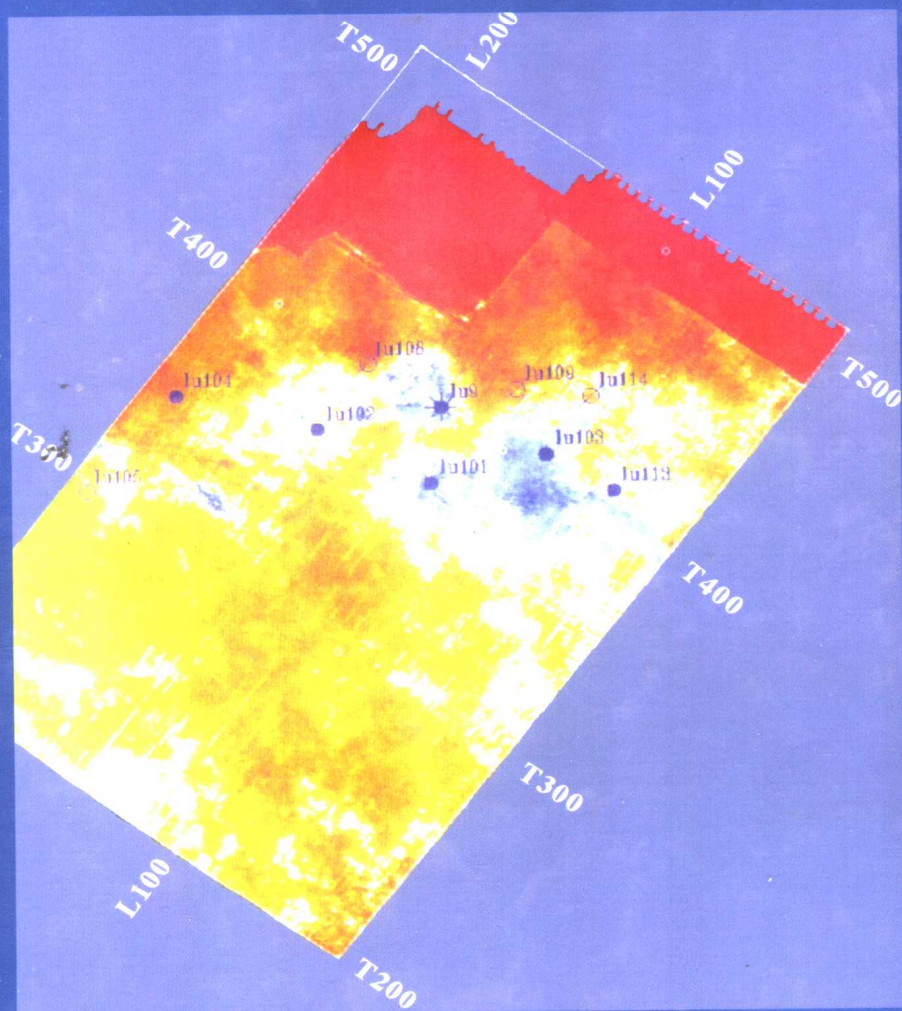


油气预测与油气藏描述 ——地震勘探直接找油气

Prediction about Oil-Gas & Description of Reservoir — Direct Searching for Oil-Gas by Seismic Exploration

江苏科学技术出版社

□黄绪德 著



P618.130.8
H900

P618.130.

H900

油气预测与油气藏描述 ——地震勘探直接找油气

Prediction about Oil-Gas & Description of Reservoir — Direct Searching for Oil-Gas by Seismic Exploration

□黄绪德 著



江苏科学技术出版社

.954508

3

图书在版编目(CIP)数据

油气预测与油气藏描述：地震勘探直接找油气/黄继德著. —南京：江苏科学技术出版社, 2003. 12

ISBN 7-5345-4010-0

I. 油... II. 黄... III. 油气勘探：地震勘探
IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 088002 号

油气预测与油气藏描述

——地震勘探直接找油气

著 者 黄绪德
责任编辑 宋 平

出版发行 江苏科学技术出版社
(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
照 排 南京展望文化发展有限公司
印 刷 丹阳教育印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 16.5
字 数 400 000
插 页 20
版 次 2003 年 12 月第 1 版
印 次 2003 年 12 月第 1 次印刷
印 数 1—1 000 册

标准书号 ISBN 7—5345—4010—0/TE·8
定 价 60.00 元(精装)

图书如有印装质量问题,可随时向我社出版科调换。

翟光明序

自从上个世纪以来,众多的地球科学工作者都在研究:要是能找到一种直接手段或方法检测出地下的油田和气田来就好了,那样就可以大大减少油气勘探的风险,提高油气勘探的成功率。但是,客观事物发展的规律毕竟不如人愿,要想不费力气就能轻易获得好结果真不是那么容易。

上世纪初美国地质学家怀特提出背斜构造理论后,不仅使找油找气工作有了一个突飞猛进的发展,而且把石油工业及整个能源工业向前大大推进了一步,改变了以煤炭和木材为主的能源供应,是对 20 世纪划时代的贡献。至目前,一百多年过去了,随着对环境保护的要求,对清洁能源的需求与日俱增,但是石油和天然气都属化石能源,是一种不可再生的有限燃料,进一步找寻是相当困难的。

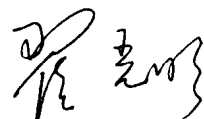
地球学者特别是地球物理学家和地质勘探学家,都在找寻新的办法,以揭开油气在地下深处的存在并弄清它们的物性。这个任务首先就落在地球物理勘探家的身上。上世纪以来,国内外不少学者都做了不少尝试,应该说取得了很好的效果。例如,用地震反射界面性质的不同寻找油气;用地震反射特性与测井地层物性的综合进行横向追踪;除以上利用工作站外,还有利用微机进行分析、整合,指出地下物性变化和油气分布的关系,从而找出油气的指向,以及电法勘探等。总的来看,还是利用地震、非地震物探资料与地质、测井资料的综合,应该说获得不少成果,对进一步准确判断和认识油气的分布取得了很好的成绩。

黄绪德先生所做的工作,是利用地震资料作多参数提取并优选复合,来直接判断储层中是油、气、水还是干层。他经过理论分析,特别是用实践所取得的经验写成本书,从原理到各种参数分析整理方法,建立各种油气藏的识别模式和参数、复合异常的优选标准,可以说这是把地质地球物理以及各方面资料综合而成的从理论到实践的一部力作。我认为,黄绪德先生的工作是出色的。作为一个地质工作者,我一向认为,只有地质与地球物理结合,对地球物理作进一步地纵深研究,开拓新的思路,才可能在勘探上出现新的突破。任何事物,在一定的理论和规律引导下,坚持不懈地进行下去最终可以达到一定的目标。正因如此,黄绪德先生在地震勘探直接找油气方面做出了成绩。相信他和广大的地球科学工作者(有很多地球物理工作者也在攻关此项工作,也都取得一定的效

果),终会使这项关键技术取得决定性的突破。

应该提出的是,即使是地球物理学者本身也在用地球物理方法直接找油的问题上看法有分歧。有的学者认为,在地下几千米深度的油气如果仅从地面上取得参数会受到多种因素的制约,不容易获得真正的物性参数;有的则认为地面干扰足够大而使参数根本不可信。但是大量的实践资料在理论的指引下,还是取得了很好的成效,有些人认为是“巧合”。但是众多“巧合”聚集一起就成为现实。而本书中的例子是将参数和复合异常与已知井的油气产能或潜能的线性相关度作约束,就很难认为是“巧合”。当然,要进一步总结分析每一步成果,再加以提高,难关终会突破的。

我祝贺这部论著出版,也赞赏黄绪德先生的成就,愿他把这项工作在现有基础上进一步深入。我是赞成这项研究工作的,也曾是这项工作的积极支持者,更希望黄绪德先生坚持研究下去。我认为,坚持、坚持、再坚持,必将会取得更大的收获。



2002年3月28日

翟光明先生系中国工程院院士、原中石油勘探开发研究院院长。

陆邦干序

由于目前石油物探的所有方法都是间接找油气,造成的浪费十分惊人,影响油气成本巨大,对此,人们处于无可奈何的境地。勘探家们长期以来梦寐以求的正是希望能够直接找油找气,物探界老前辈顾功叙先生生前很早就提出地震直接找油找气的设想,他的根据是:① 地震反射波法探测目前已能且只能间接找油;② 现在尚待探测的构造愈来愈复杂;③ 大量石油还存在地下非构造的部位中。数十年的实践证明,这些实在是至理名言。翁文波前辈生前还提倡并亲自从事地球物理(放射性)和地球化学(微量元素)直接找油找气工作。

我一辈子从事石油物探工作,一直期望和促进多种方法的试验以进行直接找油找气(也包括油气预测等),真正获得效果并被普遍认同的只是地震亮点法找中浅层气藏。总的来说,直接找油找气特别是找油的效果不明显、不肯定或模糊的居多,因此,不赞成的人多,赞成的人少。不赞成的人主要认为当前技术水平低、实施效果差、缺乏理论和模拟证实,这是有一定道理的。赞成的人认为,理论往往需要很长时间才能跟上实践,技术水平和效果也是可以提高的,特别是不能等到理论完全解决了才去实践,实践总是第一性的,搞成每一次直接找油找气的试验项目,才是对石油工业的一次实实在在的贡献。但在实际工作中,有时管理层不支持,难以成立实验项目;有时执行人技术保密或自我吹嘘成功率如何高,定产能、定储量如何准,反招致怀疑反对;有时好心人再三提醒我,地震方法(更别论其他方法)分辨率根本达不到,含油气性与地震参数很难找到直接的对应关系,老想搞直接找油只怕弄得名誉扫地。为了这些,我常感到困惑而难以解脱。

老友黄绪德示以他写的《油气预测与油气藏描述——地震勘探直接找油气》一书文稿,通读全书后,加上多年对他在直接找油气工作方面的了解,很能解脱我的困惑,遂欣然命笔。本书为作者五十年来地球物理勘探工作的积累,加上约十年来直接找油气的研究与实践,辛勤笔耕的地震勘探直接找油气的专著。他主要特点有四:

一、敢于创新,成果累累。建立了百灵公式,建立了可信度、有效性、稳定性三者的联合评价(BES)系统,确立了最佳复合异常的确定原则和油气预测的方法,确立了预测油的最佳参数与气的不同原则,研制了百灵油气预测工作站软件系统,易于应用并得到用户好评。最重要的是将参数及复合异常与油气潜

能的线性相关度来作评价,这就摆脱了主观臆断,将参数和复合异常的优选置于科学的基础上。

二、理论完整,基础扎实。全面阐述了基础工作、双相介质理论、测井资料和地质地球物理参数分析、正反演模型剖面、多参数加权复合等,基本上囊括了地震勘探的方方面面。求取参数,明确有据;裂缝分析,实践证实。

三、实践丰富,成果明显。用百灵软件已处理了十几块工区的地震资料,除第一块外,钻井资料反馈的信息十分令人鼓舞。书中所附四个实例均有代表意义:实例①白垩系下统砂岩油(气)藏实钻井验证其评价可信度达 86%,定量预测均方误差达到可接受的水平,实属难能可贵。实例②上第三系砂岩油藏预测,计算了 21 个砂体的 3 000 万吨储量,获得国家储委批准,是少有的先例。实例③侏罗系致密砂岩裂缝气藏,在最佳复合异常区所钻三口井均为高产。实例④二叠系灰岩缝洞气藏,复合优选出三个异常。实例③与实例④为裂缝性油气藏的预测开了先河,前途不可限量。每个实例都是地质与地球物理相结合,艰苦研究与大量运算,过程图幅以一两千计,才归纳和优选出少数成果图,提供给人们应用。处处反映了作者的技术思路随地而异,随时而进,不断求其完善,精神可嘉。

四、总结精练,立论有据。提出油气预测解释策略的 64 字方针,又总结了以往油气预测或直接找油气失败的一般性原因和预测成功必须遵循的十条措施,根据充分而又高度概括,真是字字珠玑,落地有声;也切切实实地解脱了我个人的困惑,更加坚定了会逐渐实现直接找油气的信心。

全书共 16 章,处处反映了作者不畏困难、迎着石油工业世界级难题而上的精神。年逾七十仍不断奋斗,写出这本书,实在令我钦佩不已。本书不仅是一本当前有志于油气预测和直接找油气的地质人员和地球物理人员的工作手册,也将成为后人的经典参考书,不失为传世佳作,且可提高石油地质部门和管理层应用的决心,大有裨益于投入少量研究费用、产出更高的钻井成功率,从而最终降低油气成本。

是为序。

陆邦干

2002 年 3 月 30 日

顾功叙论地震勘探直接找油气

(一)

给作者的一封信(部分):

黄绪德同志:

关于直接找油问题,我本意以目前尚
虽已有一些研究(地震波为主)但未种实用,尚
在研究阶段,为你找到的孔隙率,岩性,孔隙
速度,孔隙比等。至于现在各种各样弄来弄
去还是以勘探地质构造的几何解释为主
(间接法)。不知现在国外国内是否已在此问
题上有所突破,我不清楚,如有文献请送
我看。我本意想推动这方面的基础研究
可在即将在 Workshop 上的报告中看一谈,
如果直接找油的问题已经突破,那将全世
界范围由找油的工作,即可转向,不再勘探地
质构造,不知是否如此?

顾功叙
1989年5月12日

(二)

地震波在地下传播较深,勘探分辨率较高,因此,如果能利用来直接发现油
气聚集,应比其他地球物理勘探技术(如重力、电、磁等)在理论上和实践中更为

有利。

……从观测反射波的动力学特征中发现含油气岩层。这些岩层由于含有油气,其物理性质有别于其围岩,而被地震反射波反映出来。一般可以从下列方面来讨论含油气岩层的特殊物理参数变化:

① 反射系数

② 吸收系数

……

总之,依靠反射波波形的特征来判断深处岩层含油气情况,是极其复杂的问题,判断的标志还不可能既单一又直接。不过,在实际应用中已取得不少成果,说明还是可行的。

——摘自《地球物理勘探基础》第 4.3.11 节

(三)

反射波地震勘探毕竟是间接找油、找气的方法。找到构造,不等于发现油气藏,从长远角度考虑,必须发展新的原理,以期达到直接找到油气的目的。

地球物理工作者一直以利用地球物理方法直接寻找油气为自己的最终目标。为此,人们提出过多种方法……通过比较,最现实的直接找油法仍然是反射波法地震勘探。

1973 年 11 月在美国 Dallas 召开的地球物理与地质学术讨论会上,提出了利用反射地震勘探直接判别岩性和直接找寻烃类……1973 年, C. Craft 首先发表了《直接找油气是长期以来地球物理勘探的最终目标》一文……

利用人工地震波的反射取得地下地质结构和物质组成的信息,在目前可能是最有物理学根据和最有希望的科学途径。

……目前应用 AVO 效应直接找油气尚处于很不理想的水平,还没有达到实用的地步。为了推进这一技术的发展,应当从 AVO 效应这一基点出发,在基础研究上苦下功夫,特别是在获取大量含油气岩层的泊松比及其他物理参量上,在改正、补偿和排除某些影响因素上,在建立严格准确的地质模型上,加强实验研究和确凿的验证。

——直接找油气的地球物理新原理的进展现状. 地球物理学报, 1991, 34(1)

(四)

由于……① (目前)地震反射波法探测只能间接找油;② 现在尚待探测的构造愈来愈复杂;③ 大量石油还储存在地下非构造的部位中,这就提出了直接找油的设想。

……因此,目前看来,仍应采用地震反射波的原理使地震波直接接触及被探

测的油体而反射,以取得来自油体的独特信息,目的是企图区别油与非油而不再是反射层面的产状信息。

有如下几种想法可供探索:

① 从反射波之波谱中是否可以找到反映油体反射面的特征?要进行波谱分析的尝试,以及理论与模拟和现场试验。

② 从反射波形中能否测知反射面一侧石油的特征性黏滞系数。……需要进行理论工作与模拟和现场试验。

③ 从反射波形中能否测定油体一侧的刚性模量?要进行理论工作与模拟和现场试验。

④ 从反射波形中能否测定反射面的特征波阻抗?要进行理论工作与模拟和现场试验。

当然,此外还可以想到其他的物理和力学的原理,这是属于固体力学方面的课题。需要长期探索进行基础研究……凡是在科学研究及地质勘探部门工作,有从事这方面的基础研究抱负的人,应该联合起来,不怕困难,不怕风险,扎扎实实开展此项工作。

——摘自《顾功叙文集》之“地球物理方法直接找油的思考”,1999年9月

前 言

顾功叙先生生前对用地震勘探直接找油气曾寄予很大的希望,曾呼吁“凡是在科学研究及地质勘探部门工作,有从事这方面的基础研究抱负的人,应该联合起来,不怕困难,不怕风险,扎扎实实开展此项工作”。从他给作者的信件及摘录的文章中可见一斑。我牢记老师的教导,在1992年离休后,有了时间和精力,就开始从事这一工作,并发誓用我的余生实现老师的遗愿。我这一代不行,还有下一代,终究会有一天实现“直接找油气”这一“长期以来地球物理勘探的最终目标”。

我们首先组织起来研制软件、方法,在这过程中进行实际试验,并不断改进。近十年来,在研制 Lark RP 油气预测软件系统的过程中,陆续对十几块工区的地震资料结合钻井地质资料作了油气预测及部分油气藏描述,亦即对地震勘探直接找油气作过一些尝试,结果有成功,也有失败。我们深知这一课题的复杂性和难度,又极具诱惑力。要从复杂的构造、地层、岩性圈闭中,从岩石的孔隙中用地震参数分辨其流体是油、气还是水,而且要了解其孔隙率、渗透率和饱和度,以及其空间分布,艰巨性可想而知;但其存在物理性质的差异也是显而易见的,这就有了识别的物质基础。只要不是幻想,不是虚妄,就有可能探索到客观规律。而一旦掌握了这种规律,地质学家能像对各类地震圈闭一样,对各类地震油气异常得心应手地部署钻探,将探井的成功率提高到一个新的水平,那该是一种多么美妙的前景。愈是有益,愈是困难,愈要奋斗,这就是这个课题的魅力。根据这么多年的探索总结成这本书,作为长途跋涉中的一个歇脚点,迂回山路上的一个茶亭头,与同行坐下来聊聊,也许会互有启发,更加精神振奋地奔向目的地。因此,本书也就有可能写成初步经验总结形式,而且以不同工区的材料为例子,并辅以必要的理论探索。实例和理论都不成系统,而以经验作为系统,力图有可行性。本书不是本课题的全面论述,许多有关方法技术如多波、各向异性、可视化等都未论及。欢迎引起争论,欢迎来信来电交流^①。《石油物探信息报》上曾经有过一些争论文章,这是石油物探技术得以深入的大好事。本书所用实际资料都是百灵所在各油气区的实际工作结果,所用图件都是个别例子,地名井名都已置换。深切感谢各油气区领导和与我们合作的同志们的大力支持。特别要提到胜利油田原局长刘兴才,在他大力支持下方能研制成功 Lark RP 软件系统,才有今天的经验总结。柏玮琦、林桂康、黄雁羚、杨文霞、杨继兰、王跃、张剑平、黄雁萍等同志承担了软件开发和油气预测的实际工作,柏玮琦和林桂康对百灵公式的形成有重要贡献,我要对他(她)们表示深切感谢!百灵所的科技委员会委员,特别是李衍达、陆邦干、贺振华、许云、朱光明等先生对系统设计、软件研制及油气预测给了切实而有力的帮助,深表感谢!

黄绪德

2002年10月

^① 通信地址:北京北三环中路77号22楼602室(100088)

电话:86-10-82041206

Email: hxdwhw@yahoo.com.cn

体 例

- 书中所用变量多用国际通用的,少数用行业通用的。
- 书中所用单位多用国际规定的 SI 制,个别保留行业通用的,如声波时差为 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 。
- 所用下标有固定意义,如 O、G、W 分别为油、气、水;OS、GS、WS 分别为油层、气层、水层;CH 为烃;H、L 各为高、低值。
- 数据变量(如物理量、地震参数、属性、特征值等)列入变量表;文字简写(地质名如 K、tg 等、地震名如 AVO 等、测井名如 CAL 等)列入符号表;常规的(单位如 g、cm、s 等,地质时代如 N、T、C 等,地震如 S、W、t 等)不列表。
- 引用表格中的英制、CGS 制等单位已换算为 SI 制。
- 表中压力标准常常有小数是由英制或 CGS 制整数转换成 SI 制所产生的。
- Q 在通行地球物理书刊中都写作“品质因素”,但国家标准 GB 3102.5—93 规定写作“品质因数”,本书遵从国标规定。
- 引用图件都已注明参考文献号,未注明的都系作者专有或与合作者共有。

目 录

上篇 基础工作

第 1 章 作好准备工作	3
1.1 了解地震预测油气的地质目的能否达到	3
1.1.1 把握不同的勘探阶段	3
1.1.2 了解目的层的油气地质特征	3
1.1.3 了解储层物性和原油物性	7
1.1.4 了解已知油气层单层厚度、组合厚度及沉积相控制的油气层产状.....	9
1.1.5 综合评价预测的可行性.....	10
1.2 审查用于地震预测的资料是否合乎需要.....	11
1.2.1 作参数反演及分析用的地震资料能否达到质量要求.....	11
1.2.2 了解井下资料的质量及有效性.....	18
1.2.3 了解和掌握油气地质背景资料.....	21
1.3 选择好所需的解释工作站.....	21
1.3.1 解释工作站功能及类型.....	21
1.3.2 要能作多类参数反演及特征值(属性)提取.....	22
1.3.3 油气判别工具要有多种.....	24
1.3.4 要能作油气藏描述及油气藏模拟.....	24
1.3.5 工作站的其他功能.....	25
1.4 掌握油气预测的解释策略.....	25
1.4.1 深入掌握已知规律.....	25
1.4.2 理论与实践密切结合.....	26
1.4.3 物探与地质深切结合.....	27
1.4.4 正演与反演密切结合.....	28
1.4.5 多参数复合以排除多解性.....	28
1.4.6 努力提高分辨率.....	30
1.4.7 反复对比,提高预测的可信度	31
1.5 数据管理和输入输出.....	31
第 2 章 熟悉双相介质理论	32
2.1 综合评述.....	32
2.1.1 有效介质理论.....	33
2.1.2 波动方程及自适应理论.....	35

2.1.3	接触理论	36
2.2	Gassmann 方程及其应用	36
2.3	Biot 理论简介	37
2.3.1	特征频率	37
2.3.2	波散与吸收	38
2.3.3	开放系统时的速度公式及慢纵波	39
2.3.4	考虑迂曲度影响的速度公式	40
2.4	百灵方程及其应用	40
2.4.1	基本方程及其验证	40
2.4.2	估算油砂层速度	44
2.4.3	估算气层速度	45
第3章	已知资料分析是基础	48
3.1	常规综合测井分析之一——孔隙砂岩油层	48
3.1.1	速度分析	48
3.1.2	密度分析	51
3.1.3	波阻抗分析	53
3.1.4	反射系数及振幅分析	53
3.1.5	压实分析	54
3.1.6	泥质含量对速度的影响	56
3.1.7	油、水饱和度对速度的影响	58
3.1.8	其他	59
3.2	常规综合测井分析之二——致密砂岩气层	59
3.2.1	速度与各参数的关系	59
3.2.2	渗透率与各参数的关系	62
3.2.3	气含量或气产能与各参数的关系	65
3.2.4	结语	67
3.3	全波列声测井分析	67
3.3.1	阻抗分析	72
3.3.2	反射系数和振幅分析	72
3.3.3	横波及纵横波比分析	72
3.3.4	弹性分析	72
3.3.5	压力分析	74
3.3.6	应力分析	76
3.3.7	综合分析	76
3.3.8	气层各参数异常的比较	78
第4章	模型试验	79
4.1	选择正演模型软件	79
4.2	建立替代层	80

4.2.1	选择典型钻井	80
4.2.2	计算目的层参数	80
4.2.3	确定参数替代公式	82
4.2.4	确定替代层参数	84
4.3	建立正演模型剖面	85
4.4	模型剖面反演	86
4.4.1	主参数分析	86
4.4.2	道积分	87
4.4.3	纵波品质因数	88
4.4.4	波形分析、相关分析及频谱分析	88
4.4.5	模式识别预测气层	91
4.4.6	关联维预测气层	92
4.5	AVO模型分析	92
4.6	气层及富缝气层识别模式	96

中篇 参数分析和应用

第5章	运动学参数	101
5.1	纵波速度	101
5.1.1	速度的原始公式	101
5.1.2	骨架成分及速度	101
5.1.3	流体速度	105
5.1.4	百灵公式中的孔隙率	109
5.2	纵波阻抗反演	109
5.3	纵波速度及密度的求取	110
5.4	道积分	111
第6章	动力学参数	113
6.1	振幅分析	113
6.1.1	碎屑岩单一厚层油层的反射振幅	113
6.1.2	碎屑岩单一薄层油层的反射振幅	116
6.1.3	碳酸盐岩气层的反射振幅	117
6.1.4	亮点分析	119
6.2	复数道分析	120
6.2.1	原理概述	120
6.2.2	“三瞬”的应用及缺陷	120
6.3	主参数分析	121
6.3.1	原理概述	121
6.3.2	主振幅	122

6.3.3	主频率	122
6.4	振幅随偏移距变化(AVO)分析	125
6.4.1	Zoeppritz 方程近似式的误差	126
6.4.2	纵波剖面	129
6.4.3	斜率剖面	129
6.4.4	截斜积剖面	130
6.4.5	横波 S^* 剖面	131
6.4.6	泊松比差 σ^* 剖面	131
6.4.7	流体因子 F_r 剖面	133
第7章	形态学参数	135
7.1	波形分析	135
7.1.1	波形特征值	135
7.1.2	波形自回归系数	136
7.2	频域分析	136
7.3	相关分析	137
7.3.1	自相关分析	137
7.3.2	互相关分析	138
第8章	弹性参数	140
8.1	纵横波速比	140
8.1.1	纵横波速比的物理意义及地质意义	140
8.1.2	γ 值的求取	143
8.2	泊松比	144
8.2.1	泊松比的物理意义及地质意义	145
8.2.2	泊松比剖面的制作	146
8.2.3	泊松比剖面和平面对图	146
8.3	杨氏模量	148
8.3.1	杨氏模量的物理意义及地质意义	148
8.3.2	杨氏模量剖面的制作	149
8.3.3	实际的杨氏模量剖面	149
8.4	其他弹性参数	150
8.4.1	各弹性参数相互关系	150
8.4.2	岩石矿物的各种弹性参数	150
第9章	黏滞性参数	153
9.1	各种黏滞性参数对储层分辨率比较	153
9.2	吸收系数与品质因数	155
9.2.1	吸收系数与品质因数的物理意义	155
9.2.2	用 Biot 理论计算横波对数衰减 δ_s 和纵波对数衰减 δ_p	156

9.2.3	对 δ_s 与 δ_p 结果的分析	162
9.2.4	纵横波吸收系数比 γ_a	162
9.2.5	慢纵波速度 v_{p_2}	162
9.3	储层的品质因数	163
9.3.1	已知矿物、岩石、材料、流体的 Q 值	163
9.3.2	求取 Q 值的方法	167
9.3.3	实际的 Q_s 剖面	168
9.4	黏滞系数与综合刚性系数	168
第 10 章	地质物性参数	169
10.1	碎屑岩储层的厚度、面积和体积	169
10.1.1	用道积分确定单一厚层或薄层厚度	169
10.1.2	用调谐法确定单一薄层或薄互层厚度	171
10.1.3	用砂泥比法确定薄互层中砂岩厚度	171
10.1.4	有效厚度	172
10.1.5	有效面积和体积	172
10.2	孔隙率	172
10.2.1	孔隙率的求取	172
10.2.2	孔隙率剖面	173
10.3	地层孔隙压力	173
10.3.1	原理及应用方法	174
10.3.2	实际地层压力剖面	175
10.4	气饱和度	175
10.4.1	方法原理	175
10.4.2	视纵横波振幅比	177
10.5	储层密度及流体密度	179
10.5.1	百灵公式对密度的表述	179
10.5.2	气层密度的估算	181
10.5.3	密度剖面的计算	182
10.5.4	流体密度	184
10.6	裂缝预测	184
10.6.1	方法原理	184
10.6.2	应用实例	186
第 11 章	智能预测工具	188
11.1	模式识别	188
11.1.1	所用地震参数	189
11.1.2	模式识别的方法及问题	189
11.1.3	模式识别的样本	190
11.1.4	识别结果	192