

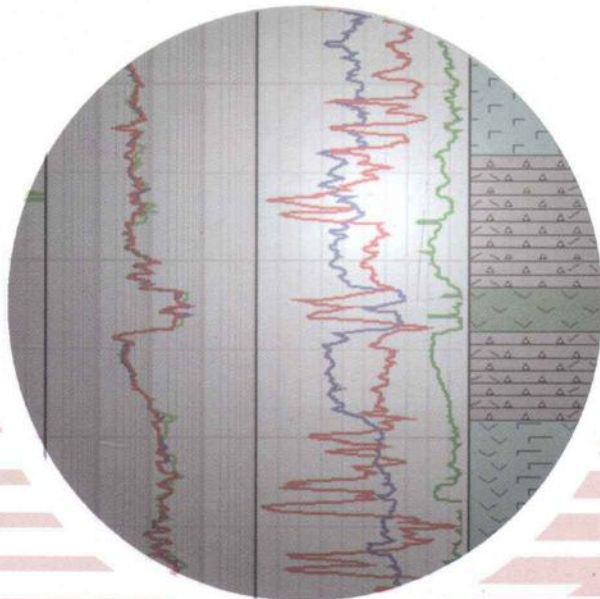


中国石油勘探工程技术攻关丛书

ZHONGGUO SHIYOU KANTAN GONGCHENG JISHU GONGGUAN CONGSHU

火山岩油气藏测井 评价技术及应用

○ 中国石油勘探与生产分公司 著



石油工业出版社

中国石油勘探工程技术攻关丛书

火山岩油气藏测井评价 技术及应用

中国石油勘探与生产分公司 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中国石油 2006—2008 年火山岩油气藏测井评价技术攻关成果的总结, 主要介绍了火山岩岩石学特征、岩性和岩相测井分类方法, 以及用测井资料识别评价火山岩油气层的主要方法, 并辅以实例, 解剖了火山岩油气藏测井评价的思路与方法。

本书可供从事油气勘探开发工作的地质、测井、油藏工作者, 以及大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

火山岩油气藏测井评价技术及应用/中国石油勘探与生产分公司著.
北京: 石油工业出版社, 2009. 11

(中国石油勘探工程技术攻关丛书)

ISBN 978 - 7 - 5021 - 7474 - 3

I. 火…

II. 中…

III. 火山岩 - 岩性油气藏 - 油气测井

IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 194924 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

编辑部: (010) 64523736

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 13.25

字数: 346 千字 印数: 1—2000 册

定价: 68.00 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

序

中国石油作为我国能源行业的特大型骨干企业，在保障国家能源安全方面具有义不容辞的光荣使命。经过半个多世纪的大规模勘探开发，国内油气勘探已进入一个新的发展阶段，特别是随着勘探开发的不断深入，勘探领域发生了很大变化。从地面条件看，勘探对象已从平原向山地、沙漠、滩海大幅度延伸；从地质条件看，低渗透、复杂碳酸盐岩、火山岩等复杂储层和稠油等复杂油藏所占比例大幅度增加。在这种情况下，如何继续大幅度增加储量以满足油气产量持续增长的需要成了摆在我们面前的迫切问题。

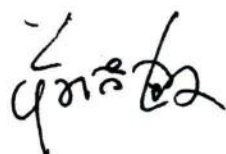
为了积极应对这种挑战，2005年我们明确提出了“油气勘探必须走技术发展之路”的要求，并按照“突出重点探区、依托重点项目、注重实际效果”的思路，设立专项投资，发挥中国石油整体优势，分物探、钻井、测井、试油四个专业，重点在塔里木、四川、准噶尔、渤海湾、柴达木、松辽、鄂尔多斯等盆地组织了以现场为主体的工程技术攻关。通过几年的不懈努力，一大批制约油气勘探的瓶颈技术得以攻克，针对复杂地表和高陡构造的地震采集、处理和解释一体化技术取得明显突破，发现了一批具有战略意义的勘探目标；以欠平衡钻井、垂直钻井等为主的低压储层保护和高陡构造防斜打快技术极大地提升了钻井能力，保障了勘探发现；以成像测井为主的采集技术和以复杂油气藏饱和度研究为主的解释技术研发成功，较好地保障了火山岩、低渗透等复杂储层识别与评价的需要；以大型酸化和压裂改造为主的增产技术，提升了低渗透油气层的商业价值。一大批工程技术的突破不仅提高了其在油气勘探中的保障能力，也增长了工程技术服务队伍的竞争能力，更为重要的是拓展了新的油气勘探领域，开阔了找油找气的视野，进一步坚定了我们不断寻找大油气田的信心和决心。

伴随着工程技术的进步，近年来我们已经进入新的油气储量增长高峰期，连续六年探明石油地质储量大于5亿吨，连续三年探明天然气地质储量大于3000亿立方米。新发现并落实了长庆苏里格、塔里木库车等储量规模万亿立

方米的气田和目标区，发现并落实了长庆姬塬和西峰、塔里木塔北、准噶尔西北缘等一批储量规模 5 至 10 亿吨的规模储量区。由于勘探的快速发展，油气资源基础不断夯实，油气田开发也进入了快速发展的新阶段，原油产量从 2006 年开始连续三年创历史新高，天然气产量从 2005 年开始连续五年换“百”字头。

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》系统总结了这几年来技术攻关的丰硕成果，凝聚了攻关单位数百名科技工作者的辛勤劳动。相信这套《丛书》的出版，必将对提高技术人员的业务素质和管理人员的驾驭能力、提升勘探技术应用水平起到带动和促进作用，也必将为推动中国石油上游业务的发展起到重要作用。

认识没有止境，攻关永不停步。随着勘探难度的增加，许多新的问题需要解决，大量技术难题有待攻克。我们必须继续坚定走技术发展之路不动摇，继续狠抓技术攻关不松劲。只有这样，才能持续推动工程技术进步，才能更好地为“储量增长高峰期工程”和“稳定并提高单井日产量工程”提供技术保障。



2009 年 11 月 2 日

前言

火山岩油气藏是当前国内外较热点的勘探开发对象之一,其储量规模较大、单井产量可观,具有较好的勘探开发价值。在国外,已经发现了一批较大规模的火山岩油气藏,如印度尼西亚 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。在国内,也相继发现了一批相当规模的火山岩油气藏,如 1957 年在准噶尔盆地克拉玛依油田石炭系的基岩风化壳首次发现了火山岩油藏,经过半个多世纪的勘探,准噶尔盆地已发现了 46 个火山岩油气藏,探明地质储量超过 $2 \times 10^8 \text{t}$ 。近年来,中国石油在火山岩油气藏勘探方面取得了重大突破,先后在松辽、准噶尔和三塘湖等盆地发现了较大规模的火山岩油气藏,因此,火山岩油气藏已逐步成为中国石油油气勘探开发的重要目标。

与沉积岩储层相比,火山岩储层的测井评价更具挑战性,主要表现在:一是火山岩岩性复杂多样、纵横向变化快,岩性识别和多井对比困难;二是火山岩的储集空间复杂多样,多为裂缝、孔隙双重介质,基质孔隙度相对较低,有效储层的识别和储层物性评价更为困难;三是由于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含油气性增加了许多不确定性。为了较好地应对火山岩油气藏的勘探开发,迫切需要尽快建立一套有效适用的火山岩储层测井评价方法与技术。

为了满足火山岩油气藏勘探开发的需求,针对上述挑战与技术难题,从 2006 年初开始,按照中国石油“油气勘探必须走技术发展之路”的总体要求,勘探与生产分公司以“立足重大领域,依托重点项目,攻克关键问题,形成配套技术”为原则,采用“股份公司统一组织,油田院所联合攻关”的模式,组织新疆、大庆、吐哈和吉林等油田开展了针对性的联合攻关。

项目实施三年来,火山岩油气藏测井评价技术攻关取得了重大进展,一些关键技术得以突破,较好地满足了准噶尔盆地克拉美丽、松辽盆地徐家围子深层、松辽盆地长岭断陷和吐哈油田三塘湖等重点勘探区块的测井技术需求。

(1) 建立了以元素俘获测井和电成像测井为主的火山岩岩性、岩相识别方法。通过微电阻率扫描成像测井和元素俘获能谱测井的组合应用,更直接地反映了岩石成分、岩石结构和构造特征,为火山岩储层的岩性和岩相识别提供了新的方法和手段,已经成为火山岩油气藏勘探开发中必不可少的测井系列。

(2) 建立了以核磁共振测井资料为基础的饱和度计算方法与技术。通过改进裂缝侵入校正方法,以及岩电实验的系统开展,减少了以电阻率测井为基础的裂缝、孔隙双重介质火山岩储层饱和度计算的不确定性。该方法的配套应用,提高了饱和度计算的可靠性。

(3) 建立了微电阻率扫描成像测井和多极子声波测井相结合的天然裂缝识别与定量计算方法,以及通过元素俘获测井逐点计算岩石骨架参数的方法。

(4) 建立了常规测井、常规测井+成像测井的岩性识别图版,岩性识别准确率达 94% 以上,较攻关前提高了 25% 以上。通过井震结合,形成了精细刻画火山岩岩体的岩性、岩

相和喷发期次的思路与技术,有效地刻画了滴西 14 井、滴西 17 井和滴西 18 井等的火山岩岩体,为这些气藏勘探评价提供了有力的技术支撑。

尽管火山岩油气藏测井评价攻关进展很大,地质效果也比较显著,但是,在针对不同油田已形成的方法技术提炼总结方面仍需加强,中基性火山岩的蚀变与有效性储层评价也需进一步深化研究,凝灰质储层识别与评价仍然存在较大问题。这些问题都是下步攻关的重点工作。

本书是中国石油近三年来火山岩油气藏测井评价技术攻关的阶段成果总结与提炼。全书共四章,第一章系统阐述了火山岩岩性、岩相的测井识别方法;第二章在分析火山岩储层物性评价的重点和难点后,着重介绍了火山岩储层物性的测井评价方法与技术;第三章针对火山岩油气评价的特点,论述了火山岩油气层定性识别和饱和度定量评价方法与技术;第四章为准噶尔盆地克拉美丽、松辽盆地徐家围子深层、松辽盆地长岭断陷和吐哈油田三塘湖四个重点勘探区块的应用实例。

本书编写历时近一年。2008 年 7 月、9 月、12 月和 2009 年 3 月、7 月,中国石油勘探与生产分公司先后五次组织研讨,确定编写提纲,落实责任单位和编写人,审查编写文稿。前言由李国欣、孙中春和匡立春编写,第一章由孙中春、李国欣、欧阳敏、赵杰、韩成和孙红编写,第二章由孙中春、郑雷清、许波、樊海涛、董立欣等编写,第三章由孙中春、杨迪生、杜向荣、林旭东、白玉玲等编写,第四章由孙中春、李小钊、赵杰、郑佳奎、孙红、李庆峰等编写。李国欣和孙中春负责全书统稿。

在项目攻关和本书的编写过程中,得到了中国石油天然气股份有限公司赵政璋副总裁和贾承造院士的大力支持,得到了勘探与生产分公司张国珍副总经理的悉心指导,得到了吴奇、杜金虎、匡立春、冯志强、梁世君和赵志魁等有关领导的大力帮助,得到了勘探与生产分公司相关处室的大力配合,工程技术与监督处做了大量具体的组织和技术指导工作。高瑞祺、欧阳健和陆大卫等专家提出了许多宝贵的意见,石油工业出版社相关人员对出版样稿进行了详细地审查与修改。值此本书正式出版之际,谨向他们表示衷心的感谢!

限于作者水平,书中存在的不足,敬请读者提出宝贵意见。

目 录

序

前言

第一章 火山岩储层岩性识别及岩相划分	(1)
第一节 火山岩的岩石学特征	(1)
第二节 火山岩的岩石物理特征及其与岩石学特征的关系	(11)
第三节 火山岩岩性的测井学分类及划分	(33)
第四节 火山岩岩相测井分类及划分	(51)
第二章 火山岩储层识别及物性评价	(67)
第一节 火山岩储层的储集特征	(68)
第二节 储层识别及定性评价	(80)
第三节 火山岩储层物性定量计算	(102)
第三章 火山岩储层油气识别及饱和度计算	(116)
第一节 火山岩储层流体类型的定性识别	(117)
第二节 火山岩储层饱和度的定量计算	(133)
第四章 火山岩储层测井评价技术的应用实例	(147)
第一节 准噶尔盆地克拉美丽气田的应用实例	(147)
第二节 松辽盆地徐家围子地区的应用实例	(160)
第三节 松辽盆地南部长岭断陷的应用实例	(178)
第四节 三塘湖盆地的应用实例	(188)
参考文献	(201)

第一章 火山岩储层岩性识别及岩相划分

火山岩储层岩性、岩相识别是火山岩测井评价的重要基础工作，是岩石物理学家感兴趣的研究内容，国内外该方面的论文和研究成果较多，尤以应用测井资料进行岩性识别居多。克尔海夫（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研究。桑耶大等人（1980）提出了应用自然伽马、密度、中子和声波测井曲线的直方图与交会识别流纹岩、玄武岩和凝灰岩的方法。Desbrandes（1982），提出了应用岩石的体积密度和自然伽马测井资料划分火山岩岩性的思路，尽管这是示意性的，但揭示了火山岩自然放射性的分布规律。国内早期火山岩岩性识别大多以准噶尔盆地为研究对象，但公开发表文章相对较少，主要是内部科研报告，采用的研究方法基本上是岩心刻度测井，用各种交会图法建立岩性识别图版。20世纪80年代以后，国内多家油田逐渐重视火山岩勘探，发表的文章相对较多。匡立春（1990）用交会图法对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进行了有效的识别；范宜仁、黄隆基和代诗华（1998）结合新疆克拉玛依油田的火山岩油气田岩性特点，给出了应用测井交会图识别该区火山岩岩性的方法；陈建文、魏斌等（2007）在研究松辽盆地徐家围子断陷营城组火山岩岩性时，建立了该区营城组火山岩岩性的交会图识别图版，并用主成分分析法进行了火山岩的岩性划分。从1995年开始，准噶尔盆地有大量的综合应用常规测井和微电阻率扫描测井成像测井资料进行火山岩岩性识别的研究报告。2004年以后，发表了一定数量的应用元素俘获能谱测井识别火山岩岩性的文章。这些研究成果对火山岩的测井岩性识别、岩相划分提供了重要的方法和研究思路。

第一节 火山岩的岩石学特征

火山岩是岩浆经火山通道喷出地表形成的一种岩浆岩。其岩性和岩相主要取决于形成火山岩的岩浆性质、产出状态和形成环境。火山岩的化学成分和矿物成分是火山岩分类和命名的主要依据。了解火山岩的岩石学特征，寻找火山岩的岩石学特征与地球物理测井之间的内在关系是火山岩岩性识别的基础。

一、火山岩的化学成分及火山岩的分类

火山岩的岩性多种多样，千差万别，已命名的就有1000多种，但每种岩性化学成分变化不大，决定其性质的是化学成分含量的变化。含量最多的造岩元素依次为O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、Ti、P、H、Mn等，其中含量最多的是O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、Ti等，它们占火山岩质量的99.25%。研究火山岩的化学成分，常用其对应的氧化物质量百分数来表示，而氧化物以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、FeO、MgO、CaO、 K_2O 、 Na_2O 和 H_2O 等9种氧化物为主，占火山岩平均氧化物含量的98%，且各类岩石或多或少均有出现。各种氧化物的变化范围： SiO_2 为34%~75%， Al_2O_3 为10%~20%，MgO为1%~25%，

CaO 为 0 ~ 15%，两种铁氧化物为 0.5% ~ 15%，Na₂O 为 0 ~ 15%，K₂O 一般不高于 10%，TiO₂ 为 0 ~ 2%，TiO₃ 一般不超过 5%。

火山岩主要由硅酸盐组成, SiO_2 是火山岩的主要成分, 占火山岩质量的 59.12%。 SiO_2 含量的变化反映了火山岩岩性的变化。国际地科联 (IUGS) (1989) 提出了按 SiO_2 的质量百分比划分火山岩岩性的方法, 这种方法称为酸度分类法。根据 SiO_2 含量的变化将火山岩分为四类: 超基性岩 ($<45\%$)、基性岩 ($45\% \sim 52\%$)、中性岩 ($52\% \sim 63\%$)、酸性岩 ($>63\%$)。根据碱金属氧化物与 SiO_2 含量的比值 $\delta = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})^2 / (\text{SiO}_2 - 43)$ 可将火山岩划分为: 钙碱性系列 ($\delta < 3.3$)、碱性系列 ($\delta = 3.3 \sim 9$)、过碱性系列 ($\delta > 9.0$)。这种分类方法称为碱性分类方法。目前, 较为常用的用火山岩的氧化物含量进行火山岩分类的方法还有 TAS 图解分类法, 国际地科联火山岩分类学分会推荐的 TAS 图的分类标准见图 1-1-1。值得说明的是这三类分类方法都是应用火山岩的氧化物成分进行分类的方法, 需要岩石全氧化物资料, 同时不具成因意义, 因而, 在应用上受到一定的限制。

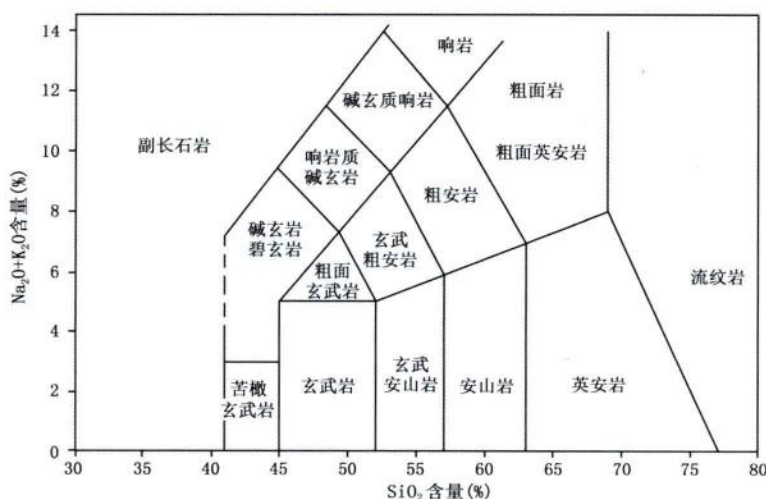


图 1-1-1 火山岩的 TAS 图分类

事实上，火山岩中各种氧化物之间存在着内在的相关关系，其变化有一定的规律性（图1-1-2）。从图1-1-2可以看出：

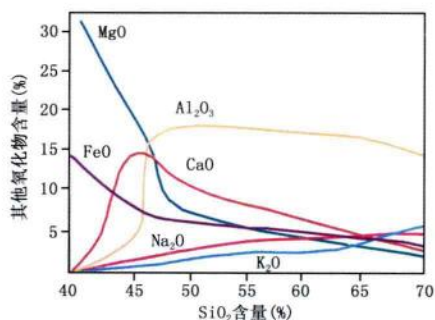


图 1-1-2 火山岩中 SiO_2 的含量与其他氧化物含量的关系 (据邱家骧, 1996)

(1) MgO 和 FeO 的变化趋势一致, 从基性岩到酸性岩逐步减少。二者随 SiO₂ 含量的增加而急剧减少, 特别是 MgO 的变化幅度更大。

(2) CaO 和 Al_2O_3 的变化趋势基本一致, 它们在 SiO_2 含量为 45% ~ 50% 的区段上出现峰值, 当 SiO_2 含量 < 45% 时, 其含量不多, 而当 SiO_2 > 含量 50% 时, CaO 明显下降, 但 Al_2O_3 仅略有下降, 曲线基本上水平延伸。

(3) Na_2O 和 K_2O 的变化趋势一致, 均随着 SiO_2 含量的增加而逐步增加。

二、火山岩的矿物成分及火山岩的分类

组成火山岩的矿物常见的有二十多种, 这些矿物总体上可分为两大类: 一类是硅铝矿物, 这类矿物由于颜色较浅, 又称为浅色矿物, 如石英、长石类和似长石类; 另一类是铁镁矿物, 这类矿物颜色较深, 故又称为暗色矿物, 如橄榄石类、辉石类、角闪石类和黑云母类。火山岩的矿物成分与其化学成分、生成条件及成因有内在的联系, 矿物之间有一定的共生组合, 与成分密切相关, 是火山岩分类的另一种重要方法。在 1989 年第 28 届地质大会上, 国际地科联火山岩分类学分委会推荐了一种火山岩定量矿物成分分类方法 (QAPF 分类法)。QAPF 分类方法将矿物分为五类:

Q——石英 (石英、方石英、鳞石英);

A——碱性长石 (正长石、微斜长石、歪长石、透长石和钠长石 ($An_0 \sim 5$));

P——斜长石 ($An_5 \sim 100$) 和方柱石;

F——副长石;

M——铁镁矿物及其有关矿物 (云母、角闪石、辉石、橄榄石、不透明矿物、副矿物、绿帘石、石榴子石、黄长石、钙镁橄榄石和原生碳酸盐类等)。

五类矿物中, 前四组 Q、A、P 和 F 为长英质矿物, M 组为镁铁质矿物。Q 与 F 不能共存。因此, 在任何一种岩石中, 最多只能存在四组矿物的组合。

QAPF 分类方法以实际矿物含量为基础, 根据暗色矿物含量 M 将火山岩分为两大类: 第一类是 M 为 90% ~ 100% 的超镁铁质岩石, 划分为第十六个区, 居于双三角形图外。根据暗色矿物橄榄石、辉石和角闪石的含量比可对它作进一步划分, 以主要铁镁矿物种属来表示, 如橄榄岩、辉石岩等。

第二类是 $M < 90\%$ 的岩石。再根据 Q、A、P 和 F 矿物数量比进一步进行划分。分类采用双等边三角形图解, 双三角形的四个角顶分别代表石英、碱性长石、斜长石和副长石 (图 1-1-3)。由于石英和副长石类矿物不能共存, 故它们分别位于双三角形相对的两个顶端。在分类时使 $Q + A + P = 100\%$, $A + P + F = 100\%$, 再根据 Q 或 F 的百分含量和 $P/(A + P)$ 值将 QAPF 双等边三角形划分为十五个区, 每个区即是一种岩石大类的名称。

值得注意的是, 尽管组成火山岩的矿物成分十分复杂, 但其存在着有规律的矿物共生现象——矿物的共生组合。不同类型的火山岩存在不同的矿物共生组合, 从超基性岩到酸性岩, 矿物组合明显不同, 从而决定了火山岩的化学成分。

如图 1-1-4 所示, 在超基性岩中, 矿物成分主要为辉石和橄榄石, 铁镁矿物占主要地位 (可达 90% 以上)。SiO₂ 含量低于 45%, 富含 FeO、MgO, 含有一定的 CaO 和 Al₂O₃, Na₂O 和 K₂O 含量少。在基性岩中, 辉石和基性斜长石共生, 暗色矿物占 30% ~ 50%。SiO₂ 含量在 45% ~ 53% 之间, FeO、MgO 较超基性岩少, CaO 和 Al₂O₃ 大量出现, 并显现峰值。在中性岩中, 角闪石和中性的斜长石共生, 暗色矿物占 30% 左右。SiO₂ 含量增至 53% ~ 65% 之间, FeO、MgO、CaO 较超基性岩均有所减少, Na₂O 和 K₂O 含量相对增加。在酸性岩中常出现钾长石、酸性斜长石、石英, 暗色矿物常为黑云母, 但其含量较少, 一般在 10% ~ 15% 之间。SiO₂ 含量增至 53% ~ 65% 之间, FeO、MgO、CaO 大大减少, Na₂O 和 K₂O 含量显著增加。

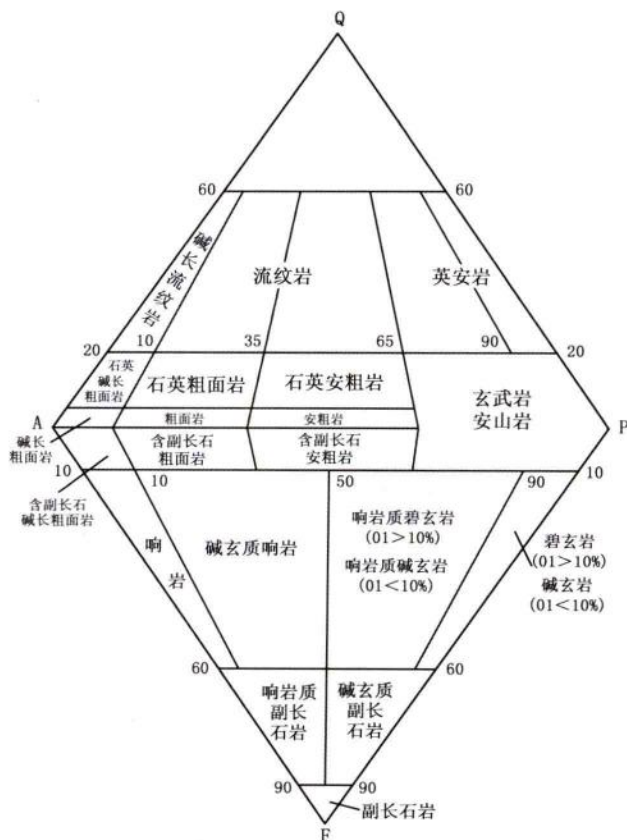


图 1-1-3 火山岩 QAPF 分类图解
(据 Strekeisen, 1978; LeMeitre, 1989; 邱家骥, 1996)

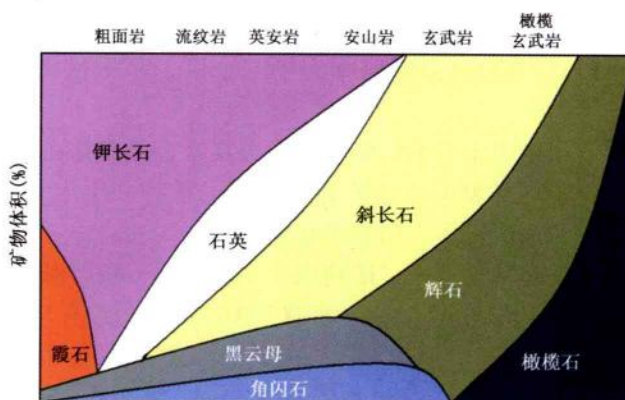


图 1-1-4 火山岩矿物变化简图 (据 Adams, 1956)

上述各类火山岩中矿物的共生关系及其化学成分与含量的变化规律，为火山岩的岩石物理学识别与评价奠定了重要的物理基础。

三、火山岩的结构、构造

由于火山喷发作用形成的环境和堆积条件不同,形成了各种岩性固有的结构和构造特征。这些结构和构造特征是测井识别火山碎屑岩与熔岩、火山岩与沉积岩的重要依据。常规测井识别火山岩结构、构造的能力相对较差。成像测井,特别是微电阻率扫描成像测井在反映火山岩的结构、构造方面有一定的技术优势,但它能反映的也仅仅是火山岩的宏观结构、构造特点,那些在显微镜下才能观察的微观结构特征如结晶程度等用测井方法是无法描述的。

常规测井对火山岩的结构、构造特征有所反映,但整体反映较弱。微电阻率扫描成像测井能有效地反映火山岩大尺度的、宏观的结构和构造特征。为了有效应用成像测井资料识别火山岩的结构、构造特征,结合测井学的特点,研究形成了部分火山岩宏观结构、构造标准成像测井识别图版。

1. 火山岩结构的标准成像测井识别图版

1) 熔岩结构

熔岩结构在火山岩中最为常见,发育于溢流相的火山岩中,是识别火山熔岩的重要依据。在微电阻率扫描成像测井(FMI)图像中通常为块状构造,也有层状构造。岩性较为均一,无粒状特征,通常有裂缝发育。图1-1-5为准噶尔盆地一口井中安山玄武岩井段的微电阻率扫描成像测井图像和岩心照片。岩心照片位于图像的上部。该段火山岩具典型的熔岩结构,块状构造,在FMI图像上呈高阻块状特征。该类火山岩裂缝较为发育。

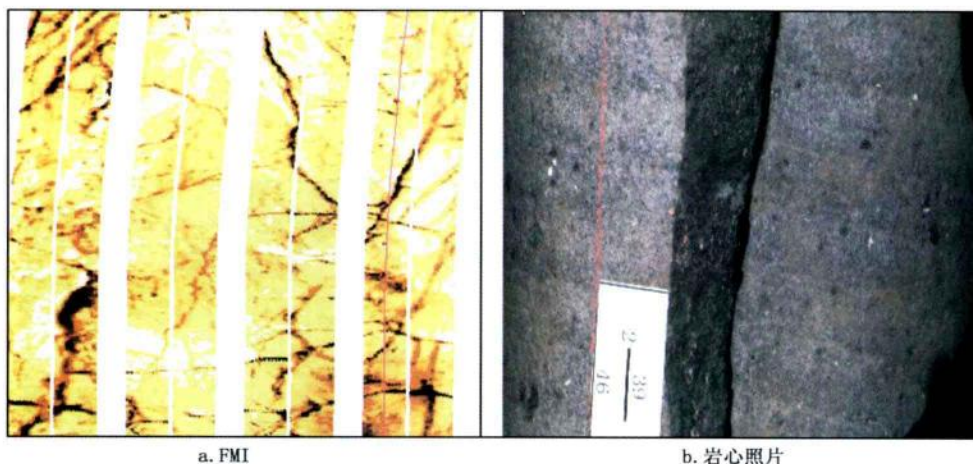


图1-1-5 FMI和岩心照片显示的安山岩熔岩结构

2) 碎屑结构

火山碎屑结构是指火山爆发所产生的火山碎屑的总称,是碎屑含量达到90%以上并被相应的更细小的碎屑(通常为火山尘)压实固结所产生的结构。火山碎屑一般为刚性岩屑和晶屑,无压扁拉长特征。根据碎屑粒度的大小又可分为火山集块($\geq 64\text{mm}$)结构、火山角砾($64 \sim 2\text{mm}$)结构、火山灰凝灰($2 \sim 0.05\text{mm}$)结构和火山尘凝灰($< 0.05\text{mm}$)结构。火山碎屑结构是识别火山爆发相的重要依据。火山碎屑结构在成像测井图上呈块状、砾状或粒状分布,粒度大小通常差别较大。凝灰结构通常较易与熔岩结构混淆,需与常规测井

结合加以识别。

图 1-1-6 为一口井中流纹凝灰岩井段的 FMI 图像与岩心照片。角砾与凝灰同为流纹质，图 1-2-6b 上不仔细观察较难识别，图 1-1-6a 上由于两种成分的电阻率存在明显的差异，反映较为明显。图像上显示凝灰成分明显高于角砾成分，以凝灰质为主，为角砾凝灰结构。

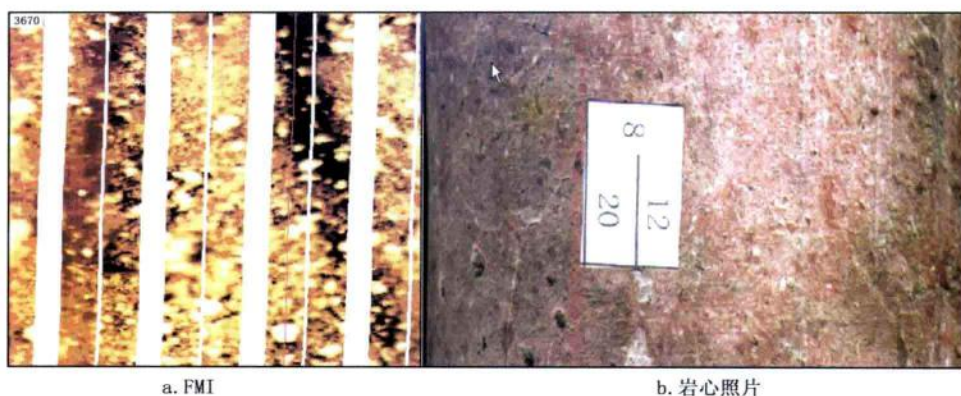


图 1-1-6 FMI 和岩心照片显示的角砾凝灰岩凝灰结构

图 1-1-7 为一口井火山角砾岩井段岩心照片与 FMI 图像对比图。从图 1-1-7b 看该火山角砾岩具有典型的角砾结构，角砾成分相对较杂，主要成分为玄武质。图 1-1-7a 显示角砾结构清楚，且主要为角砾成分，为火山角砾堆积而成。高阻亮色角砾大小不均，粒度 70% 以上大于 2.0mm，主体粒径在 10~50 mm 之间，颗粒之间相互支撑，混杂堆积，棱角清晰，不具磨圆特征。

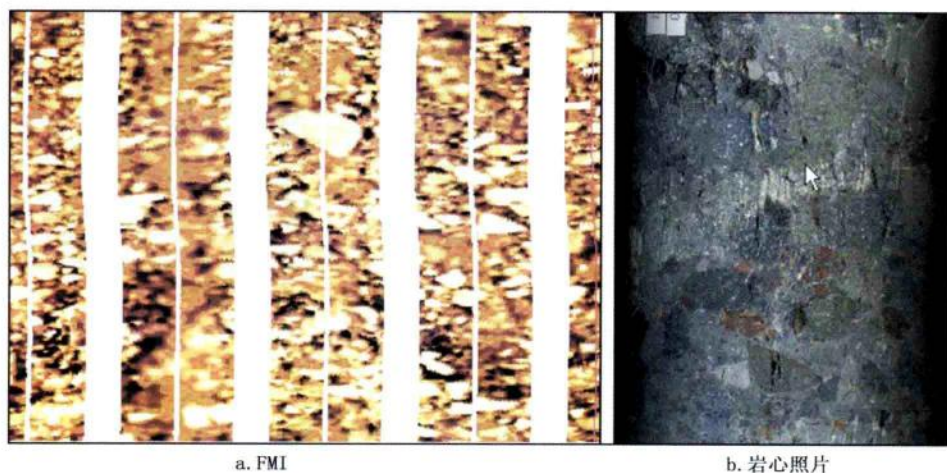


图 1-1-7 FMI 和岩心照片显示的火山角砾岩角砾结构

图 1-1-8 为集块结构的火山碎屑岩 FMI 图像和岩心照片对比图。从岩心照片观察基本为火山集块堆积而成，集块之间相互支撑，混杂堆积，棱角清晰，不具磨圆特征。为近火

山口的产物。

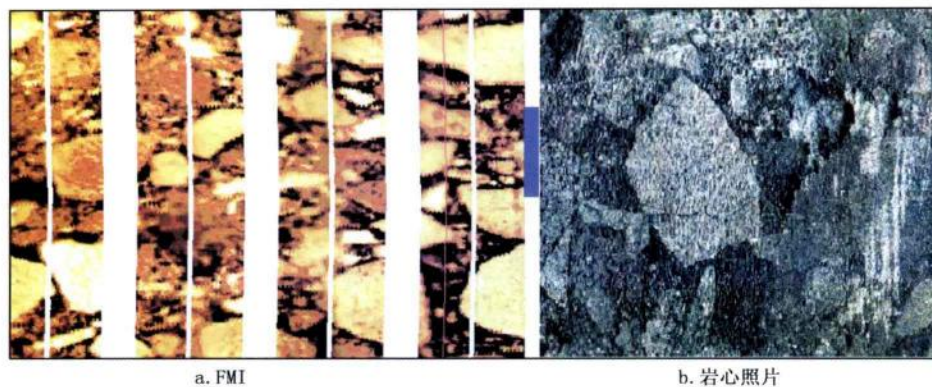


图 1-1-8 FMI 和岩心照片显示的火山碎屑岩集块结构

3) 熔结结构

熔结结构为熔岩结构和碎屑结构的过渡，碎屑物质被熔岩熔结。当熔岩含量大于 50% 时可归为溢流相，反之可归为爆发相。当火山碎屑成分与岩浆成分差异较大时在 FMI 图像上较易识别，当火山碎屑成分与岩浆成分差异较小时在 FMI 图像上识别较为困难，可结合常规测井资料加以识别。

图 1-1-9 为角砾熔岩的 FMI 图像与岩心照片对比图。从图像上看具明显的角砾结构，角砾成分与岩浆成分差异较大，角砾成分为中基性，岩浆成分为中酸性。角砾的电阻率明显高于熔岩的电阻率，FMI 较易识别，但易与方解石充填的杏仁构造混淆。

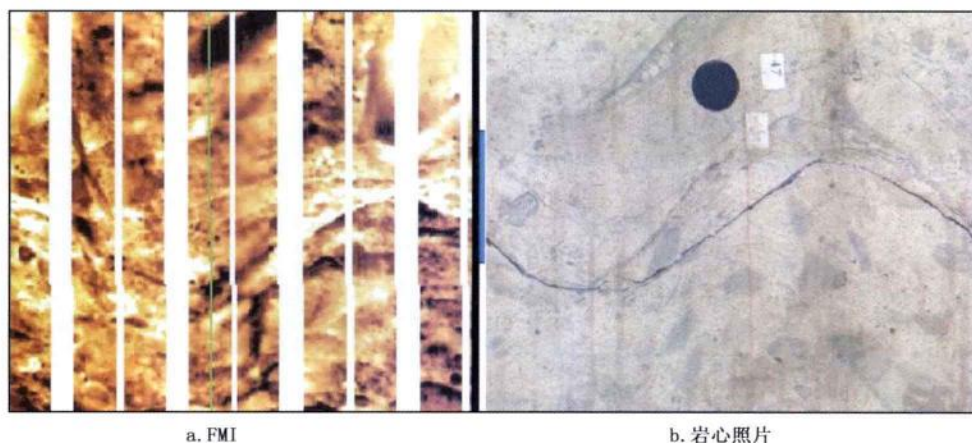


图 1-1-9 FMI 和岩心照片显示的角砾熔岩熔结结构

图 1-1-10 为熔结集块岩的 FMI 图像与岩心照片对比图。由于集块成分与岩浆成分基本一致，FMI 图像较难识别，易与溶蚀孔洞相混淆。但仔细观察 FMI 图像可以识别出两种类型的火山集块：一种集块有所破碎，为低阻特征，但低阻团块被高阻岩浆包起，呈眼球状特征；另一种集块电阻率高于岩浆成分呈高阻亮色。

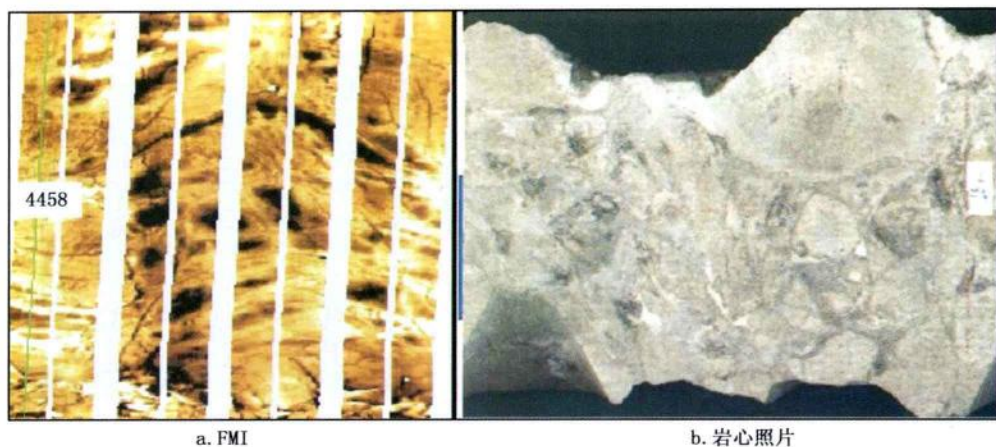


图 1-1-10 FMI 和岩心照片显示的熔结集块岩熔结结构

4) 破碎结构

岩流流动过程中由于地形与地貌的影响，或后期经风化淋滤作用，熔岩破碎形成具有“火山碎屑”结构特征的火山岩熔岩。破碎结构火山碎块的大小不一，常见的有集块状和角砾状，大的有几米。其特点是自碎碎块大小不一，成分相同，碎块之间具有很好的“复原”性。岩流流动过程中由于地形与地貌的影响形成的自碎火山岩多发育于玄武岩和安山岩，可发育于火山岩的不同部位。风化淋滤作用使熔岩破碎形成的破碎火山岩多发育于火山岩风化壳，各种岩性均有发育。

图 1-1-11 为破碎安山岩的 FMI 图像与岩心照片。图中显示岩石具有火山集块岩的结构特点，但集块之间成分相同，具有明显的可“复原性”，为自碎安山岩。

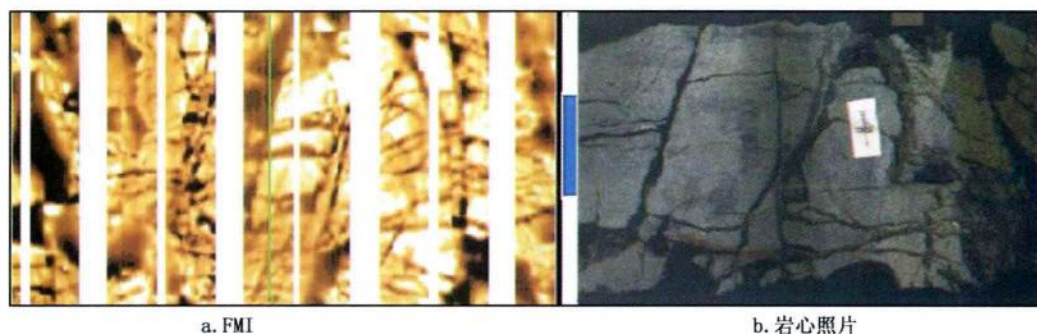


图 1-1-11 FMI 和岩心照片显示的破碎安山岩破碎结构

5) 隐爆破碎结构

岩浆侵入烘烤、挤压造成围岩破碎及本身的冷却破碎形成的岩石结构，这种结构常见于次火山岩及其与之接触的围岩。岩浆侵入在接近地面时冷却收缩，形成大小不等的碎块，小的为角砾级别，大的为集块级别。从观察看，次火山岩侵入体的厚度越小，破碎程度越强。围岩受侵入岩浆的烘烤和挤压，在侵入体的两侧易形成破碎。围岩的破碎程度与岩性关系较大。

图 1-1-12 为隐爆破碎结构的常规测井曲线和 FMI 图像,其中 R_{LLD} 、 R_{LLS} 、 R_{MSFL} 分别为深侧向测井电阻率、浅侧向测井电阻率和微球形聚焦测井电阻率。在 3055m 处存在明显的岩性界面,3055m 以上为次火山岩(二长斑岩),下部为砂砾岩。次火山岩破碎严重,碎块从角砾到集块大小不等;下部砂砾岩出现了一定程度的破碎,但碎块规模相对较大,基本为集块级。

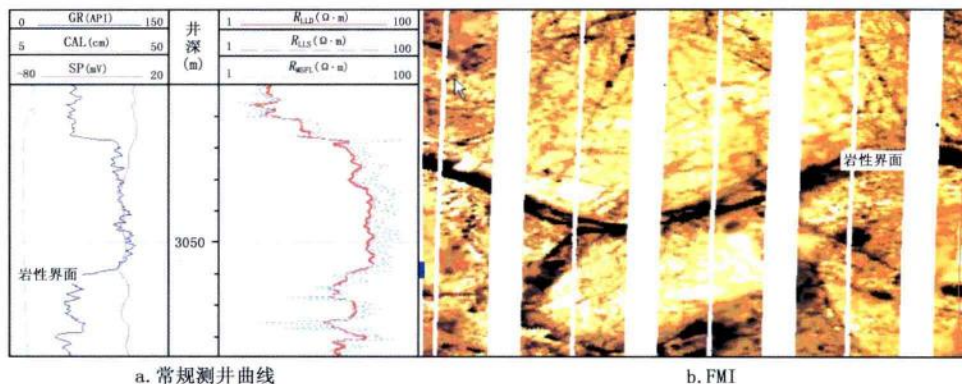


图 1-1-12 常规测井曲线和 FMI 显示的隐爆破碎结构

2. 火山岩构造的标准成像测井识别图版

1) 块状构造

构成岩石的矿物成分在岩石中分布是均匀的,岩石各部分在成分上和结构上基本一致。这是一种最为常见的熔岩构造(图 1-1-5)。

2) 条带状(层状)构造

不同成分的岩石逐层交替,或虽成分相同但结构、颜色等逐层交替呈带状、条带状彼此平行或近于平行。条带状构造多发育于超基性岩和基性岩中。

图 1-1-13 为玄武岩条带状构造的 FMI 图像与岩心照片。从图中可以看出,成分基本相同的岩石呈条带状交替平行出现,在流面上溶蚀孔洞极为发育,为物性较好的玄武岩储层。

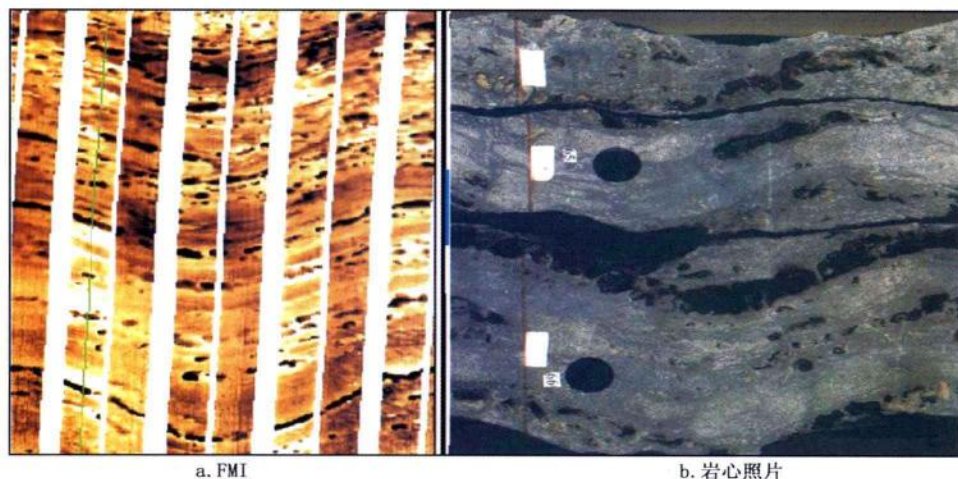


图 1-1-13 FMI 和岩心照片显示的玄武岩条带状构造