

石油地球 物理勘探

地震反射法在烃类勘探中的演变

回顾和展望*

Vernon H. Blackman 著
Pierre L. Goupillaud 牛毓荃 译

摘要

地震反射法虽然已经过了约六十个春秋，仍然正在飞速演变。本文的目的是对这些演变的发生，引起演变的因素，近来的发展情况，以及将来会发生什么变化进行广泛的评论。

文中尽是些人人皆知的事实，如果你们中有些人感到失望，我先在此致歉。但是，我的目的是使那些与地震反射勘探有关的人对我们如何发展到当前这种状况有更好地了解。方法相当复杂，对任何人来说，不剖析历史就不能回答。

计划在三个方面论述反射地震法，即数据采集，数据处理和解释中的方法和仪器等。

其他技术，如电子学、记录、数字计算机等的演变对油气地震反射勘探发展的影响也作了清楚的说明。

一方面进行广泛的历史回顾，另一方面则逐渐把评论的焦点集中于最近几年，以期给出一幅目前情况的清晰图画。据此试图洞察未来重大的发展，并且指出需要解决的最重要的问题可能出现在什么地方。

ABSTRACT

Seismic reflection technology, although nearly sixty years, is still evolving quite rapidly. The purpose of this paper is to present a broad review of how this evolution took place in the past, what factors caused it and, based on its recent development, what can be expected in the near future.

There is nothing in this paper which is not generally known and, if some of you feel disappointed, I apologize to them. But my goal is to

* 本文曾在中美石油地球物理勘探联合学术讨论会上宣读过。

石油地球物理勘探

give to those involved in seismic reflection exploration a better grasp of how we got where we are today. The technology has become very complex, and without this historical perspective it is difficult for anyone to answer the why's and how's of what is done everyday today.

An attempt is made to cover all the important aspects of seismic reflection technology: methodology, instrumentation, etc. in the three major areas of data acquisition, data processing and interpretation.

The impact of the evolution of other technology such as electronics, recording, digital computers, etc. on the development of the seismic reflection exploration for oil and gas is also clearly demonstrated.

While broad, the historical review gradually focuses more precisely on the recent past to give a clear picture of the present. From this picture an attempt is made to foresee the major developments to expect in the future and to locate where, in my opinion, the most important problems begging for a solution appear to be.

前　　言

自从在得克萨斯首次用地球物理技术发现油田以来，已经过了约六十年。在这些年中，地震反射法的作用不断增长，迄今为止，石油勘探中全部地球物理工作的90%以上是地震方法。

因此，广泛回顾地震反射法在这些年中的演变自然会收益很多。我作这种评论是希望对我们的中国主人与朋友在目前石油勘探中使用这种技术有所帮助。

我先向那些想要在这个演讲中发现一些新内容的听众致歉，因为他们会失望的。但是，我希望每个人都能透过当代地震反射技术的状况而对隐蔽的本质有更好的了解。

早　期(1920～1940)

二十年代初，第一次世界大战刚结束，正当对石油的需求迅速增长的时候，用地面地质法寻找石油的收益却开始下降。与此相似的悲观预测今天听到的也很多。需要有新方法。地球物理勘探应运而生了。起初，重力法占统治地位，但是在第一次世界大战期间为确定大炮炮位而发展起来的地震法，迅速应用到这一新领域中来，并且迅速表现出了其在确定地质目标和烃类圈闭上的很高效率。纺锤顶，著名的得克萨斯喷油井，是归功于地球物理勘探的第一次石油发现。

最初，设备主要是机械式的，但是得益于无线电和电影技术的迅速发展，很快就换成真空管电子放大和检流计记录。结果，仪器的灵敏度大大提高，而同时其体积和重量则显著降低。非此，道数不能迅速增加，或者说同时存储若干个记录道非此是不可能的。截

石油地球 物理勘探技术

至四十年代早期，我们可以记录到30,000英尺以下的反射层位，而钻井只能达到20,000英尺深。1940年仅有的一家承包商声称，为世界油田总数中增加了53个油田，是他们100个队年工作的成就。

(第二次世界大战)战(以)前，地震反射已经确立了它作为石油勘探工具的统治地位。然而，随后反射法的费用/发现之比，在1930~1940年间增加了六倍。

战后年代 (1940~1960)

第二次世界大战造成的重要技术进展加速移植到反射地震技术中去，特别是电子学、雷达和信号处理领域。而且，新生数字计算机及其对一切其它技术的巨大影响立即被借鉴、采用，并且一般来说都付诸实现。由于新的模仿能力，使地震反射技术由一种技巧逐渐变成一门准科学的事业。

同时，在记录和显示领域产生了革命性的进展。原先，标准的记录介质是感光纸，显示只是示波仪产生的光点波形记录，现在信号可以记录在可多次回放的磁带上，这样反复回放单张记录时可以实验性地改变增益及滤波。随着野外监视设备的引入，这种进展对地震反射技术的数据采集阶段发生了巨大的影响。

这一期间中的另一个关键性的演变是工业研究工作的迅速出现。工业研究组织由早先的个体性转向给予财政上大力支持的大型实验室，专门致力于开发新技术。所有大石油公司和大多数承包商竟相仿效。结果，新进展出现的速度惊人地增加。

随着传感和记录设备体积和重量的减小，我们就可以使用大量的传感器和道数，同时对信号的激发给予较多的注意。在困难地区浅井组合用得越来越多。而在五十年代以前，井中放炮是普遍使用的地震震源。但是，当时更机动、更便易、更易控制的震源的优点是不可抗拒的，因此，五十年代初出现了新的地面震源：重锤、可控震源和气爆震源。

这样就有可能从震源和接收器两个方面大大改进压制令人讨厌的面波。同时也有可能大大增加在同一点或其附近迭加信号的冗余度。这种新的可能性对于野外工作方法和数据采集程序具有重大的影响。

迭加和调向的实验可能是导致采用共深度点迭加技术的重要因素之一。

最近二十年 (1960~1980)

这一阶段的初期出现了另一次革命。在此之前野外数据采集都是模拟形式，在作数字处理时，野外资料需先在实验室或处理中心数字化。因而认为这种特殊处理形式较为繁琐，其优点也未被广泛承认。多数用户满足于模拟资料，这种资料易于用其原始形式进行迭加和处理。然而，到六十年代中期，随着大型计算机的进步和广泛采用，向数字数据采集和记录的转变已不可逆转，到1967年实际上已完成了这种过渡。自动增益控制，早期无线电技术影响的残余给出了一条通向数字程序增益控制的道路，可调大动态范围的优点已为所用。

石油地球物理勘探

与野外数字记录出现的同时，地震反射勘探的另一方面即成果解释方面也出现了重要的飞跃。到那时为止，任何石油地震勘探都分成明显的三个阶段：数据采集、数据处理和解释。它们那时都各自形成专门的领域，而联系常常是不幸的少得过份。

有助于地震记录解释的另一重要的新鲜事物出现于五十年代末期，这就是合成地震记录（一维模型）。它首次使解释员能对测井资料（连续速度测井）与地面采集的地震资料进行对比。这一进展向许多人揭示了地震方法的实际能力，并使大多数地震学家相信，早先运用的处理和解释方法只能从野外资料中提取出很少量的有用信息。

在从二次世界大战中使用的雷达探测、枪炮控制借鉴过来的预测、滤波技术和麻省理工学院地球物理分析组为石油勘探特别发展的技术以及连续振动法中所用的脉冲压缩技术之间建立了直接联系。

六十年代中期，由于采用数字计算机而在处理方面引起的迅速发展显然已经超过了解释方面的进展。首先，需要清楚地区分时间剖面与深度剖面，从而导致在直接根据地面资料确定平均速度（均方根速度或迭加速度）方面惊人的进步。其次，发现了特定反射波振幅变化包含着重要的信息，并由此发展出一套专门的地层勘探技术。

在解释人员取得了由细微变化提取信息的信心时，他们仍然抱怨有一些顽固的敌人，如静校正在挡道。结果，创造了自动静校正估算和消除技术。

再者，七十年代早期，由于斯坦福大学的 J. 克雷尔伯特及其学生们的努力，又一次揭露了准确确定目标位置的重要性，偏移处理（五十年代早期以来已被忽视）再次恢复了它的重要地位。这种方法在地面资料和由波场向下延拓处理产生的模型之间建立了联系，考虑到偏移处理是预测用给定参数检验一个已知模型时所观测到的资料的正过程的反演、与之并行的还有许多反演方法，试图根据法线入射的地震道提取反射率函数。

七十年代早期还有另外的进展，这是采用越来越多的道数，认识到需要真倾角信息，即需要三维地震反射的必然结果。这种进展涉及到在垂直于震源振动的方向进行数据采集，成为共深点法的推广，其中有弯线法和宽线法。

直接与大型计算机相连的终端的优越性也得到了发挥，这可使用户与机器之间进行直接对话。当时被称为人机联作处理，它突破了处理与解释之间的堡垒，这种堡垒可能是前述地震反射法分三阶段造成的大弱点。

在多年无效的试验以后，七十年代初期出现了横波震源和数据采集系统，它与普通纵波资料联合应用在岩性鉴定或储层特征研究方面可提供辅助的鉴别及可靠性的信息。

最近几年，主要的发展趋势仍然是朝向更多的道数，更高的分辨率，传感器与记录系统之间的双线和无线电通信联系等方面前进，一切提高野外工作阶段中数据量的进展，都使人深信处理及解释人员将会提取出更重要的信息。

未 来

地震反射法已经成为了一种极其复杂的工作，要求多种专门技术和巨大的投资。普遍认为，今天我们已有可能找到在过去是捉摸不定的目标，就其应用来说，它仍然是一种有

石油地球 物理勘探

力的工具，主要是适宜于石油聚集和圈闭条件的间接显示。

继续进行广泛的研究甚至比以前更重要，这是能源危机的必然结果。今后地震技术趋向何方，显然是一种猜测。但是，目前的趋势表明，重大的新突破即将出现于地震反射解释的基本问题之中，这就是反演问题。这些仍然很可能是其它科学技术发展影响的结果，其中特别是核物理、医学、空间技术开始对我们自己的研究工作产生显著的影响，当然，通信和计算机技术仍然继续对地震法产生影响。

把小心谨慎放到一边，我可以大胆地向诸位讲述地震勘探未来发展的意见。你们一定会想到这可能是反映个人的遐想而不是客观地推断。不管怎么样，我感到目前这种数据采集阶段与处理和解释阶段相脱节的现象很快即将消失。如果需要，通用主计算机将撤离做第二线处理，而野外的专用计算机将在数据采集阶段进行大量的适时处理。六十年代以来，由于不能做到这一点，大大削弱了地震勘探的效果。当我参加这项工作的时候，我们白天去野外放炮，晚上研究和评价资料，在第二天采集更多的资料以前，及时矫正错误或校准仪器，解释很少在采集之后推迟一天以上。而今天，对于采集的资料，我们所做的只是把磁带运去处理，而完全不知其优劣。及时处理和显示是一个巨大的进步，使我们又回到了三十年以前的情况。

迅速回顾并集中注意由过去学到的知识，可以指导我们持续不断地研究更有效的物探技术，我愿意列出几项我认为是极其重要的意见：

1. 地震反射技术总是证明它能发展并迅速采用其它领域中开发的新技术、新系统。
2. 由于经济因素的影响，这种发展是不平衡的。过去，石油的生产和消费在好年成和差年景之间是交替变化的，地球物理活动也是如此。缺油使价格上涨，从而导致较多的找油工作。然而，近几年来价格的变化是由政治而不是经济因素引起的，我们正目击一个极其特殊的、有利于地震技术迅速发展的环境。这次会议本身就是这一观察结果的中肯例证。对过去没有机会交流的人们而言，举行会议总会加速技术的进步。

3. 过去发展的一些特点意味着应当预防阻碍其未来发展的少量陷井，特别是把总的勘探活动分成各种专业队相互脱节的工作。另一个不可忽视的风险是，为自身计盲目增加其复杂程度而不顾经济和效率的倾向。只要维持今天这样的价格不变，就不会刺激人们去检查一项在理智上满意的新进展、在价格上是否真正合理。但是，我们必须经常记住，在过去曾经严重关切过这样的问题，即地震勘探的价格本身可能超出商业使用的范围，不要忘记地震学家找不到石油，而钻井家可以。

4. 最后，末一条意见。整个世界都渴望生活得更好，这就必定增加对自然资源，因而也增加了对寻找它们的需要。这种寻找与别的一样，只能是日益困难。为了取得勘探上的成功需要一大批人作出贡献，专门知识非为任何人所私有（甚至今天会上出现的那些也是如此）。这次会议给了我一次机会，使我可以告诉我们的朋友，我多么高兴和感谢朋友们邀请我来访问并交换我们的观点。

我希望，这次会议对地震反射技术在帮助每个人寻找他所需要的资源中所起的作用和效果产生深远的影响。