

赴美考察报告

石油部地球物理技术考察组

《石油地球物理勘探》编辑部

一九八六年八月

登录号	085541
分类号	F631-67
种次号	001

赴美考察报告

石油部地球物理技术考察组



5-1-6



石油大学	
图书馆	
《石油地球物理勘探》编辑部	
贈	書
一九八六年八月	
贈書者: 地科系	
日期: 95.12.18	

赴美考察报告

石油部地球物理技术考察组

*

《石油地球物理勘探》编辑部出版

物探局制图印刷厂印刷

*

内部发行

目 录

赴美考察报告

第一部分	概述·····	(1)
第二部分	地震方法在油藏工程中的应用·····	(2)
第三部分	VSP·····	(7)
第四部分	高分辨率地震勘探·····	(14)
第五部分	地震信号特征研究·····	(23)
第六部分	横波研究·····	(34)
第七部分	山区勘探·····	(38)
第八部分	计算机和工作站·····	(49)
第九部分	结束语·····	(56)

编后记

赴美考察报告

第一部分 概 述

石油部派出的以物探局局长潘瑗同志为组长的地球物理考察组由潘瑗、田希泰、赵陵龄、李忠、杨新民等五位同志组成。考察组自一九八六年六月六日至六月三十日对美国进行了为期三周的考察。访问的公司包括石油公司、地球物理服务公司和仪器公司。各公司都程度不同的介绍了他们的地球物理勘探技术。本报告中整理的是一些比较特殊的思想和方法，其它国内已经知道的内容就不再赘述了。

考察组的活动如下表所列。

城 市	单 位	主 要 内 容
洛杉矶	加州理工学院	(1) Hypercube 计算机结构 (2) 高分辨率地壳测深——频率与偏移距的关系
	雪夫龙研究中心	(1) 工作站的结构思想 (2) 大型机的使用 (3) 振幅随偏移距变化的解释和应用
	GSC	符号位技术
休斯敦	NORPAC	(1) SGR 野外记录仪器 (2) 现场处理工作站
	施伦贝谢	(1) 地震测井技术 (2) EPT 高分辨率测井仪 (3) VSP
	Landmark	解释工作站
	Geospace	参观
	CGG	(1) VSP (2) 克雷机地震软件——Geovecteur (3) 处理技术——三维偏移， τ - p 变换
	德士古	(1) 地球物理数据处理所需计算机 (2) 科研计算机的设想

续表

城 市	单 位	主 要 内 容
休斯敦	德士古	(3) VSP、野外施工设计的专家系统
	Geosource	参观, 三维处理技术
	西方地球物理公司	(1) VSP (2) 油藏模拟软件包介绍 (3) 用于地震处理的计算机结构 (4) 高分辨率处理——振幅与偏移距的关系、横波模型、偏移速度分析、地球物理技术的进一步发展。
	阿莫科	(1) VSP (2) 高分辨率野外工作方法
	Digicon	地震处理软件介绍
达拉斯	GSI	(1) 地震数字处理 (2) 地震在油田工程中的应用 (3) DFS-7 地震采集系统 (4) 地球化学勘探应用
	CONVEX	Convex 计算机介绍
图尔萨	SSC	(1) 计算机结构 (2) 地震处理技术
	SEG总部	SEG组织情况
丹 佛	CGG	(1) 逆掩断层带勘探和处理方法 (2) 参观轻便钻机 (3) 参观山区地震队野外施工
	Goulden	符号位资料处理

第二部分 地震方法在油藏工程中的应用

目前, 各个石油公司都在研究地震方法在油藏工程中的应用, 例如在重油开采中, 用地震方法探查注入蒸汽的分布、井下压裂后裂隙的分布情况等。但是, 至今还没有成功的例子。下面根据GSC对注汽研究的一个建议书来说明在这个领域研究的趋势。

一. 目 的

描绘和监视注入蒸汽在水平方向和垂直方向移动的情况。通过适当的地震观测方法可描绘汽体的变化，由各个不同时间记录到的地震记录推断汽体延伸的边缘。

二. 数据采集

图 2—1 至图 2—3 是野外观测系统及覆盖情况。把 1024 道检波器埋在地下，长期用于在不同时间观测。一口注汽井控制六口生产井。采集因素为：

道数 1024

检波器分布 正方形 (32×32 检波点)

道间距 两个方向都是 10m

地面面积 $310\text{m} \times 310\text{m}$

炮点数 234

炮点线 可通行的路上

炮点间距 10m

每次观测数据量 239616 道 (234×1024)

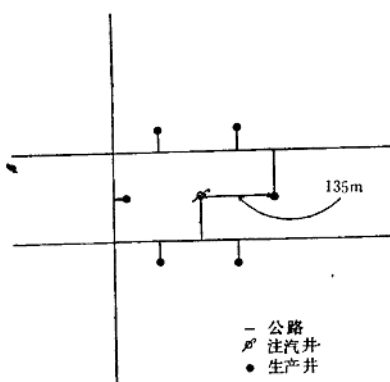


图 2—1 典型的 7 点布置图

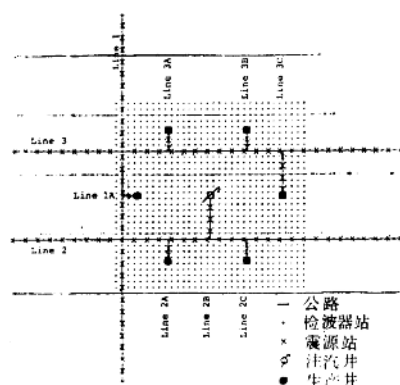


图 2—2 观测系统图



图 2—3 覆盖密度

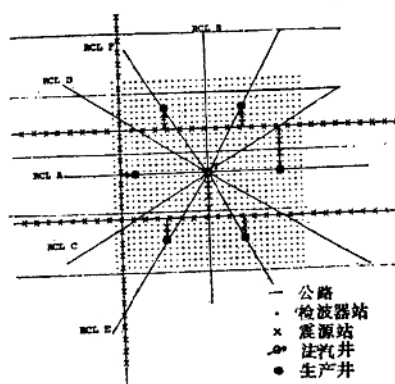


图 2—4 穿过注汽井的剖面线

覆盖次数 边缘为1次，中心最大覆盖次数为320，面元为 $10 \times 10 \text{ m}^2$

野外工作时间 3—4天，每天工作时间10h

三. 数据处理

我们用反射性分析和层析分析方法可以得到气体的前沿分布图。图2—4画出了穿过注汽井的剖面线。这几条线的叠加剖面可以显示反射性的变化，也可以显示出注入汽体后地层的速度变化。

1. 反射系数的变化

地层内注入汽体以后，来自该地层的反射振幅就变大，不同时间的振幅差就反映了汽体运移的情况。图2—5是一个地质模型。图2—6是用合成记录说明反射系数随汽体运移的变化。

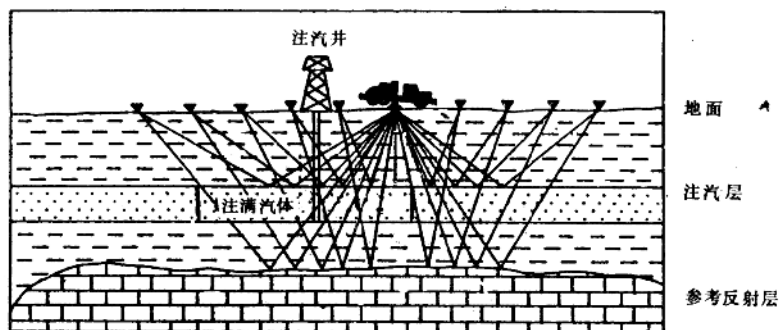


图 2—5 反射系数模型

2. 层析分析法

注入汽体后，地层的速度发生变化。图2—7说明了汽体造成了反射时间的延迟。在注汽层之下选择一个显著的参考反射层就可以分析注汽层的速度变化。在不同的时间记录上，对这个参考层进行互相关，可以求出汽体运移时造成的时移。图2—8是最终的汽体延伸的等值线图。

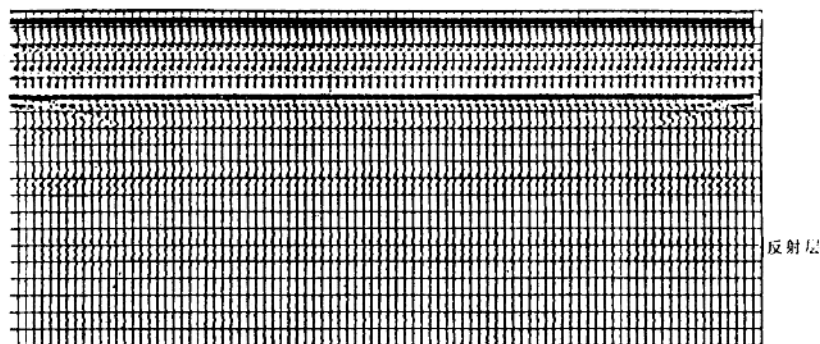


图 2—6a 注汽前的模拟水平叠加剖面

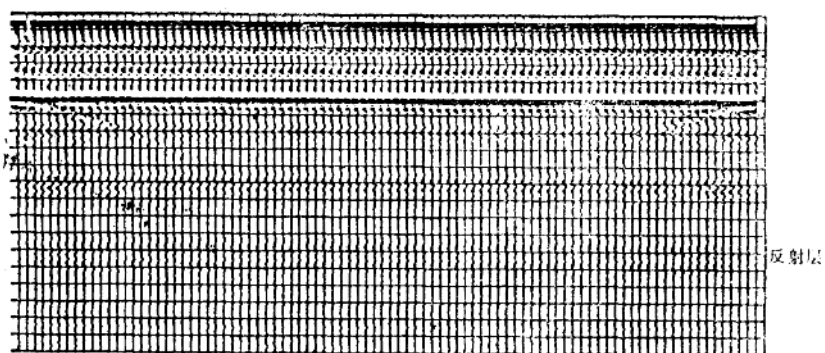


图 2—6b 注汽后的模拟水平叠加剖面
注汽层的声阻抗有1%的变化

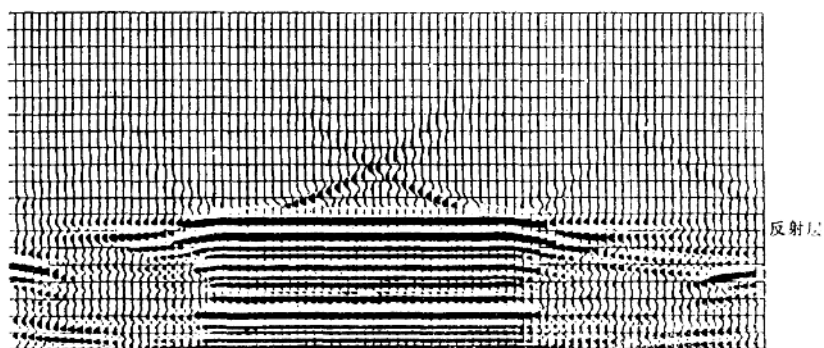


图 2—6c 连续测量时间得到的水平叠加剖面
在其中可看到地层反射振幅的变化

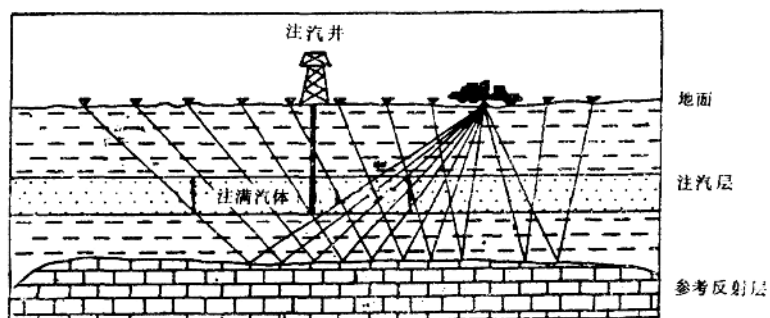


图 2—7a 地质横剖面

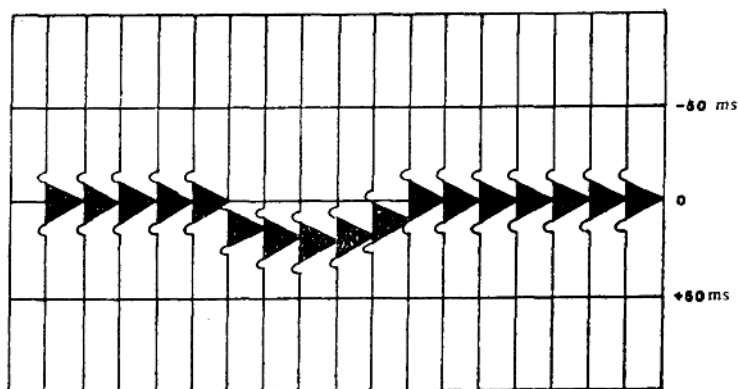


图 2—7b 注汽后利用深部反射层的互相关可看出反射时间的延迟

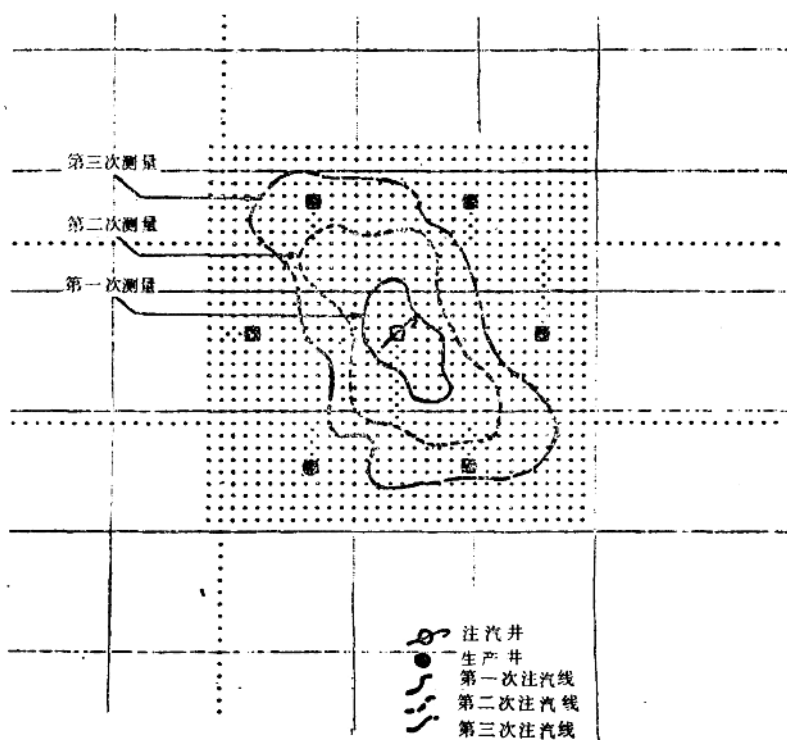


图 2—8 汽体延伸的等值线图

第三部分 VSP

VSP是一种老的地球物理技术,但是最近几年出现热潮。这里对人们已熟悉的概念不再赘述。下面概括地说明一下VSP的应用。

一. VSP应用范围

1. 识别初次反射。
2. 预测井底以下的目的层。
3. 识别多次波和预测。
4. 通过识别低声阻抗异常预测未钻到的可能高压层。
5. 计算地层倾角。
6. 设计地面地震资料所需的反褶积因子。
7. 提供高分辨率的时深曲线,确定层速度。
8. 确定地震时间延迟,标定声测井。
9. 确定井附近的岩性、速度和构造。
10. 确定不同深度处地层滤波器的相位特征和频率特征。
11. 确定最佳的地震成像频率。
12. 真振幅分析,子波处理分析和吸收分析。
13. 确定声阻抗。
14. 高分辨地确定断层、注汽通道、陡界面和盐丘。
15. 确定油藏的几何特征。
16. 确定近地表风化层和近地表速度模型。
17. 多分量检波器记录可用来:(1)描绘陡倾角反射层;(2)识别横波 计算横波速度、识别反射边界、标定P波声测井和S波声测井、计算 V_P/V_S 比值;(3)确定岩石性质 由 V_P/V_S 获得岩性信息、计算泊松比、确定裂隙方向、确定介质的各向异性极性、确定渗透率、确定介质的各向异性。
18. 进一步使用多方向震源和多分量检波器能为研究岩性提供更多的信息。
19. 能够提供轻便的野外质量控制系统和野外处理系统。

二. VSP处理

1. 解编、编辑和相加。
2. 拾取初至波。
3. 振幅补偿。
4. 波场分离。
5. 反褶积。
6. 走廊叠加。
7. 非零偏移距的VSP—CDP变换。
8. 偏移。

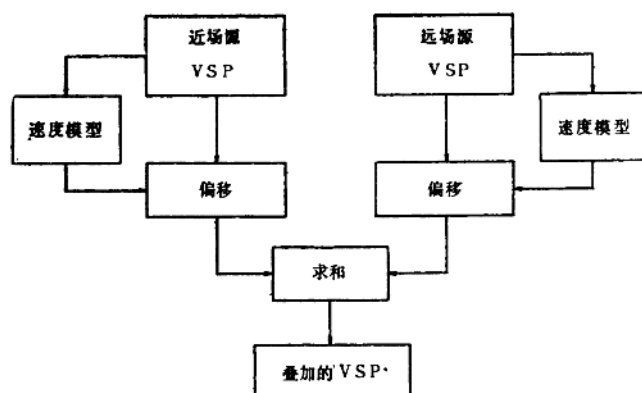


图 3—1 VSP数据处理流程

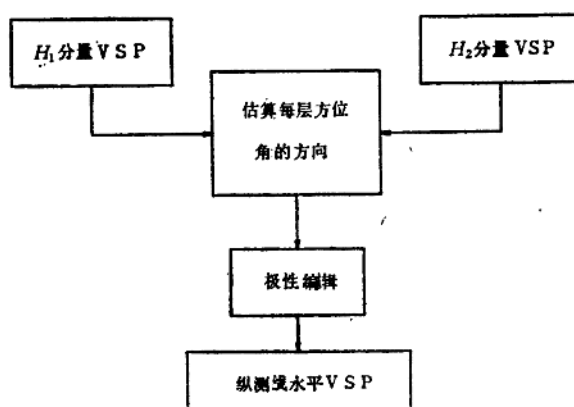


图3—2 水平分量处理流程

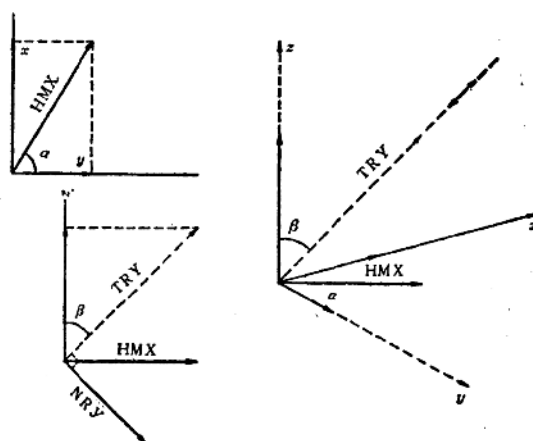


图 3—3 P波矢量图

HMX为P波的水平分量；NRY为P波的垂直分量；TRY为P波的切线分量

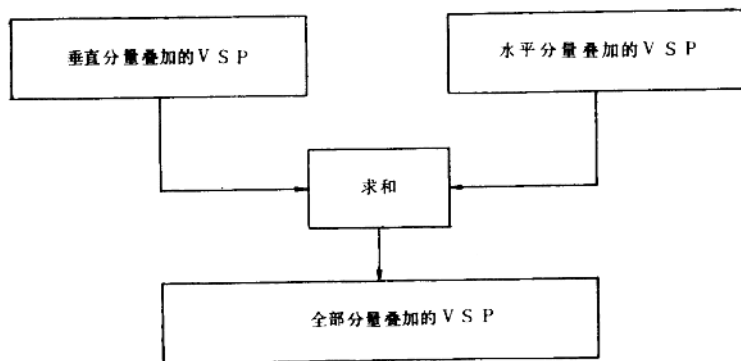


图 3-4 总的VSP处理流程

9. 应用三分量的 VSP 研究质点运动。

10. 极性分析。

图3-1至图3-4是一个VSP完整的处理流程。

三. VSP偏移和模型

VSP—CDP变换是一种从深度—时间域变换到偏移距—深度域的方法，它可以根据VSP数据中可辨认的同相轴确定出地下构造。但是，当VSP道上某一时刻的反射来自空间几个反射点时，VSP—CDP变换就不能把这种多个反射很好地成像。VSP偏移是另一种从深度—时间域变换到偏移距—深度域的方法。VSP—CDP变换提供了VSP偏移所需的速度场，所以两者结合起来就能更好地反映地下构造。

图3-5a是一个2D的VSP测量图，在柱坐标系中，P波波场可由下式给出

$$U(t) = \frac{V(t)\sqrt{t}}{\cos \theta(t)} \quad (3-1)$$

式中：\$t = T_1 + T_2\$；

\$U(t)\$为质点压力；

\$V(t)\$为质点运动速度的垂直分量；

\$\theta(t)\$为检波器的瞬时入射角。

图3-5b是2D的克希霍夫偏移原理图。

偏移公式为

$$U_P(T_s) = \frac{1}{2\pi V} \int ds \cos \theta_s \int_{-\infty}^{\infty} dT F(T) U_s(T + T_s + T_g) \quad (3-2)$$

式中\$F(T)\$为谱算子（图3-5b右），其表达式为

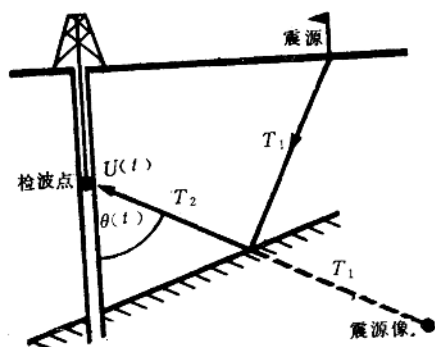


图 3-5a 2D的VSP观测波场

$$F(T) = \frac{d}{dT} \frac{1}{\sqrt{T(T+2T_g)}} - \frac{d}{dT_g} \sqrt{T(T+2T_g)} \quad (3-3)$$

式(2)中: $U_s(t)$ 表示在地表 S 点 t 时刻测定的波场; $U_r(t)$ 为在 P 点 t 时刻计算的信号。

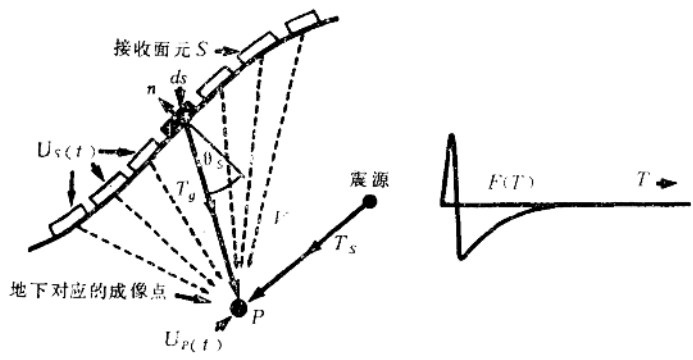


图 3—5b 2D的VSP克希霍夫偏移原理

图3—6至图3—8是VSP偏移与地面地震资料偏移以及合成记录的对比结果,从中可看出VSP偏移有较好的效果。

图3—9列举了各种VSP模型方法的特点和比较。

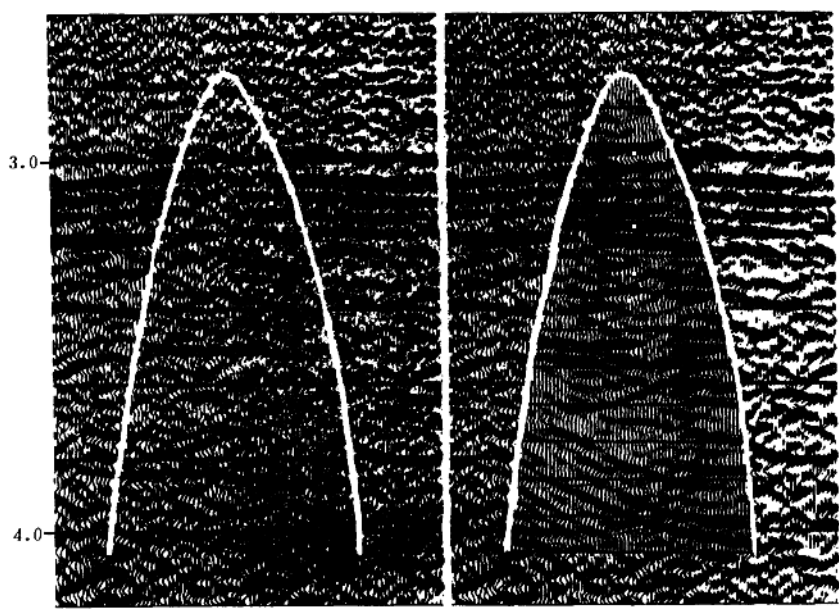


图 3—6 左图为偏移地震剖面,右图为VSP偏移

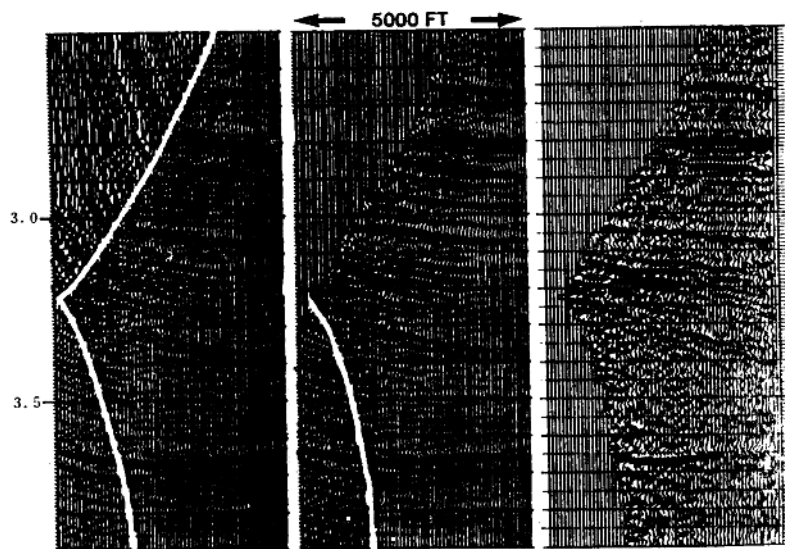


图 3—7 非零井源距VSP偏移窗口的选择

左为VSP偏移剖面 偏移窗口为 90°

中为VSP偏移剖面，偏移窗口为 45°

左为射线成像剖面，采用水平层状模型重建

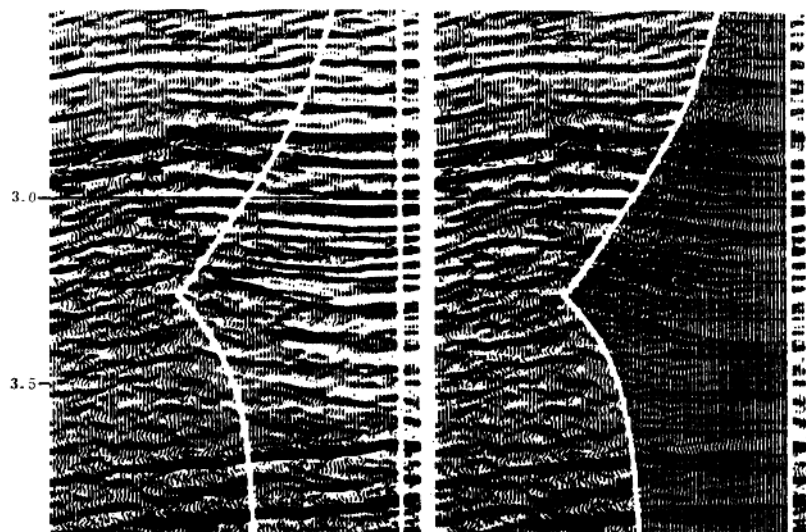


图 3—8 左图为偏移地震剖面，右图为VSP偏移

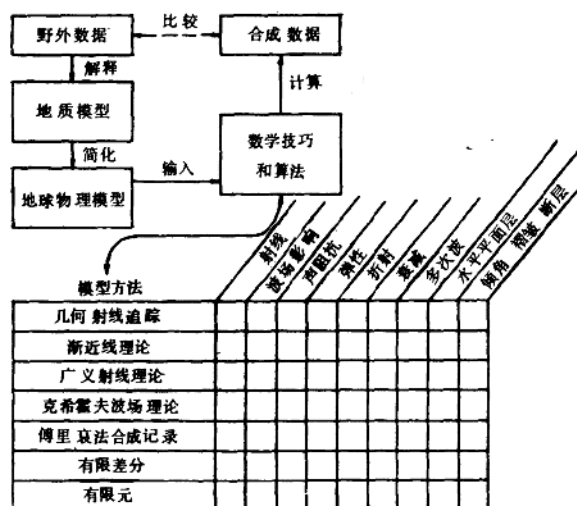


图 3—9 各种VSP模型方法的对比

下面分别给出这些VPS方法的数学模型。

几何射线追踪的基本方程 (I)

标量波动方程

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$$

其解为 $\Psi(x, y, z, t) = A(x, y, z) e^{i[k_0 W(x, y, z) - \omega t]}$ 。

折射指数

$$n(x, y, z) = \frac{C_0}{C(x, y, z)}$$

式中 $k_0 = \omega / C_0 = 2\pi / \lambda_0$ 。

几何射线追踪的基本方程 (II)

镜像 (Eikonal) 方程 ($\lambda_0 \rightarrow 0$)

$$|\nabla W|^2 = \left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2 = n^2(x, y, z)$$

斯奈尔定律

$$\frac{\sin \theta}{C} = \frac{\sin \beta}{C_0} = P \text{ (常数)}$$

运动 (Motion) 方程 (渐近线理论的基本方程)

$$(\lambda + \mu) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \nabla \lambda (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \nabla \mu \times (\nabla \times \mathbf{u}) + 2(\nabla_\mu \cdot \nabla) \mathbf{u} = \rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2}$$

假定解的形式为

$$\mathbf{u} = \exp[i\omega(t - \tau)] \sum_{k=0}^{\infty} (i\omega)^{-k} \mathbf{u}_k$$

运动(Motion)方程 (广义射线理论的基本方程)

$$\frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Phi}}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial r} - \frac{S^2}{\alpha^2} \bar{\Phi} = 0$$

$$\frac{\partial^2 \bar{\Psi}}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Psi}}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial r} - \frac{\bar{\Psi}}{r^2} - \frac{S^2}{\beta^2} \bar{\Psi} = 0$$

假定解的形式为

$$\begin{aligned} \frac{\bar{\Phi}(r, z, S)}{S} &= \int_0^\infty \frac{k}{(k^2 + \frac{S^2}{\alpha^2})^{1/2}} J_0(kr) \exp\left[-|z-h|\left(k^2 + \frac{S^2}{\alpha^2}\right)^{1/2}\right] dk \\ &\quad + \int_0^\infty f(k) J_0(kr) \exp\left[-z\left(k^2 + \frac{S^2}{\alpha^2}\right)^{1/2}\right] dk \\ &= \int_0^\infty e^{-i\tau} A(\tau) d\tau \end{aligned}$$

非齐次标量波动方程 (克希霍夫波场理论的基本方程)

$$\nabla^2 \Psi - \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = -g(x, y, z, t)$$

克希霍夫公式

$$\begin{aligned} \Psi(x', y', z', t) &= \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{g(x, y, z, t - \frac{r}{V})}{r} dV \\ &\quad + \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\frac{1}{r} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial n} \right) \Big|_{t=t-\frac{r}{V}} - \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) \Psi \Big|_{t=t-\frac{r}{V}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{Vr} \frac{\partial r}{\partial n} \frac{\partial \Psi}{\partial t} \Big|_{t=t-\frac{r}{V}} \right] dS \end{aligned}$$

式中 $r = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}$ 。

标准的差分替换形式 (有限差分方法的基本方程)

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

$$\frac{1}{k^2} (u_{n+1}^n - 2u_n^n + u_{n-1}^n) - \frac{1}{h^2} (u_{m+1}^n - 2u_m^n + u_{m-1}^n) = 0$$

式中, $X = mh$, $t = nk$

2-D波动方程的显形式格式