

岩石矿物研究及其地质应用

粘土矿物的研究方法及其在石油地质上的应用

搞石油地質工作是始終离开不了对沉积岩宏观或微观的研究。粘土是沉积岩中分布最广泛的一种岩石。它以自己的高度分散性与随之而来的表面积大、表面能量大、对有机物的吸附作用，晶格的活动性、类质同象普遍、离子交换性质，在大多数情况下在水中剧烈膨胀，由非晶质状态到半晶质和晶质状态的逐渐过渡和相互联系，含水量大，对热的活泼性，对周围物理—化学环境的高度灵敏性等成为沉积岩中具有独特意义的组成部分。

粘土矿物的研究方法

由于粘土的高度分散性，目前在它的研究中最大的困难是在于对其主要矿物组份的正确判断和定量分析。

确定粘土物质的矿物成份的方法大致可以分为两类。第一类方法（或称为直接法）是X射线衍射照相分析和电子衍射照相分析。这些方法是直接研究粘土矿物的结构和它们的结晶化学特征。这就能最有把握地确定粘土矿物的种和变种。第二类方法（或称为间接法）是研究由粘土矿物结构和结构特征以及颗粒大小和形状所决定的各种性质（光学性质、表面性质和在加热时的变化等等）。但在显微镜下的薄片研究，矿物油浸法，分光光度，差热甚至电子显微镜的分析等方法来确定粘土矿物的可能性往往是有限的。

从目前的技术条件来看，如果所要确定的粘土矿物在成份方面比较单一，且由已被很好研究过的粘土矿物组成，那么要确定这种粘土矿物已不是很难了，甚至用任何一种上述的方法都能实现，有时根据手标本的特征也能观察。但是大部分粘土一般是具有粘土物质的混合成份。这样，有时甚至用综合法也不能得出它的单值结论。

为了查明定量地确定具混合成份的粘土物质时各种矿物分析方法的意义，国外一些学者进行了一系列最主要粘土矿物的人工混合物的研究。究研的结果表明：

1. 具混合成份的粘土物质的定量矿物分析只有用结构分析法才可能。这些分析法是基于直接研究粘土矿物结构的资料上的X射线衍射分析和电子衍射分析，而X射线衍射分析以其衍射曲线获得和解释的方便比电子衍射分析有一系列优点。

最近，电子显微镜应用在认识粘土矿物和其他矿物方面是有很大远景的，它能发现在晶体外形方面很微小的区别。

2. 研究粘土物质性质的间接法在对具混合成份粘土物质定量矿物分析时现在还不甚有效，并且看来在将来亦未必能利用它们在所指出的方向内达到满意的结果。这是因为一系列粘土矿物具有相似的热反应，颗粒形状和大小以及被色剂染时有相同的颜色。特别是在使用单独间接法时，甚至进行定性分析的可能性也是有限的。例如分光光度分析、差热分析和电子显微镜分析仅在粘土矿物是相对单一和用该方法所得结果对被确定的粘土矿物方面是不同的情况下，才能在一定程度上确定它的成份。

在岩石工作中，连同染色法或差热分析的薄片研究和X射线照相分析应该是主要的方法。

3. 在混合物中一组粘土矿物变种的定性依赖于由它们的形成条件所决定的结构，物理和物理化学特征。在用不同方法确定混合物的矿物成份时这些特征具有不同意义。例如，对结构分析，粘土的物理—化学特征和颗粒表面特征对在混合物中确定它们是没有直接影响。对它们来说在矿物结构中类质同象的替代具有很大意义。在电子衍射照相研究中，除此以外，矿物结构的完整程度具有很大意义。对差热分析来说，矿物颗粒形状和它们表面特征没有什么意义，但是物理—化学性质和在结构中类质同象的替代有很重要的意义。与此相反，在电子显微镜研究中矿物物理特征具有主要意义。对染色法来说头等意义是表面的特征，矿物颗粒的大小和形状，还有阳离子的被吸收组合的成份。

以上所述，可归纳为下列图表

用各种方法确定在混合物中的粘土矿物时其各种特性所起的影响

方 法	結 构 完 整 程 度	类质同象 的 替 代	顆 粒 形 状	顆 粒 大 小 (分 散 程 度)	顆 粒 厚 度	吸 收 容 量	阳 离 子 的 被 吸 收 组 合 的 成 份	顆 粒 表 面 特 征
x 射 线 衍 射 照 相 法	-	+	+	+	-	-	-	-
电 子 衍 射 照 相 法	+	+	+	+	+	-	-	-
差 热 法	不 清 楚	+	-	+	-	+	+	-
电 子 显 微 镜	-	-	+	+	+	-	-	-
染 色 法	-	-	+	+	-	+	+	+

注：(+)表示这种矿物特性对确定它们在混合物时起直接影响。
 (-)表示这种矿物特性对确定它们在混合物时不起直接影响。

粘土矿物在石油地質上的应用

研究粘土矿物的意义，不仅决定于粘土矿物在沉积岩层和土壤中的广泛分布，而且还决定于其对国民经济发展的巨大意义。在农业领域内，土壤的耕作，土壤中植物养份的含量，其与肥料的处理的可能性等等都与土壤的粘土矿物组成有密切关系。因此，不难理解为什么有时土壤研究工作者往往走在粘土矿物研究工作者队伍前面。在工业方面的巨大经济价值也越来越变得明显：对于各种粘土在工业上的正确应用，对于粘土土壤在水力工程建筑上品质的确定以及对于其他的一些应用，粘土的矿物成分的详细研究以及矿物成分、构造和性质之间制约关系的判明都是必要的。

地质学家们对粘土矿物研究的兴趣是多种多样的。但是从经济的观点上来看，其中有两种是特别重要的。沉积物的粘土矿物组份无疑是解决沉积条件的重要线索。粘土矿物也可能在石油的成因上起着重要的作用，这些人认为它可能是作为接触剂使埋藏的有机物转变成碳氢化合物。所以，粘土矿物的研究将为石油的成因提供重要的知识，为石油矿床的位置提供重要的判据。简言之，这种研究对地质学家寻找石油有很大的帮助。

这里，我们想着重简要地谈一下粘土矿物的研究对石油的发生和其以后运移聚集过程的意义。

粘土矿物和生油的关系苏联И.Д.兹烏斯, А.В.弗劳斯特等作了不少工作。大家知道，关于石油成因问题现在还是一个悬而未决的问题。苏联 Н. В. 瓦索也维奇在其最近一本著作中指出，关于石油有机成因的概念不再是假设了，而成为有科学根据的理论了。但是И.Д.兹烏斯指出，分散有机物的转化过程的许多方面到现在仍是不完全清楚的。例如，决定被转化的有机化合物起始运移可能的原因还查明得不够。研究有机物与其他生油层相互作用问题还没有解决。他认为关于石油形成过程的现代概念的不完整性的原因之一是对所假设的生油层的粘土矿物研究非常不足所致。

目前许多支持石油有机成因理论的研究者认为，在石油形成过程中粘土起了催化剂的作用，而在这种情况下作为最可能的催化剂一般认为是蒙脱石，它在粘土矿物中是高度分散性的。但是遗憾的是，没有一个支持这一观点的研究者，其中有将这一观念发展得最完整的 А. В. 弗劳斯特将自己的观点基于除了提到的标志（决定表面面积增大的高分散状态）之外的粘土矿物任何其他特征，因此关于粘土矿物对有机质的催化作用的概念仅可能看作是假设。而在这一过程中粘土矿物的真实作用暂时仍未查明。从关于粘土矿物特征的近代概念来看，现有的粘土矿物可作为他们形成介质物理化学参数变化的高度灵敏性的独特指示剂。

И. Д. 兹烏斯对前高加索东部第三纪和中生代地层中粘土矿物进行了研究。在这些地层中发现和研究了高岭石，多水高岭石，水云母，蒙脱石，拜来石，甚至镁的矽酸盐或铝矽酸盐。被研究的地层中水云母分布最广。水云母在所有被研究样品中都遇到并经常是组合的主要组份。

在研究了地质剖面中粘土矿物分布特征后表明，一般认为可能的生油层的特征是水云母和被水云母化的蒙脱石广泛的发育。

И. Д. 兹烏斯认为蒙脱石水云母化是一个与生油层分散有机物转化紧密相联系的过程，而这一过程是被周围介质的基本物理—化学参数变化所决定的。

他提出在目前情况下有机化合物的转化首先要求还原的环境，即在氧化—还原电势负值情况下。在这时就发生变化了的有机物被氢饱和(氢化作用)。被还原的有机化合物富有了氢，由于这点从周围介质中带走了氢使周围介质中这一元素含量降低。因此，发生了氢离子浓度的降低和氢电势 pH 的升高，这就决定了介质酸性的增长。在这些条件下就获得 Al₂O₃ 的活性和 SiO₂ 溶解度的提高。由于这样，在蒙脱石四面体网中出现矽的阳离子被 Al 代替的可能性。四价元素被三价元素替代而产生的多余负电荷被钾离子所补偿。钾离子部分地取自蒙脱石的被吸附的综合体中，部分地来自补充的，因为在海水的介质中它常具显著

含量。由于所述的替换在起始存在的矿物(蒙脱石)晶格中发生了显著的变化,即由于矽的数量的减少而铝的含量增加,钾占了在层间结构定向的位置,而后者表现出更为紧密的联系,膨胀的性能消失,而这就是确定蒙脱石过渡为水云母的一些条件。

由所述的可以看到,蒙脱石的转化(水云母化)是在有机物氢化作用情况下介质条件变化的必然结果。因此在岩石中水云母化的蒙脱石存在,而不是蒙脱石存在,可以看作是生油层判别标志之一。

И.Д.兹乌斯指出除了还原环境以外,按现代的概念,分散有机物向沥青和石油的形成方向转化还要求能量的储存。放射性过程,细菌生活活动,压力和温度一般称为这一能量的源。看来,蒙脱石水云母化的过程同样发生能量的分出。这由以下证实:第一,由热化学可知,化合物越是稳定,则在它形成时分出的热量越大,而水云母比蒙脱石是更为稳定的矿物。第二,晶格在水云母化时所发生的那些变化根据 В. И. 列别捷娃的资料,伴随着能量的分离(较大价的离子被较小价的离子替换,补充离子的固定,晶格层面的接近等)。在水云母化时所分离出来的能量在有机物的进一步变化时是需要的。但是显然这一能量在有机化合物的能量平衡中并不起显著作用,而仅应看作是这一过程的总能量的方向性的指示器。

对何处发生有机化合物基本变化,在生油层还是在储油层中,即在运移之前还是之后的问题,当对粘土矿物的研究后导致这样的结论。在所有情况下这些变化多半是与在生油层中有机物的存在相联系。事实上,蒙脱石水云母化直接依赖于有机化合物的转化强度。但是象其他粘土矿物转化一样水云母化是在很长时间过程中进行的。这一过程包括了沉积的阶段,成岩作用时期,甚至包括运移后在储油层的变化。

由所述的可见,在沥青和石油形成中粘土矿物的作用并不局限于对被变化的有机物的催化作用,而是更为复杂多种多样。所研究的过程伴随着影响到粘土矿物能量平衡的变化,并导致新形成物——水云母化的蒙脱石——的出现,而在最后阶段——由蒙脱石形成水云母。

但对整个石油形成来说粘土矿物的意义还不仅限于这些,若所假设的生油层,主要是粘土,那么它们中的分散有机物在很大程度处于吸附状态。起初,分散有机物是被蒙脱石吸着,而在转化以后成为与水云母化蒙脱石或水云母相联系。一种矿物转化为另一种导致对第一种矿物特征的标志的消失和对产生的新形成物是典型的特征的出现。在所研究的情况下蒙脱石的性质部分地或整个地被水云母性质所代替。在这

些性质中吸收能力特别有趣,蒙脱石这一能力比水云母高。例如在 P. 格里姆所例资料中可见,蒙脱石阳离子吸收容量为 100 克中 80—150 毫克—当量,而水云母降低到 100 克中 10—40 毫克—当量。大家知道,吸收能力在很大程度上取决于颗粒的表面值,而蒙脱石比起水云母新形成物具有大得不可比较的表面。

这样,由于蒙脱石水云母化伴随着生油层粘土矿物吸收能力的降低,结果起初为蒙脱石吸附的物质,其中包括有机物,在某种程度上成为被解脱的和相应地更具活动性,这样就导致有机物成为较自由的,并获得迁移势能的可能性。当其他有利条件存在时,象与有裂隙或有孔隙的岩石靠近,压力等等,这将可能实现有机物的运移,即实现了它的起始运移。

起始运移一般看作象粘土紧密化和变化的有机物从它们中被挤出的结果。但应该承认,这一情况并不永远与实际现象相符。例如在高加索马依考伯层,它几乎是完全不紧密的粘土,但是大量石油的泉源。可是如果注意到 H. B. 瓦索也维奇关于含于粘土中极少量(百分之几)的分散有机物对保证石油所有矿层已是足够的资料,那么应该可以认为,蒙脱石的水云母化可作为决定已变化了的有机物起始运移的因素。

当然,上面所描述的蒙脱石水云母化的过程在自然中的存在不仅由于有机物的转化,而且还由于其他原因。例如象 P. 格里姆和 M. Ф. 维古洛娃所指出的,蒙脱石水云母化是蒙脱石在稳定海洋条件下转化的结果,以及 И. Д. 兹乌斯在其所建议分类中所提出的蒙脱石水云母化在一般情况下看作是和在硷性介质中蒙脱石存在相联系的过程。不应忘记,除蒙脱石以外,其余矿物也可是水云母的来源,水云母的产生是依赖于云母的水化作用,而云母是由长石形成的,在沉积岩紧密化情况下可观察到水云母。因此,不能始终认为水云母是在石油形成时有机物转化结果。正是这样,因此需要指出,只有在其它有利条件存在时才能根据所有这里得的结果,将蒙脱石水云母化看作是生油层的判别标志。属于这些有利条件的首先是被转化的有机物的存在。

粘土矿物不仅在石油形成过程中有很大意义,而且储油过程与粘土矿物也密切相关。例如 E. 约翰莫尔(Moore John E)讨论了粘土矿物与油藏特点的关系。如果在细粒砂岩中仅含有 1 到 4% 的容易与水作用的粘土时,则当注入流体时就可能发生地层完全堵塞。而矿物按其泡胀特性的递减序列排列为:蒙脱石,混合结晶格矿物,水云母,高岭土。他还讨论了粘土矿物在砂岩油气藏中的作用。砂岩孔隙直径变化于 10

到100微米之間。粘土顆粒通常小于4微米，然而當它膨脹時却很容易堵塞孔道。他比較了砂岩和頁岩中的粘土。在頁岩中蒙脫石和水云母多于綠泥石，而砂岩中相反。砂粒間粘土顆粒的存在使岩石更加親水。並指出影響油藏中砂岩滲透性的最主要因素：(1)砂岩中粘土礦物類型，蒙脫石水云母和它與水云母的混合物最親水，而高嶺土，水云母和綠泥石的吸水性要差得多；(2)陽離子交換特點；(3)粘土化學反應特點；(4)水的礦化度，水的礦化度越大，其滲透性越高；(5)粘土礦物百分含量；(6)粘土在砂岩中的分布特點。另外有些學者的資料也表明，岩層的儲油性能在很大程度上取決於泥質膠結物中粘土礦物的性質。蒙脫石對儲油性能所起的相反影響最大。具有這樣性質的岩石之特點是含水飽和度較高(達60%)，因此，滲透性降低(約12千分達西)。這種現象很少發現在含有水云母高嶺石結合體的岩石中。在這情況下，岩石的含水

飽和度為25%，滲透性為350~700千分達西。

由以上所介紹的某些粘土礦物在石油形成過程中的作用的資料，已足以說明在研究生儲油層的某些規律時不斷加強對粘土方面的工作的確是今後一個很重要的任務，而在這方面，國外資料表明，他們作了不少工作。

當然，X射綫結構分析應用範圍極廣。這裡我們僅簡單敘述了，如何以這種分析方法為主的綜合研究方法通過對粘土礦物進行研究，來為石油地質服務。我們相信在探討石油地質問題時所不斷產生的新課題，又將進一步對這些工種提出新的要求，如此不斷循環，就能推進我們的工作，以逐步達到我們的目的一一為尋找生儲油層分布規律提供可靠的根據。

參考文獻(略)

(盧書鐸編譯)

電子顯微鏡在石油勘探中的可能應用

C. A. 莫 利

有效應用於相互關係了解的任何一種方法，都是為了說明二個地區、二口占井或二個地質露頭之間，它們在沉積環境或地質年代上的相似性的存在。由於地質學技術的進展，已經可能利用如象徵古生物學，沉積岩石學和顯微岩石學進行更詳細的相互關係的對比研究。

電子顯微鏡則可以應用於以下幾個方面：

1. 地層的鑒別：

在地層或層系中可能存在着許多相似的細微結構，若它們被認識和研究，就可以應用於地下地層相互關係的了解；對於砂岩的研究例如實測它們的形狀和粒度這是不可能的，但研究砂岩中的任何外來物質和膠結物質將是有需要的。對於石灰岩；利用酸溶作用溶解石灰岩，既可以用過濾液對比研究相互關係的了解；又可以用殘渣，其中常常含有大量的粘土，進行電子顯微鏡下的研究。

2. 粘土的研究：

根據 J. Hillier (1946) “各種粘土類型的微粒，已經有可能借電子顯微鏡之助進行研究。” 電子顯微鏡研究粘土的類型，不是它的化學組合。通常研究粘土有以下几个方面：

①粘土顯微礦物學和結晶學的研究，對富鐵

(Titanium) 粘土中的金紅石的微小結晶已能辨認了而這在光學顯微鏡下的結晶是非常小的。因此詳細的研究將會獲得某些顯微礦物學相似性的了解，在相互關係研究上是有價值的。

②辨認微小的顯微有機物型式，這將包含着電子顯微鏡古生物學的發展，其中有機物的型式將極不同於我們已知的通常了解的最小的化石，這些將是需要研究的。

③粘土的詳細結構構造以及與粘土可能有關係的物理和物理化學特性的研究。壓力的作用是很重要的因素，由電子顯微鏡提示的，可以相信存在着溶解大量分子的作用，而這種特殊的邊界表現出的物理和化學特徵將可以作為對比的依據。

④石灰岩的粘土殘渣應該研究，將根據其詳細的結構構造和礦物類型進行鑒別，但化學分析或光譜分析方法在這方面的研究將可能更有價值。

⑤電子顯微鏡高真空條件下，電子襲擊產生粘土感应的物理研究，並從這方面了解它們的相似點和差異性。

3. 依據上述討論，應用等量的組合或標準，使電子顯微鏡在相互關係研究方面，可用於遠距離的地層對比。