

油气勘探技术情报专集 (3)

碳酸盐岩地区非地震油气勘探 方法及实例汇编

滇黔桂石油勘探局科技发展部

一九九四年十一月

(北京)

4

3

哈拉-希文地区为例,根据钻井取得的地层压力、原始地层压力、芳烃含量、 H_2S 含量、气液比等参数并结合局部圈闭及围岩结构等资料,建立勘探井的最佳井网位置,进行气态及液态烃类储量增长的预测,并建立油田最终地质经济评价模型。

传统上,航空磁法勘探是用于研究断块构造的基底和沉积盖层、它们的物质成分、含磁性地层的形态等。近十多年,航空磁法勘探常被作为直接进行油气预测的方法。在“油气地质勘探过程中的航空磁法勘探”一文中,以鞑靼地区及伏尔加河流域碳酸盐岩及礁块分布区为例,论述了用综合磁法及地质勘探方法对该区油气前景进行的评价。

“重力勘探油气构造的方法”,是 A. A. Маловичко(1989)所著《石油天然气的重力勘探法》一书中的第7章,较全面地介绍了有关的内容。

“在滨里海盆地寻找生物礁结构时地球物理方法的综合应用”一文,是作者根据实践结果撰写的。作者对该盆地卡拉恰甘纳克等油田的普查勘探资料进行分析,发现盐下沉积中碳酸盐-生物礁构造发育带一般位于高 Δg 低 ΔT 的异常区,提出可以利用重力、磁法资料初步确定其位置,然后以地震勘探详细研究其空间形态,并以地球化学方法确定其含油气性。在该区运用此工作模式进行普查工作,取得了良好的效果,发现若干有油气远景的对象,生物礁构造高 500 m,总面积达 250 km^2 。

为配合生物礁构造的研究,编者特约郑荣才副教授撰写了“古代生物礁的判别标志”一文,以供参考。

由于烃类物质与地层的矿物发生相互作用的结果,致使含油气藏的沉积岩层与不含烃类的相同沉积岩层在物理特性方面有较大不同,在地球物理场中引起明显的异常,其中也包括地震场的异常。“含油气藏沉积岩剖面的地震-地质模型”一文中,以别列若夫油藏和亚勃鲁诺夫气藏与非产油的瓦西里耶夫地区为例,描述了剖面中反射波动力学参数的变化以预测与研究区地质结构相类似地区的油气聚集。

研究地下水中各种自然场的空间变化(氮浓度、烃浓度、地下水矿化度、地下水密度、地下水温度和压力等)可以作为进行区域油气预测的依据。“滨里海盆地盐上沉积含油气性分带”一文中,根据流体扩散和对流交换,将研究区划分为油气前景好的扩散带、前景有限的扩散层和无前景的对流带。文中以滨里海盆地盐上沉积为例,综合各种资料划分了有利于找油的前景区。

最后一篇文章是“油气田古水文地质分析——缩小油气勘探靶区的有效方法”。作者结合自己的实践介绍了含油气盆地古水文地质分析的主要内容、油气田古水文地质研究的方法及存在的问题和油气藏保存条件的古水文地质研究方法。文中列举了作者在我国华东某构造和泌阳凹陷研究的成功实例。

由于文献资料的限制,本专集所汇编的文章,虽然都是实用有效的油气勘探方法,但是,并非都是碳酸盐岩露头区和地形复杂地区,希读者见谅。

专辑的编译出版得到成都理工学院科研处、石油系等单位的极大支持,在专集出版之际,谨致以热忱谢意。

限于编者学识水平,译编中不当之处,敬请批评指正。

中东地区某碳酸盐岩储层的 地球化学测井

摘要 对一个复杂的碳酸盐岩地层进行地球化学测井,能得出精确的元素浓度测井曲线。这将有助于计算详细的地层矿物及派生性质,如基质密度和 Σ 。定量的矿物测井曲线也可与从岩心数据所观测的相关关系一起,经验性地估计渗透率。

关键词 地球化学测井 碳酸盐岩储层

专业术语

F —矿物成熟度因数;	k —渗透率($10^{-3}\mu\text{m}^2$);
K_i —矿物 i 的渗透系数;	M —矿物(wt%);
M_i —在岩石固体部分中矿物 i 的重量百分数;	U_{ex} —过量的铀;
V —体积;	ρ —密度(g/cm^3);
Σ —热中子俘获截面(c. u.);	ϕ —地层孔隙度(%)

1 引言

对中东地区一个储层的地球化学测井的作用进行了评价,该储层按其白云石化程度、泥质含量、次生孔隙度和孔隙度分布等特征而被认为是成分极其复杂和非均质性储层。对该储层进行研究的地质学家、储层工程师和岩石物理学家们把井与井之间的相关性作为一个问题提出,并且为了做测井解释,他们特别列举了与下列有关的问题:1. 孔隙度确定的准确性;2. 白云石化程度的准确性;3. 粘土矿物和碎屑物特征描述及定量化的准确性;4. 渗透率估计的准确性。这些问题似乎都是相互关联的,并且通过一个岩石组分的详细解释,可以预期,地球化学测井有助于地质特征描述和岩石物理解释,最终将有助于井间相关性的解释。

此项研究的目的是确定主要的地球化学解释结果(元素和矿物)的质量,并调查在地质和岩石物理解释中这些结论所产生的效果。本研究由组合测井及岩心分析程序所组成。有关的岩心分析被分成两部分,对贯穿全部储层、间距约0.3 m的岩心栓做颗粒密度、孔隙度和渗透率的标准岩石物理测量,和用于化学和矿物成分分析的样品子集。测井程序包括地球化学测井仪(GLTSM),它测量铝、硅、钙、铁、硫、钒、钛、钍、铀、钾、镁等元素的浓度,此外还包括一整套电阻率测井和核子地球物理测井。

研究结果表明,地球化学元素浓度和矿物浓度测井曲线准确地描述了地层,这在过去如果没有大量的岩心分析是不可能做到的。新的测井曲线清晰地描绘了白云石化带,并定量地表明了非碳酸盐矿物的数量。矿物测井曲线被用于计算连续的基质密度,并用它来确定孔隙度。矿物和孔隙度解释结果可以和岩心测量结果和容积测井解释结果进行比较,容

积测井解释不包括地球化学数据。用元素浓度测井曲线和矿物浓度测井曲线可以推导出 $\Sigma_{\text{基质}}$ 和 $\Sigma_{\text{流体}}$ 。然后用这些数值估计井身饱和度。最后,用岩心和测井数据揭示矿物和渗透率间存在的相关关系。

上述结果是对地层组分和岩石物理特性的一个准确描述,它增强了地层相关关系并提高了对储层的评价。解释是科学的以分析为基础的,它不需要测井分析人员作众多的选择或作极大的区域性修改,而是通过一个固定组分的基质将元素浓度转换成矿物浓度。许多岩石物理特性,如颗粒密度和 $\Sigma_{\text{基质}}$ 都是矿物学的自然结果,因此它们能根据矿物学进行直接计算。其它性质,如渗透率可能较多地受成岩事件和断裂等的影响。某些成岩事件象白云石化作用在矿物中是固有的。在这种情况下,白云石化程度也能用于估计渗透率。

2 岩心数据的分析和解释

2.1 样品的选取

对整个地层以大约 0.3 m 的间距选取了 400 多个岩心栓。对这些岩心栓进行分析以确定基质密度、孔隙度和渗透率,最后将每个岩心栓送到 Schlumberger-Doll 研究所。选取其中的 54 件样品用于做元素和矿物分析。计划所选取的样品在整个储层中是有代表性的。这取决于对样品肉眼观察的颜色和总体结构等物理特性的综合及在井中的位置,以及根据初步的测井解释而确定的矿物和岩石物理特性。最终的选取包括采自每一储层单元和子单元的样品。样品范围从近乎纯方解石到白云石,并覆盖了观察到的孔隙度和渗透率的范围。

2.2 岩心化学和矿物学

54 个岩心栓被研磨成粉末,并分开以做化学分析和矿物分析。进行研究级的化学分析是在加拿大 X 射线分析实验室完成的。样品的矿物分析是在岩心实验室(矿物)使用傅里叶转换红外光谱分析完成的。

表 1 基质化学矿物当量

矿物	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	K (%)	Ti (%)	S (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	H ₂ O ⁺ (%)
石英	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0
斜长石	11	31	0	0	0	0	1.5	0	8	0
正长石	10	30	0	14	0	0	0	0	0	0
长石	10	30	0	10	0	0	1	0	2	0
方解石	20	0	0	0	0	0	40	0	0	0
白云石	0	0	0.3	0	0	0	22	13	0	0
菱铁矿	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0
高岭石	19	22	0.8	0	0.9	0	0	0	0	14
伊利石	12	24	8	4	0.8	0	0	1	0.5	8
蒙脱石	9	21	1	0.5	0.2	0	0.2	2	0.5	32
黄铁矿	0	0	47	0	0	53	0	0	0	0
金红石	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0

* 70%正长石与 30%斜长石(钠长石₅₀钙长石₁₀)的混合物

岩心的地球化学数据是使用由 M. M. Herron 和 S. L. Herron 所描述的基本处理方

法和表 1 所提供的基质浓度来计算标准矿物的浓度或矿物化学当量(矿物化学)。铝、硅、铁、钾、钛、硫、钙、镁、钠和 H_2O^+ 的元素浓度被用于求出石英、斜长石、正长石、方解石、白云石、菱铁矿、高岭石、伊利石、蒙脱石及黄铁矿等的矿物浓度。只要矿物组分是完全固定不变的和单一的,并且包含所使用化学元素的地层中的所有矿物都存在于 Herron 的模型中时,则上述的转换就证明是正确的。

图 1 表示的是根据岩心化学分析资料计算的标准矿物与使用傅里叶转换红外光谱分析确定的全部矿物的浓度的对比,图上虚线代表距 5 wt% 的 1:1 线的偏差,它是岩心实验室提供的岩心测量时的误差。通过化学近似法分别对伊利石和蒙脱石进行了计算,不过它们只是被组合在一起以便与傅里叶转换红外光谱技术作比较,因为该技术不能区分两种粘土矿物。根据化学分析资料计算的矿物浓度和根据岩心样品测量的矿物浓度之间存在很好的一致性。这种一致性确认了元素向矿物的转换,因而提供了从元素浓度测井曲线获得矿物浓度测井曲线的根据。

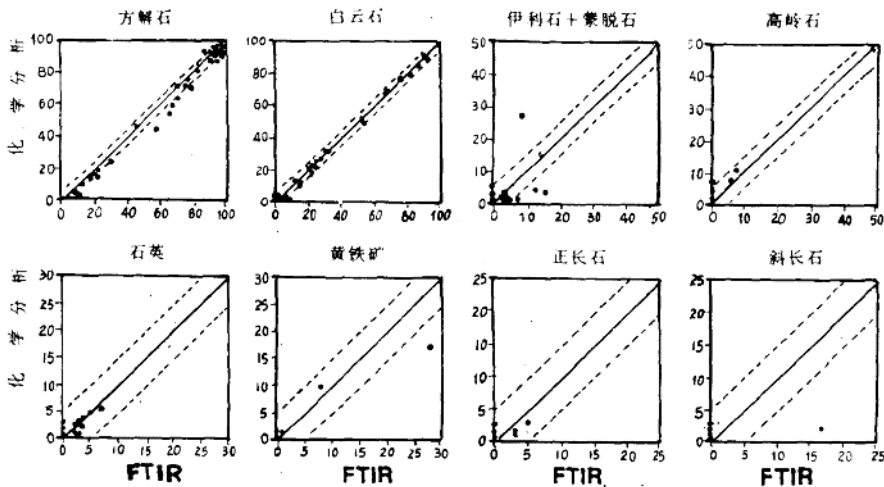


图 1 使用化学标准分析法计算的矿物浓度与使用傅里叶转换红外光谱(FTIR)测定结果的对比
虚线代表傅里叶转换红外光谱数据的 ± 5 wt% 的误差

3 测井数据的分析和解释

3.1 元素浓度测井曲线

使用一个地球化学封闭模型可以导出元素的浓度测井曲线。此时具有 0.425 wt% 的一个井孔的铝校正值,此值是由一个泥样的化学分析确定的,这些结果示于图 2 和图 3。所表示的岩心浓度用以对比。在这些对比中可能存在差别,这是由于诸如储层的非均质性、统计的不精确和分析误差以及深度不一致等造成的。在给定的任何一个测量点,测井工具对数百公里地层采样比用于元素或矿物分析的数十克岩样大出若干个数量级。在该地层中,在垂向和横向上均具有极大的非均质性和薄旋回变化。因此岩心数据很可能不代

表由工具所采的大量样品,这一差异也会导致对比中的不同。

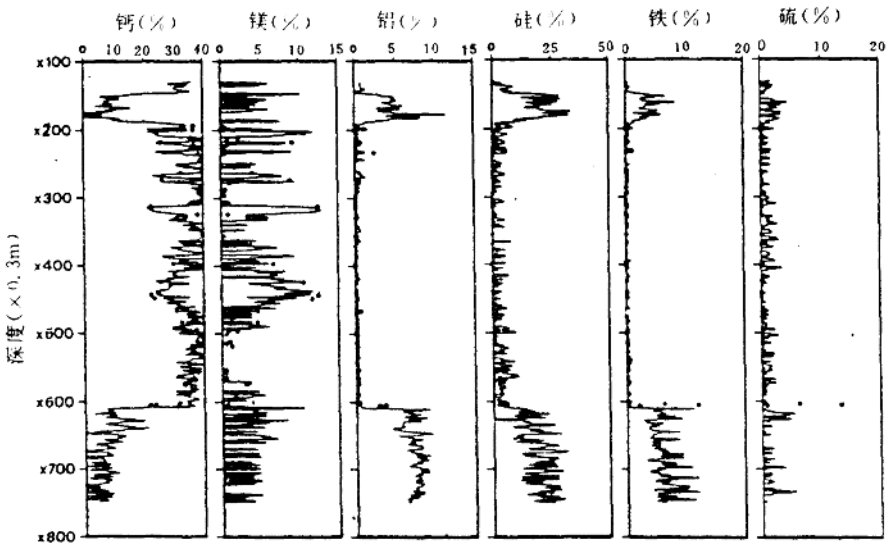


图2 Ca、Mg、Al、Si、Fe 和 S 的元素浓度测井曲线与岩心样品测定的元素浓度的对比
注意:高含量的 Ca 和 Mg 反映出在地层中的主矿物方解石和白云石

图2中,高浓度的钙和镁为我们提供了一个直接标志,它表示,该地层主要是由石灰岩和白云岩构成的,其变化介于近乎纯方解石($Ca = 40.0 \text{ wt}\%$)和纯白云石($Ca = 21.7 \text{ wt}\%$)之间,并且上下均为含钙质的硅质碎屑岩层。其它大多数对应于低浓度的元素,它们是铝、铁、钍、钾、铀、钆和 H_2O^+ ,这反映在储层中几乎没有粘土矿物存在。相对于非碳酸盐元素来说,较高浓度的硅标志着存在少量的石英杂质。

在储层单元中,唯一显示出浓度稍有异常的元素是铀。在储层上部铀值趋于最大,并且常常超过碳酸盐中铀的平均浓度 2.2 ppm 。尽管铀可以与有机质或裂隙矿化作用有关,但总的说来,它是与粘土矿物有关的。在碳酸盐岩中,最初铀能被混合在骨骼物质中,以后通过成岩作用,它可以被富集或是被损耗。在碳酸盐岩中确定非粘土或过量铀的数量方法,是将钍和铀的相对浓度与它们的页岩平均浓度比 $U/Th = 0.3$ 作比较。这是因为,据观测,碳酸盐岩中的钍总是与粘土矿物有关。非粘土或过量铀可以用以下公式计算

$$U_{ex} = U - Th(U/Th)_{页岩} = U - 0.3Th$$

式中铀和钍为测量浓度,单位为 ppm 。在这些样品中并未显示出铀与方解石、白云石或有机质明显有关,它示于图4,在图上,对岩心样品测量的铀与方解石和白云石的浓度相比,未显示明显的相关趋势。该图还显示,铀或过量铀与总有机碳也无相关关系。因此,铀的存在最可能是属于裂隙或孔隙空间中矿化作用的产物。

总之,在碳酸盐岩地层中,对岩心测定的元素浓度与元素浓度测井曲线之间存在极好的一致性。在此项研究中对边界页岩层没有进行分析,故没有数据可供比较。

3.2 地球化学测井方法的矿物浓度测井曲线

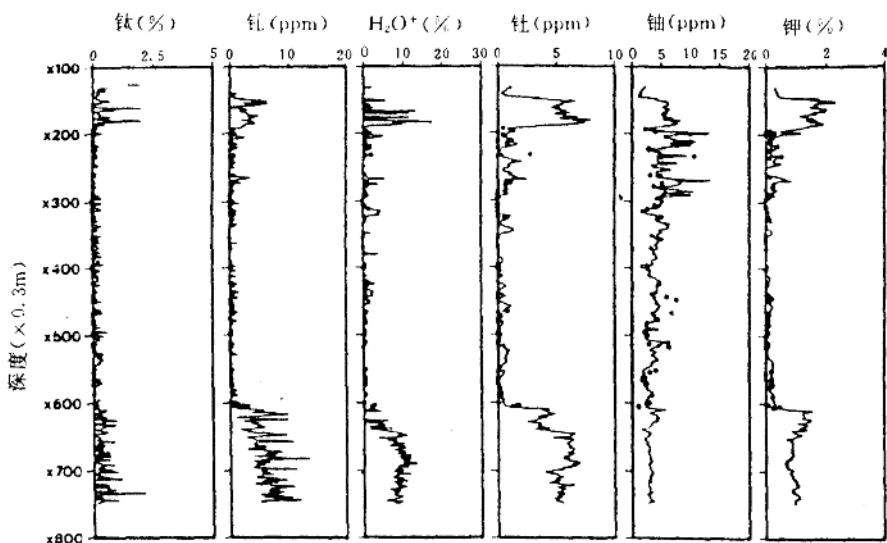


图3 Ti、Gd、H₂O⁺、Th、U和K的元素浓度测井曲线与岩心样品测定的元素浓度的对比

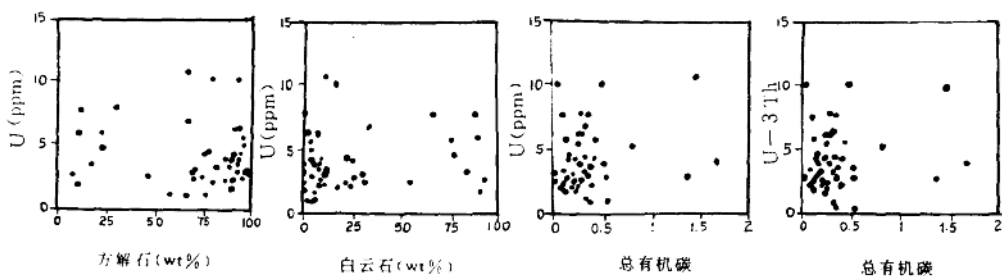


图4 铀的分布图

注意：铀与碳酸盐矿物或有机物间无相关性

它是用表1中的基质矿物与元素关系将元素浓度测井曲线转换成化学矿物测井曲线。在测井数据的模型中，输入的元素为铝、硅、铁、钾、钛、硫、钙、镁及H₂O⁺，能计算出的化学矿物有方解石、白云石、石英、长石、高岭石、伊利石、蒙脱石、黄铁矿、金红石及菱铁矿，它们均以干重量百分数为单位。这种元素向矿物的转换与应用岩心测定数据的转换相同。只是现在求出的是总的长石，即被模拟为70%的正长石和30%的斜长石(ab₉₀an₁₀)，而不是分别求出两种长石的量。以前曾描述过，该模型能根据元素浓度产生好的化学矿物浓度。也曾描述过能提供高质量的元素浓度测井的手段。因此，被推导出的矿物测井曲线理应具有相应的高质量。这些测井曲线表示在图5和图6上，并在图上标出了岩心分析数

据以供比较。同样也应注意地层的非均质性问题,和矿物测井曲线与根据岩心测定的矿物成分之间具有极好的一致性。

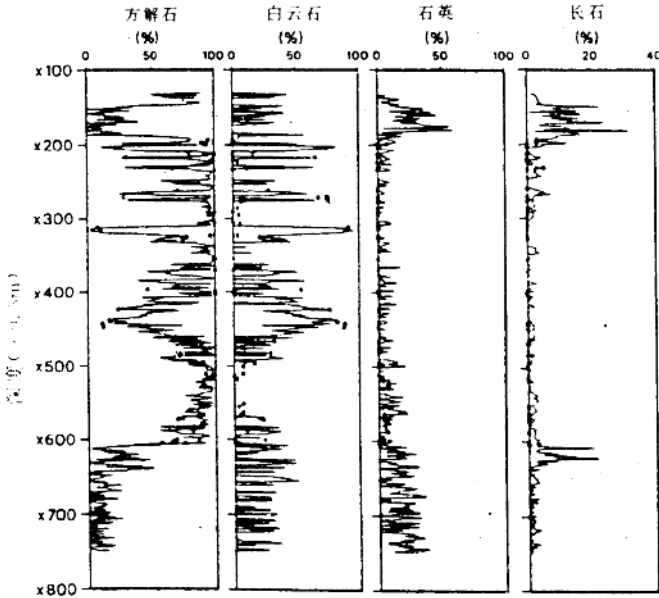


图5 方解石、白云石、石英及长石的矿物浓度测井曲线与傅里叶转换红外光谱法对岩心样品测量的矿物浓度的对比

尤其重要的是,这些矿物测井曲线是直接根据元素浓度计算的,并不修改表1中的基质数据,也无需挑选任何输入参数。如此客观地和准确地确定地层组成,应当对地质和岩石物理的评价有所提高。

3.3 地球化学与非地球化学容积解释的对比

可以用一个关系式把岩心测定和测井解释获得的矿物浓度从重量百分数转换成体积百分数

$$V_{\text{矿物}} = M(1 - \varphi)(\rho_{\text{基质}} / \rho_{\text{矿物}})$$

式中 V —体积; M —矿物; φ —孔隙度; ρ —密度。将矿物的容积测井曲线结果组合起来用以表示组合矿物成分,于是提供了一个详细的地层组分图(图7)。图8表示的是使用岩心体积数据对方解石、白云石及页岩的常规法计算的体积解释的评价结果。一般非地球化学解释过高地估计了粘土在整个地层中的体积。它也有过高地估计方解石和过低地估计白云石的趋向,尤其是在局部白云石化带

表2 矿物缺陷颗粒密度

矿物	颗粒密度 (g/cm ³)
方解石	2.71
白云石	2.87
石英	2.65
长石	2.60
伊利石	2.80
高岭石	2.63
蒙脱石	2.78
菱铁矿	3.90
黄铁矿	5.01
金红石	4.25

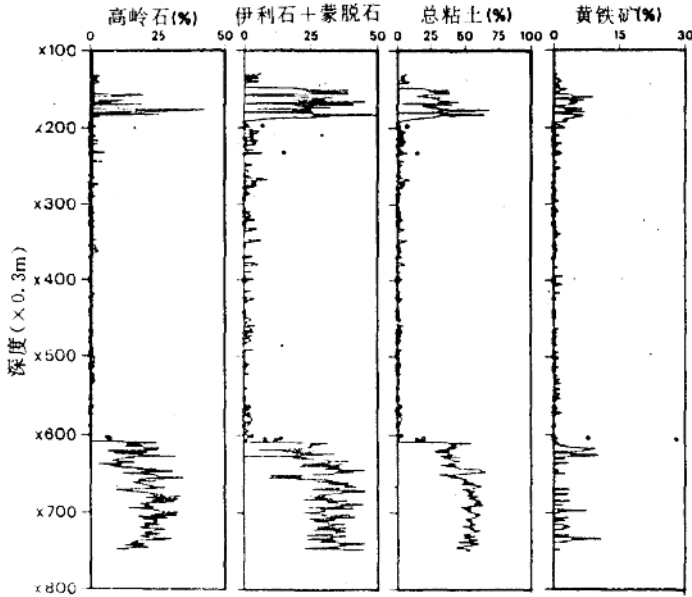


图 6 高岭石、伊利石+蒙脱石、总粘土及黄铁矿的矿物浓度测井曲线与傅里叶转换红外光谱法对岩心样品测量的矿物浓度的对比

中。图 9 表示交会图中存在于地球化学和非地球化学测井曲线解释之间的容积差。

这些差值不仅影响了岩性描述的准确性,而且也影响对岩石物性的解释。对方解石体积估计过高,将导致得出较低的基质密度,因而降低了总孔隙度。同样,表示在某些地方不存在粘土,则将得出较低的有效孔隙度。最终,如果根据常规解释得到的组分不准确程度与在其它井所获得的相当,则所做的相关关系将受到严重影响。

3.4 基质密度和总孔隙度

在地球化学模型中,每个矿物都有一个特定的颗粒密度,它是结晶几何学及化学组成的一个简单函数。根据矿物测井曲线和其特定的矿物密度可以连续地和准确地确定地层组合的密度。然后用基质密度和测量的容积密度与一个假设的流体密度一起共同形成一个总孔隙度测井曲线。表 2 表示在该模型中每个化学矿物的缺陷颗粒密度(default grain density)。

图 10 为导出的基质密度及总孔隙度测井曲线,并附有岩心数据以供比较。用五点连接平均值对岩心数据作了平滑处理,其目的是排除一些非均质性对比较过程产生的影响。除了用岩心测定的基质密度(实心图)外,都是计算出的基质密度(空心圆),它们与傅里叶转换红外光谱矿物学一起是由岩心实验室提供的。由测井曲线获得的基质密度与由傅里叶转换红外光谱计算的基质密度两者具有较好的一致性。但是,在大部分地层中测得的基质密度却非常小。在近乎纯方解石带中,例如在(500~580)×0.3 m 处,岩心测定数据表明的基质密度只有 2.64~2.67 g/cm³。由于方解石的密度为 2.71 g/cm³,因此在这些方解石带的岩心测定数据显然是有误差的。在白云石化地区,例如(310~330)×0.3 m 处,

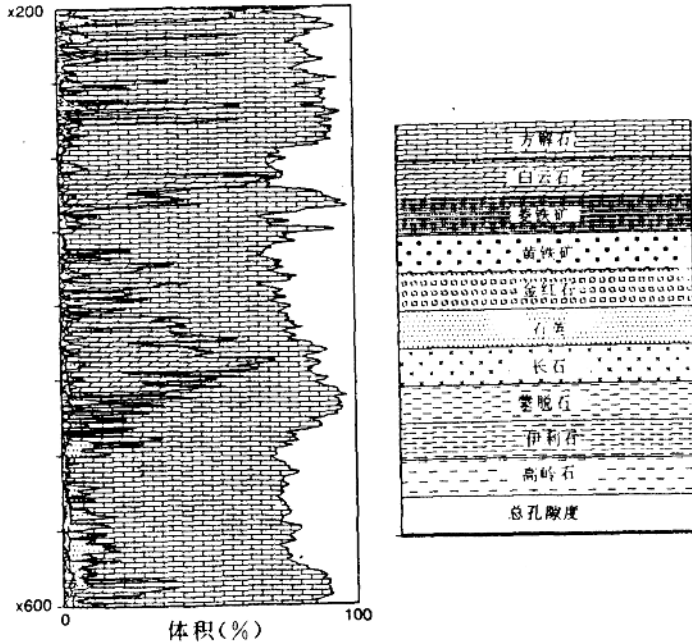


图7 根据地球化学测井曲线解释的地层组合

岩心测定提供了合理的基质密度值,并且这些值与由测井曲线导出的基质密度及根据傅里叶转换红外光谱岩心矿物计算出的基质密度具极好的一致性。对于上述差异,一种可能的解释是纯方解石带趋于极细粒状,因此造成了岩心测定的困难,而白云石化带却趋向于较粗粒状,并且在自然界多为颗粒状。

在岩心孔隙度与利用矿物推导的基质密度计算的孔隙度进行对比发现,其一致性的程度与基质密度中的一致性程度非常吻合。对于石灰岩,在基质密度中可见误差($2.65 \sim 2.71 \text{ g/cm}^3$)导致了孔隙度约有3个孔隙度单位(p. u.)的过低估计(图10)。在那些用岩心测定和测井基质密度一致的地方,它们的孔隙度也存在非常好的一致性。考虑到在碳酸盐岩中不可能存在如此低的基质密度,因此,在这种情况下,作为地层孔隙度的测定方法来说,孔隙度的测井曲线解释好于岩心测定。

图11是由地球化学测井曲线导出的总孔隙度与在碳酸盐岩地层单位中,根据中子及密度测井得出的孔隙度的对比。在致密带和那些基质密度已确定的地方,用地球化学测井增大的孔隙度高达5 p. u.,较之中子密度孔隙度更精确。交会图对比表明,地球化学测井增大的总孔隙度一直比由标准测井数据处理而获得的总孔隙度高出几个百分点。这与在泥质砂中普遍观察到的效果相反。在那里,中子测井一般导出的孔隙度值比由矿物输入推导的孔隙度值更高。在对碳酸盐岩及泥质砂两者的解释中,这些在矿物学和孔隙度中的增大将改善对饱和度的解释。

尽管岩心基质密度与已知地层组成并不完全一致,但它们为测井推导矿物成分提供

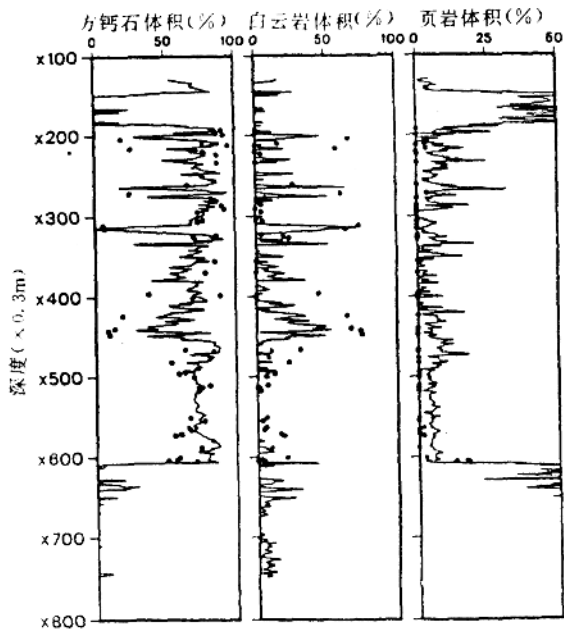


图8 方钙石、白云石和页岩的非地球化学容积解释与转换成容积后的方解石、白云石及总粘土岩心测定数据的对比

注意：在非地球化学测井解释中过高地估计了方解石和粘土的体积和过低地估计了白云石的体积

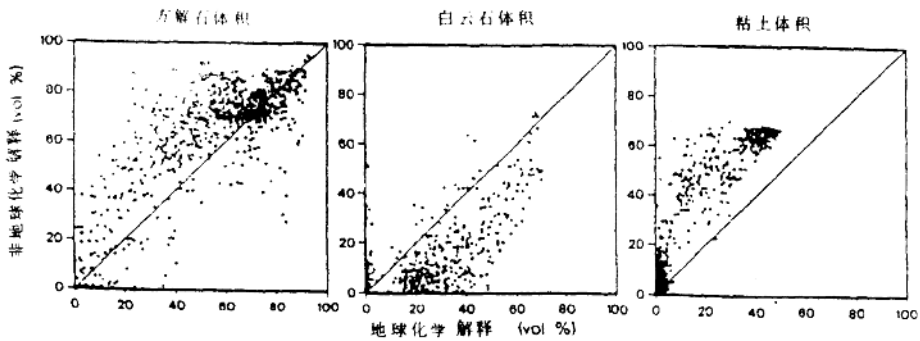


图9 使用地球化学及非地球化学解释获得的方解石、白云石及粘土体积的对比

了一个好的定性确证。由于地层主要是由两种基质密度极不同的矿物所组成，因此可以使用岩心基质密度的偏差来大致估计方解石及白云石的相对数量。由于可以提供每0.3 m 间距的基质密度，因而它们提供了一个矿物成分精确度不高，但却较详细的测量结果。在

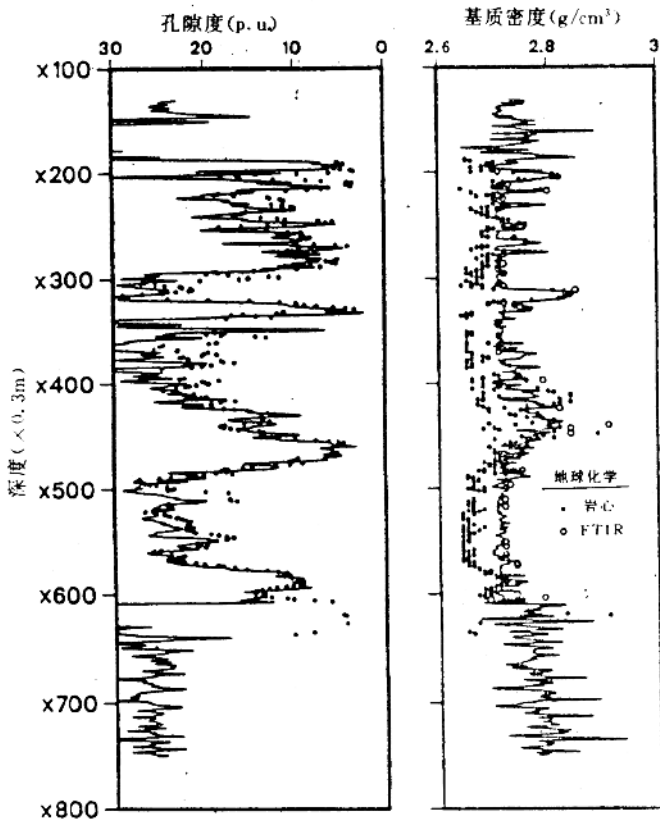


图 10 利用矿物输入解释的基质密度和孔隙度与常规的非地球化学解释的对比

图 12 上,可以看到一个并列的有关基质密度和白云石的对比。封闭测试表明,在那些基质密度增大的地方,存在白云石,并且它肯定了测井计算的白云石含量的偏差是真实可信的。

3.5 基质的热中子俘获截面的导出

对元素进行连续的原地测量,使精确地计算基质的热中子俘获截面(Σ)成为可能。这是通过使用测量的元素浓度和推导的矿物浓度模拟那些可能会对 Σ 有显著影响的消失元素浓度而完成的。用钆测井曲线估算其它稀土元素的浓度,而用矿物浓度模拟硼的含量。对硼来讲,起主要作用的矿物是沉积在海洋环境下的伊利石。为了模拟基质 Σ ,需要获得高精度的测量结果,以证明在这些碳酸盐相地层中硼不存在。

对通过套管监测的饱和度来说,基质 Σ 的效用可能是最大的。这是通过使用基质 Σ 和热中子衰减时间测井一起完成的。不过它也可被用于在裸眼井中确定近井身的饱和度(图 13)。此处示出计算的基质 Σ 与使用 Daul BurstSMTDTSM仪测得的地层 Σ 。使用下面的关系式可以根据 TDT 和 GLT 测井曲线以及矿物增大孔隙度推导出视流体 Σ 。

$$\Sigma_{\text{流体}} = \frac{\Sigma_{\text{测量}} - (1-\varphi)\Sigma_{\text{基质}}}{\varphi}$$

式中 φ —孔隙度。此结果也表示在图 13 上。它们表明了具不同截面的三种流体的影响。第一种是高 Σ (约 100 c. u.) 的流体, 它出现在由页岩和致密碳酸盐岩所组成的低渗透率带。这种流体可能代表的是原生水。第二种是具有 $\Sigma \approx 60$ c. u. 的流体, 它出现在储层较低的部位。它与测量的井孔 Σ 相对应, 并且显示该带是完整的及间歇性的海侵带。最后, 也是具最低 Σ 的流体, 出现在 $(300 \sim 320) \times 0.3$ m 之间, 该地层段视流体 Σ 降低到约 35 c. u.。这可以很容易地被解释成是烃类 (≈ 18 c. u.) 及泥浆滤液的混合物。这种解释被电阻率剖面所证实。电阻率剖面显示, 在致密的碳酸盐岩和页岩中, 当电阻率峰值在 320×0.3 m 时, 深、浅电阻率发生重叠, 这表明是烃类。使用烃类标度为 $\Sigma = 18$ c. u. 和泥浆滤液标度为 $\Sigma = 60$ c. u. 之间的视流体 Σ 测井曲线, 可以推导出近井身饱和度剖面。该饱和度曲线代表烃类体积的估计值, 该值与根据电阻率的解释是一致的。

3.6 矿物成分和渗透率之间的相关性

对于碎屑岩, 已证实使用从地球化学测井数据推导的矿物浓度与 Kozeny-Carman 孔隙度的相关关系来估计地层的内在渗透率是可能的。存在于渗透率、孔隙度和矿物成分间的关系式为:

$$k = F_{\text{流体}} \frac{\varphi^3}{(1-\varphi)^2} e^{(\Sigma K_i M_i)}$$

式中 F —矿物的成熟期限; M_i —每个相的浓度; K_i —每个相的稳定渗透率因数。在该模型中, 所有碳酸盐矿物相都被看作是固井剂, 给它们赋予相同的 K_i 值。因此, 当地层仅是由碳酸盐矿物组成时, 方程式简化为渗透率与孔隙度的相关关系。

图 14 表示在半对数形式下, 该井的岩心测定孔隙度和渗透率数据。一个测得基质密度 > 2.71 g/cm³ 的样品表明, 存在一定程度的白云石化, 它们在图上用实心圆表示, 基质密度 ≤ 2.71 g/cm³ 的样品用空心圆表示。孔隙度、渗透率交会图显示出一个明显的倾向, 但是对于任何给定的孔隙度, 渗透率可以有几个数量级的变化。颗粒密度数据表示白云石

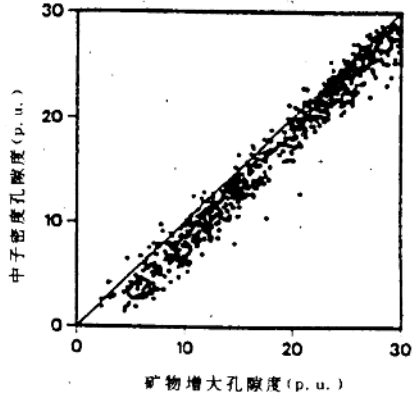


图 11 根据矿物成分计算基质密度推导出的孔隙度与中子密度测定的孔隙度的对比

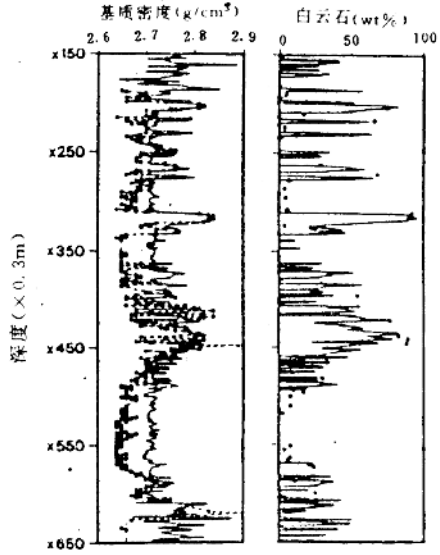


图 12 根据岩心测定(由虚线连接的点)和测井(实线)得出的基质密度与测井和岩心测定的白云石浓度

化样品具有较高的渗透率趋势。

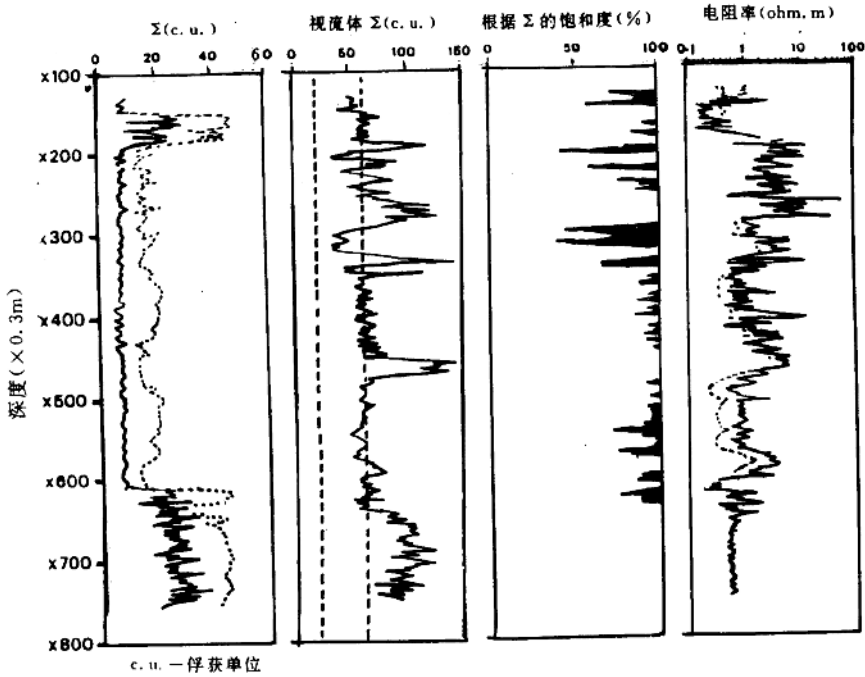


图 13 根据元素浓度测井曲线和矿物浓度测井曲线计算的 $\Sigma_{\text{浅}}(\text{实线})$ 及地层 $\Sigma_{\text{测层}}(\text{虚线})$ 、 $\Sigma_{\text{视度体}}$ 和根据 $\Sigma_{\text{视度体}}$ 获得的近井身饱和度, 深(虚线)和浅(实线)电阻率测井曲线

根据经验对碎屑岩渗透率模型进行调整以解释在该碳酸盐岩层中存在矿物成分及渗透率之间的相关关系。调整后的模型中, 在一定的孔隙度条件下, 纯白云岩的渗透率要比纯石灰岩的渗透率高三个数量级。一个附加的渗透率相关性把过量铀与渗透率的轻微减少量联系起来。这已由其它变量得到解释。设 $F = 4.9$, 表 3 提供了用于该碳酸盐模型的 K 因子。

图 15 给出了对比结果, 其中用于岩心测定的三点几何平均值以补偿岩心的非均质性, 测量值被放在一个近似相等的垂直标尺上。最大值和最小值之间几乎超过六个数量级的渗透率值一般与测井解释正好一致。一个明显的例子出现在 $(300 \sim 320) \times 0.3 \text{ m}$ 带上, 它包括了在 $315 \times 0.3 \text{ m}$ 处的一个从几乎纯石灰岩(方解石)向几乎纯白云岩的突变。尽管只有小的孔隙度变化, 但方解石的渗透率在 $300 \times 0.3 \text{ m}$ 处 $(K = (1 \sim 5) \times 10^{-3})$

表 3 碳酸盐模型的渗透率因子

矿物	渗透率因子(K)
方解石	-5.76
白云石	1.15
过量铀	-0.35
石英	0.23
长石	2.30
伊利石	-12.7
高岭石	-10.4
蒙脱石	-17.3

μm^2 ; $\varphi = 23 \sim 29 \text{ p. u.}$) 要比白云石在 $315 \times 0.3 \text{ m}$ 处 ($K = (1500 \sim 4600) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; $\varphi = 25 \sim 29 \text{ p. u.}$) 低 3 个数量级。存在于岩心测定值和测井解释值间的一致说明了在该储层中矿物成分和渗透率的相关关系, 并强调了精确确定白云石量的重要意义。白云石的确定是与地球化学测井数据同时获得的。

4 结 论

地球化学测井解释提出了在元素浓度、矿物浓度及基本岩石物理特性等方面的井与井之间相关关系的重要问题。技术鉴别能力来自于对出现在原始造岩矿物中的最主要元素浓度的精确测定。总的来说, 它对电阻率测井、核物理测井和声波测井提供了一个有力的补充。这些测井对孔隙流体较灵敏, 而对于岩石基质灵敏度较低。根据这些数据能对沉积地层做出详细而精确的评价。

元素浓度测井是通过把它与岩心测定的浓度作直接比较而验证的。元素向矿物的转换是根据已知的化学公式, 首先由岩心化学和矿物数据所证实, 然后将它们应用于元素浓度测井曲线, 最终所获得的矿物测井曲线可以对地层进行描述。在过去没有对整个钻井作全岩心分析的情况下, 描述的精度是不高的。测井结果清晰地描绘了白云石化带, 并定量地对非碳酸盐矿物浓度作了描述。经证实, 该矿物描述较之常规解释明显地更准确和更可信。因此也更适合于井间对比。

根据矿物测井曲线和已知的它们的颗粒密度可以直接计算连续的基质密度曲线。将基质密度测井曲线与容积密度测量值一起可以产生出孔隙度测井曲线, 它较之常规性推导的孔隙度更精确, 平均高出 2 p. u. 。

根据测定的元素浓度及它们的核物理特性可以导出一个连续的 $\Sigma_{\text{基岩}}$ 曲线。已证实, 将 $\Sigma_{\text{测井}}$ 与推导出的 $\Sigma_{\text{基岩}}$ 结合研究能解释近井身环境下存在的地层水、泥浆滤液及烃类。

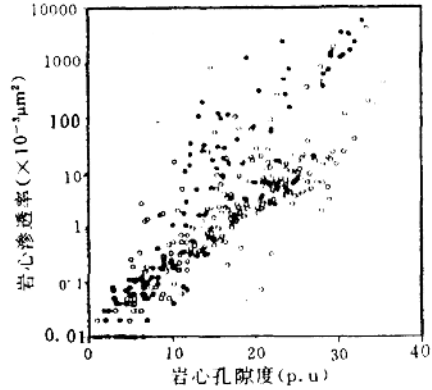


图 14 岩心孔隙度和渗透率数据

空心圆代表测得 $\rho_{\text{基岩}} \leq 2.71 \text{ g/cm}^3$ 的样品, 表示它们的原始组成为方解石, 实心圆代表具较高颗粒密度的样品, 表示存在一定程度的白云石化

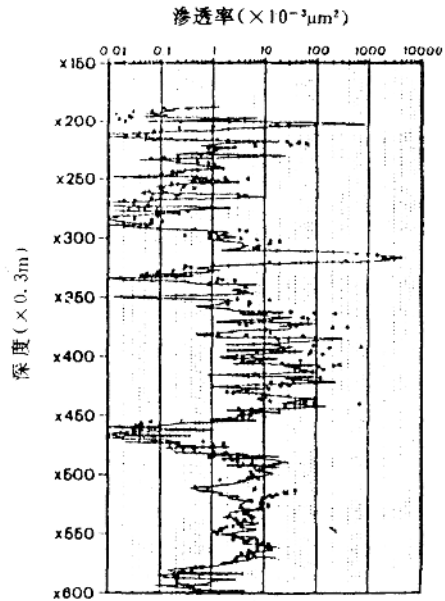


图 15 根据矿物成分和孔隙度测井(线)推导的渗透率与岩心测定数据(点)的对比
岩心数据应用三点几何平均值以使地层非均质性的影响降到最小

在油田的开采期,使用热中子衰减时间测井时,对于连续的已下套管井段饱和度的解释来说, $\Sigma_{\text{氢质}}$ 测井的效果是最好的。

根据修正后的碳酸盐岩模型可以计算出连续的渗透率曲线,该模型是根据先前曾描述过的,用孔隙度和矿物浓度的转换而修改的。经证实,该曲线与岩心渗透率测量值是一致的。曲线清晰地显示了矿物组成与渗透率之间的相关性,并强调了准确测定白云石的重要性。

仅根据一口井的数据不可能证实地球化学测井在井与井测井时所发挥的作用,但是已很清楚地证实了地球化学测井为该井提供了精确的组成及石油物理特性的解释。这里提供的解释都是建立在明确定义和科学有效的原理之上的。作为结论,根据钻井中取得的地球化学数据可以精确地计算矿物和岩石的物理特性。

任效颖 译自《Journal of Petroleum Technology》
Vol. 44, No. 11, 1992

井然 校

原文作者 S. L. Herron, Mario J. C. Petricola,
Roy E. Dove

文摘选登

碳酸盐层序地层、成岩作用及孔隙度预测——Carbonate sequence stratigraphy、diagenesis and porosity prediction, M. E. Tucker,《AAPG Bull.》,1993,77(9)

从相对海面变化及可容空间的角度研究碳酸盐,就能在一定程度上预测沉积体的几何形态及叠置特征和早期成岩过程与孔隙演化。作者指出,潮湿气候下主要海面降落期,原有高水位体系域及海侵体系域的沉积,均遭受淡水淋滤和胶结作用以及层序界面的喀斯特化。孔隙堵塞及增高的这两种情况都可存在。在干燥气候下,回流白云石化很可能极为重要。海侵体系域的相以海水胶结作用为特征,特别是处于迎风一侧的碳酸盐台地,随后埋藏在海水孔隙流体中,不生成成岩作用,直到压实开始或淡水冲刷出现以前。海侵体系域的沉积相具有重要储集潜力,通常在深埋环境下仍保持很高的原生孔隙度。假如由循环海水产生的白云石化为一重要作用,它很可能出现于海侵体系域,其时相对海面升高,推动海洋地下水通过沉积物,如有文石溶解,就能形成极多孔岩石。很多碳酸盐台地由若干亚层序组成,其成岩作用取决于它在层序中所处的位置。在三级海面降落期所沉积的亚层序,通常显示与表面有关的成岩作用(潮上白云石化或喀斯特化)。相对海面变化对层序性质及成岩作用影响很大。

转载自《石油与天然气文摘》9408110

地质与地表地球化学综合方法发现 得克萨斯州康乔县阿加里塔和 布雷迪河油田

摘要 从1987年12月至1991年3月期间,一些操作人员对得克萨斯州康乔县下金(King)层(上宾夕法尼亚系 Cisco)的25个远景区进行了测试。他们综合使用了地下地质、航空气体传感探测(reconnaissance airborne gas sensing)、地表放射性测量、土壤磁化率和土壤气体烃类测量等方法以确定远景区。6个新的金砂层的发现或延伸及3个较深的戈恩(Goen)层的发现,使得勘探成功率达到了36%。对于已查明的可采石油储量,总的勘探和开发费用约为0.67美元/桶。

对于九个获得成功的远景区的每一口见油井的最终位置,主要是根据地下地质和地表地球化学的综合数据来选取的。

例如,我们提供了有关发现布雷迪河与阿加里塔油田的信息。阿加里塔油田是两个最大的新发现的油田中的一个,估计已探明可采储量为600万桶石油。它的发现是基于以下方法的综合利用:1. 区域地下地质投影;2. 航空烃类传感;3. 填隙的土壤气体烃类数据;4. 土壤磁化率测量及5. 使用伽马射线能谱测定的地表钾与铀的浓度。

关键词 地质方法 地表地球化学方法 综合利用

1 引言

20年前,King(1972)说过:“随着未探测的构造远景区数量的减少,特别是在北美和欧洲的陆上地区,对于新的地层油气田的勘查变得越来越迫切,所有近年来的技术进展都必须用于这一重要的研究领域”。Price(1986)在对近地表石油勘探方法的文献进行广泛深刻的评述后,得出结论:“烃类微量渗出的存在是毫无疑问的。同样这个事实也是无疑的,即它能导致清楚地圈绘出烃类矿床的地表踪迹的异常。毫无疑问,地表地球化学勘查可以是而且已经是强有力的石油勘查手段。……地表地球化学勘查真正面临的问题是,对于勘探程度高的美国石油盆地稳定陆架上的地层圈闭和低起伏圈闭中的石油来说,它是否能被作为可行的勘查手段。”

下金砂层的研究是对较成熟的二叠盆地稳定陆架上的地层圈闭石油的一项研究。它强有力地说明了在这类勘查中,地下地质、地表地球化学方法和新的非地震地球物理方法的综合应用在技术上和经济上的可行性。

康乔县位于得克萨斯州中西部米德兰盆地的东部陆架上。分为上、下段的金砂层,在时代上属宾夕法尼亚纪 Cisco。该县第一个下金砂层油田,即斯佩克南部油田(图1),发现于1965年。该油田是太阳石油公司在戈恩层(Goen)即下宾夕法尼亚统碳酸盐储层中钻开发井时发现的,它最终应从深610m的9口井产出200万桶石油。在伊登镇和利弗奥克镇附近的下金砂层,其估计范围示于图1。