

辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏成藏特征

马志宏

(中国石油辽河油田分公司 勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:太古宇变质岩内幕油藏的发现是辽河拗陷基岩勘探的重大突破,改变了以往只有变质岩风化壳才能形成油气成藏的认识,丰富了辽河拗陷基岩油气成藏理论,是今后重要的勘探目标。但随着勘探的不断深入,明确太古宇变质岩内幕油藏的成藏特征显得越来越重要。为此,从典型的太古宇变质岩内幕油藏入手,首先对其原油性质进行分析,然后对兴古7、沈311和赵古1等油藏进行剖析,最后总结出成藏特征。辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏的原油性质整体较好,属于轻质原油;其成藏特征为油源充足、裂缝型储层与隔层交互分布、具有多类型输导体系和良好的侧向封挡条件。其中,油源充足是成藏的基础,控制了油气的富集程度;裂缝型储层与隔层交互分布是成藏的关键;多类型输导体系和良好的侧向封挡条件是成藏的保障。

关键词:太古宇 变质岩 内幕油藏 成藏特征 辽河拗陷

中图分类号: TE112.33

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)02-0025-05

太古宇是辽河拗陷最古老的结晶基底,以变质岩为主,夹有基性—酸性岩浆岩脉。由于受变质岩主要矿物为硅酸盐矿物和块状结构等自身特性及认识的限制,一直以变质岩顶部风化壳油气藏作为辽河拗陷基岩油气藏勘探的目的层^[1]。直到2005年,在辽河拗陷西部凹陷兴隆台潜山带钻探的兴古7井在距太古宇顶界超过1 000 m的变质岩内幕获得工业油流,表明太古宇变质岩内幕也具备油气聚集成藏的条件^[2-3]。随后在辽河拗陷开展针对太古宇变质岩内幕油藏的勘探,至今已在兴隆台潜山带、大民屯凹陷和中央凸起等地区获得重大突破和进展。复杂的岩性组合和漫长的演化史等决定了太古宇变质岩内幕油藏具有独特的成藏特征,是辽河拗陷今后重要的勘探对象,具有较大的勘探潜力。

1 原油性质

辽河拗陷太古宇变质岩不具备生烃能力,其原油主要来自古近系沙四段和沙三段的主力烃源岩,属于“新生古储”型油藏,来自于同一个生烃洼陷和同一套烃源岩的油藏具有相近的原油性质。通过对距太古宇顶界超过100 m的10个变质岩内幕油藏的原油性质进行统计(表1)表明,其原油属于轻

质原油^[4]。

整体上,辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏的原油性质较好,但受烃源岩生成原油的化学组成、与烃源岩距离等因素的影响,研究区不同凹陷或凸起的太古宇变质岩内幕油藏的原油性质具有一定差异。西部凹陷兴隆台潜山带兴古7油藏的原油为正常原油,属于近源聚集成藏;其地面原油密度小于 0.84 g/cm^3 ,原油粘度小于 $6 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,凝固点小于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$,含蜡量与胶质和沥青质含量均小于10%,原油性质好。中央凸起赵古1油藏的原油为正常原油,属于较远源聚集成藏;原油性质与兴古7油藏相近,仅胶质和沥青质含量大于20%,原油性质较好。大民屯凹陷沈311油藏的原油为正常原油,其原油性质也与兴古7油藏相近,仅含蜡量与胶质和沥青质含量大于10%,原油性质较好;沈288、胜25、安101、沈286、沈280、沈270和哈20油藏的原油为高凝油或高凝油与正常轻质原油的混合,地面原油密度为 $0.84 \sim 0.86 \text{ g/cm}^3$,原油粘度变化大,表现为正常原油和稠油性质,凝固点大于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$,含蜡量大于30%,胶质和沥青质含量大于10%,属于高凝油,原油性质中等。原油性质的差异对研究区原油开采及储运也具有重要影响,西部凹陷兴隆台潜山带太古宇变质岩内幕油藏的勘探开发效果较好,与其原油性质好具有密切关系。

收稿日期:2013-01-10。

作者简介:马志宏,男,高级工程师,从事油气地质综合研究。联系电话:(0427)7826735, E-mail:mazh@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司项目“成熟探区油气分布规律与精细勘探技术研究”(2011D-07)。

表1 太古宇变质岩内幕油藏原油性质统计

油藏名称	变质岩顶面埋深/m	样品埋深/m	距太古宇顶界距离/m	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/(mPa·s)		凝固点/℃	含蜡量,%	胶质和沥青质含量,%
					50℃	100℃			
兴古7	2 589.54	3 978	1 388.46	0.831 9	5.26		27	9.71	9.22
赵古1	3 090	3 230	140	0.842 8	6.03		24	9.57	20.20
沈311	3 609	3 822.3	213.3	0.845 1	4.92		28	16.54	10.50
沈288	3 403.5	3 860	456.5	0.859 6		9.26	61	31.76	14.93
胜25	3 391.5	3 647	255.5	0.851 6	110.5		49	34.41	12.33
安101	2 490	2 820	330	0.845 1		5.74	47	33.92	13.49
沈286	2 526	2 951.6	425.6	0.851 1	147.64		44	35.08	16.86
沈280	3 064.5	3 430	365.5	0.848 2		11.03	45	40.48	14.49
沈270	2 485	2 994	509	0.848 8		7.88	47	43.50	10.01
哈20	3 154.5	3 314.8	160.3	0.853 2		5.76	49	37.09	12.84

2 典型油藏剖析

辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏主要分布于西部凹陷和大民屯凹陷,在中央凸起也有发现,展示了其进一步勘探的潜力。西部凹陷太古宇变质岩内幕油藏以兴古7油藏为代表;大民屯凹陷在前进潜山、东胜堡潜山西侧、静安堡潜山和法哈牛潜山等均发现了太古宇变质岩内幕油藏,以沈288、沈302和胜25、沈311油藏为代表;中央凸起太古宇变质岩内幕油藏以赵古1油藏为代表。

2.1 兴古7油藏

兴古7油藏位于西部凹陷中部的兴隆台潜山,其西邻盘山生烃洼陷,东临中央凸起,南、北分别临近清水生烃洼陷和陈家生烃洼陷,原油来自于3个生烃洼陷的沙四段和沙三段烃源岩,油气供给十分充足。对其太古宇变质岩内幕3 592~3 653.5 m和3 978~4 014.65 m井段试油,均获得工业油流,是目前辽河拗陷太古宇变质岩内幕成藏底界与顶界距离最大(大于1 400 m)的油藏。

元古宙和古生代,兴隆台潜山与中央凸起相连,处于隆升状态;中生代,兴隆台潜山仍与中央凸起相连,但整体下沉,接受沉积,至中生代中、晚期,抬升并遭受剥蚀;沙四段沉积时期,兴隆台潜山为古地貌山,保持隆升状态,未接受沉积;沙三段沉积时期,台安一大洼断层强烈活动,兴隆台潜山与中央凸起彻底分离,形成独立潜山,并不断下陷接受沙三段沉积。兴隆台潜山的隆升—下陷—隆升—下陷的构造演化史造成其圈闭发育完整、形态较好,且多期次构造运动为潜山内幕构造裂缝的发育

创造了条件^[5]。

兴古7井钻井资料表明,其太古宇以片麻岩类变质岩为主,含少量混合岩类变质岩,夹角闪质岩类变质岩和岩浆岩脉。由于暗色矿物含量不同,受构造作用影响后形成构造裂缝的难易程度亦不同,致使太古宇内幕储层和隔层均发育,局部表现为层状结构。兴古7油藏的主要内幕储层为斜长片麻岩,储集空间主要为构造裂缝(以高角度斜交缝为主)。兴古7井9块样品的储层物性分析表明,其孔隙度为0.6%~7.8%,平均为3.5%;渗透率为 $0.09 \times 10^{-3} \sim 0.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.22 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低—特低孔、特低渗透储层。多期次构造运动造成其储层内发育多期次的构造裂缝,沟通了原有的孔、缝,成为油气运移的良好通道,同时也可作为储集空间使储层物性得以改善,成为变质岩内幕较好的储层。角闪质岩类变质岩和岩浆岩脉作为兴古7油藏的内幕隔层,具有纵向封盖油气的作用。兴古7油藏多套储、隔层的发育和分布,是其形成多套变质岩内幕油藏的关键因素。而断裂—构造裂缝作为兴古7油藏的油气输导体系,其中断裂是油气从有效烃源岩层到内幕储层的运移通道,构造裂缝是油气在内幕储层中的运移通道,二者共同作用,使兴古7井在距离变质岩顶界1 000 m以下的内幕仍可形成油气藏。

2.2 沈288和沈302油藏

沈288和沈302油藏均位于大民屯凹陷的前进潜山,以前进断层—安福屯西断层作为油气运移通道,沈302油藏是大民屯凹陷太古宇变质岩内幕含油底界埋深最大(大于3 900 m)的油藏。其油气均来自北侧与其相连的安福屯洼陷,安福屯洼陷

的烃源岩主要为沙四段泥岩、油页岩和沙三段泥岩。

前进潜山是受控于前进断层形成的东北向展布的单断山,在沙四段沉积早期形成雏型,定型于东营组沉积末期。潜山顶界东倾,被北西走向的沈34南断层分成南、北2个部分;南部属于前进潜山主体,构造形态完整;北部为前进潜山主体向北的倾没带,构造形态平缓,且被北西走向的次级断层分割成若干个潜山圈闭。沈288和沈302油藏即位于前进潜山北部的圈闭内。

前进潜山太古宇变质岩以黑云斜长片麻岩为主,由北向南,岩性逐渐复杂,角闪质岩类暗色矿物和基性岩浆岩脉增多。岩心薄片资料分析表明,沈288井太古宇变质岩主要有黑云斜长变粒岩、混合岩化黑云斜长片麻岩、混合花岗岩和混合岩;沈302井太古宇变质岩主要有混合岩化黑云斜长片麻岩、混合花岗岩和斜长角闪岩。除斜长角闪岩外,上述其他岩性受构造作用影响均可产生构造裂缝,形成较好的裂缝型储层;而未成为储层的变质岩可作为内幕隔层,对油藏起到较好的纵向封盖作用,例如沈302油藏的盖层即为上覆厚度约为300 m的斜长角闪岩。

整体上,前进潜山构造简单,断裂不发育,暗色矿物含量相对较多的变质岩不易产生构造裂缝,缺乏断裂—构造裂缝的网状输导体系;而沈288和沈302油藏西侧靠近油源断层,暗色矿物含量相对较少的变质岩在构造作用下形成了构造裂缝,具有断裂—构造裂缝的输导体系,宜于油气聚集成藏。

2.3 胜25和沈311油藏

胜25和沈311油藏位于大民屯凹陷的东胜堡潜山西侧,是近年来辽河拗陷新发现的太古宇变质岩内幕油藏。其中胜25油藏西北侧邻近安福屯生烃洼陷,油气来自洼陷沙四段和沙三段烃源岩;沈311油藏西南侧邻近荣胜堡生烃洼陷,油气来自洼陷沙四段和沙三段烃源岩。沈311油藏太古宇变质岩顶面上覆厚度小于50 m的房身泡组,胜25油藏太古宇变质岩顶面上覆沙四段,易与邻近生烃洼陷形成较大的供烃窗口,具有较充足的油源条件。

东胜堡潜山西侧太古宇顶界位于构造相对较低部位,其构造高点比其西部的前进潜山和东部的东胜堡潜山分别低约1 000和800 m;但沈311圈闭靠近东胜堡断层,南北向表现为局部隆起的背斜圈闭,且圈闭形态较好;胜25圈闭位于东胜堡潜山西侧相对较高部位,以北东东向断层与安福屯潜山相

接;因此,沈311和胜25圈闭具有较为优越的构造条件。

东胜堡潜山西侧太古宇变质岩主要以浅粒岩、混合片麻岩和混合花岗岩为主。胜25油藏的储层主要为混合片麻岩,沈311油藏的储层主要为浅粒岩。在相同构造应力作用下,浅粒岩和混合片麻岩均能产生构造裂缝,形成较好的裂缝型储层;且浅粒岩比混合片麻岩更易形成构造裂缝,具有更好的储集性能。因此,沈311油藏具有比胜25油藏更为优越的储集条件。

2.4 赵古1油藏

赵古1井在埋深为3 230~3 274 m井段压裂试油后,获得产油量为27.48 t/d、产气量为2 549 m³/d的工业油气流,是太古宇变质岩内幕油藏勘探的新突破,也揭开了中央凸起太古宇变质岩内幕油藏勘探的序幕。

中央凸起在前中生代一直为隆起区,长期遭受风化剥蚀;中生代,其构造活动强烈,在燕山期北东—北北东向和北西—北西西向2大断裂系统影响下,形成东西成带、南北成块的构造格局;在新生代,受北西—北东向伸展作用影响,中央凸起两侧的断层继续活动,断层下降盘不断沉陷、上升盘不断抬升,隆起幅度不断增大;至东营组沉积末期,中央凸起太古宇潜山带最终定型。其先隆、中断、后沉降的构造发育史为赵古1油藏的形成创造了有利的构造条件。

中央凸起的油气来自于西部凹陷的清水生烃洼陷、东部凹陷的二界沟生烃洼陷以及大民屯凹陷的荣胜堡生烃洼陷等。赵古1油藏的油气主要来自清水生烃洼陷的沙四段和沙三段烃源岩,以台安一大洼断层与清水洼陷烃源岩相接,具有较好的油源条件。

赵古1井太古宇变质岩主要有混合片麻岩、混合岩、混合花岗岩、斜长片麻岩、角闪岩以及基、中、酸性岩浆岩脉;其中混合片麻岩、混合岩和混合花岗岩等易发育构造裂缝,可作为内幕储层;角闪岩和煌斑岩脉等构造裂缝发育程度差,可作为内幕隔层。而台安一大洼断层与北西向断层构成网状断裂输导体系,为赵古1油藏的形成提供了较好的油气运移条件。

3 成藏特征

通过对典型油藏进行解剖,明确了辽河拗陷太

古宇变质岩内幕油气成藏的共性和差异性,总结出太古宇变质岩内幕油藏的成藏特征主要为:油源充足、裂缝型储层与隔层交互分布、具有多类型输导体系和良好的侧向封挡条件。

3.1 油源充足

充足的油源是变质岩内幕油气成藏必要的物质基础。辽河拗陷发现的太古宇变质岩内幕油藏的形成与距生烃洼陷的远近有关。邻近生烃洼陷,油气供给充足,太古宇变质岩内幕油气富集程度高;反之,远离生烃洼陷,油气供给不充足,油气富集程度低。西部凹陷和大民屯凹陷是辽河拗陷的富烃凹陷,其烃源岩厚度大、质量好,且具有较高的异常流体压力^[5],因此,处于凹陷低势能区的变质岩内幕易于形成油气聚集成藏。

多油源供给、多向供烃和大供油窗口是控制太古宇变质岩内幕油气藏规模的主要因素。例如西部凹陷兴隆台潜山带太古宇变质岩内幕油藏的油气来自南部清水洼陷、北部陈家洼陷和西部盘山洼陷,多油源供给、油气充足;烃源岩生成的油气以垂向和侧向运移方式进入基岩圈闭,即油气可沿着基岩中发育的裂缝(多为构造裂缝)直接进入与其相接触的基岩圈闭,也可沿断裂做垂向运移,沿不整合面或裂缝做侧向运移进入基岩上部或顶部的圈闭^[6];潜山带与沙四段和沙三段的烃源岩直接接触,最大供油窗口超过1 600 m。因此,兴隆台潜山带太古宇变质岩内幕油气富集与其多油源供给、多向供烃和大供油窗口密切相关。

3.2 裂缝型储层与隔层交互分布

裂缝型储层与隔层交互分布是太古宇变质岩内幕油藏最重要的成藏特征,其与变质岩内幕岩性的多样性具有密切关系。变质岩主要有片岩类、片麻岩类、粒状岩类、角闪质岩类、混合岩类及混合花岗岩类,由于其暗色矿物含量不同,受构造作用影响后形成构造裂缝的难易程度也不同^[7-8]。暗色矿物含量少的粒状岩、片麻岩和混合花岗岩等岩石的脆性强,易于形成构造裂缝,可形成内幕裂缝型储层;暗色矿物含量多的角闪质岩类等塑性强,不易形成构造裂缝,可成为内幕隔层。因此,多样的岩性使变质岩内幕表现为不均一的层状结构,构成了裂缝型储层与隔层交互分布的垂向组合,为油气在变质岩内幕聚集成藏提供了较好的储集条件^[9]。辽河拗陷太古宇变质岩由多种岩性组成,还发育多期次的基性—酸性岩浆岩脉。层状岩性结构使其内幕具有裂缝型储层与隔层交互分布的特征,为多套内幕油气藏的形成提供了有利条件(图1)。

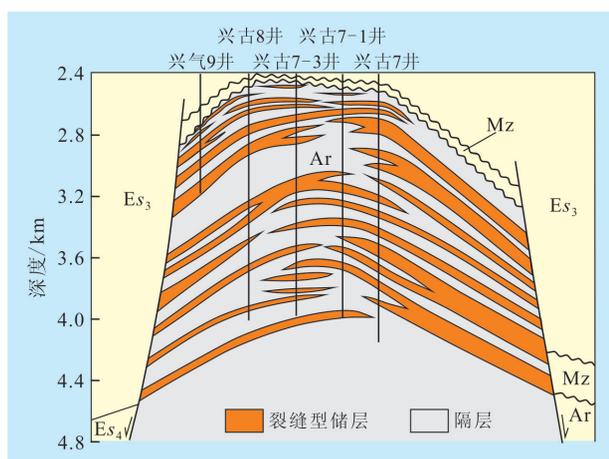


图1 西部凹陷兴隆台潜山带太古宇变质岩层状岩性结构

3.3 多类型输导体系

太古宇变质岩不是生油岩,需要邻近的古近系生烃洼陷烃源岩提供油源,因此,多类型的输导体系对太古宇变质岩内幕的油气成藏至关重要。辽河拗陷太古宇变质岩内幕的油气输导体系主要由断裂(包括油源断层和内幕断层)、构造裂缝和不整合面中的1种或1种以上因素共同作用形成,其类型有油源断层—构造裂缝型、油源断层—内幕断层—构造裂缝型和油源断层—不整合面—构造裂缝型等^[10]。多类型输导体系为太古宇变质岩内幕的油气运移和聚集提供了保障。

多期次的构造运动控制着断裂、构造裂缝和不整合面的发育,进而控制着多类型输导体系的发育。岩心观察和同位素原位测年资料分析表明,辽河拗陷太古宇除变质岩外还发育基性—酸性岩浆岩脉。晚三叠世侵入的中、酸性岩浆岩脉的裂缝极为发育,说明辽河拗陷经历了后期多期次构造运动的改造^[4],而这些多期次的构造运动决定了辽河拗陷太古宇变质岩内幕具有多类型的输导体系,易于形成油气聚集成藏。例如西部凹陷兴隆台潜山带太古宇变质岩内幕油气成藏与台安—大洼断层等油源断层、内幕逆掩断层和多期裂缝的发育具有密切的关系。

3.4 良好的侧向封挡条件

纵向上,辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏具有中生界、新生界古近系房身泡组、沙四段和沙三段等上覆地层的区域或局部封盖,也有内幕隔层的直接封盖,纵向封盖条件良好。同时侧向的封挡条件对于太古宇变质岩内幕油藏的形成也起到重要的控制作用。

勘探实践表明,辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏具有3种侧向封挡方式:断裂封挡式、非渗透层封

挡式及断裂和非渗透层组合封挡式。其中,断裂多为区域边界油源断层,非渗透层既包括邻近古近系生烃洼陷的暗色泥质岩类,也包括房身泡组玄武岩及更老层位的非渗透岩层。断裂封挡式是由于断裂的封闭作用而形成的侧向封挡,其与变质岩内幕断层的发育有关,多在变质岩内幕形成局部油藏。非渗透层封挡式多发生于变质岩内幕块体中,非渗透层是由未发育构造裂缝的变质岩和岩浆岩脉组成,其中变质岩既包括暗色矿物含量少的浅色变质岩,也包括暗色矿物含量多的深色变质岩,这种封挡式多在变质岩内幕形成局部油藏。断裂和非渗透层组合封挡式起到侧向区域封挡的作用,是形成多套变质岩内幕油藏最好的侧向封挡方式。

4 结束语

太古宇变质岩内幕油藏的发现是辽河拗陷基岩勘探的重大突破,改变了以往只有在变质岩风化壳中油气才能成藏的认识,拓展了基岩勘探的空间。以辽河拗陷太古宇变质岩内幕油藏的原油性质分析为出发点,重点解剖了兴古7、沈288、沈302、胜25、沈311和赵古1等典型油藏,总结出太古宇变质岩内幕油藏的成藏特征为油源充足、裂缝型储层与隔层交互分布、具有多类型输导体系和良好的侧向封挡条件。目前中外对太古宇变质岩内幕油藏的勘探和研究还处于探索阶段,尤其是对其成藏机

制、有利裂缝分布规律等方面的研究还有待于进一步深化和攻关。

参考文献:

- [1] 中国石油学会石油地质委员会.基岩油气藏[M].北京:石油工业出版社,1987.
- [2] 李晓光,陈振岩,单俊峰,等.辽河油田勘探40年[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [3] 孟卫工,李晓光,刘宝鸿.辽河拗陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析[J].石油与天然气地质,2007,28(5):584-589.
- [4] 刘宝和.中国石油勘探开发百科全书:勘探卷[M].北京:石油工业出版社,2008:244-245.
- [5] 李晓光,刘宝鸿,蔡国钢.辽河拗陷变质岩潜山内幕油藏成因分析[J].特种油气藏,2009,16(4):1-5,12.
- [6] 马志宏.辽河拗陷基岩油气藏类型及其特征探讨[J].复杂油气藏,2011,4(1):19-21.
- [7] 李军生,庞雄奇,宁金华,等.太古宇潜山油气成藏控制因素分析——以辽河断陷大民屯凹陷法哈牛—曹台地区为例[J].油气地质与采收率,2010,17(4):17-19,23.
- [8] 谢文彦,孟卫工,张占文,等.辽河拗陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式[J].石油勘探与开发,2006,36(6):649-652.
- [9] 张岚,霍春亮,赵春明,等.渤海湾盆地锦州南油田太古界变质岩潜山储层裂缝三维地质建模[J].油气地质与采收率,2011,18(2):12-15.
- [10] 沈朴,张善文,林会喜,等.油气输导体系研究综述[J].油气地质与采收率,2010,17(4):4-8.

编辑 邹溢滢

(上接第24页)

- [9] 丁晓琪,张哨楠.鄂尔多斯盆地西南缘中生界成岩作用及其对储层物性的影响[J].油气地质与采收率,2011,18(1):18-22.
- [10] 王琪,嵯喜准,陈国俊,等.鄂尔多斯盆地盐池—姬源地区三叠系长4+5砂岩成岩演化特征与优质储层分布[J].沉积学报,2005,23(3):397-404.
- [11] 朱筱敏,刘长利,张亚雄,等.苏北盆地上白垩统泰州组砂岩成岩序列和储层质量主控因素分析[J].古地理学报,2008,10(5):440-446.
- [12] 高辉,孙卫.鄂尔多斯盆地合水地区长8储层成岩作用与有利成岩相带[J].吉林大学学报:地球科学版,2010,40(3):542-548.
- [13] 田美荣.盐家地区沙四段上亚段砂砾岩体储层特征及成岩演化[J].油气地质与采收率,2011,18(2):30-33.
- [14] 刘国勇,金之钧,张刘平.碎屑岩成岩压实作用模拟实验研究[J].沉积学报,2006,24(3):407-413.
- [15] 王健,操应长,刘惠民,等.东营凹陷南坡沙四段上亚段滩坝砂岩储层孔喉结构特征及有效性[J].油气地质与采收率,2011,18(4):21-24,34.
- [16] Beard D C, Weyl P K. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand [J]. AAPG Bulletin, 1973, 57(2): 349-369.
- [17] 徐波,孙卫.姬源油田长4+5砂岩储层孔隙类型与成岩作用[J].吉林大学学报:地球科学版,2008,38(6):953-958.

编辑 邹溢滢