

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850(2020)01-0026-09

N 油田 A 油组钙质隔夹层地质特征及成因分析

廖明光^{1,2}, 黄志强^{1,2}, 廖纪佳^{1,2}, 梁文锋³, 张航⁴, 潘柯宇⁵

(1. 四川省天然气重点实验室, 西南石油大学, 成都 610500; 2. 西南石油大学地球科学与技术学院, 成都 610500; 3. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057; 4. 长江岩土工程总公司(武汉), 武汉 430010; 5. 西南油气田分公司工程技术研究院, 成都 618000)

摘要:在油田开发过程中,隔夹层控制油气水运动规律,对于寻找剩余油具有重要控制作用。本文以 N 油田 TF 组 2 段 A 油组为研究对象,通过薄片、岩心测试、测井、碳氧同位素等资料综合分析,研究其钙质隔夹层的分布特征、岩石学特征、物性特征、测井识别特征,并从沉积环境、物质来源、成岩作用相结合的角度分析钙质隔夹层的成因。研究表明,A 油组纵向上发育的三套钙质隔夹层主要发育在前滨滩坝沉积微相,顶钙与底钙的岩性以砂质生屑质灰岩为主,中钙为钙质砂岩;三套钙质隔夹层中生物碎屑主要以腕足、腹足、有孔虫为主,含少量棘皮、瓣鳃、红藻、介形虫、苔藓虫等;成岩作用主要为胶结作用,胶结物类型包含早期方解石胶结物、中期铁方解石胶结物、晚期铁白云石胶结物;碳氧同位素分析表明,隔夹层中碳主要来自于沉积过程中的海水,同时有少量来自于大气淡水和有机酸,Ca²⁺ 主要来源于生物碎屑,其次为钙长石溶解、铝硅酸盐矿物的水化作用。

关键词:钙质隔夹层;地质特征;成岩作用;物质来源

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

引言

隔层是指油田开发过程中能阻止或控制流体运动的非渗透层。夹层是指在储层内部分布的、与储层主体物性差异较大的、在油田开发过程中对流体流动产生明显影响的相对非渗透层或低渗透层,不能完全阻止或控制流体的运动,但对流体渗流速度,即渗流效果有较大影响。隔层平面上分布较稳定,多呈层状连续展布,夹层通常延伸较小,分布不稳定,由于两者的成因和特征有很大的相似性,故统称为隔夹层^[1-2]。隔夹层具有阻挡流体流动、形成独立流动单元、影响油田开案过程中流体流动方向及分布的重要特征^[3],在油田开发中后期是影响剩余油分布的重要因素之一^[4-10]。隔夹层成因研究能够为揭示储层内部的非均质性、制定合理的开发

方案、把握注水开发过程油水运动规律、预测剩余油分布状况提供可靠的地质依据。目前,国内外学者对钙质隔夹层的成因主要从成岩作用角度来分析^[11-18],很少从钙质隔夹层的沉积环境、物质来源的角度对其成因进行研究分析^[19]。因此,笔者通过对薄片、岩心测试、测井、碳氧同位素等资料分析,研究钙质隔夹层地质特征,并从其成岩作用、形成环境、物质来源三方面综合分析其成因。

1 地质概况

N 油田位于珠江口盆地 B 凹陷中部东侧,构造断层较为发育^[20-21],TF 组 2 段 A 油组所在构造基本是一个完整的低幅背斜构造,且自下而上具有继承性。

A 油组属于 1 个基准面下降的中期旋回,在这

收稿日期:2019-10-23; **改回日期:**2020-01-28

作者简介:廖明光(1967-),男,教授,主要从事储层地质学、油气田开发地质方面的教学与科研工作。地址:四川省成都市新都区新都大道 8 号西南石油大学。

通信作者:廖纪佳(1983-),男,博士,讲师,主要从事沉积学和储层地质学方面的教学与科研工作。

资助项目:国家重点基础研究发展(973 计划)项目“中国陆相致密油(页岩油)形成机理与富集规律基础研究”(编号:2014CB239005)和国家自然科学基金项目“泥质岩层对低渗透砂岩储层油气成藏的控制机理研究”(编号:41502146)联合资助。

个中期旋回内部可进一步分为3个基准面下降的短期旋回(对应为3个砂组),含油层主要分布在1砂组内部,针对1砂组,基于旋回发育以及叠置关系,小层级别层序地层单元共划分出4个小层,即A-1-1、A-1-2、A-1-3、A-1-4。1砂组顶部标志层为一套泥岩层(俗称“龟背泥岩”),分布比较广泛,该套泥岩是整个珠三拗陷的区域性标志层之一,厚度约30m左右,电性特征明显,为大段高自然伽马,底部标志层测井解释岩性为泥岩,厚度为10-6m左右,自然伽马曲线呈高值,略具微齿状。钙质隔夹层测井曲线特征主要表现为低伽马、低时差、低中子、高密度、高电阻率,测试以干层为主(图1)

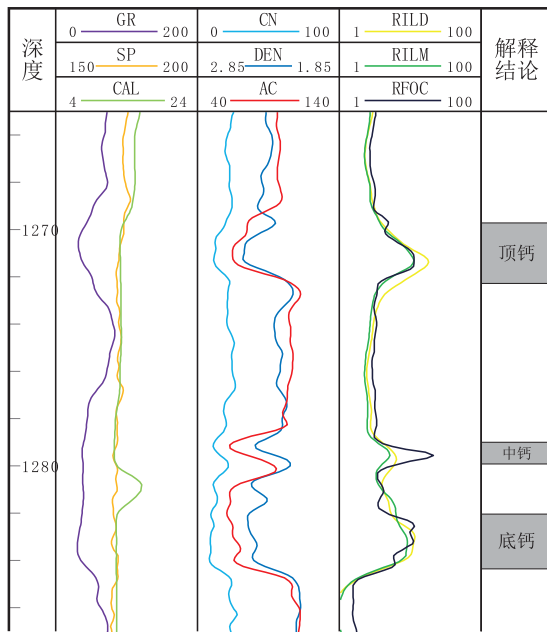


图1 N19-1-1井TF₂A油组钙质隔夹层测井响应特征

Fig.1 Logging response characteristics of calcareous interlayer in TF2A oil group of well N19-1-1

A油组发育前滨、临滨亚相,与滩坝、滩砂、海泛泥3种微相。通过岩心观察,前滨滩坝岩性为砂质生屑灰岩,岩石的沉积构造主要表现为块状,内部主要发育波状层理和脉状层理;临滨滩砂以砂质为主,可见生物扰动构造;海泛泥岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩,构造主要为粉砂岩形成的透镜状层理,指示着弱水动力条件,生物扰动构造常见^[22]。

2 钙质隔夹层特征

2.1 分布特征

钙质隔夹层主要分布在I砂组中,根据隔夹层

所在小层,纵向上将其分为顶钙(A-1-1)、中钙(A-1-2)、底钙(A-1-3)、横向上底钙连续稳定分布,层厚约1.5m,顶钙的同样连续分布,层厚约在0.4m间,中钙不连续,延伸范围有限,即研究区底钙和顶钙发育,中钙欠发育(图2)。

2.2 岩石学特征

通过对研究区3口取心井23张薄片鉴定分析,并根据混积岩分类命名方法^[23],认为隔夹层岩性以陆源碎屑砂质生屑灰岩为主,其次为含陆源碎屑泥晶生屑灰岩,少数为钙质砂岩与生屑灰岩(图3)。

顶钙主要发育陆源碎屑质泥晶生屑灰岩,其中陆源碎屑占25%~33%,以石英为主,含岩屑与长石;生物碎屑占50~58%,生屑主要为有孔虫;填隙物为粉晶方解石占8~15%(图4-a)。

中钙发育钙质砂岩,陆源碎屑占80%~85%,以石英为主,含少量岩屑与长石;生物碎屑含量少于顶钙,仅占5%~8%,生屑种类含有孔虫、腹足;方解石含量约占8%~10%(图4-b)。同时也发育陆源碎屑质生屑灰岩,陆源碎屑占25%~30%,主要为石英颗粒;生物碎屑占53~60%,主要为腹足和有孔虫;填隙物主要是亮晶方解石约8%~10%(图4-c)。

底钙发育含砂粒生屑灰岩,砂粒占25%~30%,以石英碎屑为主,含少量长石;生物碎屑含量占50%~55%,生物种类以腕足为主,少量棘皮、有孔虫;方解石含量高于顶钙,占20%~25%其主要为泥晶杂基和亮晶方解石胶结物(图4-d、图4-e)。

三层钙质隔夹层中填隙物含量平均约占16%,主要成分是泥晶、亮晶方解石(图3)。

2.3 物性特征

通过隔夹层岩心水驱最小启动压力梯度测试结果分析(表1),结合4口取心井不同层位隔夹层的孔隙度和渗透率,发现顶钙孔隙度范围在19.05%~20.79%,平均值为19.92%,渗透率范围在 $1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ~ $21.16 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $11.33 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;中钙孔隙度范围在5.28%~24.5%,平均值为13.94%,渗透率范围在 $0.474 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ~ $19.53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $6.99 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;底钙孔隙度范围在1.52%~18.41%,平均值为6.93%,渗透率范围在 $0.00147 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ~ $7.55 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $1.52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。顶钙孔隙度、渗透率最大,封堵性能最弱,岩性以钙质砂岩为主;底钙孔隙度、

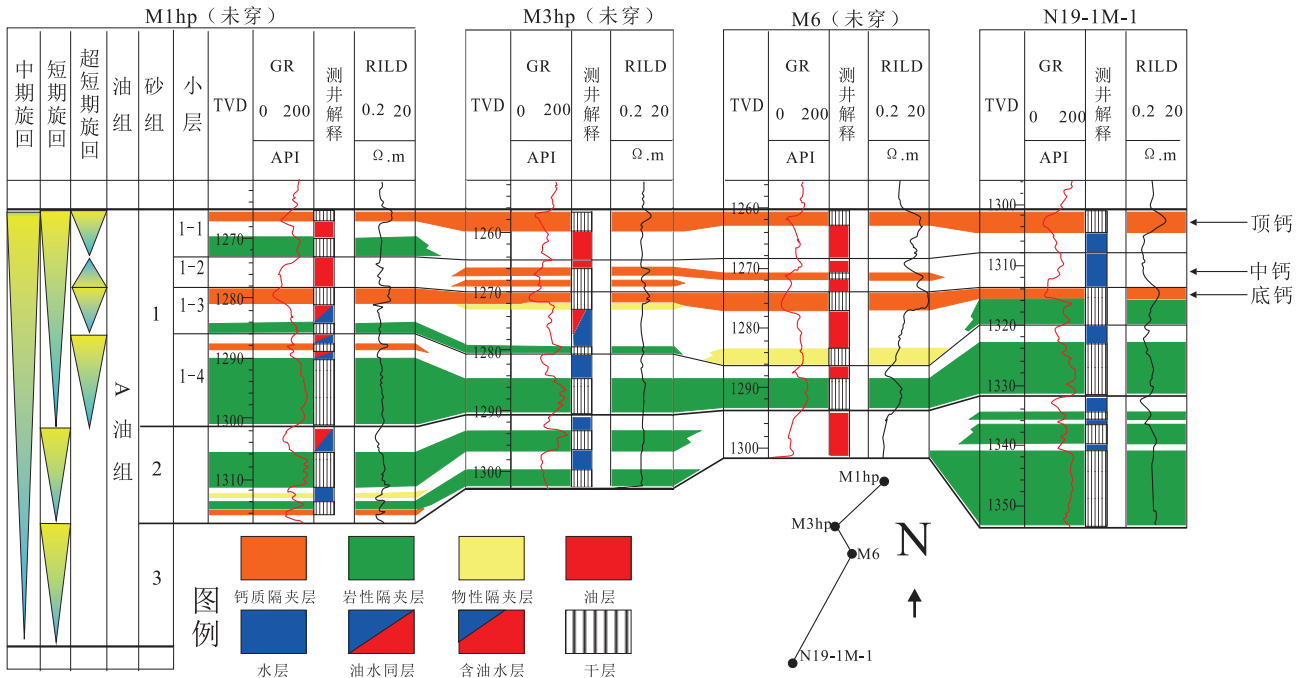


图2 TF₂A 隔夹层连井剖面图 (M1hp-M3hp-M6-N19-1M-1)

Fig. 2 TF₂A Oil Group Interlayer Connected Well Profile (M1hp-M3hp-M6-N19-1M-1)

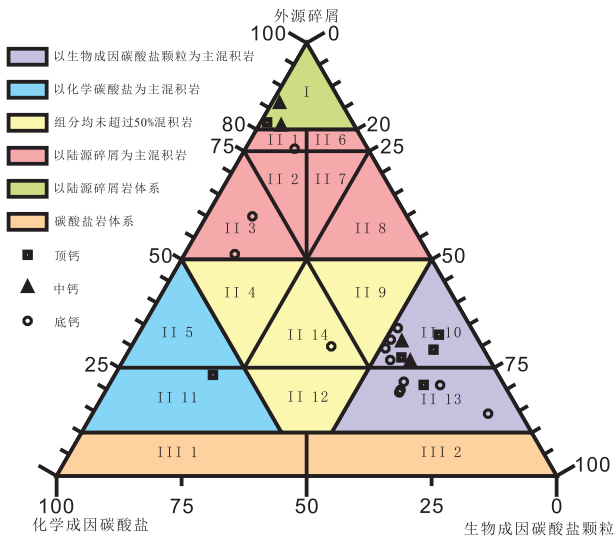


图3 钙质隔夹层岩性三角分类图

Fig. 3 Triangular petrological classification of Calcareous interlayer

渗透率最低, 封堵性能最强, 岩性以陆源碎屑质生屑灰岩为主; 中钙孔隙度、渗透率与封堵性能介于顶钙与低钙之间, 两种岩性含量接近。

钙质砂岩孔隙度、渗透率较高, 其氧化钙含量介于 0.37% ~ 0.7%, 平均值为 0.54%; 陆源碎屑质生屑灰岩孔渗极低, 氧化钙含量介于 34.56% ~ 46.25%, 平均值为 40.41%。钙质隔夹层中钙质含

量越多, 物性越差, 封堵能力越强。因此, 两种岩性的钙质隔夹层中钙质含量差距造成了两者物性和封堵能力差异较大。陆源碎屑质生屑灰岩中氧化钙含量远高于钙质砂岩原因, 主要是陆源碎屑质生屑灰岩中生物碎屑含量高, 而生物碎屑通常是钙质成分。因此, 可见生物碎屑含量高, 岩石的物性差, 封堵能力强(表 2)。

3 钙质隔夹层成因分析

3.1 沉积环境

通过岩心观察、粒度分析、以及测井响应特征分析认为 TF₂A 油组主要为滨岸相沉积环境, 主要发育前滨滩坝、临滨滩砂、海泛泥三种微相。

钙质隔夹层是地层在后期钙质胶结作用下孔隙性变差的一类地层, 其形成的环境为前滨滩坝沉积, 岩性主要为砂质生屑灰岩, 夹少量薄层钙质砂岩, 沉积构造主要表现为块状, 内部层理不明显, 可见大量生屑呈针状杂乱排布(图 5-a、图 5-b、图 5-c); 临滨滩砂则发育细砂岩, 局部含少量泥质条带, 呈波状层理(图 5-d); 海泛泥主要为泥岩与粉砂质泥岩, 可见生物潜穴, 沉积构造主要为透镜状层理, 指示着弱水动力条件(图 5-e)。

表1 隔夹层岩心水驱最小启动压力梯度测试值

Table 1 Minimum starting pressure gradient test value of core water drive in interlayer

井号	深度(m)	孔隙度(%)	气测渗透率($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	最小启动压力梯度(MPa/cm)	备注	岩性
N19-1-2	1320	19.05	1.5	0.0526	顶钙	含砂粒粉晶生屑灰岩
N19-1-2	1322.7	20.79	21.16	0.0068	顶钙	钙质砂岩
N19-1-M6	1370.45	1.83	0.00569	1.325	中钙	含砂粒泥晶生屑灰岩
N19-1-M6	1370.85	5.28	0.474	0.163	中钙	砂质生屑灰岩
N19-1-2	1332.5	24.5	19.53	0.0077	中钙	钙质砂岩
N19-1-2	1336.7	18.41	7.55	0.0137	底钙	钙质砂岩
N19-1-6	1270.2	1.19	0.00319	2.223	底钙	砂质生屑灰岩
N19-1-6	1270.85	1.52	0.00147	4.029	底钙	砂质泥晶生屑灰岩
N19-1-1	1281.5	6.27	0.027	1.008	底钙	砂质生屑灰岩
N19-1-1	1283.67	7.3	0.0523	0.967	底钙	含砂粒泥晶生屑灰岩

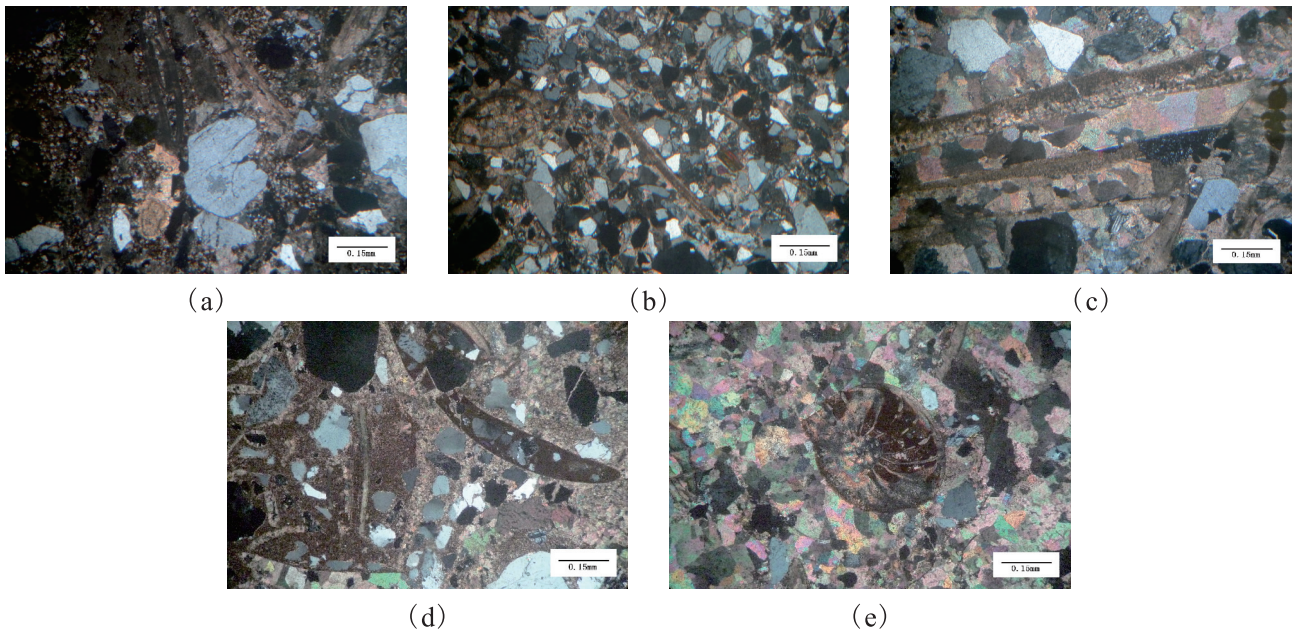


图4 钙质隔夹层岩石薄片鉴定特征

(a) N19-1-2井, 1319.45m, TF₂A, 顶钙, 砂质泥晶生屑灰岩, 生屑为有孔虫(正交); (b) N19-1-2, 1332.33m, TF₂A, 中钙, 细粒钙质砂岩, 含有孔虫、腹足(正交); (c) N19-1-M6, 1369.50m, TF₂A, 中钙, 砂质生物碎屑灰岩, 含有孔虫、腹足(正交); (d) N19-1-1井, 1284.75m, TF₂A, 底钙, 砂粒生屑灰岩, 含腕足、棘皮(正交); (e) N19-1-1井, 1284.75m, TF₂A, 底钙, 砂质亮晶生屑灰岩, 含腹足、腕足(正交)

Fig. 4 Identification characteristics of rock slice in calcareous interlayer

表2 钙质层岩石化学分析表

Table 2 Calcium layer rock chemical analysis table

井号	深度(m)	氧化钙含量(%)	酸不溶物含量(%)	岩性
N19-1-6	1270.3	34.56	32.86	陆源碎屑质泥晶生屑灰岩
N19-1-6	1271.72	46.25	14.18	陆源碎屑质泥晶生屑灰岩
N19-1-6	1272.32	0.7	86.84	钙质砂岩
N19-1-6	1273.15	0.37	90.46	钙质砂岩

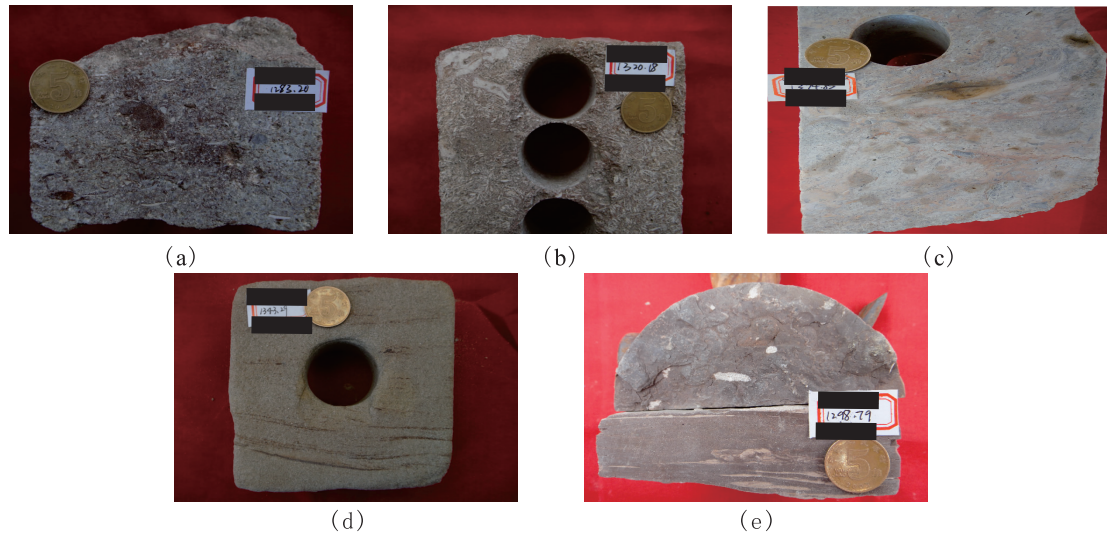


图5 岩心特征

(a) N19-1-1 井, 1283.20m, TF₂A, 砂质生屑灰岩, 生屑呈针状杂乱排列, 属前滨滩坝; (b) N19-1-2, 1320.18m, TF₂A, 砂质生屑灰岩, 生屑呈针状杂乱排列, 属前滨滩坝; (c) N19-1-M6, 1374.85m, TF₂A, 砂质生屑灰岩, 夹少量钙质砂岩, 属前滨滩坝; (d) N19-1-2 井, 1343.29m, TF₂A, 细砂岩, 夹薄层泥质条带, 属临滨滩砂; (e) N19-1-1 井, 1298.79m, 粉砂质泥岩, 粉砂呈透镜状, 可见生物潜穴, 属海泛泥。

Figure 5 Core features

顶钙和底钙均发育于超短期旋回的顶部, 基准面下降对应于海平面下降, 水体变浅, 水动力增强, 波浪有足够的能量将生物碎屑搬运至浅水区沉积。由于海平面的高频振荡, 滩坝间歇性出露海平面, 而广泛发育碳酸盐胶结作用, 因此, 顶钙和底钙在平面上连续性好, 分布广泛; 中钙主要发育于超短期旋回的下部, 由于海平面的缓慢上升, 加上古地貌的影响, 在不同区域水动力强弱出现差异, 搬运沉积物的能力不同, 故发育中钙的滩坝在平面上分布不均, 造成中钙连续性较差。

3.2 碳酸盐胶结物类型及物质来源

3.2.1 胶结物类型

钙质隔夹层的形成是溶解作用、蚀变作用和胶结作用有机结合的过程^[19], 通过取心井岩心薄片鉴定, 发现研究区发育碳酸盐胶结物, 其地球化学特征丰富, 物质来源广泛, 主要类型为早期方解石胶结物、中期铁方解石胶结物和晚期铁白云石胶结物。

(1) 早期方解石胶结物。通常是在常温常压条件下, 直接从过饱和碱性水介质中析出的产物^[24]。充填在颗粒及生屑之间(如有孔虫化石)的早期碳酸盐多呈基底式胶结(图 6-a), 其成分多为方解石, 含量较高, 变化为 15% ~ 20%, 多形成陆源碎屑质生屑灰岩、钙质砂岩。碎屑颗粒大多漂浮于胶结物中(图 6-b), 颗粒间空隙较大, 这表明压实作用不明

显, 岩石未经压实作用改造, 因此胶结物形成时期应较早, 发生在压实作用之前, 之后由于胶结物充填了孔隙, 提高了钙质隔夹层的抗压实能力与流体封堵能力。

(2) 中期铁方解石胶结物。中期碳酸盐胶结物在陆源碎屑质生屑灰岩与钙质砂岩中均有分布, 其主要成分为含铁方解石, 表面洁净、晶粒较粗、呈粒状, 其含量范围在 12% - 25% 之间, 多呈分散状孔隙式胶结物出现, 充填在剩余粒间孔中, 同时可以观察到与石英发生交代作用。陆源碎屑颗粒存在破碎现象, 且相互之间接触方式多为线接触, 少数为点接触, 说明胶结物在形成之前岩石已遭受强烈的压实作用(图 6-c、图 6-d)。同时染色后的铁方解石颜色越深表明 FeO 的含量越多, 一般而言方解石中 Fe²⁺ 含量越多, 表明该矿物形成时间越晚(图 6-c), 由此可以判断此类胶结物形成时期较晚。

(3) 晚期铁白云石胶结物。晚期铁白云石胶结物一般呈分散状、粗晶粒状分布, 成分多为铁白云石, 含量不高, 在 2% ~ 7% 范围间。晚期铁白云石存在交代早期、中期碳酸盐胶结物(图 6-e)和石英颗粒(图 6-f)的现象, 表明此类胶结物最晚形成, 其往往充填在剩余粒间孔、各类次生溶孔和自生粘土矿物间的微孔隙中, 因此对储层孔隙度渗透率影响较大。

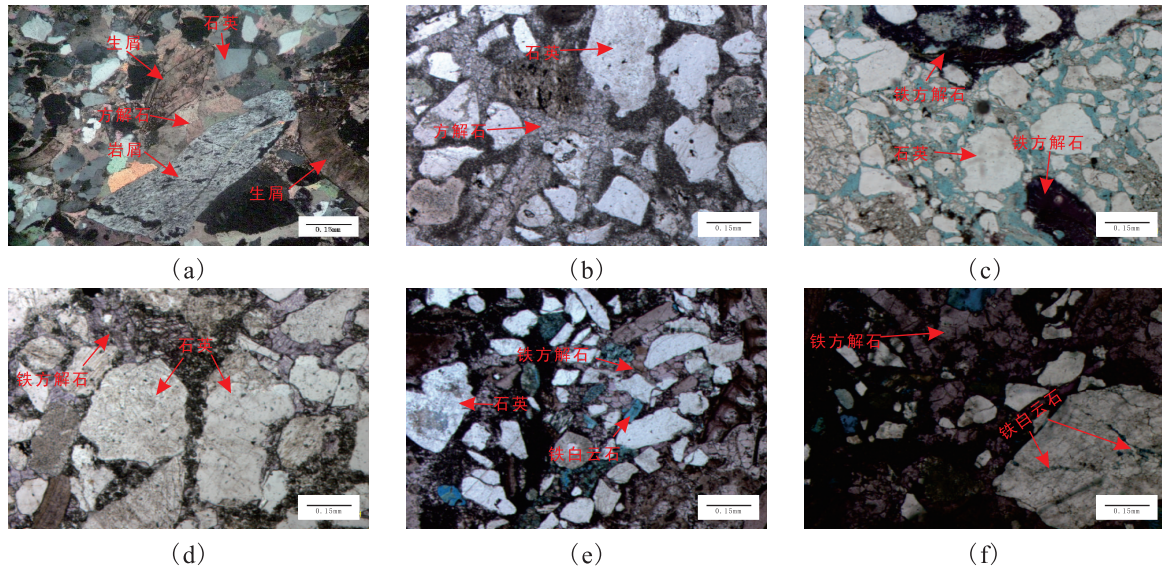


图6 隔夹层主要胶结物类型

(a) N19-1-1 井 1282.20m, TF₂A, 早期基底式方解石胶结物, 正交光; (b) N19-1-6 井 1270.98m, TF₂A, 早期基底式方解石胶结物, 单偏光; (c) N19-1-2 井 1346.76m, TF₂A, 中期孔隙式方解石胶结物, 单偏光; (d) N19-1-2 井 1322.50m, TF₂A, 中期孔隙式方解石胶结物, 单偏光; (e) N19-1-6 井 1271.57m, TF₂A, 晚期自行晶铁白云石交代中期碳酸盐胶结物, 单偏光。 (f) N19-1-2 井 1337.20m, TF₂A, 晚期铁白云石交代石英颗粒, 单偏光。

Figure 6 Type of main cement in the interlayer

3.2.2 碳的来源

在埋藏成岩环境中,影响 $\delta^{13}\text{C}$ 值的因素很多,其中最主要的是介质水中碳的来源^[25],其与盐度有关。因此,首先要弄清形成碳酸盐胶结物孔隙水的来源。孔隙水的来源主要是沉积物在沉降时保存的大气降水或(海)湖水。Keith和Weber(1964)曾提出了划分海相和淡水相碳酸盐岩的经验公式^[26],利用该公式计算出无量纲的Z值,根据Z值的大小可以判断水介质的性质^[27]。式中 $a = 2.048$, $b = 0.498$;当Z大于120时,水介质的性质为海水来源;当Z小于120时,则为陆相淡水来源。

$$Z = a(\delta^{13}\text{C} + 50) + b(\delta^{18}\text{O} + 50)$$

根据37块样品碳酸盐胶结物碳氧同位素Z值计算结果(表3),86.7%的样品Z值大于120,平均值为122.8,说明形成胶结物的孔隙流体海水来源。

数据分析表明, $\delta^{13}\text{C}$ 分布范围在-3.64‰~2.28‰,平均值为-0.64‰, $\delta^{18}\text{O}$ 分布范围在-8.77‰~ -4.31‰,平均值为-6.4‰;古地温分布范围在38.12℃~62.25℃,平均值为49.45℃,同时 $\delta^{13}\text{C}$ 值轻且变化范围较窄,表明工区内TF₂A油组顶部的方解石为浅埋藏时的成岩方解石,这些碳酸盐的成岩作用发生在一个比较封闭体系中,水体较浅且阳光照射充分,温度较高。

大气水中溶解CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-7‰,湖相原生

碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-2‰~6‰^[28]。研究区内TF组钙质隔夹层中碳酸盐胶结物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围为-3.64‰~2.28‰, $\delta^{18}\text{O}$ 范围为-8.77‰~ -4.31‰(表3)。这说明在中期铁方解石和晚期铁白云石形成时,仅仅由沉积时保存的孔隙水是不能形成如此低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,因此,在成岩过程中一定有外来碳源的加入。Irwin的研究表明,在成岩过程中,不同的阶段所产生的CO₂的氧碳同位素组成均有所不同:①在小于10m范围内,由细菌作用引起的硫酸盐还原作用, $\delta^{13}\text{C}$ 值为-25‰, $\delta^{18}\text{O}$ 值为0~-2‰;②10m~1000m,由细菌引起的发酵作用, $\delta^{13}\text{C}$ 值为15‰, $\delta^{18}\text{O}$ 值为-1.5‰~-5‰;③在1000m以下,由于干酪根降解过程中形成的有机酸加入, $\delta^{13}\text{C}$ 值为-20‰, $\delta^{18}\text{O}$ 值为-3.5‰~-7‰^[29]。碳酸盐胶结物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值越低,则说明有机酸参与的程度越高。早期碳酸盐胶结物被有机酸溶蚀形成溶蚀孔,随后烃类的注入使酸性环境转换为碱性环境,因此隔夹层中高价铁离子被还原形成中晚期铁方解石与铁白云石胶结物。由此看来,研究区内埋藏深度较大的TF组中,有机酸是中晚期次的胶结物的重要碳源。

除此以外,一般海相沉积环境中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的值都比淡水值高,第三纪海水碳同位素值($\delta^{13}\text{C}$)范围为0~1‰间^[30],而研究区钙质隔夹层中 $\delta^{13}\text{C}$ 值低于这个范围,同时呈负向漂移的方解石充填(图

表3 N19-1 油田碳酸盐胶结物 C/O 同位素分析与温度反演成果表

Table 3 C/O isotope analysis and temperature inversion results of carbonate cement in N19-1 oilfield

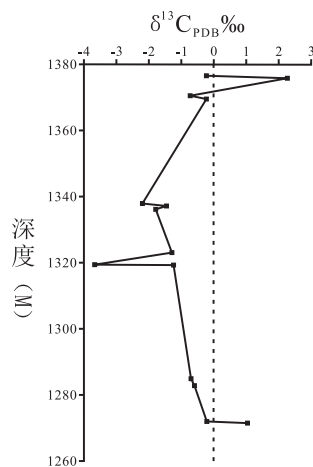
井号	层位	胶结物类型	$\delta^{13}C_{PDB} (\text{‰})$	$\delta^{18}O_{PDB} (\text{‰})$	Epstein 古地温($^{\circ}C$)	基恩-韦伯 Z 值
N19-1-1		方解石	1.08	-8.77	62.25	125
N19-1-1			1.04	-8.27	59.54	125
N19-1-6			-0.21	-6.25	48.61	124
N19-1-6	底钙(油层)	生物壳	-0.626	-4.579	39.57	124
N19-1-6			-0.66	-4.31	38.12	124
N19-1-M6		含铁方解石	2.28	-5.19	42.88	129
N19-1-M6			-0.2	-4.77	40.61	125
N19-1-2	底钙(水层)	方解石	-1.76	-7.31	54.35	120
N19-1-2	底钙(水层)		-1.44	-8.36	60.03	120
N19-1-2	底钙(水层)		-2.16	-7.39	54.78	119
N19-1-M6	中钙(油层)		-0.2	-6.5	49.97	124
N19-1-M6			-0.7	-5.61	45.15	123
N19-1-2			-1.23	-6.53	50.13	122
N19-1-2	顶钙(水层)	生物壳	-3.64	-5.32	43.58	117
N19-1-2		方解石	-1.29	-6.93	52.29	121

7), 则证明存在大气淡水下渗使得原有碳酸盐岩地层中的碳酸盐被置换, 即有大气淡水参与钙质隔夹层的形成, 但由于大气淡水下渗深度有限, 因此主要为早期方解石胶结物的碳源。

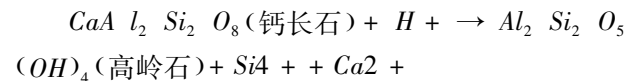
3.2.3 钙离子的来源

钙质隔夹层中的 Ca^{2+} 主要有以下三种来源。

(1) 生物碎屑作为整个钙质隔夹层形成过程中 Ca^{2+} 最重要的来源之一^[31], 在本区 TF 组钙质层薄片, 可观察到大量的有孔虫、腹足、腕足、棘皮、等化石。在大气淡水作用下, 这些生物碎屑提供了大量钙离子, 同时因为间歇性暴露于大气淡水环境下所以碳酸盐胶结作用广泛发育。

图7 $\delta^{13}C$ 散点图, 呈负漂移特征Figure 7 $\delta^{13}C$ scatter plot with negative drift characteristics

(2) 在合适的物理条件下, 钙长石溶解的化学反应过程提供的 Ca^{2+} 可以进入到碳酸盐胶结物中, 这是碎屑岩地层中自生碳酸盐矿物 Ca^{2+} 主要的来源之一^[23]。



从薄片中可以观察到, 少量的长石与含长石的岩屑发生了溶蚀作用, 并形成了各种溶蚀孔隙。且溶蚀作用明显早于中晚期铁方解石和铁白云石的沉淀, 因为这些晚期碳酸盐胶结物主要充填在粒内溶孔中, 说明在研究区 TF 组中长石类碎屑颗粒的溶解是中晚期铁方解石和铁白云石的 Ca^{2+} 来源之一。

(3) 铝硅酸盐矿物的水化作用。水化作用是指不含水或含水较少的矿物与水接触转变成含水或含水较多的矿物, 这些矿物包括各种岩屑(尤其是火山岩岩屑)的构成矿物和碎屑矿物^[32]。经过薄片鉴定, TF 组中主要是岩屑颗粒发生绢云母化, 为碳酸盐胶结物的形成提供了 Ca^{2+} 。

4 结论

(1) 研究区钙质隔夹层纵向上分为顶钙、中钙、低钙, 平面上顶钙与底钙连续性好, 中钙连续性最差。岩性主要为砂质生屑灰岩、其次为钙质砂岩, 含有大量生物碎屑, 填隙物的主要成分是泥晶、亮晶方解石。钙质含量是影响隔夹层物性最主要因

素,因此钙质含量较高的砂质生屑灰岩,物性较钙质砂岩差,封堵能力较强。

(2)钙质隔夹层主要发育在前滨滩坝微相,水体高频震荡,滩坝间歇性露出水面,而广泛发育胶结作用。隔夹层中钙质主要以碳酸盐胶结物的形式存在,其成分主要为早期的方解石、中期的铁方解石和晚期的铁白云石。

(3)通过C/O同位素分析,认为该区钙质胶结物的形成过程中碳主要来源于海洋沉积环境中介质水,其次大气淡水参与了早期碳酸盐胶结物的置换,同时有机酸为中期铁方解石与晚期铁白云石提供了部分碳。生物碎屑提供了整个时期主要的 Ca^{2+} ,其次铝硅酸盐矿物的水化作用也提供了部分 Ca^{2+} ,最后长石类碎屑颗粒的溶解为中期铁方解石与晚期铁白云石部分的 Ca^{2+} 。

参考文献:

- [1] 张吉,张烈辉,胡书勇,等.陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别[J].测井技术,2003(03):221-224+265.
- [2] 姜平,黄俊辉,雷霄,等.文昌A油田珠二段I油组隔夹层分布研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2014,36(01):19-26.
- [3] 裴亦楠.中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展[J].沉积学报,1992(03):16-24.
- [4] 宋璠,苏妮娜.辽河油田锦99块扇三角洲前缘储层隔夹层成因与分布[J].沉积与特提斯地质,2014,34(02):65-71.
- [5] 周学慧,丁文龙,昌伦杰,等.“三端员定型”法识别滨岸相砂岩储层隔夹层:以塔里木盆地哈得逊油田东河砂岩为例[J].地学前缘,2017,24(05):328-338.
- [6] 陈伟,何俊富,杨斌,等.DH油田隔夹层测井识别研究[J].物探化探计算技术,2011,33(02):202-206+109.
- [7] 崔建,李海东,冯建松,等.辫状河储层隔夹层特征及其对剩余油分布的影响[J].特种油气藏,2013,20(04):26-30+152.
- [8] 田洋,卢宗盛,权英哲,等.辽河盆地大民屯凹陷沈95区块砂岩储层中钙质隔夹层研究[J].岩石矿物学杂志,2009,28(02):152-160.
- [9] 封从军,单启铜,时维成,等.扶余油田泉四段储层非均质性及其对剩余油分布的控制[J].中国石油大学学报(自然科学版),2013,37(01):1-7.
- [10] 李红英,王欣然,陈善斌,等.层内夹层对海上聚合物驱油田剩余油分布影响[J].特种油气藏,2018,25(05):135-140.
- [11] 加东辉,杨香华,吴小红,等.中等井网密度控制下的浅水三角洲相隔夹层研究——以渤中25-1南油田为例[J].油气地质与采收率,2005(02):19-22+82.
- [12] 王洋,刘婧,汪建国,等.塔里木盆地东河1油藏东河砂岩隔夹层形成的主控因素及流体来源[J].石油学报,2015,36(02):174-181.
- [13] 徐寅,徐怀民,郭春涛,等.隔夹层成因、特征及其对油田开发的影响——以塔中地区海相砂岩储层为例[J].科技导报,2012,30(15):17-21.
- [14] ODIGIMI, AMAJORLC. Geochemistry of carbonate cements in Cretaceous sandstones, southeast Benue Trough, Nigeria: implications for geochemical evolution of formation waters [J]. Journal of African Earth Sciences, 2010,57(3):213-226.
- [15] MANSURBEGH, DeROSLF, MORADS, et al. Meteoric-water diagenesis in late Cretaceous canyon-fill turbidite reservoirs from the Espírito Santo Basin, eastern Brazil [J]. Marine and Petroleum Geology, 2012, 37(1):7-26.
- [16] MANSOUR A S, RIFAIRI, SHAABANMN. Geochemical constraint on the origin of the multi-mineralogic carbonate cements in the subsurface Middle Jurassic sandstones, Central Sinai, Egypt [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014,143(3):163-173.
- [17] 严耀祖,段天向.厚油层中隔夹层识别及井间预测技术[J].岩性油气藏,2008(02):127-131.
- [18] 王延章,林承焰,董春梅,等.夹层及物性遮挡带的成因及其对油藏的控制作用——以准噶尔盆地莫西庄地区三工河组为例[J].石油勘探与开发,2006(03):319-321+325.
- [19] 林承焰,侯连华,董春梅,等.辽河西部凹陷沙三段浊积岩储层中钙质隔夹层研究[J].沉积学报,1996,14(3):73-79.
- [20] 李珊珊,彭松,陈林,等.珠江口盆地西部文昌B凹陷晚始新-早渐新世复杂储层沉积特征及低渗成因探讨[J].现代地质,2019,33(02):357-369.
- [21] 张迎朝,陈志宏,李绪深,等.珠江口盆地文昌B凹陷及周边油气成藏特征与有利勘探领域[J].石油实验地质,2011,33(03):297-302.
- [22] 雷霄,胡余,梁文锋,等.文昌19-1油田珠江组二段I油组沉积相研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2015,37(04):1-12.
- [23] 叶茂松,解习农,徐长贵,等.混积岩分类命名体系探讨及对混积岩储层评价的启示——以渤海海域混积岩研究为例[J].地质论评,2018,64(05):1118-1131.
- [24] 王琪,郝乐伟,陈国俊,等.白云凹陷珠海组砂岩中碳酸盐胶结物的形成机理[J].石油学报,2010,31(04):553-558+565.
- [25] 陈荣坤.稳定氧碳同位素在碳酸盐岩成岩环境研究中的应用[J].沉积学报,1994(04):11-21.
- [26] Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1964, 28(10/11):1786-1816.
- [27] 宁括步,毛世东,梁龙飞,等.川西甘孜-理塘结合带碳酸盐岩碳氧同位素特征[J].沉积与特提斯地质,2018,38(03):106-112.
- [28] Keltz K, Talbot M R. Lacustrine carbonates as geochemical archives of environmental change and biotic/abiotic interactions [M]. Tilzer M M, Ser-ruya C. Ecological structure and function in large lakes. Madison: Wis. Science Tech, 1990:290-317.

- [29] Irwin H, Curtis C, Coleman M. Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic-rich sediments[J]. *Nature*, 1977, 269(5625): 209-212.
- [30] 陈金定,周晓林,钟国楼,等. 琼海凸起珠江组砂岩钙质层成岩模式探讨[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(04): 27-32+186.
- [31] 严科,赵红兵. 三角洲前缘储层中钙质夹层分布及成因探讨[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(01): 33-38.
- [32] 张玥. 柴达木盆地北缘西段第三系沉积储层砂岩的成岩作用研究[D]. 成都理工大学, 2010.

Geological Characteristics and Genesis Analysis of Calcareous Intercalation Layer of Oil Group A in N Oilfield

Liao Mingguang^{1,2}, Huang Zhiqiang^{1,2}, Liang Wenfeng³, Liao Jijia^{1,2}

(1. *Sichuan Provincial Key Laboratory of Natural Gas, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China*; 2. *School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University Chengdu 610500, China*; 3. *Zhanjiang Branch, China National Offshore Oil Corporation (China), Zhanjiang 524057, China*)

Abstract: In the process of oilfield development, the interlayer controls the law of oil and water movement, which plays an important role in controlling the remaining oil. In this paper, the oil group of the second section of the TF formation in the N oilfield is taken as the research object. Through the comprehensive analysis of the thin section, core test, logging, carbon and oxygen isotope, the distribution characteristics, petrological characteristics, physical properties and measurement of the calcareous interlayer are studied. The study shows that three sets of calcareous interbeds are developed vertically in the A oil group. The lithology is mainly composed of terrigenous clastic bioclastic limestone, followed by calcareous quartz sandstone, and the bioclastic is mainly composed of brachiopods and gastropods, with a small amount of echinoderms, foraminifera, flaps and gills, red algae, ostracods, bryozoans, etc. It mainly develops in foreshore beach bar deposits. The diagenesis is mainly cementation, and the cement type includes early calcite cement, medium-term iron calcite cement, and late iron dolomite cement. Carbon and oxygen isotope analysis shows that carbon mainly comes from seawater during deposition, while a small amount of it comes from atmospheric fresh water and organic acid. Ca^{2+} mainly comes from biological debris, followed by calcium feldspar dissolution and hydration of aluminosilicate minerals.

Key words: Calcareous Interlayer; Geological Features; Diagenesis; Material Source