

南堡凹陷碳酸盐岩优质储层发育主控因素与分布预测

曹中宏¹,张红臣¹,刘国勇¹,任苗颂¹,付江¹,王恩泽²

(1. 中国石油冀东油田分公司,河北唐山063004; 2. 中国石油大学地球科学学院,北京102249)

摘要:渤海湾盆地南堡凹陷碳酸盐岩潜山油气成藏条件优越,油气富集受地层、构造、储层等多重因素控制,优质储层发育和分布是研究的重点。通过对钻井、测井、岩心等各项资料深入分析,明确了南堡凹陷碳酸盐岩储集空间以溶蚀孔洞为主,主要储层类型为裂缝-孔洞型,裂缝是沟通孔洞的重要通道;碳酸盐岩沉积相带、成岩作用(包括岩溶)、构造作用是碳酸盐岩潜山优质储层发育的主控因素。其中有利沉积相带是储层发育的基础,有利的成岩后生作用是储层发育的保障,有利的构造作用是储层发育的关键。通过细分地层组段开展地震地质储层综合预测,显著提高了储层预测结果的准确性。

关键词:裂缝-孔洞型储层;储层分布预测;碳酸盐岩;南堡凹陷

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Main control factors and distribution prediction of high-quality carbonate reservoirs in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

Cao Zhonghong¹, Zhang Hongchen¹, Liu Guoyong¹, Ren Miaosong¹, Fu Jiang¹, Wang Enze²

(Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei 063004, China; 2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Hydrocarbon accumulation conditions of carbonate buried-hill are favorable in Nanpu Sag, and hydrocarbon enrichment is controlled by multiple factors like stratigraphy, structure and reservoir. Development and distribution of quality reservoir are the focus of the research. In-depth analysis of drilling, logging, core and other data reveals that the main reservoir type is fractured-vuggy carbonate reservoirs in Nanpu Sag, with dissolution pores and vugs as the dominant reservoir space and fractures as the main channels connecting the pores and vugs. Carbonate sedimentary facies zones, diagenesis (including karstification), and tectonic process are the main factors controlling on the development of high-quality carbonate buried-hill reservoirs. The favorable sedimentary facies are the basis of reservoir development, the favorable diagenetic epigenesis is the guarantee of reservoir development and the favorable tectonic process is the key to reservoir development. The precision of reservoir prediction is significantly improved through comprehensive seismic and geological reservoir prediction based on layer subdivision.

Key words: fractured-vuggy reservoir, reservoir distribution prediction, carbonate reservoir, Nanpu Sag

南堡凹陷位于渤海湾盆地黄骅坳陷北部,面积1 932 km²,是华北地台基底上,经中、新生代构造运动发育起来的一个北断南超的箕状凹陷。南堡凹陷碳酸盐岩潜山主要发育在NP5号、NP1号、NP2号、NP3号4个构造带上(图1),潜山地层主要为奥陶系和寒武系。2004年A井奥陶系潜山试油日产油700 m³,天然气16×10⁴ m³,揭开了南堡凹陷碳酸盐岩潜山勘探的序幕。近年来,随着南堡凹陷油气勘探工作不断推进,碳酸盐岩潜山油气藏逐步成为重要勘探领域,而对于潜山油气藏来说,储层是影响油气富集的关键,国内众多学者针对碳酸盐岩储层控制因素和分布预测开展了大量的研究工作^[1-15],由于碳酸盐岩强烈的非均质

性,储层发育受多因素影响,不同构造沉积背景下的碳酸盐岩储层发育控制因素和分布规律不尽相同,加强碳酸盐岩优质储层控制因素研究和分布预测对南堡凹陷碳酸盐岩潜山勘探具有重要意义。

1 碳酸盐岩潜山成藏地质条件

南堡凹陷碳酸盐岩潜山油气成藏条件优越。南堡凹陷发育多组北北东和北北西向深大断裂,这些深大断裂将南堡凹陷切割成多个潜山构造带,具有断垒和断槽相间的构造格局;南堡凹陷古近系暗色泥岩厚度大,有机质丰度高,油源条件好^[16-17],供烃窗口大;潜

收稿日期:2014-09-08;修订日期:2014-11-15。

第一作者简介:曹中宏(1968—),男,博士、高级工程师,石油地质。E-mail:zhonghongcao@petrochina.com

通讯作者简介:张红臣(1982—),男,工程师,石油地质。E-mail:zhanghongchen2007@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05006-06)。

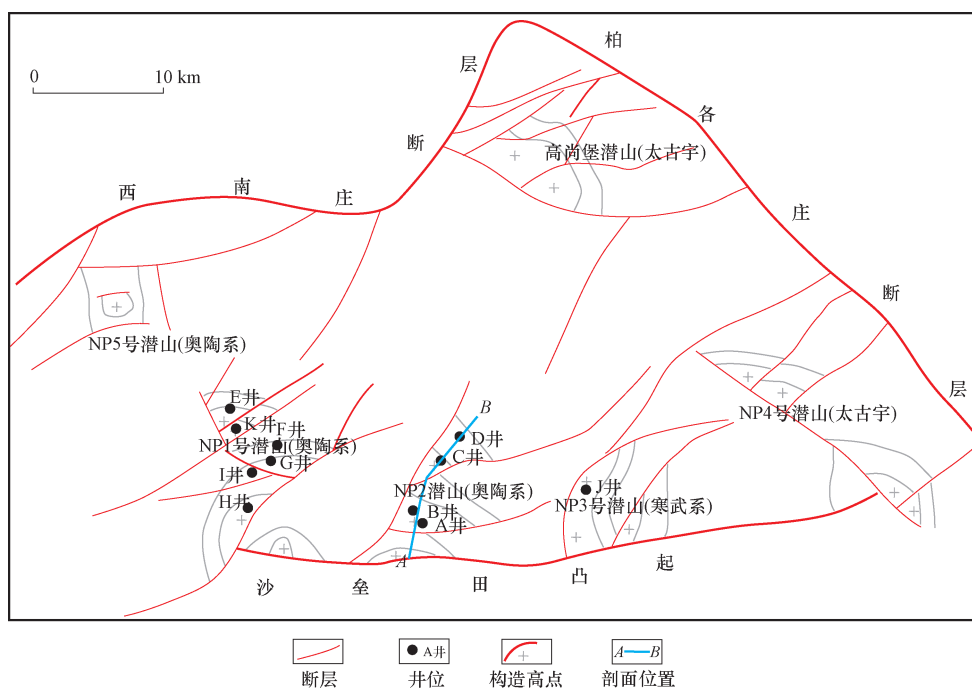


图1 南堡凹陷构造纲要

Fig. 1 Structure outline of the Nanpu Sag

山圈闭长期处于油气运移指向区,继承性活动大断层和区域不整合面构成油气复式运移通道;多期构造运动和岩溶改造在奥陶系和寒武系碳酸盐岩中形成了大量裂缝和溶蚀孔洞^[18];古近系细粒沉积物形成了区域性盖层,火成岩也可形成局部的盖层^[19];寒武系-奥陶系发育多套储盖组合,为南堡凹陷潜山多类型潜山油藏的形成提供了有利条件。近期勘探实践表明,南堡凹陷碳酸盐岩潜山的油气成藏受地层、构造、储层等多重因素控制,主要发育地层削蚀不整合油气藏、风化壳断块油气藏与潜山内幕油气藏等3种主要油气藏类型(图2)。

南堡凹陷碳酸盐岩潜山成藏条件优越,储层的发

育程度是制约油气成藏的关键,供烃窗口之上的优质储层发育区往往是油气富集区,因此只有在缝、洞发育的地方,才能形成油气运聚。由于碳酸盐岩储层非均质性强,其储层特征、优质储层发育的主控因素以及空间发育特点等是制约研究区下一步勘探的瓶颈问题。

2 碳酸盐岩储层特征

2.1 储层岩石学特征

南堡凹陷下古生界储层主要岩性为石灰岩类,包

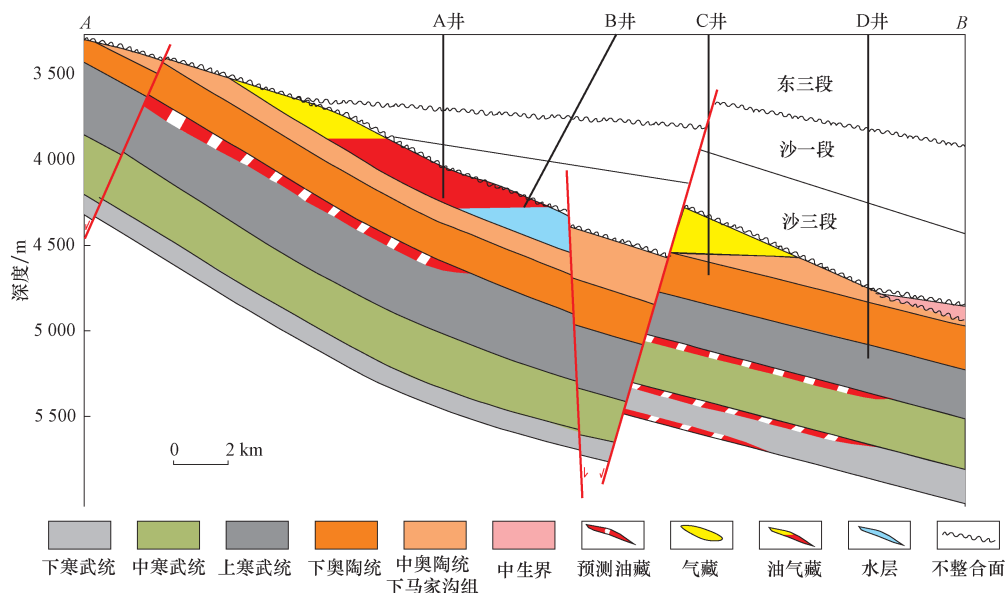


图2 南堡凹陷 NP2 号潜山油藏剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Reservoir profile of NP2 buried-hill, the Nanpu Sag(see Fig. 1 for the section location)

括颗粒-灰泥石灰岩、晶粒石灰岩和生物格架-礁石灰岩,其次为白云岩类和过渡性岩类。岩石组分在不同组段、不同井区略有差异。石灰岩的主要成分是方解石,白云岩的主要成分是白云石。除上面两种矿物外,还含有一些粘土矿物、石英、长石、黄铁矿、绿泥石及少量的生物碎屑等。岩石结构较细,主要为泥晶结构,其次为粉晶结构,少见细晶、中晶、粗晶和粒屑结构。构造上主要为层状构造、条带状构造、缝合线构造并含有少量的鲕状、斑状构造等。

2.2 储集空间特征

南堡凹陷碳酸盐岩潜山储集空间类型多样,主要有溶蚀孔洞和裂缝。

南堡凹陷碳酸盐岩一般比较致密,性脆,化学性质不稳定,形成多种溶蚀孔洞。溶蚀孔洞类型主要包括角砾间溶孔(图3a)、角砾溶孔、晶间溶孔、晶间溶孔(图3b)、粒间溶孔、晶间微孔、膏模溶孔、晶内溶孔、粒内溶孔、脉内孔洞、孔隙性溶洞和裂缝性溶洞,其中角砾间孔、角砾内孔、孔隙性溶洞和裂缝性溶洞为主要储集空间。这些溶蚀孔洞主要分布在寒武系府君山组、毛庄组上部、长山组-凤山组和奥陶系下马家沟组,同时岩心分析表明,这些溶蚀孔洞普遍含油,如F井奥陶系下马家沟组灰岩中溶蚀孔洞可见残余油迹,因此这些溶蚀孔洞是油气聚集的主要空间。

南堡凹陷碳酸盐岩潜山构造缝较发育,往往成群、

成组分布,形成裂缝系统。岩心观察表明,裂缝以大于70°高角度裂缝为主,其次为低角度裂缝,水平或近水平裂缝较少。南堡凹陷下古生界碳酸盐岩潜山受加里东期、印支期-燕山期等多期构造运动的影响,至少发育两期构造裂缝系统,加里东期以前形成的裂缝为早期裂缝系统,印支期-燕山期以后所形成的裂缝为晚期裂缝系统。早期构造裂缝一般被方解石、泥铁质、有机质等完全充填或半充填。晚期形成的构造裂缝较窄,部分构造缝未充填,这些裂缝往往是油气运移的重要通道,对于油气运移和聚集更为有利(图3c)。在裂缝充填的方解石中,可见很多油气包裹体,表明裂缝是油气运聚的重要通道(图3d)。

测井解释分析表明,虽然钻井取心和成像测井可以见到大量裂缝,但是这些裂缝孔隙度最高只有0.1%,只占总孔隙度平均值的3.7%(表1),因此储集空间以溶蚀孔洞为主,主要储层类型以裂缝-孔洞型为主,裂缝的存在只是大量沟通溶蚀孔洞,增强储层流体的流动性。

3 优势储层发育主控因素

南堡凹陷碳酸盐岩潜山油气勘探实践和碳酸盐岩储层研究结果表明,沉积相带、成岩作用(包括岩溶和白云岩化等)、构造作用是控制碳酸盐岩储层发育的3个基本因素,其中有利的沉积相带是储层发育的基础,

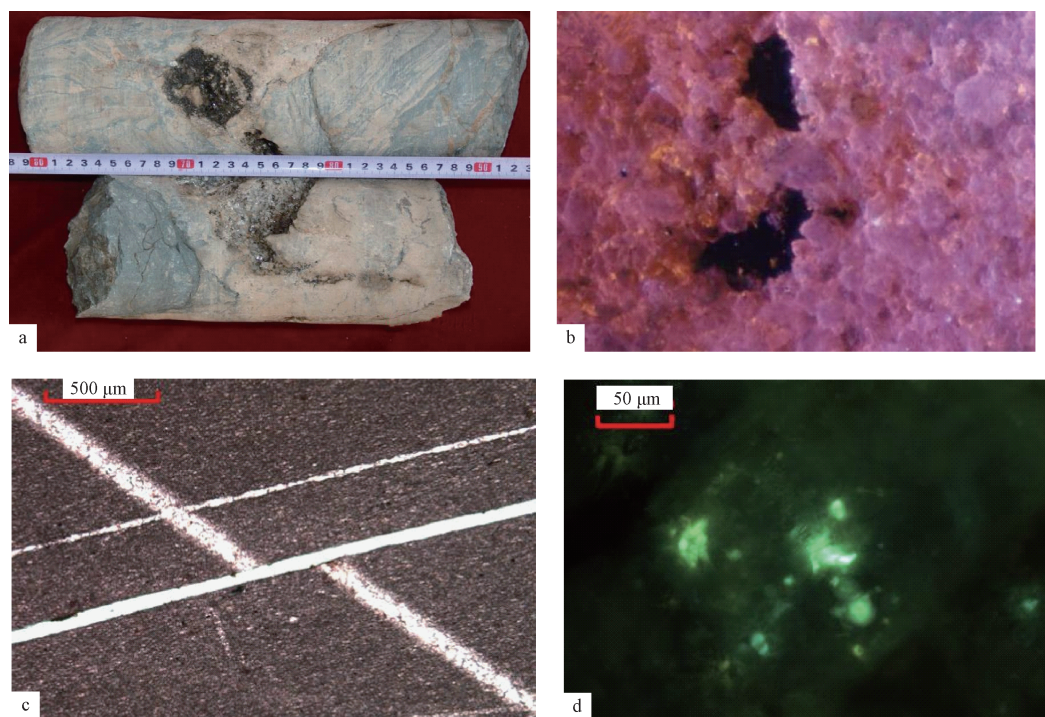


图3 南堡凹陷F井下马家沟组灰岩储集空间

Fig. 3 Reservoir space in the Lower Majiagou limestone from Well F in the Nanpu Sag

a. 灰岩角砾间溶洞;b. 灰岩基质中的溶蚀微孔,阴极发光;c. 两期构造缝相互切割,前期裂缝被充填,后期裂缝未充填;d. 灰岩裂缝方解石中烃类包裹体

表1 南堡凹陷碳酸盐岩潜山储层物性测井解释

Table 1 Log interpretation of physical properties of carbonate buried-hill reservoirs in the Nanpu Sag

井号	总孔隙度/%			裂缝孔隙度/%		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
E井	4.02	0.61	2.81	0.005 0	0.001 0	0.002 0
F井	5.16	0.22	1.46	0.013 0	0.001 0	0.004 0
G井	2.20	0.60	1.53	0.021 6	0.007 3	0.012 0
H井	4.10	0.10	2.02	0.014 0	0.001 0	0.004 0
C井	4.50	0.40	2.21	0.013 6	0.001 0	0.005 0
D井	5.00	1.50	3.18	0.007 0	0.002 0	0.005 0
B井	11.80	1.20	4.15	0.410 0	0.020 0	0.087 0
I井	10.00	0.20	2.95	0.962 0	0.005 6	0.108 4
J井	6.10	1.21	4.09	0.020 0	0.000 1	0.009 5

有利的成岩后生作用是储层发育的保障,有利的构造作用是储层发育的关键。

3.1 有利的沉积相带是储层发育的基础

沉积相对储层形成的控制作用主要是通过沉积作用来进行的,不同的沉积环境具有不同的沉积作用,沉积作用的差异可以产生结构不同,甚至岩性不同的岩石类型,进而控制储层的形成演化^[6,20]。

沉积物的原始物性制约着岩溶储层的发育程度。在华北寒武系—奥陶系碳酸盐岩地层中,碳酸盐岩缓坡体系十分发育。尤其在上寒武统和下奥陶统的潮控缓坡体系中,内缓坡相带的潮缘亚相、潟湖亚相、颗粒滩亚相和局限台地亚相时常遭受不同程度的白云岩化,白云石的交代—重结晶作用产生了大量的收缩晶间和晶内孔隙。它们除自身具备良好的储集性能外,也为次生溶蚀过程提供了极有利的条件。

下寒武统府君山组、上寒武统的崮山组—长山组—凤山组和下奥陶统的冶里组—亮甲山组正处在潮控碳酸盐岩缓坡体系的内缓坡潮缘亚相、潟湖亚相、颗粒滩亚相、局限台地亚相和开阔台地亚相交替变化的地区。结合不同岩性和不同沉积相带的物性数据(图4,图5),有利于储层发育的沉积相类型依次为中—外缓坡>颗粒滩亚相>局限台地亚相>开阔台地亚相>潟湖。

南堡凹陷野外露头 and 碳酸盐岩动力学试验结果表明:奥陶系的冶里组、亮甲山组、下马家沟组上部和寒武系毛庄组上部发育缓坡颗粒滩相的生屑灰岩,易于溶蚀,为有利储层发育段^[8]。

3.2 有利的成岩后生作用是储层发育的保障

南堡凹陷碳酸盐岩成岩作用主要包括建设性成岩作用,包括表生岩溶作用、埋藏溶蚀作用和白云岩化作用;破坏性成岩作用包括孔隙充填作用、压实(溶)作

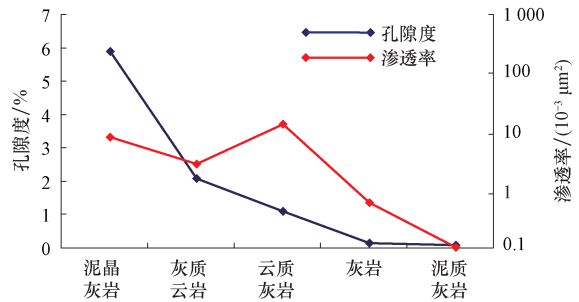


图4 南堡凹陷不同岩性储层物性对比

Fig. 4 Comparison of physical properties among different lithologic reservoirs in the Nanpu Sag

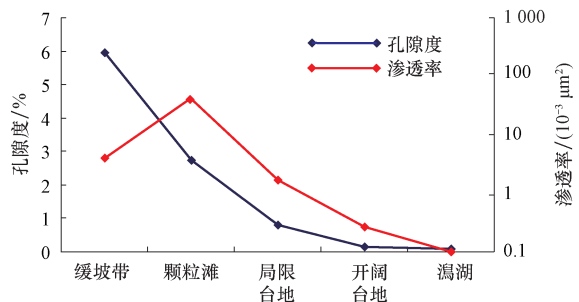


图5 南堡凹陷不同沉积相带储层物性对比

Fig. 5 Comparison of physical properties among different sedimentary facies in the Nanpu Sag

用、胶结作用和重结晶作用(表2)。

南堡凹陷碳酸盐岩潜山具备较好的表生岩溶发育条件,寒武系—奥陶系碳酸盐岩发育,与上覆地层存在大规模的沉积间断和风化剥蚀,碳酸盐岩发生淋滤、溶蚀,常常形成溶洞、溶孔及溶缝,可作为油气储集和运移的场所与通道。

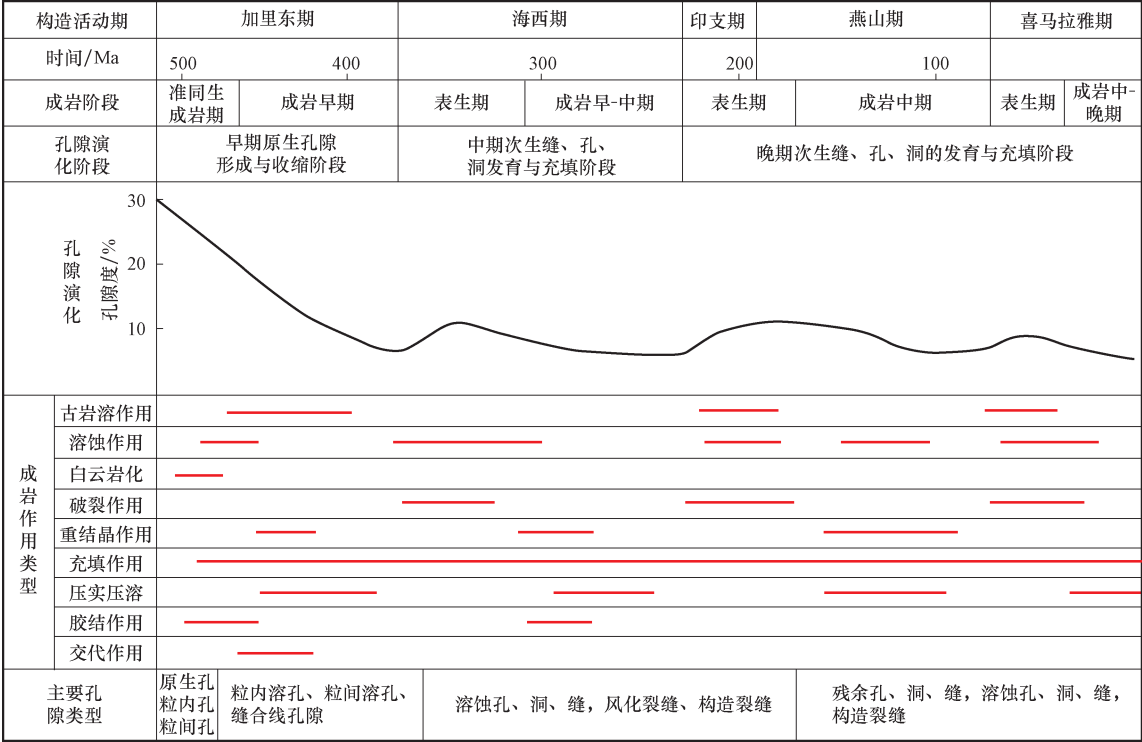
埋藏溶蚀作用总是首先沿着被埋藏的前期古风化壳岩溶带中各类残余孔洞、晶间孔隙和裂缝发育,最直接证据就是孔洞、裂缝中充填的方解石、白云石及异形白云石等埋藏期充填物被溶蚀成晶间、晶内孔洞。埋藏溶蚀作用的主要特征是非组构选择性溶蚀,既溶蚀岩石组构中的颗粒又溶蚀早期的硅质胶结物。颗粒内溶孔常可作为油气的有利储集空间,但孔隙之间的连通性制约着其对油气的储集能力,而裂缝的存在往往能有效沟通溶蚀孔洞。

白云岩化模式的差异也对储层物性有影响作用。镜下观察发现白云岩化主要发生在准同生和浅埋藏阶段,准同生阶段的白云岩以泥晶白云岩为主,并含有针状或板条状石膏假晶,多属于蒸发泵和渗透—回流成因。浅埋藏成因的白云岩多为粉晶结构,由于白云岩化作用往往不彻底,常于白云石晶间分布残余方解石,为后期溶蚀形成晶间孔和晶间溶孔提供了有利条件。

破坏性成岩作用中充填作用非常普遍,缝、孔、洞

表 2 南堡凹陷碳酸盐岩储层成岩作用与孔隙演化模式

Table 2 Diagenesis and pore evolution model of carbonate reservoirs in the Nanpu Sag



大多被不同程度的充填,充填物以方解石、泥质、黄铁矿、硅质以及有机质等为主。压实作用和压溶作用在该区也较常见,随着上浮沉积物加厚,岩石不断被压实,所含的孔隙水被挤压、流动,并对其周边岩石进行溶蚀,当压力增大到一定程度时,发生压溶作用形成缝合线。大多数缝合线被泥质全充填,少数还含有有机质、泥铁质,这是孔隙减小的重要因素之一。胶结作用主要是碳酸盐矿物胶结,其成分以方解石为主,还有少量的硅质胶结,黄铁矿胶结等。重结晶作用趋于晶体增大,此时重结晶作用对储层起破坏作用,南堡凹陷常见早期形成的高角度宽裂缝被重结晶方解石充填的现象(表 2)。

因此,储层所处的成岩作用阶段对于其物性有关键性的影响,当表生岩溶、溶蚀等建设性成岩作用占主导优势,而孔隙充填、压溶压实等破坏性成岩作用相对不发育时,最有利于储层的发育。

3.3 有利的构造作用是储层发育的关键

不同类型的碳酸盐岩储层,其形成和发育均受构造作用所控制。南堡凹陷碳酸盐岩潜山主要经历了加里东、印支和燕山等多期构造运动影响。

加里东运动,使研究区整体区域抬升,并遭受剥蚀,使大段地层缺失,但未见明显的断裂活动,也无显著的褶皱作用和大量岩浆侵入活动,裂隙系统不是很发育。因此,岩溶作用只能在近地表有限的范围内进行,使奥陶系碳酸盐岩地层长期受到大气水的风化淋

滤及溶蚀作用,从而形成了大量的孔、洞、缝储层,因此在不整合面附近储层孔隙度普遍增高,远离地面则有明显降低的趋势(图 6)。

印支期的强烈运动改变了古生代构造格局,该期构造运动以挤压褶皱、逆冲推覆为主要运动形式。该时期的潜山是在褶皱、断裂隆起的背景下剥蚀形成,使奥陶系储层之上的上古生界遭受剥蚀,下古生界奥陶系储层形成的大量裂缝受到直接风化淋滤,为潜山油气储集创造了良好的条件,印支期岩溶作用持续时间长,岩溶作用不仅发生在出露地表的碳酸盐岩中,而且通过早期形成的断层和裂缝系统延伸至深部地层,进一步改造了储层的储集性能。

燕山期,特别是燕山运动Ⅲ幕,其构造活动最为强烈,是一期重要的潜山成山期,主要表现为东西向挤压伴随着右旋应力场以及差异升降的翘倾块断活动。燕山期的断块作用使基岩被多向断层切割成块,其间还发生多次断裂活动,将原来大的块体进一步切割破坏,使其更有利于下古生界潜山的形成。

岩心观察和成像测井资料表明,研究区潜山储层发育多组裂缝系统(图 7),早期构造产生的裂缝系统较细微,多被矿物充填,晚期构造产生的裂缝系统多数未被充填或部分充填(图 3c),可以为地下流体活动和油气充注提供了重要通道。岩溶强度与裂缝的发育密切相关,岩溶和裂缝的发育是改善碳酸盐岩储层质量的关键因素。

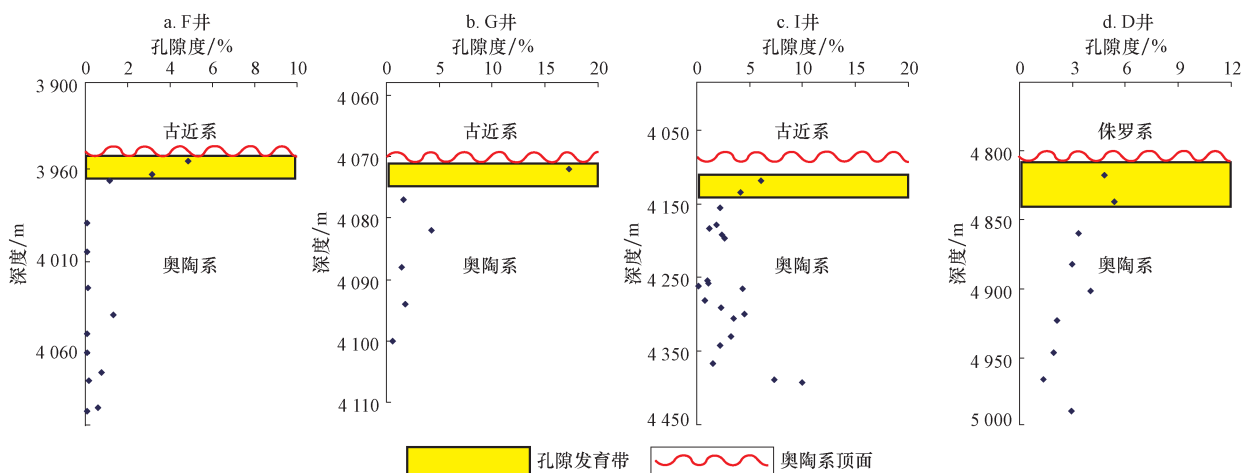


图6 南堡凹陷孔隙频谱与地层界面对比

Fig. 6 Correlation of pore spectra and formation interfaces in the Nanpu Sag

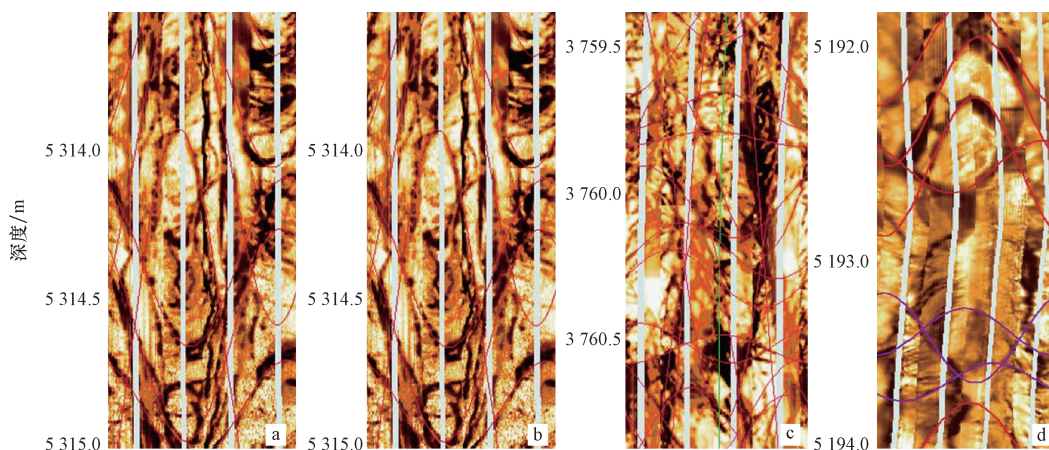


图7 南堡凹陷碳酸盐岩潜山成像测井

Fig. 7 Image log of the carbonate buried-hill in the Nanpu Sag

a. B井,溶孔沿裂缝分布;b. K井溶孔沿裂缝分布;c. H井,溶孔沿裂缝分布;d. J井,顺张缝溶蚀

4 地质模式约束下的优质储层预测

南堡凹陷碳酸盐岩潜山主要为海相奥陶系和寒武系,同一套地层区域分布相对稳定,处于相似的沉积相带,经历了相似的成岩作用和相同的构造演化过程,因此同一组地层的储层发育条件和背景总体相似,因而地层对于储层有重要控制作用。如在南堡凹陷周边凸起,寒武系毛庄组顶部存在一套含藻白云岩,钻探证实是一套优质储层,地层对比表明这套地层分布比较稳定,因此推断南堡凹陷这套地层储层物性也应该较好,后期钻探发现南堡3号潜山毛庄组顶部也存在一套优质储层,这也证明地层对储层有重要控制作用。

碳酸盐岩储层预测是潜山油气藏研究的重点和难点。为了尽量减少不同组段地层沉积相带、岩性等因素对地震预测的影响,进一步提高预测结果的准确性,应开展细分组段的储层预测。与此同时,就地震预测本身而言,由于碳酸盐岩储层具有极强的非均质性,单一的储层预测技术难以客观反映所有地震信息的差

异,必须开展多方法地震综合预测工作^[11,15]。细分组段多属性融合综合预测是提高碳酸盐岩潜山储层预测的有效方法。

在地质认识指导下,通过地震精细追踪、对比,明确优质储层发育层段地层的平面分布特征,并以地层平面分布边界为约束,开展地震属性与测井储层参数的相关性和敏感性分析,优选敏感属性参数,通过振幅、频率、曲率和泊松比等多种敏感属性融合,逐层、段精确刻画储层。通过在南堡凹陷细分地层组段,应用多属性融合储层预测,实现了由单一地震属性储层预测向地质模式约束下的多属性融合储层预测技术的转变。利用该技术成果对南堡凹陷14口潜山探井进行验证,其中12口井与预测结果相符,储层预测符合率达到86%(图8,图9)。

5 结论

1) 综合地质研究和勘探实践表明,沉积相带、成岩作用(包括岩溶)、构造作用是南堡凹陷碳酸盐岩潜

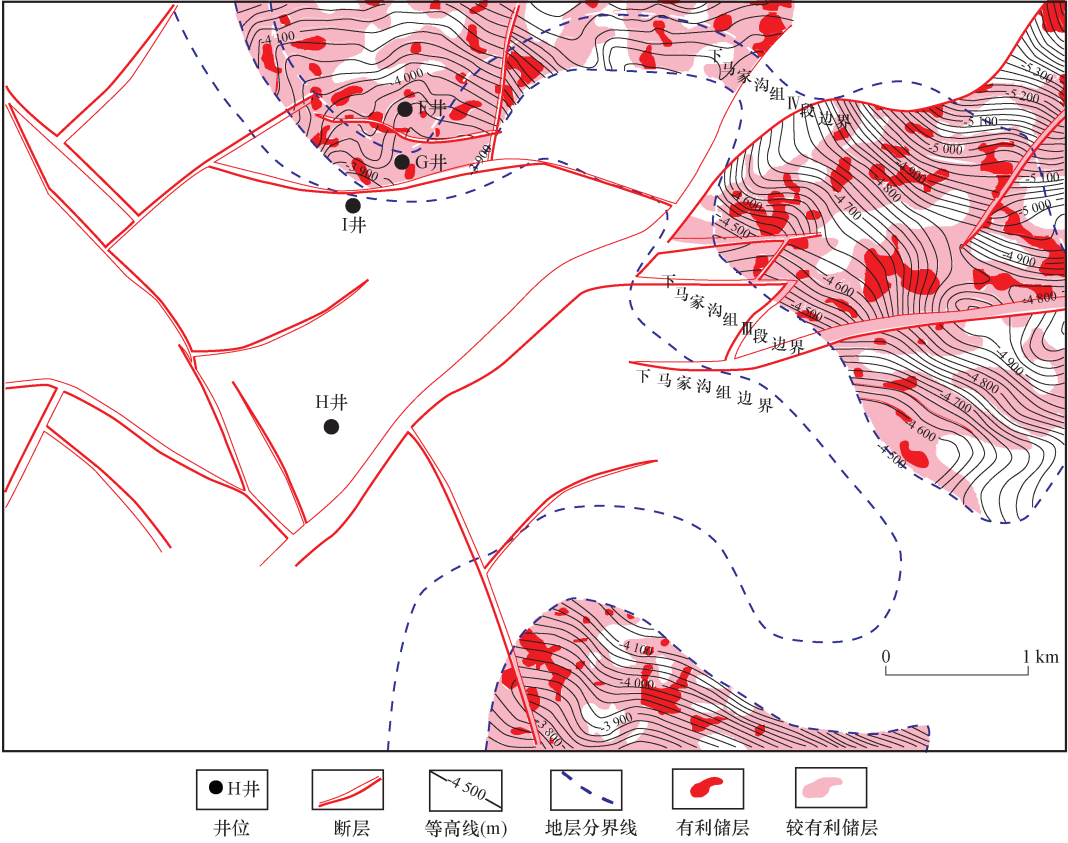


图 8 南堡凹陷 NP1 号构造奥陶系下马家沟组Ⅲ段和Ⅳ段多属性融合储层预测

Fig. 8 Multi-attribute reservoir prediction of Ⅲ and Ⅳ members of the Ordovician Lower Majiagou Formation in NP1 structure,the Nanpu Sag

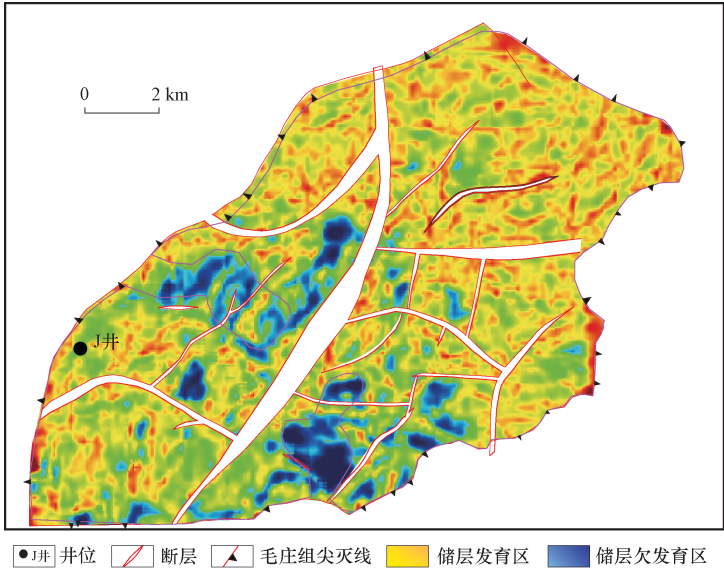


图 9 南堡凹陷 NP3 号构造寒武系毛庄组多属性融合储层预测

Fig. 9 Multi-attribute reservoir prediction of the Cambrian Maozhuang Formation in NP3 structure, the Nanpu Sag

山优势储层发育的主控因素,并提出地层对于碳酸盐岩储层的控制作用。

2) 沉积相带对储层形成的控制作用主要是通过沉积作用来进行的,不同的沉积相带具有不同的沉积作用,沉积作用的差异可以产生结构不同,甚至岩性不同的岩石类型,进而控制储层的形成演化。

3) 成岩作用对于碳酸盐岩储层物性有关键性的影响,当表生岩溶、溶蚀等建设性成岩作用占主导优

势,而孔隙充填、压溶压实等破坏性成岩作用相对不发育时,有利于储层的发育。

4) 构造作用是表生岩溶作用和深埋岩溶作用的基础,其中深埋岩溶强度与裂缝的发育密切相关,岩溶和裂缝的发育是改善碳酸盐岩储层质量的关键因素。

5) 在地质模式约束下通过细分地层组段开展多属性融合储层预测研究,可显著提高预测精度,为碳酸盐岩潜山勘探部署提供重要依据。

参考文献

- [1] 汪泽成,赵文智,胡素云,等.我国海相碳酸盐岩大油气田油气藏类型及分布特征[J].石油与天然气地质,2013,34(2):153-160.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Hu Suyun, et al. Reservoir types and distribution characteristics of large marine carbonate oil and gas fields in China[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(2): 153-160.
- [2] 张向涛,汪旭东,张素芳,等.台内薄层礁滩型碳酸盐岩储层定量描述及控制因素——以珠江口盆地A地区为例[J].石油与天然气地质,2014,35(3):417-424.
Zhang Xiangtao, Wang Xudong, Zhang Sufang, et al. Quantitative description of intra-platform thin carbonate reservoirs of reef-bank facies and their controlling factors: a case from the A region of Pearl River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 417-424.
- [3] 谭广辉,邱华标,余腾孝.塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组油藏成藏特征及主控因素[J].石油与天然气地质,2014,35(1):26-32.
Tan Guanghui, Qiu Huabiao, Yu Tengxiao, et al. Characteristics and main controlling factors of hydrocarbon accumulation in Ordovician Yingshan Formation in Yubei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 26-32.
- [4] 苏劲,张水昌,杨海军,等.断裂系统对碳酸盐岩有效储层的控制及其成藏规律[J].石油学报,2010,31(2):196-203.
Su Jin, Zhang Shuichang, Yang Haijun, et al. Control of fault system to formation of effective carbonate reservoir and the rules of petroleum accumulation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2): 196-203.
- [5] 焦伟伟,李建交,田磊.中国海相碳酸盐岩优质储层形成的地质条件[J].地质科技情报,2009,28(6):64-70.
Jiao Weiwei, Li Jianjiao, Tian Lei. Geological conditions of marine carbonate high quality reservoir in China[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(6): 64-70.
- [6] 刘树根,时华星,王国芝,等.桩海潜山下古生界碳酸盐岩储层形成作用研究[J].天然气工业,2007,27(10):1-5.
Liu Shugen, Shi Huaxing, Wang Guozhi, et al. Effect of under Paleozoic carbonate reservoir formed of Zhuanghai buried hill[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(10): 1-5.
- [7] 成永生,陈松岭,王海,等.南堡凹陷周边凸起寒武-奥陶系碳酸盐岩储层特征及成岩作用[J].地质找矿论丛,2008,23(3):230-235.
Cheng Yongsheng, Chen Songling, Wang Hai, et al. Features and diagenesis of Cambrian-Ordovician in peripheral of Nanpu Sag[J]. Geology and Mineral Resources Research, 2008, 23(3): 230-235.
- [8] 张天付,鲍征宇,张旭,等.南堡凹陷下古生界碳酸盐岩储层溶解动力学的试验模拟[J].石油天然气学报,2012,32(6):208-212.
Zhang Tianfu, Bao Zhengyu, Zhang Xu, et al. Experimental stimulation of dissolution kinetics for carbonate reservoir of Paleozoic in Nanpu Sag[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 32(6): 208-212.
- [9] 杨勉,徐梓洋,杨柏松,等.贝尔凹陷基岩潜山致密储层裂缝分布预测[J].石油与天然气地质,2014,35(2):253-257.
Yang Mian, Xu Ziyang, Yang Baisong, et al. Fracture prediction of bedrock buried hill tight reservoirs in Beier Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(2): 253-257.
- [10] 孙炜,李玉凤,何巍巍,等.P波各向异性裂缝预测技术在ZY区碳酸盐岩储层中的应用[J].石油与天然气地质,2013,34(1):137-144.
Sun Wei, Li Yufeng, He Weiwei, et al. Using P-wave azimuthal anisotropy to predict fractures in carbonate reservoirs of the ZY block[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(1): 137-144.
- [11] 杨晓利,王童奎,柳晓风,等.相控地震多属性预测技术在南堡凹陷碳酸盐岩储层的应用[J].地球物理学进展,2012,27(4):1565-1571.
Yang Xiaoli, Wang Tongkui, Liu Xiaofeng, et al. Applications of facies-controlled seismic multi-attribute prediction technology for reservoir in the burial hill of Nanpu Sag[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(4): 1565-1571.
- [12] 王童奎,赵宝银,付兴深,等.南堡凹陷奥陶系潜山精细构造解释和储层预测综合研究[J].地球物理学进展,2010,25(2):548-554.
Wang Tongkui, Zhao Baoyin, Fu Xingshen, et al. Fine structural interpretation and reservoir prediction of Ordovician buried hill in Nanpu Sag[J]. Progress in Geophysics, 2010, 25(2): 548-554.
- [13] 孔选林,唐建明,徐天吉.曲率属性在川西新场地区裂缝检测中的应用[J].石油物探,2011,50(5):517-520.
Kong Xuanlin, Tang Jianmin, Xu Tianji. Application of seismic curvature attribute to fracture prediction in Xinchang area, western Sichuan Depression[J]. Petroleum Geophysical, 2011, 50(5): 517-520.
- [14] 刘萱,谢占安,张国栋,等.南堡油田叠前反演技术与储层预测[J].天然气工业,2007,27(增刊A):439-442.
Liu Xuan, Xie Zhanan, Zhang Guodong, et al. Pre-stack inversion and reservoir prediction of Nanpu oilfield[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(Supplement A): 439-442.
- [15] 李在光,杨占龙,刘俊田,等.多属性综合方法预测含油气性及效果[J].天然气地球科学,2006,17(5):727-730.
Li Zaiguang, Yang Zhanlong, Liu Juntian, et al. Hydrocarbon detection by integrating multiple attributes[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 727-730.
- [16] 郑红菊,董月霞,王旭东,等.渤海湾盆地南堡富油气凹陷烃源岩的形成及其特征[J].天然气地球科学,2007,18(1):27-33.
Zheng Hongju, Dong Yuexia, Wang Xudong, et al. The generation and characteristics of source rocks in Nanpu oil-rich depression of Bohai Bay Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 27-33.
- [17] 刘晓,周海民,郑红菊,等.南堡富油凹陷烃源岩的认识与资源潜力评价[C]//南堡油田勘探技术文集.北京:石油工业出版社,2007:80-88.
Liu Xiao, Zhou Haimin, Zheng Hongju, et al. Knowledge and resources to evaluate potential source rocks of Nanpu Sag[C]//Exploration techniques anthology of Nanpu oilfield. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 80-88.
- [18] 康玉柱.中国古生代碳酸盐岩古岩溶储集特征与油气分布[J].天然气工业,2008,28(6):1-12.
Kang Yuzhu. Characteristics and distribution laws of paleokarst hydrocarbon reservoirs in palaeozoic carbonate formations in China[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6): 1-12.
- [19] 董月霞,周海民,夏文臣.南堡凹陷火山活动与裂陷旋回[J].石油与天然气地质,2000,21(4):304-307.
Dong Yuexia, Zhou Haimin, Xia Wenchen. Volcanic activities and rift-subsidence cycles in Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 304-307.
- [20] 黎平,陈景山,王振宇.塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层形成控制因素及储层类型研究[J].天然气勘探与开发,2003,26(1):37-42.
Li Ping, Chen Jingshan, Wang Zhenyu. Types of control factors and reservoir Ordovician carbonate reservoir formation of Tazhong area[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2003, 26(1): 37-42.

(编辑 张玉银)