

火山岩油气藏的形成机制与分布规律研究丛书

松辽盆地北部火山岩储层特征 及成岩演化规律

冯子辉 王 成 邵红梅 洪淑新 王国臣 著



科学出版社

火山岩油气藏的形成机制与分布规律研究丛书

松辽盆地北部火山岩储层特征 及成岩演化规律

冯子辉 王 成 邵红梅 洪淑新 王国臣 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家重点基础研究发展计划(973)项目“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”所著丛书之一,着重论述了火山岩储层微观特征评价技术、方法和应用成果。主要内容包括火山岩储层实验配套技术的研发与建立,以及应用该配套技术在松辽盆地北部早白垩世火山岩岩石矿物学、火山岩储集空间特征与成因、火山岩储层形成与演化等方面所取得的成果。全书内容丰富翔实,学术观点新颖,具有基础理论研究、地质实验技术与火山岩油气藏勘探实践相结合的特点。

本书可供从事石油地质、油气田勘探与开发、岩矿鉴定与储层评价等领域的科研、生产、教学工作者以及高校学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

松辽盆地北部火山岩储层特征及成岩演化规律 / 冯子辉等著. —北京: 科学出版社, 2015. 5

(火山岩油气藏的形成机制与分布规律研究丛书)

ISBN 978-7-03-044212-3

I. ①松… II. ①冯… III. ①松辽盆地-火山岩-储集层特征-研究②松辽盆地-火山岩-成岩作用-研究 IV. ①P588.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 090718 号

责任编辑: 王 运 韩 鹏 / 责任校对: 李 影

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 5 月第一次印刷 印张: 14

字数: 330 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《火山岩油气藏的形成机制与分布规律 研究丛书》编辑委员会

编辑顾问委员会

主 任：贾承造 王玉华

委 员：(以姓氏笔画为序)

王成善	王铁冠	贝 丰	吕延防
李幼铭	李廷栋	肖序常	邹才能
沙金庚	罗治斌	金成志	庞雄奇
赵文智	赵志奎	萧德铭	潘 懋
戴金星			

编辑委员会

主 任：冯志强 刘嘉麒

委 员：(以姓氏笔画为序)

王璞珺	卢双舫	冉清昌	印长海
包 丽	冯子辉	师永民	朱如凯
刘 财	孙晓猛	李成立	李江海
李红娟	李建忠	吴晓智	陈树民
陈振岩	陈福坤	邵红梅	单玄龙
姜传金	梁世君	梁江平	童 英

主 编：冯志强 陈树民

丛 书 序

——开拓油气勘查的新领域

2001 年以来,大庆油田有限责任公司在松辽盆地北部徐家围子凹陷深层火山岩勘探中获得高产工业气流,发现了徐深大气田,由此,打破了火山岩(火成岩)是油气勘探禁区的传统理念,揭开了在火山岩中寻找油气藏的序幕,进而在松辽、渤海湾、准噶尔、三塘湖等盆地火山岩的油气勘探中相继获得重大突破,发现一批火山岩型的油气田,展示出盆地火山岩作为油气新的储集体的巨大潜力。

从全球范围内看,盆地是油气藏的主要聚集地,那里不仅沉积了巨厚的沉积岩,也往往充斥着大量的火山岩,尤其在盆地发育早期(或深层),火山岩在盆地充填物中所占的比例明显增加。相对常规沉积岩而言,火山岩具有物性受埋深影响小的优点,在盆地深层其成储条件通常好于常规沉积岩,因此可以作为盆地深层勘探的重要储集类型。同时,盆地早期发育的火山岩多与快速沉降的烃源岩共生,组成有效的生储盖组合,具备成藏的有利条件。

但是,作为一个新的重要的勘探领域,火山岩油气藏的成藏理论和勘探路线与沉积岩石地质理论及勘探路线有很大不同,有些还不够成熟,甚至处于启蒙阶段。缺乏理论指导和技术创新是制约火山岩油气勘探开发快速发展的主要瓶颈。为此,2009 年,国家科技部及时设立国家重点基础研究发展计划(973)项目“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”,把握住历史机遇,及时凝炼火山岩油气成藏的科学问题,实现理论和技术创新,这对于占领国际火山岩油气地质理论的制高点,实现火山岩油气勘探更广泛的突破,保障国家能源安全具有重要意义。大庆油田作为项目牵头单位,联合中国科学院地质与地球物理研究所、吉林大学、北京大学、中国石油天然气勘探研究院和东北石油大学等单位的专业人员,组成以冯志强、陈树民为代表的强有力的研究团队,历时五年,通过大量的野外地质调查、油田现场生产钻井资料采集和深入的测试、分析、模拟、研究,取得了一批重要的理论成果和创新认识,基本建立了火山岩油气藏成藏理论和与之配套的勘探、评价技术,拓展了火山岩油气田的勘探领域,指明火山岩油气藏的寻找方向,为开拓我国油气勘探新领域和新途径做出了重要贡献:

一是针对火山岩油气富集区的地质背景和控制因素科学问题,提出了岛弧盆地和裂谷盆地是形成火山岩油气藏的有利地质环境,明确了寻找火山岩油气藏的盆地类型;二是针对火山岩储层展布规律和成储机制的科学问题,提出了不同类型、不同时代的火山岩均有可能形成局部优质和大面积分布的致密有效储层的新认识,大大拓展了火山岩油气富集空间和发育规模,对进一步挖掘火山岩勘探潜力有重要指导意义;三是针对火山岩油气藏地球物理响应的科学问题,开展了系统的地震岩石物理规律研究,形成了火山岩重磁宏观预测、火山岩油气藏目标地震识别、火山岩油气藏测井评价和

火山岩储层微观评价4个技术系列,有效地指导了产业部门的勘探生产实践,发现了一批油气田和远景区。

“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”项目,是国内第一家由基层企业牵头的国家重大基础研究项目,通过各参加单位的共同努力,不仅取得一批创新性的理论和技术成果,还建立了一支以企业牵头,“产、学、研、用”相结合的创新团队,在国际火山岩油气领域形成先行优势。这种研究模式对于今后我国重大基础研究项目组织实施具有重要借鉴意义。

《火山岩油气藏的形成机制与分布规律研究丛书》的出版,系统反映了该项目的研究成果,对火山岩油气成藏理论和勘探方法进行了系统的阐述,对推动我国以火山活动为主线的油气地质理论和实践的发展,乃至能源领域的科技创新均具有重要的指导意义。



2015年4月

前 言

松辽盆地是中国东部大型中生代陆相含油气盆地，北东向长 700km，宽 350km，面积约 26 万 km²。处于欧亚板块东部，属于克拉通内复合型盆地。沉积岩厚 3000 ~ 7000m，最厚超过 10000m。主要地层为第四系、古近系和新近系、白垩系和侏罗系。松辽盆地深层下白垩统储层岩石类型主要有致密砂（砾）岩、火山岩和基岩风化壳（花岗岩、变质岩），其中致密砂（砾）岩和火山岩是最重要的储层。火山岩发育在白垩系早期营城组和侏罗系晚期火石岭组，露头揭示火山岩地层厚度可达 2000m 左右，分布受基底断裂的控制。徐家围子断陷位于松辽盆地北部大庆长垣以东地区，面积约 5300km²，是松辽盆地深层天然气和深源无机 CO₂ 气藏主要勘探地区。目前该区深层钻井有 160 多口，已有数十口井获工业气流或气显示，多口井火山岩无阻产能都超过了百万方，展示了火山岩储层良好的天然气勘探前景。该地区深层烃源岩（沙河子组）广泛分布，厚度 500 ~ 900m，成熟度高（R^o 大于 2%），有机碳含量较高，盆地模拟计算生气量十分可观。该区形成天然气的地质条件优越，是地层超覆圈闭和火山岩岩性圈闭的集中发育区，其中大面积火山岩岩性气藏是近期重点勘探目标。

勘探实践表明，储集层是影响油气聚集和分布的决定性因素之一。松辽盆地具有高地温场特征，成岩作用强，孔隙保存条件差，因此，储层问题成为了制约深层天然气勘探获得突破的主要问题之一。几年来，大庆油田有限责任公司与国内各大学的专家学者开展联合攻关，实验室配套分析技术与测井、试气等资料和储层宏观研究成果相结合，系统开展了火山岩储层岩石学特征、储集空间类型与影响因素、火山岩岩相、成岩演化、储层成因模式等方面的研究，初步形成了火山岩储层微观评价技术系列。对提高松辽盆地优质火山岩储层分布地带的预测准确率、推进大庆油田天然气勘探开发实践提供科学依据和理论支持，同时对丰富和完善火山岩储层地质理论也具有重要的理论意义。

本书由大庆油田勘探开发研究院冯子辉、王成、邵红梅确定编写提纲，由冯子辉、王成、邵红梅、洪淑新统稿和定稿，由中国地质大学（北京）赵海玲教授审稿。全书共分七章，各章的主要编写人：第一章，冯子辉、邵红梅；第二章，冯子辉、王成；第三章，洪淑新、邵红梅；第四章，邵红梅；第五章，王成；第六章，邵红梅、王国臣；第七章，冯子辉、洪淑新。此外，大庆油田勘探开发研究院地质试验室张安达、高波、王彦凯、李玲玲、卢曦、谭文丽、裴昌蓉、潘会芳、焦玉国、王殿滨等人做了大量基础工作，在编写过程中同时得到了西北大学罗静兰教授、吉林大学王璞珺教授以及大庆油田勘探开发研究院领导和科技人员的关心指导及大力支持，在此表示诚挚的感谢。

鉴于作者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

丛书序

前言

第一章 火山岩储层研究进展	1
第一节 国内外火山岩储层研究现状	1
一、国外火山岩储层研究现状	2
二、国内火山岩储层研究现状	5
第二节 松辽盆地深层火山岩储层研究进展	8
第三节 火山岩储层研究技术发展趋势	8
一、火山岩储层研究技术发展方向	8
二、火山岩储集空间定量分析技术	11
第二章 区域地质概况	12
第一节 深层地层分布及层序	12
第二节 研究区深层构造特征	13
第三节 烃源岩	14
第四节 储集层类型	15
第五节 盖层	17
第六节 松辽盆地北部深层天然气分布规律	18
第三章 火山岩岩石学特征	19
第一节 火山岩鉴定技术	19
一、实验室岩石矿物常规鉴定技术	19
二、岩石矿物鉴定新技术研究	20
三、疑难矿物鉴定配套技术与应用	35
四、火山岩鉴定配套技术	42
第二节 火山岩岩相学特征	42
一、熔岩类	43
二、火山碎屑岩类	45
三、火山-沉积碎屑岩类	47
四、次火山岩	47
第三节 火山岩岩石化学、地球化学特征	48
一、岩石化学特征	48
二、地球化学特征	51
第四节 次生矿物特征	54

一、次生矿物种类及特征	54
二、次生矿物分布	57
第五节 火山岩分布特征及有利储层岩石类型	64
第四章 火山岩成岩作用特征	68
第一节 火山岩成岩作用类型的含义	68
第二节 火山岩成岩作用类型及机理	69
一、成岩作用的控制因素	69
二、松辽盆地典型火山岩成岩作用类型及机理	70
第三节 火山岩成岩作用对孔隙演化的影响	72
第四节 火山岩成岩阶段	73
一、火山岩成岩阶段划分	73
二、火山岩成岩阶段及其成岩演化	76
第五章 火山岩储层特征及控制因素	86
第一节 火山岩储集空间类型	86
一、火山岩储集空间类型	86
二、孔隙类型定量评价	93
第二节 火山岩储层物性特征	97
一、不同岩石类型储层物性特征	97
二、不同地区储层物性特征	100
三、不同类型储层化学元素组成特征	105
第三节 储层控制因素	108
一、火山岩岩相对储层物性的影响	108
二、埋藏深度（压实）对物性的影响	121
三、次生改造作用对物性的影响	121
四、孔隙特征与物性的关系	124
五、CO ₂ 充注对储层的影响	124
第六章 火山岩储层成因机理	126
第一节 脱玻化作用	126
一、脱玻化孔隙成因	126
二、脱玻化孔隙的定量评价	127
三、脱玻化微孔的地质意义	132
第二节 埋藏期成岩作用	134
一、充填作用	134
二、蚀变、交代作用	136
三、溶蚀作用	137
第三节 风化淋滤作用	138
第四节 构造运动	140
第五节 孔隙形成演化序列	140

第六节 孔隙演化模式	145
第七节 火山岩储层成因类型	148
一、火山喷发型	148
二、流体溶蚀型	149
三、构造破碎型	149
四、风化淋滤型	149
第七章 火山岩储层分类与评价	151
第一节 火山岩储层分类	151
第二节 储层综合评价	153
一、储层类型与气水层关系	153
二、储层综合评价	154
第三节 火山岩有利储层分布规律	162
一、岩石类型岩相条件分析	162
二、构造因素的影响分析	163
三、成岩作用与其演化的影响分析	163
四、储层分布规律	164
五、典型井分析	169
参考文献	187
图版	

第一章 火山岩储层研究进展

第一节 国内外火山岩储层研究现状

近几年,随着国际油气价格的不断攀高,人们对火山岩油气藏的勘探和开发越来越重视。火山岩作为特殊类型的储层,对油气的形成和聚集均起到十分重要的作用,因此,火山岩储层的研究也显得日益重要,受到了人们的广泛关注(董冬等,1988;余芳权,1990;张子枢、吴邦辉,1994;罗静兰等,1996;杨瑞麟、刘明高,1996;闫春德等,1996;赵澄林,1996;赵澄林等,1997;赵海玲等,1998;邵红梅等,2001,2006;王成等,2003,2004a、b,2006a、b;赵海玲等,2004),成为国际石油公司勘探的热点之一。20世纪80年代以前,在研究和认识生油层特征的同时,也开展了储层特征的研究。当时研究重点是储层岩石学特征、成岩作用及低渗透储层,储层微观研究获得了较快发展。进入90年代,随着储层评价检测技术的发展和储层地球化学等新学科的建立,次生孔隙的研究进入了一个新阶段。近几年储层研究有了新的发展,首先是与油气勘探开发的需要结合得更紧密,在应用新技术、新方法对储层微观特征进行深入研究的同时,更注重与储层宏观分布规律相结合,把岩石学与储层物性、孔隙结构研究相结合,把储层性能与储层分布预测及勘探有利地区预测相结合,从理论与方法和实际应用上向着更新更广的方向发展。其次是储层描述和预测趋于向多技术的综合评价方向发展。在技术上,力求地质、地震、测井的一体化研究。在地质研究思路,提出了动力储层学的概念,把成岩物质与盆地动力学特征相结合,开展储层控制因素、孔隙发育规律和钻前地质定量预测研究,既大大丰富了储层地质学的研究内容,又更客观地认识了储层的特征。总的看来,目前人们对砂岩、碳酸盐岩等常规储层的研究已比较深入,并形成比较完善的储层评价方法,但对于非常规储层(致密储层、砾岩储层、火山岩储层和变质岩储层等)的研究相对滞后。研究表明火山岩作为一种特殊储层,其储层非均质性强,横向变化大,因此储层分布规模预测难度大,国内外还没有成熟的方法。目前火山岩储层研究主要强调岩石类型和岩相,对火山岩储层的微观研究主要集中于岩石类型和孔隙类型、孔隙成因(蒙启安等,2002;陈庆春等,2003;刘万洙等,2003;王璞珺等,2003a、b;侯英姿,2003;刘为付,2004;刘为付等,2004;吴磊等,2005)及火山岩储层分类。但对火山岩储层孔隙演化过程、储层演化对储层的影响、微孔隙的作用、有利储层预测及孔隙量化的研究较少。ГНИДЕЦ等(1991)通过对平原克里米亚凝灰岩进行研究发现,天然气和凝析油产量高与火山岩储层裂隙-孔隙及裂隙有关。火山岩的埋藏深度一般超过4500m,其储集空间的形成受火山岩形成条件及次生变化的控制,火山岩埋藏深度对其物性影响要明显低于砂岩。

一、国外火山岩储层研究现状

通过 DAKS（全球大油气田类比决策专家知识库系统）类比，检索出 8 个火山岩油气藏（表 1-1），分布于 6 个国家，分别为巴西、中国、格鲁吉亚、印度尼西亚、日本、美国；5 种盆地类型，包括上覆于早期裂谷系统上盆地、无断块作用的深埋地堑斜坡带、以断块作用为主的盆地、大盆地型、陆壳或过渡壳上的与 B 型俯冲带有关的弧后盆地，其中以后者居多。时代为新近纪、古近纪、白垩纪，多属于古近纪。除日本的 Niigata 盆地 Minaminagaoka 气田外，均产油。储层深度从 500m 到 4000m 均有分布，多分布于 1500 ~ 2000m 和 2500 ~ 3000m。构造体系（A 型—F 型）和圈闭类型多样。储层类型均属裂缝型。孔隙类型主要有裂缝、晶间孔、微缝、微孔和晶洞。除微孔外，均对孔隙度有同等贡献。孔隙度范围为 2% ~ 18%，渗透率范围为 0.1 ~ 10mD^①。孔隙度和深度没有相关关系。

表 1-1 世界裂缝型火山岩油气田储层参数对比（数据来源于 DAKS 系统）

项目	巴西	美国		印度尼西亚	日本		格鲁吉亚	中国
盆地	Campos	Defiance Uplift	Great	Java Northwest	Niigata		Kartli	渤海
油田	Badejo	Dineh-Bi-Keyah	Eagle Springs	Jatibarang	Minaminagaoka	Mitsuke	Samgori	枣园
储层单元	Cabiunasab	—	Garrett Ranch	Jatibarang	Nanatani		—	风化店
时代	早白垩世	古近纪	古近纪	古近纪	新近纪		古近纪	中生代
油气类型	中-重油	轻质油	油	轻质油	凝析气	油、气	轻质油、气	轻质油
盆地类型	被动大陆边缘裂谷	断块	裂谷	弧后	弧后		断块	弧后
圈闭类型	沉积-成岩	地层	构造	倾斜断块	断块，潜山		逆冲背斜	潜山
埋深/m	2920	1097	290	1840	3800 ~ 5000	1500 ~ 2000	1750	3000
储层总厚度/m	75	9 ~ 53	309	>1124	380 ~ 1000		250	50 ~ 250
主要岩石类型	裂缝玄武岩	裂缝正长岩	裂缝熔结凝灰岩	凝灰岩	流纹岩	英安岩；英安质凝灰角砾岩	凝灰岩	安山岩
孔隙类型	裂缝、气孔	晶间孔、气孔、裂缝	洞、裂缝	晶间孔、裂缝	晶间孔、气孔、裂缝		微孔和晶间孔	裂缝，原生/次生粒间/内孔
孔隙度/%	10 ~ 15	5 ~ 17	13.5	2；16 ~ 25	15 ~ 20	—	10	1.4 ~ 12.7
渗透率/mD	1000	0.01 ~ 25	10	—	0.1 ~ 10	—	0.1	3.59

① 1mD=10⁻³μm²

上述 8 个油气田的储层参数对比结果见表 1-1, 储层基本特征分述如下:

巴西 Campos 盆地 Badejo 海上油田, 盆地类型属于被动大陆边缘裂谷型储层, 形成于早白垩世。主要为裂缝型储层, 由于裂谷期降温 and 构造应力的综合影响形成。含油高度超过 150 ~ 185m。主要岩石类型为裂缝玄武岩。主要的储集空间类型为裂缝、气孔。平均孔隙度 10% ~ 15%, 平均渗透率 1000mD。

美国 Eagle Springs 油田, 储层类型为裂缝型火山岩储层。从渐新世火山岩中产油已经产了 40 多年, 盆地类型为裂谷盆地, 圈闭类型为构造圈闭。主要岩石类型为熔结凝灰岩。储层埋深 1097m。主要的储集空间类型为裂缝、洞。平均孔隙度 13.5%, 平均渗透率 10mD。最终可采储量超过 6 百万桶, 目前累积产量 4.08 百万桶。

印度尼西亚 NW Java 盆地 Jatibarang 油田, 主要岩石类型是长英质凝灰岩。基质孔隙度 2%, 裂缝空间达到 16% ~ 25%, 储集空间的形成部分是由于热液演化、风化和裂缝。构造背景属弧后盆地, 储层埋深 1840m。储层地质年代为古近纪, 平均储层厚度 355m。裂缝成因为拉张型断裂和褶皱, 主要孔隙类型为晶间孔和裂缝。

格鲁吉亚 Kartli 盆地最大油田 Samgori 油田, 到 1990 年共产油 1.66 亿桶, 储层岩石是始新世凝灰岩, 这些火山岩沉积在欧亚板块南部边缘岛弧背景上, 主要与中新世到上新世晚阿尔卑斯造山运动有关, 以产油为主。圈闭类型为逆冲背斜。油的分布主要受裂缝控制。主要岩石类型为凝灰岩, 平均储层厚度 250m。主要孔隙类型有微孔和晶间孔, 平均孔隙度 10%, 平均渗透率 0.1mD。

日本 Niigata 盆地位于 Honshu 岛西北海岸的弧后盆地, 是日本最重要的含油气盆地, 含有 12 个以上的油田。其中 Minaminagaoka 油田为火山岩储层。产层顶部深度 1500 ~ 3800m, 储层总厚度 380 ~ 1000m。气和凝析油位于源自早中新世至中新世深层的流纹岩和英安岩火山岩中。碱性、中性和酸性的火山岩在海底环境下沉积。

Minaminagaoka 油田 Nanatani 地层火山岩储层主要由流纹岩、火山玻璃碎块和凝灰岩构成, 也含一些安山岩和玄武质火山岩。孔隙类型有热液蚀变形成的孔洞, 次生矿物间的微孔隙和裂缝。火山岩储层受热液蚀变作用, 对孔隙影响具有双重性, 一方面沿自生矿物晶体间形成几十个微米大小的微孔; 一方面因含较高自生黏土类(如绢云母)而堵塞孔隙。裂缝成因为海底冷凝和构造应力。

孔隙度和渗透率在 Minaminagaoka 油田分别为 15% ~ 20%, 0.1 ~ 10mD; 流纹岩熔岩流形成了火山岩复合体; 原生及次生孔隙(洞)成为主要的孔隙, 其微裂隙主要起渗透作用。而在 MITSUKE 气田, 在熔岩穹隆中心, 大型原生孔洞和裂隙成为有效孔隙。发育大型孔洞和裂缝甚至不能进行试验的岩心, 推测其渗透率更高。对储集层有利的岩石为枕状角砾岩和熔岩。因此预测好储层和高产能带的发育方向, 研究火山岩岩相是必要的。

与大庆气田地地质背景相类比, 类似勘探深度 2000 ~ 3000m 的为巴西海上油田和中国渤海湾, 但盆地类型不相同。在火山岩储层岩石类型上, 与我们的认识相同, 即各种岩石类型都可成为储层。除其强调的裂缝储层类型外, 我们在孔隙类型的划分上更为细致。孔隙度和深度没有相关关系。

另外, 通过网络及期刊检索, 主要在 AAPG 和 SPE 上检索出英文文献 16 篇, 其中

相关性较强的 5 篇（Tomohisa and Kozo, 2000; Ukai et al., 1972; Abbaszadeh and Corbett, 2001; Yuan and Ran, 2006; Dutton and Hamlin, 1991）的对比分析总结见表 1-2。火山岩油气田主要为中国辽河盆地兴隆台油田和山东胜利油田，日本的油气田。

表 1-2 典型火山岩油气田对比（数据来源于 KID 系统）

序号	题目	发表时间	作者	K	I	D
1	应用岩石学方法建立非均质火山岩储层的地质模型	SPE 2000	Tomohisa Kawamoto	原生火山岩体识别和确定次生变化来构建储层地质模型	斜长石类型划分火山岩体模式图	斜长石折射率数据
2	兴隆台潜山变质岩和火山岩储层质量的控制	AAPG 2005	Jinglan Luo, Sadoon Morad	储层主控因素为埋藏热演化成岩作用	火山喷发旋回柱状图；岩相图；TAS；显微照片；埋藏热演化成岩史；深埋中的溶解和近地表淋滤改善了渗透性	薄片；测井；岩心分析
3	中国裂缝型火山岩储层综合模型研究	SPE 2001	Maghssood Abbaszadeh, Chip Corbett	动力流模拟和储层预测模型；随机裂缝网络模型	岩石类型资料、岩石物性、裂缝分析。胜利油田裂缝型火山岩储层由裂缝玄武岩、凝灰岩和侵入成因的裂缝辉绿岩组成。平面上基质孔渗均很低；天然裂缝是流体主要渗流通道	529 线 3D 地震数据；13 口井岩石物理分析；FMI 裂缝测井；PVT 样品分析；岩心分析；基质毛管压力；产能数据
4	深层裂缝型火山岩气藏储层描述	2006, Beijing	Qiquan Ran, Shiyi Yuan	储层评价地质模型	岩石类型岩相划分；喷发阶段划分和地层对比；裂缝识别与评价；火山岩体识别和储层预测；双孔介质火山岩测井解释；气水层辨别	岩心分析；常量化学元素分析；测井、地震资料
5	火山岩储层压力解释岩相分析模型	SPE 2005	T. Yamada, Y. Okano	火山岩体内部网络形成归因于压力下降，气泡溢出	表层淬火和冷凝收缩产生裂缝系统；近地表岩体的角砾化使岩石碎裂	薄片鉴定；测井；岩心分析

综观世界上不同国家的火成岩油气藏发育状况，它们具有分布广但规模较小、初始产量高但递减快、储集类型多样和成藏条件复杂等特点。国外火山岩油气藏储集层时代新，从已发现的火山岩储集层时代统计，在新近系、古近系、白垩系发现的火山岩油气藏数量多，在侏罗系及以前地层中发现的火山岩油气藏较少。勘探深度一般从几百米到 2000m 左右，深于 3000m 的较少。

在技术手段上大同小异，即综合应用地震、测井、薄片鉴定、岩心物理分析、化学元素分析、基质毛管压力和产能数据。国外地质学家一方面对火山岩储层的研究一般从

火山岩岩相入手,研究火山岩的孔隙类型及其分布,进而揭示火山岩油气藏的控制因素,积累了一定的经验,如国外较著名的美国亚利桑那州正长岩油气藏、格鲁吉亚凝灰岩油气藏、印度尼西亚安山岩油气藏、日本流纹岩油气藏等;另一方面对储层特征研究更加侧重微观领域,例如日本南长冈气田依据六类斜长石将流纹岩储层分成六个段。但在火山岩储层形成所经历的各种地质作用和对储层演化控制因素分析、储层预测方面相关报道较为少见。目前全球火山岩油气藏探明油气储量仅占总探明油气储量的1%左右。地质学中火山岩的研究历史很长,但火山岩油气藏研究还处于起步阶段。

二、国内火山岩储层研究现状

我国的火山岩储层研究有约50年的历史,主要分布在侏罗系—古近系地层中,如渤海湾盆地、松辽盆地、二连盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、四川盆地等11个盆地。

近十余年来火山岩油气藏在我国各大盆地内不断被发现,在渤海湾盆地、准噶尔盆地和松辽盆地火山岩油气藏的勘探与研究方面均有突破,显示了我国火山岩油气藏油气勘探和开发的巨大潜力,火山岩油气藏的勘探和开发已成为油气储量增长的一个突破点。目前,我国已建成一大批具有一定规模、一定储量和产量的以火山岩储层为主的油气田。

现选取古生代和中新生代的具有代表性的火山岩研究情况进行论述。

1. 辽河油田火山岩储层特征研究

辽河断陷火山岩普遍分布于中生界和新生界(古近系房身泡组、沙河街组和东营组)(魏喜等,2004)。对火山岩储层特征的研究主要有以下几个方面。

1) 岩石类型岩相特征

辽河油田欧利坨子地区的中生界火山岩为安山质,新生界除古近系沙河街组三段发现粗面质外,均为玄武质火山岩。主要的岩石类型为粗面岩、玄武岩、角砾岩、熔结凝灰岩和凝灰岩(崔勇等,2000;蔡国钢等,2000;魏喜等,2001,2004;高山林等,2001;张洪等,2002;郭克园等,2002;马志宏,2003;张兴华,2003)。

辽河油田黄沙坨地区火山岩熔岩类可见粗面岩、粗安岩、玄武岩、玄武安山岩等;火山碎屑岩类,可见火山角砾岩、凝灰岩等。其中,粗面岩为本区的含油气储层(马志宏,2003)。

辽河油田牛心坨地区火山熔岩主要为流纹岩、安山岩和粗安岩,其中流纹岩为油气的主要储层,火山碎屑岩主要为火山角砾岩和凝灰岩(幕德梁,2007)。

张兴华(2003)将欧利坨地区火山岩岩相分为爆发相、溢流相、侵出相和火山岩沉积相。不同相带具有不同的火山岩组合,如火山口周围多富集火山集块岩和火山角砾岩,潜火山岩一般较熔岩结晶程度高,熔岩内带较外带结晶程度高,且靠近边缘带气孔往往较发育等(魏喜等,2004)。

2) 储集空间特征

欧利坨子地区火山岩的储集空间主要是砾间孔、气孔、构造-溶蚀孔缝和晶间微孔等(蔡国钢等, 2000; 魏喜等, 2001; 高山林等, 2001; 张洪等, 2002; 崔勇等, 2000; 郭克园等, 2002; 马志宏, 2003), 其最有利的储集空间组合为: 砾间孔+溶孔+裂缝(魏喜等, 2001)。蔡国钢等(2000)通过对该区粗面岩的储集空间类型研究, 将其划分为裂缝、溶孔(洞)、气孔、斑晶裂纹和晶间孔等5种类型。

黄沙坨地区火山岩的储集空间主要为原生的气孔、晶间孔、杏仁体内孔、冷凝收缩缝、收缩节理和砾间裂缝等, 次生的斑晶溶蚀孔、基质溶蚀孔、构造裂缝和风化裂缝等类型(马志宏, 2003)。

牛心坨地区火山岩原生储集空间不发育, 而主要发育次生储集空间, 如构造裂缝、长石溶蚀孔、晶(粒)间溶孔及碳酸型的溶蚀(幕德梁, 2007)。

3) 储集空间演化特征

在埋藏成岩方面, 致密的熔岩、潜火山岩和凝灰岩主要发生蚀变和脱玻化作用, 产生一定微孔。火山角砾岩和气孔熔岩除发生蚀变和脱玻化作用外, 普遍发生溶蚀作用, 形成晶屑或斑晶溶孔、基质溶孔。这些孔隙的形成大大地改善了火山岩储层的储集条件。同时, 溶蚀作用是一个孔隙再分配的过程, 这种再分配改善了储层介质的渗流条件(魏喜等, 2004)。

对火山岩油气储集层, 除进行元素化学成分和岩石成因演化等基础地质研究外, 储层成因类型、储集空间特征和形成演化研究对正确评价储层的储集性能至关重要。不同成因类型的火山岩储集性能具有明显的差异, 主要表现在以下几个方面:

(1) 原始特征方面, 所有火山岩均具有晶间微孔和微缝, 但粗粒的火山碎屑岩具有一定的原始砾间孔隙, 气孔熔岩具有一定的气孔。这些孔隙不仅可以直接作为储集空间, 而且为后期储层改造奠定了基础。

(2) 在埋藏成岩方面, 致密的熔岩、潜火山岩和凝灰岩主要发生蚀变和脱玻化作用, 产生一定微孔。火山角砾岩和气孔熔岩除发生蚀变和脱玻化作用外, 普遍发生溶蚀作用, 形成晶屑或斑晶溶孔、基质溶孔。这些孔隙的形成大大地改善了火山岩储层的储集和渗流条件。

2. 胜利油田火山岩储层特征研究

1) 岩石类型岩相特征

济阳盆地内火山岩类的时代为晚侏罗世—早白垩世, 以早白垩世为主。火山岩类分为石英拉斑玄武岩、橄榄拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩3类(赫英等, 2001)。

东营凹陷火山岩储层主要为玄武岩, 依据在测井曲线上的表现将玄武岩分为致密玄武岩和气孔玄武岩(毛振强、陈凤莲, 2005)。

惠民凹陷临商地区火山岩储层主要为火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩两大类, 火山碎

屑岩包括火山角砾岩、火山凝灰岩及熔结角砾岩等；火山碎屑沉积岩主要有凝灰质细砂岩，凝灰质粉砂岩及凝灰质泥岩（王金友等，2003）。

商河地区沙一段火山岩由多期水下火山喷发作用形成，岩石类型主要有火山角砾岩、凝灰岩、沉积火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩类（王静等，2008）。

根据火山活动环境、火山作用机理、产出状态和形态等因素，惠民凹陷临商地区火山岩岩相主要划分为爆发塌落亚相与水下火山碎屑流2个相带（王金友等，2003）。

根据火山岩的岩石类型、结构、构造等特征及其在纵横向上的变化，结合地震、测井、岩心等资料，商河地区沙一段火山岩相划分为：火山通道亚相、近火山口亚相、远火山口亚相和火山沉积亚相（王静等，2008）。

2) 储集空间特征

毛振强和陈凤莲（2005）将东营凹陷高青油田火山岩储层的储集空间划分为孔隙和裂缝，其中孔隙以气孔、长石晶内溶孔为主，裂缝则主要是玄武岩发育的柱状节理与晚期构造缝。

惠民凹陷临商地区火山岩储集空间按其成因分为原生的气孔、粒间孔和次生的溶蚀孔、构造缝和成岩收缩缝等（王金友等，2003）。

商河地区沙一段火成岩储集空间类型多样，主要有原生的残余气孔、角砾间孔和次生溶孔、构造裂缝和收缩裂缝等，其中沙一段爆发相的火山角砾岩以原生的残余气孔、角砾间孔为主（王静等，2008）。

3. 塔河油田火山岩储层特征研究

1) 岩石类型岩相特征

塔里木盆地塔河地区火山岩主要形成于二叠纪，岩石类型主要有5类，分别为熔岩类、火山碎屑熔岩类、火山碎屑岩类、沉积火山碎屑岩类和火山碎屑沉积岩类，其中以熔岩类为主，其次为火山碎屑岩（杨金龙等，2004；罗静兰等，2006）。

该区火山岩相可划分出3个相带，即火山爆发相、火山溢流相和火山沉积相（罗静兰等，2006）。

2) 储集空间特征

杨金龙等（2004）将塔河地区火山岩的储集空间划分为两大类11亚类，为原生孔隙（包括气孔、砾间孔缝、晶间孔缝、冷凝收缩缝和晶内孔缝）和次生孔隙（包括粒（砾）间（内）溶孔、斑晶内溶孔、基质（或填隙物）内溶孔、溶蚀缝、构造缝和风化缝）。

4. 克拉玛依油田火山岩储层特征研究

1) 岩石类型岩相特征

克拉玛依油田石炭系火山岩储层岩石类型以安山岩、玄武岩、凝灰岩和火山角砾岩为主（徐春华等，2007）。