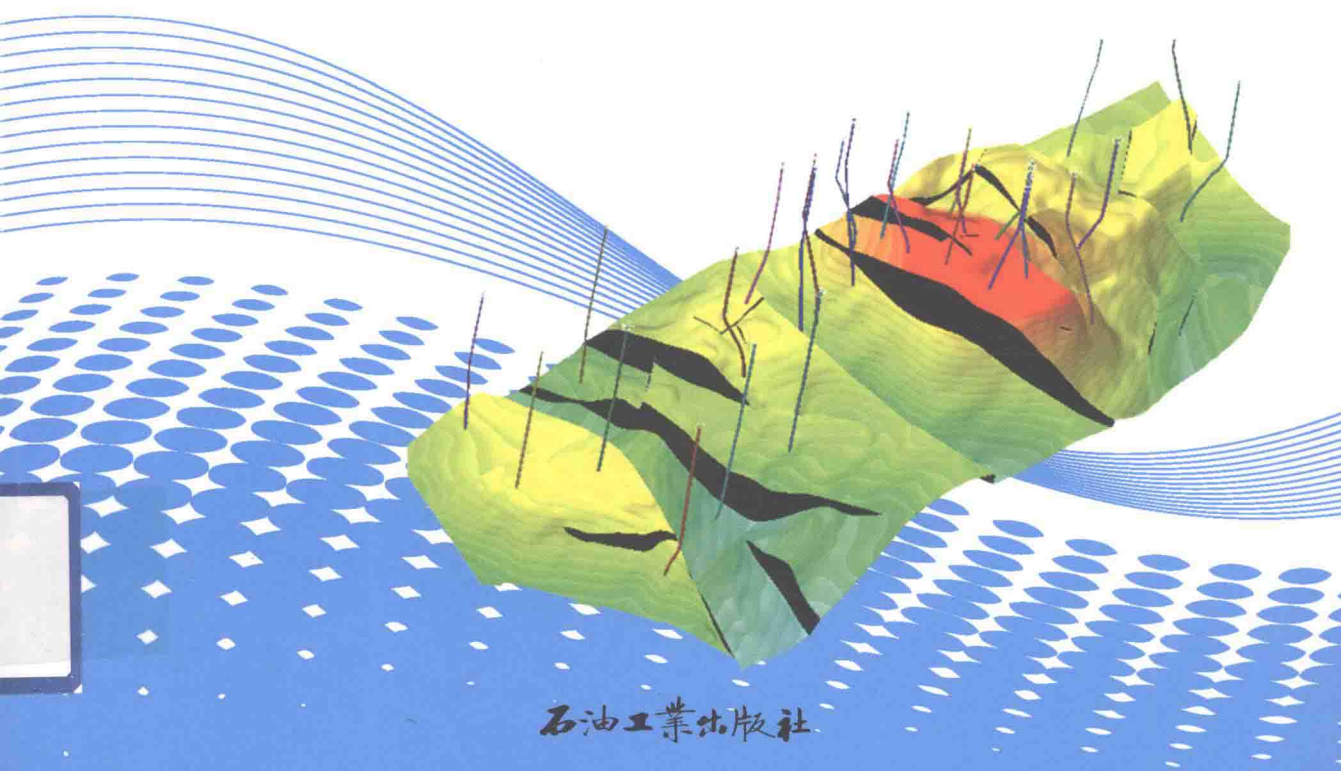


Evaluation Method of
Oil and Gas
Reservoir Parameters

油气藏参数 评价方法

康志勇 著



石油工业出版社

油气藏参数评价方法

康志勇 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在对辽河坳陷油气藏参数系统研究的基础上,通过实例应用介绍了油气藏地质特征参数定量描述、储层参数研究、孔隙流体特征参数评价、油气水层评价及储量资源评价等内容,系统总结了油气藏参数的研究方法 with 评价技术。

本书实用性强、方法简便,可供石油行业从事油气藏评价和石油天然气储量研究的技术人员使用,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气藏参数评价方法 / 康志勇著.

北京:石油工业出版社,2013.4

ISBN 978-7-5021-9512-0

I. 油…

II. 康…

III. ①油气藏—研究办法②油气藏—评价

IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 036248 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://www.petropub.com.cn>

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 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:268 千字

定价:56.00 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

油气藏是单一圈闭中具有同一压力系统和统一油水界面、气油界面或气水界面的地壳中最基本的烃类聚集单位。油气藏参数评价包括地质特征参数评价、储层物性参数评价、孔隙流体特征参数评价、油气水层评价和储量资源评价五方面内容。

地质特征参数评价主要指储层岩性、地层产状、地层温度等方面内容；储层物性参数评价主要指储集岩泥质含量、孔隙度及饱和度等项参数的研究与评价；孔隙流体特征参数评价是指原油特征参数（主要指原油密度、原油黏度、原油体积系数及原油分类等）、天然气特征参数（主要指天然气组分、气体偏差系数及天然气分类等）和地层水特征参数（主要指地层水密度、地层水黏度、地层水矿化度、地层水电阻率等）评价；油气水层评价主要指油气层电阻增大率研究及储层的含油性、岩性、物性和电性特征之间的相互关系（简称“四性关系”），建立油气水层评价标准等内容；储量资源评价主要指储量计算单元划分、动态法和静态法地质储量计算与评价等。

笔者根据多年从事油气藏评价工作遇到的实际问题，从现场实际资料分析出发，结合油气藏开发生产实际，对油气藏地质特征参数、储层物性参数、孔隙流体特征参数、油气水层特征和储量资源进行论述，希望这些工作方法、工作思路和研究成果能对从事储量研究和油气藏开发等方面工作的石油科技工作者有所帮助和启迪。

本书第三章第六节由中国石油大学（华东）谢开宁副教授执笔，其他章节由康志勇执笔并对全书统稿。

本书在编写过程中得到了中国石油大学（华东）博士生导师林乘焰教授的悉心指导，在成稿过程中还得到李军生博士无私的帮助，参加研究工作的还有中国石油辽河油田公司勘探开发研究院储量研究室和测井评价中心的闫家宁、田文、李素杰、刘贤鸿、柳锦云、苏继红、张爱华、马彬等高级工程师以及吕滨工程师和张博勇同志，在此一并表示真挚的感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏、错误和不足之处，诚请读者批评指正。

2012 年 11 月 26 日

目 录

第一章 地质特征参数描述	(1)
第一节 砾岩油藏储层岩性定量解释	(1)
一、储层岩性与含油性关系	(1)
二、储层岩性与电性关系	(2)
三、储层岩性定量解释模型	(3)
四、岩性界限确定方法	(4)
五、小结	(4)
第二节 火山岩储层识别与评价	(4)
一、火山岩储层基本地质特点	(5)
二、火山岩储层评价方法	(9)
三、小结	(16)
第三节 元古界潜山内幕地层产状计算方法	(16)
一、元古界地层岩性分布特点	(16)
二、潜山内幕地层对比方法	(17)
三、内幕地层产状计算	(18)
四、小结	(21)
第四节 地层温度评价及影响因素	(21)
一、地温梯度	(22)
二、地温场影响因素	(24)
三、小结	(26)
参考文献	(27)
第二章 储层参数评价	(28)
第一节 砂岩地层泥质含量测井解释	(28)
一、电阻率解释泥质含量基本原理	(28)
二、泥质含量测井解释模型	(29)
三、解释方程应用条件	(29)
四、小结	(32)
第二节 砂岩地层声波时差及孔隙度影响因素分析	(32)
一、因素水平分析	(32)
二、试验条件及数据处理	(33)
三、试验结果分析	(35)
四、试验最佳方案	(37)
五、回归方程应用条件	(37)

六、小结	(39)
第三节 疏松岩石孔隙度校正方法	(39)
一、试验样品	(39)
二、三轴孔隙度分析原理	(40)
三、疏松岩石地面总孔隙度	(40)
四、疏松岩石地层总孔隙度	(42)
五、小结	(43)
第四节 岩石非有效孔隙度评价	(44)
一、单位岩石体积模型	(44)
二、非有效孔隙度计算	(46)
三、非有效孔隙度与储层参数的关系	(47)
四、泥质含量与孔隙度的关系	(48)
五、小结	(49)
第五节 基岩储层宏观裂缝孔隙度评价	(50)
一、裂缝孔隙度评价背景	(50)
二、基岩储层基本特点	(50)
三、单位基岩储层体积模型	(51)
四、基岩地层真电阻率方程	(54)
五、基岩地层视电阻率方程	(55)
六、宏观裂缝孔隙度理论方程	(57)
七、宏观裂缝孔隙度影响因素	(58)
八、小结	(59)
第六节 均质储集岩含烃饱和度理论方程	(59)
一、理论基础	(60)
二、饱和度方程的理论推导	(60)
三、饱和度方程的物理意义	(63)
四、小结	(64)
参考文献	(64)
第三章 孔隙流体特征评价	(66)
第一节 稠油分类标准	(66)
一、稠油构成特点	(66)
二、国内外稠油分类现状	(67)
三、辽河稠油分类标准	(68)
四、小结	(71)
第二节 脱气原油密度计算方法	(71)
一、基础资料分析	(71)
二、原油密度计算	(73)
三、小结	(73)
第三节 地层油密度计算方法	(73)

一、地层油密度定义	(74)
二、地层油密度计算	(74)
三、小结	(75)
第四节 计算原油黏度经验方程	(76)
一、基础资料分析	(76)
二、原油黏度计算	(77)
三、小结	(78)
第五节 凝析气藏特点及天然气类型判别	(79)
一、凝析气藏基本特点	(79)
二、油气藏类型	(79)
三、天然气类型判别方法	(80)
四、小结	(83)
第六节 计算地层水密度通用方程	(83)
一、地层水密度计算方法筛选	(84)
二、计算地层水密度的 S—K 方程	(88)
三、小结	(89)
参考文献	(89)
第四章 油气水层评价方法	(91)
第一节 岩石电阻增大率和综合地层因素	(91)
一、岩石电阻率表达式	(91)
二、岩石电阻增大率	(92)
三、综合地层因素	(94)
四、方程的物理意义	(94)
五、小结	(94)
第二节 砂岩地层视电阻率计算及流体性质识别	(95)
一、砂岩地层真电阻率方程	(95)
二、地层流体替换率和钻井液滤液分配系数	(96)
三、砂岩地层视电阻率方程	(98)
四、储层流体性质识别	(100)
五、小结	(102)
第三节 基岩地层电阻率计算与油气水层评价	(105)
一、基岩地层参数间基本关系	(106)
二、基岩地层真电阻率方程	(109)
三、基岩地层流体替换率和钻井液滤液分配系数	(110)
四、基岩地层视电阻率	(111)
五、基岩油气水层评价方法	(111)
六、小结	(115)
第四节 低阻油层成因及研究方法	(115)
一、低阻油层的发现	(115)

二、低阻油层成因分析	(116)
三、低阻油层研究方法	(117)
四、小结	(118)
第五节 超稠油砂岩油藏测井评价方法	(119)
一、油藏基本地质条件	(119)
二、储层评价方法	(119)
三、应用效果分析	(127)
四、小结	(127)
第六节 砾岩油藏油层标准研究	(128)
一、砾岩油藏地质特点	(128)
二、油层有效厚度标准研究	(129)
三、小结	(133)
参考文献	(133)
第五章 地质储量评价	(136)
第一节 计算单元储量参数确定方法	(136)
一、储量计算单元划分原则	(136)
二、储量参数确定方法	(137)
三、计算单元储量参数取值	(146)
四、小结	(150)
第二节 容积法储量计算方程合理性分析	(150)
一、容积法储量计算方程	(151)
二、岩石孔隙中的石油(天然气)体积	(151)
三、储量计算方程表达形式分析	(154)
四、小结	(156)
第三节 石油天然气储量计算及评价	(156)
一、常用术语	(157)
二、石油地质储量计算	(158)
三、天然气地质储量计算	(160)
四、油气藏储量评价	(162)
五、小结	(164)
第四节 热采油藏动态地质储量计算	(165)
一、热采资料分析	(165)
二、动态地质储量及误差分析	(166)
三、小结	(167)
第五节 稠油地质储量等级划分	(167)
一、稠油储量划分原则	(167)
二、稠油储量分级标准	(168)
三、小结	(168)
参考文献	(169)

第一章 地质特征参数描述

第一节 砾岩油藏储层岩性定量解释

冷家堡油田稠油油藏是 20 世纪 80 年代末在辽河坳陷发现的储量丰度较高的砾岩稠油油藏。由于储层岩性复杂、成岩性差，给储层研究带来很大困难。通过对冷家堡油田岩心资料的分析整理，综合运用地质分析、测井响应和计算机统计处理技术，建立了冷家堡油田稠油油藏储层岩性识别图版及测井解释模型，为储层参数精细解释、沉积相研究、储层综合评价及稠油油藏开发奠定了基础。

一、储层岩性与含油性关系

冷家堡油田含油目的层（ E_2S_3 、 E_3S_{1+2} ）取心 23 口井，取心进尺 1229.41m，岩心长 958.92m，平均收获率为 78%，其中密闭取心进尺 191.13m，岩心长 147.75m，平均收获率为 77.3%。

通过对近千米岩心的归类观察统计，冷家堡油田储层岩性主要有 9 种（表 1-1-1），其中砂质细砾岩是主力储集岩。结合含油性及岩性变化，将 9 种储集岩归结为 4 类，即砂岩类（Ⅰ类岩性）、砂质细砾岩类（Ⅱ类岩性）、中—细砾岩类（Ⅲ类岩性）和泥质岩类（Ⅳ类岩性）（表 1-1-2）。

表 1-1-1 储层岩性统计

岩性	泥质岩类	砂岩类		砂质细砾岩类			中—细砾岩类		
	泥质砂岩	砂岩	含细砾砂岩	细砾质砂岩	砂质细砾岩	含中砾砂质细砾岩	含砂含中砾细砾岩	含砂中砾质细砾岩	含砂细砾质中砾岩
频率（%）	11.1	4.5	2.3	8.0	45.1	11.4	8.6	6.6	2.4

表 1-1-2 储集岩含油性统计

岩性类别	岩心含油长度百分比（%）				
	饱含油	富含油	油浸	油斑	油迹荧光
砂岩类（Ⅰ类）	10.1	48.9	21.0	14.0	6.0
砂质细砾岩类（Ⅱ类）	0	30.7	46.3	15.1	7.9
中—细砾岩类（Ⅲ类）	0	4.2	49.3	17.1	29.4
泥质砂类（Ⅳ类）	0	4.1	10.1	19.6	66.2

Ⅰ类岩性：含油产状以饱含油和富含油为主，颗粒分选中等，泥质含量为 2.0% ~ 5.5%，砾石含量一般小于 50%，粒度中值为 0.20 ~ 0.60mm，平均为 0.38mm，是

本区最好的储集岩。

Ⅱ类岩性：含油性较好，以富含油和油浸为主，颗粒分选中等，碎屑颗粒以细砾（粒度中值为1～10mm）为主，砂级碎屑颗粒含量为15%～45%，砾石含量为25%～65%，泥质含量为1.0%～2.5%，粒度中值为0.50～1.50mm，平均为1.04mm，是本区主力储集岩。

Ⅲ类岩性：含油性差，以油浸、油斑为主，富含油岩心很少，颗粒分选差，碎屑颗粒以中—细砾为主，砂级碎屑颗粒含量小于25%，砾石含量大于50%，分选相对好，砂级碎屑含量较高，为有效储集岩。

Ⅳ类岩性：含油性差，以荧光、油斑及油迹为主，泥质含量为10%～35%，颗粒分选差，储集性能差，为非有效储集岩。

二、储层岩性与电性关系

依据含油性及岩性特征划分的4类岩性，随着泥质含量及含油性等因素的变化，其电性特征也随之变化。其中Ⅳ类岩性采用电阻率与自然伽马交会图能较好地识别出来（图1-1-1），Ⅳ类岩性因泥质含量相对较高，含油性差，自然伽马值均大于70API，深侧向电阻率一般小于 $27\Omega\cdot m$ ，属非有效储集岩。其余3类岩性的电性特征可通过声波时差与密度或中子交会进行描述（图1-1-2），划分标准详见表1-1-3。

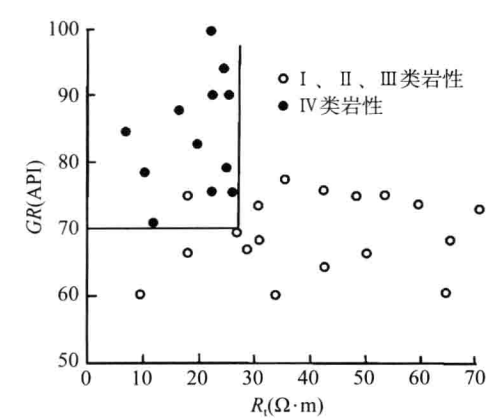


图 1-1-1 储层岩性识别图版 I

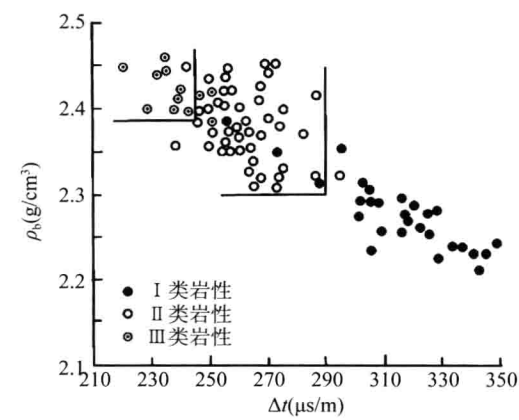


图 1-1-2 储层岩性识别图版 II

表 1-1-3 储集岩电性特征

电性参数	声波时差 ($\mu s/m$)	ϕ_N (%)	ρ_b (g/cm^3)	R_t ($\Omega\cdot m$)	GR (API)
砂岩类（Ⅰ类）	≥ 290	≥ 23	< 2.30	≥ 27	< 70
砂质细砾岩类（Ⅱ类）	$290 \sim 243$	$17 \sim 23$	$2.30 \sim 2.39$	≥ 27	< 70
中—细砾岩类（Ⅲ类）	< 243	< 17	≥ 2.39	≥ 27	< 70
泥质岩类（Ⅳ类）				< 27	≥ 70

三、储层岩性定量解释模型

岩心描述确定的3类岩性可通过三孔隙度曲线较好地识别出来,而直接反映储集岩粗细变化的粒度资料也应与测井响应有较好的关系。

通过对现有资料的分析,认为像冷家堡油田这样非均质严重的砾岩储层采用常规粒度分析(岩样的重量为50g左右),岩样的代表性需要讨论。为此在冷83井做常规粒度分析过程中,选取了13块平行大样做粒度分析对比,分析结果:可对比的9块平行大样的平均粒度中值比小样偏大0.21mm,当粒度中值小于0.80mm时,大样与小样分析的粒度中值基本一致,当粒度中值大于0.80mm时,部分大样的粒度中值高于小样的分析值。说明对于非均质强的粗岩性,取小样做粒度分析在粗颗粒部分有一定偏差,但小样的分析结果仍具有很强的代表性,特别是砾石含量的变化基本能反映颗粒的粗细变化趋势。通过相关统计分析,冷家堡油田砾石含量与粒度中值有较好的相关性,其相关统计方程为:

$$M_d = 0.1694e^{0.036w_{gr}} \quad (1-1-1)$$

式中 e ——自然常数, $e=2.71828$;

M_d ——粒度中值, mm;

w_{gr} ——砾石质量分数, f。

根据冷家堡油田稠油储层岩性粗、砾石含量高的特点,结合粒度分析资料,建立了砾石含量定量划分储层岩性测井解释模型。对读取的35层三孔隙度测井值(声波时差、补偿中子和岩石体积密度)与砾石含量进行相关统计^[1],考虑相同岩性的三孔隙度测井曲线受深度变化的影响,而岩石中的砾石含量又与深度无关,因此将三孔隙度曲线做了深度校正。此外补偿中子曲线还做了岩性和井径校正。校正后的三孔隙度测井值与砾石含量相关性增强,其中声波时差与砾石含量建立的回归方程:

$$w_{gr} = 1.781 - \frac{0.1259\Delta t D}{24D + 2.8} \quad (n=35, r=0.8690) \quad (1-1-2)$$

式中 D ——垂直深度, km;

r ——相关系数;

Δt ——声波时差, $\mu s/m$;

n ——样本数, 块。

多元回归建立的砾石含量解释方程:

$$w_{gr} = 1.261 - \frac{(0.0692\Delta t - 2.165\rho_b + 0.338\phi_N)D}{24D + 2.8} \quad (n=35, r=0.9357) \quad (1-1-3)$$

式中 ρ_b ——岩石体积密度, g/cm^3 ;

ϕ_N ——补偿中子, %。

逐步回归建立的最优砾石含量测井解释方程:

$$w_{gr} = 1.522 - \frac{(0.0750\Delta t + 0.389\phi_N)D}{24D + 2.8} \quad (n=35, r=0.9357) \quad (1-1-4)$$

由式(1-1-1)至式(1-1-4)计算的砾石含量与实测砾石含量分析值对比,平均绝

对误差为 5.22% ~ 5.55%。

四、岩性界限确定方法

利用式 (1-1-2)、式 (1-1-3)、式 (1-1-4) 解释 I、II、III 类储层岩性，以冷家堡油田实际分析的砾石含量频率曲线交叉点对应的砾石含量作为定量划分储层岩性的界限 (图 1-1-3)。

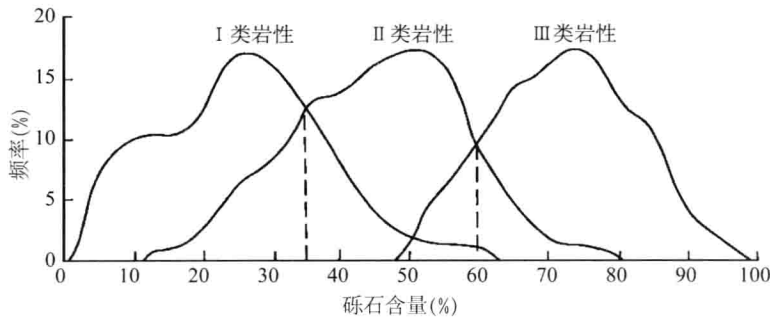


图 1-1-3 砾石含量频率曲线

根据图 1-1-3，I 类岩性的砾石含量小于 50%，平均为 24%；II 类岩性的砾石含量主要分布在 25% ~ 65% 之间，平均为 45%；III 类岩性的砾石含量主要分布在 55% ~ 90% 之间，平均为 75%。其中 I、II 类岩性频率曲线交叉点对应的砾石含量为 35%，II、III 类岩性频率曲线交叉点对应的砾石含量为 60%，因此划分 I、II、III 类储层岩性的砾石含量界限值分别为 35% 和 60%。

五、小结

(1) 以大量的取心资料为基础，通过岩性与电性对比建立的冷家堡油田储层岩性识别图版，能较好地描述划分的 I、II、III、IV 类储层岩性区分开，从而为储层综合评价奠定了基础。

(2) 采用三孔隙度测井曲线解释储层砾石含量，不仅达到了定量解释复杂砂砾岩储层之目的，还为储层参数及沉积相的深入研究创造了条件。

第二节 火山岩储层识别与评价

20 世纪 70 年代，在辽河拗陷东部凹陷热河台油田热 24 井沙三段火山岩油气层中就已获得了高产油流 (热 24 井于 1971 年完钻，1972 年 7 月 26 日在 2186.0 ~ 2220.0m 井段射开 9.0m 火山岩，6mm 油嘴初期日产油 49.8t，到 2001 年 5 月，累积产油 12.74×10^4 t)，但由于当时对火山岩缺乏认识，还无法从砂岩中有效地识别火山岩，导致把火山岩当做砂岩。到了 20 世纪 90 年代，随着勘探技术，特别是测井技术和测井解释水平的不断提高以及辽河拗陷勘探程度的不断加深，在砂岩中寻找整装油气藏的难度越来越大的背景下，火山岩油气藏开始大量进入研究人员的视野。但火山岩油气藏做为增储上产的一个新领域，尚有一系列问题有待解决。譬如，为什么在辽河拗陷的火山岩中粗面岩和流纹岩储层发育而玄

武岩和安山岩储层不发育？火山岩岩性如何识别？火山岩储层如何划分？火山岩储层参数如何求取？等一系列问题。针对这些问题，着重对火山岩岩性及储层认识开展研究。首先从火山岩的矿物成分分析入手，分析火山岩的分布规律和测井响应机理，建立了火山岩储层测井评价标准，为火山岩储层识别及参数评价奠定基础。

一、火山岩储层基本地质特点

1. 火山岩分布

火山岩在辽河拗陷分布广泛，除大民屯凹陷尚未发现火山岩油气藏，在东部和西部两个凹陷均有火山岩油气藏分布。东部凹陷火山岩油气藏都分布在沙三段^[2]，储层岩性为粗面岩；西部凹陷火山岩油气藏分布在中生界，储层岩性为流纹岩和凝灰岩。

辽河拗陷东部凹陷从南部的荣兴屯油田、中部的热河台油田、欧利坨子油田、黄沙坨油田到北部的青龙台油田均发现了火山岩油气藏，其中东部凹陷中段的火山岩油气藏储量丰度最高，如 2004 年在欧利坨子油田钻探的欧 48 井首次在 2500m 以下发现粗面岩油气藏^[3]，并获得近百吨的工业油流。

辽河拗陷西部凹陷从南部的大洼油田、中南部的曙光油田到北部的牛心坨油田均在中生界发现火山岩油气藏，其中西部凹陷北段的坨 33 区块火山岩油气藏是 2003 年在辽河油区首次发现的储量规模最大的流纹岩油气藏。

2. 火山岩岩相及岩石学特征

(1) 火山岩岩相类型。

根据火山岩成因机制将火山岩划分为 3 种岩相类型：爆发相、溢流相和火山沉积相^[4]（表 1-2-1）。

表 1-2-1 辽河拗陷火山岩岩相类型

形成机制	相	亚相	岩石类型	
			理论模式	岩性特点
爆发作用	爆发相	溅落熔岩亚相	熔结火山碎屑岩、火山碎屑熔岩	熔结凝灰岩、集块熔岩、角砾熔岩
		火山碎屑岩亚相	火山碎屑岩类	角砾凝灰岩、凝灰岩
喷溢作用	溢流相	熔岩流亚相	角砾化熔岩、熔岩	粗面岩、角砾化粗面岩、流纹岩等
		火山重力流亚相	熔岩质角砾岩、熔岩质砾岩	粗面质角砾岩
沉积作用	火山沉积相		沉火山碎屑岩类	泥质凝灰岩和沉火山角砾岩

(2) 火山岩岩石类型。

辽河拗陷分布的火山岩主要为玄武岩类、粗面岩类、响岩类、安山岩类、流纹岩类和火山碎屑岩 6 种类型。

① 玄武岩类。

玄武岩一般为灰黑或黑色细粒致密岩石，经风化后可呈暗红色、黑褐色、暗绿色、绿色。常有气孔，随着其流动状态的变化，气孔或圆或椭圆形或不规则状，有时呈带状出现。气孔可被后来的矿物（如方解石、绿泥石、绿帘石、斜长石、蛋白石、沸石等）充填，出

现典型的杏仁构造。玄武岩多具斑状结构或无斑隐晶质结构，常见的矿物以斜长石、橄榄石和辉石为主，其中的橄榄石常变为褐红色的伊利石，在后期流体作用下橄榄石可转化为褐绿泥石。玄武岩中的斜长石多为拉长石或倍长石，斜长石的双晶极为发育。

玄武岩在地球上分布极广，几乎是所有熔岩的 5 倍。辽河拗陷的玄武岩总体蚀变较深，斜长石受热液蚀变易高岭石化，辉石蚀变易形成绿泥石。据全岩 X 衍射分析，玄武岩黏土含量可达 20% 以上。这类岩石因大部分蚀变泥化及方沸石充填，储集性能差，含油性差，基本不具工业产能。玄武岩的抗压强度约为 $3500 \sim 5000\text{kg/cm}^2$ ，多孔玄武岩略低一些。

②粗面岩类。

粗面岩一般呈灰色、灰白色、浅褐黄色、浅紫褐色、浅绿色，具斑状结构。基质为隐晶质，具粗面结构（长条状的碱性长石斑晶和微晶都成近平行的流水状分布）、正斑结构（基质中的透长石微晶常常成近正方形断面，组成所谓的正斑结构）。斑晶多为透长石、歪长石和钠长石（呈自形一半自形，短柱状，蚀变中等，含量为 13% 左右）。暗色矿物斑晶主要为黑云母、角闪石和辉石（可见暗化边）。基质几乎全部由透长石或钠长石微晶组成。因此认识粗面岩时，基质成分具有指向性。粗面岩根据成分可分为钙碱性粗面岩和碱性粗面岩。钙碱性粗面岩斑晶成分有碱性长石，也有斜长石，碱性长石主要为透长石，斜长石主要为中长石。碱性粗面岩主要由碱性长石组成，无斜长石，碱性长石由透长石、正长石和歪长石组成。

东部凹陷的粗面岩为钙碱性粗面岩，经后期热液蚀变发生了较强烈的沸石化，结果粗面岩中的裂缝和溶蚀孔隙被方沸石充填，同时长石风化或热液蚀变形成的长石等黏土矿物使粗面岩储层的储集性能变差。该类岩石蚀变程度比玄武岩类轻，储集性能比玄武岩好。

在辽河拗陷粗面岩与玄武岩相伴生，粗面岩的抗压强度为 $600 \sim 700\text{kg/cm}^2$ ，明显比玄武岩更易形成裂缝。

③响岩类。

响岩一般为浅灰色、灰白色、灰褐色或灰绿色，具斑状结构或无斑隐晶质结构。斑晶主要为碱性长石（透长石、歪长石）和似长石，响岩中的似长石主要是霞石，有时有白榴石，这些似长石常有熔蚀港湾和包裹体，并有颜色环带。霞石常常转化为方沸石和高岭土，白榴石往往为透长石、沸石和霞石的集合体交代形成假白榴石。基质成分与斑晶基本相同。

响岩的成分接近于碱性粗面岩，其区别在于响岩含有大量的似长石。

响岩分布十分有限，在辽河拗陷西部凹陷中生界偶有发现，如大洼油田的洼 609 块，响岩一般以岩钟和小的岩流出现。

④安山岩类。

安山岩一般呈灰黑色、红褐色、浅褐色、灰绿色及灰色，蚀变后多呈褐色、绿色，具斑状结构。肉眼可见的斑晶矿物有辉石、角闪石、黑云母和斜长石。斜长石斑晶含量为 11%，碱性长石含量为 5%。基质具有玻基交织结构（又称安山结构，玻基中无序地散布着斜长石微晶）。

斑晶中的斜长石发育聚片双晶、卡纳复合双晶、环带结构。碱性长石呈板状，发育卡式双晶。长石斑晶具溶蚀现象，并且长石蚀变强烈，有的长石发生破碎。基质由长石及石英微晶和少量暗色矿物组成。长石微晶呈细粒长条状，含量为 5%，溶蚀强烈。微晶之间充填的隐晶质，碳酸盐化强烈。安山岩是一种典型的钙碱性熔岩，在辽河拗陷主要见于西部

凹陷中生界，并与英安岩和流纹岩共生。安山岩的抗压强度为 1200 ~ 2400kg/cm²。

⑤流纹岩类。

西部凹陷中生界流纹岩为灰白色、浅灰红色、灰色、灰绿色块状，裂缝发育。根据薄片分析，流纹岩具有斑状结构，常具流纹构造，流纹岩有斑晶可见时，斑晶为石英、碱性长石及斜长石和黑云母。钠长石斑晶呈半自形板状，溶蚀现象明显，有的长石呈聚斑状，部分具碳酸盐化、高岭土化，云母呈板状，具暗化边。基质由碱性长石微晶、石英微晶、玻璃质及暗色矿物等组成，具有霏细结构，碱性长石微晶普遍具溶蚀现象。流纹岩可分为钙碱性流纹岩和碱性流纹岩，前者相当于钙碱性花岗岩的喷出岩，后者相当于碱性花岗岩的喷出岩。碱性流纹岩含碱性角闪石、碱性辉石和钠质长石斑晶。流纹岩抗压强度为 1500 ~ 3000kg/cm²。

⑥火山碎屑岩。

火山碎屑岩是火山活动时产生的火山碎屑物质沉落堆积后，经固结或熔结形成的岩石。根据粒度可将火山碎屑物质分为集块、角砾、火山灰和火山尘 4 类（表 1-2-2）。

表 1-2-2 火山碎屑物质粒度分类

火山碎屑	集块	角砾	火山灰	火山尘
粒级（mm）	≥ 32	2 ~ 32	0.0039 ~ 2	< 0.0039

根据碎屑物质组分含量，成岩方式及主要碎屑物质的粒度大小将火山碎屑岩分为两类：熔结火山碎屑岩和火山碎屑岩类。

熔结火山碎屑岩是火山碎屑物质经熔结（焊接）作用而形成的一类岩石，主要分布在火山口附近，具熔结结构，由塑性岩屑、刚性岩屑、晶屑和火山灰组成。

火山碎屑岩类是由火山碎屑物质（熔岩的碎块、晶屑）和其他的碎屑混入物，后经压实和胶结作用而形成的岩石，包括集块岩、火山角砾岩和凝灰岩 3 种类型。

集块岩：有玄武质的、安山质的、也有酸性火山岩和碱性火山岩的。碎屑大小不一，分选极差，多带棱角，分布于火山口附近或充填于火山口中。

火山角砾岩：一般分布于火山口或其附近，常与集块岩共生。

凝灰岩：为灰白色、淡绿色、紫色、黑色、黄褐色，岩石粗糙，可见层理，具典型的玻屑凝灰结构，晶屑较少，多为块状构造。碎屑成分主要是火山灰，火山灰中有玻屑、晶屑（石英、斜长石、云母晶屑）、岩屑。晶屑中的石英、斜长石均呈棱角状。斜长石聚片双晶发育，部分长石具绢云母化，岩屑为次棱角状。火山灰的主要成分为玄武质、粗面质、安山质、英安质、流纹质。T32 井凝灰岩中为流纹质和英安质，而在 T3 井 1144.85 ~ 1230.53m 处的凝灰岩主要为安山质，斑晶为斜长石，基质呈交织结构，斑晶斜长石呈板状，具溶蚀现象，基质主要为微晶斜长石。流纹质凝灰岩为斑状结构，基质为霏细结构，斑晶为斜长石，部分长石具溶蚀现象，基质由长石、石英微晶及玻璃质组成。火山灰分布于碎屑物质之间，部分发生高岭土化。全岩分析凝灰岩黏土含量在 20% 以上，方沸石含量在 25% 以上。

3. 火山岩岩石化学特征

组成火山岩的主要化学成分是 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、

TiO₂ 等，在火山岩中 SiO₂ 是最主要的氧化物，根据 SiO₂ 含量可将火山岩分为四大类：超基性岩类、基性岩类、中性岩类和酸性岩类（表 1-2-3）。

表 1-2-3 火山岩分类

岩石类型	SiO ₂ 含量 (%)
超基性岩类	< 45
基性岩类	45 ~ 52
中性岩类	52 ~ 63
酸性岩类	≥ 63

根据国际地质科学联合会 (IUGS) 1986 年推荐的火山岩硅—碱图^[5] (图 1-2-1), 可以很好地把辽河拗陷的各类火山岩区分开。

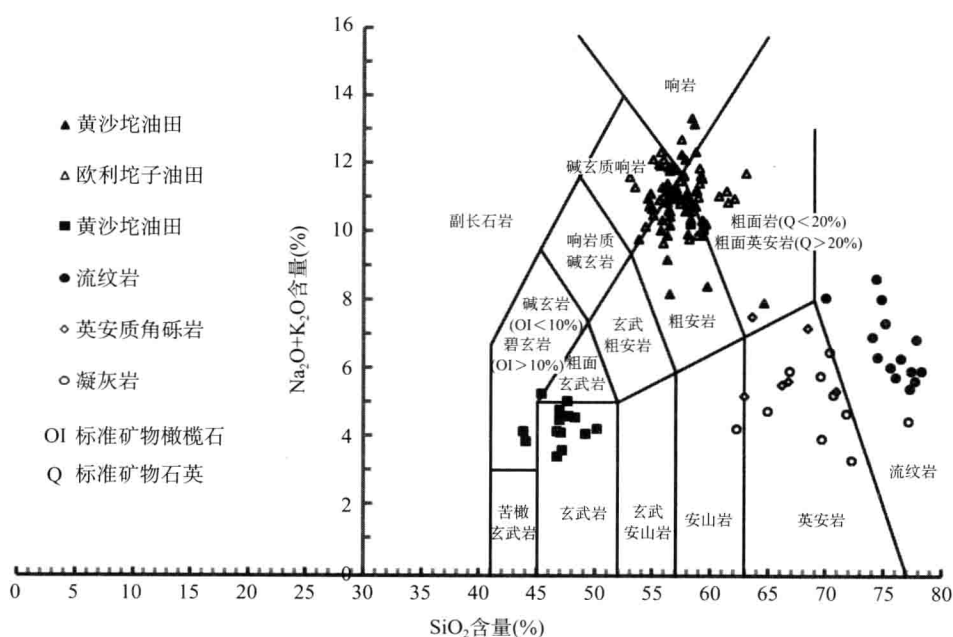


图 1-2-1 火山岩硅—碱图

通过对辽河拗陷火山岩氧化物分析成果统计,东部凹陷火山岩主要为玄武质岩类和粗面质岩类。西部凹陷火山岩主要为流纹质岩类、英安质岩类和响岩及安山质岩类。

玄武质岩类: SiO_2 含量为 45.62% ~ 53.19%, 平均为 48.57%, K_2O 含量为 0.81% ~ 3.04%, 平均为 1.67%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均含量为 4.98%。

粗面质岩类: SiO_2 含量为 54.43% ~ 59.15%, 平均为 57.32%, K_2O 含量为 4.87% ~ 6.94%, 平均为 6.06%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均含量为 11.07%。

根据里特曼碱性指数 (表 1-2-4), 东部凹陷玄武岩里特曼指数为 3.3 ~ 9.0, 为碱性玄武岩, 全碱含量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 大于 5; 粗面岩类里特曼指数为 6.0 ~ 14.0, 为碱性岩和过碱性岩。里特曼 (A. Rittmann, 1957 年) 碱性指数计算公式^[5] :

$$\sigma = \frac{w(K_2O + Na_2O)^2}{w(SiO_2) - 43} \quad (1-2-1)$$

式中 σ ——里特曼碱性指数；
 w ——质量分数。

表 1-2-4 里特曼碱性指数分类

里特曼碱性指数	岩石系列
< 3.3	钙碱性岩
3.3 ~ 9.0	碱性岩
≥ 9.0	过碱性岩

流纹质岩类：SiO₂ 含量为 74.53% ~ 78.31%，平均为 75.83%，K₂O 含量在 3.24% ~ 5.87%，里特曼指数 1.27，属钙碱性岩。

英安质岩类：SiO₂ 含量为 64.86% ~ 77.46%，平均为 68.03%，K₂O 含量在 1.43% ~ 5.70%，里特曼指数为 1.32，属钙碱性岩。根据岩石化学分析和火山岩硅—碱图，T33 区块火山岩属流纹岩和英安岩。同时根据 SiO₂ 与 K₂O 交会图可将流纹岩和英安岩初步区分开（图 1-2-2）。

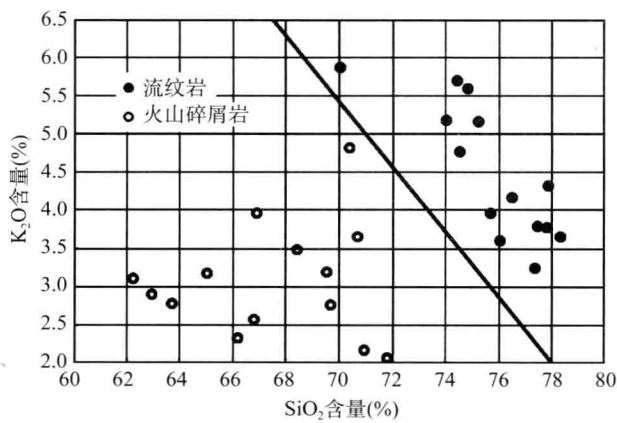


图 1-2-2 西部凹陷 SiO₂ 含量与 K₂O 含量交会图

响岩类：SiO₂ 含量为 54.66% ~ 60.88%，平均为 58.31%，K₂O 含量为 5.65% ~ 10.34%，里特曼指数为 17.44，属过碱性岩。

由于火山岩大多为隐晶质或玻璃质，常规条件下很难区分，采用岩石氧化物分析结合薄片鉴定资料，是目前鉴定火山岩最有效的方法。

二、火山岩储层评价方法

火山岩储层评价是以岩心资料为基础，测井评价为手段，试油试采为验证，通过“岩心刻度测井”建立测井响应与岩心分析值间的统计关系，建立适合地区油气藏特点的测井解释模型，用测井参数再现或表述岩心分析物理量或演绎相关物理量，从而达到识别火山岩岩性、划分火山岩储层的目的。