

# 辽河牛心坨太古界变质岩储层岩性特征与分布

朱毅秀<sup>1,2\*</sup>, 杨程宇<sup>1,2</sup>, 王欢<sup>1,2</sup>

1 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

2 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

\* 通信作者, zhuyixiu@cup.edu.cn

收稿日期: 2017-03-01

基金项目 2011ZX05006-005-22 资助

**摘要** 本文综合利用测井、地震、岩心描述与分析化验等多种资料,研究了牛心坨潜山太古界变质岩储层岩性特征与空间展布规律、岩性对储层的控制作用,研究结果有助于丰富和完善新型的基岩内幕油气成藏理论。工区变质岩岩性复杂、共分为三大类十五种,主要为花岗片麻岩、斜长片麻岩、斜长角闪岩、混合花岗岩、混合片麻岩、混合岩、碎裂岩与碎斑岩;对比显示本区变质岩古潜山带地层在垂向上从下至上大致可分为混合花岗岩带、混合花岗岩与混合岩带、片麻岩与角闪岩带、风化壳破碎带4个岩性组合带;变质岩在垂向上分为多个岩性段,由下向上为混合花岗岩—混合花岗岩与混合片麻岩—花岗(钾长)片麻岩—片麻岩与角闪岩—碎裂岩、片麻岩与风化壳,平面上呈现分区性。变质岩内幕层序为非均匀、非块状的,变质岩体为非块状体。构造作用、岩石类型和矿物种类对变质岩裂缝型储层起决定作用。

**关键词** 岩性特征; 变质岩; 太古界; 牛心坨潜山; 辽河拗陷

## 0 引言

变质岩潜山已成为国内外油气勘探的重要领域,此油气藏的形成和分布具有广泛性<sup>[1-4]</sup>。前人的研究主要侧重变质岩潜山顶部油气藏的成因和类型<sup>[2-7]</sup>,储层主要表征变质岩风化淋滤的孔缝和断裂发育的裂隙<sup>[3-11]</sup>。最近十多年来,国内以辽河地区为代表对变质岩内幕油气藏有所研究,辽河拗陷变质岩内幕油气藏主要研究成藏作用与控制因素<sup>[4,7,10,12-16]</sup>。变质岩内幕油气藏其内岩性的空间分布类似于沉积岩成层分布还是传统理论的块状分布,目前勘探成果分析还有待深入探讨。在近些年的科研报告和文章中就认为是成层性的<sup>[4,7,17]</sup>。辽河牛心坨构造带太古界变质岩储层的勘探始于上世纪八十年代、多井钻遇潜山,有几十口井在太古界变质岩层见不同级别的油气显示(如坨 31-35 井、

坨 602 井、坨 33-29 井等),少量(如坨 32-34 和坨 601 等)井获工业油流,工区太古界油藏上世纪末上报探明石油地质储量近千万吨。钻井最大揭露厚度不超过 700 m,截至目前,此变质岩油藏未发现明显水层,显示出工区变质岩中深层有很大的勘探潜力。对此潜山,前人主要从成藏、裂缝等方面研究<sup>[18-19]</sup>。本文综合研究了牛心坨太古界变质岩储层岩性特征与储层影响因素,试图剖析辽河地区变质岩岩性空间分布,证实不是均一的块状岩体,有助于揭示潜山内幕结构,有利于丰富和完善新型的基岩内幕油气成藏理论及进一步为工区或类似区域勘探开发生产提供基础依据。

## 1 工区区域地质特征

牛心坨构造位于辽河拗陷西部凹陷北部的牛心坨

引用格式: 朱毅秀, 杨程宇, 王欢. 辽河牛心坨太古界变质岩储层岩性特征与分布. 石油科学通报, 2017, 03: 327-335

ZHU Yixiu, YANG Chengyu, WANG Huan. Petrological characteristics of the Archeozoic metamorphic reservoir in Niuxintuo, Liaohe Depression. Petroleum Science Bulletin, 2017, 03: 327-335. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2017.03.030

隆起上,与牛心坨洼陷和宋家洼陷相邻(图1),隆洼之间以断层为界。纵贯我国东部、对区域地质发展有重大影响的郯庐大断裂自其间穿过。造成工区潜山的复杂构造,以规模较大、期次较多的张性正断裂为主,主要发育NE-NEE向、NEE-EW向和NW向三组断裂。太古界变质岩潜山依附于中央凸起,受晚期西侧强烈挤压应力作用形成的坨10西断层深入切割中央凸起,将本区太古界潜山分割为东西两个潜山带。

工区太古宇变质岩系结晶基底与辽东、辽西同属于吕梁运动统一形成的华北地台的一部分,其构造演化与构造特征受控于郯庐断裂活动规律所控制的渤海湾盆地演化,大致经过前中生代地台形成发展、中生代地台活化、新生代盖层沉积三大演化阶段。第一大演化阶段可分为太古宙—古元古代地台基底形成阶段、中、新元古代稳定地台发展阶段与古生代稳定地台发

展阶段。太古界沉积了巨厚的碎屑岩以后,到元古代初期曾遭受一次强烈的变质作用,并且在变质作用的晚期发生了一期或多期的混合岩化作用。同时地壳不断抬升和下降造成工区出现多期剥蚀区和沉降区,如在元古代中期成为大陆的剥蚀区,随后上元古代—古生代为沉降区,并形成上元古代—古生代巨厚的海相碳酸盐岩沉积。海西运动之后盆地基底再次露出水面,再经过近亿年的风化剥蚀作用,沉降与挤压等复杂运动形成辽河裂谷。辽河地区自晚奥陶世再次抬升至早白垩世再次沉积期间,经历了漫长的地质改造与构造演化,使基底发生频繁升降、挤压褶皱并块断成山,而长期的风化剥蚀、搬运沉积,使先期形成的山系成为高低不平的丘陵,进而埋藏成潜山。在不同时代有岩浆的侵入和喷出活动,出现了多组嵌入层序内的侵入岩与夹于层序中的喷出岩。

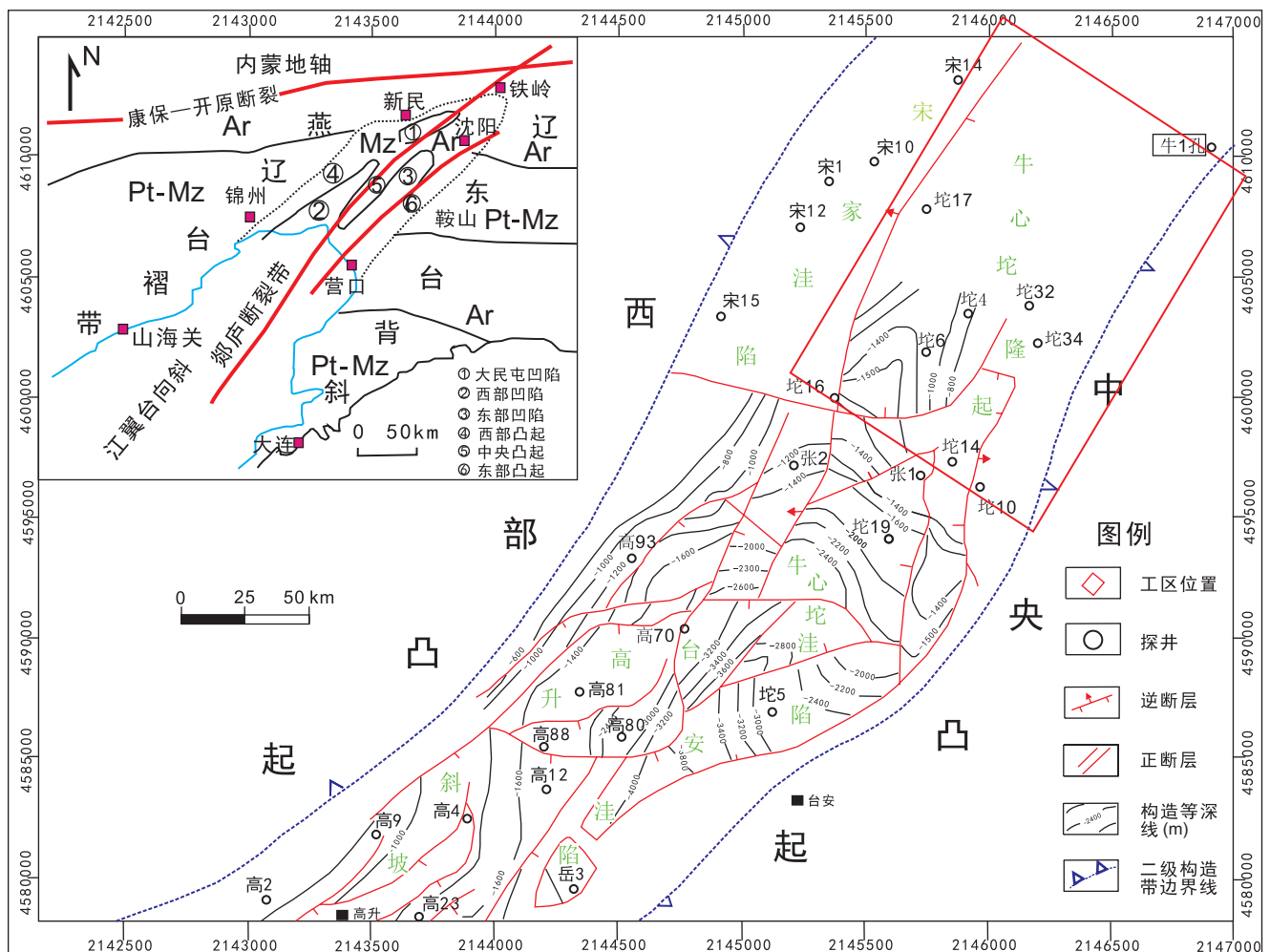


图1 辽河牛心坨构造带位置示意图

Fig. 1 Location of Niuxintuo Tectonic Belt

## 2 工区太古界变质岩石学特征

### 2.1 岩石类型

根据钻遇工区太古界潜山几十口井的岩心和岩屑观察、薄片鉴定及前人实验测试分析成果等资料,可知牛心坨潜山岩性复杂,主要由太古界鞍山群的结晶变质岩系组成,可见片麻岩、变粒岩、混合花岗岩、碎裂岩等区域变质作用与混合变质作用、动力变质作用形成的岩类(图 2, 表 1),多为中深变质岩类,其内还夹有少量燕山期或喜山期岩浆活动形成的脉岩等。

### 2.2 主要岩石类型与特征

#### 2.2.1 花岗片麻岩

主要包括二长片麻岩和(黑云母)钾长片麻岩(图 2a、b、c、j),以钾长片麻岩为主。岩心中呈现片麻状构造,而镜下定向的片麻状构造不明显。晶粒大小 0.5~10.00 mm。碱性长石(肉红色钾长石为主)粒粗、粒径达 10 mm,肉眼可分清其内部圈层结构,多为发育卡式双晶与格子双晶的正长石和微斜长石,发育近于直交的两组解理,蚀变及黏土化强烈。斜长石晶粒稍小于碱性长石,多为发育聚片双晶(密集双晶纹)的更长石、中长石和钠长石,黏土化也强烈。两种长石

内微裂缝、双晶缝、解理缝均较发育,其内多为方解石和黏土矿物愈合或半充填。石英,它形、粒状变晶,多为相对洁净、小于 2.0 mm 不规则颗粒,粗粒石英微裂缝密集、多由方解石充填。黑云母与角闪石,片状,具弯曲变形特征,绿泥石化强烈。在混合岩过渡区域常见混合岩化片麻岩和混合片麻岩。片麻岩类含有一定量暗色矿物(主要是黑云母),从测井资料来看,高中子、密度也较大、光电吸收截面指数大。密度曲线与补偿中子曲线呈小的“负差异”或“绞合状”特征。自然伽玛呈“锯齿”状,一般大于 75 API。

#### 2.2.2 混合花岗岩

混合花岗岩包括为二长混合花岗岩和钾长混合花岗岩(图 2 f、g、h、i、l),是本区最主要且变质程度最深的变质岩。脉体多为后期混入的花岗质,岩性类似花岗岩、微斜长石发育。基体呈残留状,保留了片麻岩的弱片麻状构造,体现弱定向的深色矿物断续分布于近长条状长英质变晶颗粒之间,不均匀分布的深色矿物,零星状为主,有时呈集中的斑点、条痕或团块,本区多为黑云母。它的测井响应特征是低密度、低中子、相对低的光电吸收截面指数,补偿中子曲线与密度曲线多表现为“正差异”或“绞合状”,自然伽玛“小锯齿”状,一般在 75 API 左右。

#### 2.2.3 碎裂岩

碎裂岩是本区重要的动力变质岩,是动力变质作

表 1 牛心坨太古界变质岩潜山主要岩石类型简表

Table 1 Petrology types of the Archeozoic metamorphic rock in Niuxintuo

分类	亚类	主要类型	岩石名称
变 质 岩	区域 变质岩	片麻岩类	花岗(钾长)片麻岩
			(角闪黑云)斜长片麻岩
		变粒岩类	斜长变粒岩
		角闪岩类	斜长角闪岩
	混合岩	混合片麻岩类	混合花岗片麻岩
			混合斜长片麻岩
		混合岩化岩类	混合岩化变粒岩
			斜长混合花岗岩
		混合花岗岩类	二长混合花岗岩
		构造角砾岩类	构造角砾岩
动力 变质岩	碎裂岩类	碎裂混合花岗岩	
		碎裂片麻岩	
		长英质碎裂岩	
		长英质碎斑岩	
	糜棱岩类	糜棱岩	

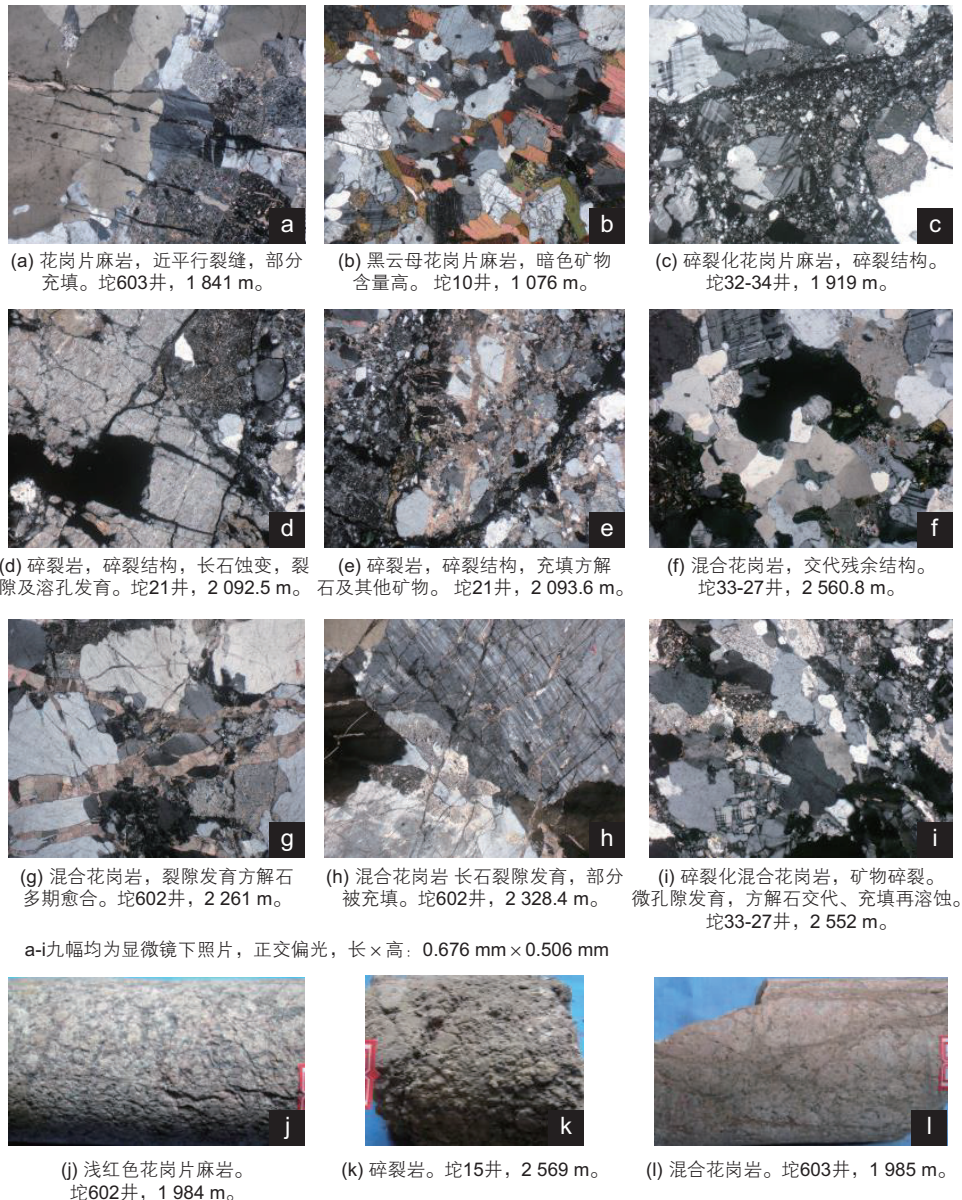


图2 辽河牛心坨构造变质岩不同类型变质岩岩性与微观孔缝显微特征(图版)

Fig. 2 The characteristics of petrology and space of the Niuxintuo Archeozoic metamorphic reservoir

用引起的机械破碎和强烈变形而形成的动力变质岩, 分布在构造变动带内、多靠近破碎的断裂带, 呈狭长的带状局限分布, 因本区构造运动复杂、其分布规律性也较弱。本区发育碎裂化程度较高的碎斑岩与碎裂化变质岩—碎裂化片麻岩和碎裂化混合花岗岩(图2c、d、e、i、k)。以压碎、变形作用为主, 发育构造裂缝, 裂缝以方解石与黏土矿物半充填为主, 同时发育破碎颗粒间孔, 孔隙多含油。如坨601井2 359 m碎裂混合花岗岩发育构造型的孔和缝, 其内含油; 钻遇此岩性井段井径异常、扩径明显, 其它曲线依变质破碎程度、原岩岩性不同而变化, 多和原岩测井响应相近。强烈破碎带的(含油气)碎裂岩测井曲线表现为低幅锯齿

状的岩石密度测井曲线, 井径、声波时差、补偿中子为高值。

### 3 工区太古界变质岩空间分布

#### 3.1 潜山内幕地层对比

本次研究尝试根据地震、测井及岩性组合特征, 模仿沉积岩地层层序进行变质岩潜山内幕地层对比分析(图3), 对比结果显示, 本区变质岩古潜山带地层在垂向上大致从下至上分为混合花岗岩带、混合花岗岩与混合岩带、片麻岩夹(与)角闪岩带、风化壳破碎

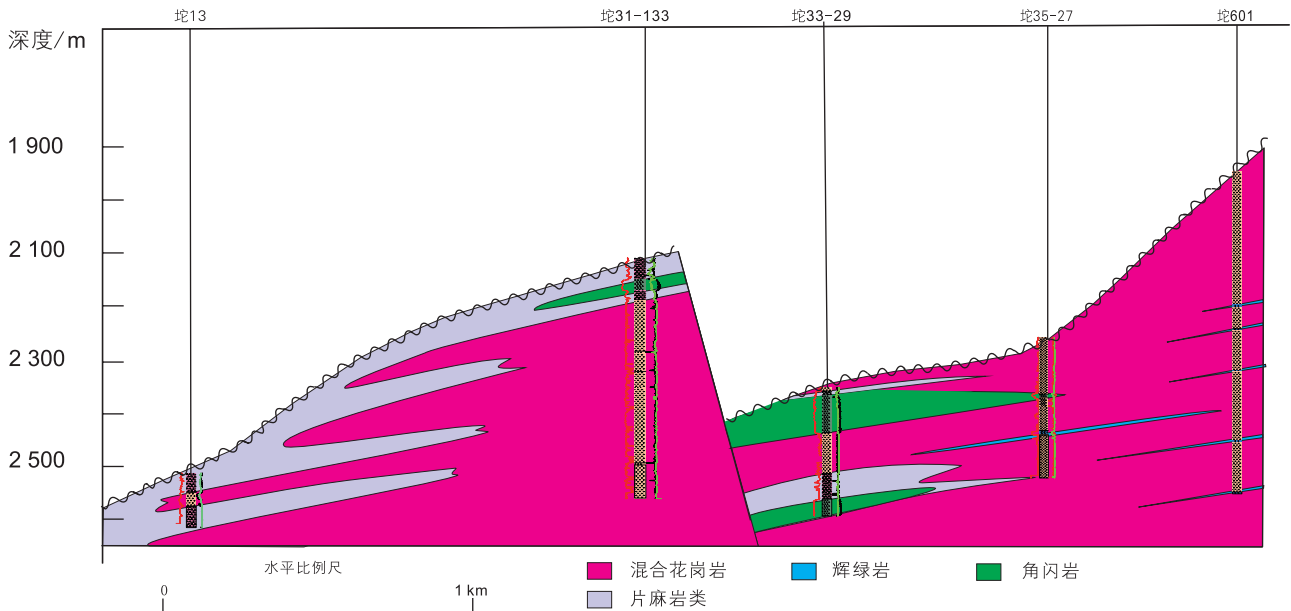


图3 辽河牛心坨构造古生界变质岩岩性剖面对比示意图

Fig. 3 Sketch of Archeozoic metamorphic lithology cross section distribution of the Niuxintuo tectonic belt

带等几个岩性组合带。

**风化壳破碎带：**是变质岩潜山顶部受到物理化学长期风化剥蚀而形成的风化壳，是一个连续的岩石风化破碎带。风化与断裂程度差异造成此带厚度不同，工区该带由十几米至近百米，本区钻遇变质岩井36%左右在此带内完钻。岩石组合为风化壳、蚀变的变粒岩、角闪岩、片麻岩、混合花岗岩及碎裂岩等，主要由顶面岩性决定，多发生矿物不同程度风化、溶蚀，黏土化强烈。岩石中发育物理风化及构造成因的破碎裂缝和破碎颗粒间孔隙，化学淋滤成因的溶蚀孔隙。测井响应为扩径明显，补偿中子和声波时差为高值，密度呈低幅锯齿状、向上逐渐变小。此带含烃多形成风化壳型潜山油气藏。

**片麻岩夹(与)角闪岩带：**主要以花岗片麻岩和斜长片麻岩及其它片麻岩为主，局部夹角闪岩、斜长角闪岩、构造角砾岩、碎裂岩，另夹少量辉绿岩岩脉。测井响应为密度和伽玛值中等，补偿中子较高。此段以碎裂化的花岗片麻岩或碎裂化长英质变粒岩发育时易形成裂隙储集空间，而深色矿物含量高的斜长角闪岩和角闪岩致密，同辉绿岩一样可作为隔层。

**混合岩与混合花岗岩带：**以混合片麻岩、混合岩化变粒岩、混合花岗岩等区域变质岩类和混合岩类的岩石组合，常见混合岩与片麻岩薄层叠置、混合片麻岩与混合花岗岩不等厚互层，碎裂化不均匀出现，偶夹脉岩。总体上是区域变质作用为主的岩性组合向混合岩化作用为主的岩性组合过渡。矿物以长石和石英

为主，黑云母局部富集。测井响应为伽玛值中下、密度中等、补偿中子较高。碎裂化层段储集空间较发育，其比上带分布更稀少，可形成潜山内幕油气藏。

**混合花岗岩带：**是强烈混合岩化的作用下形成致密为主的岩性组合带，主要由混合花岗岩组成，夹混合片麻岩和混合岩化的其它变质岩与岩脉，构造带或构造破碎时产生碎裂岩岩性段。由上到下碎裂岩段不断减少，至深层出现致密的混合花岗岩段。测井响应为高伽玛，低中子，低密度。此带不均质性强，在有构造破碎的地方往往有油气显示，可形成潜山内幕油气藏。

### 3.2 岩性垂向分布

综合比较工区各井相对位置、测井响应、岩性组合及区域地质特征，归纳出工区地层岩性组合特征，垂向上可分为多个岩性段，呈现出(由下向上)混合花岗岩—混合花岗岩与混合片麻岩—花岗(钾长)片麻岩—片麻岩与角闪岩—碎裂岩、片麻岩与风化壳，岩性段中不均匀夹动力变质岩与基性脉岩。不同地方发育岩性段不一样，有的地方可能只发育一到两种岩性，形成一种块状的现象(图3)。由老至新简述如下。

**混合花岗岩段：**灰白色和灰红色，块状构造，粗粒、花岗变晶结构。

**混合花岗岩与混合片麻岩段：**灰白色、灰色、灰红色，块状构造和弱片麻状构造，粗粒，花岗变晶结构、鳞片花岗变晶结构等，混合花岗岩和混合花岗片麻岩间互叠置、不等厚或等厚均可出现，基本不出现

薄互层组合,夹混合岩和碎裂岩。矿物上长英质为主。坨601井2497~2508 m段以混合花岗岩与混合花岗片麻岩不等厚间互为特征,其内夹碎裂岩和脉岩,碎裂化区域发育裂隙。其它如坨602井、坨40-128井、坨33-29井较深层段。

花岗片麻岩段:灰白色、灰红色(油迹与荧光)花岗片麻岩夹碎裂岩与脉岩,以花岗片麻岩为主,片麻状构造,中粗粒、花岗变晶结构、鳞片花岗变晶结构、碎裂结构等。多见于构造高部位、相对浅层。

片麻岩与角闪岩段:花岗片麻岩、斜长片麻岩及斜长角闪岩夹碎裂化片麻岩和碎裂化混合花岗岩等,局部出现变粒岩,不均匀糜棱岩、碎斑岩、辉绿岩等穿插于片麻岩和斜长角闪岩之中,以片麻岩为主,斜长角闪岩不均匀分布。蚀变不均匀形成溶孔不一致,构造活动造成裂隙不均匀发育,孔缝多被充填,油气

不均匀分布。如坨33-29井、坨32-40井、坨21井、坨10井等。

动力变质岩和片麻岩及风化壳段:片麻岩、变粒岩、角闪岩和断层角砾岩、碎斑岩、糜棱岩等动力变质岩及风化壳组成。动力变质岩原岩为黑色黑云母二长片麻岩、部分变粒岩及其它岩类,其在动力作用下变形、变性改造而成。风化溶蚀强烈、破碎明显,孔缝发育,方解石、黏土矿物等充填与溶蚀孔缝交替发育。多口井此层段含油气。如坨11井、坨12井、坨602井、坨603井等。

### 3.3 工区岩性平面分布

综合岩心描述、薄片分析、测井分析等资料,统计出工区不同岩性平面分布特征、编制出工区岩性平面分布图(图4),主要岩性分布如下:

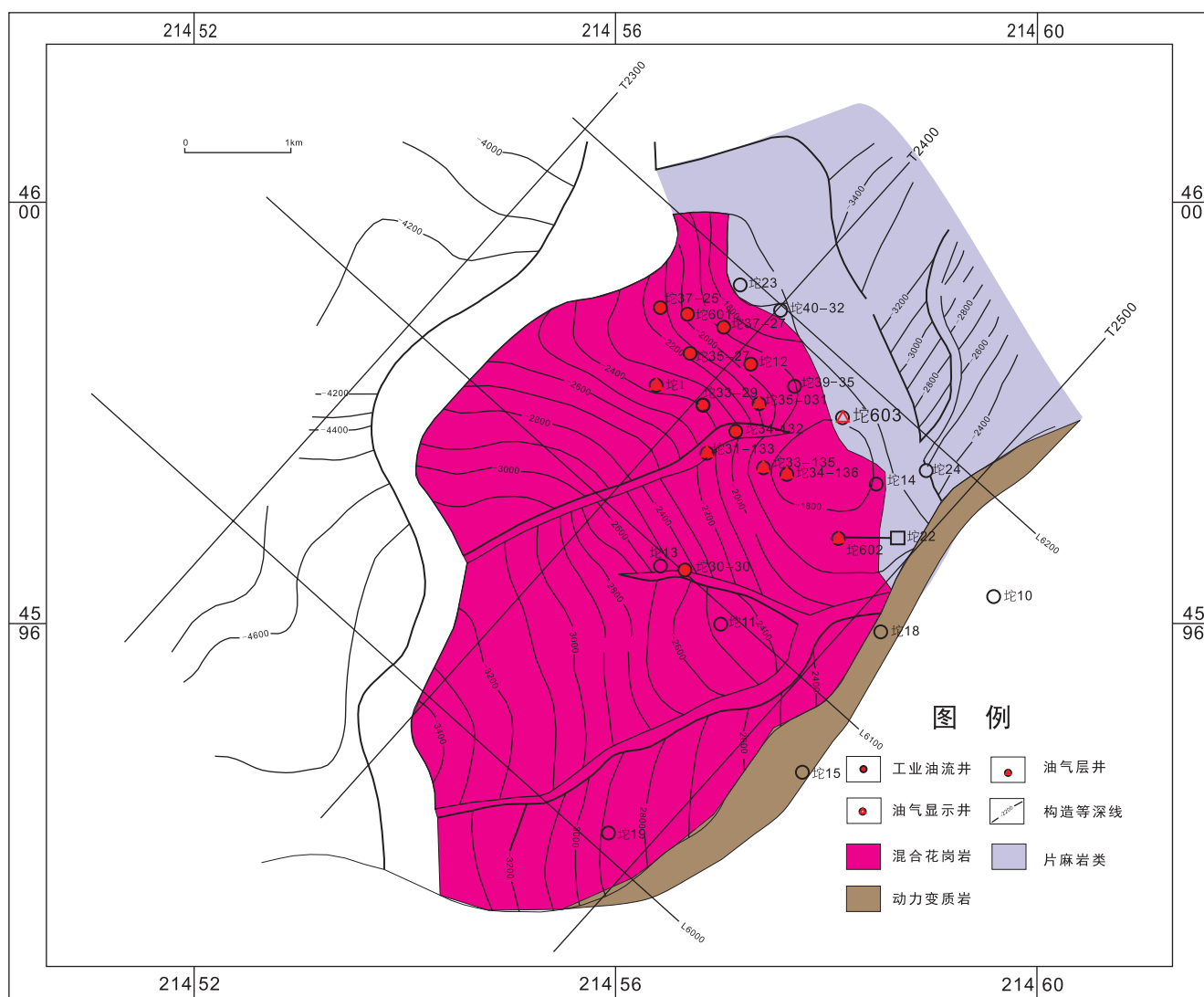


图4 辽河牛心坨构造古生界变质岩岩性平面分布示意图

Fig. 4 Archeozoic metamorphic plane distribution of the Niuxintuo tectonic belt basement

### 3.3.1 片麻岩分布区域

主要位于牛心坨潜山的高部位,以坨 23-坨 603-坨 14-坨 24-坨 22 所连成的东北部区域,占工区小部分区域,也是目前已发现油气的主要区域,所揭示的地层中 50% 以上为片麻岩,包括花岗片麻岩、斜长片麻岩及混合片麻岩(混合花岗片麻岩和混合斜长片麻岩)等种类。此区域变质岩均具有一定的溶蚀扩大裂隙、缝隙,部分多由绿泥石、方解石、硅质和铁质等充填。此区域也分布大量斜长角闪岩与角闪岩夹层和互层,油气发育段成为较好的油气分隔层。

### 3.3.2 混合花岗岩与混合岩分布区域

工区分布最广泛的变质岩类,在中东部地区分布,面积较大。混合花岗岩内部存在多种被充填的构造裂隙与淋滤风化溶孔。在片麻岩分布区和混合花岗岩分布区接触区域为过渡带类型。混合片麻岩与混合岩分布区域,多位于潜山的中高部位,沿坨 601-坨 37-27-坨 12-坨 39-35-坨 34-136-坨 14-坨 602 所围成的不规则区域,相对局限。

### 3.3.3 动力变质岩分布区域

沿断层带分布,坨 18 井和坨 35 井位于此带上,位于工区南部到东南角狭长地带。主要为碎裂岩、断层角砾岩、碎裂化混合岩、碎裂化片麻岩与碎裂化混合花岗岩及糜棱岩。动力变质岩更多是夹于混合花岗岩与片麻岩层段中,不均匀分布,是内幕油气藏的主力储层。

## 4 岩性对变质岩储集性能的影响

本区太古界变质岩系在漫长的地质历史过程中,储集空间经历了形成、发展、充填、再形成等一系列不同阶段反复演变,此演变过程和其经历的构造作用、岩浆作用与混合岩化作用,古表生风化作用、交代溶蚀与充填作用、岩性特征密切相关,构造作用与岩性特征是储层储集空间形成与保存的核心控制因素。受区域构造应力场的控制构造变形区域,如发育多期多组系断裂西部凹陷的北端、应力场较集中的地区,在断层附近产生了大量碎裂变质岩,各种造岩矿物产生了不同的应变现象,在有利岩性区域形成大量裂隙为主的储集空间。

性脆、解理发育的长石,受力后易扩大与延伸解理缝,进而矿物与岩石破裂,形成宏观裂缝,同时沿缝易蚀变,形成溶蚀而扩宽裂缝(图 2a、d、h)。石英比较稳定,在强力作用下也出现石英破裂,但多愈合。黑云母等易蚀变深色矿物容易形成蚀变的溶蚀孔(缝)

隙,其在持久强力作用下易产生碎裂或变形及形成沿解理缝扩大的裂缝。

通常认为变质岩内黑云母为主的深色矿物含量越少、长英质含量越高,越对储层有利,深色矿物含量和储层物性呈负相关,比较基岩中深色矿物含量和储层物性关系,可知碎裂变形与黑云母为主的深色矿物在岩石中含量有一定关系。统计表明黑云母为主的深色矿物含量 5%~15% 的岩石在相同受力与风化溶蚀条件下,易于形成的孔缝,孔渗性较好,可形成优质储层;而深色矿物含量大于 15% 的变质岩相同条件下储集空间发育较差。这可能是由于含深色矿物(黑云母、角闪石、辉石等)较多(大于 15%)时岩石弹性变强、抗压性变强,延展性较好,出现变形而不破裂,从而减少裂缝量与裂隙率,出现裂缝延伸短的细微裂缝为主;同时深色矿物蚀变比长英质矿物蚀变更强,产生的蚀变物就近充填裂隙,而形成全充填和半充填的裂缝,对形成储层不利。深色矿物含量 5%~15%、以长英质为主的岩石,性脆、受力后容易发生破碎,更容易沿黑云母为主的暗色矿物内解理缝破裂、扩大缝隙,形成储集与渗滤裂缝,构造成因的储集空间更发育。在风化壳层段或浅层含一定量(5%~15%)的深色矿物是溶蚀的基础,也易于形成溶蚀孔隙,加之仍是抗风化的长英质矿物为主、构成岩体骨架,进而易于保存孔隙,形成有效的储层。而深色矿物含量小于 5% 的岩石在取心段裂缝并不发育,原因是多方面的,有一种可能是由于同样地质作用条件下由于较少或无深色矿物,作用在刚性较强的长英质矿物的力,有时不能达到使它变形与破碎的强度,有时直接造成破碎,进一步强力而使其糜棱化愈合;相对来说含少量深色矿物(5%~15%)的岩石,它们内部不均一(矿物、刚性或塑性、延展性等)易在一个方向释放压力,并形成裂缝与有效储集空间。

工区变质岩储层为裂隙型储层,构造应力是储层裂缝形成的外因,而岩石类型是形成裂缝的内因。在相同应力场作用下,变质岩脆性高的更易于形成缝隙。石英、长石等浅色矿物含量高代表脆性强;而黑云母、角闪石等深色矿物塑性强、延展性好,形成裂缝难。因此常把变质岩中石英、长石等浅色矿物含量较高的(混合)花岗片麻岩、混合花岗岩、长英质碎裂岩与碎斑岩等岩石容易形成裂缝而称为储集岩,角闪石岩、斜长角闪岩、基性脉岩等岩石深色矿物含量较高,一般在 50% 以上,在相同构造应力作用下的形成裂缝难,不能形成储层而称为非储集岩。岩性不均一也造成了岩体不均一,出现不均匀的储集体。

## 5 结论

牛心坨太古界变质岩岩性复杂,细分为三大类十五种,主要发育混合花岗岩、花岗片麻岩、斜长片麻岩、混合岩化片麻岩、长英质变粒岩、斜长角闪岩、长英质碎裂岩与碎斑岩;有效储层为花岗片麻岩、碎裂化混合花岗岩和碎裂化花岗片麻岩。潜山内幕地层在垂向上大致分为混合花岗岩带、混合花岗岩与混合岩带、片麻岩夹(与)角闪岩带、风化壳破碎带等组合带;垂向上(由下向上)混合花岗岩—混合花岗岩与混合片麻岩—花岗(钾长)片麻岩—片麻岩与角闪岩—碎裂岩、片麻岩与风化壳多个岩性段,各段夹丰富脉岩与碎裂岩;平面上呈现分区性,较高位片麻岩与角闪

岩、中低位为混合岩夹碎裂岩、低位混合花岗岩夹碎裂岩。碎裂化混合花岗岩与花岗片麻岩、部分动力变质岩可作为优质储层,深色矿物含量小于5%~15%的片麻岩与混合花岗岩可作为较优质储层。变质岩内幕层序是不均一的、非块状的,岩性与构造共同控制了变质岩内幕层序内裂隙的发育与分布。

## 致谢

多年前项目完成过程中得到中石油辽河油田研究院相关工作人员的大力支持与帮助,十年来研究生宋玲、高兴、王晓东、陈明鑫、张军燕、范金龙、余亚明、李众和本科生钱超、赵桐玥、衣方宇、伊力亚尔等同学参与了项目研究工作及后续资料整理工作,在此为他们的辛勤劳动与有力支持特致谢意!

## 参考文献

- [1] WALTERS R E. Oil production from fractured pre-Cambrian basement rocks in central Kansas[J]. AAPG Bulletin, 1953, 37(2):300-313.
- [2] 胡见义,童晓光,徐树宝. 渤海湾盆地古潜山油藏的区域分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1981, 8(5):1-9. [HU J Y, TONG X G, XU S B. Distribution of ancient buried hill reservoirs in Bohai Gulf Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1981, 8(5):1-9.]
- [3] 李军,刘丽峰,赵玉合,等. 古潜山油气藏研究综述[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3):879-887. [LI J, LIU L F, ZHAO Y H, et al. A review of study on ancient buried hill reservoir[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(3):879-887.]
- [4] 吴伟涛,高先志,刘兴周,等. 基岩油气藏的形成与分布[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1):107-113. [WU W T, GAO X Z, LIU X Z, et al. Formation and distribution of basement rock reservoir[J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(1):107-113.]
- [5] 周宗良,衡海良,党红. 国外基岩裂缝油藏实例分析与勘探前景[J]. 新疆地质, 2009, 27(3):251-253. [ZHOU Z L, HENG H L, DANG H. Classic example analysis of fractured basement reservoir for abroad and exploratory prospect[J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(3):251-253.]
- [6] 周心怀,项华,于水,等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征及发育控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6):17-20. [ZHOU X H, XIANG H, YU S, et al. Reservoir characteristics and development controlling factors of JZS Neo-Archean metamorphic buried hill oil pool in Bohai Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6):17-20.]
- [7] 谢文彦,孟卫工,李晓光,等. 辽河拗陷基岩油气藏[M]. 北京:石油工业出版社, 2012. [XIE W Y, MENG W G, LI X G, et al. Basement oil-gas reservoir in Liaohe Depression[M]. Beijing: Petroleum industry press, 2012.]
- [8] SANDERS C A E, FULLARTON L. Modelling Fracture systems in extensional crystalline basement [M]. London: Geological Society of London Publications, 2002.
- [9] CUONG T X, WARREN J R. Bach ho field, a fractured granitic basement reservoir, Cuu Long Basin, offshore SE Vietnam: A buried hill play[J]. Petroleum Geology, 2009, 32(2):129-156.
- [10] 庞雄奇,谢文彦,孟卫工,等. 辽河断陷沉积岩之下0~1600 m 变质岩中大油气田的发现及其意义[J]. 地质论评, 2011, 57(4):541-548. [PANG X Q, XIE W Y, MENG W G, et al. Discovery of a large oil and gas filled within metamorphic rocks 0~1600m below sedimentary rocks in Liaohe fault-depression and its significances[J]. Geological Review, 2011, 57(4):541-548.]
- [11] WANG J C, ZHAO L, ZHANG X Z, et al. Buried hill karst reservoirs and their controls on productivity[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(6): 852-860.
- [12] 邢志贵. 辽河拗陷太古宇变质岩储层研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2006. [XING Z G. The study of reservoir in metamorphic rock of Archean Eonothem Liaohe depression[M]. Beijing: Petroleum industry press, 2006.]
- [13] 吴智勇,郭建华,吴东胜. 大民屯凹陷静安堡西侧低潜山变质岩储层裂缝发育特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4):322-325. [WU Z Y, GUO J H, WU D S. Fractured characteristics of metamorphic reservoir in low buried-hill in west of Jinganpu, Damintun Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4):322-325.]
- [14] 傅强,游瑜春,吴征. 曹台变质岩潜山裂缝系统形成的构造期次[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5):18-20. [FU Q, YOU Y C,



- WU Z. Tectonic episodes and reservoir fissure systems in Caotai metamorphic buried hill reservoir[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(5): 18–20.]
- [15] MENG W G, CHEN Z Y, LI P, et al. Exploration theories and practices of buried-hill reservoirs: A case from Liaohe Depression, *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(2):136–143.
- [16] 宋柏荣, 胡英杰, 边少之, 等. 辽河坳陷兴隆台潜山结晶基岩油气储层特征[J]. *石油学报*, 2011, 32 (1):77–82.[SONG B R, HU Y J, BIAN S Z, et al. Reservoir characteristics of the crystal basement in the Xinglongtai buried-hill , Liaohe Depression[J].*Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32 (1):77–82.]
- [17] 翟明国, 郭敬辉, 阎月华, 等. 太古宙克拉通型下地壳剖面: 华北怀安—丰镇—尚义的麻粒岩—角闪岩系 [J]. *岩石学报*, 1996, 12(2): 222–238. [ZHAI M G, Guo J H, YAN Y H, et al. An oblique cross section of Archaean continental crust in Shanxi-Hebei-Nei Mongol JnnctnveArea,North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1996, 12(2): 222–238.]
- [18] 黄大明. 牛心坨地区太古界变质岩储层特征研究[J]. *特种油气藏*,2003,10(5):22–25.[HUANG T M. Study on characteristics of Archaean metamorphic reservoirs in Niuxintuo area[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*,2003,10(5):22–25.]
- [19] 韩宏伟. 牛心坨地区双源型太古界潜山成藏条件研究[J]. *特种油气藏*, 2011, 18(5):49–51.[HAN H W. Investigation on hydrocarbon accumulation conditions of the dual source Archaean buried hill reservoir in Niuxintuo Area[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2011, 18(5):49–51.]

## Petrological characteristics of the Archaean metamorphic reservoir in Niuxintuo, Liaohe Depression

ZHU Yixiu<sup>1,2</sup>, YANG Chengyu<sup>1,2</sup>, WANG Huan<sup>1,2</sup>

*1 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China*

*2 College of Geoscience, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China*

**Abstract** Comprehensive research into the Archaean metamorphic buried-hill reservoir in Niuxintuo that involves well log, seismic and core analysis could help to outline the petrology and physical characteristics. These controlling factors could benefit petroleum exploration. However, the study could also complete and enrich the inner basement hydrocarbon accumulation theory. The Archaean metamorphic rock is very complicated, and there are three kinds and fifteen species. The reservoir rocks include migmatitic granite, granite gneiss, plagioclase gneiss, amphibolite, migmatitic granite, migmatitic gneiss, migmatite, cataclasite and porphyroclastite. The metamorphic sequence is composed of four belts of lithological combination, from top to down these are weathering crust belt, granitic gneiss and amphibolite belt, migmatite and migmatitic gneiss belt, and migmatitic granite belt. The metamorphic rock is defined by many petrology sections vertically, including migmatitic granite-migmatitic granite and migmatitic gneiss-biotite granite-gneiss-migmatitic-gneiss and granulite-cataclasite, amphibolite and crust of weathering. The different lithologies of metamorphic rock are distributed in different areas on the plane. The Archaean metamorphic fractured reservoir in Niuxintuo is mainly controlled by the tectonization, petrology and mineralogy. The metamorphic rock sequence is non-uniform and the inner basement reservoir is not a massive reservoir.

**Keywords** petrology characteristics; metamorphic rocks; Archaean; Niuxintuo buried-ridge; Liaohe Depression

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2017.03.030

(编辑 付娟娟)