

新疆火山岩 油藏开发研究

伍友佳 戴 勇 雷家华 著
程国军 温卫东 吴永强

石油工业出版社

新疆火山岩油藏开发研究

伍友佳 戴 勇 雷家华 著
程国军 温卫东 吴永强

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是关于火山岩油藏开发的专著,介绍了新疆火山岩油藏地质特点、类型划分、开采特征、问题得失、效果评价、改进提高方向及典型油藏实例等。本书的服务对象是从事油田开发的技术人员,也可作为高等院校从事石油地质、油藏工程、采油工程等专业工作的教师和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新疆火山岩油藏开发研究/伍友佳等著. —北京:
石油工业出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-5021-9610-3

I. 新…

II. 伍…

III. 火山岩-岩性油气藏-油田开发-新疆

IV. TE343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 120991 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](http://www.petropub.com.cn)

编辑部: (010) 64251362 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

2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 18.5

字数: 445 千字

定价: 75.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

作者简介

伍友佳：1982年1月毕业于西南石油学院勘探系，1982年至1994年在新疆石油管理局从事油田开发工作，1994年至2007年在西南石油大学从事开发地质教学，现于克拉玛依新科澳石油天然气技术股份有限公司从事油田开发研究工作。



戴勇：1989年石油大学本科毕业，1996年西南石油学院研究生毕业，现于中国石油新疆油田分公司开发处从事油田开发工作。



雷家华：1984年毕业于大庆石油学院开发系，现于克拉玛依新科澳石油天然气技术股份有限公司从事油气田开发技术工作。



程国军：1986年毕业于成都地质学院石油系，现于新疆油田分公司低效油田开发公司从事油田开发工作。



温卫东：1990年毕业于新疆大学化学系，现于克拉玛依新科澳石油天然气技术股份有限公司从事油田化工技术工作。



吴永强：1984年毕业于西北大学石油地质专业，现于中国石油新疆油田分公司开发处从事油田开发工作。



前 言

笔者及其合作者是1996年春介入火山岩油藏开发研究的。当时新疆石油管理局采油二厂设立研究课题——“克-乌油区中段石炭系、二叠系火山岩油藏开发研究”，将当时采油二厂已投入开发的7个火山岩油藏（七中东石炭系、六中区石炭系、九古3井区石炭系、八区佳木禾组、403井区石炭系、417井区石炭系、246井区石炭系）一并进行解剖研究。

在对这7个火山岩油藏中最大的一个（七中东石炭系，储量 $1923 \times 10^4 \text{t}$ ）先行解剖研究时，笔者及其合作者对其初产 $50 \sim 100 \text{t/d}$ 的6口高产井（占该油藏高产井总数的75%）注水严重水窜所震惊：这些水窜井一般经一年左右含水即由 $0 \sim 5\%$ 上升到 $60\% \sim 80\%$ 以上，产油量则由 $40 \sim 60 \text{t/d}$ 左右迅速下降近零。笔者的震惊还在于，我曾在这个采油厂工作并担任过该厂研究所动态室主任。笔者为自己作为动态室主任未能及时发现这些油藏开发中的严重问题而深感内疚，这也重创了笔者历来盲目自负的井蛙心理。于是暗下决心，从此开始，尽其所能，系统调研、解剖、研究国内外火山岩、变质岩油藏，剖析它们的开发实践和问题、对策，探寻此类油藏合理的开发途径。

于是自1996年起，笔者及其合作者广泛收集和系统研究所有能够获得的火山岩、变质岩油藏资料，研究它们的地质特点、注采特征、开发中的问题及原因、开发效果与得失、技术工艺及对策措施等，这一工作至今已历时16年仍一发而不可收。

笔者全面解剖和系统研究过的主要火山岩、变质岩油藏包括：

- (1) 1996年3月至1998年8月：新疆七中东石炭系等7个火山岩油藏；
- (2) 1999年11月至2001年9月：新疆一区石炭系火山岩油藏（其注水规模为国内同类油藏第一）；
- (3) 2000年11月至2001年7月：内蒙古阿北安山岩油藏（其注水效果为国内同类油藏第一）；
- (4) 2002年9月至2003年12月：辽河黄沙坨火山岩油藏；
- (5) 2003年8月至2004年8月：玉门鸭儿峡志留系变质岩油藏（1959年发现，为国内同类油藏最早）；
- (6) 2005年5月至2005年12月：辽河齐家混合花岗岩潜山油藏；
- (7) 2006年9月至2007年8月：大港风化店安山岩油藏；
- (8) 2007年5月至2007年8月：新疆西地1号背斜石炭系火山岩油藏；
- (9) 2007年11月至2008年2月：新疆石西石炭系火山岩油藏（2005年前储量为国内同类油藏最大）；
- (10) 2009年5月至2009年11月：辽河兴古潜山混合花岗岩油藏（2005年发现，

储量为现今同类油藏最大)。

此外,在1996年至2009年期间实地考察、收集资料、并系统解剖研究的火山岩、变质岩油藏还有:辽河的东胜堡变质岩潜山油藏、胜利的王庄片麻岩潜山油藏、内蒙古的哈南凝灰岩潜山油藏、江苏的闵桥玄武岩油藏、大港的枣35块玄武岩油藏、锦州202块片麻岩潜山油气藏、埕北30块片麻岩潜山油藏、曙一区石英岩潜山油藏、安1—安97混合花岗岩潜山油藏、边台混合花岗岩潜山油藏等。

虽多方努力,但对国外的火山岩、变质岩油藏仅了解到美国、俄罗斯、委内瑞拉、利比亚、印度尼西亚、日本等国一些大型油藏的简单情况,开发资料几未见到,至为遗憾。若能搜集到国外火山岩、变质岩油藏的开发资料,从更广大的范围比较研究此类油藏的地质—开发特征、问题得失、对策效果等,其对本课题的理论意义和实践意义将会有很大的提升。

本研究原拟用5~8年时间完成,以“中国火山岩、变质岩油藏开发研究”题目出版,但随着工作的深入,才知道此类油藏及开发中的问题之多样复杂远超预料,更未料到近10余年不断有新的火山岩、变质岩油气藏发现。为尽可能做到基本满意,不留大的遗憾,此项工作只有继续并后延;但已过去整整16年,冀东、大庆、吉林近年发现的火山岩油气藏还未考察研究。不得已做此变通,先将新疆的火山岩油藏研究汇拢整理成集,先行出版。好在新疆的火山岩油藏数量众多(不含4个正在投入开发的气藏,已占国内已发现火山岩、变质岩油藏的7成),并且油藏类型多样,开发时间大都较早(主要油藏于20世纪80年代前期投入开发),注水规模全国最大(注水开发油藏8个,注水井数合计达到120口),开发过程已经很长(多数超过25~30年),积累的资料也最丰富,完全可以自成一书,先行推出并接受同行的批评、指正。

在结束本书撰写之时,笔者要向给予本研究以各种支持帮助的同行业致以深切的敬意和衷心的感谢!经历过资料搜集困难的同志,会知道和理解笔者对提供资料帮助的开发同仁的深深感激和由衷敬意,没有他们的支持、帮助,就不会有此书的面世。

衷心感谢原新疆石油管理局采油二厂的王庆祥、朱水桥、肖春林、彭建成、蒋莉、易静等,他们提供了采油二厂7个火山岩油藏的地质—开发资料并给予笔者的研究以多方面的帮助和指导。

衷心感谢原新疆石油管理局采油三厂的黄庆民、胡新平、颜泽江、陈儒鹤、侯向阳等,他们多次不厌其烦地为本研究提供了一区石炭系火山岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢原新疆石油管理局百口泉采油厂的杨学文、刘焕华、庞建凯等,他们为本研究提供了检188井区石炭系油藏的地质—开发资料。

衷心感谢新疆油田公司石西作业区的王正才、汪正德、陶建军、饶政、李勤良等,他们多次为本研究提供了石西石炭系油藏的地质—开发资料。

衷心感谢新疆油田公司开发处、采油一厂、准东采油厂等单位开发研究所的同仁,他们不厌其烦地为本研究提供了所在厂区的火山岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢辽河油田沈阳采油厂的李西林、杨杰,他们多次为本研究提供了东胜堡变质岩潜山油藏及边台等变质岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢辽河油田欢喜岭采油厂的尹万泉、周吉培、周旭、符永江、王丽君等，他们多次为本研究提供了齐家变质岩潜山油藏的地质—开发资料。

衷心感谢原辽河金马油田股份公司的周鹰、赵立文、何兵、孙洪安、霍宇嘉等，他们多次为本研究提供了黄沙坨火山岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢辽河油田曙光采油厂的许国民总地质师，他为本研究安排了火山岩、变质岩油藏的技术交流并提供了曙光采油厂几个变质岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢辽河油田兴隆台采油厂的华子东、庄恒春、孙立勋、桑转利等，他们为本研究提供了兴古潜山变质岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢二连油田的宋社民、张满库、陈福友、杨华震、黄震、汤蒙、王旭东等，以及华北石油勘探开发研究院的张宗达，他们多次为本研究提供了阿北安山岩油藏和哈南凝灰岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢胜利油田滨南采油厂的李湘军、李金发、冯宝红、徐茂斌等，他们多次为本研究提供了王庄潜山变质岩油藏和滨 338 块潜山油藏的地质—开发资料。

衷心感谢胜利油田地质研究院的凡哲元和胜利油田采油研究院的张福仁，他们为本研究搜集胜利油田火山岩、变质岩油藏资料提供了多方联系帮助。

衷心感谢胜利油田孤东采油厂的高喜龙、李兆延、张胜利等，他们为本研究提供了埕北 30 潜山变质岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢中海油渤海公司的石焱等，他们为本研究提供了锦州 202 块潜山油藏的地质—开发资料。

衷心感谢原大港油田研究院的廖前进、石占中、孙晓明、陶志强、孟立新、赵明以及采油厂研究所的张家良、柏笑寒等，他们为笔者对风化店安山岩油藏和枣 35 块玄武岩油藏的研究提供了相关资料。

衷心感谢江苏油田采油二厂的马欣本等，他们多次为本研究提供了闵桥火山岩油藏的地质—开发资料。

衷心感谢玉门油田的陈建军、李炼文、胡灵芝、朱海鹏、侯志广等，他们为研究鸭儿峡志留系这一我国最早发现和开发的变质岩油藏提供了多种帮助和资料。

火山岩油藏至为复杂，现今的论文、专著多为对 1 个或几个油藏的剖析研究；迄今尚未见到基于相当数量油藏实例的系统研究。业界与学界对此类油藏的地质特征、开发方式、动态规律、驱替机理、问题对策、效果得失、开发前景等基本问题至今尚无明白的阐释。本研究为对此类油藏上述问题的初步尝试，其缺点、谬见在所难免，切望开发界同仁指正（笔者的联系方式：wuyoujia@126.com）。

伍友佳

2012 年 7 月于克拉玛依市

目 录

绪论	1
第一章 新疆火山岩油藏分布及类型	11
第一节 火山岩相关概念	11
第二节 火山岩储层与火山岩油藏	19
第三节 新疆火山岩油藏分布及地质特征	26
第四节 新疆火山岩油藏类型划分研究	44
第二章 新疆火山岩油藏开采状况	59
第一节 新疆火山岩油藏开发设计与开采技术工艺特征	59
第二节 新疆火山岩油藏开采状况	64
第三章 新疆火山岩油藏开采特征研究	70
第一节 新疆火山岩油藏注入特征	70
第二节 新疆火山岩油藏产能特征	80
第三节 新疆火山岩油藏产量变化特征	95
第四节 新疆注水开发火山岩油藏见水见效特征	106
第五节 新疆火山岩油藏增产措施及效果研究	130
第四章 新疆火山岩油藏开发效果与问题得失研究	135
第一节 新疆火山岩油藏原始采收率研究	135
第二节 新疆火山岩油藏水驱采收率研究	140
第三节 新疆火山岩油藏开发效果评价	148
第四节 新疆火山岩油藏开发中的问题得失研究	159
第五章 改进提高开发效果的工作方向与措施研究	165
第一节 新疆火山岩油藏改进提高开发效果的工作方向	165
第二节 改进提高开发效果的技术措施研究	168
第六章 典型油藏实例	169
第一节 石西石炭系基岩潜山油藏	169
第二节 一区石炭系基岩潜山油藏	186
第三节 七中东石炭系断裂破碎型基岩油藏	207
第四节 九区古3井区石炭系断裂破碎型基岩油藏	226
第五节 六中区石炭系基岩潜山油藏	238
第六节 八区佳木河组风化破碎型基岩油藏	249
第七节 检230井区石炭系风化破碎型基岩油藏	267
参考文献	283

绪 论

一、我国火山岩与变质岩油藏分布

火山岩油藏是以各类火山岩为主、并时常伴生有变质岩及少量陆源碎屑沉积岩，以此作为储集油气的载体所形成的特殊油气藏。由于火山岩常与变质岩共生、产出；并且中生代以前的火山岩一般都有程度不同的变质；更由于变质岩油藏与火山岩油藏在储层发育途径、储集空间类型、储集渗流特征、油藏形成模式、开采动态特征等诸多方面具有明显的一致性；因此，本书在适当场合将变质岩油藏纳入广义的火山岩油藏范畴进行叙述研究。

我国最早发现的火山岩油藏应是新疆的八区二叠系佳木河组火山岩基岩油藏（发现于1976年11月，发现井8016井）。我国最早发现的变质岩油藏应是玉门鸭儿峡志留系千枚岩油藏（1959年8月，发现井鸭110井）。自20世纪70年代以来，我国陆续在新疆、辽河、胜利、大港、江苏、内蒙古、大庆、吉林、冀东发现一系列的火山岩、变质岩油气藏。根据统计（一些小油藏尤其近年新发现的小油藏未能统计），我国已发现火山岩油藏57个、火山岩气藏24个，已发现变质岩油藏11个，它们中的多数已于20世纪80年代陆续投入开发。

根据笔者截至2010年的统计，各油田已开发的火山岩、变质岩油藏情况如下：

（1）新疆准噶尔盆地已发现火山岩油藏46个，已开发27个，动用储量 $6923 \times 10^4 \text{t}$ ；发现火山岩气藏4个，储量 $1033 \times 10^8 \text{m}^3$ ，正在投入开发。此外吐哈盆地发现火山岩油藏1个，刚投入开发。

（2）辽河油田已开发火山岩、变质岩油藏8个，储量合计 $15298 \times 10^4 \text{t}$ 。

（3）胜利油田已开发火山岩、变质岩油藏6个，储量合计超过 $3000 \times 10^4 \text{t}$ 。

（4）大港油田已开发火山岩油藏2个，储量合计 $1463 \times 10^4 \text{t}$ 。

（5）内蒙古油田已开发火山岩油藏2个，储量合计 $764 \times 10^4 \text{t}$ 。

（6）江苏油田已开发火山岩油藏1个，储量 $547 \times 10^4 \text{t}$ 。

（7）玉门油田已开发变质岩油藏1个，储量 $1037 \times 10^4 \text{t}$ 。

（8）大庆油田近年已开发火山岩气藏19个，储量约 $1700 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

（9）吉林油田近年已开发火山岩气藏1个，储量 $706 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

（10）冀东油田近年发现古近系和新近系火山喷发岩含油气，目前尚处于评价阶段。

从以上数据可以看出，新疆的火山岩油藏（不含气藏）的数量已占全国火山岩、变质岩油藏总数的69%。

新疆火山岩油藏不仅数量最多（占全国7成），而且开发时间长（主要油藏于20世纪80年代投入开发，至今已历经25~30余年）。此外新疆还有两项全国纪录：一是拥有全国储量最大的两个火山岩油藏（石西石炭系，储量 $3838 \times 10^4 \text{t}$ ；一区石炭系，储量 $2928 \times 10^4 \text{t}$ ），二是拥有全国（很可能是全世界）最具规模的注水开发火山岩油藏（一区石炭系：有注水井74口，采油井185口）。据此可见新疆火山岩油藏在我国的主导地位。

二、火山岩油藏的基本特点

归纳火山岩油藏的地质特征，主要有以下几点。

1. 储层为巨厚块状，储层厚度极大

例如，新疆的一区石炭系玄武岩基岩潜山油藏，含油井段跨度一般 300m，个别井厚达 500m 以上。新疆的石西石炭系安山岩潜山油藏，含油高度 221m，但从该油藏活跃的底水驱看，其油水界面以下的渗透性岩层还有数百米。辽河兴古潜山变质岩的含油厚度目前已超过 2000m 但仍未见底。

2. 储层严重非均质，主要受原岩性质和次生变化强弱控制

火山岩储层的储集空间都是经过复杂的次生变化才最终形成。火山岩原岩既有多变的化学组成（基性、中性、酸性岩浆）、复杂的物质成分、多样的产状（爆发的、溢流的、黏稠多气泡的、陆上喷发的、水下喷发的等等）和复杂的孔洞缝空间（气孔、砾间孔洞、冷凝缝、碎裂缝等等），之后又经历多次的、多种的、复杂的次生变化，其储集空间才最终成型。火山岩储集空间孔、洞、缝混杂，孔缝大小差异极大；钻井过程中出现的钻具放空、井漏等现象，密度测井所显示的悬殊差异，岩心展示的大洞大缝形态，可证明其非均质性的严重程度。火山岩储层所经历的次生变化主要有火山热液活动、风化剥蚀淋滤（往往经历数万年至上亿年）、上覆沉积充填、埋藏期溶蚀、构造破裂等，这些次生变化作用的任何一种都可根本改变火山岩原岩的储集渗流性质。

3. 储层内部常有局部致密“隔挡”，储层顶底及四周无明显边界

砂岩储层内部也有隔夹层，但其分布可被砂层顶底边限定，并依沉积规律通过井间对比追溯。火山岩、变质岩储层内部常有厚度不一的局部致密段，其分布复杂，井间对比困难；并且这种局部致密段可经表生作用和构造破裂作用改造而产生裂缝贯通，但这种裂缝贯通难于被常规地质方法发现和揭示，只有通过生产动态在开发过程中暴露、追索。火山岩、变质岩储层顶底及四周缺乏明显边界，常呈逐渐过渡形态。例如，火山岩潜山油藏主要含油井段一般在风化壳顶面以下 20 ~ 50m 到 200 ~ 300m 范围，但也有进山几米就出现井喷的情况，同样也有在风化壳以下 500 ~ 800m 甚至 2000m 以上试油获工业油流的记录。

4. 油藏内部的不同岩性和断层的分隔密封情况复杂

在国内的火山岩油藏中，常发现油藏储层可以对比划分出几个不同的岩性（电性）层段（例如克拉玛依的七中东石炭系油藏，剖面上可以划分出凝灰岩、安山岩、玄武岩等不同岩性层段），但它们在风化及构造作用的有效范围（深度）内大都含油并且连通。当然由于它们原岩各自的抗风化能力、耐溶蚀能力、耐破碎能力的不同，其次生孔缝的发育程度和空隙大小、形态和分布，以及它们的有效孔隙度和渗透率也会有很大的不同，并由此导致含油性的很大差异。

在研究国内火山岩、变质岩油藏开发中，笔者还发现许多油藏的内部断层（不是全部，也有较多例外），其密封性和开启性均不显著：即靠近断层的油水井，并无受断层封隔不见水动力连通的动态，也无沿断层强烈水窜的动态。这说明，火山岩、变质岩油藏内部断层的密封或开启情况同样复杂。

5. 油藏内部油水分布复杂, 油藏整体性差别极大

火山岩、变质岩油藏主要由于储层内幕结构复杂（渗透性岩体和致密不渗透岩体混杂交织）、孔隙结构复杂（孔洞缝大小及空间分布极度非均质）、内部断层封隔开启情况复杂, 从而导致油藏内部油水分布复杂, 油藏整体性差别极大。例如玉门的鸭儿峡志留系千枚岩潜山油藏, 在潜山的顶部、山腰的中部、山腰的底部等高差最大达 1000m 的范围内到处都有井出油, 也都含水, 但没有一口井纯产水。也有很多火山岩、变质岩油藏（如王庄、阿北、哈南风化店、闵桥等）井间干扰严重, 显示油藏内部连通性很好。

三、火山岩、变质岩油藏的研究方法

1. 油藏静态描述方法对火山岩油藏的局限

现行的所有油藏描述, 都没有跳出“油藏静态”的范畴。其主要依据有四: 岩心资料、测井系列、地震资料、试油资料。

火山岩油藏在油藏内幕、储层岩性、原岩组构、储集空间多样性及流体饱和度的极度不均匀性等多个方面的复杂性, 使其岩—电—物—油四性关系的可靠性较砂岩油藏相去很远。对此可以举出以下三个实例:

(1) 曾发现新疆准东西地 1 号背斜石炭系油藏一块岩心（图 0-1）: 该岩心为安山岩, 半边极其致密, 而另半边则十分疏松。该岩心分析取样钻孔时取在疏密部位的中间可以调和其代表性问题, 但测井（电性、声波、密度等）数值同一深度只有一个! 怎样解释? 定为储层或非储层? 其四性关系怎样建立? 许多火山岩油井含油井段难于确定, 射孔符合率很低, 可证明其难度。



图 0-1 新疆准东北 404 井火山岩岩心

(2) 曾发现检 188 井区石炭系岩心被直劈裂缝贯通达 1m 以上（图 0-2）。取心钻头直径不足 200mm, 很难取得数百毫米长度的井下裂缝。该油藏虽有多口井取得长大直劈裂缝, 但究竟应怎样确定裂缝在空间的展布和裂缝密度? 这样的裂缝描述其可靠性和精度能有几成?

(3) 新疆石西石炭系为国内投入开发的最大火山岩油藏（储量 $3838 \times 10^4 \text{t}$ ）。该油藏取



图 0-2 新疆检 188 井区石炭系岩心照片 (示直劈裂缝发育)

心井达 12 口 (全部井 65 口, 有产油量的井 55 口, 取心井比例高达 18.5%), 合计取得岩心 344.84m。全部 344.84m 岩心体积与石炭系有效厚度油层的体积比为 $1:4.1 \times 10^8$ (若与油水界面以上的火山岩体积比较, 当在 10^9 数量级)。这样的比例大致相当于一个铅笔头的截面与一个标准篮球场的面积之比, 以此铅笔头小点为样本来描述和推导一个篮球场大小的极度非均质的火山岩体的“四性”, 其风险之大当可想见, 这样的四性关系其可靠性能有几成?

油藏静态资料是重要的, 在油藏未开发之前甚至是唯一的。火山岩岩心的重要性在于它是真实的油藏岩石样本 (油层、储层、非储层), 同时应关注它所揭示的严重非均质性。测井资料剖面连续并且精细, 但要注意火山岩测井的“多解”程度和提高解释精度的各种条件。试油资料更要注意试油段中的细分出油部位 (十余米几十米都出油? 或是某小段出油?) 所对应的岩性、电性特征。之所以举出这样的实例, 是想提示人们重视和注意火山岩、变质岩储层的极度复杂性和它的“四性关系”的风险性, 提请研究者注重从油藏静态之外搜集、提取来自火山岩油藏的地质信息。

2. 以动态为主结合油藏静态解析研究油藏的重要性

油藏投入开发以后, 每班、每日、每月、每年均规范录取了大量产量、压力、含水、注水量、注入压力等油水井生产动态资料, 以及大量来自油层的动态监测资料和井下作业资料等等。这些资料载负着大量的油藏地质信息。与岩心、测井等静态资料相比, 油藏动态资料具有以下突出的优点:

(1) “视野”开阔: 传统地质方法是典型的一孔之见, 而注采动态资料则是井控范围内油层及其流体的综合反映, 对于严重非均质的复杂储层油藏, 动态资料的“洞察力”可补静态描述之不足, 其展示油藏地质特征的意义不容忽视。

(2) 资料连续丰富: 动态资料巨量而又连续, 它载负着油藏开发过程的各个阶段的地质信息。复杂储层油藏在开发过程中油层性质变化很大 (如渗透性、孔隙结构、润湿性等), 分析解译这些信息可以恢复油井及油藏的过去, 明了其现在, 推测其未来。

(3) 方法实用可靠: 动态是结果, 大量的、连续的产量、压力、含水资料所展示的井周和井间油藏情况是客观真实; 与之比较, 油井及油藏的静态认识只是一种可能。静态研究的结果必须接受生产动态的检验和修正。

需要指出的是,油藏描述是一种综合运用来自油藏的各种资料信息来探索、展示油藏宏观结构和内部特征的研究方法。在油藏全面开发以前,仅采用静态描述是不得已而必须为之;在油藏全面开发以后,在已有大量注采动态资料的情况下,仅用静态描述油藏,即使非常精细,也是于事难补的;更何况面对的是严重非均质的火山岩油藏。因此,采用动态与静态结合并以动态为主的研究方法,成为深入揭示火山岩油藏之必需。

3. 火山岩与变质岩油藏开发研究的切入点

对于火山岩、变质岩油藏的开发研究,主张采用油藏静态与动态相结合,并以动态为主的研究方法,来全面、深入揭示油藏的宏观结构和内幕特征。对于这类复杂油藏,推荐的研究工作切入点有三:

(1) 强调开发全过程的解剖:火山岩、变质岩类复杂储层油藏的开发研究,应采取动态与静态结合的方法,解剖研究油藏注采的全过程;对过程中的各个环节、各个变化节点、各个开发阶段、各种开发调控手段及相应结果的方方面面进行动静结合的解剖研究。

(2) 强调大量的“点”和宽广的“面”支撑:鉴于火山岩、变质岩油藏的极度不均质性,应在详细解剖研究油藏中大量的各类油水井(例如高、中、低产井;各类水窜井与不窜井;各类水驱见效井与不见效井;各类增产效果明显井与不明显的井;各类吸水差别显著的注水井;其他特殊井等等)的单井和井组动态特征的基础上,归纳油藏中的各种动态-静态类型及其相关特征,进而形成油藏内部不同部位的动静特征概念,最后得出整个油藏的“面”和“体”(平面+剖面)以及整个注采过程(不同阶段)的规律性认识。特别应摒弃那种不做油藏内部不同区域的动静认识,就套用公式对整个油藏进行笼统的油藏工程计算的研究模式。

(3) 强调横向比较:火山岩、变质岩类油藏复杂多样,个别油藏“稀奇古怪”,研究异常困难。例如,玉门鸭儿峡志留系变质岩油藏分析孔隙度 2.34%,分析渗透率不足 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,但有 8 口井初产 50~100t/d,更有 1 口井累计产油达 $39 \times 10^4 \text{t}$ 。又如,胜利王庄变质岩油藏分析孔隙度 5.6%,分析渗透率 $7.72 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,但半数井初产上千吨;阿北安山岩油藏分析孔隙度 19%,原始含油饱和度仅 13.2% (油基钻井液取心),但多数井投产产纯油。显然对此类复杂油藏的研究,应尽可能进行同类型油藏甚至不同类型油藏的横向比较,才能比较深刻地、较为准确地揭示目标油藏的地质—开发特征和问题、对策。有比较才会有鉴别,有比较才会有有把握的认识;只有立于更宽广的“面”上,才能站得更高、看得更远。

四、我国火山岩油藏类型划分

1. 火山岩油藏分类现状

曾有人从孔隙结构角度对火山岩油藏进行过分类,一般将火山岩油藏划分为孔隙型、裂缝型、双重介质型。检索发现,除伍友佳曾发表过对火山岩油藏分类的一篇论文外,尚未见到有人从石油地质角度对火山岩油藏进行过系统分类。

刘建中等曾专门论及潜山油藏分类,这里的潜山包括碳酸盐岩潜山及火山岩、变质岩潜山。他们提出潜山油藏分类“用潜山形态+潜山成因+油藏形态来构成”,其中潜山形态分

为5类,即包形潜山、坡形潜山、鼻形潜山、垒形潜山、阶形潜山;潜山成因分4类,即侵蚀潜山、断块潜山、褶皱潜山、隆起潜山;油藏形态分3类,即块状油藏、层状油藏、杂状油藏。

2. 本书主张的火山岩油藏分类

无论是火山岩、变质岩类基岩,或是沉积岩中的火山喷发岩,其储层发育形成都依赖于原岩的易蚀、易溶、易碎性和后天的次生变化。主要的次生变化为:风化淋滤、溶蚀、构造破裂。次生变化通过原岩的内因(易蚀性、易溶性、易碎性)起作用(常常是多次、多期、长时期、反复作用),由此形成现今的火山岩、变质岩油气储层。因此认为火山岩、变质岩储层的形成途径(成因),是火山岩、变质岩类油藏形成的最本质因素和最重要区别;依据储层成因划分火山岩油藏类型应是此类油藏分类的最佳选择。

依据储层成因,现将我国火山岩、变质岩油藏划分为五种基本类型:

(1) 基岩潜山型:潜山型火山岩、变质岩油藏主要由于地壳抬升、盆地基岩长时期出露地表遭受风化剥蚀,形成以风化溶蚀的孔洞缝为主的剥蚀残山(潜山)油气藏。国内较多的火山岩油藏和多数变质岩油藏都属于基岩潜山型油藏。

(2) 风化破碎型:风化破碎型火山岩油藏是由易蚀易碎性较强的火山岩基岩受风化淋滤作用形成风化溶蚀孔洞缝储油;其储层分布主要受原岩易蚀易碎性和风化淋滤作用共同控制,所形成的油藏常呈窝窝状散布在大片基岩斜坡带上,但各“窝窝”之间难于连片。新疆多数火山岩油藏属于此种类型。

(3) 断裂破碎型:此类油气藏是由于基岩受构造作用产生断裂破碎,形成发育的构造裂缝及次生溶蚀孔洞缝储油。其油气分布主要受构造破碎作用控制。此类火山岩油藏仅在新疆发现8个,均沿克—乌断裂上盘边缘(及盘间断片)呈条状展布。

(4) 沉积岩中火山喷发岩型:这类油气藏是在盆地盖层沉积时期,由于火山活动所形成的火山喷溢岩体,在经历一系列后生改造作用后所形成的油气藏;其顶底皆为沉积岩所限。内蒙古、大港、江苏、辽河、大庆、冀东发现的白垩系、古近系与新近系火山岩油气藏多为此种类型。

(5) 沉积岩中火山侵入岩型:此类油藏目前我国仅见一例,为山东车镇凹陷义北油田中生代煌斑岩侵入体油藏。储油的煌斑岩埋深约1700m,储集性能好,最大孔隙度25.2%,最大渗透率 $30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,均高于相邻的砂岩储层,属孔隙型储集岩。侵入岩石中的溶蚀孔是主要储集空间;溶解作用是在深埋期进行的,溶剂主要来自生油区流体中的有机酸。

新疆现今只发现前三类火山岩油藏,其类型及分布见表1。

表1 新疆已开发火山岩油藏分类汇总表

油 藏 类 型	油 藏 个 数	含油面积, km^2	地质储量, 10^4t	储量比例, %
基岩潜山型	3	73.1	6974	43.5
断裂破碎型	8	24.5	3374	21.0
风化破碎型	17	90.6	5685	35.5
合计	28	188.2	16033	100

五、新疆火山岩油藏的地质—开发特点

1. 新疆火山岩油藏分布

新疆境内发育塔里木、准噶尔、吐哈三个大型含油气盆地。从火山岩、变质岩油藏的发现情况看,塔里木盆地迄今未发现火山岩、变质岩类油藏,目前看也无近期发现火山岩、变质岩油藏的迹象。吐哈盆地最近在其北部的三塘湖牛东构造发现石炭系火山岩基岩含油,并圈定一个火山岩油藏(牛东石炭系玄武岩油藏)。在准噶尔盆地,目前已发现 50 个火山岩油气藏,其中多数已经投入开发。

准噶尔盆地火山岩油藏主要分布在盆地西北缘克一百油区沿克一乌断裂带上的六七九区和湖湾区,并向南延伸至红山嘴—车排子油区及向北延伸至百口泉油区;剖面上主要分布在盆地基底的石炭系,少数分布在克一乌断裂下盘的二叠系佳木禾组。在盆地东部的滴西油区和北三台油区,也在石炭系火山岩层中发现油气。在盆地腹部的石炭系发现一个大型火山岩潜山油藏(石西石炭系潜山)。

2. 新疆火山岩油藏地质特征

归纳新疆火山岩油藏的主要地质特征,有以下几点:

- (1) 新疆火山岩储层主要集中在作为准噶尔盆地基底的石炭系,少数为二叠系的火山喷发岩。
- (2) 储层岩性以安山岩和玄武岩为主,以火山熔岩较多,喷发岩为次。
- (3) 储集空间以溶蚀孔隙为主并发育各种裂缝,渗流显示双重介质特征明显。
- (4) 含油段多集中在基岩风化顶面以下 50 ~ 200m,部分分布在 20 ~ 300m 范围;但断裂破碎型油藏特殊,七中东石炭系油层分布在风化顶面以下 300 ~ 800m 范围。
- (5) 油藏多为异常高压,原始压力系数多为 1.2 ~ 1.5;最高为 1.6。
- (6) 盆地边缘的火山岩油藏均无边底水,但盆地腹部的火山岩油藏底水活跃。

3. 新疆火山岩油藏的开发特征

归纳新疆火山岩油藏主要开发特征如下:

- (1) 油层吸水总体尚可:潜山型和风化破碎型油藏注水可基本满足;断裂破碎型油藏吸水差异很大,高者可日注水 200 ~ 400m³,差的日注 10m³ 都难。
- (2) 油井投产均需压裂;油井初产一般较高,直井高者可达 50 ~ 100t/d 上下,低者 1 ~ 5t/d 不在少数;油井初产差别一般在 20 ~ 50 倍上下。
- (3) 除盆地腹部的潜山油藏具底水外,盆地边缘的火山岩油藏一般无边底水;但部分油井投产低含水,它们主要分布在油藏边缘部位,分析认为属细小孔缝中及特殊孔隙结构中油气共存的孔隙水。
- (4) 油井及油藏在投产初期产量递减很大,油藏无稳产期。
- (5) 油井见注水反映差异大:潜山油藏可正常见水,水窜井和不见水井均少;断裂破碎型油藏水窜井及不见水井的比例均高;风化破碎型油藏介于它们之间。
- (6) 注水见效的油井很少,一般在 5% ~ 10% 以下,并且见效程度均弱。
- (7) 油藏注水效果差,注水增加的采收率大约 0 ~ 3%。

六、对新疆火山岩油藏勘探开发的认识与建议

1. 勘探和评价方面

(1) 在准噶尔盆地腹部应注重寻找石炭系潜山。比之其他两类火山岩油藏,潜山具有储集条件优、油气富集好、平面含油连片、油井高产的突出特征。火山岩潜山油藏具有平面连片并在熔岩台地(多在潜山腰部)相对高产的特征,在进行评价时,若对火山岩相分布有基本把握,可以采用较其他两类火山岩油藏更大的评价井距甩开钻探。

(2) 在盆地边缘应注重寻找主断裂上盘和盘间的断裂破碎带型基岩油藏。该类油藏沿断裂走向呈窄条状展布,油气分布主要受断裂破碎作用控制(当然与火山岩原岩的易碎易溶性也密切相关),基本不受构造位置高低控制。此类油藏构造裂缝发育并且裂缝方向性很强(与断层走向基本一致),并且具有靠近断裂第一及第二排井高产,远离断裂逐渐变差的规律。这在油藏评价和开发设计中需要引起注意。

(3) 在盆地边缘的基岩斜坡带应注重寻找风化破碎型基岩油藏。此类油藏远离断层,基本不受构造高低控制,主要受火山岩原岩的易蚀、易溶、易碎性和风化淋滤作用控制,多呈窝窝状分布。勘探和评价时,应注意该地域火山岩相尤其细分岩类(其易蚀、易溶、易脆性)分布特征,注意寻找易蚀、易溶、易脆性好的火山岩分布地带,第一口井应尽可能布在窝窝中间(这是孔缝发育最优部位),得手以后不宜大幅甩开,应该滚动。

2. 开发设计方面

(1) 火山岩油藏原则上不应注水。

对火山岩油藏的开发,不应首选注水;断裂破碎型火山岩油藏尤其不能注水。只有厚度适中(例如阿北安山岩油藏那样:火山岩体厚度在50~80m以内,并且顶底均为泥岩所限)的沉积岩中火山喷发岩型油藏,可以考虑注水;但也需要进行注水先导试验再最后确定。剖面厚度较小(例如100余米以内)并且网状裂缝发育的潜山油藏和风化破碎型油藏,也可试验注水。

国内对火山岩、变质岩油藏的开发大都采取人工注水:许多研究者认为此类油藏原始采收率过低,必须注水以获取较高采收率。还有许多人坚持认为火山岩油藏注水是有效的:他们认为火山岩油藏多数油井中后期递减平缓、压力转稳或压降平缓、油藏存水率很高等即是注水有效的表现。但笔者认为,“火山岩油藏注水有效”与“火山岩油井注水见效”是两个不同层次的概念:注水见效必须表现为油井产量的持续增加,注水有效必须表现为油藏采收率的显著增加。火山岩油藏少数油井(不足10%)出现较弱的注水见效增产,不足以弥补高产井水窜的产量损失,更难抵注水的投入(注水井和注水管网、设施的成本,水费及注水维持费用等)。几乎所有火山岩、变质岩油藏的开发实践均表明,注水增加的采收率微乎其微(不超过3%),这已可对火山岩、变质岩油藏的注水作出否定的结论。

笔者原则上反对火山岩油藏注水的依据是:

①裂缝连通渗流于水驱不利。火山岩油藏大都存在发育的裂缝;断裂破碎型火山岩油藏裂缝尤其发育并且方向性突出,注水水窜严重;注入水专淹高产井,低产井长期难见注水反