

文章编号: 1000-0550 (2005) 03-0412-08

库车凹陷克拉 2 气田深层优质储层成因 及成岩作用模式

刘建清^{1,2} 赖兴运¹ 于炳松¹ 陈晓林¹ 隋成¹

1(中国地质大学 地球科学与资源学院 北京 100083)

2(成都地质矿产研究所沉积与能源地质研究室 成都 610082)

摘要 基于成岩作用的影响因素及库车盆地的实际,深入研究了克拉 2 气田次生孔隙发育段储层岩石成分特征及早期古气候条件下胶结物对于成岩作用及次生孔隙的影响,分析了地层压力系统中超高压带、构造裂缝、自生矿物分带的成因、作用、特点及其与储层物性、成岩环境的相关关系,评价了储层中长石、方解石的溶解,白云石对方解石的交代,压实、胶结等主要成岩作用类型对次生孔隙的具体影响和贡献,认为该区早期碱性成岩环境下方解石胶结物的溶解是形成该区次生孔隙发育带的主导因素,并根据该区自生矿物流体包裹体及埋藏史特征,建立了该区成岩作用及孔隙演化的模式。

关键词 次生孔隙 方解石溶解 白垩系 库车盆地

第一作者简介 刘建清 男 1969 年出生 硕士 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

随着油气勘探的深入发展,深埋条件下储层储集物性严重偏离正常压实曲线的现象受到了人们的日益关注,新疆库车盆地克拉 2 气田就是这一情况的典型实例。该气田是中国最大的陆相气田之一,位于勘探前景良好的库车前陆盆地,是中国重要的能源基地。因此,研究其深层优质储层的成因及保持机理,不仅是学科本身发展的要求,也是油气勘探中亟待解决的实际问题。然而,成岩作用是极其复杂的,它受到多种因素的影响和制约,如古气候条件、沉积相带及沉积体系、储层岩石骨架成分及沉积物颗粒粒度特征、孔隙流体的成分及成岩环境的温度、压力条件等等,对成岩作用的研究也必将是一个全面和综合的研究过程。本文基于该区成岩作用的物质基础、成岩环境、成岩现象等的认识,旨在探讨该区深埋条件下次生孔隙发育带形成的根本因素。

1 成岩的物质基础:岩石颗粒骨架成分、胶结物

库车坳陷油气储层主要为下白垩系巴西盖组、巴什基奇克组砂岩、细砂岩,是一套典型的陆相磨拉石建造。岩石骨架成分与大地构造的相关关系研究表明,

其沉积物物源来自北部天山造山带,是天山造山带的隆升与前陆地区快速沉降特定的古构造—古地理条件下形成的一套扇三角洲—辫状三角洲—湖泊沉积体系^[1]。该区储层沉积物短距离搬运及古地形较陡的特定环境,决定了沉积物较低的成分成熟度和结构成熟度的特点。大量薄片研究表明,该区砂岩主要为岩屑砂岩和长石岩屑砂岩(图 1),石英含量一般 30%~50%,岩屑含量可高达 50%以上,一般 30%,岩屑成分复杂,有沉积岩岩屑、岩浆岩岩屑、变质岩岩屑等,其中不稳定岩屑占有很高的比例,可高达 30%~40%。

该区砂岩储层总体上呈十分醒目的红色,表明了其形成时期处于氧化的古气候环境特点。古生物群落与古生态特征、微量元素及碳氧同位素的研究也表明,白垩系形成时处于强烈蒸发的陆相高盐度的咸水—半咸水环境。这种干旱氧化的古气候特点,将导致同生—早成岩期大量碳酸盐的沉淀而成为砂岩早期胶结物。

砂岩储层中的骨架长石、不稳定岩屑(岩浆岩岩屑、火山岩岩屑、变质岩岩屑)及碳酸盐胶结物,在干酪根成熟降解产生大量有机酸的情况下,将遭受溶蚀而形成次生孔隙。克拉 2 气田储层岩石成分的这种

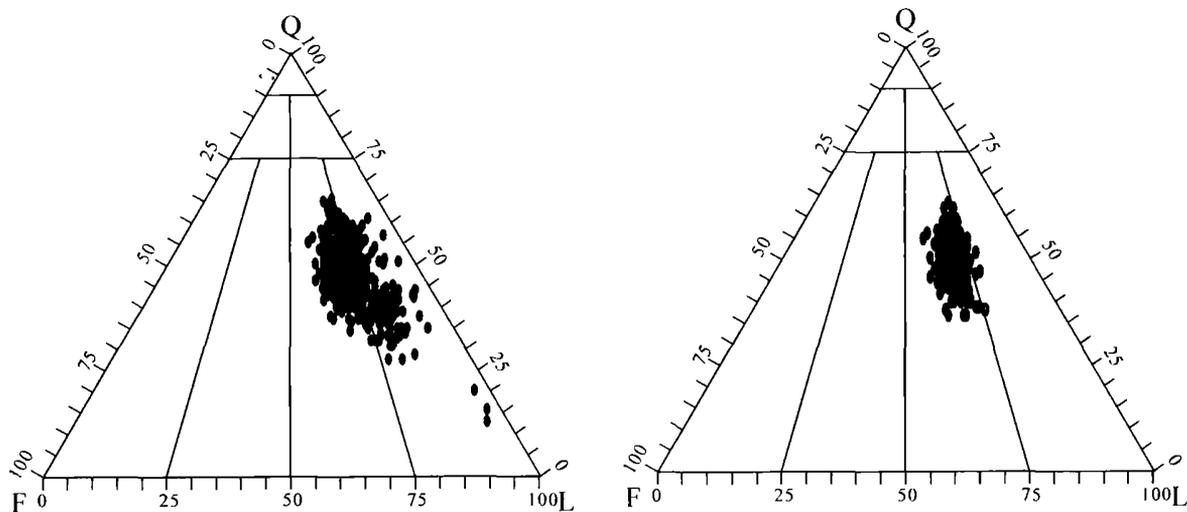


图 1 克拉 2 气田白垩系储层岩石成分散点图

Fig 1 The diagram of Cretaceous reservoir mineral and rock fragments in Kela 2 gas field

注: (a)克拉 201 井巴什基奇克组 (K₁bs); (b)克拉 201 井巴西盖组 (K₁b)。图中为 Q 石英总量, F 为长石总量, 包括钾长石及斜长石, L 为岩屑总量。

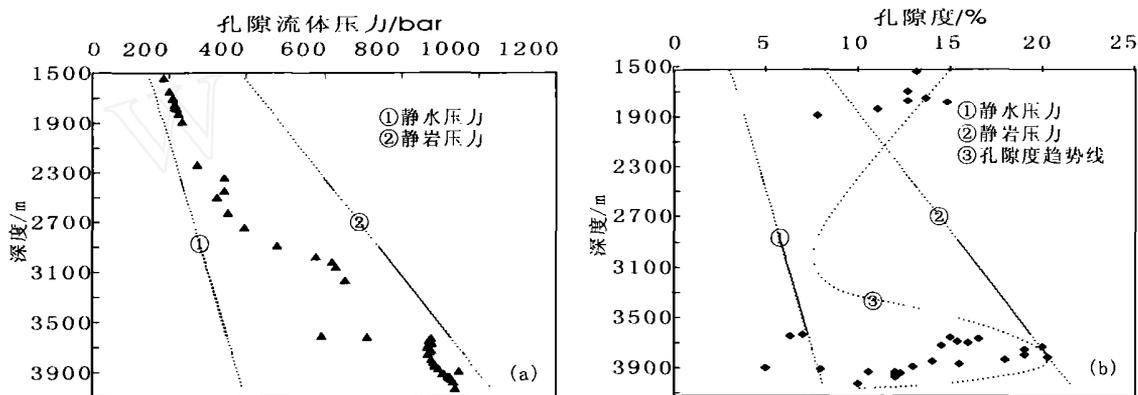


图 2 克拉 2 气田地层压力系统中超高压带与次生孔隙发育带的相关关系

Fig 2 The overpressure in the strata system and its relationship with the secondary porosity

特征,为其深部条件下的溶蚀改造提供了良好的物质基础。

2 储层物性特征及成岩地质背景

库车坳陷是在古生代被动大陆边缘基础上发育起来的典型叠合前陆盆地,自第三纪—白垩纪由北而南大规模的逆冲推覆,造成了地层在空间上的重复叠置和地层压力系统中的超高压带。克拉 2 气田储层中异常高压的产生除了与其大地构造背景相关之外,与油气藏中生油层、储集层、盖层的空间配置及断裂系统的发育也有着密切的关系。该气藏盖层为数千米厚的新生界膏泥岩层,由于岩石力学性质的特点,在强大构造应力作用下,仅能产生塑性变形而难以破

裂,这便对下部储集层形成强大有力的封盖,其自身的重力及构造应力的作用能很好地作用于下部储层,而其中孔隙流体不致逸失,这必将产生高压的孔隙流体。另一方面,该区储层下部烃源岩与储层之间有多处断裂系统相联,这样深部泥岩的挤出水,烃源岩成熟排烃,流体由深部向储集层的充注等作用,也将产生强大的动力,造成该区储层的超高压现象。

克拉 2 气田处于一个应力集中地段,储层中甚至有构造裂隙的存在(图 4),它为孔隙流体在储层中的运移提供了必要的输导空间,使流体能渗入到更广泛的空间参与水—岩反应,并形成次生孔隙的发育带。根据 Hanner 提出的压力计算公式:

$$P_f \text{ (bar)} = 0.003588 \times \text{泥浆} \times \text{深度 (m)} \text{ (据 Han-}$$

ner, 1998^[21])

应用钻井泥浆密度可对该区地层压力系统进行计算,式中 $\rho_{\text{泥浆}}$ 为钻井泥浆密度。当计算压力与静水压力相等时,为正常压力带;当计算压力 > 静水压力时为高压带;当计算压力远远大于静水压力,并接近静岩压力时,为超高压带。根据计算结果,进行了地层压力系统与储层物性相关关系分析(图 2)。从图中可以看出,克拉 2 气田储层物性存在明显的深部异常现象,在 3 800 m 深度左右孔隙度呈一明显的峰值,最高可达 25%,并与地层压力系统中超高压带明显一致。克拉 2 气田储层物性深部异常并与地层压力系统中超高压带明显吻合现象,是其一个显著的特征。储层中孔隙流体压力系数为 1.95 ~ 2.22,是地层静压力的 2 倍。

克拉 2 气田地温梯度呈正常值,现今地温梯度为

2.1 /100 m。据张霖等根据流体包裹体研究结果,克拉苏构造带历史古地温梯度为 2.84 ~ 3.3 /100 m。因此,从成岩期至今,克拉 2 气田无明显地温异常。异常高压,正常地温是该区成岩地质背景的总体特征。

3 储层自生矿物分带与物性变化的关系

储层中自生矿物分带现象反映了成岩的物理化学变量,如氧逸度、温度、压力及介质的酸性条件。该区储层物性不仅与地层压力系统中的超高压带吻合,其自生矿物还表现出明显的分带性并与储层物性呈明显的相关关系。该区深层储集岩从上至下依次为:硫酸盐带、方解石带、白云石带、方解石带(表 1),其中,白云石带。

硫酸盐带以下第三系底部的膏盐岩层为代表,深

表 1 克拉 2 气田储层自生矿物分带

Table 1 The zoned characteristics of authigenic minerals in Keh 2 gas field

矿物带	深度 /m	成因意义	标型矿物及共生矿物
硫酸盐	<3 640	矿物氧化带, S ⁺⁶	石膏、硬石膏、方解石、白云石
方解石	<3 670 和 >3 970	方解石与白云石平衡共生带,弱氧化—弱还原	白云石、方解石、黄铁矿、少量粘土矿物
白云石	3 670 ~ 3 970	方解石溶解,白云石化带,强矿物还原带, S ²⁻ , 成岩化学作用强发生带	白云石、铁白云石、大量自生粘土矿物(高岭石、I/S 混层矿物、伊利石、绿泥石、蒙脱石混层矿物、绿泥石)

度 <3 640 m,储层砂岩中出现孔隙式胶结的石膏晶体,同时有方解石、白云石等碳酸盐自生矿物,代表了强氧化介质成岩环境,因为其中的硫以 +6 价的形式出现。

白云石带出现于白垩系顶部巴什基其克组的第一段,在克拉苏构造深度在 3 670 ~ 3 970 m 之间,标志性矿物为白云石、铁白云石,无方解石出现,但有大量的粘土矿物(高岭石、I/S 混层、伊利石、伊利石、蒙脱石混层矿物、绿泥石)。该带中出现典型的还原性矿物黄铁矿,硫以 -2 价的形式出现,反映了强还原性介质条件,与储层物性异常明显一致(图 3)。方解石带分别出现于白云石带的顶部(<3 670 m)和底部(>3 970 m),与其伴生的矿物有白云石及少量的粘土矿物,少量黄铁矿的出现表明相对还原性的成岩环境。

从硫酸盐矿物氧化带至碳酸盐矿物还原带,孔

隙介质条件氧化—还原性质的转变表明本区下第三系底部盖层与下部白垩系碳酸盐胶结的砂岩储集层过度带之间存在一个强烈的氧化—还原反应带:



即膏盐岩层与下部含有机酸根(如 CH_3COO^-)流体发生反应,使硫从 +6 价转变为 -2 价并与水中的 Fe^{2+} 结合形成黄铁矿。同时释放出 H^+ 循环进入下部的砂岩层中,促使方解石胶结物及长石、岩屑等骨架颗粒溶解,有利于次生孔隙的发育。

该区储集岩的孔隙胶结物主要为方解石、白云石和铁白云石。但它们在纵向上程不均一分布。储层中孔隙度与渗透率的大小明显与碳酸盐的总量呈现负相关的趋势(图 3),即孔渗值最高的部位碳酸盐总量最低;孔渗值降低的部位碳酸盐总量反而很高。显然,储层中孔隙度和渗透率的分布与其中的碳酸盐矿物的地

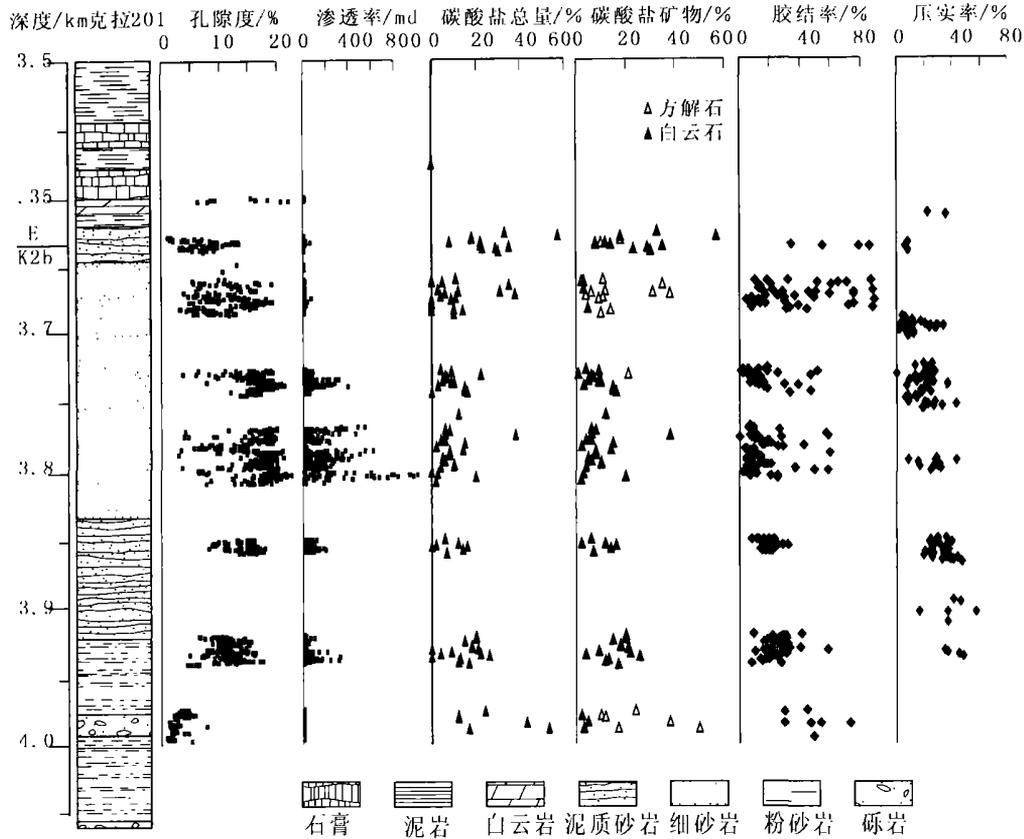


图 3 克拉 2 气田次生孔隙带与自生矿物分带及压实率、胶结率的关系

Fig 3 The authigenic mineral assemblage, compaction ratio, cementation ratio and their relationship with the secondary porosity

球化学行为特征密切相关。从方解石和白云石的纵向分布来看,白云石含量从浅至深无明显的改变,但方解石含量呈现出:高—低—消失—低—高的趋势。这种现象反应了 3 800 m 左右处优质储层的出现与岩石中方解石的消失有直接的关系。储集岩中方解石的消失在于成岩过程中早期方解石胶结物被深部流体溶解作用的结果。如图 4 所示,孔隙中的方解石胶结物呈溶解残留体或被铁白云石取代,而白云石不仅不存在溶解的现象,而且还有铁白云石次生加大的现象。碳酸盐是该区储层的主要胶结物,储层中方解石的溶蚀导致了孔、渗特性及胶结率呈联带规律的变化:方解石含量低,孔、渗值高,而胶结率低。

4 孔隙结构及成岩作用主要类型分析

该区铸体薄片的研究表明,优质储层段孔隙结构形态主要呈三角形、菱形(图 4),而未见到大量的超大孔、伸长孔这些特征明显的溶蚀孔。为此,前人对该区深层优质储层孔隙的成因类型曾有原生孔为主

的认识。基于此,有必要深入研究该区储层主要成岩作用类型,并分析次生孔隙大量发育而孔隙结构并未大规模呈现异常现象的原因。

就该区砂岩的压实作用而言,储层砂岩碎屑颗粒之间接触关系表现为以点—线接触为主,少量呈线—线接触,反应了其压实作用并不强烈。为定量研究岩石压实程度,采用以下公式计算了储层砂岩的压实率:

视压实率 = (原始孔隙度 - 粒间体积) / 原始孔隙度 (据 Beard & Weyl, 1987),

$$\text{原始孔隙度} = (20.91 + 22.9) / S_0$$

式中 S_0 为 Trask 分选系数。当视压实率 < 30%, 压实较弱;当视压实率 30% ~ 70% 时,压实中等;当视压实率 > 70% 时,压实较强。计算表明,克拉 2 气田视压实率为 11% ~ 42% 之间,总体处于中等—较弱压实程度,并有随深度略有增加的趋势(图 3)。该区砂岩压实作用不强,应当和早期碱性成岩环境下碳酸盐胶结物的抗压实作用以及前陆盆地快速沉降,封存的同生水来不及逸失,高压的地质背景下,孔隙流

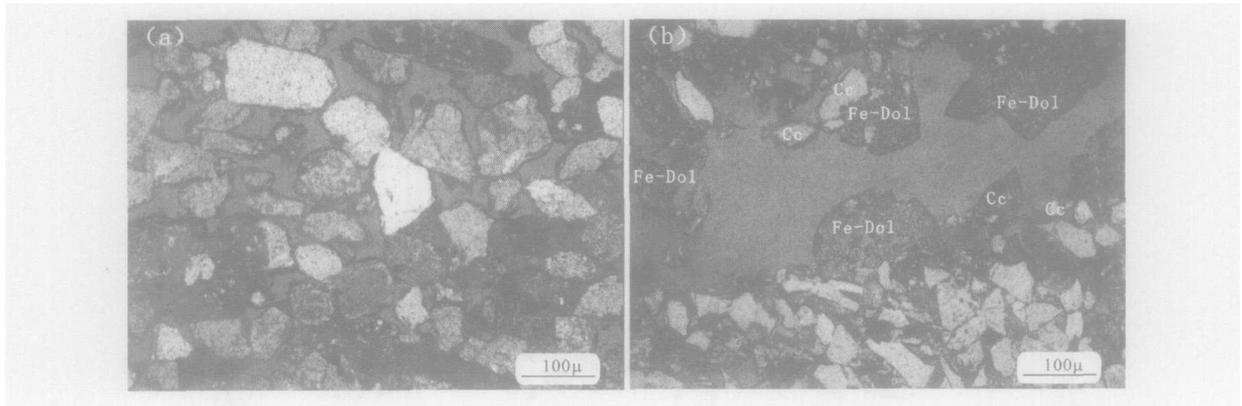


图 4 克拉 2 气田储层孔隙结构及构造裂隙

Fig 4 The microstructure of Cretaceous reservoir and its crevice in Kela 2 gas field

注: (a)铸体片,克拉 2 气田储层孔隙主要形态,呈三角形、菱形等,较规则,形似原生孔,克拉 201 井 3 938 m; (b)铸体片,克拉 2 气田中构造裂隙及白云石交代方解石现象,铁白云石沿裂隙沉淀,并在白云石(Dol)边部次生加大,方解石(Cc)呈溶蚀残留体,被铁白云石取代,克拉 201 井 3 663 m。

体对岩石的高压“充涨”作用有着密切的关系。

成岩作用中的溶蚀作用是次生孔隙形成的主要机制,因此,在对于次生孔隙形成机理的研究中倍受关注。该区的溶蚀作用主要表现为长石骨架颗粒的溶解以及方解石的溶解,图是该区储层砂岩的电镜扫描图像,由该图可以看出,斜长石颗粒沿解理方向被溶蚀呈空洞,方解石被溶蚀成“秃顶”状。就该区长石的溶蚀特征,赖兴运^[3]根据热力学及物理化学平衡原理,并应用地下水特征,对该区长石的溶蚀状态进行了客观和合理的标定。地层水特征表现出该区长石的溶解存在选择性和不彻底性。具体表现为:斜长石系列中钙长石组分几乎完全处于溶解状态,钠长石组分处于部分溶解状态,钾长石处于沉淀状态,并有次生加大的情况。同时,薄片鉴定资料研究也表明,该区储层中长石含量变化与物性变化无明显的相关关系。因此,该区储层中长石的溶解对于次生孔隙形成的影响,并不像想象中那么重要。

该区储层矿物间的交代作用主要表现为白云石、铁白云石对方解石的交代,在薄片可见白云石、铁白云石与方解石之间呈港湾状的接触边界以及方解石呈交代残留体被铁白云石包围(图 4)。在促进方解石白云石、铁白云石化的过程中,需要有较高的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 离子含量。随着成岩作用的进行,地层水的浓缩以及粘土矿物中蒙脱石向伊蒙混层及绿蒙混层的转化,都将释放大量的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 离子而促进这种转化。该区地层水的特征也显示出白云石对方

解石的交代作用。

成岩环境中矿物溶蚀及矿物间交代等化学成岩作用形成次生孔隙的根本原因是由于成岩反应前后生成物、反应物体积的差异。就以上涉及的各项成岩反应而言,长石的溶解、白云石对方解石的交代过程中,会有新的矿物,如高岭石、石英、白云石生成,这必将堵塞孔隙,减少成岩的体积效应。由图 5 中可以看出,新生成的高岭石、石英呈晶形完好的新鲜晶体充填在孔隙之间,从晶体的形态、新鲜程度,都可看出,它们是成岩过程中的新生矿物。白云石对方解石的交代新生成的白云石基本上占据了原来方解石所占有的空间。为此,有必要定量研究成岩反应的具体体积效应。就该区涉及的长石、方解石的溶解,白云石对方解石的交代,其化学反应方程为:



钾长石 高岭石 石英



钠长石 高岭石 石英



钙长石 高岭石



方解石



方解石 白云石

物质的摩尔体积 v_m 是热力学状态函数,它主要随压力的变化而变化。但是,与岩浆岩、变质岩形成

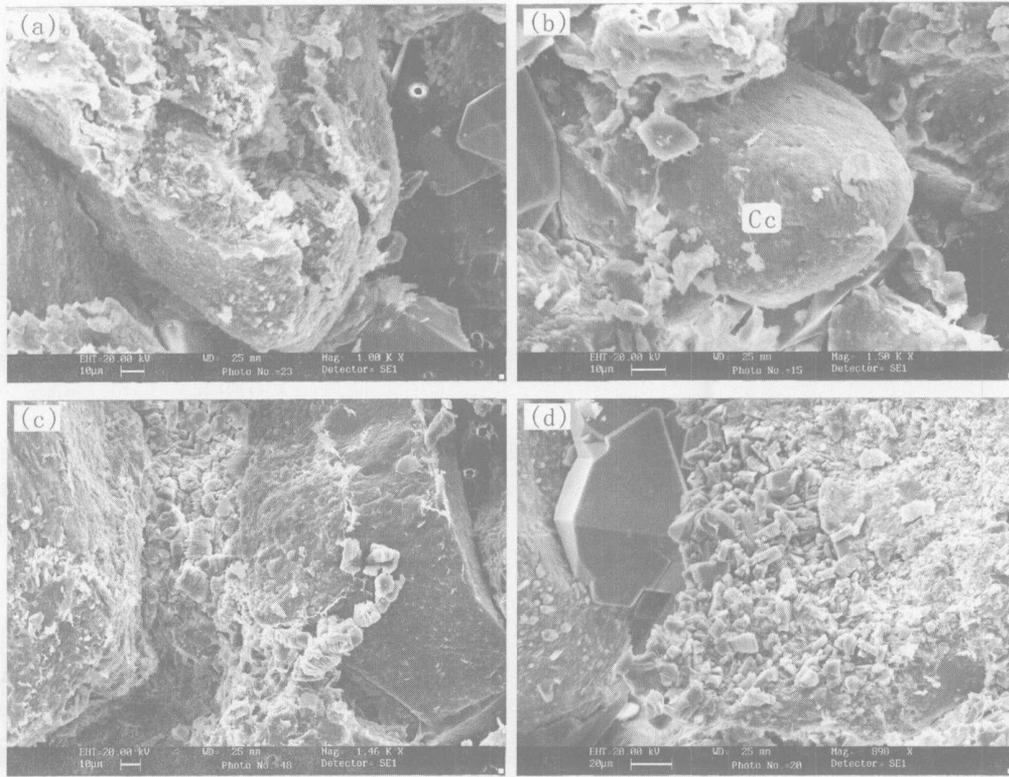


图 5 克拉 2 气田储层中矿物的溶蚀及自生矿物堵塞孔隙的现象

Fig 5 The dissolution of minerals and the authigenic mineral cementation in Kela 2 gas field

注: (a)斜长石沿解理溶蚀形成的空洞,残余部分能谱测定为钠长石,克拉 201 井 3 930. 57 m; (b)方解石溶蚀形成的秃顶状,克拉 201 井 3 923. 27 m; (c)斜长石溶解形成的自生高岭石堵塞孔隙,高岭石呈蠕虫状集合体,晶形完好,克拉 201 井 3 772. 42 m; (d)斜长石溶解形成的自生石英堵塞孔隙,克拉 201 井 3 930. 57 m。

表 2 克拉 2 气田成岩反应体积变化

Table 2 The volume changes of diagenetic reaction in Kela 2 gas field

反应编号	反应前后体积变化 /(cm^3/mol)	反应编号	反应前后体积变化 /(cm^3/mol)
(1)	- 13. 734	(4)	- 36. 934
(2)	- 4. 934	(5)	- 9. 528
(3)	- 1. 27	/	/

环境相比,其温度、压力是很低的,因此,成岩过程某一具体物质的摩尔体积 V_m 可视为一常数。基于此种考虑,对反应 (1) — (5) 计算了 1 atm、298. 15 K 条件下各反应的体积变化 (表 2),并可将其近似等同为成岩环境温度、压力条件下反应的体积变化。由表中可以看出,方解石溶解产生次生孔隙的空间是相当大的。长石系列当中,即使钾长石、钠长石也完全处于溶解状态,所有长石溶解产生的体积效应也是无法与方解石相比的。白云石交代方解石的反应,其中有新

的矿物生成,其体积效应也是不大的。

从储层中长石、方解石含量与储层物性的相关关系,各反应的体积效应以及方解石处于溶解、长石溶解的不彻底性和选择性等的实际等的综合分析,可以认为该区大规模次生孔隙的形成只能从方解石的溶解得到解释。方解石胶结物是一种易溶的矿物,这不仅是由于其本身固有的溶解特性,而且在于它从早期孔隙流体中沉淀出来的特点,与岩石颗粒之间的胶结程度,不如岩屑内部颗粒之间以及岩石颗粒之间胶结紧密,在酸性流体侵入的情况下,它将遭受较为彻底的溶蚀和“清洗”,致使其原来占有空间留下,形成类似原生孔隙的结构特点。

5 流体包裹体特征及成岩作用模式

油气储层中自生矿物流体包裹体真实地记录了油气成藏演化的历史过程,在油气运移的研究中有着广泛的应用。在成岩作用的研究中,不同时期的自生

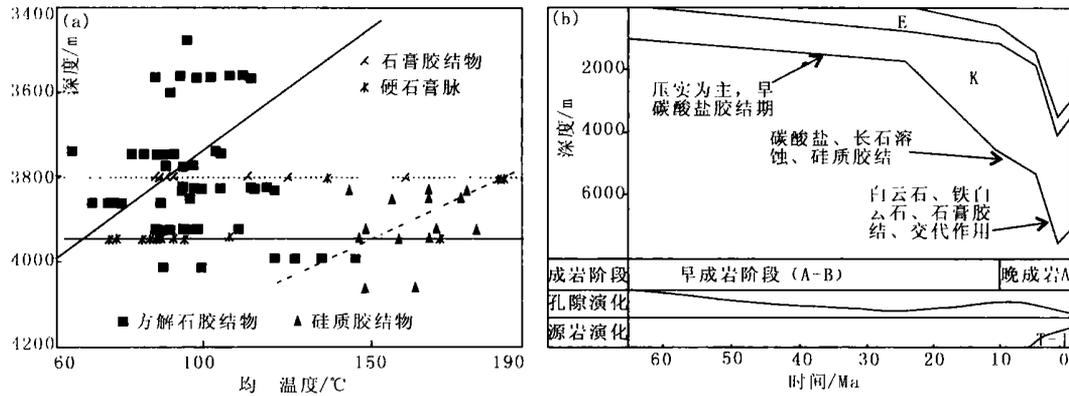


图 6 克拉 2 气田储层流体包裹体特征及成岩演化模式 (据张霏、顾家裕^[4]修改)

Fig 6 The characteristics of fluid inclusion and the model of diagenesis evolution in Kela 2 gas field (after Zhang Nai, Gu Jiayu, 2001)

注: (a)克拉 2 气田流体包裹体均一温度显示三个峰值,并分别和方解石、硅质、石膏及白云石相联,反映了该区三个主要成岩阶段; (b)克拉 2 气田沉降史曲线,可分别和三个成岩阶段相联,并和孔隙演化密切相关。

矿物由于成岩环境温度、压力条件及流体成分的变化,均可真实地记录在流体包裹体中,故可利用自生矿物包裹体进行成岩期次的研究和分析。流体包裹体均一温度是其中应用最广泛的。

克拉 2 气田流体包裹体均一温度主要表现为三个峰值,代表了该区成岩作用的三个主要阶段,并和相应成岩时期的具体胶结物相联系。图 6 反应了该区白垩系储层胶结物分布深度范围及其包裹体均一温度的变化情况。从图中可以看出,方解石胶结物均一温度分布范围主要集中在 80~100, 温度较低,并且其分布深度广,样品采集机率高,是该区主要的胶结物类型,反映出一次普遍而广泛的成岩作用事件,结合其形成温度较低的特点,可以认为方解石代表了同生—早成岩时期碱性成岩环境的产物,它可能经历了较长的地质时期,是沉积后到深埋期间一段较长时间孔隙水演化的结果;储层中硅质胶结物均一温度主要分布在 180, 从样品采出深度看,主要位于 3 800 m 优质储层段附近。硅质胶结物是长石溶解的结果,因此,这一期成岩作用的时期,应当代表了酸性流体侵位情况下,长石、方解石溶蚀这一成岩作用阶段。按地表平均温度 18, 地温梯度 2.9 /100m 计算,该类胶结物形成深度应大于 5 000 m。因此,现今硅质胶结物的位置实际上是盆地折返抬升的结果,这一期成岩事件应是盆地深埋时期形成的;第三期热事件最高温度 300, 并具有均一温度跨度大的特点,

即在一处发现有包裹体,其均一温度会有高有低,具有明显的热液活动的特点。一次热液活动都是由低温到高温,后又降到围岩温度。这一期胶结物为硬石膏及白云石,它应代表盆地折返抬升时,南天山造山带向南逆冲推覆变形,构造增温(剪切生热)的结果。总之,该区自生矿物流体包裹体特征反应的成岩序列与前面的综合分析的认识是一致的。

基于沉积物骨骼压实不变理论,可建立该区盆地沉降史曲线(图 6),并根据上述分析可建立与成岩演化序列的相关关系,从图 6 中可以看出,随着盆地的沉降及压实作用的进行,储层孔隙度逐渐降低,当沉降达一定的深度时(>5 000 m),随着烃源岩的成熟降解,酸性流体充注及溶蚀作用的进行,对于该区深层储层次生孔隙的形成起到了关键性的作用。以上是基于该区成岩作用模式的基本认识。

6 结论

本文已就该区深层优质储层的特征及其形成和影响因素作了较全面的说明,综合各种说明及分析,可有如下结论:

(1) 该区低成分成熟度岩石成分及早期古气候条件下胶结物,为成岩作用的进行提供了成岩改造的良好物质基础;盆地快速沉降下封存水来不及逸失以及早期碱性成岩环境下的碳酸盐胶结物,客观上起到了抗压实作用,对于储层欠压实特征起到了重要作用。

(2) 该区深层优质储层段与地层压力系统中超高压带,自生矿物分带及储层砂岩胶结率存在明显的相关关系,特别是与方解石含量变化的关系尤为密切,是该区储层的一个显著特征。

(3) 该区存在溶蚀和交代两种化学成岩作用,其中白云石对方解石的交代是该区交代作用的主要形式,由于无太大孔隙空间形成,对次生孔隙形成贡献不大;而长石骨架颗粒在该区的溶解存在选择性和不彻底性,也不是形成次生孔隙的主导因素;该区次生孔隙大量形成的根本原因是早期碱性成岩环境下大量方解石胶结物的溶解,并使其原来占有空间重新“腾出”,形成形似原生孔的孔隙结构。方解石是该区主要的胶结物类型,其含量变化直接导致了胶结率的变化。

(4) 地层压力系统中超高压流体的形成与巨厚的盖层及逆冲推覆的大地构造背景相关,在成岩环境中一是作为物理化学变量影响着化学成岩作用,二是其动力学机制,即对形成的孔隙空间起到了有效的“充涨”和保持作用。

(5) 成岩系列特征在自生矿物流体包裹体均一温度上有深刻的反映,并可以此进一步深化相关分析和研究的认识。成岩系列及孔隙演化的这种特征,与盆地沉降演化史有密切的相关关系。

后记:谨以此文深切缅怀我的导师赖兴运副教授。赖老师因积劳成疾,不幸于出差途中去世。

参考文献 (References)

1 刘建清,赖兴运,于炳松. 库车坳陷白垩系储层形成环境及成因分

- 析. 现代地质, 2004, 18 (2): 251 ~ 258 [Liu Jianqing, Lai Xingyun, Yu Bingsong. Analysis for the sedimentary environment of cretaceous strata and it's causes of formation in the Kuqa depression. Geoscience, 2004, 18 (2): 251 ~ 258]
- 2 Hanor J S. Origin and migration of subsurface sedimentary brines. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course 21, 1988.
- 3 赖兴运,于炳松,陈军元,等. 碎屑岩骨架颗粒溶解的热力学条件及其在克拉 2 气田的应用. 中国科学 (D), 2004, 42: 45 ~ 53 [Lai Xingyun, Yu Bingsong, Chen Junyuan, et al. The Thermodynamic condition of rock fragment dissolution and it's application in Kela 2 gas field. Science in China Series D: Earth Sciences, 2004, 42: 45 ~ 53]
- 4 顾家裕,方辉,贾进华. 塔里木盆地库车坳陷白垩系辫状三角洲砂体成岩作用和储层特征. 沉积学报, 2001, 19 (4): 518 ~ 523 [Gu Jiayu, Fang Hui, Jia Jinhua. Diagenesis and reservoir characteristics of Cretaceous braided delta sandbody in Kuqa Depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (4): 518 ~ 523]
- 5 沈照理,朱宛华. 水文地球化学基础. 北京:地质出版社, 1999 [Shen Zhao-li, Zhu Wan-hua. Elementary Chemical Geohydrology. Beijing: Geological Publishing House, 1999]
- 6 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京:石油工业出版社, 1997 [Jia Chenzhao. The characteristics of geological feature in Tarim Basin and its petroleum and natural gas. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 7 张金亮,司学强,梁杰,等. 陕甘宁盆地庆阳地区长 8 油层砂岩成岩作用及其对储层性质的影响. 沉积学报, 2004, 22 (2): 225 ~ 233 [Zhang Jinliang, Si Xueqiang, Liang Jie, et al. Diagenesis of lacustrine deltaic sandstones and it's impact on reservoir quality. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (2): 225 ~ 233]
- 8 高喜龙,肖贤明,赵必强,等. 渤海湾盆地渤中凹陷下第三系烃源岩生烃史. 沉积学报, 2004, 22 (2): 359 ~ 364 [Gao Xilong, Xiao Xianming, Zhao Biqiang, et al. Petroleum generation history of Lower Tertiary source rocks from the Bozhong depression of the Bohaiwan Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (2): 359 ~ 364]
- 9 David A McDonald, and Ronald C Surdam. Clastic Diagenesis. Published by the American Association of Petroleum Geologists. 1985

The Origin of the Deep-burial High-quality Reservoir and the Model of Diagenetic Evolution in Kela 2 Gas Field, Kuqua Depression

LU Jian-qing^{1,2} LAI Xing-yun¹ YU Bing-song¹ CHEN Xiao-lin¹ SU I Cheng¹

1 (China University of Geosciences, Beijing 100083) 2 (Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082)

Abstract Based on the influencing factors of diagenesis and the reality in Kuqua depression, in this paper, the research on the origin of the secondary porosity has been performed for the deep-buried high quality reservoir. The mineral and rock fragment components of the sandstone carbonate cement formed under the past climate and their effects on the secondary porosity have been described. The overpressure, crevice, authigenic mineral assemblage and their origins, characters, effects on the diagenetic environment and secondary porosity have measured to evaluate the feldspar and calcite dissolution condition, the replacement of dolomite to calcite, the effects of compaction and cementation of the sandstone and so on. Lots of information suggests that the dissolution of calcite cement be responsible for the porosity abnormality at deep depth. Furthermore, on the basis of the study of fluid inclusion and all the works mentioned above, we established the model of diagenesis and porosity evolution in this area.

Key words secondary porosity, calcite dissolution, Cretaceous, Kuqua depression