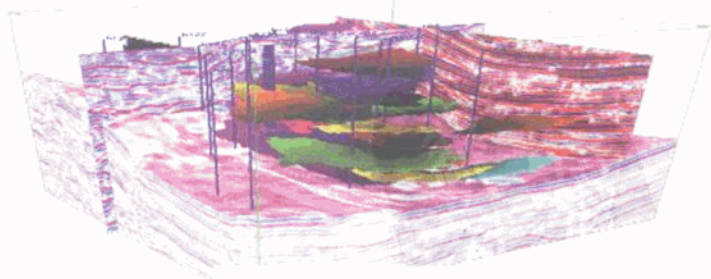




国内外物探技术 现状与展望

曲寿利 王 鑫 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

PDG

国内外物探技术现状与展望

曲寿利 王 鑫 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

为了使广大地球物理勘探工作者特别是勘探管理工作能够及时地了解国内外物探技术的动向,本书收集了大量国内外有关物探技术的信息,并根据物探技术涉及的主要内容和应用领域,从国内外物探装备技术、勘探地球物理技术、油藏地球物理技术及物探技术展望等方面进行了介绍。本书可供地球物理勘探工作者和管理者参考。

图书在版编目(CIP)数据

国内外物探技术现状与展望 / 曲寿利,王鑫编著.
北京:石油工业出版社,2003.9

ISBN 7-5021-4371-8

I. 国…

II. ①曲… ②王…

III. 油气勘探:地球物理勘探

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077472 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印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 4.75 印张 120 千字 印 1—1000

2003 年 9 月北京第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4371-8/TE·3059

定价:18.00 元

前 言

随着电子技术、计算机技术的高速发展,物探装备和物探技术也正在飞速地发展。物探技术已成为油田开发中储层圈定、油藏描述和表征、油藏监测的主要手段之一。近 20 年来,随着物探技术的发展和广泛应用,物探技术逐步演化为两大类技术,即勘探地球物理技术和油藏地球物理技术,而且近十多年来物探技术的主要进展发生在油藏地球物理技术方面。

勘探地球物理和油藏地球物理之间有着一些特殊的区别,通常用特定的术语来表示。这些区别包括如下假设前提,即对于油藏地球物理,在地球物理测量的区域和处理的方法中,有适用的井控制资料,能够进行精细程度的测量或处理,具有精细解释所需要的岩石物理数据。勘探地球物理研究的对象是宏观的(如构造、圈闭、地层、沉积、储层岩性等),而油藏地球物理研究的对象是中、微观的(如岩石物性、精细地质模型、储层连通性与流体、剩余油分布等)。油藏地球物理技术是指能够解决储层特征问题的技术,通常是指特殊地震方法和特殊资料处理方法,包括精细 3D 地震、VSP、井间地震、横波地震、4D 地震(时间推移测定的 3D 地震)、AVO、AVA、VVA、层析成像、多波多分量、属性分析、反演、随钻地震等新技术。

近几年来,随着物探装备的发展,以高分辨率地震、高精度 3D 地震、叠前偏移成像、山地地震、高精度重磁等为代表的勘探地球物理技术,以约束反演、属性分析、4D 地震、井中地震、多波多分量地震等为代表的油藏地球物理技术正跃上新的台阶。高精度采集和 3D 空间成像归位技术以其精确、灵活显示等优点,在国内外已卓有成效地用于查明各种复杂构造油气藏和隐蔽油气藏。约束反演、属性分析、VSP、井间地震技术,在油田滚动勘探与开发的储层描述、精细地质建模及油藏检测中正发挥越来越重要的作用。因此,发展物探技术不仅是油田勘探的需求,更是油田开发的需求。

目 录

第一章 国内外物探装备及技术现状.....	(1)
第一节 地震采集装备与软件.....	(1)
第二节 地震处理计算机装备与软件.....	(3)
第三节 地震解释计算机装备与软件.....	(4)
第四节 非地震装备与软件.....	(7)
第五节 勘探数据管理装备与软件.....	(8)
第二章 勘探地球物理技术现状	(10)
第一节 高分辨率地震勘探技术	(10)
第二节 山地地震勘探技术	(17)
第三节 深层地震勘探技术	(19)
第四节 无边界全波场三维成像技术	(25)
第五节 广角地震勘探技术	(27)
第六节 重磁电震联合反演技术	(29)
第七节 地震解释技术	(30)
第三章 油藏地球物理技术现状与展望	(35)
第一节 油藏地球物理概述	(35)
第二节 地震反演技术	(36)
第三节 地震属性分析技术	(38)
第四节 VSP 和井间地震技术	(40)
第五节 地质统计技术	(44)
第六节 多波多分量技术	(45)
第七节 AVO 分析技术.....	(46)
第八节 识别超薄地层技术	(52)
第九节 利用地震属性进行沉积体系研究及油藏表征	(54)
第十节 四维地震技术	(62)
第四章 物探技术展望	(64)
第一节 地震理论发展趋向	(64)
第二节 物探技术发展趋向	(65)
参考文献	(71)

第一章 国内外物探装备及技术现状

地球物理勘探技术自从在石油工业界得到应用以来,始终处于不断改进和飞速发展的过程之中。特别是近二十多年来,随着电子技术、计算机技术、信息技术等相关学科的飞速发展,地震勘探技术已从模拟发展到数字,从最初的一维勘探到现在的三维乃至四维勘探,从单分量接收到多分量接收,从地面勘探到立体勘探,从简单的构造勘探到寻找隐蔽岩性油气藏。随着地球物理勘探技术向着提高复杂地区油气勘探能力的方向发展,以及向着油气田开发领域的渗透,勘探和描述油藏的能力与精度都得到了很大的提高。地球物理勘探技术即物探技术的发展主要得益于物探装备的发展。物探装备的发展主要体现在五个方面:即野外采集装备与软件、地震数据处理计算机装备与软件、综合解释计算机装备与软件、重磁电化装备与软件及勘探数据库管理装备与软件。

第一节 地震采集装备与软件

地震采集装备是取得高品质地震数据的重要保证,震源激发和信号接收的效果是影响地震数据质量与采集成本的两个主要因素。近年来,在勘探地震采集方面,以超万道地震仪、三分量检波器为代表的单点接收、单点震源成为一种新的采集概念并推动了物探技术的革命性发展;以 3D VSP、井下采集震源与接收装备为代表的开发地震采集装备推动了油藏地球物理技术的发展;另外,基于模型的优化采集设计技术备受重视,从而有效地解决了复杂地区的采集设计问题。

一、勘探地震采集装备

1. 震源装备

对地表相对复杂的区块(如城区、沙漠等)的激发震源一般采用可控震源、聚能弹、坑炮等。为满足复杂地区油气勘探开发工作的需要,可控震源已从早期的小吨位震源发展到目前的 28 吨级(6 万磅级)的大吨位震源,从而大大提高了激发能量。多台组合同步控制精度达到微秒级水平,平均相位误差不到 1 度,从而提高了组合激发的效果。西方地球物理公司研究出了一种新的同步震源方法,其改进之处在于不进行震源信号编码,而是依靠空间震源定位在后续处理中进行成功的信号分离。Mobil 公司开发出了一种高保真振动地震技术,它通过测量和记录各振荡器的相配运动,利用这些实际运动信号来处理采集到的数据,达到高保真的目的,并利用振荡器的运动信号可分离多炮点同步记录数据,这就允许在野外进行多炮点同步采集,从而极大地提高了生产效率。

2. 地震记录仪

地震记录仪是地震采集的重要装备之一。随着机械制造业和计算机技术的发展,地震仪从 20 世纪 50 年代前最早的光点记录方式、50 年代的磁带模拟记录方式发展到 70 年代的 24 道数字记录方式,从 70 年代的 24 道地震仪发展到千道数字地震仪。随着勘探技术的发展,近期又出现了万道地震记录仪,地震记录仪的每一步发展都推动了地震勘探技术的进步和发展。

为满足高精度地震勘探的要求,地震仪器已向着超多道、遥感、高位模数转换(从 24 位到 32 位)以及完善的质量控制系统方向发展。主要的地震仪器生产厂家有: SERCEL, I/O, GEOX, FAIRFIELD 公司等, 主要产品包括: SN338, CM408UL, SYSTEM TWO, SYSTEM2000, IMAGE, ARAM24, ARAMARIES, TELSEIS BOX 等, 这些采集系统具有更高的技术指标。对于 2ms 的采样, 最多可达到 19200 道, 一般可以达到 3000 道, 单线最多接收道数可达到 1200 道, 一般可达到 600 道; 最小采样率已达到 1/8ms; 动态范围达到 134 dB; 高截止频率达到 2000Hz; 信号畸变小至 0.0003%; 共模抑制比大于 90dB。此外, 这些采集系统具有更多的优势。单站、单道的外形尺寸与重量在不断减少; 有线与无线系统做到真正的混编, 从而使野外排列设计更加灵活; 并且数据传输实现了网络化等。

二、油藏地球物理采集装备

1. 多 BT3 分量采集装备

由于多波多分量地震不但可以采集到更为丰富的地震数据信息, 而且可以为地质构造的成像、裂缝和孔隙的确定、储层岩性的解释等提供特定的信息, 20 世纪 70 年代末到 80 年代初, 横波地震勘探有了显著的进展, 最近利用多波多分量来检测方位各向异性方面又有了新的突破和令人鼓舞的成果。

陆上横波激发有多种方式, 主要包括三排井震源、壕沟爆炸索、水平可控震源、车装重锤、倾斜气枪震源等。

对于多分量采集的另一关键因素就是多分量数据的接收。陆地多分量勘探较早使用的是双检波器, 即除了一个测量地面垂直分量的常规检波器外, 再设计一个专用于测定地面水平运动分量的检波器, 后来出现了三分量检波器。目前三分量检波器主要有两种: 一种是测量一个垂直分量及两个正交的水平分量的三分量检波器。另一种是三面检波器, 即 uvw 正交型检波器, 它是将性能一致的三个检波器装在一起, 三分量与地面夹角均为 54.74° , 且彼此相互垂直。

2. VSP 采集装备

井中地震勘探包括 VSP、井间地震、微地震、单井地震和随钻地震等。井中检波器的发展是促进 3D VSP 发展的主要因素之一。近几年发展最快的是多级多分量检波器, 这种检波器的信号在井下数字化后直接传到地面, 多级接收可达 8 级、24 级、80 级, 甚至 200 级, 提高了接收效率, 三分量接收, 可以同时采集到纵波和横波资料。另外, 井中检波器已经小到可以直接置于油管中进行测量。

3. 井间地震采集装备

井间地震一般是在现有的井网上, 选一口井作为震源井, 邻近的一口或几口井作为接收井进行测量。井中震源和检波器是影响井间地震数据采集质量的两个关键要素。井间地震所用的井中检波器与 VSP 的基本相同。井中震源有许多类型, 如可控震源、压电陶瓷、炸药、空气枪、重锤等。根据井间地震的技术要求, 国内外已研制出数十种井下震源, 压力基本上能达到 12000psi, 最大传播距离可达 1000m, 耐高温可达 200°C 。如 P/GSI 公司的井下液压可控震源, TomoSeis 公司的井下压电震源, CGG 公司的耦合导爆索井中震源, Biot 公司的井下空气枪震源等, 基本能满足井间地震测量的要求。

三、野外采集设计软件

目前普遍应用于野外施工设计的软件主要有: 美国绿山地球物理服务公司的 Green Mountain 软件、加拿大的 Omni 软件、法国 CGG 公司的 CGG 野外设计软件、PGS 公司的软件、

北京科浪公司的科浪软件等,这些软件所用的模型模拟技术大多为射线追踪技术。另外,在开发地震采集方面,井下地震技术如 VSP 和井间地震都有专用的商业化设计软件。

第二节 地震处理计算机装备与软件

地震资料处理技术的发展与计算机技术的发展息息相关。从模拟处理到数字处理;从简单的陆上二维资料处理到复杂的山地资料处理、全三维资料处理、高分辨率和深层资料处理等;从常规资料的处理到处理解释一体化的叠前深度偏移技术,每一次地球物理技术的进步都离不开计算机技术的进步和应用软件的发展。

以胜利油田的地震资料处理计算机装备为例,其发展过程已历经了数代的变化。从最早的 IRIS60 机、TIMAP - I、TIMAP4、VAX11/782、IBM3083,到并行计算 SGI/Orgin2000 和 IBM - SP,以及目前正在迅猛发展的 PC - CLUSTER,运算速度已从最初的每秒 40 万次提高到现在的每秒亿次。

随着地震资料处理硬件装备的发展,处理软件也在不断地更新,处理技术日趋完善。勘探软件是现代地震勘探和油藏描述的基本必备工具,自 20 世纪 70 年代,国外的一些软件公司已着手开发地震处理及解释软件系统,并初步形成了商业化软件,开始在全世界范围内推广和应用。进入 20 世纪 90 年代,比较成熟的处理软件有西方地球物理公司的 Omega 处理软件、法国 CGG 公司的 GEOVECTEUR PLUS 处理软件、LandMark 公司的 Promax 处理软件、帕拉代姆公司的 GeoDepth 软件、Focus 软件。国内较早从事勘探软件研究和开发的单位,主要是以东方地球物理公司(原石油物探局)为主,它的处理软件为 Grisis 处理软件。这些软件的处理技术水平各具特色。另外,随着油藏地球物理技术的发展,各种相关的特殊处理软件逐步发展与完善。

地震技术的发展与计算机技术的发展息息相关,下面介绍其发展状况。

一、石油地震勘探技术的发展

石油地震勘探技术的发展从 20 世纪 50 年代开始至今,经历了不同历史发展阶段。50 年来石油地震勘探技术有了突飞猛进的发展(见表 1-1)。

表 1-1 石油地震勘探技术发展概况

阶 段	地 震 仪	有代表性的方法/技术	数据维数	解决的主要问题
20 世纪 50 年代前	光点照相记录	人工处理	1D	划分构造单元,圈出有利构造盆地,查明区域构造特征,发现各类局部圈闭
20 世纪 50 年代	模拟磁带记录	多次覆盖	2D	
20 世纪 60 年代	数字地震仪 (24 道至千道)	高次覆盖、偏移技术	2D	预测和识别油气圈闭的结合形态
20 世纪 70 年代		三维地震	3D/3C	查明各种复杂构造以及隐蔽油气藏,描述储集层参数分布和非均质性及其微观特征、油藏内流体性质和分布,以进行油藏综合评价,为油藏模拟建立初始地质模型
20 世纪 80 年代				
20 世纪 90 年代		叠前深度偏移、高精度三维地震、开发地震		
20 世纪末 21 世纪初	万道数字地震仪	各向异性技术、开发地震技术	4D/9C	精细油藏描述、油藏动态监测

二、计算机技术的发展

自 20 世纪 60 年代以来,我国计算机技术的发展历程如表 1-2 所示。

表 1-2 我国计算机技术的发展历程

年 代	机 型	运算次数/秒	输入方式	运算方式
20 世纪 60 年代	小型计算机	15 万次以内	纸带输入	小标量机
20 世纪 70 年代	中型计算机	15 万至 100 万	卡片输入	大标量机
20 世纪 80 年代	大型计算机	100 至 1000 万	终端输入	标量 + 褶积器
20 世纪 90 年代	巨型计算机	1000 万至 1 亿	交互输入	向量或超标量
	并行计算机	百亿次以上	交互输入	并行运算
21 世纪初	PC-CLUSTER	万亿次以上	交互输入	大规模并行运算

由于计算机技术的发展,原来只能进行理论研究而不能实现的算法目前可以得到经济地实现。

三、地震数据处理软件的发展

1. 批处理阶段

20 世纪 70—80 年代末,由于计算机技术落后,限制了地震处理软件和处理技术的发展,地震处理软件一直处于批处理阶段,代表性的软件有:

法国 CGG 公司 GEO-MASTER 软件
美国 GSI 公司 TIPEX 软件
美国 WGC 公司 IQ 处理软件
美国 CSD 公司 DISCO 软件

2. 交互处理阶段

20 世纪 90 年代初,随着计算机技术的飞速发展,地震处理软件和处理技术发展很快。开始发展交互地震处理软件。代表性的软件有:

法国 CGG 公司 GEO-VECTOR_PLUS 软件
美国 IAE 公司 PROMAX 软件
美国 WGC 公司 OMEGA 处理软件
美国 CSD 公司 FOCUS 软件

3. 处理解释一体化与三维可视化

20 世纪 90 年代末至今,处理解释一体化与三维可视化技术发展很快,以 LANDMARK 和 PARADIGM 公司为代表,发展了优秀的处理解释一体化与三维可视化软件。

第三节 地震解释计算机装备与软件

近几年来,随着计算机等技术的发展,地震解释技术取得了很大的进步,其进展主要表现在交互三维构造解释、断层分析、地震反演、地震属性分析、三维可视化、地质建模与地质统计技术等方面,它大大提高了对复杂构造、地层、岩性圈闭的解释和描述能力及精度。

一、可视化解释软件

三维可视化可以归结为以下三个方面:

(1)资料显示,可视化技术可以把资料显示由传统的 2D、彩色、静态领域拓展到 3D、真实感、动态领域。可以把多种资料综合显示到 3D 空间分析他们的关系。

(2)用解释结果进行地质 3D 模拟。

(3)地质和地球物理过程的仿真模拟。

近年来,许多公司致力于地学可视化应用软件的开发,取得了可喜的成果。在 3D 图形工作站环境支持下,各种基于数据体操作、基于图素提取与曲面造型、基于体绘制技术的应用软件相继出现。有代表性的可视化解释处理软件如表 1-3,它们基本上代表了当今综合解释工作站 3D 可视化软件功能的最高水平。

表 1-3 三维可视化解释软件

公 司	软 件
Landmark	3DVI(3D 体积解释)、Voxcube(3D 立体动画)
Geoquest	GeoViz(交互三维解释)
Paradigm	VoxelGeo(真三维地震解释系统)
DGI	Earth Vision(基于 3D 空间地质建模)
Photo	3Dviz(3D 体可视化)
IEN	PetroMVT(石油虚拟现实)

国内最早开发研究解释软件的是东方地球物理公司的 GRISTation 地震地质综合解释系统,它包括地震构造解释、地质解释、三维可视化显示与成图工具、储层分析及综合评价等功能。

二、地震反演软件

地震反演分为合成声波测井(常规递推反演)、约束反演(如 PARM、ROVIM 等)、宽带约束反演等。地震反演的重要进展表现在目前发展了几套较成熟的高水平测井约束反演软件,如表 1-4。

表 1-4 地震反演软件

国家或公司	软件名称
俄罗斯	PARM
法国 CGG 公司	ROVIM
Hampson-Russell 公司	Strata/Geosmart
荷兰 Jason 公司	Jason
丹麦	ISIS
Veritas 公司	RC2
美国 EPT 公司	EPS

三、多属性体联合解释软件

多属性体联合解释技术主要分为以下几个方面。

(1)构造解释:相干分析,包括相关系数、方差体等其他几何属性。

(2)地震相分析和储层预测:主要有 RSI 储层/油气藏表征软件和 Landmark Poststock、Geoquest Seisclass 等属性参数提取软件。

(3)油气检测:利用叠前叠后属性信息进行含油气判识、Proni 变换吸收滤波软件。

四、裂缝预测方面的软件

用于裂缝预测方面的软件主要有:Veritas 公司的 RC2、英国 Midland Valley 公司的 3D Move 和 2D Move 软件等。

五、地质综合研究方面的软件

用于地质综合研究方面的软件有:盆地模拟软件 IES Petromod、断层封闭性分析软件 FAPS。

六、油藏建模的软件

用于油藏建模的软件参见表 1-5。

表 1-5 油藏建模软件及公司名称

用 途	软 件	描 述	公 司
Petrophysics	Geolog	测井数据的处理分析	Paradigm
	LESA	合成地震道	Digital Formation
	PRISM	井资料处理解释系统	GeoGraphix
	NNLAP	井曲线等井数据的神经网络合成	PST
	STRATA	反演	Hampson - Russell
	VOXELGEO	三维可视化解释	Paradigm
	SEISVISION	地震显示	GeoGraphix
3D Geo - Modeling	3Dmove	三维平衡剖面、应力分析	Midland Valley
	gOcad	地质建模	T - Surf
	IRAP/RMS		ROXAR
	PETREL	随机建模	Technoguide
	RESMOD	统计建模	RC2/Veritas
	STRATAMODEL	地质建模	Landmark
Upscaling	FLOGRID	流体模拟网络建立和岩石物理属性分析	Geoquest
	GEOLINK/GRIDGENR	模型转换和模型网格化	Landmark
	ResScale	模型粗化	RC2/Veritas
Simulation	ECLIPSE	数值模拟	Geoquest
	SENSOR	压力分析	Coats Engineering
	VIP	油藏模拟	Landmark
	3DSL	流体模拟	Streamsim
	SURE	油藏模拟	RC2/Veritas

第四节 非地震装备与软件

近年来,随着电子技术的飞速发展和计算机技术的广泛应用,以及资源、环境与工程勘查领域的巨大需求,重、磁、电等非地震物探技术得到了较大发展,呈现出蓬勃的生机和广泛的发展前景。

一、采集装备

目前,重、磁、电采集仪器的体积已大大地缩小,记录方式开始采用自动记录、自动存储,特别是观测精度得到了大幅度提高。

重力资料采集方面,从采集精度到记录格式都有了较大的发展。美国生产的 Lacoste D 型地面重力仪精度可达到 $7\sim 10\mu\text{Gal}$,比 20 世纪 50—60 年代提高了近百倍;G858 铯光泵磁力仪精度可达到 0.005nT 以上,与早期几个甚至几十个 nT 的磁力仪相比提高了近千倍,而且采用连续自动记录方式。目前国内已经开始应用更高精度的超导重力仪和磁力梯度仪来测量微重力和磁力梯度的变化,进行油气田的动态监测。最近一种称为深部密度透视(Deep Penetration Density)的新型井中重力仪也已经问世,与 20 世纪 90 年代初的井中重力仪相比而言,这种井下重力仪的稳定性、适应性都已大大提高。

电磁勘探仪器的更新更快,主要得益于地震记录仪成熟技术的大量移植。目前,电磁勘探仪器的精度可达 $0.1\mu\text{V}$,其动态范围、采样率与地震仪指标没有差别,如 24 位模数转换、无线电或 GPS 同步方式等技术与地震记录仪相同。全球卫星定位系统(GPS)技术的应用促使了非地震物探仪器及采集方法的根本性革新。特别是最近推出的 MT24(美国 EMI 公司)、V5-2000(加拿大 PHONIX 公司)电磁勘探采集系统见表 1-6,能进行三维高密度、高精度磁力采集处理。

表 1-6 电磁勘探仪器的发展

年 代	重力仪精度(mGal)	磁力仪精度(nT)	仪器产地	仪器型号
20 世纪 50 年代	0.1~0.2	3~5	德国、美国	
20 世纪 60~70 年代	0.05~0.1		中国	ZS2-66、ZS-67
20 世纪 60~70 年代		3~5	中国	CS2-61、CRJ1-69
20 世纪 80 年代	0.2		美国	LCR-G
20 世纪 80 年代		0.1	美国	G856
20 世纪 90 年代	0.01 0.005		美国	LCR-G LCR-D
20 世纪 90 年代末	0.005 0.004 0.004 0.05	0.005 0.004 0.004	美国 美国 美国 加拿大	G-858 Lacoste&Romberg D/G L&R U23/25 CG-3 BHGM13、BHGM13 MT-1、MT-24、MT-U5、 V5、V5-2000

二、非地震处理解释装备

20 世纪 90 年代以来,国内外非地震勘探方法在计算机装备、处理解释与联合反演软件等方面有了长足的发展。表 1-7 列出了 20 世纪 90 年代以来国内外非地震勘探方法在计算机发展方面的进步。目前用于非地震勘探的软件主要有美国的 LCT 软件、加拿大 GeoSoft 公司的 OASIS montaj 和 ARK Field 软件(重、磁、震联合解释软件),这些软件主要用来完成重磁震联合解释工作。ARK Field 软件由四个部分组成:FIELD VIEW(主界面)、SEISMIC(地震剖面的显示)、GRID(重磁网格数据的显示与处理)、MODEL(重磁模型的正演)。这些软件的特点是:将重力、磁力资料与地震资料有机地结合到一起;使重力、磁力资料在详探阶段也发挥重要作用;能够解决许多单独依靠地震或重、磁力无法解决的问题;使地震资料解释精度有了提高。OASIS montaj 是加拿大 GeoSoft 公司开发的一套地球物理资料处理解释软件。它包括一个十分优秀的软件应用平台和数据管理系统。集成了重、磁、电、地化、钻探、激发极化、地雷检测、环境等专业处理解释的先进技术和功能。

目前国内应用最为广泛、效果也较好的重磁电震联合处理解释软件有石油大学开发的 EMAP 法(MT)处理解释软件。EMAP 法(MT)解释的基本思路是:在资料预处理(编辑、圆滑、静位移校正、极化模式判别)的基础上,进行资料定性分析,结合地质资料 and 不同地质体的电性特征,建立反演计算模型,确定电法地质剖面。

表 1-7 非地震勘探方法处理技术进展

	1992 年	1994 年	1996 年	1998 年	2000 年	2002 年
机型	386	486	586	奔腾 300	工作站或并行机	并行机、PC 机群
处理能力	1D 正演	2D 正演	2D 反演/12 小时	2D 反演/1 小时	2D、3D 反演	多参数联合反演
建模方式	手工	手工	自动	智能	智能	综合、智能
结果输出	数据	黑白图	彩图	多媒体	可视化	3D 可视化、4D 漫游

第五节 勘探数据管理装备与软件

目前国际上一些先进的石油公司及企业,勘探开发数据的产生、管理、应用已经实现了高度的集中和自动化,形成了能够统一存取各种类型数据如文字、数字、图像、图形、空间模型等一体化开放处理环境。比如 CGG 公司的勘探开发数据管理系统,LANDMARK 公司的勘探开发一体化管理系统等。

在数据管理方面,比较有代表性的就是石油数据银行技术,在国外也得到了飞速发展。挪威 Diskos 项目建立数据银行的成功经验很快被 PGS 公司推广到世界各地,目前已在英国伦敦、美国休斯敦、澳大利亚珀斯等地建立了地区级的石油数据银行(他们称为 GeoBank)。阿尔及利亚国家石油公司 SONATRACH 用世界银行贷款,共投资 1650 万美元,委托 CGG/Petrosystem 和 PECCL(石油勘探计算机咨询公司)建设国家石油数据银行,于 1994 年 6 月底启动(他们称为 DataBank),该项目涉及包括模拟磁带在内的数十万盘地震数据带和数千口测井数据带,数万张图件和勘探报告等,要求将其全部加载到数据银行中并能随时供解释站调用,该项目现在已经完成。

此外,一些国家和公司,如秘鲁、澳大利亚昆士兰州、哈萨克斯坦等纷纷委托服务公司或与服务公司共同承担建设国家石油数据银行。各大石油公司或服务公司如 Mobil, Elf, Conoco, Agip, ShellARCO, VASTAR, Geco/Prakla 等也正在加紧建设自己企业或地区性的石油数据银行。Geoquest 公司用其 Finder 产品为许多公司建立了石油数据银行,目前他们与 Conoco 公司合作,有近 100 人从事数据银行的建立工作。PGS 公司从事数据银行工作的人员也达 150 人左右。

另外,在一体化数据管理的基础上进行的地震采集、处理、解释一体化技术研究方面也不断出现新的成果。如德士古公司大力发展地震采集、处理、解释一体化技术,使三维地震周期缩短一半以上,其依靠三维可视化技术,尤其是沉浸式虚拟现实技术,使过去要几个月或至少几周的三维解释时间减至几天。委内瑞拉国家石油公司 PDVSA 制定了从现在起到 2007 年生产目标翻一番的规划,即产量从 320 万 bbl/d 增加到 600 万 bbl/d,其主要的措施之一就是改进数据管理、大力采用信息新技术和在此基础之上的 E&P 新策略。

目前国内各油田基本都致力于勘探数据库的基础建设阶段,主要体现在单项管理方面的开发和应用,为决策提供支持方面的服务系统还处于探索阶段。新疆油田公司正在实施一个较大的生产数据仓库建设计划,并已初见成效。

现在,由于一种真正三维的地理信息系统——“数字地球”已现雏形,这使得目前正在使用的以工作站、可视化技术研究地下结构的方式将逐渐变得过时。今后的工作方式应是“数字油田”,即通过三维界面、多分辨率浏览器及联网的分布式数据库,集成和显示不同数据源信息。或者说,构造一种虚拟可视化环境,使人仿佛身临其境,从而更接近人脑的工作方式。国内胜利油田正在开展基于数据库管理的勘探辅助决策系统建设,图 1-1 是胜利油田与斯伦贝谢公司合作建设的勘探数据管理的基本平台框图。它是由计算机服务器、自动带库、数据管理软件、数据浏览界面及应用软件接口组成,可以方便地实现数据的加载、存储、浏览查询,并为应用软件直接提供数据。

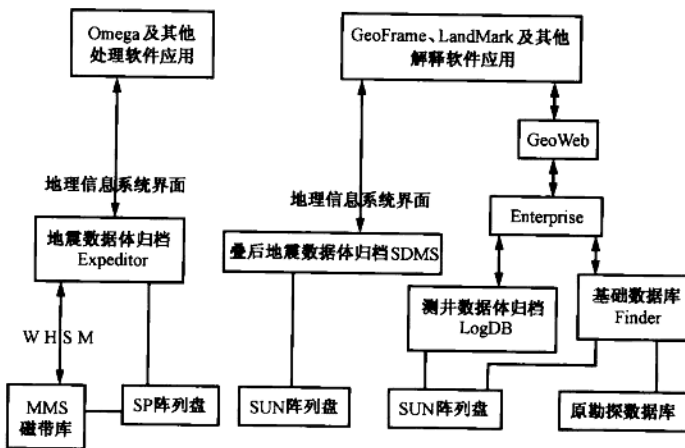


图 1-1 数据库数据管理基本平台框图

第二章 勘探地球物理技术现状

近年来,随着物探装备的发展,以高分辨率地震、高精度 3D 地震、叠前偏移成像、山地地震、高精度重磁等为代表的勘探地球物理技术,在国内外已卓有成效地用于查明各种复杂构造油气藏和隐蔽油气藏,在油田勘探与开发中正发挥越来越重要的作用。本章重点是从高分辨率地震勘探、山地地震勘探、深层地震勘探、大面积连片偏移成像、广角地震、重磁电震联合反演、常规地震解释等方面介绍勘探地球物理技术的发展现状。

第一节 高分辨率地震勘探技术

高分辨率地震勘探技术是一个系统工程,包括采集、处理、解释。经“七五”、“八五”和“九五”的技术攻关,我国的高分辨率地震勘探技术已处于国际前列,如在野外采集中的激发、接收及录制技术等方面,以及处理中的去噪、静校正、反褶积和偏移成像等方面,已形成了与高分辨率地震勘探相配套的实用生产技术。

一、高分辨率地震采集技术

高分辨率地震采集技术的主要进展体现在地震波激发、地震波接收、采集方法论证,以及噪音压制等方面。

1. 地震波激发

激发震源是影响资料分辨率的主要因素,高分辨率地震勘探激发震源产生的子波应满足以下条件:宽频带、高主频、高信噪比,近年来其主要技术进展包括以下方面。

1) 特殊激发震源的广泛应用

围绕如何提高高频信号的能量,并且充分利用炸药的激发能量,减弱表层干扰波的能量和对地面设施的破坏作用研制了大量的特殊激发震源。如垂直延迟叠加震源,利用单点小药量激发高频成分相对丰富的原理,克服了小药量能量不足的缺陷。爆炸地震锤则通过爆炸能量抛射锤头撞击地层,产生相对较强的地震波能量,从而带有较好的定向性。特殊激发震源的应用,可以较好地解决普通炸药震源能量转换效率低,产生次生干扰大的难题。这些特殊震源能有效提高激发信号频率,增加有效波能量,减少干扰波能量。如图 2-1 是特殊激发震源与普通震源的对比记录,可以明显地看出延迟叠加震源(图 2-1c)的记录无论频率宽度还是信噪比都是最高的,爆炸地震锤(图 2-1b)次之,普通炸药震源(图 2-1a)最低。但是,在实际应用中应针对不同的地表条件,选择不同的激发震源,例如:在沙漠中施工可以较好地使用炸药震源和可控震源,在城市中施工为了减少对楼房的损伤应尽量地少使用炸药震源而选择可控震源和聚能弹。为了采集到深层的地震信号应尽量地选用垂直延迟叠加震源以增加其向下传播的能量等。

2) 激发井深选择技术的进展

目前多利用双井微测井确定虚反射界面,双井微测井资料可以容易地确定虚反射界面,再对每一道记录进行频谱分析可以清楚地看出激发频谱最宽的位置和激发点变化引起的虚反射的影响。双井微测井一般采用接收道数 24 道,每道一个检波器,道距 5m,根据对地质的调查

选取一定的井深,然后每 0.5m 进行一系列点的观测,对这些观测结果进行分析,确定准确的虚发射界面,以此来选定合适的激发井深(如图 2-2)。

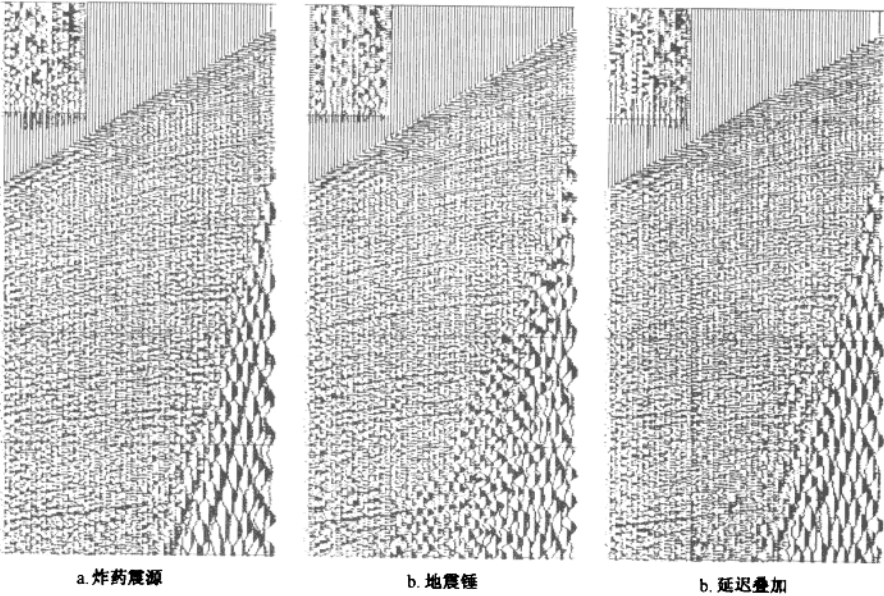


图 2-1 特殊激发震源与普通激发震源记录对比

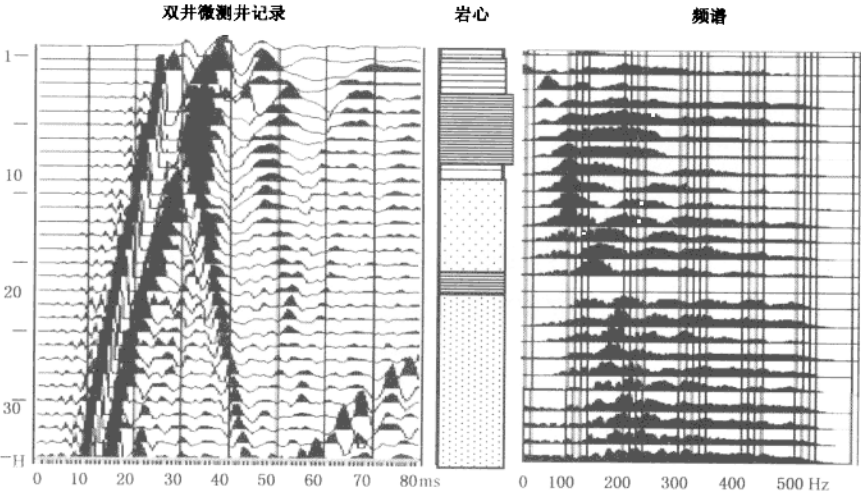


图 2-2 双井微测井记录、频谱与表层岩性对比

2. 地震波接收

地震波接收技术主要包括三个方面:

- (1)高灵敏度加速度检波器;
- (2)提高检波器与大地的耦合谐振频率方法;
- (3)仪器要具有较小的时间采样率。

3. 采集方法论证

(1)利用计算机软件进行采集参数论证,其中包括:面元大小、覆盖次数、最大炮检距、道距、组合基距、纵横分辨率等。

(2)根据采集参数设计观测系统,并对观测系统进行分析,其中包括:反射点方位角分布均匀、大小炮检距分布均匀、覆盖次数分布均匀等。

(3)运用正演模拟技术进行模拟观测,并对整个观测系统的性能进行综合分析,合理确定观测系统。

4. 压制噪音

通过对噪音能量的分析,可以观察到平静条件下的环境噪音与激发地震信号的能量相差较大,但对信噪比不会造成很大的影响,即使在记录的 3~4s 处 60~120Hz 滤波档内,地震信号的能量也远大于环境噪音的能量。通常,激发之后产生的各类干扰(包括伴生干扰和次生干扰),尤其是次生干扰,形成了一个噪音背景平台,这个背景平台随着激发能量的大小而变化。因而,应重点考虑从产生噪音的根源上压制噪音。充分利用表层结构和激发方式来减少传向地表的能量,这不仅是减少表层干扰波的问题,而且可以相应地减少各种次生干扰波的能量。接收组合尽管是一种被动的压噪方法,但也可以充分利用各种干扰的特点和组合的方向性来有选择地压制某个频率范围内的噪音,达到拓宽优势频带的目的。

二、高分辨率地震资料处理技术

高分辨率地震资料处理技术主要包括噪音去除、静校正、反褶积和偏移成像四大关键环节。

在保持信噪比的前提下,对地震信号的频谱进行展宽,确保对薄互层勘探目标的地震分辨率。从信号分析的角度看,高分辨率地震资料处理是对地震子波振幅谱和相位谱的合理改造过程。近几年发展起来的具有特色的主要技术有:

- (1)基于折射波的地表一致性校正;
- (2)基于反射波的地表一致性相位校正;
- (3)优势频带算子外推去噪处理;
- (4)地表一致性和谐修正等反褶积;
- (5)叠后频率加权及调谐反褶积;
- (6)高精度分频静校正;
- (7)基于不同信噪比条件的复合多域去噪技术;
- (8)地质模型研究及区域速度分析技术;
- (9)均衡 DMO 技术等。

在此不系统地论述高分辨率地震处理技术,只介绍几种在实际生产中应用较好的有特色的反褶积和静校正方法与应用效果。

1. 反褶积方法

地震勘探的分辨率主要取决于地震波的频谱,它包括两方面的含义,即频带宽度和相位。高分辨率地震资料应当有宽频带和零相位的频谱,改善地震波频谱的最有效手段之一是反褶积技术。目前用于生产的反褶积方法很多(如地表一致性反褶积、谱修正反褶积、叠后多次迭代反褶积、叠后谱白化和反 Q 滤波、井资料约束反褶积、频率加权滤波、调谐反褶积等方法),每一种反褶积方法都是建立在一定假设条件下的地震褶积模型之上。所以,反褶积的效果大都取决于所采用的褶积模型与实际地震记录的符合程度。

1) 谱修正反褶积

脉冲反褶积、预测反褶积和地表一致性反褶积等方法之所以在提高有效波高频成分的同时放大了高频噪声,是因为这些方法在反褶积算子设计时都是在地震信号的全频带范围内进