

塔里木盆地西南缘克孜苏胡木组 沉积环境及成岩作用

朱忠德

(江汉石油学院, 湖北江陵 434102)

上震旦统克孜苏胡木组主要为近滨、前滨、藻坪和潮坪四个亚环境。其中二、四段的残余凝块石粉(泥)晶白云岩、粉泥晶白云岩等分别经历了白云石化作用、溶解作用、胶结作用和新生变形作用。溶解作用、白云石化作用为凝块石白云岩产生了有利的储集孔隙。物性资料显示,残余凝块石粉(泥)晶白云岩具有良好的储集性能。

关键词 克孜苏胡木组 沉积环境 成岩作用 碳酸盐岩 塔里木盆地

作者简介 朱忠德 男 41岁 讲师 沉积学及矿床学

塔里木盆地西南缘上震旦统从老到新由雨塘组、库尔卡克组和克孜苏胡木组组成。研究区的克孜苏胡木组以叶城县克孜苏胡木沟出露最好,是该组的代表性剖面。从下向上分为四段,累计厚355.1 m。其中,砂岩厚181.1 m,碳酸盐岩厚174 m。下与库尔卡克组整合接触,上与上泥盆统奇自拉夫组紫红色岩屑石英砂岩呈角度不整合接触。剖面的一、三段由石英砂岩类组成,二、四段为碳酸盐(岩)类沉积,属石英砂岩与碳酸盐岩的混合沉积。

一、沉积环境

克孜苏胡木组主要为一套海岸环境沉积,其层序如图1所示,构成两个类似的沉积旋回。

1. 近滨亚环境

近滨上部:浅灰、灰白色夹玫瑰色厚层状细粒、中粒沉积石英岩夹褐灰、玫瑰色厚层钙质细粒石英砂岩。石英碎屑占95%以上,硅质胶结物占极大数量,并全部为次生加大物,杂基含量甚微,碎屑多次圆、圆状,分选好,跳跃总体发育,并出现两个次总体,粒级分布大于粗粉砂级以上范围,其截断点位于 3.5ϕ 左右,悬浮总体不发育(图2),反映了波浪、沿岸流及向海的回流、裂流的强烈作用。与此相应,岩石中大型槽状、板状交错层理在各岩层中均极为发育(图版1-3),并伴之以平行层理。大型交错层理的细层层纹因铁质氧化而显棕紫色,醒目的表明了其倾向的挡向性。

近滨下部:薄层状钙质、铁白云石质石英(粗)粉砂岩夹薄层状泥页岩和少量细粒石英砂岩。粒度概率图呈二段式,由悬浮总体和跳跃总体构成,跳跃总体虽然发育,但粒径仅限

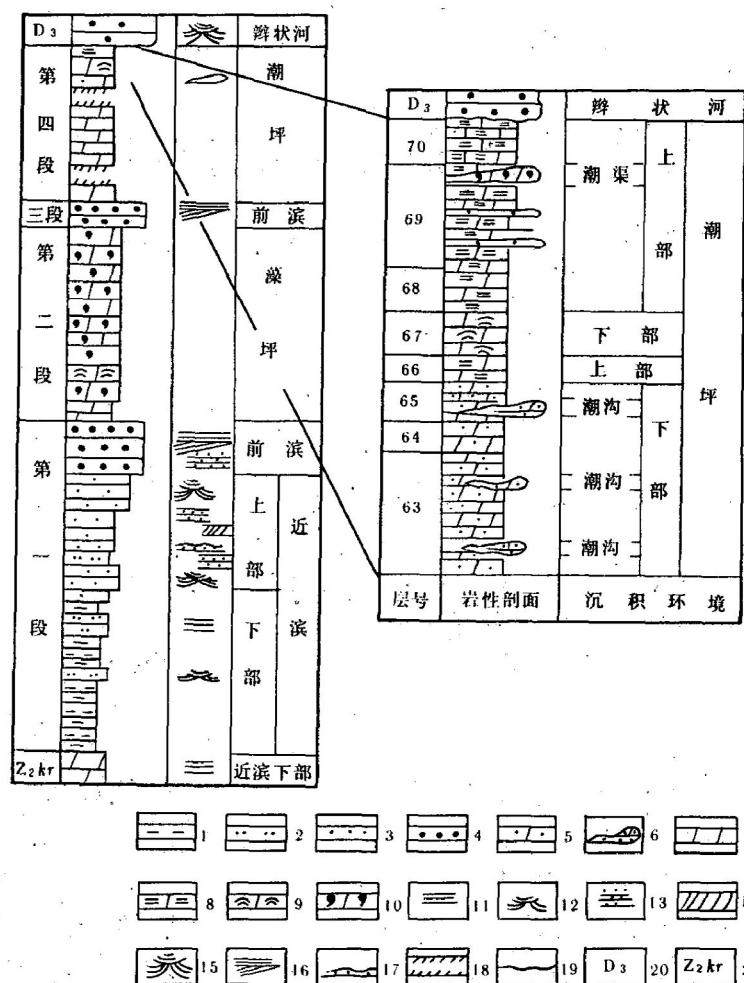


图1 克孜苏胡木组沉积环境示意图

1—泥页岩, 2—粉砂岩, 3—细砂岩, 4—沉积石英岩, 5—砂质白云岩, 6—砂质透镜体, 7—晶粒白云岩, 8—纹层白云岩, 9—叠层白云岩, 10—残余凝块石(粉)泥晶白云岩, 11—水平层理, 12—中型交错层理, 13—平行层理, 14—板状交错层理, 15—大型交错层理, 16—冲洗层理, 17—波痕, 18—覆盖, 19—不整合面, 20—上泥盆统, 21—库尔卡克组

于粗粉砂级范围(图3), 水平层理十分发育, 在所夹的细砂岩中可见中型交错层理, 层系小于10 cm居多(图版I-2)。交错层细层多向倾斜。对称, 非对称波痕格外发育(图版I-1), 其波脊走向即使在相邻仅数厘米的层面上也完全不同, 可呈斜交状, 亦可相互垂直。偶见被改造后的波痕, 其波脊走向大致仍能识别。

2. 前滨亚环境

由单一的沉积石英岩组成, 厚层、块状。以中粒为主, 少见粗、细粒。石英碎屑主要为圆、次圆状, 含量高达97%以上, 普遍具石英次生加大边, 个别层位见零星白云石胶结物和墨绿色自生海绿石(表1)。薄片鉴定和分析结果均表明, 超稳定的锆石类重矿物消失殆尽。大型槽状交错层理、平行层理极为发育, 亦见冲洗层理(图版I-4)和低角度交错层理。后者以其前积层多向倾斜和低角度斜交相邻层系或者层面区别于平行层理。

3. 藻坪亚环境

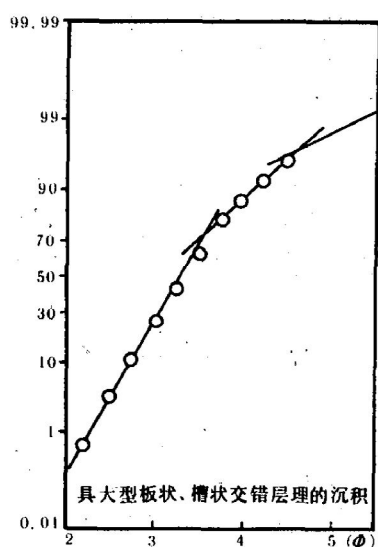


图2 近滨上部粒度分布概率曲线图
(克孜苏胡木组一段上部)

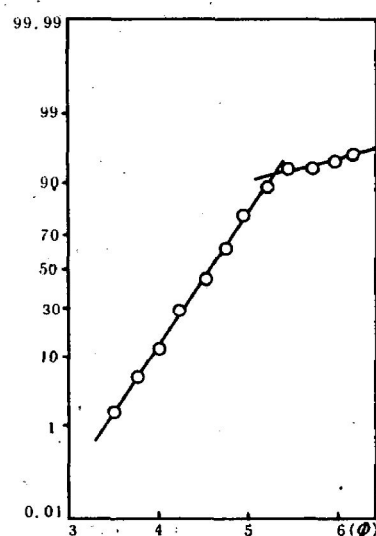


图3 近滨下部粒度分布概率图
(克孜苏胡木组一段下部)

表1 海绿石电子探针化学分析结果

序 号	组 分	含 量	序 号	组 分	含 量
1	Al ₂ O ₃	13.223	7	TiO ₂	0.063
2	Na ₂ O	0.137	8	Cr ₂ O ₃	1.097
3	MgO	3.25	9	FeO ⁺⁺	15.690
4	K ₂ O	8.685	10	H ₂ O ⁻	2.80
5	CaO	0.05	11	H ₂ O ⁺	7.430
6	SiO ₂	47.635	12	CO ₂	0.75

* 二个样品结果的平均值 ** FeO 代表全铁

由中层、厚层状残余凝块石粉晶、泥晶白云岩，下部夹粉晶白云岩和叠层石白云岩组成。仅从切面看，残余凝块石可呈似椭圆形、长条形、豆荚形、弯钩状、斑块状等多种形态。在岩石中的含量大于55%—80%以上，它不具纹层，无核心，大小相差悬殊，小者不足0.05 mm，大者可达10 mm以上。观察多个切面恢复残余凝块石的空间分布状态，它们相互间基本相连。虽然因胶结作用和新生变形作用，残余凝块石已具有粉、细晶结构，但部分残余凝块石仍然残存有藻丝痕迹。残余凝块石之间局部可见泥晶白云石斑块，它们无一定形态，色深暗，泥晶结构不均一，与凝块石之间可以相连，本身显藻尘结构。残余凝块石之间常见具世代结构的亮晶白云石胶结物（图版Ⅰ-2, 3, 4, 6）。残余凝块石内的晶粒白云石与其外的白云石具相似的世代结构（图版Ⅰ-3），相同的结晶程度、透明度以及都具有贴面结合等说明：凝块石原组份发生溶解作用之后，溶液才进入藻格架孔、溶蚀孔依序结晶析出。因此，亮晶胶结物的存在及多少，不能反映残余凝块石白云岩形成环境的水动力强度。

残余凝块石粉晶、泥晶白云岩中夹有叠层石泥晶白云岩，叠层石纹层波状起伏，宽窄不

一。

残余凝块石粉、泥晶白云岩中夹有凝块石白云岩。凝块石间具亮晶胶结物(图版Ⅰ-7),见层间冲刷现象,冲刷面上发育斜交层面的交错层理(图版Ⅰ-5),应为藻坪亚环境中的潮汐水道的产物。

4. 潮坪亚环境

浅灰色细、粉晶白云岩,纹层白云岩显示了潮间坪上部的特征:中、薄层状岩层中常具水平纹理,纹层宽0.04—0.1 mm左右,一般较密集,为粉、泥晶粒交替而成,或颜色深浅不同所致。一般暗层纹较窄。层纹大体相互平行,略有波状(图版Ⅰ-1)。本组合岩性中可夹有亮晶凝块石白云岩,其单层厚度不大,呈长楔状体延伸。与所夹沉积石英岩条带一起,是潮渠的产物(图1)。

浅灰色叠层石白云岩,灰褐色中、厚层状砂质白云岩,含砂白云岩构成了潮间坪下部的主要沉积。沉、粉晶结构是叠层石白云岩的主要结构,该类岩石中叠层石层纹上凸,基面半径大体一致,垂向上构成穹状叠层石。砂质粉晶白云岩中陆源砂均为石英碎屑,含量<15%,使岩石变成含砂粉晶白云岩。石英碎屑分选差,粒径从0.05—2 mm左右均有。个别层位岩石中出现零星凝块石和残余鲕粒。砂质白云岩中夹有白云石胶结的中粒石英砂岩,它们呈条带状,也见夹砂屑、砾屑白云岩透镜体。这些透镜体延伸局限,随机分布,属潮沟微环境的产物。

二、主要成岩作用

本文侧重残余凝块石粉、泥晶白云岩为研究对象,其主要成岩作用如下:

1. 白云石化作用

主要是潮坪亚环境和藻坪亚环境的准同生白云石化作用和成岩作用阶段的白云石化作用。

准同生白云石化发生在潮间上部泥晶白云岩中,岩石具泥晶结构,它形、半自形,结构均一,岩石具水平纹理(图版Ⅰ-1)和藻活动痕迹,无化石,成层性良好,与上、下岩层面平整突变。部分残余凝块石粉、泥晶白云岩中与藻类有关的填隙物亦属准同生阶段的产物。

成岩阶段的白云石化表现最为普遍,无论是残余凝块石粒间孔中的白云石,或是凝块石溶孔内的白云石均为成岩阶段白云石化所致。它们的共同特点是具粗粉晶、细晶结构,甚至达到中晶,多呈半自形状,也可保持原方解石晶形。相应岩层中没有局限环境的标志,也缺乏潮上环境的特征。溶孔内壁,如凝块石内壁第一世代粒状白云石胶结物仍具有方解石晶形(图版Ⅰ-2, 3)。这表明,其白云石化发生在早期成岩阶段第一世代栉壳柱状方解石胶结物形成之后。

2. 溶解作用

在残余凝块石中,溶解作用突出表现在溶蚀孔的大量存在。即组成凝块石的藻泥晶物质现为亮晶白云石占据,其颗粒外缘残余泥晶化边作为这些亮晶白云石的载体,与粒内亮晶白云石共同组成了原凝块石的铸模孔(图版Ⅰ-2, 3)。这类残余凝块石具如下特征:(1)具明显的残余泥晶化边;(2)残余泥晶化边与其内缘小晶粒带界限渐变,宽窄不一,显示了溶蚀痕迹;(3),残余泥晶化边内缘小晶粒带多在0.01 mm左右,呈它形,向中心增大达0.1 mm;

(4) 晶粒半自形、明亮、干净；(5) 与粒间胶结物比较，都具二世胶结顺序，并且相应世代的胶结物在晶形、明暗程度、晶体大小、晶间接触类型及晶体生长方式也具相似特征（图版Ⅰ-2, 3）。表明它们是同一成岩环境，同一成岩阶段相同成分的孔隙水，分别在粒间孔和粒内溶孔中析出的结果。换言之，组成凝块石的物质先被溶失，成岩阶段的孔隙水得以进入，再以与粒间亮晶胶结物相同的时间、方式形成铸模孔。

成岩晚期至后生期，地下水沿节理、裂缝、缝合线产生了大量溶孔、溶缝，这在凝块石白云岩中比较常见。

3. 胶结作用

凝块石白云岩中胶结作用十分发育，基本类型有两种。第一种类型为栉壳状-粒状白云石组合（图版Ⅰ-3, 6）。第一世代栉壳状晶体呈柱状，长：宽=3：1—5：1，围绕残余凝块石边垂直生长可成等厚环边。它可能是在富镁的水溶液条件下生成。第二世代胶结物覆于栉壳柱状胶结物之上，为粒状，呈细晶、它形，向孔隙中心，晶粒变大，干净、明亮，呈镶嵌结构。第二世代粒状晶体可能形成于贫镁的大气淡水潜流带。个别见第三世代方解石胶结物，它们分布在第二世代胶结物占据后剩余的孔隙中，被茜素红-S 染成红色，呈自形、透明的中-粗晶，亦应为大气淡水环境的产物，形成于晚期成岩作用末期。第二种胶结类型为粉晶粒状-细晶粒状组合（图版Ⅰ-4）。第一世代粉晶粒状晶体大小变化于 0.04—0.06 mm 左右，围绕粒间孔颗粒边缘、粒内孔内壁生长，它形镶嵌状，宽度一般较窄。上覆第二世代细晶粒状透明自形和半自形晶体，晶粒大小变化于 0.8—0.12 mm 左右。向孔隙中心或溶孔中心，晶体明显变大且明亮。第一世代粉晶粒状胶结物出现于铸模孔形成之后胶结作用的初期，此时，凝块石粒屑的泥晶化边存在较强的抗溶蚀作用，溶解程度较弱，孔隙水溶液中 α_{Ca} 、 α_{CO_2} 有限，尤其前者，因此，第一世代胶结物晶体小，晶形发育差。尔后，成岩环境发生变化，进入大气潜流带，溶解作用增强，孔隙溶液中 α_{Ca} 、 α_{CO_2} 迅速增高，加之作用时间长，空间充分，因而晶体大，晶体自形程度增高。

4. 新生变形作用

各世代胶结物在白云石化之前已经历了该作用，主要包括文石、高镁方解石转变成柱状、粒状低镁方解石。镜下常见的亮晶白云石胶结物呈方解石晶形，即是这一同质异象转变作用的产物。准同生白云石化形成的泥晶白云石转变成粉晶白云石，凝块石粒内溶孔中的细晶白云石重结晶转变为自形的中晶以上白云石，破坏了原结构（图版Ⅰ-6）。

三、孔隙演化及储集性能

研究区上震旦统由球形藻类直接转化的沥青体具黑色沥青光泽，时见弱十字消光，镜质体反射率 $R^o=2\%$ ，对比原苏联研究最详的煤化作用结果^[2]，它经历的最高成岩温度应为 300—350℃，即有机质过成熟阶段。该结论与塔里木盆地西北缘上石炭统中的分析结果^[3]，与研究区整体含油性综合评价结论一致。

克孜苏胡木组的粉晶白云岩、细晶白云岩，以其晶间孔和晶间微孔发育为特征。而该组最主要的碳酸盐岩——凝块石白云岩的成岩阶段，可划分为准同生阶段、早期成岩阶段、晚期成岩阶段及后生阶段。各阶段相应发生的成岩变化如图 4 所示。成岩过程中发育了大量原生、

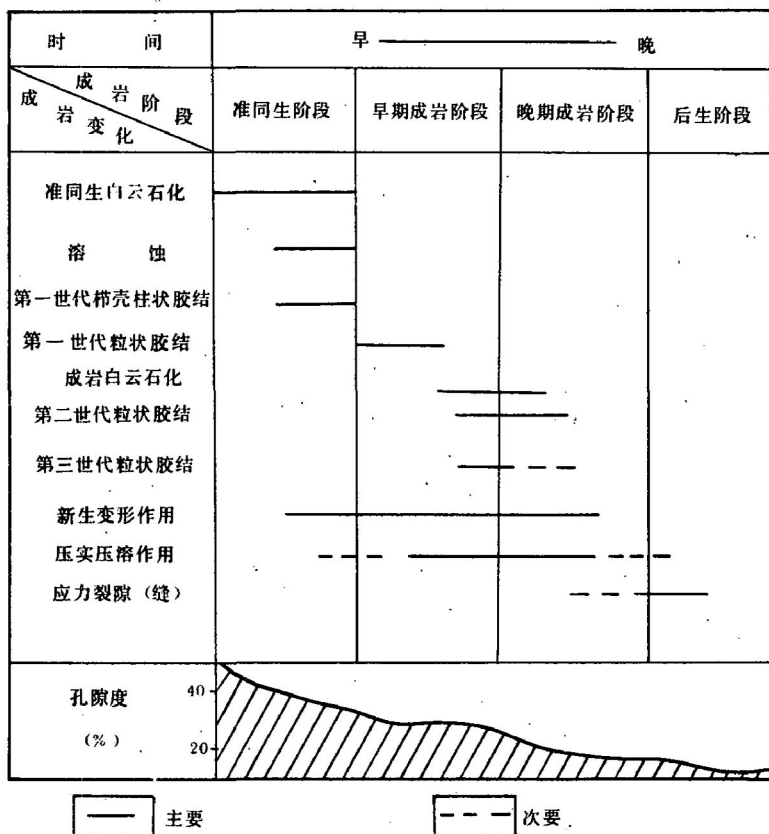


图4 克孜苏胡木组凝块石白云岩成岩变化示意图

次生孔隙,它们的形成、保存直至破坏决定了岩石的储集性能。

沉积期,形成于藻坪亚环境中的凝块石因藻的粘结作用产生有藻格架孔,准同生白云石化产生了大量晶间微孔。局部在富镁水溶液作用下,形成第一代栉壳状方解石胶结物。进入早期成岩阶段初期,岩石遭到淋滤、溶蚀,出现了粒内溶孔及粒间溶孔。另一方面,溶蚀、淋滤作用又为孔隙水提供了充足的 CaCO_3 ,在孔隙水达到饱和或过饱和时,则形成了第一代亮晶粒状胶结物。但其发育局限,为晚期成岩阶段大量胶结物的出现,留下了空间。晚期成岩阶段最显著的是胶结作用,第二世代的胶结物在晶间孔、粒间孔、粒内溶孔等孔隙中开始晶出,大部分孔隙中沉淀了干净、明亮,自形程度高的亮晶胶结物。局部出现第三世代

亮晶方解石填充剩余孔隙,造成了岩石孔隙度骤降。然而本阶段白云石化作用和新生变形作用形成了相当可观的晶间孔,减少了岩石孔隙度的下降(图版Ⅰ-5)。随岩石埋深加大,静压力增加,已固结的岩石出现了大量微裂缝及缝合线,薄片中出现多组微裂隙缝的现象十分普遍,矿化度高的溶液沿这些裂隙经重结晶作用产生了粗晶矿物,也产生了晶间缝(孔)。

经测定,凝块石白云岩的孔隙度平均值为3.73%,渗透率平均为 $0.54 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储层毛管压力曲线显示分选中等,歪度较粗, S_{min} 在35%左右, $>0.1 \mu\text{m}$ 孔喉百分数在28%—60%之间,按江汉石油学院地质系新疆队采用的储层评价标准,凝块石白云岩属Ⅰ类好储层。

致谢:江汉石油学院地质系新疆队区域组确定了该剖面。罗顺社、刘绍平、苏秀方、赵后印、徐朝铭等老师在恶劣条件下,与作者一起完成了剖面的野外研究,贺自爱教授、高振中副教授提供了许多宝贵意见,借此一并致谢!

参 考 文 献

- 1 朱忠德. 塔里木盆地西南缘上震旦统上部砂岩的成岩作用研究. 江汉石油学院学报, 1991, 13 (3), 8—14.
- 2 曾允孚, 夏文杰. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1989. 47—50.
- 3 史基安, 马宝林. 塔里木盆地西北缘石炭系砂岩成岩作用研究. 沉积学报, 1989, 7 (3), 54—61.

SEDIMENTARY ENVIRONMENT AND DIAGENESIS OF KEZISUHUMU FORMATION IN SOUTHWEST MARGIN OF TARIM BASIN

Zhu Zhongde

(Jiangnan College of Petroleum, Jiangling, Hubei)

Abstract

The Kezisuhumu Formation in the Upper Sinian is composed of carbonate rock and terrigenous detrital rock deposited in coast environment, which could be subdivided into shoreface, foreshore, algal flat and tidal flat subenvironment. Thrombolite-dolomitite in the algal flat and micro-dolomite in the tidal flat underwent dolomitization, dissolution, cementation and neomorphism. The porosity in the thrombolite-dolomitite was speedily declined by the cementation, but the reservoir spaces were produced by the dissolution, dolomitization and neomorphism. The analysis results of physical property for the thrombolite - dolomitite shows that the rock has good reservoir property.