

文章编号:1673-5005(2021)02-0042-09 doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2021.02.005

油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位预测方法

付 广, 韩 旭

(东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318)

摘要:为了研究含油气盆地油气分布规律,在油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换条件及部位研究的基础上,通过确定油源断裂分布区和源岩排烃分布区来确定凹陷区断裂输导油气分布区,通过确定连通砂体分布区和砂体输导油气优势路径分布区来确定斜坡区砂体输导油气分布区,二者叠合建立一套油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的预测方法,并将其应用于海拉尔盆地贝尔凹陷苏德尔特地区南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的预测。结果表明:苏德尔特地区南一段油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位主要分布在中部地区,其南部和中部为线状接触转换部位,有利于油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换,易在斜坡区形成大规模油气聚集;北部为带状未接触转换部位,不利于油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换,不宜在斜坡区形成大规模油气聚集,与目前苏德尔特地区斜坡区南一段上部已发现油气分布相吻合,表明该方法用于预测油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位是可行的。

关键词:凹陷区; 断裂输导; 斜坡区; 砂体输导; 转换部位; 预测方法

中图分类号:TE 122.1 **文献标志码:**A

引用格式:付广,韩旭. 油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位预测方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(2):42-50.

FU Guang, HAN Xu. Methodology for predicting transfer position of oil and gas transmission from fault in depression to sand body in slope area[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2021,45(2):42-50.

Methodology for predicting transfer position of oil and gas transmission from fault in depression to sand body in slope area

FU Guang, HAN Xu

(School of Earth Sciences in Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: In order to study the distribution of oil and gas in petroliferous basins, on the basis of transfer conditions and positions of the fault transport to the sand body in the slope area, the distribution area of the fault transport oil and gas in the depression area is obtained by determining the distribution area of the oil source fault and the hydrocarbon expulsion area of the source rock. The distribution area of the fault transport oil and gas in the depression area is obtained by determining the distribution area of the connected sand body and the distribution area of the dominant path of the possible sand body transport oil and gas. The distribution area of oil and gas transportation is obtained by determining the distribution area of connected sand body and the distribution area of the dominant path of oil and gas transportation of possible sand body, and the distribution area of oil and gas transportation of sand body in slope area. A set of prediction methods for the transfer position of fault oil and gas transportation to sand body in slope area are established by combining the two, and are applied to the upper part of the south first member of the depression area in the Sudeerte area, Beier depression, Hailar Basin. The results show that the upper part of the south part of the sag in the Sudeerte area is mainly distributed in the middle part of the slope area. The middle part and the south part are in linear contact, which is conducive to the transfer of oil and gas from the sag to the slope area.

ea, and is easy to form in the slope area. It is not suitable to form a large-scale sand body transporting oil and gas accumulation in the slope area due to large-scale sand body transporting and transferring, which is consistent with the distribution of oil and gas found in the upper part of the south section of the slope area in the Sudeerte area at present time, which indicates that this method is feasible to predict the transporting and transferring position of fault transporting oil and gas to the sand body in the slope area.

Keywords: depression area; fault transporting oil and gas; slope area; sand body transporting oil and gas; conversion position; prediction method

油气勘探的实践表明,在含油气盆地中由于凹陷区和斜坡区位置不同,油气运移方向不同,凹陷区油气以垂向运移为主,而斜坡区则以侧向运移为主,造成其油气聚集与分布规律明显不同,油气勘探思路也就不同。由此看出,能否准确地预测出油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位,对于正确认识含油气盆地油气分布规律和指导油气勘探均至关重要。关于凹陷区断裂输导油气和向斜坡区砂体输导油气前人曾做过一定研究,对凹陷区断裂输导油气研究主要表现在以下2个方面:一方面是根据断裂类型与源储之间的配置关系,研究输导油气的断裂类型^[1-6],认为只有连接源岩和上覆目的储层,且在油气成藏期活动的断裂,才是目的层输导油气的油源断裂;另一方面是根据上述已确定出的此类油源断裂分布区与源岩排烃分布区之间的关系,研究断裂输导油气分布区^[7-11]。认为只有源岩排烃分布区内的油源断裂分布区才是断裂输导油气分布区,二者缺少哪一个均不是断裂输导油气分布区。对于斜坡区砂体输导油气研究也主要表现在以下2个方面:一方面是根据砂体是否连通和其上断盖配置垂向是否封闭,研究砂体输导油气所需的条件^[12-14],认为只有其上断盖配置垂向封闭且砂体连通分布才能输导油气,上述二个条件缺少哪一个砂体均不能输导油气;另一个方面是根据连通砂体所在地层顶面油气成藏期古油气势能等值线法线汇聚线确定油气侧向运移路径。以上这些研究成果对正确认识凹陷区和斜坡区油气分布规律及指导其油气勘探起到了非常重要的作用。然而,目前对油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位研究的相对较少,且仅是根据源岩排烃区边界或油源断裂分布区边界进行确定断裂输导油气分布区^[15-18],而对砂体输导油气分布区研究至今未见文献报导,致使目前油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的确定难以准确地反映地下的实际情况,影响了含油气盆地凹陷区与斜坡区油气分布规律认识和油气勘探的深入。因此开展油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换预测方法研究,对于正确

认识含油气盆地凹陷区和斜坡区油气分布规律和指导油气勘探均具有重要意义。笔者通过确定油源断裂分布区和源岩排烃分布区确定凹陷区断裂输导油气分布区,通过确定连通砂体分布区和砂体输导油气优势路径分布区确定斜坡区砂体输导油气分布区,二者叠合建立一套油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的预测方法。

1 油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换条件及部位

在含油气盆地通常由于斜坡区不发育源岩,其油气主要来自凹陷区,凹陷区主要是断裂输导油气,而斜坡区则主要为砂体输导油气,那么凹陷区断裂输导油气须向斜坡区砂体输导转换,才能使凹陷区油气在斜坡区运聚成藏。然而,并非凹陷区断裂输导油气均可向斜坡区砂体输导发生转换,应须满足以下3个条件:

(1)第一个条件是断裂输导油气遇到上覆封闭的区域性盖层,使断裂输导油气停止,向砂体中侧向分流运移。因为封闭的区域性盖层厚度相对较大,油源断裂在区域性盖层内分段生长上下不连接,不是油气穿过区域性盖层的输导通道,油气不能通过油源断裂穿过区域性盖层向上运移,使断裂输导油气停止,造成断裂输导油气向区域性盖层之下砂体中发生侧向分流运移,如图1(a)所示,否则断裂输导油气将主要穿过区域性盖层向上继续运移,即使断裂对盘对接砂体物性再好,也不会有大量油气向其侧向分流运移,如图1(b)所示。

(2)第二个条件是斜坡区发育连通分布砂体,方可使断裂输导油气侧向分流进入砂体后在斜坡区进行砂体输导油气;否则即使断裂输导油气向砂体侧向分流运移,也不能向斜坡区进行砂体输导油气,只能在油源断裂附近砂体尖灭中聚集。

(3)第三个条件是斜坡区连通砂体发育油气运移优势路径,才能使进入砂体中油气在斜坡区进行长距离侧向汇聚运移,从而完成油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换,对斜坡区油气大规模

聚集成藏起到贡献作用;否则,进入到连通砂体中的油气将会发散运移,不能在斜坡区砂体中进行长距

离侧向运移,也就不能对斜坡区油气大规模聚集成藏起到贡献作用。

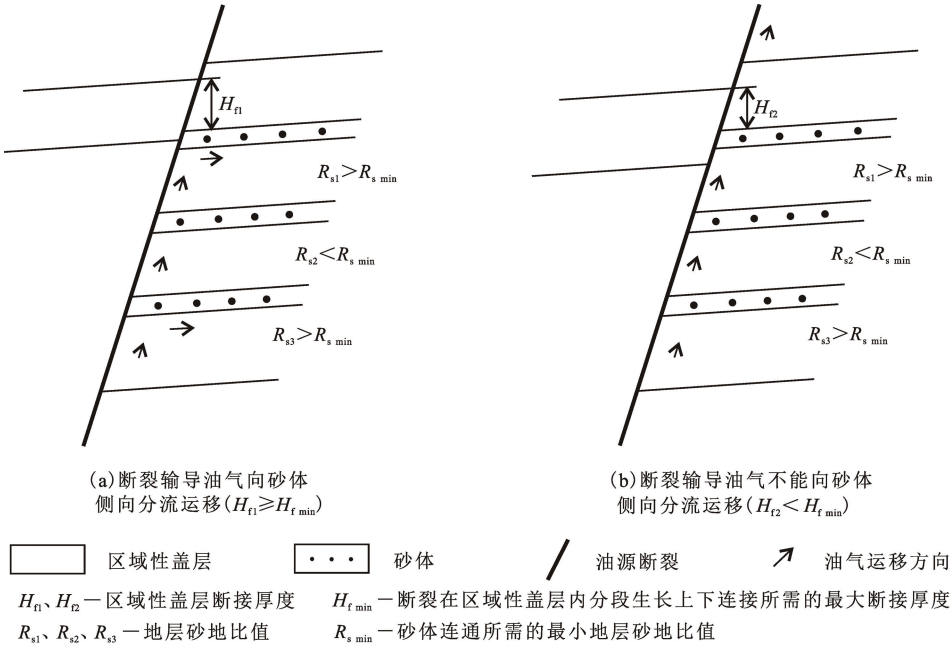


图 1 断裂输导油气向砂体侧向分流运移条件示意图

Fig. 1 Schematic diagram of oil and gas lateral shunt conditions transported from fault to sand body

由于凹陷区断裂输导油气分布区主要受到油源断裂分布的控制(图2),而斜坡区砂体输导油气分布区主要受到连通砂体输导油气优势路径分布的控制,二者相接触部位即油气由凹陷区断裂输导向斜

由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换;②第二种是线状接触转换部位,为油源断裂与砂体输导油气优势路径直接接触,油气由凹陷区断裂输导也较易向斜坡区砂体输导转换;③第三种是带状不接触转换部位,为油源断裂与砂体输导油气优势路径不能直接接触,二者之间存在一个过渡带,油气要经过一段距离的发散运移后才能砂体输导,不利于凹陷区断裂输导油气向斜坡区砂体输导转换。

2 预测方法

由上可知,要预测油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位,就必须确定出凹陷区断裂输导油气分布区和斜坡区砂体输导油气分布区,二者相接部位即为油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位。

利用地震资料拆分凹陷区目的储层内发育断裂断穿层位,将连接源岩和目的储层,且在油气成藏期活动的断裂,作为目的层油源断裂。将所有此类断裂圈在一起作为油源断裂分布区。利用钻井和分析测试资料,研究凹陷区源岩分布及其地化特征,由文献[19]中源岩排烃门限的确定方法,确定凹陷源岩排烃门限,据此圈定凹陷源岩排烃分布区,将上述已确定出的油源断裂分布区和源岩排烃分布区叠合,便可以得到凹陷区断裂输导油气分布区。

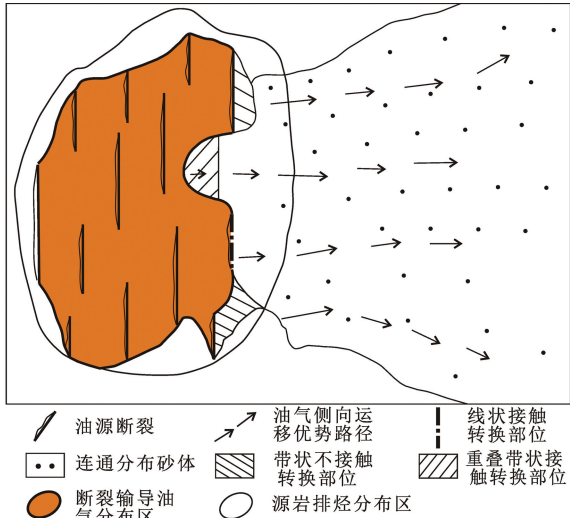


图 2 油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位示意图

Fig. 2 Schematic diagram of oil and gas transmission from fault in depression area to sand body in slope area

坡区砂体输导转换部位。如图2所示,油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位有3种情况:①第一种是重叠带状接触转换部位,为油源断裂与砂体输导油气优势路径重叠接触,最有利于油气

由钻井和地震资料统计斜坡区目的储层地层砂地比,作其平面分布图如图 3 所示。统计研究区已知井点处目的储层地层砂地比与其砂体内油气显示特征,取含油气砂体处最小地层砂地比作为砂体连通所需的最小地层砂地比。这是因为只有砂体连通,油气方可在其内部侧向运移和聚集。

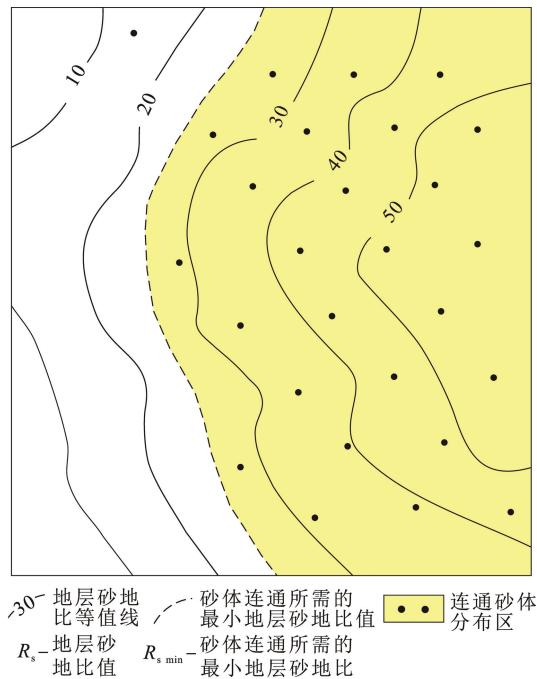


图 3 连通砂体分布区厘定示意图

Fig. 3 Determination of distribution area of connected sandbody

由连通砂体所在地层顶面埋深,由地层古埋深恢复方法^[20]恢复其在油气成藏期古埋深,由式(1)计算其古油气势能,由其古油气势能等值线法线汇聚线,便可以得到其砂体输导油气优势路径。将连通砂体内所有砂体输导油气优势路径圈在一起,便可以得到斜坡区砂体输导油气分布区。

将上述已确定出的凹陷区断裂输导油气分布区与斜坡区砂体输导油气分布区叠合,便可以得到油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位。

$$\Phi = gZ + \frac{P}{\rho} \quad (1)$$

式中, Φ 为断层面油气势能值,kJ; Z 为断层面埋深,m; P 为断层面流体压力,MPa(其大小等于 $\rho_w Z$, ρ_w 为地层水密度,g/cm³); g 为重力加速度,m/s²; ρ 为油气密度,g/cm³。

3 实例应用

选取海拉尔盆地贝尔凹陷苏德尔特地区作为研

究实例,利用上述方法预测南屯组一段(南一段)上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位,并将预测结果与目前苏德尔特地区南一段上部已发现的油气分布进行比较,验证该方法用于预测油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的可行性。

苏德尔特地区位于贝尔凹陷中部,构造上包括苏德尔特潜山构造带中部、贝西洼槽的部分地区和敖瑙海洼槽及霍多莫尔断鼻构造带的局部地区,该区油气钻探所揭示的地层主要有白垩系和新生界,下白垩统地层由下至上为南屯组、大磨拐河组和伊敏组,上白垩统仅为青元岗组,如图 4 所示。目前该区已发现油气主要分布在南一段上部,少量分布在大磨拐河组,油气主要来自贝西洼槽南一段下部源岩。研究区包括贝西洼槽凹陷区和苏德尔特潜山构造带的斜坡区,能否准确地预测出南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位,对于正确认识苏德尔特地区南一段上部油气分布规律和指导其油气勘探均具有重要意义。

利用地震资料拆分苏德尔特地区断裂断穿层位,划分断裂类型(图 5)。由图 5 可以看出,苏德尔特地区只有 I、II 断裂才是凹陷区南一段上部油源断裂,因其连接了南一段上部和南一段源岩,且在油气成藏期——伊敏组沉积末期活动。由图 6 可以看出,苏德尔特地区南一段上部主要发育 3 条油源断裂,其中 F₁ 油源断裂主要分布在其中北部,平面延伸距离相对较远。F₂ 油源断裂分布在其西南地区,平面延伸距离其次。F₃ 油源断裂分布在其东北边部,平面延伸距离相对较近,将 3 条油源断裂圈起来即为苏德尔特地区南一段上部油源断裂分布区,如图 6 所示。可以看出,苏德尔特地区凹陷区南一段上部油源断裂主要分布在其中北部地区。由苏德尔特地区南一段下部源岩厚度及有机质地化特征,根据文献[19]中源岩排烃门限确定方法,确定出苏德尔特地区南一段下部源岩排烃门限约为 2 200 m,据此可以得到苏德尔特地区南一段下部源岩排烃分布区。由图 6 可以看出,苏德尔特地区南一段源岩排烃分布区也主要分布在其中部及北部地区,面积大于油源断裂分布区。

将上述已确定出油源断裂分布区和源岩排烃分布区叠合,便可以得到苏德尔特地区南一段上部凹陷区断裂输导油气分布区,如图 6 所示,苏德尔特地区南一段上部断裂输导油气分布区主要分布在其中

北部地区。

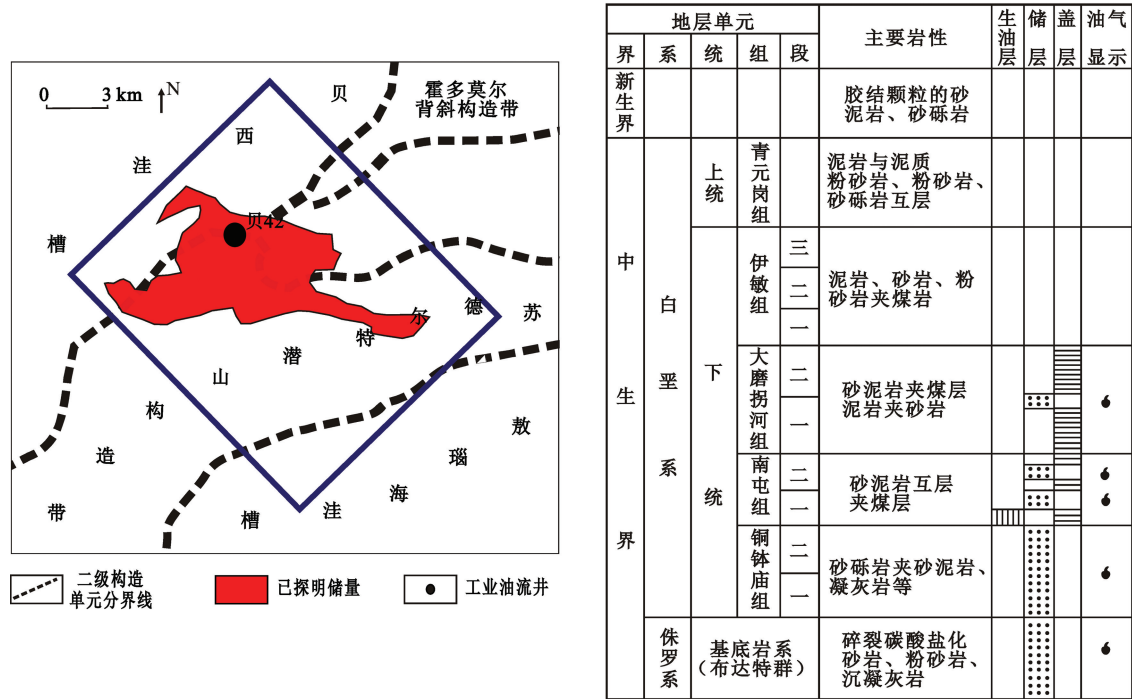


图 4 苏德尔特地区构造及地层特征

Fig. 4 Structal and stratigraphic characteristics of Sudeerte area

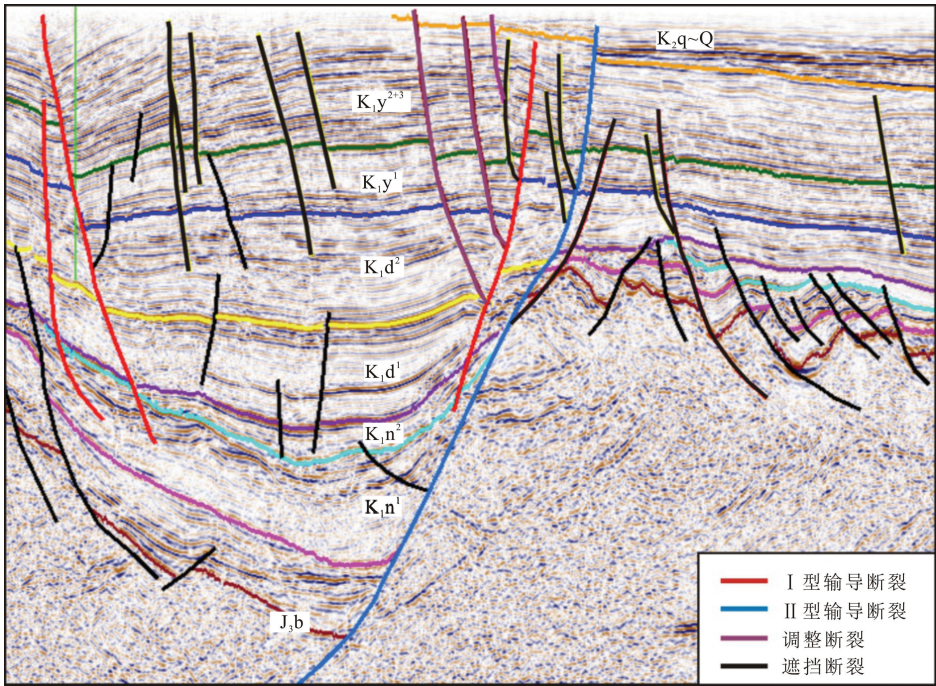


图 5 苏德尔特地区典型剖面断裂类型划分

Fig. 5 Fault type division of typical bisect in Sudeerte area

由钻井资料统计苏德尔特地区南一段上部地层砂地比,作其平面分布图,如图 7 所示。可以看出,苏德尔特地区南一段上部地层砂地比最大可达到 85%,主要分布在其东部地区,次极值砂地比也可达 75%,主要分布在其西北地区和东北地区,

由 3 个高值区向其四周南一段上部地层砂地比逐渐减小,在其中部的南部和北部南一段上部地层砂地比达到最小,小于 18%。统计苏德尔特地区已知井点处南一段上部地层砂地比与其内砂体中油气显示特征(图 8),取含油气砂体处最小地层

砂地比(约为 18%)作为砂体连通所需的最小地层砂地比。由图 7 和图 8 可以得到苏德尔特地区南一段上部连通砂体分布区,苏德尔特地区南一段上部连通砂体主要分布在其东部和西部,少量分布在其中部的中部。由苏德尔特地区南一段上部地层埋深,由地层古埋深恢复方法^[20]恢复油气成藏期——伊敏组沉积末期古埋深,由式(1)计算其油气成藏期古油气势能值,由其古油气势能等值线法线汇聚线,便可以得到苏德尔特地区南一段上部斜坡区砂体输导油气优势路径分布,如图 6 所示。由图 6 可以看出,苏德尔特地区南一段上部斜坡区 7 条砂体输导油气优势路径分布区主要分布在中部地区。将上述砂体连通分布区和砂体输导油气优势路径分布区叠合,便可以得到砂体输导油气分布区,苏德尔特地区南一段上部砂体输导油气分布区主要分布在中部地区。

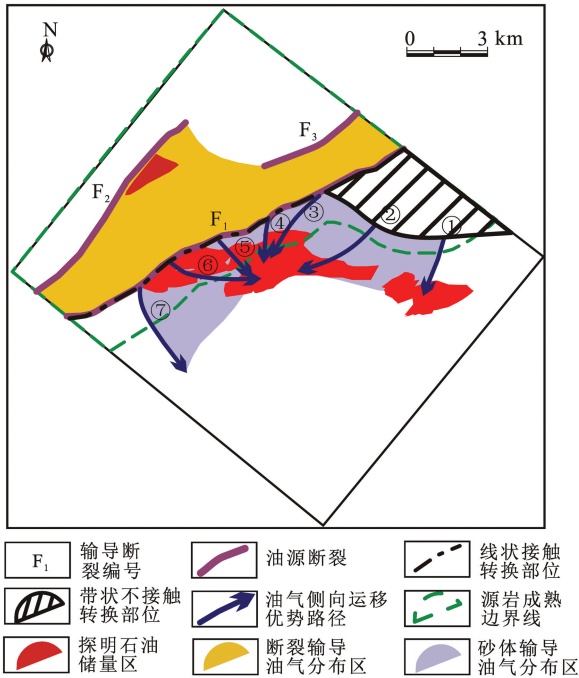


图 6 苏德尔特地区南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位与油气分布关系

Fig. 6 Relationship between oil and gas distribution and migration from fault of sag to sandbody in slope area of the upper Nantun 1 section in Sudeerte area

将上述已确定出的苏德尔特地区南一段上部凹陷区断裂输导油气分布区与斜坡区砂体输导油气分布区叠合,便可以得到其南一段上部油气由

凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位(图 6)。由图 6 可以看出,苏德尔特地区南一段上部凹陷区断裂输导油气向斜坡区砂体输导转换部位主要分布在其中北部,其中部及南部为线状接触转换部位,有利于南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换,其北部为带状未接触转换部位,而且越向北越宽,不利于南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换。由图 6 可以看出,苏德尔特地区斜坡区南一段上部目前已发现的油气主要分布在中部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导线状接触转换部位处的斜坡区,少量油气分布在北部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导带状未接触转换部位处的斜坡区,这是因为只有位于南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导线状接触转换部位处的斜坡区,才有利于油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换,形成大规模油气在斜坡区聚集成藏,油气钻探才有大量油气发现,而位于南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导带状未接触转换部位处的斜坡区,油气由凹陷区断裂输导不能直接向斜坡区砂体输导转换,须经历一段发散运移,才能进行砂体输导,不利于油气在斜坡区大规模聚集成藏,油气钻探发现的油气相对较少。

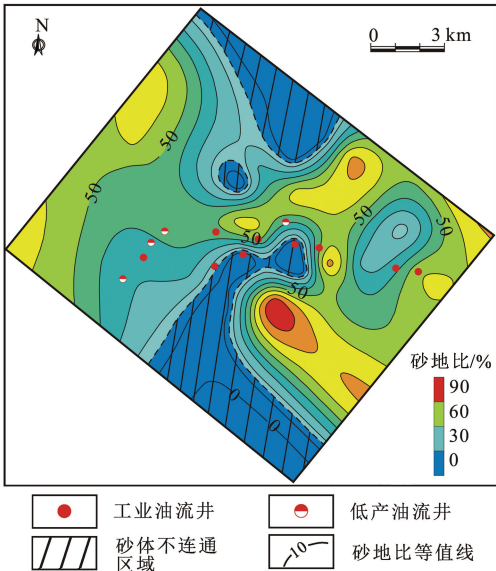


图 7 苏德尔特地区南一段上部连通砂体分布
Fig. 7 Distribution of connected sandbody in the upper Nantun 1 section of Sudeerte area

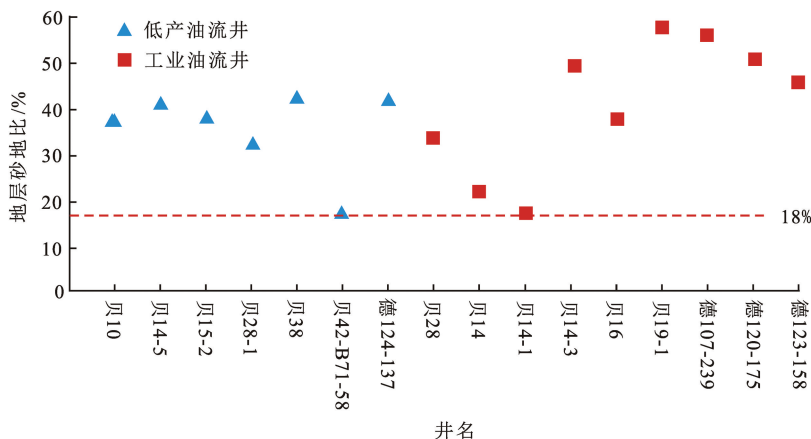


图8 苏德尔特地区南一段连通砂体所需的最小地层砂地比厘定图

Fig. 8 Determination of the minimum formation sand-ground ratio required for connecting sandbody in Nantun 1 section of Sudeerte area

4 结 论

(1) 油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位应是凹陷区断裂输导油气分布区与斜坡区砂体输导油气分布区的接触部位, 可以是叠置带状接触和线状接触, 也可以是带状未接触, 前两者较后者更易使油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换。

(2) 通过确定油源断裂分布区和源岩排烃分布区来确定凹陷区断裂输导油气分布区, 通过确定连通砂体分布区和砂体输导油气优势路径分布区来确定斜坡区砂体输导油气分布区, 二者叠合建立一套油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的预测方法, 并通过实例应用验证了该方法用于预测油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位是可行的。

(3) 海拉尔盆地贝尔凹陷苏德尔特地区南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位主要分布在其中部, 其南部和中部为线状接触转换部位, 有利于南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换, 易在斜坡区形成大规模油气聚集; 其北部为带状未接触转换部位, 不利于南一段上部油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换, 不易在斜坡区形成大规模油气聚集, 与目前苏德尔特地区斜坡区南一段上部已发现油气分布相吻合。

(4) 该方法主要适用于砂泥岩含油气盆地油气由凹陷区断裂输导向斜坡区砂体输导转换部位的预测。

参考文献:

[1] 孙同文, 付广, 吕延防, 等. 断裂输导流体的机制及输

导形式探讨[J]. 地质论评, 2012, 58(6): 1081-1090.

SUN Tongwen, FU Guang, LÜ Yanfang, et al. A discussion on fault conduit fluid mechanism and fault conduit form[J]. Geological Review, 2012, 58(6): 1081-1090.

[2] 刘涛, 张宏兵, 许自强, 等. 断裂作为油气运移优势通道的条件分析: 以珠一西地区为例[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(2): 73-78.

LIU Tao, ZHANG Hongbing, XU Ziqiang, et al. Analysis of the conditions of faults as the dominant Channel of oil and gas migration: a case study of Zhuyi West area [J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(2): 73-78.

[3] 刘峻桥, 吕延防, 付广, 等. 正断层输导油气运移模式及其对油气分布的控制作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(6): 1672-1683.

LIU Junqiao, LÜ Yanfang, FU Guang, et al. Transporting models of oil-gas migration by normal fault and its controlling effect to oil-gas distribution[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016, 46(6): 1672-1683.

[4] 付晓飞, 许鹏, 魏长柱, 等. 张性断裂带内部结构特征及油气运移和保存研究[J]. 地学前缘, 2012, 19(6): 200-212.

FU Xiaofei, XU Peng, WEI Changzhu, et al. Internal structure of normal fault zone and hydrocarbon migration and conservation[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(6): 200-212.

[5] 高宁, 付广, 王慧. 南堡凹陷东一段源断时空匹配关系及其对油气成藏的控制作用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2017, 32(4): 11-17.

GAO Ning, FU Guang, WANG Hui. Time-space matching relation between source rock and oil-source faults of Ed₁ Member in Nanpu Sag and its control effect on hydro-

- carbon accumulation[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2017,32(4):11-17.
- [6] 付广,梁木桂,李乔乔. 源断砂空间匹配输导油气有效性研究[J]. 中国矿业大学学报,2019,48(3):584-591.
FU Guang, LIANG Mugui, LI Qiaqiao. Effectiveness of transporting oil and gas of source-fault-sandstone space matching[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2019,48(3):584-591.
- [7] 付广,王浩然. 利用地震资料预测油源断裂有利输导油气部位[J]. 石油地球物理勘探,2018,53(1):161-168, 9-10.
FU Guang, WANG Haoran. Prediction of favorable oil-gas transportation parts of oil-source faults on seismic data[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2018, 53(1):161-168, 9-10.
- [8] 付广,韩刚,李世朝. 断裂侧接输导油气运移部位预测方法及其应用[J]. 石油地球物理勘探,2017,52(6):1298-1304,1124.
FU Guang, HAN Gang, LI Shizhao. A prediction method for fracture laterl-connected hydrocarbon migration[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2017, 52(6):1298-1304,1124.
- [9] 付广,展铭望. 油气沿断裂垂向与砂体侧向运移转换条件分析:以渤海湾盆地局部构造为例[J]. 中国矿业大学学报,2017,46(2):336-344.
FU Guang, ZHAN Mingwang. Conversion condition analysis for vertical migration along faults and lateral migration along sandbodies of oil and gas: taking the local structure of Bohai Bay basin as an example[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017,46(2):336-344.
- [10] 付广,王超,历娜,等. 断-砂配置中油气运移方向的判别方法及其应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(5):51-58.
FU Guang, WANG Chao, LI Na, et al. Discriminatory method and its application of oil-gas migrating direction in fault-sand-body configuration[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2016,40(5):51-58.
- [11] 孙同文,王伟,高华娟,等. 断裂-砂体耦合侧向分流油气研究进展[J]. 地球物理学进展,2017,32(5):2071-2077.
SUN Tongwen, WANG Wei, GAO Huajuan, et al. Research progress of fault-sandbody coupling lateral shunt oil and gas[J]. Progress in Geophysics, 2017,32(5):2071-2077.
- [12] 张博为,付广,张居和,等. 沿不同时期断裂运移的油气被泥岩盖层封闭所需条件的差异性:以三肇凹陷青一段和南堡凹陷5号构造东二段为例[J]. 石油与天然气地质,2017,38(1):22-28.
ZHANG Bowei, FU Guang, ZHANG Juhe, et al. Analysis on the different sealing conditions required by mudstone caprock at different fault evolution stages: a case study on the 1st member of Qingshankou Formation in the Sanzhao Depression and 2nd member of Dongying Formation in the structure No. 5 of the Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2017,38(1):22-28.
- [13] 付晓飞,方德庆,吕延防,等. 从断裂带内部结构出发评价断层垂向封闭性的方法[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2005,30(3):328-336.
FU Xiaofei, FANG Deqing, LÜ Yanfang, et al. Method of evaluating vertical sealing of faults in terms of the internal structure of fault zones[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2005,30(3):328-336.
- [14] 姜振海. 泥岩盖层内断裂垂向封闭油气能力综合评价方法[J]. 石油地球物理勘探,2019,54(3):650-655,489.
JIANG Zhenhai. Comprehensive evaluation of fault vertical sealing ability with mudstone caprocks[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2019,54(3):650-655,489.
- [15] 付广,王慧. 隆起区和斜坡区断-砂输导体系控制油气分布特征的差异性[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2018,42(3):22-30.
FU Guang, WANG Hui. Differences of distribution characteristics of oil and gas by the control of fault-sand transporting system in uplifted area and slope area[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2018,42(3):22-30.
- [16] 曾立智. 斜坡区断砂配置侧向输导油气路径预测方法及应用[J]. 大庆石油地质与开发,2018,37(3):10-15.
ZENG Lizhi. Prediction method of the hydrocarbon lateral transporting path along the fracture-sand configuration in the slope area and its application[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2018, 37(3):10-15.
- [17] 王伟,孙同文,曹兰柱,等. 油气由断裂向砂体侧向分流能力定量评价方法:以渤海湾盆地饶阳凹陷留楚构造为例[J]. 石油与天然气地质,2016,37(6):979-989.
WANG Wei, SUN Tongwen, CAO Lanzhu, et al. A quantitative evaluation method of probability for diversion flow oil and gas laterally from faults to sand bodies: a case study from Liuchu Structure in the Raoyang sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016,37(6):979-989.

979-989.

[18] 钱赓,牛成民,杨波,等. 渤海南部莱西构造带新近系油气优势输导体系[J]. 石油勘探与开发,2016,43(1):34-41,50.

QIAN Geng, NIU Chengmin, YANG Bo, et al. Hydrocarbon migration pathways in the Neogene of Laixi structural belt, southern Bohai Sea, China[J]. Petroleum Exploration and Development,2016,43(1):34-41,50.

[19] 郭显令,熊敏,周秦,等. 烃源岩生排烃动力学研究:以惠民凹陷临南洼陷沙河街组烃源岩为例[J]. 沉积学报,2009,27(4):723-731.

GUO Xianling, XIONG Min, ZHOU Qin, et al. Study on hydrocarbon generation and expulsion dynamics of source rocks:a case study of source rocks in Shahejie Formation, Linnan Subsag, Huimin Depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2009,27(4):723-731.

[20] 宋明水,赵乐强,宫亚军,等. 准噶尔盆地西北缘超剥带圈闭含油性量化评价[J]. 石油学报,2016,37(1):64-72.

SONG Mingshui, ZHAO Leqiang, GONG Yajun, et al. Quantitative assessment on trap oil-bearing property in ultra-denudation zones at the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2016,37(1):64-72.

(编辑 修荣荣)