

辽河断陷曙光古潜山古生代 储层储集空间特征及演化

魏喜^{1,2}, 祝永军², 赵国春¹, 宋柏荣³, 王云喆⁴

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国石油辽河油田南海油气勘探分公司, 辽宁盘锦 124010;
3. 中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁盘锦 124010; 4. 吉林油田采油二厂, 吉林松源 131200)

摘要:辽河断陷曙光古潜山储层的岩石类型主要为碳酸盐岩和砂岩;储集空间主要是次生成因的,包括孔洞和缝隙。古潜山中、高潜山带具有“上缝下孔”的特征,即上部以构造裂缝为主,溶蚀孔隙不发育;下部在裂缝发育的基础上,出现大量溶蚀孔、洞。低潜山带也存在裂缝和次生孔隙发育带,但深度大于中、高潜山带。潜山储层的这种分布与下列因素有关:(1)晚古生代和中生代的地壳抬升、走滑挤压造山和风化剥蚀产生大量溶洞、溶孔和裂缝;(2)新生代以来的走滑伸展作用使曙光古潜山储层逐渐埋到地下,产生一定的新裂缝;(3)上覆地层的持续沉积埋藏成岩作用使潜山已有孔缝得到再分配和改造。

关键词:储层;孔隙特征;孔隙演化;古生代;曙光古潜山;辽河断陷

中图分类号:TE112.23

文献标识码:A

Reservoir space characteristics and evolution of the Palaeozoic reservoir rocks in Shuguang buried hills, Liaohe fault basin

Wei Xi^{1,2}, Zhu Yongjun², Zhao Guochun¹, Song Bairong³, Wang Yunzhe⁴

(1. Earth Science and Resources College, China University of Geosciences, Beijing; 2. The South China Sea Oil and Natural Gas Exploration Company of Liaohe Oilfield, Panjin, Liaoning; 3. Research and Exploration Institute of Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin, Liaoning; 4. The Second Oil Production Plant of Jilin Oilfield, Songyuan, Jilin)

Abstract: The reservoir rocks in Shuguang buried hills, Liaohe fault depression are mainly composed of both sandstone and carbonate rocks. A large proportion of reservoir space is secondary, including vugs and fractures. In Shuguang buried hills the medium-high buried hills are characterized by the so-called “fracture development in upper part but vug development in lower part”, that is, the tectonic fractures are common in the upper part of buried hills without solutional voids, whereas the large numbers of solutional voids most likely to occur in the lower part of buried hills. The development belt of fracture and secondary pores is also present in gentle buried hills, but its buried depth is deeper than that in medium-high buried hills. The distribution of reservoir rocks in buried hill is related to the following factors: (1) a vast amount of solution vug and fracture formed by crust uplift, compressional strike-slip orogenesis, weathering and denudation during the late Paleozoic-Mesozoic era; (2) new fissures formed by the progressively deep burial of reservoir rocks in Shuguang buried hills during the Cenozoic strike-slip extension; (3) redistribution and reworking of the existing pores and fissures in Shuguang buried hills due to the steady burial diagenesis of overlying strata.

Key words: reservoir rock; pore character; pore evolution; Paleozoic era; Shuguang buried hills; Liaohe fault basin

辽河断陷曙光古潜山是古生代潜山^[1~3],分中、高潜山带和低潜山带。其中,中、高潜山带埋藏较浅,在1 500~2 500 m,勘探较早,是辽河油田的重点产能区块^[4]。低潜山带埋藏较深,在

3 500 m以下,勘探难度大,目前已取得重大突破,成为新的产能接替区块。本文主要从储层岩石类型、孔隙类型、分布及控制因素等方面对曙光古潜山古生代储层进行研究,对储层储集空间特征和

第一作者简介:魏喜,男,41岁,高级工程师(博士生),石油地质
收稿日期:2004-07-20

成因机理进行剖析。

1 岩石类型

辽河断陷曙光古潜山储层主要有碳酸盐岩、砂岩和泥页岩三大类,其中碳酸盐岩和砂岩是储集岩。

1.1 碳酸盐岩类

按照矿物成分和结构组分,主要岩石类型包括白云岩化泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、硅质泥晶灰岩、微晶白云岩、鲕粒灰岩、团粒灰岩、亮晶砂屑灰岩、竹叶状灰岩和藻灰岩等。该类岩石矿物成分主要为方解石、白云石、粘土和硅质。其中,白云石多为后期形成。结构组分主要为泥晶、微晶、鲕粒、团粒、内碎屑和生物碎屑等,粒径多小于2 mm。

1.2 砂岩类

主要岩石类型有纯石英砂岩、海绿石石英砂岩、石英岩质砾岩、泥质砂岩等。粒状结构,粒径多在0.03~0.8 mm,最大可达50~100 mm,层状或块状构造。碎屑成分有石英、长石、石英岩岩屑和少量火山岩岩屑。其中,除石英岩质砾岩中石英岩岩屑含量较高外,其他岩类中石英含量多在80%~90%。填隙物主要为自生石英和伊利石,含量在10%左右,海绿石石英砂岩中成岩自生矿物还有海绿石。

1.3 页岩类

主要岩石类型有硅质页岩、海绿石砂质页岩和钙质页岩。矿物成分有伊利石、伊蒙混层、高岭石、石英、方解石和海绿石。其中,伊利石含量在55%~90%,石英多在5%~30%,最高可达45%,方解石含量在15%~20%,海绿石最高可达30%~45%,伊蒙混层和高岭石含量较低。泥质结构,页理构造,可见团块、结核、透镜或条带构造。

2 孔隙类型及特征

由于成岩作用较强,原生孔隙基本丧失。因此,目前有效的储集空间主要是次生成因。按孔隙形态特征可划分为孔洞和缝隙两种类型。

2.1 孔洞型

依据成因、形态和大小,可将孔洞型进一步划分为溶洞、溶孔、晶间孔和角砾间孔等亚类。

①溶洞。岩心观察和统计表明,溶洞主要呈蝌蚪状、串珠状或不规则形状,大小多在2~15 mm。根据钻井资料,古岩溶(洞)高度可达

0.50~9.27 m。如在曙光中、高潜山带的曙古525、曙109、曙古109、曙古524、曙古523等井,分别在距潜山顶面的45.5 m,4 m,11.83 m,39.8 m和61 m处,钻具放空0.5 m,1.2 m,1.5 m,6.75 m和9.27 m。在曙古101、曙古40、曙古109、曙109、曙古72等井,分别在距潜山顶面的12 m,9.1 m,32 m,4 m和20.6 m处,漏失泥浆量分别为60 m³,235 m³,490 m³,523 m³和1 000 m³。这说明本区溶洞普遍发育,并具有一定的规模。古岩溶(洞)的形成受岩性和古流体性质制约^[5,6],主要见于碳酸盐岩中。

②溶孔。在石英砂岩、泥-微晶碳酸盐岩和粒屑碳酸盐岩中均可见到(图1,2)。孔隙直径变化大,达0.005~10 mm,一般在0.05~1 mm。溶孔与岩石构造裂缝关系密切,其分布多在裂缝附近,呈串珠状,特别是在裂缝交汇处溶蚀作用更加强烈。

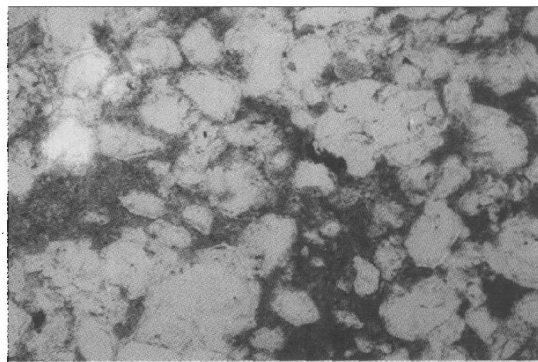


图1 中粒石英砂岩溶孔(铸体薄片)

Fig.1 Dissolution pores in medium-grained quartzose sandstone (cast thin section)

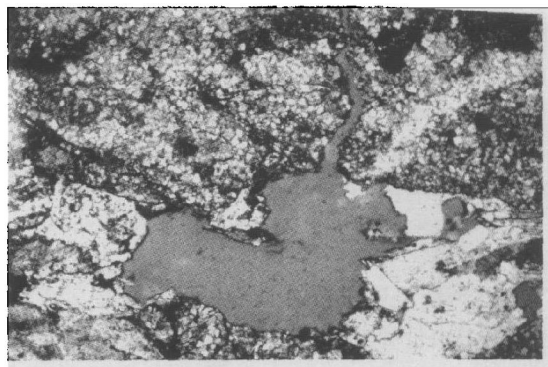


图2 微晶碳酸盐岩溶孔(铸体薄片)

Fig.2 Dissolution pores in microcrystalline carbonate rock (cast thin section)

③晶间孔。在大多数泥-微晶碳酸盐岩中见到。包括泥晶晶间孔和微晶晶间孔,前者孔径较小,在 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下,后者较大,可达 $2\sim 5\ \mu\text{m}$,最大者可达 $10\ \mu\text{m}$ 。

④角砾间孔。构造和岩溶跨塌作用使碳酸盐岩和部分石英砂岩破碎成角砾岩^[5,6],形成角砾间孔,呈三角形、多边形或不规则形状,大小多在 $0.12\sim 20\ \text{mm}$ 。

2.2 缝隙型

包括构造裂缝和压溶缝。从规模上看,构造裂缝大的可以是区域断层(地层裂缝),小的可以是岩石裂缝和矿物颗粒裂缝。各种裂缝密切相关,并受控于一定的构造运动力学体系^[7-9]。研究表明,区域断层主要在潜山形成、油气运移和圈闭方面起到一定作用。而对油气储集有较大贡献的是岩石裂缝。根据裂缝充填状况和对油气储集的贡献划分为两种类型,即无效裂缝和有效裂缝。

①无效裂缝。这种裂缝的类型多样,张裂缝、剪裂缝和张剪缝均有,裂缝大小差异大,但均被以方解石为主的矿物充填。阴极发光分析表明裂缝的形成和充填是多期的(图3)。这类裂缝对研究储层演化起到重要作用,但对油气储集无实际意义。

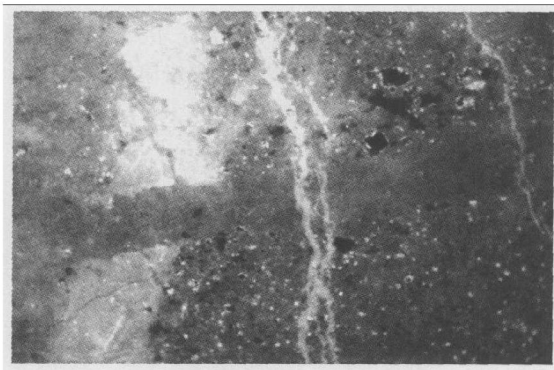


图3 微晶碳酸盐岩中无效裂缝(阴极发光薄片)

Fig.3 Ineffective fissures in microcrystalline carbonate rock (cathodoluminescence thin section)

②有效裂缝。未被或部分被充填的各种裂缝,相对无效裂缝而言发育程度差,宽度小,但密度大,延伸性好,因而成为主要的储集空间。研究表明,大多数有效裂缝的形成晚于无效裂缝,表现为有效裂缝切割无效裂缝。

压溶缝是碳酸盐岩储层中十分常见的储集空

间类型,多呈波状或锯齿状,缝宽一般为 $30\sim 100\ \mu\text{m}$,最大可达 $500\ \mu\text{m}$,常见溶蚀残余物,多为有效的储集空间(图4)。

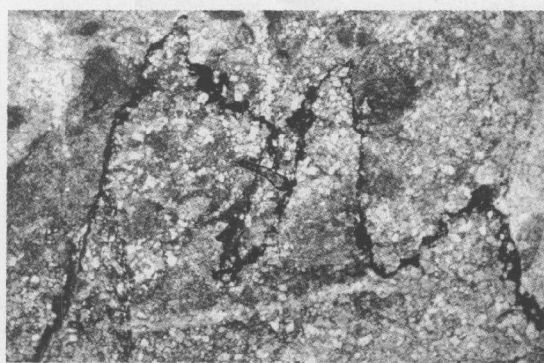


图4 微晶碳酸盐岩中的压溶缝(铸体薄片)

Fig.4 Pressure solution fissures in microcrystalline carbonate rock (cast thin section)

3 储集空间的分布及演化

辽河盆地古生代潜山储层储集空间在纵向分布上具有一定的规律性。其中,裂缝普遍发育,而溶蚀孔、洞仅在某些层段发育。

①曙光古潜山中、高潜山带具有“上缝下孔”的特征,即上部以构造裂缝为主,溶蚀孔隙不发育;下部在裂缝发育的基础上,出现大量溶蚀孔、洞。如曙古43井 $1\ 864.10\ \text{m}$ 以上,孔隙以构造裂缝为主,几乎未见溶蚀孔隙, $1\ 874.96\ \text{m}$ 以下,特别是 $2\ 000\ \text{m}$ 以下,溶蚀孔、洞大量出现,而且裂缝普遍具有溶蚀扩大现象。

②曙光低潜山带储集空间除裂缝外,也存在次生孔隙发育带^[10-14]。这在曙103-1井和曙103-2井等多口探井的岩心观察和薄片鉴定中表现十分明显。

由此可见,曙光古潜山储层有两个溶蚀孔隙发育带,可称为上部溶孔发育带和下部溶孔发育带,埋深分别在 $2\ 000\sim 2\ 500\ \text{m}$ 和 $3\ 600\ \text{m}$ 以下^[11]。这种分布是潜山储层在演化过程中各种地质作用共同作用的结果。

3.1 早期埋藏成岩作用

发生于早古生代,具有持续埋藏成岩作用的特点,随着砂岩和碳酸盐岩地层不断沉积,成岩作用不断加强。由于储层遭受了强压实、强胶结等成岩作用改造,原生孔隙几乎全部丧失(图5)。这

就决定了辽河断陷古生代储层是次生改造型^[3]。

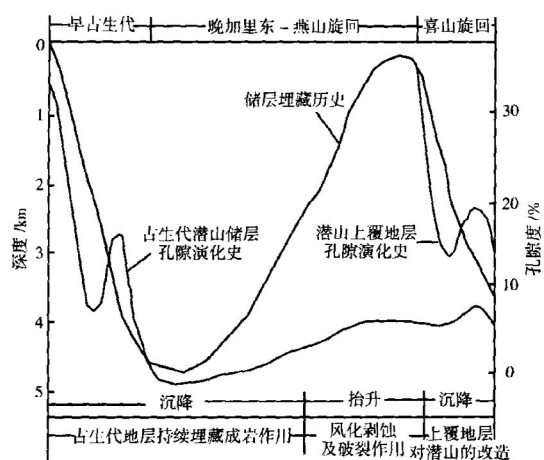


图 5 曙光古潜山储层孔隙演化模式
Fig.5 Evolution model of the reservoir pores
in Shuguang buried hill

3.2 地壳抬升

地壳抬升主要发生于古生代以后,新生代以前。加里东-燕山运动使辽河断陷古生代沉积地层整体抬升,长期暴露地表,遭受走滑挤压和伸展作用改造,使地壳造山增厚或断陷减薄,形成正或负花状构造。在此期间的构造作用和风化淋滤等表生成岩作用使储层产生大量裂缝和溶孔(图 5),同时伴随孔隙的多期充填(图 3)。

①构造破裂是形成孔隙空间的先决条件。其发育程度和分布受区域构造体系和地层岩石性质制约^[12-14]。区域构造体系控制着整个断裂带(宏观)和裂缝系统(微观)的分布格局;而岩性特征决定了局部裂缝发育程度,如含泥质白云岩因泥质含量高,岩石塑性强,既不利于破裂又较难溶解,故储集性能较差,而纯白云岩性脆,易于破碎,因而储集性能较好(表 1)。

②风化淋滤作用主要发生在地表风化淋滤带内,淋滤程度受潜山地层破裂程度、化学稳定性和当时的气候条件控制。因此有些部位溶蚀淋滤仍可达到一定程度。溶洞发育带就是碳酸盐岩古潜山的岩溶带,其顶部为淋滤带,靠近地表部位垂直裂缝发育,以淋滤作用为主,地下水垂向流动,速度快,溶蚀程度低;而溶洞发育带则为古地貌的潜流带上部,即潜水面附近。这是曙光中、高潜山带古岩溶形成的主要机制。

表 1 岩性与储层性能的关系

Table 1 Relationship between rock type
and reservoir property

岩性	岩心实测 面孔率/%	孔隙度/ %	渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	含油性
泥质灰(云)岩	0.4	3.4	1	油斑
微晶灰(云)岩	3.7	4.1	3	油浸
砂质灰(云)岩	3.6	11.9	501	含油

3.3 晚期上覆地层埋藏成岩作用

喜马拉雅运动使辽河断陷古生界再度沉降,并逐渐被新生界覆盖,遭受以裂缝溶蚀和充填交代为主的埋藏成岩作用改造^[15-17](图 5)。这期间成岩作用主要是破裂作用和古近纪沉积盆地中的有机-无机成岩作用对潜山储集空间的再分配改造^[9,11,14]。包括构造破裂、溶解作用、孔缝胶结作用及油气进入古生界储层。

①构造破裂是改善储层的有利因素,受控于古近纪的断陷和走滑伸展作用。

②溶解作用是改善储层的另一种有利因素。古近纪的构造作用和盆地沉积成岩演化对古潜山的改造起着更重要的作用。随着古近纪地层沉积厚度增大,成岩作用增强,有机质逐渐成熟,伴随着一系列有机-无机化学作用^[15,16]。在不同埋藏深度,成岩环境如温度、压力、水介质及有机质热演化特征等不同,从而形成不同成岩演化相带^[16]。由于埋藏成岩期孔隙流体(酸性水及油气)以侧向运移为主^[11],并且古潜山与古近系直接接触。因此,不同潜山带遭受不同性质的侧向运移流体的改造,从而在潜山储层中形成相应的成岩胶结带和/或溶孔发育带。前面提到的古生代潜山上、下溶孔发育带分别与古近系的两个次生孔隙发育带^[9,11]相吻合(图 6)。

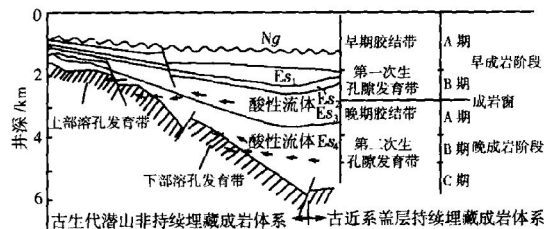


图 6 古近纪盖层对曙光古潜山储层的改造

Fig.6 Reconstruction of the Paleogene cap rocks on
the reservoir rocks in Shuguang buried hill

③孔缝胶结作用对储集空间的破坏性改造。与古近系成岩胶结带相对应,潜山储层的孔缝胶结也具有一定的分带性。但胶结类型比古近系简单,主要是方解石胶结,缺乏铝硅酸岩矿物。这是因为 Ca^{2+} , CO_3^{2-} 多呈真溶液形式存在,易于远距离迁移;而 Si^{4+} , Al^{3+} 等离子多以络合形式存在^[15],稳定性差,不利于远距离迁移。

④古近系油气进入古生界潜山储层,形成新生古储型油气藏,这不仅证实了古近系沉积成岩作用对古生界潜山的改造作用,同时也决定了潜山油藏的总体分布格局受控于古近系生油层展布、生油门限深度、断层分布及进油前流体的运移规律。

实际上,影响储集空间发育的各种因素不是孤立的,它们之间既相辅相成又互相制约。如早期潜山埋藏成岩作用几乎使原生孔隙全部丧失,从而决定了储层的后继成岩演化以裂缝的溶蚀与充填交代为主。地壳抬升引起的破裂作用和风化淋滤作用所产生的裂隙为晚期上覆古近系埋藏成岩作用对潜山储集空间的改造提供了流体运移通道。而新生代断陷作用和古近系埋藏成岩作用决定了潜山储层及其成藏的最后状态。

4 结论

①辽河断陷古生代潜山储层为次生型,储集空间主要是岩石裂缝和溶蚀孔、洞。其中,裂缝和古岩溶的形成主要受控于加里东至燕山运动期间的地壳抬升,是储层形成的先决条件;溶蚀孔、洞的形成及纵向上的分带性主要受控于上覆古近系成岩体系的有机-无机成岩的演化,是形成潜山储层的决定性因素。

②古潜山在燕山运动以前独立发展,而在喜马拉雅运动期间与古近系构成统一的封闭体系,即在油气来源、酸性水来源和流体运移系统等方面具有统一性。因此从成岩体系角度对新生古储

型潜山储层进行研究和勘测更具有实际意义。

参 考 文 献

- 1 李宗飞,魏喜,王仁厚.辽河盆地西部凹陷曙103古潜山储层研究[J].特种油气藏,1998,5(3):12~17
- 2 王仁厚,魏喜.辽河断陷元古宙及古生代潜山地层研究[M].北京:石油工业出版社,2001
- 3 陈振岩,吴文柱.辽河盆地东部凹陷幕式成藏特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1):32~35
- 4 吴智勇,郭建华,吴东胜.大民屯凹陷静安堡西侧潜山变质岩储层裂缝发育特征[J].石油与天然气地质,2001,22(4):322~325
- 5 王增银,沈继方,万军伟.清江高坝洲地区古岩溶角砾岩特征及形成条件[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):524~528
- 6 王宝清,张金亮.古岩溶的形成条件及其特征[J].西安石油学院学报,1996,11(4):8~10
- 7 李玉喜,魏喜.辽西地区区域裂缝发育规律及辽河油田西部洼陷低潜山带储层裂缝特征[J].断块油气田,2000,7(6):8~11
- 8 高山林,李学万,宋柏荣.辽河盆地欧利坨子地区火山岩储集空间特征[J].石油与天然气地质,2001,22(2):173~176
- 9 邱隆伟,席庆福.欧利坨子地区沙三下亚段火山岩成岩作用及孔隙演化[J].石油与天然气地质,2000,21(2):139~143
- 10 李建英,卢刚臣,孔凡东,等.千米桥潜山奥陶系储层特征及孔隙演化[J].石油与天然气地质,2001,22(4):367~371
- 11 张琴,钟大康,朱筱敏,等.东营凹陷下第三系碎屑岩储层孔隙演化与次生孔隙成因[J].石油与天然气地质,2003,24(3):281~285
- 12 党森,赵虹,周立发,等.辽河油田曙1区杜84块兴隆台油层储层非均质性[J].石油与天然气地质,2002,23(4):282~286
- 13 魏合明,党森,顿铁军,等.辽河油田曙光地区兴隆台油层隔层特征及其封隔能力评价[J].石油与天然气地质,2001,22(1):88~92
- 14 王延山.利用有机质热演化资料预测砂体孔隙发育层段[J].辽河石油勘探与开发,1993,3(3):19~23
- 15 Surdam R C, Crossey L J, McDonald D A. Organic-inorganic interaction and sandstones diagenesis[J]. AAPG Memior, 1989, 37: 1~13
- 16 魏喜,李学万.大民屯凹陷下第三系砂岩储层孔隙特征及成因[A].见:辽宁省第三届青年学术年会论文集编委会.辽宁省第三届青年学术年会论文集[C].沈阳:辽宁大学出版社,1998.705
- 17 真柄钦次(日).压实与流体运移:实用石油地质学[M].陈荷立,汤锡元,译.北京:石油工业出版社,1981

(上接第466页)

- 7 王金琪.塔里木奥陶系岩溶储集的油气前景[J].石油与天然气地质,1999,20(4):305~310
- 8 闫相宾.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J].石油与天然气地质,2002,23(3):262~265
- 9 Worden R H, Smalley P C, Oxtoby N H. Gas souring by thermochemical sulphate reduction at 140°C[J]. AAPG Bull, 1995, 79(6):856~

863

- 10 蔡春芳,梅博文.塔里木盆地有机酸来源、分布及对成岩作用的影响[J].沉积学报,1997,15(3):103~109
- 11 Willey L M, Kharaka Y K, Presser T S, et al. Short chain aliphatic acid anions in oil field waters and their contribution to the measured alkalinity[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1975, 39: 1707~1711