

松辽盆地深层火山岩储层测井响应及地质解译

吴颜雄^{1,2}, 王璞珺², 边伟华², 高有峰², 郎元强²

1. 青海油田勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736200

2. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

摘要: 为研究测井信息与地质属性的对应性, 利用丰富的岩心描述结果刻度测井资料, 对 12 种常见火山岩常规测井和 8 种成像测井图像进行地质解译。结果表明, 火山岩地质属性的测井响应具有普遍性。常规测井中自然伽马和密度曲线对基、中、酸性火山岩响应明显, 电阻率和三孔隙度曲线对火山岩的结构构造及孔缝响应明显。成像测井模式具体为: 凝灰结构表现出高阻亮点模式, 原生气孔表现出低阻暗点模式, 流纹构造表现出中高阻黄白相间的正弦曲线模式, 角砾结构表现出高阻亮块和低阻暗点模式, 低角度裂缝表现出低阻正弦曲线模式, 沉火山角砾结构表现出中低阻黄橙相间正弦曲线模式, 火山碎屑溶孔表现出亮块中含暗点模式, 块状结构表现出亮块模式。

关键词: 松辽盆地; 火山岩; 储层; 常规测井; 成像测井; 地质解译

中图分类号: P631.8

文献标志码: A

文章编号: 1671-5888(2012)06-1927-08

Log Responses and Its Corresponding Geological Interpretation of Deep Volcanic Reservoir in Songliao Basin

Wu Yan-xiong^{1,2}, Wang Pu-jun², Bian Wei-hua², Gao You-feng², Lang Yuan-qiang²

1. Qinghai Oilfield Research Institute of Exploration & Development, Dunhuang 736200, Gansu, China

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: In order to study the correspondence between logging information and geological property, we use laboratory data to calibrate logging data, and develop geological interpretation model between petrology and 12 traditional logging concerning common volcanic rocks, as well as 8 FMI methods. The results show that the characteristics of log response from volcanic rocks are common; basic, intermediate and acid volcanic rocks can be distinguished by GR and density curves; resistivity and three porosity curves have a significantly response to texture, structure and aperture. Imaging modes of 8 kinds are summarized as following. Tuff structure shows high-resistance and highlight spot mode. Primary stomata shows low-resistance and dark spots mode. Rhyolite structure shows yellow and white and mid-high-resistance and sine curve mode. Breccia structure shows high resistance light block and low resistance dark spots mode. Low angle fracture shows low resistance sine curve mode. Sedimentary volcanic breccia structure shows yellow and orange mid-low resistance sine curve mode. Pyroclastic solution pores show light block containing some dark spot mode. Massive structure shows light block mode.

Key words: Songliao basin; volcanic rocks; reservoirs; conventional logging; imaging logging; geological interpretation

收稿日期: 2011-11-26

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB19303, 2007CB209507)

作者简介: 吴颜雄(1982—), 男, 工程师, 博士, 主要从事石油与天然气勘探研究, E-mail: wyxenergy@yahoo.com.cn。

0 引言

火山岩的岩性特征对后续储层的研究至关重要;然而由于火山岩埋藏深,岩石成因、矿物组合和结构构造不同,造成火山岩的种类繁多、岩性极其复杂,给鉴定和识别带来很大难度。因此,对火山岩岩性的识别需借助间接方法和手段。地球物理测井技术无疑成为识别火山岩储层的重要手段。最初,只通过建立交会图和直方图等技术来识别岩性^[1-2],目前已发展为利用测井资料开展岩性岩相识别^[3-4]、裂缝评价^[5]、计算火山岩骨架参数^[6]和建立测井解释模型^[7]等。成像测井^[8]、ECS 测井^[9]和核磁测井^[10]等技术在火山岩储层识别和评价中也发挥了重要作用。

前人的研究方法多基于各种数学手段^[11]或神经网络^[12]等计算机技术处理建立一些识别模型,其识别精度仍在不断提高。笔者从地质角度出发,利用可靠而准确的岩心资料刻度归一标定测井曲线,并结合显微地质特征对细化的火山岩岩性建立测井相(即测井响应所反映的地质涵义),以期为促进火山岩测井解释与地质背景的统一性搭建平台,为非取心井段的储层识别提供参考。

1 火山岩岩石类型

对松辽盆地深层火山岩岩心观察和薄片鉴定,将深层火山岩分为火山熔岩、火山碎屑熔岩、火山碎屑岩和沉火山碎屑岩 4 大类^[13],具体还可分为 9 亚类,按其结构构造又可进行细化(图 1)。

2 常规测井响应地质解译

与碎屑岩储层相比,火山岩常规测井响应变化较大。选取能响应岩石结构构造、矿物成分、孔隙等特征的测井曲线进行对比研究(表 1),将岩心和薄片鉴定结果标定在测井图上(图 2),对 12 种岩性从测井响应、地质特征和测井响应的地质解译 3 个方面开展分析讨论。

2.1 流纹岩(图 2a、b、c)

流纹岩按构造可细分为块状流纹岩、流纹构造流纹岩和气孔流纹岩。

2.1.1 块状流纹岩

测井特征:整体显示为高伽马、高电阻、中密度、低声波、中中子,曲线形态较光滑,局部微齿化,呈漏斗型。

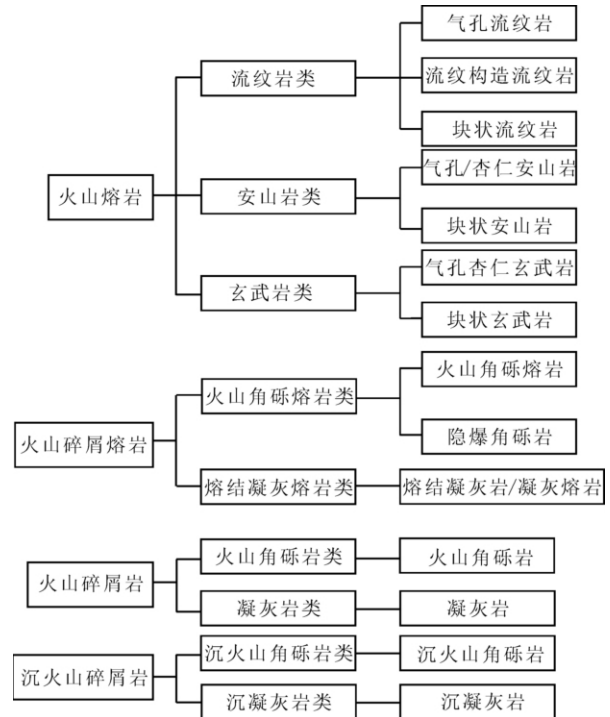


图 1 松辽盆地深层火山岩分类

Fig. 1 Classification of deep volcanic rocks in Songliao basin

地质特征:岩石呈致密块状,斑状结构,钾长石斑晶部分高岭土化,基质微隐晶质结构,发育高角度裂缝均被红色岩汁充填,局部见微孔。

响应关系:钾长石是引起高伽马的主要原因。岩石中孔隙不发育,致使高电阻,低声波时差,长石的蚀变造成中子偏高。岩石总体矿物成分、结构构造比较均一,曲线未有大的跳跃。

2.1.2 流纹构造流纹岩

测井特征:整体显示为高伽马,下部为低电阻、低密度、高声波、高中子,上部为高电阻、低声波、低中子,曲线呈齿化箱形。

地质特征:流纹构造是由青色硅质条带和拉长的气孔(取心段下部)青色硅质条带和灰色隐晶质(取心段上部)相间平行排列组成,矿物成分和物性极不均一。

表1 火山岩常规测井响应特征值
Table 1 Log values of different volcanic rocks

岩性分类	自然伽马/ API	深侧向电阻率/ ($\Omega \cdot m$)	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	声波时差/ ($\mu s \cdot ft^{-1}$)	中子/%
块状流纹岩	109~133	350~2100	2.37~2.52	57.5~61.4	2.40~5.10
流纹构造流纹岩	130~182	40~803	2.34~2.55	54.8~64.5	2.80~10.40
气孔流纹岩	126~142	41~74	2.38~2.48	60.0~68.0	0.07~0.13
块状安山岩	80~89	42~105	2.63~2.70	56.0~73.0	9.90~12.20
气孔杏仁安山岩	27~70	27~173	2.29~2.68	62.6~91.7	0.20~0.38
块状玄武岩	27~42	30~100	2.69~2.75	55.3~66.6	13.60~21.20
气孔杏仁玄武岩与块状玄武岩互层	53~94	30~255	2.34~2.58	54.0~71.0	8.70~24.20
强熔结凝灰岩	125~165	305~492	2.40~2.46	58.6~60.3	4.40~5.60
弱熔结凝灰岩	112~168	140~365	2.53~2.61	52.4~55.9	0.01~0.05
火山角砾熔岩	134~233	21~84	2.46~2.63	54.9~74.3	2.30~7.60
火山角砾凝灰岩	141~202	4~478	2.31~2.59	59.4~72.0	0.01~0.22
火山角砾岩	114~196	14~146	2.42~2.59	65.2~81.6	9.70~15.70
沉火山角砾岩	152~239	23~64	2.46~2.59	64.2~68.9	0.04~0.07

注:英尺(ft)为非法定计量单位,1 ft=0.304 8 m,下同。

响应关系:致密带和气孔带测井响应特征明显。下部气孔带含地层水使电阻明显降低,声波、密度和中子曲线变化一致;上部致密带总体特征如块状流纹岩,不同在于曲线齿化明显,主要是由流纹理层间成分差异造成的。

2.1.3 气孔流纹岩

测井特征:整体显示高伽马、低电阻、低密度、高声波、低中子,中子曲线平滑,自然伽马、电阻、密度曲线微齿化,声波呈周波跳跃。

地质特征:岩石发育大气孔,面孔率较大(10%以上),斑状结构,基质为球粒结构。

响应关系:气孔使岩石疏松,密度降低。气孔一般受后期成岩改造,有连通性,含地层流体(气水同层),所以电阻变低。气孔发育造成声波增大,气孔中含流体使声波曲线成跳跃状。

2.2 安山岩(图 2d、e)

安山岩按构造可分为块状安山岩和气孔杏仁安山岩。

2.2.1 块状安山岩

测井特征:整体显示中低伽马、中电阻、高密度、中声波、中高中子,声波时差周波跳跃,其他曲线微齿化。

地质解释:岩石致密块状,发育少量裂缝被方解石充填,斑状结构。斑晶为斜长石、角闪石,长石发

生蚀变或碳酸盐化,角闪石普遍具有暗化边结构。基质为交织结构。

响应关系:钾长石的含量变少造成伽马降低,大多矿物蚀变生成黏土矿物是电阻变低的主要原因,角闪石等暗色矿物含量的增加使密度高于流纹岩,长石蚀变和角闪石暗化边是引起高中子和高声波的原因。

2.2.2 气孔杏仁安山岩

测井特征:整体显示低伽马、高中电阻、高中密度、高声波、低中子,除中子曲线平滑外,其他曲线出现齿化尖角。

地质特征:岩石较破碎松散,气孔杏仁构造,杏仁体为沸石,充填程度达到85%以上,斑状结构,斑晶为板状斜长石,基质为交织结构。

响应关系:气孔杏仁体使密度曲线较块状玄武岩低,岩石内部物质成分、孔缝分布极不均匀,所以曲线齿化明显。局部电阻变低,密度变低,声波尖角升高,可能是由低角度的裂缝引起。

2.3 玄武岩(图 2f、g)

2.3.1 块状玄武岩

测井特征:整体显示低伽马、中高阻、高密度、低声波、高中子,伽马和密度曲线平滑,电阻曲线成漏斗型,声波和中子箱型齿化。

地质特征:致密块状,发育高角度裂缝,被方解

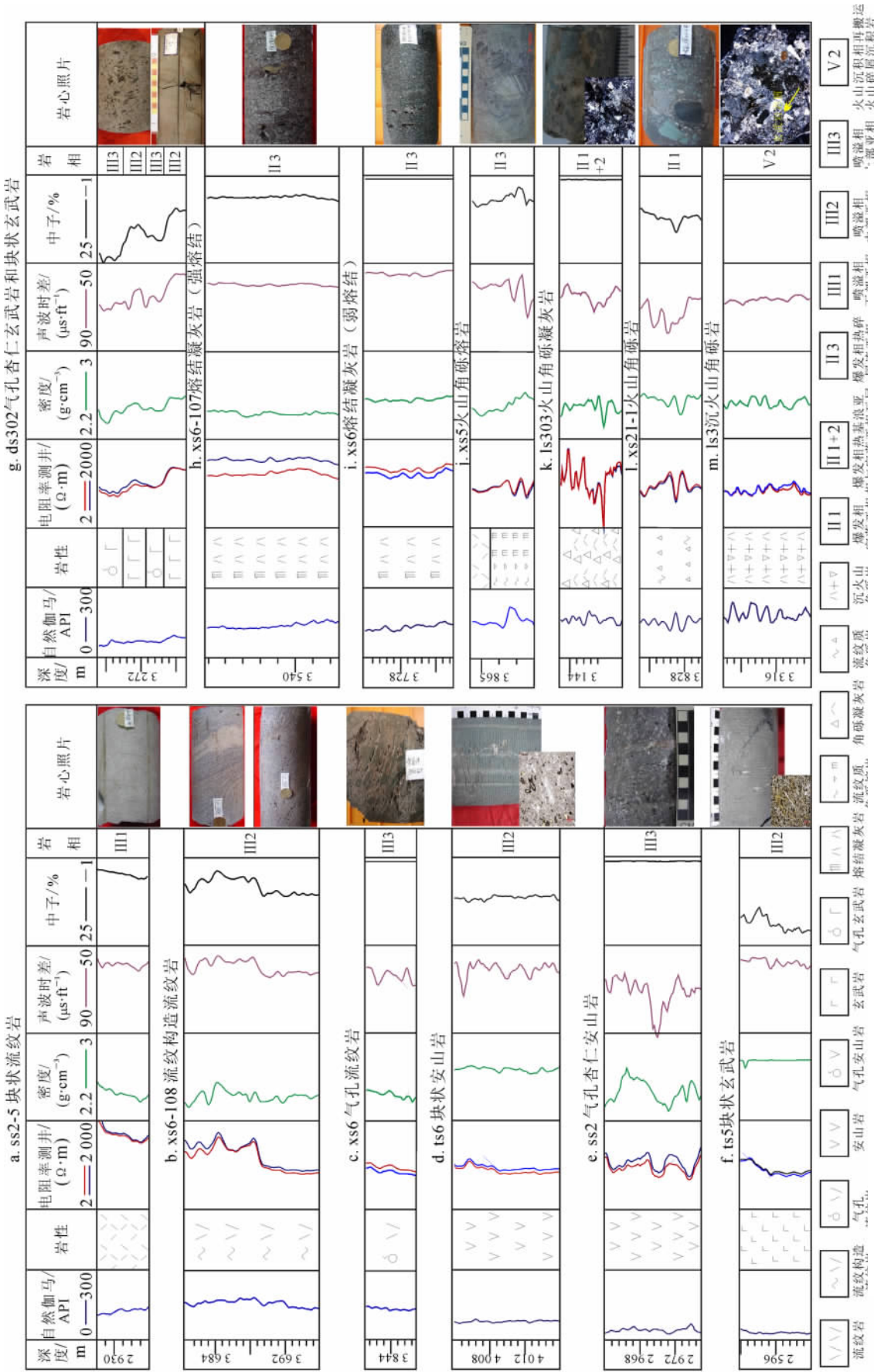


图 2 松辽盆地深层火山岩测井响应特征

Fig. 2 Log response characteristics of deep volcanic rocks, Songliao basin

石充填,少斑结构,斑晶为斜长石,见少量辉石,基质微间粒结构,基质绿泥石化严重。

响应关系:放射性矿物的减少使自然伽马明显比安山岩低,铁镁矿物(如辉石)增加使密度比中性岩大,岩石中孔缝不发育,含流体少,造成低声波、高电阻,基质蚀变引起高中子,电阻率局部变低。

2.3.2 气孔杏仁玄武岩与块状玄武岩互层

测井特征:整体显示低伽马,除自然伽马曲线外,其他曲线呈箱型,高低值区分大。

地质特征:岩性序列为块状玄武岩(Ⅲ2)和气孔杏仁玄武岩(Ⅲ3)互层。块状玄武岩位于下部,发育低角度裂缝,气孔杏仁玄武岩位于上部,气孔半充填,充填杏仁体为绿泥石。

响应关系:块状玄武岩致密,电阻和密度大于气孔杏仁玄武岩,中子和声波小。因为气孔杏仁玄武岩孔隙发育,含大量流体,且绿泥石含束缚水,所以使电阻较低,中子较高,声波偏大。

2.4 熔结凝灰岩(图 2h,i)

测井特征:强熔结凝灰岩整体显示中高伽马、高电阻、低密度、低声波、中中子,曲线非常平滑。弱熔结凝灰岩曲线整体比较平滑。

地质特征:岩心孔洞发育,一般呈流纹质,晶屑为钾长石和石英,拉长的塑形浆屑,基质具有熔结结构,其中熔结结构分强、弱熔结结构,长石和基质均见溶孔,长石发生高岭土化。

响应关系:钾长石的出现使伽马值增高,硅铝矿物组成及孔隙发育是密度变低的原因,该段含气是电阻高、声波和中子偏低的原因。强熔结凝灰岩储层物性较弱熔结凝灰岩好,所以前者呈现低密度高、声波和高中子。

2.5 角砾熔岩(图 2j)

测井特征:整体显示高伽马、中电阻、高密度、低声波、低中子,大多曲线形态出现尖角齿化现象。

地质特征:岩石为角砾结构,棱角状,分选差,角砾以流纹构造流纹岩为主,角砾间为熔浆胶结,物质成分差异大,孔缝不发育。

响应关系:角砾与基质的成分差异造成多数曲线为尖角齿化状,砾间孔不发育使岩石颗粒间不存在流体,所以密度较大,声波和中子偏低。

2.6 角砾凝灰岩(图 2k)

测井特征:整体显示高伽马、中电阻、低密度、中声波、低中子,除中子曲线外,其他曲线呈尖角齿化。

地质特征:凝灰结构,含角砾,晶屑主要为长石

和石英,角砾为流纹岩和玄武岩,基质为火山灰,见少量的长石和基质溶孔。

响应关系:凝灰岩含火山灰物质,易蚀变呈黏土类矿物,所以电阻较正常的熔岩低,密度也低。尖角处低阻、低密度、高声波表明该处蚀变非常严重,齿化现象表明岩石成分结构复杂。

2.7 角砾岩(图 2l)

测井特征:整体显示高伽马、中电阻、中密度、高声波、高中子,曲线尖角齿化。

地质特征:角砾结构,角砾成分复杂,有流纹岩、玄武岩、安山岩和凝灰岩,分选极差,次棱角次圆状,角砾多发生蚀变,有微裂缝。

响应关系:岩石成分复杂造成曲线齿化现象,尖角处可能是岩石裂缝发育段,凝灰质蚀变(黏土矿化)造成高声波和高中子,密度也偏低。

2.8 沉火山角砾岩(图 2m)

测井特征:整体显示高伽马、中电阻、中密度、中声波和低中子,曲线整体为齿化。

地质特征:沉火山角砾岩,角砾成分复杂,有火山岩(流纹岩、玄武岩、凝灰岩)、花岗岩和泥砾,含大量火山晶屑(钾长石和石英),基质为火山灰,发育溶蚀孔隙。

响应关系:岩石物质成分和孔隙分布不均,所以曲线呈齿化,黏土成分含量大使电阻偏低,溶孔发育使密度稍低,声波稍高。

3 成像测井响应地质解译

全井眼地层微电阻率成像(formation microscanner image, FMI)测井是石油工业中使用的最新一代电阻率成像测井方法,它利用大量类似高分辨率微电阻率测量响应产生井壁的电图像。FMI测井具有极高的纵向分辨率(5 mm),在测井环境较好的情况下,能对岩石结构进行细致刻画。

对全直径取心和井壁取心段的 FMI 图像做了分析,识别出 8 种成像识别模式。

3.1 凝灰结构:高阳亮点模式(图 3a)

成像特征:动态图像表现为亮白橘色,亮点模式。

地质特征:松辽盆地广泛发育熔结凝灰岩,凝灰结构;其特点是含 50% 以上的火山碎屑,其中晶屑体积分数大于 20%;主要为碱性长石和自生石英,且粒度大多为 1~2 mm,高角度裂缝发育。通过镜下鉴定,石英非常稳定,受后期改造较少,碱性长石



图 3 松辽盆地火山岩成像测井图像解释模式及图版

Fig. 3 Image interpretation modes and the typical interpretation chart for imaging well logging in Songliao basin

多发生高岭土化。

地质解译:岩石总体致密,为中高电阻。亮点是高电阻的石英晶屑,而非碱性长石;线状为暗线,指示存在低阻裂缝,岩心观察裂缝被岩汁充填。

3.2 原生气孔:低阻暗点模式(图 3b)

成像特征:动态图像总体表现为橘黄色,局部有暗色和亮白色,呈暗点模式和线状模式。

地质特征:岩心为流纹质角砾熔岩,角砾为原生气孔发育的流纹岩,气孔未充填,呈圆形-椭圆形,孔径为 2~5 mm,面孔率达 10%左右。

地质解译:暗点处表明为低阻,与发育的原生气

孔对应;亮点为石英斑晶所致;线状为暗线,为低阻缝,指示有高角度裂缝发育。

3.3 流纹构造:中高阻黄白相间正弦曲线模式(图 3c)

成像特征:静、动态图像整体为黄色,局部出现亮白、橘、黑色,静态图像出现正弦线状组合。

地质特征:井壁取心表现为流纹构造流纹岩,为隐晶质颜色条带相间排列,镜下观察见石英斑晶,有脱玻化作用形成的石英集合体,基质局部有蚀变现象。

地质解译:岩石致密块状,电阻中高,正弦线状

组合代表流纹构造。动态图像中的片状亮色为次生硅质的集合体,团块暗色为基质蚀变的表现。

3.4 角砾结构:高阻亮块+低阻暗点模式(图 3d)

成像特征:动态图像为杂色,具体为橘黄、黑、白色,见亮块和暗点模式。

地质特征:岩石为火山角砾岩,角砾结构,角砾成分多为石英和长石,长石在镜下观察多发生高岭土化,砾径为 3~6 mm。

地质解译:亮块为多个石英角砾,为高阻角砾;暗点一般为蚀变长石角砾,表现为低阻。

3.5 低角度裂缝:低阻正弦曲线模式(图 3e)

成像特征:动态图像总体为亮黄色,见正弦线暗线和孤立线状。

地质特征:岩心为斑状流纹岩,斑晶为石英、长石,见低角度和高角度裂缝,均被岩汁部分充填。

地质解译:岩石孔隙不发育,总体为中高阻,颜色较亮。正弦暗线为发育的低角度裂缝,半充填呈低阻,孤立线状有的为诱导缝,有的为高角度裂缝。

3.6 沉火山角砾结构:中低阻黄橙相间正弦曲线+亮块模式(图 3f)

成像特征:静态图像为亮白-橘色,动态图像为亮白、橘、黑色;静态图像表现为亮白和橘色相间的正弦线,动态图像表现为黑色、橘黄相间的正弦线,亮块模式,局部为暗色团块状。

地质特征:井壁取心为沉火山角砾结构,角砾成

分复杂,有流纹岩、凝灰岩、玄武岩、石英岩和泥岩,角砾为次圆-圆状,砾径为 3~7 mm,长轴有定向的趋势,镜下观察局部角砾黏土矿化。

地质解译:图像上正弦曲线为沉火山角砾岩的层理,亮块为高阻角砾(多为变质岩),橘色为中阻角砾(凝灰岩、玄武岩),暗色条带为夹杂的泥质或泥砾。

3.7 火山碎屑溶孔:亮块中含暗点模式(图 3g)

成像特征:静态图像为橘黄色,动态图像为杂色,两者均有正弦曲线组合模式,见暗点模式。

地质特征:井壁取心为沉火山角砾岩,角砾以流纹岩和玄武岩为主,另有大量的长石石英晶屑,在镜下鉴定后发现,见大量的长石和石英溶孔,玄武质角砾发生蚀变。

地质解译:正弦曲线为沉火山角砾岩的特征,表现为粒序层理,基质含大量的火山灰及泥质,整体表现为低阻。动态图像中清晰的小暗点分析为火山碎屑中溶蚀孔隙的表征。

3.8 块状构造:亮块模式(图 3h)

成像特征:静态图像为橘色,动态图像为橘黄色,总体表现为亮块模式。

地质特征:岩石为致密块状安山岩,镜下观察蚀变弱,基质为交织结构,少量斑晶。

地质解译:岩石孔隙裂缝均不发育,致密块状构造,所以电阻率中等且均匀,表现为橘色块状模式。

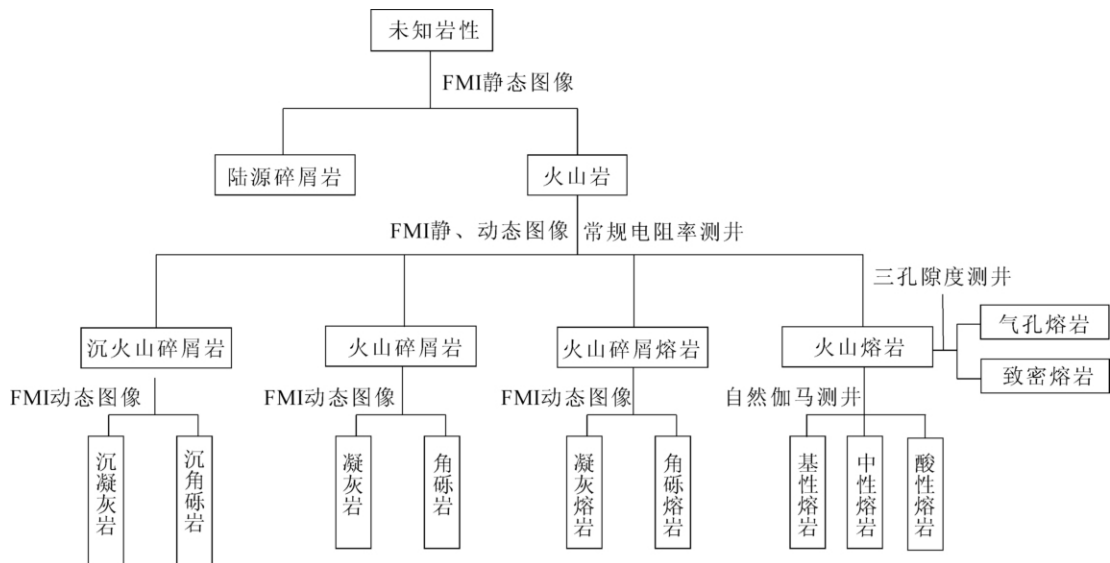


图 4 火山岩岩性测井识别流程

Fig. 4 Logging identification process of volcanic rocks

4 测井识别火山岩流程

通过以上实践总结认识,对未知岩性段利用测井识别岩性具体如下(图 4):1)通过观察 FMI 静态图像区分陆源碎屑岩和火山岩,火山岩图像颜色为亮白色,陆源碎屑岩由于泥质含量高为暗黑色;2)利用自然伽马曲线可以确定火山岩的酸、中、基性;3)接着利用 FMI 动态图像与电阻率曲线结合可以区分火山熔岩、火山碎屑熔岩、火山碎屑岩和沉火山碎屑岩,利用三孔隙度测井的变化可区分气孔熔岩和致密熔岩;4)细致分析动态图像,将岩性大类下的亚类根据上文所建图版(图 3)进行地质解译。

5 结论

1)利用取心段资料分析了 12 种不同结构构造岩性的常规测井响应,发现基、中、酸性火山岩自然伽马和密度响应明显,电阻率和三孔隙度曲线结合对火山岩的结构构造及孔缝响应明显。

2)岩心-薄片资料与 FMI 图像对应,总结了 8 种常见的成像模式:凝灰结构表现为高阻亮点模式;原生气孔表现为低阻暗点模式;流纹构造表现为中高阻黄白相间的正弦曲线模式;角砾结构表现为高阻亮块+低阻暗点模式;低角度裂缝表现为低阻正弦曲线模式;沉火山角结构表现为中低阻黄橙相间正弦曲线模式;火山碎屑溶孔表现为亮块中含暗点模式;块状结构表现为亮块模式。

参考文献 (References):

- [1] Nelson P H, Glenn W E. Influence of Bound Water on the Neutron Log in Mineralized Igneous Rocks[C]//SPWLA 16th Annual Logging Symposium. Houston: SPWLA,1975: 1-9.
- [2] Sanyal S K, Juprasert S, Jusbasche M. An Evaluation of Rhyolite-Basalt-Volcanic Ash Sequence from Well Logs[C]//SPWLA 20th Annual Logging Symposium. Tulsa: SPWLA, 1979:18-22.
- [3] 郭振华,王璞珺,印长海,等. 松辽盆地北部火山岩岩相与测井关系研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(2):207-214.
Guo Zhen-hua, Wang Pu-jun, Yin Chang-hai, et al. Relationship Between Lithofacies and Logging Facies of the Volcanic Reservoir Rocks in Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(2): 207-214.
- [4] Pan B Z, Xue L F, Huang B Z, et al. Evaluation of Volcanic Reservoirs with the QAPM Mineral Model Using a Genetic Algorithm[J]. Applied Geophysics, 2008,5(1):1-8.
- [5] 范宜仁,黄隆基,代诗华. 交会图技术在火山岩岩性与裂缝识别中的应用[J]. 测井技术, 1999,23(1):53-64.
Fan Yi-ren, Huang Long-ji, Dai Shi-hua. Application of Crossplot Technique to the Determination of Lithology Composition and Fracture Identification of Igneous Rock[J]. Well Logging Technology, 1999,23(1): 53-64.
- [6] 谭锋奇,李洪奇,姚振华,等. 元素俘获谱测井在火山岩储层孔隙度计算中的应用[J]. 国外测井技术,2008(6): 27-34.
Tan Feng-qi, Li Hong-qi, Yao Zhen-hua, et al. Application of Elemental Capture Spectrum Logging in Porosity Calculation of a Volcanic Reservoir [J]. World Well Logging Technology, 2008(6):27-34.
- [7] 李伟. 欧利坨子地区粗面岩储层特征及测井解释[J]. 特种油气藏, 2001,8(2):1-3.
Li Wei. Characteristics of Trachyte Reservoir and Its Logging Interpretation in Oulituozhi Area[J]. Special Oil & Gas Reservoirs,2001,8(2):1-3.
- [8] 张莹,潘保芝,印长海,等. 成像测井图像在火山岩岩性识别中的应用[J]. 石油物探,2007,46(3):288-293.
Zhang Ying, Pan Bao-zhi, Yin Chang-hai, et al. Application of Imaging Logging Maps in Lithologic Identification of Volcanics [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007,46(3):288-293.
- [9] 王拥军,冉启全,童敏,等. ECS 测井在火山岩岩性识别中的应用[J]. 国外测井技术,2006,21(1):13-16.
Wang Yong-jun, Ran Qi-quan, Tong Min, et al. Application of ECS Well Logging in Volcanic Lithologic Discrimination [J]. World Well Logging Technology, 2006, 21(1):13-16.
- [10] 朱建华,王晓艳. 核磁测井识别火山岩气层应用研究[J]. 国外测井技术, 2007,22(4): 7-9.
Zhu Jian-hua, Wang Xiao-yan. Application Research of Identifying Volcanic Gas Zone with Nuclear Magnetic Logging [J]. World Well Logging Technology,2007,22(4): 7-9.

(下转 1965 页)

- Sun Wei-dong, Chen Jian-ming, Wang Run-sheng, et al. The Application and Research of Hyperion for Hyperspectral Mineral Mapping on East of Tianshan Mountain[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(2): 214-217.
- [9] 莫源富,奚小双. 植被覆盖茂密区碳酸盐岩岩性的遥感识别:以灌江流域为例[J]. 桂林理工大学学报, 2010, 30(1):41-46.
- Mo Yuan-fu, Xi Xiao-shuang. Carbonate Rock Lithological Discrimination by Remote Sensing Data for Areas with Flourishing Vegetation: A Case from Guanjiang Drainage Area [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2010, 30(1):41-46.
- [10] 沈利霞,刘丽萍,苏新旭,等. 不同植被覆盖率地区遥感矿化蚀变提取研究[J]. 现代地质, 2008, 22(2): 293-298.
- Shen Li-xia, Liu Li-ping, Su Xin-xu, et al. Study on Identification of Altered Wall-Rock in Areas of Different Vegetation Coverages Based on Remote Sensing[J]. Geoscience, 2008, 22(2):293-298.
- [11] 王润生,甘甫平,闫柏琨,等. 高光谱矿物填图技术与应用研究[J]. 国土资源遥感, 2010(1):1-12.
- Wang Run-sheng, Gan Fu-ping, Yan Bo-kun, et al. Hyperspectral Mineral Mapping and Its Application [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010 (1): 1-12.
- [12] 刘超群. 碳酸盐岩地区遥感岩性信息提取方法研究[D]. 桂林: 中国地质科学院, 2007.
- Liu Chao-qun. The Study on Remote Sensing Lithologic Information Mapping Method in Carbonate Terrane[D]. Guilin: Chinese Academy of Geological Science, 2007.
- [13] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327-333.
- Tian Qing-jiu, Min Xiang-jun. Advances in Study on Vegetation Indices [J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13 (4) : 327-333.
- [14] 张远飞,吴德文,张良中,等. 高光谱数据的波段序结构分析与应用研究[J]. 国土资源遥感, 2010(1):30-38.
- Zhang Yuan-fei, Wu De-wen, Zhang Gen-zhong, et al. Study on Band Sequence Structure Analysis of Hyperspectral Data [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010(1):30-38.
- [15] 张远飞,吴德文,朱谷昌,等. 遥感蚀变信息检测中背景和干扰的问题[J]. 国土资源遥感, 2008(2):22-26.
- Zhang Yuan-fei, Wu De-wen, Zhu Gu-chang, et al. The Problems of Background and Interference in Remote Sensing Alteration Information Detection[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2008(2):22-26.

(上接 1934 页)

- [11] 魏斌,陈建文,李长山,等. 徐家围子断陷火山岩岩性的测井识别技术[J]. 特种油气藏, 2003, 10(1): 73-75.
- Wei Bin, Chen Jian-wen, Li Chang-shan, et al. Logging Identification Technique of Volcanic Rocks in Xujiaweizi Fault Depression [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2003, 10(1):73-75.
- [12] 周波,李舟波,潘保芝. 火山岩岩性识别方法研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2005, 35(3): 394-397.
- Zhou Bo, Li Zhou-bo, Pan Bao-zhi. A Study on Lithology Identification Methods for Volcanic Rocks [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2005, 35(3):394-397.
- [13] 王璞珺,郑常青,舒萍,等. 松辽盆地深层火山岩岩性分类方案[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4):17-22.
- Wang Pu-jun, Zheng Chang-qing, Shu Ping, et al. Classification of Deep Volcanic Rocks in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4):17-22.