

SPWLA Logging Symposium Transactions

测井分析家协会

第二十七、二十八届年会论文集

测井分析家协会 编

石油工业出版社

测井分析家协会 第二十七、二十八届年会论文集

测井分析家协会 编

王曰才 等译

石 油 工 业 出 版 社

目 录

一、岩石物理勘探：按矿化度和泥岩电导率差别判断储集层分离(27D)	(1)
二、用介电常数确定含水饱和度模型 (27E)	(15)
三、声波地层因素概念：由声波传播时间资料更精确地确定孔隙度 (27G)	(26)
四、高数据传输率的光纤测井电缆 (27H)	(35)
五、套管井测井展望 (27K)	(43)
六、低放射性伽马能谱刻度装置 (27N)	(55)
七、根据导电的岩石骨架模型 (CRMM) 确定地层因素、电阻率指数及有关公式 (27P)	(66)
八、温度测井在多相流中的重要性 (27R)	(76)
九、使地球科学结一体化 (27S)	(84)
十、通用饱和度方程的一种数学比较 (27T)	(92)
十一、利用岩石特性数据改善测井曲线解释 (27V)	(106)
十二、用微电子扫描阵列进行地层映像 (27BB)	(121)
十三、一种研究和应用多重地层评价模型的相干结构 (27DD)	(133)
十四、一种评价水泥胶结的声波技术 (27GG)	(146)
十五、裸眼井核测井——科技发展动态 (27MM)	(156)
十六、测井曲线相关对比的人工智能方法 (27WW)	(168)
十七、浅谈全波声波测井 (27 AAA)	(180)
十八、一种用于水平井地层评价和钻井控制的新仪器——随钻 (MWD) 定向聚焦伽马射线仪 (28A)	(195)
十九、用可靠的核磁测井求有效孔隙度和残余油饱和度的例子 (28C)	(203)
二十、用数字感应电导率测值求解 R_i (28D)	(227)
二十一、高分辨率感应测井仪介绍 (28E)	(240)
二十二、一种新的微电阻率测井装置 (28I)	(248)
二十三、利用EPT-G轴向辐射天线系统提高饱和度的精度 (28K)	(261)
二十四、用于矿化度变化区域的简化介电测井解释法——电阻率与相移角交会法 (28L)	(278)
二十五、提高双探测器伽马-伽马密度测井纵向分辨率的方法 (28M)	(297)
二十六、一种交互性统计分类系统在高分辨倾角曲线分析中的应用 (28O)	(313)
二十七、双脉冲热中子衰减时间的数据处理及实例 (28U)	(328)
二十八、用多种放射性示踪剂对伽马射线能谱仪的井眼和地层灵敏度的刻度和分析 (28V)	(345)
二十九、改进脉冲中子伽马射线能谱的解释方法 (28Y)	(363)
三十、用地层压力资料确定地下岩石的湿润性 (28Z)	(379)
三十一、对孔隙及颗粒几何模型的评价 (28 AA)	(390)
三十二、使测井孔隙度与岩心孔隙度符合的一种方法 (28DD)	(400)
三十三、平均毛细管渗透率资料对油田研究中测井分析的补充 (28EE)	(414)
三十四、在泥质砂岩评价中薄膜电位测量的作用 (28GG)	(425)

三十五、用地层倾角资料提高地震构造解释的精度 (28II)	(436)
三十六、六臂倾角测量仪在倾角解释中开辟的新观点和新天地 (28JJ)	(440)
三十七、用常规声波波形指示渗透率 (28MM)	(456)
三十八、用声波全波列确定渗透率的现场实例 (28NN)	(467)
三十九、饱和孔隙地层中的横波测井 (28OO)	(478)
四十、用定向环形声波测井评价垂直裂缝性油气藏 (28QQ)	(490)
四十一、一些测井曲线的反褶积效率分析 (28WW)	(501)

一、岩石物理勘探：按矿化度和泥岩 电导率差别判断储集层分离(27D)

Willam H. Lang, Jr.

刘银斌 译 朱德怀 校

摘要 用常规的地质学和地球物理学方法通常不能显示出储集层是不连续的。这主要是因为缺乏对照或缺乏数据分辨力。当这种情况出现时，勘探学家将觉察不出一个或多个含油气单元。然而，选取有效的资料并应用基于岩石物理参数的方法有可能论证存在储集层分离。

1959年Jones提出矿化度圈闭作为一种勘探技术并在落基山脉地区使用。雨水渗入露头与原生地层水混合，圈闭条件保护了原生地层水而导致高矿化度异常，有时也阻止碳氢化合物的聚集。然而，在许多盆地，没有露头的地层水矿化度也有显著差异。矿化度的差异明确地说明储集层分离。

来自不同源的泥岩可能有不同的粘土矿物成分，不同的矿物成分有时以不同的泥岩电导率显示在测井曲线上。如果看上去相关的砂岩层被不同电导率的泥岩包围，则说明在砂岩之间存在储集层分离。有辨别力的岩石物理参数能让勘探学家在常规方法失效的地方证明有储集层分离和指出潜在的含油气圈闭。

引 言

除非碰运气，常规的勘探方法是不能发现隐蔽圈闭的。在美国，随着大多数大陆架盆地的勘探阶段日益成熟，寻找有希望的勘探区域越来越难，其区域也越小。有希望的勘探区域的确定取决于常规由地质学和地震记录技术（带有最必要的地震仪）解释的构造、地层，或构造（或地层）圈闭的论证。如果行业没有开发其它技术来勘探表面上不由构造和地层学检查的圈闭，那么，在成熟的勘探地区，勘探要么停止，要么由使用较少科学方法的小企业家来经营。

成熟的勘探地区给勘探岩石物理学家提供了丰富的在勘探中使用的测井资料。本文论述的两种岩石物理方法将有助于确定储集层分离。例如，在构造或地层学看上去相关的储集层是分离的。第一种方法涉及能被确定的矿化度差异；第二种方法涉及泥岩的电导率不同指示不同的沉积源和在泥岩体内缺少邻近的储层。

储集层分离的概念

就性质上来说，由于考虑的分层是隐蔽的，所以，不能发现任何可识别的地质或地球物理遮挡层。在所研究盆地的沉积剖面内，沿周界没有露头。图1是盆地内两口井的测井曲线段，在每口井内给出了可能相同的砂体。地层水矿化度以每百万氯化钠分开给出。矿化度的差别是12000ppm对6000ppm。

矿化度

在50年代末, Jones (1959) 发表了一篇关于落基山脉盆地矿化度圈闭的论文, 在落基山脉盆地许多储集岩沿盆地周界露头, 雨水渗进储集岩而逐步侵入储集层而向盆地中心运动。指示同地层水混合向盆地中心增大的矿化度能被勘测到。高矿化度异常指示一个圈闭的存在和碳氢化合物聚集的可能性。

在某些盆地, 储集盆地的广大区域沿盆地周界没有露头, 或仅在远离有意义区域有较少露头。在这种情况下, 可推测地层水的矿化度或所有的化学成分是完全不变的。这种情况有时出现, 但是常常在地层学上观察相似的地层而地层水有明显的差别。这种显著差别如果存在, 则为勘探岩石物理学家提供了勘探潜在圈闭的手段。

对于图 1 有几种可能性存在。可能性一示于图 2 —— 相同的砂体尖灭和未聚合。可能

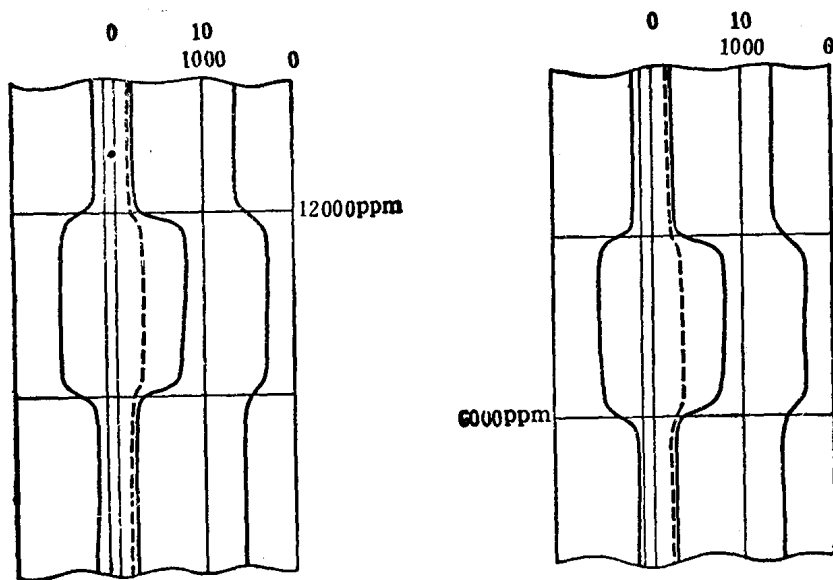


图 1 看上去相关, 但地层水矿化度不同的砂体

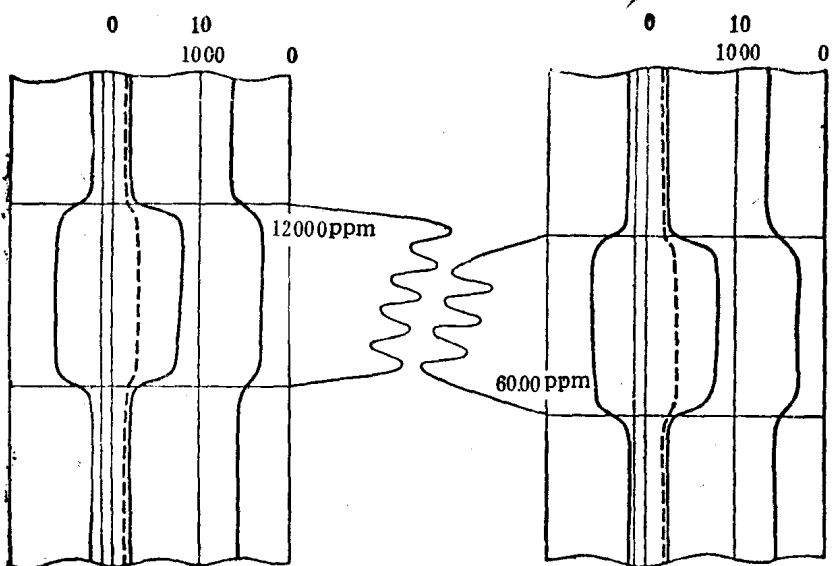


图 2 相同的砂体尖灭和未聚合

性二是断层分离（图3）。地震上可能看不到比较小的闭合断层，因为它可能超出地震仪器的分辨率范围，特别是在深度上。如果勘探岩石物理学家能确定两口井测井资料上矿化度有差别，则至少可以指出一个一维的圈闭或圈闭确实存在。

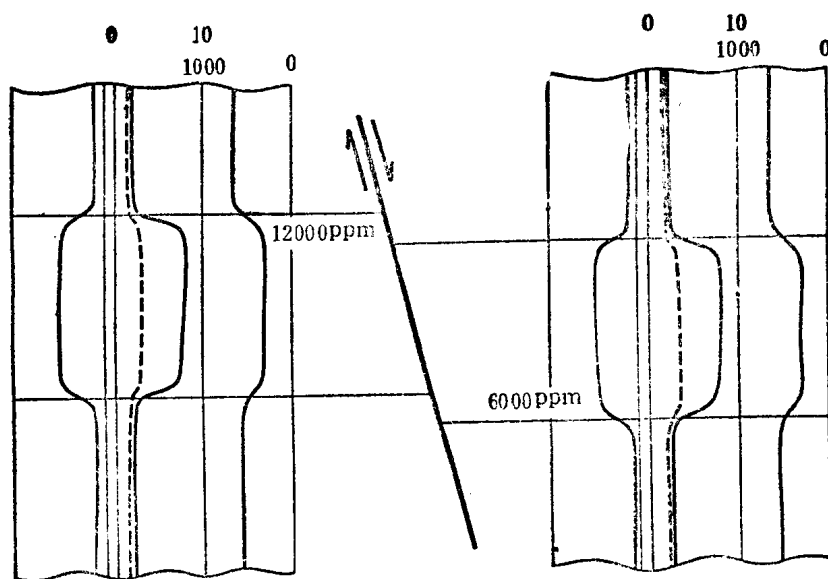


图3 相关的砂体被断层分离

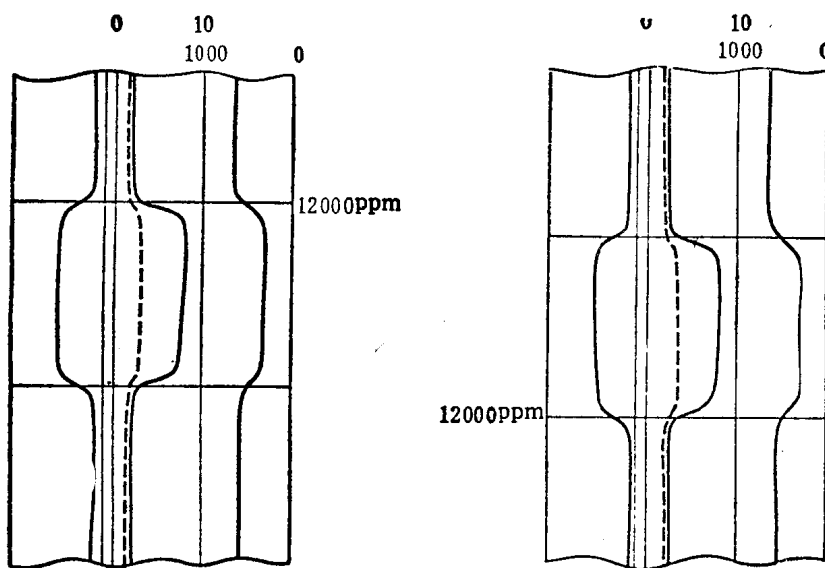


图4 看去相关且地层水矿化度相同的砂体

两口井具有相同的地层水矿化度这种情况可能出现（图4）。人们倾向于期望砂岩是相同的，在图5中两口井的确联结在一起。然而，它也可能是如图2出现的砂岩的确尖灭了（图6）或图3出现的存在断层分离（图7）。在这种情况下，如果储集层分离的确存在，勘探地球物理学家将不可能确定分离。

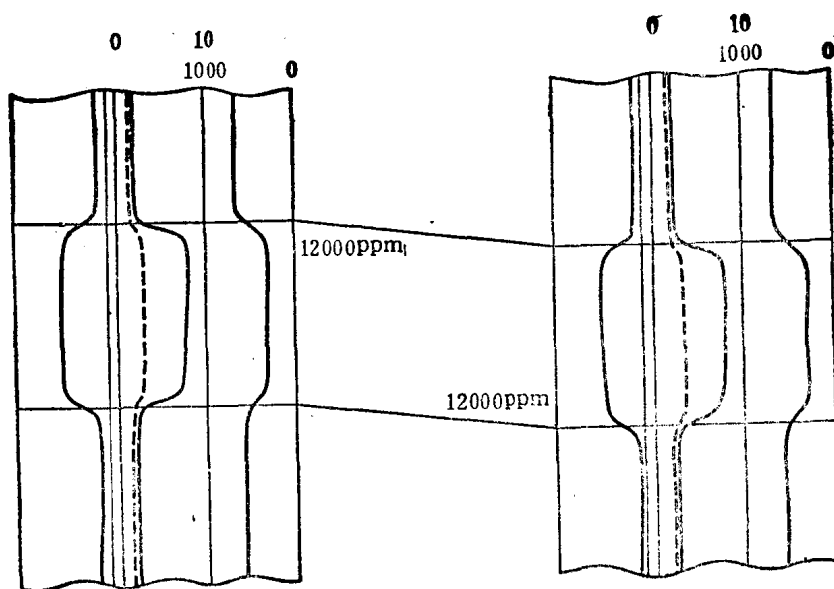


图 5 砂是相关的

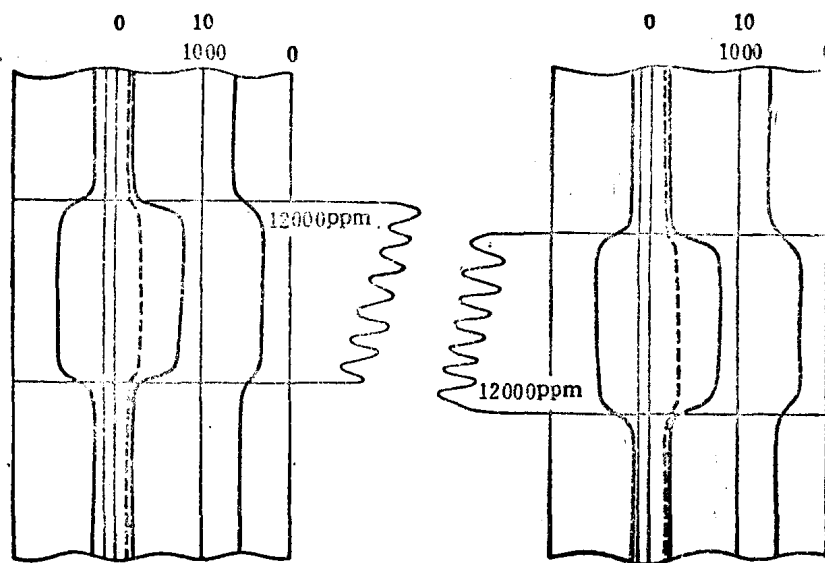


图 6 相同的砂岩尖灭而不能联结但矿化度相同

粘土矿物

上面最后的例子中有一个例外是非常重要的，图 8 给出具有相同地层水矿化度的两个砂层，两个砂层的自然电位和电阻率是相同的，但将看到封闭泥岩的导电性是相当不同的。如果相同的砂岩在相同的深度和温度（或多或少）已有相同的埋藏历史，且周围的泥岩来自相同的源，则应有相同的粘土矿物成分，Patchett(1975)指出：“泥岩的导电性主要与以下因素有关：①泥岩的阳离子交换能力和粘土矿物的分布；②地层的温度。”所以泥岩的导电性差别说明泥岩是不相同的，如果有相同的地质环境，则可判断它们来自不同的沉积源，包围在泥岩中的砂岩事实上是相互分离的，如图 9 所示。

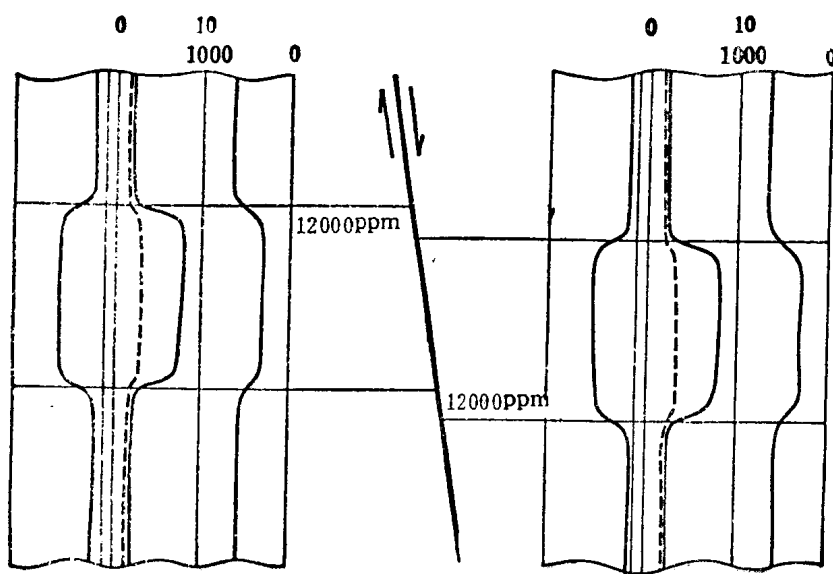


图 7 矿化度相同的相关砂岩被断层分离

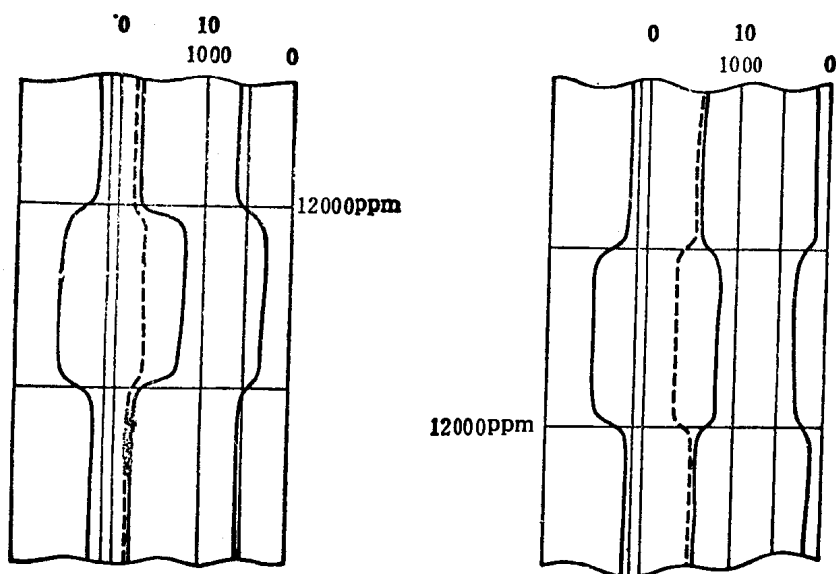


图 8 看上去相关且有相同地层水矿化度的砂体被不同电导率的泥岩包围

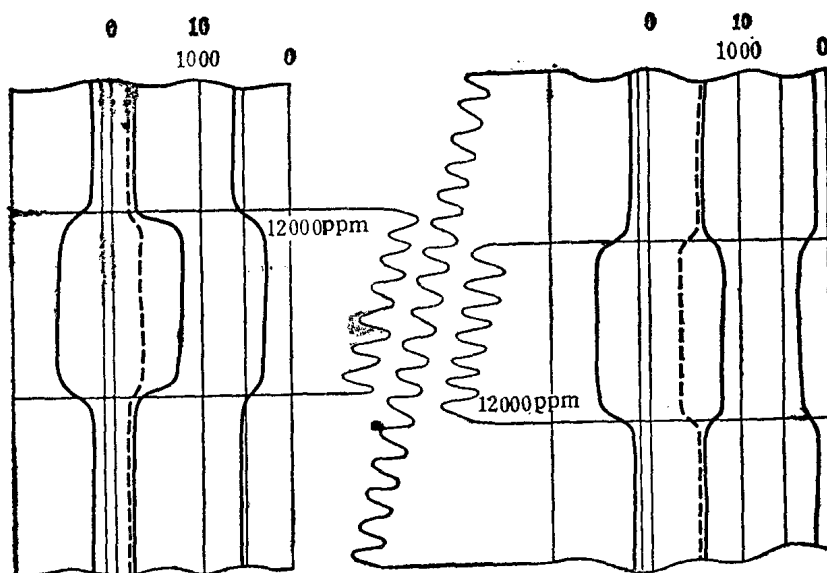


图 9 不同的泥岩电导率推断泥岩沉积来自不同的源和分离砂体

勘探应用

Sacramento谷地——加利福尼亚产气地区——有意义的勘探地区（图10）。圈闭势必



图 10 Sacramento谷地的中心和南部地区

是隐蔽的，地震勘探已是一个成功的勘探工具。特别是当一个圈闭的成分能论证时，气体的存在在地震剖面上产生某种异常，它能指示气体存在。异常有时由“水流”导致——在水中饱和较少气体，砾岩和其它现象产生的。

在Sacramento谷地，对隐蔽圈闭没做系统的研究。如果考虑一个相当狭窄的地层窗，某些与勘探有联系的非常特别的线索将变得明显。将被考虑的层段是Goudkouf (1954) 的D-2和E带。图11给出上白垩统地层，在E带Winters砂岩是一个重要的产气单元。在加利福尼亚油气地区公布的“加利福尼亚油气田：TR10 (1981) 中”30个Winters砂岩气田被记录在图12上，这30个砂岩气田

积累的关于地层水矿化度信息对12个油田有价值。

图13给出通过记录的矿化度来确定油田位置。可以看出矿化度的分布是相当极端的。从Fairfield Knoll地区的840ppm氯化钠到Union Island油田的39900ppm。显然，矿化度的分布将给勘探岩石学家提供勘探Winters砂岩气、D-2和E带中其它砂岩气及整个地质柱状图其它带的砂岩气一个有用的工具。Garcia (1981) 指出：在海洋环境，沉积来自东方的源，作为上超倾斜系沉积下来。可以相信，砂岩沉积环境主要是海底扇。

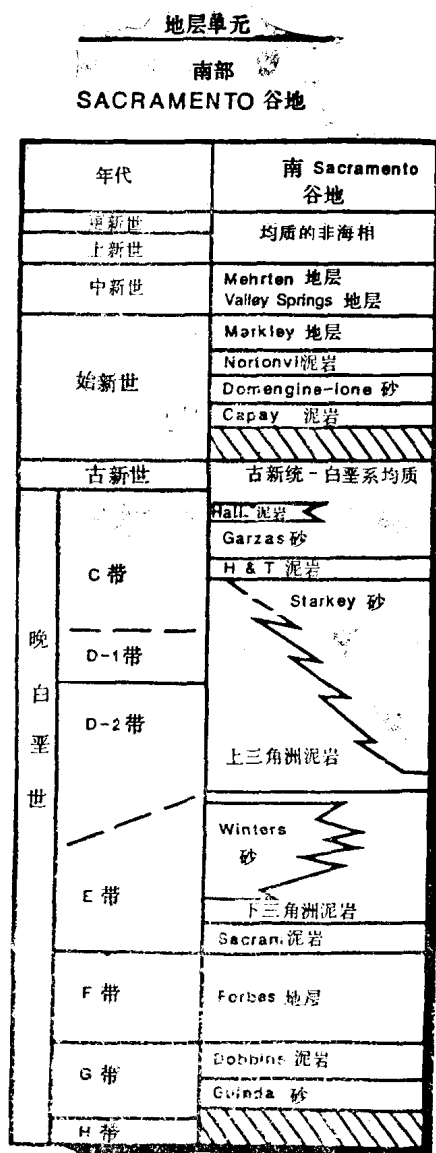


图 11 Sacramento 谷地南部的地层单元

图14是使用研究区域五口井的电导率，深度曲线本来是由Lang解释的一口井的泥岩电导率剖面。泥岩电导率是一个极好的对比工具。绘于图14的泥岩对比曲线取决于D-2白垩纪泥岩的顶部的高电导率泥岩。另一个相关的泥岩是位于E带底部的Sacramento泥岩。这个泥岩类似于D-2泥岩，二者都有超过700mΩ的电导率。

在D-2和Sacramento泥岩的高电导率（在井2没有侵入）提供了五口井的最好对比。

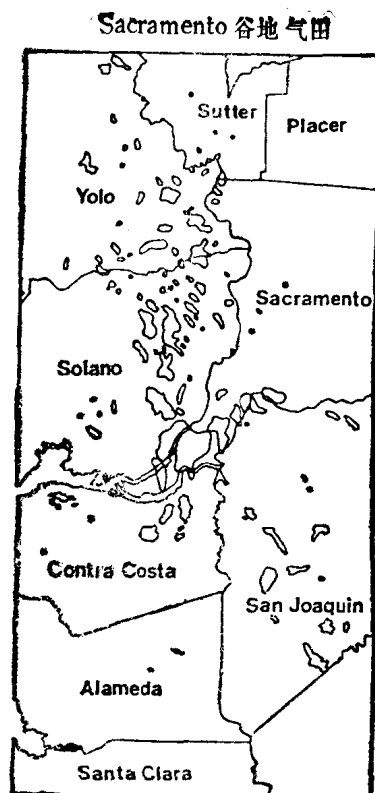


图 12 研究区域内的气田

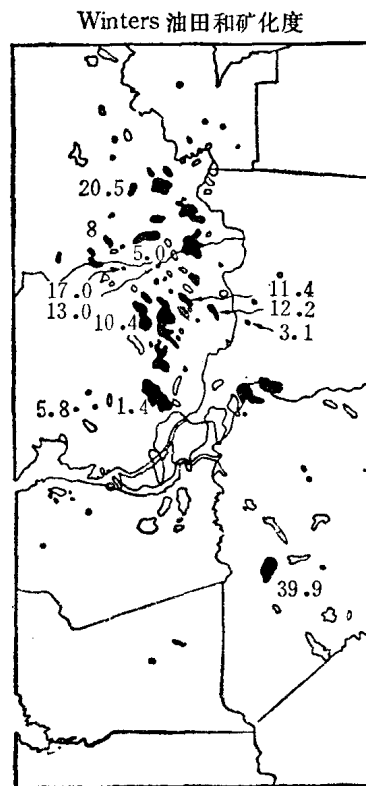


图 13 具有有价值矿化度 (ppm × 1000) 资料的Winters砂岩(变深)生产田

使用泥岩电导率曲线确定地层剖面

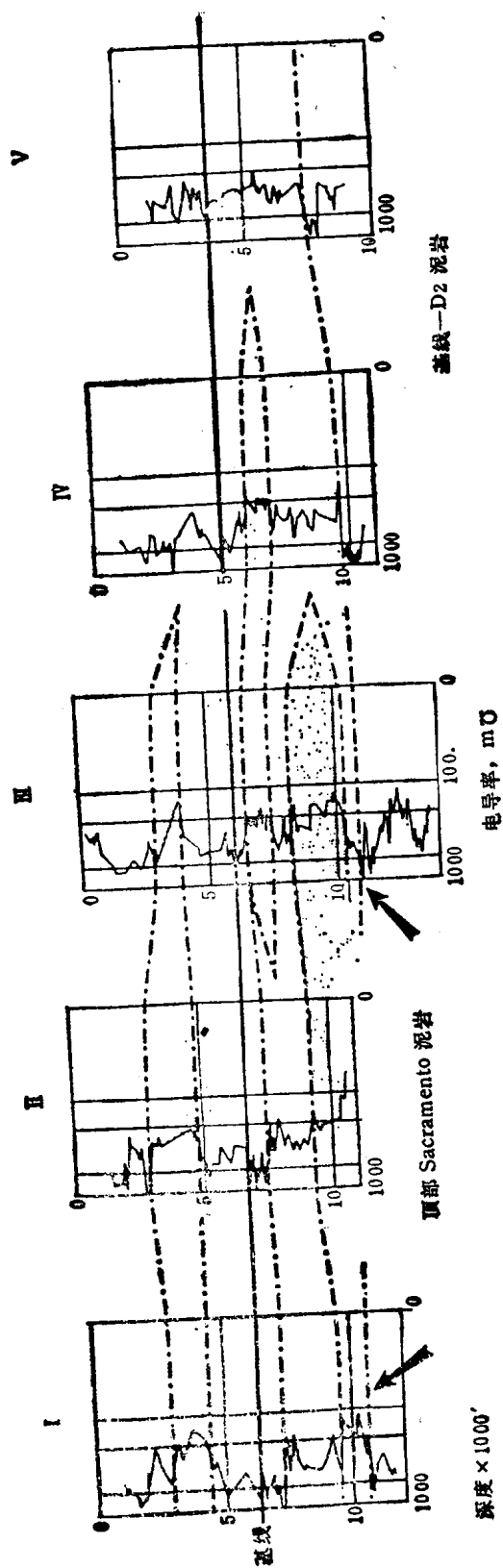


图 14 根据相同电导率大小确定的泥岩电导率相关划分出相同泥岩单元

其它相关的泥岩导电带是明显的，被限制从东北到西南横向范围的三个用点画线表示在图14上。在相关泥岩内部，砂岩可能是相同的，也可能是不相同的；可能是联结的，也可能不是联结的。在泥岩内横向的变化可能指示看上去相同的砂体是分离的，从而提供圈闭的一维。

矿化度的确定

在Sacramento盆地的经验说明，由自然电位曲线导出的 R_v 和矿化度是相当差的和极不稳定的。一般来说，整个加利福尼亚地区地层水中氯的含量低于30000ppm，常常少于

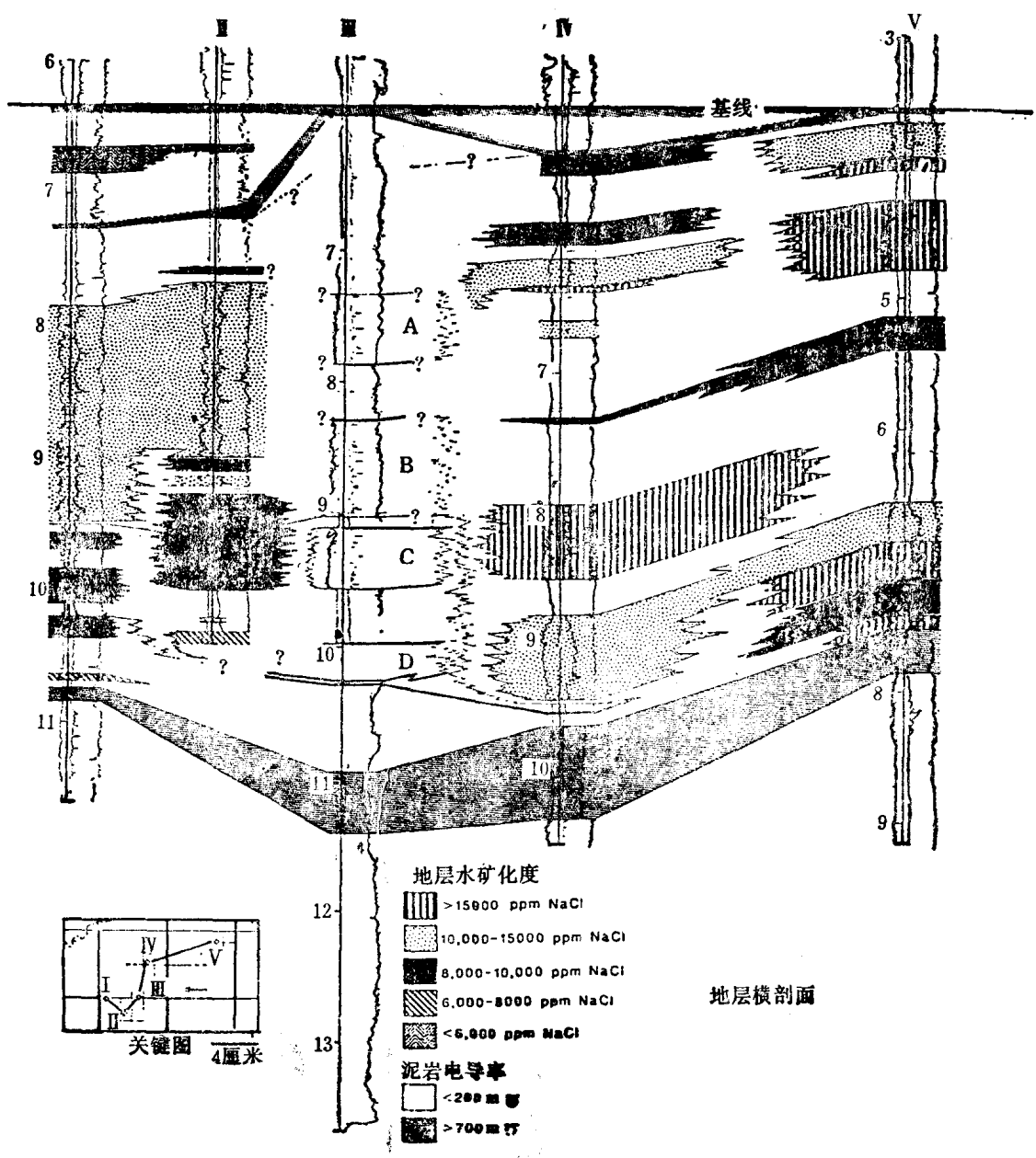


图 15 地层横剖面 (由地层水矿化度和泥岩电导率给出储集层分离)

20000ppm。在较淡的地层水中除氯外硼常常显现高的浓度，硼也能导致阳离子-阴离子-电阻率关系复杂化。加利福尼亚地区砂岩大都是含大量杂质的，它也影响自然电位曲线。由于这些原因，所以在萨克拉门托盆地由自然电位计算的 R_v 必定是不能用的。

幸运的是，自从1960年，上述盆地已钻的几乎所有井都有过渡时间测井作为测井系列。在Sacramento盆地，有经验的人已看到含气砂层中声波测井有显著衰减，这在7000ft特别易看到。这且不说是气体的直接指示器、过渡时间测井还可计算 R_{∞} ，计算的 R_{∞} 给出相当可信的值，而 R_{∞} 的极小值被假定是 R_w ，它能转化成矿化度。每100ft盆地各处的温度梯度均是 $1.2 \sim 1.5^\circ\text{F}$ ，因此，一般原始电阻率测量上记录的井底温度将不高于 $10 \sim 15^\circ\text{F}$ （低于实际温度）。相对地说，此时所有温度将以相同的方式被影响，而 R_{∞}/R_w 转化成矿化度是相当精确的。计算值同测量值的比较说明结果令人满意。所以，在Sacramento盆地，不管用来描述储集层分离的地层水矿化度和泥岩导电率是否确定这种方法提供一个一维的圈闭是有效的。图15给出该五口井的自然电位和电阻率曲线。这种更详细的使用测井曲线绘制的地层剖面有D-2泥岩作为论据。

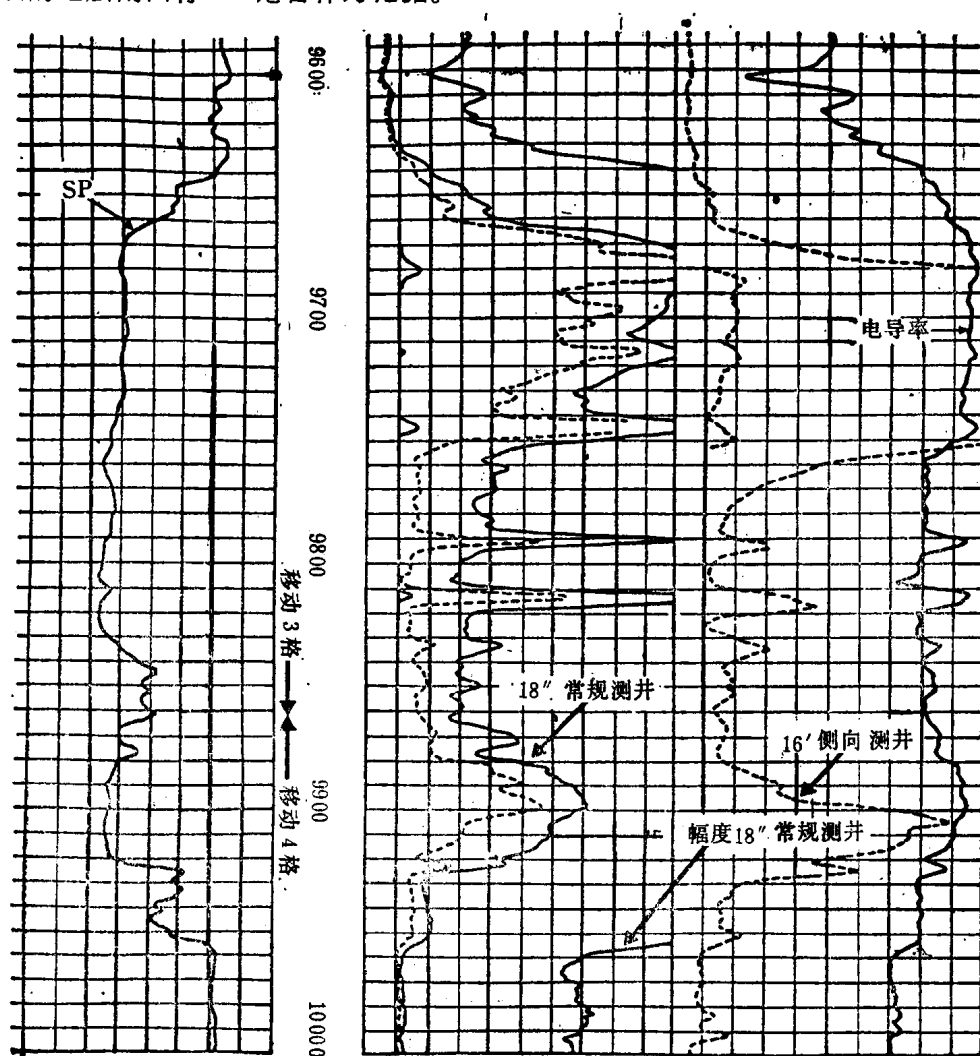


图 16 9840~9880层段细泥岩在含气储集层上面和含水储层之间有效地产生了圈闭

剖面中五口井显示了其中四口的矿化度的范围。井 3 钻于过渡时间测井采用之前，所以此井的砂岩剖面没有得到矿化度。前面已说明此地区的自然电位曲线不能令人满意的确定矿化度。图中还显示了储集层分离的其它指示器—泥岩电阻率。圈闭含义将在构造剖面研究。在井 5 较低处砂岩（实际是砾岩）是有意义的，在这口井中1800ft砾岩段面存在四个分离的矿化度。

矿化度分布是从8000~10000ppm到高于15000ppm。在邻接的单元内矿化度如此变化似乎是罕见的。图16提供的也许不是作为一种解释，而是作为另一个罕见的例子。这是在Union Island气田联合 5 号Sonol Securities, 15-1S-5E剖面的Winters砂岩。Winters到9750有一个含气带，到9875有一个水相带，到9918有一个含气带，低于9918有一个水相带。一些非常薄的泥岩夹层分离了两个储集层。如果按这种方式两气层聚集，在此地区罕见的不同地层水的分层肯定可能。在井5视含水带没有试验，故没把握证明不同 R_v 的推测。

详细研究了远离落基山脉的一些矿化度圈闭单元。可以肯定在储集层观察的矿化度差异不是雨水由露头渗入盆地所致。沉积物在海洋环境沉积，所以可以想到古海相水域将有35000ppm氯化钠矿化度。表 1 仅指出在Union Island油田矿化度是接近海水，大部分矿化

表 1

油田/县	矿化度(ppm-氯化钠)	油田/县	矿化度(ppm-氯化钠)
Cache Creek气田	无资料	Solano和Yolo	
Yolo县		Plainfield	无资料
Clarksburg	12200ppm氯化钠	Yolo县	
Yolo县		Pleasant Creek	无资料
Conway Ranch	无资料	Yolo县	
Yolo县		Potrero Hills	5800
Crossroads	无资料	Solano	
Yolo县		Putah Sink	无资料
Davis, Southeast	12980	Yolo县	
Solano和Yolo		Saxon	11370
Dixon	17000 & 10443	Yolo县	
Solano		Stone Lake	无资料
Fairfield Knolls	840	Sacramento	
Yolo县		Sugarfield	无资料
Florin	无资料	Yolo县	
Sacramento		Thornton-West Walnut Grove	无资料
Crays Bend	无资料	Sacramento and San Joaquin	
Yolo县		Todhunters Lake	无资料
Lindsey Slough	1370	Tremont	无资料
Solano		Solano	
Maine Prairie	无资料	Union Island	39900
Solano		San Joaquin	
Merritt	无资料	Willow Slough	5040
Yolo县		Yolo县	
Merritt Island	3100	Winters	无资料
Sacramento和Yolo		Solano和Yolo	
Millar, Main Area	无资料	Wood Land	20544
Solano和Yolo		Yolo县	
Millar, West Area	无资料		

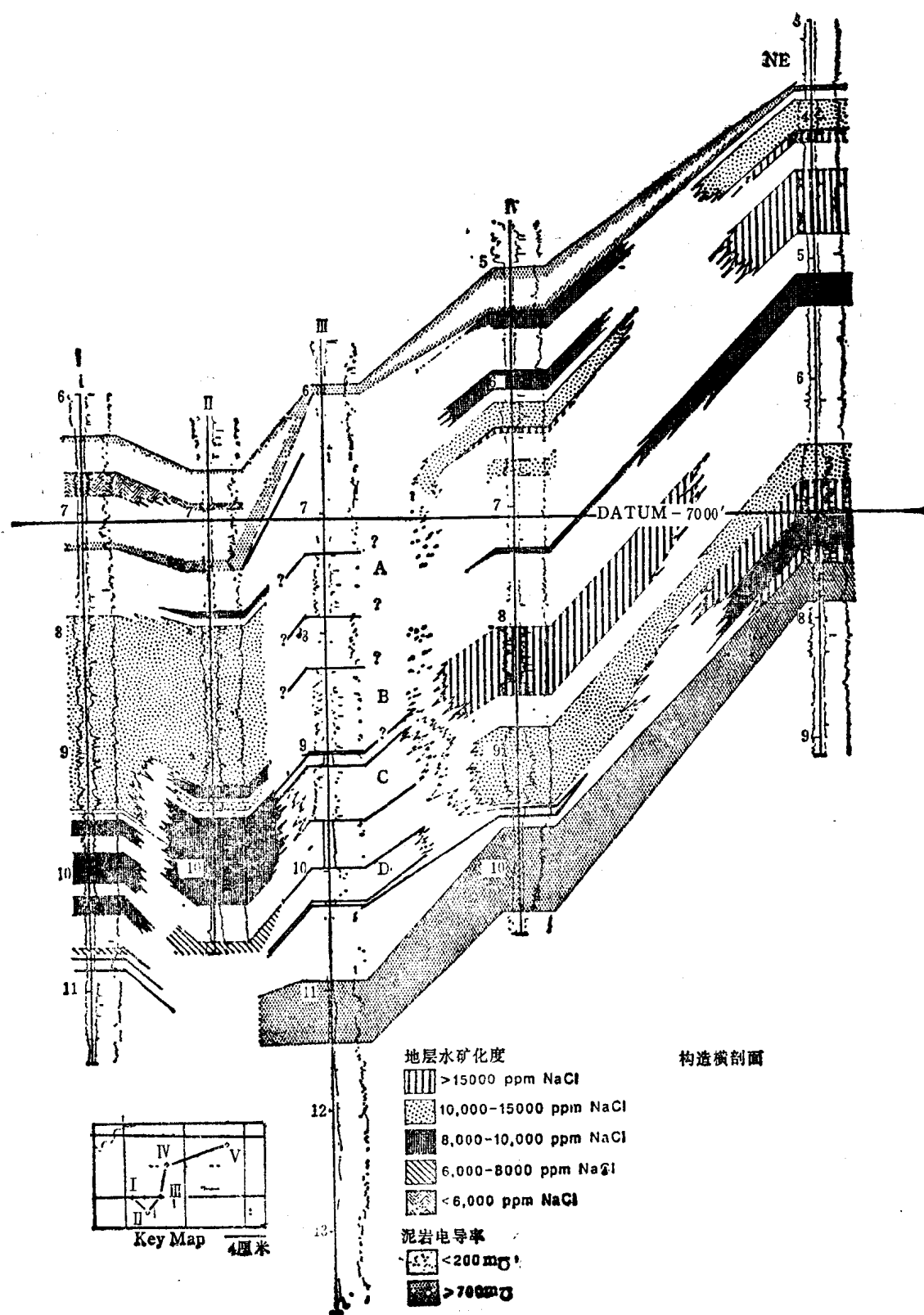


图 17 由地层水矿化度和泥岩电导率给出的储集层分离

度是大大低于海水矿化度，这也许是成岩作用在孔隙中一部分沉积的原始水与现代地层水的交替的作用。

对于作者追求在Sacramento盆地氯含量差别的原因超过了本文和资料有效性范围，然而，应注意从油田到油田观察的Winters砂岩有显著不同，这说明Winters砂岩不是一个有普通储集状态的联合平覆层沉积。但是在已产生大量分离生产储气层和也许大量没被发现的储集层存在构造和地层学上的复杂性。

储集层分离 潜在的圈闭

图14和图15地层剖面的不同显示指示矿化度的差别和泥岩导电率的差别，以及大量分离圈闭的可能性。从构造学角度考查这些因素，观察至少一维储集层分离是可能的（图17）。在横断面的关键井是井3。已说明这口井钻于1960年前，过渡时间测井还没采用，所以 R_w 不能被计算。

井3有四个分离砂岩组，每个将在潜在圈闭联系范围内简短考查。

带A 带A可能是标于井1和井2块状砂岩的一部分。相同的矿化度标明在井4类似的单元。在这些砂体中，最可能存在的圈闭是从井4向上倾斜。

带B 这个层段也可能是井1和井2块状砂岩的一部分。可以断定在井3和井4之间的B带有一个尖灭和储集层分离。

带C 带C砂岩包围在相当低的泥岩电导率内，相对井4相同带具有的矿化度来说（除非砂岩被不同矿物的泥岩包围），在井1和井2内具有不同矿化度可能是相同的砂岩，这种情况在井4中，可能是相同的带（除非砂岩被不同矿物的泥岩包围）。在井1和井2之间、井2和井3之间可能有一维的圈闭潜在性，在井3和井4之间的潜在可能性可以肯定。如果研究井4，可以看到在井4和井5之间在8000ft尖灭的泥质砂近似650ft。

带D 250ft砂岩明显地被低电导率的泥岩包围，在井3和井5之间有一个圈闭。

结 论

研究区域有大量地层圈闭潜伏，它标明在五口井之间。对比的不足不能给几个潜在气田的上倾斜边界准确定位。一口或大概两口有见识的初探井将可检验本文的观点。可以相信，在Sacramento盆地和在从油田到油田地层水矿化度不同的其它盆地勘探岩石物理学家将提供打开剩下没被发现油气田之门的钥匙。