



LIAOHE AOXIAN XIBU AOXIAN
BIANZHIYAN QIANSHAN
YOUQI CHENG CANG TEZHENG

辽河拗陷西部凹陷 变质岩潜山 油气成藏特征

吴伟涛 高先志 著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

辽河坳陷西部凹陷变质岩潜山 油气成藏特征

吴伟涛 高先志◎著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以渤海湾盆地辽河坳陷西部凹陷变质岩潜山为研究对象,在总结变质岩和潜山类型分布的基础上,分析变质岩潜山油气藏类型与分布特点,研究变质岩潜山内幕隔层形成机制、测井响应以及储层发育控制因素,建立储层发育模式,探讨变质岩潜山内幕油气藏形成条件的特殊性,同时建立并划分不同潜山构造带的油气成藏模式,总结出油气成藏主控因素。

本书坚持理论与实践相结合,对变质岩潜山油气勘探研究具有重要的指导意义,可供石油勘探科技工作者及管理者使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

辽河坳陷西部凹陷变质岩潜山油气成藏特征 / 吴伟涛, 高先志著.
—北京: 中国石化出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5114-4395-3

I. ①辽… II. ①吴… ②高… III. ①辽河盆地-坳陷-变质岩-
油气藏形成-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 322247 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号

邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

710×1000 毫米 16 开本 9.5 印张 167 千字

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定价:38.00 元

前 言

潜山油气藏是渤海湾盆地重要的油气藏类型之一，特别是自 1975 年冀中坳陷任丘潜山油田发现以来，在渤海湾盆地其他坳陷也相继获得系列发现，成为渤海湾盆地增储上产的重要领域。渤海湾盆地中的潜山是指前中新界正向构造单元被中新生界地层所覆盖，或表现为潜伏的残留古地貌山，又或表现为潜伏的块断山或褶皱山。潜山地层的岩类包括古生界及更老的沉积岩，还包括前中生代岩浆岩和变质岩等。进入 21 世纪，变质岩潜山的勘探在辽河区域获得重要突破，已经成为辽河坳陷油气勘探的一个重要领域。截至目前，已经在此发现了数十个变质岩潜山油气田，探明地质储量超过亿吨。尤其是在兴隆台潜山，在潜山顶部和深层内幕均获得高产油流。变质岩油气藏作为一种特殊岩类的油气藏，其形成机理引起石油地质学者的关注。

与成层性良好的沉积岩油气藏相比，变质岩潜山油气藏属于特殊类型的油气藏，表现出岩石类型分布的复杂性、储层发育的非均质性和油气聚集部位的多样性。尽管辽河油田科技工作者在变质岩潜山勘探实践中，对变质岩潜山油气藏特征已经取得了一些结论与认识，如：高点控油、风化壳控藏，变质岩地层为均匀块体、油气藏存在统一油水界面和压力系统；输导体为顶部不整合面或侧断面；片麻岩等暗色矿物含量高的岩石类型不能成为储层等（《潜山油气藏》，1982；谢文彦等，2012）。这些认识有效地指导了变质岩潜山油气勘探，也在一定程度上促进了油气藏的发现。然而，随着变质岩潜山的勘探程度不断得到提高，在潜山深度为 2000m 处仍然可以发现工业油气流，从而引起

对上述认识的一些质疑。因此,变质岩潜山内幕储层、隔层发育的特殊性以及不同构造带潜山油气成藏模式的差异性成为亟待解决的问题。

基于上述原因,本书以渤海湾盆地辽河拗陷西部凹陷变质岩潜山为研究对象,对变质岩潜山油气藏特征、储层特征、形成条件、成藏模式以及主控因素进行了较为深入的研究,主要取得了以下几个方面的认识:

(1)变质岩储集空间主要为裂缝、局部溶蚀孔隙和碎裂孔隙;构造裂缝为裂缝的主要储集空间,发育高角度缝、斜交缝和水平缝三个组系,在空间上构成裂缝型网络系统;变质岩储层顶部为表层风化溶蚀带,下部为交替分布的内幕隔层带和内幕裂缝带,且内幕隔层厚度和深度不受限制;储层发育程度受构造应力、岩性特征、风化剥蚀、岩浆侵入等作用的影响。

(2)变质岩隔层形成序列与暗色矿物含量和结构特点有关。变质岩中的角闪岩类和基性侵入岩含有含量相对较高的暗色矿物并具有块状结构,岩石破裂的压应力和剪切应力高,不易发育裂缝,具有形成内幕隔层的优先性;变质岩隔层在常规测井曲线上表现为“三高一低”的特征,即高密度、高补偿中子、高光点界面指数和低自然伽马,在成像测井上具有块状结构和侵入结构。

(3)内幕圈闭条件、侧向接触方式、大面积供烃窗口、内幕隔层遮挡条件以及内部裂缝型沟通系统是形成潜山内幕油气藏的必备条件。

(4)西部凹陷变质岩潜山油气成藏模式可分为单向源边型成藏模式、双向源边型成藏模式和单向源外型成藏模式三种类型。深陷带兴隆台潜山油气藏、陡坡带冷家潜山油气藏和反转带牛心坨潜山油气藏为双向源边型成藏模式,缓坡带内侧齐家潜山油气藏为单向源边型成藏模式,缓坡带外侧胜利塘潜山油气藏为单向源外型成藏模式。

(5)西部凹陷多洼陷的烃源岩条件奠定了潜山油气藏形成的基础,多期次的断裂活动是形成潜山油气藏的重要条件,多组系的裂缝系统形成潜山油气藏的储集空间和运移通道,多类型的圈闭条件为潜山顶

部和内幕油气藏形成的前提条件，多类型的源储关系决定了潜山油气成藏模式的多样化，内外部沟通条件是潜山油气藏重要通道形成的基础，保存条件决定了油气性质的好坏。

本书共分为六章，第一章为概述，由吴伟涛、高先志执笔；第二章为辽河坳陷西部凹陷地质特征，第三章为西部凹陷变质岩潜山油气藏类型与分布，第四章为西部凹陷变质岩储层发育特征，第五章为西部凹陷变质岩潜山油气藏形成条件，由吴伟涛执笔；第六章为西部凹陷变质岩潜山油气成藏模式与主控因素，前五节由吴伟涛执笔，第六节由吴伟涛、高先志共同执笔。全书由吴伟涛统稿完成。

衷心地感谢西安石油大学赵靖舟教授对本书的编写所做的指导及提出的建议，同时感谢辽河油田勘探开发研究院及西部室的专家、同仁的支持与帮助。本书的顺利出版还得益于“西安石油大学优秀学术著作出版基金”的资助，在此，向一直帮助本书出版的西安石油大学科技处和地球科学与工程学院的领导及同事表示感谢，同时感谢中国石化出版社的大力协助。

本书所涉及的油气成藏内容较多，加之变质岩潜山研究程度较低，书中的诸多研究成果只是探索性的，受作者水平所限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正，以求不断完善和提高。

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 变质岩潜山油气藏的内涵及意义	(1)
一、变质岩潜山油气藏的内涵	(1)
二、变质岩潜山油气藏的研究目的及意义	(3)
第二节 国内外潜山勘探研究现状	(3)
一、国内外变质岩潜山勘探现状	(3)
二、国内外变质岩潜山油气藏研究现状	(5)
第二章 辽河坳陷西部凹陷地质特征	(9)
第一节 地层特征	(11)
一、变质岩地层	(11)
二、变质岩上覆地层	(19)
三、地层接触关系	(20)
第二节 构造特征	(20)
一、构造演化	(20)
二、断裂特征	(23)
第三节 潜山类型与分布	(26)
一、潜山类型	(26)
二、潜山分布	(28)
第三章 西部凹陷变质岩潜山油气藏类型与分布	(30)
第一节 潜山油气藏类型	(30)
一、潜山油气藏分类	(30)

二、西部凹陷变质岩潜山油气藏类型	(31)
第二节 西部凹陷变质岩潜山油气藏分布	(37)
一、中央深陷带	(37)
二、西部缓坡带	(39)
三、东部陡坡带	(41)
四、北部反转带	(42)
五、南部倾没带	(42)
第三节 变质岩潜山油气性质与分布	(43)
一、原油物性特点	(43)
二、油气水分布	(44)
第四章 西部凹陷变质岩储层发育特征	(47)
第一节 储集空间特征与储集性能	(47)
一、储集空间特征	(47)
二、储集性能	(51)
第二节 变质岩隔层形成机制与测井响应	(52)
一、隔层形成机制	(52)
二、隔层测井响应	(55)
第三节 内幕裂缝发育特点与储层发育模式	(62)
一、内幕裂缝发育特点与测井响应	(62)
二、变质岩储层发育模式	(65)
第四节 储层发育控制因素	(78)
一、构造运动	(79)
二、岩性特征	(79)
三、风化剥蚀作用	(80)
四、岩浆侵入作用	(81)
五、溶蚀、充填作用	(81)
第五章 西部凹陷变质岩潜山油气藏形成条件	(83)
第一节 烃源岩条件	(83)
一、烃源岩分布特征	(83)
二、地球化学特征	(84)

三、生物标志化合物特征	(86)
第二节 内幕圈闭条件	(89)
一、内幕隔层特征	(89)
二、内幕圈闭实例分析	(90)
第三节 源储关系	(92)
一、接触方式	(92)
二、供烃方向	(93)
三、供烃窗口	(94)
第四节 沟通条件与遮挡条件	(95)
一、沟通条件	(95)
二、遮挡条件	(98)

第六章 西部凹陷变质岩潜山油气成藏模式与主控因素 ... (100)

第一节 深陷带潜山油气成藏模式	(100)
一、油气藏特征	(100)
二、油气成藏条件	(101)
三、油气成藏期次	(106)
四、双向源边型油气成藏模式	(107)
第二节 缓坡带内侧潜山油气成藏模式	(110)
一、油气藏特征	(111)
二、油气成藏条件	(111)
三、单向源边型油气成藏模式	(113)
第三节 缓坡带外侧潜山油气成藏模式	(115)
一、油气藏特征	(116)
二、油气成藏条件	(117)
三、单向源外型油气成藏模式	(119)
第四节 陡坡带潜山油气成藏模式	(119)
一、油气藏特征	(121)
二、油气成藏条件	(122)
三、双向源边型油气成藏模式	(124)
第五节 反转带潜山油气成藏模式	(124)
一、油气藏特征	(124)

二、油气成藏条件	(125)
三、双向源边型油气成藏模式	(126)
第六节 变质岩潜山油气成藏主控因素	(127)
一、多洼陷烃源岩条件	(127)
二、多期次断裂活动	(129)
三、多性质裂缝系统	(129)
四、多类型圈闭条件	(130)
五、多类型源储关系	(130)
六、内外结合沟通条件	(131)
七、保存条件	(132)
参考文献	(133)

第一章 概 述

第一节 变质岩潜山油气藏的内涵及意义

变质岩潜山属于盆地沉积层之下的基岩突起。在传统石油地质理论中,除了变质岩潜山顶部风化壳可以聚集油气之外,变质岩潜山内部被认为是油气勘探的“禁区”。随着油气勘探程度的不断提高,在变质岩潜山内幕裂缝型储集层中也发现了储量可观的油气藏,从而成为油气勘探的又一重要领域。

一、变质岩潜山油气藏的内涵

1. 潜山与潜山油气藏

“潜山”首次见于美国地质学家 Sidney Powers 发表的《潜山及其在石油地质学中的重要性》论文中(Sidney Powers, 1922)。20 世纪 50 年代, Levorsen 提出潜山为盆地接受沉积前就已经形成的古地貌山,并被新地层覆盖而形成的潜伏山(Levorsen AI, 1954)。随着对潜山认识的不断深入,潜山不仅仅被定义为单一的古地貌山,而把沉积盆地中被不整合之上沉积岩所覆盖的基岩突起也称为潜山, (不论其成因和形成时期)。据此,按照潜山的形成时期可划分为两种类型:一类是具有早期古地貌特征的“古潜山”;另一类则是上覆沉积层沉积前尚不存在或仅仅只有微弱的地貌显示,在盖层沉积期间或沉积以后,由于新的褶皱或断裂等构造变动而形成的“后成潜山”(吴永平等, 2002)。也就是说,基底地层的突起或高点被不整合之上的年轻盖层所埋藏,均称为潜山。20 世纪 70 年代,华北油田石油地质工作者通过对冀中坳陷潜山油气藏特征的分析,率先在国内的油气勘探中引入了“潜山油气藏”这一概念,并对潜山、潜山油气藏进行了系统论述(华北石油勘探开发设计研究院, 1981)。胡见义等研究渤海湾盆地潜山油气藏时认为,以古近系生油岩为油源,不整合以下的前古近系“基岩”为储层,存在多

种圈闭类型的油藏,称为潜山油藏(胡见义等,1981)。储集条件、遮挡条件、油源与输导条件为形成潜山油藏的必备因素。

2. 基岩油气藏与潜山油气藏

“基岩”首先见于 Walters 在美国石油地质协会(AAPG)上发表的《中堪萨斯油田前寒武系裂缝型基岩的石油产量》一文中(Walters R F, 1953)。Smith 在 1956 年发表的《委内瑞拉拉巴斯—马拉基岩油气藏》中指出,基底是由沉积岩变质或部分变质而成的变质岩与糜棱化作用碎裂和变质而成的火成岩组成(Smith J E, 1956)。直到 1960 年,Landes 才对基岩和基岩油藏进行了明确的定义,认为不整合面或侵蚀面以上沉积的年轻生油岩系所生成的油气,聚集在其下伏的古老变质岩和火成岩中,不论其地质年代为前寒武纪、古生代或中生代,都叫基岩油藏(Landes K K, 1960);其内涵为变质岩和火成岩。潘钟祥结合我国华北石油地质条件,扩大了 Landes 对基岩的定义,他从变质和年代两个方面考虑,基岩包括变质岩、火成岩和古生代岩层(P'an Chung-hsiang, 1982)。North 对于基岩持有不同的见解,他认为基岩应该为原来没有或者很少基质孔隙的岩石,不仅仅等同为前寒武系(North C H, 1990)。Aguilera 认为砂岩和碳酸盐岩可以整合地下伏于生油层,不能作为基岩(Aguilera R, 1995)。

1984 年,中国石油学会石油地质委员会在河北承德市召开了全国基岩油气藏勘探学术讨论会,与会代表对基岩与基岩油气藏的概念、油气藏类型、形成条件、勘探方法以及今后的勘探问题等进行了深入探讨。其中,对于基岩油藏的含义归纳出两种认识(陈发景等,1987;甘克文,1987;梁生正等,1987;田在艺等,1987;童晓光等,1987):一种认识为基岩是结晶基底,基岩油藏仅存在于结晶基底的花岗岩和变质岩中;另一种认识是以盆地发育期为标准,存在于结晶基底和盆地形成前的沉积岩中的油气藏均为基岩油藏。两者区别在于前者从基岩的原始定义考虑,后者从不整合面的角度分析。截至目前,关于基岩油气藏的定义,仍没有得到一致的观点。笔者认为应从基岩的原始定义出发,基岩是由变质岩和火成岩组成的杂岩体。

潜山油气藏和基岩油气藏是对“新生古储”型成藏组合形成的油气藏在不同范畴的描述。基岩油气藏是从储集层岩性角度考虑,强调油气藏赋存的地层层位为变质岩和火山岩,与“山”型特征无关;而潜山油气藏从“山”型特征出发,强调圈闭的地层表面形态,与地层岩性无关。因此,本书主要研究对象以变质岩类为主体,具有“山”型特征的油气藏。

3. 潜山内幕油气藏

潜山内幕油气藏是潜山油气藏研究的进一步深化。潜山内幕油气藏是相对于潜山顶部风化壳型油气藏而提出的,两者同属于潜山油气藏,但油气储存位置不同。潜山顶部风化壳型油气藏是以潜山表层的风化壳为储集体,以不整合面为遮挡的油气藏类型;而潜山内幕油气藏主要以潜山内幕的裂缝体系为储集体,以内幕隔层为遮挡的油气藏类型。因此,由于潜山内部地层产状、岩性组合、储隔层分布以及与古地貌形态的配置关系的不同,形成的内部油气藏称为潜山内幕油气藏。

二、变质岩潜山油气藏的研究目的及意义

变质岩潜山油气藏作为一种特殊岩性油气藏,在渤海湾盆地具有较大的勘探潜力。辽河西部凹陷兴隆台变质岩潜山含油层厚度达到 2100m,即从埋深 2600m 的潜山顶向下延伸到埋深 4700m 的潜山内部,显示出变质岩潜山远大的勘探前景。本书基于对潜山顶部风化壳与内幕油气分布特征的研究,对比分析变质岩内幕储层与隔层的发育特征,以及顶部与内幕油气藏形成的差异性,建立不同潜山构造带的成藏模式,探讨变质岩潜山油气藏形成的主控因素,建立不同变质岩潜山的成藏模式是对变质岩潜山油气成藏理论的丰富和完善,也深化变质岩潜山油气勘探提供了理论依据。

第二节 国内外潜山勘探研究现状

一、国内外变质岩潜山勘探现状

1. 国外变质岩潜山勘探现状

早期发现的潜山油气藏具有偶然性。1909 年,在美国俄亥俄州中部辛辛那提隆起上偶然发现的摩罗县潜山油气藏是世界上最早发现的潜山油气藏。有目的、有计划的变质岩潜山油气藏钻探是在委内瑞拉马拉开波盆地的拉巴斯油田,并取得了巨大成功(Pán Chung-hsiang, 1982)。20 世纪 40~50 年代,在美国堪萨斯中央隆起带发现了奥斯油田、林华尔油田和克拉福特—普鲁萨油田等 11 个前寒武系变质岩油田(Eggleston W S, 1948; McNaughton D A, 1953; Aguilera R 等, 1979)。越南南部大陆架的白虎潜山油田是亚洲较大的潜山油气藏,其储层

为花岗岩和花岗闪长岩，日产油超过 2000t(Trinh Xuan Cuong, 2009)。除此之外，利比亚的锡尔特盆地(田纳新等, 2008)，印度尼西亚的中苏门答腊盆地、南苏门答腊盆地和北哇哇盆地(童晓光等, 2005；杨福忠等, 2011)，美国的洛杉矶盆地和圣华金盆地，俄罗斯的西西伯利亚盆地，欧洲的潘诺盆地，埃及的苏伊士盆地(Salah M G 等, 1998；Alsharhan A S, 2003)，泰国的 Phitsanulok 盆地，新西兰的塔腊纳基盆地(时华星等, 2004)，墨西哥的坦皮科盆地，阿根廷的库约盆地和内务肯盆地(白国平等, 2010；童晓光等, 2011)，巴西的坎波斯盆地(许晓明等, 2010)，日本的 Yufutsu 盆地以及智利的麦哲伦盆地等均在基岩(包括变质岩)地层中发现了油气(P'an Chung - hsiang, 1982；Jon Gutmanis 等, 2009；吴伟涛等, 2014)。虽然变质岩潜山油气藏的地质储量差别较大，有的为亿吨级油气田，也有的仅为油气显示(马龙等, 2006；杨飞等, 2011)，但分布极其广泛，在世界范围内发现的变质岩潜山油气藏盆地已超过 30 个，遍及全球七大洲(图 1-1)。



图 1-1 世界基岩油气藏分布图(吴伟涛等, 2014)

2. 国内变质岩潜山勘探现状

在我国，变质岩潜山油气勘探已有半个多世纪的历史，油气藏主要集中在渤海湾盆地，在准噶尔盆地和酒泉盆地也有发现。

1957 年，准噶尔盆地克拉玛依油田第九区 222 号探井在 1076 ~ 1191.5m 的

石炭系变质岩中获得日产油 7.25t, 这是我国首次在变质岩地层中获得了油流(范成龙等, 1984)。1959 年, 在酒泉盆地发现的玉门鸭儿峡潜山油田, 其储层为志留系中部泉脑沟组轻度变质的千枚岩、板岩和变质砂岩, 单井初期日产油为 150t(谢恭俭等, 1981)。1973 年, 在辽河拗陷西部凹陷兴隆台地区部署的兴 213 井钻遇太古宇混合花岗岩, 获得高产工业油流, 从而发现兴隆台潜山油田, 成为渤海湾盆地发现的第一个变质岩潜山油气田。1975 年, 任丘潜山油田的发现使潜山进入勘探视野, 开辟了潜山油气勘探领域(华北石油会战指挥部, 1978; 杜金虎等, 2002), 并随之发现了一大批变质岩潜山油气藏, 如辽河拗陷西部凹陷的杜家台、胜利塘、齐家、欢喜岭和大民屯的东胜堡、静安堡、曹台等变质岩潜山油气藏。1993 年 12 月, 渤海海域沙垒田凸起曹妃甸 1-6-1 井揭露前寒武系地层, 获得高产油流, 发现曹妃甸变质花岗岩潜山油气田(陈宏达等, 1995)。2002 年, 辽东湾地区发现储量超亿吨的锦州 25-1 南变质岩潜山复合油气藏, 也是当时中国发现的储量最大、产量最高的变质花岗岩油气藏(项华等, 2007)。除此之外, 冀中拗陷饶阳凹陷河间地区、济阳拗陷埕岛地区、海拉尔盆地、二连盆地、柴达木盆地东坪地区等也发现了变质岩潜山油气藏。

2005 年, 辽河拗陷西部凹陷兴隆台潜山兴古 7 井在 2589.5m 钻遇太古宇变质岩, 揭露地层厚度 1640.5m, 在 3592.0~3653.5m 井段获日产油 73.5t, 日产气 6688m³, 首次在变质岩内部发现高产油气流。随后钻探的兴古 7-1 井、兴古 7-3 井、兴古 8 井和兴古 9 井等均在深层内幕获得高产油气流, 从而证明兴隆台太古宇变质岩潜山具有内幕多层含油的特点(孟卫工等, 2007; 李晓光等, 2007)。2008 年, 中央凸起带赵古 1 井于 3090m 进入太古宇, 获得高产工业油流, 日产油 16.5t。

二、国内外变质岩潜山油气藏研究现状

1. 国外变质岩潜山油气藏研究现状

国外公开发表的变质岩潜山油气藏研究成果并不多, 主要还是对于基岩油气藏的研究, 由于公开资料的限制或未被重视, 整体上认识比较薄弱。最具有代表性的是 2009 年底在卡塔尔召开的国际石油技术会上对基岩油气藏的论述, 其主要表现在 5 个方面(Jon Gutmanis 等, 2009): ①油气向下运移或者通过长距离的侧向运移进入储层; ②油气分布具有非常规特点; ③除顶部风化壳之外, 基岩储层的发育程度和油气产量取决于网状裂缝连通性; ④岩性是基岩储集性能的重要控制因素; ⑤构造运动和断裂活动历史控制着裂缝的发育程度。除此之外, 更多

的研究是针对基岩储层进行的。如 Nelson 等对委内瑞拉马拉开波盆地的拉帕斯油田及周边油田的白垩系碳酸盐岩和前侏罗系变质岩油气藏分析认为, 潜山裂缝发育产状沿断层分布, 且产量与裂缝强度成正相关关系; 地层水中 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 比值与产量呈正向关系, 而 $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 比值与产量呈反向关系; 压力低的油气产量大, 压力相对较高的地区为勘探目标区, 并建议采用水平井来提高产量(Nelson R A, 2000)。Tetsuya Tamagawa 通过井眼成像、产量、应力方向和水动力注入的压力响应等资料, 扰动应力场影响着日本 Yufutsu 气藏的流体特性等分析, 并建立新的地质应力模型, 认为产量高的井位于活动断层的尖端, 原因在于尖端的张压力或者剪切力可增加裂缝渗透率, 也为裂缝性基岩油气藏勘探提供了新的目标(Tetsuya Tamagawa 等, 2008)。基于越南 Bach Ho Field 的构造演化特点研究, Cuong 和 Warren 结合常规测井、钻井取心、地层资料、电缆、成像测井等资料分析变质岩裂缝的形成和分布特点, 建立油田变质岩潜山裂缝发育模式, 并与委内瑞拉拉巴斯油田、中国兴隆台油田、英国西设得兰海岸卡莱尔油田等多个国家和地区的地层岩性和构造进行简要对比, 分析其油气勘探前景(Cuong 等, 2009)。

2. 国内变质岩潜山油气藏研究现状

1) 潜山与潜山油气藏的类型

断块活动是中国潜山形成的重要控制因素。众多学者讨论了构造活动与潜山油气藏的关系(阎敦实等, 1980; 胡见义等, 1981; 王同和等, 1986; 张占文等, 1995; 倪金龙等, 2006)。其中, 阎敦实等通过对渤海湾盆地的构造演化特征及构造格局研究, 分析断陷盆地的断块活动对潜山油气藏的控制作用, 并建立以古潜山为主体的复式油气聚集带和油气藏序列(阎敦实等, 1980)。胡见义等认为块断活动对古潜山油藏的控制作用主要包括三个方面: ①造成或增大古近系生油层与古潜山储集层之间的接触面积; ②增大潜山的高度或造成块断山; ③断层遮挡形成圈闭(胡见义等, 1981)。

潜山和潜山油气藏的分类是研究潜山的另一个重要内容。按照不同的分类原则, 可以划分出多种类型的潜山和潜山油气藏。根据成因可以分为地貌潜山、构造潜山和构造—地貌潜山, 构造潜山可以细分为逆冲型潜山、伸展型潜山和走滑型潜山(杜金虎等, 2002; 杨明慧等, 2008); 根据形态可以分为单面山、褶皱山、残丘山、断阶山、地垒山和块断山(李丕龙等, 2004; 张巨星等, 2007; 郑荣才等, 2009); 根据发育构造部位可以分为主断棱潜山带、断阶潜山带、斜坡潜山带、凸起潜山带、中央背斜潜山带和内幕潜山带(华北石油勘探开发设计研究院, 1981); 根据构造的形成与盖层沉积的先后关系可以分为先成地貌潜山、

同生构造潜山和后成构造潜山(吴永平等, 2002);从潜山构造演化历史角度,根据潜山形成、埋藏和定型的时期可以分为早形成—晚埋藏—晚定型、早形成—晚埋藏—早定型、早形成—早埋藏—晚定型、早形成—早埋藏—早定型和晚形成—早埋藏—晚定型五种类型(吴孔友等, 2009);从潜山圈闭类型可以分为不整合型油气藏、不整合—断层型油气藏、断层型油气藏、褶皱型油气藏、不整合—内幕隔层型油气藏(童晓光等, 1981);按照潜山储层岩性可以分为变质岩潜山油气藏、碳酸盐岩潜山油气藏、火山岩潜山油气藏和碎屑岩潜山油气藏(李军等, 2006);根据潜山形成时间可以分为中生代潜山油气藏、古生代潜山油气藏、前寒武纪潜山油气藏(王国纯, 1989);按照潜山油气藏的几何形态可以分为块状油气藏、层状油气藏和不规则状油气藏(华北石油勘探开发设计研究院, 1981);根据烃源岩与潜山的关系可以分为“源上山”型潜山油气藏、“源下山”型潜山油气藏和“对接山”型潜山油气藏(陈振岩等, 2009);根据油气成藏部位可以分为潜山顶部油气藏、潜山内幕油气藏和潜山坡油气藏(刘传虎, 2006;高先志等, 2007;田世峰等, 2009;吴伟涛等, 2011);从内幕圈闭的角度可以分为内幕断层圈闭油气藏、内幕地层岩性油气藏和不整合遮挡内幕单斜构造油气藏(高先志等, 2011)。

2) 变质岩潜山油气成藏研究

相对于沉积岩来说,变质岩潜山储层具有岩性致密、成层性差、非均质性强的特点。变质岩的岩石类型包括区域变质岩、混合岩和碎裂变质岩以及岩浆活动形成的煌斑岩、闪长岩、辉绿岩等侵入岩脉,储集空间以微观裂缝系统为主,宏观裂缝系统主要起渗流通道作用(肖淑蓉等, 2000)。裂缝具有多期次、多方向、多性质发育的特点(牛彦良等, 2006;吴东胜等, 2007;刘乐等, 2009),早期多充填,晚期裂缝切割早期裂缝(傅强等, 1999;傅强等, 2003)。变质岩储集空间受到岩性、构造应力、断裂活动引起的破碎作用、岩浆侵入引起的混合岩化作用、古表生风化作用和深层溶解作用等因素的影响(曾联波等, 1997;吴智勇等, 2001;袁静, 2004;周心怀等, 2005;周心怀等, 2006;邢志贵, 2006;郝琦等, 2006;赵立旻, 2007;单俊峰等, 2008;高世臣等, 2008),岩性中暗色矿物含量为最重要的内在影响因素(高世臣等, 2008;李晓光等, 2009;刘兴周, 2009;李军等, 2010;宋柏荣等, 2011)。针对岩性测井响应特征所具有的差异性,通过建立不同岩石类型的识别标准(柴燕军等, 2002;倪国辉等, 2006;钱宝娟, 2007;刘兴周, 2007;孙娜, 2007;岳海玲, 2008;王金华, 2008;史浩等, 2008;李艳, 2008),采用分型理论对裂缝进行预测(黄飞等, 2004;饶华