重要性在石油地质方面尤为突出,因为蒙脱石向伊利石转化的每一步都与石油的形成、运移、储存有着密切的关系^[5-8]。伊/蒙混层矿物凭借其重要的地质理论意义和实际应用意义吸引着国内外众多学者对其进行了大量而卓有成效的工作,并得到了丰富的信息和成果。本文在总结前人研究成果的基础上,对伊/蒙混层矿物的形成机制、结构分析及其在地质学领域的应用三个方面作了详细的介绍,并指出目前伊/蒙混层矿物研究中存在的问题,以期在以后的研究工作中能够有的放矢。

1 伊/蒙混层矿物形成机制

伊/蒙混层粘土矿物是伊利石和蒙脱石两个端源矿物之间的过渡矿物,由蒙脱石晶层和伊利石晶层沿 C 轴或垂直于(001)方向组成的特殊类型的层状硅酸盐矿物^[9];根据单元晶层沿 C 轴堆积的规律性,可以把混层粘土矿物分为规则(有序)混层粘土矿物和不规则(无序)混层粘土矿物^[10-12]。伊/蒙混层矿物的有序度代表了蒙脱石向伊利石转化的程度,有序度越大,说明蒙脱石的伊利石化程度越高^[13-16]。

自上世纪 30 年代起,国外学者就展开了对伊/蒙混层矿物的研究^[17],提出了有关伊/蒙混层矿物形成机制的多种观点。Weaver^[18],Hower^[19]等人研

收稿日期:2009-09-17

基金项目:河北省自然科学基金项目(D2007000695, D2009000833)

特约专稿

作者简介:徐博会(1981-),男,山东东营人,助教,从事非金属开发利用研究。

究认为长石、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。Eberl^[20] 等通过实验揭示了富 Al 的蒙脱石比贫 Al 的蒙脱石更容易向伊利石转化。Nadeau 等人提出了“粒间衍射”的概念, 认为蒙脱石的伊利石化是蒙脱石溶解-伊利石重结晶的过程。Corbato, Ruce Velde, Genewhitney, Inoue A 等人又进一步发展了这一转化机制。

尽管以上学者对伊/蒙混层矿物形成机制的阐述在细节上有所差异, 但实质上都认为蒙脱石与伊利石都是准稳定的矿物, 蒙脱石的伊利石化遵守 Ostwald step 规则^[21]。Ahn 和 Peacor^[22] 利用 HR-TEM 研究了伊/蒙混层粘土矿物, 提出了蒙脱石向伊利石转化的束状晶体交插生长机制, 并否定了伊/蒙混层阶段, 提出蒙脱石由于 K 和 Al 的带入以及 Fe、Mg、Si 的带出, 在其周围逐渐形成伊利石。针对以上伊/蒙混层矿物不同的形成机制, 周张健提出了六种不同的转化模型^[3]: (1) 马克埃韦雏晶模型; (2) 基本粒子模型; (3) 分凝模型; (4) 两相固溶体模型; (5) 准晶态模型; (6) P 层型模型。以上六种模型的分歧在于伊/蒙混层矿物是由两相组成还是仅是单一的固溶体相, 以及在转化过程中是否经历伊/蒙混层这一过程。基本粒子模型以及分凝模型的提出对传统的 X-射线与结晶质之间作用的认识提出了挑战; 准晶模型把准晶态这一新学说引入了粘土矿物中; P 层型的提出可能是统一两个概念(基本粒子、I 和 S 层的层间作用)的重要一环, 对我们理解蒙脱石向伊利石的转化具有重要意义^[23-25]。

2 伊/蒙混层矿物结构的 XRD 分析

为了准确地鉴定混层粘土矿物, 国外许多学者进行了大量的探索性研究并提出了多种不同的混层粘土矿物分析方法。1923 和 1924 年, Hadding 和 Rinne 最先使用 X-射线衍射方法研究粘土和粘土矿物, 开创了粘土和粘土矿物研究的新纪元^[26]。在理论分析方面, Hendricks 和 Teller(1942) 首次提出混层矿物 X-射线衍射定量处理的数学公式, 尽管还存在一定的局限(仅用于有限晶体厚度), 但它在混层粘土矿物中的应用还是很成功的^[27]; MacEwan(1956) 采用傅里叶转换法对 X-射

线衍射图谱进行分析, 其结果适用于衍射谱中所有的峰, 据此而直接得到粘土矿物结构的信息^[28]。在此理论上, 国外的许多学者在伊/蒙混层矿物混层比的计算方面做了大量的工作, 提出了多种不同的方法, 如 Weaver 的曲线法^[29]、Jonas 和 Brown 的三角图法^[30]、Reynolds 法^[31,32]、 l/h 和 v/p 法^[33] 和 Srodon 法^[34]。这些方法均有各自的独到之处, 但也存在一定的局限性。其中, Reynolds 法比较全面, 把伊利石/蒙脱石层间序列划分为无序混层和有序混层两大类, 但如果样品中含有其它伴生矿物时, 会产生很大的误差; l/h 和 v/p 法都是 Reynolds 的伊利石/蒙脱石无序混层标准衍射图谱的再转化, 具有与 Reynolds 的方法相同的优缺点, Srodon 法考虑了天然产出样品的实际情况, 提出了用于含分散伊利石的 I/S 混层样品的混层比计算方法。

在伊/蒙混层矿物 XRD 图谱计算方面, 我国的研究工作大都是在国外研究的基础上进行的, 采用的理论也大多为国外学者所提出的, 独创性的理论少见报道。自从 1975 年我国引进第一台 X-射线衍射仪以来, 国内的许多粘土矿物研究人员对混层粘土矿物的分析方法也进行了大量的探索性研究, 并在国外研究方法的基础上, 提出了一些改进方法^[35]。包于进^[36] 首先采用 Reynolds 法解释混层 I/S 的图谱, 并得出与 Reynolds 法相符合的结论。应凤祥^[37] 在国内首次采用 v/p 法来分析伊/蒙混层矿物的 XRD 图谱, 并取得了很好的效果。陈洪起、赵杏媛等^[38] 对 Srodon 法进行了修正, 给出了修正 l/h 法计算混层比的曲线。林西生^[39,40] 在伊/蒙混层矿物的 X-射线衍射分析过程中, 考虑了对混层含量和薄晶畴效应的影响, 通过对混层矿物特征峰的峰位、半宽高、峰高与峰重心位置四个参数的分析, 建立了一套确定混层比与混层类型的方法。目前也有人利用公式 $I/dAB = \alpha/d_{(001)}A + \beta/d_{(001)}B$ ($\alpha + \beta = 1$) 直接求算二元不规则混层矿物的混层比^[41], 这种方法未考虑到各种因素的影响, 误差相对大一些。徐博会, 丁述理(2009) 等人结合章村南部伊利石粘土岩中伊/蒙混层矿物的 XRD 图谱, 尝试用变差系数法来判断伊/蒙混层矿物的有序性及有序度, 取得了较为满意的结果^[42]。

3 伊/蒙混层矿物在地质学中的应用

I/S 的研究对成岩作用及有关的成矿作用、风

化作用以及晶体结构理论等方面的研究有很重要的意义。比如:(1)用 I/S 的成分和晶体结构特征以及与蒙脱石、伊利石的相关性来划分成岩作用的阶段^[1]; (2)用 I/S 的含量,特别是 I/S 的晶体化学特征来研究生油作用及确定生油带^[6]; (3)在哑地层中用界线粘土层的一种有序化 I/S 来确定地层界线^[43]; (4)一种有序化的 I/S 具二维晶格- 锥晶晶格,其晶体结构的探索对准晶态的研究具有重要的意义^[3]。Weaver 通过研究认为:混层粘土矿物的识别和鉴定可以为沉积岩研究和分带提供良好标志。也就是说,如果对粘土矿物的研究能够反映微环境差异,则对混层粘土矿物进行研究即可解决这一问题^[43]。在沉积盆地成岩过程中,蒙皂石通过伊/蒙混层矿物向伊利石的转变是最常见的化学反应。1959 年 Burst 在研究美国墨西哥湾沿岸(Gulf Coast)第三纪沉积物时首先识别出该过程,后来被大量研究所证实。同时发现伊利石化程度随埋深的增加而增高,蒙脱石的伊利石化过程与沉积盆地的沉降历史和热演化程度有密切联系^[44]。研究表明,伊利石化过程是一个由反应动力学控制的水/岩反应,除温度之外,还受时间尤其是水/岩比的制约^[45]。当系统流体含量很低时(如多数油气侵入情况下,岩石孔隙被油气充满),伊利石化过程停止,因此,通过伊利石年龄分析,获得伊利石年龄,可以确定油气的侵入时间^[46]。

我国学者对 I/S 混层矿物早有发现^[7],但是对其进行深入的研究则始于上世纪八十年代。上世纪八十年代后期,对伊/蒙混层矿物的研究日趋深入和广泛^[47],其中以石油地质方面的研究成果最为丰富。对我国数十个含油地点的粘土矿物^[24],特别是 I/S 混层矿物的赋存、分布和演化规律,以及这些与油气生成、运移的关系和研究方法等方面都进行了深入的总结和探讨,指出 I/S 无序混层向 I/S 有序混层的转化标志着有机质从未成熟向成熟过渡,进入生油门限^[48-52]。国内一些学者^[53-57]对我国南方广大地区 P/T 系界线粘土层中的 I/S 矿物的特征和地质意义进行了深入的研究,其中,陆琦通过对四川广元、湖南桑植、湖北黄石 P/T 界线层中 I/S 样品的研究,提出了 I/S 晶层的晶体化学分类除完全无序、部分有序类型外,还增加了一个准晶态类型,对伊/蒙混层矿物转化机制进行了补充。吴敏,吴朝东,管章志等人通过研究沉积物中粘土矿物特征,尤其是 I/S 混层矿物的特征,了解沉积物的沉积环境以及它们所经历的成

岩作用^[58-60]。另外,对西藏和云南近热泉蚀变型的 I/S 矿物、铝土矿和黄土中的沉积 I/S 以及对围岩蚀变中 I/S 等研究工作都取得一定的成果,周国平^[61]和朱梅湘^[62,63]对云南腾冲和西藏羊八井一带近代和现代热液蚀变型的 I/S 研究较为深入,指出在热液活动区内, I/S 转变为伊利石只需在 800 - 1000m 的范围内完成,但在沉积盆地内的这种转变则需要较大的深度。

4 问题与展望

尽管伊/蒙混层矿物在许多方面已取得较为深入的研究,但是在有些方面还处于初期阶段,主要表现在以下一个方面:(1)伊/蒙混层矿物晶体模型的争议比较大,目前还没找到合适的晶体模型来反映伊/蒙混层矿物的真实结构;(2)由于自然界产出的混层矿物十分复杂多变,任何一种测定混层比的方法都难以完全与天然样品相吻合。因此,如何更客观、更准确的进行混层比的计算,仍是一个有待于进一步研究的课题。目前,国内石油系统各试验室大都配备了 X-射线衍射仪,部分高校和科研部门也配备了 X-射线衍射仪,凭借良好的试验条件和研究环境,粘土矿物研究工作者应展开大量的试验工作和理论研究,结合红外光谱、电子显微镜、能谱等多种测试手段,对伊/蒙混层矿物及其他混层矿物展开深入而细致的研究,以期能在混层矿物研究方面达到世界先进水平。


参考文献:

- [1] 车忱,杨忠芳,季峻峰.沉积岩中成岩伊利石年龄测定研究进展[J].地球科学进展,2002,17(5):693-698.
- [2] 袁波,杨俊生,杨怀宇.成岩作用效应模拟的研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2009,33(2):1-6.
- [3] 周张健.蒙脱石伊利石化的控制因素、转化机制及其转化模型的研究综述[J].地质科技情报,1994,13(4):41-46.
- [4] HILLIER S. Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (low temperature) chlorite [J]. Clay Minerals, 1991(26): 149-168.
- [5] 徐春华,朱光,刘国生,等.伊利石结晶度在恢复地层剥蚀量中的应用[J].地质科技情报,2005,24(1):41-44.
- [6] 张有瑜,罗修全.油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究现状与展望[J].石油与天然气地质,2004,25(2):231-236.
- [7] D 达比.伊利石年龄记录着石油盆地中深部流体运动

- [J].地质科技动态,1998,(9):8-13.
- [8] 秦建中,腾格尔,杨琦,等.川东地区海相高演化层系的成熟度指标研究[J].石油学报,2009,30(2):208-215.
- [9] 任磊夫.粘土矿物与粘土岩[M].北京:地质出版社,1992.
- [10] REYNOLDS R C. Interstratified clay minerals. in: crystal structures of clay minerals and their X-ray identification [J]. *Min. Soc.*, 1980,(4):249-303.
- [11] 杨雅秀,张乃娴.中国粘土矿物[M].北京:地质出版社,1994.
- [12] 徐博会.章村南部伊利石粘土岩及其伊/蒙混层矿物特征研究[D].邯郸:河北工程大学,2008.
- [13] 扬献忠.伊利石的结晶度及其地质意义综述[J].沉积学报,1993,4(4):92-98.
- [14] 毕先梅.极低级变质作用的研究现状[J].地学前缘,1998,5(4):302-304.
- [15] 彭琪瑞,李夷,顾雄飞.中国粘土矿物研究[M].北京:科学出版社,1963.
- [16] 张述兴,王昌贤.黏土岩微观结构研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2008,27(4):614-617.
- [17] WEAVER C E. The distribution and identification of mixed-layer clays in sedimentary rocks [J]. *Am. Miner.*, 1956(41):202-221.
- [18] HOWER J, ESLINGER E, HOWER M, *et al.* The mechanism of burial diagenetic reaction in argillaceous sediments, mineralogical and chemical evidence [J]. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1976(87):725-737.
- [19] EBERI D D, VELDE B, MCCORMICK T. Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperature and high pH [J]. *Clay Minerals*, 1993,28(1):49-60.
- [20] EBERI D D, SRODON J. Ostwald ripening and interparticle diffraction effects for illite crystals [J]. *Amer. Mineral.*, 1988, 73 (11,12):1335-1345.
- [21] AHN J H, PEACOR D R. Transmission and analytical electron microscopy of the smectite to illite transition [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1986,34 (2):165-179.
- [22] MOOFE D M, REYNOLDS R C. X-ray diffraction and analysis of clay minerals [M]. New York: Oxford University Press, 1989.
- [23] HUANG W L, LONGO J M, PEVEAR D R. An experimentally derived kinetic model for smectite to illite and its use as a geothermometer [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1993,41 (2): 162-177.
- [24] 赵杏媛,张有瑜.粘土矿物与粘土矿物分析[M].北京:海洋出版社,1994.
- [25] HENDRICKS S B, TELLER E X-ray interference in partially ordered lattices [J]. *Chem. Phys.*, 1962(10): 147-167.
- [26] MACEWAN D M C. Fourier transforms methods for studying scattering from lamellar systems: II. the calculation of X-ray diffraction effects for various types of interstratifications [J]. *Kolloid-Z.*, 1958(156): 61-67.
- [27] WEAVER C E. Possible uses of clay minerals in search for oil [J]. *Bull. Am. Assoc. Geol.*, 1960(44):1505-1518.
- [28] EDWARD C, THOMAS E. Analysis of interlayer mixtures of three clay mineral types by X-ray diffraction [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1959(29):77-59.
- [29] 王河锦,陶晓风,RAHN M.伊利石结晶度 Kubler, Weaer 和 Weber 指数关系式常数的确定与应用[J].高校地质学报,2007,13(3):561-565.
- [30] REYNOLDS R C, HOWER J. The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonite I [J]. *Clay and Clay Minerals*, 1970(18):25-36.
- [31] REYNOLDS R C. Interstratified clay minerals: in crystal structures of clay minerals and their X-ray identification [M]. Mineralogical Society, 1980.
- [32] REYNOLDS R C, HOWER J. The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites II [J]. *Clay and Clay Minerals*, 1972(16):35-46.
- [33] SRODON J. X-ray identification of randomly interstratified illite-smectite in mixtures with discrete illite [J]. *Clay Miner.*, 1981(16):297-304.
- [34] 刘粤惠,刘平安.X射线衍射分析原理与分析[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [35] 刘灵燕,肖金凯,张澄博.间层矿物的结构参数与分类探讨[J].矿物学报,2003(3):245-249.
- [36] 林西生.伊/蒙混层鉴定与分析手册[Z].
- [37] 应凤祥.根据陆相碎屑岩储集层成岩演化预测次生孔隙和油气分布[A].“七五”地质科技重要成果学术交流会议论文集[C].北京:北京科学技术出版社,1992.
- [38] 陈洪起,赵杏媛.一种定量测定粘土矿物的X射线衍射方法[J].矿物岩石,1991,11(1):45-50.
- [39] 林西生,应凤祥,郑乃萱.X射线衍射分析技术及其地质应用[M].北京:工业出版社,1990.
- [40] 林西生,郑乃萱.混层1/S研究汲取地质应用的新进展[J].建材地质,1991,(增刊):25-26.
- [41] 张扬胜,张建洪.我国发现的伊利石-蒙皂石规则混层(ISII)的研究[J].地质研究,1999,36(5):444-452.
- [42] 徐博会,丁述理.变差系数法在伊/蒙混层矿物混层有序性判断中的应用[J].河北工程大学学报(自然科学版),2009,26(2):59-61.
- [43] 季俊峰,陈俊,王洪涛.陕西洛川黄土-古土壤剖面中伊利石结晶度[J].地质论评,1997,43(2):181-185.
- [44] 胡作维,黄静思,郜晓勇,等.川东釜山二叠系/三叠

- 系界线附近粘土层中粘土矿物的类型及成因[J]. 地质通报, 2008, 27(3): 375-379.
- [45] CHARLES E WEAVER. The distribution and identification of mixed-layer clays in sedimentary rocks[J]. *Amer. miner.*, 1956(41): 202-221.
- [46] HOWER J, ESLINGER E V, HOWER M E, *et al.* Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: Mineralogical and chemical evidence[J]. *Geological Society America Bulletin*, 1976(87): 725-737.
- [47] HUANG W L, LONG J M, PEVEAR D R. An experimentally derived kinetic model for smectite to illite conversion and its use as a geothermometer[J]. *Clays & Clay Minerals*, 1993(41): 162-177.
- [48] LEE M, ARONSON, J L, SAVIN S M. K-Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes Sandstone, Netherlands [J]. *AAPG Bulletin*, 1985, 69(1): 381-385.
- [49] 张天乐. 中国粘土矿物的电子显微镜研究[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [50] 王行信. 含油层系中泥岩碎屑高岭石的分布及其在地层对比中的应用[J]. 石油学报, 1980, (增刊): 42-48.
- [51] 陈鑫, 钟建华, 袁静, 等. 渤南洼陷深层碎屑岩储集层中的粘土矿物特征及油气意义[J]. 石油学报, 2009, 30(2): 201-207.
- [52] 张荣虎, 张惠良, 寿建峰, 等. 库车坳陷大北地区下白垩统巴什基奇客组储层成因地质分析[J]. 地质科学, 2008, 43(3): 507-517.
- [52] 王行信. 朝阳沟油田扶余油田粘土矿物的特征及其对油层压裂效果的影响[J]. 大庆石油地质与开发, 1987, 9(1): 19-23.
- [53] 王行信, 辛国强. 松辽盆地白垩系粘土矿物的纵向演变与有机变质作用的关系[J]. 石油勘探与开发, 1980(2): 12-20.
- [54] 金若谷, 沈桂梅. 四川广元二叠系-三叠系界线粘土岩沉积特征及成岩探讨[J]. 矿物岩石学杂志, 1989, 5(2): 107-118.
- [55] 张扬胜. 湖南桑植二叠系-三叠系界线剖面的粘土矿物研究[J]. 地质评论, 1990, 36(5): 444-452.
- [56] 陆琦, 雷新荣. 混层粘土矿物研究[J]. 建材地质, 1991(增刊): 48-52.
- [57] 陆琦, 雷新荣, 刘惠芳. 不规则伊/蒙混层粘土矿物成因类型及晶体化学分类[J]. 矿物学报, 1991, 11(2): 96-101.
- [58] 吴敏, 李胜荣, 初凤友, 等. 海南岛周边海域表层沉积物中粘土矿物组合及其气候环境意义[J]. 矿物岩石, 2007, 27(6): 101-107.
- [59] 吴朝东, 王琪琪, 冯雪, 等. 新疆库车凹陷侏罗系多粒级黏土矿物分析方法及其对沉积-成岩环境的指示[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1655-1663.
- [60] 管章志, 师育新, 戴雪荣, 等. 安徽龙河口水库流域沉积物中粘土矿物分析及其环境意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 20(1): 95-100.
- [61] 周国平, 吕达人. 云南腾冲地区 I/M 混层矿物的研究[J]. 矿物学报, 1989, 9(4): 352-357.
- [62] 朱梅湘. 云南省腾冲县热海热田水热蚀变岩中的粘土矿物[J]. 中国科学 B 辑, 1985(12): 1130-1138.
- [63] 朱梅湘, 徐勇. 西藏羊八井地热田水热蚀变[J]. 地质科学, 1989(2): 162-174.

(责任编辑 马立)

作者: [徐博会](#), [丁述理](#), [XU Bo-hui](#), [DING Shu-li](#)
作者单位: [河北工程大学, 资源学院, 河北, 邯郸, 056038](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2009, 26(4)
被引用次数: 2次

参考文献(64条)

1. 车忱;杨忠芳;季峻峰 [沉积岩中成岩伊利石年龄测定研究进展](#)[期刊论文]-[地球科学进展](#) 2002(05)
2. 袁波;杨俊生;杨怀宇 [成岩作用效应模拟的研究](#)[期刊论文]-[中国石油大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(02)
3. 周张健 [蒙脱石伊利石化的控制因素、转化机制及其转化模型的研究综述](#)[期刊论文]-[地质科技情报](#) 1994(04)
4. HILLIER S [Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic\(low temperature\)chlorite](#) [外文期刊] 1991(26)
5. 徐春华;朱光;刘国生 [伊利石结晶度在恢复地层剥蚀量中的应用](#)[期刊论文]-[地质科技情报](#) 2005(01)
6. 张有瑜;罗修全 [油气储层自生伊利石K-Ar同位素年代学研究现状与展望](#)[期刊论文]-[石油与天然气地质](#) 2004(02)
7. D达比 [伊利石年龄记录着石油盆地中深部流体运动](#)[期刊论文]-[地质科技动态](#) 1998(09)
8. 秦建中;腾格尔;杨琦 [川东地区海相高演化层系的成熟度指标研究](#)[期刊论文]-[石油学报](#) 2009(02)
9. 任磊夫 [粘土矿物与粘土岩](#)[期刊论文]-北京:地质出版社 1992
10. REYNOLDS R C [Interstratified day minerals.in:crystal structure of clay minerals and their X-ray identification](#)[期刊论文]-[Min Soc](#) 1980(04)
11. 杨雅秀;张乃娴 [中国粘土矿物](#)[期刊论文]-北京:地质出版社 1994
12. 徐博会 [章村南部伊利石粘土岩及其伊、蒙混层矿物特征研究](#)[期刊论文]-邯郸:河北工程大学 2008
13. 扬献忠 [伊利石的结晶度及其地质意义综述](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 1993(04)
14. 毕先梅 [极低级变质作用的研究现状](#)[期刊论文]-[地学前缘](#) 1998(04)
15. 彭琪瑞;李夷;顾雄飞 [中国粘土矿物研究](#)[期刊论文]-北京:科学出版社 1963
16. 张述兴;王昌贤 [黏土岩微观结构研究](#)[期刊论文]-[重庆交通大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(04)
17. WEAVER C E [The distribution and identification of mixed-layer clays in sedimentary rocks](#)[期刊论文]-[American Mineral](#) 1956(41)
18. HOWER J;ESLINGER;HOWER [The mechanism of burial diagenetic reaction in argillaceous sediments,mineralogical and chemical evidence](#)[外文期刊] 1976(87)
19. EBERI D D;VELDE B;MCCORMICK T [Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperature and high pH](#)[外文期刊] 1993(01)
20. EBERI D D;SRODON J [Ostwald ripening and interparticle diffraction effects for illite crystals](#)[期刊论文]-[American Mineral](#) 1988(11,12)
21. AHN J H;PEACOR D R [Transmission and analytical electron microscopy of the smectite to illite transition](#)[外文期刊] 1986(02)
22. MOOFE D M;REYNOLDS R C [X-ray diffraction and analysis of clay minerals](#)[期刊论文]-New York:Oxford University Press 1989
23. HUANG W L;LONGO J M;PEVEAR D R [An experimentally derived kinetic model for smectite-to-illite and](#)

[its use as a geothermometer](#)[外文期刊] 1993(02)

24. [赵杏媛;张有瑜 粘土矿物与粘土矿物分析](#)[期刊论文]-北京:海洋出版社 1994

25. [HENDRICKS S B;TELLER E X-ray interference in partially ordered lattices](#)[期刊论文]-[Chemical Physics](#) 1962(10)

26. [MACEWAN D M C Fourier transforms methods for studying scattering from lamellar systems:II. the calculation of X-ray diffraction effects for various types of interstratifications](#)[外文期刊] 1958(156)

27. [WEAVER C E Possible uses of clay minerals in search for oil](#)[期刊论文]-[Bull Am Assoc Geol](#) 1960(44)

28. [EDWARD C;THOMAS E A Analysis of interlayer mixtures of three clay mineral types by X-ray diffraction](#)[期刊论文]-[Journal of Sedimentary Petrology](#) 1959(29)

29. [王河锦;陶晓风;RAHN M 伊利石结晶度Kubler, Wener和Weber指数关系式常数的确定与应用](#)[期刊论文]-[高校地质学报](#) 2007(03)

30. [REYNOLDS R C;HOWER J The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonite I](#)[外文期刊] 1970(18)

31. [REYNOLDS R C Interstratified clay minerals:in crystal structures of clay minerals and their X-ray identification](#)[期刊论文]-[Mineralogical Society](#) 1980

32. [REYNOLDS R C;HOWER J The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites II](#)[期刊论文]-[Clays and Clay Minerals](#) 1972(16)

33. [SRODON J X-ray identification of randomly intrstratified illite-smectite in mixtures with discrete illite](#)[外文期刊] 1981(16)

34. [刘粤惠;刘平安 X射线衍射分析原理与分析](#)[期刊论文]-北京:化学工业出版社 2003

35. [刘灵燕;肖金凯;张澄博 间层矿物的结构参数与分类探讨](#)[期刊论文]-[矿物学报](#) 2008(03)

36. [林西生 伊/蒙混层鉴定与分析手册](#)[期刊论文]-

37. [应凤祥 根据陆相碎屑岩储集层成岩演化预测次生孔隙和油气分布](#)[期刊论文]-北京:北京科学技术出版社 1992

38. [陈洪起;赵杏媛 一种定量测定粘土矿物的X射线衍射方法](#)[期刊论文]-[矿物岩石](#) 1991(01)

39. [林西生;应凤祥;郑乃萱 X射线衍射分析技术及其地质应用](#)[期刊论文]-北京:中国工业出版社 1990

40. [林西生;郑乃萱 混层I/S研究汲取地质应用的新进展](#)[期刊论文]-[建材地质](#) 1991(zk)

41. [张扬胜;张建洪 我国发现的伊利石-蒙皂石规则混层\(ISII\)的研究](#)[期刊论文]-[地质研究](#) 1999(05)

42. [徐博会;丁述理 变差系数法在伊/蒙混层矿物混层有序性判断中的应用](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(02)

43. [季俊峰;陈俊;王洪涛 陕西洛川黄土-古土壤剖面中伊利石结晶度](#)[期刊论文]-[地质论评](#) 1997(02)

44. [胡作维;黄静思;郇晓勇 川东釜山二叠系/三叠系界线附近粘土层中粘土矿物的类型及成因](#)[期刊论文]-[地质通报](#) 2008(03)

45. [CHARLES E WEAVER The distribution and identification of mixed-layer clays in sedimentary rocks](#)[期刊论文]-[Amer miner](#) 1956(41)

46. [HOWER J;ESLINGER E V;HOWER M E Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment:Mineralogical and chemical evidence](#)[外文期刊] 1976(87)

47. [HUANG W L;IDNG J M;PEVEAR D R An experimentally derived kinetic model for sanectite to illite](#)

[conversion and its use a geothermometer](#)[外文期刊] 1993(41)

48. [LEE M;ARONSON J L;SAVIN S M K-Ar dating of time of gas emplacement in Botliedenges Sandstone, Netherlands](#)[期刊论文]-[AAPG Bulletin](#) 1985(01)
49. [张天乐](#) [中国粘土矿物的电子显微镜研究](#)[期刊论文]-北京:地质出版社 1978
50. [王行信](#) [含油层系中泥岩碎屑高岭石的分布及其在地层对比中的应用](#)[期刊论文]-[石油学报](#) 1980(zk)
51. [陈鑫;钟建华;袁静](#) [渤南洼陷深层碎屑岩储集层中的黏土矿物特征及油气意义](#)[期刊论文]-[石油学报](#) 2009(02)
52. [张荣虎;张惠良;寿建峰](#) [库车坳陷大北地区下白垩统巴什奇奇客组储层成因地质分析](#)[期刊论文]-[地质科学](#) 2008(03)
53. [王行信](#) [朝阳沟油田扶余油田粘土矿物的特征及其对油层压裂效果的影响](#)[期刊论文]-[大庆石油地质与开发](#) 1987(01)
54. [王行信;辛国强](#) [松辽盆地白垩系粘土矿物的纵向演变与有机变质作用的关系](#)[期刊论文]-[石油勘探与开发](#) 1980(02)
55. [金若谷;沈桂梅](#) [四川广元二叠系-三叠系界线粘土岩沉积特诊及成衣探讨](#)[期刊论文]-[矿物岩石](#) 1989(02)
56. [张扬胜](#) [湖南桑植二叠系-三叠系界线剖面的粘土矿物研究](#)[期刊论文]-[地质论评](#) 1990(05)
57. [陆琦;雷新荣](#) [混层粘土矿物研究](#)[期刊论文]-[建材地质](#) 1991(zk)
58. [陆琦;雷新荣;刘惠芳](#) [不规则伊/蒙混层粘土矿物成因类型及晶体化学分类](#)[期刊论文]-[矿物学报](#) 1991(02)
59. [吴敏;李胜荣;初友友](#) [海南岛周边海域表层沉积物中粘土矿物组合及其气候环境意义](#)[期刊论文]-[矿物岩石](#) 2007(06)
60. [吴朝东;王琪琪;冯雪](#) [新疆库车凹陷侏罗系多粒级黏土矿物分析方法及其对沉积-成岩环境的指示](#)[期刊论文]-[岩石学报](#) 2007(07)
61. [管章志;师育新;戴雪荣](#) [安徽龙河口水库流域沉积物中粘土矿物分析及其环境意义](#)[期刊论文]-[岩石矿物学杂志](#) 2007(01)
62. [周国平;吕达人](#) [云南腾冲地区I/M混层矿物的研究](#)[期刊论文]-[矿物学报](#) 1989(04)
63. [朱梅湘](#) [云南省腾冲县热海热田水热蚀变岩中的粘土矿物](#)[期刊论文]-[中国科学B辑](#) 1985(12)
64. [朱梅湘;徐勇](#) [西藏羊八井地热田水热蚀变](#)[期刊论文]-[地质科学](#) 1989(02)

本文读者也读过(10条)

1. [褚玉娟](#) [江淮平原浅钻孔岩芯粘土矿物环境意义研究](#)[学位论文]2008
2. [杜林林;王朝辉;程翔](#) [阿托伐他汀对兔动脉粥样硬化中NF- \$\kappa\$ B/I \$\kappa\$ B信号途径及ICAM-1、P选择素的影响](#)[期刊论文]-[中华心血管病杂志](#)2004, 32(z1)
3. [李相全](#) [论初中英语教学反思](#)[期刊论文]-[教育教学论坛](#)2011(4)
4. [杨和平;曲永新;YANG He-ping;QU Yong-xin](#) [南宁-友谊关高速公路宁明段膨胀土土性研究](#)[期刊论文]-[长沙理工大学学报\(自然科学版\)](#)2004, 1(3)
5. [杨献忠;叶念军](#) [蒙脱石伊利石化过程中伊-蒙混层形成的Gibbs自由能](#)[期刊论文]-[地质地球化学](#)2003, 31(3)
6. [周晓静;高抒;贾建军](#) [长江粘土矿物示踪标记稳定性的初步研究](#)[期刊论文]-[海洋与湖沼](#)2003, 34(6)
7. [黄宝玲;王大锐](#) [沉积岩中自生粘土矿物分离提纯方法的改进](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#)2001, 20(3)
8. [隆浩;王晨华;刘勇平;马海州;LONG Hao;WANG Chen-hua;LIU Yong-ping;MA Hai-zhou](#) [粘土矿物在过去环境变化研究中的应用](#)[期刊论文]-[盐湖研究](#)2007, 15(2)
9. [采油工程](#)[期刊论文]-[大庆石油地质与开发](#)2009, 28(5)
[周平;易国斌;熊富华;康正;张宏辉;ZHOU Ping;YI Guo-bin;XIONG Fu-hua;KANG Zheng;ZHANG Hong-hui](#) [聚合](#)

引证文献(2条)

1. 代凤红, 高永利, 王福国, 郑启明, 于红艳 七台河地区侏罗系城子河组中段煤层夹矸中的黏土矿物研究[期刊论文]-中国煤炭地质 2012(12)
2. 吕国华, 石学法, 杨刚, 张培萍 改性大洋黏土填充聚乙烯的力学性能研究[期刊论文]-塑料科技 2010(11)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200904015.aspx