



李庆忠文集



# 寻找油气的 物探理论与方法

第一分册  
基础篇

中国海洋大学出版社

责任编辑/邓志科  
封面设计/陈 龙  
终 审/李建筑



李庆忠文集

Selected Works of Li Qingzhong

# 寻找油气的物探理论与方法

## Essential Theory and Method of Petroleum Geophysics

Volume I	Fundamental Basis	基础篇
Volume II	Methodological Part	方法篇
Volume III	Contending Part	争鸣篇

定价：200.00元



李庆忠文集

# 寻找油气的物探理论与方法

第一分册 基础篇

李庆忠 编著



中国海洋大学出版社  
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

本文集汇集了李庆忠院士从事石油勘探工作以来的主要研究成果,是他 60 年来经验及体会的总结。文集针对地震基础理论、各种地震信息的利用及物探方法的改进诸方面都进行了深入的探讨和详细的阐述,相信对物探技术的发展有重要的指导意义。

本文集适合从事石油勘探的人员阅读,也可作为大专院校地质及地球物理专业师生重要的参考书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

寻找油气的物探理论与方法. 第一分册,基础篇 / 李庆忠编著.  
—青岛:中国海洋大学出版社,2015. 11  
ISBN 978-7-5670-0752-9

I. ①寻… II. ①李… III. ①油气勘探—地球物理勘探—研究 IV. ① P618. 130. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 222955 号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出 版 人	杨立敏	
网 址	<a href="http://www.ouc-press.com">http://www.ouc-press.com</a>	
电子信箱	dengzhike@sohu.com	
订购电话	0532-82032573 (传真)	
责任编辑	邓志科	电 话 0532-85902495
印 制	青岛国彩印刷有限公司	
版 次	2015 年 12 月第 1 版	
印 次	2015 年 12 月第 1 次印刷	
成品尺寸	210 mm × 285 mm	
印 张	31	
字 数	960 千	
定 价	200.00 元	





## 编委的话

Editors' words

李庆忠院士是我国著名的石油勘探专家,中国现代石油物探学科带头人之一,从事地震勘探研究工作60载。他创造性地提出波动地震学,最早提出三维地震勘探的方法并率先进行了实施,首先提出了两步法偏移成像技术,这些不仅解决了勘探中的技术难题,而且对物探技术的发展有很深远的影响,对克拉玛依、胜利、华北等油田的发现以及新疆塔里木盆地的勘探起到了重要作用,为中国石油物探技术的发展做出了重大贡献。

李庆忠院士多年来始终坚持严谨认真的科研态度,十分强调科研的科学性与真实性,坚持从事物的本质出发,不盲从,不轻信,独立思考,从实践中得出自己的结论,实事求是,坚持真理。

李庆忠院士年过八旬仍不停耕耘,编辑出版的《李庆忠院士文集》汇集了李院士从事石油勘探工作以来的主要研究成果,还包含了大量他尚未发表的新成果。

我们向大家推荐《李庆忠院士文集》。本文集是李庆忠院士多年来经验及体会的学术总结,它从地震基础理论、到各种地震信息的利用及物探方法的改进诸方面都进行了深入的探讨和详细的阐述。相信本文集会对物探技术的发展有着很重要的指导意义,很值得大家认真一读。

### (一)

文集第一集为“基础篇”。包括13篇文章。大部分是没有发表过的。在该篇中,李庆忠院士根据地球物理的基础理论,对一些重要的技术问题进行了认真分析,主要内容包括以下几个方面:

(1) 提出了如何判断地震记录好坏的办法。通过不同信噪比理论记录的试算分析,提出了三种估算信噪比的方法;提出了“视觉信噪比”与“视觉分辨率”两个重要的概念;提出衡量地震记录好坏的唯一标准是“分频扫描”所得到的“有效频宽”;对“什么是好记录”、“什么是好剖面”、“对真假高分辨率地震剖面认识”等进行了阐述。并根据这些重要的概念,提出“分频扫描”应该贯穿于从野外资料采集,到室内资料处理,以及解释的全过程中这一重要思路。

(2) 分析了反射信号的特点及干扰波的特性、高频随机噪声的测定及其特点等,提出了噪声压制的基本思路。他发现信号处理中存在“假信号”的现象,并对这一现象进行理论记录的定量分析,提出在信噪比低于1/6后就基本无法对信号进行挽救的结论。

(3) 论述储集层的多种地震信息的用途和可靠性,提出“振幅信息最有用”;“多波勘探对于薄油层描述恐怕是无能为力的,因为纵、横波层位对不上,无法求准泊松比”;非零井源距 VSP 由于“孔径太小”,成像一般好不了;“吸收系数”是求不准的,想用它直接寻找油气缺乏依据;“多参数油气识别”要讲道理;频率参数是多解的等重要认识。并通过实际资料与理论分析,对这些认识进行了分析和证明。通过对各种地震信息的分析与评估,提醒不要乱用地震信息。这些认识有很好的参考价值。

(4) 系统阐述了地震次生干扰的概念。地震次生干扰是李庆忠院士与俞寿朋教授等在胜利油田工作时首先发现的,分低速和高速次生干扰,其低速次生干扰视波长只有 1~3 m,它是我国东部获得高分辨率剖面的主要障碍。在我国西部地区,尤其是山区,高速次生干扰最强大,是我们的主要敌人。

(5) 论述了地震反演技术的策略,指出了在今后进行地震与测井资料联合反演时值得注意的一些问题。认为带限的地震资料是不能控制测井资料的高频部分的,反演的策略是直接用地震资料“有效频宽”的中频信息,加上测井资料的高频信息及低频信息的内插,才能得到最合理的结果。中频的地震资料只能帮助测井资料在内插中通过地震层位控制及产状控制而起到作用。而高频部分永远是多解的。

## (二)

文集第二集为“方法篇”。有 16 篇文章。在该篇中,李庆忠院士对多年来在物探方法上的创新进行了归纳和总结,主要反映了以下四个方面:

(1) 三维地震及偏移归位技术是现代地震勘探技术的两大支柱。“方法篇”记录了这两方面李院士所作的重要的开创性工作。

他在胜利油田时,他与俞寿朋、刘成正等首创三维地震方法,在东辛油田付诸实现,取得了良好的效果。又与刘雯林、柴振一老同志一起,根据“绕射扫描叠加”的原理,处理出我国第一批偏移剖面的历程。当年,他们把“绕射扫描叠加”的偏移技术发展到了三维成像方面,在我国没有大型计算机的条件下,在世界上首次提出了“两步法偏移”,这些对我国偏移技术的发展起到了重要的作用。

(2) 在解释技术方面,他对地震地层学方面做出了重要补充。

针对陆相地层,李院士根据近代沉积学的基本理论,阐述了河流相沉积的总规律,指出了河道解释中的陷阱。他用一系列理论模型证明了存在“假上超”,“假削蚀”,以及河流相同相轴不代表地层产状,而在沉积等时面附近上下浮动的情况,他称之为“视同相轴”。在陆相地层中,“眼球状”反射图形不是河床的代表和“反射同相轴主要反映着厚砂层的分布”的结论。

(3) 李院士针对地震勘探的几个重要领域的关键问题提出了解决方向:例如①用剔除拟合法求 P 波正入射剖面能够提高分辨率同时保留 AVO 信息。最近发展到在叠前时间偏移 CRP 道集叠加中用剔除拟合法取得了良好的效果。②提出检波器横向拉开组合的思路,认为它是我国西部山区改进地震资料品质的重要措施。后来发展为“宽线大组合”采集方式,成为山区二维攻关的主要手段。③对塔里木却勒地区的叠前深度偏移中发现的钻井失利问题提出了攻关的方向。④关于强反射界面的屏蔽作用,他从 Zoeppritz 公式的计算入手,深入地分析了我国不同困难工区的屏蔽效应,计算了透过能量的大小,并提出克服难点的出路对策。⑤为了使用地震仪器获得高品质记录,提出了“有效瞬时动态范围”、“信号的可记录性”、“信噪态势图”及“信噪比谱”四个重要概念。并通过对大地吸收衰减、高频信号的可记录性、噪声与信号在模数转换器中的态势等的理论分析,提出改进地震资料品质的途径。

(4) 本篇的最后,李院士提出今后我国地震勘探技术进步的 10 个重要方向。



### (三)

文集第三集为“争鸣篇”。在该篇中,李庆忠院士指出在油气勘探的理论和方法上的一些误区,主要对以下几个方面进行讨论:

(1) 对 1984 年风靡一时,用耳朵听就能找油的所谓“岩性探测技术”进行质疑,并从理论到实践方面加以驳斥,认为该方法是伪科学;又对 1991 年开始的用重力直接找油的“艾菲”技术进行质疑,认为该方法在理论上是站不住脚的,但俄罗斯的 GONG 技术是属于另外性质,它只是对直接找油的“痴迷”,是认识问题。

(2) 在石油地质理论探索方面,他对无机生油论提出自己的认识;又对石油地质“圈闭”的概念进行了分析,认为不能把构造与岩性分开来考虑,没有构造与岩性的结合就没有正确含义上的圈闭;创新提出了一种三维圈闭分析技术,并将三维圈闭分析技术试验用于实际资料。利用他的 TRAP-3D 三维圈闭分析技术,把地震资料与测井资料结合起来,可以把构造圈闭、断层圈闭、及岩性、地层圈闭全部寻找出来。

(3) 1993 年“石油消息”报刊编辑部组织“对分形等新技术的笔谈会”,李庆忠院士发表了“怎样正确对待分形分维技术”的文章。文章系统地阐述了他对分形分维技术的看法,认为分形分维技术只是对复杂事物的一种“描述方法”,而不是“预测方法”,更不是真实的“写真方法”,描述不等于写真。

(4) 在三维地震宽方位角采集方面,他奉劝大家不要盲从,不要盲目跟着国外走,并通过理论分析及石油大学的水槽试验的结论,认为在西部一些山地地区推广应用宽方位角采集不一定恰当,应根据不同的地表条件、地质目标和勘探任务、现有装备及处理能力采用合适的采集方法。

(5) 对井间地震勘探,他指出了误区、出路及改进方向。认为井间地震在地下遇到反射界面时,入射角很容易到达或超过临界角,此时,激发能量很容易产生转换波及各种横波。通过波动方程理论计算,从激发波场的快照说明了在左右两侧产生两个波形混乱的“牛角尖”区,而通常的井间地震的研究目标刚好在此区域。出路是避开“牛角尖”区,防止入射角接近临界角。

(6) 2011 年 2 月,在上海“石油物探技术发展高层论坛”会上,李庆忠院士在发言中,强调今后物探技术的进步与发展要依靠创新精神与求实态度,指出我国物探技术虽然在 7 个方面可以称得上具备世界先进水平,但是还有七个方面的遗憾之处,还有“十个方向”需要通过创新加以突破。这篇发言还对我国物探技术方面存在的问题,包括假相关、假剖面的认识等进行了概括的论述,对我们地震勘探界有着重要的指导意义。

### (四)

纵观整个文集,我们认为:首先,他的文章贯彻着理论与实践的高度结合,所有理论论述都要通过模型计算加以证明,从这里看到了李庆忠院士的严谨认真的研究学风;其次,从他的创新理论如李子波、信噪比与分辨率的定义、纵横波速度规律研究、石油地质生油理论、圈闭认识方面及 TRAP-3D 的创新等等,都看到了李庆忠院士几十年来的独创精神。他不迷信西方,不迷信权威,不轻信,不盲从,对于任何技术问题都是用实事求是的态度,根据基本理论,理性地进行判断。

在最后一篇里,李庆忠院士就学习与成才问题向石油大学地质科学系学生讲述怎样对待学习问题。他指出:“信息不等于知识”,有了广泛的信息来源,还要通过大脑加以分析、判断,消化吸收,然后才能获得相对比较正确的认识,这种认识才能称得上知识。关于成才,他说:只要你是一个有心人,不断地积累有关专业知识,那么,知识的积累就会像“滚雪球”一般,愈滚愈多,这样就可能成为这方面的行家。一个行家

对新来的信息会分析得更加“入木三分”，这是因为行家头脑里的“联想库”特别丰富，能够“举一反三”，“触类旁通”，因此他们的判断能力特别强。而人们知识和经验的积累靠的是“勤奋”和“有心”，所谓“书山无路勤为径”，“功夫不负有心人”。

李庆忠院士已 83 岁高龄，他活到老学到老，到现在依然关心我国的石油勘探事业的发展，依然耕耘不断，创新成果不断，他的一些宝贵的经验值得我们大家学习与借鉴。

科学的探索是没有止境的，在持续的探索中，人们对科学技术问题的认识也是不断进步的。因此，对于李庆忠院士文集中的一些观点与看法有不同意见也是正常的。这不妨碍对本文集的总体评价，我们深信文集的出版将给石油物探事业带来长远的、积极的影响。

编辑委员会： 钱荣钧 袁秉衡 熊 翥 刘怀山  
张少华 童思友 张 进 梁云辉  
2013 年 3 月



# 自序

## Foreword

上世纪 50 年代我从清华大学物理系毕业时,还不懂地球物理勘探为何物。当时地矿部和燃料部在北京秦老胡同物探学校,组织了一百多名全国刚从物理系毕业的大学生办了个短训班,聘请了从国外回来的物探专家来给我们讲了一个月的课,有地矿部顾功叙前辈讲磁法勘探,中科院傅承义前辈讲电法勘探,石油管理总局的孟尔盛前辈讲重力勘探与地震勘探,他们三人被称为物探界的三剑客。是他们的讲课引领了我们走进了地球物理勘探这个奇幻的殿堂,我后来就参加了石油部的地球物理勘探队伍。我热爱这个行当,热爱这个依靠野外的辛勤劳动和室内高科技来为祖国寻找石油宝藏的有力武器。

以下我想说说编写本文集的想法:

### (1) 文集为了记录下地震勘探的技术进步

这 60 年来,我和我的同事们走遍了我国的几个含油气盆地,亲眼见证了克拉玛依油田、大庆油田、渤海湾油气田等一个个油田在我们身后建设起来,亲身经历了我们地球物理勘探技术的飞速发展成长。在地震采集仪器方面,从 24 道 51 型光点模拟地震仪发展到 8000~10000 道数字遥控地震仪,从单次覆盖发展到几十次、几百次多次覆盖。资料从手工解释发展到完全用计算机数字处理。计算机能力从单芯片的 CPU 发展到大型并行计算机,到现在使用的每秒计算 200 万亿次的计算机机群……

记得 20 世纪 60 年代我刚到胜利油田时,遇见当时的一位地质老总,他就对我说:“我就不信你们地震勘探的构造图,打井一打一个错。不是深度相差很大,就是根本没见油。”是的,60 年代我们还用的是苏式的 51 型地震仪,单次覆盖。技术不过关,无法解决复杂断块油田的地下准确成像问题。后来通过多次覆盖技术和偏移成像技术,渤海湾一大批断块油田相继被发现了。技术的改进极大地鼓舞了我们物探人员的士气。

在塔里木盆地的大沙漠中,沙丘的高度常常到达 200 米,是很厚的干旱的地震低降速带,强烈吸收地震波的能量。而那里地下油层埋深在 5~6 千米处,构造隆起幅度常常只有 20~30 米。只要静校正量计算稍有误差,就会造成构造图出假,打出空井来。面对这样的挑战,我们物探人通过对沙丘时差曲线的大量调查,对全盆地建立了低降速带静校正量的数据库。在野外施工中,选择在低洼的沙垅里打深炮井,后来又坚持了在每个激发点上 100% 保证把炸药放到地下潜水面之下爆炸。有了这些创新的技术,我们在莽莽的沙海中,精准地找到了塔中油田,第一口深探井就在 5000 米深度上发现了高产油层。

在库车地区的崇山峻岭里,地震勘探的难度更是“世界级”的。高大的山峰,陡峭的山坡,“一线天”



的通天裂隙……每前进一步都要付出极大的努力。我们的勘探队员在直升飞机的配合下,在那里打井放炮,终于克服了“世界级难题”,找到了“克拉2”、“迪那2”等一批气田,使“西气东输”工程得以实现。

每当回顾我国石油地球物理勘探的技术进步,我们心中都充满了一种自豪感。本文集的第一个目的就是想把这些技术进步记录下来。

## (2) 文集试图探讨进步道路上的是非曲直

在近年来地球物理勘探技术飞快发展的同时,也出现了“鱼龙混杂”、“良莠不辨”的现象。尤其是在改革开放以来的这段日子里,各种物探公司纷纷成立,出现了不少似是而非的“新技术”。例如各种新奇的“直接找油”技术,不讲道理的几十种“属性分析”,摆弄计算机处理的各种红的、绿的、立体的显示,搞得人们不知哪个是真的。

我在实践中总结了“什么是好记录”,“什么是好仪器”和“什么是好剖面”的检验标准,以及“真分辨率”,“视分辨率”和“假分辨率”的判别方法。明确这些问题对推动物探事业向正确方向的发展很重要。这也是我编写此文集的另一个目的。

在多年来的找油经历中,我对石油地质基本理论也产生了浓厚的兴趣。我对“生油理论”和“圈闭概念”提出了不少新的认识。本着“百家争鸣”的方针,和大家来讨论,放在第三分册“争鸣篇”里。

“争鸣篇”中还有我2011年2月在上海物探高层论坛的发言——“石油物探领域的创新意识与求实精神”。该文章代表着近年来我的心声。我在衷心祝贺我国物探事业光辉的六十年的同时,对当今物探事业发展中存在的种种不健康的现象深表遗憾,同时也提出了10项今后地球物理勘探需要重点突破的难关。希望通过本文集的出版,引起大家的讨论。

## (3) 文集的特点

本文集是我60年来从事物探找油事业的经验总结。按内容分为三个分册:分别称为“基础篇”“方法篇”和“争鸣篇”。

此文集共包含文章88篇,其中新发表的文章占44篇,还有已发表过的本次又进行修改补充的文章有6篇。这些新作按页数计算约占三分之二。其中,凡是由我的博士生写的文章,我在文章标题下都注明了他们的名字。在“争鸣篇”中我把与我争论的对方的文章也署了他们的名字,作为附件收录在文集中,供大家来判断。

我编写本文集的另一个特点是:在大多数文章中每当提出一个新的判据时,我总要自己编写一个甚至几个配套程序,加以理论计算,来证实我的想法的合理性。多年来,我用QuickBasic和Fortran编写了数百个地震勘探的理论论证程序,形成了一个完整的程序包。该程序包帮助我在微机上方便地实现了各种试算,这在很大程度上增强了我对判据的自信心。

为了保持每篇文章的完整性,有少量图幅重复使用,这应该是允许的。我的文章中一般不爱采用大公式,为了便于阅读,都采用“看图识字”的方法,所以附图多了一些。

为了便于阅读,我在每篇文章头里,添加了一个“书签导读”,放在文章标题下面的框里,希望对读者有所帮助。

## (4) 我对本文集的期待

最后我想谈谈我自己对本文集的想法:

本文集本着求实与说真话的风格,提出了不少与常规的理念不相符合的说法。例如:“分频扫描是判断好坏的唯一标准”,数字检波器只是“插在牛粪上的一朵鲜花”,单点接收是“跟着外国人的忽悠”,“多波勘探的效果不佳”,“全数字,三分量——‘数字革命’是好看,花钱多,但不实用”,“吸收系数是求不准的,想用它直接寻找油气缺乏依据”,“三高处理有时会造假,拓频处理有讲究”,“多参数油气识别要讲道理,不

应主观随意加以使用”……凡此等等,可能一时不能为大家所接受。

我认为我的这些“奇谈怪论”不一定是正确的,甚至可能有片面性。但是,在今天物探市场“商业炒作”盛行,以及“你好,我好,大家好”的文风里,我的文章只要能够引发大家对问题的深入讨论,我就心满意足了。此文集出版后,我没有奢望大家能够加以赞许。相反,我做好了面对反面意见对我的批判的思想准备。

潮流是一种强大的力量,很难抵挡。当初我提出 Petro-Sonde 和“艾菲”是伪科学时,人们还都以为它们是找油的“多快好省”的“新技术”呐。还有关于分形分维的讨论,当时也是大多数人以为它是会产生重要变革的找油找气的新手段。随着时间推移的考验,是非曲直慢慢地会得到澄清。关于我对有机生油理论的争鸣,我认为更需要今后几十年才会有正确的结论。

正如当今的流行歌曲有几千首,有的歌曲还风靡一时。但随着时间的推移,大浪淘沙,到最后只有几首真正为大众喜爱的歌曲会被列为名曲而长久被人流传。

### (5) 摆在我们前面的挑战与机遇

地震勘探能取得今天这样的技术进步,实是不易。三维地震、叠前偏移等技术已经使地震勘探获得了“给地球做 CT”的美誉。然而,摆在我们前面的挑战仍然是严峻的,发展机遇也会是巨大的。

在我国东部平原区,我们的地震成果分辨率还不够好,目前大庆及胜利油田的大多数地震剖面,其 1 秒左右的反射波至今主频还只在 40~50 Hz 左右,三维连片资料主频更低到 30 Hz。这样的分辨率是很难解决我们油田的储层描述任务的。

海上地震勘探近年来采用了低噪声的固体电缆后,高频 100 Hz 的噪声比过去的电缆降低了 28 dB。因此,近年来海上地震剖面的分辨率得到极大的提高。有效频宽极宽,几乎到 200 Hz 全频带。得到的地震剖面接近为反射系数剖面,积分地震道后就是一条漂亮的波阻抗剖面。

而我们陆上地震勘探就没有那样容易了。例如直到目前,我们连检波器应该怎样埋置都还没有搞清楚。从我的文章编号 106-5 中就可以看到:一阵小风就可以使地下来的 1 秒后的 100 Hz 反射信号淹没在高频噪声之中。高级的数字检波器的高频噪声更大。制造仪器的人是不管高频噪声的,但恰恰当前陆上高分辨率采集的瓶颈是检波器的埋置好坏。研究检波器应该如何科学埋置又似乎不是什么“高科技”,在科技攻关项目里,恐怕连开题论证都通不过。到底这个问题该由谁管?

关于分辨率的定义,至今争论很多。还有人以为分辨率与信噪比是没有关联的。文集编号 309-2 及 105-3 中给出了我的解答。如果没有噪声,只要通过简单的脉冲反褶积就可以把分辨率提高到两个采样点。因此,我认为高频噪声是我国东部地区搞好高分辨率勘探的主要敌人。对高频噪声产生机理的研究具有十分重要的意义。

另一个严峻的挑战是山区地震。

我国西部干旱的高山地区的地震勘探技术水平已经达到世界领先。但极低信噪比问题仍旧困惑着我们,玉门油田的窟窿山,塔里木的柯克亚以及青海油田的英雄岭西北部,那里我们的三维地震资料至今质量还没过关。这真是世界级的难题。目前搞采集的人往往只是向国外学,主要采用“高密度采集”,“增加覆盖次数”的手段,这种硬拼的方法增加了大量的成本,而且还不一定解决问题。我主张要对干扰波特性及组合理论加深研究,目前山地三维的接收线距一般为 200~400 m,太大了。今后应缩小接收线距,把次生高速干扰在野外采集中加以压制。此外,检波器埋在大山的陡坡上是否合理,激发点打在山坡上是否有效,这些问题也没人研究。目前常规的大线电缆的检波点距离是固定死的,必须直线走,逢山跨山,检波点无法自由选择,炮点位置选择的自由度也很小。我设想如果能甩掉常规的大线电缆,采用我们具有专利的“GPS 授时地震仪”,使用不规则测网,把所有的检波器任意布设在相对较平坦的地方,把所有的炮点打在较低洼的有利位置,再加以无人值守的数万道接收,最后人工倒排列片时回收数据,这样就会有更好的技

术突破。此外,随着科技的发展,今后有可能通过卫星,用云技术把采集的数据传递到室内。这些做法今后是有可能实现的。

我相信我国今后地震勘探技术会沿着正确的道路继续前进,争取走在世界的前列。

### (6) 致谢

本文集的三个集子我花了整三年多时间,经过无数次修改与补充,今天终于完稿了。我的几个博士生帮我做了大量的工作。我要感谢东方地球物理公司张玮副总经理等领导长期以来一贯支持我的工作。科技信息处指派梁云辉同志连续三年来帮我整理稿件。也感谢中国海洋大学海洋地球科学学院的李广雪院长热心地支持我的工作,张进老师长期为我的集子做了全面的校对及大量的图幅清绘。此文集的编委们也给我提出了不少宝贵的意见,在此一并致谢。

如果我身体条件允许,我打算今后再出版第四个集子“奋进篇”。



2014年10月





# 目录及大纲

Contents and Outlines

## 第一分册 基础篇

(地震勘探的基础理论及重要概念)

【文章编号 101】地球物理勘探在国民经济中的重要作用…………… 1

本文介绍了地球物理勘探近年来的技术进步,以及它对国民经济的重要作用。作者以亲身经历,讲述了大庆油田,克拉玛依油田,胜利油田发现过程中地球物理勘探所起的重要作用。

【文章编号 102】低信噪比地震资料的基本概念和质量改进方向…………… 38

不同信噪比记录的视觉效果;估计信噪比的方法;资料处理的两个危险点。

【文章编号 103】从信噪比谱分析看滤波及反褶积的效果——频率域信噪比与分辨率的研究…………… 52

从频率域看信噪比谱与滤波反褶积的效果;滤波与反褶积不改变每个频率的信噪比,只是改变了视觉信噪比与视觉分辨率。

### ★ 什么是真,什么是假

【文章编号 104-0】判别真假的重要性…………… 73

【文章编号 104-1】判断地震记录好坏的标准——分频扫描…………… 74

什么是好纪录,什么是好仪器,什么是好剖面;信噪比谱的概念;有效频带的概念;频率扫描的方法。

【文章编号 104-2】对真假高分辨率地震剖面的认识…………… 89

真分辨率,视分辨率与假分辨率;甚高分辨率剖面的可信度。

### ★ 地震子波与子波反褶积

【文章编号 105-1】论地震子波…………… 106

地震子波与褶积模型;从爆炸到记录的子波变化;解析子波:Ricker子波、带通子波、阻尼余

弦子波、可控震源子波、Yu's 子波、Lee 子波、吸收子波……解析子波的不同用处;截断效应;子波实际存在而又不易求准;求子波的方法:井旁求子波、海上求子波、VSP 求子波、同态反褶积求子波……子波反褶积;未知子波的统计反褶积;白噪的作用;

【文章编号 105-2】李子波的计算公式及结果——两类李子波的参数 ..... 140

张海燕把我 20 世纪 80 年代提出的阻尼拉伸正弦子波的两形式做了大量的计算。

【文章编号 105-3】李子波的反褶积试验——最小相位子波的反褶积试验 ..... 152

用最小相位的李子波作了试验。证明了即使子波已经是严格最小相位了,问题还出现在反射系数不是白噪。不过通常在信噪比较高的情况,还可以得到满意的反褶积结果。

又对不同信噪比的地震资料做反褶积。发现信噪比很低的地震剖面不断做反褶积、去噪、再反褶积、再去噪……可以得到既成轴,分辨率又很高的剖面,这些同相轴完全是假象。

最后又用李子波和雷克子波的楔状模型反褶积试验,探讨了瑞利准则分辨率定义的不合理性。如果没有噪声,李子波反褶积后,分辨率应该达到两个采样点左右。但是噪声是客观存在的。于是作者对地震分辨率的理解为:“所谓的分辨率概念只能理解为对地下不同厚度的砂层,反演后能有多少判断准确度的概率而已。”

### ★ 信号与噪声的特点

【文章编号 106-0】信噪分离与假信号的产生 ..... 182

【文章编号 106-1】来自地下复杂地质体的反射图形到底是怎样的 ..... 183

信号的特点:来自地下复杂地质体的反射图形到底是怎样的;Fresnel 带的概念;即使地下是一个垃圾桶,到达地面的反射波也是均匀渐变的。

【文章编号 106-2】地震干扰波的特性 ..... 196

【文章编号 106-3】随机干扰噪声的特点及压噪以后产生的假信号 ..... 205

各种去噪方法的优缺点比较;信号与噪声在不同变换域中的分布规律。  
假信号的产生,假信号的强度是原始平均振幅的 15%~30%,这是最头疼的。  
RNA, FX-DECON 进行随机干扰压制,高频端信噪比的改进是关键。

【文章编号 106-4】今后噪声压制的基本思路 ..... 223

去噪的基本思路:(a) 随机噪声的特点:非平稳性、野值、非白噪。——“剔除加拟合”是出路。(b)“多道判别、单道压噪”的思路。(c)多域去噪的改进:“多域登记、共同审判”。

【文章编号 106-5】高频随机噪声的三分量测定 ..... 224

我用 8 个三分量检波器、道距 20 cm、超小排列长仅 1.4 m 做了一次试验。发现由于检波器与地接触不够紧密时,会产生很强的高频噪声,频带为 70~250 Hz,正好是我们想争取提高分辨率的重要频段。试验测得:在四级风条件下,埋置不良的单个检波器产生的高频噪声在地震仪器的输入端口端会达到 1 200  $\mu$ V 的强度,这会造成我国东部地区 1 秒以后反射波的 100 Hz 以上的信号全部淹没在高频噪声之中。

这便是妨碍我们陆上地震勘探得到高分辨率的关键所在。

### ★ 地震信息

【文章编号 107-1】论地震信息 ..... 236



【文章编号 107-2】振幅信息最有用 ..... 239

本文从振幅的亮点、暗点的普遍规律讲起,说明了振幅研究的重要性。  
波阻抗反演就是根据地震振幅推算来的。  
振幅信息又帮助了地震地层学和层序地震学的研究。  
根据振幅调谐作用的“谱分解”方法更是在推断储集层厚度方面起到相当重要的作用,被大家广泛使用。  
根据振幅调谐曲线可以测定储集砂层厚度。胜利油田的牛庄朵叶砂体为例说明振幅信息可以起到十分重要的作用。  
根据振幅突变的分析方法——“相干体”方法得到很好的地质效果。  
振幅信息在塔里木盆地的海相碳酸盐储层研究方面发挥了重要作用。

【文章编号 107-3】频率参数是多解的 ..... 250

【文章编号 107-4】强波往往伴随着低频 ..... 255

经典的找油方法认为凡是含有油气的地方都具有“振幅增强,频率降低”的特征。  
其实“强波多胖”是一般的规律。文章列举了多个实例,并提出了理论佐证。  
结论是:凡是振幅很“亮”的时候,波形大多数要变胖,频率变低。这是强波本身所派生的现象。

【文章编号 107-5】“吸收衰减系数”是求不准的 ..... 263

【文章编号 107-6】地震资料解释中的信息可靠性问题评估 ..... 274

## ★ 地震次生干扰

【文章编号 108-1】论地震次生干扰——兼论困难地区地震记录的改进方向 ..... 277

【文章编号 108-2】论地震次生干扰(续)——兼论困难地区地震记录的改进方向 ..... 291

次生干扰分两种:次生低速干扰(次生的面波及直达横波)及次生高速干扰(次生的折射波)。前者的视波长只有1~3 m,在记录上表现为“麻麻点”;后者表现为平行于初至的“下雨状”干扰,或者像“斜纹布”,有些还会随着覆盖次数的增加而愈加明显。这两种干扰是普遍存在的,分布于整张记录,无法躲避。在我国西部地区,次生干扰会成为我们的主要敌人。

## ★ 地震资料约束反演策略

【文章编号 109-1】论地震约束反演的策略 ..... 308

地震资料是带限的,高频成分永远是多解的,不确定的,无法用地震资料控制。  
反演的策略是:直接用地震资料“有效频宽”的中频信息,加上直接根据测井资料的高频信息在地震层位控制下的内插,再加上测井资料的低频分量的内插,就得到最合理的结果。

【文章编号 109-2】论地震约束反演的策略(补遗) ..... 320

如何把地震资料与测井资料结合好,始终是大家关心的事情。一个最简单的想法是:在井边用测井的翔实资料,离开井的地方用地震资料作控制,在面上内插出翔实的资料来。我自己也曾经幻想过能不能在两口井之间,用地震反射波形的变化率和变化方向来控制测井资料小砂层的平面变化。现在我觉悟了。这不可能。

带限的地震资料并不能控制测井的高频成分的合理内插。高频成分在面上永远是“多解”

的。地震资料帮不上薄层内插的忙。

【文章编号 110】含油气砂层的频率特征及振幅特征…………… 327

亮点与暗点;强波多胖;地震直接找油方法评论。

### ★ 岩石的纵、横波速度规律

【文章编号 111-1】新生界沉积盆地的地震波速度规律…………… 345

不同年代、不同埋藏深度、不同岩性地层的层速度规律。

【文章编号 111-2】岩石的纵、横波速度规律…………… 361

本文在搜集、分析前人资料的基础上,找出一个较普遍的纵横波速度的经验公式,以供大家参考及使用。

【文章编号 112】地震波的基本性质——复杂断块区的反射波、异常波及干扰波…………… 370

我写作此文于 1972 年“文化大革命”后期。当时石油部物探局总工程师孟尔盛给予该文高度评价,认为这是我国地震勘探发展史上的重要论著。《石油地球物理勘探》1974 年以 1 至 2 期合刊的方式,全文刊登了这篇文章。

【文章编号 113】生当报国为石油 从不言悔物探路——专访我国著名石油勘探专家李庆忠院士…………… 465

介绍作者——这是《科学中国人》杂志记者贺春禄对我的专访稿。刊登在该刊物 2009 年的第 3 期。

## 第二分册 方法篇

(地震勘探方法的改进方向)

【文章编号 201】东辛油田地震勘探历程——一个复杂断块构造的三维地震解释实例…………… 1

在美国(SEG)勘探地球物理学家协会 1978 年 11 月 48 届(旧金山)年会上的报告。后来发表在我国地球物理学报 1979 年第 2 期。

【文章编号 202】绕射扫描叠加…………… 11

发表在《石油地球物理勘探》1974 年第 5 期。我国偏移归位技术的第一篇文章。

【文章编号 203】三维绕射扫描叠加…………… 40

发表在《石油地球物理勘探》1975 年第 4 期。提出了用两步法实现三维归位的原理及方法。

### ★ 信号内插与噪音剔除

【文章编号 204-1】地震信号内插与噪音剔除(一)…………… 54

第一部分:一维内插与去噪,发表在《地球物理学报》1987 年第 5 期。

【文章编号 204-2】地震信号内插与噪音剔除(二)…………… 74

第二部分:二维情况的内插与去噪,发表在《地球物理学报》1988 年第 3 期。

【文章编号 204-3】一维空间域噪音剔除法及应用…………… 94

第三部分:一维空间域噪音剔除法及应用,田树人同志应用我的一维噪声剔除方法,在地震生产记录上的使用效果,1991年4月发表在石油地球物理勘探上的文章。

## ★ 剔除拟合法

### 【文章编号 205-1】用剔除拟合法求纵波正入射剖面——一种取代水平叠加的处理技术 …… 106

剔除拟合的思路是:文艺界使用的评分方法为“去掉一个最高分,去掉一个最低分”。我们去掉 10% 最高分和最低分后,并不直接求平均值,而是用最小二乘的方法,拟合出 P 及 Q 来。P 剖面具有较高的分辨率,并且具有抗干扰能力。Q 可以帮助我们研究 AVO 现象。

在当前的“叠前偏移技术”中,我们把 CRP 道集作输入,此方法可以获得更好的效果。

### 【文章编号 205-2】剔除拟合 DELFIT 程序详细说明 …… 123

附件 1:剔除拟合 DELFIT 程序详细说明。

### 【文章编号 205-3】剔除拟合在 CRP 道集上的应用 …… 131

附件 2:剔除拟合在 CRP 道集上的应用——根据研究院王君的资料。

在当今普遍实行的叠前时间偏移的流程中,我们发现可以使用 DELFIT 技术对 CRP 道集做剔除拟合,取代常规 CRP 叠加,也可取得提高信噪比,改善分辨率,保留 AVO 信息的效果。

## ★ 地震资料处理中的问题

### 【文章编号 206-1】地震资料处理中应该注意的 12 个问题 …… 141

这是一篇内部讲课材料。

地震资料处理是地震勘探三环节中的重要一环。本文是我多年来研究地震资料处理技术得出的 12 条体会。地震资料处理是一门技术,同时也是一门艺术。不同的人用同一种软件也可以处理出完全不同的效果。

关键是处理人员的素质和正确的思路。闫敦实部长说过一句名言:“你如果有了一架钢琴(硬件),又有了琴谱(软件),你不一定能弹出好听的曲子来。”

### 【文章编号 206-2】速度谱解释中需要注意的几个问题 …… 169

附件 1:讲述速度谱极值点左右摆动的 6 种原因,及对付 4 种速度谱类型的处理方法(内部文件)。

### 【文章编号 206-3】内切滤波法去面波——DEGROR 程序使用说明 …… 172

附件 2:内切滤波法去面波 DEGROR 程序说明(内部文件)。

### 【文章编号 206-4】3DFKK 与 DEGROR 压制面波的实际资料效果比较 …… 178

附件 3:3DFKK 与 DEGROR 压制面波的实际资料效果比较。

在现代三维采集中,道距常常为 40~50 m,面波存在严重的假频。记录上出现多种视速度(有的速度可以到达几万 m/s),使 3DFKK 这种根据视速度压制的办法不能充分见效。此文通过对比两个实例,证明国际流行的 3DFKK 方法的实际效果不如我的 DEGROR 程序的效果好。

### 【文章编号 207】抛物线拉东变换克服多次波——Neptune 海神程序特点描述 …… 188

Neptune 海神程序特点描述(内部文件)。

抛物线拉东变换是克服多次波反射干扰的一种办法,是在多次波剩余时差不够大时的唯一办法。

这是我自己编写的一个程序。