

松辽盆地南部十屋断陷天然气成藏条件定量研究

孙大明⁽¹⁾ 李明诚⁽²⁾

(1) 国土资源部东北石油局 (2) 中国地质大学(北京)

天然气成藏条件定量研究,实际上就是运用天然气成藏的聚散动平衡理论,对生气量、运移量、散失量和聚集量进行定量的研究。天然气能否成藏,取决于天然气的聚散动平衡。当天然气聚集量大于散失量时,气藏就能形成,反之气藏就不能形成。这种动平衡关系必须在定量研究的基础上才能体现出来。

松辽盆地是我国最大的陆相含油气盆地。40年前,盆地北部的油气勘探就取得了突破,发现了大庆油田。盆地南部具有与北部基本相同的油气地质条件,尤其是天然气资源应更为丰富。80年代开始,在盆地南部开展了大规模二轮油气普查勘探。经过20年的工作,只发现了一些小规模天然气田,未获重大突破。其中一个重要的原因就是勘探思路受“背斜”论束缚,对天然气成藏的定量研究太薄弱。

本文运用天然气成藏的聚散动平衡理论,以松辽盆地南部十屋断陷为研究对象,根据大量实际资料,应用新的地质模型及相应的数学模型,模拟计算了十屋断陷西部的生气量、排气量、残留量、渗流(漏)量、扩散量,对断陷西部气藏形成条件进行了定量的模拟研究,并得出了可能的最大聚集量。最后,根据该研究成果选定了松辽盆地南部下一步勘探目标。

油气地质条件研究

十屋断陷位于吉林省公主岭市和梨树县境内,1983年以来,先后在四五家子和后五家户构造的泉三段、泉一段及登娄库组钻获商业气流,并形成了具一定产能的小气田。该断陷是松辽盆地东南隆起梨树凹陷的一个次一级断陷,面积约为2000km²,又可分为西部深陷区、北部陡坡区和东部缓坡区等3个次一级的构造单元。本文研究范围主要是西部深陷区(包括后五家户构造在内),北起八屋一线,南到孤家子至小宽一线,西到桑树台断裂,东到后五家户构造与四五家子构造之间的鞍部,面积约为280km²(见图1)。

十屋断陷是白垩纪发育起来的西断东超的箕状断陷,下白垩统厚达数千米。沉积和沉降中心位于桑树

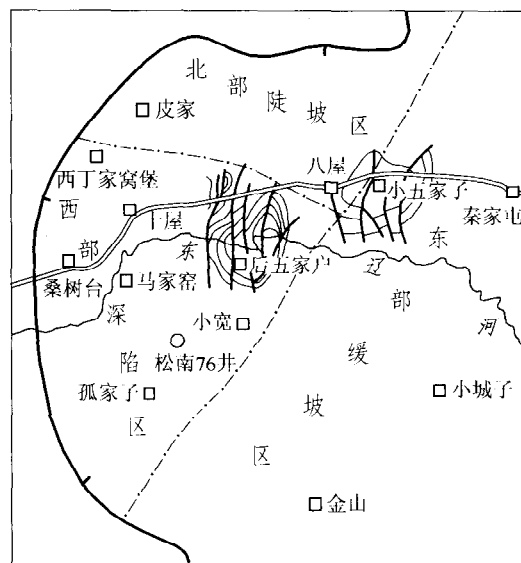


图1 十屋断陷构造区划图

台大断裂附近的西部深凹,地层呈楔状分布,自西向东、向北逐层超覆,属断陷型构造层,受断陷控制;晚白垩世以来则进入稳定沉降的拗陷阶段,上白垩统属拗陷型构造层与整个盆地相连,不完全受断陷控制。该断陷经历了晚侏罗世初期、早白垩世的断陷和晚白垩世的拗陷两个发展阶段。断陷的构造演化过程与整个松辽盆地的演化过程基本一致,但也具有自己的特点,即随着盆地演化过程中的掀斜、东南部隆起,沉降中心从盆地东南部向西北移动,所以位于盆地东南的十屋断陷具有早期沉降巨厚,后期剥蚀严重的特点。

十屋断陷发育的地层由下到上有:上侏罗统的火石岭组、下白垩统的沙河子组、营城组、登娄库组、上白垩统的泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组。登娄库组以下地层演化程度较高(R_0 值为1.2%~1.6%),沙河子组为较好—好烃源岩,营城组为较好烃源岩,登娄库组为一般烃源岩。

后五家户气田位于十屋断陷西部的后五家户构造(见图1),是一个继承性的被断层复杂化的长轴背斜,构造圈闭面积为50km²以上,呈北北东向展布。该构造被多条近南北向正断层切割,使各主要含气层组相应分割成块,主要受断层和储集岩性控制。主要产气

层组在泉三段中部、泉一段下部和登娄库组上部,分别被命名为农Ⅹ、农Ⅺ气层和小Ⅰ气层组。

本区在早白垩世登娄库期末和晚白垩世嫩江期末经历了两次构造运动,主要的背斜构造大多是在这两次构造运动中形成雏形、定型并得到加强。切割登娄库组到泉三段的晚期断层也大多在此期间形成。

天然气在纵向上的聚集主要取决于生、储、盖层组合尤其是封闭盖层。在十屋断陷地区,按区域性生、储、盖层划分,深部断陷期地层(登娄库组以下)为区域性烃源层,泉头组地层是区域性储集层,青山口组及以上地层是大的区域盖层。但对后五家户气田形成有较大意义的是3套二级储盖组合(见图2);泉三段上部泥岩和其下的泉三段中部气层组、泉二段泥岩段和其下的储集层、登娄库组上部泥岩盖层和其下的储集层。盖层都是泥质岩,属毛细管封闭。

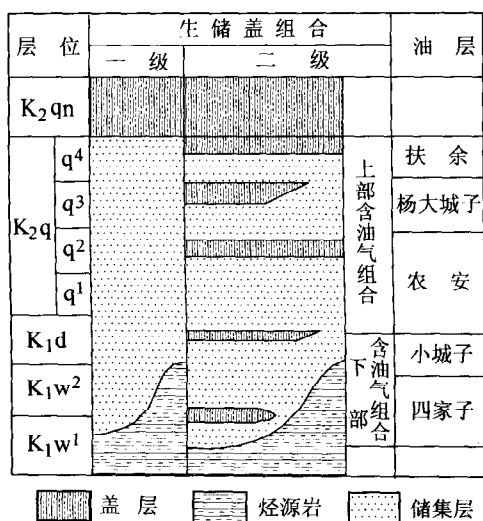


图2 十屋断陷生、储、盖组合图

天然气成藏条件定量研究

天然气在地下的运移主要是通过渗滤和扩散两种作用进行。渗滤(漏)作用在二次运移中起重要作用。渗滤量主要是应用达西定律进行计算。分子扩散作用是天然气运移的另一重要方式,只要有浓度差存在就能发生扩散作用。所以在漫长的地质历史中,扩散对天然气成藏的影响是很大的。扩散量主要是根据费克(Fick)第二定律进行计算。

1 地质模型

要进行聚集量的模拟,首先要模拟出生气量和排气量。本文的地质模型^[3]是根据烃源岩的体积、密度、有机碳含量、有机碳恢复系数、干酪根类型、热演化程度等资料,应用有机碳视生气率法计算生气量,再根据

地下温度、压力、孔隙度、溶解度等参数,确定地下天然气各运移相态的排气量,把它们相加即是总排气量。

得出排气量以后,根据二次运移空间的体积、孔隙度、砂泥岩地层的吸附率和天然气临界运移饱和度计算出天然气在地层中的残留量、吸附量和二次水溶排气量,再根据“通天”断层的数量、发育时间、有效渗透率、浮力和毛细管阻力等参数计算出渗漏量;再根据扩散时间、扩散系数、地层厚度和地层含气浓度计算扩散散失量,相加后可得总散失量。如果生、排气量大于散失量,则可能有天然气聚集,否则无天然气聚集。有了聚集量才可能有天然气藏形成。

2 数学模型

(1) 生气量

主要采用有机碳视生气率法计算生气量(Q_g)

$$Q_g = V_{pr} C R_c k_c \quad (1)$$

(2) 排气量

根据烃源岩生气量、孔隙度、地层温度、压力、溶解度以及扩散系数、扩散时间,分别计算出水溶相、油溶相、游离相和扩散相各相态(见图3)的排气量,然后累加起来即得总排气量。

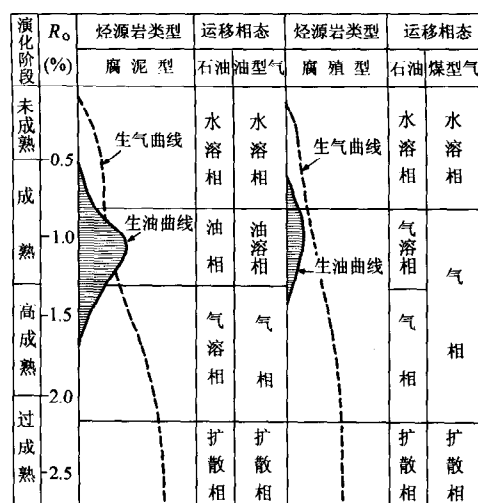


图3 石油与天然气运移相态纵向演变示意图

(3) 二次运移的残留量

油气在输导层中进行二次运移时必然会有一部分天然气残留在二次运移的空间里,其中包括颗粒表面吸附和孔隙空间残留。吸收量可按吸收率来计算,而孔隙中的残留量(Q_{RS})可用下式计算

$$Q_{RS} = V_P S_{cs} \rho_g \quad (2)$$

(4) 扩散量

指烃源岩中生成的天然气通过扩散作用的扩散量,其中包括进入输导层和散失到地表的天然气量。

根据费克第二定律和本文给定的初始边界条件,按简化后的扩散方程进行计算

$$c = c_0 \exp(-D_e \pi^2 t / 4L^2) \quad (3)$$

求得 c 后,再根据下式计算出烃源岩中天然气的扩散量(Q_D)

$$Q_D = (c_0 - c)V \quad (4)$$

(5)二次运移的渗漏(流)量

这里所谓的渗漏量(Q_{DS})主要是指天然气沿“通天”断层运移到泉四段以上地层中的渗漏散失量,其大小可用下式计算

$$Q_{DS} = (KA \Delta p t \sin \theta) / (\mu L) \quad (5)$$

3 模拟结果

从天然气成藏的聚散动平衡理论来看,天然气成藏的地质史就是气体的不断运移散失与气源岩的不断运移补充的动平衡过程。聚集量的模拟就是定量地研究这两个运移过程的动平衡关系。目前,聚集量模拟已成为盆地模拟中的重要内容,也是盆地模拟的最高阶段和最终成果。虽然还有一些理论和模拟参数的取得需要完善,但目前的研究水平已能对聚集量进行初级模拟并应用于勘探实践。

1, 十屋断陷西部的气源岩为沙河子组和营城组,源岩体积分别为 235km^3 和 168km^3 ,由于其体积巨大,演化程度高,总生气量可达 $29\,838 \times 10^8\text{m}^3$ 。

2, 十屋断陷西部的沙河子组源岩在登娄库期已成熟,而后五家户构造在白垩纪末(嫩江末构造运动)才定型,地质时间长达 35Ma ,生、储、盖地层相距 2000m 以上,时空跨度比较大,所以二次运移的空间过大。地层孔隙中的残留量为 $2142 \times 10^8\text{m}^3$,地层岩石的吸附量为 $5948 \times 10^8\text{m}^3$ 。

3, 后五家户构造上没有良好的区域盖层,青山口组以上区域性盖层在构造顶部被剥蚀殆尽,扩散到地表的散失量为 $4907 \times 10^8\text{m}^3$,沿断层渗漏量为 $11\,348 \times 10^8\text{m}^3$,可见后五家户气田的保存条件较差。但是由于十屋断陷西部后五家户地区气源较充足,运移量大于散失量(可供聚集的游离气量为 $354 \times 10^8\text{m}^3$),所以在后五家户构造上仍获得了商业气流,可以说它是一个保存条件很差的残留气田。

结 论

对十屋断陷西部天然气成藏条件的定量模拟研究

表明,在天然气形成与发展的过程中,气源岩是基础,圈闭是条件,盖层是关键。

十屋断陷生气量巨大,可供聚集的天然气丰富,因此勘探潜力仍较大。该断陷位于松辽盆地东南隆起,而后五家户气田又位于构造的高点,青山口组以上的区域性盖层抬升剥蚀殆尽,导致后五家户气田保存条件较差,天然气散失严重。在构造翼部,随着向斜坡带和深凹方向埋深加大,抬升幅度减小,剥蚀量减少,盖层的裂隙也随之减小,封盖条件大大优于构造高点。所以,在十屋断陷西部的斜坡和鞍部中的各种岩性和构造-岩性圈闭将是较好的油气聚集场所。

依据上述研究成果在松辽盆地南部十屋断陷部署的松南 76 井获得稳定日产天然气 $13 \times 10^4\text{m}^3$ 的高产商业气流,发现了松辽盆地南部最大的天然气田——孤家子气田。实践证明:在松辽盆地南部地区,构造斜坡和鞍部的低幅度构造-岩性圈闭上,可以形成优于构造高点的高产油气田(藏)。在今后油气勘探中,应该对占该区总面积 70% 的尚未钻探的斜坡和向斜等非构造领域进行重新评价研究,力争松辽盆地南部油气勘探实现重大突破。

符 号 注 释

V ——烃源岩体积, m^3 ; ρ_r ——烃源岩密度, t/m^3 ; C ——烃源岩有机碳含量, %; R_c ——有机碳恢复系数, %; k_c ——生气率, m^3/t ; V_P ——二次运移空间的孔隙体积, m^3 ; S_{cs} ——输导层中临界运移饱和度, %; ρ_g ——天然气地下密度, t/m^3 ; t ——扩散或渗漏历经的时间, s ; c_0 ——烃源岩原始含气浓度, $10^8\text{m}^3/\text{km}^3$; c ——经 t 时间扩散后烃源岩的含气浓度, $10^8\text{m}^3/\text{km}^3$; D_e ——有效扩散系数, m^2/s ; L ——扩散烃源岩厚度或渗漏通道的长度, m ; Δp ——剩余压力, Pa ; μ ——流体的粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; K ——流体的有效渗透率, m^2 ; θ ——渗漏通道的倾角, ($^\circ$); A ——渗漏通道的面积, m^2 。

参 考 文 献

- 1 李明诚. 石油与天然气运移. 北京:石油工业出版社, 1994.
- 2 郭念发, 孙大明等. 松辽盆地十屋断陷地质特征与天然气勘探原则. 华东油气勘探, 1997, 15(4): 17~21.
- 3 李明诚, 李伟等. 油气成藏保存条件的综合研究. 石油学报, 1997, (2).
- 4 孙大明. 地震勘探新技术在松南油气勘探中的应用. 中国地球物理学会年刊, 1998.

第一作者简介 孙大明, 男, 41 岁, 获石油天然气地质硕士学位, 高级工程师, 现主要从事油气勘探开发研究与管理工。地址: 吉林省长春市和平大街 3-1 号, 邮政编码 130062。

收稿日期 1999-12-13

(编辑、绘图 梁大新)