

塔里木盆地柯坪地区 下二叠统的成岩作用及次生孔隙

陈国俊 马宝林

(中国科学院兰州地质研究所)

摘要 位于塔里木盆地西北缘柯坪地区的二叠系是该区可能的储集体。对这套岩系的成岩作用和孔隙的研究尚属首次。笔者通过多种分析手段,发现和论述了该区下二叠统碎屑岩的十多种成岩作用,列举了六种识别次生孔隙的有用标志,强调溶解作用在形成次生孔隙中的重要作用,并建立了成岩模式。

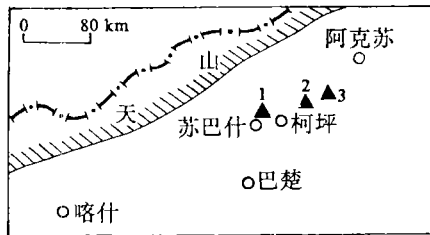
主题词 成岩作用 次生孔隙 溶蚀溶解 柯坪 阿恰群

第一作用简介 陈国俊 男 26岁 研究实习员 沉积岩石学

一、地质概况

研究区位于新疆阿克苏至苏巴什一带,重点对柯坪地区开派兹雷克二叠系进行深入研究(图1)。在此区,广泛发育下二叠统,仅在印干山发育少量上统。从本区地面出露的下二叠统剖面可以看出其相变明显,海相沉积自西南向东北方向逐渐减薄,至开派兹雷克基本上相变为一套陆相沉积。印干山以东下二叠统阿恰群(P_{1a})即本文研究的层位。其上部称开派兹雷克组(P_{1kp}^2),厚464.86m,为一套以石英砂岩为主的杂色碎屑岩,中下部含砾,部分地区顶部夹有杂色玄武岩和薄层灰色灰岩。阿恰群下部称库普兹满组(P_{1kp}^1),厚334.00m,为一套中细粒杂色碎屑岩,顶部有二层黑、黑绿色玄武岩,其间又夹有厚约50m的灰绿色砂岩、页岩。地层中沉积构造发育,以波状层理,波状、人字形交错层理为特征。从粒度概率曲线看,均由跳跃和悬浮二总体组成(图2)。其中前者居多,约占75%,后者占25%。跳跃总体倾角较大($60^\circ-70^\circ$),说明分选较好;悬浮总体倾角一般在 $30^\circ-40^\circ$,分选中等。S截点在 $3.4-3.6\phi$ 。这些特点

说明沉积时水动力不甚强,水体具双向流动性。阿恰群顶部被第三系或第四系砾石层以角度不整合覆盖。底部与上石炭统康克林组成平行不整合接触。笔者认为,石炭纪末期,海水由东向西退出本区,阿恰群的沉积相应划属为泻湖潮坪沉积。



1.苏巴什剖面 2.印干剖面 3.开派兹雷克剖面

图1 研究区地理位置及剖面位置图

Fig.1 Location and section of the study area

二、成岩作用

笔者根据野外实地观察、岩石薄片鉴定、染色法、扫描电镜、能谱、阴极发光、X射线衍射等方法,观察到的成岩作用现象有以下数种:(1)

同生白云岩化；(2) 早期方解石胶结；(3) 机械压实；(4) 方解石交代碎屑矿物；(5) 长石蚀变；(6) 自生粘土矿物形成；(7) 压裂与压溶；(8) 石英长石的次生加大；(9) 硅质转变为石英；(10) 烃类充填；(11) 深层溶解。通过研究这些成岩作用，建立了简略的成岩史，现分述如下，参见图 3。

1. 沉积物进入盆地后，便与底层水进行化学反应。这种富 Ca、Mg 的水体随水体的蒸发和 Ca^{2+} 的不断沉淀（主要形成文石、方解石和石膏）， Ca^{2+} 浓度逐渐降低，而 Mg^{2+} 含量相对富集，结果，Ca/Mg 值降低，形成了同生白云石胶结物。不过，它的形成对次生孔隙的影响不太大，只是充填了部分原始孔隙。

2. 同生成岩作用持续不久便进入早期成岩阶段。埋藏后沉积物的孔隙水中含有大量的 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ，随埋深的增大和温度升高，逐渐在原始孔隙中缓慢地折出方解石晶体，作为胶结物充填在孔隙中，它有可能阻碍后来的压实作用。如果这些方解石胶结物在以后的成岩过程中溶去，就会形成良好的孔隙。下文的讨论也证实了这一点。

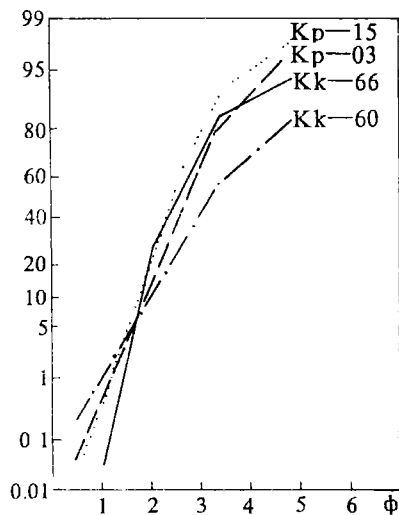


图2 柯坪地区下二叠统砂岩概率累积曲线图

Fig.2 Cumulative probability curve of sandstone in Lower Permian of Keping area

3. 随沉积物不断补给，已沉积的沉积岩（物）承受着极大的上覆地层重压，使下伏的地层遭到机械压实，孔隙进一步压缩，仅产生少量裂隙（图版 I，7）。机械压实多发生在成岩早期阶段，到晚期将转变为压溶作用。

4. 在方解石胶结物形成的同时，它就对其它矿物碎屑进行了交代。方解石对硅酸盐的交代是由于埋深加大，使沉积物体系的 pH 值升高（弱碱性），温度也升高，以及 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 不断沉淀， CO_2 压力降低造成的。观察表明，钾长石最易被方解石交代，斜长石次之，石英偶见。

方解石对矿物碎屑的交代作用多发生在早期成岩末和几乎整个晚期成岩阶段。交代作用本身没有改变地层的储集性，但交代后的方解石比原碎屑更易溶解。条件具备，这些交代物溶去后就可形成可观的孔隙。

5. 原始沉积物中含有大量的粘土质点，在埋深加大和埋藏时间加长的条件下，粘土质点自身发生重结晶，形成自生粘土矿物。在一定条件下，自生粘土矿物间发生相互转变，形成很少的孔隙。

6. 机械压实的持续，使基本上已固结的沉积物发生破裂，形成部分岩石裂缝（图版 I，6），它有可能成为后期烃类运移喉道。

7. 与此同时，在埋深和温度增加的情况下，压力引起的结果将是压溶作用。哈奇恩（I·Hatchcon, 1983）认为，判别压溶作用一般有三个标志：(1) 颗粒间的相互嵌入接触；(2) 缝合线接触；(3) 凹凸接触以及伴随有石英的次生加大。在本套地层中，这三种现象均可见到，尤其次生加大和缝合线更为清楚（图版 I，1）。压溶作用使颗粒排列更紧密，对原生孔隙和次生孔隙都有不同程度的破坏。

8. 伴随着压溶，石英、长石的次生加大相继出现。常见的加大的石英边缘同石英碎屑核

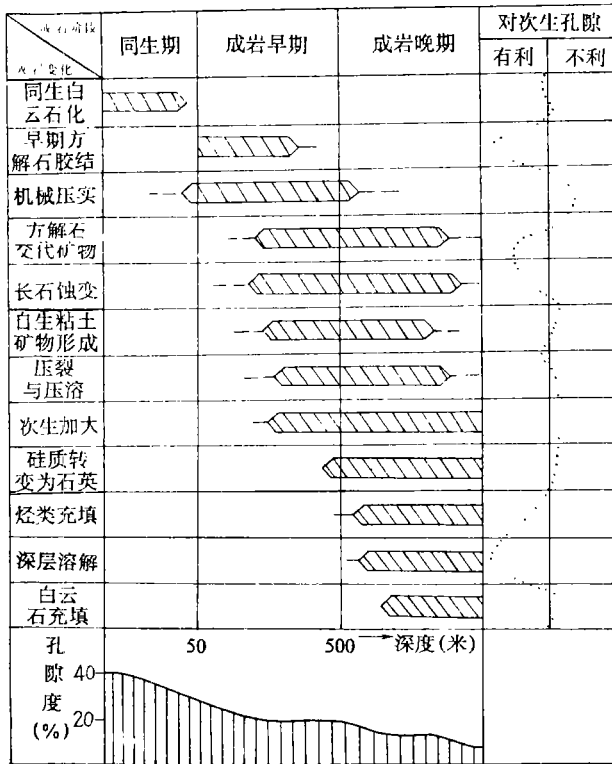


图3 柯坪地区下二叠统成岩变化特征图

Fig 3 Feature of diagenetic changes of the Lower Permian of Keping area

解石、长石等)进行溶蚀,形成类型多样的孔隙。

至此,成岩作用逐渐减弱,而未被烃类充填或者先被烃类充填后又被水驱走的砂岩,在地下水的作用下继续进行着成岩变化。

当然,上述成岩史仅是笔者简单的理想模式,实际情况肯定比此模式复杂得多。

三、次生孔隙的识别

在上述成岩过程中,形成了各种类型的孔隙。为确定它的次生性,笔者经过镜下反复观察,发现以下六种现象可作为识别本区砂岩体次生孔隙的可靠标志。

1.部分溶解

可溶组分主要是方解石、长石,石英次之。溶孔呈港湾状、蜂窝状、书页状、鸟眼状等(图版I, 2、3)。象蜂窝状这样的颗粒,在沉积搬运过程中很快就会崩解,因此,具有这种溶蚀外貌的颗粒一定是在成岩期形成的。

2.铸模孔隙

这是陆源、自生组分,以及交代物完全或部分溶解后保留原颗粒形貌的一种孔隙。最常

心在光性上是连续的,但二者之间往往存在一条“泥线”(图版I, 1)。次生加大的物源有三:(1)压溶作用供给;(2)粘土矿物在成岩过程中释放的 SiO_2 ;(3)长石等矿物蚀变产生的 SiO_2 。次生加大不仅充填了原生孔隙,也使已形成的次生孔隙遭到破坏,在很大程度上降低了砂岩的储集性。

9.在成岩过程中,硅质充填物发生溶解、局部溶解或固体扩散作用,使非晶质的蛋白石重结晶成石英或微晶石英,它对孔隙的影响不大。

10.大量的研究成果证明,孔隙的演化和成岩作用的方式受烃类的影响(Lowry, 1956, Wilson, 1977)。当沉积物达到一定的深度,埋藏物中的有机质不断发生热演化,向烃类转化。这种转化可产生大量的有机酸和 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2O 等化合物,含有有机酸和 CO_2 的水溶液具有更强的溶解能力,它们对不稳定组分(如方

见的是! 类铸模 (图版 I, 4)。

3.排列的不均一性

粒度不均的砂岩, 颗粒排列较松散, 存在大量粒间孔隙。这种孔隙中充填的基质和胶结物 (方解石为主) 妨碍了压实作用和颗粒间的相互渗透。可溶性的基质和胶结物发生溶解, 产生了次生孔隙 (图版 I, 5)。

4.特大孔隙

这是指孔隙比相邻颗粒大得多的那些孔隙。是选择性溶解的产物, 边部往往有难溶的“漂浮状” (Schmidt V.1980) 小颗粒 (图 5)。特大孔隙常与排列的不均一性同时存在。

5.伸长状孔隙

这是碳酸盐矿物沿石英、长石边缘产生交代作用, 随后交代物被溶解而成, 常与部分溶解、溶蚀残骸、残余胶结物等共生 (图版 I, 2)。

6.组分内孔隙

这类孔隙包括颗粒内、胶结物内、基质内和交代物内孔隙 (图版 I, 3, 8)。蜂窝状、书页状、鸟眼状、桥状等孔隙可以确凿地证明, 在沉积以后曾发生过淋滤作用 (Pittman, 1979), 它们是次生孔隙的极好标志。

7.颗粒、岩石裂隙

这是颗粒、岩石遭受压实而成。在镜下可以看到, 部分裂隙贯穿次生加大边, 说明颗粒、岩石裂隙是在压实作用和次生加大作用发生以后形成的 (图版 I, 7)。

上述六种标志, 尤其是溶解作用造成的标志, 它们很少单个出现。在同一薄片, 通过反复仔细地观察和统计, 会发现一系列的标志, 综合应用这些标志就可以确定孔隙的次生性、次生孔隙的数量, 同时也表明, 溶解作用是本区下二叠统阿恰群形成次生孔隙的主要方式和营力。原生孔隙几乎全部消失, 次生孔隙占整个孔隙的 90% 以上。

四、次生孔隙类型

所有的成岩作用都发生在多孔的沉积物和沉积岩中。成岩作用的结果就是使孔隙发生变化。在本套地层中, 与成岩作用有关的次生孔隙主要有以下五种类型。

1.碳酸盐胶结物溶解产生的孔隙 (图版 I, 2, 5)。被溶解的主要是早期方解石胶结物, 而陆源组分少。这种孔隙是最主要的类型, 约占整个孔隙的 47.9%。

2.长石溶蚀产生的孔隙 (图版 I, 3)。被溶蚀的长石以钾长石为主, 另有钠长石和斜长石。它们大部分是直接溶解形成, 少部分是先由碳酸盐交代而后又发生选择性溶解交代物产生的。这类孔隙约占整个孔隙的 24.3%。

3.交代物发生溶蚀产生的孔隙。从镜下及阴极发光观察来看, 交代矿物主要是方解石另有少量白云石、绿泥石等。被交代的矿物有长石、石英、生物残骸、泥质岩屑等。在酸性条件下, 交代物发生部分或全部溶解, 形成形状多样的孔隙, 约占孔隙的 16.5%。

4.粘土矿物发生变化产生的孔隙。自生粘土矿物, 由于介质条件的变化, 相互间发生转变, 部分被交代或溶去, 形成数量不多, 但形态多样的孔隙, 如桥状 (图版 I, 8)、蜂窝状等。它们约占孔隙的 6.8%。

5.机械压实造成的裂缝孔隙。大致上有三种: (1) 张开的岩石裂隙。有的沿颗粒边缘延

伸，有的切穿单个颗粒，以及胶结物、基质、交代物和其它组分。(2) 张开的颗粒裂隙。这种裂隙有的切穿整个颗粒（次生的），有的切穿颗粒的一部分（原生或次生的）。(3) 张开的粒内裂隙，它仅限于单个粒间组分中，其数量极少。这三种裂隙意义不大，数量也不超过孔隙的4.5%。

总观以上五种孔隙类型，对油气运移聚集有效的还是前三种，它们占整个孔隙的90%以上。这些孔隙遍布整个地层，连通性也较好。但是，次生孔隙的大小变化范围较大，孔隙喉道和形状多种多样，分布很不均匀。按其成因和演化趋势列于表1。

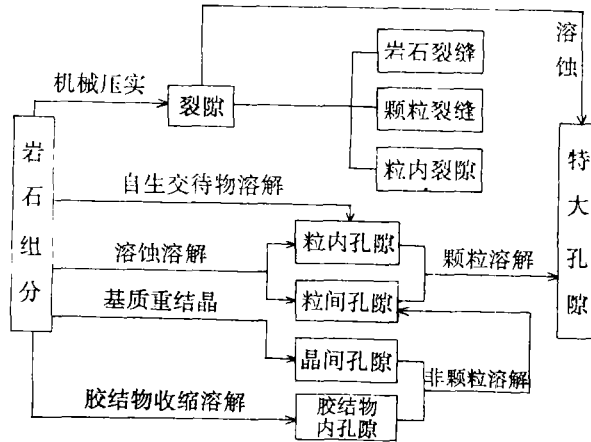


表1 柯坪地区下二叠统次生孔隙演化示意图
Table 1 Evolution of secondary pores in the lower permian sandstone in Keping area

工作中得到朱莲芳、李节通、陈志祥、史基安及地矿部无锡中心实验室电镜组同志的支持和协助，在此致谢！
收稿日期 1988年12月27日

参 考 文 献

(1) 吴绍祖等，1985，新疆南部下二叠统，新疆地质研究论文集，新疆人民出版社。
 (2) 西北大学地质系编译，1986，碎屑岩的成岩作用，西北大学出版社。
 (3) 吕正谋，1985，沉积学报，3卷2期，50—54页。
 (4) Schmidt V. and McDonald K.A., 1980, Secondary reservoir porosity in the course of sandstone diagenesis, AAPG Continuing education course note series No.12.

THE DIAGENESIS AND SECONDARY PORES OF THE LOWER PERMIAN OF KEPING AREAS IN THE NORTHWESTERN EDGE OF THE TALIMU BASIN

Chen Guojun Ma Baolin

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

The Permian of Talimu basin is one of the important layers to explore and develop oil and gas. Sandstone is the most important reservoir rocks of oil and gas. By means of researching the feature of diagenesis of sandstone, we can probe into the evolutionary trend and distributive law of the pore. Then, it may effectively guide us to explore and develop oil and gas.

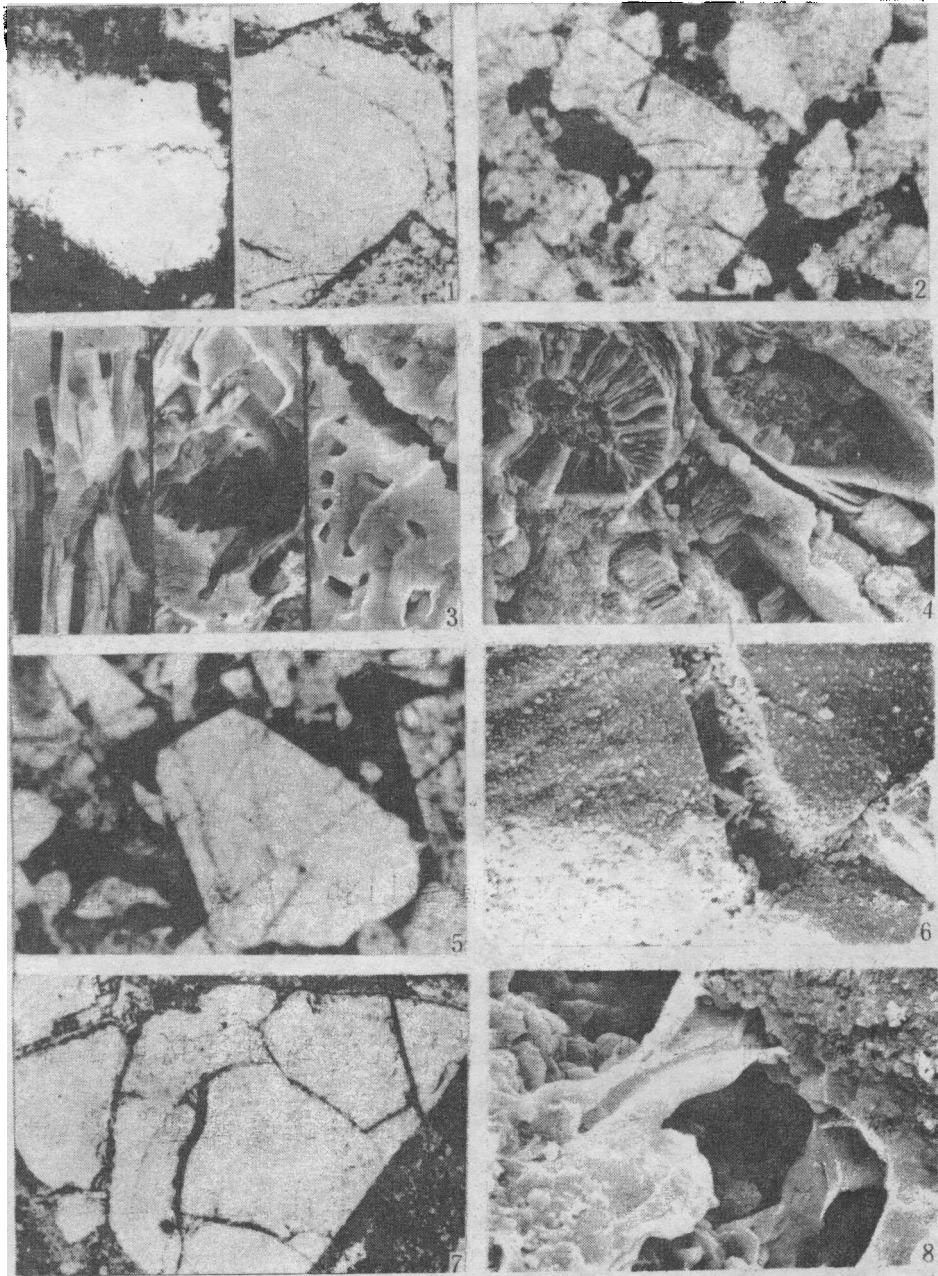
The Permian of Keping area in Xinjiang extensively shows the Lower Permian. The principal part of the Lower Permian is a series of miscellaneous colour fragmentary rocks, and is a transitional sediment that contains intermittently marine layer. There was volcanic activity (basalt).

Before our researches, the sedimentary environment and facies of sandstone—this series of miscellaneous colour fragmentary rocks of continental origin—had been researched by some people. But the diagenesis and secondary pores have not been done so far. We have been studying on sedimentary facies and diagenesis and secondary pores of the layers by fieldwork, flakes of rock, colouration, grain-size, scanning electron microscope studies, cathodluminescence, X-ray diffraction analysis, etc. The phenomena of diagenesis observed includes 1) dolomitization of aqualotysis; 2) cementation of early-calcite; 3) compaction and pressolution; 4) replacement; 5) formation of self-precipitation clay mineral; 6) corrosion of feldspar; 7) secondary and overgrowth quartz and feldspar; 8) filling of hydrocarbon; 9) dissolution in deep subground; 10) filling of dolomite and ferrodolomite; etc.

The principle, feature, evolutionary order and its relation of diagenesis has been analysed and discussed in detail. Based on it we built a simple and ideal history of diagenesis.

By the studies of diagenesis, we predict distributive law of underground pore and point out six marks to distinguish secondary pores. The author divided roughly five types of secondary pores according to the contributing factors. It is concluded that 1), dissolution of calcareous cement; 2), dissolution and corrosion of replacement mineral; 3), dissolution of feldspar; 4), change of clay mineral; 5), fragmentation. The form, relative content and evolution of the secondary pores are analysed and described. And it is shown with the figures and tables.

The author considers, on the basis of the sedimentation, that the diagenesis (The primary factor is the dissolution) is the most important affect in the formation of the secondary pore in sand bodies. All that we do, to a certain extent, has guideable significance to explore and develop oil and gas. In the meantime, we set forth our views that how to divide the sedimentary facies of the series of layer.



1.左, 石英压溶缝合线, 正交, $\times 312.5$, 右, 石英次生加大, 正交, $\times 80$ 2.港湾状石英, 黑色者为孔隙, 正交, $\times 90$ 3.长石溶孔, 左, 书页状, 中, 蜂窝状, 右, 鸟眼状, 扫描电镜, $\times 1250$ 4.铸模孔隙, 扫描电镜, $\times 1250$ 5.颗粒排列不均一, 黑色者为孔隙, 正交, $\times 70$ 6.岩石裂缝, 扫描电镜, $\times 600$ 7.颗粒裂隙, 正交, $\times 125$ 8.自生绿泥石溶蚀后形成的桥状孔隙, 扫描电镜, $\times 1250$.