

# 目 录

引 言

第一章 地震勘探方法概述

第二章 地震波及其描述

第三章 地震波传播的动力学特征

第四章 粘弹介质地震波的动力学问题

第五章 地震波的反射、透射和折射

第六章 地震波运动学（几何地震学）

第七章 地震勘探野外工作方法

第八章 地震波速度的影响因素及测定方法

# 第八章 地震波传播速度的影响因素及速度测定方法

## 8-1 地震波传播速度的影响因素 (P37)

### 一、地震波的传播速度与岩石弹性常数的关系

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

由此式可见似乎速度与密度成反比，但由于密度的变化会使有效弹性系数  $\lambda$ ， $\mu$  变化更大，实际密度增加速度也增大

$\lambda = k - (2/3)\mu$ ， $k$  为体积模量， $\lambda$  是流体的体积模量  
 $\mu$ : 剪切模量，剪应力与剪应变之比

E: 杨氏模量，圆柱纵向拉伸，纵向应力与纵向应变之比

$\nu$ : 泊松比，圆柱纵向拉伸时，横向收缩与纵向拉伸之比  
由弹性常数可确定速度，由纵横波速度可求弹性常数。

## 二、地震波速度与岩性的关系

不同岩性对应的速度不同，但并非一一对应，故此只用速度确定岩性不合适，需采用多参数综合研究。

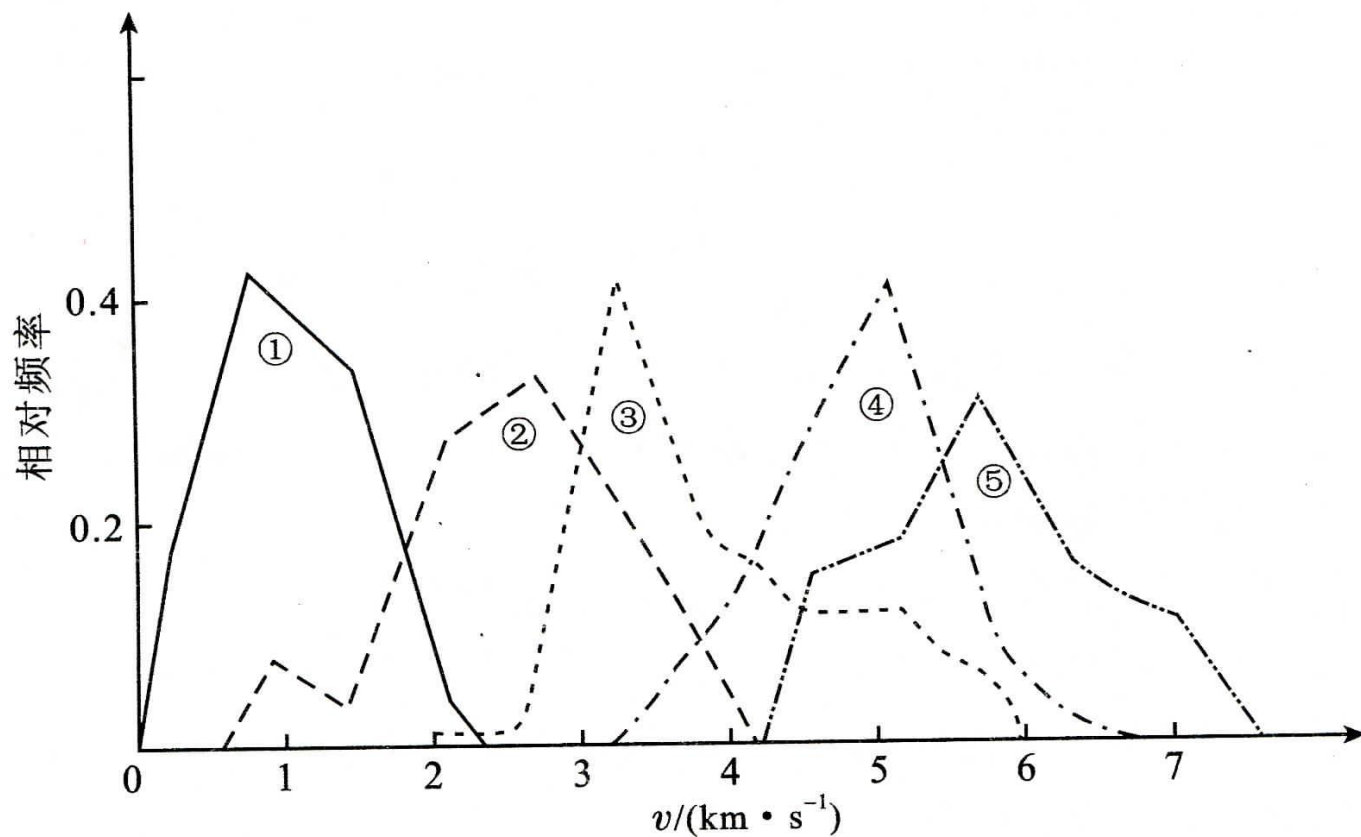


图 1-23 各类岩石的速度分布

①冲积层粘土；②砂页岩；③灰岩、白云岩；④花岗岩、变质岩；⑤盐岩、硬石膏





砂页岩



灰岩



花岗岩



盐岩

表 6.1—2 地震波在几种主要类型岩石的速度变化范围

岩 石	速度 $V_P$ (km/s)	岩 石	速度 $V_P$ (km/s)
沉 积 岩	1.6—6.0	玄 武 岩	4.5—8.0
花 岗 岩	4.5—6.5	变 质 岩	3.5—6.5

表 6.1—3 地震波在不同类型的沉积岩的速度变化范围

岩 石	速度 $V_P$ (km/s)	岩 石	速度 $V_P$ (km/s)
砾石, 砂岩, 干砂	0.2—0.8	白 垩	1.8—3.5
砂质粘土	0.3—0.5	泥质页岩	2.5—4.1
湿 砂	0.6—0.8	石灰岩, 致密白云岩	2.5—6.1
粘 土	1.2—2.5	石膏, 无水石膏	3.5—4.5
疏松岩石	1.5—2.5	泥 灰 岩	2.0—3.5
致密岩石	1.8—4.0	盐 岩	4.2—5.5



### 三、速度与岩石孔隙度的关系

岩石由岩石骨架和流体填充的孔隙组成--双相介质。波在流体中传播速度低于骨架中传播速度，故此速度与相同岩性岩石孔隙度成反比，Wylie(1956)等人提出**水饱和**岩石中的速度：**时间平均方程**

$$\frac{1}{V} = \frac{(1-\phi)}{V_m} + \frac{\phi}{V_f}$$

$\phi$ : 孔隙度

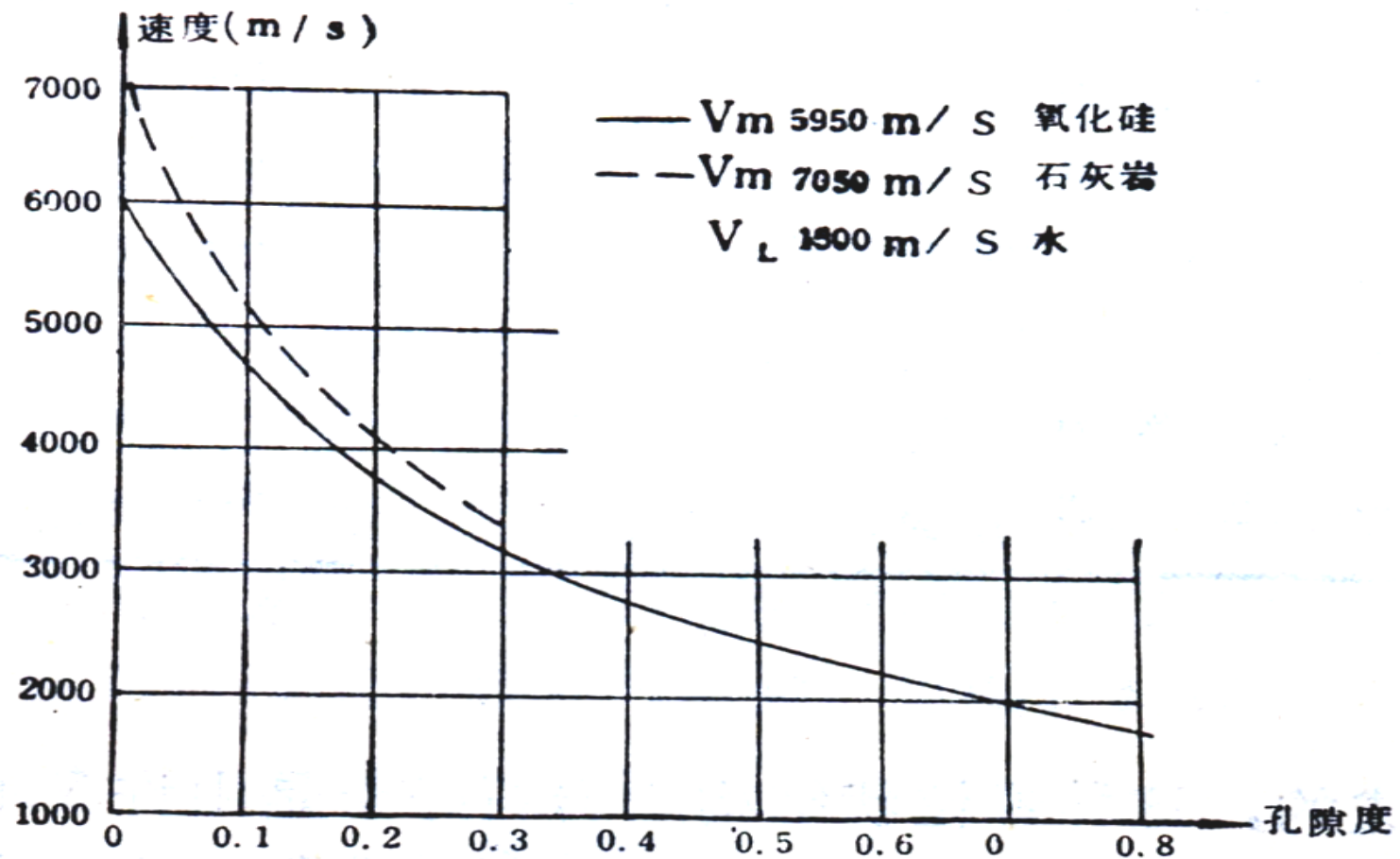
$V_m$ : 岩石骨架中的波速

$V_f$ : 孔隙中流体的波速

Wylie

$$V = (1-\phi)^2 V_m + \phi V_f$$

类似的方程很多如  
Raymer(1980)



时间平均方程曲线

上式为流体压力与岩石压力相等，不等时，流体压力减小有：

$$\frac{1}{V} = \frac{(1 - c\phi)}{V_m} + \frac{c\phi}{V_f}$$

$C$ : 压实系数

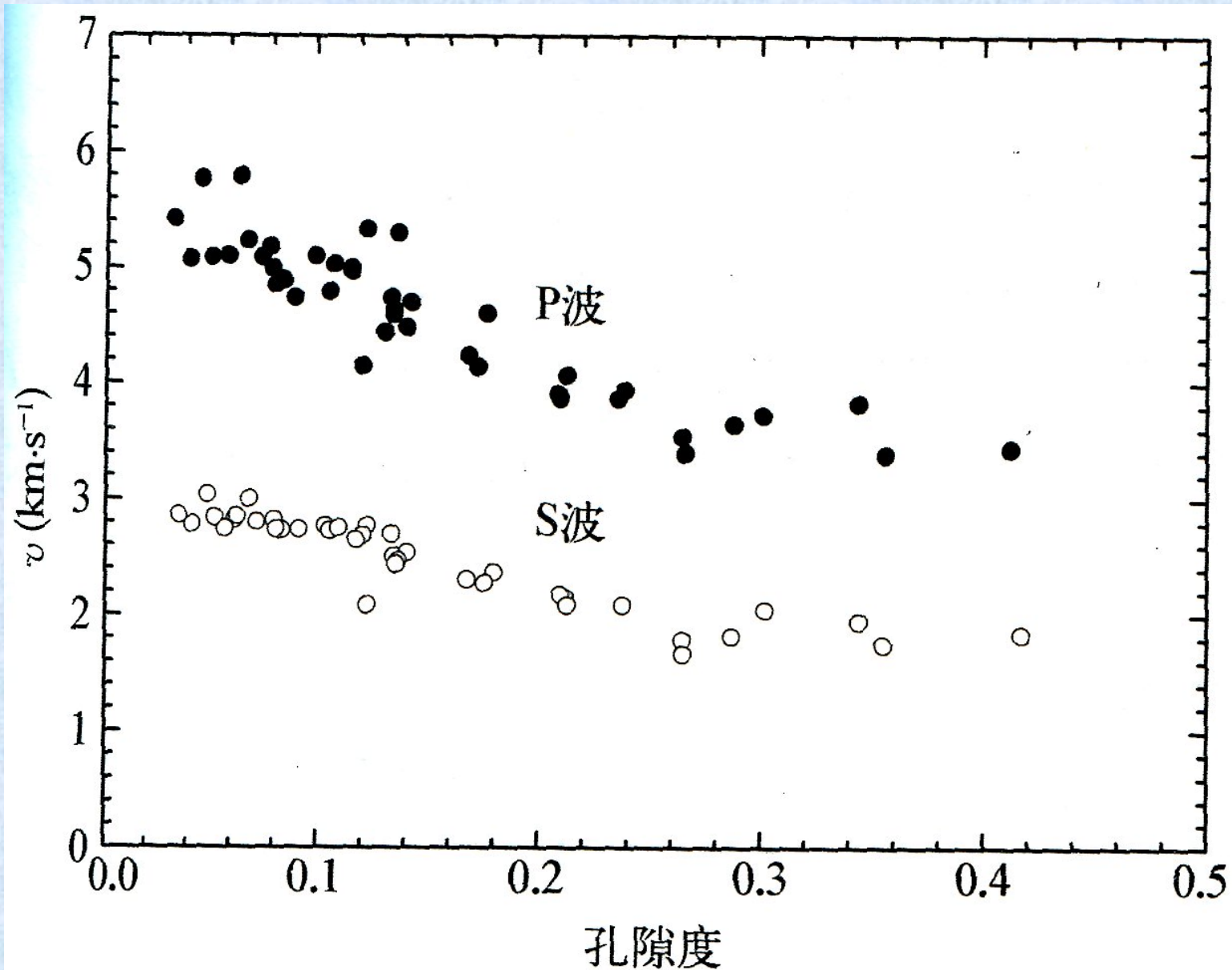
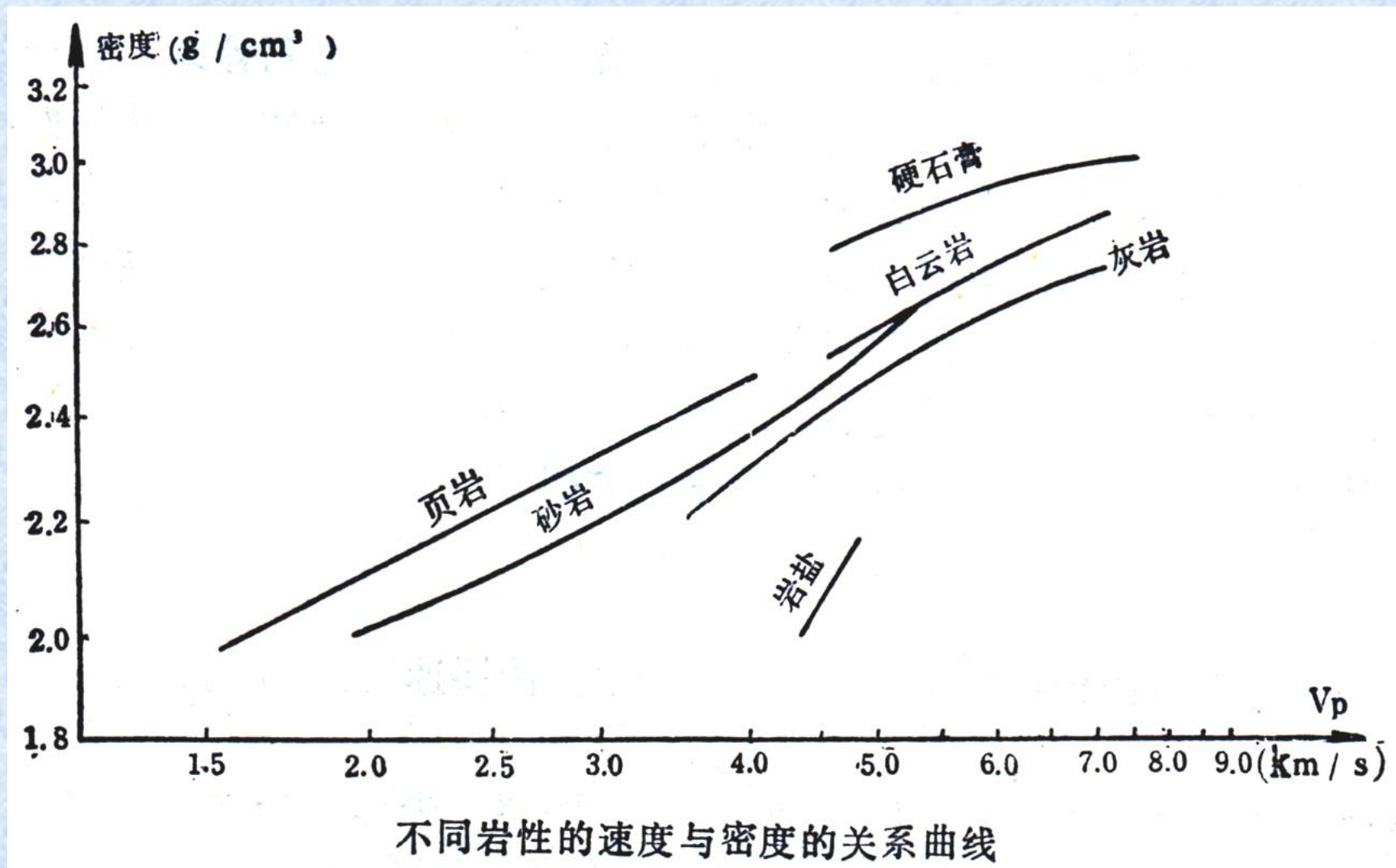


图 3.10 水饱和石灰岩的波速与孔隙度的关系



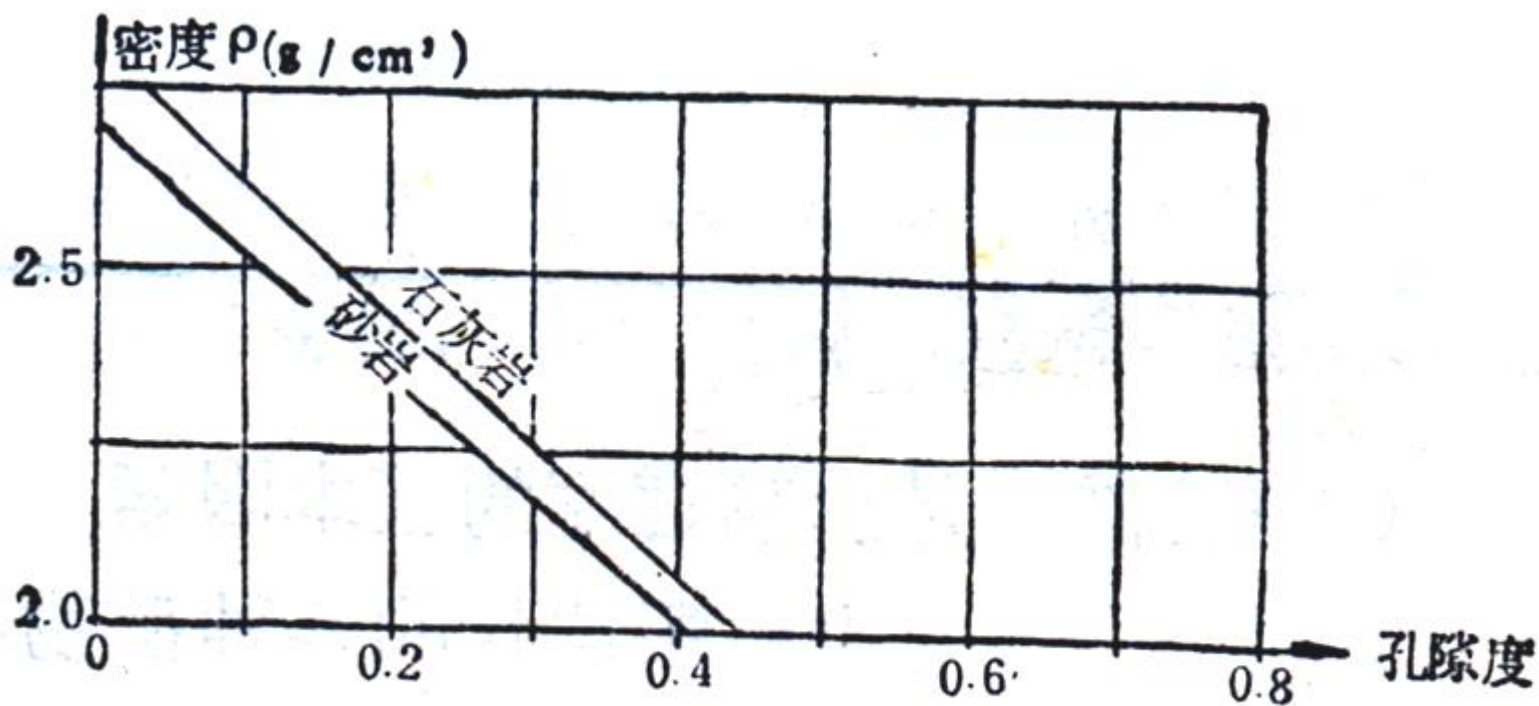
## 四、速度与介质密度的关系

速度与密度成正比关系、密度越大速度越大。不同岩性的速度与密度关系曲线。



## 孔隙度与密度也存在经验公式:

$$\rho = \rho_f \varphi + \rho_m (1 - \varphi) \quad \rho = \alpha v^{1/4} \quad (v: \text{m/s}, \rho: \text{g/cm}^3); \quad a = 0.31$$



孔隙度与密度关系曲线

## 五、孔隙填充物与速度的关系

孔隙中含有水或饱和盐水，波速较高

孔隙中含有石油，波速较低（15%-20%）

孔隙中含有天然气，波速更低

孔隙中填充粘土：纵波速度比填充流体时小30%，横波速度降低40%



## 六、速度与地层深度的关系

一般地速度随着深度增加而加大

Gassman经验公式

$$V = \left[ V_0^2 + \frac{4.44 * 10^8 Z^{1/3}}{2.7 - 1.7\phi} \right]^{1/2}$$

$V_0$ :  $Z = 0$ 时的速度

$Z$ : 深度

$\phi$ : 孔隙度

Faust经验公式:

$$V = a(ZT)^{1/6} = 2 * 10^3 (ZR)^{1/6}$$

$a = 46.5$  ( $Z$ 用米表示)

$T$ : 地质年代 (年)

$R$ : 地层电阻率

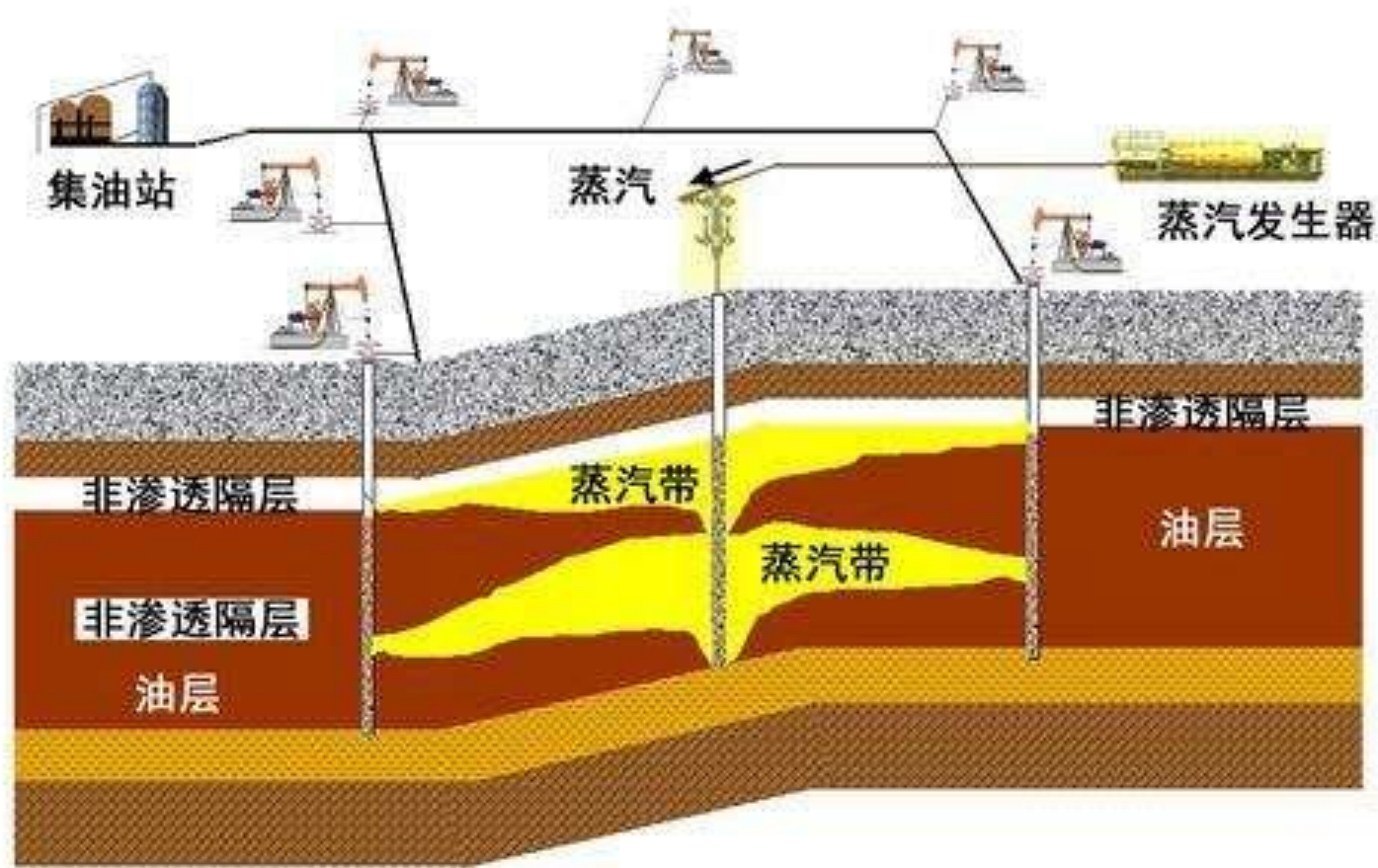
## 七、温度对速度的影响

温度升高100摄氏度时速度会减小5%-6%。

- 水饱和岩石在温度低于冰点时速度会明显提高
- 当孔隙中填充重质原油和焦油时，温度越高速度越小

小结,影响地震波速度的主要因素:

岩石的岩性, 孔隙度, 孔隙填充流体的性质, 岩石的密度, 温度, 地层的深度等。



蒸汽驱采油，就是由注入井连续不断地往油层中注入高干度的蒸汽，蒸汽不断地加热油层，从而大大降低了地层原油的粘度。注入的蒸汽在地层中变为热的流体，将原油驱赶到生产井的周围，并被采到地面上来。

## 8-2、地震波速度的测定方法 (P119)

### 一、地震波速度的获取方法

#### 1、理论反演、计算

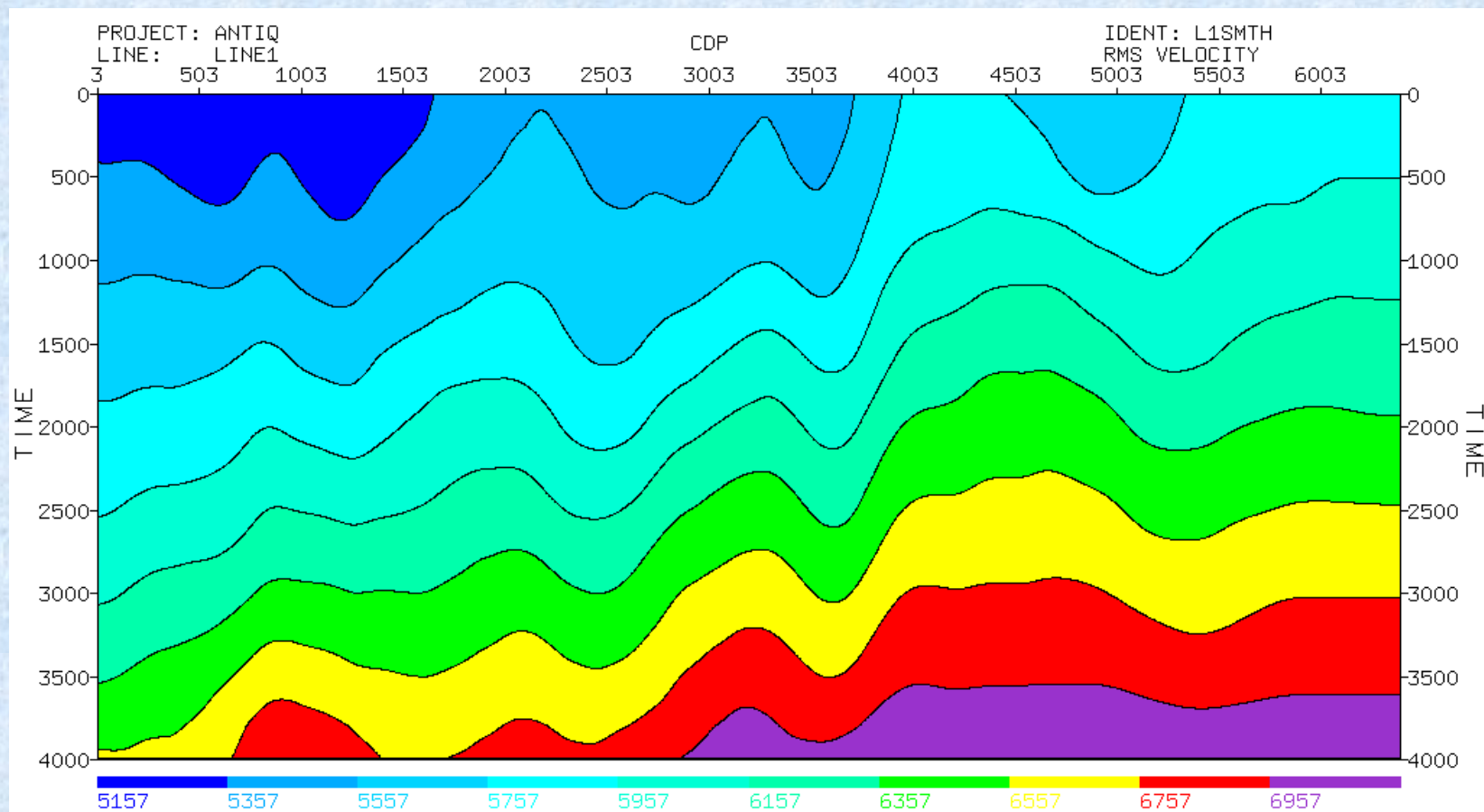
- (1) 基于几何地震学理论计算、反演
- (2) 基于波动理论的反演

#### 2、实际的测定

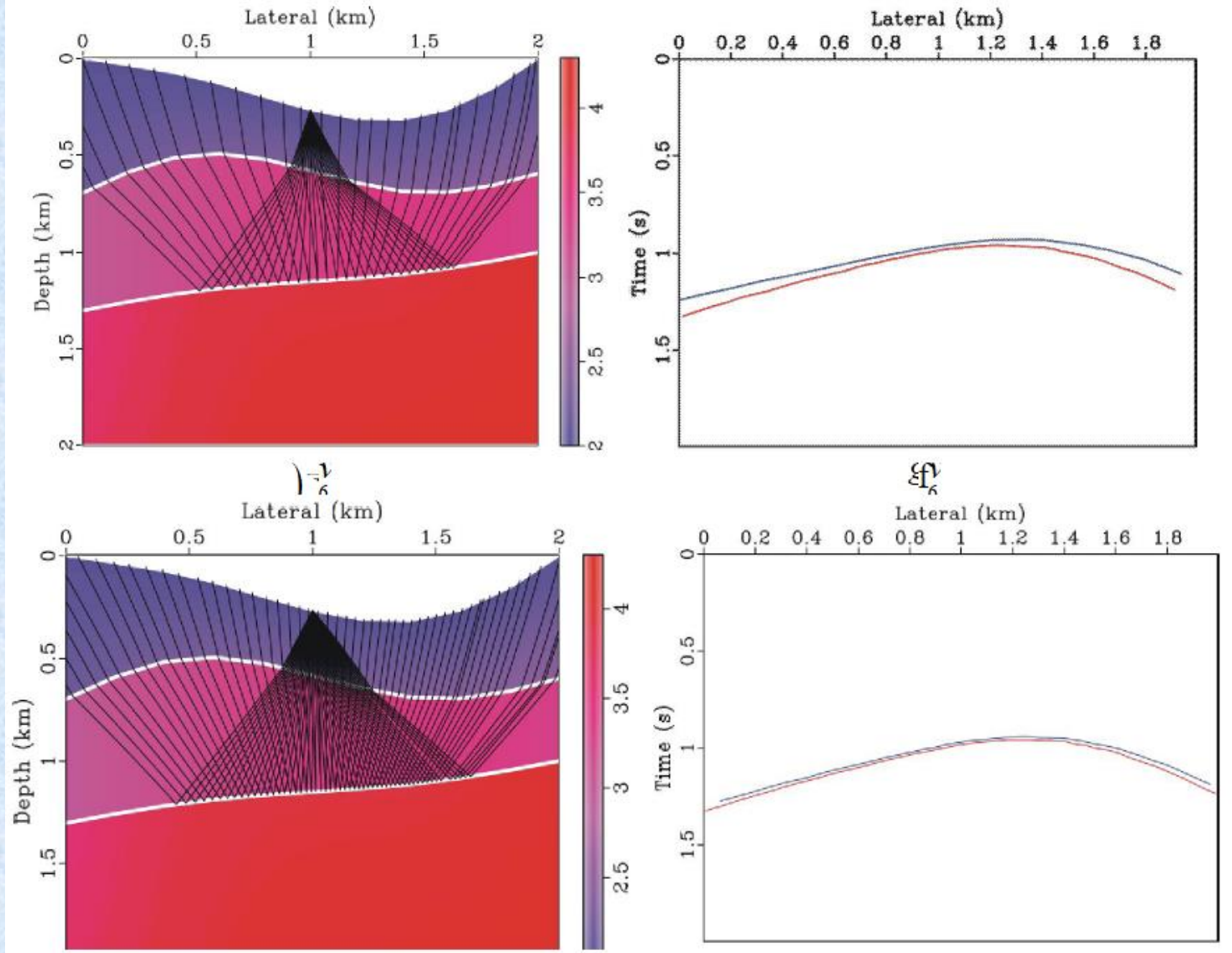
- (1) 实验室内岩石样本测试
- (2) 野外实际测量
  - a.地震测井
  - b.声波速度测井





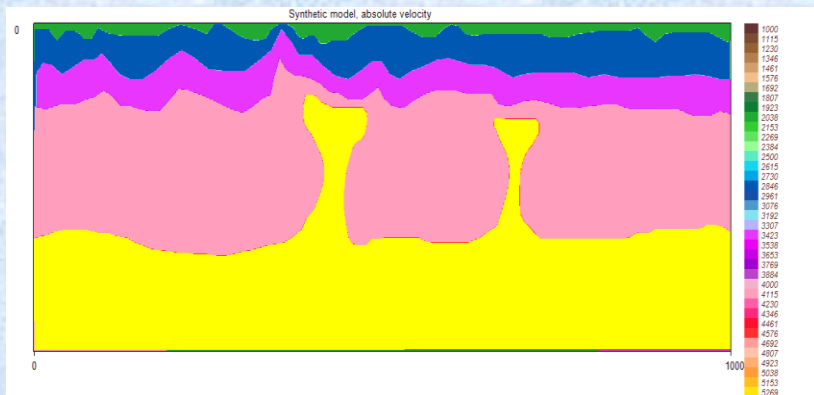


由叠加速度分析形成速度剖面



基于运动学特点的反射走时反演

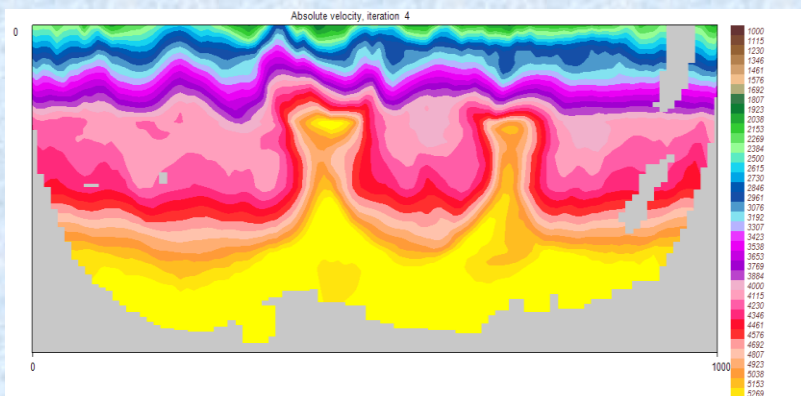




理论岩丘模型

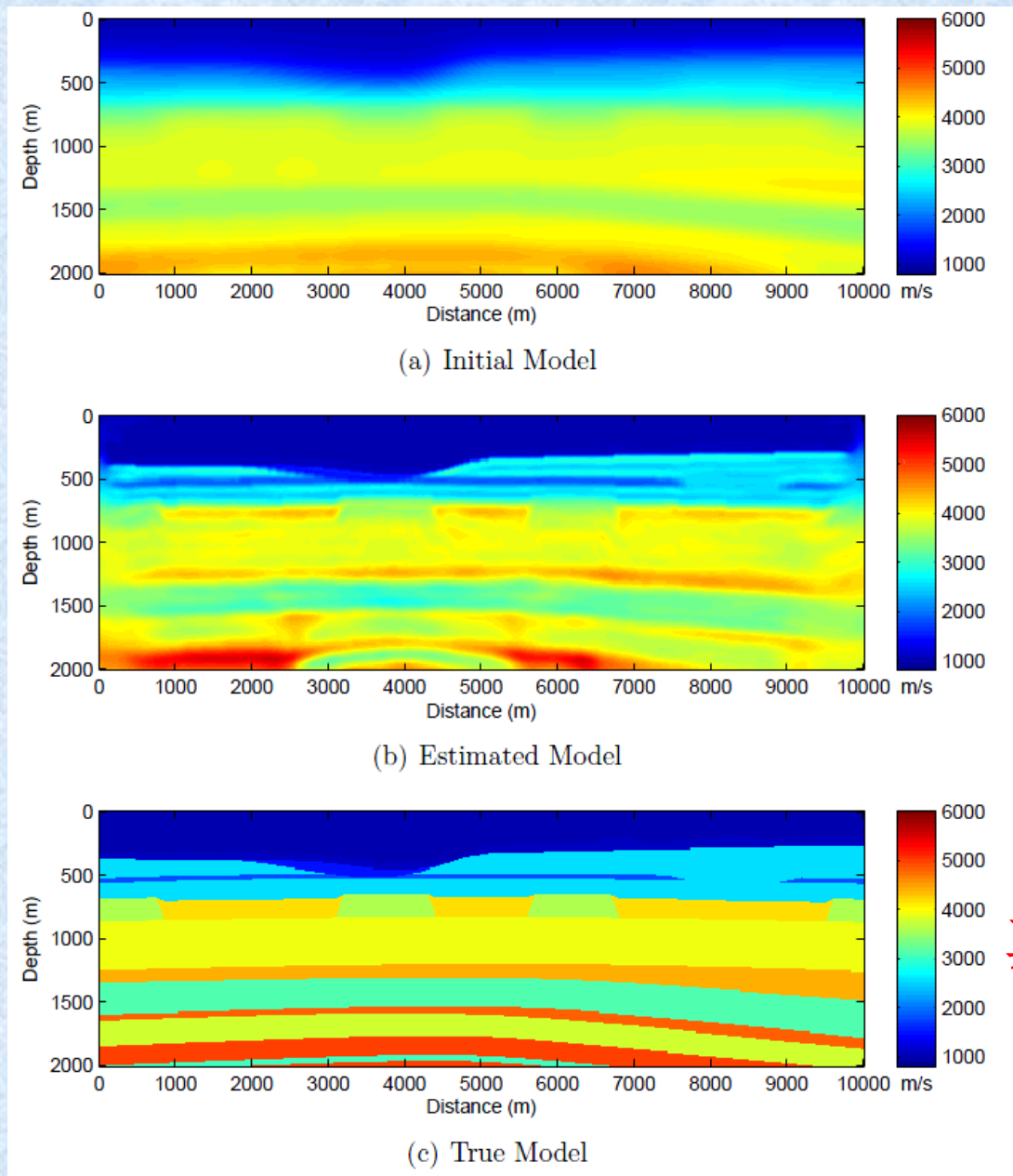


初始模型



反演结果

基于运动学特点的反射走时反演



初始模型

反演结果

真实模型

基于波动理论的反演: **FWI (Full Waveform Inversion)**

## 初至折射法

初至折射法用于低速带测定，利用折射波勘探相遇时距曲线利用直达波的时距曲线求，

$$v_0 = \left( \frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_1$$

利用折射波时距曲线求

$$v_1 = \left( \frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_2$$

进而求得低速带厚度

$$h_0 = \frac{v_0 t_0}{2 \left[ 1 - \left( \frac{v_0}{v_1} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

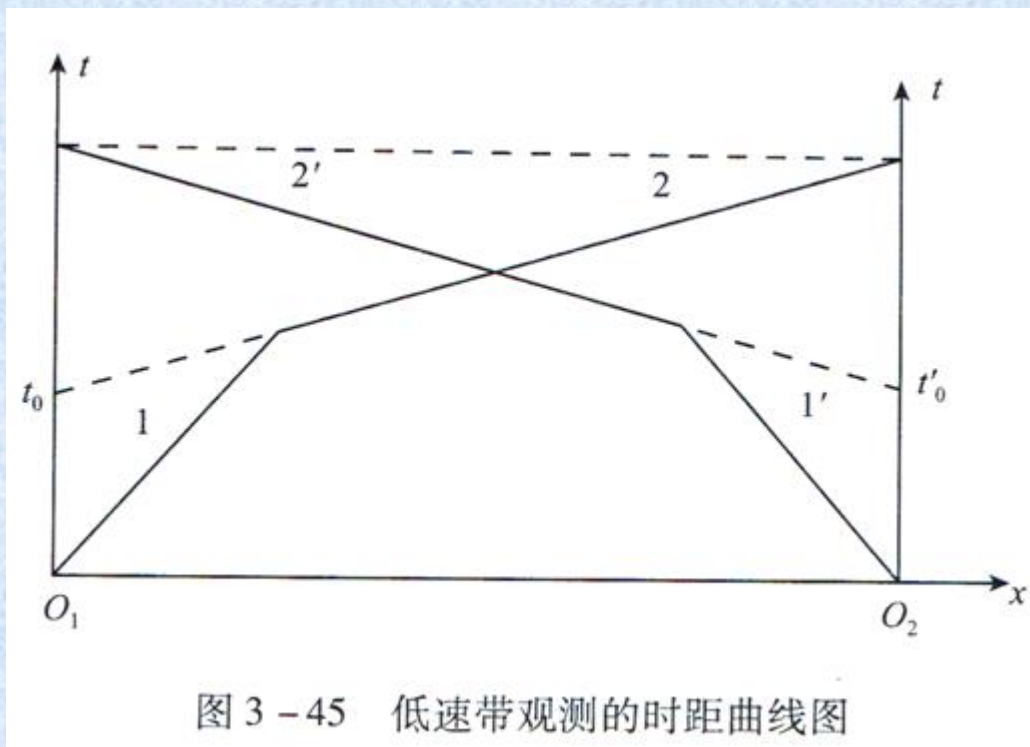


图 3-45 低速带观测的时距曲线图

对于低速带的测定除了利用初至折射法外也可以利用微测井法，与地震测井原理相同



## 二、地震测井方法

在井中观测地震直达波利用垂直时距曲线获取层速度和平均速度。

波沿OG传播时间

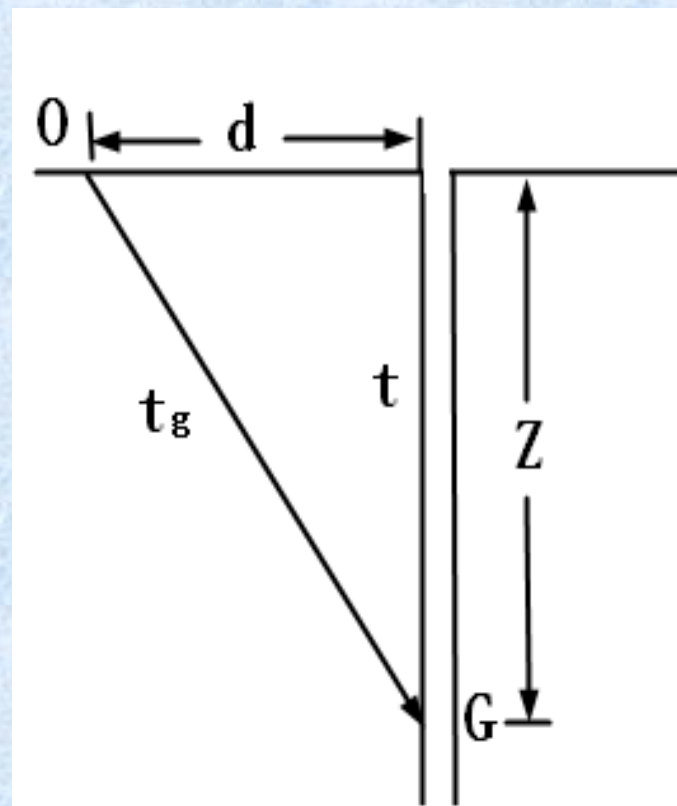
$$t_g = \frac{1}{v} \sqrt{Z^2 + d^2}, t_g \text{ 可实际观测}$$

$$t = \frac{Z}{v} \text{ 垂直时间}$$

$$\therefore t = t_g \frac{Z}{\sqrt{Z^2 + d^2}}, Z \text{ 可测 } d \text{ 已知}$$

可得平均速度： $\bar{v} = \frac{Z}{t}$ , 层速度  $\frac{\Delta Z_k}{\Delta t_k}$

垂直时距曲线为一系列折线，拐点处为地层分界面。



# 零偏与非零偏VSP弘傳

非零偏

零偏

100 -  
200 -  
300 -  
400 -  
500 -  
600 -  
700 -  
800 -  
900 -  
1000 -  
1100 -  
1200 -  
1300 -  
1400 -  
1500 -

t

z

VSP观测记录

### 三、声波速度测井

是测井技术中一种测井方法，超声波发射口发出，穿过泥浆沿井壁滑行然后再穿过泥浆到达两接收口，接收口之间的距离为 $d(m)$

$$t_1 = \frac{2a}{v_{\text{泥}}} + \frac{b_1}{v_k}$$

$$t_2 = \frac{2a}{v_{\text{泥}}} + \frac{b_2}{v_k}$$

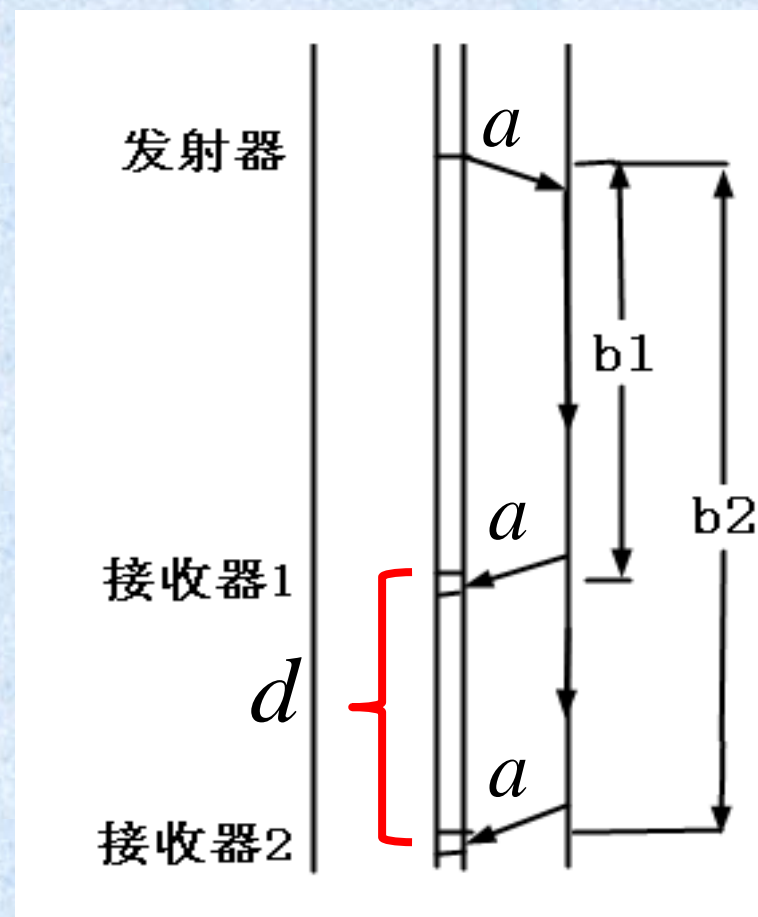
$$\therefore \Delta t = t_2 - t_1 = \frac{b_2 - b_1}{v_k} = \frac{d}{v_k}, \text{单位 } (\mu s)$$

从井底连续提拉测井仪获得声波时差曲线

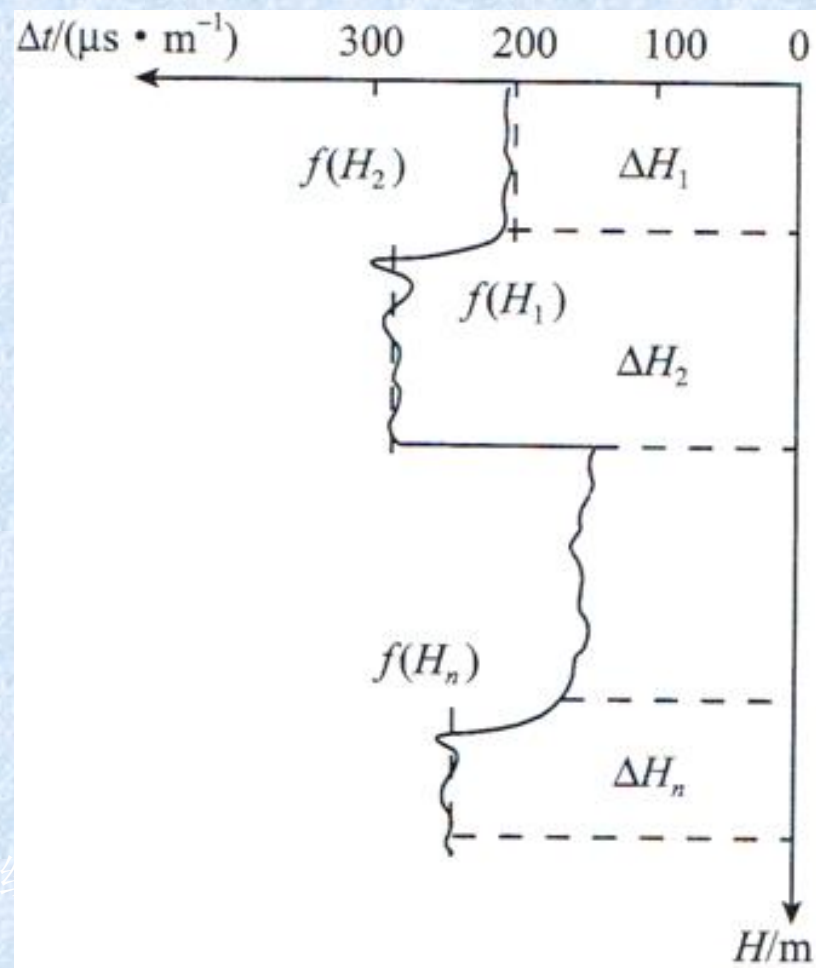
$$v_k = \frac{d}{\Delta t_k}, \text{层速度}$$

$H$ : 深度

$$\text{平均速度: } \bar{v} = \frac{H}{T_H} = \frac{H}{\int_0^H \Delta t(H) dH}$$







声波测井曲线

遇时距曲线

声波测井时差曲线

### 作业三

- 1、地震勘探野外原始数据采集的主要环节有哪些？
- 2、地震勘探侧线不设的原则是什么？
- 3、地震勘探中常见的干扰波有哪些？
- 4、什么是地震勘探的观测系统，如何来表示？
- 5、水平多次覆盖观测系统设计的参数有哪些？它们之间的关系如何？并简述水平多次覆盖观测系统绘制方法。
- 6、简述水平多次叠加法的基本原理。
- 7、试说明水平多次叠加特性曲线的特点。
- 8、影响水平叠加效果的因素有哪些？
- 9、简述地震波接收的方向特性有哪些？实际中如何利用这些方向特性？
- 10、地震组合法有哪些组合方式，检波器简单线性组合方式如何，有哪些参数？
- 11、说明为什么检波器组合能够压制干扰波（包括规则干扰波和不规则干扰波）？
- 12、地震波传播速度的影响因素有哪些？
- 13、地震波速度的测定方法有哪些？