文章编号:1000-0550(2019)02-0432-11

松辽盆地德惠断陷火石岭组天然气成藏机理

邓守伟

中国石油吉林油田勘探开发研究院,吉林松原 138000

摘 要 火石岭组是德惠断陷深层天然气有利的勘探层位。在分析研究区构造演化史的基础上,对火石岭组典型的气藏进行精 细解剖,结合地震、测井、钻井等基础资料,并综合轻烃、烃源岩、流体包裹体等分析测试数据,对德惠断陷深层火石岭组的天然气 成藏机理进行了研究。结果表明,火石岭组烃源岩有机碳(TOC)平均含量大于 1.0%,生烃潜力(*S*₁+*S*₂)的均值范围为 0.5~2.0 mg/g,有机质类型多以 II₁~II₂型为主,III 型为辅,有机质已达到成熟,成熟度(*R*_o)均值为 1.5%,烃源岩具有较大的生烃潜力。火 石岭组下部天然气来源于火石岭组烃源岩,而火石岭组上部天然气以火石岭组烃源岩生气为主,但受上覆沙河子组烃源岩混源 影响。天然气运移以垂向断裂输导为主,层内砂体横向输导为辅。基于流体包裹体分析,结合火石岭组气藏气源对比与烃源岩 生排烃期,认为火石岭组天然气藏存在三期成藏:130 Ma 左右,对应营城组沉积初期;115~105 Ma 左右,对应泉头组沉积期;95~ 75 Ma 左右,对应青山口组—嫩江组沉积期。

关键词 德惠断陷;火石岭组;天然气;气源对比;成藏期次

第一作者简介 邓守伟,男,1968年出生,高级工程师,石油地质学,E-mail: dongsw-jl@ petrochina.com.cn **中图分类号** P618.13 文献标志码 A

0 引言

德惠断陷隶属松辽盆地东南隆起区内的次一级 构造单元(图1),面积约3008km²,包括七个次级构 造单元^[1]。截止目前已钻探了50口探井,在德深11 井、德深12井、德深17井、农101井等已经获得高产 气流,德惠断陷深层火石岭组含气面积广,天然气资 源潜力巨大,是吉林油田天然气的千亿方规划区。但 由于地质条件复杂,断裂发育,生、储、盖配置关系不 明确,使得该区的天然气勘探程度低。本文基于地 震、测井、钻井等基础地质资料,结合烃源岩岩石热 解、天然气组分分析、流体包裹体等分析化验数据,在



图 1 松辽盆地德惠断陷地理位置与构造单元划分(据葛荣峰等^[3]修改)

Fig.1 Location and structural units of the Dehui fault depression in Songliao Basin (modified from Ge et al.^[3])

基金项目:中国石油吉林油田勘探开发研究院项目(JS2016-W-13-JZ-9-18) [Foundation: Project of China Petroleum Jilin Oilfield Exploration and Development Research Institute, No. JS2016-W-13-JZ-9-18]

收稿日期: 2018-01-16; 收修改稿日期: 2018-04-23

油气成藏理论的指导下,研究松辽盆地德惠断陷火石 岭组天然气的成藏机理,对该区天然气的勘探和开发 具有一定的指导意义^[24]。

1 地质背景

松辽盆地是晚古生代变质岩基底上发育起来的 中生代沉积盆地,德惠断陷属于松辽盆地东南隆起区 的次一级构造单元,根据其构造演化特征,可以将本 区划分为:农安地堑、华家洼槽、鲍家洼槽、农安南洼 槽、合隆洼槽、兰家洼槽与龙王构造带^[5-7]。

德惠断陷为双断型的地堑,与松辽盆地一起主要 经历了初始张裂、断陷发育和坳陷三个阶段的构造演 化过程(图2)。1)初始张裂期(C-J):该时期有强烈 的火山活动,同时形成不同的洼槽和小型凸起,晚侏 罗纪时期,岩浆活动剧烈,地层受热拱而张裂,沉积了 火石岭组火山岩及碎屑岩。2)断陷发育期(K₁sh-K₁ yc):包括了强烈断陷和持续断陷阶段,受断层的控制 而接受沉积,此阶段断层较陡,同时局部地区发生火 山活动,而沙河子组沉积时期是该区断裂发育的高峰 期,营城组沉积时期,地层发生大规模的拉张,到末 期,受燕山运动的影响,断裂的发育逐渐减弱,盆地边 缘及隆起区域出现不同程度的剥蚀。3)断坳转换— 坳陷发育期(K₁d-K₂n):断裂的发育减弱,断陷作用 向坳陷转化。在坳陷期之后,地层发生了不均匀的抬 升和剥蚀。总体来看,该断裂的形成与火石岭组沉积 期的热拱作用有密切的联系,同时在沙河子组及营城 组沉积期也受到影响,盆地的断陷为湖盆的形成及有 机质的来源奠定了物质基础,为油气藏的形成提供了 良好的环境^[8-10]。

火石岭组、沙河子组、营城组属于松辽盆地的断 陷期沉积地层,营城组沉积后构造活动趋于平缓,盆 地转化为坳陷期,三套地层共同构成了德惠断陷深层 的油气有利勘探区。德惠断陷的深层沉积了上侏罗 统和白垩系的湖泊相—河流相沉积地层,分别对应火 石岭组、沙河子组、营城组,深部的生储盖组合很发 育,构成了有利的含油气组合^[5-10]。火石岭组(J₃h) 分为三段,厚度在 300~1 000 m,为本文研究的目的 层位,从下至上分别是:火一段、火二段、火三段,岩性 主要以玄武岩、凝灰岩、安山岩以及湖相的碎屑岩沉 积为主。火一段下部为厚层的凝灰质砂岩沉积,上部 为泥岩或泥质粉砂岩与凝灰岩互层沉积,粒度总体上 表现出正韵律的沉积特征;火二、三段总体为一套湖 相碎屑岩为主体的沉积地层,火山岩较发育,泥岩、砾 岩、砂岩与之形成了互层沉积(图 3)。

2 典型油气藏解剖

德惠断陷中、北部和东南部的火石岭组均发生了 油气的运移与聚集,发现的气藏集中分布在中央断裂 带的华家构造的高位狭小地区,为断块、断鼻圈闭 气藏。共发现5个气藏,其中3个低产气藏,2个工



Fig.2 Tectonic evolution of the Dehui fault depression, Songliao Basin

地层单元				岩性		构造		
系	统	组	时间/Ma	剖面	岩性简述	演化		
白垩系	下 白 垩 统	登娄库 组 (K,d)	125+1.0		灰色、紫红色泥岩、 杂色砂砾岩,灰白 色砂岩以及深灰色、 黑色泥岩;与下伏 地层呈角度不整合 接触	断坳 转化		
		营 城 (K <i>.yc</i>)	133.9		上部主要岩性为酸 性火山岩、火山碎 屑岩、粉砂岩及黑 色泥岩:中部以砂岩、 黑色泥岩:为主,少 量煤层:下部为安山 玄武岩、凝灰岩、 砂砾岩	持续 断陷		
		沙 河 子 组 (K,sh)	沙 河 子 组 (K ₁ sh)	沙 河 子 组 (K _i sh)	沙 河 子 组 (K ₁ sh)	沙 河 子 组 (K _i sh)		
侏罗系	上侏罗统	火石 岭 组 (J _s h)	145	************************************	岩性为玄武岩、凝 灰岩、安山岩以及 凝灰质角砾岩	初始 断陷		
▼	「「「」「 」 」 玄武岩	<mark>*****</mark> *******************************	▲ ^ 、 → ^ 、 = = = = = = = = = = = = = = = = = = =	三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 三 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二	計 粉砂岩 中砂岩 含砾	1000 1000 1100岩 煤层		
图 3 松辽盆地德惠断陷综合柱状图								

Fig.3 Stratigraphic column of the Dehui fault depression, Songliao Basin

业气藏。其中德深 11 井在 2 538 m~2 565 m 的砂砾 岩中揭示商业气层,日产气 53 600 m³,为断鼻气藏; 德深 12 井在 3 051~3 090 m 的凝灰岩中日产气 12 800 m³,属于断块—地层型气藏,在 3 320~3 349 m 的砂岩中日产气 12 200 m³,属于断块—背斜型气藏; 德深 2 井在 3 026.5~3 034.6 m 的砂砾岩中获低产, 日产气 1 400 m³,为断鼻气藏;农 101 井和农 103 井 同处于一个断背斜圈闭中,分别在 2 326~2 343 m、2 340~2 348 m 的凝灰岩中获 851 m³和 3 900 m³低产 气藏。德深 16 井也在火石岭组中指示低产气藏,圈 闭类型为半背斜。

德深 12 井气藏位于华家构造带(图 4),夹于两 条断层之间,气藏的圈闭类型是受到断裂控制而形成 的断块油气藏。德深 12 井在火石岭组 3 061~ 3 073 m的凝灰岩和 3 325~3 332 m 的细砂岩中获得 日产 12 800 m³和 12 280 m³的天然气。储集层为特 低孔特低渗的致密储集层,在气藏上倾方向被反向断 层所遮挡,为典型的断层遮挡气藏,其下倾方向有反 向断层提供气源通道,天然气储集在特低孔特低渗的 致密地层中,油气的运移是不畅通的,没有断层的输 导,油气难以有效运聚成藏。因此,断裂对断块圈闭 的成藏起了极为重要的供气作用。正是由于断裂沟 通了优质烃源岩生成的天然气,在圈闭中聚气成藏。 而目前发现的4个工业气藏(农103井基岩气藏、德 深11井火石岭组气藏、德深12井火石岭组气藏和合 12井营城组气藏)均为反向断层遮挡,说明反向断层 的封闭性好。油气藏的油源断裂多位于其下倾方向 或其下方,且多为反向断层,表明这些作为油源断裂 的反向断层又具有良好的输导性能。

3 油气来源及烃源岩特征

(1) 烃源岩特征

火石岭组属于松辽盆地断陷期沉积的地层,沉积 期断裂发育,水体较深,为烃源岩的形成创造了良好 的环境。通过岩石热解参数对烃源岩进行了评价:火 一段 TOC 值小于 0.5%的样品占样品总数量的 7%, 其均值介于 1.0%~1.5%,*S*₁+*S*₂小于 0.5 mg/g 的样品 占样品总数量的 8%,而均值介于 0.5~4.0 mg/g;火 二段 TOC 值小于 0.5%的样品占样品总数量的 14%, 而均值介于 1.0%~1.3%,*S*₁+*S*₂小于 0.5 mg/g 的样品 占样品总数量的 32%,而均值位于 0.5~2.0 mg/g; 火三段TOC值小于0.5%的样品占样品总数量的11%,



图 4 松辽盆地德惠断陷德深 12 井—德深 17 井气藏剖面图 Fig.4 Gas reservoirs in the Dehui fault depression, Songliao Basin (Well DS12-Well DS17)

而均值位于 1.0%~3.5%, S1+S2小于 0.5 mg/g 的样品 占样品总数量的 19%, 而均值位于 0.5~3 mg/g; 火石 岭组三个层段都是烃源岩 TOC 的均值大于 1.0%, S_1 +S₂的均值范围为 0.5~2.0 mg/g, 可以为天然气的成 藏提供充足的气源,而有机质丰度表现为:火三段> 火一段>火二段(图5)。

有机质的类型多以Ⅱ₁~Ⅱ₂型为主,Ⅲ型为辅(图 6).推断天然气的类型可能是煤型气和油型气的混 合。影响有机质生烃的重要因素是有机质的热演化 程度。从R。的分析来看,R。值均大于0.7%,均值为 1.5%,为高熟阶段,烃源岩达到了生烃条件,干酪根 发生了烃类的转换。火石岭组位于断陷的深层,其地 温相对较高,有利于有机质向烃类的转化,热演化程 度高(图7)。

35 30 Ⅲ火一段(16) 図火二段(99) 25 日火三段(385) 频率/% 20 15 0~0.5 0.5~1 1~1.5 1.5~2 2~25 2.5~3 3~3.5 3.5~4 4~4 5 $45 \sim 5 > 50$ TOC/%

通过对德惠断陷烃源进行生、排烃史模拟,深层

火石岭组烃源岩存在三个生、排烃高峰,分别是沙河 子组沉积末期、泉头组沉积末期、嫩江组沉积末期 (图 8):泉头组--嫩江组沉积期烃源岩的生、排烃量 最大,应该是天然气大量聚集成藏的时期。

(2) 天然气的成因及来源

轻烃地球化学参数是进行天然气成因类型研究 的可靠证据。正庚烷主要来自藻类和细菌,对成熟度 作用十分敏感,是良好的成熟度指标。利用正庚烷、 二甲基环戊烷和甲基环己烷为顶点编制的正庚烷轻 烃系统三角图可以区分煤型气(Ⅱ)和油型气(Ⅰ) (图9)。松辽盆地德惠断陷深层的天然气均属于煤 型气,只有沙河子组的一个样品为油型气,故可认为 本区的天然气以煤型气为主,这与前文的干酪根类型 与成熟度有很好的匹配关系。

轻烃指纹对比是天然气来源分析的主要地球化



Histograms of source rock organic matter abundance from the Huoshiling Formation, Dehui fault depression Fig.5









图 8 松辽盆地德惠断陷火石岭组烃源岩动态生烃曲线 Fig.8 Hydrocarbon generation curves of the Huoshiling source rocks in the Dehui fault depression, Songliao Basin

学方法,即气藏中天然气的指纹参数与对应的烃源岩 吸附气的指纹参数具有较好的相似性,同一烃源岩层 位的吸附气在理论上应该是一样的,但是常常由于烃 源岩的多次生排烃及成熟度的变化会导致轻烃指纹



在一定范围内有变化,而天然气气样与对应烃源岩吸 附气轻烃指纹的差异有可能是因为天然气混源的结 果,所以在运用轻烃指纹进行气源对比时要综合考虑 其他因素^[11-14]。根据对火石岭组天然气及火石岭 组、沙河子组、营城组源岩吸附气的轻烃指纹测试情 况,挑选了15项重要的配比系数对火石岭组天然气 进行了气源对比研究(图10)。轻烃指纹对比特征 中,除了德深13井火石岭组烃源岩的甲基环己烷/正 庚烷指数差异较大以外,其他测试样品的轻烃指纹变 化趋势相似,推测是火石岭组、沙河子组、营城组具有 相似的有机质来源特征。通过精细研究对比,发现德 深12井火石岭组气样主要来源于火石岭组烃源岩, 与沙河子组泥岩有一定关系,但沙河子组烃源岩供烃 并非占主导。

4 油气成藏期次

流体包裹体是成岩过程中捕获的地层流体,这些 包裹体记录了地史时期的相关的地质信息,为研究油 气的成藏提供了有力的证据。分析烃类包裹体及共 生的盐水包裹体的均一温度,并结合埋藏史可以确定 油气的成藏时间,同时,通过研究烃类包裹体的荧光 特征,可以有效的确定油气成藏的期次^[15-17]。包裹 体荧光颜色特征是油气成熟度、成因、分异作用和比 重的表现,通过荧光强度和均一温度的测试可以确定 油气的成藏期次。



异戊烷/正戊烷;2.甲基环己烷/正庚烷;3.2,2-二甲基丁烷/2-甲基戊烷;4.2,2-二甲基丁烷/3-甲基戊烷;5.2-甲基戊烷/3-甲基戊烷;
 2-甲基戊烷/正己烷;7.2-甲基戊烷/3-甲基己烷 8.正己烷/环己烷;9.甲基环戊烷/甲基环己烷;10.1,反3-二甲基环戊烷/1,反2-二甲基环戊烷;11.甲基环己烷指数;12.正己烷/(甲基环戊烷+2,2-二甲基戊烷);13.3-甲基己烷/(1,1-二甲基环戊烷+1,顺3-二甲基环戊烷);14.2,3-二甲基己烷/2-甲基庚烷;15.(4-甲基庚烷+3,4-二甲基己烷)/3-甲基庚烷

Fig.10 Fingerprint characteristics of light hydrocarbons from the Huoshiling source rocks in the Dehui fault depression, Songliao Basin (Well DS12)

流体包裹体是储层成岩的过程中,包裹了成矿流体于矿物晶格的缺陷和穴窝中形成的,流体包裹体保存了油气充注时期的地质信息。火石岭组包裹体主要分布在石英颗粒微裂隙与石英次生加大边中,少数分布在方解石胶结物中(图 11),在正交偏光下显示流体包裹体成串珠状分布在矿物颗粒的成岩裂缝中,在荧光下发蓝绿色与黄绿色的荧光,初步判断天然气为一期成藏,相对于盐水包裹体,烃类包裹体数量较少,占 10%~15%,主要为液相和气液两相,少数为气 烃包裹体,主要赋存于穿石英颗粒裂纹与石英颗粒内裂纹,多数呈条带状或线状群体分布,少数在方解石 胶结物与石英颗粒次生加大边中呈个体分布。本区

的烃源岩有机质的类型多以 Π₁~Π₂型为主, III 型为 辅,且成熟度大于 1.5%, 产物应该是以天然气为主, 而液态的石油较少, 液态的烃类是早期生烃的产物, 随着成熟度的增加,逐渐裂解为油型气,这与前文天 然气成因类型的研究结论相吻合。流体包裹体形状 多为椭圆状或不规则状,直径主要集中在 2~15 μm, 平均为 6.9 μm,包裹体气液比多介于 2%~7%, 一般 小于 10%。烃类包裹体的荧光颜色与烃类的化学成 分有关,所以不同荧光颜色的烃类包裹体代表了不同 时期的油气成藏, 一般来说, 芳香烃的荧光颜色为天 蓝色, 沥青质为褐色, 胶质为黄色。烃类包裹体荧光 颜色主要为蓝绿色与黄绿色, 其中发黄绿色荧光烃类



图 11 德惠断陷火石岭组储层流体包裹体特征 A.德深1井,3205m,火石岭组,正交偏光;B.德深1井,3205m,火石岭组,荧光 Fig.11 Microscopic characteristics of fluid inclusions in the Huoshiling reservoir beds, Dehui fault depression 包裹体代表低成熟度油充注,发蓝绿色荧光烃类包裹体代表高成熟度油充注。

通过烃类包裹体的显微观察,确定烃类包裹体 后,一般选择与烃类包裹体伴生的盐水包裹体进行均 一温度测试,因为盐水包裹体在加温和冷却的过程中 性质更稳定。盐水包裹体的产状分幕有两个基本原 则:一是具有相似气、液比和产状的流体包裹体组合; 二是具有相似气、液比和产状的包裹体内部均一温度 大致按15℃间隔分期。通过微观测温仪测定盐水包 裹体的均一温度,火石岭组烃类伴生的盐水包裹体温 度为85℃~165℃,盐水包裹体大致可分为两个峰 值,第一峰值出现在85℃~95℃,以及第二个峰值 出现在120℃~140℃(图12),分别对应了天然气两 幕成藏时间地层所对应的古温度。

根据研究区典型井位的埋藏史与热史,利用油气 伴生的盐水包裹体均一化温度投影法,确定了研究区 火石岭组天然气成藏的两个主要时间为114~110 Ma 和108~98 Ma(图13)。通过显微荧光观察,烃类包 裹体显示为一期成藏,而通过均一温度测试显示存在 两幕油气成藏时间,综合以上研究认为火石岭组天 然气成藏期次存在一期两幕,时间分别为第一幕:114 ~110 Ma,对应泉头组沉积初期,第二幕:107~100 Ma对应泉头组沉积末期,为典型的烃源岩幕式排烃 成藏。基于火石岭组烃源岩生排烃特征,结合火石岭 组气源对比分析结果,推测火石岭组天然气藏存在三 期成藏:130 Ma左右,对应营城组沉积初期;115~105 Ma左右,对应泉头组沉积期;95~75 Ma左右,对应青 山口组—嫩江组沉积期。



图 12 松辽盆地德惠断陷火石岭组盐水包裹体均一温度直方图 Fig.12 Histogram of brine inclusion homotemperatures in the Huoshiling reservoir beds, Dehui fault depression



图 13 松辽盆地德惠断陷火石岭组致密气储层盐水包裹体均一化温度—埋藏史投影法确定主成藏时间 Fig.13 Hydrocarbon charging ages determined by brine inclusion homogenization temperatures projected on the burial history of a tight sandstone gas reservoir in the Huoshiling Formation from the Dehui fault depression, Songliao Basin

5 油气输导特征

通过以上对典型气藏德深 12 井火石岭组气藏的 解剖,认为断裂对天然气的运移和聚集起了很重要的 控制作用,是研究区影响天然气成藏最重要的关键成 藏因素,研究该区断裂的输导作用的尤为重要^[18],有 必要分析研究区断裂的展布特征(图 14),探讨断裂 的封闭性与天然气藏聚集的关系,并查明断面优势运 移通道对天然气的控制作用,最后定量评价断裂的输 导效率。



图 14 松辽盆地德惠断陷火石岭组断裂平面分布图 Fig.14 Fault distribution map for the Huoshiling Formation of the Dehui fault depression, Songliao Basin

本次研究采用 Yielding *et al*.^[19]提出的评价断裂 侧向启闭性的参数即断层泥比率(SGR)(公式 4.9) 评价该类断裂,这个参数更适合于非均质的厚层碎屑

岩层中发育的断裂的启闭性评价。SGR 值越大,断 裂封闭性越强,输导能力越差。为了准确评价断裂的 封闭性,同时采用断裂两盘的砂泥对接系数 K 评价 该类断裂的侧向启闭性,K 值越大,断裂封闭性越好, 输导能力越差^[20],评价标准见表 1。

表 1 断裂启闭性评价标准(据付广等^[20]) Table 1 Evaluation criteria of fault opening and sealing (after Fu *et al.*^[20])

启闭性评价	好	中等	差
K(断距小于层厚)	>3	1~3	<1
SGR(断距大于层厚)	>75%	25%~75%	<25%
$R_{\rm m}(垂向)$	>75%	25%~75%	<25%
输导性能	差	可输导	优势通道

通过选取了研究区与天然气藏关系密切的9条 断层进行了精细的研究,分别对断层两盘的侧向和垂 向封闭性进行了评价(表2),研究区火石岭组的断裂 多位盆地断陷期发育的断层,多为拉张环境下形成的 正断裂,其倾角为62°~76°,断距50~220 m,平均为 125 m,SGR 与 K 值的评价结果表明断层垂向封闭性 及上、下两盘的侧向封闭性较差。断裂沟通了烃源 岩,成为天然气的优势运移通断,是研究区天然气藏 成藏的主控因素。

德惠断陷火石岭组天然气输导成藏的主要方式 是断裂的作用,而火石岭组沉积的砂体也可以作为天 然气成藏的横向输导层,断层两侧沉积的砂体连通性 一般较好,既可以成为输导层,也可以成为储集层,火 石岭组储集层的平均孔隙度为 3.2%,平均渗透率为 0.12×10⁻³ μm²,天然气成藏的运移机理是在气体浓 度差存在的条件下,水溶脱气或分子扩散而聚集成藏 的。断裂是该区天然气成藏的主要控制因素,输导层 是天然气横向运移的通道,是天然气成藏的次要控制 因素。

表 2 松辽盆地德惠断陷火石岭组断裂输导评价表

Table 2	Evaluation of fault	opening and	sealing in the	e Huoshiling	Formation of the	Dehui fault depression,	Songliao Basin
---------	---------------------	-------------	----------------	--------------	------------------	-------------------------	----------------

		-	-	-	-			-		-
断裂名称	断裂级别	断层性质	断距/m	倾角	$R_{ m m}/\%$	垂向封闭性	K(上盘)	侧向封闭性	K(下盘)	侧向封闭性
F1	二级	正断裂	220	65	7.48	差	0.11	差	0.09	差
F2	二级	正断裂	190	64	10.54	差	0.17	差	0.12	差
F3	二级	正断裂	110	59	13.18	差	0.21	差	0.17	差
F4	三级	正断裂	50	62	25.36	中等	0.45	差	0.66	差
F5	三级	正断裂	85	76	44.44	中等	1.25	中等	1.01	中等
F6	二级	正断裂	170	71	36.11	中等	0.74	差	1.18	中等
F7	二级	正断裂	80	67	32.64	中等	0.77	差	0.83	差
F8	二级	正断裂	165	72	5.85	差	0.07	差	0.06	差
F9	二级	正断裂	60	65	4.84	差	0.07	差	0.06	差

6 天然气成藏机理

通过典型气藏的解剖、烃源岩评价、烃源岩生烃 史、油气来源分析、油气输导体系、成藏期次的研究, 结合研究区的构造演化史^[8-10],总结出火石岭组天然 气的成藏机理及成藏特征如下(图15);

初始断陷(火石岭组沉积期):对应构造活动时 期为燕山1幕,东深西浅的不对称地堑,中部地区为 斜坡区,火石岭组烃源岩有机质来源是以浮游生物、 藻类、细菌等为主体的水生生物,高等植物输入为次 要,水体的还原性最强、盐度高^[12]。烃源岩的有机质 丰度最高,分布面积最广,具有最大的资源量。优质 烃源岩主要位于华家洼槽与鲍家洼槽,其次是农安南 洼槽。该时期火石岭组烃源岩未进入成烃门限,未发 生生、排烃和成藏事件。初始断陷末期构造反转,地 层抬升后被剥蚀,由西到东地层剥蚀厚度递减,西部 和西南部最大剥蚀厚度达到 700 m。

强烈断陷(沙河子组沉积期):对应构造活动时 期为燕山2幕,火石岭组持续下沉,并于沙河子沉积 末期达到了成烃门限,进入第一期生排烃,大部分的 烃类在层内砂体横向输导作用下形成自生自储气藏, 部分烃类沿早期断裂和斜坡向高部位的沙河子组运

成藏事件

构造反转, 气藏 调整, 第二期调

烃源岩两期生排烃, 储层两期成藏

整体抬升, 烃源

藏第一次调整调

烃源第一期生烃, 自生自储,第一

期成藏,砂体横

烃源岩未进入

 \mathbf{X}

生烃门限

图例

优质

上派
お

岩停止生烃,

整改造

向输导

整改造

深度/m

100

3000

500

1000

2000

4000

1000

2000

4000

1000

2000

3000

1000

2000

3000

气藏

构造事件

燕山5幕

燕山4幕

燕山3幕

燕山2幕

燕山1墓

地层

移,表现为"源内运聚、近源成藏"的特征,为火石岭 组第一期成藏。

持续断陷(营城组沉积期):对应构造活动时期为 燕山3幕,沙河子组沉积末期火石岭组整体被抬升,烃 源岩停止生烃。营城组末期构造反转运动强烈,破坏 部分早期形成的原生油气藏,气藏调整后沿输导体系 组合向上部的地层运移并再次聚集,部分气藏被破坏 而直接逸散,属于火石岭组气藏第一期调整改造。

断坳转化(登娄库组—嫩江组沉积期):对应构 造活动时期为燕山4幕,泉头组沉积末期,火石岭组 烃源岩均成熟排烃,烃源岩为第二期大规模排烃,沿 组合输导体系运移并在断层控制的各类圈闭中大量 形成原生气藏,为第二期成藏。火石岭组存在一期两 幕成藏:114~110 Ma、107~100 Ma,对应泉头组沉积 期,属于典型的幕式排烃成藏。嫩江末火石岭组烃源 岩为第三期大规模排烃,储层为第三期油气成藏,生 排烃量较大,油气大量聚集成藏。

构造反转(嫩江末一现今):对应构造活动时期 为燕山5幕,明水末、古近纪末等多次大规模构造走 滑反转运动,坳陷层抬升剥蚀,除少数切穿深浅层的 断裂破坏其附近的深层原生气藏外,大部分深层原生 气藏保存至今,为第二期调整改造。

现今构造剖面

泉二段—青山口组沉积末期

营城组沉积末期

沙河子组沉积末期

火石岭组沉积末期

过德深4井构造剖面成藏史

剖面位置

1 11

深度/n

1000

2000

3000

1000

2000

3000

500

1500

2000

500

1500

2000

500

1500



剖面位置

Fig.15 Model of natural gas accumulation in the Huoshiling Formation of the Dehui fault depression, Songliao Basin

现今构造剖面

二段一青山口组沉积末期

营城组沉积末期

沙河子组沉积末期

火石岭组沉积末期

过德深11井构造剖面成藏史

德深11

泉

7 结论

(1)德惠断陷中、北部和东南部的火石岭组均发 生了油气的运移与聚集,发现的气藏集中分布在中央 断裂带的华家构造的高部位狭小地区,天然气藏储层 一般为低孔特低渗的致密储集层,在气藏上倾方向被 反向断层所遮挡,为典型的断层遮挡气藏。

(2)德惠断陷火石岭组的高有机质丰度,有机质 类型以 II₁~II₂型为主,III 型为辅,其中,火三段烃源 岩最好,其次为火二段,为研究区天然气的主要来源, 为天然气的成藏提供了充足的油气来源;天然气轻烃 组分分析表明,火石岭组下部气样主要来源于火石岭 组烃源岩,与沙河子组泥岩有一定关系,但沙河子组 烃源岩供烃并非占主导。

(3)断裂对天然气的运移和聚集起了很重要的 控制因素,是研究区影响天然气成藏最重要的关键成 藏因素,断裂的侧向和垂向封闭性均较差,断裂沟通 烃源岩,成为天然气的优势运移通道,相对断裂的纵 向输导作用,输导层是天然气横向运移的通道,是该 区天然气成藏的次要控制因素。

(4) 基于流体包裹体分析,结合火石岭组气藏气 源对比与烃源岩生排烃期,火石岭组天然气藏存在三 期成藏:130 Ma 左右,对应营城组沉积初期;115~105 Ma 左右,对应泉头组沉积期;95~75 Ma 左右,对应青 山口组—嫩江组沉积期。

(5) 火石岭组烃源岩为火石岭组天然气的主要 供烃层位,烃源岩在构造活动的作用下,发生了三期 生、排烃事件,而根据烃源岩的排烃及断裂的输导特 征,推断在储层中发生了三幕油气成藏,两次调整 改造。

参考文献(References)

- [1] 王启,刘瑞,贾可心,等. 德惠断陷含气储层特征及其控制因素
 [J]. 辽宁化工,2017,46(8):785-789. [Wang Qi, Liu Rui, Jia Kexin, et al. Characteristics and control factors of gas bearing reservoir in Dehui fault depression [J]. Liaoning Chemical Industry, 2017, 46(8): 785-789.]
- [2] 杨悦舒,刘洛夫,徐正建,等. 松辽盆地南部德惠断陷下白垩统 营城组碎屑岩储层成岩作用及成岩相[J]. 东北石油大学学报, 2017,41(3):52-62,72. [Yang Yueshu, Liu Luofu, Xu Zhengjian, et al. Diagenesis and diagenetic facies of the Lower Cretaceous Yingcheng Formation sandstones in the Dehui fault depression in the southern Songliao Basin, China[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2017, 41(3): 52-62, 72.]
- [3] 葛荣峰,张庆龙,王良书,等. 松辽盆地构造演化与中国东部构

造体制转换[J]. 地质论评,2010,56(2):180-195. [Ge Rongfeng, Zhang Qinglong, Wang Liangshu, et al. Tectonic evolution of Songliao Basin and the prominent tectonic regime transition in eastern China[J]. Geological Review, 2010, 56(2): 180-195.]

- [4] 李会光,薛海涛,黄文彪,等. 德惠断陷深层源岩勘探前景[J].
 科学技术与工程,2011,11(27):6578-6582. [Li Huiguang, Xue Haitao, Huang Wenbiao, et al. Hydrocarbon source rock exploration potential of deep layer in Dehui fault depression[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(27): 6578-6582.]
- [5] 赵志魁,赵占银,曹跃,等.吉林探区深层天然气勘探前景[J]. 中国石油勘探,2003,8(3):6-12. [Zhao Zhikui, Zhao Zhanyin, Cao Yue, et al. Exploration prospect of deep gas in Jilin oilfield[J]. China Petroleum Exploration, 2003, 8(3): 6-12.]
- [6] 白新华,罗群. 松辽盆地梨树与德惠凹陷地震地层的划分对比 [J]. 大庆石油学院学报,1996,20(4):1-6. [Bai Xinhua, Luo Qun. Seismic-stratigraphic division and correlation between Lishu and Dehui depresions in Songliao Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1996, 20(4): 1-6.]
- [7] Ren J Y, Tamaki K, Li S T, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in eastern China and adjacent areas[J]. Tectonophysics, 2002, 344(3/4): 175-205.
- [8] Sruoga P, Rubinstein N. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquen basins, Argentina[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(1): 115-129.
- [9] 赵文智,邹才能,冯志强,等. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特 征及评价技术[J]. 石油勘探与开发,2008,35(2):129-142. [Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Feng Zhiqiang, et al. Geological features and evaluation techniques of deep-seated volcanic gas reservoirs, Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(2): 129-142.]
- [10] 郭巍,于文祥,刘招君,等. 松辽盆地南部埋藏史[J]. 吉林大学 学报(地球科学版),2009,39(3):353-360. [Guo Wei, Yu Wenxiang, Liu Zhaojun, et al. The burial history of the southern Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2009, 39(3): 353-360.]
- [11] 张居和,李景坤,闫燕. 徐深1井深层天然气地球化学特征与 各类气源岩的贡献[J]. 石油与天然气地质,2005,26(4):501-504,511. [Zhang Juhe, Li Jingkun, Yan Yan. Geochemical features of natural gas in deep reservoirs in Xushen 1 Well and contribution of various source rocks[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26 (4): 501-504, 511.]
- [12] 赵力彬,黄志龙,马玉杰,等. 松辽盆地南部德惠断陷深层天然 气地球化学特征及成因[J]. 天然气地球科学,2006,17(2): 177-182. [Zhao Libin, Huang Zhilong, Ma Yujie, et al. A study on geochemical character and origin of deep natural gas in Dehui fault depression of the southern Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(2): 177-182.]
- [13] 申宝剑,黄智龙,刘洪文,等. 天然气气源对比研究方法进展
 [J]. 天然气地球科学,2007,18(2):269-274. [Shen Baojian,
 Huang Zhilong, Liu Hongwen, et al. Advances in the study of gas and source rock correlation[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18

(2): 269-274.]

- [14] 申家年,梁爽. 德惠断陷火石岭组天然气气源对比[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2015,17(6):1-4,9. [Shen Jianian, Liang Shuang. Natural gas source correlation of Huoshiling Formation in Dehui fault depression[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2015, 17 (6): 1-4, 9.]
- [15] 赵玉涛,邵明礼,贾可心,等. 松辽盆地德惠断陷华家构造带深 层储层油气成藏期次:来自流体包裹体证据[J]. 东北石油大 学学报,2017,41(1):73-81. [Zhao Yutao, Shao Mingli, Jia Kexin, et al. Hydrocarbon accumulation stages of deep reservoir in Huajia tectonic zone of Dehui Depression of Songliao Basin based on evidence of fluid inclusions[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2017, 41(1): 73-81.]
- [16] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展[J]. 石油与天然气地质, 2007,28(2):143-150. [Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28 (2): 143-150.]

[17] 冯子辉,任延广,王成,等. 松辽盆地深层火山岩储层包裹体及

天然气成藏期研究[J]. 天然气地球科学,2003,14(6):436-442. [Feng Zihui, Ren Yanguang, Wang Cheng, et al. Study on inclusion of deep buried igneous reservoir and forming period of gas pool in Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14 (6): 436-442.]

- [18] 卢双舫,孙慧,王伟明,等. 松辽盆地南部深层火山岩气藏成藏 主控因素[J]. 大庆石油学院学报,2010,34(5):42-47. [Lu Shuangfang, Sun Hui, Wang Weiming, et al. Key factors controlling the accumulation of volcanic gas reservoirs in the deep part of southern Songliao Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010, 34(5): 42-47.]
- [19] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6): 897-917.
- [20] 付广,杨勉. 利用断裂填充物中泥质含量研究断层封闭性的改进方法[J]. 江汉石油学院学报,2002,24(1):1-4. [Fu Guang, Yang Mian. Improved method for studying fault closure by using shale content in fault filling materials[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002, 24(1): 1-4.]

Accumulation Mechanism for Natural Gas in the Huoshiling Formation of the Dehui Fault Depression, Songliao Basin

DENG ShouWei

Exploration & Development Research Institute, Jilin Oilfield, CNPC, Songyuan, Jilin 138000, China

Abstract: The Huoshiling Formation is a favorable exploration layer for deep natural gas in the Dehui fault depression. Based on the analysis of the tectonic evolution in the study area, typical gas reservoirs in the Huoshiling Formation are dissected in detail. Combined with the basic seismic, well logging, and drilling data, integrated analyses of light hydrocarbon, source rock, and fluid inclusion data were used to study the gas accumulation mechanism of the deep Huoshiling Formation in the Dehui fault depression. The results show that the average total organic carbon (TOC) of the source rocks in the Huoshiling Formation is more than 1.0%, and the average value of S_1+S_2 is 0.5-2.0 mg/g. The types of the source rock are mainly Type II₁-II₂, and Type III is supplemented. The organic matter has reached maturity, The R_{o} mean value is 1.5%, and source rocks have greater potential for hydrocarbon generation. The natural gas in the lower part of the Huoshiling Formation comes from the source rock of the Huoshiling Formation, and the natural gas in the upper part of the Huoshiling Formation is mainly derived from the source rocks of the Huoshiling Formation but is influenced by the source of the overlying Shahezi Formation. The migration of natural gas is dominated by vertical fault propagation, and the lateral transport of sand bodies in the reservoir is supplemented. Based on the analyses of fluid inclusions, gas-source correlation, and hydrocarbon generation and the expulsion of source rocks, three episodes of hydrocarbon migration can be identified, namely 130 Ma, corresponding to the deposition of the Yingcheng Formation, 115-105 Ma, corresponding to the Quantou Formation, and 95-75 Ma, corresponding to the deposition of the Qingshankou Formation-Nenjiang Formation.

Key words: Dehui fault depression; Huoshiling Formation; natural gas; gas source correlation; hydrocarbon accumulation period