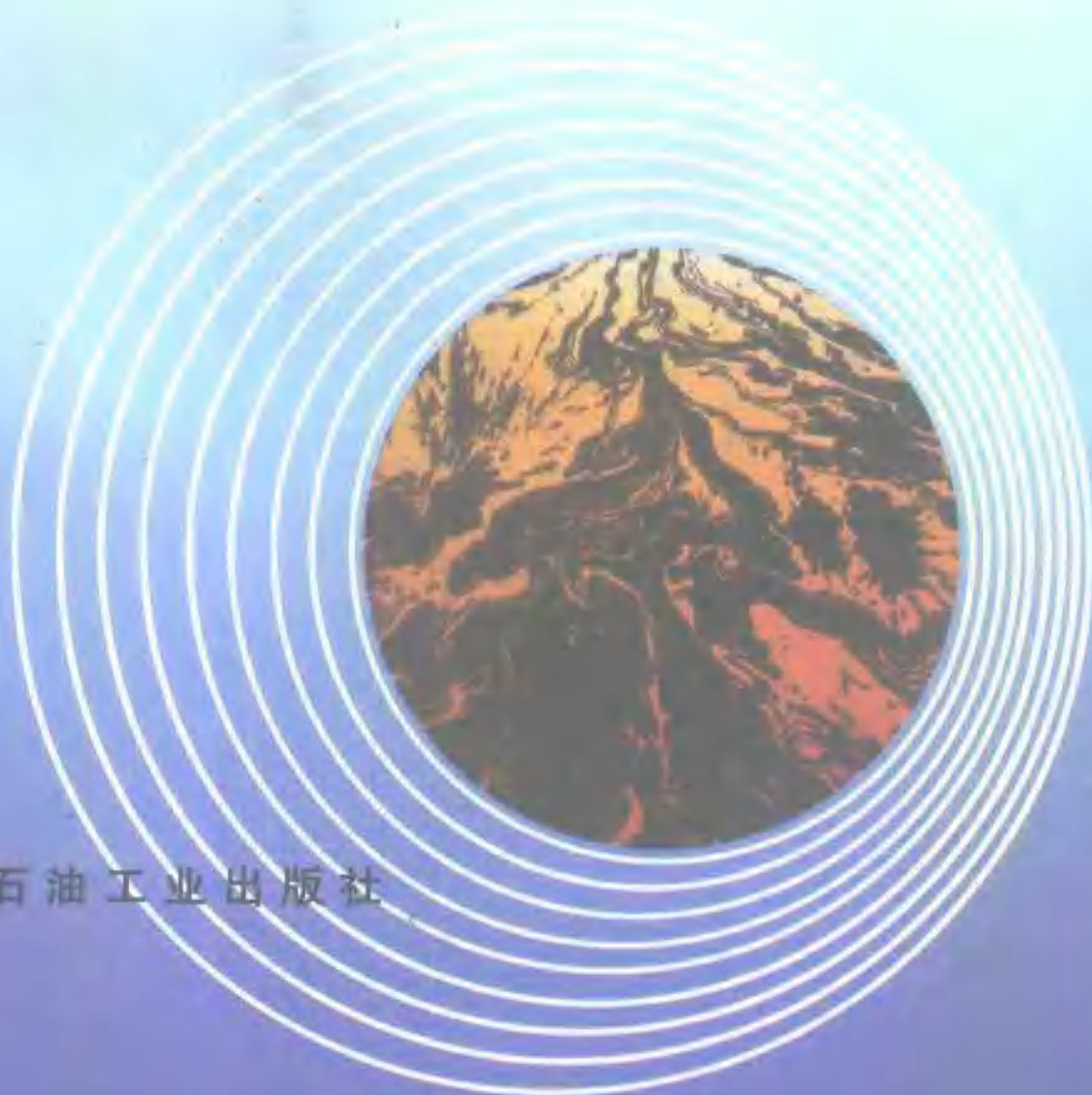


马恩译

地震勘探 论文集



石油工业出版社

学(北京)

1.4-53

03

120965
P631.4-53
003

马恩泽地震勘探论文集



石油0111516

5056 / 21



石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集收录了我国已故著名地球物理学家马恩泽教授发表的 15 篇重要学术论文。

马恩泽教授毕生从事地球物理学、石油地球物理勘探理论与方法研究。在国内,他首先开展了检波器与爆炸点组合理论的研究,其研究成果迄今仍在地震勘探中广泛应用。马教授提出的平行射线法是一种具有潜在意义的反射地震法,值得深入研究。另外,他还在地震波传播理论、折射波法勘探、反滤波及叠前偏移等领域进行过卓有成效的研究,有着很高的造诣和成就。

本论文集可供从事地球物理勘探理论与方法研究的科研人员及有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

马恩泽地震勘探论文集/马恩泽著.

北京:石油工业出版社,1996.4

ISBN 7-5021-1685-0

I. 马...

II. 马...

III. 地震勘探-中国-文集

N. P631.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 01508 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

振远印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开 9 $\frac{1}{4}$ 印张 1 插页 230 千字 印 1-1000

1996 年 3 月河北第 1 版 1996 年 3 月河北第 1 次印刷

ISBN7-5021-1685-0/TE·1476

定价:10.00 元



马恩泽教授在大庆石油管理局勘探开发研究院办公室(1988 年)



马恩泽教授在大庆石油管理局勘探开发研究计算中心楼前(1990 年)



马恩泽教授(右)与欧庆贤教授(中)和崔荣旺先生(左)在一起(1989 年)

编者的话

马恩泽教授是我国石油战线著名的地球物理学家、硕士研究生导师、教授级高级工程师，因病于1994年6月20日在他为之贡献了毕生精力的大庆油田逝世，享年66岁。

马恩泽教授是云南省宜良县人，回族。1928年出生，1950年毕业于清华大学电机工程系，1951年参加工作。先后在清华大学石油系、北京地质学院物探系、北京石油地质学校物探专业任教。1955年至1957年，随苏联著名地球物理专家顾尔维奇教授在北京地质学院攻读研究生。1957年至1960年，曾任西安石油勘探局201、206地震队及松辽石油勘探局212地震队队长。1961年至1969年，任北京石油地质学校物探教研室主任，1970年后转战大庆油田，先后在大庆石油勘探指挥部和大庆石油勘探开发研究院任地震勘探技术负责人并从事研究工作。

马恩泽教授曾任大庆市政协常委、中国石油地质学会理事、《石油地球物理勘探》杂志编委和学术顾问，中国地质大学研究生院和大庆石油学院兼职教授，是国内著名的地球物理勘探专家，难得的少数民族优秀人才。他不仅有丰富的实践经验，而且学识渊博，理论造诣颇深。他早年撰写的有关组合爆炸研究方面的论文在勘探地球物理学界影响很大，为组合理论的研究作出了突出贡献，对指导油田的钻探起了重要作用。他在石油地球物理勘探方面有着丰富的实践经验，先后研究解决了许多地震勘探专业学科的技术难题，撰写了数十篇高水平的论文，并多次出席全国性的石油地质勘探工作会议，1982年被首批晋升为中国石油地球物理勘探专业高级工程师。1984年至1991年他指导的中国地质大学研究生院和大庆石油学院的5名研究生中，有2名已取得博士学位，有的考上了出国研究生。他呕心沥血，诲人不倦，把毕生精力和智慧都献给了石油勘探事业，为地震勘探事业的振兴、人才的教育和大庆石油管理局的勘探开发做出了永不磨灭的贡献。

为了实现马恩泽教授的遗愿，促进地震勘探事业的发展，在大庆石油管理局领导的支持下，崔荣旺高级工程师、王晓华博士、马嘉琳工程师收集、整理了马恩泽先生曾经在《石油地质》、《地球物理学报》、《石油物探》、《石油地球物理勘探》等刊物上发表过的论文，编辑成《马恩泽地震勘探论文集》一书。

在本书的出版过程中，得到了中国科学院院士傅承义教授、刘光鼎教授、马在田教授、中国工程院院士李庆忠教授、中国石油天然气总公司勘探局丁贵明局长（教授级高工）、石油地球物理勘探局孟尔盛总工程师（教授级高工）、江苏省地球物理学会理事长欧庆贤教授、中国地质大学许云教授、大庆石油管理局勘探处唐宗璜主任工程师（教授级高工）、大庆石油管理局勘探开发研究院吴永刚总工程师、刘凤臻高级工程师的帮助。

崔荣旺

1995年10月15日

序

马恩泽教授在地球物理勘探领域,毕生勤奋耕耘,勇于探索,为地球物理勘探理论和方法的发展做出了贡献。早在1954年,就首先开展了组合理论研究,系统地研究了地震有效波与干扰波特征,对检波器组合和爆炸点组合的理论、方法及特征进行了深入探讨,在理论上明确了检波器组合和震源组合的方向性特征,为在我国全面应用组合理论进而提高地震记录质量奠定了理论基础,也为日后广泛应用的水平叠加技术提供了理论依据。60年代,马恩泽教授一方面继续致力于组合理论研究,同时还对随机干扰特征,特别是薄疏松风化层中地震波传播理论进行了研究。这对于当今的岩性地震勘探和消除地表层的影响,有着重要的指导意义。其间,马教授关于折射波的对比、低速带校正等都进行了卓有成效的研究。70年代,他致力于地震资料 and 测井资料的综合应用研究。关于合成声波测井、井径校正、电阻率测井等方面都有涉足。80年代初期,马恩泽教授又提出了值得深入研究的新的反射地震法——平行射线法。对于射线平行的地震数据集研究,很有可能为我们在地震勘探领域开创一条新路,尤其对于高分辨率勘探、去除浅层风化带的影响有重要意义。80年代后期至90年代初,马教授指导了多名研究生,研究了叠前偏移、最优化列阵滤波、VSP等多项技术,取得了令人满意的成果。

马恩泽教授治学严谨,这不仅在他的研究工作中,而且在人才培养和指导研究生的工作中,都能充分体现出来。在多年的教育工作中,他为石油物探专业不同层次的人才培养作出了贡献。

经过多方努力,马恩泽教授的这本论文集终于问世了。这是马恩泽教授留给后人的一份宝贵精神财富,这无疑将对我国石油地球物理勘探事业的发展起到积极作用。

傅承义

1995年10月16日

目 录

检波器组合.....	(1)
论圆环组合爆炸在反射法地震勘探中的应用.....	(5)
反射法地震勘探中组合爆炸研究	(14)
低速带校正的一种图解法	(26)
偶然干扰对地震脉冲震相对比的影响	(29)
地震勘探组合法对传播方向随机改变干扰的压制作用	(44)
有薄疏松覆盖层的弹性半空间中地震波的传播问题	(61)
地震勘探组合法之研究	(80)
折射波对比法中的平均速度问题	(89)
计算机硬件进展与物探仪器研制方向的探讨	(98)
平行射线法及其应用.....	(106)
合成电阻率测井研究.....	(112)
地震勘探中应用声波测井的井径校正.....	(117)
叠前部分偏移分析.....	(122)
最优化列阵滤波研究.....	(130)

检波器组合

(1954 年)

引言

在有些地区进行地震探矿工作,由于特殊的地质地理条件,不能用一般的工作方法在记录上显示出清楚的有效波型。在这样的区域中,有时甚至使地震探矿法完全失去效能。为了要扩大地震探矿的运用范围,并提高记录的质量,地震探矿在技术与方法上曾作了不少改进,组合检波法无疑是较重要的成果之一。

最早提出应用检波器组合法的是苏联伏尤茨基氏(В. С. ВОЮЦКИЙ),他早在 1934 年,苏联刚开始运用反射法时就提出了这个问题。1934 年以后,在美国的若干油区中,较广泛地在地震探勘困难的工作区域内使用了检波器组合法。以后汉布尔采夫、安托可夫斯基、克力浦等人曾先后对检波器组合法加以理论方面的研究。到现在,组合检波法已逐渐成为地震探矿中基本的技术方法之一,它不但用于反射法与对比折射法中,而且亦用于天然地震中所研究的微震(microseism),并在苏联,曾设法依据这方面的研究来讨论天然地震预测问题。

检波器组合法的原理

为了简化问题起见,我们在下面的讨论中,不妨加入下面几个假设:(1)所记录的地震波型是简谐振动,具有一定的周期或频率。(2)振幅不随距离衰减。这样的假设当然是与实际情况差别很大的,但作为初步近似的讨论,这样的情况最简单,容易得出近似的明显的结果。

设在地面上位于 S_1 及 S_2 点放置检波器, S_1 与 S_2 间之距离为 Δx ; S_1 点的检波器的振动与时间的关系设为

$$A_1 = A_0 \cos 2\pi f t$$

式中, A_0 为振幅; f 为频率; t 为时间。在 S_2 点的检波器的振动应滞后于 S_1 点检波器 Δt , 而

$$\Delta t = \frac{MS_2}{v} = \frac{S_1 S_2 \sin \alpha}{v} = \frac{\Delta x \sin \alpha}{v} \quad (1)$$

于是 S_2 点之振动可以用下式表示

$$A_2 = A_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{\Delta x \sin \alpha}{v} \right) \quad (2)$$

如果我们将两个检波器的输出联接起来,那么其振动应如下式

$$A_z = A_1 + A_2 = A_0 \left\{ \cos 2\pi f t + \cos 2\pi f \left(t - \frac{\Delta x \sin \alpha}{v} \right) \right\}$$

$$= 2A_0 \cos \frac{\pi f \Delta x \sin \alpha}{v} \cos 2\pi f \left(t - \frac{\Delta x \sin \alpha}{2v} \right)$$

利用简单的三角公式 $\sin 2\theta = 2\sin \theta \cos \theta$, 可将上式写为

$$A_z = \frac{\sin \frac{2\pi f \Delta x \sin \alpha}{v}}{\sin \frac{\pi f \Delta x \sin \alpha}{v}} A_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{\Delta x \sin \alpha}{v} \right) \quad (3)$$

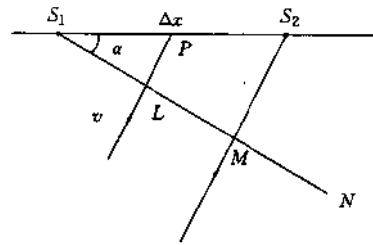


图 1

在实际工作中,若两个检波器组合,我们常用其中点作为此组检波器计算点。设 $\overline{S_1S_2}$ 之中点 P 置一检波器则其振动应为

$$\begin{aligned} A' &= A_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{LP}{v} \right) \\ &= A_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{\Delta x \sin \alpha}{v} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

A_x 与 A' 之比,称为方向性系数,代表了组合检波的效益。即

$$\varphi_2 = \frac{A_x}{A'} = \frac{\sin \frac{2\pi f \Delta x \sin \alpha}{v}}{\sin \frac{\pi f \Delta x \sin \alpha}{v}} \quad (5)$$

因为我们讨论的是简谐波,故有速度与波长的关系 $v = f\lambda$, 代入上式得

$$\varphi_2 \left(\frac{\Delta x \sin \alpha}{\lambda} \right) = \frac{\sin 2\pi \frac{\Delta x \sin \alpha}{\lambda}}{\sin \pi \frac{\Delta x \sin \alpha}{\lambda}} \quad (6)$$

式中, λ 为波长。我们再利用视速度的关系,引入视波长 (Apparant Wave Length), 即定义 $\lambda^* = \frac{V^*}{f}$ (λ^* 为视波长, V^* 为视速度), 这样, (6) 式可以进一步简化成

$$\varphi_2 \left(\frac{\Delta x}{\lambda^*} \right) = \frac{\sin 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda^*}}{\sin \pi \frac{\Delta x}{\lambda^*}} \quad (7)$$

其中, $\lambda^* = \frac{V^*}{f} = \frac{v}{f \sin \alpha} = \frac{\lambda}{\sin \alpha}$

上面所谈的只是两个检波器组合的情况,若为几个检波器组合,每两检波器间之距离为 Δx , 那么我们可以将检波器之振动写为 $A_n = A_0 \cos \pi f [t - (n-1)\Delta t]$, ($n=1, 2, 3 \dots n$), 我们亦可以用同样的处理方法,证明几个检波器组合的方向性系数 φ_n , 适合于下式 (证明从略)

$$\varphi_n \left(\frac{\Delta x}{\lambda^*} \right) = \frac{\sin n\pi \frac{\Delta x}{\lambda^*}}{\sin \pi \frac{\Delta x}{\lambda^*}} \quad (8)$$

(8) 式表明, n 个检波器组合的方向性系数 φ_n , 是检波器间距离 Δx 及视波长 λ^* 的函数, 并与检

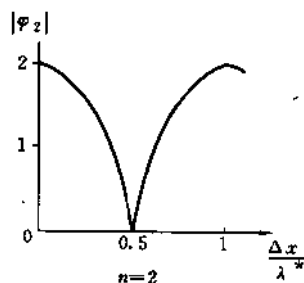


图 2

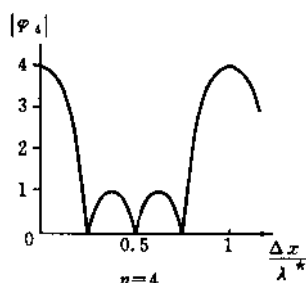


图 3

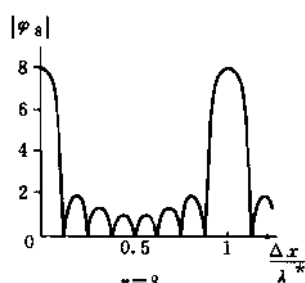


图 4

波器数目 n 有关系。图 2、图 3、图 4 说明 n 为 2, 4, 8 时的 φ_n 与 $\frac{\Delta x}{\lambda^*}$ 的图示。

从(8)式及其几个富有代表性的图 2、图 3、图 4 中我们可以看出：

(1) 随组内检波器之数目增多，方向性系数 φ_n 的最大值处变得更窄，更尖锐。

(2) 适合关系式 $\frac{\Delta x}{\lambda^*} = k (k=0, 1, 2, \dots)$ 的波型，方向性系数 φ_n 最大，对此类波型而言，组合后之灵敏度较不组合时增大 n 倍。

(3) 不适合于 $\frac{\Delta x}{\lambda^*} = k (k=0, 1, 2, \dots)$ 之波型，灵敏度相对减小，减小的程度随组合检波器的数目不同亦复不尽相同，若检波器间之距离 Δx 不变，则对一定的波而言，组内检波器增多，相对灵敏度减低越多。

检波器组合的应用

应用检波器组合的目的，主要是增加有效波在记录上的清晰程度，并减低干扰波在记录上的显露程度。于是，首先我们得分辨清楚，什么是有效波，什么是干扰波。

随地震勘探所使用的方法不同，有效波的意义亦不相同。在反射法地震勘探中，除了反射波外，其他的波全部是干扰波（利用检波器组合时，初至波一般不能作为表层校正的依据）。干扰波又可分为不同的类型，有些干扰波是有明显的规律性的，例如浅层的折射波，它有一定的视速度及其他某些特征。有些干扰波是没有显著的规律性的，也就是说，在记录上不能看出相位对比。这类波型的成分亦极复杂，如表面波，风所产生的微震，仪器内部的感应等。这类波我们常称为记录上的干扰背景。

在反射地震勘探中应用检波器组合，对反射波，折射波及干扰背景所产生的效果是不同的。现在我们分开来讨论。

反射波，特别是较深地层的反射波，其波前几乎平行地面，也就是说，这类反射波是视速度 V^* 近于无穷大，因此，其视波长 λ^* 亦近于无穷大。因而 $\frac{\Delta x}{\lambda^*}$ 越近于零，由上而的分析，我们知道，此时方向性系数 φ_n 最大，故在记录上可以增加反射波的灵敏度。

浅层的折射波，一般的视速度大约自 300m/s 至 3000m/s， $\frac{\Delta x}{\lambda^*}$ 不趋近于零，相对说来，方向性系数 φ_n 低，灵敏度亦低。增加组内检波器的数目，或可将此类波型在记录上的显示大大减弱。

对干扰背景而言，由于道与道间相位不能对比，无所谓视速度及视波长。对于这类波，克力浦氏^[3]曾证明，利用检波器组合，干扰背景的灵敏度应减少 $\frac{1}{\sqrt{n}}$ 倍，即与检波器数之平方根成反比。所以，利用检波器组合，可以减少干扰背景。

在对比折射法中，为了要增加有效折射波的灵敏度，有时亦利用检波器组合。一般的方法是将组内检波器垂直于观测线放置，这样使组内检波器距爆炸点的距离趋于相同，亦即 Δx 近于零， $\frac{\Delta x}{\lambda^*}$ 等于零，因而使灵敏度增高，同时减低了干扰背景的振幅。

检波器组合的一些困难

上面所谈的检波器组合的几种主要应用，是最简单的情况，可以给我们粗略的、一般的概念，在实际工作中，情况较为复杂。

地震波不是简谐振动,而是一种瞬时波,用数学分析的方法,我们知道这种波含有不同的连续的频率成分及其相应的连续波幅。组合检波后,频率成分、波幅、相位关系,势必发生极为复杂的影响。据作者所知,未曾有人对此问题加以较深刻的研究而得出确切实用的结果,这使我们在应用中产生缺少理论指导的困难。

反射波的射线并不完全垂直于地面,在时距曲线极小点附近,视速度近于无穷大,而远离极小点,视速度趋近于平均速度,因而方向性系数 φ_n 亦随离极小点距离增加而减少,特别在空中放炮及土坑放炮中,为了减少表面波的影响,检波器排列往往离发炮点有相当的距离,在这种情况下,组合检波可能得出相反的效果。

在地层上倾放炮与下倾放炮,反射波、折射干扰波的视速度是差别很大的,若不改变组内检波器间之距离 Δx ,上倾于下倾所得的结果可以绝然不同,在检波器组合的运用中,有时上倾记录较好,而下倾则反之。在连续剖面法中,可能使互换关系遭受破坏,致使工作变得更加困难。

对于干扰背景的作用,最近怀依迟曼氏(Вейцман)曾在苏联天山(тянь-шань)地区作了一系列实验^[2],实验表明,若增加组内检波器的距离,干扰背景可以减少,克力浦的关系式与实验结果有很大的差别。从此实验可以看出,检波器数及其距离,都对干扰背景之减除有很大的影响。

浅层反射的视速度近于折射波,利用组合检波法常不能获得预期的结果。风化层及地形起伏复杂的情况下,对组合检波运用亦增加了困难。有时一张记录上某几道较为杂乱,从这里可以得到部分的解说。

结束语

上面,我们简略地分析了检波器组合的初步原理、应用的可能性及其工作中应注意的困难。应该指出,对检波器组合法的控制因素是检波器的数目及检波器间的距离。若选择恰当,可能获得良好的效果。

利用互换原理,从而推出发炮点组合运用的可能性,在某些地区曾加以利用。苏联福尤次基氏最近又提出速度滤波的检波器组合法(скоростные фильтры)。对这些问题,以后有机会再撰文讨论。

参考文献

- [1] Гурвич И. И. Сейсморазведка. Госгеолтехиздат, 1954
- [2] Вейцман П. С. О подборе Расстояний Между сейсмографами при группировании с целью уменьшения фона помех Изв АН СССР Сер геофиз, No. 6. 1952
- [3] Klipsch P W. Some aspects of multiple recording in Seismic Prospecting, Geophysics, 1 No. 3. 1936

论圆环组合爆炸在反射法地震勘探中的应用

(1956 年)

引言

在地震勘探中,用炸药爆炸所产生的能量,仅有一小部分可以利用。我们所需要的是弹性波能量,而炸药爆炸的能量并不完全转换为波能。要增加弹性波能量,从表面上看,可以用增多炸药量的方法来得到,但是实际上,炸药量加大,有效弹性波能量并不随之成比例地加强,炸药效能与炸药量不成正比关系。

弹性波能量的多寡与震源处爆炸所生压力的大小,压力脉冲作用时间的长短,以及岩层的性质有关。如果维持后面两个因素不变,即用相同性质的雷管与炸药在同一地区同一岩层中爆炸,从经验知道,当炸药量超过某一限度时,有效弹性波能量即不能再显著增强。倘若继续盲目增加炸药量,除了增加杂波干扰成分外,对地震勘探毫无任何益处。

如何改进记录质量提高炸药效能,这是扩大地震勘探应用范围的一个重要问题。组合爆炸的应用无疑是目前解决这一问题的一个重要途径。

组合爆炸的概念虽然很早就有人讨论过。但一直到最近空中爆炸地震勘探方法提出后,组合爆炸方法才逐步应用于实际工作中。

地震勘探中的空中爆炸法,系首先由苏联地球物理学家维达也夫(A.Libetaeb)提出的。以后,他曾讨论过水平反射层及爆炸点沿着测线安置的情况下组合爆炸应用的可能性。1950年,颇而特(Poulter)讨论了他在几个地区进行空中爆炸地震勘探法的实验成果。在我国,1953年石油勘探方面的一些地震队,曾在砾石覆盖地区,黄土丘陵地带进行过工作量颇大的实验工作,并成功地应用在生产工作中。1954年及1955年,我国亦有一些地震勘探队在钻井困难或井中爆炸记录成果不佳时应用组合空中爆炸方法。

圆环组合爆炸基本理论

我国某些地震勘探队所用的组合空中爆炸法的野外布置如图1,这种安排是与颇而特文中所提出的一种布置形式相同的。爆炸点系安置成圆环形,炸药包置于圆心 O 及以 O 为圆心 r 为半径的圆周上,组成六个等边三角形。七个炸药包的炸药量相同,一般为 $0.2\sim 5\text{kg}$ 。炸药包距地面 $0.5\sim 2\text{m}$,半径 r 为 $5\sim 25\text{m}$ 。 AB 为检波器的放置位置。为了免除声波在记录上所产生的干扰, OA 距离一般为 $400\sim 700\text{m}$ 。地震勘探队中的工作同志,曾尽力在野外可能的条件下,促使七个炸药包同时爆炸。这种组合爆炸的安置方式,亦有人称为七星圆环组合爆炸。

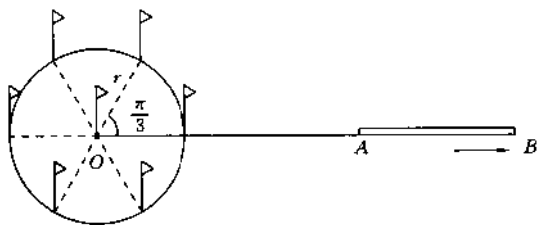


图1 空中圆环组合爆炸的布置

为了讨论方便起见,在下面的分析中,我们不妨根据上述工作布置情况,引入下列几个假设:

简化为

$$\Delta t = \frac{rb}{vl} \cos \theta \quad (5)$$

(5)式表明,随 θ 角不同,各爆炸点发出的振动与中心爆炸点射出的振动在 S 点接收的时差亦不相同。时差 Δt 与 θ 角的余弦近似地成正比例。

上式的物理意义如下:

在图2中,将 OO_n 线段投影至 OP 线上,则 OO_n 在 OP 线上投影为 $\Delta x = r \cos \theta = OO'_n$, (5)式可写为

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v}{\sin \beta} = v^* \quad (6)$$

式中, $\sin \beta = b/l$; v^* 为在 S 点爆炸而在 O 点附近接收时,在 PO 线上的表现速度; β 为 O 点爆炸 S 点接收的反射波在震源处的射线射出角,如图(3),显然,近似式(5)实系表示将 O_n 爆炸点移至其在 OP 线上的投影点 O'_n 爆炸,所产生的效果相同相对应的。

上面我们曾假定,各炸药包所发出的振动为谐和振动,其振幅及频率都相同。由于旅行时间不同而引起时差,在 S 点接收的各振动,相互间将有些相位移。设在 S 点接收的中心爆炸点振动为

$$E_{00} = A_0 \cos 2\pi f t \quad (7)$$

式中, A_0 为振幅; f 为频率; t 为时间。则圆周上任一爆炸点所发出的振动,在 S 点所接收到者为

$$E_n = A_0 \cos 2\pi f (t + \Delta t_n) \quad (8)$$

Δt_n 由(5)式确定。于是,图1中,任一圆周上六个爆炸点在 S 点所产生之振动为

$$E_n = A_0 \cos 2\pi f \left(T + \frac{rb}{vl} \cos \theta_n \right) \quad (9)$$

$$\text{式中, } \theta_n = \frac{n\pi}{3} + \alpha; \quad n=1, 2, 3, 4, 5. \quad (10)$$

这样,接收点 S 的总振动应为

$$\Sigma E = A_0 \cos 2\pi f t + \sum_{n=0}^5 A_0 \cos 2\pi f \left(t + \frac{rb}{vl} \cos \theta_n \right) \quad (11)$$

用简单的三角关系化简后得

$$\begin{aligned} \Sigma E = A_0 \cos 2\pi f t \left\{ 1 + 2 \cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \cos \alpha \right) + 2 \cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \cos \overline{60^\circ + \alpha} \right) \right. \\ \left. + 2 \cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \cos \overline{120^\circ + \alpha} \right) \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

我们定义组合爆炸的方向特性系数为组合后接收点的平均总振动与不用组合爆炸时接收点总振动之比,则

$$\begin{aligned} F = \frac{\Sigma E}{7E_{00}} = \frac{1}{7} \left\{ 1 + 2 \left[\cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \cos \alpha \right) + \cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \cos \overline{60^\circ + \alpha} \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \cos \overline{120^\circ + \alpha} \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

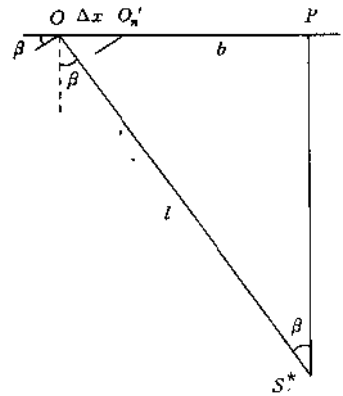


图 3

式中, F 为方向特性系数, 这里, 爆炸点数为 7。

检波器沿地层倾向或垂直走向放置时, 虚接收点在地面的投影点 P 在 OS 线上, 因此, 在这种情况下 $\alpha=0^\circ$, 这时方向特性系数简化为

$$F_{\alpha=0} = \frac{1}{7} \left\{ 1 + 2 \left[\cos \left(2\pi f \frac{rb}{vl} \right) + 2 \cos \left(\pi f \frac{rb}{vl} \right) \right] \right\} \quad (14)$$

我们令圆心与圆周上爆炸点的最大时差为 Δt_0 , Δt_0 相当于在 OP 线上的圆周爆炸点与圆心爆炸点的时差, 则

$$\Delta t_0 = \frac{rb}{vl} \quad (15)$$

于是, (13)(14) 两式相继可写成

$$F = \frac{1}{7} \{ 1 + 2 [\cos(2\pi f \Delta t_0 \cos \alpha) + \cos(2\pi f \Delta t_0 \cos 60^\circ + \alpha) + \cos(2\pi f \Delta t_0 \cos 120^\circ + \alpha)] \} \quad (16)$$

及

$$F_{\alpha=0} = \frac{1}{7} \{ 1 + 2 [\cos(2\pi f \Delta t_0) + 2 \cos(\pi f \Delta t_0)] \} \quad (17)$$

为了明显地看出方向特性系数的变化情况, 我们可以用图形来表示它。令纵坐标为方向特性系数 F , 横坐标为 $f \Delta t_0 \left(\frac{\Delta t_0}{T} \right)$ 的曲线形式如图 4, 其中 T 为周期。

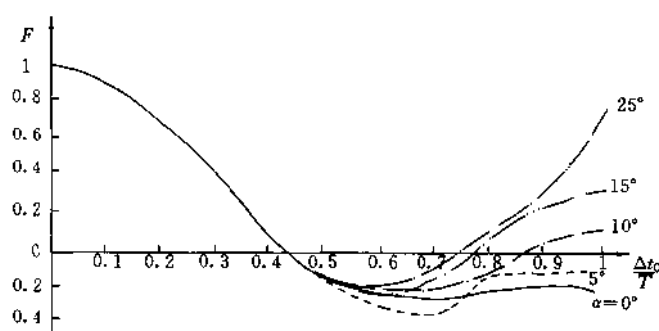


图 4 方向特性曲线

从图上可以看出, 在 $\frac{\Delta t_0}{T}$ 大于 0.5 时, 特性曲线随 α 角不同而变化。这就部分地说明了为什么在用这种类型的组合爆炸方式中, 若检波器测线不完全在倾向方向, 在 Δt_0 较大时 (即半径 r 较大), 所得的地震记录有时会出现几道较好的同相轴, 而在其它道上却分辨不出反射波来。在 $\frac{\Delta t_0}{T}$ 小于 0.5 时, 特性曲线随 α 角的变化

的差别并不十分显著。设若我们为了要使地震记录上的波形振幅变化不十分严重, 而需要在方向特性曲线上的第一半周内追踪反射波, 那么, 需要方向特性系数 F 大于某一数 r , 例如 0.7 或 0.4⁽³⁾, 则可得下表:

$F > 0.7$	$\frac{\Delta t_0}{T} < 0.25$
$F > 0.4$	$\frac{\Delta t_0}{T} < 0.3$

圆环组合爆炸特性曲线及其应用

正如顾尔维奇所指出, 方向特性系数可以予以不同的意义^[3]。如果我们令 Δt_0 为参数, 则方程 (16)、(17) 可以看作频率特性方程来解释。在给定 Δt_0 时, 式 (16)、(17) 表示谐和振动震源组合爆炸所得记录的振幅与频率的关系。或者换句话说, 我们可以将组合爆炸的作用视为一种特殊的滤波器。在图 5、图 6 中, 我们作了在 $\alpha=0^\circ$ 时, Δt_0 为 0, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02 及

起的干扰,反射波的旅行时应小于声波的旅行时,即

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + (2h)^2} < \frac{x}{v_0} \quad (20)$$

式中, v_0 为声波的传播速度。

但在另一方面,若需反射波在地震记录上能明显地予以追踪及加以对比,最大时差 Δt_0 应小于某一数值 K 。在上面的讨论中,我们定 K 为 $0.003s$ 。

于是,在水平反射层情况下,需

$$\Delta t_0 = \frac{rb}{vl} = \frac{rx}{v \sqrt{x^2 + (2h)^2}} < k \quad (21)$$

(20)(21)两式合并可得:

$$\frac{v_0}{v} < \frac{x}{\sqrt{x^2 + (2h)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{2h}{x})^2}} = \sin \beta < \frac{kv}{r} \quad (22)$$

当 $r=0$ 时, Δt_0 为零,这时相当于单独爆炸点工作,从上面的表中可以看出,通频带 Δf 为无穷大。换句话说,在这种情况下,并不发生组合爆炸的滤波作用。

当 $\frac{kv}{r} \geq 1$, 则

$$\sin \beta < 1 < \frac{kv}{r}$$

这时(22)不等式左边并不限制爆炸点处射线射出角,而(22)式可以写为

$$\beta > \sin^{-1} \frac{v_0}{v}$$

当 $\frac{kv}{r} < 1$ 时, (22)式可以写成

$$\sin^{-1} \frac{v_0}{v} < \beta < \sin^{-1} \frac{kv}{r} \quad (23)$$

或

$$\frac{2h}{\sqrt{(\frac{v}{v_0})^2 - 1}} < x < \frac{2h}{\sqrt{(\frac{r}{kv})^2 - 1}} \quad (24)$$

从组合空中爆炸方面看, (23)、(24)式为 $kv < r$ 时检波器安置地点限制的方程式。或者,换句话说,爆炸点射线射出角在一定范围之内,才能获得有效反射波,因此,圆环组合爆炸的作用相当于一种定向发射有效弹性反射波的装置。例如, $h=1000m$, $r=15m$, $k=0.003s$, $v=2600m/s$, $v_0=331m/s$ 时,用公式(24)可以计算出,检波器应放置在距中心爆炸点 260 至 1200m 的环形范围内。

从(24)式可以求出检波器安置地点的间隔长度

$$\Delta x = 2h \left[\frac{1}{\sqrt{(\frac{r}{kv})^2 - 1}} - \frac{1}{\sqrt{(\frac{v}{v_0})^2 - 1}} \right] \quad (25)$$

从(25)式可以看出:追踪有效波的间隔长度是与反射层的深度成比例的,对浅层的反射波,间隔长度较小而甚至不能应用爆炸组合法。

另外,爆炸点系的半径与追踪间隔长度有密切的联系。要保证在记录上能对反射波予以对