

矿场地球物理

第 2 集

燃料化学工业部石油勘探开发规划研究院编

一九七三年七月

毛主席语录

看来发展石油工业,还得革命加拚命。

打破洋框框,走自己工业发展的道路。

在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

目 录

大港油田测井解释气层报告(1)

测井解释油、气层的经验辽河石油勘探局(15)

六电极侧向测井在碳酸盐地层的试验和应用.....
.....四川石油管理局(32)

用深浅三侧向探测油层解释图板的研制和试用.....
.....江汉石油管理局(47)

中子寿命测井试验的某些地质效果长庆油田(77)

大港油田测井解释气层报告

编者按 本文总结了大港油田用中子伽玛测井、声波时差测井，电阻率测井，气测井和井壁取心等资料解释气层的经验，提出了划分气层的初步标准，即：

1. 气层的中子伽玛测井曲线幅度比相邻油层或水层（岩性相同）大一厘米（0.04条件单位）以上；
2. 气层的声波时差曲线比相邻油层或水层（岩性相同）大30微秒以上，或出现周波跳跃现象；
3. 气层的电阻率符合油层标准，即视含油气饱和度在36%以上；
4. 气测读数高于基值0.5%，组份分析甲烷高，重烃很低；
5. 在高阻渗透层部位井壁取心为不含油的白砂子，或微含油。

我国天然气资源非常丰富。在钻探过程中利用测井方法探测气层并解释准确，这是矿场地球物理工作一项重要的任务。本报告供各探区和油矿测井工作者参考。

大港油田天然气资源丰富，从上第三系明化镇组、馆陶组到下第三系东营组、沙河街组广泛分布着天然气层，并获得了工业性气流。

目前，大港油田主要使用声波时差、中子伽玛、电阻率测井、气测以及井壁取心探测气层。通过测井解释与试气资料对比，上第三系的气层在声波时差和中子伽玛测井曲线上有显示者占87%左右，在16口单层试气井中解释符合率为78%，根据测井综合解释，基本上能区分开油层和气层。而下第三系的气层在声波时差和中子伽玛曲线上有显示的仅占16%，解释符合率为12%，因此，分开油层和气层非常困难。

大港油田以往主要任务是拿油，射孔尽量避开气层，单层试气验证测井解释结果的资料极少。因此，目前对气层的认识仅仅是开始。准确区分下第三系油层和气层，已成为大港油田当前测井和解释工作的一项重要任务，应尽快组织力量开展中子寿命测井等新方法找气的试验，合理选择有效的气层测井系列投入生产，提高气层解释的准确程度。

一、地质概况

从北大港断裂带的白水头、唐家河、港东、滨海、港西到南大港断裂带的王徐庄以及羊三木、沧州市等构造，均获得了工业气流。天然气藏与油藏一样，具有多层系，多种储集层类型的特点，有砂岩、生物灰岩储集层，还有老地层中的火山岩储集层。到72年9月止，在上第三系575口井中，测井解释有气层的井达394口，占总井数的68.5%。目

前已有44口井获得工业气流。在下第三系30口井中也获得了工业气流或为高油气比油井。从气层分布深度来看,最浅在628—682米(港西2—10井),最深在4314米—4339米(港新57井)。

港东、港西上第三系气藏分布在明化镇组和馆陶组,它与油藏一样都是属于次生的,表现为油、气、水层频繁交互出现,气层主要发育于构造的顶部或断块的高部。除纯气层外,气层中往往带有一定数量的原油或凝析油,有时也出现水层气顶的情况,造成气水同出。上第三系气层储集层物性好,单层厚度大,但呈透镜体分布、压力低,产量一般在1~2万方/日左右。羊三木油田的气层属馆陶组,分布在构造的顶部,呈气顶状态出现。

下第三系气层由于勘探程度低,目前共有15口气井和15口高油气比井,在王徐庄油田上气层分布在构造的顶部,呈气顶状态出现,产层为沙一下生物灰岩和沙2+3段砂岩。滨海断块、唐家河油田主要储气层为东营组三段和沙一下,气层多分布在构造或断块的高部位,但气藏类型尚不清楚。下第三系气层压力高、产量大、一般产气在5—10万方/日,具有原生气的特点。

综上所述,大港油田构造活动剧烈,断裂非常发育,油、气、水层交互出现,其分布情况尚未弄清,这给测井解释判断气层带来了困难,特别在下第三系,除了东营组的气层在时差和中子伽玛测井曲线上尚有显示外,对于2500米以下沙河街组的气层几乎反映不出来。必须改变测井系列和提高仪器及测井的质量,才能适应下第三系判断气层的需要。

二、运用中子伽玛测井划分气层

中子伽玛曲线主要反映岩层的含氢量。气层比油水层的含氢量低得多,在相同的地质条件下,气层中子伽玛曲线幅度比油、水层高。但是,中子伽玛幅度高低还要受岩性和物性的影响。岩性粗细、埋藏深浅、地质时代不同都会引起储集层孔隙度的变化,也就是含氢量的变化,储集层中泥质含量增多,中子伽玛幅度也要降低。因此岩性越粗、埋藏越深,地质时代越老,泥质含量越少的储集层中子伽玛幅度越高,反之则越低。这种影响在判断气层时必须加以考虑。

1. 仪器和测量时间的影响。我们对上第三系42口产气井作了分析,其中66年以前用盖格计数管记录的有4口井,除1口井略有显示外,其它井均无显示。而采用闪耀晶体放射性测井仪测得的曲线,显示气层明显得多,但测量时间是一个重要的因素。固井七天后测得的曲线有29口井,其中气层显示清楚的有23口井占79.3%,其余6口井没有显示。固井后三天内测得的曲线有9口井,仅有一口井有显示,占11.1%。这是因为大港油田上第三系储集层物性好,孔隙度在28—36%,渗透率在300—3000毫达西,钻井及固井过程中易受泥浆侵入,固井后三天内气层还不能恢复、仪器探测深度又较浅测得的曲线主要是反映侵入带部分的含氢量,因此气层反映不出来。而随着时间的延长气层逐渐得到恢复,七天后气层在曲线上反映就比较清楚。

例如,在港243井作了一次不同时间测量中子伽玛曲线的试验,第一次是在固井后一天测得,相隔七天后作了第二次测井。在气层(23层)处幅度有了明显的增加(图1)。

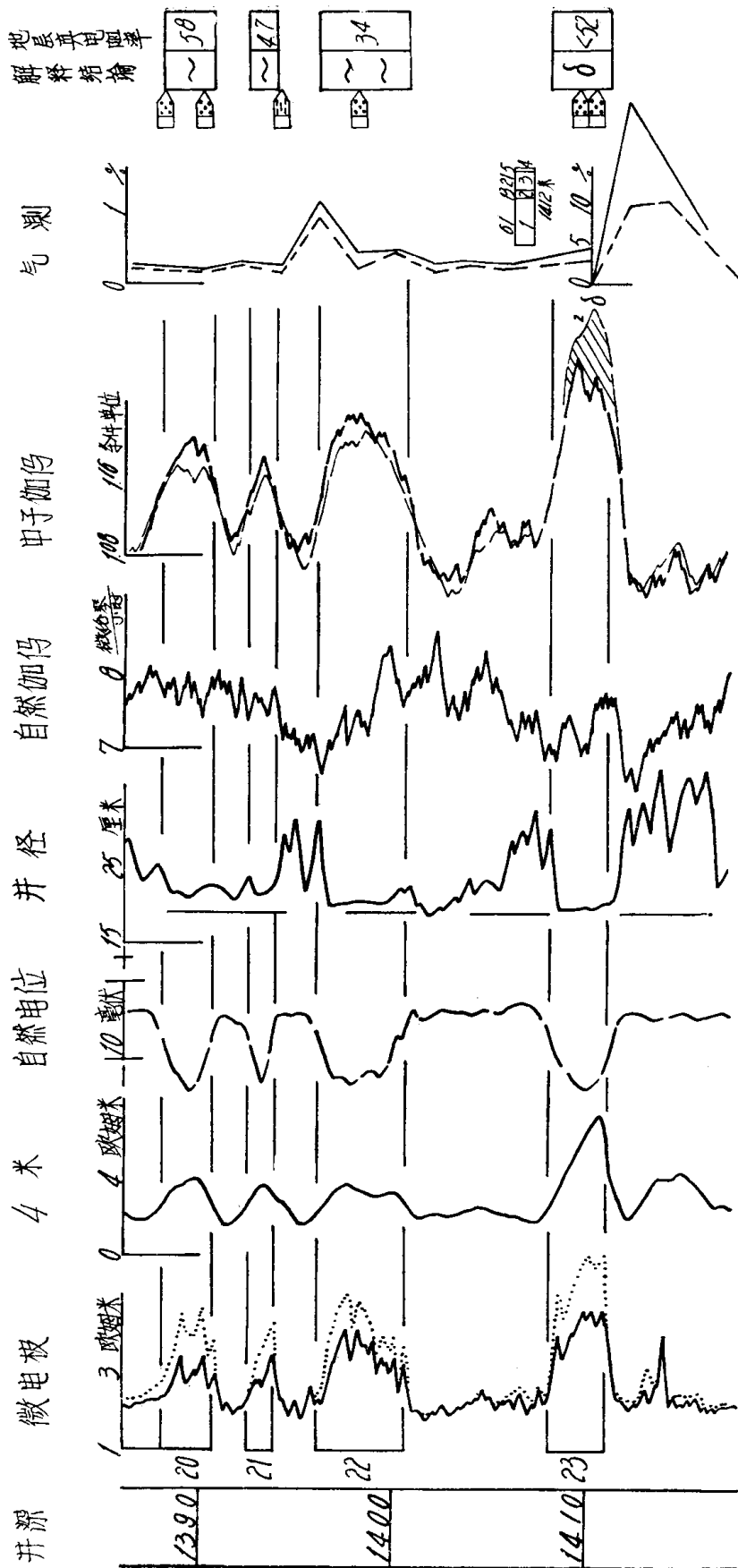
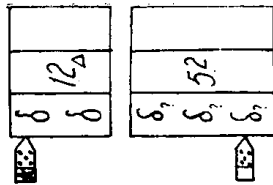
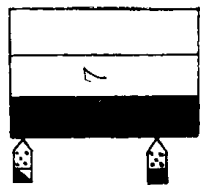


图 1

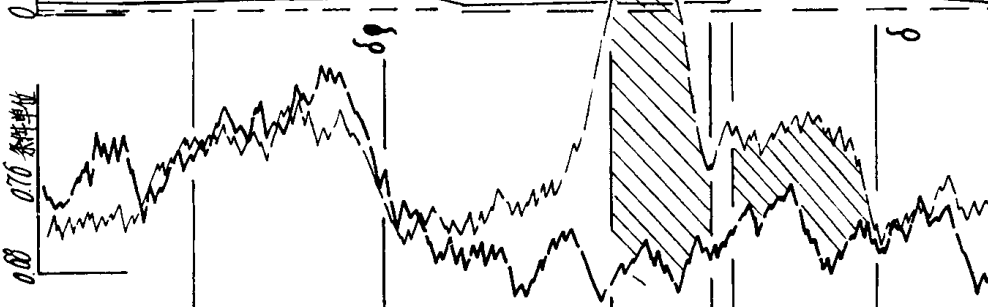
地层电阻率
解释结论



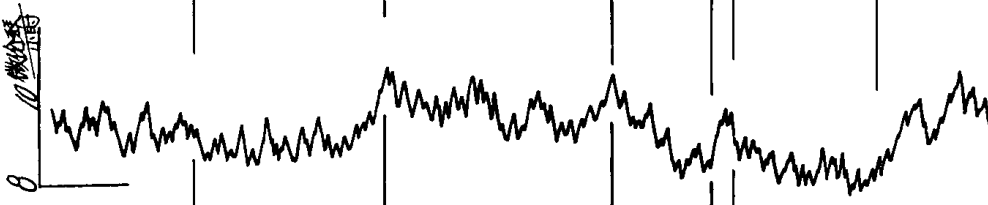
气测



中子伽马



自然伽马



井径



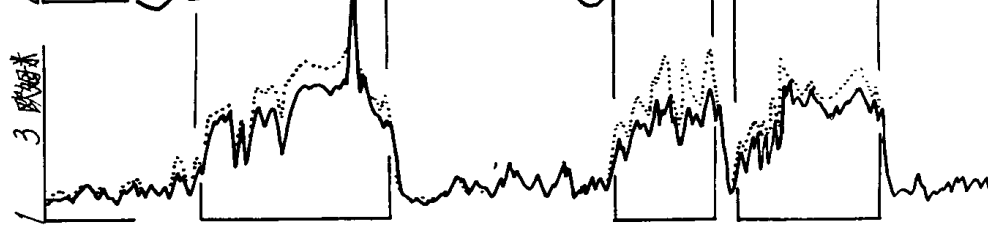
自然电位



4 米



微电极



井深

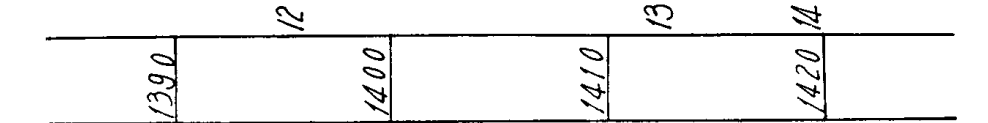
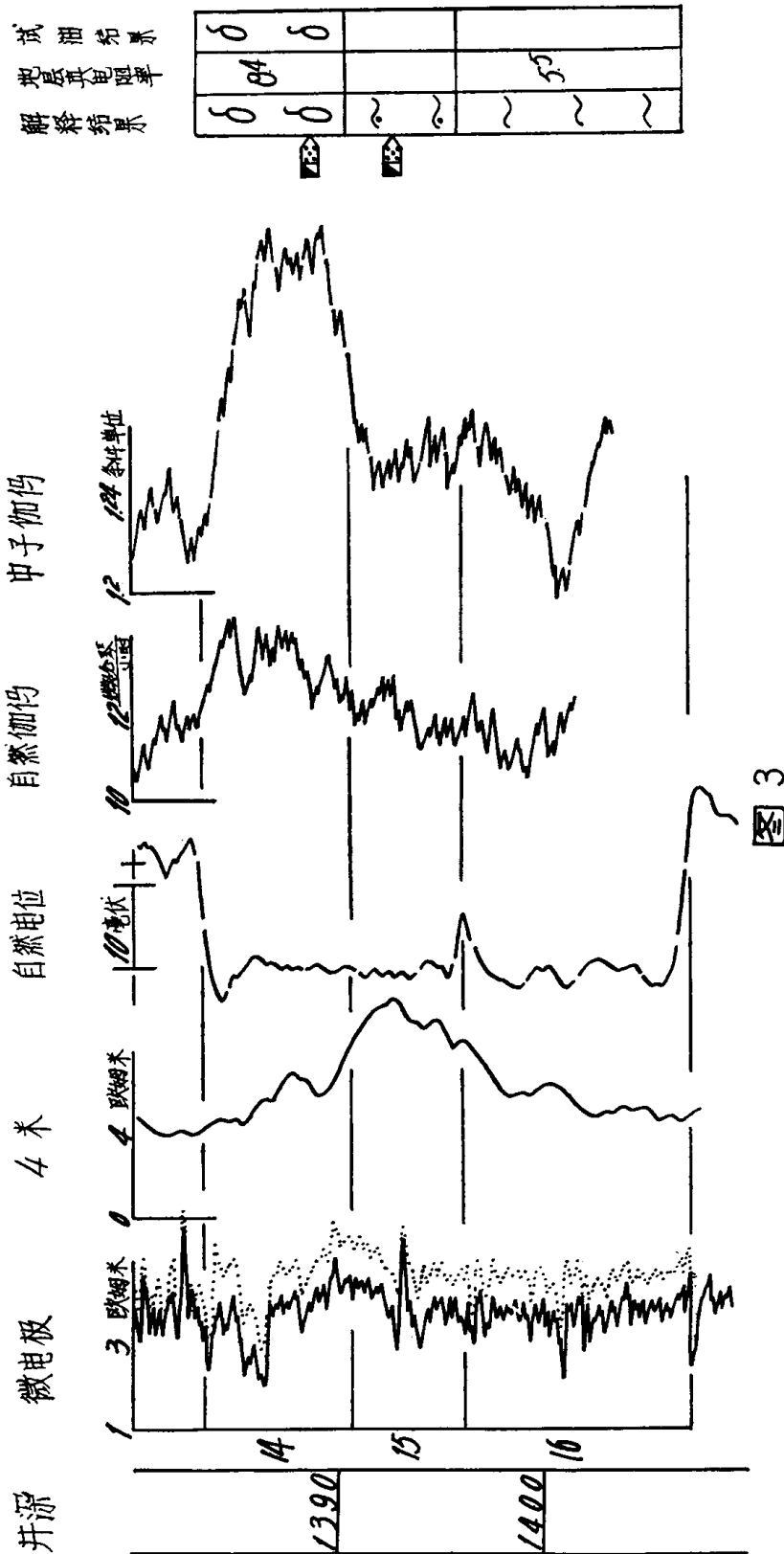
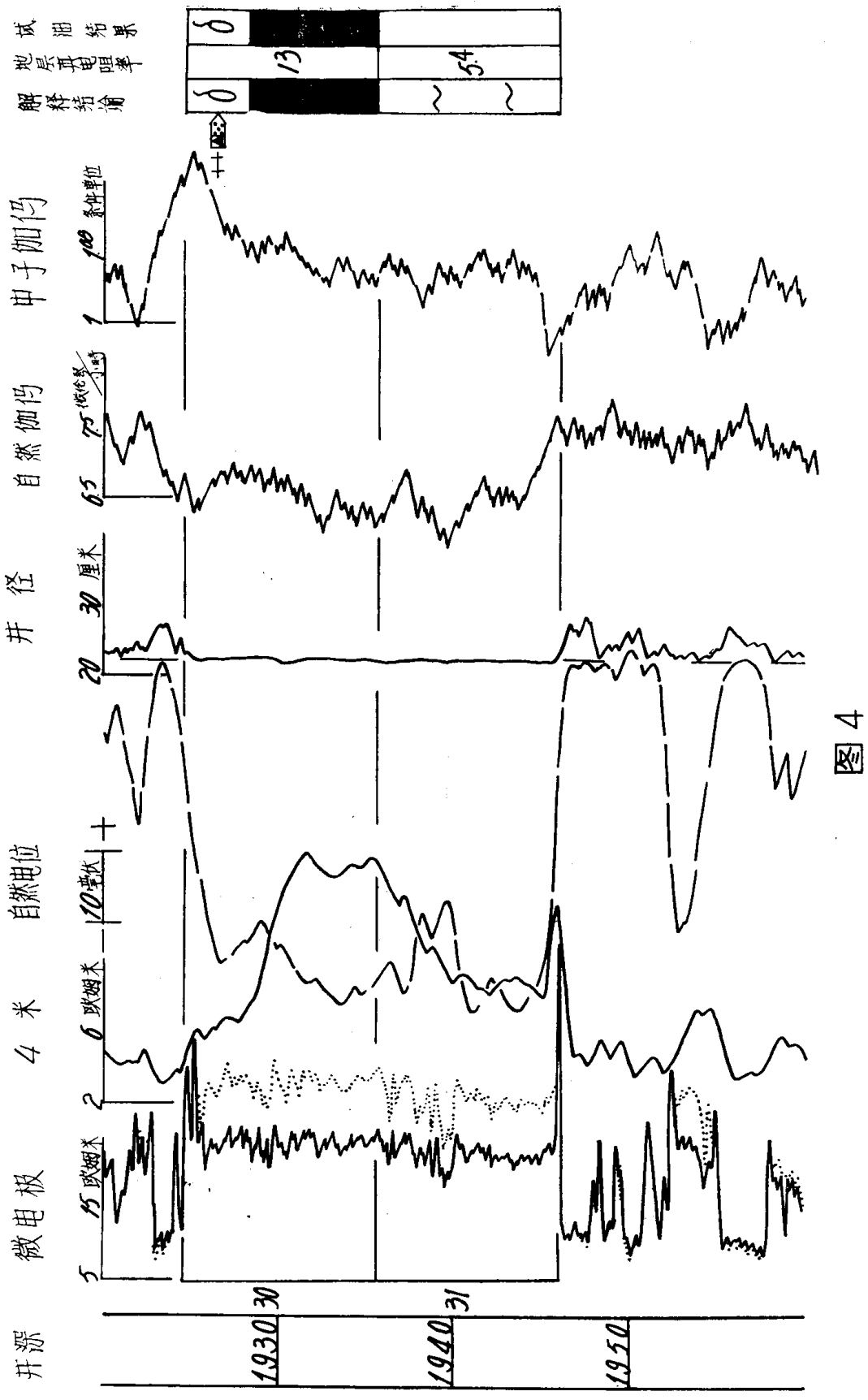


图 2

1. 第一条中子伽马是回井后三天测的。
2. 第二条中子伽马是后一年测的。

图 2 为港224井不同时间测量的中子伽玛曲线，在气层有明显的差异。可以看出，采用在不同时间测井是寻找气层的有效方法之一。





试油结论
地层电阻率
解释结论

δ	6 ² δ
---	------------------

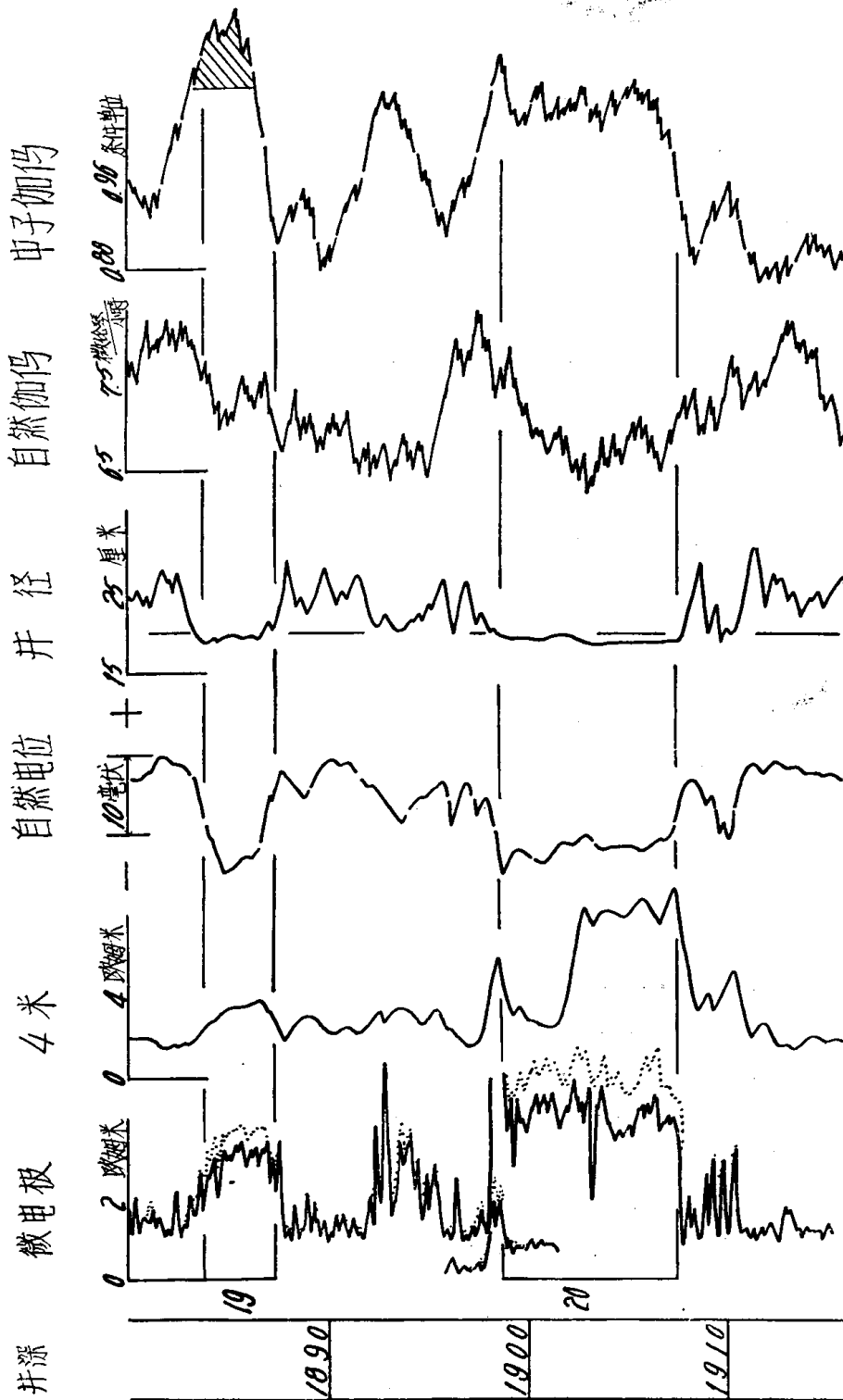
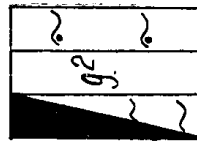


图 5

由此可以得出结论，运用中子伽玛测井找气层，必须使用闪耀晶体放射性测井仪，并在固井七天后测量才有明显的效果。

2. 在孔隙度均匀含泥质少的地层内，用中子伽玛曲线可以划分出油、气界面或气水界面。例如，港126井14—16层（图3）为馆陶组顶部的一层厚砂岩，岩性均匀，根据中子伽玛和电阻曲线判断出气、水界面在1390.6米，射开14层顶部2.6米，8毫米油嘴产气56811方/日，油0.243吨/日。又如：港234井30、31层（图4）为馆陶组的一个厚砂层，根据中子伽玛和电阻曲线判断油水界面在1935.6，油、气界面在1928.2米，在1924.6~1929米射孔，3毫米油嘴产油2.82吨/日，产气10237方/日。

根据中子伽玛幅度高低划分气、液界面必须与岩性变化相区别。例如，港西53—5井原解释在第3层中存在气、水界面，但这很可能是属于岩性变差造成的，希望在今后选取少量的这类岩层试气，以便区分出是岩性变化，还是含油，含水造成岩层底部中子伽玛幅度降低。

3. 对同一层组岩性相同的地层作比较，中子伽玛曲线幅度比相邻油、水层大一厘米（相当0.04条件单位）可以判断为气层。如港11—28井16层比17层大一厘米，17层顶部幅度高是钙质砂岩引起的，16层与17层岩性相同，射开16层，4毫米油嘴产气19457方/日，油0.71吨/日。又如港231井19层（图5）中子伽玛幅度比20层大2厘米，根据微电极，自然伽玛曲线，19层比20层岩性细，含泥多，说明19层中子伽玛幅度高是含气造成的，试油后证明20层为水层，19层为气层。

4. 由于岩性影响使部分气层在中子伽玛曲线上反映不出来。如港西8—12井，8、9两层试油出气，在中子伽玛曲线上无反映。综合各种测井资料分析8、9两层比10层（中子伽玛判断的气层）的岩性细含泥多，含氢量增加，虽然含气，中子伽玛幅度仍很低，难于判断。在港5—14井中的6、15层中也有类似的情况。在港西53—5井中2、4两层也是如此，但第二层可以根据层位关系，岩性影响加以推断为气层。同时2、4两层在声波时差曲线有显示，说明声波时差受岩性影响较小。该井试气后只产气，不含油和水，证明了这一点。

三、运用声波时差测井划分气层

声波时差测得的数值是代表声波在岩层中传播速度的倒数。声波传播速度与介质密度成正比，而组成沉积岩的岩石骨架，其密度可以看作是一个常数，因此地层的声波传播速度主要取决于孔隙度。地层孔隙度大，介质密度小，声波传播速度就慢，而时差则大，所以地层孔隙度与声波时差成正比。这一规律仅对油、水层适用，因为油和水的声波传播速度差别不大。而对气层来说，天然气的密度远小于油、水的密度，因此，在同一地层的条件下，气层的时差要比油、水层大30—50微秒/米；又因气体吸收声波能力较强，往往使初至波不能被第二个接收器接收，而接收到的是续至波，出现“周波跳跃现象，使时差曲线变化剧烈，最大值可达500—600微秒/米。因此气层可以根据以上两个特征来鉴别。裂缝发育的地层也会出现周波跳跃现象。

在上第三系42口出气井中，只有12口井取得了声波时差测井资料，其中11口井气层显示比较清楚，占91.7%，没有显示的只有1口井。可以看出，声波时差测井反映气

试油结论
地层电阻率
解释结论

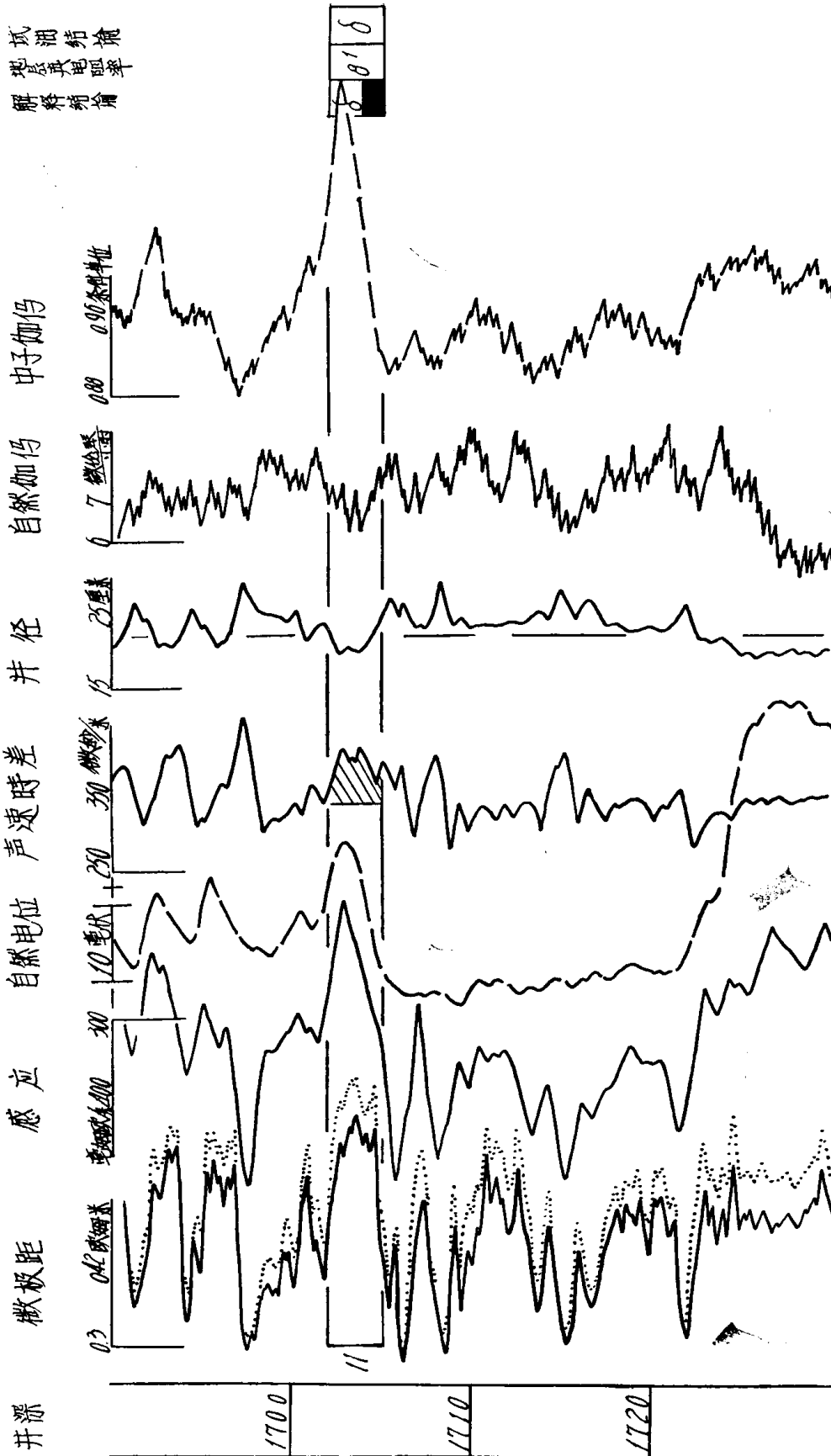


图 6

层能力比中子伽偶测井更强。例如港 2—54 井6、7、8、11四层合试，3毫米油嘴产气19993方/日，中子伽偶曲线只有11层（图6）有显示，而声波时差四层与12层（解释为上油下水）相比，时差都有不同程度的增加，大30—60微秒/米。又如羊10—12井5、6两层合试，3毫米油嘴产气9304方/日，它们比第8层（试油出油）时差大30—70微秒/米，5、6两层底部时差均略有下降，根据试气不产油和水来看，这不可能是油气界面的反映，而可能是岩性影响造成的。气层出现周波跳跃，如港西2—10井第一层上部时差比下部时差增大180微秒/米，这就是周波跳跃的反映，2、3两层时差也略有反映，三层总厚为31.8米，仅射开这三层的顶部共4米产气不含油和水。该井目前暂闭，建议将1、2、3层全部射开，如不出水，就可说明有低电阻气层存在。第一层中子伽偶曲线为全层含气的反映，而时差仅顶部出现周波跳跃，说明不能根据周波跳跃来划分气液界面，而在以往的解释工作中存在着这种现象，希望通过单层试气来检验。

四、用气测划分气层

大港油田用气测井发现油气层效果是比较显著的。根据65口井112层的气测井资料与试油结果对比，气测在油气层有显示的占88.4%。从而证明在钻探过程中气测对发现油气层是一种不可缺少的工具。例如，上第三系的纯气层（港3井）；工业气流井（港232井）；凝析油气层（港219井）；高油气比油气层（港231井）在气测曲线上都有较明显的特征。而对下第三系的纯气层（沧1井）；工业气流井（官3井）；高油气比的油气层（歧3井）气测也都有比较明显的异常。

但必须指出，半自动气测受各种因素的影响，对一些较好的油气层气测异常不明显或无显示。因此可以说明，气测曲线异常的大小并不能表明含油、气层位的性质，同时正由于录取资料测点选择不合理或操作不当，对发现油气层造成许多人为的差错。如歧605井在1948.80—1950.70米这一段仅有1.9米厚的油气层，而气测却用5米一点录取，造成假象。根据统计，油气层气测无显示者仍占11.6%，这主要是由于半自动气测仪不能连续测量造成的，其中也可能与油气层的流体性质有关。而使用连续记录的气测仪就弥补了这个缺点。如沧1井用自动记录气测仪发现了一个薄气层，如果用半自动气测仪记录这个薄气层，因钻速高，显示时间短，就有可能被漏掉。

用催化燃烧录取全烃重烃，并进行简易气分析，录取甲烷、重烃、非烃来判断油层和气层具有一定的效果。但由于仪器本身精度低以及操作上的不当，对分清油层和气层是有困难的。

色谱气测仪的应用为找气开辟了新的途径。从油气藏的生成及油气的运移规律来看，利用烃类组份查明油气藏及分开油层和气层是一种比较有效的方法。典型气体组份曲线图是根据31口井46层的化验室分析结果统计归纳出上、下第三系纯气层、高油气比油气层，凝析油气层、工业气流油气层四种类型的天然气组份特征曲线。从中不难看出，各种类型的气层气体组份是有差异的。利用上述特征作出大港油田下第三系气体组份比值分析图，纵坐标是 C_1/C ，横坐标是 C_2/C （ C 重为 $C_2 + C_3 + C_4$ ）。从图中看出 C_1/C 重值按纯气层→含水气层→油气层→含油水层顺序渐减。凝析油气层在油层的右上部。从图上分布规律可以划分油气产状，其数值在以下的范围内变化。

C ₁ /C _重	C ₂ /C _重
纯气层 >35	0.55—0.85
凝析油气层 5.5—8	0.55—0.70
含气水层 14—35	0.5—0.8
油层 2—9.5	0.3—0.70
含油水层 <2。	

这个图板是根据92层的化验室气分析结果绘制的，它表明不同类型的油气层的气体组份具有不同的差异，而且遵循一定的变化规律，从而为色谱气测分析应用于区分油层和气层提供了依据。大港油田利用色谱气测仪测了两口井，证明了室内的化验气分析与现场色谱气测的气体组份变化规律基本一致。港333井用色谱气测仪分析气体异常说明，用色谱气测仪分析气体组份能够划分出油气层。但目前由于现场资料较少，室内化验的结果应用到现场还有很大的距离。今后应当大力发展和推广使用色谱气测仪，这是用气测井找气的一个发展方向。

五、划分上第三系气层的初步标准

通过对上第三系42口气井52层试气资料作了逐层的分析，得出了划分上第三系气层的初步标准如下：

1. 气层的中子伽玛曲线幅度比相邻油层或水层（岩性相同）大一厘米（0.04条件单位）以上；
2. 气层的声波时差曲线比相邻油层或水层（岩性相同）大30微秒以上，或出现周波跳跃现象；
3. 气层的电阻率符合油层标准，即视含油气饱和度在36%以上；
4. 气测读数高于基值0.5%，组份分析甲烷高，重烃很低；
5. 在高阻渗透层部位井壁取心为不含油之白砂子，或微含油。

要注意综合分析，特别是用声波时差与中子伽玛测井组合划分气层时，要综合分析自然伽玛、微电极、自然电位，判断含泥量、岩性粗细的影响；有时还需考虑层位上的关系。为了避免漏掉气层，对气测、井壁取心、地质录井有气层显示者，应通过综合分析加以判断。必要时用单层试气加以验证。

六、对下第三系气层测井资料的分析

我们根据划分上第三系气层的初步标准，对下第三系15口产气井和15口高油气比井作了分析，可以看出以下几点：

1. 一部分气层在中子伽玛和声波时差曲线上有显示，特征与上第三系气层类似。如港76井，13层顶部中子伽玛和时差都明显增大，结合电阻曲线应判断为水层气顶，射开其顶部2米，4毫米油嘴产气14000~5000方/日，产水8.17方/日，为气水同层，得到了证实。

2. 大部分气层中子伽玛和声波时差显示不明显或无显示。如港306井，8、9两层合试，4毫米油嘴产气57385方/日，只有第8层顶部中子伽玛幅度略有增加，其余在时差和中子伽玛曲线上均无显示。

3. 岩性致密的产气层用中子伽玛曲线难于判断。如港17井39层单试,用4毫米的油嘴产气17583方/日,油12.5吨/日,水1.6方/日。根据微电极,电阻曲线判断岩性致密。因此虽然中子伽玛幅度很高,也难于判断为气层,但该层在气测曲线上有显示。

4. 含泥多、岩性差的产气层在中子伽玛曲线上无反映。如港64井在2365—2368米,射孔3毫米油嘴产气11836方/日,油0.47吨/日。该层因电阻低,中子伽玛无显示而未解释,实际上是岩性差的气层,该层气测、井壁取心和录井资料均显示为油层。

5. 生物灰岩气层在中子伽玛曲线上无反映。如歧609井的1、2两层和歧605井的第1层都是生物灰岩,中子伽玛曲线无显示,射孔后出气。

因此,下第三系气层在测井曲线上无显示占84%,经分析,初步认为有以下几点原因:

1. 沙河街组地层深度大于2500米,在中子伽玛和声波时差曲线上无显示,可能是由于孔隙度减小或泥浆侵入较深造成的。但有个别井声波时差和中子伽玛测井质量不好。

2. 下第三系地层岩性复杂,有岩性致密的气层,有含泥多岩性差的低电阻气层,还有生物灰岩气层等,对付这些岩性复杂的气层仅用中子伽玛测井和声波时差测井,不可能取得较为满意的结果。必须开展新方法找气试验,完善找气测井系列。

七、为提高找气准确性,当前可以采取的改进措施

1. 建议采用中子伽玛测井与声波时差测井组合,求出视地层孔隙度判断气层。对于充满液体的地层,中子伽玛幅度和声波时差读数都能反映出地层孔隙度。对于气层,则中子伽玛幅度因含氢量减小视孔隙度降低,而用声波时差求得的视孔隙度偏大。利用这一原理有可能划分出气层。为此要求提高时差测井的质量,达到10微秒/米的精确度;中子伽玛测井应在固井七天后测量。

2. 在找气的重点井中进行不同时间的中子伽玛测井。第一次测井在固井一天后进行,隔一段时间再作第二次测井,气层第二次读数比第一次会有明显增加,而泥岩、油层、水层两次曲线几乎重合。已经有了两口井的试验曲线,取得了比较好的效果。

3. 开展自然声波和井温找气层的试验。四川在碳酸盐地层用自然声波和井温测量找气层有些效果,本区也有生物灰岩等特殊岩性,可以开展这项试验。

4. 微极距在判断岩性,特别在下第三系地层中划分渗透层的效果不如微电极好,考虑到划分气层需要确定渗透层和判断岩性,因此建议应尽快用微电极代替微极距测井。

5. 与地质结合,通过对比摸清断块或构造内的油、气、水分布,结合试气资料,找出油、气界面和气、水界面,指导生产井中的气层解释。对于下第三系气层在目前测井方法没有过关的情况下,更有必要进行这一工作。

6. 在钻探气井的过程中应合理选择泥浆比重,加强地质录井和气测录井工作,在现有条件下取全取准各项资料。对有意义的层位取适当数量的井壁取心。

7. 选择一些井进行单层试气,提高对气层的认识。以往大段合试的资料比较多,有的井油气层同时射开,测井解释结论得不到验证。为了弄清气层在测井资料上的变化规律,应当加强单层试气。对一些声波时差测井曲线有显示而中子伽玛曲线无显示含泥

重的低电阻气层，应进行单层试气。本区可能有低阻气层存在，因为气比油活跃，在岩性很差的条件下，既能储气、也能产气。如果得到证实，这对扩大天然气储量具有重要意义。

对于一些上部有气层的低产油井，可以考虑上返试气、采气。例如港东7—26井在目前采油层位上部还有6个气层，总厚度30米，类似这种情况的井建议转为气井生产。

在个别暂闭气井中，可以考虑下封隔器分试，落实油、气层。例如港东6—71井9、10、11三层合试，3毫米油嘴产少量凝析油，11545方/日气。测井解释第9层为气层，10、11层为油层，建议下封隔器分试落实油、气层。

个别已产水又无采油层位的井建议试气、采气。例如港东5—62井，目前生产层位出水，而在井的下部有较多的气层，建议钻开水泥塞，射井下部气层，下封隔器采气。

八、进一步完善探测气层的测井系列

1. 中子寿命测井。目前国外已广泛用于划分油、气、水层，定量计算含油气饱和度。特别是它能在下套管的井中找出油水或油气接触面。国内在江汉油田和长庆油田也开展了中子寿命测井划分油、水层的试验。

中子寿命测井是测量热中子在地层中的寿命。它利用下井仪器中的脉冲中子源（中子发生器）以400次/秒向地层发射14.1百万电子伏特的快中子，脉冲宽度为50微秒，脉冲间隔为2500微秒。每发射一次中子脉冲后，快中子和岩石中的原子核多次碰撞而减速为热中子，下井仪器中的探头记录的是原子核吸收或俘获热中子时发出的俘获伽玛射线，它反映了地层内的热中子密度。中子脉冲发出后，经过一段延迟时间在两个不同时间间隔内（通常为250—300微秒）记录地层的热中子密度，这段延迟时间可以使井眼影响消失。设 N_0 为中子脉冲发出后经 t_0 延迟时间的中子密度，则中子密度 N 按下式衰减

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中 τ 为中子寿命， t 为中子的衰减时间。

中子寿命 τ 与岩石的宏观俘获截面 Σ 有关，即 $\tau = \frac{4.55}{\Sigma}$ 相当于单位体积地层中各个原子核的俘获截面之总和。因此

$$\Sigma = \phi \Sigma_p + (1 - \phi) \Sigma_{ma}$$

式中 Σ_p 、 Σ_{ma} 分别为流体和岩石骨架的俘获截面， ϕ 为孔隙度，当岩石中含有油或气时

$$\Sigma_p = S_w \Sigma_w + (1 - S_w) \Sigma_{hr}$$

式中 Σ_w 、 Σ_{hr} 分别为地层水和油气的俘获截面， S_w 为含水饱和度。

在高矿化度地区（含盐量大于50克/公升），由于水层中含氯量大于油、气层，而氯元素俘获截面比常见元素大一百倍以上，因此利用它作指示元素，根据油、气、水层中的含氯量的不同而引起 Σ 值的变化来区分油、气层和水层。在低矿化度地区（含盐量小于10克/公升），氯含量少，对 Σ 值影响最大的是氢元素。由于气层的含氢量比油层少得多，因此利用氢作指示元素就可以用 Σ 值的不同来区分气层和油层。

假设在井深3000米，地层温度为120°C，地层压力为300大气压的条件下，当纯砂岩