

胜利油气区粒屑碳酸盐岩形成机制与储油气性

张守鹏¹ 蔡进功² 魏魁生¹

(1. 中国地质大学能源地质系, 北京 100083; 2. 同济大学海洋地质与地球物理系, 上海 200092)

摘要: 将胜利油区下第三系发育的粒屑碳酸盐岩划分为鲕粒白云岩、砂屑白云岩、螺屑灰(云)岩、介屑云岩、杂基充填多粒屑云岩、灰质亮晶粒屑云岩等6种类型. 通过分析水波浪在湖岸和高(台)地周缘对粒屑的搅动和搬运过程, 以及屏障湖湾和离岸水下隆起两个减能地形的确定, 阐述了粒屑碳酸盐岩的沉积机理. 根据粒屑粒径平均值 R 和粒屑在岩石中的百分含量 G 所得的经验公式 $W = RG$, 确定了水体能量指数 W , 并以此识别本区存在的特高能级区 ($W > 50$)、高能级区 ($W: 25 \sim 50$)、中能级区 ($W: 10 \sim 25$)、低能级区 ($W: 1 \sim 10$) 和静水区 ($W < 1$) 5个相带. 比较系数(分选系数 T) 可以作为波浪能量和沉积区水体能量的一个判别指标. 根据粒屑碳酸盐岩的沉积作用和后期再造作用所形成的物性条件, 将此类碳酸盐岩储层划分为原生特高渗透层、次生高渗透层、次生中—低渗透层和原生低渗透层4个类型.

关键词: 粒屑; 碳酸盐岩; 形成机制; 储油气性.

中图分类号: P588.24⁺5; P618.130.2⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)02-0147-05

作者简介: 张守鹏, 男, 1963年生, 1986年毕业于华东地质学院岩矿专业, 现从事原油储层评价工作.

粒屑碳酸盐岩是指经过波浪、水流作用(包括岸流、底流及潮汐流)或重力作用改造过的碳酸盐粒屑经再沉积形成的一类岩石, 具有典型粒屑结构特征, 多被认为是异地搬运沉积. 国外不少学者称之为异常化学岩类或异地石灰岩^[1]. 由于此类岩石对储存石油具有特殊意义, 鲍玛、普拉姆利、莱顿等一批国外沉积学家对其进行了深入细致的研究(见文献[1]), 其中普拉姆利关于动荡水环境中半定量解释的论文是最有价值的, 但他们对湖相沉积很少提及. 本文以胜利油区下第三系广泛分布的粒屑碳酸盐岩岩矿鉴定资料为基础, 对该类岩体的沉积机理及石油地质意义做如下浅析.

1 岩石微观特征

综合胜利油区济阳、临清坳陷邵34、邵25、虎4、虎2、花4、阳16、贾2、永4、桩34等钻探井的岩矿分析资料, 发现粒屑碳酸盐岩微观特征的某些差异性与沉积环境和沉积作用方式有关.

(1) 岩性描述. ① 鲕粒白云岩, 总成分以显微自

形粒状白云石(交代成因)为主, 主要组成鲕粒, 由鲕壁向核部结晶颗粒逐渐变粗. 鲕间填隙物以隐、微晶白云石、方解石混杂胶结为主, 常混有微量泥质及陆源粉、细砂, 胶磷矿和黄铁矿. 鲕粒类型有: 砂心表鲕、介心表鲕、真鲕、放射鲕、负鲕、复鲕(图版Ⅲ, 1, 2), 偶见变形鲕, 粒径0.2 mm左右. 鲕粒白云岩中, 有时鲕粒仅是主要结构组分, 同时也含有相当数量的砂屑、生物碎片等. ② 砂屑白云岩, 主要成分为隐、显微晶白云石, 少量方解石、陆源粉、细砂、泥质、黄铁矿等. 砂屑由隐晶白云石组成, 粒径为0.05~0.50 mm, 局部集中, 分布不均. 内部结构较均一(图版Ⅲ, 3, 4). 显微自形粒状白云石沿砂屑边缘分布, 呈栉壳状结构(图版Ⅲ, 11). 常见的砂屑白云岩粒屑组分并不单一, 除砂屑外, 鲕粒、团粒、螺屑、介屑常与其共存. ③ 螺屑灰(云)岩, 方解石、白云石为其主要成分, 另混有少量陆源砂、泥. 方解石以后期充填为主, 螺体、螺壳由白云石(交代成因)组成. 大部分螺体破碎、磨损, 个别近完整的螺其腹腔充填物常为陆源碎屑、藻屑和有机碎片. 个别螺体短轴径达3 cm. 有部分变形鲕和介形虫碎片充填于螺屑间或进入其体腔内(图版Ⅲ, 3). ④ 介屑云岩, 主要成分为显、隐晶白云石, 偶含方解石, 并有微量陆源砂质、泥、有机炭

片混入,有时黄铁矿(草莓状)局部集中.粒屑组分以介虫碎片为主,有时沿介壳长轴方向定向排列(图版Ⅲ,5),通常所指的这类云岩,沙屑、鲕粒含量较少,仅见局部粉屑集中.⑤杂基充填多粒屑云岩,主要成分为隐晶白云石,有时含少量方解石、陆源砂、泥和黄铁矿、有机炭片等.该类岩石中,粒屑组分混杂,粒径大小不一,分选性极差.鲕粒、砂屑、螺屑、介壳、陆源砂不均匀掺杂(图版Ⅲ,3,4),隐晶碳酸盐及陆源砂泥等杂基充填粒屑间.⑥灰质亮晶粒屑云岩,主要成分以白云石为主,方解石(含铁)次之,有时含微量陆源砂.这类岩石由白云石组成的粒屑物互不接触,其间隙被后期亮晶方解石充填(图版Ⅲ,9).粒屑并不只是由单一组分形成,常常具多粒屑结构.充填于粒屑间的方解石含量大于 50% 时,岩石过渡为白云质粒屑灰岩.

(2)粒屑物质的异地搬运标志.①鲕粒、砂屑具变形结构(图版Ⅲ,7,8)和较差的分选性.粒屑搬运过程中,相互间发生碰撞、挤压,较软的颗粒组分会发生变形,较硬的组分被磨圆.只有搬运过程中大幅度的减能作用,才会造成粒屑沉积物的分选性差.②生物遗骸的破碎程度和定向排列特征(图版Ⅲ,6).虽然有些生物生活于动荡水环境中,但其遗骸可较完整地保存.因为这些生物之所以能在这样的水环境中生存,其本身壳壁就具有一定的抗碰撞能力.生物碎片的大量出现,标志着生物残骸的异地搬运过程.部分介壳长轴方向的定向分布,更能说明它们是在一定水流作用下沉积的^[2].③生物体腔内具异源充填物.常见螺腹腔中充填有陆源的中、细砂和不同于粒间孔隙成分(沉积介质)的藻屑及介屑等(图版Ⅲ,3,10).这一现象说明螺体是从另一水环境搬运而来.④完整螺体的示顶或示底构造(图版Ⅲ,12).流水搬运过程中,充填于螺腔内的砂泥由于长期运移过程中的水波振荡作用,使其向螺体顶部或底部逐渐集中,从而使另一侧的空顶或空底露出水面而形成此构造^[2].

2 沉积机理

2.1 水波浪作用

(1)沿岸搅动迁移.风吹扬作用引起的湖水波浪拍击湖岸,而这一地带是生物繁殖生存的主要场所,有些生物甚至专习惯于在动荡水环境中生存.古生物分析表明:沙一段出现的 *Winiocypris subtriangularis*

(近三角小星介)、*Pseudocandona deplanata*(扁假玻璃介)、*Phacocypris*(小豆介)、*Melanoides*(拟黑螺)、沙二段出现的 *Tuberoxyproides sulcata*(斜槽拟结星介)、*Camarocypris elliptica*(椭圆拱星介)、*Truncatus*(平顶螺)、*Tulotomoides terrassa*(阶状似瘤田螺)及沙四段出现的 *Cypris chunhuaensis*(纯化金星介)、*Limnocythere nodosa*(瘤凸湖花介)、*Hydrobia liuqiaoensis*(柳桥水螺)等,均为生活于浅水动荡环境中的生物.由于湖水波浪的强弱变化,风向也时有变化,部分生物,包括生物遗体便会被水波浪捕获,沿风向迁移.岸边陆源砂泥在波浪搅动过程中部分进入生物腹腔内.

(2)碳酸盐台地形成的水下隆起、湖心岛等,其周缘不仅生物活动繁盛,而且固结或弱固结的碳酸盐物质也会在波浪作用下被冲蚀破碎,再由波浪反复拍击成圆或次圆状.波能和风向转变时,这些生物和碳酸盐碎屑便会沿风向迁移.

(3)粒屑物搬迁过程中,波浪将多次搅动形成的鲕粒、砂屑、生物碎片和少量陆源砂向前推进.虽然有些螺体粗大,但因具有空腹腔,因此能与更细小的砂屑一起搬迁,有时也见水下滚动的迹象(棱角被磨蚀).粗屑集中于浪头区和浪顶区.当前级浪头能量降至不足以搬运所能携带的粗粒屑时,后级浪头迅速接至,即浪涌浪向前推进.

(4)水能分级.水波浪能量的大小可由沉积岩石的结构组分特征确定.莱顿和潘德克斯特指出,颗粒(粒屑)/灰泥比率是反映水体能量基准的一个参数,并依据此参数对粒屑碳酸盐岩进行了分类(见文献[1]).他们认为:高能量的水体一定能够携带更多的颗粒(粒屑)物质.在运用这一理论时,发现有两个不易解释的问题:一是碳酸盐粒屑物质含量高达 90% 以上时,粒径值却很小,多以粉屑为主,按莱顿公式所确定的水体能量应该很高,实际情况则是,低能级水波浪便能使粉屑物质搬运;二是碳酸盐粒屑物质含量略占主导地位时,灰泥充填较多,而粒屑粒径很大,常见陆源中、细砂充填粒内,按莱顿公式计算,此水体能量并不很高.实际情况则是,没有高能水波浪是不能将粗大颗粒搬迁的.

通过上述分析认为,在肯定了碳酸盐粒屑含量是指示水体能量的基本参数外,还应将粒屑的平均粒径考虑在其中.此二参数值与水能均呈正相关关系.可用如下经验公式表示:

$$W = RG. \quad (1)$$

式中: W 为水能指数(无量纲参数); R 为占主导地



图1 水波浪能量级区

Fig.1 Grades of wave energy

位的粒屑粒径平均值, mm; G 为粒屑百分含量, %.

根据所确定的水能指数 W , 结合钻井实际资料, 将水波浪能量划分为 5 个级区(图 1), 即特高能级区($W > 50$)、高能级区($W: 25 \sim 50$)、中能级区($W: 10 \sim 25$)、低能级区($W: 1 \sim 10$)和静水区($W < 1$), 所对应的浪级分别为巨浪、高浪、中浪、低浪和水微波.

2.2 沉积区特征分析

(1)减能地形. ①屏障湖湾(图 2): 即湖岸延向开阔湖泊凸出部分两侧形成的湾口. 岸线方向与有效常风向基本一致时, 风吹扬作用形成的波浪对携带的粒屑物质进行搬运和机械分选, 当波浪绕过屏障进入湖湾区时, 波法线与岸线夹角突然变小, 纵向流体对粒屑携持力减弱, 载容量减少, 造成大量粒屑物质在湖湾区堆积, 形成粒屑滩. 此类沉积体常混有一定量的砂、泥成分, 推测其物源为滨湖、浅湖相生物繁殖区和近岸陆源凸起. 花 4 井、桩 34 井、虎 4 井、永 4 井均属此类. ②离岸水下隆起区(图 3): 隆起为火山岩或碳酸盐岩高地. 携带粒屑物质的波浪



图2 屏障湖湾地形示意

Fig.2 Topographic sketch for the barrier bay

在水下隆起顶部和凹折带波动幅度被消减, 使波能释放, 造成粒屑物质在隆起顶部、斜坡带及风绕过隆起的延伸方向沉积. 伴随波能逐渐减弱过程, 粒屑物质沉积由隆起顶部向背波延伸方向粒度由粗变细进行分选. 这类成因的岩石其泥砂含量极少, 缓坡带常发育藻滩(图版 III, 10). 邵 34 井、阳 16 井、贾 2 井即属此类.

(2)沉积分选. 驱动水波浪携带粒屑物质进入沉积区后, 沉积物分选性决定于沉积区能量消减的程度. 当沉积区水体能量接近于驱动水波能量时, 仅造成一些相对粗大的粒屑沉积, 则分选好; 当沉积区水体能量与驱动水波能量差值很大时, 不同粒径的粒屑便会同时沉积, 则分选差^[3].

(3)能量比较系数. 为使沉积区水体能量与驱动水波能量定量区分, 依据粒屑物质分选性确定能量比较系数 T . 即

$$T = (D_{25}/D_{75})^{1/2}. \quad (2)$$

式中: T 为能量比较系数(即分选系数); D_{25} 为累积百分比在 25% 时所对应的粒屑直径, mm; D_{75} 为累积百分比在 75% 时所对应的粒屑直径, mm. T 值越



图3 离岸水下隆起沉积模式

Fig.3 Sedimentary mode of off-shore subaqueous high topographic region

表 1 储层类型 - 水波能量指数

Table 1 Correspondence of different reservoirs to wave energy indexes

储层类型	能级区	水波能量 指数/W	搅动程度	浪级	代表井	井段/m	粒屑性质	孔隙度/ %	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	能量比较 系数
原生特高渗透层	特高能级区	>50	剧烈搅动	巨浪	阳 16 井	1 290.00~1 297.00	螺屑—鲕粒	35	500~1 000	1.0~2.0
次生高渗透层	高能级区	25~50	强烈搅动	高浪	贾 2 井	2 683.00~2 689.00	鲕粒—生物	25~30	100~500	2.0~3.5
次生中—低渗透层	中能级区	10~25	中等搅动	中浪	邵 34 井	2 158.00~2 162.70	表鲕—砂屑	5~20	50~100	3.5~5.0
原生低渗透层	低能级区	1~10	间歇搅动	低浪	邵 34 井	2 169.90~2 170.37	粉屑—介屑	1~5	5~50	>5.0
非渗透层	静水区	<1	轻微搅动	水微波	邵 34 井	2 170.37~2 177.00	少见	<1	<5	

接近 1, 分选性越好, 说明沉积区水体能量越接近驱动水能量; T 值偏离 1 越大, 分选越差, 两能量差也就越大。此处粒度分选宜采用薄片粒度法, 筛析法不适用粒屑物质粒度测定。

(4) 特殊沉积背景。在上述两种减能地形条件下形成的粒屑碳酸盐岩体, 一般厚度较薄, 并向两侧或一侧尖灭。而部分井却发现, 粒屑沉积体厚度数十 m 至百 m, 并伴有较多的构造滑塌块体, 其中以桩 34 井 2 817.10~2 864.20 m 段沙一段粒屑岩体最典型。由于该岩体位于构造断层下降盘一侧, 因此, 该沉积区除接受波浪粒屑沉积外, 高地陆源砂泥在风暴、洪水作用下常进入洼地湖盆, 与粒屑物同时沉积。岩石的粒序渐变层理和砂泥分布的不均匀性可以证实这一点。在不断沉积的同时, 构造活动仍在继续, 下降盘不断下沉, 上部弱固结沉积物经常发生滑塌、扭转。类似情况在花 4 井个别深度也见到。

2.3 后期再造作用

(1) 冲刷。以鲕粒、砂屑、生物碎片为主的粒屑物质沉积后, 沉积区水体能量将随时间或事件发生变化。在某一低能条件下沉积的大小粒屑物, 可能会有较多的泥晶碳酸盐岩和泥质充填其间隙中。随着水能量的不断变化, 弱固结沉积体遭受冲刷作用, 大部分填隙物和粉屑再次被冲走, 粒屑骨架内成为空隙。尽管再次沉积作用可能会使泥晶物质覆盖下部岩体, 但再充填于空隙中的泥晶物质却微乎其微。因此, 岩体中常保留以泥晶条带为主要标志的间歇韵律层记录。(2) 充填。沉积粒屑岩体埋藏后, 因断层发育不断遭受大气淡水、湖水或两者混合溶液的下渗淋滤作用, 有利于形成次生孔隙, 岩体空隙中含有大量碳酸盐水, 在地热和应力作用下发生重结晶。一般微、细晶结构方解石受地热影响较大, 巨晶结构方解石的形成受应力作用影响较大。当然, 结晶方解石在介质条件发生变化时, 也遭受不同程度的溶蚀作用, 灰质亮晶粒屑云岩即属此类。

3 储油气性

由于粒屑碳酸盐岩具有典型的颗粒支撑骨架, 因此具备丰富的储油气空间, 主要有粒间孔、粒内溶孔、负鲕孔、生物溶孔、生物铸模孔、晶间孔。而沙河街组又是主要的生油层, 因此这类岩体常常是油气聚集场所。上述诸分析井, 累积原油日产量 1 000 t 以上。由于岩石遭受后期成岩作用影响程度不同, 原生沉积水能指数、分选性也有差别, 因此, 孔隙发育程度不一致。结合孔渗资料, 将这类储层分为以下 4 种类型(表 1)。(1) 原生特高渗透层($W>50$, $T:1.0\sim 2.0$)。主要受沉积环境影响, 由螺屑、高能鲕等颗粒支撑构成。成岩作用不明显, 对孔隙影响甚微。该类储层孔隙度 35%, 渗透率大于 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。(2) 次生高渗透层($W:25\sim 50$, $T:2.0\sim 3.5$)。主要受成岩环境影响, 鲕粒、砂屑、生物碎片分布不均。白云石化和溶解现象强烈。该类储层孔隙度 25%~30%, 渗透率 $(100\sim 500) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。(3) 次生中—低渗透层($W:10\sim 25$, $T:3.5\sim 5.0$)。沉积环境、成岩环境均有影响。粒屑组分混杂。次生溶孔较发育, 也残留微量原生孔。孔隙度 5%~20%, 渗透率 $(50\sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。(4) 原生低渗透层($W:1\sim 10$, $T>5.0$)。受沉积地形影响, 生物碎片、粉屑含量相对较高, 有时定向分布。孔隙度 1%~5%, 渗透率 $(5\sim 50) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4 结论

(1) 由于胜利油区复杂的构造体系, 使下第三系湖底地形多变, 凹凸相间, 这类地形有利于粒屑碳酸盐岩的沉积。(2) 粒屑碳酸盐岩有丰富的储集空间, 该类岩体与生油层接近, 因此是重要的油气聚集场所。(3) 粒屑物质的搬运沉积主要受驱动水波浪和减能地形控制, 因此可结合勘探资料追溯有利沉积区,

也可参照 W , T 值进行定量评价。

参考文献:

- [1] Chilingar G V, Bissell H J, Fairbradge R W, 等. 沉积学的进展《碳酸盐岩》[M]. 冯增昭译. 北京:石油化学工业出版社, 1967.
- [2] 杜韞华. 渤海湾地区下第三系湖相碳酸盐岩储集层研究[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(4): 376~392.
- [3] 刘宝. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1980.

图 版 说 明

图 版 III

1. 鲕粒结构: 砂心表鲕、介心表鲕、负鲕等, 单偏光, $\times 25$. 邵 34 井, 2 158.55 m
2. 大量表鲕和个别复鲕, 粒屑分选较差, 正交偏光, $\times 25$. 邵 35 井, 2 168.12 m
3. 隐晶白云石组成的砂屑充填螺腔. 单偏光, $\times 63$. 邵 34 井, 2 159.05 m
4. 砂屑局部密集分布, 粒屑分选较差, 单偏光, $\times 25$. 邵 34 井, 2 159.15 m
5. 介形虫碎片长轴分布略具定向排列, 单偏光, $\times 63$. 邵 34 井, 2 170.91 m
6. 螺、介形虫等生物碎片, 部分溶蚀, 正交偏光, $\times 25$. 邵 34 井, 2 169.90 m
7. 鲕粒、砂屑间由隐、显微晶白云岩充填, 呈基底式胶结, 正交偏光, $\times 63$. 邵 34 井, 2 167 m
8. 栉壳状结构白云石型呈接触式胶结, 正交偏光, $\times 63$. 邵 34 井, 2 169.42 m
9. 方解石充填于粒屑间形成基-孔式胶结, 正交偏光, $\times 63$. 邵 34 井, 2 164 m
10. 藻粒屑, 正交偏光, $\times 63$, 阳 16 井, 1 296.83 m
11. 砂屑间白云石重结晶形成大量晶间微孔, 单偏光, $\times 160$. 邵 34 井, 2 154.85 m
12. 鲕粒、砂屑间充填分解石, 孔隙(生物溶孔)较发育, 但连通性较差, 正交偏光, $\times 25$. 邵 34 井, 2 168.92 m

SEDIMENTARY MECHANISM AND RESERVOIR IMPLICATION OF GRAINED CARBONATE IN SHENGLI OILFIELD

Zhang Shoupeng¹ Cai Jingong² Wei Kuisheng¹

(1. Department of Energy Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Department of Marine Geology and Geophysics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this paper, the Paleogene grained carbonate rocks in the Shengli oilfield, east of China are divided into six types: oolitic dolomite, sand-clastic dolomite, gastropod-clastic limestone or dolomite, ostracod-clastic dolomite, multigrain-filled matrix dolomite and calcareous sparry grain-clastic dolomite. The sedimentary mechanism of grain-clastic carbonate rocks is described herein based on the analysis of the disturbance and transportation process of grained clasts along the coast and around the platform, and on the determination of two types of energy-reducing topography caused by the subaqueous topographic rise in the barrier bay and the off-shore area. An empirical formula: $W = RG$, where R represents the average diameter of the grained clasts and G represents the percentage content of the grained clasts in the rocks, has been used to determine the W , a water-body energy index. This formula can also be used to identify five facies zones in this region: the super-high energy grade ($W > 50$), high energy grade ($W: 25 \sim 50$), medium energy grade ($W: 10 \sim 25$), low energy grade ($W: 1 \sim 10$) and static water grade ($W < 1$). The comparison coefficient (the sorted coefficient) can be used as an index to identify the wave energy and the water-body energy in a sedimentary zone. The carbonate reservoir can be divided into four types of permeability layers: primary superhigh, secondary high, secondary medium-low and primary low permeability layers, in line with the physical properties caused by the deposition and post-depositional reconstruction of the grain-clastic carbonate rocks.

Key words: grained clasts; carbonate rock; sedimentary mechanism; reservoir implication.