

# 俄罗斯地球物理勘探 前沿技术文集

李 霞 等编译



石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

## 内 容 提 要

本书是从《Геофизика》《Геология Нефти И газа》等俄文杂志期刊中精选出 61 篇地球物理勘探前沿技术文章编译而成,系统地介绍了俄罗斯地球物理勘探领域中的新技术、新方法的研究成果和勘探开发的情况,基本上反映了俄罗斯近年来在地球物理勘探领域中的研究和开发现状。

本书可供从事地球勘探科研人员以及高等院校高年级有关专业的师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

俄罗斯地球物理勘探前沿技术文集/李霞等编译.

北京:石油工业出版社,2000.11

ISBN 7-5021-3171-X

I. 俄…

II. 李…

III. 地球物理勘探-俄罗斯-文集

IV. P631-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 75953 号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京密云华都印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 23.25 印张 600 千字 印 1—1000

2000 年 11 月北京第 1 版 2000 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3171-X/TE·2408

定价: 60.00 元

## 序

地球物理勘探方法作为石油和其他矿产的主要勘探手段,一直受到勘探界的重视,因此无论是物探理论还是勘探装备、方法以及处理技术、解释应用等方面均在迅速的改进发展中。随着我国现代化建设对石油天然气资源需求的增加,地球物理界的科技人员针对油气勘探中遇到的各种难题,开展了大量的物探方法的研究攻关工作,使我国的物探技术水平大为提高。结合我国地质条件,通过引进、借鉴、吸收国外地球物理勘探的前沿技术,是提高我国的物探技术水平的一条重要途径。

俄罗斯幅原辽阔,自然资料丰富,尤其是石油和天然气资料,石油天然气工业在该国国民经济发展中起着十分重要的作用。俄罗斯曾拥有世界上最庞大的物探队伍之一,完成了二千多万平方公里国土的物探综合调查,找到了极为丰富的油气资源。现已探明的石油储量为175~200亿t,天然气总储量超过21500万亿 $\text{ft}^3$ 。1985~1990年高峰时期石油年产量曾达到5.5~5.7亿t。在长期的勘探实践中俄罗斯积累了丰富的物探经验,加之其科研教育体系比较完善,所以其地球物理勘探理论与技术水平较高,在某些领域属世界领先水平。

追踪、研究、探讨俄罗斯的地球物理勘探技术,主要基于以下考虑:①俄罗斯具有一套完整独具特色的地球物理勘探理论、方法和先进的技术;②俄罗斯的地球物理勘探研究历史悠久,并且是建立在独立自主,以小的投入力获得较大的经济效益的基础之上,非常适合我国的发展特点;③俄罗斯在地理位置上与我国相毗邻,许多地区的地质结构和勘探条件与我国中西部地区相同或相似,俄罗斯在地球物理勘探领域中的许多先进技术可以直接应用或借鉴于我国的油气勘探开发实践中。正是基于上述原因,并且为了适应中国石油天然气集团公司地球物理勘探开发战略,促进我国油气勘探领域的技术交流、合作与发展,学习借鉴国外先进经验和先进技术,中国石油天然气集团公司西北地质研究所组织翻译出版了《俄罗斯地球物理勘探前沿技术文集》一书。书中的俄文资料选自《Геофизика》、《Геология нефти и газа》、《Геофизические Исследования》、《Геофизический Журнал》、《Многоволновые Сейсмические Исследования》、《Прикладная Геофизика》、《Нефтегазовая геология И геофизика》等俄文杂志期刊。本书全面、系统地介绍了俄罗斯近年来在地球物理勘探领域中的新技术、新方法和最新勘探开发的研究成果,基本上反映了近年来俄罗斯在地球物理勘探领域中的科研和开发现状。

当前,我们已跨入了新的千年和新的世纪,在这世纪之交千年更叠的重要时期,我国政府郑重提出“西部大开发”的构想,并把它作为国家战略。我国西部经济基础较为薄弱,基本建设发展相对滞后,但是地域广阔,自然资源丰富。在西部大开发中,能源的开发必将形成新的经济增长点。

在这机遇和挑战并存、千载难逢的时刻,我们希望该书的出版能为我国油气勘探和开发事业尽一点绵薄之力,更希望本书能成为我们对西部大开发的一份献礼。

刘全新

2000年10月

# 《俄罗斯地球物理勘探前沿技术文集》

编 译 组

主 译 李 霞

副主译 刘小琦 冯有奎

审 阅 刘全新 梁秀文 赵应成 华元生

王余庆 傅长生 尉 实

F762/02

# 目 录

## 21 世纪初地震勘探的发展趋势

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| 21 世纪初的油气地震勘探和地震勘探家们 ..... | ( 1 )  |
| 现代地震勘探发展趋势 .....           | ( 10 ) |
| 第二届中俄技术交流会新技术简介 .....      | ( 18 ) |

## 地震勘探方法

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 实现可控震源高分辨率地震勘探的方法与设备 .....        | ( 21 )  |
| 可控震源信号的非线性失真和相位畸变及其校正方法 .....     | ( 29 )  |
| 地震勘探生物沉积体的方法 .....                | ( 36 )  |
| 不同地球物理场相互作用时非均匀介质地震勘探方法 .....     | ( 56 )  |
| 各向同性非均匀介质的井间层析成像 .....            | ( 65 )  |
| 各向异性复杂结构介质中时间场的两点射线追踪法 .....      | ( 70 )  |
| 应用低频声波勘探技术分析油气藏大地声波辐射 .....       | ( 81 )  |
| 低频声波勘探在奥连堡州含气区的应用 .....           | ( 85 )  |
| 独联体高分辨率地震勘探简介 .....               | ( 87 )  |
| 含流体微观非均匀介质中波的传播 .....             | ( 92 )  |
| 含流体沉积层的反射波场 .....                 | ( 95 )  |
| 非背斜型圈闭的普查——单斜构造中地震勘探工作的基本方向 ..... | ( 101 ) |
| 使用时频相关法提高地震资料信息的可能性 .....         | ( 105 ) |
| 油气藏勘探的地球动力学方法 .....               | ( 108 ) |
| 提高波场动力学参数二维分析成果可信度 .....          | ( 114 ) |
| 散射地震波极化分析 .....                   | ( 120 ) |
| 油气田开发与开采阶段的立体地震勘探方法 .....         | ( 125 ) |

## 物探资料处理、解释及综合研究

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| 地震勘探资料处理解释中的几个最优化原则 .....        | ( 130 ) |
| 根据测井和地震勘探的资料预测整个储层容量特性的可能性 ..... | ( 136 ) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 地震波有效吸收衰减率测定中的地层反褶积 .....      | (142) |
| 根据地震波速度梯度确定油气藏边界 .....         | (151) |
| 油藏详细地质模型的建立 .....              | (154) |
| 地震勘探资料在油气储层综合研究中的解释方法 .....    | (167) |
| 详测地震勘探在碳酸盐岩储集层油藏储量估算中的应用 ..... | (174) |
| 在低研究程度区域中油气藏的局部预测 .....        | (177) |
| 动态可视化的一般方法 .....               | (181) |
| 俄罗斯地球物理勘探软件包介绍 .....           | (188) |
| 利用地震剖面进行古构造恢复的经验 .....         | (192) |
| 用地震资料绘制井间地质剖面法 .....           | (194) |
| 油气田地球物理研究中的地质问题 .....          | (200) |

### 储层预测与油藏描述

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 储层预测与地震反演 .....                   | (203) |
| 油气预测系统“ПЛАНИТЕЯ”中的综合地球物理新方法 ..... | (209) |
| 裂缝地层的地震反射波 .....                  | (219) |
| 井剖面上裂缝储层的划分和研究 .....              | (231) |
| 用多级最佳方法解声波方程反演 .....              | (236) |
| 油气资源预测与评价的流体动力学方法 .....           | (345) |
| 根据预测误差离散度最小值计算地震波相对吸收衰减量 .....    | (260) |
| 根据测井资料确定碳酸盐岩储层孔隙度 .....           | (263) |
| 根据声波测井资料评价含油气性预测中的物理模拟 .....      | (268) |
| 航天摄影资料法进行含油气性定量预测 .....           | (277) |
| 地面热测量法勘查油气藏 .....                 | (285) |

### 多波、VSP 技术

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 深部多波地震勘探 .....               | (289) |
| 纵波和 SP 转换波的综合利用 .....        | (295) |
| VSP 二维改进法 .....              | (299) |
| 利用 VSP 法对小型油气藏进行前期勘探 .....   | (304) |
| 用纵波和转换波的 AVO 数据反演地震动力学 ..... | (307) |

### 测 井

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 划分和确定复杂结构储层饱和性质时激发极化法的效果 ..... | (314) |
|--------------------------------|-------|

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 根据地球物理测井资料评价复杂构造的碳酸盐岩储层的容积特性 ..... | (318) |
| 根据地球物理测井资料评价岩层渗透率和油气井产量 .....      | (322) |
| 地层压力与有效压力对声波测井示值的影响 .....          | (327) |
| 沉积因素在解释陆源剖面测井资料中的作用 .....          | (330) |
| 水平井中双侧向测井的围岩校正 .....               | (334) |

## 化 探

|                                          |       |
|------------------------------------------|-------|
| 油气田形成条件的构造动力学评价——含油气区研究新方向 .....         | (339) |
| 西伯利亚地台里非系最大的油气聚集带：尤鲁布钦—托霍姆油气聚集带<br>..... | (344) |
| 根据层间水盐离子组分评价含油气远景和预测烃的相态 .....           | (352) |
| 西西伯利亚塔林油气聚集带下侏罗统的地开石 .....               | (355) |
| 地壳深部的生油气潜力 .....                         | (358) |
| 油气藏形成的持续时间和强度 .....                      | (362) |

# 21 世纪初的油气地震勘探和地震勘探家们

И.А.Мушин 著 李霞译 裘慰庭校

预测——是一种成效很低的事。但是随着时间的推移人们又不得不做它。也就是说，在 21 世纪结束的时候，我们又要以充足的理由来进行预测了。

对 2000 年的到来，世界上有着一一种期盼的态度。希望在千年来临时会出现某种令人惊奇的事，看来这是受着现代人类世界观、历史和文化的影响。事实上，这种希望多半是没有道理的。人类多少世纪的经验已证明，今后要走的路就是沿着过去已走过的路。至少在各种各样的专业活动方面，1999 年与 2000 年和 2001 年不会有太多的区别。确信这一点，实际上就是奠定了任何预测的基础。

根据以往熟悉的方法我们对油气地震勘探领域做了一个短期的预测。首先我们划分出可直接决定地震勘探目的和任务的地质勘探工作的关键因素。为了说明方法发展的趋势就不可避免地要对最近 40~50 年的发展史进行简要的分析。其次通过地震勘探的“时间切片”，来说明地震现代化成就与完成地质勘探工作主要任务和模型之间的关系，这样就能证实这种趋势。最后，在说明趋势和概念的基础上，就可看出地震勘探近期的发展和地震勘探家们未来的任务。

下面的表格中反映了油气地质勘探工作的主要阶段和任务：

| 地质勘探工作阶段 | 目 标                      | 模 型                                              | 结 果                    |
|----------|--------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|
| 区 域      | 含油气盆地<br>油气聚集区<br>大的油气圈闭 | ·构造的<br>·地层的<br>·层序—构造的<br>·孔渗的<br>·流体的          | 区域分带<br>油气藏预测<br>推荐参数井 |
| 普 查      | 油气聚集区<br>油气圈闭            | ·构造的<br>·地层学的<br>·层序—构造的<br>·岩相的<br>·孔渗的<br>·流体的 | 推荐钻探普查井<br>发现油田        |
| 勘 探      | 已发现油田                    | ·构造的<br>·地层学的<br>·层序—结构的<br>·岩相的<br>·孔渗的<br>·流体的 | 计算储量<br>开发设计           |
| 开 发      | 已探明油气田                   | ·构造的<br>·地层学的<br>·层序—结构的<br>·岩相的<br>·孔渗的<br>·流体的 | 开采<br>监测               |



在表格中，应特别注意一下地质勘探工作的模型——油气藏不同研究阶段，对要解决的模型越来越详细并越来越接近最终结果：

- (1) 构造模型描述研究目标的褶皱和断裂形态；
- (2) 地层模型反映地质层位，所研究地质体的时间关系；
- (3) 层序—结构模型，描述目标的内部结构及其层理种类和其结构与岩石物质之间的联系；
- (4) 岩相模型，通过层序—结构模型了解地质体成因的基础上，确定沉积条件和地层岩性成分；
- (5) 孔隙度模型，在综合测井和钻井资料的基础上可使层序—结构和岩相特性转换为储层物性：孔隙度、渗透率、含油气有效厚度等；
- (6) 流体模型，考虑储层性质的渗透率、屏蔽作用、流体性质的情况下，在储量计算、油田设计和开发阶段（包括监测）就可完成油储流体模拟。

不难看出，在地质勘探工作的所有阶段都重复着模型的惟一组合。然而，正如表上所指出的，在每个阶段都有重点的模型的类型。连续的（不要遗漏）的绘制这些模型，并不断地使模型越来越准确，这就是油气地震工作的主要内容。此外，所列连续性可以作为地震技术发展的历程：从构造到储层—油储模型。

## 趋势的说明

前不久西方发表的科学研究表明：研究人员“记忆”中的文献引用时间（绘制了文献出版年份分布与文献随时被引用的直方图）非常短，90%以上不超过1.5~2年。在这种短期“记忆”的基础上要说明什么趋势是不可能的。有必要对40~50年以上的历史资料作一游览。因此需利用1982年对资料处理预测的结果来对历史情况提供一个简要的叙述。

第一阶段（40~60年代）地震勘探经历了恢复和发展，首先形成了最重要的构造地质技术。地震勘探的特殊性质在很大程度上得益于标准层在空间的对比，从而可以研究大套地层的起伏形态和厚度以及发现和追踪断层。此时所测量的参数：深度、厚度、倾角、表面曲率、断层的位移程度等，总之是构造地质目标。确定这些参数就是地震资料运动学处理和解释领域的任务。运动学处理的大多数程序的目的在于达到能连续对比反射信号。也就是地震剖面的对比是构造地震勘探中主要的解释程序。在这种情况下，所采用的是单道和多道的滤波、增益自动控制、不同形式的校正等，甚至是地震剖面的成像方法，所有这一切都是为了解决对比的问题。

不能说，目前已最优地和最终地解决了构造地震勘探的所有问题。首先，时间—深度二元论问题和相应地，地震速度问题仍然是许多地震地质条件情况下非常尖锐的问题。此外，非常有实际意义的是地震反射层与测井和钻井资料的标定问题。

同时，也就是在构造地质领域中地震勘探的有效性在实践中已多次被证实。至少，在油气构造圈闭的普查勘探中，毫无疑问地起着决定性的作用。

50多年前，地震剖面是钻探普查——勘探井的必不可少的资料。最重要的计算参数——背斜圈闭的油气藏的几何形态，是用地震资料所绘制的构造图来决定的。也就是，构造地震勘探在自身发展的第一阶段就已经大大减少了勘探和普查阶段为圈定油气藏轮廓所需的井数。

地震勘探新阶段（70年代—目前）开始的标志是数字革命，它使地震资料的质量得到大幅度地提高。地震勘探新的应用可能性历史性地正好就出现在这个时期。当油气藏的背斜圈闭减少，尤其是在老油区背斜圈闭已找完，寻找非背斜型圈闭的迫切性显著增高的时候。大家知道，这种新的非背斜油气目标具有明显的储层不均匀性和复杂的空间分布特征，以及更为复杂的屏蔽条件。也就是说，为了研究复杂的油气圈闭在地质勘探工作的所有阶段，地震勘探者发展出了最为完备的地球物理工具。

信息的补充增加无论在提高地震信号参数测量的准确性上（首先是动力学参数），还是在加强地质剖面地震映像的精确性和明显性上都表现出来了，主要是在查明其地质体部分的内部结构。实际上，这些发展的缩影决定着地震资料解释领域中的两个主要发展方向：

地球物理解释指的是详细确定地震参数（时间、瞬时和有效速度、振幅、频率、相位等），该地震参数可转换成地质剖面的有效参数（阻抗、速度、密度、吸收等）或者可用地震参数来直接发现油气藏（直接找油“亮点”，AVO）。

地质解释是建立在剖面成因，超前预测剖面，并包括有地震地层、地震层序、地震相、古构造分析等的研究基础之上，这些研究结果可预测出剖面的岩相结构，还可评估其沉积—孔隙的特性。

当然，不能认为从事物探解释的专家们毫不关心地质内容，恰恰是，同样地解释员们——地质学家们也决不可忽视重要的参数信息。换句话说，在实践中这两个方面总是在某种程度上综合在一起。但是为了阐明它们的关系，应该事先分别地各自进行分析。

此外，也就是在解释阶段形成着地质目标的模型，即完成着地震勘探的主要目的。因此我们认为对解释应特别加以注意。

## 参数解释

地球物理学家总是重视发展方法，例如研究地质剖面的某些物理参数的方法：构造的、刚性的（地震勘探）、电性的（电法勘探）、密度的（重力勘探）等，换句话讲，地球物理学家历来是用参数来解决问题。它与主要的石油地质方法——钻井的区别在于剖面本身的物质、岩石等，这些东西在地球物理的表现形式中是看不到的。剖面预测是间接进行的，通过测量物理参数来表达地质剖面的。地球物理学，当然有许多优点，首先它在横向上、井间空间上研究剖面上所具有的很高的详细程度。此时，地球物理方法纵向分辨率的局限性在某种程度上得依赖于地面和井中资料的补偿。

在俄罗斯，参数地震勘探在实践中称为地质剖面预测，即根据测量的地震参数来预测剖面的某些有效特征。

地质剖面预测的成功是众所周知的。大量先进技术现已成功地使用在实践中。在这方面有动力学解释方法：如创始的 Velog, ПAK 等等。接着出现的有 РЕАПAK, ЭПМ, ПАРМ 等等，现统称为反演。

与此同时，建立起了并还在继续发展着的一些直接找油方法，用某些标志或其组合，“亮点”、AVO 等。

用什么可以解释为什么地质剖面预测的预期地质效果没有达到？原因在哪儿呢？是什么方法限制的呢？

应该承认，地质剖面预测的地质跟踪总是不够的。目标的地质模型建立实际上应在确定

构成该模型的要素特征之前。但是，地质剖面预测的解释是从测量这些参数开始的，然后在这些参数基础上，转向建立模型。不过，这时它不可能将地层、层序、岩相以及其它的充填物带入模型，也就是不能成为真正的地质模型。

地质剖面预测的典型局限性与实际介质中地质沉积体的物理特征分布有关。介质的物性对于完全不同的岩石和地层来说实质上是重叠在一起的。性质的区别在很大程度上是与沉积成因，以及其后来的地球动力历史、现代状态（如应力）有关。换言之，不存在也不可能存在沉积类型与其物性之间的单值关系。

地震勘探纵向分辨率的局限性在很大程度上注定要制约地质剖面预测的地质有效性。在这里所测量的是有效参数，即，通常是很有普遍性的一般化的。地质上的薄层和地震勘探的“薄层”按自己的比例平均差为 1000 倍。这就说明地震研究者们有不断提高分辨率的必要性。可是，由于实际的差距太大，未必能顺利地达到目的。也许有必要研究这样的一些方法，使地震学家利用这些方法能检测出与实际层理类型和程度相近的“层位”，虽然在分辨率上地震勘探仍不能达到的层理程度。

从有效的物理参数转换成地质参数、砂质、泥质、孔隙度、渗透率、油气饱和度——众所周知，在地质剖面预测中实现，是建立在相关关系的基础上：从最简单的回归到最复杂的多元分析，例如，在各种模式识别系统中。当这种相关关系搞清楚的时候，当然效果不错，但如果它由于各种原因而不能建立这种关系，这时地质剖面预测将怎么样呢？在实践中地质剖面预测在这种情况下只能在定性的水平上。但是，在缺乏地质模型时，相应的地质剖面预测，通常是经受不住检查的，只有依靠钻井来进行检验。

## 地球动力（地质）解释

近 20 年来，在地震资料的地质解释领域中有两种主要发展方向：地震地层学和层序结构解释。

地震地层学是杰出的美国地质学家 И. П. Бейл 等人的作品——他们是从事油气田的普查和勘探工作的。与其它的地质学家相比，其独特之处，在于他们在油气圈闭普查过程中对地震资料的重视，尤如对测井和岩心资料一样认为必不可少。

这些研究者的专业特长成为地震地层学主要的关键方法和范例的基础：他们把地震剖面看成是地质剖面的巨大天然露头。毫无疑问，他们对地震剖面富有成果的观点立即将地质知识带入了对地震资料的解释过程中，即所有大量的地质概念、规律、多年信息相互联系的积累。

地震地层学方法的主要要素——在地震剖面上根据确定的不整合界面划分出沉积组合；根据地震成片的反射图像类别划分并确定地震相；根据地震层位尖灭和靠近的图像特征，在海岸附近地带分析古海的海进和海退等等，当然这还远远没有将地震地层学中新观点罗列完全。地震地层学的应用在地震资料地质解释的这个方向上。在方法的发展方面作出了重大贡献。

可是，对地震剖面的地质观点来说，方法本身就像天然露头一样含有隐藏的问题。

与地质学家不同，原则上地震勘探家不能完全地脱离地震记录的物理性质和这些物性生成地震剖面的方法。因此，按地震勘探家的意见，地震剖面指的是，在许多原因上不可能完全相似于地质露头：

(1) 地震学的波的性质决定着地质体及其界面与其地震映像的实际组合的非一致性；  
(2) 不可避免地存在有由不同类型的地震波和“噪声”所形成的剩余干扰背景；  
(3) 纵向上地震勘探分辨率的局限性，常常导致剖面特殊波形的粗糙；  
(4) 地震图像的类型取决于地震子波的形式，尤其明显地在使用不同时间域和空间滤波时所出现的对波形的影响；

(5) 已知地质性质的多解性——发散性（不同的地质作用，其结果恰是相同的）和收敛性（相同的作用，结果恰不一样）——似乎这还应看成与地震发散性和收敛性相乘的结果，最终可能使地震资料解释更有多解性。

地震地层学方法像定性和可视化方法一样产生和应用着。目前，地震地层学已经逐步转化成定量分析的方法，这是基于地质过程模拟方法的发展，该过程是在有利条件下定量地得到所研究剖面成因的论证和假想方案的。在这个方法中，还采用了地震模拟，以便对模型剖面的地震映像和其实际地震剖面相对比。

除此之外，还有一个很重要的方面。做地震地层学解释的地震剖面通常看成是一种唯一的资料，即似乎把它认为是该地质剖面纵向切片中所研究的惟一映像。

地质学家在这里的论述看来似乎是十分合理且合乎逻辑的：如果我们有一条具体的地质剖面，那么对应于它的应该是一条具体的地震剖面！

## 层序—结构解释

这个方向从一开始就像地球物理学家——地震学家对地质解释中的地震地层方案的“回答”，以及其可供选择的方法那样出现了。提出这种方法的是 Ф. П. Хамьяно 等人，他们是从所有的地震勘探家们所熟悉的已知事实中发现的，认为最终地震剖面的类别取决于绘制剖面的准则。例如，想得到连续性很好的地震剖面——构造地质中最重要的任务，若采用众多的滤波、调整、校正等目的性很强的算法，那么就可得到一张可能的剖面。如果重点在断裂检测上，那么就会得到另外的一张剖面，最终也可能得到那样的一条剖面，在较好地显现出要寻找地质目标的内部结构，也就是不同于以上的第三张剖面。

正如在理论和实践中一样，图像的处理存在着许多种方法，目的在于能反映出（准确性，对比性，选择性等）最好的某种特性，在地震勘探中地震剖面可能的补充处理在于强调某种特性。

“补充处理”术语正像地震资料的具体变换一样，这是 70~80 年代处理和解释所出现的分割。事实上，如果保证在任何解释阶段能返回处理的话，或相反，那末这种术语就没有必要出现了。随着处理和解释一体化系统的研究开发与应用，从而就可实现上述的可能性，那个术语自然也就消失了。

这样一来，可以为每条地质剖面提供许多相应的地震剖面图像，用强调剖面的这种或那种特性的专门方法：它的分级结构；其主要界面形态；剖面的内部结构；断裂等级组合体；分层追踪规律性程度；分层类型，旋回类型等。

一般说来，这些图像中的每一种都是不足的。强调所研究地质剖面的某种特性可能会使另外一些特性受到畸变或抑制。但是目标明确图像的总和正好能完整地描述整条剖面。

最终的地震地质剖面——解释结果，将似乎能以不同图像所显示的全部性质的求出总和。绘制这种剖面不可避免地包括两个阶段：

分析, 分析的用途主要在于寻找最完整地研究剖面各种各样特性的地震图像必要的和足够的组合;

合成, 合成的目的: 所有图像以及所显示出的性质, 包括参数的和成因方面的一体化、相互匹配和联系在一起, 把它们看作是惟一的地震地质剖面 (示意图、平面图、立体模型)。

正是这种方法构成了层序—结构解释方法的基础, 层序—结构解释方法是以 3 种相互联系的技术建立起来的, 它们是层序结构分析, 地质过程模拟和地震模拟。

目前, 层序结构解释在使用和认可方面还落后于地震地层学。然而由于地质剖面分层结构以及其符合于它的不同地球物理场 (地震、电法、重力等) 的先进方法层序—结构解释将有更好的未来, 可以把层序—结构解释看成是通向地球科学一体化的最富有成效的道路。

地球动力解释 (地震地层学、层序—结构解释) 承担着岩相和沉积模型的建立任务, 孔渗和流体模型, 这是下一阶段地球物理和地质包括在测井和钻井及综合解释的最终成果。为了建立这些模型, 一般来说, 需要 3D 地震资料。这种研究极为迫切。因为地球物理解释尤其是 3D 地质解释暂还处在发展的初期阶段。

从地球物理和地质解释所研究的关系可以看出, 其实现的阶段正确地交替着。所以, 在地质勘探工作的完成阶段, 特别是在储层的模拟阶段为了检测油田的开发, 计算——参数过程就成为主要的: 一切都在储层物理参数水平上求解——它的几何形态、储层孔隙度、渗透率等。有关岩相、地层、岩性等地质概念, 在这里已不是最必需的, 因为在前面的一些阶段它们已发挥了自已的作用。

然而, 一旦出现新的地质—地球物理信息: 3D, 4D, 测井, 试油结果等, 就有必要来修改油田的模型。而这些资料的地球动力解释又会处于首位, 并成为决定性的。

从我们简要的历史游览中可以看出, 地质勘探工作的重心是连续的特别是最近几年, 把勘探和开发阶段混在一起了。相应地, 已发现的和已标明的油气田是地质勘探工作的主要目标。孔渗和流体模型是油气田地质模型的最重要类型。该阶段地质勘探工作的主要成果, 是计算储量, 设计开发, 开采及其监测。2010 年的地震勘探正是应该朝着建立模型和取得主要成果的这些阶段发展。

应该指出, 明显地增加井数将是上述地质勘探工作阶段中最重要的特点 (与普查阶段相比增加 10~1000 倍!), 这样地震资料与测井和钻井资料的综合在内容和形式上可能会发生质的变化。

现代地震勘探的“时间切片”:

为了说明地震勘探的目前状态, 可以利用任何周期性发生的事件。例如我们看一下, 在最近 5~7 年的时间内, 国际学术会议和研讨会 (SEG、EAGE、EAEG、EAGE 等) 的出版物。在“地球物理学”杂志上已发表了这种评论, 由于时间范围的局限性, 这一评论没有说明方法发展的趋势, 而实际上是某种“时间切片”。

首先让我们注意一下这些论文集的主要标题。也就是, 它们更稳定的发展方向的指标。

3D, 4D 地震勘探, 是野外工作和处理的方法, 决定着现代地震勘探的最重要的特性。扩展着有关空间分辨率方法的概念。偏移算法也找到了实际的思路, 因为二维偏移总是不适合方法的维数, 即使地震勘探在 2D 工作的情况下也始终是 3D 问题。现在, 观测的立体性还与多分量 (3D-3K) 相结合。根据已有的概念, 3D 地震应在勘探后期采用, 这样可用于开发井网的设计, 4D 地震则在开采阶段用于监测 (目前 4D 实际上已在几十个油气田上使

用)。相应地运用 3D, 4D 所建立的主要模型种类——孔渗模型和流体模型。同时在这种情况下还可能对以前的其它模型进行修改, 使其准确。

高分辨率地震勘探: 在野外数据采集, 特殊的处理和解释方法, 旨在提高方法分辨率, 直接确定其地质有效性方面作出了各种各样的努力。其主要模型种类即薄层构造模型和层序—结构模型。

偏移: 处在地震资料处理和解释相互联系的纽带。美国大地震勘探家 У.А.Шнерер (1980) 很有意思的预测: 如果以前已经发明了偏移, 那么任何共深点法就没有必要了。这儿当然不是说多次覆盖方法, 而只说按共深点的叠加问题。目前这种预测正逐步得到实现。

根据对偏移的已有概念, 不可避免地要求输入三维数据。这就是说现在偏移的主要应用领域, 正是地质勘探工作正在完成的阶段。

反演: 解决地震勘探动力学反问题的参数方向。地球物理解释该方向的迫切性在于地质勘探工作重点的转移, 现在转向油气田勘探的后期, 并进入油气田的开采阶段。反演方法也在转向二维, 近来更向着 3D 场, 在不久的将来这个领域将会有实质性的进步。

AVO: 该方法在“亮点”类的直接找油领域中继承了所有以前的成就。与亮点不同, AVO 充分地发展着不同类型波的综合理论和介质状态应力的预测, 这就保证了该方向发展的稳定性, 同时与其方法物理基础的发展相一致。

地震地层学、层序—结构解释: 在地震资料的地质解释领域中已知的发展方向。现在这些方法的主要实际用途: 在其所有的勘探阶段绘制油气藏的地质模型。这就决定了该方向研究的重要性。

油储模拟: 在不同粘性流体(石油、天然气、凝析气、水)的天然油储中计算多相流体的方法和技术。在计算油气藏储量阶段、设计开发井网和注水井网、油田开发的监测中使用该方法。这个阶段的地震方法的主要应用是准备地质流体模拟的模型, 现在为了开发的监测, 直接采用了 4D 地震勘探的数据。

我们就讨论上面提到的题目。这些标题占据上述资料来源的 90%~95%。可以证实, 它们的应用领域覆盖地质勘探工作的所有阶段以及相应所有地质模型种类。同时简单的分析表明, 这些方法的重心明显地在移向地质勘探工作的完成阶段。这样一来, 地震方法研究工作的趋势已经明朗了。

## 转入预测

我们提出了最近将来能决定地震勘探的主要条件。

首先我们认为在未来 10~15 年内, 油气地震勘探将保持并巩固自己的地位。在勘探可能性方面会不会有超过地震的新物理方法来更替它, 看来不会, 第一, 这种现象未必影响预测。第二, 如果有这种方法出现, 为了广泛推广应用至少需要 10~15 年的时间。

对于地震勘探来讲, 地质勘探工作的关键阶段是: 勘探后期油田投入生产和开发的监测。相应地, 编制孔渗和流体模型将成为方法的最终目的。

21 世纪, 在俄罗斯新的经济条件下, 在地质勘探工作的实践中对油气田地质模型的研究最终一定会成为合理的方向。尤其与当前的实践相比, 那个最大的(波夫霍夫油田类型)和独特的(萨马特洛尔油田类型)油田模型是在钻井 3000~10000 口之后, 油田开采的后期才确定下来的! 走运的中小型油田更少, 通常已结束了开采, 模型还不清楚。

地质勘探工作的巨大经济损失与没有及时编制地质模型有明显的关系，这还可以从不恰当的钻井和地震工作量关系中得到证实。显而易见，模型的编制应提前并应成为油田开发设计的基础。很清楚，这种提前可能性只能以使用地球物理资料为基础，当然应该首先是地震资料。从经济利益的原则来看，世界上地震勘探费用只相当于一口深井，所以工作量始终在增长。众所周知，例如，70年代，在美国对应一口井的地震勘探工作量比俄罗斯约大9倍。目前俄罗斯的这种比例已有改善，达到世界中等水平，但这主要是由于明显的减少了勘探井数。

不难预测出将来地震勘探的装备发展。记录系统的道数不可避免地将不断增加。此时，野外方法可能有两种可采用方法。第一，这种记录方式和系统的最优化直接用在野外。第二，在处理阶段进行优化，要以有剩余的野外系统为基础。由于在地质勘探工作时，最优化在原则上不可能是通用的，而正如实际表明的那样，对于存档的野外资料要多次使用。第二种方法的优越性是很显然的。除此之外，道数的增长能满足高分辨率、多波和3D地震勘探的需求。

在油田的勘探后期和投入开采时实质性的发展得到了称为“开发地震的技术名称”<sup>[1]</sup>。在地质勘探工作的这些阶段中，可以用于研究的井数增加了一个数量级。因此，与地面方法发展的同时的3D、4D的井中方法（VSP，共深点）将会有进一步发展，还有井旁和井间透视的方法。毫无疑问，地质体在纵向上的详细程度将达到新水平，同时还可提高剖面预测孔隙度和流体特性的准确性。

计算机功率将迅速地发展。因此数字处理任何复杂的问题原则上都将呈现出可能性。

在处理领域中共深点的叠加（继续完善的处理算法之一）将完全被叠前偏移所替代，还将发展研究越来越复杂的速度模型。由于在详细研究复杂构造3D体中的2D偏移的有效性很低，增加3D偏移的趋势将更加明显。可以预期3D地震的独特效果将使它在较早的勘探阶段，甚至地质勘探工作的普查阶段得到应用。

由于改变了剖面地震模型的概念，可以预期将大大扩展处理算法，以便得到图像的新形式，并修改以前的算法（反褶积、校正等）。

在解释领域中，可以预期3D、4D数据分析方法在以下几个主要方向有实质性的发展：

（1）研究开发3D分析方法，这些方法应该代替现有的二维分析方法，就是把数据体作为垂直和水平方向的2D切片来对待。

（2）通过改变传统算法内容使解释进一步“地质化”，例如，用地球动力对比，并考虑剖面的构造形态、断裂和相位特征来代替常规的地震对比（相位的、波组的）。

在将来的系统中，地震资料处理和解释（地球物理的、地质的）之间的严格分界线，毫无疑问，将被冲毁。油田的开发和勘探过程的最优化条件就要求这样，这些条件在所有时间内已确定了地球物理技术和方法的发展。

一如既往，在处理解释新方法开发方面的专业化过程在地震实践领域中恰需要相反方向来发展，这就是一体化。它已以集成系统形式在实现（程度、技术、方法等），该系统不仅作为解决所列举的地震勘探问题的手段，而且还是地震勘探家、地质学家、测井专家、储层模拟等集体经验的累积结果。

这个路程的下一步——工作的惟一监测：从地震观测到油储模拟结果。控制这种惟一的过程，毫无疑问，仍然是石油公司的任务：“谁支付，那么谁就可实现自己的意图”。可以预测组织形式，当然，这种形式要适应该过程。尤其是在大型的石油公司里已经有过组织综合

小组的经验，从原始数据到计算储量和规划开发钻井这样一个全过程。

对于油气设计的全部过程的实施必须要有不同专业的专家们的组合体。实际上这样的组合符合我们所要采用的地质模型的连续性。有足够的专业性强的专家。专家们，即多面手们暂时是独特的，它们很想在整体上设计，监督和控制规划。为了实际采用集成系统，要求有大量的这类专家。培养这些多面手，实际上是高校最迫切的任务。

这种任务可行吗？回答这种问题常常要寻找部门历史资料：在以前的历史上是否培养过多面手的专家，例如，在 1913 年的某个地方？显然，回答是肯定的，培养过。称他们为石油工程师。当然，他们的人数太少了，他们都工作在另外的技术、信息和知识水平上。不过这些多面手知道并担负了所有工作，以及石油勘探和开发的所有阶段。

最后还有一个非常合理的预测。2000 年不仅处于世纪交替，而且还感觉到了地球物理学家新老的交替。尤其是，这方面涉及到俄罗斯，在俄罗斯这一交替不仅是人数多少的因素引起的，而且还是社会制度的变化造成的。在这种条件下，最近将来地球物理学家——地震学家还需要“指南”，这是关于他们活动范围的主要发展趋势的概念。也就是说本篇文章首先应寄给他们。

译自《Геофизика》1999, No.1



# 现代地震勘探发展趋势

К. Ж. Сыдыков И. А. Непомнящих 著

刘小琦 译 裘慰庭 校

毫无疑问,在下一个十年及将来,反射波法仍将是需要的地震勘探方法。

本文分析了反射地震勘探法当前发展趋势。在这里面我们着重研究了直达波和反射波,以及它们在地质介质传播过程中产生的整个变换频谱,其中包括回折波、绕射波、和可能带有波形转换的反射。研究成果可能有助于地震勘探方法的发展。因为到目前为止,从事许多创立地震勘探方法基本理论的工作只是一些数学—物理工具的应用。“每天实践中应用的方法,只有很少几个直接产生于基本理论”。这样的分析非常必要,因为到了今天“实践和理论之间的脱节问题跟其它学科一样是研究地震学的中心和实质”。

## 地震勘探发展史就是数据量纲增长史

最能表现出地震勘探发展史趋势的是数据量纲增长趋势。然而要具体正确地讨论这个问题必须定义数据量纲概念。

显然,数据量纲应该由地震记录自变量的个数来定义。理解自变量是该定义的最关键因素。文献的作者提出把地震记录的自变量分为“测量”和“分量”等应用性和非应用性部分。

下面我们把地震数据量纲理解为每一个接收点记录的地震场自变量数。这样的一些如时间和炮检距,我们将在迪卡尔坐标系中进行分析,而地震振动的接收或激发方向,当然要在极坐标中分析。这样的定义跟文献中的定义区别在于不仅避免了上述假定性,而且具有数的真正量纲,特别是可以用观测系统区分 2D 和 3D。引入的记录数据量纲的定义总是跟处理成果量纲一致。在实践中解决地震任务的正确性说明了这一点。

上面提到,地震勘探初期记录一维数据 1D,一个激发点对应一个接收点,这样记录的数据只与一个变量有关—时间。实际上这里借助一次剖面法解决了不均匀介质沿纵向变化的任务。后来出现了多次剖面观察法,开始记录到每个接收点依赖于接收点离激发点的距离和时间的二维数据。面积性的 3D 多次观察还增加了一个坐标—沿垂直测线方向离地震接收线的距离。因而,二维数据研究二维介质,而三维数据研究三维介质。

地震勘探的进一步发展还导致了记录数据量纲的增加,也就是 4D, 3D/3C 观察系统。目前在议事日程上是 4D/3C, 3D/3C, 4D/9C 观察系统。这里所说的不仅是随时间推移的多次重复测量,还有不同方向的激发问题。

4D 地震勘探处理结果是某个记录日期的地震 3D 图形显示。3D/3C 地震测量处理结果总的情况是采用了接收点不同方向分量和不同值  $\alpha_r$  与  $\varphi_r$  的 3D 地震显示。因而决定了更高量纲地震勘探数据处理成果。在此我们注意到,完全合格的处理应该符合观察数据记录分量