

火山岩油气藏的形成机制与分布规律研究丛书

盆地火山岩储层 地震预测理论与方法

陈树民 姜传金 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

盆地火山岩储层地震预测理论与方法

陈树民 姜传金 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为国家重大基础研究计划 973 项目“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”(编号 No. 2009CB219300)中解决火山岩油气藏的地球物理响应这一科学问题的课题“火山岩及油气藏地球物理响应和评价技术”的成果总结。全书共八章:立足 973 总项目地质研究成果的最新认识,系统开展火山岩岩石物理特征分析、火山岩地层及火山机构的地震波场模拟、火山岩岩相及储层的地震响应特征研究,建立了叠前、叠后地震资料的储层预测及含流体性检测等方法,形成了一套适合盆地火山岩特点的地震识别技术系列,最后探索了三维 VSP 与全方位地面地震联合观测的地震资料采集、处理和火山岩油气藏识别的方法。

本书作为盆地火山岩油气藏地震预测的专著,从火山岩储层地质特征、形成机理到地震理论、实验与识别方法进行了详尽的论述,主要适合从事油气勘探地球物理预测理论、方法研究及火山岩油气勘探地震地质研究的人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

盆地火山岩储层地震预测理论与方法 / 陈树民, 姜传金著. —北京: 科学出版社, 2015. 6

(火山岩油气藏的形成机制与分布规律研究丛书)

ISBN 978-7-03-044675-6

I. ①盆… II. ①陈… ②姜… III. ①含油气盆地-火山岩-岩性油气藏-储集层-地震预测 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 124224 号

责任编辑: 张井飞 韩 鹏 陈娇娇 / 责任校对: 赵桂芬

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 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 17 3/4

字数: 421 000

定价: 178.00 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	赵志魁	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,是国内第一个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

随着全球含油气盆地勘探开发逐步向低深难和非常规油气领域发展,火山岩作为盆地早期充填的重要组成部分,已成为油气勘探重要新领域。近 10 年来,松辽盆地深层火山岩油气勘探取得了突破性的进展,最重要的标志是 2002 年 5 月 7 日在松辽盆地徐家围子断陷升平构造完钻的徐深 1 井,获得无阻流量超百万立方米的高产工业气流,由此发现了中国东部最大的火山岩天然气藏——徐深气田,从而拉开了中国火山岩大规模勘探开发的序幕。然而,火山岩油气藏作为一种复杂而特殊的油气藏,其地质结构和成藏模式及形成机理复杂,岩相分布与成储机制与沉积岩有较大的差异,受多种因素控制的多期次的火山岩相互叠置,岩性种类多、岩相变化快,导致火山岩地震响应特征也十分复杂,储层预测难度大,制约着火山岩储层内部结构的刻画及火山岩油气藏勘探开发。为此,在国家重大基础研究计划 973 项目“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”(编号 No. 2009CB219300)中以解决火山岩油气藏的地球物理响应这一科学问题为重点,设立第七课题“火山岩及油气藏地球物理响应和评价技术”,对火山岩油气藏进行了系统的地球物理响应与预测技术研究。在地震预测技术方面,通过对火山岩地震岩石物理特征、地质地震模拟、地震成像方法、地震响应模式等分析,研究了火山岩分布规律、储层性质以及油气藏地球物理响应等问题,取得了诸多研究成果,基本形成一套比较完整的盆地火山岩地震反射特征模式与火山岩储层预测方法。

本书作为该项目研究成果的总结,在系统分析近 10 年来松辽盆地下白垩统徐深气田勘探开发火山岩储层地震预测技术经验的基础上,从研究盆地火山岩形成机理、演化规律的基本模式和岩石物理性质等方面入手,通过开展火山岩岩石物理特征分析、火山机构及火山岩地层地震波场正演模拟、火山岩气藏的地震响应特征研究以及叠前叠后地震资料的储层预测及含流体性检测等方法研究,探讨了火山岩油气藏的反射地震学特征,形成了一套适合盆地火山岩特点的地震识别技术系列;在新技术应用探索和应用实例方面,以松辽盆地徐家围子断陷徐东斜坡带徐深 21-1 开发区块的三维 VSP 与全方位地面地震联合观测的地震资料为基础,从资料采集、处理、解释、叠前、叠后储层流体检测等全过程探索了火山岩油气藏识别的方法和前沿技术。

“火山岩及油气藏地球物理响应和评价技术”能作为 973 项目的课题之一,并由生产单位承担,这是本期 973 项目的重要特点,也使得本期 973 项目除了取得一系列基础理论研究成果之外,还实现了火山岩油气藏的重力和磁法火山岩宏观分布预测技术、反射地震火山岩及储层预测技术、测井火山岩岩性、物性、含气性识别评价技术和岩矿鉴定、纳米孔隙测定、激光共聚焦等实验分析技术系列中关键技术的突破和配套技术的形成。这些技术及时在油田勘探开发生产实践中得到验证和应用,为推进基础理论研究成果向产业目标转化起到了重要的作用。

本书作者是大庆油田有限责任公司勘探开发研究院陈树民博士和姜传金博士，长期从事火山岩储层地震预测技术的研究与应用，见证徐深气田的发现与发展、地球物理技术的探索与实践。借助国家 973 项目的研究平台，通过与国内项目参加单位的广泛交流与合作，使得火山岩储层这一新的复杂的勘探对象，不仅在技术层面又取得重要的突破和提升，同时在科学层面，对火山岩的岩石物理特点、反射地震学波场响应等方面开展了创造性的研究，取得了一系列创新性的认识，这对于深化松辽盆地深层火山岩的地质认识，提高复杂勘探目标预测精度、拓展勘探场面有重要意义，同时，对于指导国内其他地区火山岩勘探目标识别也有重要的指导意义和可借鉴性。

目 录

丛书序

前言

第一章 绪论	1
第一节 盆地火山岩油气藏地球物理研究现状	1
一、国内外研究现状	2
二、火山岩油气藏分布特点	6
三、盆地火山岩油气藏基础研究的重要意义	7
第二节 火山岩储层与其他储层的差异	8
一、火山岩与沉积岩的差异	8
二、火山岩与岩溶型岩的差异	9
第三节 火山岩储层预测的难点与对策	12
一、火山岩储层反射地震学研究及预测的难点	12
二、火山岩储层研究及预测的技术思路与方法	12
第二章 火山岩储层预测的理论基础	14
第一节 孔隙型介质的弹性参数	14
一、弹性模量	14
二、密度	16
三、孔隙度	17
第二节 广义胡克定律	17
一、应力与应变及其状态描述	18
二、胡克定律的各向同性弹性体表示	18
三、胡克定律的各向异性弹性体表示	20
第三节 地震波的传播特征	22
一、地震波速度	23
二、地震波的传播特征	24
三、AVO 和反射率	26
第四节 常用的岩石物理模型	28
一、Voigt-Reuss-Hill 平均线	28
二、Kuster-Toksöz 模型	29
三、微分等效介质模型	30
四、颗粒介质的接触模型和有效模量	32
五、Wyllie 时间平均方程	33

六、Wood 平均 (等效) 方程	34
七、Biot-Gassmann 方程	35
第三章 火山岩储层实验岩石物理特征	38
第一节 岩石样品的实验室弹性参数测定	38
一、火山岩岩石样品的选择	38
二、岩石样品的加工制备与常规测量	40
三、岩石物理参数测量误差讨论	44
第二节 火山岩的岩石物理特征	46
一、火山岩样品弹性参数敏感因素分析	46
二、火山岩弹性参数组合分类	52
三、火山岩岩性敏感参数分析	52
四、火山岩储层含流体敏感参数分析	59
第三节 小结	63
第四章 火山岩储层测井岩石物理特征	65
第一节 火山岩测井响应特征	65
第二节 基于岩石物理分析的横波预测技术	70
一、横波预测研究	71
二、估算干岩石体积模量的经验公式	71
三、干岩石体积模量和剪切模量间的经验公式	72
四、横波速度预测	73
五、火山岩横波速度预测实例	75
第三节 流体置换和岩石物理解释模板	76
第四节 测井信息的交会图版研究	78
一、弹性参数区分岩性	81
二、储层弹性参数敏感性分析	83
三、流体弹性参数敏感性分析	84
第五节 小结	87
第五章 火山岩数字化模型建立与地震波场模拟	88
第一节 火山岩地质建模	88
一、火山岩地质模型的设计	88
二、火山岩地质模型的数字化	91
第二节 火山岩地震波场正演模拟与地震响应分析	94
一、复杂介质弹性波场数值模拟理论研究	94
二、火山机构模型的地震波场正演模拟方法与地震响应分析	100
三、复杂火山岩地层模型的地震波场正演模拟与响应分析	113
四、火山岩储层、裂缝和流体的综合特征的地震波场模拟与响应分析	116
第三节 小结	119
第六章 火山岩及其储层分布特征与地震识别	121
第一节 火山岩及其储层发育特征与分布规律	121

一、区域构造及断裂对火山岩活动的控制作用	121
二、火山岩岩性与岩相	125
三、火山岩储集空间	137
第二节 火山岩地层、机构特征与地震识别	141
一、火山岩地层特征及旋回、期次	141
二、火山岩地层分期次地震解释	154
三、火山岩机构类型、特征与地震识别	163
第三节 火山岩相的划分及地震特征	171
一、火山岩相划分	172
二、火山岩相地震反射特征	177
第四节 小结	179
第七章 火山岩储层地震预测	181
第一节 火山岩储层地震预测思路	181
一、火山岩储层预测的难点	181
二、火山岩储层地震预测思路	181
第二节 火山岩储层地震预测	182
一、基于地震属性火山岩储层定性预测	182
二、基于地震叠后反演火山岩储层预测	186
三、基于地震叠前反演火山岩储层预测	189
第三节 火山岩储层裂缝特征与地震预测技术	199
一、火山岩裂缝形成机理	199
二、火山岩叠后地震裂缝预测技术	207
三、叠前地震裂缝预测技术	212
第四节 小结	218
第八章 火山岩储层预测的井震联合新技术探索	219
第一节 徐深 21-1 开发区块概况	219
第二节 3D-VSP+全方位地面地震资料采集	220
一、井-地联合地震观测方法技术优势	220
二、井-地联合地震采集系统设计	221
第三节 3D-VSP+全方位地面地震资料联合处理	229
一、零井源距 VSP+全方位地面地震资料的处理	229
二、零井源距 VSP、非零井源距 VSP 和 3D-VSP 资料的联合处理	238
三、针对各向异性的地震成像技术	242
第四节 火山岩储层 3D-VSP+全方位地面地震联合预测及应用前景	249
一、井-地联合解释预测火山岩储层	249
二、3D-VSP+全方位地面地震联合火山岩预测应用前景	259
参考文献	261

第一章 绪 论

第一节 盆地火山岩油气藏地球物理研究现状

目前，全球主要含油气盆地多数已经进入高勘探成熟期，总的趋势是逐渐向深层和非常规储层发展。火山岩作为盆地早期充填的重要组成部分，火山岩油气藏已在世界 20 多个国家 300 余个盆地或区块中被发现。但是，由于火山岩储层成因复杂，分布规律性差，已发现火山岩油气储量只占世界总储量的 1%，因此，火山岩油气藏在世界范围内没有引起足够重视，尤其在基础地质研究方面相对薄弱，基本上借鉴常规沉积岩油气藏的研究思路。但是，随着能源需求的不断攀升与石油工程技术的日益进步，尤其是近 10 年来国家层面组织重大基础研究计划 973 项目的实施以及中国东部松辽盆地火山岩勘探和西部准噶尔、三塘湖火山岩油气藏勘探的突破，火山岩油气藏必将成为油气资源勘探开发的一个新领域（图 1-1）。

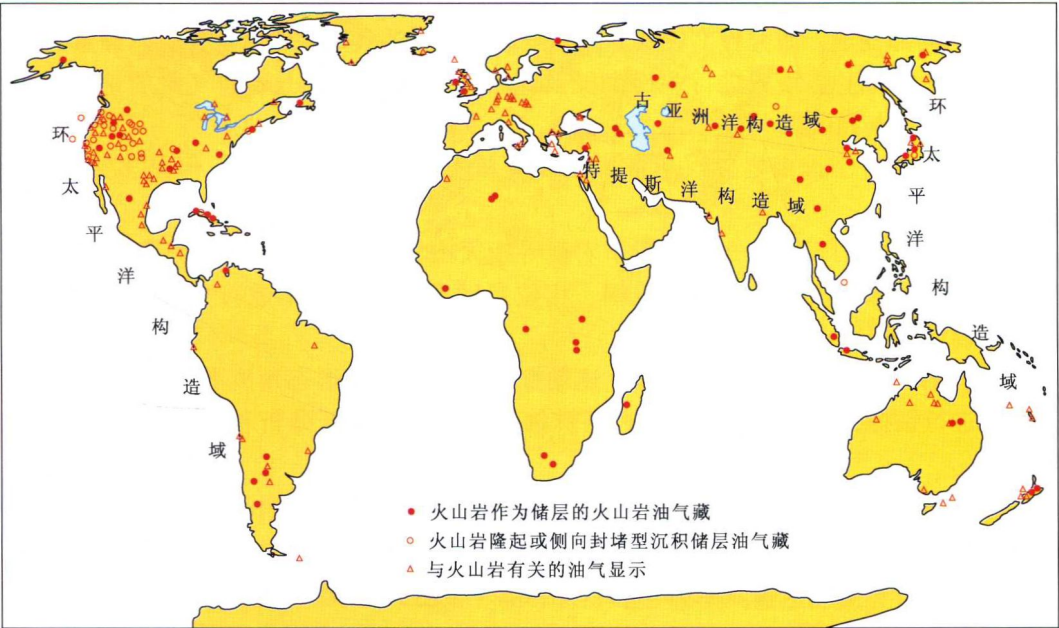


图 1-1 全球火山岩油气显示及火山岩油气田分布图（Schutter, 2003，修改）

一、国内外研究现状

1. 国外火山岩油气藏研究历程

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，至今已经过 120 多年的勘探历程。火山岩油气藏勘探分为三个阶段。

第一阶段（1950 年以前）：在浅层勘探其他类型油气藏时偶然发现火山岩油气藏，但未对其进行关注及评价研究。

第二阶段（1950 ~ 1970 年）：1953 年，委内瑞拉勘探并发现了世界上首个火山岩油田——拉帕斯火山岩油田，标志着火山岩油气藏的研究认识上升到一个新的阶段，开始在局部地区进行有目的的火山岩油气藏勘探。

第三阶段（1971 年至今）：局部地区进入规模勘探开发阶段。在美国、墨西哥、古巴、委内瑞拉、阿根廷、原苏联、日本、印度尼西亚及越南等国家相继发现了多个火山岩油气藏。其中较著名的有美国亚利桑那州的比聂赫-比肯亚正长岩油气藏，格鲁吉亚的萨姆戈里-帕塔尔祖里凝灰岩油气藏，印度尼西亚的贾蒂巴朗安山岩油气藏，日本的吉井-东柏崎流纹岩油气藏等。作为油气勘探的新领域，火山岩油气藏目前已引起全球石油界学者的普遍关注。

截至目前，国外火山岩研究具有下述特点。

（1）局部发现，研究程度较低。目前全球火山岩油气藏探明储量仅占总储量的 1% 左右，尚未作为主要领域进行全面勘探及深入研究。有关火山岩油气藏的论著较少，缺乏权威性观点和认识。

（2）日本对于火山岩储层形成机制研究相对较早且比较深入，但是多为描述性研究。

（3）各国火山岩勘探方法仅限于宏观寻找火山岩体，主要综合应用重力勘探、磁法勘探、声频磁场法、复合道的振幅、相位及频率分析等技术进行火山岩厚度分布、岩相及物性的研究。

（4）各个油气公司大多是利用上述勘探技术，从几何形态角度寻找火山口，在其分布区进行钻探，而针对火山岩这种特殊油气藏的地震特征分析和储层预测研究经验较少。

（5）国外对火山岩成藏进行了初步探讨，认为其成藏主要取决于近油源、有利岩相带及有利裂缝发育区三项因素。

（6）国外学者更关注现代火山地质研究，目前应用地震资料解释识别火山岩及有利储层仍是世界性难题。

2. 国内火山岩油气藏研究历程

国内火山岩油气藏勘探尽管起步较晚，但是投入系统研究较早，在进入 21 世纪后发展迅猛，目前我国陆上几乎所有的含油气盆地内都发现了火山岩油气藏（图 1-2）。

自 20 世纪 50 年代至今,大致可以分成以下四个阶段。

第一阶段 (1950 ~ 1990 年偶然发现阶段): 1957 年在准噶尔盆地西北缘首次发现火山岩油藏。从 20 世纪 70 ~ 80 年代开始,在渤海湾盆地辽河、济阳等凹陷相继发现火山岩油气藏。

第二阶段 (1991 ~ 2001 年局部勘探——“九五油储”启动实施阶段): 随着地质认识的不断提高和勘探技术的日益进步,20 世纪 90 年代相继在渤海湾发现红山嘴火山岩油藏,在准噶尔盆地的西北缘发现车排子火山岩油藏、石西火山岩油藏,至此,开始对火山岩油气藏开展有针对性的勘探研究。

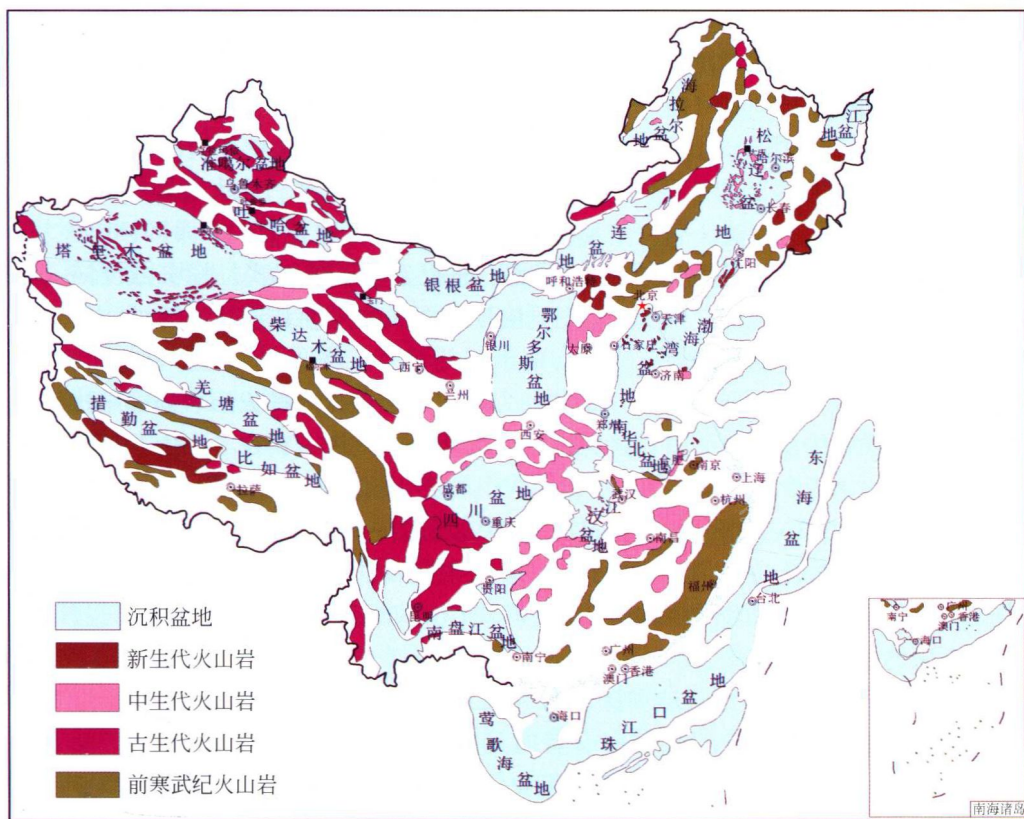


图 1-2 中国含油气盆地火山岩分布图 (据邹才能, 2008)

此阶段也是“陆相油储地球物理理论及三维地质图像成图方法”(简称“九五油储”)启动实施的重要阶段。1998 年大庆油田与国家自然科学基金委员会联合资助“九五油储”重大项目,以深层火山岩、砂砾岩等非常规油气储层为主要目标,开展地质、地球物理一体化的研究,提出地质框架模型、地震波场构造模型、综合地球物理场参数模型和地质地球物理填图综合模型的地质地球物理高层次综合的地球物理油储刻画科学思路。“九五油储”现场实验基地位于大庆油田长垣东部的徐家围子地区,旨在开展针对火山岩非常规油气储集体的各级储量规模及圈闭状况研究,提炼出了以构建“四个模型”为中心的研究流程:初始宏观地质模型、精细构造波场成像模型、

综合地球物理模型和地质图像成图。最终针对徐家围子火山岩研究取得了下述重要的成果(李幼铭, 2006)。

(1) 建立了徐家围子地区深层三维层序地层框架, 应用地球物理方法对火山岩岩相、喷发期次、旋回变化、储层层位和发育规模等进行开拓性研究。

(2) 开展了我国东部火山岩几何形态、尺度规模、内部结构和时空逻辑关系的量化表达, 并首次提出我国陆相断陷火山岩油储地球物理模型。

(3) 提出地震波传播的辛几何算法和波场延拓的李群算法, 研制成功三维波动方程叠前深度偏移软件, 形成一套完整的复杂构造地震波叠前成像理论与技术系列。“油储”联合研究组对徐家围子断陷采集的 150km 二维地震测线, 采用二维波动方程叠前深度偏移辛几何算法软件进行处理, 在 82 测线的深度域剖面上, 准确识别出“凹中隆”的内部复杂反射结构和断裂特征及地层接触关系, 为大庆徐深 1 井的部署奠定了坚实的技术基础。

(4) 总结了徐家围子地区不同火山岩地层的测井响应, 建立了火山岩地层岩性识别方法。基于 QAPF 多矿物模型进行储层参数评价和岩石定名, 为火山岩气藏的储量计算提供基础数据。

(5) 论证了位场对油气储层的刻画能力, 研究发展了填图式位场参数反演、高精度有限差分法 MT 偏移成像、由 MT 数据同时反演介质电阻率和磁化率等方法, 发展了储层预测的综合地球物理方法。

(6) 针对升平 2 井区首块经过三维波动方程深度偏移处理和火山岩内部结构处理的研究区, 基于模型约束下的火山岩地震波阻抗反演研究方法, 实现了火山岩体内部储层的横向预测及火山岩含气范围预测, 为认识火山岩复杂结构油气藏进行了开创性探索。

第三阶段(2002~2008 年技术应用重大突破阶段——大庆火山岩预测技术探索与实践阶段): 在此期间, 松辽盆地、渤海湾盆地和准噶尔盆地等全面开展火山岩油气藏的勘探部署, 取得重大进展和突破。2002 年以后, 我国几乎所有的主要油气盆地内都发现了火山岩油气储层。

此阶段为大庆火山岩预测技术探索与实践阶段。2002 年 5 月 7 日在松辽盆地徐家围子断陷完钻的徐深 1 井, 钻遇火山岩气层厚度达 198m, 获得了自然产能 $53.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 无阻流量超百万立方米的高产工业气流。由此发现了东部最大火山岩天然气藏——庆深气田, 从而拉开中国火山岩大规模勘探开发的序幕。随着火山岩油气藏勘探开发的不断研究与实践, 在三维地震叠前深度偏移、火山岩地层对比、水平切片、相干体及趋势面分析法识别火山岩机构、层序结构约束岩性密度反演预测储层等方面取得了重要技术突破。

(1) 陈树民、张尔华在“九五油储”项目研究的基础上, 建立了火山岩地震特征识别和提取方法, 形成了适合火山岩复杂结构的小波分频、分频 Q 补偿、广义 S 变换方法; 陈树民、姜传金等研究了频谱成像解释方法、地震岩性反演方法和相干体、水平切片火山机构异常提取方法, 实现了火山岩储层有效识别, 经已钻探的 40 口探井和开发井验证, 其火山岩预测的符合率高达 90% 以上。

(2) 张殿成等(2000)在松辽盆地汪家屯地区火山岩储层预测中, 根据火山岩的

地震反射特征（包括顶面反射特征、内部反射结构特征），水平切片上火山岩的反射特征识别火山岩。通过地震岩性地层模拟、地震相解释、合成记录反射特征、瞬时信息特征、储层反演、三维可视化、属性聚类分析、层位综合标定、协调振幅和瞬时振幅等地震技术识别“高波阻抗”火山岩相与“低波阻抗”陆源沉积相。

(3) 陈建文等（2000）对松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩相和火山机构进行了分析，识别出五种火山岩相和三种火山机构。徐正顺等（2006）总结了火山岩气藏储集层的特征及识别与评价方法。

(4) 王璞珺等（2003a, b）从储层地质角度将火山岩相划分为五种相和十五种亚相，总结归纳了松辽盆地露头区和钻井取心火山岩不同相、亚相的特征和识别标志，并着重探讨了火山岩相与有利储层之间的关系，使火山岩相研究更加贴近油气藏勘探与开发的实际。唐华风等（2007；2011；2012）根据火山机构的内部结构和构造不随火山锥体形状变化而改变的特征，利用倾角和相干属性识别遭受严重剥蚀的隐伏火山机构。

(5) 陈树民等（2011）、张尔华等（2010）通过开展徐家围子 6000km² 三维地震资料连片叠前时间偏移处理解释，系统开展了盆地演化、深大断裂作用和火山岩时空分布的关系研究，并根据火山活动特征和火山机构的叠置关系，实现了火山口叠合发育区单个火山机构的地震识别。姜传金等（2007；2010a, b）根据井-震联合储层反演和地震衰减属性进行含气性检测，有利储层预测结果与后期钻探成果符合率达到 75%，进一步提高了地震资料的解释精度。

(6) 陈树民等（2010）依托中国石油天然气股份有限公司物探技术攻关项目，从岩石物理、地震处理和解释等方面，进行了系统的研究。在充分应用经过优化处理后的地震道集资料基础上，进行基于岩石物理理论基础的叠前反演研究，以突破火山岩有效储层预测的技术瓶颈。针对徐家围子火山岩地震储层预测的需求，开展岩石物理建模和弹性属性正演研究，应用岩石物理解释模板对地震反演成果进行定量解释，成功雕刻出了火山岩有利储层含气储层在空间上的展布，与实际钻探对应较好，表明叠前同步反演技术在火山岩储层预测中具有较好的应用效果。

上述研究成果的实践应用，使得火山机构符合率达到 80% 以上，为徐深气田的快速探明发挥了关键作用。

第四阶段（2009 年至今深化勘探阶段——国家 973 项目基础研究与理论创新和技术升华阶段）：松辽盆地、准噶尔盆地和三塘湖盆地均发现了多个亿吨级油气当量的火山岩油气藏，目前已经建成一大批具有一定储量和产量规模的火山岩油气田，逐渐成为油气资源勘探开发的重要接替新领域。随着火山岩油气藏勘探的不断深入，“火山岩岩性圈闭和油气藏的准确地球物理刻画”日益成为勘探研究重点，气田开发也提出识别火山岩有效储层技术迫切要求。同时伴随国内其他盆地火山岩油气藏的相继发现，火山岩储层预测技术如何更具有普遍适用性成为需要迫切解决的重要技术课题。

通过调研表明火山岩岩石物理基础研究及地震响应机理研究薄弱，严重制约了火山岩储层内部结构的刻画和火山岩气藏描述的方法和技术的创新。国家重大基础研究计划 973 项目“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”瞄准国家日益紧张的能源需求，

旨在通过火山岩油气成藏模式、形成机理和分布规律等理论研究与实践应用，开拓油气勘探新领域，从而提供大型油气田后备基地。其中火山岩油气地球物理响应特征研究是解决上述重大科学问题的重要技术支撑。由于火山岩成分、成因和分布规律都较沉积岩复杂，导致火山岩地震响应特征十分复杂。因此，设立“火山岩及油气藏地球物理响应和评价技术”课题，通过地质、岩石物理、地球物理等多学科交叉和复合尺度解析研究，以解决火山岩油气藏地球物理响应科学问题和预测技术的创新。

历时五年，在原有火山岩勘探开发技术应用的基础上，开展了大量的基础实验、理论模型试算、实际生产区块的验证等，从理论上搞清了火山岩油气藏的地球物理响应规律，在应用方面形成了火山岩地层、岩性、岩相和储层预测的技术系列，并在勘探实践中见到了明显的效果。中国东部松辽盆地以及西部准噶尔等盆地火山岩油气勘探取得了突破性的进展，形成了三项创新认识：一是细分期次的火山口-近火山口爆发相、广泛分布的基性岩、酸性岩溢流相均可为致密火山岩优质储层；二是岩相和喷发界面、喷发间断期控制的火山岩风化壳致密储层；三是“相面控储、断壳运移、复式聚集”的甜点富集规律。建立了基于细分喷发期次和层控的岩石物理特征的火山机构和火山岩相、岩性地震解释方法，创新了叠前-叠后联合反演火山岩储层预测技术。

二、火山岩油气藏分布特点

历经多年勘探，我国已相继在准噶尔、渤海湾、江苏、内蒙古二连、松辽、三塘湖等 13 个含油气盆地中发现了数十个火山岩油气藏（图 1-2）。特别是在松辽盆地徐家围子断陷发现徐深气田，探明储量已超过 $2000\times10^8\text{m}^3$ ，可探明资源量在 $5000\times10^8\text{m}^3$ 以上，揭示深层火山岩盆地具有发现大油气田的潜力。通过本期 973 项目相关课题对国内外火山岩油气藏的研究分析，火山岩油气藏分布具有如下特点。

(1) 不同时代、不同岩性、岩相的各类火山岩均可形成火山岩储层，深层火山岩储层物性受压实作用影响比较小，风化淋滤、成岩作用、构造改造是形成优质储层的主要控制因素。

(2) 大型陆内裂谷和弧后裂谷盆地是有利于火山岩油气藏形成的区域构造背景。裂谷形成初期，火山喷发强烈，盆地扩张和沉降速率大，物源体系缺乏，盆地处于欠补偿沉积，水体较深，烃源岩发育，因此烃源岩和火山岩交互叠置，形成良好的生与储匹配关系。

(3) 不同盆地和层系火山岩油气藏特征具有明显差异，但普遍具有形成大面积广泛分布致密油气的地质条件，具有“相面控储、断壳运移、复式成藏”的富集规律（表 1-1）。

表 1-1 我国东西部火山岩油气藏特征对比

差异	东部火山岩油气藏	西部火山岩油气藏
地质年代	中—新生代	古生代
盆地类型	以大陆裂谷盆地为主	弧后裂谷盆地