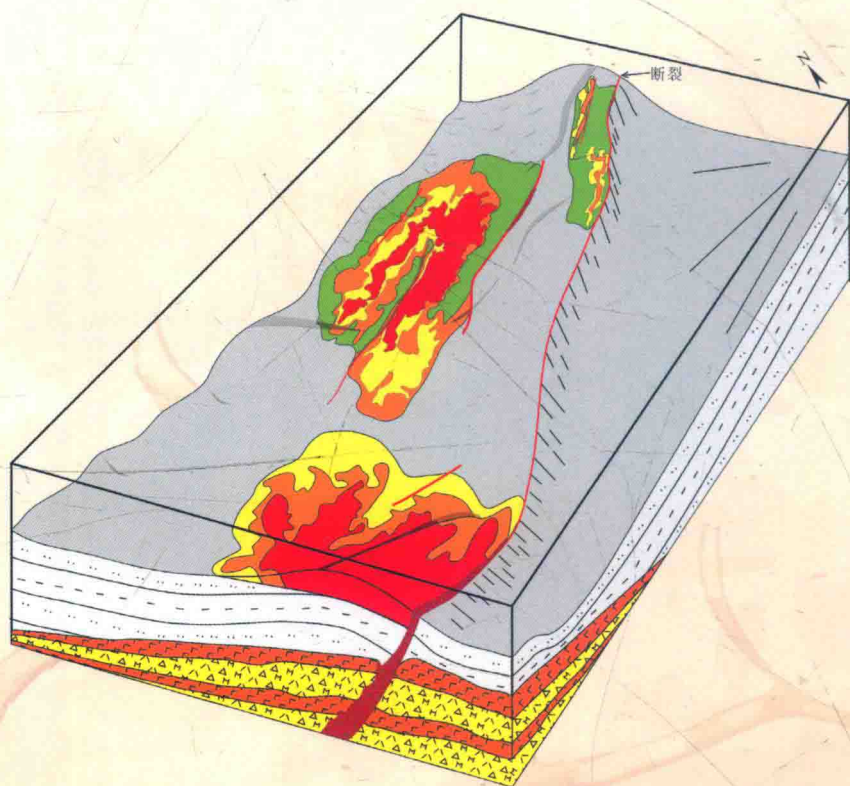


世界典型 火成岩油气藏储层

**TYPICAL OIL & GAS RESERVOIRS OF
IGNEOUS ROCKS IN THE WORLD**

© 卫平生 潘建国 谭开俊 张虎权 曲永强 等编著



石油工业出版社

世界典型火成岩油气藏储层

卫平生 潘建国 谭开俊 张虎权 曲永强 等编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书对世界上发现的典型火成岩油气藏储层进行了分析。阐述了火成岩形成及储层分类,总结了喷出岩原生孔隙型储层、喷出岩次生孔隙型储层、侵入岩次生孔隙型储层和火成岩裂缝型储层的基本特征。选取了13个典型火成岩油气藏进行解剖,阐述了不同类型储层的测井响应特征、地震响应特征、岩性岩相特征、物性特征,建立了相应的储层地质模型。剖析了不同类型储层的成因机理和有利储层分布规律,分析了油气藏特征及主控因素。

本书可供从事油气地质勘探和石油地质综合研究的专业人员学习参考,也可作为高等院校、科研院所相关专业本科生和研究生的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

世界典型火成岩油气藏储层/卫平生等编著.

北京:石油工业出版社,2015.5

ISBN 978-7-5183-0631-2

I. 世...

II. 卫...

III. 火成岩油气藏-储层

IV. TE34

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第013512号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523533 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:14.5

字数:370千字

定价:98.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前言

随着世界油气需求的不断增长和常规油气资源的迅速减少,具有很大资源潜力和发展空间的火成岩油气藏越来越受到各个国家和石油公司的重视。

早在 19 世纪末 20 世纪初,日本、苏联、越南、印度尼西亚等国先后发现了吉井—东柏峙流纹岩油气藏、萨姆戈里帕塔尔租里凝灰岩油气藏、白虎花岗岩裂缝油藏、贾蒂巴朗安山岩油气藏等火成岩油气藏。20 世纪 70 年代末期以来,我国先后在新疆、大港、胜利、辽河、华北等油田发现克拉玛依油田玄武岩油气藏、黄骅凹陷安山岩油气藏、济阳拗陷商 741 辉绿岩油气藏、辽河拗陷粗面岩油气藏、二连盆地阿北安山岩油气藏等火成岩油气藏。一百多年来,火成岩油气藏勘探经历了偶然发现、针对性勘探和积极勘探三个发展阶段,发现了 300 多个火成岩油气藏,已经成为油气储量增长新领域。

我国火成岩分布面积广,预测有利勘探面积为 $36 \times 10^4 \text{ km}^2$,初步预测火成岩总资源量 $60 \times 10^8 \text{ t}$ 以上,累计探明储量已达数亿吨油和万亿立方米以上天然气。近年来,大庆油田徐深、辽河油田龙湾筒、吐哈油田三塘湖、冀东油田南堡、新疆油田克拉美丽山前等地区又在火成岩中获得新的油气突破。显然,火成岩油气藏已经成为我国油气增储上产的重要领域。随着我国火成岩油气藏的不断发现和开发,火成岩油气藏的基础研究和勘探开发方法技术取得了很大的进步。然而,由于火成岩岩相、岩性、厚度、物性变化快,火成岩油气藏复杂且隐蔽性强,火成岩储层成因及分布的控制因素多变而研究薄弱等原因,往往导致火成岩油气藏勘探效率不高、经常失利。另一方面,由于火成岩储层极其复杂,非均质性极强,准确的油藏建模非常困难,且单井产量差别很大,产量递减快,开发方案编制难,使得火成岩油气藏的开发效率低下。这些问题存在的原因在很大程度上是目前对火成岩油气藏特征的认识还不够深入和统一,没有形成系统、完善和有效的火成岩油气藏勘探开发理论。深入解剖世界上已发现的典型火成岩油气藏或许对我们深入认识火成岩油气藏形成规律,提高火成岩油气藏勘探开发效率有所裨益。

火成岩油气藏勘探开发的关键是火成岩储层研究。火成岩储层的形成与分布既受火成岩岩性、岩相控制,也受古地形、古环境、构造作用、成岩作用和风化作用等因素影响。由此决定了火成岩储层研究必须是系统的综合研究,要综合利用地质、物探、钻井、测试等资料及多种实验手段开展研究工作。笔者近年来致力于地震储层学研究,其中的“四步法”是火成岩储层研究的有效方法,包括储层地质研究、储层地震实验及技术方法研究、储层地震地质解译及表征、储层综合评价与建模。“四步法”是一个从地质出发、通过地震与地质的相互融合再回归地质的完整过程,充分体现了地震与地质的有机结合,实现了由“点”到“面”再到“体”的储层表征与建模。储层地质研究是地震储层学研究的地质基础;地震岩石物理实验及技术方法研究是地震储层学的实验基础和关键技术;储集体的表征与建模是地震储层学研究的核心;储层综合评价与建模(包括地震模型)是地震储层学研究的成果体现。本书系统概述了全球火成岩形成的大地构造环境与分布、岩浆作用机制及产物、火成岩分类、火成岩岩相类型及岩相组合,提出了火成岩储层双成因分类方案,总结了不同类型的火成岩储层基本特征、储层分布及影响因素。在此基础上,以地震储层学研究方法为指导思

想,从油田地质背景、储层岩相特征、储层岩性及物性特征和油藏特征等方面入手,解剖了全球典型火成岩油气藏的储层特征和油气藏特征,建立了不同类型的火成岩储层发育模式和油气藏成藏模式。编著本书的目的就是全面分析、系统总结世界上已发现的典型火成岩油气藏的储层特征及其油气藏分布规律,建立典型火成岩油气藏的储层模型及油藏地质模式,为火成岩储集体的表征与建模,以及火成岩储层综合评价与建模提供初始模型,同时也为火成岩地震储层学学科建设,以及火成岩油气藏勘探开发理论的形成奠定基础。本书是地震储层学系列丛书之一。

本书绪论概述了国内外火成岩油气藏勘探开发现状和研究进展,由卫平生教授、潘建国博士、谭开俊博士编写;第一章论述了火成岩形成机制和火成岩储层双成因分类,由卫平生教授、谭开俊博士、曲永强博士、滕团余高级工程师编写;第二章阐述了喷出岩原生孔隙型储层基本特征及典型实例,由潘建国博士、曲永强博士、许多年高级工程师编写;第三章阐述了喷出岩次生孔隙型储层基本地质特征及典型实例,由谭开俊博士、曲永强博士、王国栋博士、黄林军高级工程师编写;第四章阐述了侵入岩次生孔隙型储层基本地质特征及典型实例,由张虎权博士、卫平生教授、王斌高级工程师编写;第五章阐述了火成岩裂缝型储层基本地质特征及典型实例,由潘建国博士、谭开俊博士、尹路高级工程师、陈永波高级工程师编写。参加本书编写工作的还有郭璇高级工程师、陈雪珍工程师、黄玉工程师、李德滋工程师等。全书由卫平生、潘建国、谭开俊、曲永强统稿,卫平生定稿。

在本书编写过程中,中国石油勘探开发研究院西北分院、中国石油大学(华东),以及相关油田单位给予了大力支持与帮助;西北分院院长杨杰教授对本书的编写给予了指导并提出了具体修改意见;中国石油大学(华东)王伟锋教授及其研究团队做了大量的前期工作。在此对他们表示衷心的感谢。由于火成岩储层的复杂性,加之笔者水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一节 国内外火成岩油气藏勘探开发现状	(1)
第二节 国内外火成岩油气藏研究进展	(4)
第三节 国内外火成岩储层研究进展	(6)
第一章 火成岩形成及储层分类	(8)
第一节 火成岩形成的大地构造环境与分布	(8)
第二节 岩浆作用机制及产物	(10)
第三节 火成岩分类	(27)
第四节 火成岩岩相类型及岩相组合	(32)
第五节 火成岩储层双成因分类	(38)
第二章 喷出岩原生孔隙型储层	(41)
第一节 储层基本特征	(41)
第二节 济阳坳陷商 741 井区中心式喷出岩原生孔隙型储层	(51)
第三节 准噶尔盆地夏 72 井区裂隙式喷出岩原生孔隙型储层	(63)
第三章 喷出岩次生孔隙型储层	(75)
第一节 储层基本特征	(75)
第二节 克拉美丽气田滴西地区中心式喷出岩风化淋滤型储层	(85)
第三节 三塘湖盆地牛东油田裂隙式喷出岩风化淋滤型储层	(98)
第四节 徐深气田中心式喷出岩埋藏溶蚀型储层	(112)
第五节 辽河坳陷欧利坨子油田裂隙式喷出岩埋藏溶蚀型储层	(123)
第四章 侵入岩次生孔隙型储层	(135)
第一节 储层基本特征	(135)
第二节 胜利油田罗 151 井区侵入岩热液蚀变型储层	(145)
第三节 辽河坳陷兴隆台气田侵入岩风化淋滤型储层	(158)
第五章 火成岩裂缝型储层	(165)
第一节 储层基本特征	(165)
第二节 日本新潟盆地中心式喷出岩原生裂缝型储层	(175)
第三节 阿根廷 Cupen Mahuida 气田裂隙式喷出岩原生裂缝储层	(183)
第四节 克拉玛依油田九区中心式喷出岩次生裂缝型储层	(188)
第五节 印度尼西亚贾蒂巴朗油田裂隙式喷出岩次生裂缝型储层	(197)
第六节 越南白虎油田侵入岩次生裂缝型储层	(202)
参考文献	(214)

绪 论

第一节 国内外火成岩油气藏勘探开发现状

一、火成岩油气藏勘探现状

(一) 火成岩油气资源及分布

火成岩油气藏形成的大地构造环境主要以大陆边缘盆地为主，内陆裂谷盆地见少量分布（江怀友，2011）。近年来，火成岩油气藏相继在多个国家被发现（Hunter, 1979; Seemann, 1984; Hawlander, 1990; Mark, 1991）。环太平洋地区是火成岩油气藏分布的主要地区，从北美的美国、墨西哥、古巴到南美的委内瑞拉、巴西、阿根廷，一直到中国、日本、越南、印度尼西亚，呈环带分布。另一个主要分布地区是欧洲的格鲁吉亚、阿塞拜疆、乌克兰、俄罗斯、罗马尼亚、南斯拉夫、匈牙利，北非的埃及、利比亚、摩洛哥到中非的安哥拉（图1）。

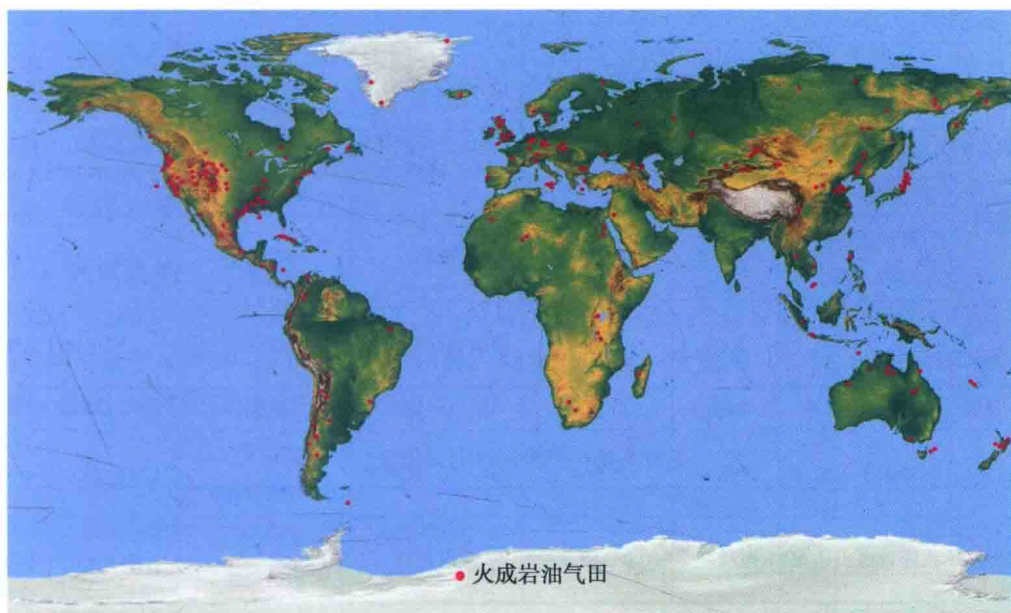


图1 世界火成岩油气田分布（据 Schutter 修改，2003）

火成岩油气藏十分复杂，目前在全球范围内已发现 300 余个与火成岩有关的油气藏或油气显示，其中探明储量的火成岩油气藏共有 169 个（邹才能，2008；江怀友，2011），探明的石油地质储量达 $18.38 \times 10^8 \text{t}$ ，占全球总的油气地质探明储量的 1% 左右。全球火成岩油气地质储量主要集中在俄罗斯、美国、古巴、印度尼西亚、中国，以及东欧的一些国家。多数分布在新地层中，老地层中少见（张子枢，1994）（表1）。

表 1 全球火成岩大油气田储量统计表

国家或地区	油气藏名称	发现年份	层 位	储层岩性	储集空间类型	储 量
日本	见附	1958 年	新近系	凝灰角砾岩、 英安熔岩	原生裂缝	$169.9 \times 10^4 \text{ t}$ (油) $5.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
	吉井—东柏崎	1968 年	新近系	凝灰角砾岩、 流纹熔岩	原生裂缝、 构造裂缝	$259.3 \times 10^4 \text{ t}$ (油) $118 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
	南长冈—片贝	1978 年	新近系	凝灰角砾岩、 安山岩	构造裂缝、 溶蚀孔	$9.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
印度尼西亚	贾蒂巴朗	1969 年	古近系	安山岩、 凝灰角砾岩	次生裂缝	$16400 \times 10^4 \text{ t}$ (油) $764 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
越南	白虎	1987 年	新近系	花岗岩、 花刚闪长岩	次生裂缝	$60000 \times 10^4 \text{ t}$ (油)
纳米比亚	古杜	1974 年	下白垩统	玄武岩	原生裂缝	$849 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
阿根廷	德玛—蒙丹图	1960 年	三叠系	蚀变流纹岩、 凝灰岩	溶蚀孔、 构造裂缝	$326.1 \times 10^4 \text{ t}$ (油)
澳大利亚	斯科特矿脉	1971 年	晚—中侏罗系	溢流玄武岩	溶蚀孔	$1795 \times 10^4 \text{ t}$ (油) $3877 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
巴西	乌鲁库区域	1982 年	白垩系	辉绿岩	次生裂缝	$1685 \times 10^4 \text{ t}$ (油) $330 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
美国	丹比凯亚	1969 年	古近系和新近系	正长岩、粗面岩	原生孔隙、 构造裂缝	$399 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
济阳拗陷	商河油田商 741 井区	1984 年	古近系	火山碎屑岩	原生孔隙、 构造裂缝	$3000 \times 10^4 \text{ t}$ (油)
	胜利油田罗 151 井区	1974 年	古近系	辉绿岩	溶蚀孔	$6900 \times 10^4 \text{ t}$ (油)
准噶尔盆地 西北缘	夏 72 井区	2004	二叠系	熔结角砾凝灰岩	原生孔隙	$1549 \times 10^4 \text{ t}$ (油)
准噶尔盆地	克拉美丽气田	2006	石炭系	火山碎屑岩	溶蚀孔	$853.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ (气)
吐哈盆地	三塘湖牛东地区	1996 年	二叠系	安山岩、玄武岩	溶蚀孔、 构造裂缝	$16644 \times 10^4 \text{ t}$ (油)
辽河盆地	兴隆台潜山油藏	1972 年	上侏罗统	花岗斑岩	溶蚀缝、 构造裂缝	$6442 \times 10^4 \text{ t}$ (油)

(二) 火成岩油气藏勘探特点

自 1887 年在美国加利福尼亚州的圣华金盆地发现了世界上第一个火成岩油气藏之后，国内外相继发现了众多火成岩油气藏。国内外火成岩油气勘探开发大致经历了早期偶然发现阶段、中期针对性勘探阶段和现今积极勘探阶段。(1) 在早期偶然发现阶段，大多数火成岩油气藏都是在浅层勘探其他油藏时偶然发现的，认为其不具有经济价值，因此未进行评价研究和关注。(2) 在中期针对性勘探阶段，随着早期火成岩油气的不断偶然发现，逐渐认识到火成岩中聚集油气并非偶然现象，开始给予一定重视，并在局部地区有目的地进行了针

对性勘探。1953 年，委内瑞拉专门针对火成岩进行勘探，发现了拉帕斯油田。这一发现标志着对火成岩油藏的认识上升到一个新的水平。(3) 在现今积极勘探阶段，国内外十分重视火成岩油气成藏条件综合研究，充分利用非地震勘探技术 (Mitsuhata, 1999)、地震勘探技术、测井技术和地球物理综合方法开展火成岩储层预测 (罗静兰, 2003)，并不断探索适应于火成岩的钻井技术、完井技术和压裂技术 (江怀友, 2011)。通过在全球范围内对火成岩油气藏广泛积极的勘探，相继在美国、墨西哥、古巴、委内瑞拉、阿根廷、俄罗斯、日本、印度尼西亚、越南、中国等国家发现了多个火成岩油气藏 (田)。

(三) 火成岩油气藏勘探存在的主要问题及发展趋势

全球火成岩分布广泛，剩余资源丰富，勘探潜力较大。近年来，火成岩油气勘探不断有新发现，勘探领域不断扩展，已逐渐成为各大石油公司不容忽视的勘探目标和油气储量的增长点。如何进一步扩大规模，找到更多的火成岩油气储量成为摆在我们面前亟须解决的问题。

(1) 火成岩发育区地震资料品质相对较差，应积极开展火成岩地震资料采集、处理技术联合攻关，提高地震资料品质。(2) 火成岩岩性和裂缝预测精度还很低，不能有效刻画有利储层在三维空间的分布特征，应进一步发展并形成一套有效的火成岩地震预测技术。(3) 火成岩岩性复杂、储集空间多样、储层非均质性较强，储层测井资料的一次解释符合率较低，应进一步发展储层参数的测井评价方法和技术。(4) 火成岩储层一般为孔隙和裂缝双重介质储层，储层常常被污染，应大力推广适应于火成岩的欠平衡钻井技术、完井技术和压裂技术，有利于储层保护和提高单井产能。(5) 火成岩成藏规律复杂，勘探理念还很落后，应不断深化火成岩油气成藏认识，转变勘探部署思路，由新地层到老地层、由中浅层到中深层甚至深层发展，由构造高部位向斜坡区甚至凹陷区发展，由单一岩性向多类型岩性发展，由近火山口向远火山口发展，由构造油气藏、构造岩性油气藏向岩性、地层油气藏发展。

二、火成岩油气藏开发现状

(一) 火成岩油气产量

火成岩石油的产量主要集中在古巴、巴西和越南等国家，产量为 1370~3425t · d⁻¹；火成岩天然气的产量主要集中在日本、巴西和澳大利亚等国家，产量为 (1.1~49.5) × 10⁴ m³ · d⁻¹ (邹才能, 2008；江怀友, 2011) (表 2)。

表 2 全球火成岩油气田产量统计表

国家	油气田名称	盆地	流体性质	产 量		储 层 岩 性
				油(t · d ⁻¹)	气(10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)	
古巴	克里斯特	北古巴	油	3425	—	玄武质凝灰岩
巴西	伊加拉佩	亚马逊	油	68~3425	—	辉绿岩
	巴拉博尼塔	巴拉那	气	—	19.98	溢流玄武岩、辉绿岩
越南	15-2-RD 1X	九龙江	油	1370	—	蚀变花岗岩
阿根廷	帕马拉尔戈	诺洛斯特	油、气	550	3.4	气孔玄武岩
格鲁吉亚	萨姆格瑞	—	油	411	—	凝灰岩
美国	西罗泽	北部盆地	油	296	—	玄武岩、集块岩
	利顿泉	得克萨斯	气	—	—	蛇纹岩

续表

国家	油气田名称	盆地	流体性质	产 量		储 层 岩 性
				油($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	气($10^4 \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	
委内瑞拉	托图莫	马拉开波	油	288	—	火山岩
阿根廷	维加格兰德	内乌肯	油、气	224	1.1	裂缝安山岩
新西兰	科拉	塔拉纳基	油	160	—	安山凝灰岩
日本	吉井柏崎	新潟	气	—	49.5	流纹岩
澳大利亚	斯科舍	鲍恩苏拉特	气	—	19.98	碎裂安山岩

(二) 火成岩油气藏开采特点

火成岩油气藏储层的储集空间和渗流方式不同于常规的碎屑岩油气藏，其开发特征具有特殊性（牛宝荣，2008）。（1）产能分布复杂、单井产量差异性大。火成岩油气藏在纵横向含油气不均匀，造成各油气藏的产能差异大，而且同一油气藏内不同部位（甚至相同部位）的生产井产能也相差悬殊。（2）产量递减快，油藏无稳定期。油气井投产产量达到峰值以后，快速进入递减阶段，很少有稳产期。（3）油气井见水后，含水上升快，水驱控制程度低。火成岩油气藏一般发育高角度裂缝，当油气井出现底水锥进开始含水后，含水一般上升很快，不少油气井在1~2年左右的时间内含水就高达80%以上而出现水淹。（4）易发生暴性水淹。由于火成岩的裂缝系统以垂向裂缝为主，水平方向的裂缝相对不发育，因此在开发过程中，不少生产井出现暴性水淹，造成油气井寿命不长。（5）井间干扰严重。火成岩油气藏的裂缝系统保证了火成岩储层具有较高的导流能力，使得不同距离的生产井之间水动力关系密切，因而造成井间干扰，即使井距很大也不例外。

(三) 火成岩油气藏开发存在的主要问题及发展趋势

尽管火成岩油气藏储层非均质较强而原始驱动能量一般较弱，但随着常规油气资源的迅速减少，具有很大资源潜力和发展空间的火成岩油气藏正逐渐成为石油工业上产的一个重要领域，如何延长采油周期、提高采收率成为亟须解决的问题。

（1）火成岩油气藏天然能量不足，产量和压力下降快，应积极借鉴碎屑岩开发的成功经验，开展水驱油（贾俊山，2001；高浩宏，2008）、化学驱油、微生物驱油和聚合物驱油先导试验，及时补充地层能量。（2）火成岩油气藏的采油速度慢、无水采油期短，应实施井网加密调整，采用直井和水平井联合井网。（3）火成岩生产井井底周围渗流能力差、采收率低，应不断完善火成岩油气藏的开发设计，加强火成岩油气藏的综合治理，尤其要加强对火成岩储层破裂机理的认识，探索储层压裂工艺和完井工艺。

第二节 国内外火成岩油气藏研究进展

随着火成岩油气藏的不断发现，其石油地质特征的研究也越来越深入。通过几代人的不懈努力，在岩浆活动与油气成藏关系、火成岩油气藏类型、成藏特征和成藏模式等方面取得了重要进展。

一、火成岩油气藏研究进展

(一) 岩浆活动与油气成藏的关系

在含油气盆地中，由于构造活动的多期性和复杂性，火成岩与碳酸盐岩和沉积岩相互作用

用，必然在一定程度上对各种油气地质条件及油气成藏要素产生不同程度的影响，主要表现在以下几个方面：（1）岩浆活动对烃源岩及其生烃演化的影响主要表现为热作用、催化作用和加氢作用；（2）岩浆活动对储层和圈闭形成的影响；（3）岩浆活动对油气藏运聚、保存的影响。

（二）火成岩油气藏类型及成藏模式

由于火成岩油气藏具有复杂性和特殊性，其油气藏类型划分方案众多。不同的学者根据不同的划分依据，对不同盆地的火成岩油气藏类型进行了划分（刘诗文，2001；张占文，2005；张朝军，2005；肖尚斌，1999；罗静兰，2003；肖敦清，2003；孙粉锦，2010；何登发，2004），大致以构造特征、储层成因、储层岩性和圈闭形态进行分类（表3）。

表3 全球火成岩油气藏分类简表

序号	划分依据	油气藏类型	代表性人物
1	构造特征	背斜、地层不整合、披覆背斜、古潜山、断鼻、断块、地层上倾尖灭	刘诗文
		断鼻油藏、断块油藏、构造—岩性油藏和断层—岩性油藏	张占文
		受断裂控制的断块油气藏、受断层和岩性双因素控制的断裂—岩性油气藏、背斜或断背斜控制的背斜油气藏	张朝军
2	构造特征和储层成因	抬升淋滤、埋藏溶蚀、构造裂缝、火山碎屑岩、火成岩体侧向遮挡、火成岩接触变质、超覆、披覆	肖尚斌
		风化淋滤、构造裂缝、火成岩体侧向遮挡、接触变质、超覆披覆	罗静兰
		残丘型英安流纹岩油藏、逆牵引背斜型玄武岩油藏、断块型辉绿岩油藏、地层型玄武岩油藏、构造背景上的玄武岩岩性油藏、与火成岩相关的油藏	肖敦清
3	圈闭形态和油气藏封盖要素	火成岩断鼻（断背斜）—岩性复合气藏、火成岩岩性气藏、火成岩低幅背斜（地层超覆）—岩性复合气藏、火成岩构造气藏	孙粉锦
		背斜、断背斜、断块、岩性—背斜、地层—岩性、断层—地层—岩性、断背斜—潜山、层状—潜山和断背斜—背斜	何登发

近年来，众多学者对火成岩油气藏的成藏条件也进行了大量的研究，认为临近或位于烃源岩中心、继承性构造、良好的储集性能、优越的输导体系、良好的生储盖组合、构造形成期与油气运移期配置关系良好、火成岩裂缝的主要发育期与重要成油期相近等是火成岩油气藏形成的重要条件（孙红军，2003；邹才能，2008）。在此基础上，一些学者从典型油气藏解剖入手，根据烃源岩的位置、油气来源、储层岩性类型、储集空间类型、油气充注时间，以及油气运移调整方式等因素，初步建立了一些火成岩油气藏类型的成藏模式（操应长，2002；付广，2006；吕希学）（表4）。

二、火成岩油气藏研究存在的主要问题及发展趋势

目前，大多数学者主要是从构造成因、构造位置、圈闭特点、储集空间的性质和类型等特点进行火成岩油气藏的分类，较少考虑到油气藏的形态和油气来源。同时，对火成岩油气藏富集规律、成藏机理的研究十分薄弱，相应的成藏模式的建立也不尽完善，从理论上有效地指导火成岩油气藏勘探与高效开发的作用不强。因此，需要进一步开展典型油气藏解剖，

明确火成岩油气藏的类型及分布特征，总结火成岩油气藏成藏机理，建立典型的油气成藏模式，并进一步剖析烃源岩与火成岩圈闭空间配置关系、构造部位与有利岩性岩相的匹配关系、储层优劣性、盖层保存条件等火成岩油气藏关键富集要素，为高产富集区的选择提供依据。

表 4 全球火成岩油气藏成藏模式简表

序号	模式建立依据	成 藏 模 式	代表性人物
1	烃源岩与火成岩的分布关系、油气的运移和聚集规律	上层运聚型、同层运聚型和下层运聚型	操应长
2	天然气的性质和来源	火成岩烃类气藏形成模式和火成岩 CO ₂ 气藏形成模式	付广
3	火成岩岩性类型、储集空间类型、油气来源、油气运移及充注特点	他源孔隙型火山碎屑岩油藏成藏模式、混源裂缝—孔隙型玄武岩油藏成藏模式、他源裂缝型玄武岩油藏成藏模式、自源裂缝—溶孔型侵入岩岩性油藏成藏模式、他源裂缝型侵入岩构造—岩性油藏成藏模式和自源裂缝型侵入—变质岩油藏成藏模式	吕希学
4	构造演化特征和油气充注期次	受构造活动控制的“两期充注、一期调整”的成藏模式	王振奇

第三节 国内外火成岩储层研究进展

一、火成岩储层研究进展

随着国内外火成岩油气藏不断发现和火成岩储层研究的逐渐深入，火成岩储层作为油气勘探的新领域，已引起了广大学者的极大关注和浓厚兴趣。国外对火成岩储层研究相对较早和较深入的国家是日本，国内最早研究火成岩储层的地区是准噶尔盆地。长期以来，国内外火成岩储层研究多偏重于储层发育特征的描述性研究，储层形成机理方面的研究比较薄弱。20 世纪 80 年代中期以来，由于计算机技术、不同学科之间的交叉和实验分析技术的发展，以及实验模拟设备的不断完善，使火成岩的研究完全脱离了纯岩石学的研究，不断重视含火山盆地的构造环境分析和应用火山地质学理论发展成果，研究火成岩的矿物成分、化学成分、岩石结构、岩石构造、岩石系列类型与演化趋势、火山作用、火成岩相与相模式、火山机构与火山构造等。近年来，随着中国松辽盆地深层和中国北疆地区晚古生代油气藏的不断发现，其相应的研究工作也在不断地深入。一方面从野外露头 and 岩心入手，另一方面更多地重视测井和地震等地球物理资料的应用，借助多种地球物理方法和技术，研究火成岩的岩石学特征、岩相特征、储集空间类型、储层物理性质、火山机构类型、火山喷发类型、火成岩体分布特征、火成岩成岩作用（Davis, 1979; Heiken, 1991）、孔隙和裂缝演化模式、储层控制因素等，以及储层成因模式，并尝试性地开展了储层地质建模研究（卫平生，2010；谭开俊，2010）。

二、火成岩储层研究存在的主要问题及发展趋势

尽管火成岩油气藏具有很大资源潜力和发展空间，但其储层非均质性较强，如何预测有

利储层分布、明确高产富集区块、提高勘探开发效益是迫切需要解决的问题。

(1) 由于研究目的和研究对象不同、环境相带与岩相的命名之间无严格界限、基础地质与石油地质研究存在尺度差异,导致火成岩的岩性岩相划分方案众多、不统一(李军, 2012)。因此,应加强火成岩岩石学和火山地质学的基础研究,从根本上解决火成岩的岩性岩相分类问题,为火成岩储层发育规律和成因机制研究奠定基础。(2) 火成岩储层研究多以描述性研究居多,其形成机理研究很少,还相当薄弱。因此,应加强火成岩成岩作用与次生作用研究,从根本上解决火成岩储层的形成和演化机理问题,特别是裂缝成因机理,从而为储层地震预测奠定基础。(3) 由于火成岩储层十分复杂,且研究时间较短、起步低,目前还没有形成一套有效的火成岩储层预测技术系列。因此,应进一步开展火成岩岩性测井识别技术、非地震综合勘探技术、储层反演技术、地震属性综合预测技术、三维可视化技术、裂缝预测技术和储层建模技术等攻关研究,为储层地震地质解释提供技术手段。(4) 火成岩储层的典型实例解剖较少,未建立完整的火成岩储层地质模型。因此,应采用地震储层学“四步法”的研究思路(卫平生, 2012, 2013, 2014),立足储层的成因机理,从储层岩性岩相特征、储层物性特征和油藏特征等方面入手,开展全球典型火成岩油气藏实例解剖,建立不同类型的火成岩储层地质模型和油藏模型,为储层表征和建模提供初始模型。

总之,火成岩储层研究是系统的综合研究,应充分利用地质、地震、钻井、测试等资料和多种实验手段开展研究工作,促成火成岩储层研究从宏观向微观、从定性到定量、从理论沉积学向应用沉积学、从单学科向多学科协同研究和储层研究智能化方向发展。

第一章 火成岩形成及储层分类

火成岩是地壳中三大岩石类型之一，也是油气的重要储层类型之一。火成岩的形成与分类、火成岩储层类型及其特征是明确和预测火成岩储层分布的基础。

第一节 火成岩形成的大地构造环境与分布

一、火成岩形成的大地构造环境

火成岩在自然界主要以酸性的花岗质侵入岩和基性的玄武质岩浆喷出岩为主，其次为安山岩与碱性岩。其中，花岗岩基本分布于大陆区，玄武岩主要分布在大陆区和大洋区。一般认为，酸性花岗岩浆主要起源于大陆地壳中、下部，基性玄武岩浆起源于上地幔（牛耀龄，2005）。各种与碱性岩有关的碱性岩浆起源于地幔流体的不均匀渗入（杜乐天，1998）。

目前关于火成岩形成的大地构造环境主要有两大理论，即板块构造理论和地幔柱理论。板块构造理论认为，火成岩主要形成于大洋中脊、大洋俯冲带（岛弧、活动大陆边缘）、大陆碰撞带、板内（洋岛、大陆裂谷）等环境（McBirney，2007）。大多数陆地活火山集中在板块汇聚处，大洋岩石圈在这里俯冲进入地幔，比如安德列斯岛弧和印度尼西亚火山活动带。而当两个汇聚板块都是大陆板块时，火山活动很少发生，仅有少数深成岩侵入于碰撞带。但是，还有一些板块内部形成的火成岩喷发快速（喷发时间小于10Ma）、覆盖面积十分巨大且具有较大的厚度，板块理论无法做出合理解释，如印度中西部“德干高原暗色岩”（白垩纪—古近纪溢流玄武岩）、西伯利亚二叠系—三叠系玄武岩、中国西南“峨眉山玄武岩”（二叠系—三叠系玄武岩）。对于这些连续的、体积庞大的由镁铁质火山岩及伴生的侵入岩所构成的岩浆建造，Morgan（1971）提出了“地幔柱”概念加以解释，认为地球内部存在起源于地球核幔边界缓慢上升的细长柱状热物质流（地幔柱）是相对静止的，而在地表表现为热点，从而在局部地区引发大规模的火山喷发活动。

二、火成岩组合及分布

火成岩的形成不仅受到源岩物质支配，还受一定地质构造环境的制约，其岩性组合具有一定规律性。邱家骧（1985）认为火成岩共生组合就是发育于一定的地质构造环境，在时间上与某一期构造运动相伴随，在矿物和化学成分上有某种特征的一套火成岩。邱家骧（1985）根据板块学说与槽台学说，将火成岩划分出16种共生组合：洋中脊玄武岩（深海拉斑玄武岩）、大洋岛屿的火山岩系、细碧岩—角斑岩组合、阿尔卑斯型超镁铁岩组合、同心环状超镁铁质杂岩、岛弧和大陆边缘的安山岩和共生的花岗岩、花岗质杂岩体、前寒武纪斜长岩岩体、大陆拉斑玄武岩组合、大陆碱性玄武岩组合、基性层状侵入体、辉绿岩岩床和岩墙、煌斑岩岩墙、中心侵入杂岩、碳酸岩及镁铁质碱性岩和金伯利岩。

在利用火成岩共生组合来推断其所发育的构造环境的过程中，地球化学方法是最主要的方法。由于火山岩中的玄武岩与侵入岩中的花岗岩在地表分布广泛，常作为地球化学样品被

应用于构造环境分析当中 (Pitcher, 1983)。

邱家骧 (1985) 认为, 钙碱性系列火山岩主要发育在聚敛板块边缘或碰撞带, 拉斑玄武岩系列火山岩除在聚敛板块边缘或碰撞带不发育外, 其他构造环境皆有发育, 碱性岩系列多发育于板块内部 (表 1-1-1)。

表 1-1-1 火山岩系列与板块构造的关系 (Loiselle, 1979)

构造背景	板块边缘		板块内部				
	聚敛	离散	大洋		大陆		
			边缘海盆地	大洋盆 (岛屿及海山)	裂谷系	克拉通	碰撞带
岩浆系列	钙碱性岩	拉斑玄武岩 (低钾)	拉斑玄武岩 (低钾)、钙碱性岩	拉斑玄武岩、 碱性岩	双峰系列拉斑 玄武岩、碱性 岩	双峰系列拉斑 玄武岩、碱性 岩	双峰系列钙碱性 岩、碱性岩

根据花岗岩的形成环境, 将花岗岩分为 I 型、S 型与 A 型。其中, I 型和 S 型花岗岩指示造山带环境, 可简称为 O 型花岗岩; A 型花岗岩为非造山带环境 (Loiselle, 1979)。Pitcher (1983) 较为系统地研究了花岗岩与板块构造的关系, 将花岗岩分为 5 种, 并提出了相应的构造发育背景。M 型花岗岩 (产于大洋岛弧); I 型科迪勒拉花岗岩 (产于活动陆源); I 型加里东花岗岩 (产于造山隆起区); S 型花岗岩 (产于大陆韧性剪切带、碰撞带); A 型花岗岩 (产于非造山、造山后、裂谷区)。

不同大地构造环境下形成的火成岩在化学成分上具有差异性, 但同一系列的火成岩却不唯一对应某种大地构造环境。因此, 根据火成岩岩性和岩性组合关系开展构造环境分析, 应充分利用各种资料, 借助于较精确的二元或三元地球化学元素图解进行综合解释才能较为准确地判识大地构造环境 (表 1-1-2)。

地球上的火成岩由于岩浆起源、成分、地质作用和大地构造环境的差异性, 其分布也具有差异性。火成岩主要分布在板块控制的大洋中脊、板块俯冲带、碰撞带、大陆拉张裂谷带, 还存在于地幔柱控制的大火成岩省或热点 (图 1-1-1)。

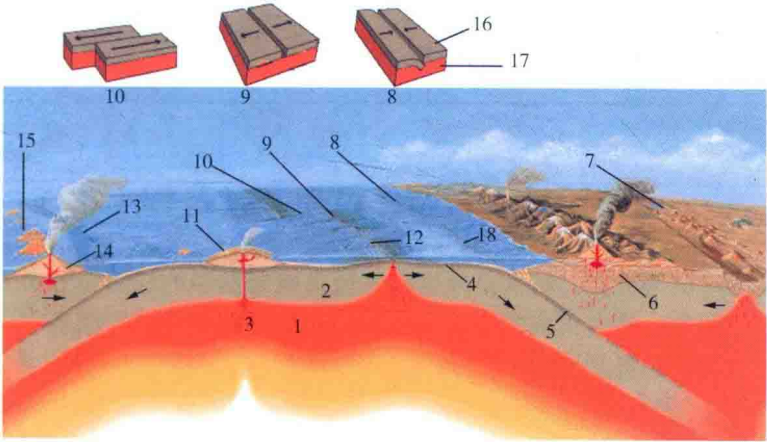


图 1-1-1 火成岩分布示意图 (据 Eurico Zimbres, 2006)

- 1—软流圈; 2—岩石圈; 3—热点; 4—洋壳; 5—俯冲板块; 6—陆壳; 7—大陆裂谷带 (年轻板块边缘);
8—汇聚边界板块; 9—离散边界板块; 10—转换板块边界; 11—洋岛; 12—大洋中脊; 13—海沟;
14—层火山; 15—岛弧; 16—板块; 17—软流圈; 18—海沟

表 1-1-2 国内外火成岩构造环境分析方法一览表

岩 性		环 境		
玄武岩类		消减带火山岩类		裂谷带火山岩类
玄武岩法	Pearce (1976) F1-F2 图与 F2-F3 图结合法	Loiselle (1979) Na ₂ O-K ₂ O 图法	板内与消减带划分法	Добрепов (1975) KO ₁ -KA 图法 KO ₁ =MgO+2TiO ₂ -3K ₂ O; KA=K ₂ O+Na ₂ O
	Pearce (1977) FeO ^① -MgO-Al ₂ O ₃ 图法	Bowden 等 (1982) 法		Codie (1976) DI 频率曲线图法
	Mullen (1983) TiO ₂ -10MnO-10P ₂ O ₅ 图法	Petro 等 (1981) 法		费承造 (1988) K ₂ O-Na ₂ O 变异图法
	Добрепов (1975) 大洋系数与含铝系数图法	Lameyer 等 (1980、1982) 法	岛弧及活动陆源划分法	Jakes (1972) 火山岩系成分法
拉斑玄武岩法	Pearce (1975) TiO ₂ -K ₂ O-P ₂ O ₅ 图法	Batchelor 等 (1982) R ₁ -R ₂ 图法		Franco Barberi 等 (1982) 火山岩组合法
	Miyashiro (1974、1975) FeO ^① /MgO-TiO ₂ 图与 FeO/MgO-SiO ₂ 图结合法		岛弧火山岩进一步划分法	久野 (1966) 硅-全碱图法
	从柏林 (1980) 据 Miyashiro (1975) 修改 FeO/MgO 与 FeO 或 TiO ₂ 图法			Condie (1976) 硅-钾图法
	Miyashiro (1975) 全碱-钾/钠比图法			Jakes (1972) 钾/钠比-全碱图法
	Gill 等 (1979) Al ₂ O ₃ -100Mg/(Mg+Fe) 图法			Yen (1970) Or-Ab-An 图法
			安山岩	久野 (1966) Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -Alk 图法

① FeO为全铁，即FeO+0.899Fe₂O₃。

第二节 岩浆作用机制及产物

火成岩储层的形成与分布，特别是原生孔隙型火成岩储层的成因与分布受火成岩形成机制和产状的控制。因此，研究火成岩形成机制和产状对于明确火成岩储层成因和预测火成岩储层分布具有十分重要的意义。

一、火成岩形成机制

地下高温熔融岩浆从生成、运移、演化直至凝固结成岩的整个地质作用过程称为岩浆作用。岩浆作用可分为岩浆喷出作用和岩浆侵入作用，且其作用的差异性导致了喷发方式和侵入方式的不同。

(一) 岩浆喷出作用及方式

岩浆从地下深处向上运移并喷出地表冷凝成岩的过程称为喷出作用，其形成的岩石称为火山岩。目前，国内外关于岩浆的喷出作用类型的划分方案主要有以下两种：按照火山通道的产状不同，将喷出作用划分以下三类：中心式喷发、裂隙式喷发和熔透式喷发；按照火山爆发系数差异，取现代典型火山名称进行分类（Chris Newhall, Stefan Selfe, 1982），如夏威夷型、斯通博利型、武尔卡诺型、普林尼型、培雷型等火山类型。前者，忽略了自然界还存在一种重要的复合式喷发方式；后者主要是对中心式喷发作用的进一步划分。根据火山喷发方式，将喷出作用划分为以下三种类型：中心式喷发、裂隙式喷发和复合式喷发。按照喷发方式、火山通道数量和火山喷发时序性，将火山喷发作用进一步细分为以下九种类型：单期单通道型、多期单通道型、多期多通道型中心式喷发三种；单期单通道型、多期单通道型、多期多通道型裂隙式喷发三种；中心裂隙同时型、先中心后裂隙型、先裂隙后中心型复合式喷发三种（表 1-2-1）。

表 1-2-1 火山喷发方式基本类型示意图

	中心式	裂隙式	复合式
	单通道型	单通道型	中心裂隙同时型
单期			
	单通道型	单通道型	先中心后裂隙型
多期			
	多通道型	多通道型	先裂隙后中心型
多期			

注：AB，CD，EF表示平面位置及其对应的剖面。

1. 中心式喷发

岩浆沿颈状管道上升，呈点状喷出地表，称为中心式喷发（图 1-2-1）。火山通道多位于两组断裂的交叉点上，喷出物可以是液态熔岩，也可以是固态的碎屑物（如火山弹、火山灰及火山渣等），一般以熔岩和碎屑物的混合物为主。中心式火山喷发形成的火山常呈锥状与盾状，离火山口越近，火山岩的厚度越大（Morgan, 1971）。现代火山多数属于这种喷发类型，如夏威夷诸火山，西印度群岛的培雷火山，我国黑龙江省的五大连池火山等。

中心式火山喷发可划分为单期单通道型、多期单通道型与多期多通道型三种。单期单通道型火山是指那些自形成以来只喷发过一次的中心式火山，仅发育一个火山喷发旋回，火山