

火山岩油气藏储层识别及预测

——以三塘湖盆地牛东区块火山岩油藏为例

朱永贤 唐文连 著



石油工业出版社

火山岩油气藏储层识别及预测

——以三塘湖盆地牛东区块火山岩油藏为例

朱永贤 唐文连 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书综合了大量的国际国内火山岩油气藏的地质特征、生产状况,调研了国内外火山岩油气藏开发方式和开发效果,从中总结了火山岩油气藏的特点及开发特征。从吐哈油田牛东区块火山岩油气藏的生产特征和地质条件进行认真细致的分析,认为该油藏开发的关键因素在于储层(裂缝)的识别与预测。

本书运用地震地质综合研究不仅较好的识别和预测了牛东石炭系火山岩储层的平面和空间展布特征,预测结果运用到生产实际中,与生产实际吻合较好,检验了预测结果的可靠性和准确性。地震地质结合的火山岩储层识别与预测为火山岩油气藏勘探开发提供一个合理而有效的技术手段和研究思路,可更好的为火山岩油气藏的勘探开发服务。

本书可供从事火山岩油气藏研究的专业技术人员和大专院校相关专业师生借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

火山岩油气藏储层识别及预测——以三塘湖盆地牛东区块火山岩
油藏为例/朱永贤,唐文连著. —北京:石油工业出版社,2014.9

ISBN 978 - 7 - 5183 - 0370 - 0

I. 火…

II. ①朱…②唐…

III. ①含油气盆地 - 火山岩 - 岩性油气藏 - 储集层 - 识别 - 新疆

②含油气盆地 - 火山岩 - 岩性油气藏 - 储集层 - 预测 - 新疆

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 193603 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:<http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010)64523623 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

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:286 千字

定价:58.00 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

前 言

随着全球经济的不断增长,石油消费需求的不断增加,国际原油价格一路走高,为世界石油工业带来巨大的发展机遇,同时也使全球油气勘探与开发面临更加严峻的挑战。石油天然气作为不可再生能源,随着勘探开发的不断深入,常规的油气储层(碎屑岩和碳酸盐岩)已经不能满足人们的需求。火山岩油气藏的不断发现,引起了石油界专家学者的关注和兴趣,日渐成为石油新宠。我国石油专家学者经过长期的探索,在火山岩油气藏的勘探开发方面积累了大量经验。

本书综合了大量的国际国内火山岩油气藏的地质特征、生产状况,调研了国内外火山岩油气藏开发方式和开发效果,从中总结了火山岩油气藏的特点及开发特征。火山岩油气藏具有储层岩性复杂、储集空间复杂多样、储层非均质性严重、火山岩构造作用复杂等地质特征;油井产能差别悬殊、油井产量递减幅度大、油井水窜和水淹严重,油井无水采油期长短差别大、油井见水后含水上升快、易发生暴性水淹、井间干扰严重等特征,给火山岩油气藏的开采造成了较大的困难,使火山岩油气藏的开采效益远比砂岩油气藏差。

本书对吐哈油田牛东区块火山岩油藏的生产特征和地质条件进行认真细致的分析认为,该油藏开发的关键因素在于储层(裂缝)的识别与预测。进而从钻井上分析了火山岩储层的岩性、物性和测井特征,总结出火山岩储层的测井识别标准: $GR < 60API$; $30 \leq R_t \leq 250 \Omega \cdot m$; $AC \geq 215 \mu s/m$; $DEN < 2.55 g/cm^3$; $CNL \geq 0.21$ 。据此识别的结果与油藏生产情况吻合较好,但钻井的火山岩储层识别仅仅是针对已经钻揭的地层,其结果对于未知区域无法很好的预测,这远远不能满足生产的需要。

本书将钻井火山岩储层识别结果与地震资料相结合,既应用了钻井结果的可靠性和准确性,又使用了地震资料的平面数据的密度和平面相关性的特点预测牛东区块火山岩储层的分布。根据地震地质标定结果分析在牛东区块火山岩储层地震响应上有比较明显的中强振幅的特征进行地震属性识别和预测该区块火山岩储层的平面展布特征;同时,从钻井资料分析该区块火山岩储层与非储层之间存在明显的波阻抗差的特点,以及用自然伽马测井、密度测井和电阻率测井进行了该区块波阻抗和自然伽马、密度和电阻率反演,能够较好地预测牛东区块火山岩储层的分布。

本书根据测井波阻抗分析发现凝灰岩的波阻抗与牛东区块裂缝段的波阻抗相近,不能单纯地从波阻抗进行识别,但两者的自然伽马测井值存在明显的差异,波阻抗在 $11000 kg/(m^2 \cdot s)$ 以下且自然伽马在 $60API$ 以下是较好的火山岩储层段。依据凝灰岩和火山岩裂缝段的特征应用了比较新颖的地震数据体交会技术,将真正的裂缝段识别出来,更好地展示了火山岩储层在地质体中空间展布规律。

本书运用地震地质综合研究不仅较好地识别和预测了牛东区块石炭系火山岩储层的平面和空间展布特征,同时将预测结果运用到生产实际中,预测的结果与生产实际较吻合,检验了预测结果的可靠性和准确性。地震地质资料结合的火山岩储层识别与预测结果预测了生产的前景,为牛东区块的生产提供了较好的技术支持。

最后本书进行了经验总结,虽然火山岩储层识别与预测远比一般储层难度大,但是发现火山岩储层的识别与预测并不是想象中那么困难,还是有法可依。本书的出版希望能够给广大的地质工作者提供一个合理而有效的技术手段和研究思路,更好地为火山岩油气藏的勘探开发服务。

本书在编写过程中得到中国石油吐哈油田公司三塘湖采油厂谢佃和及油藏工程室陶登海、汪明志、郑翔频、范晖、任丽双、楚天祥等同志,中国石油大学(北京)唐文连老师及石大智慧(北京)科技有限公司文钢锋等同志的大力帮助和支持。他们不仅为本书的编写提供了详尽的原始资料,并且对书稿的完成和完善提供了极大支持和帮助。在此向他们表示衷心的感谢!

由于笔者水平有限,本书难免存在不足之处,恳请广大读者不吝赐教,提出宝贵意见,以便在今后的修订中加以改进和完善。

目 录

第一章 国内外火山岩油气藏勘探开发概况	(1)
第一节 火山岩油气藏的定义及认识过程	(1)
第二节 国内外火山岩油气藏勘探开发现状	(2)
第三节 火山岩油气藏地质及开发特征	(24)
第二章 牛东区块火山岩油藏地质概况	(29)
第一节 区域地质概况	(29)
第二节 区域地层特征	(30)
第三节 油藏开发简况	(33)
第四节 开发存在的问题	(34)
第三章 牛东区块火山岩油藏特征	(39)
第一节 油藏构造特征	(39)
第二节 油藏地层特征	(43)
第三节 油藏岩石学特征	(46)
第四节 油藏储集空间特征	(48)
第五节 油藏流体特征	(51)
第六节 油藏压力与温度系统	(52)
第七节 天然能量研究	(53)
第八节 地质储量	(54)
第四章 牛东区块火山岩油藏生产特征	(57)
第一节 油藏生产情况	(57)
第二节 油藏平面产能分布特征	(58)
第三节 油藏剖面产能分布特征	(60)
第四节 油藏产量递减规律研究及影响因素	(63)
第五章 牛东区块火山岩油藏储层钻井识别	(66)
第一节 钻井取心裂缝特征	(66)
第二节 测井裂缝、岩性特征	(74)
第三节 裂缝平面分布特征	(96)

第六章 牛东区块火山岩储层地震属性识别预测	(103)
第一节 地震属性优选与提取	(103)
第二节 地震响应特征	(107)
第三节 地震属性平面特征	(107)
第七章 牛东区块地震反演缝洞识别预测	(118)
第一节 地震反演的基础	(118)
第二节 地震反演储层识别与预测	(118)
第三节 测井约束地震反演结果	(130)
第四节 地震储层识别与预测结果	(141)
第八章 牛东区块火山岩裂缝预测结果的应用效果	(151)
第一节 油藏开发方案实施效果	(151)
第二节 油藏侧钻方案效果	(152)
第三节 油藏注水效果	(155)
第四节 油藏水平井开发效果	(167)
第九章 经验与总结	(170)
参考文献	(171)

第一章 国内外火山岩油气藏勘探开发概况

长期以来,在油气勘探开发中,主要对象是与沉积作用有关的一些岩石(碎屑岩、碳酸盐岩)。而火山岩作为储层的油气藏研究较少,没有得到足够的重视。随着油气勘探的进展和火山岩油气藏的不断发现,火山岩储层作为油藏勘探的新领域,已引起了石油界学者们的关注和兴趣。日本在这方面研究较多,他们把新生代火山岩作为潜在的油气储层,某些油田还出现在深部中、新生代火山岩地层中。这些火山岩油藏的特点是产层厚、产率高、储量大。火山岩中还发现了数量可观的天然气,具有很好的储量和潜力,成为引人注目的烃类储层的靶区。火山岩储层已成为日本最重要的勘探目标。美国等一些西方国家在火山岩中亦发现了重要的油气藏。由于国内外火山岩油气藏开发实例较少,如何高效开发火山岩油气藏值得探索,本书调研了国内外火山岩油气藏勘探开发方式、开发效果,从中总结了火山岩油气藏的特点及开发特征,对指导我国石油天然气开发具有重要意义。

第一节 火山岩油气藏的定义及认识过程

一、火山岩油气藏定义

火山岩缘于地下岩浆的喷出活动所形成,它与侵入岩(或称深成岩)两者构成火山岩的两大类。迄今为止,世界上已发现了不少的火山岩油气藏,几乎遍及各大洲。但大多数火山岩油气藏规模不大,储量很小,与世界上占主导地位的砂岩油气藏和碳酸盐岩油气藏相比,前者约占60%,后者约占40%,而火山岩油气藏占不到1%。火山岩之所以能成为有商业价值的油气储层,主要因素有以下几点:

(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、交代等改造而产生大量溶蚀孔、重结晶孔、风化剥蚀裂缝等储渗空间。

(5)火山岩杨氏模量比砂岩高,其中酸性火山岩又比中性及基性火山岩高,表现为脆性强,容易在构造力作用下碎裂形成构造裂缝。

此外,许多火山岩由于受地壳运动出露地表长期遭受风化剥蚀,使得风化淋滤孔隙裂缝大量发育,其储集性能将有根本的改善。正因为如此,许多与火山岩有成因联系或相伴生的超浅层侵入岩(又称次火山岩、潜火山岩)与变质岩亦可因出露地表遭受风化剥蚀而成为油气储集岩层。因此,许多火山岩油气藏中常有次火山岩及变质岩出现,人们并不将次火山岩及变质岩储层单列,而常常将其笼统称为火山岩变质岩类储层或火成岩储层。

二、火山岩油气藏认识过程

火山岩油气藏的勘探已有近百年的历史,但无论是研究深度还是广度都远远不如砂岩和碳酸盐岩油气田,其主要原因是:

- (1) 此类油气藏规模小,构造复杂。
- (2) 受石油地质开发理论限制,对此类油气藏长期缺乏正确认识。
- (3) 储层复杂,缺乏有效的研究方法和储层识别与评价手段,不易掌握其规律。
- (4) 对此类油气藏长期没有引起足够的重视。

综合起来,对火山岩油气藏的认识及研究可大致概括为如下三个阶段:

1. 早期阶段(20世纪50年代以前)

在早期阶段,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。当时,有相当一部分人认为火山岩含油气只是一个偶然现象,或是一种特殊情况,甚至认为它不会有什么经济价值,因此未进行系统研究。例如,早在1925年美国就发现了一个重要的蛇纹岩油田——利顿泉油田,单井日产高达685t,但有人仍持否定态度。显然,由于认识上的偏见给寻找这类油气藏带来了很大的障碍。

2. 第二阶段(20世纪50年代初到60年代末)

1953年,委内瑞拉成功地发现了拉帕斯油田,其单井最高日产量达到620t,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。这一油田的发现标志着对火山岩油藏的认识进入了一个新阶段。开始认识到这类岩石中聚集石油和天然气并非异常现象,从而引起一定的重视,但对火山岩油藏的开发尚未进行深入研究。

3. 第三阶段(20世纪70年代以来)

20世纪70年代以来,随着一些火山岩油气藏的不断发现,开始对这类油气藏的地质开发特征进行较细致的研究。相对来说,美、苏、日等国研究较多。主要工作有:

- (1) 进行大量地面露头观察。
- (2) 建立评价储层的方法。
- (3) 开展室内实验,进行储层物性研究。
- (4) 对开发特征做初步研究。例如,岩石类型的划分、储集空间的孔隙结构特征、油气水的某些特点等,都做过不同程度的探讨。但这些研究及分析工作缺乏系统性,比较粗浅,很多方面仍处在摸索阶段。总的来说,已认识到这类油藏的储层结构与开发特点不同于砂砾岩及碳酸盐岩油气藏,所以在编制开发设计等方面也有较大的差别。目前尚未形成系统成熟的火山岩油气藏研究、开发的规律和经验。

第二节 国内外火山岩油气藏勘探开发现状

火山岩(玄武岩)广泛分布于国内外的多个含油气盆地中。19世纪末就有对火山岩类油气藏的报道。通过检索发现,日本、印度尼西亚、古巴、墨西哥、阿根廷、加纳、美国、苏联等地均有火山岩油气藏(表1-1)。我国在准噶尔盆地、二连盆地、渤海湾盆地、华北盆地、松辽盆地也有火山岩油气藏(表1-2)。

第一章 国内外火山岩油气藏勘探开发概况

表 1-1 国外主要火山岩(玄武岩)油气藏

国家	油气藏名称	发现年代	单井日产(m ³)	累计产量(m ³)	油气藏面积(km ²)
日本	见附	1958	10(油)	油 1620, 气 544 × 10 ⁶	2
	富士川	1964	8.9 × 10 ⁴ (气)	油 223, 气 1000 × 10 ⁴	2
	吉井—东柏崎	1968	50 × 10 ⁴ (气)	油 1584, 气 6577 × 10 ⁶	28
	片贝	1960	50 × 10 ⁴ (气)	866 × 10 ⁶	2
	南长冈	1978	20 × 10 ⁴ (气)		
印度尼西亚	贾蒂巴郎	1969	35	680.3 × 10 ⁶	30
古巴	哈其包尼科	1954	100 ~ 120		
	南科里斯塔列斯	1966	最高 80	12 × 10 ⁴	0.25
	古那包	1968	150 ~ 170	4.9 × 10 ⁴	0.4
墨西哥	富贝罗	1907	9	36.7 × 10 ⁴	
阿根廷	Chihuido de la Sierra Negra 油田	1993	479.5t/d(油)		
	塞罗—阿基特兰	1928	10		
	图平加托		89		
	帕姆帕—帕拉乌卡		100		
美国	利顿泉	1925	1 ~ 685	143 × 10 ⁴	5.6
	Diney - bi - Keysh 油田	1967	67t/d(油)		
	雅斯特	1928	1 ~ 274	16 × 10 ⁴	0.35
	沿岸平原	1915—1974			
	丹比凯亚	1969	103	55 × 10 ⁴	6
	特拉普泉	1976		126 × 10 ⁴	8
格鲁吉亚	萨姆戈里—帕塔尔祖里	1974—1982	150 ~ 350		
阿塞拜疆	穆拉德汉雷	1971	12 ~ 64		
乌克兰	外喀尔巴阡	1982	13.75 × 10 ⁴		
加纳	博森太气田	1982			15

表 1-2 国内主要火山岩(玄武岩)油气藏

地区	油气藏名称	发现年代	单井产量	含油面积(km ²)
济阳凹陷	阳信凹陷	商店油田阳 4 - 沙 4 油藏		4.8 × 10 ⁴ m ³ /d(气)
	惠民凹陷	临盘临 9 断块临 41 - 14	1985	
	东营凹陷	草桥		
冀中坳陷廊固凹陷	曹家务气藏	1985	18.3t/d(油), 5.9 × 10 ⁴ m ³ /d(气)	30

续表

地区		油气藏名称	发现年代	单井产量	含油面积(km ²)
东台拗陷	金湖凹陷	卞一杨一闵构造 17 构造	1980	35 ~ 40t/d(油)	
		闵桥油田	1989	19.8t/d(油)	8.94
	盐城凹陷	卞东构造	1989	7.8t/d(油)	
		S1 构造	1990		
渤中凹陷		428(西)油田	1979	300t/d(油), 2.6 × 10 ⁴ m ³ /d(气)	11.2
		滨南油田滨 338 断块	1982	100t/d(油)	20
辽河拗陷大民屯凹陷		东胜堡潜山	1983	100t/d(油)	48
		静安堡潜山		70t/d(油)	13
		曹台潜山		3.1t/d(油)	10
		边台潜山		60t/d(油)	15
黄骅拗陷歧口凹陷西南		风化店	1986	50t/d(油)	20
		港西、南大港羊三木			
		王宫屯			12
		义东			50
辽东凹陷海域		锦州 20 - 2 构造	1988		
辽河拗陷东部凹陷		黄沙坨油田	1999	62.5t/d(油)	9.3
二连盆地马尼特拗陷		阿北油田	1981	27t/d(油)	15
四川盆地川西		周公山		25 × 10 ⁴ m ³ /d(气)	
准噶尔盆地西北缘		克拉玛依油田一、五、八区		10t/d(油)	32

一、阿塞拜疆祖穆拉德汉雷油田的勘探开发

该油田在阿塞拜疆油气区的中库拉盆地东部。它是 20 世纪 70 年代初期的一个重大发现。石油主要产于潜山顶部的喷发岩(粗面玄武岩及安山岩)油藏。

1. 地质概况

(1) 地层。

晚白垩世初期,穆拉德汉雷隆起的火山喷发形成了粗面玄武岩及安山岩的堆积,其最大厚度 1950m。火山喷发是在海侵过程中发生的,形成了火山岩与沉积岩的互层,而后遭受侵蚀,在隆起潜山顶部形成了 50 ~ 100m 的风化壳。古新世到第四纪接受了沉积。喷发岩潜山上被年轻的沉积物超覆(图 1-1)。

(2) 构造。

穆拉德汉雷潜山在阿格贾别达洼地东北边缘。潜山长 20km,宽 15km,幅度 1000 ~ 1600m,倾角 10° ~ 20°。轴部被纵断层切割,西南翼沿断层下落 600m,东北翼上升 100m(图 1-2)。上覆地层反映了潜山古地形属同生构造。

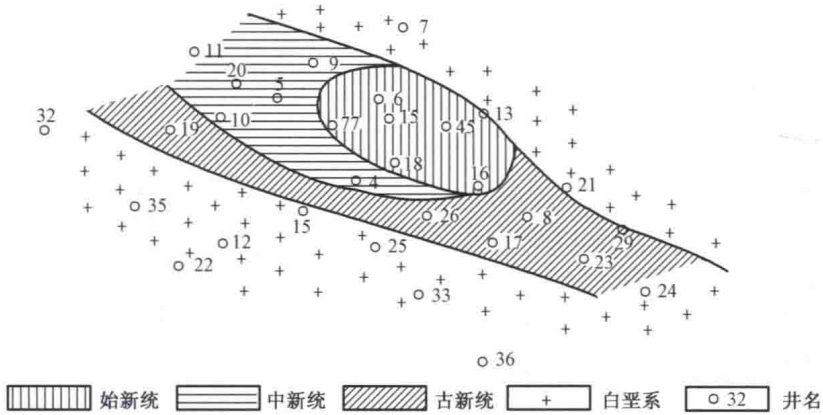


图 1-1 穆拉德汉雷油田喷发岩地质图

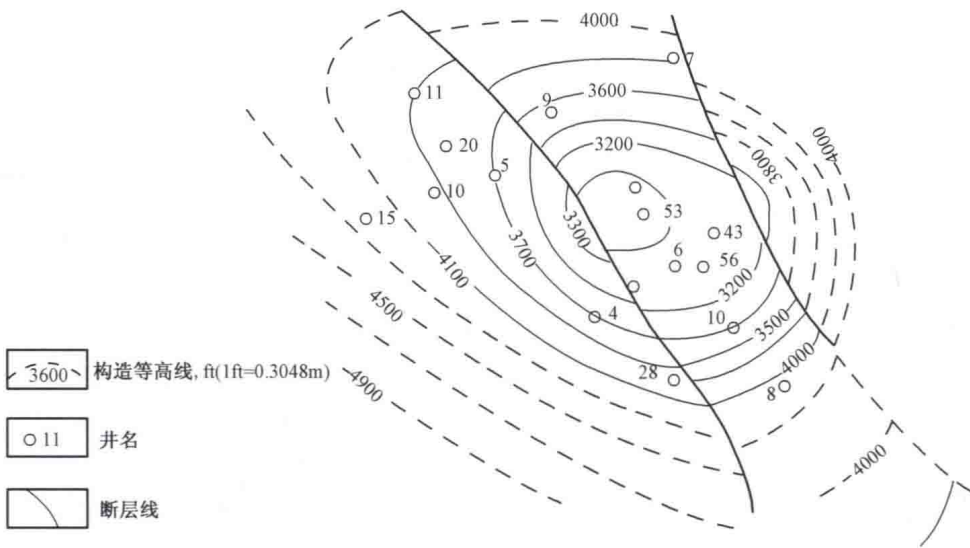


图 1-2 穆拉德汉雷油田喷发岩顶面构造图

(3) 储层。

喷发岩(安山岩、玄武岩、玢岩)是油田的主要储层。根据岩心分析,孔隙度为 0.6% ~ 20%,平均 13%,微裂缝的孔隙度占总体积的 0.44%(根据 4cm × 5cm 的岩心薄片)。很明显,这个值是裂缝孔隙度最小值,因样品取自无开采价值的井段。样品中见长 2cm、宽 1.5cm 的大气孔及很多 1mm 的小气孔以及 0.05mm × 0.97mm 的次生淋滤孔。岩心样品的孔隙度为 8% 时,粒间渗透率为 0.003mD,一般基质的孔隙度很小,渗透率为 1mD。钻井资料表明,喷发岩的上部有大裂缝及微裂缝系统,出现了钻井液漏失,获得了高产油流。

(4) 油藏特点。

该油田有 5 个油藏。一个在侵蚀面上为喷发岩油藏,在始新统沉积岩中有 2 个油藏,古新统、中新统得麦扩普组及乔拉克组各有一个油藏。喷发岩油藏位于隆起的顶部及西北围斜部分,属块状一层状油藏。岩心分析资料表明,喷发岩的孔隙度为 10% ~ 16%,基质渗透率实际

上接近于零。但在基质渗透率接近于零的情况下,油井都获得高产,这显然和裂缝有关。高点上58号井的资料最能说明这一点。当油管压力为18.7MPa,套压为21.0MPa时,用8mm油嘴从2952~2978m井段(裸眼)中获 $300\text{m}^3/\text{d}$ 高产油流。在这个地区各井的产量差别大,说明裂缝发育不均。油藏的地层压力异常,为52.0~56.0MPa,比流体静压力高1.6倍。

2. 油田开发

该油田1971年发现,但直到1978年才开始开发。迟迟未开发是因为喷发岩油藏的结构复杂、储层不均,未找到合理开发的方案。后来在逐步摸索的情况下逐渐调整方案使之合理。

由于风化壳的裂缝发育,白垩系喷发岩油藏地层连通好,易高产,井间干扰大。另外,当采油井段靠近油水接触面时,原油黏度增高,气油比降低,这是因为原油中的天然气向水中扩散,导致原油脱气而黏度增高。在这种情况下易发生水淹。相反,则无水采油期较长。故在制定开发方案时也应注意到这一点。

喷发岩油藏在开发上有两个特点:

(1)水淹快,无水采油期短。

喷发岩油藏在开发过程中,东部地区的井大多数遭到水淹,如53,54,56号井。1977年10月53井试采时产油量 $800\text{t}/\text{d}$,但一年之后产量降到 $16\text{t}/\text{d}$,含水率达95%。

喷发岩中心的58井,无水采油期较长(1977年3月至1979年7月近2年半的时间),产量高时平均日产 400t ,油中不含水,但从1979年中期开始,油中出现水,仅一个月,油井日产量便降到 16t ,含水率升至62%。

(2)井间干扰大。

在喷发岩风化壳油藏中裂缝系统连通,井间水动力联系密切。以56井与3井为例,1977年3月56井产液量下降之后,3井的产油量、产液量均增大。1979年1月56井水淹而停产,此时3井含水率急剧上升。说明56井与3井同处于一个裂缝系统内(图1-3)。

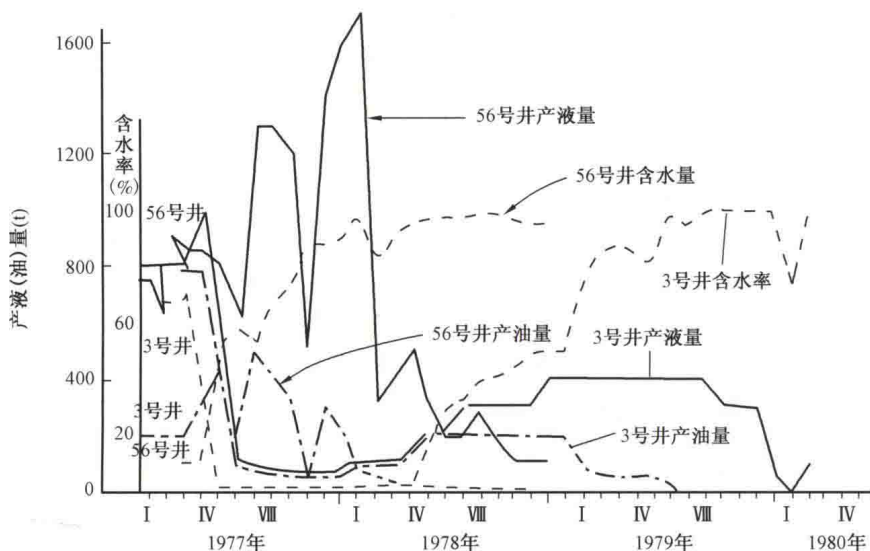


图1-3 穆拉德汉雷油田3井、56井开采曲线

3. 采油及钻井工艺

喷发岩油藏中各井初期产量相差很大,说明裂缝稀疏。为了钻遇更多的裂缝,应当打斜向井。根据该油藏钻井成果表明,高产井的井间距离为 600~750m,而设计的斜向井在喷发岩中的水平井段最佳距离为 250m,井筒方向应垂直于西北—东南向裂缝。采用此钻井方式可提高出现高产井的概率。井的采油指数和含水率均低,说明了生产井段的井壁带的连通不充分,要强化采油,必须改善井壁带的连通性,为此采用了水力压裂、酸化压裂、高压注活性剂、喷砂射孔等手段。在 18 次喷砂射孔作业中有 2 次见效,总增产油量 1670t。12 次酸化压裂中有 8 次见效,总增产量 14723t。

对喷发岩储层采用盐酸处理,会产生大量沉淀物堵塞孔、缝而伤害油气层。

二、阿根廷 Chihuido de la Sierra Negra 油田

1. 概况

Chihuido de la Sierra Negra 油田位于阿根廷 Neuquen 盆地的西北缘(图 1-4),是 Repsol - YPF SA 公司最主要的油田。1993 年该油田在火成岩侵入岩上钻了第一口油井,地层孔隙度低,含有微裂缝。起初几口井的产量并不高,但从最近的几口新井来看油井的产油量有了很大的增长。该地区产量最高的油井达到了 479.5t/d,平均日产油量为 27.4t/d。



图 1-4 Chihuido de la Sierra Negra 油田地理位置图

地层岩性以火山岩为主,火山岩岩体拥有岩盖,该岩盖底部平坦,周围陡峭,上部为宽阔的凸圆形盖顶,在中心最厚的位置约有 300m,见三维图(图 1-5),明显可见火成岩体的陡峭边缘,以及岩体与生产井之间的关系。岩体遍及周边 1100 公顷的范围,并侵入到蒸发岩深度达 900m。补给带是它南面 4km 处的 Cerro Bayo 火山,在图 1-6 上可以看到其主要的裂缝系统,以及水平井眼轨迹与裂缝系统的联通。地层干缩裂缝的存在导致基岩孔隙度很低(4%~5%)。产量主要由裂缝提供,而裂缝受围岩盖位置和地质构造的影响以垂直缝为主。由于储层较浅所以裂缝在开发过程中闭合的可能性不大。2001 年统计数据显示其主要生产井都分布在油藏周边地带而中心地带的油井相对产量较少,有的完全水淹。

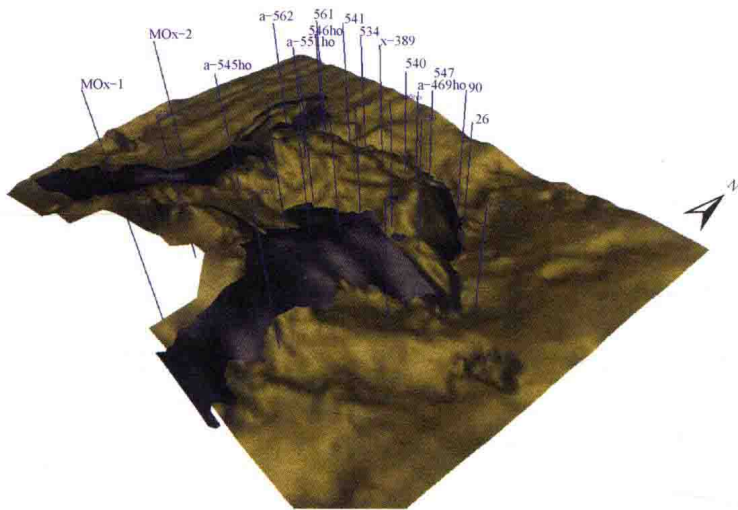


图 1-5 Chihuido de la Sierra Negra 油田三维地震图显示了盖层与生产井之间的关系

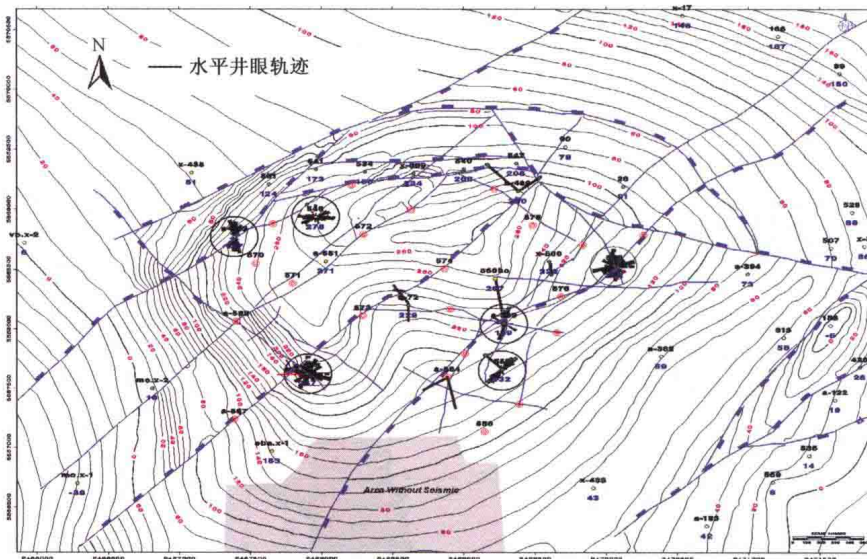


图 1-6 Chihuido de la Sierra Negra 油田电成像获得的地层裂缝走向与水平井眼轨迹

分布在北缘的油井有很高的产水率,而在东缘的油井则不产水。油层欠压实,地层原始压力为 3.1MPa,仅相当于同深度水柱压力的 30%,这是 Rincón de los Sauces 地区的普遍特征,从开始到现在这一地区的压力统计数据显示出很强的非相关性,这主要是因为该地区的裂缝很多且都是不相通的,有的井相距仅 300m,压力就相差 0.8MPa 之大。在这种低压地层渗透率必须非常高才能保证在 96.5KPa 的压差下具有 479.5t/d 的产量。

2. 开采特征

油田开采初期普遍采用直井开采以及传统的完井方式,采用酸化增产方式来提高油井产量,见效甚微,产量只有 8.2~21.9t/d。为了增产,从工艺上做了重大的改进:采用裸眼完井方

式,用套管封隔器把产层与上部地层隔开。之后产量有明显的上升,但是由于裂缝地层大多厚度在 100m 左右,并且裂缝多数都是垂直裂缝,使生产井优选非常困难,最后设计了水平井,以穿插不联通的水平带,从而圆满解决了这一难题(图 1-7)。

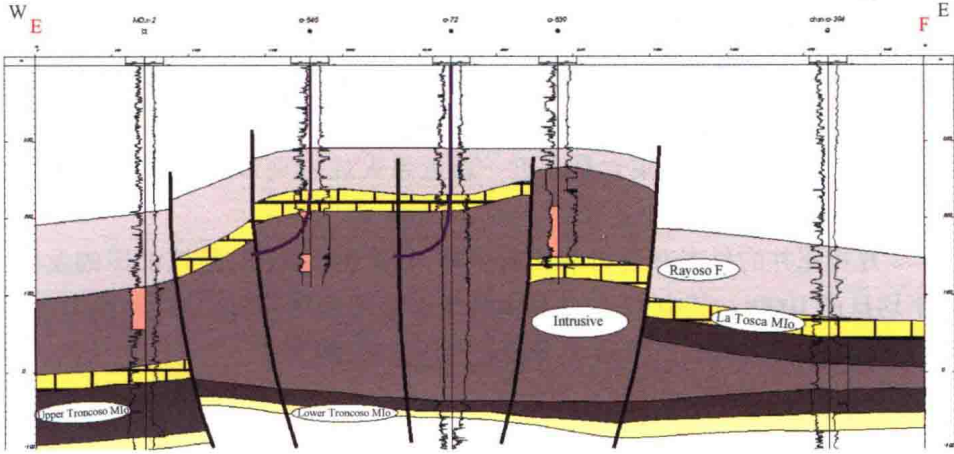


图 1-7 Chihuido de la Sierra Negra 油田水平井与垂直裂缝相交

钻井时钻到第一次钻井液漏失就应该停止钻进。曾经尝试钻到第一次钻井液漏失仍继续钻进,以为这样可以使井眼连通更多的裂缝,而结果是钻屑堵塞了裂缝造成地层伤害。在裂缝发育地带水平井与直井的产量相近,用电潜泵生产都达到了 479.5t/d,而采用水平井则能更好地减少地层伤害。

3. 地层裂缝预测

地层裂缝预测在这类储层中显得尤其重要,因为油井产油量与裂缝储层的侵入程度和裂缝大小关联紧密。大多的裂缝分布都是依靠地震和电成像测井获得的。地震测井获得的资料并不是太准确,这是由于盖层所产生的地震噪声使得对火山岩体裂缝分布的测量数据产生了很大的影响所致,就算是地层倾角、方位角和成像测井资料很精确还是无法避免这一影响。在盖层里面,由成像测井资料解释的裂缝走向与地震解释相吻合。钻井液漏失是开口裂缝的基本标志,漏失量大则暗示了高产油层的存在。之后的电成像测井和全波列声波测井资料也证明了这一点。

4. Chihuido de la Sierra Negra 油田开发结论

开发这类储层的关键是要制定详细的计划来获得主要数据,从而,合理部署评价井以及生产井。这些数据通过依靠钻井液、电测设备和三维地震设备,应用地层倾角、方位角结合电成像技术获得。

裸眼完井技术降低了套管完井以及增产作业所产生的地层伤害。

水平井钻井技术的应用,使井眼轨迹能以合适的角度贯穿断裂带,最大限度地增加垂直裂缝的数量,从而最大限度的提高产量并且防止地层伤害。

三、美国 Diney - bi - Keysh 油田

1. 概况

Diney - bi - Keysh 油田,坐落于美国纳瓦霍印第安人居住地——亚利桑那州的东北部大约 80.5km 处西南的法明顿,在地质上 Diney - bi - Keysh 油田位于西北部 Toadlena 背斜的尾部,这个背斜平行于其东北翼的 Defiance 隆起,西北—东南走向。Diney - bi - Keysh 油田的开发引起了很大关注,该储集岩是古近—新近系火成岩夹带少量宾夕法尼亚纪灰岩和页岩。

1967 年 2 月初完井的科麦奇公司纳瓦霍一号,日产油 648bbl,是该油田的发现井。该油田 15 口井平均日产 1000t。其中 12 口井是由科麦奇公司管理,其余三口井由 Humble 石油和炼油有限公司管理,到 1969 年 1 月 31 日累计产油 87.7×10^4 t。

2. 油藏与开采特征

油藏储集岩是一种深灰色、灰绿色正长岩,主要矿物是透长石、黑云母、透辉石、火山玻璃和磁铁矿。岩石纹理从致密精细的颗粒到中等偏粗结晶,从致密岩层到多孔隙岩层。在一些岩心中广泛发育着垂直和水平横向裂缝,孔隙以晶粒间孔、孔穴和裂缝三种形式存在。岩心分析研究表明,孔隙度变化较大,从 5% 至 17%,渗透率由小于 0.01mD 到 25mD,含水饱和度从 25% 高渗透区域到 93% 的异常低渗透区不等,厚度由 11.6m 至 53m,含油面积约 12km^2 。平均孔隙度 10%,含水饱和度为 45%,油层厚 30m。总体来说,最好的生产井是在油田东南部第 32 区的科尔科麦奇纳瓦霍一号、二号、三号和四号,产油 51×10^4 t,相当于累计产量的 58.5%,这 4 口井的产能和这一地区井底附近自然裂缝发育丰富有重大关系,其中科麦奇公司纳瓦霍五号、纳瓦霍“B”一号、纳瓦霍“F”一号和 Humble 四号 - 88 石油产量无法确定,其原因是岩床穿插在这 4 口井井底。可能这些井井底天然裂缝发育不足。这种油藏附近的油井产量都比较小,油藏能量都是由溶解气驱提供的。尽管所有的油井产液平均含水率约 15%,但是还未发现水驱见效的井。从岩心和测井分析检测出水面位置,井网部署和产水率没有多大关系,溶解气驱为主导的基础上重力驱动也起到了一定的辅助作用。

通过对纳瓦霍二号完井时取得的流体样本进行分析表明,井底的储层流体性质非常特殊,即直到油藏压力约 5.4MPa 时才显示出地层体积系数的减少,并有可观的天然气释放。这种现象表明液体含有大量的氮和中间烃组分与甲烷(表 1-3),这些中间烃组分倾向于留在溶液中,直到压力降低到一定程度才释放出来,它有可能与溶解气驱共同作用从而将采收率上升到地质储量的 15% ~ 20%。在油藏温度 34.4℃ 下,原始油藏压力为 43.9MPa,泡点压力为 39.6MPa。在压降过程中,油藏采样平均每桶剩余油释放出 $283 \times 10^4\text{m}^3$ 天然气,目前井底压力大约为 1.4MPa。Kerr - McGee 井 1969 年 1 月平均生产气油比 113/1,原油绿黑色,原油相对密度 0.82 ~ 0.81。