

伊利石“开形指数”的地质意义探讨

王诗侗

(北京师范大学地理系)

内容提要 本文研究的地区为新疆塔里木盆地西南部喀什坳陷和西南坳陷。粘土样品采自地面露头的晚白垩世至早第三纪海相沉积岩中。本文试图用伊利石(001)衍射峰形态变化来探讨该地质时代古地理环境及油气地质问题。运用“开形指数(N_s)”对伊利石(001)衍射峰开放度的研究,认为伊利石开形指数值的变化说明了该地区晚白垩世至早第三纪气候向干旱方向发展,并指示了海盆地的边界线和反映出海进、海退的变化情况及成岩作用程度和有机质的变质程度。

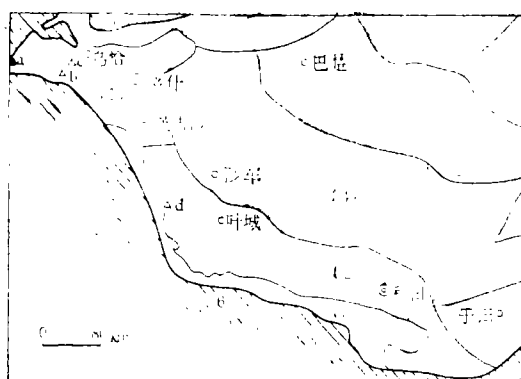
主题词 伊利石“开形指数” 晚白垩世—早第三纪 成岩作用阶段和成油环境 塔里木盆地

第一作者简介 王诗侗 女 48岁 讲师 地球化学

本文试图从新疆塔里木盆地西南部的斯木哈纳、阿克彻依、别列托开依和阿尔塔什四个剖面晚白垩世—早第三纪海相沉积岩层地表露头样品中伊利石(001)衍射峰形态的变化来探讨古地理环境及油、气地质方面的问题。

一、地质概况

喀什坳陷、西南坳陷、西南台坡三个构造单元位于塔里木盆地西南部,它界于天山及昆仑山两个褶皱带之间。本文所研究的四个剖面其中斯木哈纳、阿克彻依和别列托开依三个剖面位于喀什坳陷,阿尔塔什剖面位于西南坳陷(图1)。



(1)喀什坳陷 (2)西南坳陷 (3)铁
克里克台隆 (4)西南台坡 (5)天山褶
皱带 (6)昆仑山褶皱带 a.斯木哈纳剖面
b.阿克彻依剖面 c.别列托开依剖面
d.阿尔塔什剖面

图1 构造分区及剖面位置图

Fig. 1 Tectonic district and
location of sample profiles

坳陷内沉积盖层巨厚。坳陷最深处,包括古生界、中生界总厚可达13000多米,最薄也有4000米左右。由于喜马拉雅运动的影响,盆地周缘山系剧烈上升,使盆地内上第三系沉积厚度最大,分布也最广。有的地区早第三纪晚期—第四纪早期的山麓堆积的

厚度约为8000米左右。本文所叙述的四个剖面中的样品均采自晚白垩世一早第三纪海相沉积岩层。地层划分引自雍天寿的资料(1984)[1](表1)。

表1 西塔里木盆地K₂-E地层划分
Table 1 Strata division of K₂-E in West Talimu Basin

系	统	组	
下 第 三 系 白 垩 系	渐新统	巴什布拉克组	E ₁ b
		乌拉根组	E ₁ c
	始新统	卡拉塔尔组	E ₂ k
		齐姆根组	E ₂ q
	古新统	阿尔塔什组	E ₃ a
		吐依洛克组	K ₁ t
	上 统	依格孜牙组	K ₂ y
		乌依塔克组	K ₂ w
库克拜组		K ₂ k	

据雍天寿1984年简化

喀什坳陷和西南坳陷上白垩统的岩性特征基本一致，为含有生物化石的灰绿色泥岩、石灰岩、红色生物灰岩与红色砂质泥岩、膏泥岩、石膏、白云岩交替旋回组合。下第三系两个坳陷的岩性特征大同小异。分析粘土矿物用的样品主要采自巴什布拉克组、乌拉根组、卡拉塔尔组、齐姆根组和阿尔塔什组各组地层的泥岩和粉砂质泥岩，仅个别采自石灰岩。

由于盖层巨厚，下第三系和上白垩统的岩石样品难于从钻井的岩心中取得，只能从岩石露头上采取。经X射线衍射分析，四个剖面的样品内，均有伊利石。因此，本文试图以X射线衍射分析过程中，伊利石(001)衍射峰形态变化来探讨塔里木盆地西南部晚白垩世一早第三纪海相沉积的古地理环境及油、气地质问题。

二、伊利石“开形指数”的定义

伊利石的结晶度经常用其(001)(即 $d = 10 \text{ \AA}$)的衍射峰形状来测定。G. Duno-
yer de Segonzac (1969)提出了用锐度指数(acute index)法来计算伊利石的结晶度[4]，但这种方法需要特定的X射线衍射仪和特定的实验条件。而不同仪器和不同实

验条件都会影响峰形和峰高；即使同一台仪器，在不同时间做的实验，也会影响峰形和峰高。所以就难于对比。

1984年任磊夫提出以“开形指数”来表示伊利石(001)衍射峰的开放度^[2]。所谓“开形指数”就是不对称指数(Non-Symmetry index)，以 N_s 表示。“开形指数”具体计算方法如下：将未处理的粘土矿物样品制成定向薄膜，在X射线衍射仪上以任一常用实验条件进行测定，然后从伊利石(001)的衍射峰的顶点作垂线，与背景线相交，由顶点到相交点为此伊利石峰高，在峰高的 $\frac{1}{2}$ 处，分别向高角度一侧和低角度一侧测量其宽度。假设高角度一侧的宽度为 a ，低角度一侧的宽度为 b ，则 $N_s = \frac{b}{a}$ (图2)。当 $N_s = 1$ 时，即 $a = b$ ，这时衍射峰即为对称形。当 b 越大，则衍射峰也就越不对称，底

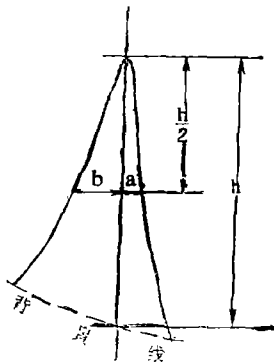


图2 伊利石“开形指数”测量方法
(据任磊夫, 1984年)

Fig.2 Method of measuring “opening index” of illite

表2 同一样品在不同条件下测得的“开形指数”

Table 2 “opening indexes” measured under various conditions of the same simple

仪器型号	理学电机3014	理学电机3015	
辐射	Cu K α Ni	Cu K α	石墨单色器
狭缝系统	$\frac{1}{2}^{\circ}$ 0.3m.m 1°	1°	0.3m.m 1°
满刻度(脉冲/分)	1000	4000	
强度	40kV 30mA	45kV 30mA	40kV 20mA
衍射峰形			
N_s	5.12	5.08	5.09

部向低角度一侧扩张为开放形态的伊利石。因为这个指数是比例数，所以只要仪器符合精度要求时，所得到的比值原则上不会因仪器和实验条件的不同而受到影响（表2）。这种方法制样、测定和计算都比较简便。

三、伊利石“开形指数”的地质意义

伊利石结晶度的降低与层间 K^+ 的脱离有关。当伊利石晶层间逐渐脱去 K^+ 时，膨胀晶层逐渐增多，(001)衍射峰的不对称性加重。虽然峰的顶点仍留在 10\AA ，但它的底脚向低角度一侧扩张。因此，“开形指数”值的变化，实际是伊利石膨胀晶层的指标，并与古气候、古地理环境等因素有关。现以四个剖面中开形指数为实例，分析判断古气候、古地理环境及油、气地质等方面的问题。在这四个剖面中，吐依洛克组没有样品，阿尔塔什组样品不全。本文尽可能以样品数量多的剖面为代表进行论述。

1. “开形指数”的变化规律，反映了古气候的变化

表3 各组地层采样总数及开形指数范围统计

Table 3 Sum of samples and the range of opening indexes

地层(组)	开形指数范围	上白垩统				下第三系					样品总数(个)	
		库克拜组	乌依塔克组	依格孜牙组	吐依洛克组	阿尔塔什组	齐姆根组	卡拉塔尔组	乌拉根组	巴什布拉克组		
1.0—1.9	1.0—1.4					1		1	1	1	4	33
	1.5—1.9	2				1	6	4	3	13	29	
2.0—2.9	2.0—2.4	2	1			1	5	3	5	12	29	44
	2.5—2.9	3	1	1			1		3	6	15	
3.0—3.9	3.0—3.4	2				1	5		2	7	17	25
	3.5—3.9	3	3						1	1	8	
4.0—4.9	4.0—4.4	2	2	2			1		1	1	9	11
	4.5—4.9	1	1								2	
5.0—5.9	5.0—5.4	4	2								6	10
	5.5—5.9	3	1								4	
6.0—6.9	6.0—6.4											
	6.5—6.9											
7.0—7.9	7.0—7.4	1									1	3
	7.5—7.9	2									2	
8.0—8.9	8.0—8.4	1									1	2
	8.5—8.9										1	
样品总数(个)		26	11	4		4	18	8	16	41	128	

由于各剖面所采集的样品个数不同，各组地层采样数量也不同。表3列了采样总数统计情况及“开形指数”的变化规律。

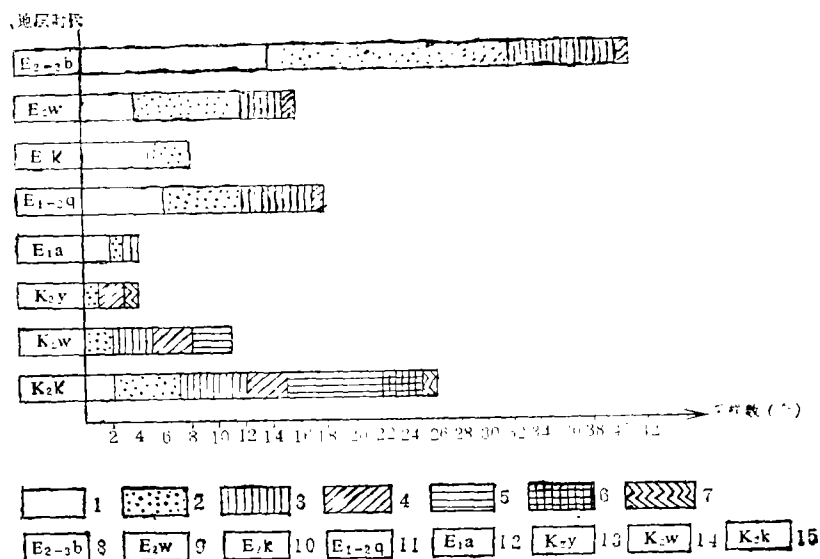
当母岩风化时，外界条件例如气温、湿度等发生了改变，风化带的pH值也随之改变。如果有有机酸和降雨量都略有增加，便有利于伊利石晶层间K⁺的淋溶，当K⁺脱离越多，则开形指数也越大。所以开形指数大小也说明了母岩受化学风化强烈的程度。间接反映了古气候。按表3的统计结果作了直方图（图3），更能清楚地看出，由晚白垩世到早第三纪气候向干旱的方向发展。

从统计情况来看，上白垩统三个组开形指数以大于2.9的为多数，库克拜组开形指数大于2.9的占该组采样总数的73.1%。而下第三系五个组开形指数却以小于2.9的为多数。巴什布拉克组开形指数大于2.9的占该组采样总数的22%，在早第三纪各期中，以齐姆根早期及晚期和乌拉根期稍显湿润。

从岩石结构、构造与矿物成分也可以作为气候干旱的另一方面证据。例如，早第三纪岩层面上常能见到泥裂，并多处有石膏层。

2. 同一时代的地层，在盆地的不同部位，具有不同的开形指数

剖面位于盆地的不同部位，虽属同一时代地层，其开形指数大小也有较大差别。图4为下第三系卡拉塔尔组和乌拉根组，其中A取自别列托开依剖面，B取自阿尔塔什剖



- 1. 开形指数范围1.0—1.9
- 2. 开形指数范围2.0—2.9
- 3. 开形指数范围3.0—3.9
- 4. 开形指数范围4.0—4.9
- 5. 开形指数范围5.0—5.9
- 6. 开形指数范围7.0—7.9
- 7. 开形指数范围8.0—8.9
- 8. 巴什布拉克组
- 9. 乌拉根组
- 10. 卡拉塔尔组
- 11. 齐姆根组
- 12. 阿尔塔什组
- 13. 依格孜牙组
- 14. 乌依塔克组
- 15. 库克拜组

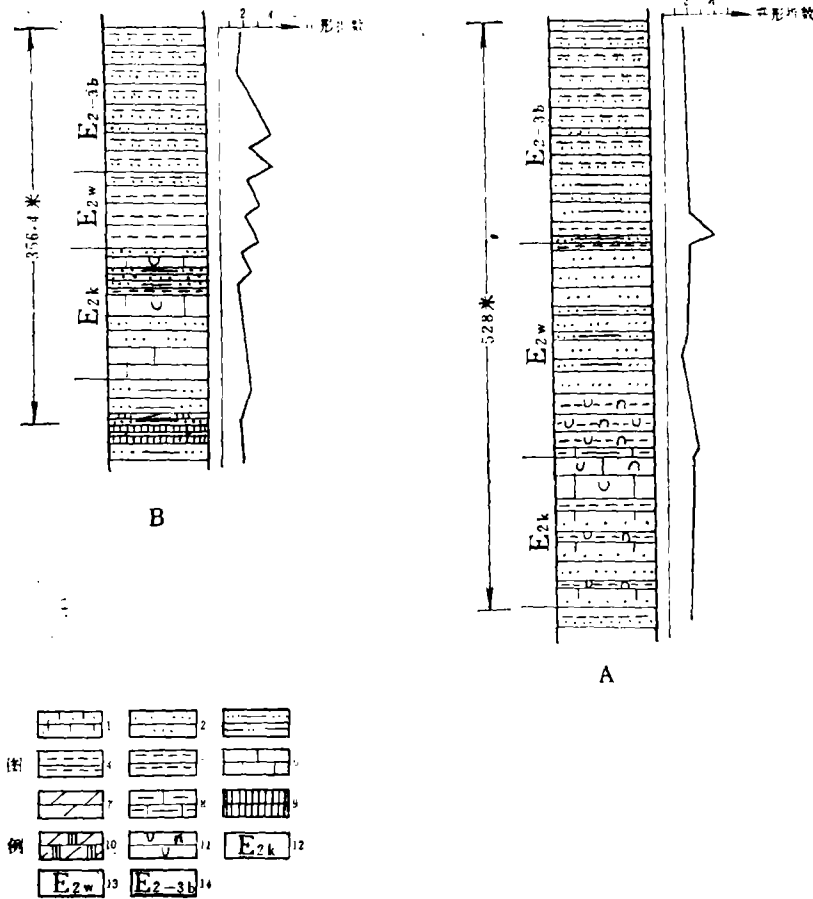
图3 晚白垩世—早第三纪开形指数值分布规律

Fig. 3 Opening index distribution of the Late Cretaceous and Early Tertiary

面。

阿尔塔什剖面中，卡拉塔尔组常见有水平层理、交错层理，有时还有楔形层理。乌拉根组除了上述几种沉积构造外，还出现波纹。

别列托开依剖面的沉积构造极不发育，几乎见不到在阿尔塔什剖面中所见到的那几种沉积构造。



1. 钙质砂岩 2. 细砂岩 3. 砂质泥岩 4. 泥岩 5. 粉砂岩与泥岩互层
 6. 灰岩 7. 白云岩 8. 泥灰岩 9. 石膏 10. 膏质白云岩 11. 化石碎片
 12. 卡拉塔尔组 13. 乌拉根组 14. 巴什布拉克组
 A. 别列托开依剖面下第三系 B. 阿尔塔什剖面下第三系

图 4 同一时代的地层，在盆地的不同部位，开形指数大小不同

Fig. 4 Samples in the same horizon of various places showing the different opening indexes

从开形指数的变化来看，阿尔塔什剖面中，卡拉塔尔组和乌拉根组时，开形指数变化曲线呈锯齿状。尤其是乌拉根组时，绝大多数样品Ns>2。而别列托开依剖面中，卡

拉塔尔组和乌拉根组时,开形指数变化曲线比较平稳,绝大多数样品 N_s 在小于2的范围内(图4)。引起这种现象的原因,初步认为与剖面所在的古地理位置有关。阿尔塔什剖面位于当时海盆地边缘,同时还受到古叶尔羌河偏酸性淡水的波及,这种环境有利于伊利石的水化,并把陆源水化了的开形伊利石带入海盆地沉积下来。别列托开依剖面位于海底山脊的边缘,长期以来,这个凸起一直处于受剥蚀状态,不利于形成开形伊利石。由此推测,相同时代的地层,如果用开形指数的值作等值线图,也可以大致推断出海、陆边界线。

3. 开形指数变化规律与海侵的关系

图5的上白垩统采用阿克彻依剖面,下第三系采用阿尔塔什剖面。因为这两个剖面的这些层位采样数量较多。从图5的曲线变化看出开形指数最大的,在晚白垩世有三处,两处在庫克拜组,一处在依格孜牙组。在早第三纪有四处,即:阿尔塔什组晚期到齐姆根组早期、齐姆根组晚期到卡拉塔尔组早期、卡拉塔尔组晚期到巴什布拉克组早期、巴什布拉克组早—中期,这四次中,以乌拉根组时期变化最为明显,它是从卡拉塔尔组晚期一直延续到巴什布拉克组早期。

开形指数变化规律和野外实际调查所得到的资料基本相似。如雍天寿(1984)^[1]认为,白垩世库克拜期和依格孜牙期有海侵,早第三纪阿尔塔什期海侵持续时间较长,齐姆根早期海侵时间稍短,齐姆根晚期新的海侵发生,形成了齐姆根组四段—卡拉塔尔组—乌拉根组正常海相沉积。在渐新世初,塔里木盆地西端再度被海水淹没,这次海侵时间最短,规模最小。又如:地质部石油地质综合大队¹⁾认为:晚白垩世时,古特提斯海水经中亚地区侵入西南坳陷区,海水由西向东到洛浦县附近,克里阳以西为正常海环境,先后沉积了库克拜组和依格孜牙组两组暗色泥质岩、碳酸盐岩。到早第三纪以古新世晚期和始新世中晚期的水进最大(图6)。

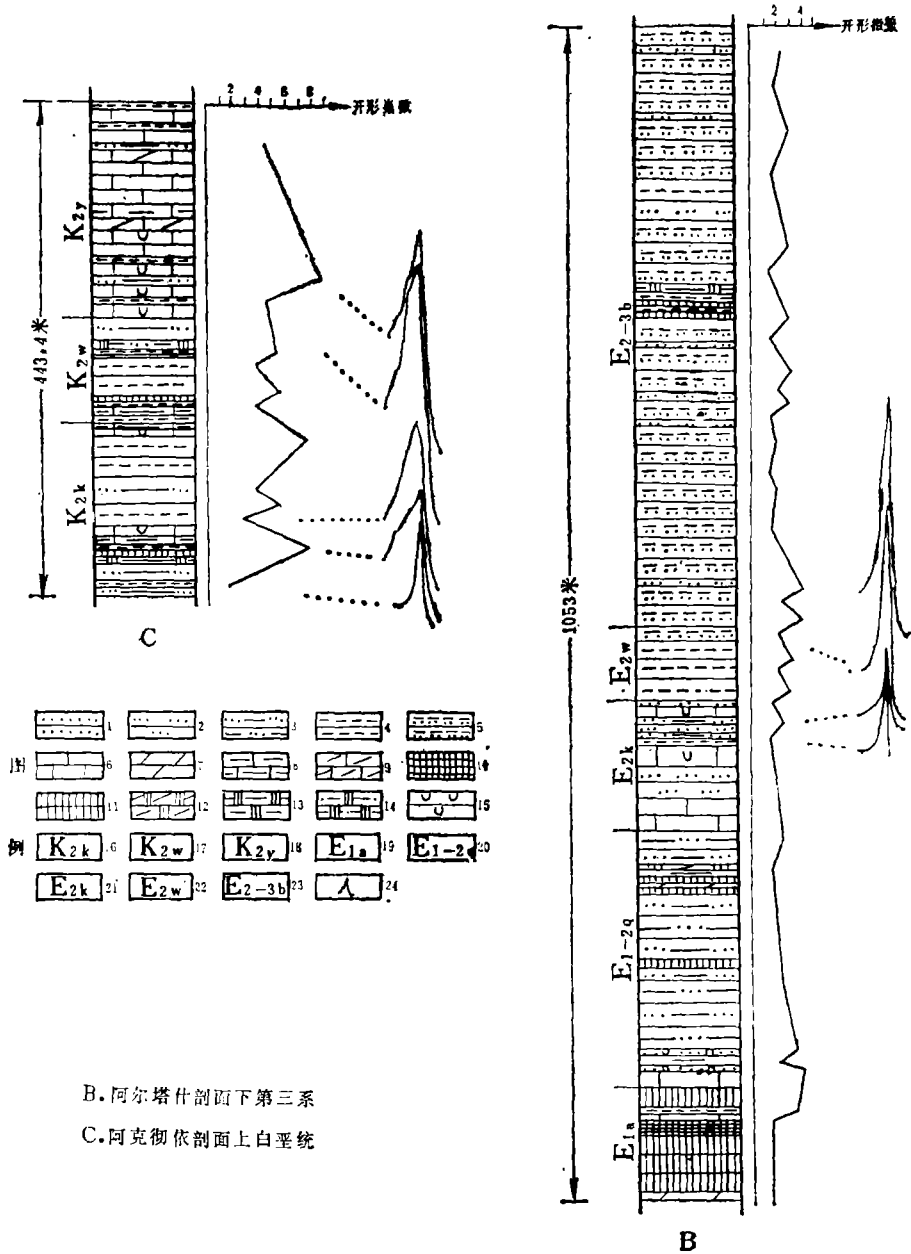
从上述资料中提到的海侵情况与图5相比较,其结果是开形指数最大的地方也正好是海侵时期。因此,开形指数变化规律与图6所表示的海侵次数基本吻合。产生这种现象的原因可能是由于海侵,海水面积扩大,气候得到了调剂^[3],有利于伊利石的水化,使它向开放形发展,因而陆地上有可能存在开形伊利石。随着海侵,海水侵入大陆,将这些开放形伊利石由大陆带入海盆地,并沉积下来。所以,海盆地中大量伊利石是陆源来的。当海退时,常常由于剥蚀作用,沉积物不易保存。

4. 伊利石开形指数与其在风化带退变程度的关系

根据开形指数的定义 $N_s = b/a$ 。当伊利石结晶很好,这时 $b \cong a$, $N_s \cong 1$ 。当遭受风化作用后,(001)衍射峰向低角度一侧扩散,开始出现 $b > a$, $N_s > 1$ 。随着风化程度加强,衍射峰形的对称性越来越差, $b \gg a$, $N_s \gg 1$ 。因此,在岩石露头上采的样品,如果伊利石(001)的 $N_s \geq 1$ 时,说明这种伊利石已遭到了一定程度的风化作用。

在岩石样品中,可能由于多种因素叠加而存在了开放形伊利石,为此,必须尽可能考虑各种地质因素及取样情况。本文所叙述的四个剖面中的伊利石,其中是早第三纪样品共87个,开形指数在1.5—3.4区间的占绝大多数(表3)。这一数值说明了虽然是地

1) 据地质部石油地质综合大队1980年资料(未刊)。



1. 细砂岩 2. 粉砂岩 3. 砂质泥岩 4. 泥岩 5. 粉砂岩与泥岩互层 6. 灰岩
7. 白云岩 8. 泥灰岩 9. 白云质灰岩 10. 盐岩层 11. 石膏 12. 膏质白云岩
13. 膏质泥岩 14. 砂质膏泥岩 15. 化石碎片 16. 库克拜组 17. 乌依塔克组
18. 依格孜牙组 19. 阿尔塔什组 20. 齐姆根组 21. 卡拉塔组 22. 乌拉根组
23. 巴什布拉克组 24. 伊利石(001)衍射峰

图5 开形指数变化规律与海侵的关系

Fig. 5 Relationship between the variation of opening index and the ingress

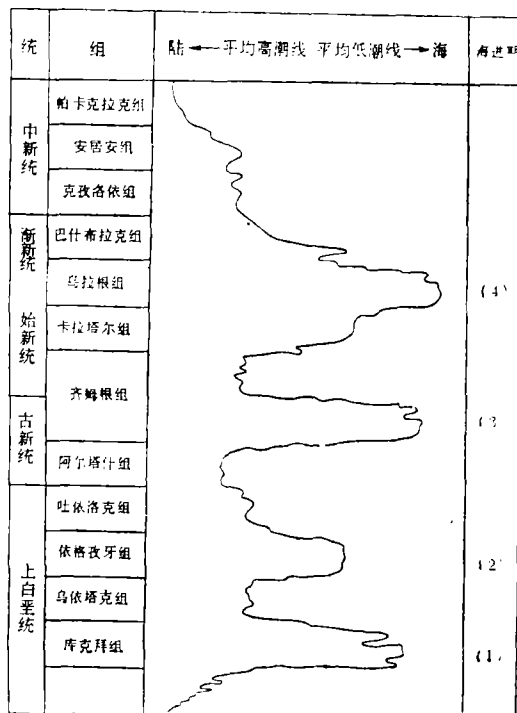


图6 西南坳陷区晚白垩世—早第三纪海水进退示意图*

Fig. 6 Sketch map of the ingress and regression of the Late Cretaceous and Early Tertiary in Xinan Depression

表露头的样品，但伊利石的退变程度并不强。上白垩统样品共41个，各组地层采的样品个数不一样，所以代表性差一些，可是还存在一定的规律性。在这些样品中，开形指数大小变化范围较广，如库克拜组Ns从1.5—1.9区间直到8.0—8.4区间都有分布。对上白垩统的伊利石作了乙二醇等各种处理后，证明它还没有明显的蒙脱石—伊利石混合层矿物的特征，而仍然属于开放性伊利石。而且，在前面已经叙述过这些伊利石开形指数变化有一定规律。可见，这些伊利石在风化作用下退变程度也并不十分强烈。

从以上分析判断看出：塔里木盆地西南部四个剖面的样品中伊利石开形指数的变化特征，在一定程度上反映了成岩作用阶段的情况。

5. 开形指数对研究石油地质的意义

由于塔里木盆地西南部盖层巨厚，使晚白垩世—早第三纪海相层都埋藏很深，岩心也不易取得。如果要从深部岩心中的粘土矿物组合来研究成岩作用阶段和有机质变质程度就十分困难了。

通过对伊利石开形指数的研究，初步认为喀什坳陷和西南坳陷晚白垩世—早第三纪

的岩石露头虽然长期暴露在地表，但由于该地区一直处于干旱的气候条件下，不利于岩石的化学风化，所以其中的粘土矿物并没有发生强烈的退化变质，伊利石的情况就可证明。同时，说明了本文所研究的这个地区受成岩作用的影响比较弱，所以伊利石(001)衍射峰的变化规律仍然保留了受古气候、古地理环境控制的特点。

在本区，除斯木哈纳剖面的粘土矿物组合情况稍有不同外，阿克彻依、别列托开依和阿尔塔什三个剖面晚白垩世一早第三纪海相地层中的粘土矿物主要以伊利石和绿泥石为主，这对成油来说是不利的。

粘土矿物受外界条件(如：雨量、气温、埋藏速度等)的影响反映较敏感。本文在探讨地质意义时，没有涉及多种因素叠加时对伊利石开形指数的影响。因此，对多因素作用下的地区，伊利石开形指数的地质意义还需要进一步研究。同时，还没有来得及对本区在同一剖面的同一层位分别从深部岩心中和岩石露头上取样来做其中粘土矿物成分的对比。以上这些问题有待于今后继续研究。

本文是在北京大学地质系任磊夫副教授热情关怀和认真指导下完成的。

在整个研究工作过程中，新疆石油管理局南疆石油勘探指挥部雍天寿、单金榜提供了必要的野外地质资料和部分样品。北京师范大学地理系张振春、任森厚、张宝民也提供了部分样品。北京大学地质系王佩瑛协助做了大量X射线测定，同时还得到了北京重型机器厂胡嘉璋、张莲娣的协助，在此一并感谢。

收稿日期 1984年12月1日

参 考 文 献

- [1] 雍天寿, 1984, 新疆石油地质(专辑), 1—3页。
- [2] 任磊夫、陈芸菁, 石油与天然气地质, 1984, 5卷, 4期, 325—334页。
- [3] 周廷儒, 1982, 古地理学, 北京师范大学出版社。
- [4] Thorez, J., 1976, Practical Identification of Clay Minerals, A Handbook for Teachers and Students in Clay Mineralogy, G. Lelette, ed. Dison. Belgique. p. 10—15.

GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF ILLITE OPENING INDEX

Wang Shiyi

(Geography Department of Beijing Normal University)

(Abstract)

This paper deals with the samples from four profiles in Keshi Depression and Xinan Depression in the southwestern part of Talimu Basin. All the samples are obtained from marine mudstones and sandy-mudstones with the exception of a few ones

from the Late Cretaceous and Early Tertiary limestone. Owing to the great thickness of covering strata in this region, it is difficult to get samples by drilling. So it seems impossible to observe the metamorphic degree of organic matter by studying various clay minerals in deep drilling cores. In this case, the author is trying to explain the paleogeographical environment and the problems about petroleum and gas geology of the Late Cretaceous and Early Tertiary in the southwestern part of Talimu Basin by measuring the diffraction maximum of illite (001).

The author usually measures the crystallinity of illite by recognizing the shapes of the diffraction maximum of the mineral. The method of the acute index, which Dunoyer de Segonzac G. (1969) used to calculate illite crystallinity, needs special experiment equipment and conditions. Ren Leifu (1984) suggested that the "opening index" (N_s) be used to indicate the opening degree of diffraction maximum of illite. This method is easier to use in measurement, sample preparation and calculation. In fact, the index is not effected by the experiment equipment and condition, because it is only a scale.

The formation of opening illite is related to the separation of K^+ from the interlayers. Based on the variation of opening index of illite from the four profiles, it is clear that its formation is related to some factors, such as the paleoclimate and paleogeographic environments. They are as follows: 1) the variation shows that the climate in the Late Cretaceous and Early Tertiary became dry by degrees; 2) The samples in the same horizon from different locations in the basin have different opening indexes. So it is possible to infer the boundary of the sea basin; 3) The variation indicates the ingression situation, and the maximum opening index is identical with the ingression. This is coincident with the data of field geology.

Regular shape variation of diffraction maximum of illite in samples from weathering zones can still reflect the original geological situation in their local site. This conclusion means that the rocks in this region do not undergo strong weathering and diagenesis. If the clay minerals in the cropped rocks have a very low grade of degeneration in weathering zones, samples from the cropping can be used to study the association and transformation of clay minerals and to determine the metamorphic degree of organic matter and the favourable area for oil or gas exploration.

In three of the four profiles, the composition of clay minerals is dominated by illite and chlorite with the exception that the association of clay minerals in Simuhana Profile is a little different from those three ones. Such a kind of clay minerals is not favourable for the formation of oil.