

塔里木盆地北部寒武—奥陶系 碳酸盐岩的深部溶蚀作用

叶德胜

(地矿部05项目工程处)

摘要 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩深部溶蚀的主要特征是非组构选择性、多沿缝合线及裂隙发育。深部溶蚀的主要依据是,溶蚀了晚期成岩组构或溶蚀沿晚期成岩组构(缝合线及裂隙)进行,其中充填烃类或其他晚期成岩矿物;同时不仅在地腹区,而且在早期连续沉降($C-P_1$)、后期抬升成陆(P_2-Q)的柯坪露头区具此特征。本区深部溶蚀作用主要与生油岩有机质热成熟过程中产生的二氧化碳所形成的酸性水有关。

关键词 碳酸盐岩 深部溶蚀 次生孔隙 寒武—奥陶系 塔里木盆地北部

作者简介 叶德胜 男 50岁 高级工程师 沉积学及石油地质学

碳酸盐岩中的次生孔隙早已发现,但过去均归因于近地表大气淡水的淋滤、溶蚀。七十年代中期以来,在碎屑岩中发现了大量形成于深部埋藏环境中的次生孔隙(Schmidt等,1979)。这一重要研究成果,促进了对碳酸盐岩深部溶蚀作用的研究。八十年代国外陆续有许多关于在埋藏环境中碳酸盐岩溶蚀形成次生孔隙的报道(Moore et al., 1981; Mazzullo, 1981; Elliott, 1982);国内亦有报道(周自立, 1985; 叶德胜等, 1989)。这一重要发现不仅具有重要的理论意义,而且具有重大的实际意义。它提供了在深部进行油气勘探的依据,冲破了深部储层差、不宜勘探的传统观念。在理论上把生油岩与储集岩的演化联系起来,即有机质的热演化不仅形成了烃类,而且在一定程度上造就了储集空间。

寒武—奥陶系是塔里木盆地北部(以下简称塔北)的主要储层之一,著名的沙参2井,以及沙14井、轮南8井、英迈1井等的产层即是该层位。尽管寒武—奥陶系顶部不整合面的风化、淋滤作用(古岩溶)对该储层有重要的建设作用,但深部溶蚀对其有效储集空间的形成仍有相当的意义。本文侧重探讨深部溶蚀作用。

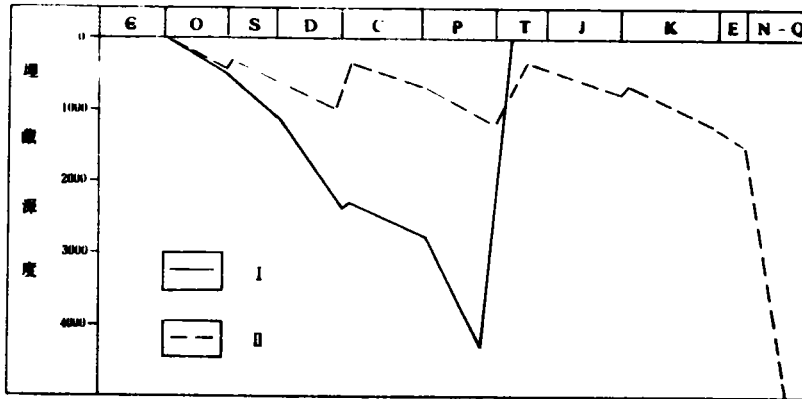
1 区域地质背景

寒武纪至早奥陶世,本区沉积盆地的发展、演化属被动大陆边缘阶段^①。其中,塔中克拉通内盆地为简单的碟形拗陷,发育碳酸盐潮坪、台地及台地边缘沉积,厚度1500—3500m。塔北大陆边缘内带包括乌什克拉通周边盆地与满加尔(塔东)克拉通周边盆地。前者由开阔台地相过渡为深水陆棚相,厚约1000m;后者在地震剖面上反映出明显的斜坡沉积,向东过渡为欠补偿

^① 周稼康等,1990,新疆塔里木盆地东北地区沉积特征及其与生储油条件关系的研究。

的深水陆棚—盆地,斜坡部位厚达 4000m,陆棚—盆地厚 500—1000m。大陆边缘外带为库鲁克塔格裂陷槽盆地,为陆棚—斜坡—欠补偿盆地,厚 300—1500m。

本文重点研究塔中克拉通内盆地的潮坪—台地相碳酸盐岩,包括柯坪露头区及其东的大片地腹区。两者沉积特征相似,但后期地质发展有显著区别(图 1)。柯坪地区寒武纪至早二叠世基本为连续沉积,晚二叠世早期之后整体上升成陆,一直至今;其东地腹区寒武至奥陶系沉积之后,在加里东至海西期遭受多期构造抬升,其后沉积了陆相中生界,其中特别是喜山期强烈沉降,沉积了巨厚的新生界。



I. 柯坪露头地区 II. 腹盖区(雅克拉断隆)

图 1 塔里木盆地北部寒武—奥陶系埋藏史示意图

Fig. 1 Burial history of Cambrian to Ordovician in North Tarim Basin

2 深部溶蚀作用的特征

塔中克拉通内盆地的潮坪—台地碳酸盐岩在寒武系及下奥陶统下部主要为白云岩,其中包括藻纹层白云岩、微晶白云岩、颗粒白云岩及细至中晶白云岩等;在下奥陶统中、上部主要为灰岩,其中包括泥微晶灰岩、球粒泥晶灰岩、泥微晶砂屑灰岩及亮晶砂屑灰岩等。在白云岩及灰岩中均有深部溶蚀孔隙发育。

在白云岩中,深部溶蚀的主要特征是非组构选择性。既溶蚀颗粒白云岩中的颗粒,又溶蚀各世代胶结物;同时还溶蚀结晶白云岩中埋藏白云化及重结晶作用所形成的白云石,形成以晶间溶孔为主的次生孔隙,孔径一般 0.05—2mm(图版 I, 1)。一些层段这种次生溶孔十分发育,面孔率可达 3—10%,形成所谓的针孔白云岩。此外,时见沿裂隙的溶蚀,形成沿裂隙分布的串珠状溶孔(图版 I, 2)。

在灰岩中,深部溶蚀最大的特征是沿缝合线发育。如柯坪地区泥微晶灰岩中缝合线发育,沿缝合线常有溶蚀扩大,形成毫米级的串珠状溶蚀孔隙(图版 I, 3);并且在缝合线附近还发育较多的溶蚀微孔隙。在阿克库勒及沙西地腹区该灰岩中沿缝合线也有明显的溶蚀作用,形成 1—3mm 的溶蚀孔隙及大量溶蚀微孔隙(图版 I, 5、6、7)。

此外,在该灰岩中亦见沿裂隙发育的溶蚀孔隙。在柯坪地表,该灰岩中发育沿裂隙(特别是

沿两组裂隙的交叉部位及裂隙与缝合线的交叉部位溶蚀而形成的厘米级孔洞。阿克库勒及沙西地腹区该灰岩中沿裂隙分布的溶孔也较发育,孔径一般1—3mm,大者1—2cm。

3 深部溶蚀作用的证据

1 不仅溶蚀了颗粒及早期成岩结构,而且溶蚀了晚期成岩结构,如重结晶的细—中晶白云石及方解石;埋藏环境中形成的各世代胶结物等。并且在这些溶孔中常充填了原油(或沥青)或深部埋藏环境中形成的自生矿物——铁白云岩(图版 I, 2)、伊利石(扫描电镜观察证实)等。由于不仅在地腹区井下具此特征,而且在柯坪地表露头亦具此特征,从地质及埋藏史分析,排除了早期大气淡水溶蚀及构造抬升暴露期古岩溶的可能性,即这些溶蚀孔隙形成于深部埋藏环境。

2 溶蚀作用常沿埋藏环境中形成的缝合线进行,这在灰岩储层中表现尤为明显,近缝合线溶孔发育,而远离缝合线溶孔不发育乃至消失。这种情况与 Mazzullo(1981)所研究的查普曼—迪普油田碳酸盐岩储层在埋藏环境中形成的溶蚀孔隙之特征十分相似。在这些缝合线及其溶孔中常有原油或沥青充填(图版 I, 3)。

值得注意的是,在阿克库勒地腹区沙 14 井中,下奥陶统灰岩发育溶洞沉积,溶洞发育的时代为早石炭世。溶洞沉积主要为下奥陶统灰岩砾石及其间的充填物。在此灰岩砾石上亦发育沿缝合线分布的溶孔,且在缝合线及溶孔中均有烃类充填。这也充分表明这些溶孔形成于深部埋藏环境,而非古表生淋滤、溶蚀的产物。

3 溶蚀作用常沿晚期裂隙进行,形成串珠状溶孔;或沿白云石边缘发育的追踪性裂隙进行,所形成的溶孔中亦见原油或沥青充填(图版 I, 4)。

4 溶蚀作用与寒武—奥陶系顶部的不整合面无直接关系,特别是在灰岩中表现明显。据岩芯观察,灰岩的溶蚀作用与岩性密切相关。在缝合线较多的泥微晶灰岩中,溶蚀作用较发育;而在缝合线不发育的亮晶颗粒灰岩中,溶蚀作用不发育。溶蚀作用发育程度与距不整合面的深度之关系不明显。例如沙 17 井,不整合面下数十米内的颗粒灰岩几乎见不到溶孔;而在不整合面之下百余米的微晶灰岩中溶孔较发育。又如沙 14 井,不整合面之下二百余米的泥微晶灰岩仍发育溶孔。据国内外研究,与不整合面风化壳有关的溶蚀作用主要发育于深度数十米的范围内(James 等,1984)。

因此,本区溶蚀孔隙的这种分布特征,表明它们不是表生溶蚀作用的产物,而是深部溶蚀作用的结果。

4 深部溶蚀机理的探讨

目前对深部溶蚀的机理有不同认识,概括起来,主要有两种:一是认为溶蚀作用与有机质热演化过程中出现的脱羧基作用、释出 CO_2 所形成的酸性水有关(Schmidt 等,1979);另一种认识则是根据一些盆地的定量计算,认为上述机理不足以形成储层规模的次生孔隙带,而认为是地下水淋滤作用的结果(Bjodykue, 1984)。

结合本区实际情况,笔者认为本区深部溶蚀主要与有机质热演化有关。其主要依据是:

1 绝大部分溶蚀孔隙形成之后,即为烃类所充填,其间无其他成岩环节。这表明深部溶蚀与油气生成、运移是大致同期的,或稍稍靠前,两者密切相关。

2 柯坪大湾沟剖面的中、下奥陶统萨尔干组黑色页岩为较好生油岩。其紧邻上下的灰岩发育一对生成较早的、共轭的、垂直层面的缝合线,再往上下即行消失,同时生油层内灰岩透镜体内的溶孔发育,并为石油所充填。表明生油过程中确实排出了具溶蚀能力的酸性水,使围岩和夹层的灰岩产生了溶蚀。

3 据钻井中地下水分析资料,阿克库勒及沙西等地区古生界油气藏的地层水,其 pH 值一般在 6.0 左右,为具溶蚀能力的酸性水。同时,分析资料表明该区地层水矿化度很高(一般 > 100,000mg/l)的 CaCl₂ 型水,表明其封闭性好。这排出了大气淡水沿断裂等通道向下渗透的影响,即具溶蚀能力的酸性水与大气淡水无关,而与有机质的热演化有关。

4.4 最近有人用物质平衡法计算表明:在一定条件下,有机二氧化碳的溶蚀作用完全可能成为溶蚀型储层形成的主要营力(张晓鹏等,1988)。在有机质含量高的地层中,所产生的有机二氧化碳的溶蚀是以形成储层规模;在有机质含量较低的地层组合中,通过选择性溶蚀作用,仍可造成一定规模的有机溶蚀型储层。本区下古生界主要油源区(满加尔拗陷)中生油岩厚度大(仅寒武—奥陶系生油岩厚度达 2000m 以下)、有机质丰度高(碳酸盐岩有机碳平均 0.43%,为国内碳酸盐岩中有机质丰度之冠,泥质岩有机碳含量 1.3—1.4%)。因而,有机质热演化过程中所产生的二氧化碳之溶蚀可能成为溶蚀型储层形成的主要营力。

综上,表明本区寒武—奥陶系碳酸盐岩深部溶蚀主要与生油岩有机质热演化过程产生的二氧化碳所形成的酸性水有关。

5 结语

通过上述讨论,可得出如下主要结论:

- 1 深部溶蚀作用对于塔北寒武—奥陶系碳酸盐岩储层的形成具有重要作用。
- 2 该区寒武—奥陶系碳酸盐岩深部溶蚀的主要特征是非组构选择性,以及溶蚀作用多沿缝合线及裂隙发育。
- 3 深部溶蚀作用的主要依据是:溶蚀了晚期成岩组构,或沿晚期成岩组构进行,其中充填了烃类或其他晚期成岩矿物。同时不仅在地腹区,而且在早期($\epsilon - P_1$)连续沉降、后期($P_2 - Q$)抬升成陆的柯坪露头区具此特征。
- 4 经初步分析,认为本区深部溶蚀主要与生油岩有机质热演化过程中所形成的酸性水有关。

本文为国家“七五”重点科技攻关项目下属塔里木盆地东北地区震旦—第三系成岩研究专题的部分成果。参加研究的尚有刘树晖、翟晓先、杨惠明、王旭、郑维林、袁洪等。

参 考 文 献

- 叶德胜、刘树晖,1989,海相沉积区油气地质,3卷,1期,11—19页。
- 周自立,1985,石油学报,6卷,2期。
- 张晓鹏、李汶国、彭大经,1988,海相沉积区油气地质,2卷,2期。
- Bjorlykke, K., 1984, AAPG Memori 37, p. 277—286.
- Elliott, T. L., 1982, Saskatchewan Geological Society Special Publication 6, p. 131—151.
- James, N. P., and Choquette, P. W., 1984, Geoscience Canada, V. 11, p. 161—194.
- Mazzullo, S. J., 1981, AAPG Bull., V. 65, p. 850—865.

Moore, C. H., and Druckman, Y., 1981, AAPG Bull., V. 65, p. 597—628.

Schmidt, V., and McDonald, D. A., 1979, SEPM Special Publication 26, p. 175—207.

Deep dissolution of Cambrian-Odovician carbonates in the Northern Tarin Basin

Ye Desheng

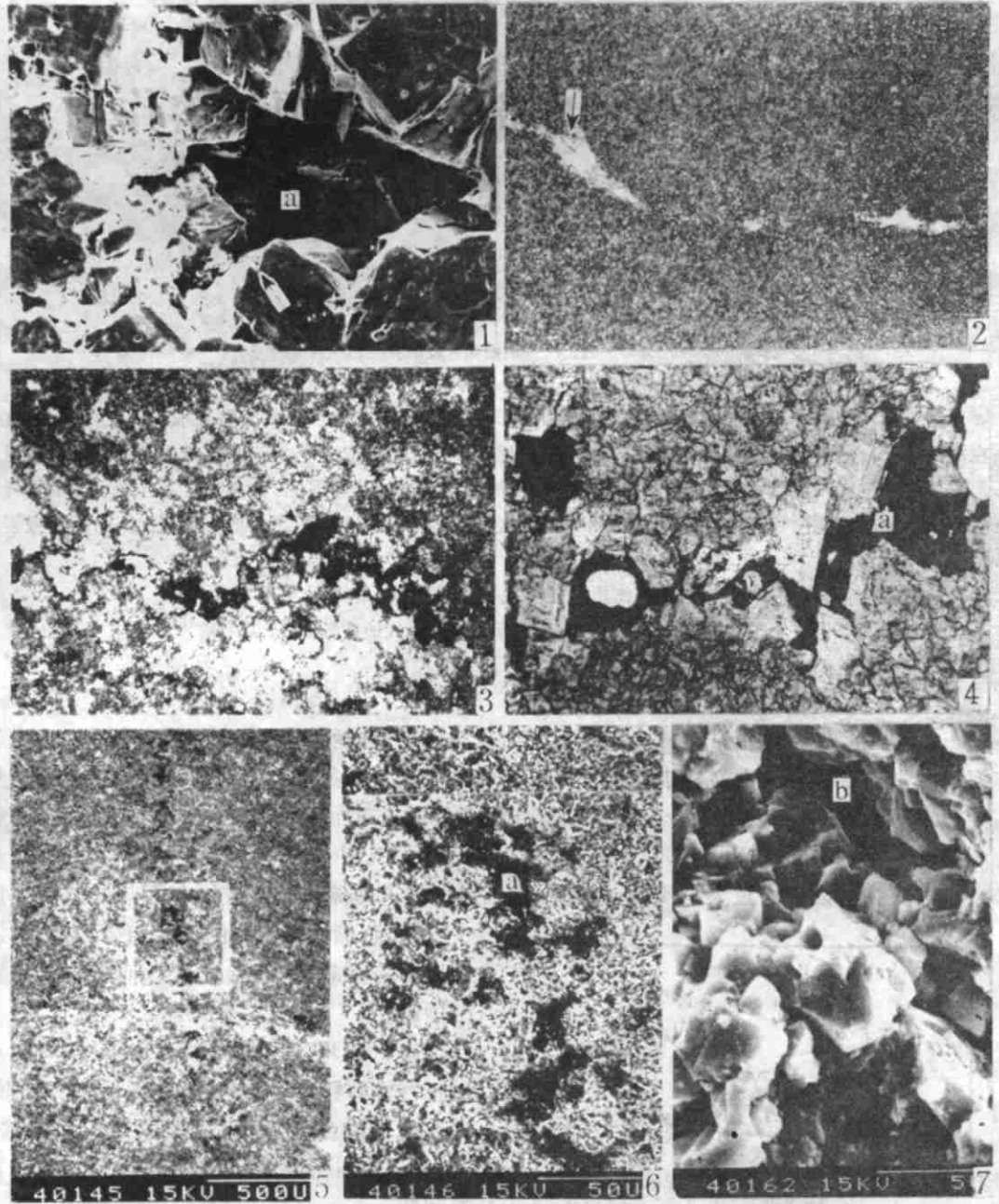
(05 Project Administration, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Cambrian-Odovician carbonate rocks are one of the main reservoirs in the Northern Tarim Basin. Deep dissolution has important role in the formation of effective porosity of the reservoir rocks. The main characteristics of deep dissolution in the region are non-fabric selective dissolution, and dissolution developed mainly along stylolites and fractures. The main evidence for deep dissolution are:

1. The dissolution of late stage diagenetic fabrics or the dissolution developed along late stage diagenetic fabrics (such as stylolites and fractures);
2. The dissolution pores filled with hydrocarbon or other late stage diagenetic minerals;
3. Not only the covered region, but also the Kepin outcrop region (continuous depression in early stage — from cambrian to early Permian, uplift in late stage — from late Permian to present) have above characteristics.

Based on preliminary analysis, this paper considers that the deep dissolution is mainly related to CO₂-bearing acid water produced by organic matter thermal evolution of source rock.



1. 晶间溶蚀扩大孔(a), 孔隙周围的白云岩有溶蚀现象(箭头处), 细晶白云岩, 电镜扫描, $\times 300$, 沙6井, 奥陶系。 2. 粉晶白云岩中沿裂隙发育溶蚀孔隙, 局部可见铁白云石充填(箭头处), 单偏光, $\times 25$, 沙7井, 寒武系。 3. 沿缝合线发育的串珠状溶蚀孔隙, 其中充填重质原油(黑色者, 箭头处), 微-粉晶白云岩, 单偏光, $\times 40$, 柯坪, 奥陶系。 4. 溶蚀作用沿追踪断裂进行, 溶孔中充填沥青(黑色者, a), 细-中晶白云岩, 单偏光, $\times 25$, 柯坪, 寒武系。 5. 发育于泥微晶灰岩中的缝合线, 沙14井, 电镜扫描。 6. 上图放大, 可清晰见到缝合线是由一系列微孔隙构成(灰黑色者, a), 同上。 7. 缝合线附近的微孔隙, 其类型有晶间溶孔(a)、溶沟(b)及晶内孔隙等, 同上。