伊利石/绿泥石混层的电镜研究

王启明
(北京大学电镜室，北京 100871)
张立飞
(北京大学地质系，北京 100871)

关键词 伊利石/绿泥石、混层、电子显微镜

粘土矿物常形成混层，一般发生在具有相同类型八面体层的粘土矿物之间．但近年来由于电子显微镜在粘土矿物学中的应用，发现具有不同类型的八面体层的粘土矿物间也可形成混层，其代表性的结构为伊利石/绿泥石的混层．一些国外学者[1-3]相继对这一混层进行了深入研究，但有关成因却一直存在着争议．目前国内有关这一方面的研究尚没有报道．本文利用电子显微镜，结合X光分析，在陕北三叠系铜川组泥(页)岩（2500—3000m）中发现了这一混层结构，并探讨了其成因与转化．

一、电镜实验方法

扫描电镜采用国产 KYKY-1000B 扫描电镜，实验条件为钨灯丝光源，30kV 加速电压，样品倾斜 25°．

透射电镜采用北京大学 JEM-200CX 侧插式分析电镜（C_s = 4.5mm），点分辨率 3.5 Å，最小欠焦量 150 Å．选择 200kV 电压，束斑 2，聚光镜可调光栏 300 μm，物镜可调光栏 100 μm，放大倍数 150K 和 200K，照相时间 2s 或 2.8s，明场条件成象．离子减薄采用中国地质科学院 Gaton 600 型四枪减薄机．

X光能谱微区分析采用 Philips 公司 EDAX-9100 软件，样品倾角 30°，束斑直径 1000 Å 左右．

二、电子显微镜观察结果

在扫描电镜下，伊利石呈不规则的丝状、丝片状集合体，颗粒一般变化于 10—20 μm．绿泥石为完整自形晶体，呈柳叶状散乱分布于伊利石边部，颗粒变化于 1—2 μm．

在透射电镜下出现 10 Å 伊利石层与 14 Å 绿泥石层的混层（图 1）．绿泥石呈一粗-细晶格条纹交互结构，粗条为滑石 2:1 型结构，细条为氢氧镁石层 4 Å 晶格条纹，共同形成 14 Å 绿泥石晶格像．从总体看伊利石呈夹层分布于绿泥石层中，混层间距不等，有的三层绿泥石一层伊利石，有的一层绿泥石一层伊利石，因此混层在宏观上是不规则的．图 1 的下方为对应的伊利石/绿泥石混层结构模拟图．图 2 中出现了更为细的 7 Å 晶格条纹，并可清晰地看出 7 Å 层是作为残留状，在其两端已转化为绿泥石即 2 × 7 Å→14 Å，并且 7 Å 层的上、下层都为

本文 1991 年 5 月 13 日收到．1991 年 8 月 15 日收到修改稿．

10 Å 伊利石层．这一现象以前从未直接观察到． 从两端的 10 Å 与 14 Å 混层结构向中间延伸，可以推测 7 Å 结构层在形成 14 Å 绿泥石之前与 10 Å 伊利石原封地保留下来，当转化成

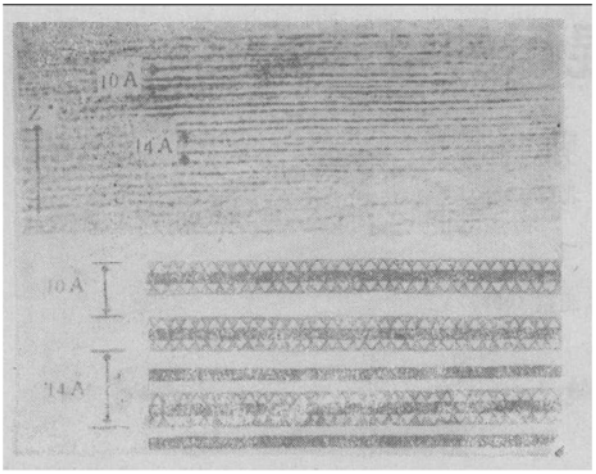

图 1　伊利石/绿泥石混层结构
上方为高分辨电镜照片，下方为结构模拟图

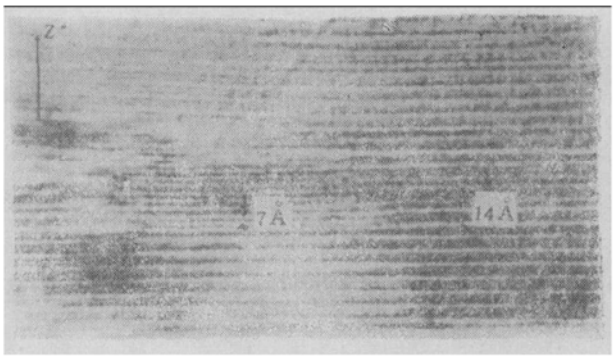

图 2　7 Å 绿泥石与伊利石混层，并 2 层 7 Å 结构转化成一层 14 Å 绿泥石

14 Å 绿泥石之后“继续”与伊利石呈混层结构．

图 3 是根据图 2 的观察结果提出的反应机制模式．通常 7 Å 绿泥石实质上是蛇纹石结构，即三八面体 1:1 型结构．根据我们提出的反应机制，7 Å 绿泥石转变为 14 Å 绿泥石，可以完全保留原来化学组成，只需做少量结构上的改造，即 1/2 的 7 Å 绿泥石结构中的 Si—O 或 Al—O 四面体翻转 180°，就可以改造成绿泥石结构．四面体倒转也不需要大面积同时进行，只需在局部的反应界面处翻转过来，反应就能朝着绿泥石生成方向进行．这样的反应是等体积的，不需要引入或带出任何化学物质，包括 H_2O，OH^- 或 H_3O^+ 等，因此是在封闭条件下进行的．

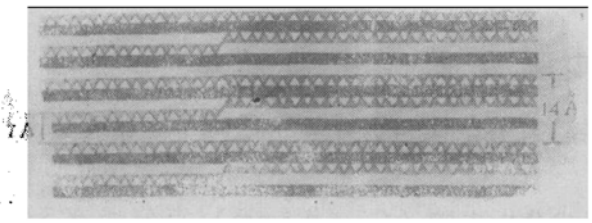

图 3　7 Å 结构转化成 14 Å 绿泥石结构模拟图
7 Å 结构中 1/2 层四面体层发生倒转，转变成 14 Å 绿泥石结构

图 4 下部为数层规则的伊利石/绿泥石混层现象，而上部出现了两层绿泥石一层伊利石的局部混层，并附有选区电子衍射图．从选区（20 μm 光栏孔径）衍射点阵可知，混层结构的取向严格相互平行．另外在衍射图低角度区，衍射呈很亮的弥散线，如白色箭头所示，这说明由于不规则混层产生 14 Å、10 Å、24 Å（伊/绿 1:1 混层）、28 Å（二层绿泥石层）和 38 Å（二层绿泥石一层伊利石）等的衍射，从平均效应看呈现弥散的衍射条纹．

另外由图 4 三个黑箭头所示中可以看出，原来呈混层结构的伊利石被宽的 14 Å 绿泥石所取代，黑箭头所示位置正是由细条纹的伊利石转变成宽条纹的绿泥石．这一现象曾被 Ahn 等人[3] 描述过，他们将这一转变过程看成是再

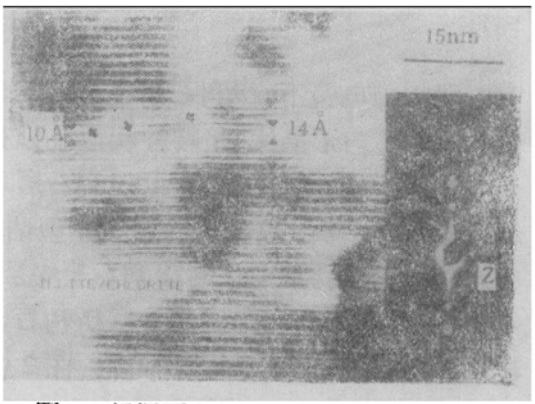

图 4　绿泥石和伊/绿混层结构的转化
上部为规则绿泥石矿物，下部为混层结构，中间是反应界面

结晶作用的产物．尽管在结构上看有直接转化的迹象，但从化学组成考虑，伊利石是富 Al 的二八面体 2:1 型结构，而绿泥石是富 Fe、Mg 的三八面体 2:1 加 1 型结构．由二八面体转变成三八面体必须要彻底改造八面体层，这样的八面体重建远非 7 Å 绿泥石向 14 Å 绿泥石转化容易．我们认为伴随着 K、Al 组分带出和 Fe、Mg 组分带入，局部混层结构可以通过类似交代的方式逐步转化为完全单独的绿泥石和伊利石．

透射能谱 EDAX9100 微区分析结果如图 5 所示．这是图 1 的透射能谱分析图．显示混层结构的成分(图 5a、b)，相对 Si 组分，Fe、Mg 含量比绿泥石少(图 5d) 而 K 组分明显增加，但又比伊利石中 K 的含量低 (图 5c)，说明混层结构的成分介于绿泥石和伊利石之间．而且

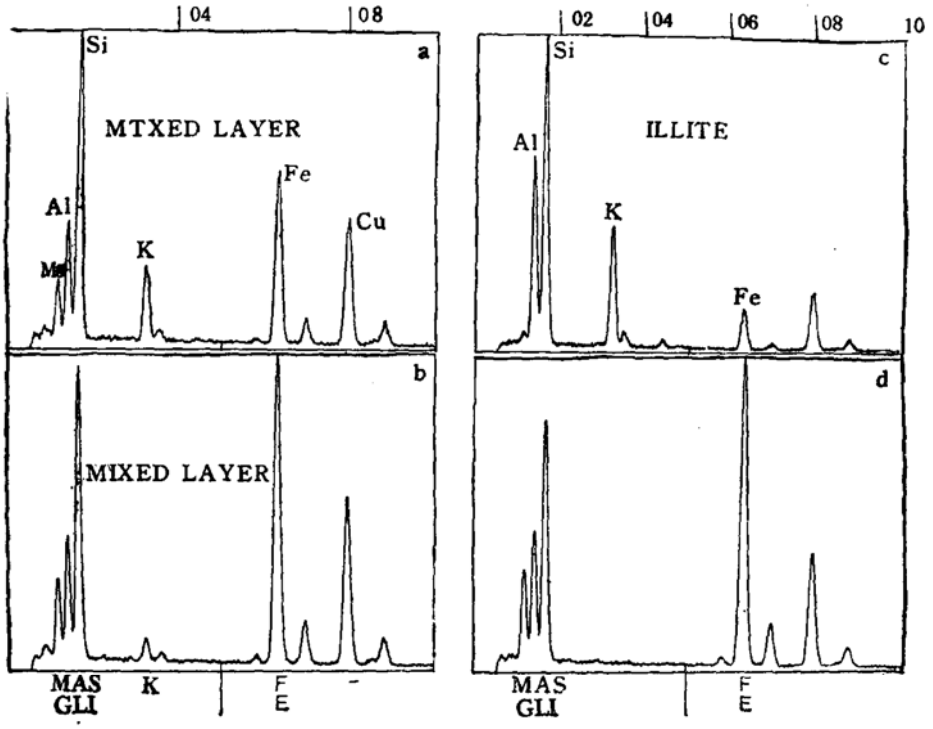

图 5　X 光能谱分析混层结构成分图

a. 伊/绿混层中伊利石层比例较高；b. 伊/绿混层中伊利石层比例较低；
c. 伊利石成分，可见少量 Fe 和极少量 Mg；d. 绿泥石成分

选择不同区域的 EDAX 微区分析表明，混层结构成分是可变的，随着混层中伊利石比例的增加，成分中 K 组分含量增加，而 Fe、Mg 含量下降．值得指出的是在伊利石成分中混有少量的 Fe 和非常少量的 Mg，也许 Fe、Mg 可以呈类质同像替代 Al 夹杂在伊利石的二八面体层中．这些少量的 Fe、Mg 组分是否会促进伊利石向绿泥石转化，值得注意．

三、结论和讨论

根据以上电镜结构分析，我们认为本区伊利石/绿泥石混层结构是在原来 7 Å 绿泥石和伊利石混层结构基础上，随着埋深的增加，二层 7 Å 绿泥石通过一层四面体倒转形成绿泥石，因而出现了伊利石/绿泥石的混层结构．其中 7 Å 绿泥石可能产生于成岩作用过程中蒙皂石向伊利石转化排出的 Fe、Mg 等组分在近乎“原地”(in situ) 形成的．随着埋深的增加，这一混层结构又转化为分离的伊利石和绿泥石独立矿物．

有关伊利石/绿泥石混层结构的成因有两种机制．一种为扩散机制[3]；另一种为溶解再结

晶说[4]. 根据我们的研究提出了如上埋藏变质成因观点，认为这种混层结构是埋藏变质过程中粘土矿物间转化的结果. 这种转化可以是交代反应，即伴随有物质的带入和带出，体系是开放的；也可以是相对封闭的体系，在局部范围内并没有物质成分的交换，发生类似相变的反应. 前者可以以蒙皂石转化为伊利石为例，需要有K等组分的带入，后者以7 Å绿泥石转化成14 Å绿泥石为代表.

致谢：本文曾得到任磊夫教授的热情指教，在此谨表谢意.

参 考 文 献

[1] Ahn, J.H., Lee, J.H. and Peacor, D.R., *Geol. Soc. Am. Abstr. with Progr.*, 15(1983), 6:512.
[2] Lee, J.H., Peacor, D.R., Lewis, D.D. et al., *Contrib. Mineral Petrol.*, 88(1984), 372—385.
[3] Ahn, J.H., Peacor, D.R. and Coombs, D.S., *Contrib. Mineral Petrol.*, 99(1988), 82—89.
[4] Lee, J.H. and Peacor, D.R. *Nature*, 303(1983), 608—609.