

■ 准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书 ■

准噶尔盆地 火山岩气藏描述

——以陆东地区火山岩气藏为例

钱根葆 王延杰 王彬 戴勇 李道清 邱恩波 等/著



Description of Volcanic Gas Reservoir in
Junggar Basin: A Case Study of Volcanic Gas
Reservoir in the Eastern Part of Luliang Uplift



科学出版社

准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书

准噶尔盆地火山岩气藏描述

——以陆东地区火山岩气藏为例

**Description of Volcanic Gas Reservoir in Junggar Basin:
A Case Study of Volcanic Gas Reservoir in the Eastern
Part of Luliang Uplift**

钱根葆 王延杰 王 彬 戴 勇 李道清 邱恩波 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以准噶尔盆地陆东地区火山岩气藏为例,在对国内外火山岩气藏的勘探发现现状进行大量调研的基础上,总结了准噶尔盆地陆东地区火山岩气藏开发的难点,系统介绍了火山岩地层层序、层组划分方法,梳理构造、断裂、圈闭解释和分析流程;详述了火山机构、岩体、岩相、岩性等火山岩逐级解剖技术和识别方法;精细描述火山岩岩性特征、储集空间特征、裂缝特征、储层分类与预测、储层综合评价技术;阐述了改造型火山岩气水层识别技术、气水分布规律及气水分布模式;进一步深化了储量计算方法、基质与裂缝储量参数计算、储量计算与评价、采收率标定等储量评价技术与理论;演示了气藏构造建模、储层格架建模、储层属性建模及流体分布建模等最新三维地质建模技术方法。

本书可供从事油气勘探、开发的科研工作者、技术管理人员及高等院校师生科研和教学时参考。

图书在版编目(CIP)数据

准噶尔盆地火山岩气藏描述:以陆东地区火山岩气藏为例=Description of Volcanic Gas Reservoir in Junggar Basin: A Case Study of Volcanic Gas Reservoir in the Eastern Part of Luliang Uplift/钱根葆等著. —北京:科学出版社,2016.6

(准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书)

ISBN 978-7-03-049184-8

I. ①准… II. ①钱… III. ①准噶尔盆地-火山岩-岩性油气藏
IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 146919 号

责任编辑:万群霞 冯晓利 / 责任校对:蒋 萍

责任印制:张 倩 / 封面设计:无极书装

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:16 1/4

字数:390 000

定价:178.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书作者名单

钱根葆 王延杰 王 彬
戴 勇 李道清 邱恩波
杨作明 仇 鹏 闫利恒

准噶尔盆地位于中国西部,行政区划属新疆维吾尔自治区(简称新疆)。盆地西北为准噶尔界山,东北为阿尔泰山,南部为北天山,是一个略呈三角形的封闭式内陆盆地,东西长 700km,南北宽 370km,面积为 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地腹部为古尔班通古特沙漠,面积占盆地总面积的 36.9%。

1955 年 10 月 29 日,克拉玛依黑油山 1 号井喷出高产油气流,宣告了克拉玛依油田的诞生,从此揭开了新疆石油工业发展的序幕。1958 年 7 月 25 日,世界上唯一一座以油田命名的城市——克拉玛依市诞生了。1960 年,克拉玛依油田原油产量达到 $166 \times 10^4 \text{ t}$,占当年全国原油产量的 40%,成为新中国成立后发现的第一个大油田。2002 年原油年产量突破 $1000 \times 10^4 \text{ t}$,成为中国西部第一个千万吨级大油田。

准噶尔盆地蕴藏丰富的油气资源。油气总资源量为 $107 \times 10^8 \text{ t}$,是我国陆上油气资源超过 $100 \times 10^8 \text{ t}$ 的四大含油气盆地之一。虽然经过半个多世纪的勘探开发,但截至 2012 年年底,石油探明程度仅为 26.26%,天然气探明程度仅为 8.51%,均处于含油气盆地油气勘探阶段的早中期,预示着准噶尔盆地具有巨大的油气资源和勘探开发潜力。

准噶尔盆地是一个具有复合叠加特征的大型含油气盆地。盆地自晚古生代至第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。其中,晚海西期是盆地拗陷构造格局形成、演化的时期,印支—燕山运动进一步叠加和改造,喜马拉雅运动重点作用于盆地南缘。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合。

准噶尔盆地沉积总厚度可达 15000m。石炭系—二叠系被认为是由海相到陆相的过渡地层,中、新生界则属于纯陆相沉积。盆地发育了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系六套烃源岩,分布于盆地不同的凹陷,它们为准噶尔盆地奠定了丰富的油气源物质基础。

纵观准噶尔盆地整个勘探历程,储量增长的高峰大致可分为准噶尔西北缘深化勘探阶段(20 世纪 70~80 年代)、准噶尔东部快速发现阶段(20 世纪 80~90 年代)、准噶尔腹部高效勘探阶段(20 世纪 90 年代至 21 世纪初期)、准噶尔西北缘滚动勘探阶段(21 世纪初期至今)。不难看出,勘探方向和目标的转移反映了地质认识的不断深化和勘探技术的日臻成熟。

正是由于几代石油地质工作者的不懈努力和执着追求,使准噶尔盆地在经历了半个多世纪的勘探开发后,仍显示出勃勃生机,油气储量和产量连续 29 年稳中有升,为我国石油工业发展做出了积极贡献。

在充分肯定和乐观评价准噶尔盆地油气资源和勘探开发前景的同时,必须清醒地看到,由于准噶尔盆地石油地质条件的复杂性和特殊性,随着勘探程度的不断提高,勘探目

标多呈“低、深、隐、难”特点,勘探难度不断加大,勘探效益逐年下降。巨大的剩余油气资源分布和赋存于何处,是目前盆地油气勘探研究的热点和焦点。

由中国石油新疆油田分公司(以下简称新疆油田)组织编写的《准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书》在历经近两年时间的努力,终于面世。这是由油田自己的科技人员编写出版的第一套专著类丛书,这充分表明我们不仅在半个多世纪的勘探开发实践中取得了一系列重大的成果,积累了丰富的经验,而且在准噶尔盆地油气勘探开发理论和技术总结方面有了长足的进步,理论和实践的结合必将更好地推动准噶尔盆地勘探开发事业的进步。

该系列专著汇集了几代石油勘探开发科技工作者的成果和智慧,也彰显了当代年轻地质工作者的厚积薄发和聪明才智。希望今后能有更多高水平的、反映准噶尔盆地特色的地质理论专著出版。

“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”。希望从事准噶尔盆地油气勘探开发的科技工作者勤于耕耘、勇于创新、精于钻研、甘于奉献,为“十二五”新疆油田的加快发展和“新疆大庆”的战略实施做出新的更大的贡献。



新疆油田公司总经理

2012年11月

前言



火山岩油气藏作为油气勘探的新领域,近年来已引起了石油界和学者们的普遍关注和兴趣。目前,全球多个国家发现了火山岩油气藏,其特点是产层厚、产量高、储量大,已成为重要的勘探目标。虽然发现了众多火山岩油气藏,但尚未系统、深入地研究,总体来说火山岩油气藏勘探、研究程度较低,没有形成比较系统的研究方法,对勘探和开发造成一定的影响。目前,火山岩储层表征技术主要沿袭碎屑岩或碳酸盐岩储层研究的方法和思路,针对深层火山岩气藏描述还没有形成一套独立、完整而切实可行的研究体系。

陆东地区石炭系火山岩内幕结构复杂,各级结构单元的界面模糊,复杂的内幕结构导致火山岩储层非均质性更强、分布规律差;储集空间及孔隙结构复杂,有效储层类型多、电机理复杂。因此,相对松辽盆地,克拉美丽火山岩储层识别及分类预测难度更大。由于岩石类型多、储层成因复杂,加上多期喷发及岩石蚀变影响,火山岩气藏低阻气层和高阻水层类型多,气水层识别难度大;内幕结构复杂也导致火山岩气水关系复杂,气藏类型、形态、叠置关系及规模变化大,气藏分布模式复杂,地质建模难度大。鉴于上述火山岩气藏描述的难点问题,有效地开展陆东地区石炭系火山岩气藏描述攻关,保持陆东地区火山岩气藏的产量稳定增长,推动新疆地区经济发展和火山岩气藏的有效开发,不但有利于推动我国天然气工业快速发展,对深化我国火山岩油气藏勘探、开发进程等具有重要意义。

全书以准噶尔盆地陆东地区火山岩气藏为例,对火山岩气藏进行较系统的描述,展示近年来火山岩气藏勘探开发中取得的重大进展,可为国内外同类气藏的勘探开发提供丰富的参考资料。全书共7章。第1章在对国内外火山岩气藏的勘探开发现状进行大量调研的基础上,总结准噶尔盆地陆东地区火山岩气藏勘探、开发的难点,并介绍准噶尔盆地火山岩气藏的形成机制。第2章介绍火山岩地层层序、层组划分方法,梳理构造、断裂、圈闭解释和分析流程。第3章针对准噶尔盆地陆东地区火山岩气藏的内幕结构特点,系统介绍火山机构、岩体、岩相、岩性等火山岩逐级解剖技术和识别方法。第4章是火山岩的储层特征描述,包括岩性特征、储集空间特征、裂缝特征、储层分类与预测、储层综合评价。第5章主要阐述改造型火山岩气水层识别技术、气水分布规律及气水分布模式。第6章介绍储量计算方法、基质与裂缝储量参数、储量计算及评价及采收率标定等储量评价技术与理论。第7章为三维地质建模技术,主要包括气藏构造建模、储层格架建模、储层属性建模及流体分布建模等技术方法。

本书编撰过程中得到中国石油天然气股份公司“十二五”油气田开发科技项目“天然气开发关键技术研究”(编号:2011B-1506-02)和“新疆大庆”油气田开发重大科技专项课题“特殊气藏开发技术研究与应用”(编号:2012E-34-10)的资助。

在本书撰写过程中,新疆油田分公司总经理陈新发欣然为本书作序,西南石油大学教授司马立强等人参与了部分编纂工作,中国石油大学(北京)教授王志章对全书做了系统校审,在此深表感谢。

鉴于编者水平有限,难免有错误及不妥之处,敬请广大读者不吝指正。

作 者
2016 年 1 月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 火山岩气藏勘探开发及研究现状	1
1.1.1 国外火山岩气藏勘探开发现状	1
1.1.2 国内火山岩气藏勘探开发现状	3
1.1.3 火山岩气藏勘探开发理论、技术及应用现状	6
1.1.4 火山岩气藏勘探开发难点及意义	8
1.2 准噶尔盆地火山岩形成机制	8
1.2.1 位置概况	8
1.2.2 构造及演化特征	10
1.2.3 岩相古地理	14
1.2.4 火山岩储层控制因素	21
参考文献	24
第 2 章 火山岩层序划分及构造描述	26
2.1 地层层序及层组划分	26
2.1.1 地层发育特征	26
2.1.2 地层层序划分	28
2.1.3 地层层组划分	29
2.2 构造精细解释	34
2.2.1 地质层位精细标定	34
2.2.2 层位追踪解释	37
2.2.3 断层解释	38
2.2.4 速度分析及构造成图	38
2.3 构造及圈闭特征分析	41
参考文献	43
第 3 章 改造型火山岩内幕结构解剖	44
3.1 火山岩内幕结构解剖难点与技术思路	45
3.1.1 火山岩内幕结构解剖难点	45
3.1.2 火山岩内幕结构解剖技术思路	45
3.2 火山岩建造识别与解剖	47
3.2.1 火山岩建造识别标志	47

3.2.2	火山岩建造单井测井识别	48
3.2.3	火山岩建造地震剖面识别	48
3.2.4	火山岩建造平面及空间预测	50
3.3	火山机构的识别与解剖	52
3.3.1	火山机构识别标志	52
3.3.2	火山机构单井测井识别	54
3.3.3	火山机构地震剖面识别	56
3.3.4	火山机构平面及空间预测	59
3.4	火山岩体的识别与解剖	61
3.4.1	火山岩体地质识别	61
3.4.2	火山岩体单井测井识别	63
3.4.3	火山岩体地震剖面识别	66
3.4.4	火山岩体平面及空间分布预测	66
3.4.5	火山岩体解剖	68
3.5	火山岩相的识别与解剖	70
3.5.1	火山岩相分类与岩相模式	70
3.5.2	火山岩相地质识别	72
3.5.3	火山岩相单井测井识别	78
3.5.4	火山岩相地震剖面识别	82
3.5.5	火山岩相平面分布预测	85
3.6	火山岩性的识别与解剖	90
3.6.1	火山岩性地震剖面识别	90
3.6.2	火山岩性平面分布预测	92
	参考文献	94
第4章	储层特征描述	95
4.1	火山岩储层特征描述的难点	95
4.2	储层岩性特征	95
4.2.1	火山岩性分类	95
4.2.2	岩石学岩性识别	99
4.2.3	岩性测井识别	103
4.2.4	岩性地震预测	110
4.3	储集空间类型与孔隙结构	110
4.3.1	火山岩储集空间类型	111
4.3.2	火山岩孔隙结构	126
4.4	储层裂缝描述	132
4.4.1	裂缝分类	132
4.4.2	裂缝测井识别与评价	135
4.4.3	裂缝特征	140

4.4.4 裂缝地震预测及平面特征	147
4.5 储层分类评价与预测	152
4.5.1 储层的分类评价	152
4.5.2 分类储层预测	159
4.6 储层综合评价	163
4.6.1 储层物性特征	163
4.6.2 储层隔夹层及非均质性	167
4.6.3 储层连通性评价	173
4.6.4 储层基质有效性评价	176
参考文献	181
第5章 气水层识别及气藏类型	183
5.1 火山岩气藏气水层识别	183
5.1.1 改造作用对火山岩含气性和导电性的影响	183
5.1.2 地质录井和地层测试结合的气水层识别	184
5.1.3 测井信息识别气层	185
5.1.4 流体界面识别	196
5.2 气藏类型及流体性质	198
5.2.1 压力、温度系统	198
5.2.2 气藏类型	201
5.2.3 气藏驱动因素	201
5.2.4 地层流体特征及分布	206
参考文献	211
第6章 火山岩气藏储量评价	212
6.1 储量计算方法	212
6.2 基质储量参数	213
6.2.1 含气面积	213
6.2.2 有效厚度	214
6.2.3 有效孔隙度	214
6.2.4 含气饱和度	215
6.2.5 体积系数	215
6.3 裂缝储量参数	217
6.3.1 含气面积及体积系数	217
6.3.2 有效厚度	217
6.3.3 裂缝孔隙度	218
6.3.4 裂缝含气饱和度	218
6.4 储量计算及评价	219
6.5 采收率标定	219
6.5.1 标定方法	219

6.5.2 采收率评价	220
参考文献	221
第7章 三维地质建模	222
7.1 三维地质建模技术及方法	222
7.1.1 三维地质建模技术简介	222
7.1.2 火山岩气藏地质建模的技术难点	223
7.1.3 火山岩气藏地质建模技术思路	224
7.2 气藏构造建模	226
7.2.1 火山岩构造模型的层次划分	226
7.2.2 构造模型参数准备	226
7.2.3 火山喷发旋回构造模型	226
7.2.4 火山机构构造模型	229
7.2.5 火山岩体构造模型	230
7.3 储层格架模型	231
7.3.1 储层格架模型级次及参数准备	231
7.3.2 建立火山岩气藏储层格架模型	232
7.4 储层属性模型	234
7.4.1 火山岩气藏储层属性模型的特点	234
7.4.2 火山岩气藏储层属性建模参数准备	235
7.4.3 建立火山岩气藏储层属性模型	236
7.5 流体分布模型	243
7.5.1 火山岩气藏流体模型的引入参数	243
7.5.2 建立火山岩气藏流体模型	243
7.5.3 储量预测	245
参考文献	245

近年来,火山岩油气藏越来越受到石油地质界的关注。其中,火山岩气藏作为一种特殊的油气藏类型,广泛分布于世界多个含油气盆地中,已逐渐成为世界各国重要的勘探、开发目标和油气储量的增长点。国外火山岩气藏主要分布于美国、日本、澳大利亚等地,但储量和产能规模普遍较小,投入开发较少,研究程度低。国内自2002年起,相继发现大庆徐深、吉林长岭等大型火山岩气藏后,于2006年在准噶尔盆地陆东地区石炭系发现了资源丰富、储量规模较大的火山岩气藏,火山岩油气勘探取得重大进展。

1.1 火山岩气藏勘探开发及研究现状

1.1.1 国外火山岩气藏勘探开发现状

火山岩是油气储集的主要岩类之一,火山岩油气藏在中、新生代陆相及海相盆地中具有全球性发育的特点,火山岩的存在对油气形成和聚集均有十分重要的意义。近年来,随着石油工业的发展和勘探技术的提高,火山岩油气藏相继在美国、格鲁吉亚、印度尼西亚、日本、阿根廷、墨西哥、俄罗斯、联邦德国等国家被发现(温暖,2004)(表1.1)。特别是日本的新潟盆地已发现30多个油气田,最大的吉井-东柏崎气田原始可采储量为 $118 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。日本新潟地区的东新潟气田和颈城油气田、新近系“绿色凝灰岩”油藏是火山岩组成的古地理锥状起后继承性发展为背斜而捕集油气的。美国得克萨斯州沿岸平原油田、白垩系的玄武岩油藏是呈火山锥的熔岩继承发展为穹窿而捕集油气的。阿塞拜疆穆拉德汉雷油田位于阿塞拜疆油气区的中库拉盆地东部,石油主要产于潜山顶部的喷发岩(粗面玄武岩及安山岩)中,喷发岩的孔隙度为 $10\% \sim 16\%$,基质渗透率实际上接近于零,油井获得较高产量与裂缝有关,单井产量最高达500t/d。

1. 国外火山岩勘探研究现状及发展趋势

火山岩油气藏在国外已有120年的勘探历史,火山岩储集层作为油气勘探的新领域,近年来已引起了石油界学者们的普遍关注和兴趣。目前,全球多个国家发现了火山岩油气藏,其特点是产层厚、产量高、储量大,已成为重要的勘探目标。

目前,世界范围内已发现300余个与火山岩有关的油气藏或油气显示,国外火山岩油气勘探研究和认识大致可概括为3个阶段(于宝利,2008)。

第一阶段(20世纪50年代前):大多数火山岩油气藏都是在勘探浅层其他油藏时偶然发现的,认为其不会有任何经济价值,因此未进行评价研究和关注。

表 1.1 世界火山岩油气藏分布及主要特征(据张子枢和吴邦辉,1994,有修改)

国家	油气藏名称		发现年份	油、气层					
				层位	岩性类型	深度 /m	厚度 /m	孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$
日本	见附		1958	新近系	斜长流纹角砾岩、英安熔岩	1515~1695 1570~2020	100	20~25	10~42
	富士川		1964	新近系	安山集块岩	2180~2370	57	15~18	
	吉井-东柏崎		1968	新近系	斜长流纹熔岩、凝灰质角砾岩	2310~2720	111	9~32	150
	片贝		1960	新近系	安山集块岩	750~1200	139	17~25	1
	南长岗		1978	新近系	流纹角砾岩		几百	10~20	1~20
印度尼西亚	贾蒂巴朗		1969	古近系	安山岩、凝灰角砾岩	2000	15~60	6~10	受裂缝控制
古巴	哈其包尼科		1954	白垩系	凝灰岩	330~390			
	南科里斯塔列斯		1966	白垩系	凝灰岩	800~1100	100		
	古那包		1968	白垩系	火山角砾岩	800~950	150		
墨西哥	富贝罗		1907	古近系	辉长岩				
阿根廷	赛罗-阿基特兰		1928	白垩系—新近系	安山岩—安山角砾岩	120~600	75		
	图平加托			白垩系—新近系	凝灰岩	2100		20	
	帕姆帕-帕拉乌卡			三叠系	流纹岩、安山岩				
美国	得克萨斯	利顿泉	1925	白垩系	蛇纹岩	330~420	平均 4.5		
		雅斯特	1928	白垩系	蛇纹岩	400~500	平均 4.5		
		沿岸平原	1915~1974	白垩系	橄榄玄武岩等				
	亚利桑那	丹比凯亚	1969	新近系	正长岩、粗面岩	850~1350	18~49	5~17	0.01~25
	内达华	特拉普-斯普林	1976	新近系	凝灰岩	2000			
苏联	格鲁吉亚	萨母戈里-帕塔尔祖利	1974~1982	新近系	凝灰岩	2500~2700		0.1~14	0.1~0.01
	阿塞拜疆	穆拉德汉雷	1971	白垩系—新近系	凝灰角砾岩、安山岩	2950~4900	100	平均 20.2	0~2.3
	乌克兰	外喀尔巴阡	1982	新近系	流纹-英安凝灰岩	1580	300~500	6~13	0.01~3
加纳	博森泰气田		1982	第四系	落块角砾岩	500	125	15~21	

第二阶段(20世纪50年代初至60年代末):认识到火山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,委内瑞拉发现了拉帕斯油田,其单井最高产量达到 $1828\text{m}^3/\text{d}$,这是世界上第一个有目的的勘探并获得成功的火山岩油田,这一发现标志着对火山岩油藏的认识上升到一个新的水平。

第三阶段(20世纪70年代以来):世界范围内广泛开展了火山岩油气藏勘探。在美国、墨西哥、古巴、委内瑞拉、阿根廷、苏联、日本、印度尼西亚、越南等国家发现了多个火山岩油气藏(田),其中较为著名的是美国亚利桑那州的比聂郝-比肯亚火山岩油气藏、格鲁吉亚的萨姆戈里-帕塔尔祖里凝灰岩油藏、阿塞拜疆的穆拉德哈雷安山岩及玄武岩油藏、印度尼西亚的贾蒂巴朗玄武岩油藏、日本的吉井-东柏崎流纹岩油气藏、越南南部浅海区的花岗岩白虎油气藏等。

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,深度超过3000m的较少。火山岩油气藏形成的构造背景以大陆边缘盆地为主,也有陆内裂谷盆地。如北美、南美、非洲发现的火山岩油气藏,主要分布在大陆边缘盆地环境。火山岩油气藏储集层岩石类型以中-基性玄武岩、安山岩为主,其中玄武岩储集层占有火山岩储集层的32%,安山岩占17%;储集层空间以原生或次生型孔隙为主,普遍发育的各种成因裂缝对改善储集层起到了决定性的作用。

虽然发现了包括上述在内的众多火山岩油气藏,但多为偶然发现或局部勘探,尚未作为主要领域进行全面勘探和深入研究,总体来说,国外火山岩油气藏勘探、研究程度较低,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(Sherwood, 2002; Petford and Mccaffrey, 2003)。

2. 世界火山岩油气藏资源量及开发现状

自1887年在美国加利福尼亚州的圣华金盆地首次发现火山岩油气藏以来,火山岩油气藏的勘探已有百余年历史,先后在全球发现了大量的火山岩油气藏。世界火山岩油气藏广泛分布于日本、美国、委内瑞拉、古巴、前苏联、中国等国家的多个含油气盆地中(Homvc, 2001)。截至2003年年底,全球共发现火山岩油气藏169个,见油气显示65处、油苗102个,探明油气储量 $15\times 10^8\text{t}$ 当量以上(Petford and Mccaffrey, 2003; 冉启全等, 2010)。

火山岩气藏总体上发现的较多,真正投入开发的较少。生产时间长、开发效果较好的火山岩气田仅有日本的吉井-东柏崎气田(1968年)和南长冈气田(1978年),但仍存在气藏地质研究系统、开发技术研究程度低的缺陷,研究成果仅能满足生产需求(邹才能等, 2008)。

1.1.2 国内火山岩气藏勘探开发现状

自20世纪50年代以来,我国先后在渤海湾盆地、内蒙古二连盆地、黄骅拗陷、准噶尔盆地和塔里木盆地、松辽盆地及江苏油田等地先后发现了具有一定储量的火山岩油气藏。

据统计,其中火山岩气藏的有利勘探面积超过 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$,气藏地质储量超过 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (袁士义等,2007;周学民,2007;雷群等,2008)。火山岩气藏已成为我国天然气勘探和开发的主要领域之一,经济有效地开发好火山岩天然气藏,不但有利于推动我国天然气工业健康快速发展,更是我国 21 世纪能源得以持续发展的战略问题(孙军昌,2010)。

1. 国内火山岩勘探研究现状及发展趋势

国内各沉积盆地内部及周边地区火山岩分布广泛,东部燕山期发育的火山岩体分布规模大,东南沿海火山岩分布面积超过 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$,大兴安岭火山岩带面积超过 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$,有较好的火山岩勘探基础(于宝利,2008)。

我国火山岩油气藏勘探在准噶尔盆地、渤海湾盆地等 11 个盆地中陆续发现了一批火山岩油气田。特别是近年来,相继在渤海湾盆地、松辽盆地、二连盆地、准噶尔盆地、四川盆地等火山岩油气勘探中取得了重大突破,同时在浙闽粤东部中生代火山岩分布区及东海陆架盆地中的长江凹陷、海礁凸起、钱塘凹陷等中、新生代火山岩发育区也成为找油、找气的新领域。目前,火山岩已作为重要的油气勘探领域进行全面勘探,我国东部、北疆两大火山岩油气区已初具规模。

我国第一个火山岩油气藏于 1957 年首次在准噶尔盆地西北缘发现,该区火山岩油气藏勘探已历经 50 余年。我国火山岩油气勘探也大致经历了三个发展阶段:

第一阶段(1957~1990 年):偶然发现阶段,主要集中在准噶尔盆地西北缘和渤海湾盆地的辽河拗陷、济阳拗陷等。

第二阶段(1990~2002 年):局部勘探阶段,随着地质认识的不断提高和勘探技术的不断进步,开始有针对性地在渤海湾盆地和准噶尔等的个别地区开展勘探。

第三阶段(2002 年以后):全面勘探阶段,在渤海湾盆地、松辽盆地、准噶尔盆地等全面开展火山岩油气藏的勘探部署,取得了重大进展和突破。截至 2006 年年底,中国石油天然气股份有限公司已提交火山岩探明石油储量 $47821.3 \times 10^4 \text{ t}$,溶解气地质储量 $229.4 \times 10^8 \text{ m}^3$;火山岩油气藏探明天然气地质储量 $1249.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,全国火山岩探明油气当量约为 $73000 \times 10^4 \text{ t}$ 。与国外火山岩油气藏勘探现状相比,中国的火山岩油气藏勘探主要有以下 3 个特点。

(1) 我国现已把火山岩油气藏作为重要的领域进行全面勘探。20 世纪 80 至 90 年代,中国相继在准噶尔盆地、渤海湾盆地、苏北盆地等地发现了一些火山岩油气藏,如准噶尔盆地西北缘克拉玛依玄武岩油气藏、内蒙古二连盆地的阿北安山岩油气藏、渤海湾盆地黄骅拗陷风化壳中生界安山岩油气藏和枣北沙三段玄武岩油气藏、济阳拗陷的商 741 辉绿岩油气藏等。进入 21 世纪以来,中国加强了火山岩油气藏的勘探,勘探领域不断扩展,又相继在渤海湾盆地的辽河东部凹陷、松辽盆地深层、准噶尔盆地、三塘湖盆地石炭系一二叠系发现了一批规模油气藏,尤其是以松辽盆地北部徐深 1 井获得重大突破为标志,全面带动了火山岩油气藏的大规模勘探,使其成为中国目前一个重要的勘探领域。

(2) 不同时代、不同类型盆地各类火山岩均可形成火山岩油气藏。我国已发现的火山岩油气藏,东部主要发育在中、新生界,岩石类型以中-酸性火山岩为主,西部主要发育在古生界,岩石类型以中-基性火山岩为主,但所有类型火山岩都有可能形成油气藏。火

山岩油气藏主要发育在大陆裂谷盆地环境,如渤海湾盆地、松辽盆地等,但在前陆盆地、岛弧型海陆过渡相盆地中也普遍发育,如准噶尔盆地西北缘和陆东-三塘湖地区。在油气藏类型和规模上,东部以岩性型为主,可叠合连片分布,形成大面积分布的大型油气田,如松辽深层徐家围子的徐深气田;西部以地层型为主,可形成大型整装油气田,如准噶尔盆地克拉玛依大气田、西北缘大油田等。火山岩油气藏的分布与沉积盆地有密切联系。

(3)“十五”以来,中国石油天然气集团公司(以下简称“中国石油”)的火山岩地震储集层预测、大型压裂等勘探开发配套技术不断完善,初步形成了针对火山岩油气藏的技术系列。

火山岩在火山作用、成岩作用和构造作用下,形成熔岩型储集层、火山碎屑岩型储集层、溶蚀型储集层、裂缝型储集层四类储集层,原始爆发相火山碎屑岩和喷溢相熔岩是最有利的储集相带;经后期风化淋滤作用,不同岩性均可形成溶蚀型好储集层。火山岩储集层形成主要受火山岩喷发时的岩性、岩相及次生作用控制,受压实作用影响较小,因此,储集层物性随埋藏深度变化较小。

火山岩气藏之所以能成为具有工业开采价值的气藏,主要原因在于:①火山熔岩中常有发育的气孔;②火山熔岩中大量发育有收缩裂缝;③火山碎屑岩中大量发育有粒间孔隙;④火山岩喷出地表后物理化学条件发生巨大变化,其岩石组成和矿物成分极不稳定,易遭受风化、溶蚀、交代等作用而产生大量溶蚀孔、重结晶孔、风化剥蚀裂缝等储渗空间;⑤火山岩扬氏模量比砂岩高,其中酸性火成岩又比中性及基性火成岩高,表现为脆性强,容易在构造力作用下,碎裂形成构造裂缝。构造裂缝往往是微裂缝,或被后期次生矿物充填后残留的部分微裂缝。当充填的程度不均一时,再经溶蚀作用,可成为有效的储集空间和渗流通道(伍友佳,2001;杨懋新,2002;彭彩珍等,2006)。

由于火山岩油气藏具有分布广,但规模较小、初始产量高、递减快和储集类型、成藏条件复杂等特点(罗静兰等,2003),目前,对该类油气藏没有形成比较系统的研究方法,对勘探和开发造成一定的影响。总体上,火山岩储层表征技术目前主要沿袭碎屑岩或碳酸盐岩储层研究的方法和思路,针对深层酸性火山岩气藏的储层表征技术严重滞后的问题,还没有形成一套独立、完整而切实可行的研究体系(王拥军,2006)。

2. 国内火山岩油气藏资源量及发展趋势

国内各盆地火山岩分布广泛,总面积达 $215.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,预测有利勘探面积为 $36 \times 10^4 \text{ km}^2$,近期勘探不断有新发现,勘探领域亦不断扩展,根据目前勘探进展初步预测,火山岩总的石油资源量在 $60 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量以上。因此,我国含油气盆地火山岩中剩余油气资源丰富,勘探潜力大,展示了火山岩油气藏勘探领域的巨大潜力。目前,国内火山岩的油气勘探,出现了以下六个新的发展趋势:①在地区上,从东部渤海湾盆地向松辽盆地深层发展,西部准噶尔盆地、三塘湖盆地等地区由点到面快速发展;②在勘探层位上,由东部中、新生界向西部上古生界发展;③在勘探深度上,由中浅层向中深层甚至深层发展;④勘探部位,由构造高部位向斜坡和凹陷发展;⑤岩性岩相类型,由单一型到多类型,由近火山口向远火山口发展;⑥油气藏类型,由构造、岩性型油气藏向岩性、地层型油气藏发展。

目前,我国拥有世界上最大规模的火山岩气藏。实现该类气藏的有效开发,可以缓解