

江苏地区侏罗—白垩系储层砂岩的成岩作用研究

陆红

(地矿部华东石油局地质研究所, 扬州 225002)

本文在大量钻井岩石薄片、岩心铸体薄片研究基础上,运用阴极发光、扫描电镜、X-衍射等分析手段,对江苏地区侏罗-白垩系储层砂岩的成岩作用、孔隙演化、成岩序列特征等作了详细研究,认为江苏陆相中生界主要储层砂岩储集性能好,既受沉积条件控制,又受埋藏成岩作用的影响。孔隙演化主要受压实作用、胶结交代作用、溶解作用的控制,特别是胶结作用和溶解作用是直接影响有效储集空间形成的重要因素。

关键词 江苏侏罗-白垩系 储层 成岩作用 胶结 溶解

作者简介 陆红女 35岁 工程师 岩矿专业

江苏地区陆相中生界发育齐全,分布广泛。经研究证实,侏罗-白垩系砂岩、含砾砂岩和砾岩是该区的主要储集岩,储层的储集空间类型主要是砂岩和砾岩的孔隙空间及微裂隙。由于岩石中孔隙的形成演化直接受成岩作用控制,故对成岩作用的详细研究,是认识储层、了解其发育情况,进一步评价储集岩的重要内容之一。

1 地质概况

江苏地区中生界沉积盆地是经构造作用而改造了的残留盆地。侏罗-白垩系储集条件较好的层位自下而上主要分布于象山群、葛村组、浦口组。象山群分上、下两段,上段分布范围北至盐阜、泰州、扬州,东至常州,西至宁芜地区,苏南地区主要见于地表露头。岩性以石英砾岩、含砾石英粗砂岩,中细粒长石石英砂岩为主,厚约228~680m。下段与上段分布范围雷同。岩性以粉、细砂岩、粉砂质泥岩、岩屑石英砂岩、石英砂岩为主。厚约611m。葛村组主要分布于苏南茅山以西地区,苏北地区零星分布。岩性以粉砂质泥岩、泥质粉砂岩夹砂岩、粉砂岩与泥岩互层,厚约166~598m。浦口组分布在苏北地区除建湖隆起、小海部分地区未见外,其余大部分地区均有保存。苏南地区连片性差,孤立状态分布。岩性苏北地区以泥岩、粉、细砂岩互层,含膏泥岩、砂泥岩、砂砾岩为主,厚约500~3000m。苏南以砂岩、砂砾岩、砾岩为主,厚约500m。

2 成岩作用

侏罗-白垩系储层砂岩成岩作用主要为机械压实作用、胶结、交代作用、溶蚀作用。根据岩石中碎屑颗粒与各类胶结物、自生矿物之间的接触关系分述如下:

2.1 机械压实作用

侏罗-白垩系储集层砂岩由于埋深大,机械压实程度普遍较强,但各组段砂岩压实程度受粒度、分选性、矿物组分和杂基含量这4方面因素影响而有所不同。浦口组储层砂岩因颗粒细、岩屑、杂基含量较高,颗粒间多为线接触,局部凹凸接触,粒间孔隙基本消失。葛村组砂岩粒度粗、岩屑、杂基含量少,颗粒间为点接触,次为线接触,至今仍有少量粒间孔隙保存。面孔率为8.41%,象山群砂岩因长期处于深埋环境,压实作用较强,颗粒间多为线接触和凹凸接触,但因颗粒粗,岩屑、杂基含量少,成岩早期石英自生加大起到一定的支撑作用,仍保留有粒间孔隙,面孔率为5%。

2.2 胶结交代作用

本区胶结作用在储层砂岩中主要表现为硅质胶结作用、碳酸盐胶结作用、硫酸盐胶结作用、粘土矿物胶结作用、沸石胶结作用,局部层段还发生硫化物胶结作用。根据薄片观察及扫描电镜、阴极发光和X-衍射分析,储层砂岩中胶结物主要为自生石英、方解石、白云石、铁白云石、硬石膏、方沸石、黄铁矿,

少量绿泥石粘土边。

2.2.1 硅质胶结作用

硅质胶结物在各储层砂岩中均普遍存在,以再生长石英的形式产出。浦口组局部层段砂岩石英具次生加大边,多呈不等厚环边包绕颗粒,自生石英含量一般1%左右,最高达8%。葛村组次生加大程度加强,据扫描电镜分析,自生石英除共轴加大外,还有呈自形状充填孔隙(图版I-1)。阴极发光下可见自生石英发浅棕色光,包裹整个颗粒,说明硅质胶结作用早于机械压实作用,对粒间孔隙保存有利。象山群硅质胶结程度最强,在镜下借助于碎屑石英边缘的杂质可确定。阴极发光分析清晰可见自生石英发育在颗粒与胶结物或孔隙之间,而颗粒接触处未见。显然,石英经历了压实作用,颗粒相互接触处经压实后阻止了加大边发育。部分层段砂岩因颗粒周边粘土膜的形成,也抑制了部分石英再生长。总的来说,在象山群储层砂岩中,硅质胶结作用是粒间孔隙减少的主要因素之一。含量一般2%左右,最高6%。

2.2.2 碳酸盐胶结、交代作用

碳酸盐胶结物在浦口组储层砂岩中主要为方解石和白云石,在阴极射线下发桔红或桔黄色光。方解石呈连晶状胶结充满粒间孔,局部层段见被溶蚀,溶蚀孔内充填沥青。说明方解石胶结作用早于溶蚀作用,白云石呈自形生长于粒间孔中,并交代碎屑颗粒。葛村组碳酸盐胶结物主要为方解石、铁方解石、白云石、铁白云石。镜下观察白云石或铁白云石交代方解石及次生石英加大边,表明白云石或铁白云石形成晚于硅质胶结和方解石胶结。象山群储层砂岩主要是铁白云石胶结,次为方解石。阴极射线不发光及发桔红色光。铁白云石呈嵌晶状充填粒间孔,且交代石英加大边,局部层段铁白云石被溶蚀,形成的溶蚀孔被沥青充满(图版I-2)。铁白云石含量0~25%,在铁白云石含量较高的砂岩层段,常伴有黄铁矿富集,黄铁矿含量最高达35%,从以上情况分析铁白云石富集与地下深部还原环境有关。

2.2.3 硫酸盐胶结、交代作用

硫酸盐胶结作用仅发育于浦口组地层,产生的胶结物为石膏和硬石膏,呈团块状、薄层状或条带状分布。镜下观察呈连晶式胶结充填粒间孔,局部呈脉状穿插交代碎屑颗粒和粘土杂基。浦口组的硫酸盐胶结物形成与沉积环境有关,为蒸发环境的产物。

2.2.4 硫化物胶结、交代作用

硫化物在储层砂岩中常见的是黄铁矿。在浦口

组据扫描电镜观察呈莓球状(照片1-3),充填粒间孔隙,属成岩早期产物。在葛村组和象山群砂岩中的黄铁矿为自形晶粒状,充填粒间孔隙及微裂隙,交代碎屑颗粒及杂基,为成岩中、晚期形成的。

2.2.5 沸石胶结作用

沸石胶结作用仅在苏北地区浦口组砂岩中局部出现,胶结物为方沸石,镜下观察方沸石沿着颗粒边缘向粒间孔中呈马牙状、粒状生长,充填方解石胶结后剩余粒间孔隙,局部呈脉状穿插交代成岩早期形成的方解石及硬石膏矿物,含量0~15%。方沸石在浦口组砂岩中分布的井深为570~1700m。我国新疆克拉玛依乌尔禾组方沸石的成因,据朱国华(1989)研究,其形成与凝灰岩屑等火山物质和长石的存在有关。方沸石胶结后遭受溶蚀而大大改善了储渗条件。本区砂岩中凡出现方沸石胶结物的层段,均含火山碎屑物质,推测本区方沸石的形成,也是火山碎屑与地层水相互作用的产物,它进一步堵塞孔隙,对形成储集空间起到破坏作用。

2.3 溶蚀作用

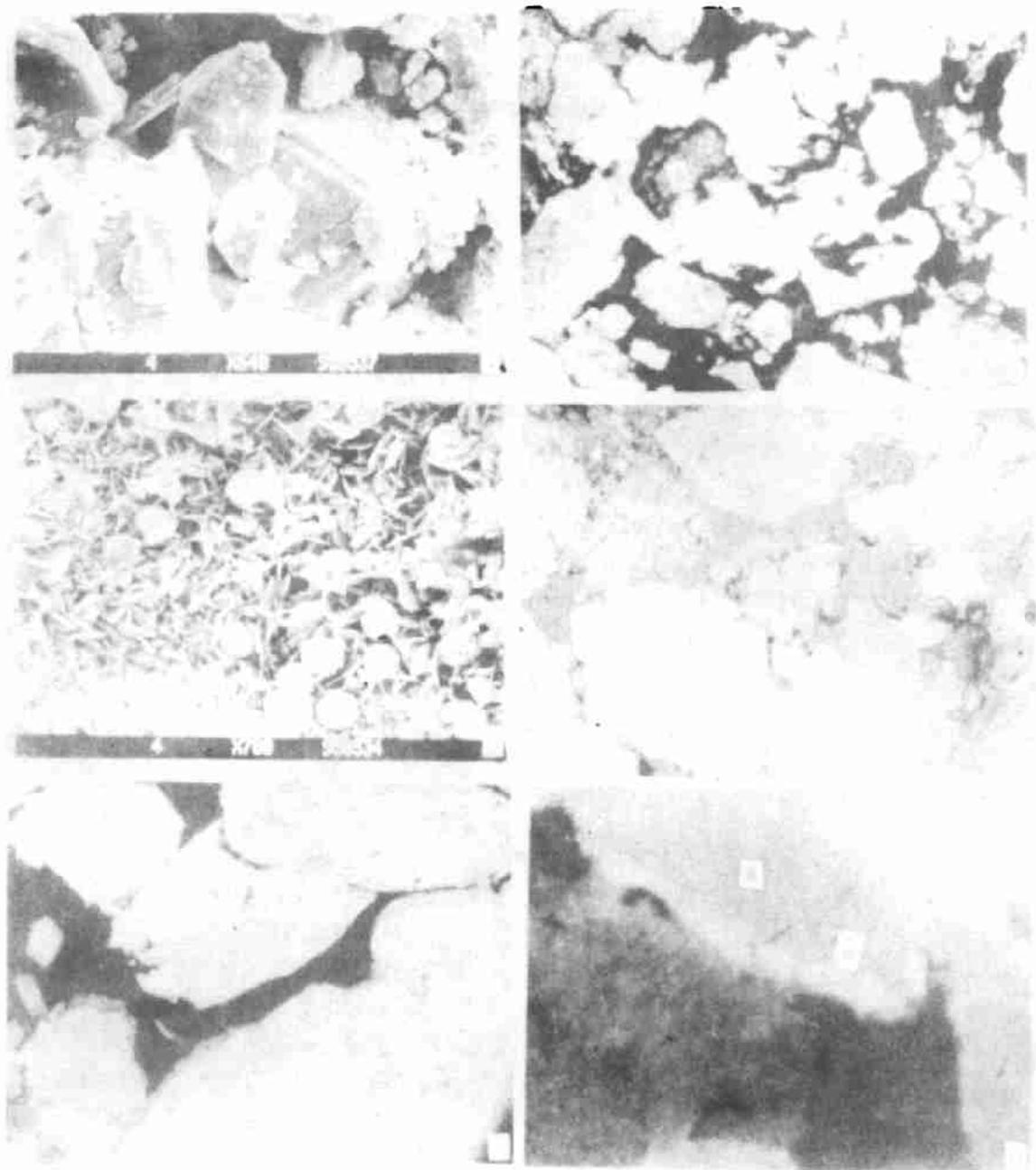
溶蚀作用在储层砂岩中普遍发育,但发育程度较弱,从各层段砂岩溶蚀孔的面孔率仅占整个砂岩面孔率的10%~25%来看,储层孔隙并不是以溶蚀孔为主。

溶蚀主要表现为胶结物和骨架颗粒的部分溶解。胶结物的溶蚀包括方解石的溶蚀和铁白云石的溶蚀。骨架颗粒的溶蚀主要表现为粒间扩大溶蚀,使碎屑颗粒边缘被溶成港湾状,次为碎屑长石的溶蚀,个别长石溶蚀完全呈铸模孔。浦口组储层砂岩主要次生孔隙是方解石溶蚀孔,孔隙内充填沥青。葛村组和象山群储层砂岩主要溶孔为铁白云石溶孔(图版I-2,4)。长石溶孔在各储层砂岩中虽发育,程度较差,仅零星分布。从烃类物质充填在溶蚀孔中说明溶蚀作用发生在烃类运移之前。

侏罗—白垩系储层砂岩孔隙类型以粒间孔为主,占总面孔率70%~90%,溶蚀孔占总面孔率10%~25%,溶蚀孔和粒间孔组合是储层砂岩主要储集空间。

3 成岩序列特征综合分析

根据前述成岩变化特征,可判断成岩作用发生的先后顺序,确定孔隙演化进程。综合各种研究资料,把成岩序列与孔隙演化史、埋藏史、烃岩热史,构



图版说明

1. 自生石英(a)充填在孔隙. 句B井, K_{1g} , 扫描电镜
2. 铁白云石(a)内溶蚀孔充填沥青, 颗粒碎裂并遭溶蚀(箭头). 苏A井, J_{1-2} , 单偏光 $160\times$
3. 自生绿泥石和纤维状黄铁矿(箭头). 苏B井, K_2p , 扫描电镜
4. 铁白云石(a)遭溶蚀呈港湾状. 句B井, K_{1g} , 单偏光 $150\times$
5. 粘土矿物(箭头)孔隙衬垫, 压实作用阻止粘土膜生长. 苏A井, J_{1-2} , 单偏光 $160\times$
6. 次生石英加大边(箭头)呈等厚环边生长. 句B井, K_{1g} , 阴极发光

造史结合起来,进行综合分析,才能更准确地评价储集层。

3.1 象山群砂岩成岩序列特征

以苏 A 井为例(图 1),象山群储层砂岩以长石石英砂岩,岩屑长石石英砂岩为主,为滨湖沼泽-浅湖相强水动力条件下形成的砂岩体。砂岩粒度为中砂级,局部细砂级,分选好,杂基含量 < 5%,属颗粒支撑。早成岩阶段粒间孔较发育且不易压实,埋藏后能长期保持较高的孔隙率和渗透率,有利于自生矿物生成。早成岩阶段砂岩除受到机械压实作用外,同时还发生硅质胶结作用和粘土矿物胶结作用。粘土膜围绕颗粒呈孔隙衬边产出,当粘土膜达到一定厚度时阻止石英再生长。压实作用也抑制粘土膜生长(图版 I-5)。经上述成岩作用后,砂岩粒间孔隙减少 15%。到中成岩早期阶段又发育碳酸盐胶结作用,方

解石沉淀在早期胶结物剩余孔隙中,并交代次生石英加大边,使粒间孔隙又减少 10%,未沉淀方解石的砂岩孔隙减少 5%左右。方解石沉淀之后,大约在晚侏罗-早白垩时期,局部层段受构造挤压应力作用影响,发生浅变质作用,使砂岩具变余砂状结构和碎裂结构,颗粒晶带弯曲,压扁拉长,粘土膜蚀变成绢云母,局部脱离颗粒充填在粒间孔被沥青包裹。到中成岩晚期阶段随埋深逐渐增大,粘土矿物转化使大量金属离子进入孔隙水,形成铁白云石充填孔隙交代颗粒。粒间孔隙又减少 2%~5%。但深埋环境下酸性地层水的渗流,又使碳酸盐矿物溶解,产生溶蚀孔和粒间扩大孔。均被沥青充满(图版 I-2,5)。在深埋环境局部层段有大量黄铁矿生成,呈晶粒状交代碎屑颗粒及早期形成的胶结物。

据油源对比分析,苏北地区象山群下段有两种

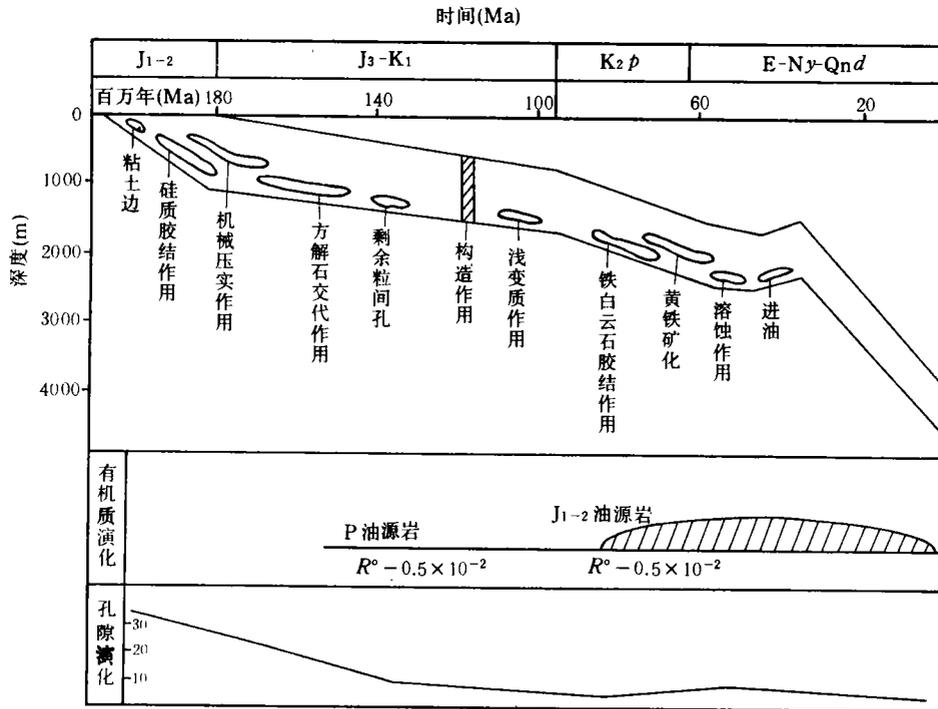


图 1 苏 111 井象山群成岩序列特征综合图

成油组合,一种是自生自储型,另一种是古生中储型。苏 A 井储层砂岩中碳酸盐胶结物主要是铁白云石,多呈细晶状,少数达中晶状,为深埋藏环境产物。从储油空间为铁白云石溶蚀孔及粒间扩大孔这一事实,也说明油气聚集时间晚于次生孔隙形成时间。据应风祥等(1980)研究,当蒙皂石层在 I/S 混层中占 35%~20%左右,为第二迅速转化带,有机质已成熟。本井泥岩样(3711m)X-衍射分析,蒙皂石层在

I/S混层中占 25%,证明象山群烃源岩已进入生排油期,次生孔隙形成主要与象山群下段下部泥岩成熟脱羧形成的酸性流体溶解有关。苏 A 井象山群成油组合属自生自储型。

3.2 葛村组砂岩成岩序列特征

以句 11 井为例(图 2),葛村组储层砂岩以长石岩屑石英砂岩和石英砂岩为主,属浅湖相沉积。砂岩粒度达中砂级,分选好,杂基含量 2%左右,也属颗

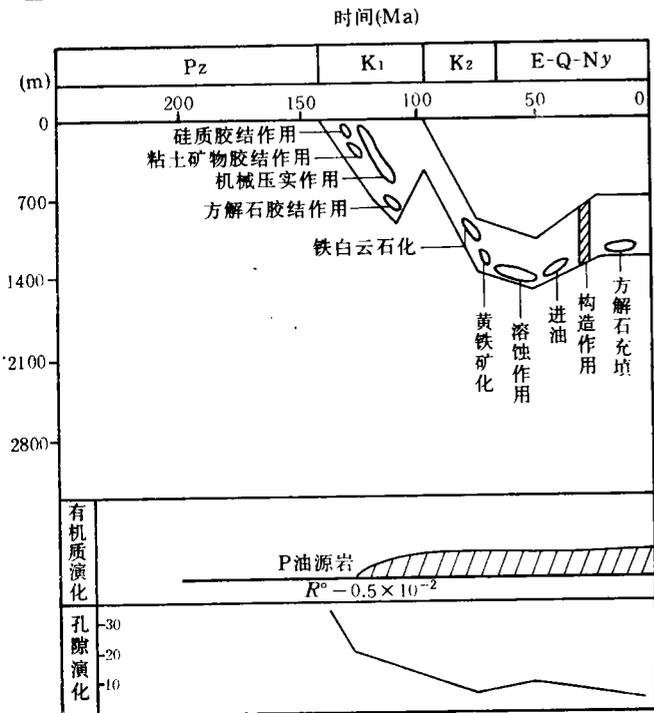


图 2 句 11 井葛村组砂岩成岩序列特征综合图

粒支撑,孔隙度 11.17%~15.26%,渗透率 $1.04 \times 10^{-3} \sim 6.22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。早成岩阶段发生的成岩作用与象山群砂岩类似,据阴极发光分析,次生加大边呈等厚环边生长(图版 I-6),说明硅质胶结作用早于机械压实作用,增强了砂质沉积物抗压强度,粒间孔占总面孔率 80%。粘土胶结物为自生高岭石,扫描电镜下见高岭石呈书页状充填孔隙,晶间微孔较发育;占总面孔率 3%。中成岩早期阶段发生碳酸盐胶结作用,方解石和白云石在孔隙中沉淀,局部交代次生加大边,使粒间孔隙减少 10%。中成岩晚期阶段因粘土矿物转化释放 Fe^{2+} 和 Mg^{2+} ,局部铁白云石呈交代白云石方式形成。之后发生溶解作用,长石、岩屑粒内溶蚀,具溶蚀孔和铸模孔。白云石、铁白云石呈不规则状溶蚀。溶蚀孔占总面孔率的 17%,与粒间孔、高岭石微孔一起被沥青充满。岩芯手标本上还见裂隙发育,充满方解石,表明裂隙在进油之后发育,碳酸盐胶结物也为进油之后生成。从句 B 井葛村组现今埋藏深度及实验分析结果,证实句 B 井葛村组油气来源非本组地层,为下伏青龙组运移而来,属海生陆储型。

3.3 浦口组砂岩成岩序列特征

以苏 A 井为例(图 3),浦口组砂岩岩性多为粉砂岩,粉砂质泥岩,局部层段夹细砂岩。苏北地区浦口组含油显示普遍,在苏 111 井含油层段为粉砂岩。从图 3

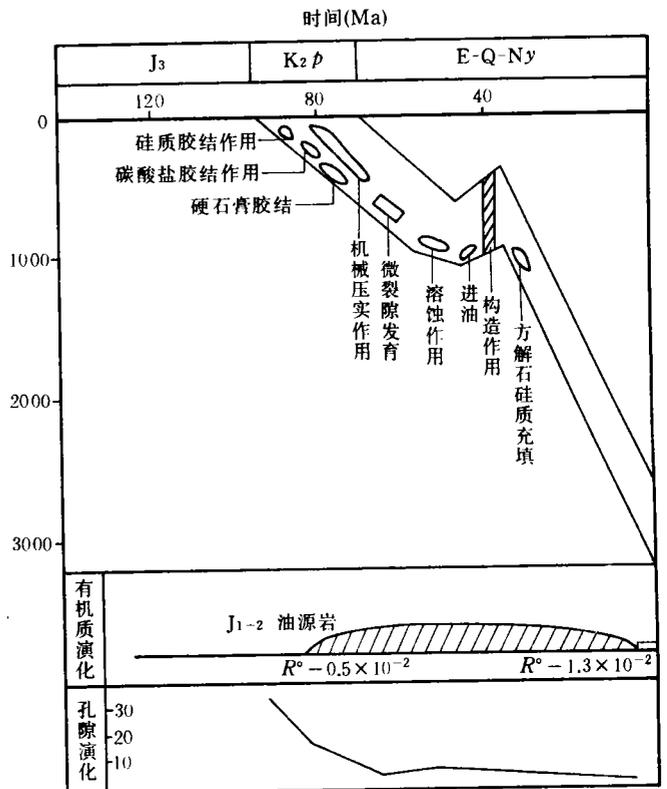


图 3 苏 111 井浦口组砂岩成岩序列特征综合图

可知,在早成岩阶段浅埋环境先发育硅质胶结作用,之后发育硫酸盐胶结作用和碳酸盐胶结作用,表现为碎屑颗粒在嵌晶胶结物中成“漂浮”型,砂粒周围无其它类型胶结物,偶见颗粒再生长。上述成岩作用发育的同时还存在机械压实作用。中成岩阶段因压实作用和胶结作用,原先孔隙均遭破坏,但酸性孔隙水的渗流使方解石、白云石溶解,产生 5% 左右的次生孔隙充满沥青。同时因上覆地层静压力作用,在砂岩所夹的泥晶白云岩中微裂隙、缝发育,裂隙面具沥青质油迹。浦口组成岩之后,喜山期构造运动产生的构造溶蚀缝均无油迹显示,构造缝内充填物为方解石,少量硅质及重晶石。证实浦口组进油时间在喜山期之前。苏北地区浦口组砂岩多为夹层,粒度细,分选中等,杂基含量 5%~10%,含油显示呈条带状、斑块状,属差储集岩,现实意义不大。

参 考 文 献

- 1 郑浚茂,庞明. 碎屑储集岩的成岩作用研究. 武汉:中国地质大学出版社,1989,77~79
- 2 刘宝璋,张锦泉. 沉积成岩作用. 北京:科学出版社,1992,69~70

(收稿日期:1996年5月27日)

AN APPROACH TO THE DIAGENESIS OF RESERVOIR SANDSTONES FROM JURASSIC-CRETACEOUS IN JIANGSU REGION

Lu Hong

(Research Institute of Geology, East China Bureau of Petroleum, MGMR, Yangzhou 225002)

Abstract

With numerous observations on thin sections of rocks and core casts from drillings, and the application of various analytical techniques including cathodoluminescence, scanning electron microscope and X ray diffraction, the paper made a detailed study on the diagenesis, pore evolution and the characteristics of diagenetic sequence in Jurassic-Cretaceous reservoir sandstones, northern Jiangsu. It is concluded that the behavior of the major Mesozoic terrestrial reservoir sandstones in Jiangsu is both controlled by depositional conditions and affected by burial diagenesis. Compaction, cementation and replacement and dissolution are most influential factors that control over the evolution of porosity, among which cementation and dissolution are of importance that will affect the formation of reservoir space directly.

苏北溱潼凹陷盆地动态模拟研究达到国际先进水平

由中国新星石油公司无锡石油地质中心实验室、华东石油地质局第六普查勘探大队共同承担的华东石油局科研课题——苏北溱潼凹陷盆地动态模拟研究,经过科研人员 4 年的潜心研究,取得重要成果并通过了专家评审验收。

运用计算机进行盆地动态模拟是当前石油地质研究中的重要课题之一。承担该课题的科研人员,以朱夏院士的 T-S-M 盆地研究程式为指导思想,建立和开发了适用于苏北第三系盆地的盆地模拟方法和相应的软件,并结合溱潼凹陷的实际资料,综合研究了该凹陷的埋藏史、热史、生烃史和运聚史。评审组的专家认为,该项研究提出的地质模式合理、计算方法可信、提供成果及时,研究结果对华东石油局在溱潼凹陷进一步开拓勘探和开发具有指导意义,研究课题理论联系实际,达到国际先进水平;研究报告思路清晰、论证可靠、方法独具特色、资料丰富、文字流畅、图文并茂,一致同意给予优秀评价。

本课题研究人员针对苏北新生代断-拗转化的盆地特征,独立开发了拉张断陷原型盆地构造-热体制二维模拟软件和对拗陷迭加关系模拟工作,突出了盆地的样式在量化模拟过程中的指导作用,妥善地处理了盆地模拟中的“共性”和“个性”的关系,取得了明显进展;在原来盐城凹陷模拟基础上进一步改善了油气模型系统,深化了系统模拟流程,提高了模拟的合理性;设计了地质概念模型,汇集了相关资料,形成了溱潼凹陷模拟数据文件集合,建立了数据抽取模块,为下一步全面建立溱潼凹陷勘探开发数据库打下了基础;在有关软件应用方面成功地开发了各类数据的接口模块,使模拟结果数据能快速用图形显示,增强了模拟成果的直观性,有利于更好地进行评价;根据主断裂与断层发展、沉降迁移过程和各期不同拉张量模拟结果,再现溱潼凹陷不同层段不同时间的沉降史,这对油气形成和演化具有根本性控制意义;通过剥蚀模拟研究,得到了溱潼凹陷吴堡运动面和三垛运动面的剥蚀量;通过热史的模拟,认为主要递升热场的衰变期在断-拗转换时期与地质认识基本一致;研究认为溱潼凹陷主要生烃期出现于断陷晚期到拗陷发育早期,反映断陷构造格局控制油气形成分布、拗陷期成藏的特点,计算生排烃量较以往研究结果有明显增加,为溱潼凹陷进一步开展勘探提供了重要依据;根据水动力模拟和油汇位置分析,所得到的油气运移方向与已知油田赋存状况相符合,在此基础上提出了不同层系的油气聚集部位和主要勘探层,所预测的时堰东北部有利地区已得到钻探验证。