

反射波地震

石油工业部石油地球物理勘探局研究院情报

石油工业出版社

反射波地震勘探技术

石油工业部石油地球物理勘探局研究院情报室编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从地震勘探多次覆盖技术的基本原理、工作方法到数字处理及地质效果的论述,引出怎样应用反射波法确定地下地层的岩性,进而对用地震勘探方法直接找油找气的亮点和平点技术作了重点剖析。

本书引用了大量国内外实际资料,基本上概括了当前地震勘探技术由几何地震学到地层地震学的两个发展阶段,它是从事地震方法研究和地震资料数字处理人员的一本比较好的参考书。

反射波地震勘探技术

石油工业部石油地球物理勘探局研究院情报室编

*

(根据原石油化学工业出版社纸型重印)

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京市顺义县燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

•

787×1092 毫米 32 开本 8 1/8 印张 180 千字 印 2,201—4,000

1980 年 8 月北京新 1 版 1982 年 10 月北京第 2 次印刷

书号: 15037·2199 定价: 0.66 元

序 言

地震勘探在发现油气田过程中的作用是很显著的。地震勘探技术随着地质任务的需要逐步得到发展。早期的地震勘探，在获得地震原始记录之后，人们只是唯一地利用地震信号中的反射时间，借此推断地下构造的几何形态。虽然从开始应用反射波法地震勘探以来，就已经认识到在接收的地震反射信号中包含许多有用的信息，尤其是反射波的振幅，更是值得研究的对象。为此，在后来设计的各种增益控制方案中，曾努力设法保留相对振幅，至少想保留反射波与其背景的相对振幅。但是，由于以往地震勘探仪器的精度不高，相对振幅的保持工作在将近20年漫长时间里未能取得有意义的进展。从六十年代开始，逐渐地引进了二进制增益系统和浮点增益系统，这时，仪器的局限性已不再成为保存地震波中一切信息的障碍。于是，才有实现恢复地震波真振幅的可能。与此同时，野外工作方法也发生了相应的变化，突出地表现在多次覆盖技术全面地取代了过去那种近炮点、短排列、简单连续追踪的惯用工作方法，使得用地震勘探方法解决地质任务的能力得以提高。从进一步提高数据采集能力着眼，我们可以预示，今后野外方法发展的趋势可能是新的面积勘探技术。另外，为了取得详细的地下资料，并对井的传送信息也是一种值得考虑的方法。

在数据处理方面，从七十年代以来，最明显的进展是对

油气藏的直接探测。当地震勘探处在粗略地研究构造的几何形态的时候，我们得到的只能是构造“在哪里”？换句话说，只要弄清构造的形态、位置以及断裂分布就达到了我们的目的。这一目的现在基本上达到了。作为多次覆盖资料处理手段的水平叠加、偏移叠加技术，解决了反射段的空间归位问题，减少了构造几何形态的畸变。实现偏移的方法虽然很多，值得提出的是，波动方程法在未来的地震数据处理中将会占有重要的位置。随着地震数据处理方法的不断增多，地震勘探技术已经不仅仅能告诉你构造或圈闭“在哪里”，经过数字处理的地震记录上还有可能进一步告诉你构造或圈闭的内容“是什么”，即把地震波与岩性拉上了关系，这是今后地震数据处理的发展方向。“亮点”、“暗点”、“平点”技术，是地震勘探在直接找油找气方面的最新进展。

虽说地震直接找油找气已初见眉目，然而，搞清岩性对弹性波的速度、振幅和频率等地震参数的影响并非是件容易的事情。因此，在实验室里研究碳氢化合物对孔隙岩石的声学特性有什么样的影响显得十分必要。在这方面，已经取得了一定成绩。

在最近的五年中，速度分析方法发展很快。速度谱的应用，正在逐步推广。特别是数字计算机的广泛使用，为实现大量的速度计算和精确的速度分析提供了必要手段。目前，已知分析速度的方法不下60多种。比如利用计算机进行的自动速度分析和自适应速度分析技术便是当前速度分析技术的最新水平。无疑，这将有助于静校正、偏移技术的完善化。实质上，速度分析、静校正、偏移是一个问题的三个方面。

最近，用彩色显示地震参数给频谱分析的实际应用带来了希望。现在可以用代表特定子波频谱的色彩来显示变面积

地震剖面。当地层中岩性变化时，可能产生对地震波高频成分吸收的差异，于是，在地震时间剖面上将会相应地出现颜色的更异。当然波的异常与地质异常往往会相互混淆。这是我们在分析资料时应该注意的。

地震波参数的彩色显示不仅能表示频率的变化，只要稍加变动，还可以显示地震波的速度、极性乃至放大器的增益水平等等。总之，凡是能够反映地质界面岩性变化的地震参数都有待于我们今后不断地研究和利用。

近年来，海洋地震勘探发展很快。现在差不多所有的海洋地震队都采用非炸药震源工作。普遍得到使用的是汽枪和气体爆炸器。现代海上用的带有深度控制器的4800米长的电缆，可以自动改变记录脉冲的频谱，比1968年使用的等浮电缆更为优越。经过精心设计的小型数据处理设备已经搬到海上，这样可以缩短岸上计算中心的处理时间。海上勘探精度，随着卫星导航系统的应用使船位误差已降为原来的一半。相比之下，陆地地震勘探方法没有海洋勘探方法进展的那么明显。

本书将以多次覆盖技术的发展为起点，逐步引申到地震勘探如何直接找油找气，基本上概括了当前地震勘探技术发展的两个阶段。虽然，我们力求书的内容比较充实，逻辑比较严密，但是，由于水平所限，书中不足之处一定很多。殷切地希望广大读者及时提出宝贵意见。

目 录

序 言	1
第一章 多次覆盖技术概述	4
第一节 多次覆盖的基本原理.....	4
第二节 多次覆盖的叠加效应.....	11
第三节 多次覆盖的观测系统.....	25
第四节 多次覆盖的特殊情形.....	29
第五节 多次覆盖资料的数字处理.....	37
第二章 多次覆盖中的速度分析	54
第一节 速度.....	55
第二节 速度信息的求取.....	59
第三节 速度精度的探讨.....	82
第四节 速度的显示方法.....	92
第五节 速度资料的解释.....	95
第三章 多次覆盖的地质效果	98
第一节 多次覆盖方法的应用情况.....	98
第二节 多次覆盖压制多次反射的效果.....	112
第三节 多次覆盖压制随机干扰的效果.....	120
第四节 多次覆盖在复杂构造带上的效果.....	120
第四章 用反射波法确定地下地层的岩性	129
第一节 反射波的动力学特征.....	130
第二节 地震波的频率特征.....	138
第三节 反射波的振幅特征.....	147
第四节 反射波的运动学特征.....	171
第五章 亮点技术	185

第一节	亮点的产生.....	185
第二节	亮点的特征.....	190
第三节	亮点的处理.....	204
第四节	亮点的解释.....	218
第六章	平点技术.....	220
第一节	储集层的反射特征.....	220
第二节	流体接触面的反射强度.....	226
第三节	噪声强度与岩层反射系数.....	232
第四节	储集层厚度与地震频带.....	235
第五节	倾角鉴别处理.....	238
第六节	平点资料显示.....	244
第七节	测网密度选择.....	246
第八节	平点勘探方法.....	247
第九节	平点勘探实例.....	248

序 言

地震勘探在发现油气田过程中的作用是很显著的。地震勘探技术随着地质任务的需要逐步得到发展。早期的地震勘探，在获得地震原始记录之后，人们只是唯一地利用地震信号中的反射时间，借此推断地下构造的几何形态。虽然从开始应用反射波法地震勘探以来，就已经认识到在接收的地震反射信号中包含许多有用的信息，尤其是反射波的振幅，更是值得研究的对象。为此，在后来设计的各种增益控制方案中，曾努力设法保留相对振幅，至少想保留反射波与其背景的相对振幅。但是，由于以往地震勘探仪器的精度不高，相对振幅的保持工作在将近20年漫长时间里未能取得有意义的进展。从六十年代开始，逐渐地引进了二进制增益系统和浮点增益系统，这时，仪器的局限性已不再成为保存地震波中一切信息的障碍。于是，才有实现恢复地震波真振幅的可能。与此同时，野外工作方法也发生了相应的变化，突出地表现在多次覆盖技术全面地取代了过去那种近炮点、短排列、简单连续追踪的惯用工作方法，使得用地震勘探方法解决地质任务的能力得以提高。从进一步提高数据采集能力着眼，我们可以预示，今后野外方法发展的趋势可能是新的面积勘探技术。另外，为了取得详细的地下资料，并对井的传送信息也是一种值得考虑的方法。

在数据处理方面，从七十年代以来，最明显的进展是对

油气藏的直接探测。当地震勘探处在粗略地研究构造的几何形态的时候，我们得到的只能是构造“在哪里”？换句话说，只要弄清构造的形态、位置以及断裂分布就达到了我们的目的。这一目的现在基本上达到了。作为多次覆盖资料处理手段的水平叠加、偏移叠加技术，解决了反射段的空间归位问题，减少了构造几何形态的畸变。实现偏移的方法虽然很多，值得提出的是，波动方程法在未来的地震数据处理中将会占有重要的位置。随着地震数据处理方法的不断增多，地震勘探技术已经不仅仅能告诉你构造或圈闭“在哪里”，经过数字处理的地震记录上还有可能进一步告诉你构造或圈闭的内容“是什么”，即把地震波与岩性拉上了关系，这是今后地震数据处理的发展方向。“亮点”、“暗点”、“平点”技术，是地震勘探在直接找油找气方面的最新进展。

虽说地震直接找油找气已初见眉目，然而，搞清岩性对弹性波的速度、振幅和频率等地震参数的影响并非是件容易的事情。因此，在实验室里研究碳氢化合物对孔隙岩石的声学特性有什么样的影响显得十分必要。在这方面，已经取得了一定成绩。

在最近的五年中，速度分析方法发展很快。速度谱的应用，正在逐步推广。特别是数字计算机的广泛使用，为实现大量的速度计算和精确的速度分析提供了必要手段。目前，已知分析速度的方法不下60多种。比如利用计算机进行的自动速度分析和自适应速度分析技术便是当前速度分析技术的最新水平。无疑，这将有助于静校正、偏移技术的完善化。实质上，速度分析、静校正、偏移是一个问题的三个方面。

最近，用彩色显示地震参数给频谱分析的实际应用带来了希望。现在可以用代表特定子波频谱的色彩来显示变面积

地震剖面。当地层中岩性变化时，可能产生对地震波高频成分吸收的差异，于是，在地震时间剖面上将会相应地出现颜色的更异。当然波的异常与地质异常往往会相互混淆。这是我们在分析资料时应该注意的。

地震波参数的彩色显示不仅能表示频率的变化，只要稍加变动，还可以显示地震波的速度、极性乃至放大器的增益水平等等。总之，凡是能够反映地质界面岩性变化的地震参数都有待于我们今后不断地研究和利用。

近年来，海洋地震勘探发展很快。现在差不多所有的海洋地震队都采用非炸药震源工作。普遍得到使用的是汽枪和气体爆炸器。现代海上用的带有深度控制器的4800米长的电缆，可以自动改变记录脉冲的频谱，比1968年使用的等浮电缆更为优越。经过精心设计的小型数据处理设备已经搬到海上，这样可以缩短岸上计算中心的处理时间。海上勘探精度，随着卫星导航系统的应用使船位误差已降为原来的一半。相比之下，陆地地震勘探方法没有海洋勘探方法进展的那么明显。

本书将以多次覆盖技术的发展为起点，逐步引申到地震勘探如何直接找油找气，基本上概括了当前地震勘探技术发展的两个阶段。虽然，我们力求书的内容比较充实，逻辑比较严密，但是，由于水平所限，书中不足之处一定很多。殷切地希望广大读者及时提出宝贵意见。

第一章 多次覆盖技术概述

在没有磁带地震仪器之前，就有人提出过多次覆盖的设想。但是，它的真正应用，还是1962年的事情。多次覆盖也称为共反射点叠加，实际上它们之间是有区别的。多次覆盖指的是野外工作方法，即在野外工作中对同一段地下界面进行多次重复追踪；而共反射点叠加（或多次叠加）指的是室内处理，即对所得资料做动、静校正，将具有公共反射点的诸道相互叠加，使一次反射加强，多次反射或其它类型的干扰波相对减弱。多次覆盖和共反射点叠加成为从野外到室内的统一的工作方法，下面我们简称为多次覆盖。这种方法能显著提高地震工作的质量。目前，它已成为我国石油地震勘探工作中广为采用的工作方法。本书想重点介绍多次覆盖在我国的实际应用效果。为了便于分析，在这一章里，我们只简要地介绍多次覆盖的技术要点。

第一节 多次覆盖的基本原理

如图1所示，假如分别在测线上不同点 O_1 、 O_2 、 $\cdots$ 、 O_i 、 $\cdots$ 、 O_n 进行激发，可以分别在对应点 S_1 、 S_2 、 $\cdots$ 、 S_i 、 $\cdots$ 、 S_n 上接收到来自地下反射面上同一点A的反射波，A点称为共反射点。若对n次激发得到的共反射点A的各道反射波进行动、静校正，使其相位一致，然后叠加起来，便获得了共反射点A的n次叠加记录。我们称这种野外工作方法为A点的n次覆盖。

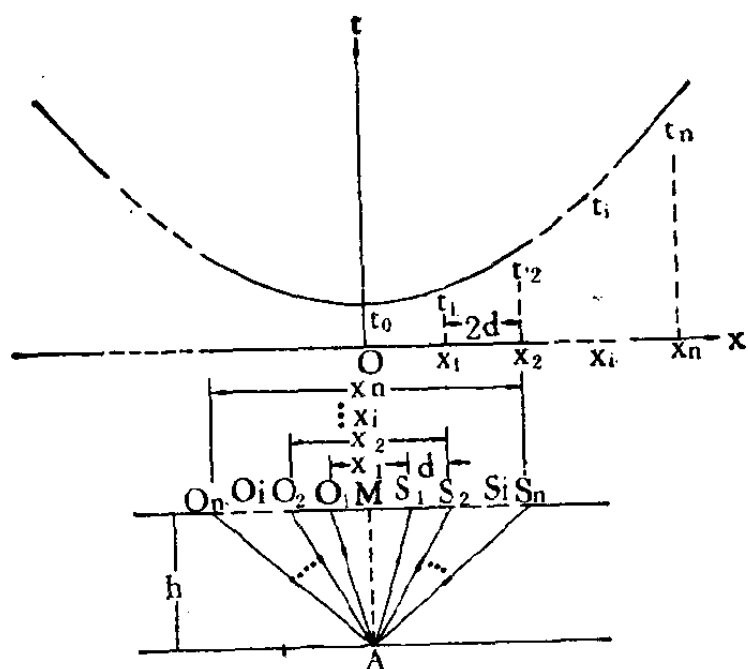


图 1 水平地层共反射点时距曲线

在水平反射面的上覆介质均匀时，垂直于地下界面共反射点A的地面上的点M，实际上是地面上不同炮点和检波点之间的同一个中心点，称它为共地面点。假如以接收距 x 为横坐标，波到达各叠加道的旅行时 t 为纵坐标，就可以得到来自共反射点A上的各道反射波的半支时距曲线。根据互换原理，可得到另外半支时距曲线。显然，这条共反射点时距曲线可由下面的方程式表示

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{4h^2 + x^2}$$

或

$$t = \sqrt{\frac{x^2}{v^2} + t_0^2} \quad (1)$$

式中 t ——为共反射点某道的反射时间；
 v ——反射波的平均速度；
 h ——共反射点的深度；

x ——共反射点某道的炮检距。

从(1)式中可知, 当 $x = 0$ 时, $t_0 = \frac{2h}{V}$, 表示共反射点A的垂直入射时间, 亦即共地面点M的垂直于反射面的回声时间。

当地层倾斜的时候, 共反射点各道的射线路径及相应的时距曲线见图2。图中M点为共地面点, B为通过M点垂直于倾斜界面的交点, 即回声点。 $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$ 为各叠加道的反射点。然而, $A_1 \sim A_n$ 并不在一个点上, 而是散布在倾斜界面上的一段距离上, 该段称为共反射段。参照图3, φ 为地层倾角, h_0 为共地面点M垂直于倾斜界面的回声深度, O_i 为炮点, S_i 为接收点, x_i 为炮检距, 于是 S_i 点上的反射时间为

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{x^2 + 4h_i^2 + 4h_i x \sin \varphi}$$

由图可知

$$h_i = h_0 - \frac{1}{2} x \sin \varphi$$

代入上式得到共反射段时距方程

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{4h_0^2 + x^2 \cos^2 \varphi}$$

或

$$t = \sqrt{\frac{x^2}{V_\varphi^2} + t_0^2} \quad (2)$$

式中 $V_\varphi = \frac{V}{\cos \varphi}$ 称为倾斜界面反射波的等效速度, 其值

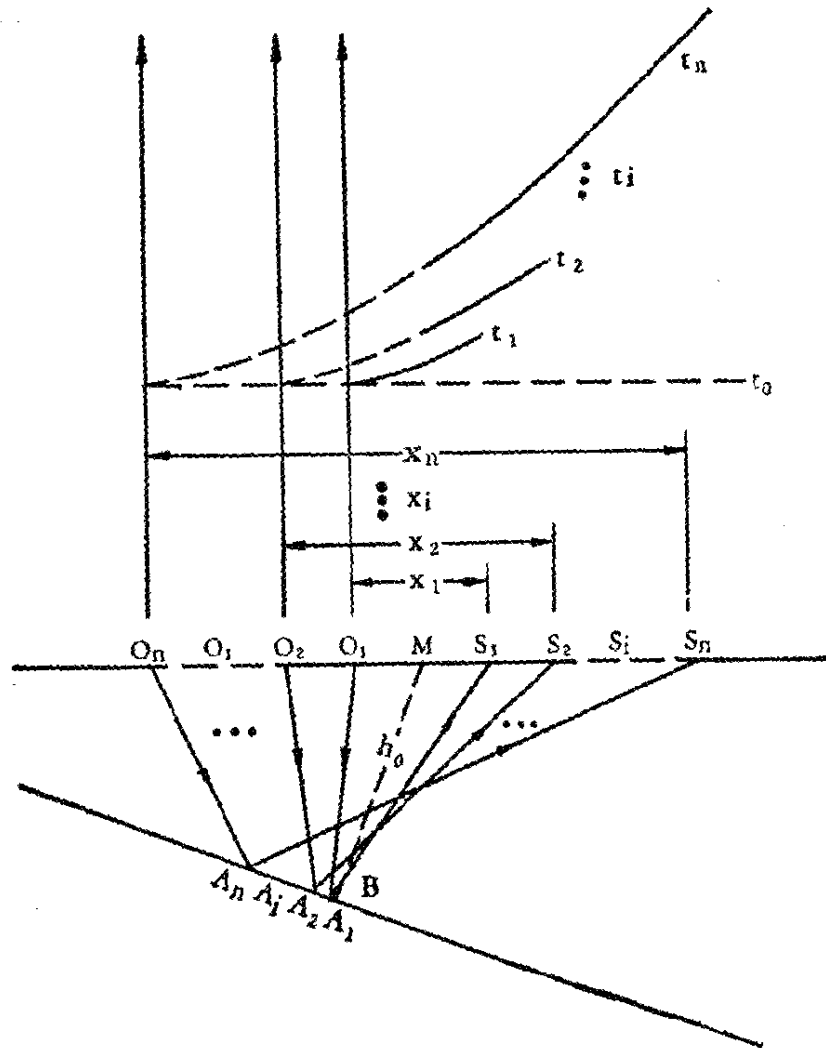


图 2 倾斜地层共反射段时距曲线

取决于沿测线方向界面的视倾角 φ 的大小。当 $\varphi = 0$ 时， V_0 等于上覆岩层的平均速度 V 。把公式（2）的形式变化一下，使其得到

$$\frac{t^2}{\left(\frac{2h_0}{V}\right)^2} - \frac{x^2}{\left(\frac{2h_0}{\cos\varphi}\right)^2} = 1$$

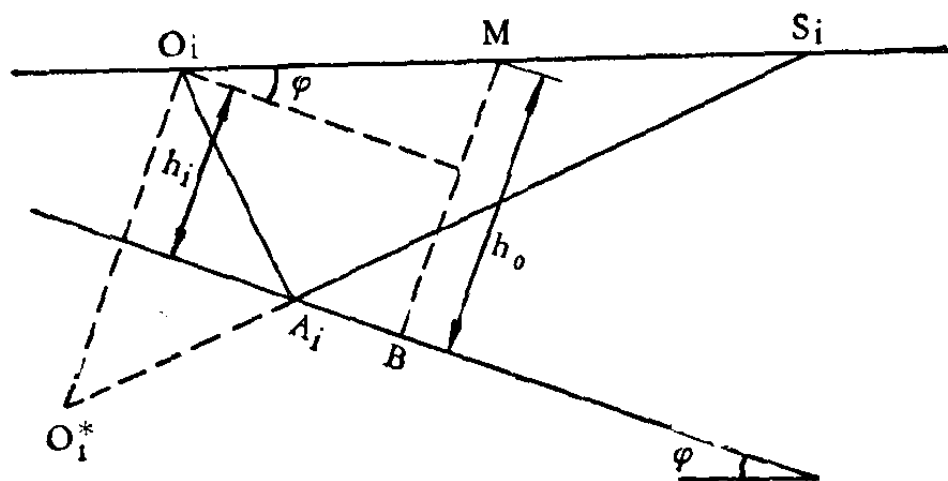


图 3

同样，公式（1）也可以化成与此相似的形式。可见，不论是水平地层或是倾斜地层的共反射点（或共反射段）的反射波时距方程，在其形式上都是对称于 t 轴的双曲线。

实际上，地层的结构总是不均匀的，而且往往起伏不平。地震波的传播速度，一般在浅层比较低，随着地层的加深，岩石颗粒越来越致密，地震波的传播速度也越来越高。根据折射定律可知，地震波在地下的传播路径是一条折线。

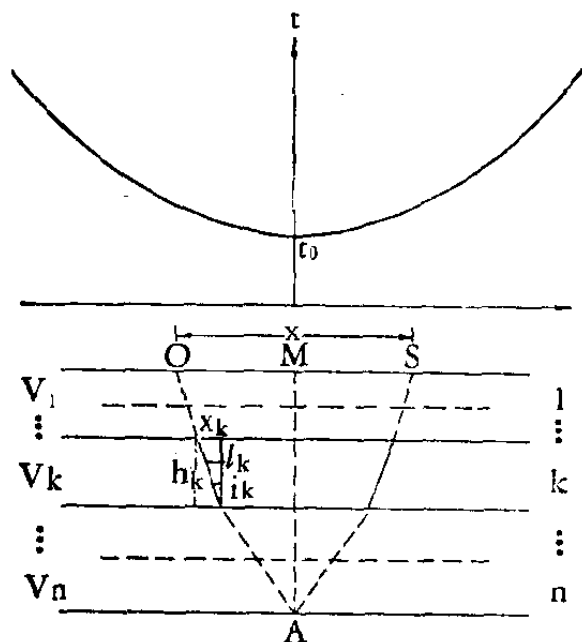


图 4 水平层状介质共反射点时距曲线

水平层状介质的共反射点时距曲线方程与均匀介质的共反射点时距曲线方程基本一致，只是其中的速度含义不同罢了。从图 4 可知，来自第 n 个界面上共反射点 A 的反射波旅行时间等于各层中传播时间的总和。即

$$t = 2 \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{V_k} = 2 \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{V_k \cos i_k} \quad (3)$$

式中 l_k ——第 K 层中的射线传播路程；

i_k ——第 K 层中射线的入射角；

h_k ——第 K 层的厚度；

V_k ——第 K 层中波传播的速度。

由折射定律得

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} = \dots = \frac{\sin i_k}{V_k} = \lambda$$

故 $\sin i_k = \lambda V_k$, $\cos i_k = \sqrt{1 - \lambda^2 V_k^2}$ 。令 $\frac{h_k}{V_k} = t_k$ 为第 K 层单程射线旅行时间，将 t_k 代入 (3) 式有

$$t = 2 \sum_{k=1}^n \frac{t_k}{\sqrt{1 - \lambda^2 V_k^2}}$$

对上式用二项式展开，则

$$t = 2 \sum_{k=1}^n t_k \left(1 + \frac{1}{2} \lambda^2 V_k^2 + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \lambda^4 V_k^4 + \dots \right)$$

当 i_k 较小，且 $\lambda V_k = \sin i_k \ll 1$ 时，可略去 4 次方以上的高次项，于是

$$t \approx 2 \sum_{k=1}^n t_k \left(1 + \frac{1}{2} \lambda^2 V_k^2 \right) \quad (4)$$

由图 4 可知，共地面点 M 的回声时间 t_0 为各单层垂直旅行时间 t_k 的总和