

《火山活动与油气盆地系列丛书》1

盆地火山岩

岩性·岩相·储层·气藏·勘探

王璞珺 冯志强 等著



科学出版社
www.sciencep.com

火山活动与油气盆地系列丛书（一）

盆地火山岩

岩性 · 岩相 · 储层 · 气藏 · 勘探

王璞珺 冯志强 等 著

国家重点基础研究发展计划（973）课题 2006CB701403

国家自然科学基金项目 49894190 和 40372066

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述了油气盆地内的火山岩、火山岩储层、火山岩油气藏及其勘探。在简明介绍国内外相关火山岩油气藏基础上,通过对松辽盆地火山岩的剖析研究,系统论述了火山岩储层的岩性、岩相、储层物性、微观结构和成藏特点,各种储层参数和成藏要素之间的相互关系,火山岩有效储层的测井、地震识别和地质-地球物理综合描述与评价及其相关方法技术。

本书适合石油与天然气地质勘查、油气开发和勘探地球物理专业的科技人员和大专院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

盆地火山岩:岩性·岩相·储层·气藏·勘探/王璞珺等著.

—北京:科学出版社,2007

(火山活动与油气盆地系列丛书:1)

ISBN 978-7-03-019668-2

I. 盆… II. 王… III. 含油气盆地-火山岩-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 127560 号

责任编辑:韩 鹏 王新玉/责任校对:邹慧卿

责任印制:钱玉芬/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>

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

*

2008 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 1 月第一次印刷 印张:20 3/4

印数:1—1 300 字数:458 000

定 价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《盆地火山岩：岩性·岩相·储层·气藏·勘探》

作 者 名 单

王璞珺 冯志强 刘万洙 陈树民 单玄龙

吴河勇 程日辉 王玉华 边伟华 任延广

郑常青 冯子辉 黄 薇 唐华风 黄玉龙

Volcanic Rocks in Petroliferous Basins :

Petrography · Facies · Reservoir · Pool · Exploration

Pujun Wang and Zhiqiang Feng

With

Wanzhu Liu

Shumin Chen

Xuanlong Shan

Heyong Wu

Rihui Cheng

Yuhua Wang

Weihua Bian

Yanguang Ren

Changqing Zheng

Zihui Feng

Wei Huang

Huafeng Tang

Yulong Huang

序 一

王璞珺教授等所著《盆地火山岩：岩性·岩相·储层·气藏·勘探》是从盆地和油气勘探角度系统地论述火山岩的专著。该课题组于1997~2003年间参加由我主持的国家自然科学基金重大项目《陆相油储地球物理理论及三维地质图像成图方法》，承担其中“大庆目标区火山喷发岩储层建模机制分析及数学表达49894190-13”和“断陷盆地火山岩-碎屑岩储层形成机理及数学模型49894190-12”两个课题，在松辽盆地断陷层序的地层序列及其划分对比、火山岩相及其与储层物性关系、深层复杂岩性现场快速识别方法技术三个方面开展了卓有成效的研究工作，并取得一系列原创性成果，所提出的“大庆深层火山岩油储模型”曾作为“油储”项目的代表性成果之一，向前总理朱镕基展示。

本书是王璞珺课题组与大庆同仁十几年持续研究工作的结晶，阐述了该盆地火山岩的岩性特征、岩相划分识别及其与储层物性的定量关系，以及与火山岩油气藏勘探与开发密切相关的最新成果。

火山岩油气勘探是摆在我国油气地质与地球物理工作者面前的新课题，也是世界性难题。该书向着攻克这一难关迈出了可喜的一步。

中国科学院院士



序 二

火山岩是各类沉积盆地充填序列的重要组成部分，同时也是油气的重要储集岩类之一。国外火山岩油气勘探已有一百多年的发展历史。我国火山岩油气勘探和开发虽然起步较晚，但亦已经历了近 30 年的历程，积累了丰富的实际资料和研究经验。然而，由于火山岩储层和火山岩油气藏较之常规沉积岩储层更加复杂，在盆地火山岩的岩性、岩相、储层物性及其相互关系方面亦有很多科学问题需要解决；在火山岩储层识别、描述和油气藏预测、评价等方面尚有很多地质-地球物理技术亟待开发和完善。我国曾于 20 世纪 70 年代后期提出“大庆下面找大庆”的口号。近十几年的勘探实践证明松辽盆地拗陷层序之下确实孕育有大型气田，而且 80% 以上的深层天然气都赋存在断陷期火山岩中。这是一个重大发现和突破。火山岩油气勘探和开发难度大，是摆在我国地质和勘探工作者面前的重大难题。如何解决这些难题，将直接关系到我国油气产业的可持续发展问题。

王璞珺教授等撰写的《盆地火山岩：岩性·岩相·储层·气藏·勘探》一书，总结了我国东部典型中、新生代盆地火山岩的研究成果，从岩性特征、岩相组合、储层物性及其与岩性岩相的关系，以及有效火山岩储层和火山岩油气藏等诸方面对盆地火山岩的地质特征、储层成因和物性变化规律进行了系统论述。进而总结归纳了用于火山岩储层和油气藏勘探的实用有效方法和技术，包括物性测试和包裹体分析、测井-火山岩亚相识别和地震-火山岩储层预测与评价方法技术。

该书对国内外火山岩勘探与研究的历史和现状的评述较为全面，对快速掌握该领域的概貌很有帮助。对盆地火山岩的岩性和岩相的分类、特征和识别标志等方面的论述既系统、严谨，又有很强的实用性。火山岩储层的储集空间主要由孔（原、次生孔隙）、缝（原生节理、冷凝缝和后生构造缝）及洞（晶洞、溶洞）构成的“三孔介质”组成。该书以松辽盆地为例系统论述了火山岩储层的成因和控制因素，指出原始喷发岩相和亚相是孔隙的主要控制因

素，有效火山岩储层的储集空间的 70% ~ 95% 由孔隙构成，30% ~ 5% 由裂缝构成，从而可以认为有效火山岩储层主要受岩相和亚相控制。因此火山岩储层的识别就转化为可作为有效储层的火山岩亚相发育带的识别，这样就使得勘探目标更加集中。这些认识对火山岩油气勘探具有重要指导作用，对其他盆地的火山岩研究也有借鉴意义。

值得一提的是，我国东部中生代火山岩十分发育，大体可分为三个岩省：北部钙碱性火山岩省（东北地区）、中部橄榄安粗岩省（苏、鲁、皖地区）和南部钙碱性火山岩省（东部沿海地区），呈一种特殊的“夹心式”分布格局。东南沿海地区露头好、研究程度高，东北地区覆盖严重因而一度影响了对火山岩的详细研究。该书系统详尽地介绍了东北地区盆地内部的火山岩，这对区域火山岩的研究和对比以及对整个东部火山岩的油气勘探将会起到促进作用。

中国科学院院士

王德滋

前言

火山岩是各类盆地充填序列的重要组成部分 (Einsele, 2000), 也是油气的主要储集岩类之一, 还可以构成局部盖层。火山岩储层以及与火山岩有关的油气藏在中、新生代陆相及海相盆地中具有全球性发育的特点。例如, 美国 San Juan 拗陷 (Gries et al., 1997); 俄罗斯 Sakhalin 盆地、Kuril 盆地和 Kura 地堑 (Levin, 1995); 日本 Hokkaido 至 Honshu 的新生代含油气盆地群 (Wakita and Sano, 1983; Sakata et al., 1989) 和欧洲北海盆地 (Stewart and Clark, 1999)。

与国外相比, 我国东部中、新生代陆相油气盆地中的火山岩、火山岩储层和相关油气藏似乎更为发育。二连盆地 (费宝生, 1998)、海拉尔盆地 (冯志强等, 2004)、松辽盆地 (王璞珺等, 2003; 蒙启安等, 2005) 的火山岩和火山碎屑岩是断陷期的主要储集岩类。包括下辽河拗陷在内的渤海湾盆地群古近系玄武岩和粗面岩是油气的重要储层 (曾广策等, 1997; 庄博, 1998; Luo et al., 1999; Chen et al., 1999)。苏北盆地闵北地区 (冀国盛等, 2002) 和江汉盆地金家场构造 (闫春德等, 1996) 的下第三系中也发现火山岩工业油藏。另外, 火山岩还可形成风化壳型储层, 如准噶尔盆地下二叠统火山岩储层 (代诗华等, 1997)。

国外火山岩油气勘探已经有一百多年的历史 (表 1-1)。早在 20 世纪 70 年代初我国在渤海湾盆地就发现了火山岩工业油藏。然而, 相对于沉积储层而言, 盆地火山岩和火山岩储层研究目前还很薄弱。究其可能原因主要有以下两种。首先, 就全球范围讲, 火山岩储层的油气意义 (其总体规模和数量) 还远不及沉积岩, 对其进行详细研究的产业原动力小; 其次, 火山岩具有岩性和岩相变化快、储集空间和成藏系统复杂等特点, 研究起来难度更大。

到目前为止, 火山岩储层和油气藏的勘探、开发和评价, 在很大程度上还主要沿用沉积储层的理论、方法和技术。这种状况已经远不能适应我国油气产业的实际需求。尤其是近十几年来, 随着我国东部深层油气勘探的不断

深入,陆续发现了一批又一批的火山岩油气藏。火山岩已被证实是松辽盆地断陷层序最主要的天然气储集岩类(占90%左右)。这就从客观上对盆地火山岩研究提出了更高的需求,要求我们重新认识盆地火山岩,研究它们在盆地充填序列和盆地演化中的作用,研究火山岩的成储和成藏规律,剖析有效火山岩储层的特殊性和规律性,从而有效地指导火山岩油气勘探、开发和评价。同时还要研究开发出针对火山岩特点的勘探开发技术。

本书正是在这一背景下完成的,以期通过对现有资料和认识的归纳总结为今后相关研究提供某些借鉴,尤其是希望以这样抛砖引玉的方式促进我国盆地火山岩研究的理论创新和技术进步。

作者自1987年从营城组剖面火山岩研究开始,20年来先后完成了“吉黑盆区白垩纪火山事件与地层对比(面上基金)”、“松辽盆地北部深层地层划分对比(部重点专项)”、“火山喷发岩储层建模机制分析与数学表达(基金重大项目课题)”、“断陷盆地火山岩-碎屑岩储层形成机理(基金重大项目课题)”、“松辽盆地火山岩储层预测与评价(部重点专项)”、“中国东部陆缘主要盆地区深层油气目标研究(部重点)”、“中国东部陆缘中区火山活动与成盆规律(部重点)”、“下辽河盆地火山岩岩性、地球化学、年代学和古地磁研究(横向)”、“白垩纪重大地质事件(973项目课题)”等一系列有关盆地火山岩、火山岩储层和油气藏的各级各类项目。这些工作都是与油田研究院及相关部门的专家合作共同完成的。

本书主要是对这些研究工作的综合和提升,同时吸纳了国内外相关研究成果,它是长期的产、学、研结合的结晶。本书是按照研究生教材的体系编排的,每一部分主要由原理、方法、实例三个基本单元构成。

多年来,先后参加上述科研工作并做出实质性技术贡献的过百人,本书所列作者只是他们中的持续研究者和各个研究阶段的代表人物。在此,首先感谢对相关研究做出贡献的所有同仁。杜小弟、孙晓猛、万传彪、郭占谦、蒙启安、门广田、朱德峰、张尔华、邵锐、印长海、舒萍、齐景顺、姜传金、刘文龙、吴海波、梁江平、杨宝俊、刘财、张梅生、李庆峰、王鹏、杨步增等直接参与或指导了野外、钻井火山岩储层方面的研究。课题组教师所带博士、硕士研究生和本科毕业生数十人先后参加了该项研究工作,其中有些同学做出了重要学术贡献,如闵飞琼、张斌、白雪峰、高有峰、郭振华、李金

龙、贾军涛、侯景涛、许中杰、邱春光、王加强、张艳、王树学、曲永宝、崔凤林、谷志东、陈金燕、李全林、孔庆莹、游海涛、温暖、宋维海等。

对刘光鼎院士、李舟波教授、李幼铭和刘洪研究员、吴永刚和付有升总工、萧德铭局长在国家自然科学基金重大项目研究中的指导和帮助表示诚挚谢意；衷心感谢蔡希源博士、侯启军博士、徐正顺总地质师、迟元林博士、庞彦明博士、金成志博士和孙英杰博士对课题组火山岩储层研究的一贯支持和长期帮助；特别感谢关德范院长、张洪年院长、郑和荣博士、龙胜祥博士在中国东部火山岩和深层油气目标研究中的指导和帮助。感谢杨兴洲、孟卫工、陈振岩、张占文、蔡国钢在辽河盆地火山岩研究中的指导和帮助。尤其感谢 973 项目首席科学家王成善教授和万晓樵教授的指导和帮助。感谢德国导师 Prof. Dr. Gerhard Einsele 和 Prof. Dr. Muharrem Satir 在盆地火山事件研究中的指导。感谢刘少华博士在本书出版过程中的建设性意见和无私帮助。还要感谢德国洪堡基金会 (Alexander von Humboldt Stiftung, Deutschland) 在样品测试和室内研究中给予的资助。本书部分内容属于“高等学校博士学科点专项科研基金”资助课题 No. 20030183042 成果。本书为吉林大学研究生立项教材，在撰写和出版中得到“吉林大学研究生教材建设项目”资助。

最后特别感谢刘光鼎院士和王德滋院士为本书作序。

王璞珺

2007 年 5 月于长春

目 录

序 一

序 二

前 言

第一章 绪 论	1
一、国外盆地火山岩与油气勘探	1
二、国内典型盆地火山岩储层/油气藏简述	5
第二章 火山岩的岩性、岩相和火山机构	9
第一节 盆地火山岩分类	9
一、火山岩分类研究的历史和现状	9
二、松辽盆地深层火山岩及其他岩石分类方案	11
三、松辽盆地火山岩及其他岩石分类的几点说明	15
第二节 具体岩石类型特征描述	18
一、松辽盆地主要火山岩类型	18
二、松辽盆地常见/典型火山岩类型及其鉴别特征	19
第三节 火山岩相分类和主要特征	34
一、火山岩相研究回顾	34
二、松辽盆地火山岩相和亚相类型及其储集空间特征	35
第四节 松辽盆地火山岩相相序和相模式	45
一、松辽盆地火山岩岩相的相序	45
二、松辽盆地火山岩相模式	50
第五节 火山岩相地球物理特征及其与控陷断裂的关系	52
一、松辽盆地火山岩相地球物理特征	52
二、松辽盆地营城组火山岩相分布与深断裂的关系	55
第六节 松辽盆地火山岩相与储层物性的关系	57
一、火山通道相的储层特征	57
二、爆发相的储层特征	57
三、喷溢相的储层特征	58

四、侵出相的储层特征	59
五、火山沉积相的储层特征	60
六、火山岩产状与岩相及储集空间关系	60
七、火山岩岩性、岩相对储层物性的综合影响	61
第七节 火山机构	63
一、现代火山主要类型及其形态特征	63
二、松辽盆地改造残留的古火山机构形态特征	66
三、松辽盆地北部 XJWZ 断陷埋藏火山机构分析	68
四、火山机构形态规模的影响因素	71
第八节 小 结	72
第三章 火山岩储层	75
第一节 火山岩储层的储集空间	75
第二节 火山岩储层物性特征	80
一、孔隙度	80
二、渗透率	80
三、毛细管压力	81
四、毛管压力资料的应用	82
五、储层微观定量评价参数	83
第三节 火山岩储层的裂缝	90
第四节 火山岩储层的成因	99
第五节 有效火山岩储层探讨	102
一、松辽盆地有效火山岩储层和干层的岩性对比	102
二、有效火山岩储层和干层的物性对比	106
三、松辽盆地有效火山岩储层的岩相特征	108
第六节 小 结	113
第四章 火山岩油气藏	117
第一节 松辽盆地火山岩油气藏	117
一、松辽盆地典型断陷火山岩气藏天然气组成	117
二、火山岩气藏中天然气碳同位素组成	133
三、松辽盆地典型断陷火山岩气藏中天然气的成因讨论	134
第二节 松辽盆地典型断陷代表性火山岩气藏描述	136
一、构造特征描述	136
二、天然气藏特征描述	137
三、FS2 井区气藏描述	141
四、FS7、FS9 井区天然气藏描述	141

第三节 下辽河盆地火山岩油气藏	144
一、地质特征	144
二、下辽河盆地火山岩的分布和地球化学特征	149
三、下辽河盆地火山岩储层	162
四、下辽河盆地火山岩油气藏	165
第四节 小 结	169
第五章 火山岩油气藏识别描述与定量表征	173
第一节 火山岩储层物性分析测试方法	173
一、岩心的选取	173
二、选取测试样品	173
三、岩样预处理	175
四、测试方法	177
第二节 火山岩油气藏测井识别	185
一、火山岩亚相与测井相对应关系	185
二、火山岩相测井曲线特征的地质成因分析	197
第三节 火山岩储层地震识别	198
一、火山岩地震反射特征	198
二、火山岩相的地震反射特征	199
三、火山岩相地震识别	203
第四节 流体包裹体在火山岩气藏勘探中应用	209
一、火山岩中流体包裹体概述	209
二、流体包裹体分类	210
三、流体包裹体的主要类型	211
四、包裹体形成机理探讨	212
五、松辽盆地储层火山岩流体包裹体在成藏研究中的应用	213
六、流体包裹体在庆深气藏成藏史研究中的应用	214
第五节 火山岩同位素测年样品制备方法	218
一、样品制备流程	218
二、样品采集	218
三、薄片鉴定、电镜和全岩分析	219
四、拟定选样方案	219
五、样品粉碎	219
六、样品的酸处理	220
七、单矿物的挑选	220
八、Ar-Ar 法和 K-Ar 法选择	221
九、熔样	221
第六节 小 结	221

第六章 松辽盆地有效火山岩储层研究实例	225
第一节 XJWZ 断陷深层火山岩天然气藏勘探历程 (1994 ~ 2005 年回顾)	225
第二节 有效火山岩储层的物性特征	227
一、有效火山岩储层的孔隙度与渗透率的关系	227
二、有效火山岩储层的岩性与物性的关系	230
三、有效火山岩储层与岩相的关系	233
第三节 有效火山岩储层的显微结构特征	235
一、储层微观结构参数	236
二、储层结构参数之间的关系	243
第四节 有效火山岩储层单井描述	250
一、XS1 井有效火山岩储层特征描述	250
二、XS201 井有效火山岩储层特征描述	251
三、XS1-3 井有效火山岩储层特征描述	252
四、XS6 井有效火山岩储层特征	252
五、XS8 井有效火山岩储层特征	253
六、XS9 井有效火山岩储层特征	254
七、ShS2-1 井有效火山岩储层特征	254
第五节 松辽盆地有效火山岩储层地质 - 地震综合预测评价	255
一、基于岩相/亚相的火山岩储层预测和评价	255
二、基于火山机构的储层预测和评价	258
三、基于地震属性的有效储层预测和评价	262
四、基于岩相、火山机构和地震属性的有效储层综合预测和评价	268
第六节 小 结	271
参考文献	275
词目汉语拼音索引	282
英文摘要	286

CONTENT

FOREWORD 1

FOREWORD 2

PREFACE

CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1. Abroad basin volcanic rocks and the oil & gas exploration	1
2. Domestic typical volcanic reservoirs and oil & gas traps in basins	5
 CHAPTER 2 VOLCANIC LITHOLOGY, LITHOFACIES AND VOLCANIC EDIFICES	9
2.1 CLASSIFICATION OF BASIN VOLCANIC ROCKS	9
2.1.1 The history and the current development of volcanic nomenclatures	9
2.1.2 The lithological nomenclature system of volcanic rocks and other rocks in the deep strata of the Songliao basin	11
2.1.3 Explanations for the new nomenclature system	15
2.2 DESCRIPTION OF TYPICAL VOLCANIC ROCKS	18
2.2.1 Main volcanic rocks in Songliao basin	18
2.2.2 Typical volcanic rocks and their characteristics in Songliao basin	19
2.3 CLASSIFICATION AND CHARACTERIZING OF VOLCANIC FACIES	34
2.3.1 The study history of volcanic facies	34
2.3.2 Classification of the volcanic facies & subfacies and the characteristics of reserve pores	35
2.4 VOLCANIC FACIES SEQUENCES AND MODEL	45
2.4.1 Volcanic facies sequence in Songliao basin	45
2.4.2 Volcanic facies model in Songliao basin	50
2.5 THE GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF VOLCANIC FACIES AND THE RELATIONSHIP TO THE FAULT CONTROLLING DEPRESSION	52
2.5.1 The geophysical characteristics of volcanic facies in Songliao basin	52
2.5.2 The relationship between the volcanic facies distribution of Yingcheng formation and the deep fault in Songliao basin	55
2.6 THE RELATIONSHIP BETWEEN THE VOLCANIC FACIES AND THE POROSITY & PERMEABILITY	57
2.6.1 The reservoir characteristics of volcanic conduit facies	57
2.6.2 The reservoir characteristics of explosive facies	57

2.6.3	The reservoir characteristics of effusive facies	58
2.6.4	The reservoir characteristics of extrusive facies	59
2.6.5	The reservoir characteristics of volcano-genetic sedimentary facies	60
2.6.6	The relationship between physiography of the buried volcanos and the volcanic facies & the reserve pore spaces	60
2.6.7	The influence of volcanic lithology and facies on the porosity & permeability	61
2.7	VOLCANIC EDIFICES (VOLCANIC STRUCTURES)	63
2.7.1	The types and outer shapes of modern volcanoes	63
2.7.2	Physiography of buried volcanic edifices in Songliao basin	66
2.7.3	Analysis on the buried volcanic edifices in fault-depression strata, Xujiaweizi, northern Songliao basin	68
2.7.4	Factors influencing the physiography and the eruption scale of a volcanic edifice	71
2.8	SUMMARY	72

CHAPTER 3 VOLCANIC RESERVOIRS

3.1	RESERVE SPACES IN THE VOLCANIC RESERVOIRS	75
3.2	POROSITY AND PERMEABILITY OF THE VOLCANIC RESERVOIRS	80
3.2.1	Porosity	80
3.2.2	Permeability	80
3.2.3	Capillary pressure	81
3.2.4	Applications of capillary pressure	82
3.2.5	Micro quantitative evaluation parameters of volcanic reservoirs	83
3.3	FRACTURES IN THE VOLCANIC RESERVOIRS	90
3.4	GENETIC MECHANISM OF THE VOLCANIC RESERVOIRS	99
3.5	THE EFFECTIVE VOLCANIC RESERVOIRS	102
3.5.1	Lithological comparison between the effective volcanic reservoirs and the empty volcanic reservoirs	102
3.5.2	The porosity and permeability comparison between the effective volcanic reservoirs and the empty volcanic reservoirs	106
3.5.3	The volcanic facies characteristics of effective volcanic reservoirs in Songliao basin	108
3.6	SUMMARY	113

CHAPTER 4 VOLCANIC OIL AND GAS POOL

4.1	VOLCANIC OIL & GAS POOL IN SONGLIAO BASIN	117
-----	---	-----