

# Research on Petrology and Diagenesis Characteristics of Sandstone Reservoir in Palaeogene of Huanghekou Depression

Chunchen Zhao<sup>1</sup>, Hao Liu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd., Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>School of Ocean Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing

Email: <sup>\*</sup>lhcugb@163.com

Received: Dec. 14<sup>th</sup>, 2016; accepted: Feb. 23<sup>rd</sup>, 2017; published: Apr. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Because the sand body type and diagenetic process were complex in the Palaeogene reservoir of Huanghekou Depression, for the purpose of providing the basis for the reservoir optimization, it was necessary to sum up the Palaeogene petrologic and diagenetic characteristics in the depression. Through plenty of basic analyses and drilling slice observation, the characteristics of greywacke and pure sandstone were distinguished and it was defined that the pure sandstone was the major reservoir in Palaeogene. And the pure sand reservoirs were divided into three types and eight kinds. In the Palaeogene of Huanghekou Depression, arkose was dominant. Meanwhile, from the bottom up, the proportion of quartz sandstone type showed increasing trend and lithic sandstone type was in decreasing trend. During the diagenetic process, sand reservoir has experienced compaction pressolution, cementation, metasomatism, alteration, dissolution and clay mineral transformation. The whole diagenesis process and reservoir physical property in different zones are influenced by the differences of petrologic characteristics.

## Keywords

Sand Reservoir, Petrology Characteristics, Compositions-Genesis Type, Diagenesis, Palaeogene, Huanghekou Depression

---

---

\*通信作者。

# 黄河口凹陷古近系砂岩储层岩石学及成岩作用特征研究

赵春晨<sup>1</sup>, 刘 豪<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安

<sup>2</sup>中国地质大学(北京)海洋学院, 北京

作者简介: 赵春晨(1987-), 男, 博士, 工程师, 主要从事油气勘探及储层预测等方面的研究工作。

Email: lhucgb@163.com

收稿日期: 2016年12月14日; 录用日期: 2017年2月23日; 发布日期: 2017年4月15日

## 摘 要

黄河口凹陷古近系储集砂体类型和成岩过程复杂, 为储层优选提供依据, 需要全面总结黄河口凹陷古近系砂岩储层的岩石学特征和成岩作用特征。通过大量的基础分析测试工作以及钻井薄片观察, 将杂砂岩和净砂岩的特征进行区分, 明确了净砂岩是古近系的主要储层, 并将其划分至3类8种成分-成因储层类型。黄河口凹陷古近系砂岩储层以长石砂岩类为主, 地层单元由下至上石英砂岩类比例呈增加趋势, 岩屑砂岩类呈减少趋势。砂岩成岩过程中经历了压实压溶、胶结、交代、蚀变、溶解、黏土矿物转化等6种成岩作用, 储层岩石学特征的差异影响了不同层位储层的成岩作用及其储层物性。

## 关键词

砂岩储层, 岩石学特征, 成分-成因类型, 成岩作用, 古近系, 黄河口凹陷

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

黄河口凹陷位于渤海湾盆地东南部, 覆盖面积约 2370 km<sup>2</sup>, 整个凹陷坐落在古老中朝地台之上, 受控于渤中 34 构造东界的走滑断层和渤南低凸起的南界断层。整体而言, 黄河口凹陷内古近系发育较为齐全, 由老至新发育有孔店组(E<sub>1-2</sub>k)、沙河街组(E<sub>2-3</sub>s)、东营组(E<sub>3</sub>d) (其中沙河街组三段上亚段(E<sub>2</sub>s<sub>3</sub><sup>上</sup>)由于遭受强烈剥蚀而不发育)。黄河口凹陷是渤海湾盆地内的一富油气凹陷, 其古近系和新近系油气藏作为两大勘探层系, 资源量十分可观[1]-[7]。鉴于古近系具有良好的生储组合和勘探前景, 其储集层一直也是众多专家关注的重点[8]-[13]。已有学者对 E<sub>2-3</sub>s 等部分层段的砂岩储层特征进行了描述[8] [9], 针对储层的主控因素[10] [11]及平面预测[11] [12]等内容, 也开展了一定的研究工作。但整体而言, 黄河口凹陷储层的研究力度还需深入, 尤其是从宏观方面针对整个古近系砂岩储层岩石学和成岩作用的研究较为欠缺, 影响了未来优质储层的优选以及有利目标的确定, 限制勘探的步伐。

该次研究基于基础资料, 通过大量的基础分析测试以及岩屑、壁心和岩心的染色铸体薄片或普通薄

片观察等方法[14][15][16][17], 系统观察总结、详细统计分析, 最终确定了砂岩储层的分类方案, 并对不同类型储层进行划分、统计, 明确了黄河口凹陷整个古近系砂岩储层的优势类别、变化趋势, 分析了其微观成岩作用以及岩石学特征对成岩作用的影响, 突破原有研究层系单一的局限, 以期为日后的黄河口凹陷的储层评价、油气藏综合研究、勘探目标的优选等提供依据。

## 2. 砂岩储层岩石学特征

### 2.1. 砂岩储层成分-成因分类

为更清晰地掌握古近系砂岩储层类型, 通过砂岩中杂基含量的差异, 将砂岩样品划分为杂砂岩和净砂岩(图 1), 并将净砂岩储层设定为研究目标, 制定了成分-成因分类方案。根据石英、长石和岩屑的体积分数, 对净砂岩进行砂岩类型的划分, 将其分为石英砂岩、长石砂岩和岩屑砂岩 3 大类, 并依据内部矿物体积分数的差异进一步划分为 8 种成分-成因类型(图 2)。

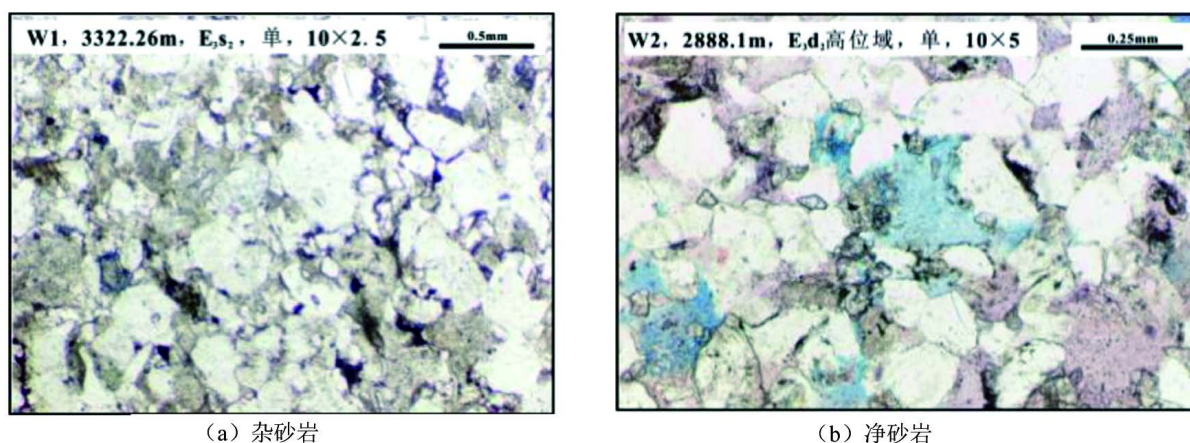


Figure 1. The microscopic characteristics of greywacke and pure sandstone  
图 1. 杂砂岩与净砂岩微观特征

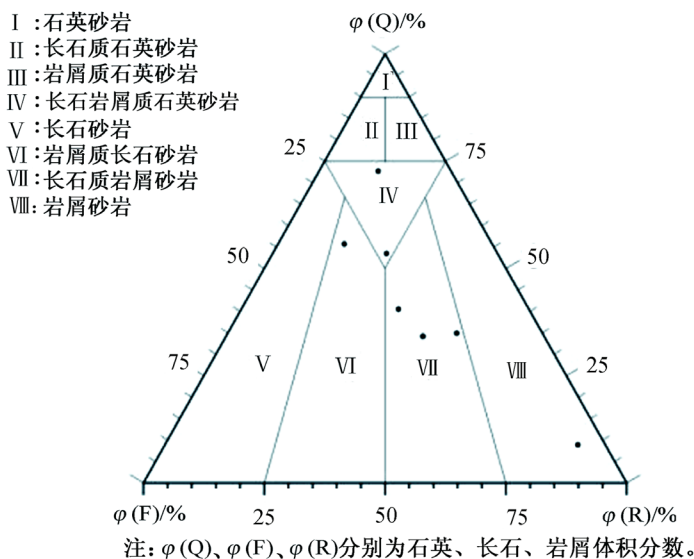


Figure 2. The compositions-genesis type of sandstone reservoir in  $E_{1-2k}-E_{2s4}$  (Fourth Member of Shahejie Formation)  
图 2.  $E_{1-2k}-E_{2s4}$  (沙河街组四段)砂岩储层成分-成因分类

## 2.2. 砂岩储层成分-成因类型及分布规律

研究区出现的砂岩成分类型较多，8种成分-成因类型的砂岩均有出现，总体上以长石砂岩类为主，但不同层位砂岩的优势成分-成因类型及发育规律具有明显的差别。

### 2.2.1. E<sub>1-2k</sub>-E<sub>2s4</sub> 储层类型

E<sub>1-2k</sub>-E<sub>2s4</sub>为古近系下部地层单元，该次样品数据共有7个。就目前分析结果而言，E<sub>1-2k</sub>-E<sub>2s4</sub>中岩屑砂岩类占优势，并以长石质岩屑砂岩居多，所占比例约为57% (由于E<sub>1-2k</sub>和E<sub>2s4</sub>岩性地层难以区分，因此将二者做合并分析)(表1，图2)。

Table 1. The statistical table of pure sandstone reservoir in different strata

表 1. 不同层段净砂岩储层统计表

| 砂岩类别  | 不同层段样品数/个                           |                              |     |                              |     |                  |                  |                  |     |                  |     |                  |    |
|-------|-------------------------------------|------------------------------|-----|------------------------------|-----|------------------|------------------|------------------|-----|------------------|-----|------------------|----|
|       | E <sub>1-2k</sub> -E <sub>2s4</sub> | E <sub>2s3<sup>l</sup></sub> |     | E <sub>2s3<sup>m</sup></sub> |     | E <sub>3s2</sub> | E <sub>3s1</sub> | E <sub>3d3</sub> |     | E <sub>3d2</sub> |     | E <sub>3d1</sub> |    |
|       |                                     | 湖扩域                          | 高位域 | 湖扩域                          | 高位域 |                  |                  | 湖扩域              | 高位域 | 湖扩域              | 高位域 |                  |    |
| 石英砂岩  | -                                   | -                            | -   | -                            | 1   | -                | -                | -                | 2   | -                | -   | -                |    |
| 石英砂岩类 | 长石质石英砂岩                             | -                            | -   | -                            | 2   | 6                | 7                | 6                | 9   | 7                | 13  | 3                |    |
|       | 岩屑质石英砂岩                             | -                            | -   | -                            | -   | -                | -                | -                | 1   | -                | -   | -                |    |
| 长石砂岩类 | 长石岩屑质石英砂岩                           | 2                            | -   | 5                            | 1   | 25               | 35               | 18               | 19  | 15               | 9   | 21               | 36 |
|       | 长石砂岩                                | -                            | 22  | 6                            | 1   | 6                | 43               | 35               | 33  | 46               | 11  | 18               | 17 |
| 岩屑砂岩类 | 岩屑质长石砂岩                             | 1                            | 52  | 39                           | 6   | 24               | 91               | 34               | 9   | 4                | 4   | 12               | 6  |
|       | 长石质岩屑砂岩                             | 3                            | 17  | -                            | -   | 1                | 13               | 3                | 1   | -                | -   | 5                | 4  |
|       | 岩屑砂岩                                | 1                            | 1   | -                            | -   | 2                | 2                | -                | -   | -                | 1   | 4                | 1  |
| 总样品数  | 7                                   | 92                           | 50  | 8                            | 61  | 190              | 97               | 68               | 77  | 32               | 73  | 67               |    |

注：E<sub>2s3<sup>l</sup></sub>为沙河街组三段下亚段；E<sub>2s3<sup>m</sup></sub>为沙河街组三段中亚段；E<sub>3s2</sub>、E<sub>3s1</sub>分别为沙河街组二段、一段；E<sub>3d3</sub>、E<sub>3d2</sub>、E<sub>3d1</sub>分别为东营组三段、二段、一段。

### 2.2.2. E<sub>2s3</sub>(沙河街组三段)-E<sub>3s1</sub> 储层类型

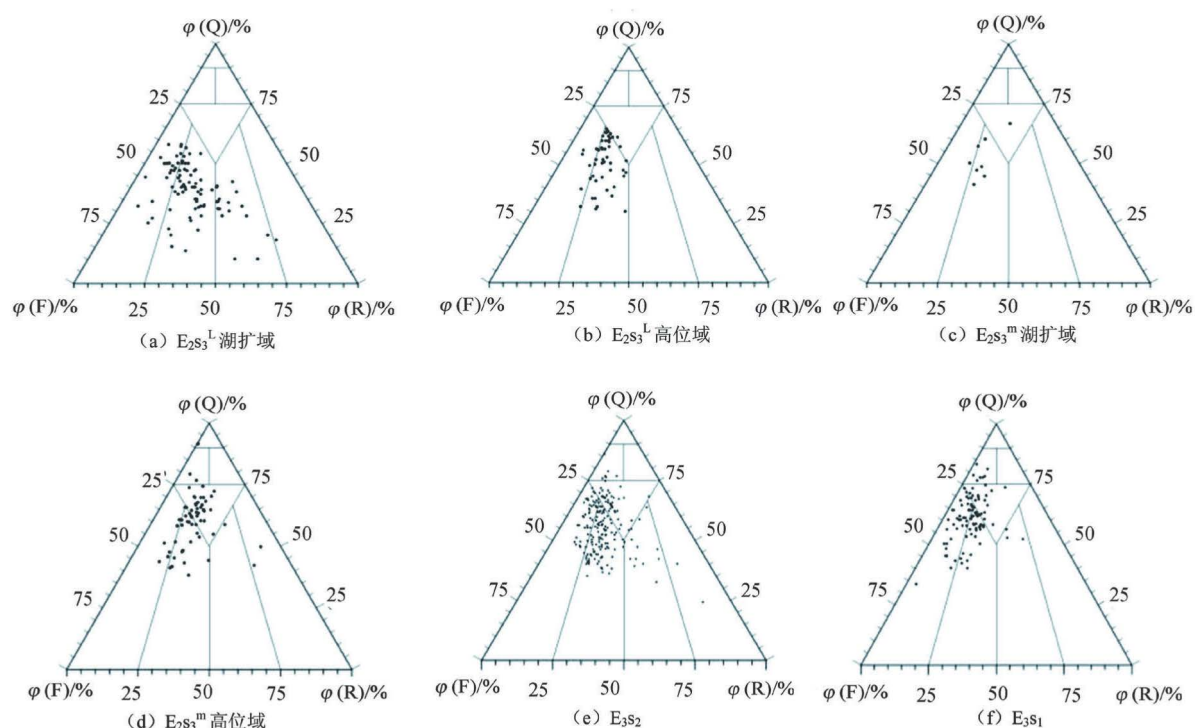
该段所采集的样品数量较多，E<sub>2s3<sup>l</sup></sub>-E<sub>3s1</sub>的具体分析结果如表1所示。整体观之，长石砂岩类(长石砂岩和岩屑质长石砂岩)占据绝对优势，在E<sub>2s3</sub>-E<sub>3s1</sub>其所占比例均基本高于50%；而进入E<sub>2s3<sup>m</sup></sub>高位域沉积时期以后，长石岩屑质石英砂岩无论样点数还是所占比例均有所增加。因此相对于其他类型的砂岩储层，上述3种储层为该层段的主力储层类型(表1，图3和图4)。

### 2.2.3. E<sub>3d3</sub>-E<sub>3d1</sub> 储层类型

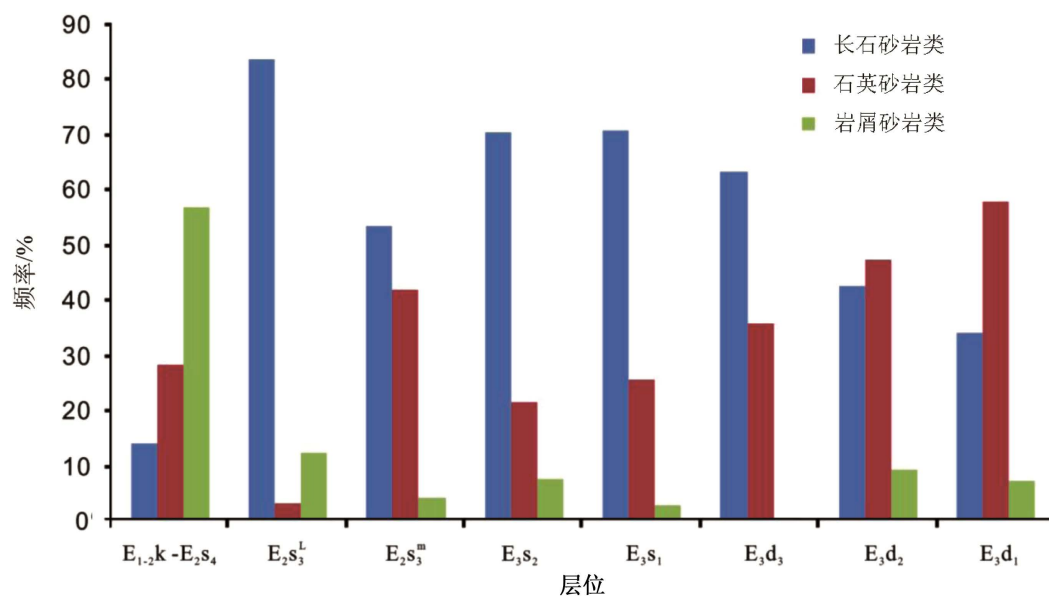
E<sub>3d</sub>沉积时期，长石砂岩类同样为优势储层类型出现，但呈现比例逐渐降低的趋势；而石英砂岩类自E<sub>3d3</sub>沉积时期开始，比例逐渐增加，最高比例可达58.21%，且在E<sub>3d2</sub>沉积时期已替代长石砂岩类成为主要储层类型(表1，图4和图5)。

### 2.2.4. 古近系砂岩储层分布规律

综合以上各层段的储层类型分析，明确了3类8种净砂岩在古近系均可见，但所占比例差异较大。通过对整个古近系不同层段、不同净砂岩储层类型频率的统计(图4)，揭示古近系长石砂岩类储层占优势地位，且呈现中部地层含量高，顶部和底部地层含量相对减小的趋势；石英砂岩类储层在中下部地层基本占据次席，至E<sub>3d2</sub>-E<sub>3d1</sub>含量超过长石砂岩类储层；岩屑砂岩类整体出现频率较小，含量偏低

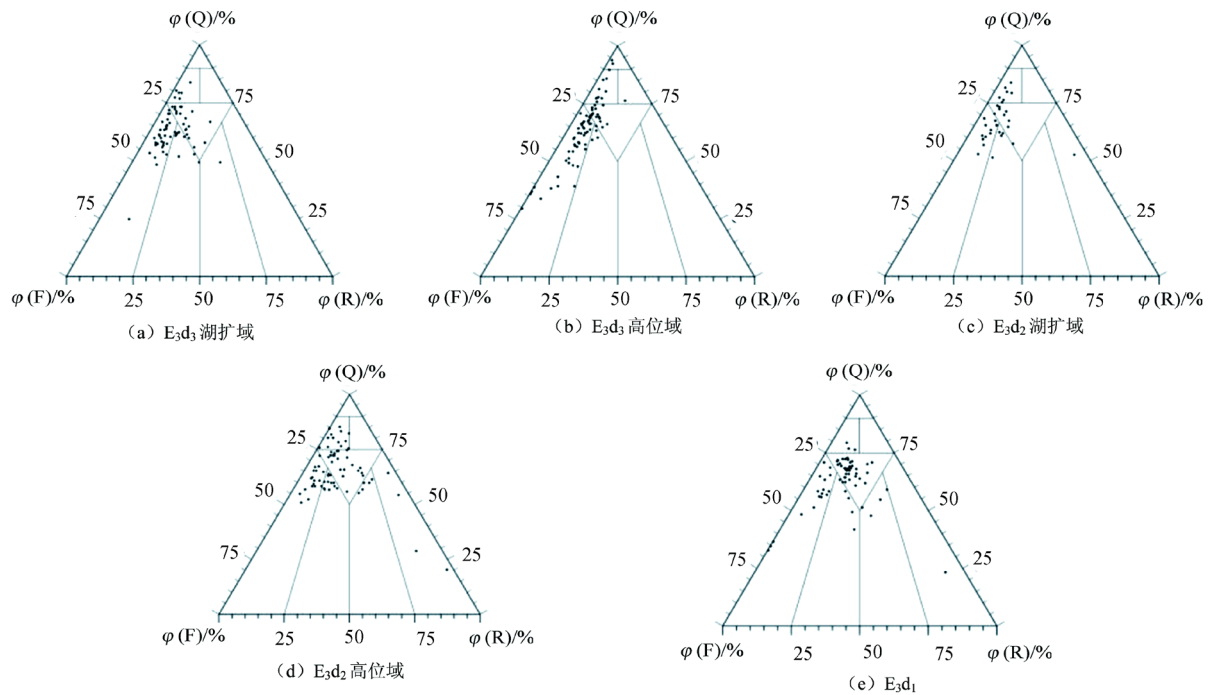


**Figure 3.** The compositions-genesis type of sandstone reservoir in  $E_2S_3-E_3S_1$   
**图 3.**  $E_2S_3-E_3S_1$  砂岩储层成分-成因分类



**Figure 4.** The frequency histogram of pure sandstone reservoir type in different strata  
**图 4.** 不同层段净砂岩储层类型频率柱状图

(除  $E_{1-2k}-E_{2S4}$  比例较高)。因此, 古近纪地层单元由下至上, 石英砂岩类比例呈增加趋势, 而岩屑砂岩类呈减小趋势, 说明了黄河口凹陷古近系经历了随着沉积物搬运距离逐渐增加, 近源沉积逐渐向远源沉积过渡, 而沉积颗粒混杂堆积逐渐向分选堆积转变的过程。



**Figure 5.** The compositions-genesis type of sandstone reservoir in E<sub>3</sub>d<sub>3</sub>-E<sub>3</sub>d<sub>1</sub>  
**图 5.** E<sub>3</sub>d<sub>3</sub>-E<sub>3</sub>d<sub>1</sub> 砂岩储层成分-成因分类

### 3. 成岩作用特征

#### 3.1. 成岩作用类型

通过镜下观察分析，黄河口凹陷古近系净砂岩主要成岩作用类型有压实压溶、胶结、交代、蚀变、溶解、黏土矿物转化等 6 种(图 6)。图 6(a)和图 6(b)反映了压实压溶作用，如 E<sub>3</sub>d<sub>2</sub> 高位域白云母被压断，支撑作用消失，孔隙被填充后储集空间缩小；又或 E<sub>2</sub>s<sub>3</sub><sup>m</sup> 湖扩域砂岩中长石含量较高时石英-长石间的压溶。图 6(c)为 E<sub>2</sub>s<sub>3</sub><sup>l</sup> 湖扩域亮晶方解石的嵌晶胶结，属于成岩作用中后期，孔隙水中饱和碳酸钙在颗粒间缓慢沉淀，从而逐渐形成胶结物。图 6(d)为 E<sub>3</sub>s<sub>2</sub> 方解石对碎屑石英的交代作用，碎屑石英的成分被方解石置换，进而在碎屑石英的边缘和裂纹处发生交代，二者间呈不规则状接触。蚀变作用同样在古近系较为常见，如图 6(e)，表现为长石的绢云母化，绢云母沿长石解理纹分布。与此同时，从 E<sub>2</sub>s<sub>4</sub> 到 E<sub>3</sub>d<sub>2</sub> 均可见到由溶解作用形成的次生孔隙，如图 6(f)中长石被溶解成蜂窝状。除以上 5 种成岩作用之外，黏土矿物的转化作用在黄河口凹陷古近系较为普遍。

由图 7 可见，埋深小于 3500 m 时，有蒙脱石存在，其体积分数( $\varphi(S)$ )基本大于 10%；当埋深小于 3000 m 时，伊利石体积分数( $\varphi(I)$ )多在 10%~50%之间，埋深在 3000~3300 m 时， $\varphi(I)$ 快速增加，埋深大于 3300 m， $\varphi(I)$ 较高；绿泥石体积分数( $\varphi(C)$ )基本处于 25%以下，且随深度增加  $\varphi(C)$ 具有不断减少的趋势；高岭石体积分数( $\varphi(K)$ )普遍少于 30%，偶见异常高值；伊蒙混层普遍存在，且当埋深小于 3900 m，其体积分数( $\varphi(IS)$ )达 70%。黏土矿物分析结果表明，黄河口凹陷古近系砂岩进入黏土矿物快速转化带。

#### 3.2. 岩石学特征对成岩作用的控制

在砂岩储层形成的过程中，不同成分-成因类型对成岩作用影响较大。例如，在长石质石英砂岩类中，长石含量较高，与石英含量相近，则长石与石英接触几率增加，石英-长石间的压溶作用为主导作用，

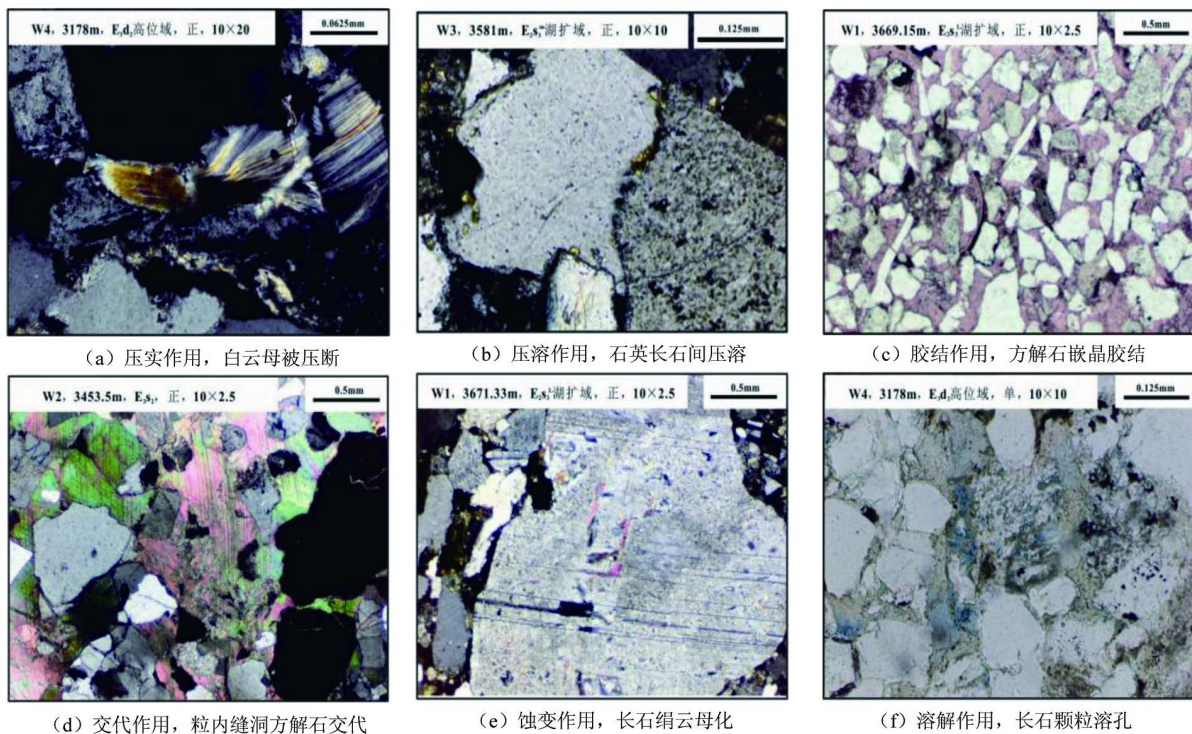


Figure 6. The microscopic characteristics of pure sandstone diagenesis  
 图 6. 净砂岩成岩作用微观特征图

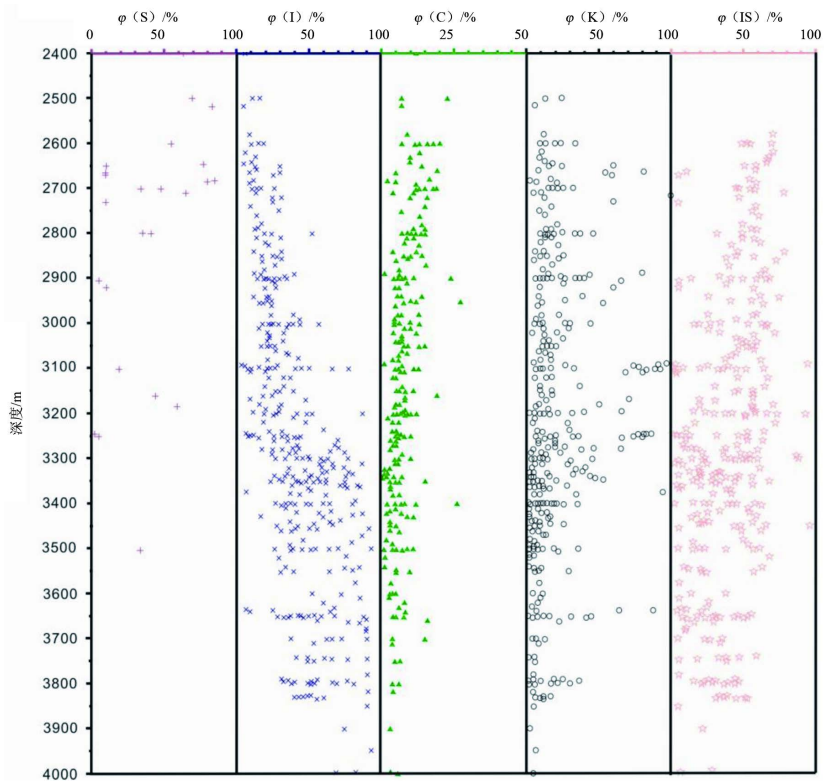


Figure 7. The vertical distribution of clay mineral volume fraction  
 图 7. 黏土矿物体积分数纵向分布图

导致粒间原生孔隙降低(图 6(b)); 而长石砂岩类由于部分骨架颗粒和填隙物易发生溶解(碎屑长石、碎屑石英、岩屑等), 在孔隙水的作用下, 进而产生次生孔隙(图 6(f)), 古近系样品分析结果表明,  $E_2s_4-E_3d_2$  沉积时期溶解作用形成的次生孔隙普遍存在。因此, 岩石学特征的差异将会影响不同层位储层的成岩作用, 同时成岩过程中的差异在一定程度上决定着各类储层的物性特征。

#### 4. 结论

1) 根据砂岩储层的杂基含量, 将砂岩储层分为杂砂岩和净砂岩两大类, 研究区古近系主要储层类型为净砂岩; 而对于净砂岩, 根据石英、长石和岩屑的体积分数, 进一步划分为 3 类 8 种成分-成因储层类型。

2) 整体而言, 长石砂岩类储层占主导地位, 含量普遍较高, 地层单元由下至上石英砂岩类比例呈增加趋势, 而岩屑砂岩类呈减小趋势。

3) 净砂岩储层经历了压实压溶、胶结、交代、蚀变、溶解、黏土矿物转化等 6 种成岩作用。

4) 岩石学特征的差异影响了不同层位储层的成岩作用, 同时成岩过程差异在一定程度上决定着各类储层的物性特征。

#### 参考文献 (References)

- [1] 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中坳陷及其周围油气勘探的主要领域[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 145-156.
- [2] 姚益民, 梁鸿德, 蔡志国, 等. 中国油气区第三系(IV)渤海湾盆地油气区分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 3-25.
- [3] 田立新, 余宏忠, 周心怀, 等. 黄河口凹陷油气成藏的主控因素[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(3): 319-321.
- [4] 王应斌, 黄雷, 王强, 等. 渤海浅层油气富集规律——以黄河口凹陷为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 637-641.
- [5] 强昆生, 吕修祥, 周心怀, 等. 渤海海域黄河口凹陷油气成藏条件及其分布特征[J]. 现代地质, 2012, 26(4): 792-800.
- [6] 孙和风, 周心怀, 彭文绪, 等. 黄河口凹陷新近系浅水三角洲岩性油气藏成藏模式[J]. 大庆石油学院学报, 2010, 34(2): 11-16.
- [7] 吴小红, 吕修祥, 周心怀, 等. 黄河口凹陷浅水三角洲沉积特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 165-172.
- [8] 陈延芳, 刘士磊, 宋章强, 等. 渤海中深部碎屑岩有效储层划分及勘探意义——以黄河口凹陷为例[J]. 断块油气藏, 2012, 19(6): 710-713.
- [9] 张丽萍. 黄河口凹陷古近系沙河街组三段砂岩储层特征[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(4): 13-18.
- [10] 霍沈君, 杨香华, 王清斌, 等. 黄河口凹陷 H-1 构造沙河街组混积岩储层控制因素[J]. 现代地质, 2015, 29(6): 1348-1359.
- [11] 乔锦杨, 张英波, 杨香华, 等. 黄河口凹陷莱北斜坡带玄武岩发育区砂岩成岩特征、孔隙流体及储层控制因素[J]. 现代地质, 2016, 30(1): 209-219.
- [12] 赖维成. 渤海海域第三系层序地层模式及地震储层预测技术[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- [13] 邓津辉, 王应斌, 姜利群, 等. 黄河口凹陷渤中 34-1 复杂断块区构造特征及储层预测[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(3): 4-7.
- [14] 谢武仁. 渤中凹陷古近系成岩层序与优质储层研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
- [15] 王根照, 李建平, 向淑敏, 等. 莱州湾凹陷古近系砂岩储层特征研究[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2009, 36(1): 51-58.
- [16] 徐刚. 黄骅坳陷歧南次凹沙河街组储层成岩作用及其对孔隙影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大



学, 2012.

- [17] 柴永波, 杨波, 王清斌, 等. 黄河口凹陷 BZ34 区火山岩对砂岩压实特征的影响[J]. 地质科技情报, 2016, 35(1): 80-86.

[编辑] 宋换新

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)