

粘土矿物成岩作用对油气储集性和产能的影响

——以苏北盆地台兴油田阜三段储层为例

程晓玲

(中国石化 石油勘探开发研究院 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 该文基于 12 口井的粘土矿物 X- 衍射、岩心铸体的测试数据及电镜扫描微观图象观察, 对台兴油田阜三段 4 个油组储层的粘土矿物类型及分布特征进行了研究, 阐述了粘土矿物类型与储层面孔率及孔喉结构的关系, 分析了粘土矿物转化与孔隙演化的规律、粘土矿物产状对储集性的影响, 同时对开发中粘土矿物成分对油层和产能的影响进行了分析。研究结果表明高岭石含量与孔隙度成正相关关系, 绿泥石、伊利石的含量与孔隙度成负相关关系, 尤其是绿泥石对孔隙度的负面影响较大, 次生孔隙发育带基本相当于粘土矿物第一迅速转化带, 其埋深为 2 350~ 2 750m。最后对本区有利于次生孔隙发育的层位进行了预测。

关键词: 产能; 储层; 成岩作用; 粘土矿物; 台兴油田; 苏北盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

台兴油田位于苏北溱潼凹陷北坡的东部, 阜三段碎屑岩储层是本区的主要产层, 阜三段自上而下可分为 4 个油组, 即台 iv、台 ㉔、台 ㉕、台 ㉖ 其中又以台 ㉕ 油组产能最高。近几年来, 台兴油田产能下降较快, 处于相同构造区块和沉积相带的不同井中, 某些井稳产, 某些井产能下降较快, 某些井则为干井。这说明除构造及沉积因素外, 还有其它因素控制着储层的发育。无疑, 成岩作用显著影响或根本制约了油气储层的特征和时空结构^[1]。而对于本区而言, 作为无机和有机界的重要“桥梁”, 粘土矿物及其演化在含油气盆地的孔隙演化与成熟过程中具有极为重要的意义^[2]。因此对本区粘土矿物类型与孔渗关系的研究就显得尤为重要, 一方面为寻找有利储层指明方向; 另一方面为储层敏感性研究及开采工艺的选择提供依据。

本文依据 12 口井的 50 件粘土矿物 X- 衍射分析数据、80 件铸体薄片测试结果及电镜扫描微观结构图象对台兴油田阜三段台 iv、台 ㉔、台 ㉕、台 ㉖ 及各油组小层粘土矿物特征进行综合分析, 并依此得出如下结论。

1 粘土矿物类型及分布特征

本区粘土矿物类型有高岭石、绿泥石、伊利石及

伊/蒙混层, 以高岭石为主, 高岭石在粘土矿物中的百分含量平均为 59. 63%, 其次为伊利石和绿泥石(表 1)。台 iv、台 ㉔ 油组内各小层高岭石含量较高, 达 74% 以上, 绿泥石、伊利石及伊蒙混层含量较低, 均低于平均值。台 ㉕ 油组内部小层中高岭石含量均低于总平均值, 其中台 ㉕ 2 粘土矿物中不含高岭石, 绿泥石、伊利石含量特高; 台 ㉕ 1、台 ㉕ 3 绿泥石含量均低于总平均值, 伊利石含量均高于总平均值; 台 ㉕ 4、台 ㉕ 5 绿泥石含量较高, 均高于总平均值, 此外台 ㉕ 4 伊利石含量高于总平均值。台 ㉖ 油组内部小层粘土含量差别较大, 台 ㉖ 1 绿泥石含量高达 39. 5%, 其它矿物类型均低于总平均值; 台 ㉖ 5 高岭石含量高达 76%, 其它粘土矿物类型均较低。台 iv、台 ㉔、台 ㉕ 1 混层比 S 层(蒙脱石)含量近 50%~ 55%, 台 ㉕、台 ㉖ 油组中, 除台 ㉕ 1 外, 其它小层混层比 S 层(蒙脱石)含量为 30%~ 39%。

2 粘土矿物类型与孔隙结构及面孔率的关系

表 1 说明, 随着高岭石、伊蒙混层降低, 绿泥石、伊利石增加, 面孔率及平均配位数降低, 岩石孔隙结

表 1 粘土矿物类型与孔隙结构及产能变化对比表
Table 1 Relationship of clay minerals to pore structure and productivity

各油组小层	高岭石/ %	绿泥石/ %	伊利石/ %	伊/蒙混层/ %	混层比 S/ %	面孔率/ %	平均配位数	孔隙结构级别、类型	产能变化
台 iv- 2	77.00	5.25	4.50	13.25	49.50	22.79	3.50	高孔粗喉	
台 iv- 3	74.43	6.29	12.14	7.14	49.57	23.07	4.09	高孔粗喉	
台 ㉔- 2	79.00	12.00	4.50	4.50	55.00	18.17	3.17	中孔粗喉	
台 ㉔- 1	54.67	13.67	22.67	9.00	50.00	17.13	3.80	中孔中喉	多数井产量较稳定
台 ㉔- 2	—	46.00	48.00	6.00	30.00	6.90	1.50	低孔细喉	减至无产量
台 ㉔- 3	58.92	12.33	22.42	6.33	37.67	15.72	2.76	中孔中喉	多数井产量较稳定, 个别井先减后冲
台 ㉔- 4	50.69	19.38	21.08	9.15	35.92	17.35	3.21	中孔中喉	某些井产量较稳定, 某些井减至无产量
台 ㉔- 5	58.00	18.00	15.00	9.00	34.00	13.40	2.70	中孔细喉	
台 ㉔- 1	46.00	39.50	8.50	6.00	38.50	8.55	1.75	低孔细喉	大部分井无油
台 ㉔- 5	76.00	8.00	10.00	6.00	33.00	18.00	3.00	中孔细喉	
总平均	59.63	14.80	17.67	7.98	41.26				

注: 表中粘土矿物为粘土 X- 衍射分析数据平均值, 面孔率等为铸体分析数据平均值。

构变差。高岭石、伊蒙混层与孔隙度基本成正相关关系, 绿泥石、伊利石与孔隙度基本成负相关关系。特别是绿泥石的增加对孔隙度的破坏作用比较明显 (图 1)。

3 粘土矿物产状对储集性的影响

粘土矿物胶结物对储集性的影响, 与其产状有很大关系^[3]。

高岭石颗粒较大, 呈书页状或手风琴状集合体,

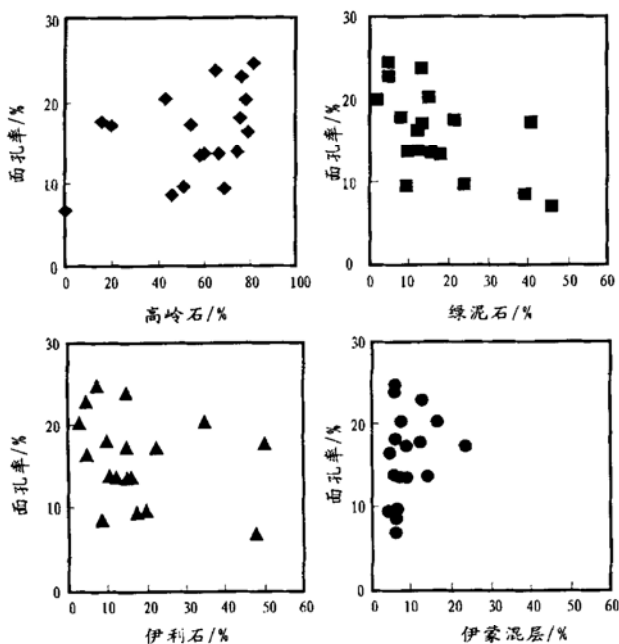


图 1 粘土矿物类型及含量与面孔率关系图

注: 图中粘土矿物含量为粘土 X- 衍射分析数据, 面孔率为铸体分析数据

Fig. 1 Relationship between clay mineral content and porosity

集合体内晶间孔隙发育, 在颗粒表面附着不紧, 其渗流孔隙均以粒间孔隙为主, 且孔隙半径较大, 连通性较好. 因此渗透性也较好。

伊利石常以碎片状、鳞片状集合体覆盖颗粒表面, 或以片状、卷片状、菜花状集合体充填堆积于粒间孔隙中, 可呈桥式产状。搭桥式伊利石胶结砂岩中以大量的粘土矿物晶间束缚孔隙为主, 可渗透的孔隙只占其很少的一部分, 不但孔隙细, 而且连通性亦差, 因此一般渗透性都很差。

绿泥石矿物产状有两种: 其一, 以鳞片状、针叶片状集合体覆盖颗粒表面, 呈薄膜式胶结; 其二, 以片状—针叶片状集合体充填堆积于粒间孔隙中, 呈衬垫式胶结。绿泥石这种叶片状、针片状产状一方面造成孔喉的严重堵塞, 另一方面其薄膜式或衬垫式胶结阻碍了不稳定矿物长石等颗粒溶蚀作用的进行, 使次生孔隙难于形成^[4]。

伊/蒙混层矿物产状有两种, 见于局部井段。其一以絮凝状、团块状集合体覆盖于颗粒表面; 其二以蜂窝状集合体充填粒间。本区伊/蒙混层矿物在粘土含量中平均约为 8%, 含量较低, 因此它对本区的储集性能影响不是很大。

4 粘土矿物转化与孔隙演化

作为无机和有机界的重要“桥梁”, 粘土矿物及其演化在含油气盆地的物质演化与成熟过程中具有极为重要的意义, 这主要表现在如下 3 个方面: a) 催化作用; b) 脱水作用; c) 提供胶结交代作用所需的离子或离子交换作用^[1]。其中粘土脱水作用与孔隙

演化关系密切,因此,粘土矿物及其演化应该作为成岩作用中重要的“序参量”加以研究^[5]。

蒙脱石向伊利石的转化反应一直受到石油地质学家的关注。大量研究表明,蒙伊转化具有明显的渐变与突变交替的演化程式,并大致经历了蒙脱石带、渐变带、迅速转化带(一般存在 2 个)和伊利石的演变^[6]。通过对本区粘土成岩作用的研究发现,本区阜三段储层粘土矿物主要经历了渐变带、第一迅速转化带及第二迅速转化带的成岩演变。本区以张

一伟等(1997)成岩阶段划分方案及其标志^[7]作为划分各转化带的标准,并对本区作粘土矿物演化与孔隙演化剖面图(图 2)。

以下结合图 2 对蒙伊转化反应进行概述。

4.1 蒙脱石带

对应古地温小于 66℃。埋深小于 1 800m,伊/蒙混层中的蒙脱石含量高于 70%,该带蒙脱石均为离散状,并以快速压实和大量自油水脱出为特征。该带在本区阜三段储层中基本未见。

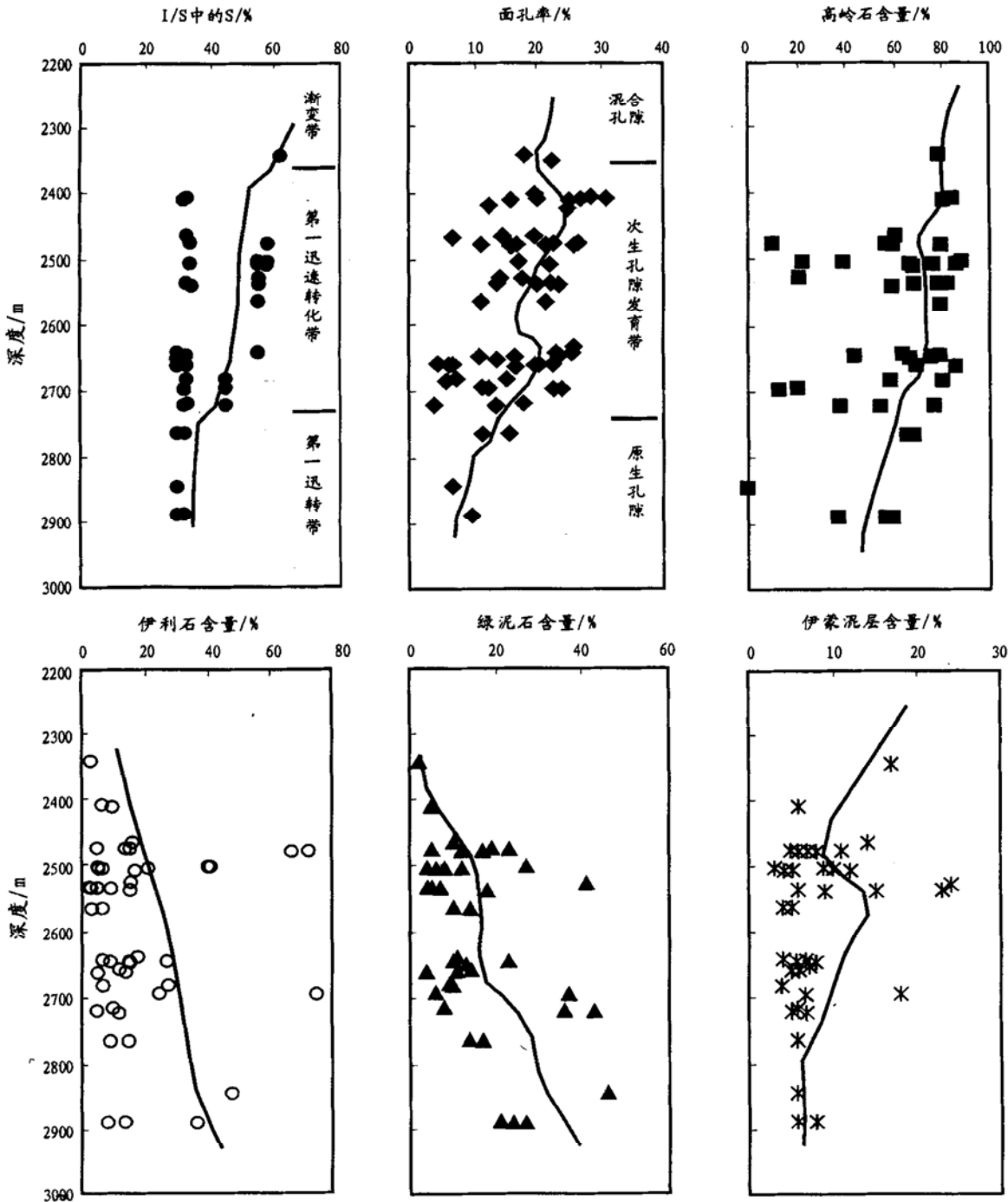


图 2 台兴油田阜三段储层粘土矿物演化与孔隙演化剖面图

Fig. 2 A cross section showing the evolution of clay minerals and porosity of reservoir rocks in the third member of the Fuling Group in Taixin oilfield

4.2 蒙脱石渐变带

古地温约 66~ 86 °C。埋深 1 800~ 2 350m, 伊/蒙混层中的蒙脱石含量 50%~ 70%, 伊蒙混层矿物开始大量产出, 蒙脱石趋于消失。一般地, 该带蒙脱石晶格水稳定, 仅脱出地层水和过量的层间水或吸附水^[8], 次生孔隙开始形成, 但孔隙类型仍以原生孔隙为主。

4.3 第一迅速转化带

古地温介于 86~ 112 °C。埋深 2 350~ 2 750m, 伊/蒙混层中的蒙脱石含量 33%~ 50%。层间水大量脱出, 次生孔隙主要发育在本带, 离子交换活跃。从反应动力学角度看, 迅速转化带实际上是一个能量释放和物质转变的突发过程, 对有机质成熟起着重要的催化作用^[1]。

4.4 第二迅速转化带

古地温介于 112~ 128 °C。埋深 2 750~ 3 400m, 伊/蒙混层中的蒙脱石含量 15%~ 33%。残余层间水脱出, 溶蚀作用较前期减弱, 虽仍有一定量的次生孔隙形成, 但孔隙类型以原生孔隙为主。从蒙脱石晶层减少或伊利石晶层增加的幅度看, 本区第二迅速转化带远不如第一迅速转化带发育。事实上在两个迅转带之间往往存在着较明显的混层矿物的相对稳定区, 这可能是第二次迅速转化带之前的能量积蓄过程^[1]。

4.5 伊利石带

古地温大于 128 °C。埋深大于 3 400m, 伊利石大量产出, 研究表明, 伊利石仍具有较高的催化活性, 其对高分子烃类裂解具有一定影响^[1]。

由于次生孔隙发育带常常就是油气聚集带^[3], 因此对于次生孔隙的研究就显得非常重要。从图 2 可见, 次生孔隙基本分布于埋深 2 350~ 2 750m, 对应于第一迅速转化带的深度。粘土矿物中, 高岭石含量的变化与次生孔隙演化趋势基本一致; 伊蒙混层含量的变化与次生孔隙演化略具一致; 伊利石、绿泥石含量的变化与次生孔隙演化趋势基本相反。由此可见, 第一迅速转化带及高岭石含量的变化对次生孔隙的研究具有重要的意义。

表 1 中, 台 iv- 2、台 iv- 3、台 ㉓- 2、台 ㉔- 1 混层比 S 层含量约为 50%~ 55%, 相当于蒙脱石渐变带; 台 ㉔- 3、台 ㉔- 4、台 ㉔- 5、台 ㉕- 5 混层比 S 层含量约为 33%~ 38%, 相当于第一迅速转化带, 粘土矿物以高岭石为主, 因此这 4 个小层是次生孔隙发育的最有利层段。台 ㉔- 2、台 ㉕- 1 绿泥石含量较高, 高岭石含量整体较低, 是次生孔隙最不发育的小层。

5 油层开发中粘土矿物成分对油层的损害及产能的影响

油气储层与不匹配的外来流体接触后, 可能发生各种物理、化学作用而使储层孔隙结构产生变化, 储层渗透性变差, 从而不同程度地损害储层, 导致产能损失或产量下降。因此, 人们又将储层对于各种类型地层损害的敏感程度, 称为储层敏感性^[7]。

自生粘土矿物对油层的损害表现为水敏、盐敏、速敏、酸敏 4 大方面, 主要是当油层中自生粘土矿物与外来液体(如钻井液、完井液、注入水等)发生反应时便可发生以上损害, 不同粘土矿物其损害方式不同。

高岭石的两大特点为: 颗粒较大, 呈书页状或手风琴状集合体, 在颗粒表面附着不紧, 对油层损害表现为颗粒迁移堵塞喉道, 产生速敏; 伊利石对水有一定敏感性, 具有一定的膨胀分散性, 对油层的损害表现为使油层喉道缩小, 形成水敏、速敏; 绿泥石对酸比较敏感, 可生成 Fe(OH)₃ 凝胶物堵塞孔隙和喉道, 形成酸敏; I/S 混层与蒙皂石的特点相似, 具有较高的亲水性、膨胀性及非常高的比表面, 其蒙皂石层中又有 Na 蒙皂石和 Ca 蒙皂石之分, Na 蒙皂石可以膨胀为原面积的 6~ 10 倍, 故其损害主要表现为水敏^[7]。

表 1 所列, 台 iv- 2、台 iv- 3、台 ㉓- 2、台 ㉔- 5 高岭石含量较高, 在开发中, 要防止速敏现象出现; 台 ㉔- 2 绿泥石、伊利石含量均较高, 要防止水敏、酸敏出现; 台 ㉕- 1、台 ㉔- 5 粘土矿物以高岭石、绿泥石为主, 要防止速敏、酸敏出现; 台 ㉔- 1、台 ㉔- 3、台 ㉔- 4 粘土矿物以高岭石、伊利石为主, 要防止速敏、水敏出现。

从表 1 还可看出, 主产层台 ㉔油组中粘土矿物成分不同, 其产能变化不一。台 ㉔- 1、台 ㉔- 3 粘土矿物以高岭石、伊利石为主, 多数井产量较稳定; 台 ㉔- 4 粘土矿物虽以高岭石、伊利石为主, 但绿泥石含量相对于台 ㉔- 1、台 ㉔- 3 而言有所增加, 其绿泥石含量高于总平均值, 产能变化表现为某些井产量较稳定, 某些井减至无产量; 台 ㉔- 2 粘土矿物以绿泥石、伊利石为主, 且绿泥石含量远高于总平均值, 达 46%, 其产能变化表现为从有产量减至无产量。台 ㉕- 1 粘土矿物以高岭石、绿泥石为主, 绿泥石含量较高, 达 39.5%, 该小层大部分井表现为无油。以上说明, 粘土矿物以高岭石、伊利石为主的层位储层连通性较好, 产量较稳定; 粘土矿物以绿泥

石、伊利石为主或以高岭石、绿泥石为主的层位, 储层连通性较差, 产能变化较大, 产量降低较快。随着绿泥石含量的增加, 储层孔隙结构变差, 导致产能降低甚至减至无产量。就本区而言, 绿泥石含量的增加对产能的降低不可低估。

6 结语

a) 随着高岭石减少, 绿泥石、伊利石增加, 面孔率及平均配位数降低, 岩石孔隙结构变差。

b) 高岭石与孔隙度成正相关关系, 绿泥石、伊利石与孔隙度成负相关关系。特别是绿泥石的增加对孔隙的破坏作用比较明显。

c) 次生孔隙发育带基本相当于第一迅速转化带, 次生孔隙分布于埋深 2 350~ 2 750m。高岭石演化与次生孔隙演化趋势基本一致。

d) 台 ④ 3、台 ④ 4、台 ④ 5、台 ⑤ 5 相当于第一迅速转化带, 它们是次生孔隙发育的最有利层段。

e) 在开发中, 主要产层台 ④ 3、台 ④ 4 要防

止速敏、水敏现象的出现。

f) 粘土矿物以高岭石、伊利石为主的层位, 产能较稳定; 以绿泥石、伊利石为主或以高岭石、绿泥石为主的层位, 产能变化较大, 产量降低较快。绿泥石含量的增加对产能的降低不可低估。

参考文献:

- [1] 孙永传, 李 忠, 李蕙生, 等. 中国东部含油气断陷盆地的成岩作用[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 35- 45
- [2] 林仲虔. 海拉尔盆地侏罗—白垩系砂岩储集岩的成岩作用研究[J] 石油实验地质, 1992, 14(3): 227.
- [3] 郑浚茂, 庞 明. 碎屑储集岩的成岩作用研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 69- 117.
- [4] 陆 红. 江苏地区侏罗—白垩系储层砂岩的成岩作用研究[J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 228.
- [5] 李昌存. 塔里木盆地克孜勒苏群碎屑岩成岩作用研究[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 135.
- [6] 朱家祥, 等. 碎屑岩成油组合的成岩作用研究[J]. 石油实验地质, 1988, 10(3): 223.
- [7] 张一伟, 熊琦华, 王志章, 等. 陆相油藏描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 95- 133, 252- 262.
- [8] 李 淳. 单家寺油田下第三系沙三段碎屑岩储层成岩作用特征[J]. 石油实验地质, 1999, 21(增刊): 79.

INFLUENCE OF THE DIAGENESIS OF CLAY MINERALS ON RESERVOIRS AND PRODUCTIVITY

—A CASE STUDY ON THE FU-3 RESERVOIRS OF TAIXIN OILFIELD, THE NORTH JIANGSU BASIN

CHENG Xiao-ling

(Wuxi Research Institute of Experimental Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: On basis of X-ray diffraction of clay minerals, analysis of resin-cast thin sections of cores and SEM observation of samples in twelve wells, the clay mineral types and their distribution in four oil groups of the third member of Fuling Group in Taixin oilfield, the northern Jiangsu Basin were described. The relationship between clay mineral types and porosity or pore structure of reservoirs was discussed. The influence of transform of clay minerals with geological evolution on reservoir character was analyzed. The results showed that kaolinite was positive correlation with porosity, but chlorite and illite were negative correlation with that. The chlorite showed obvious negative influence on preservation of porosity. Occurrence of secondary pores was accordance with the first rapid transform zonation of clay minerals in burial depth of 2 350- 2 750m. The most favourable position for development of secondary pores was forecasted.

Key words: productivity; reservoir; diagenesis; clay mineral; Taixin oilfield; the northern Jiangsu Basin