

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气藏测井 评价技术的应用

闫伟林 李红娟 杨学峰 覃 豪 王春燕 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气藏测井 评价技术及应用

闫伟林 李红娟 杨学峰 覃 豪 王春燕 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面论述了松辽盆地北部火山岩气藏测井评价技术,并给出了油田应用实例。书中力求详细地论述火山岩岩性、岩相及喷发期次识别的理论基础及方法,给出了考虑复杂岩性成分和孔隙结构特征的储层参数精细解释方法和不同测井相的流体识别方法,并确定了松辽盆地北部火山岩储层的岩性、岩相发育规律及有效储层的分布规律,该套技术在徐家围子断陷取得了良好的应用效果。

本书适合于测井、地质、地球物理专业的研究人员、工程技术人员和高校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

松辽盆地北部火山岩气藏测井评价技术及应用 / 闫伟林等著. —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 978-7-03-044706-7

I. ①松… II. ①闫… III. ①松辽盆地-火山岩-岩性油气藏-油气测井-研究 IV. ①TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 123111 号

责任编辑: 张井飞 韩 鹏 王淑云 / 责任校对: 张小霞

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

字数: 400 000

定价: 166.00 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。

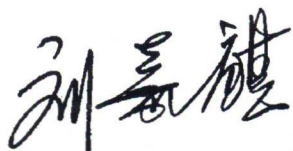
但是,作为一个新的重要的勘探领域,火山岩油气藏的成藏理论和勘探路线与沉积岩石油地质理论及勘探路线有很大不同,有些还不够成熟,甚至处于启蒙阶段。缺乏理论指导和技术创新是制约火山岩油气勘探开发快速发展的主要瓶颈。为此,2009 年,国家科技部及时设立国家重点基础研究发展计划(973)项目“火山岩油气藏的形成机制与分布规律”,把握住历史机遇,及时凝炼火山岩油气成藏的科学问题,实现理论和技术创新,这对于占领国际火山岩油气地质理论的制高点,实现火山岩油气勘探更广泛的突破,保障国家能源安全具有重要意义。大庆油田作为项目牵头单位,联合中国科学院地质与地球物理研究所、吉林大学、北京大学、中国石油天然气勘探研究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

火山岩油气藏包括火山岩本身直接作为油气储层和与火山岩或火山作用有关的油气藏。过去全球所发现的油气藏几乎都存在于海相或陆相盆地的沉积地层内，盆地基底或火山岩分布区一直被认为是寻找油气藏的“禁区”，然而这一观念自 1887 年在美国加利福尼亚州的圣华达盆地内首次发现火山岩油气藏而得以转变，从而掀开了火山岩勘探和研究的序幕。目前，火山岩油气藏已经成为当前国内外比较重要的勘探开发对象之一，全球有 100 多个国家或地区发现了 300 余个与火山岩有关的油气藏或油气显示。在国外，已经发现了一批较大规模的火山岩油气藏，如阿尔及利亚 Ben Khalala 玄武岩油气藏中探明了 $6800 \times 10^4 \text{ t}$ 的石油地质储量，澳大利亚 Browse 盆地 Scott Reef 油气田的玄武岩地层中探明了 $3877 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的天然气地质储量，印度尼西亚 NW Java 盆地 Jatibarang 油气田的玄武岩、凝灰岩地层中探明了 $1.64 \times 10^8 \text{ t}$ 的石油和 $764 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气地质储量。目前，火山岩油气产量最大的是日本 Ni-igata 盆地的 Yoshii-Kashiwazaki 气田，累计的产量为 $189.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

我国火山岩勘探虽历经 50 余年，但在 20 世纪 90 年代以前一直没有大的突破。近年来，随着地质认识的不断深入，1995 年松辽盆地北部钻探的升深 2 井在火山岩储层中获得了工业气流，2001 年在徐家围子断陷徐中构造带的预探井徐深 1 井获高产气流，2005 年又在盆地南部与徐深构造具有相似的构造背景和火山岩发育特征的长岭断陷哈尔金构造的长深 1 井获得了高产工业气流，标志着中国石油在火山岩油气藏勘探方面取得了重大突破，使得对深层火山岩天然气藏的勘探的重视程度愈加提高，松辽盆地深层火山岩气藏已成为油气资源接替及勘探的重要领域。

与常规沉积岩气藏相比，火山岩气藏地质条件更复杂，火山岩储层的测井评价更具挑战性。一是火山岩由多期次的火山岩喷发作用形成，并由多级次、相互重叠的内部结构单元组成，火山岩岩石矿物和岩石类型多、岩性复杂多样、纵横向变化快，岩性、岩相的测井响应特征复杂，识别困难；二是火山岩储层的非均质性强，岩性和储集空间类型多样，不同岩性的火山岩孔隙结构不同，电阻率等测井参数变化大，储层流体识别难，特别是气层和气水同层的区分更难；三是由于火山岩储层岩石类型多样，岩性及造岩矿物复杂，不同岩性的骨架变化较大，孔隙度相对较低，有效储层的识别和储层参数计算更为困难。2009 年 2 月李宁教授等编著的《酸性火山岩测井解释理论、方法与应用》和 2009 年 11 月中国石油勘探与生产分公司编著的《火山岩油气藏测井评价技术及应用》两部专著都从不同侧面对火山岩测井理论及方法进行论述，并较好地指导了当时的火山岩勘探开发。但随着火山岩勘探开发的对象从火山口转移到近火山口，勘探对象变得更加复杂，测井评价难度更大，因此，迫切需要建立一套相对完整的火山岩气藏测井精细评价技术。

为了全面深入地研究及认识火山岩油气藏,以便更好地指导和加快我国火山岩油气田的勘探,国家科学技术部在国家重点基础研究发展计划(973计划)中开设了火山岩油气藏的形成机制与分布规律(2009CB219300)研究项目(2008.8~2013.8)。其中探索火山岩气藏测井精细评价技术是该项目中重要内容之一。

经过五年的项目研究,形成了一套包括火山岩测井响应机理、岩性识别、测井相划分、流体识别、储层参数计算的有效适用、相对完整的松辽盆地火山岩储层测井评价技术和方法,为松辽盆地火山岩 2000 亿 m^3 探明储量的提交及气田的有效开发提供了有力的技术支撑,较好地满足了松辽盆地北部、松辽盆地长岭断陷等重点勘探区块的测井技术需求。该技术主要包括:

(1) 建立了以常规测井、元素俘获测井及电成像测井相结合的火山岩岩性、岩相识别方法,制定并实施了火山岩岩性测井识别技术规范,形成了精细刻画火山岩岩性、岩相和喷发期次的技术。

(2) 建立了在元素俘获测井及常规测井计算岩石骨架参数基础上的变骨架孔隙度解释方法,以核磁共振测井资料和储层品质指数为基础的渗透率解释模型,以及基于孔隙结构和导电孔隙的饱和度计算方法。

(3) 建立了以横纵波时差、核磁共振测井及常规测井资料为基础,双密度重叠、综合指数等多种方法相结合的火山岩储层流体识别技术。

本书是松辽盆地近五年来火山岩气藏测井评价技术攻关成果的总结和提炼。主要内容包括第一章绪论,由闫伟林、李红娟编写;第二章介绍了松辽盆地火山储层的基本特征,包括火山储层的储集空间、储层物性特征、火山机构与储层物性的关系、火山岩岩性与储层物性,由王春燕、覃豪编写;第三章介绍火山岩岩性岩相分类及测井响应特征,包括火山岩岩石学特征及岩性分类、火山岩岩相特征及分类、火山岩岩性测井响应特征及响应机理、火山岩岩相地质成因及测井响应模式,由李红娟、杨学峰、王春燕编写;第四章主要介绍火山岩岩性岩相测井识别方法,包括火山岩岩性识别方法、结构构造 FMI 成像测井识别方法、储层井壁成像测井资料处理方法及火山岩岩性岩相测井识别流程及实例,由闫伟林、王贵文、王春燕编写;第五章主要介绍火山岩储层参数解释及流体识别方法,主要包括火山岩气藏的孔隙度、渗透率、饱和度参数解释方法及气、水层识别的测井评价方法和技术,由覃豪、李红娟、王春燕编写;第六章主要介绍火山岩储层有效性评价及发育规律,包括火山岩储层测井分类方法、有效储层的测井显示及识别标志、储层物性发育规律、储层岩性发育规律、岩相发育规律及有效储层的分布规律,由闫伟林、王贵文、李红娟编写;第七章介绍了火山岩气藏测井评价技术在松辽盆地徐家围子深层的应用实例,由杨学峰、李红娟编写;全书由闫伟林、李红娟、王贵文负责统稿。

在本书的编写过程中,得到了大庆油田有限责任公司勘探开发研究院副院长、总工程师陈树民教授,副总工程师刘传平教授,中国石油大学(北京)王贵文教授的大力支持与帮助,也得到了大庆油田勘探开发研究院地球物理测井研究室金雪英、王春阳、王敬岩、张兆谦、郑建东的协助。在本书中,引用了部分同行的科研成果、论文成果及相关教材的内容,在此深表谢意!

本书适合油气田勘探开发测井和相关地球物理专业研究人员、工程技术人员及高校师生阅读参考，由于本书涉及地质学、矿物学、地球物理学等多个领域，研究内容复杂，加之作者水平有限，错误与不足之处，还望读者批评指正！

编 者

2014 年 3 月 28 日于大庆

目 录

丛书序

前言

第一章 绪论	1
第一节 国外火山岩气藏测井评价技术现状	1
第二节 国内火山岩气藏测井评价技术现状	2
第三节 火山岩储层测井评价难点	3
第二章 松辽盆地火山岩储层基本特征	5
第一节 火山储层的储集空间	5
一、火山岩储集空间分类	5
二、火山岩孔隙空间结构与碎屑岩和碳酸盐岩的区别	7
第二节 火山储层的物性特征	8
一、孔隙特征	8
二、裂缝特征	9
三、储集类型及孔缝组合	11
第三节 火山机构与储层物性的关系	11
一、火山机构相带与储层物性关系	11
二、火山机构类型与储层物性关系	13
第四节 火山岩岩性与储层物性的关系	15
第三章 火山岩岩性测井响应特征及识别方法	18
第一节 火山岩岩石学特征	18
一、岩石的化学成分	18
二、岩石的矿物成分	20
三、火山岩岩石分类方案	22
第二节 火山岩岩相特征及分类	32
一、火山岩岩相分类	32
二、火山岩岩相识别标志	36
三、火山岩岩相类型及发育特征	37
第三节 火山岩岩性测井响应特征及响应机理	40
一、火山岩放射性测井响应特征及响应机理	41

二、火山岩孔隙度测井响应特征及响应机理·····	44
三、火山岩电阻率测井响应特征及响应机理·····	49
四、元素俘获伽马能谱测井响应特征及响应机理·····	50
五、火山岩岩石结构构造的测井响应特征及响应机理·····	51
第四节 火山岩岩相地质成因及测井响应模式·····	60
一、火山岩岩相模式及岩性序列·····	61
二、火山岩岩相的成因序列及测井响应特征·····	61
第四章 火山岩岩性岩相测井识别方法研究·····	73
第一节 火山岩岩性识别方法·····	73
一、常规测井识别火山岩岩石类型·····	73
二、ECS 测井识别火山岩岩石成分·····	76
第二节 火山岩结构构造 FMI 成像测井识别方法·····	78
一、井壁成像测井图像特征分类方案·····	78
二、井壁成像测井解释模式特征图像·····	82
三、井壁成像测井解释模式的意义·····	82
四、松辽盆地火山岩岩相标志的井壁成像特征模式·····	88
第三节 火山岩储层井壁成像测井资料处理方法·····	89
一、井壁成像测井资料处理技术·····	90
二、基于目标体的变窗长成像资料精细处理方法研究·····	97
三、火山岩结构、构造特征信息提取方法研究·····	102
第四节 火山岩储层井壁成像测井资料解释方法·····	109
一、井壁成像测井岩心刻度及解释方法·····	109
二、火山岩典型岩相、亚相电成像特征模式及识别图版·····	113
第五节 火山岩岩性岩相测井识别流程及实例·····	120
一、沉积岩和火山岩识别方法·····	121
二、火山岩岩性识别流程及方法实例·····	122
三、岩相划分方法及实例·····	125
第五章 火山岩储层参数解释及流体识别方法·····	127
第一节 火山岩储层孔隙度解释方法·····	127
一、火山岩岩石骨架参数的确定·····	128
二、有效孔隙度解释方法·····	131
第二节 火山岩储层渗透率解释方法·····	134
一、层流指数分类法计算渗透率·····	134
二、利用测井资料进行层流指数分类·····	136

第三节 火山岩储层含气饱和度解释方法	137
一、火山岩地层电性特点和利用电阻率计算饱和度的难点	137
二、密闭取心饱和度模型	138
三、应用毛管压力资料计算含气饱和度	140
四、基于背景导电的饱和度解释模型	145
第四节 火山岩储层气水层测井识别方法	147
一、三孔隙度组合法	150
二、双密度重叠识别法	151
三、阵列偶极声波测井识别流体性质	153
四、核磁共振-密度孔隙度组合法	159
五、综合指数法	160
第五节 核磁共振测井在储层参数计算中的应用	162
一、核磁共振测井基本原理与测量方式	162
二、核磁共振测井解释模型	165
三、核磁共振测井渗透率解释方法	168
四、核磁共振测井饱和度计算	172
第六章 火山岩储层有效性评价及发育规律	176
第一节 火山岩储层测井分类方法	176
一、应用常规测井资料进行储层分类	177
二、应用毛管压力及核磁进行储层分类	180
第二节 有效储层的测井显示及识别标志	185
一、有效储层的测井显示	185
二、有效火山岩储层的识别	187
第三节 松辽盆地有效火山岩储层物性发育规律	188
一、松辽盆地火山岩储层的储集空间总体特征	188
二、有效火山岩储层和干层的物性对比	189
三、不同类型的有效火山岩储层物性对比	191
第四节 松辽盆地有效火山岩储层岩性发育规律	193
一、松辽盆地有效火山岩储层和干层的岩性对比	193
二、不同有效火山岩储层类型的岩性特征	196
第五节 松辽盆地有效火山岩储层的岩相发育规律	198
一、有效火山岩储层和干层的岩相对比研究	198
二、不同有效火山岩储层的岩相研究	204

第六节 有效储层的分布规律	210
一、有效储层分布的影响因素	210
二、研究区有效储层的分布特征	211
第七章 火山岩储层测井评价技术应用	214
第一节 测井系列选择	214
一、测井系列优选及测井评价流程	214
二、测前设计	219
第二节 松辽盆地北部徐家围子断陷应用实例	227
一、区域地质概况	227
二、测井评价难点	228
三、测井评价流程	229
四、火山岩储层测井评价技术在徐家围子断陷气藏勘探开发中的重大作用	230
参考文献	250

第一章 绪 论

由于火山岩地层的岩性、孔隙结构复杂,以及世界范围内火山岩油气储层相对较少,早期火山岩储层评价工作远不如砂岩储层、碳酸盐岩储层的研究成熟。随着对油气资源需求的增长和火山岩油气储层的不断发现,国内外测井研究人员对火山岩油气储层的测井评价研究也逐步增多。

第一节 国外火山岩气藏测井评价技术现状

国外多个含油气盆地中广泛分布着火山岩,19世纪末就有对火山岩油气藏的报道,日本、印度尼西亚、古巴、墨西哥、阿根廷、加纳、美国、原苏联等地均有火山岩油气藏。国外对火山岩储层测井评价研究相对较早,但也多是针对测井曲线响应特征和岩性识别方面的研究。

纳尔逊(Nelson)和格伦(Glenn)1975年在辉绿岩、安山岩、安粗岩中注意到高中子读数,并认为它是由于热液蚀变时束缚在掺入矿物(云母和黏土)上的水所引起的。克尔海夫(Kerhervé,1977)对日本的玄武岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩和角砾岩的测井响应进行了广泛的研究。斯科特基斯(Scott Keys,1979)介绍了正长岩、花岗岩和辉绿岩的自然伽马、中子、密度和声波测井响应,并显示出了热液蚀变在中子和声波测井曲线上的反映,认为热液蚀变是裂缝的明显证据。桑耶大等(Sanyal et al,1980)等作出了流纹岩、玄武岩和凝灰岩的自然伽马、密度、中子和声波测井曲线的直方图和交会图。里格比(Rigby,1980)论述了玄武岩、玄武质角砾岩、安山岩和凝灰岩的裂缝识别问题,他证实了中子测井的高读数是由热液蚀变引起的。贝诺伊特(Benoit et al,1980)讨论了密度、中子、声波和自然伽马测井在玄武岩、流纹岩和英安质凝灰岩,以及花岗岩上的测井响应特征。

卡契基安(Khatchikian,1982)对某盆地的两种火山岩地层层序进行了研究,确定出了两种岩石类型的密度、中子、声波、放射性(Th、U、K)和岩性密度(LDT)测井及光电吸收截面指数Pe等测井参数,利用密度-中子、密度-声波测井交会图、M-N交会图和Z值图辨认岩石类型,统计出每类岩石的骨架值,并用复杂岩性GLOBAL计算程序进行了实际处理(用“岩石体积”模型),他同时指出,由于火山岩的矿物结构复杂,要确定出每类岩石的唯一骨架值是不可能的。塞拉(Serra,1985)总结了前人在未蚀变火山岩中研究成果,即主要用交会图识别岩性,他还用4种矿物构成花岗岩体积模型,但令人遗憾的是模型中未考虑孔隙度及流体性质的影响,因此在实际应用中存在较大的局限性。

Belgasem (1993) 对利比亚某井 520ft^① 的花岗岩地层进行测井定量处理, 用经验方法估计裂缝孔隙度, 定性给出裂缝与花岗岩热液蚀变的关系。对于未蚀变花岗岩, 考虑矿物黄铁矿; 对于风化花岗岩, 考虑黏土矿物高岭石; 对于绿泥石带, 考虑黏土矿物绿泥石; 对于重结晶和绢云母化带, 考虑矿物绢云母。他建立了多个花岗岩矿物模型, 但未给出任何参数和计算方法。

在德国科学钻探计划 KTB 中, Eberle (1992) 用多元统计方法解释了多种测井资料, Zimemann (1992) 用多元统计方法计算孔隙度, Draxletr (1992) 用测井与化学测井结合估计结晶岩的矿物成分。而 Galle (1994) 对法国科学钻孔中如何用中子测井计算致密花岗岩的孔隙度进行了探讨。Galle 认为对于低孔隙的花岗岩, 必须仔细考虑中子测井的骨架效应, 才能计算准孔隙度。

在国际大洋钻探计划 IODP 中, 美国哥伦比亚大学和英国 Leuester 大学的学者进行了大量有关火山岩地层的研究工作。相对于以往测井解释中采用统计、神经网络等方法, 或应用斯伦贝谢测井公司的软件进行孔隙度、含水量和渗透率等的计算, Peter Harvey (1994) 利用化学测井资料推算矿物体积, 进而确定骨架参数, 对 IODP 的测井资料进行了处理, 其解释结果比以往有了较大的改进。

第二节 国内火山岩气藏测井评价技术现状

我国火山岩勘探已历经 50 余年历程, 但直到近年来才不断有大发现, 尤其是松辽盆地深层勘探的突破, 使火山岩逐渐成为我国油气资源重大接替领域之一。

从 20 世纪 70 年代开始, 我国的地质工作者开始对火山岩分布区进行油气勘探的研究工作, 与国外相比虽然起步较晚, 但发展很快, 在短短的三十多年中, 我国先后在渤海、大港、胜利、辽河、二连、大庆等发现了火山岩油气藏, 随着这些火山岩油气藏的发现, 国内研究人员开展了一些火山岩储层测井评价的研究。

80 年代初开始的一些准噶尔盆地火山岩测井解释的文献, 主要是用交会图识别岩性。尚林阁和潘保芝 (1986) 利用模糊聚类方法, 对花岗岩古潜山裂缝进行统计识别。衡志 (1988) 探讨了安山岩裂缝性储层的特性, 用双侧向电阻率的差异识别裂缝。欧阳健和王英杰 (1988) 描述了裂缝性复杂岩性地层的测井解释方法, 并对辽东湾中生代的火山岩地层的测井响应进行统计, 在此基础上采用判别分析方法划分岩性, 用“双矿物”模型计算岩石孔隙度及双矿物含量。匡立春 (1990) 用交会图识别克拉玛依油田的火山角砾岩、玄武岩及流纹斑岩等三类火山岩。卞德智等 (1991) 根据准噶尔盆地火山岩储层岩心镜下鉴定及自然伽马、补偿密度、声波、补偿中子、 M 值、 N 值等测井资料, 建立了该区各类岩性测井信息数据库, 研究了该区火山岩地层的测井响应特征, 利用模糊数学的方法识别岩性。同时他还以克拉玛依油田石炭系玄武岩储集层为例, 对不同类型玄武岩储集层的测井特征、岩石矿物成分及其次生变化、裂缝发育以及含油性等对测井响应的影响进行了分析, 对地层孔隙度、含油饱和度的计算进

^① 1ft=0.3048m

行了研究。张国杰(1991)根据阿尔善地区取心资料与测井信息拟合及对比,确定了岩性识别、孔隙度计算、储层性能评价及含油性评价等方法。他同时指出,火山岩的强非均质性和孔隙-裂缝性储层特征以及蚀变作用对岩石电性特征的影响使得对火山岩的评价变得比较困难,岩心分析资料与相对应的测井信息的绝对误差,对于低孔隙度火山岩储层的评价来说,精度远远不够。郭镇彬(1991)对二连盆地火山岩类型鉴别的测井方法进行了探讨,采用“双矿物”法计算孔隙度。余芳权(1994)运用岩石录井、电测井、化验分析资料,对江陵凹陷金家场新沟嘴组上段火山岩进行了较系统的研究和论述。范宜仁等(1999)结合新疆克拉玛依油田的火山岩油气田岩性特点,给出了识别火山岩岩性和裂缝的常规测井交会图技术。

陆风根等(1998)利用测井数据和岩心分析数据对胜利油田临盘地区的火山岩储层进行了研究。景永奇等(1999)依据花岗岩潜山发育裂缝在各种常规测井曲线上的不同响应特征,利用岩心资料和成像测井图像标定常规测井曲线,进而建立裂缝指示曲线,并判别古潜山纵向裂缝发育带。刘呈冰等(1999a)提出以核磁共振、自然伽马能谱、微电阻率扫描等测井数据为基础,以双孔隙介质模型为理论依据的识别和评价裂缝性火山岩储层的方法,如利用成像测井、偶极横波测井等识别火山岩的裂缝段,用核磁测井资料来评价孔隙度及流体性质。刘呈冰等(1999b)用多口井中的统计资料计算孔隙度等参数,但由于规律性差,资料点分散,限制了应用的效果。

李瑞等(1996)采用总和概率法与混合体积模型计算火山岩储层的裂缝孔隙度、有效孔隙度等参数,取得了一定的效果。王芙蓉等(2003)根据火山岩全直径岩心分析资料,采用密度(DEN)值建立了流纹岩和安山岩的孔隙度计算公式。王全柱(2004)在火山岩储层的研究中,从地区测井资料及试油试采资料入手,结合钻井取心、测井资料及地震资料等相关资料,根据有关公式计算出了裂缝的产状、张开度及储层特征,对储层裂缝系统中裂缝的产状、张开度和储层的孔隙度、渗透率、饱和度进行了室内研究,并对火山岩成因油藏进行了分析,找出了一种适合某地区火山岩储层的评价方法。通过储层精细评价,确定了4类储集层,并划分出了储层的有效裂缝带。

通过对国内外研究成果的总结,我们发现以往火山岩的研究内容主要集中在测井曲线响应特征描述、火山岩岩性识别及孔隙度计算方面,对于火山岩岩相测井识别、流体识别、饱和度解释、渗透率计算等方面涉及得较少,火山岩储层缺乏一套科学的、系统的测井综合评价技术。

第三节 火山岩储层测井评价难点

与沉积岩储层相比,火山岩储层的测井评价更具有挑战性,主要表现在:①火山岩岩性复杂多样、纵横向变化快,岩性识别和多井对比难度大;②火山岩的储集空间复杂多样,孔隙度较低,使得有效储层的识别和储层物性及有效性评价更加困难;③岩性和储集空间的复杂多样,造成了孔隙结构的复杂多变,给电阻率测井资料评价储层的含气性增加了很多的不确定性,从而导致流体识别和饱和度计算十分困难。

(1) 储层岩性的准确识别难。储层发育程度与岩性有密切的关系,因此岩性识别是储层识别评价的基础和关键。火山岩岩石矿物和岩性复杂,岩石类型和结构多样,尤其是在一些中基性的过渡岩性中,其矿物成分没有明显的界线,使得测井响应也具有复杂性和多解性。目前已发现的火山岩储层的岩性主要有玄武岩、安山岩、英安岩、粗面岩、流纹岩、火山角砾岩、凝灰岩等多种岩性,不同岩性之间既有矿物组分差异,又有岩石结构不同,同时受储层物性和流体性质的影响,造成测井信息特征不明显。目前通过各种测井资料综合识别岩性在部分区块已取得初步的成果,但还需进一步深化研究,形成岩性识别方法。

(2) 储层流体识别难。矿物成分复杂,储集空间类型多,不同岩性的火山岩孔隙结构不同,电阻率变化较大,岩石孔隙结构引起的电阻率的变化在一定程度上掩盖了孔隙流体对电阻率的贡献。储层非均质性强,厚度、物性、流体性质横向变化大,无统一油(气)水界面。而且测井响应受岩性的影响大,流体响应较弱,传统的中子-密度交会等储层含气性测井解释方法适用性差,使得火山岩储层流体识别的难度很大。

(3) 储层储集空间复杂。除孔隙型外,储层储集空间还有裂缝、孔洞、溶洞型。储层孔隙结构和裂缝有效性评价困难。虽然通过压汞、铸体薄片、核磁共振实验资料可以评价储层孔隙结构,但在测井资料应用评价上存在很大困难。有效裂缝在各种测井资料响应上存在差异,常规测井资料 and 特殊测井资料处理的孔隙度差别很大,没有一个公认的刻度标准。

(4) 储层参数准确计算难。火山岩储层岩石类型多样,岩性及造岩矿物复杂,导致不同岩性的骨架参数变化较大。同时火山岩储层的孔隙度一般较小,而7%以下孔隙度的精确计算及储层有效性评价一直是测井评价的难点。

(5) 储层测井相划分难。火山岩测井相的识别对有利储层预测、勘探及开发重点目标的选择具有重要意义。目前,只有关于沉积岩和碳酸盐岩测井相划分方面的研究,没有关于火山岩测井相方面的研究。而火山岩岩性、岩相与沉积岩和碳酸盐岩相比更加复杂,给火山岩测井相划分带来很大难度。

为了满足火山岩储层勘探开发的需要,针对上述挑战和技术难题,本书以松辽盆地深层火山岩为例,介绍了一套包括岩性识别、测井相划分、流体识别、储层参数计算等在内的相对完整的松辽盆地火山岩储层测井评价技术和方法。