

文章编号: 0253-2697(2011)01-0077-06

# 辽河坳陷兴隆台潜山结晶基岩油气储层特征

宋柏荣 胡英杰 边少之 韩洪斗 崔向东 张 静

(中国石油辽河油田公司勘探开发研究院 辽宁盘锦 124010)

**摘要:**近年来渤海湾盆地辽河坳陷兴隆台潜山结晶基岩勘探获得重大突破,Xg7、Xg8等井深层钻探揭示了千余米含油幅度的大型潜山内幕油藏,形成了亿吨级储量规模。通过对潜山钻井取心、岩屑资料的详细研究,认为兴隆台结晶基底由变质岩和岩浆岩组成。变质岩是潜山的主体,岩浆岩为后期岩脉,以中酸性为主,厚度为1~50 m,十分发育,在潜山古老的变质岩中穿插分布。通过岩石物理特征研究建立了岩性与测井曲线的对应关系,应用自然伽马、岩石密度与补偿中子等测井曲线来识别潜山结晶基岩的岩石类型。潜山储集空间类型主要为构造裂缝、破碎粒间孔等,岩性不同、构造改造程度不同,储层发育程度也不同。在同种应力作用下储层的发育程度取决于岩性,同种岩性储层的发育程度取决于应力,并按照暗色矿物含量的多少形成了优势岩性系列。这些最新的研究成果,有效地指导了兴隆台潜山的油气储量计算和勘探开发。

**关键词:**兴隆台潜山;结晶基岩;岩石物理特征;测井曲线;储层特征

中图分类号: TE112.222 文献标识码: A

## Reservoir characteristics of the crystal basement in the Xinglongtai buried-hill, Liaohe Depression

SONG Bairong HU Yingjie BIAN Shaozhi HAN Hongdou CUI Xiangdong ZHANG Jing

(Exploration & Development Research Institute, PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, China)

**Abstract:** An important progress has been made in exploring the crystal basement of the Xinglongtai buried-hill in the Liaohe Depression recent years. The deep drilling, such as in wells Xg7 and Xg8, has proved the existence of large-scale buried-hill inside reservoirs with a thousand-meter-range oil show, which have approximately one hundred million tons of reserves. An in-depth study on drilling cores and rock cuttings revealed that the Archaeozoic Xinglongtai crystal basement was made up of metamorphic and magmatic rocks, the former constituted mainly the buried-hill, while the latter formed hysterogenic veins dominated by well-developed neutral-acid magmatic rocks with a thickness from 1 to 50 meters and distributed at intervals in archaic metamorphic rocks of the buried-hill. A correlation of lithology with logging traces was established by studying physical properties of rocks, the lithology of crystal basement was identified through the dynamic integration of logging curves such as GR, DEN and CNL. The reservoir space of the buried-hill consisted mainly of tectonic fractures and broken intergranular pores. The development of reservoirs significantly depended on differences in lithology and the extent of tectonic reworking, namely, lithology was the primary factor under the same stress or vice versa. A predominant lithologic series was formed usually based on the quantity of dark minerals. These updated achievements have effectively guided the reserve calculation, exploration and development of the Xinglongtai buried-hill.

**Key words:** Xinglongtai buried-hill; crystal basement; physical property of rock; logging curve; reservoir character

兴隆台潜山勘探起步较早,但以往的勘探仅仅停留在潜山表层风化壳,认为位于生油凹陷中的潜山表层风化壳可以形成油藏<sup>[1]</sup>。在系统总结辽河坳陷变质岩潜山勘探成果的基础上,提出变质岩潜山内幕成藏的勘探理论,在该理论指导下,2005年在兴隆台潜山主体部位部署了Xg7井。该井揭示潜山厚约1600 m,均见到了较好的油气显示,并且在进入潜山1000 m和1400 m处试油获得高产油气流<sup>[2]</sup>,从而开辟了潜山深部找油的全新领域。经过4年的勘探,兴隆台潜山获得重大突破,潜山的出油底界由2700 m延伸至4700 m,

进一步拓展了含油幅度和含油面积,兴隆台潜山储量规模总体达到亿吨级。潜山的勘探实践证明,结晶基底岩性十分复杂,不仅仅是一套区域变质岩和混合岩组合,而且分布着大量晚期侵入的中酸性岩浆岩侵入体,多呈层状产出,厚度为几米到几十米,而且含油性较好。如Xg7井4002~4014 m的闪长玢岩;Xg8井2583.39~2587.07 m的碎裂花岗斑岩等。结晶基岩岩石类型的有效识别、不同类型岩石储集空间发育特征以及储集岩的划分等,是兴隆台潜山进一步油气勘探开发与储量计算的关键。

**基金项目:**中国石油天然气股份有限公司重大科研项目“辽河陆上太古界变质岩潜山油藏测井评价方法研究”部分内容。

**第一作者及通讯作者:**宋柏荣,女,1967年10月生,1989年毕业于西北大学地质系,现为中国石油辽河油田公司勘探开发研究院高级工程师,主要从事岩矿储层研究工作。E-mail:songbr@petrochina.com.cn

## 1 地质概况

兴隆台潜山位于辽河坳陷西部凹陷中部,为凹陷基底古隆起。辽河坳陷结晶基底为华北克拉通的一部分<sup>[3]</sup>,在白垩纪末—古近纪初,由于郯庐断裂的活动<sup>[4-5]</sup>,在本区产生一系列北东向的地壳断裂、岩石圈断裂和超岩石圈深大断裂,如抚顺—营口断裂、二界沟断裂、威远堡—盘山断裂和辽中一大洼断裂,通称为辽宁郯庐断裂系<sup>[6]</sup>。这些断裂的形成,使辽中古隆起开始解体和下沉,进而辽河地区形成了大陆裂谷。辽河坳陷以中央凸起为界进一步分为两个大的次一级凹陷,即西部凹陷和东部凹陷,西部凹陷向北延伸形成大民屯凹陷。受辽宁郯庐断裂系控制,辽河坳陷基底为不对称的“V”字形,断裂基底地形复杂,构成一系列规模和大小各异的地堑—地垒系,即坳陷内部的古潜山和洼陷。兴隆台潜山处于西部凹陷地堑—地垒系的东侧,是东侧地堑—地垒系的最高点,其四面环洼,被沙河街组巨厚的生油岩系包围和覆盖的潜山幅度达2 000 m,构成了独特的“新生古储”的含油气系统。2005年以来,在兴隆台潜山主体高部位部署Xg7、Xg8、Xg7-1、Xg7-3等探井和评价井(图1),太古宇潜山内幕发现多套含油系统,取得了潜山内幕勘探的重大突破。

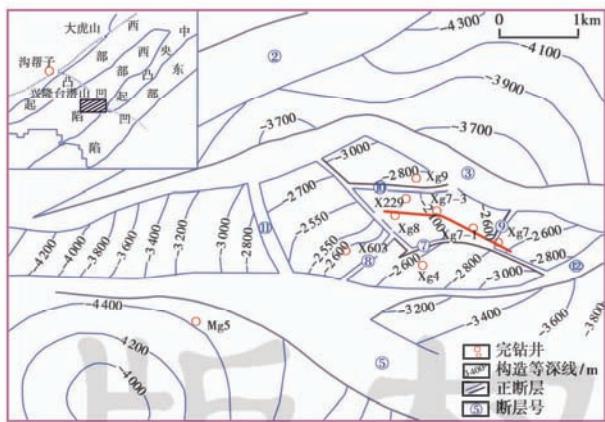


图1 辽河坳陷兴隆台潜山勘探部署

Fig. 1 The exploration deployment of Xinglongtai buried-hill in Liaohe Depression

## 2 结晶基岩岩石类型

### 2.1 岩性识别方法

兴隆台潜山结晶基岩的勘探一直以来仅仅停留在潜山顶部100~200 m,认为岩性是一套变质岩。近几年来,兴隆台潜山深层勘探取得重大突破,结晶基岩钻探厚度达到1 600 m,资料显示潜山岩石组成复杂。由

于钻井取心成本高、时间长,结晶基岩取心收获率又较低,因此,钻井取心有限,一般来讲每口井取心只有10余米,平均取心收获率为60%左右,取心长度占钻遇地层厚度的0.5%左右。显然,利用钻井取心精确确定潜山岩性,恢复巨厚潜山岩性剖面是不实际的,因而利用钻井的岩屑资料成为研究工作的首选。研究过程中采用将全井岩屑依次摆开整体观察及跟踪录井的方法,把握了不同岩石类型的宏观特点;根据各种岩屑含量的变化细致划分岩性段,对每一段岩性取样,微观鉴定并准确定名,通过宏观和微观鉴定的有机结合恢复每一口井的真实岩性剖面。由于岩屑录井深度与测井曲线存在系统误差,因此,再利用测井曲线对岩屑深度进行准确归位。

### 2.2 主要岩石类型及分布特征

兴隆台潜山结晶基岩主要由变质岩和岩浆岩组成。变质岩为潜山的主体岩性,占地层揭露厚度的80%左右,主要为区域变质的黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩、斜长角闪岩、角闪石岩以及区域变质岩混合岩化形成的各类混合岩,包括混合岩化变质岩、注入混合岩、混合片麻岩和混合花岗岩。单颗粒锆石U-Pb测年,测得区域变质岩的年龄为 $2504.1 \pm 8.8$ ~ $2581 \pm 21$  Ma,混合岩化的年龄为 $2388 \pm 30$ ~ $2443 \pm 12$  Ma,变质岩原岩的年龄在2 600 Ma左右,根据国际地科联2000年推荐的太古宙地层划分标准<sup>[7]</sup>,目前辽河坳陷基底揭示的地层时代为太古宙新太古代。岩浆岩为晚期侵入体,以花岗斑岩和闪长玢岩为主,煌斑岩和辉绿岩零星分布,中酸性岩浆岩单颗粒锆石U-Pb测年,年龄主要集中在230~220 Ma,主要为中生代三叠纪,与吴福元等人研究的东北地区岩浆活动的三叠纪(233~212 Ma)时期相吻合<sup>[8-9]</sup>。

中酸性岩浆岩侵入体在潜山中多呈层状,穿插在变质岩中(图2)。侵入体单层厚度为0.5~50 m,多顺片麻岩片理面产出。岩石多具斑状结构、似斑状结构,基质结晶程度低,主要为浅成侵入的花岗斑岩(花岗闪长斑岩)和闪长玢岩岩脉。由于组成潜山岩石矿物成分的差异、变质过程中形成的片麻构造以及中酸性岩浆侵入体的侵入等,致使结晶基岩组成的地层并非单一块体,而且具有层状、似层状特点(表1)。

### 2.3 岩石的测井响应

变质岩和岩浆岩由矿物结晶而成,矿物为晶粒镶嵌状,原生的晶间孔极少。组成兴隆台潜山结晶基岩的主要矿物可分为硅铝矿物和铁镁矿物两个系列:硅铝矿物中 $\text{SiO}_2$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的含量高,不含 $\text{FeO}$ 和 $\text{MgO}$ ,包括石英、钾长石和斜长石等,基本不含色素原子,颜色较浅,又称浅色矿物;铁镁矿物中 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 含

表 1 兴隆台潜山岩浆岩侵入体分布特征

**Table 1** Distribution of magmatic intrusive mass in Xinglongtai buried-hill

井号	层数	总厚度 /m	占钻遇地层 厚度的比例 /%
Xg7	37	196	13
Xg7-1	26	284	19.2
Xg8	29	303.7	19.9
Xg7-3	37	364	23

量较高,包括橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等,这些矿物的颜色一般较深,又称暗色矿物。地下岩石的地质信息可以通过岩心和岩屑获得,也可以通过岩石物理化学特征研究,通过测井参数获得。现场测井可以获得与孔隙度、岩性、油气以及其他岩石性质有关的参数,在沉积岩研究中应用已经非常成功。而作为结晶基岩来讲,也曾有人利用测井曲线识别兴隆台潜山结晶基岩岩性<sup>[10]</sup>,但研究没有从基础的岩矿分析入手,对兴隆台结晶基岩的认识不够全面,因此得出的结论

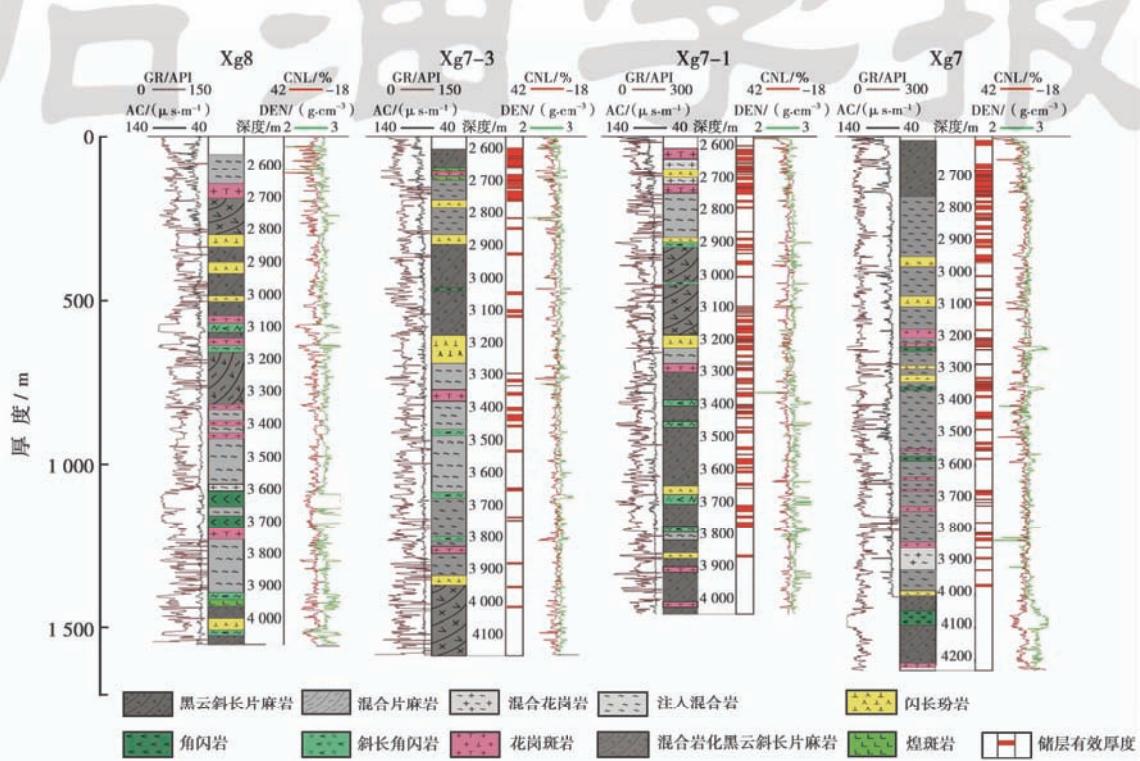


图 2 兴隆台潜山岩性分布

Fig. 2 The distribution of lithology in Xinglongtai buried-hill

存在偏差。本文通过矿物的测井响应特征,来研究每一种岩石的测井曲线特征,建立岩性与测井曲线的对应关系,从而实现利用测井曲线恢复巨厚的基岩岩性剖面,最终有效划分储集层和非储集层。

划分潜山结晶基岩的岩石类型时,主要选择了对矿物和元素反应敏感的岩石密度(DEN)、补偿中子(CNL)和自然伽马(GR)等测井曲线。岩石密度曲线主要受组成岩石的矿物成分及含量影响,不同矿物其密度值不同<sup>[11]</sup>,如黑云母、角闪石等暗色矿物密度大,而石英、长石等浅色矿物密度小;补偿中子测井实质是测量氢的浓度<sup>[11]</sup>,对于沉积岩来讲,补偿中子测井主要受孔隙流体中氢含量影响,而对于变质岩主要受组成岩石的矿物影响,组成结晶基岩的主要暗色矿物角闪石、黑云母等组成中含结构水,因此含有一定量的氢,当岩石中含角闪石和黑云母时,补偿中子值较高;

自然伽马值的高低与矿物中放射性元素含量有关,根据鲍文反应系列<sup>[12]</sup>,Th、U、K等放射性元素进入晚期结晶的矿物,如钾长石、黑云母等,因此,钾长石、黑云母含量高的岩石自然伽马值也高,对于早期结晶的矿物斜长石、辉石、角闪石等自然伽马值低。根据每一种矿物的特征测井响应,通过系统岩矿鉴定与测井曲线形态特征对应标定研究,建立了每一种岩石类型的测井曲线形态特征及测井响应值(表2),根据岩石物理特征相应的测井曲线形态特征及测井响应值可以更加宏观有效地识别潜山岩性。

## 2.4 主要岩石类型的电性特征

潜山中常见的岩石类型有黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、注入混合岩、花岗斑岩、闪长玢岩等,这些岩石类型的密度、补偿中子及自然伽马测井曲线特征有显著差异(图3)。

表 2 主要岩石类型测井曲线响应特征值及曲线形态特征

Table 2 Eigenvalue and morphological characters of logging curves for the primary rocks

岩石类型	测井响应值			测井曲线形态	
	DEN/(g·cm <sup>-3</sup> )	CNL/%	GR/API	密度 中子	自然伽马
黑云斜长片麻岩	2.67~2.75	6~10	80~120	小的“负差异”	高锯齿状
角闪斜长片麻岩	2.80~2.90	10~15	30~45	中等“负差异”	小锯齿状
黑云斜长变粒岩	2.73~2.76	7~9	65~75	小一中的“负差异”	高锯齿状
角闪斜长变粒岩	2.73~2.80	7~12	30~45	中等“负差异”	小锯齿状
斜长角闪岩	2.90~2.99	15~20	20~40	大的“负差异”	低平直状
角闪石岩	3.00~3.20	20~30	10~20	大的“负差异”	低值平直状
注入混合岩	2.67~2.70	6~8	70~200	小的“负差异”或“绞合状”	高锯齿状
混合片麻岩	2.61~2.65	3~6	70~155	小的“正差异”	高锯齿状
混合花岗岩	2.52~2.65	1~3	75~160	大的“正差异”	高值小锯齿状
花岗岩、花岗斑岩	2.48~2.66	0~6	75~130	小一大的“正差异”	中值平直状
闪长岩、闪长玢岩	2.53~2.68	0~6	20~60	小的“负差异”或“绞合状”	中低值平直状
煌斑岩、辉绿岩	2.70~3.10	15~26	85~125	大的“负差异”	低值平直

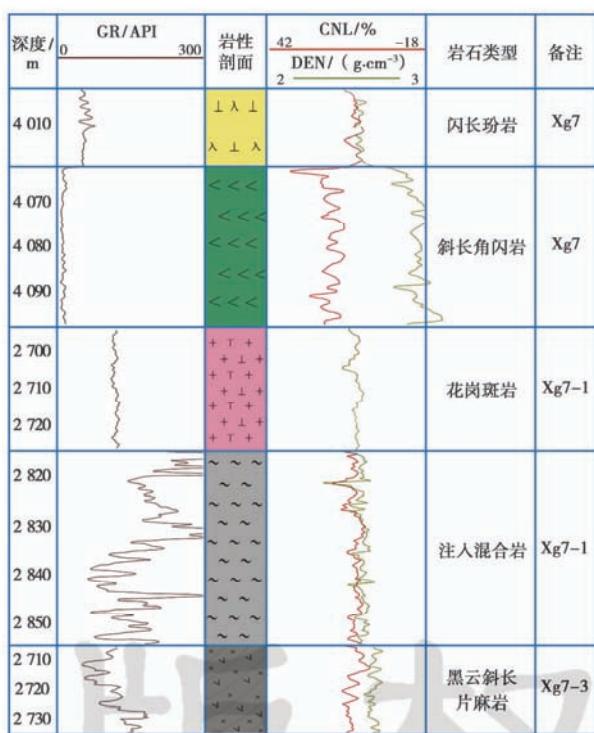


图 3 主要岩石类型测井响应特征

Fig. 3 Character of logging responses for the main rocks types

黑云斜长片麻岩, 自然伽马曲线高锯齿状, 值在 80~120 API; 岩石密度和补偿中子交会曲线一般补偿中子曲线在左, 岩石密度曲线在右, 交会成小的“负异常”, 岩石密度 2.67~2.70 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 6%~10%。斜长角闪岩, 自然伽马曲线低平直状, 值在 20~40 API; 岩石密度和补偿中子交会曲线补偿中子曲线在左, 岩石密度曲线在右, 交会成大的“负异常”, 具有高岩石密度、高补偿中子特点, 岩石密度 2.90~2.99 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 15%~20%。注入混合岩, 自然伽马曲线高锯齿状, 值在 70~200 API; 岩石密度和补偿中子交会曲线呈绞合状, 岩石密度 2.67~2.70 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 6%~8%。

2.99 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 15%~20%。注入混合岩, 自然伽马曲线高锯齿状, 值在 70~200 API; 岩石密度和补偿中子交会曲线呈绞合状, 岩石密度 2.67~2.70 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 6%~8%。

花岗斑岩(花岗闪长斑岩), 岩石密度和补偿中子交会曲线补偿中子曲线在右, 岩石密度曲线在左, 交会成大的“正异常”, 具有低岩石密度、低补偿中子特点, 岩石密度 2.48~2.66 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 0~6%。闪长玢岩(微晶闪长岩), 自然伽马曲线中低值平直状, 为 20~60 API; 岩石密度和补偿中子交会曲线“交合状”或小的“负差异”, 岩石密度 2.53~2.68 g/cm<sup>3</sup>, 补偿中子 0~6%。

### 3 储层特征

#### 3.1 储集空间类型

兴隆台新太古界潜山在漫长的地质时期, 经历了变质重结晶、风化剥蚀、溶蚀淋滤、构造破碎等改造, 储集空间较发育。岩心观察和铸体薄片鉴定等表明新太古界储集空间分为孔隙型和裂隙型两大类: 孔隙类型包括破碎粒间孔、矿物溶孔、晶间孔等; 裂隙类型包括构造裂缝、溶解缝、矿物解理缝等。本区主要储集空间类型为构造裂缝和破碎粒间孔(图 4)。溶蚀成因的孔、缝在潜山顶部风化壳附近较发育, 而矿物晶间孔和解理缝等属于次要的储集空间类型。兴隆台潜山具有极好的油气源条件<sup>[13]</sup>, 潜山内幕多期发育而不均匀分布的断层和裂缝对油气运移起到沟通作用, 形成具有相互连通而又相互独立的多个含油气体系。

#### 3.2 影响因素分析

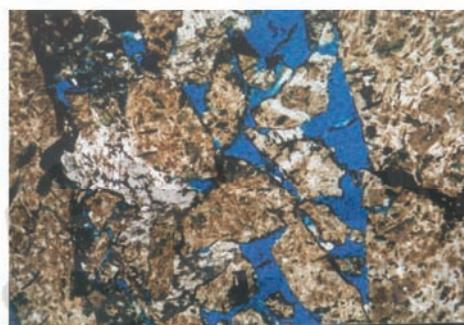
辽河坳陷结晶基底在漫长的地质历史演化过程

中,储集空间经历了形成、发展、堵塞、再形成等一系列演变。储集空间影响因素可以归结为8种:①构造作用;②矿物种类和岩石类型;③古表生风化作用;④溶

蚀(淋滤)作用;⑤孔隙充填作用;⑥岩石结构构造;⑦岩石所处的岩体位置;⑧岩浆侵入体的时代等。但起主导因素的主要为构造作用和岩石类型。



(a) 构造裂缝 (混合片麻岩, Xg 8井, 3 718.20m)



(b) 破碎粒间孔 (闪长玢岩, Xg 7井, 4 003.20m)

图4 主要储集空间类型(单偏光,25×)

Fig. 4 The types of main reservoir space

构造作用受区域构造应力场的控制,在构造应力作用强烈部位,构造成因的储集空间大量形成,尤其是构造角砾岩、压碎岩类中的碎裂缝隙、碎裂质粒间孔隙等。同时,在构造应力作用下,岩石中产生了大量裂缝,岩石中的裂缝具有多组、多期性的特点。裂缝交织成孔隙网络,为油气的储集运移提供了有利的场所。

岩石类型对储集空间的影响主要表现在不同的矿物和岩石类型应力改造性质不同,同时抗风化和溶蚀程度也不同。主要的造岩矿物有石英、碱性长石、斜长石、黑云母和角闪石等。对于石英、长石等浅色矿物岩石脆性强,在应力作用下容易破碎产生裂缝;黑云母和角闪石等暗色矿物组成的岩石,抗压能力强,在应力作用下以柔性变形为主。构造应力作用下,黑云母等柔性矿物往往分布在刚性矿物之间,成为填隙物堵塞裂缝或破碎粒间孔,另外,由于角闪石等暗色矿物容易蚀变成绿泥石与碳酸盐交代堵塞储集空间。因此,潜山的储集岩类型主要是以浅色矿物为主的混合花岗岩、黑云斜长片麻岩、花岗斑岩等,并且随着暗色矿物含量的增加储层变差。非储集岩类型主要为暗色矿物为主的斜长角闪岩、角闪石岩、煌斑岩等。

位于潜山顶部的岩石构造改造更为强烈,容易形成构造角砾岩、碎斑岩等,储集空间较发育,同时潜山顶部的岩石遭受风化、溶蚀等作用的改造,也容易形成溶蚀孔隙。但是,风化壳顶部的岩石多被风化泥质产物等充填,储层变差,而风化壳下部可以成为很好的储层。兴隆台潜山带储集空间被充填的风化壳厚度一般20~30 m。

潜山带岩石在系列成岩演化过程中,也不断经历

着孔隙的充填作用,主要的充填矿物为方解石,少量为硅质、绿泥石等充填,使孔隙演变成无效的储集空间。兴隆台潜山存在大量的花岗斑岩和闪长玢岩等中酸性岩浆侵入体,这些侵入体多形成于早三叠世,经历了燕山期、早古近系构造作用的改造,裂缝发育,裂缝多为半充填或未充填,成为本区的有利储层。

### 3.3 物性特征

43个样品物性分析结果表明,兴隆台太古宇储层孔隙度最大值为13.3%,最小值为0.6%,平均值为5.1%。渗透率最大值为 $953 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,最小值为 $0.53 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,兴隆台太古宇储层以I、II类为主,储集空间组合类型以宏观裂缝+微裂缝型为主,次为宏观裂缝+微裂缝+破碎粒间孔型。统计了辽河坳陷各潜山带200余块结晶基岩物性分析结果,总的来说,以浅色矿物为主的构造角砾岩、混合花岗岩、浅粒岩等物性较好;暗色矿物含量较高的斜长角闪岩、煌斑岩等物性较差(图5和图6)。

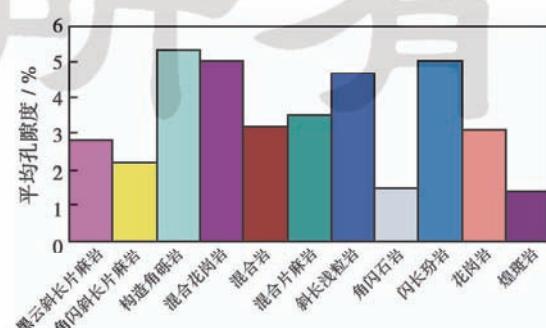


图5 不同岩性孔隙度分布

Fig. 5 Distribution of porosity in different rocks

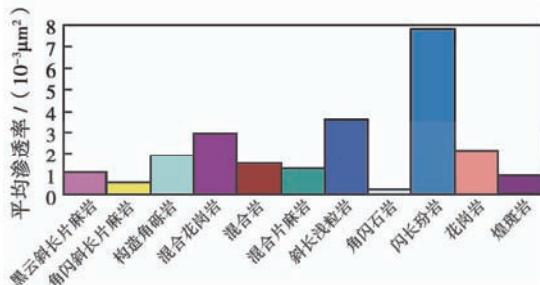


图 6 不同岩性渗透率分布

Fig. 6 Distribution of permeability of different rocks

## 4 结 论

(1) 兴隆台潜山结晶基底为新太古代形成的一套区域变质岩和混合岩组合,中生代的岩浆活动导致大量岩浆岩侵入到该套岩石中,将该套岩石复杂化。

(2) 不同的岩石类型由于组成的矿物成分不同,其物理特征差别较大,以浅色矿物为主的岩石(混合花岗岩、花岗斑岩、黑云斜长片麻岩等),具有较高的自然伽马值,较小的岩石密度和补偿中子值;暗色矿物含量较高的岩石(斜长角闪岩、闪斜煌斑岩等)具有较低的自然伽马,较高的岩石密度和补偿中子值,可以利用测井曲线识别结晶基岩的岩石类型。

(3) 储集空间类型主要为构造裂缝、破碎粒间孔,其次为溶解缝、溶孔等。由于基底是由不同密度的岩石组成似层状,因此,在构造应力作用下以浅色矿物为主的岩石脆性大,更容易破碎形成储层,暗色矿物含量较高岩石相对较差。按照暗色矿物含量的多少形成了优势岩性序列:由好到差为混合花岗岩、花岗斑岩、闪长玢岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、煌斑岩。在区域应力作用下形成了多套储层和非储层,油气通过复合输导体系在基岩内部多套储集体中形成多套各自独立的新生古储类型油气藏。

## 参 考 文 献

- [1] 谢文彦,李晓光,陈振岩,等.辽河油区稠油及高凝油勘探开发技术综述[J].石油学报,2007,28(4):145-150.  
Xie Wenyan, Li Xiaoguang, Chen Zhenyan, et al. Review of exploration and development technologies for heavy oil and high pour-point oil in Liaohe oil region[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4):145-150.
- [2] 慕德梁.辽河坳陷兴隆台古潜山深部油藏地质特征及勘探意义[J].特种油气藏,2007,14(3):16-19.  
Mu Deliang. Geological characteristics and exploration significance of Xinglongtai deep buried hills in Liaohe Depression, China[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2007,14(3):16-19.
- [3] 邢志贵.辽河坳陷太古宇变质岩储层研究[M].北京:石油工业出版社,2006.  
Xing Zhigui. Reservoir research of Archaeozoic metamorphic
- rock in Liaohe Depression [M]. Beijing: Petroleum Industry Press,2006.
- [4] 万桂梅,汤良杰,周心怀,等.郯庐断裂带在渤海海域渤东地区的构造特征[J].石油学报,2009,30(3):342-346.  
Wan Guimei, Tang Liangjie, Zhou Xinhua, et al. Tectonic characteristics of the Tanlu fault zone in Bodong area of Bohai Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009,30(3):342-346.
- [5] 龚再升,蔡东升,张功成.郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J].石油学报,2007,28(4):1-10.  
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(4):1-10.
- [6] 辽宁省地质矿产局.辽宁省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.  
Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Liaoning Province[M]. Beijing: Geological Publishing House,1989.
- [7] 章森桂,严惠君.“国际地层表”与 GSSP[J].地层学杂志,2005,19(2):188-204.  
Zhang Sengui, Yan Huijun. A brief introduction to international stratigraphic chart and global stratotype section and point[J]. Journal of Stratigraphy, 2005,19(2):188-204.
- [8] 吴福元,杨进辉,柳小明.辽东半岛中生代花岗岩浆作用的年代学格架[J].高校地质学报,2005,11(3):305-307.  
Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Liu Xiaoming. Geochronological framework of the Mesozoic granitic magmatism in the Liaodong Peninsula, Northeast China[J]. Geological Journal of China Universities, 2005,11(3):305-307.
- [9] 郭春丽,吴福元,杨进辉,等.中国东部早白垩世岩浆作用的伸展构造性质——以辽东半岛南部饮马湾山岩体为例[J].岩石学报,2004,20(5):1193-1240.  
Guo Chunli, Wu Fuyuan, Yang Jinhui, et al. The extensional setting of the Early Cretaceous magmatism in eastern China: Example from the Yinmawanshan pluton in southern Liaodong Peninsula[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004,20(5):1193-1240.
- [10] 岳海玲.兴隆台地区太古界变质岩测井综合评价研究[J].石油地质与工程,2008,22(2):44-46.  
Yue Hailing. Logging evaluation of Archaeozoic metamorphic rock in Xinglongtai Area[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(2):44-46.
- [11] 谭延栋,廖明书,郝志兴,等.测井解释基础与数据采集[M].北京:石油工业出版社,1992:10-20.  
Tan Yandong, Liao Mingshu, Hao Zhixing, et al. Basic of log interpretation and data acquisition[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992:10-20.
- [12] 邱家骥.岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1985:249-250.  
Qiu Jiaxiang. Magmatic petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House,1985:249-250.
- [13] 裘亦楠.中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展[J].沉积学报,1992,10(3):16-25.  
Qiu Yinan. Development in reservoir sedimentology of continental clastic rock in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3):16-25.

(收稿日期 2010-06-04 改回日期 2010-09-22 责任编辑 熊英)