


# 地震勘探 实习指导书



吉林大学地球探测科学与技术学院

# 地震勘探实习指导书

杨有发、王德利、薛建 编

吉林大学地球探测科学与技术学院

# 序 言

地震勘探是地球物理勘探中的重要方法之一，它在石油、天然气的勘探、开发中起十分重要的作用，随着科学技术的发展，它不断扩大应用领域，诸如寻找地下水，勘探地热，勘查大型堤坝、公路、铁路、港口、民用建筑及大型厂房等的地基，探明考古遗址，寻找金属和非金属矿床，探测地壳厚度，此外，在天然地震预测，地质灾害（如滑坡等）调查，环境保护方面也有应用。地震勘探方法之所以应用领域宽，是因为其设备先进、自动化程度高、信息量丰富、处理及解释方法先进而科学、解决地质问题的效果明显，精度高。地震勘探在经济建设中的作用，足以表明认真学好它的重要意义。

地震勘探是实践性很强的一门学科，光有课堂的理论学习是不够的，更需通过实践才能真正理解并全面掌握。地震勘探教学由两大部分组成，即课堂教学和实习。教学实习是课堂教学的延续和补充，它弥补课堂理论教学中看不到摸不到的东西，弥补课堂上学不到和讲不清楚的知识，往往这些知识又恰恰是生产实际中必须的知识。因此教学实习在整个教学中是必不可少的，而且至关重要。

本指导书的编写力求与课堂教学内容衔接紧密，并让学生知其然，更知其所以然，因此，对涉及的有关概念和方法原理也作了系统阐述。限于篇幅关系，有许多实际资料、图件不能纳入其中，请学生在实习中利用实际资料时加以关注。

地震勘探教学实习依实际生产环节包括三个部分内容，地震勘探野外原始数据采集技术及工作方法；地震数据处理；地震资料的地质解释。作为每个学生都必须完整地参加这三部分的教学实习。

本实习的目的要求是，了解地震勘探工作的组织以及野外工作方法及施工过程；了解地震勘探仪器的操作和仪器因素的选择；掌握波的对比以及时间剖面的对比和平面图的绘制方法；初步学会分析各种图件并编写报告。在实习中要求每个学生都应认真阅读本指导书，虚心学习，勤学好问，一丝不苟。通过实习培养自己独立分析问题和解决实际问题的能力，培养创新思维，在实践中丰富和充实自己，为今后工作奠定基础。

本指导书的编写得到生产单位的大力支持，这里特别要感谢吉林油田勘探部杨光大总工程师的支持，感谢吉林油田地球物理勘探公司秦文明副总工程师、赵奎等高级工程师及其下属人员提供了丰富的实际资料及生产经验。

本实习指导书在杜晓娟、刘财两位院长的主持下编写的，并得到了她（他）鼎力支持，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，因此书中的疏漏和不足在所难免，恳请批评指正。

编者  
2005年6月

# 目 录

第一节 地震勘探野外工作方法 .....	1
一、野外地震勘探工作简介 .....	1
二、野外地震勘探中常见的干扰波及其识别 .....	1
三、折射波法勘探观测系统的设计方法 .....	3
第二节 地震勘探野外激发与接收 .....	6
一、怎样看监视记录 .....	6
二、地震波的激发条件 .....	8
三、地震波的接收条件 .....	9
第三节 地震勘探资料解释 .....	12
一、构造解释的一般过程 .....	12
二、如何认识地震时间剖面 .....	13
三、时间剖面的对比 .....	16
四、如何解释时间剖面上的断层 .....	18
五、几种地质现象在时间剖面上的特征 .....	20
六、地震反射层位的地质属性标定 .....	24
七、地震构造图及构造图的绘制方法 .....	26
八、由等 $t_0$ 图经过空间校正作真深度构造图 .....	33
九、等厚图的绘制方法及解释 .....	36

---

## 第一节 地震勘探野外工作方法

### 一、野外地震勘探工作简介

地震勘探野外工作是整个地震勘探生产的首要环节，它是通过地震波的激发和接收，获取地震勘探的第一手资料，以便为地震资料的处理和地质解释之用。

地震勘探野外工作主要分为现场踏勘、野外施工设计、试验及正式生产等阶段。野外工作中的关键是地震勘探采集系统和工作方法，它决定着能否获得高信噪比、高分辨率、高保真度的原始资料。根据地震勘探所要解决的地质任务，野外分为二维地震勘探和三维地震勘探，三维勘探多用于地质条件复杂、构造幅度小、二维勘探无法解决的地区。相比之下三维勘探的工作量比二维勘探大得多，无论是设备还是人员的配备都大大超过二维勘探，相应于二维勘探组成二维地震队，相应于三维勘探组成三维地震队。

地震队是地震勘探生产单位的基层组织，由测量、钻井、震源、仪器、解释等多个工种组成。测量班组负责地震测线的测量，他将公司设计好的地震勘探布置图，一条测线一条测线的落实到地面上，并准确测量炮点(激发点)位置和高程、检波器组合中心点位置和高程，并插上小旗，以便钻井班组和检波器班组识别。此外绘制地形地物示意图及工区的测网图。钻井班组负责爆炸井的钻探工作，按照爆炸井的设计井深打钻。震源班组负责往井中下炸药和放炮。仪器班组中分为检波器组、电缆组和记录仪器操作组，电缆组负责沿测线铺设电缆线，检波器班组负责安置检波器并与电缆线连接，保证各个检波器都连接正确和畅通。记录仪器操作组是激发接收的总指挥，每次放炮和接收都由他发令控制，调动排列上的各班组，并负责记录和回放监视记录，填写班报及检查维修仪器。解释组负责绘制观测系统，提供每天施工的路线图，现场检查每次放炮接收的记录是否合格，整理施工班报，评价监视记录的品质。向上级单位送交原始磁带等资料。现在野外地震队大都配有现场处理系统，这个工作有的专门配备人员负责，也有的由仪器组负责。

当今，地球物理勘探工作已市场化，分为甲方和乙方或叫委托单位和承包单位。甲方负责下达任务书及招标，乙方投标，接受任务。乙方接受任务书后着手进行搜集资料，施工设计论证，试验设计，及各因素试验，写出施工设计报告，在此基础上再正式生产，待整个地震勘探工程结束后，提交野外生产成果报告。甲方负责质量监督及最终勘探成果验收评审。

### 二、野外地震勘探中常见的干扰波及其识别

在地震勘探的野外激发和接收过程中，地震检波器不仅接收有效波，同时也接收到干扰波，它们在野外监视记录上混杂在一起。为了更好地分析有效波，我们必须首先学会如何识别干扰波。

地震勘探中的干扰波有两大类，一是规则干扰波，另一是不规则干扰波(或叫随机干扰波)。规则干扰波是指在频率、视速度或时间上的出现都具有一定的规律性。不规则干扰波在频率、视速度或时间上的出现都没有规律性，是随机的。

#### (一)、规则干扰波

---

## 1. 声波

在地面、坑中、浅水中、浅井中、空中放炮或用重锤锤击地面时都可产生声波。它在地震记录上的特点是频率高，呈现尖锐的窄带状波形，速度低而且稳定，约 340m/s，持续时间较短。

## 2. 面波

无论是炸药爆炸震源还是锤击震源，只要激发就会产生面波，这种面波是瑞雷面波。由震源开始沿地震排列方向传播开来。其质点振动轨迹为椭圆型，椭圆的长轴与地面垂直，短轴与地面平行，在地震记录上波形呈扫帚状，频率很低，一般在几 Hz~20Hz 范围内，速度也很低，沿测线方向能量衰减缓慢，持续时间很长，在垂向方向(深度方向)能量迅速衰减。

## 3. 浅层折射波

当表层存在埋藏浅的老地层，或界面两侧速度差异较大(下边地层速度大于上面地层速度)时，容易产生浅层折射波，在地震记录上常常伴随着直达波而到，多出现在记录首部，同相轴呈直线状，有时可看出它与直达波同相轴有相交干涉现象，频率适中。

## 4. 工业电干扰

当地震排列穿过高压输电线时、或位于其附近，地震检波器电缆会感应 50Hz 的电压，在地震记录上出现 50Hz 频率稳定的干扰波，波形为 50Hz 的正弦波。它可能出现在整张地震记录上，也可能出现在部分地震道上。

## 5. 多次波

当地面下存在强波阻抗反射界面时可产生多次反射波，在地震记录上其波形特征与正常一次反射波相似，其运动学特点有一定差异，全程多次波的 T0 时间是一次波的 n 倍(n 是有限次数的，一般为整倍数)。多次波的同相轴与同 T0 时间的一次波同相轴相比斜率较大，视速度较低。

### (二)、不规则干扰(随机干扰)

#### 1. 环境噪声

在地震波激发接收的瞬间，在地震排列附近有人畜走动、车辆通过、风吹草动、水浪拍击、机械振动等非地震震源的外力产生的振动被检波器接收并记录下来。

#### 2. 震源噪声

在沼泽、流砂、砾石层等不均匀介质中放炮，产生的低、高频背景。

无论随机干扰是何种原因产生的，它们在地震记录上都是杂乱无章的，有时能量强，有时能量弱，必须通过不同的时间、不同地点、不同天气等多种因素变化下多次激发接收才能统计出其规律性。其频率，视速度在低、中、高范围都有分布。

本节所述的干扰波在地震记录上的特点请参见有关图件，有的干扰波特点可根据实习中所见的现场记录出现的情况认真观察分析辨认。

根据干扰波产生的原因和特点可在野外工作阶段采用一定的观测形式和工作方法及利用仪器功能进行压制。对于在野外接收时无法压制掉的干扰波可在地震数据处理阶段采用适应的处理方法压制。

### 三、折射波法勘探观测系统的设计方法

折射波法和反射波法是地震勘探的两个基本方法。折射波法常用于探测覆盖层厚度、基岩面起伏、岩性速度分层等地质问题。

#### (一)、测线设计

折射波法的测线根据激发点与接收点相对位置的不同，测线可分为纵测线和非纵测线两种。当激发点和接收点在一条直线上时，称为纵测线，当激发点与接收点不在一条直线上时，称为非纵测线。在非纵测线中，根据不同的排列关系和相对位置又可分为横测线、侧测线 and 扇形测线等。在地震勘探工作中，主要使用纵测线，而非纵测线一般只作为辅助测线来布置，它可以在某些特定情况下解决一些特殊问题，以弥补纵测线的不足。根据炮点与接收点相对位置的不同，测线分为纵测线和非纵测线两种。如图 2.6-1 所示。

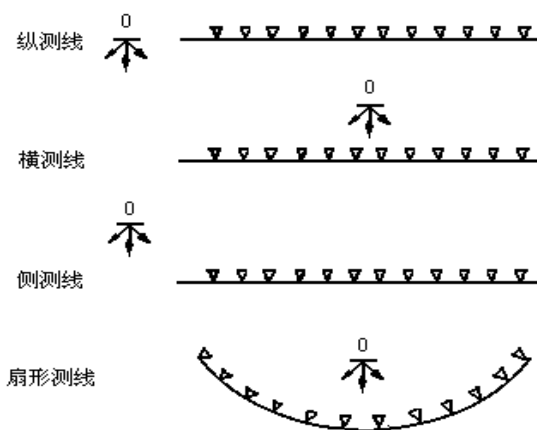


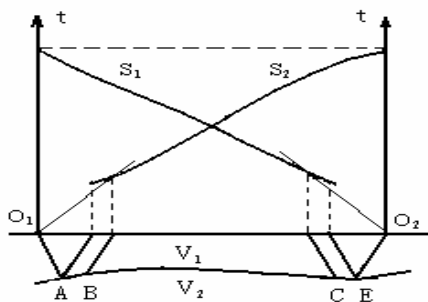
图 2.6-1 折射波勘探中使用的测线形式

用纵测线观测中，根据测线间不同的组合关系可分为单支时距曲线观测系统、相遇时距曲线观测系统、多重相遇时距曲线观测系统以及追逐时距曲线观测系统等。时距曲线是一种表示接收点距离和地震波走时之间的关系曲线，以接收点到激发点的距离为横坐标，以地震波到达接收点的走时为纵坐标作图，即可得到相应地时距曲线，它是研究地震相应地时距曲线，它是研究地震波运动特征的一种基本方法。

#### (二)、相遇时距曲线观测系统

浅层折射波法勘探中经常采用相遇时距曲线观测系统，如图 2.6-2 所示。这是为了提高解释精度而设计的一种观测方法。所谓相遇时距曲线观测系统就是在测线两端放炮，在全测线观测它所激发的弹性波。由相遇观测得到两支时距曲线称作相遇时距曲线。相遇时距曲线观测系统可弥补单一方向时距曲线的不足，它可从不同方向反映界面的变化。

图 2.6-2 中 S1 和 S2 两支相遇时距曲线分别反映界面的 BE 段和 CA 段，其中 BC 段是 S1 和 S2 两支相遇时距曲线反映的公共段，距有正、反两个方向的信息，能较正确地反映折射界面的变化情况。但有时若工作条件或地下地质条件复杂，用一般的相遇时距曲线会得不到目的层折射波的相遇段，这时可在测线两端增加激发点并扩大观测段，采用如图 2.6-3 中所示的多重相遇时距曲线观测系统。图中 S3、S2 和 S1、S4 在不同接收段形成多重的相遇时距曲线；而 S3、S4，S1、S2 则构成了追逐时距曲线。利用相遇曲线的互换点和追逐曲线的平



行性的特点，可识别同一界面的波组和对波组进行连续追踪。

图 2.6-2 相遇时距曲线观测系统

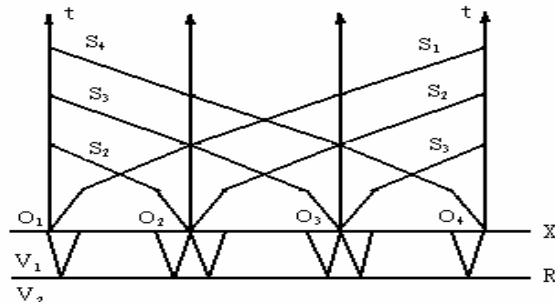


图 2.6-3 多重相遇时距曲线观测系统

### (三)、测线的布置

测线布置的原则是测线方向要与探测的地质体的走向大致垂直，且要有一定的密度分布。理想的测线是平面的直线，但在工作区内并不是所有的测线都能满足这种条件。如在山坡上布置测线，当地表坡度角变化时，如图 2.6-4 所示，这时线段 AB 在 C 点两侧的斜率不同，可分别设两条测线 AC 和 BC。如果测线长度不够，可分别向外侧延长，设计为 A'C 和 B'C 两条测线。

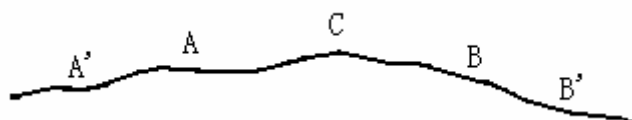


图 2.6-4 地表坡度角改变时的布线方法

如果是调查整个工区的基岩起伏，往往按一定的线距布置测网。布置测网时要从整体上安排测线位置，并尽可能使所有测线保持直线性。

测线长度与探测深度的关系对于合理设计测线是重要的。以下介绍根据探测深度确定测线长度的方法。如图 2.6-5，水平二层构造的深度为 H，第一层速度为 V1，第二层速度为 V2，则测线长度 L 为

$$L = AX_A + x \quad (2.6-1)$$



$$AX_A = 2H \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} \quad (2.6-2)$$

对于三层、四层构造可用下式化为二层构造，可以从最下层起，求取上部的平均速度，作为上部地层的速度，从而变换成二层构造，求取探测深度与测线长度的关系。如图 2.6-6 所示的三层构造，则有

$$\frac{h_2}{V'_2} = \frac{h_1}{V_1} + \frac{h_2 - h_1}{V_2} \quad (2.6-3)$$

利用上式，可设第一、二层平均速度为  $V'_2$ ，下层速度为  $V_3$ ，由给定的  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $h_1$ 、 $h_2$  求取  $V'_2$ 。设  $V_1/V_2=k$ ，则有

$$\frac{V'_2}{V_2} = \frac{1}{1 + (h_1/h_2)[(1-k)/k]} \quad (2.6-4)$$

例如，设  $V_1=800\text{m/s}$ ， $V_2=2000\text{m/s}$ ， $V_3=4500\text{m/s}$ ， $h_1=10\text{m}$ ， $h_2=50\text{m}$ ，需要的测线长度计算如下：

对于第二层，根据 (2.6-2) 式

$$AX_1 = 2 \times 10 \sqrt{\frac{2000 + 800}{2000 - 800}} \approx 30\text{m}$$

(2) 由 (2.6-4) 式，求取第一、二层平均速度  $V'_2$

$$k = \frac{800}{2000} = 0.4, \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{10}{50} = 0.2, \quad \frac{V'_2}{V_2} = 0.77, \quad \text{则 } V'_2 = 0.77 \times 2000 \approx 1500\text{m/s}$$

对于第三层有

$$AX_2 = 2 \times 50 \sqrt{\frac{4500 + 1500}{4500 - 1500}} \approx 140\text{m}$$

由以上计算可以预料，到 30m 为止是直达波，从 30m 到 140m 是由第二层来的折射波，140 m 以下则是有第三层来的折射波。如果设  $X=X/2$ ，则测线长

$$X = 2 \times 2AX_2 = 4 \times 140 = 580\text{m}。$$

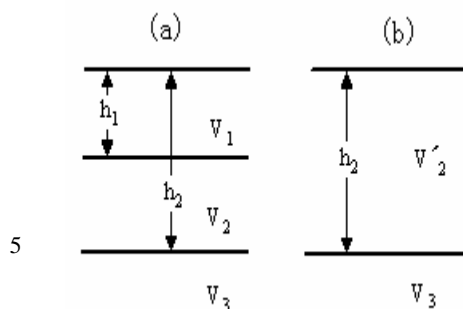
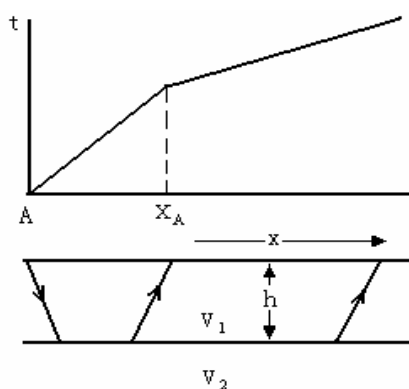


图 2.6-5 水平二层构造

图 2.6-6 三层构造化为二层构造

#### (四)、震源间距设计

在折射波法勘探中，震源间距对调查结果有重要影响。震源间距越小，测量精度越高，通常按 12 至 24 个检波点设计一个震源点。震源间距的设计也要考虑到震源能量、施工效率和勘探成本等因素，在满足对目的层有效调查的条件下，亦可适当增大震源间距。

炮点与检波点之间的间距称为炮检距，离开主炮点最远的检波点与主炮点的间距称为最大炮检距，最大炮检距与探测深度有密切关系，并受地形、地质及地层波速的影响。最大炮检距至少要为目的层或新鲜基岩深度的 7 至 10 倍以上。最大炮检距长度不够便不能掌握深部基岩状况。

## 第二节 地震勘探野外激发与接收

### 一、怎样看监视记录

#### 1. 看炮号

数字地震记录的炮号是用三位十进制数的二进制编码进行计算的。每一位十进制数需要四位二进制码表示。自左至右为百位、十位、个位，脉冲向上为高电位，表示 1，向下为低电位，表示 0。在计算每一位二进制数时应自右至左进行计算。我们也可简单地把每位数的四个脉冲高电位自左至右看成  $2^0$ ， $2^1$ ， $2^2$ ， $2^3$ ，每一位脉冲高电位相加，即为该位的数。图 2.6-7 所示炮号为 328 炮，四个脉冲高电位自左至右有的记录为  $2^3$ ， $2^2$ ， $2^1$ ， $2^0$ ，具体地要先问仪器操作员而后看。

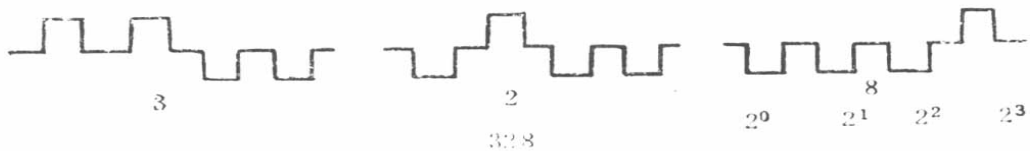


图 2.6-7 炮序号图

#### 2. 看初至

从监视记录的初至可以看出以下几个问题：

有无反道；道工作正常与否；有无地形影响；检波器埋置位置是否正确；炮点有无偏移；爆炸是否完全等。

图 2.6-8 为一张地震记录初至示意图。图中所示第 1 道为正常工作；第 2 道极性相反；第 3 道正常；第 4 道少接小线或工作不正常；第 5 道初至晚，检波器位置不对，远离炮点；第 6 道初至早，检波器位置向炮点方向偏移；第 7 道不工作；第 8 道正常；第 9 道检波器埋

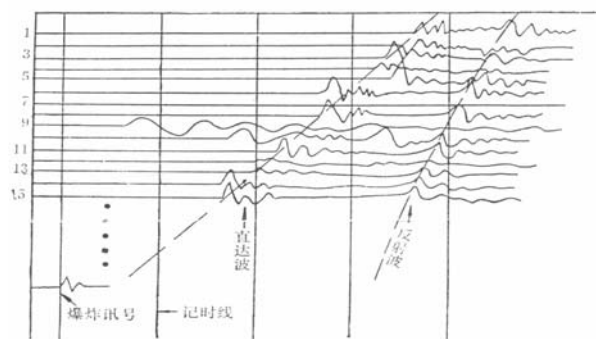


图 2.6-8 地震记录初至示意图

置不好，乱跳；第 10 道人动或牲畜动；第 11 道正常；第 12 道漏电或工作差，第 13 道正常；第 15 道和第 14 道串道，检波器夹子夹错。

### 3. 看能量

一张好的地震记录必须具有足够的能量，高的讯噪比，数字地震仪采用瞬时浮点增益控制进行数字记录。回放时通地数字自动增益控制，可以赋予每个地震道讯号不同的回放增益，回放增益的变化实际上反映了地震讯号能量强弱的变化。在监视记录上只能显示一道增益，由于地震波的规律性，每道能量是均匀变化的，故任一道的增益值对于研究地震讯号的能量和指导野外施工都是很有意义的。

### 4. 看讯号和井口

要求爆炸讯号准确、真实、无感应。井口讯号波形要完整，数字处理时可作为选择子波的依据；能反映井深和激发条件的变化。

### 5. 看记录层次和面貌

对施工设计中所有的目的层是否都获得了；

道工作情况是否正常；

外界干扰包括柴油机干扰；高压线感应；人的干扰；井动等。

地震记录的评价要依据地震勘探生产规范的最新评价标准。

---

## 二、地震波的激发条件

### (一)、震源类型

地震勘探中的地震波是人工激发产生的，其震源为人工震源。人工震源分为两大类，一类是炸药爆炸震源，另一类是非炸药震源。

#### 1. 炸药震源

炸药是一种化学混合物，如硝氨、TNT 等。

在地震勘探生产中，将成型炸药(圆柱筒状)置于井中(专门为炸药爆炸钻的浅井，几米或几十米深)，通过仪器控制引爆埋于炸药中的雷管使炸药爆炸激发周围岩石介质振动产生地震波。

#### 2. 非炸药震源

除了用炸药爆炸以外其它人工激发地震波的震源称为非炸药震源。此类震源种类较多，如锤击、可控震源(连续振动震源)、气枪、电火花等。其中锤击和可控震源主要用于陆地地震勘探，气枪和电火花主要用于海洋地震勘探。

可控震源多半安装在汽车上，它是通过产生一持续时间较长的变频扫描信号自动控制机械振动装置连续撞击地面激发地震波，并对信号作相关分析处理。该震源通过增加台数和振动次数提高激发能量。

气枪震源属于气动震源的一种，形状似枪，将高压气体(如空气)压入枪膛，并让其在枪口端释放，产生很强的冲击力激发地震波。

电火花震源是电火花发生器通过水中电极之间突然放电产生高压激发地震波。

### (二)、激发条件

主要介绍陆地上炸药爆炸震源的激发条件

#### 1. 激发介质

炸药震源可以在水中激发(如江、河、湖、海、水塘)，也可在土坑中激发，多半是在浅井中激发。在井中激发时，一般在潜水面下放炮。炸药爆炸所处的岩石介质既不能疏松，又不能坚硬，最好在胶泥类介质中放炮，这样可产生最佳频率的波。这是通过不断变化井深来确定。请在实习中，注意看实际试验资料。

#### 2. 炸药与围岩的耦合关系

包括两种耦合关系，即几何耦合和阻抗耦合。

几何耦合：是指炸药包与井壁之间的耦合。炸药包的直径与井的直径相当时，几何耦合为 100%，这是最佳耦合。这时激发出的地震子波能量最强。

阻抗耦合:

$$\text{阻抗耦合} = \frac{\text{炸药起爆速度} \times \text{炸药密度}}{\text{波速} \times \text{岩石介质密度}} \quad (2.6-5)$$

也就是炸药特性阻抗等于介质特性阻抗时才能激发出最强能量的地震子波。实际生产中应采用高密度、高爆速性能的炸药，多半用 TNT 炸药。

### 3. 炸药量

药量的大小直接影响到地震子波的能量及波形。二者的能量关系可用经验公式表示，即

$$A = K_1 Q^{m_1} \quad (2.6-6)$$

式中 A 代表地震子波(地震波)的振幅, Q 代表药量,  $m_1$  和  $k_1$  都是系数。当取  $m_1=1$  时, A 与 Q 成线性关系; 当药量超过一定量时, 即使再增大药量, 波的振幅也不增大。

药量与地震子波频率的关系用下式表示,

$$\frac{1}{f_0} = K_2 Q^{m_2} \quad (2.6-7)$$

式中  $f_0$  代表波的主频,  $k_2$  和  $m_2$  均为系数。当  $m_2=1$  时,  $f_0$  与药量 Q 成线性关系。但药量大到一定值时, 非但频率不会提高, 反而会变低。一般地, 药量多少以保证最大勘探深度的反射波振幅比背景噪声大几倍为准。

## 三、地震波的接收条件

地震波的接收是野外地震勘探中的重要组成部分。涉及的因素很多, 譬如: 道间距的大小, 排列长度及方式, 检波器及埋置条件, 记录仪器及仪器因素, 观测系统等。

### (一)、道间距的确定原则

通常情况下, 地震排列上布设的道间距  $\Delta x$  应该为均匀相等。  $\Delta x$  的大小应以在处理后的地震时间剖面上相邻道之间能可靠地追踪对比同一层反射波同相轴为准则, 相邻道上同一层的反波波形特征相近, 并有效反射波能量与干扰背景相比合乎要求, 而且满足可靠对比要求, 所以

$$\Delta x \leq \frac{1}{2} T^* V^* \quad (2.6-8)$$

式中  $T^*$  是地震波的视周期,  $V^*$  视速度。换算成相邻道的时差应为

$$\Delta x \leq \frac{1}{2} T^* \quad (2.6-9)$$

---

这只确定道间距总的原则，具体的 $\Delta x$  值应根据勘探任务而定。

## (二)、排列长度 X

$$X=x_1+(k-1) \Delta x \quad (2.6-10)$$

式中  $x_1$  是偏称距(可以是零偏移距或非零偏移距)， $\Delta x$  是道间距， $k$  是道的序号， $X$  也是最大炮检距的长度，排列长度的确定要考虑最大的勘探深度及兼顾浅层，并保证速度分析精度。

## (三)、检波器及其组合

检波器是直接接取地震波的，其性能如何直接影响地震波主频及波形特性。检波器有高频检波器和低频检波器之分。选用那种类型由勘探任务决定，进行高分辨率地震应选高频检波器，进行多波勘探应选用三分量检波器。

一般地，进行野外地震勘探大多采用检波器组合，它的最大用途是压制干扰波，突出有效波，提高信噪比。因此检波器组合的组合距、组合数目和组合形式的确定直接影响地震波接收，具体如何选择应根据工区内实际试验结果来定。

## (四)、检波器安插条件

陆地上用的检波器多半是圆锥形的，带有尖细的插柄，一般在施工时将其插入土内，要求检波器安插的要直、实、牢、平、准，整个排列上的检波器必须连接畅通，极性正确，不能有漏电现象。

## (五)、地震仪器因素

### 1. 仪器的记录因素

(1) 采样间隔 $\Delta t$  及高截频  $f_N$ 。

采样间隔 $\Delta t$  的大小影响所记录的地震波的频谱和分辨率。由采样定理

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_c} \quad (2.6-11)$$

$\Delta t$  越小，则单位时间内采的地震波的子样数越多，越有利于高频信息，当然， $\Delta t$  越小，越能保证波形的精度，但它往往受到数字仪中的 A/D 的工作速度的限制，对于一台地震仪来说， $\Delta t$  的范围是限定的，可有多个档位选择 $\Delta t$ 。 $\Delta t$  大小的确定以保证数据处理时能恢复出所需波的最高频率成份为原则。

$f_N$  是去假频滤波器的截止频率，去假频滤波器是滤除高频干扰信号， $f_N$  的大小由下式确定

$$f_N \leq \frac{1}{4\Delta t} \quad (2.6-12)$$

---

不难看出  $fN$  与采样间隔  $\Delta t$  是相互关联的。

## (2) 前放增益

它是个固定增益，有两个档供选择。

仪器的最大允许输入幅度是由 A/D 转换器的量程和仪器的最小总增益决定的。譬如，A/D 转换器量程为 10V，在固定增益为 27 和 25 时，最大允许输入幅度的有效值为 55mv 和 220mv，当输入信号超过这一允许值时，A/D 转换器将产生溢出，从而使采集电路的输出被限幅，造成信号失真。在地震信号很强时，必须采用较小的固定增益。

数字地震仪前放固定增益越高，仪器输入噪声(指仪器自身产生的噪声)越小，仪器接收深层弱信号的能力越强。一般而言，如果勘探的目的层越深，则选用的前放固定增益应越高。

## (3) 前放滤波档

是低截止滤波器频率的选择，有好几种档可供选择，各档的频率范围设置视具体而定，一般选取时应根据有效波和干扰波的频谱特点。

## (4) 记录长度

记录长度有多个档，分别为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,  $+\infty$  秒。

记录长度的确定是根据勘探的目的层深度来定，勘探越深，则记录长应越大，视具体情况而定。

## 2. 回放因素

回放因素是指野外现场显示监视记录所需的因素。

(1) 回放增益道选择 是选择增益曲线。

(2) 起始增益选择 是选择数字自动增益控制的起始增益。有好多档可供选择。

(3) 斜率 指相邻道的释放时间，这一项的选择要符合观测系统，根据道与道之间的时差来确定。

(4) 释放的起始时间 是根据近炮点道的初至波到达时间来定，它与斜率配合使用

(5) 回放滤波 有高通滤波和低通滤波。选择高通滤波的低截止频率，选择低通滤波的高截止频率。也可选用纯波回放。

(6) 回放方式 包括“AGC 通”、“AGC 断”和用“测试”来回放记录。

此外还有输出调节(用来调节显示信号同一时间的幅度)，压缩延迟时间和恢复延迟时间，门坎值等因素的选择。

仪器因素的设置应根据生产单位使用的仪器类型具体情况而定。

---

### 第三节 地震勘探资料解释

经过数字处理后的水平叠加时间剖面尽管能直观反映地下地质构造特征,但它毕竟不是地质剖面,为了给地质人员提供地质剖面或构造图以及岩性方面等地质信息,必须对地震时间剖面进行地质解释,也就是将地球物理信息转换为地质信息。因此,地震资料解释是地震勘探工作的最后一个环节,是出成果的阶段。地震资料解释是综合运用地质、钻探、测井及其它地球物理资料,根据地震波动力学和运动学特点进行分析对比,最后提交各种构造或岩性的地质图件。

地震勘探资料解释发展到现在已完全是现代资料解释的特点,几乎全部运用解释工作站进行解释。但人工解释是基础,本次实习主要是让学生掌握人工解释的方法,重点是构造解释方法。

#### 一、构造解释的一般过程

构造解释工作流程概括了构造解释的全过程,如图 2.6-9 所示。

##### (一)、资料准备

解释工作正式开始之前应做必要的准备工作。

1. 检查本区域的地震时间剖面是否齐全,是否符合解释的要求。发现问题及时解决。

2. 搜集前人在本区域做过的地质工作、地球物理工作的资料,包括区域地质概况,如区域的构造特征、构造发展史、地层分布规律、断层系统特点、钻井地质柱状图等。地球物理资料包括地震反射标准层或地震波组特征及其地质属性、地震速度资料、地震勘探成果报告、重力、磁法、电法勘探资料、测井资料等,另外还有测量资料。

3. 准备好本区域的野外地震数据采集的工作班报、观测系统、地震勘探布署图、采集因素、处理流程及其参数。

4. 解释人员应明确本区域的地质任务、勘探的目的层、制作哪几层地震构造图、最终提交什么成果。

##### (二)、剖面解释

二维地震勘探资料解释中剖面解释是基础工作,是对区域内的每条地震时间剖面作解释。根据对比原则识别并追踪对比主要反射波组,确定反射标准层的地质属性,剖面对比中重要的是对比解释断层,另外确定有意义的尖灭、背斜、古潜山、超复、角度不整合等地质现象。



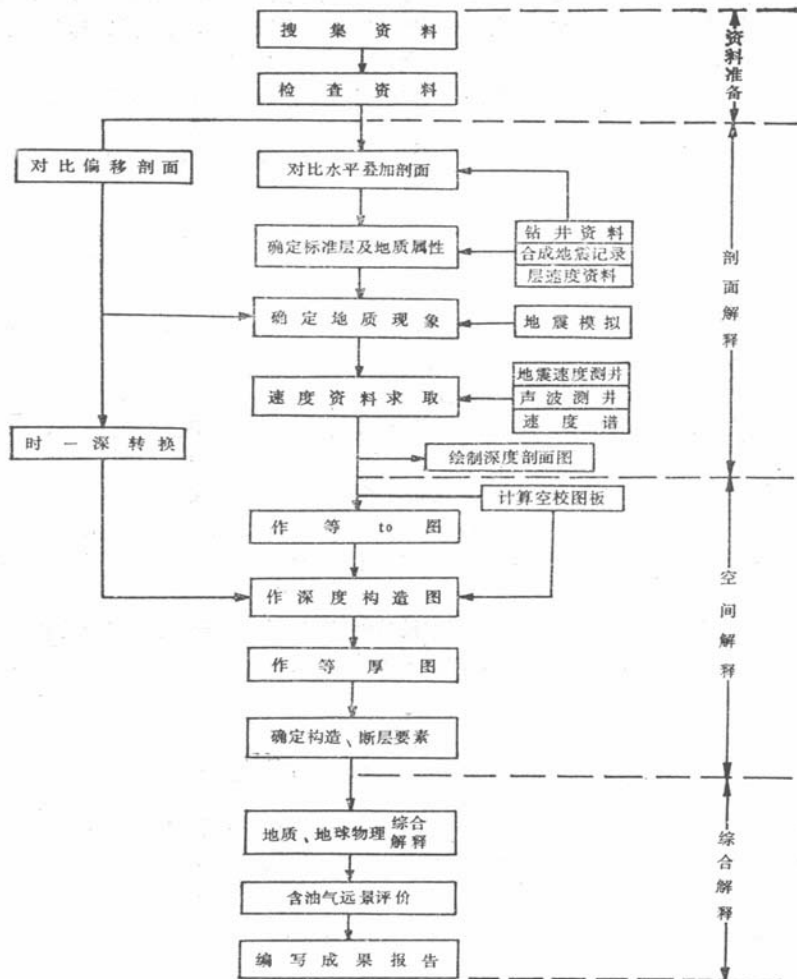


图 2.6-9 构造解释工作流程

### (三)、空间解释

在剖面解释的基础上, 研究它们的平面分布规律, 把剖面和平面的统一起来进行解释, 最终得到构造解释成果。这个阶段工作是把各种地质现象展布在测线平面图上, 把地震时间剖面上的反射标准层的  $t_0$  时间展布在测线平面图上, 进行断点组合并划分构造、绘制等  $t_0$  图、作空间校正 (将等  $t_0$  图转换为等深度图)、绘制构造图、作等厚图、划分断裂带和构造带。

### (四)、综合解释

在空间解释的基础上, 结合地质资料、钻井地质资料、测井资料、及其它各种地球物理资料, 进行综合分析, 对本区域的沉积特征和构造特征作进一步地质解释, 对本区含油气远景进行评价, 提出钻探井位。最后编写成果报告。

## 二、如何认识地震时间剖面

### (一)、地震时间剖面怎么形成的

地震野外数据采集采用水平多次覆盖方法，对所获的原始记录经计算机处理，将同一个共反射点的记录道抽取在一起组成共反射点道集记录，其同相轴为双曲线形状，经过动 静校正后把双曲线同相轴拉直变成共中心点处的  $t_0$  时间，再进行叠加，经剖面显示仪显示输出就得到一张水平叠加时间剖面。

时间剖面显示可有五种形式，即波形曲线、变面积、变密度、波形加变面积及波形加变

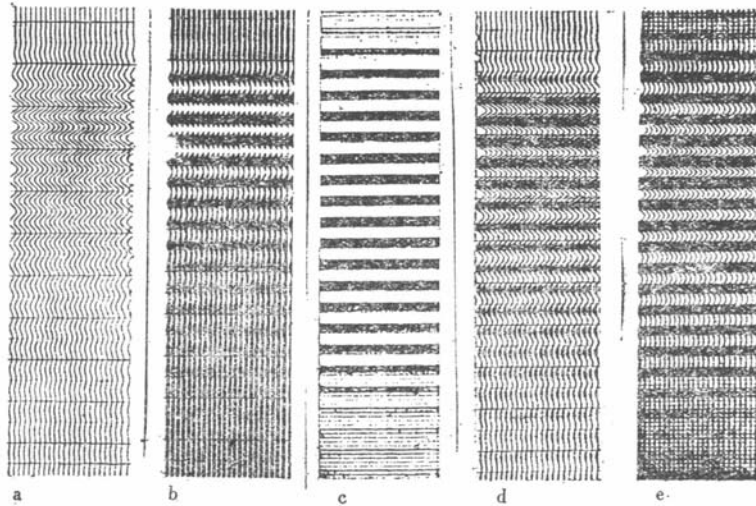


图 2.6-10 时间剖面显示的五种形式

a. 波形曲线；b. 变面积；c. 变密度；d. 波形加变面积；e. 波形加变密度

密度。如图 2.6-10 所示。

波形显示如同野外地震监视记录的波形；变面积显示是把数字信号经过 D/A 转换成模拟信号，再通过检流计变成光带振动，再通过光栅后显示在胶片上便得到梯形状的变面积记录，梯形面积大小和陡度与地震波的频率及振幅强弱有关，由波形所决定。变面积形式不能显示出波谷，梯形中心代表波峰的位置，相邻梯形中点的时间间隔为一个周期，对于强波的波峰不能显示，梯形中心处为空白。如果用辉光管代替检流计，则输出的剖面是变密度的，辉光管随地震波的变化产生强弱不同的光线，强振幅光线密度大色调深，弱振幅光线密度稀色调变白。变面积或变密度可使反射层突出。便于相位对比。为了看清波的动力学特征，最好采用波形加变面积迭合的显示形式。时间剖面显示既可用黑白色调的，也可用彩色显示。图 2.6-11 表示变面积形成。整个时间剖面的形成过程如图 2.6-12 所示。

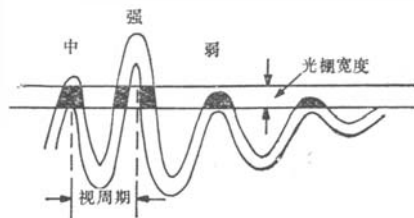


图 2.6-11 变面积的形成

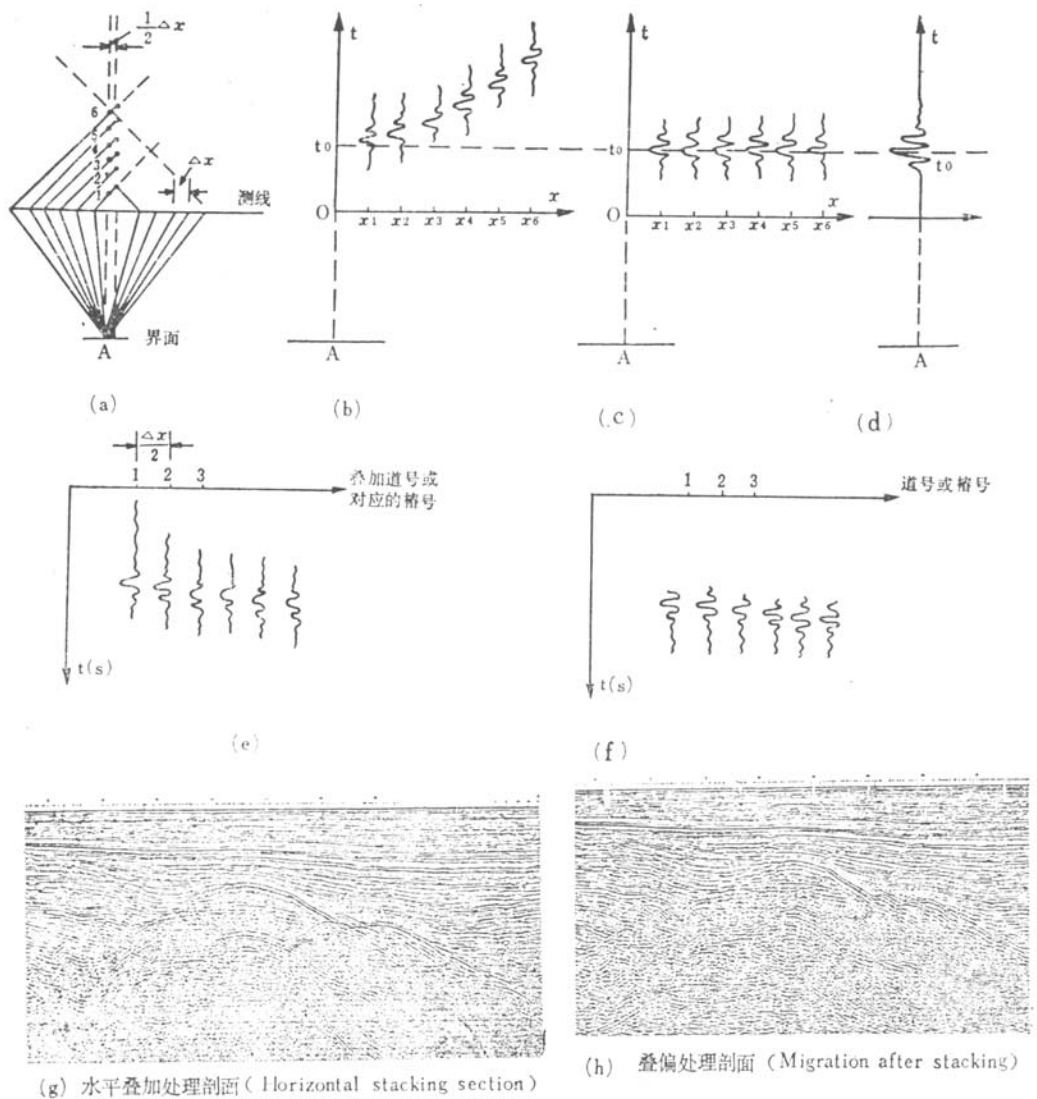


图 2.6-12 时间剖面的形成

a. 六次复盖预测; b. 共反射点时距曲线; c. 动校正; d. 水平叠加形成一个叠加道;

e. 由叠加道组合成水平叠加时间剖面; f. 偏移剖面

## (二)、如何看时间剖面

时间剖面上的横坐标代表共中心点叠加道的坐标位置 (桩号), 叠加道之间间距为野外排列上道间距之半; 纵坐标垂直向下, 代表反射波的自激自收时间, 以秒为单位, 每秒之间又用毫秒分割, 纵坐标长度根据记录长度而定, 可为 2 秒、4 秒、5 秒、6 秒或 8 秒不等。纵坐标起始时间为零。沿横轴方向上均匀分布的每条小细线上的波形代表共中心点处叠加道记录, 从浅到深有一系列的波组。剖面最左端的第 1 道代表满叠加次数的第 1 个共中心点叠

---

加道记录。最右端的道代表满叠加次数的最后一个共中心点叠加道记录。剖面上总共显示多少个叠加道记录就说明有多少个 CDP 点。所以在剖面时间线零线上边标有 CDP 序号，而且还标有桩号。时间剖面上的桩号是这样约定的：西小东大、南小北大，时间剖面与测网图上的测线号是一一对应的，根据测网图可知道对应的时间剖面是东西向的还是南北向的。时间剖面上的反射波组特别黑的，表明反射波能量强。否则能量弱，没有反射波的部位发白，小梯形变面窄而陡，说明是高频强相位。否则为低频弱相位。在实习中请学生认真观看时间剖面上的特征及各个细节。

### 三、时间剖面的对比

#### (一)、波的对比

利用反射波动力学和运动学特点识别并追踪同一反射层位的波的过程叫波的对比。

#### (二)、反射波识别标志

反射波是出现在噪音背景上，为了识别它应抓住几个重要标志：

##### 1. 同相性

来自地下同一物性的反射界面的反射波，在相邻共反射点上的  $t_0$  时间是相同的，相位一致。对于同一个反射波，各延续相位的同相轴是平行的。

##### 2. 振幅强

反射波能量一般都比干扰背景强，振幅突出。这在波的识别追踪中最易看到的。

##### 3. 波形相似

同一层的反射波在相邻道上波形是相似的，波形包括频率、相位个数、振幅比。

#### (三)、时间剖面对比方法

##### 1. 确定对比层位

在时间剖面上会有很多个反射层位，在对比时不可能每一层位都进行对比解释，只须选择重要层位对比。目的层是首选的对比层位，其次再选择能控制本区域构造特征及构造发展史的层位、选择角度不整合的层位等。

##### 2. 选择基干剖面

在本区域内要对比解释的时间剖面有很多条，可能有数十条或上百条，为了提高对比效率和可靠性，从众多时间剖面中先在测网图上选出个闭合圈，最先对比解释此闭合圈上的时间剖面，待闭合圈上的剖面对比解释完之后再向其两侧外延扩展对比。以什么标准选择基干剖面呢？应选择反射层位较齐全、连续性好、波组特征明显、代表本区构造特征、规律性较强、最好有钻井的剖面。

##### 3. 确定反射层位代号

---

对所选出的对比层位，由浅至深依次编号，通常用字母“T”表示。如 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、…，或下脚标用其它符号。

#### 4. 确定对比标记

在对比时须对所对比的层位用不同颜色的彩笔划出来，例如 T<sub>1</sub>层位用黄色，T<sub>2</sub>用粉色，T<sub>3</sub>用蓝色……，全区内所有时间剖面上属于同一对比层位的颜色必须取的一样。用彩笔划层位时各个剖面必须约定统一划同相轴的下沿或上沿还是划同相轴的中心部位。

#### 5. 相位对比

由于反射波是续至波，其初至是无法识别的，因此在对比追踪某一反射层位时，只能对比追踪其相位。相位对比又分为强相位对比和多相位对比。

##### (1) 强相位对比

对于所选的对比层位，在刚开始对比追踪时，最好先选能量较强的相位进行对比追踪，因为它在剖面上最突出，最易识别，比较可靠。

##### (2) 多相位对比

如果光靠强相位对比有时会出现对比中断，因反射层在横向方向上的岩性有时会转换，波阻抗发生变化，会导致反射波能量发生改变，由强变弱，或由弱变强。如果在对比强相位同时，追踪多个相位，相互参照比较，会使对比追踪持续下去。另外对小断层的识别也有帮助。

#### 6. 波组和波系对比

所谓波组是指相距较近的两个以上的反射波组合在一起的复合波。波组对比较之多相位同时对比又拓宽了，波组在横向方向上的变化特征容易识别，对断层的判别会更准确，使层位追踪会更加稳定可靠。

所谓波系是指相邻两个以上的波组伴随出现，时间间隔稳定、波形特征明显，构造体系一致、规律性很强，使层位对比的范围更宽了，大断层的判断更可靠，更全面地考虑层组间的接触关系，使剖面对比更加准确。

#### 7. 相交剖面闭合对比

在工区内许多条主测线和联络测线交织成多个闭合圈，在水平叠加时间剖面上，测线交点处的 t<sub>0</sub> 时间是一样的。因此，对反射层位的追踪，可从一条剖面转到另一条剖面，沿测线闭合圈追踪同一反射层位时，t<sub>0</sub> 时间应是闭合圈的。如果是存在断层，当考虑了断层的断距，也应闭合。闭合对比可使两个方向的剖面上的层位追踪正确，互相印证。

#### 8. 相邻剖面间的对比

相邻的几条平行测线上的时间剖面所反映的地质构造形态、层位分布的特点、断层出现的规律及波组波系特点基本上相似，即使有变化也是很有规律的，所以可以互相对照进行对

比追踪，以保证剖面对比的准确性。

#### 9. 利用地质规律进行对比

在一个工区内，地质构造特征及地质结构都遵循一定的地质规律，它们必然反映在时间剖面上，抓住其规律对剖面的对比解释有好处。这需要解释人员有较强的地质理论基础和经验。

#### 10. 统观全局，做到心中有数

在对比时间剖面前，最好把基干剖面摆开来或挂在工作室的四周墙壁上，统观一下剖面的结构特征，以便有概略的了解和整体概念，做到先心中有数，便于下面的剖面对比。

### 四、如何解释时间剖面上的断层

断层在时间剖面上是普遍存在的，断层解释的正确与否直接关系到本区域构造图绘制的结果，能否反映真实的地质构造形态，所以断层的解释是时间剖面解释的关键，时间剖面的解释工作主要是断层解释。

#### (一)、断层在时间剖面上的特征

##### 1. 水平地层中的断层

如图 2.6-13 所示，图中上半部分为地质模型，下半部分为时间剖面上理论模型。

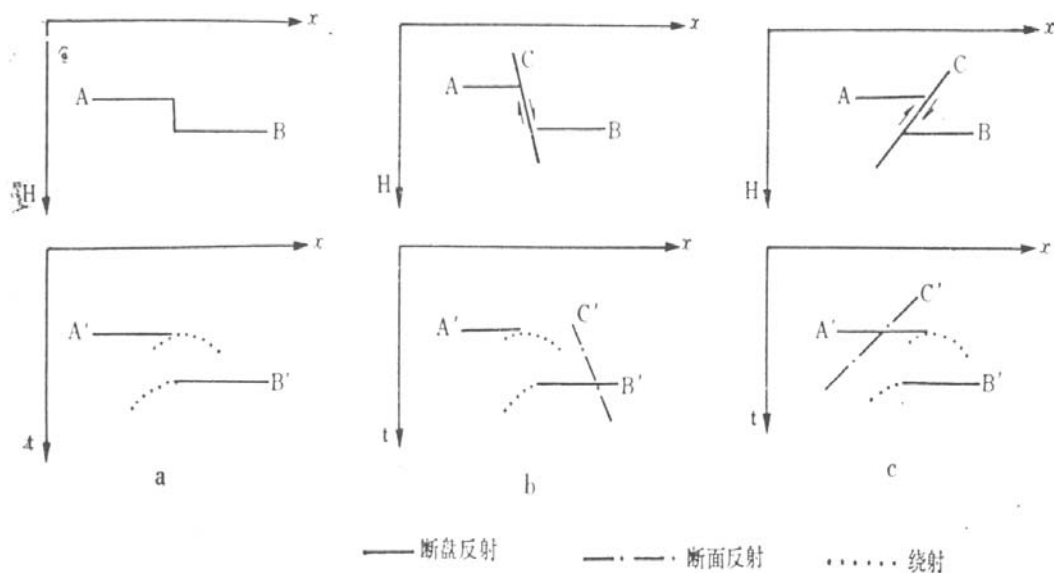
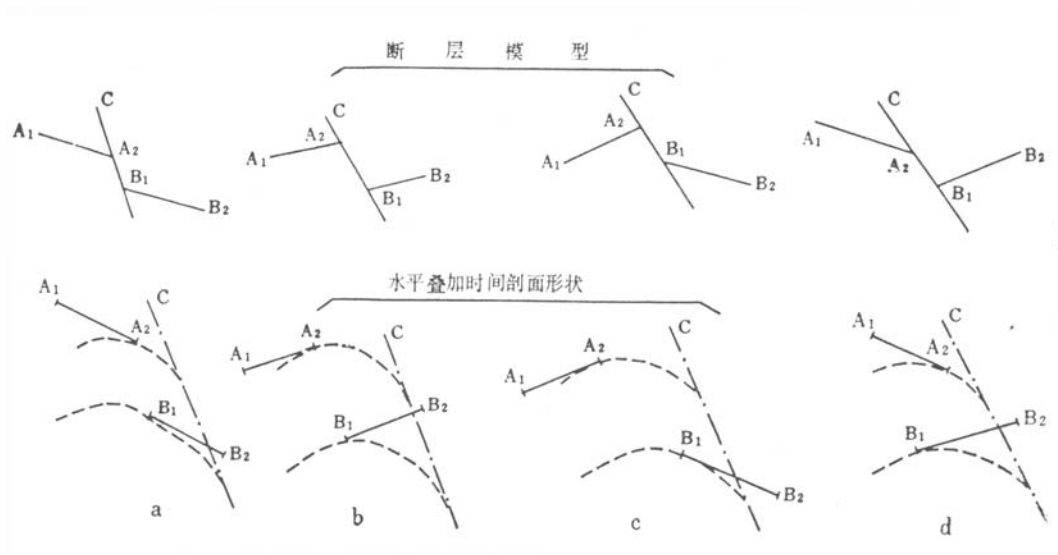


图 2.6-13 直立断层模型示意图

a. 直断层；b. 正断层；c. 逆断层

##### 2. 倾斜地层中的断层



如图 2.6-14 所示。图中上半部分为地质模型，下半部分为时间剖面上理论模型。

图 2.6-14 倾斜断层模型示意图

a. 正向断层；b. 反向断层；c. 屋脊断层；d. 反屋脊断层

A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>—断盘及其反射；c—断面及其反射；……绕射波

## (二)、断层在时间剖面上的识别标志

### 1. 反射波同相轴对比中断

反射波同相轴对比中断，意味着反射层位发生了错断，这是断层在时间剖面上的基本特点，由于断层规模不同，反射层位错断的程度也不一样。大断层使反射层位错断的多、小断层错断同相轴数目少。

2. 反射层位突然减少或突然增多，波组的间隔发生突变，断层下降盘地层加厚，而上升盘地层变薄，缺失一些波组。

3. 反射波同相轴形状和产状发生突变。反射同相轴零乱，甚至出现三角空白带。这是由于断层错动使断层面两侧地层产状发生变化，以及断面对下盘屏蔽作用所致。

4. 有绕射波、断面波或回转波出现。

在断点处产生绕射波，一般上盘断点处产生的绕射波比较清楚。深大断裂的断层面上可能产生断面反射波。

5. 反射波同相轴发生分叉、合并或扭曲，这往往是小断层特点。

## (三)、如何确定断面及断距

## 1. 断面的确定

在二维地震时间剖面上，断层面的确定就是如何划断层线。

对于比较平坦的地层，将浅、中、深层反射波同相轴间断点连起来，就是所确定的断层线（即断面）。对于倾角较大的地层，将同相轴间断点连起来的线在水平叠加时间剖面上不代表断层面真实位置，向下倾方向有偏移。

如果有断面波存在，可借助断面波确定断层线；如有绕射波存在时，可将绕射波极小点连起来，即为断层线。

## 2. 在确定断层面时应注意的事项

（1）划断层线不能穿过可靠的反射波同相轴；

（2）由于断层面的屏蔽作用，断层下盘的断点位置往往不可靠，所以划断层线应以上盘断点连线为准。

（3）对断层造成的牵引现象要与绕射“尾巴”的弯曲及没有断层的地层挠曲现象加以区别，为此应对照相应的偏移剖面来作判断。

（4）断层线不一定是直线，可以是呈扭曲状的曲线。

（5）相邻的平行剖面上，同一断层的性质、形态、倾角及错断的层位基本相似。在不同方向的剖面（如相互正交的）同一断层其倾角不同，如果在主测线上断层面陡，而在联络测线上可能较平缓。

## 3. 确定断距

在时间剖面确定断距就是确定上下盘断点的时间落差。当断层面一旦确定，则上、下盘断点的时间差即可确定，也就知道了  $t_0$  时间落差。

# 五、几种地质现象在时间剖面上的特征

## （一）、不整合

不整合是地壳运动引起的沉积间断。它对油、气的聚集有密切关系，对地震地层学的研究也有重要意义，不整合分为平行不整合与角度不整合两种。

### 1. 平行不整合（假整合）

老地层主要受上升运动影响，呈水平状态出露地表，遭受较长时期的外力作用破坏之后，又受下降运动影响而沉降，继续接受新的沉积，因而新老地层产状一致，其间存在侵蚀面，这种现象称之为平行不整合。平行不整合在时间剖面上不容易识别，但不整合面受到剥蚀而凸凹不平，往往产生绕射波，并且由于波阻抗差变化大，使不整合面上的反射波振幅和波形变化也较大，因此可以根据这些特点去辨认平行不整合。

### 2. 角度不整合（斜交不整合）



当老地层形成后，由于受水平运动和垂直运动的影响，使岩层发生倾斜或褶皱，经过风化剥蚀后再下降，继续接受沉积，结果新地层便以一定角度与老地层接触，这种现象称为角度不整合。它比平行不整合容易识别，上下地层的反射波同相轴会出现一定交角，并沿水平方向逐渐靠拢、合并，不整合面以下的反射波相位依次被不整合面上的反射波相位代替，最后尖灭。但不整合面以上的反射波较连续，可长距离追踪。不整合面上的反射能量强，但波形变化大，也会出现绕射波的干涉。如图 2.6-15 所示，在 0.5s 左右存在角度不整合。

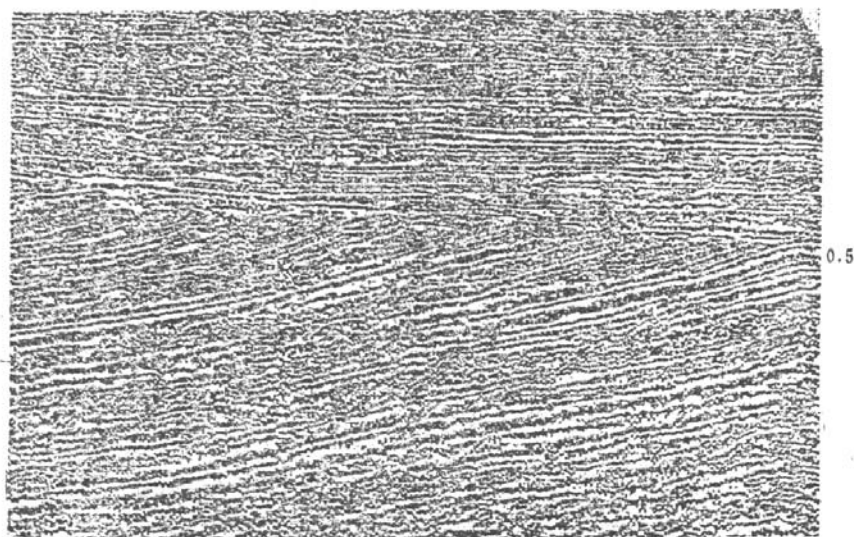


图 2.6-15 角度不整合

## (二)、超复和退复

超复和退复发育于盆地边缘的斜坡带，也是不整合的一种表现形式。

### 1. 超复

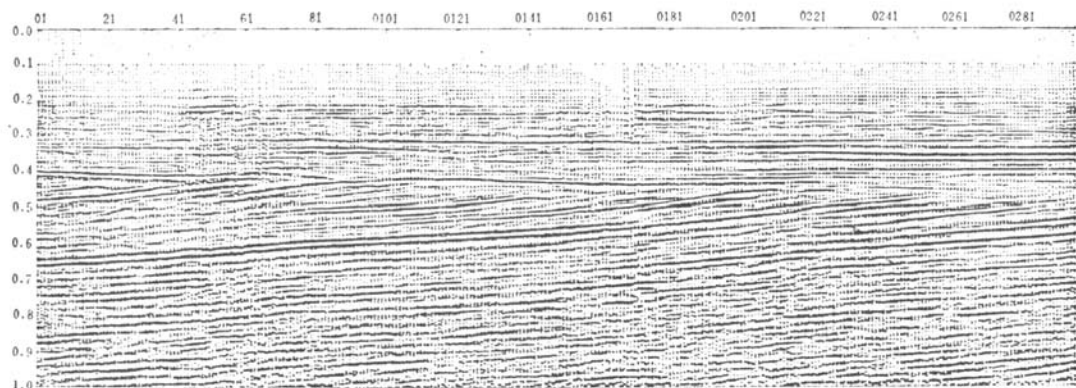
在海侵时，地层沉积范围不断扩大，盆地边缘地带的新地层会依次超越覆盖在下面较老地层之上。在时间剖面上表现为几组反射波互不平行，逐渐靠拢，在超复点处出现同相轴的分叉、合并现象。超复不整合面上的地层反射波相位，依次被下部地层反射波所代替。

### 2. 退复

当海退时，沉积物分布范围逐渐减小，上覆新地层沉积范围不断向盆地中心退缩。在时间剖面上，上覆新地层的反射波逐步被下面老地层的反射波所替代。

## (三)、尖灭

岩层厚度逐渐变薄直到缺失，形成的楔形地质体称之为尖灭。尖灭可分为岩性尖灭、不整合尖灭、超复和退复尖灭及断层尖灭等。尖灭可以形成地层圈闭油气藏。尖灭在时间剖面上表现为上下两组波的同相轴逐渐靠拢，两波之间的反射相位逐渐减少，直到消失，最后两



波合拢，出现尖灭点，如图 2.6-16 中，41-61 点之间，在 0.4-0.5s 附近出现尖灭点。

图 2.6-16 尖灭现象

#### (四)、古潜山

##### 1. 古潜山的概念

古潜山是指不整合面以下被新沉积岩所覆盖的古陆地的地形高。古潜山与潜伏背斜有所区别，前者表面为不整合面，其上的地层有超复现象，而后者上下地层基本是平行的，图 2.6-17。由于古地形长期经受风化、剥蚀和地下水的溶滤作用，使下伏的岩层特别是碳酸岩的孔隙度和渗透率大大增加，甚至形成大的裂隙或溶洞，成为油气聚集的有利地带。潜山表面的不整合面是油气运移的通道，当其上存在泥质沉积物时，可形成良好盖层，因而可形成各种构造圈闭和地层圈闭油、气藏。

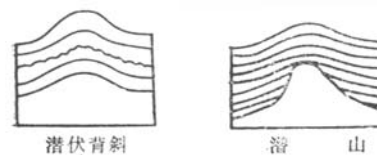


图 2.6-17

##### 2. 古潜山的识别

(1) 古潜山表面波阻抗差大，反射波能量强，具有不整合面反射的特点、频率低、相位数目多。

(2) 古潜山两翼倾角较陡，反射波同相轴时差大，与两侧凹陷内的反射同相轴相交叉。

(3) 古潜山表面起伏大，凸凹不平，常常出现各种异常波，如：绕射波、回转波、侧面波和断面波等。

(4) 偏移处理能使绕射波收敛，断面波、反射波归位，有利于古潜山的识别和解释。

(5) 进行地质和物探的综合解释，当地质、重力、电法等资料与地震资料吻合时，可

确定潜山存在。

除此以外，还可利用速度资料确定潜山表面。当潜山为灰岩时，表现为明显的高速度层；但潜山地形起伏大，组成的地层不同，速度横向变化较大。

在我国已发现古潜山高产油田，已获得了潜山内幕反射，对其解释也进行了一定的研究。

## （五）、底辟构造

### 1.底辟构造的概念

地下可塑性物质在外力作用下上拱，可使上覆地层出现褶皱、断裂，甚至穿刺进入上覆地层中，所形成的地质现象称之为底辟构造（图 2.6-18）。可塑性物质有盐膏类、泥岩等，相应地形成盐丘和泥丘等。底辟构造与油气聚集有密切关系，它可使上覆地层出现隆起，也可以和围岩之间形成地层圈闭油气藏。

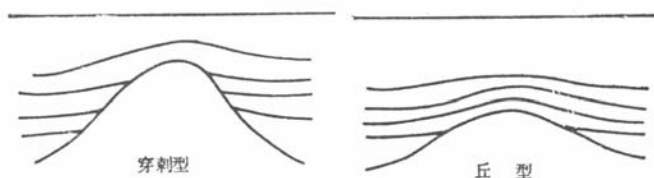


图 2.6-18

### 2. 底辟构造的地震特征和识别标志

（1）泥岩底辟体内几乎没有物性差异，不能形成波阻抗差，不能产生地震反射。对于盐丘，在盐岩层内可能会有一些其它岩层，如硬石膏、白云岩和黑色页岩等，它们与盐岩的接触面会产生反射，但表现比较杂乱，如图 2.6-19 所示。

（2）地震波进入底辟体内，波速会出现明显的异常：泥丘的波速一般低于围岩；而盐丘的波速比围岩要高得多。这样，会使底辟构造之下的反射波旅行时间发生畸变。

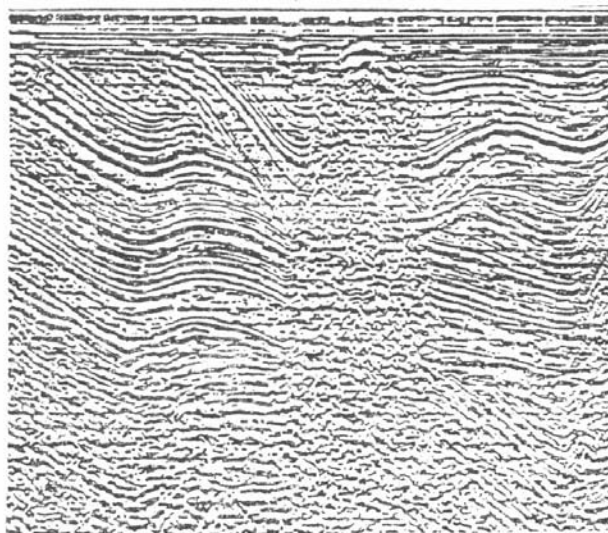


图 2.6-19 盐丘

（3）底辟构造使上覆地层拱起而成为背斜或穹窿。底辟体与上覆地层之间的反射，反映了底辟体上表面的形态。但底辟体顶部因受到风化或溶蚀作用，会使反射波不连续或很杂乱。

(4)底辟体的侧翼往往很陡,围岩受牵引作用会形成挠曲,产生聚焦型和回转型反射。

## 六、地震反射层位的地质属性的标定

确定地震标准反射层及其地质属性,这是剖面解释的一项重要工作,给地震层位赋以地质意义,从而把地震与地质联系起来。这项工作,通常在选择对比层位时就开始了,但那时还没有完成全区性的细致对比工作,对反射的特征、连续性和变化规律还不能确切了解,不便于与地质、物探资料对比,因此只能是初步的。

### (一)、地震标准层的确定

所谓地震标准层,确切地说,是指产生反射的界面,在时间剖面上,是用反射波来代表的。标准层的反射具备以下条件:

1. 反射波特征明显、稳定。
2. 在工区大部分测线上能连续追踪。
3. 能反映地质构造(包括浅、中、深各层位)的主要特征;最好在含油层系之内。

可见,对地震标准层的解释是完成地质任务的关键。开始选择的对比层位,不一定都能成为标准层。有时反射质量较差,无法确定标准层,可在含油层系在时间剖面上所相当的 $t_0$ 范围内,利用若干短反射段,作出一条与它们平行的层面,这称为“假想层”(图 2.6-20),对比时也要做到剖面间的闭合。



图 2.6-20 假想层的确定

### (二)、标准层地质属性的确定

#### 1. 利用连井地震剖面

工区内如有钻井,可做连井测线,然后根据钻井提供的地质分层资料,由已知速度参数,把深度转换成时间,与井旁的时间剖面对比,确定反射层位所对应的地质层位。层位对比时要注意以下几点:

(1) 当界面倾斜时,由钻井剖面换算的时间不等于反射 $t_0$ 时间,最好将时间剖面转换为深度剖面,再与钻井深度剖面对比。

(2) 一般时间剖面上的波动是非零相位的,最大波峰并不代表波至时间,往往滞后一个相位左右(约 30ms, 相当 50m 左右);

(3) 地震记录是地震子波与反射系数序列的褶积，当相邻的反射时间间隔小于子波的延续时间时，各层记录子波将叠合成一个复合波组，这时，记录上的反射波就不能与地质分层吻合。

(4) 反射界面是波阻抗分界面，不一定都与岩性界面对应，如岩石的颜色或颗粒大小的变化不会造成波阻抗的改变。

(5) 通常，总是把反射层定为某地质界面的顶面。有时反射界面以上地层沉积稳定，其下地层不稳定，这表明反射主要由上部地层控制，若把反射层位定为上部地层的底界，则较为合理。

## 2. 利用层速度资料

用层速度推断反射层位的地质年代也是很有效的，例如华北地区确定上覆地层与灰岩潜山的分界，就往往用层速度资料推断。因为上覆的第三系与中生界地层，层速度一般小于4-4.5km/s，而较古老的灰岩地层其层速度可达5.5-6km/s，差别较大，因此推断效果显著。通过解释速度谱或沿剖面进行连续速度分析，可获得层速度资料。

## 3. 利用合成地震记录

合成地震记录是根据声波测井资料做成的，可直接与时间剖面进行对比，鉴别反射波地质属性，分辨多次波。通过声波测井和密度测井，得到声速测井曲线和密度测井曲线，将它们在同一深度上的速度值与密度值相乘，得到声阻抗测井曲线，就可以求出反射系数：

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (2.6-13)$$

式中： $\rho_1 v_1$ 、 $\rho_2 v_2$ 分别为界面两侧地层的声阻抗；进一步可求出合成地震记录：

$$x(t) = b(t) \times R(t) \quad (2.6-14)$$

式中， $b(t)$ 是已知的零相位子波。

图 2.6-21 就是用合成记录与实际时间剖面对比、确定反射层地质属性的例子。为了便于对比，将单道合成（一维合成）记录连续显示4-6道，排列在一起，看起来很象时间剖面。合成记录是按时间比例尺显示的（也可按深度比例尺），在一旁可按相应的深度比例尺，将钻井地质剖面附上去。对比可见，时间剖面上的强反射波是来自侏罗系（J）地层中砂岩和页岩的分界面。

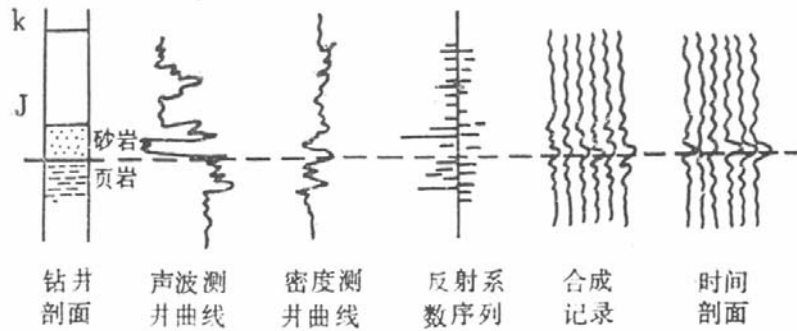


图 2.6-21 实际记录与合成记录的对比

当没有速度测井资料时，也可利用电测井资料，由福斯特（Faust）公式求速度：

$$V = 2 \times 10^3 (Z \cdot \bar{Rc})^{\frac{1}{6}} \quad (2.6-15)$$

式中：V 为速度； $\bar{Rc}$  为地层电阻率；Z 为深度。此式是福斯特对大量地震测井和电测资料进行估算后提出的。适用于深度大于 200m 的砂页岩沉积地层，要求地层水的矿化度变化小，自然电位曲线上没有特殊峰值。

用一维合成记录对比定层，要求对比处反射层是水平的；记录子波应与合成记录子波相同。未经子波处理的时间剖面，反射波峰值较合成记录滞后一个相位左右。

#### 4. 利用邻区钻井资料或已知地震层位对比

如果工区内没有钻井，可利用邻区的钻井，做连井测线，进行对比定层；或者邻区已做了地震工作，地震层位性质已知，则可将工区的测线延向邻区，做一段重复测线，进行对比，要注意使采集因素与邻区保持一致。

#### 5. 利用区域地质资料和其它物探资料推断

如果上述资料都没有，可根据区域地质资料中关于地层厚度的估算和沉积规律的结论，结合其它物探资料，推断各反射层所相当的地质层位。这样做，往往会产生较大误差。

### 七、地震构造图及构造图的绘制方法

前面所述的解释工作都是对二维地震时间剖面所作的对比解释。如果要想描绘出整个区域的构造全貌，则需将剖面和平面对比结合起来进行空间解释，也就是绘制出某一层的地震反射构造图。

#### (一)、地震构造图及其种类

##### 1. 什么是构造图

所谓构造图，就是用等深线（或等时线）及其它地质符号表示地下某一层面起伏形态的一种平面图件。它反映了某一地质时代的地质构造特征，是地震勘探最终成果图件，是钻探提供井位的主要依据，因此，绘制构造图是一项十分重要的工作。

在图 2.6-22 中，假设地下有一个穹窿构造，若将构造顶面的等深线向上投影到地平面上，得到的是平面图，就是该穹窿构造顶面的等深度图或构造图。大家知道，一条深度剖面只能表示沿该剖面的地下构造形成，要想知道地质构造的空间形态，必须把测网中的各条测线的深度剖面都利用起来，如图 2.6-23 所示，把 4 条剖面上的同一反射层（T）的深度，按一定间距展布在测线平面图上，然后根据所标注的深度值绘出等深线，就得到了构造图。

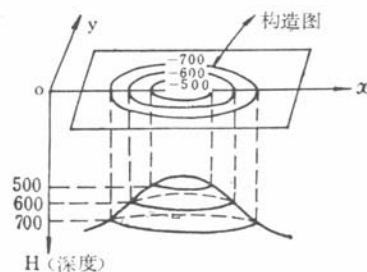


图 2.6-22

## 2. 地震构造图的种类

地震构造图按作图等值线的性质可分为两大类：一是用深度等值线表示的等深度构造图；另一类是以时间等值线表示的等  $t_0$  构造图。前者是在深度剖面基础上绘制的，也可以由等  $t_0$  图经过空间校正后得到，其表示的构造形态和位置直观、准确，是最终成果图件；后者是在时间剖面基础上绘制的，是等  $t_0$  构造图，只能反映构造的基本形态，在位置上也存在偏移，属于过渡性图件。这类图件制作快捷。

等深度图按深度性质又可分为真深度图、法线深度图和视铅垂深度图。制成等法线图或视铅垂深度图；经过偏移校正就得到真深度构造图；也可以由水平叠加时间剖面，直接作等  $t_0$  图，再经过空间校正得到真深度构造图。这种方法较简便，当前在我国已普遍采用。另外，还可以利用叠偏剖面直接作构造图。无论哪种方法，它们的基本作图程序是相似的。

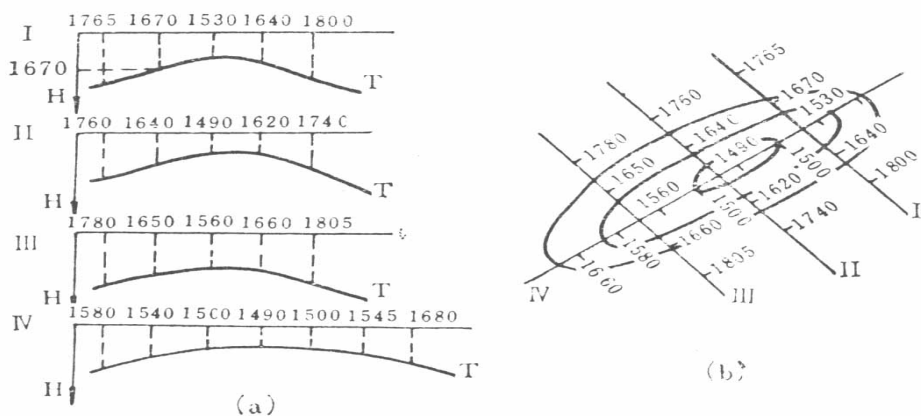


图 2.6-23

a. 深度剖面；b. 构造图

## (二)、构造图的绘制步骤及方法

### 1. 资料的检查

因为绘制构造图的全部数据都是从剖面图（时间剖面或深度剖面）上取得的，剖面解释的可靠程度直接关系到构造图的质量，所以在绘制构造图之前，应对所有剖面进行检查。主要检查标准层的地质属性是否准确，数量上是否满足地质任务的要求；断层、超复、尖灭等地质现象的确定是否合理，上下反射层之间和相邻剖面间的解释有无矛盾之处；各剖面交点闭合误差是否在允许范围（小于等值线距之半）以内等。

### 2. 选择作图层位和比例尺

#### (1) 作图层位的选择

在所对比的若干反射层中，选择能控制地质构造特征的标准层作为绘制构造图的层位，对于目的层是必须选择的作图层位。如果目的层不是较好的反射标准层，甚至难以对比追踪波，也必须作假想层，来绘制构造图。至于要选多少个层位制作构造图，则可根据勘探任务和地质要求而定。在角度不整合面上下，最好各选一层分别作构造图。

#### (2) 作图比例尺

比例尺和等值线距反映了构造图的精确度，而构造图的精确度又取决于测网的密度、地质情况、勘探任务和资料质量等因素。在资料质量好，构造复杂的情况下，应选择较大的比例尺和较小的等值线距，反之亦然。在不同的勘探阶段，其构造图的作图比例尺和等值线距，都是有一定要求的，详见表 2.6-1。

表 22.6-1 构造图比例尺和等值线距的关系

勘探阶段	比例尺	等值线距 (m)
区域普查	1 : 20 万	200
面积详查	1 : 10 万或 1 : 5 万	50 或 100
构造细测	1 : 5 万或 1 : 2.5 万	25 或 50

### 3. 描绘测线平面分布图

根据测量资料，用透明纸把所有测线的平面位置描下作为底图，注明测线号、测线起止桩号、交点桩号、已钻井位、主要地物及经纬度等。

### 4. 取数据



在经过解释的时间剖面或深度剖面上，对所选的作图层位，按一定距离（通常在测线平面图上为 1cm）及测线交点处读取  $t_0$  值或深度值，同时将断点位置、落差、超复点、尖灭点等数据标注在测线位置图上。对构造的主要部位及特征点附近应加密取值。

## 5.制作断裂系统图

在各条剖面上划分出断层之后，需要把属于同一断层的断点在平面上组合起来，绘制断裂系统图（图 2.6-24）。断层系统图的正确与否，直接关系到构造图的精度。

### 1.断点在平面图上的标记方法

将同一层位的所有断点投影于测线上，如图 2.6-25 所示，把投影点的位置展在测线平面位置图上，并用一定符号表示断层性质如：正断层用“ ”或“ ”表示，逆断层用“ ”表示，其中“ ”代表下降盘，“↑”代表倾向（图 2.6-24）。这样标记的断层位置，只有对水平界面或垂直断层走向的偏移剖面才是正确的，否则相对实际位置要出现偏移。但这里所确定的断裂系统，即作为等  $t_0$  图上的断裂系统，由等  $t_0$  图制作等深度图（构造图）是要做偏移校正的。

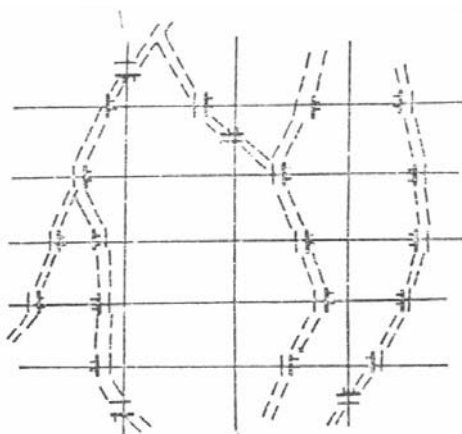


图 2.6-24 断层系统图

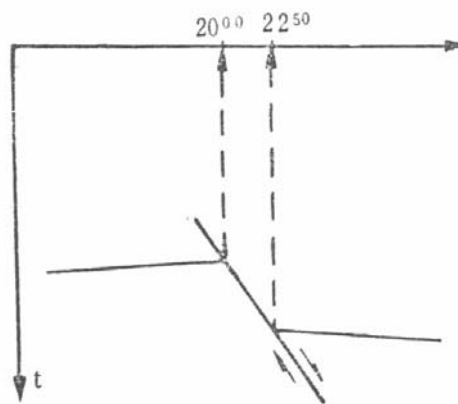


图 2.6-25 断点位置确定

### 2.在不同的剖面上识别同一断层的依据

- (1)在平行的剖面上，断层性质相同，断面、断盘产状相似。
- (2)断开的地层层位基本一致或有规律变化。
- (3)断点位置靠近、断距相近或沿走向呈规律变化。
- (4)同一断块、地层产状变化一致或有一定规律。
- (5)区域性大断裂一般平行区域构造走向，断层两侧波组有明显差异。

### 3.断点平面组合时应注意的问题

(1)两条断层相交时,应该用构造地质学理论加以分析,按断层发生的先后分为主干断层和派生断层。晚期的新断层应切割早期的老断层,而老断层在新断层两侧发生错动(图 2.6-26a)。当两条断层相接触时,一般应是小断层的一端触到大断层上(图 2.6-26b),其中长支是老断层或者是同时伴生的深断层而浅层不断的一般是老断层;深浅层都断,落差基本一致时一般为新断层,落差上小下大属于边沉积边发育的断层。

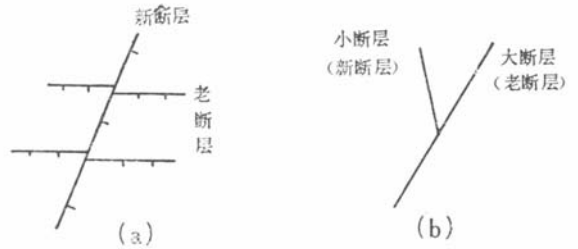


图 2.6-26

(2)一些断点很清晰的断层,在平面连接时不能穿过无断点显示的剖面。

(3)经平面组合后剩余的孤立断点,应是断距小,延伸较短的小断层。

(4)当地层倾角较大( $20^\circ$  以上)时,确定断层和组合断点时应结合偏移剖面,但剖面平行走向时,断层仍不能实现偏移归位,有时会出现假断点。在图 2.6-27 中,剖面  $E_5$  在  $F'$

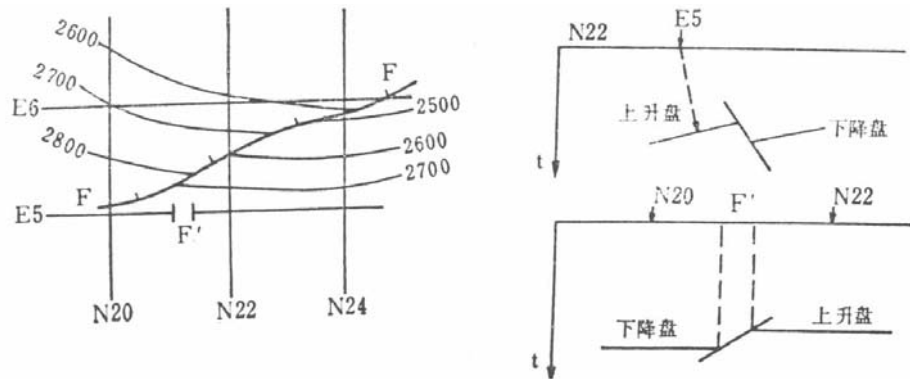


图 2.6-27 假断点的形成

两边,分别收到来自断层  $F$  上、下盘的反射,因而出现了假断点  $F'$ 。

(5)在断点组合时,应将剖面与平面相结合,反复对比,使组合方案达到最为合理。

## 6. 勾绘等值线

按规定的等值线距(如前面表中所示),根据展在平面透明底图上的  $t_0$  值或深度值,勾绘圆滑的曲线。先勾出大致的轮廓,如构造的高点和低点,构造轴线等,然后再考虑构造的细节。在复杂断块区,应以断块为单位勾绘。勾绘等值线应注意下述规律:

(1)勾绘的平面图与剖面图,在构造形态、范围、高点位置和幅度等方面的特征上,基本一致。

(2)勾绘构造等值线应符合构造规律:

①在单斜层上，等值线间隔应均匀变化，不允许出现多线或缺线现象(图 2.6-28)。

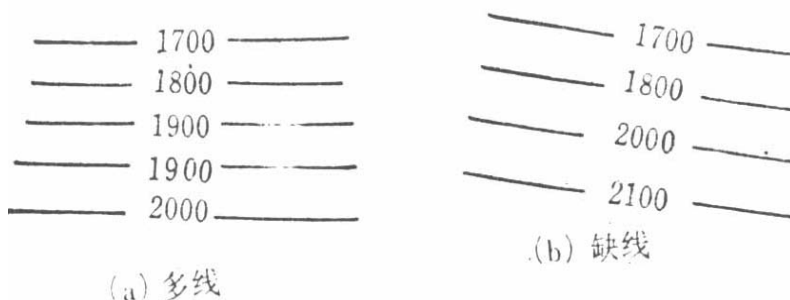


图 2.6-28

②两个正向(或负向)构造之间不能存在单线，如图 2.6-29 中虚线是错误的。

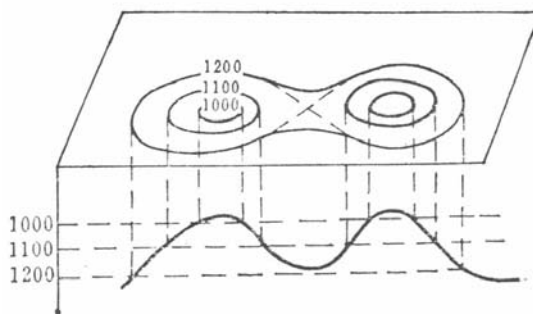
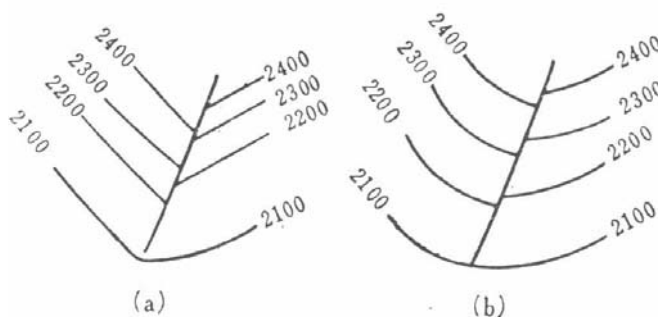


图 2.6-29

③正负向构造，在无断层影响时，都应相间出现，构造轴向大体一致。

④勾绘断层线两侧的等值线，应考虑断开前构造形态上的联系，如图 2.6-30a 的勾法是错误的。另外，断层上升盘某点等值线的数值加上断层的落差，等于下降盘等值线的数值。如图 2.6-31 所示。



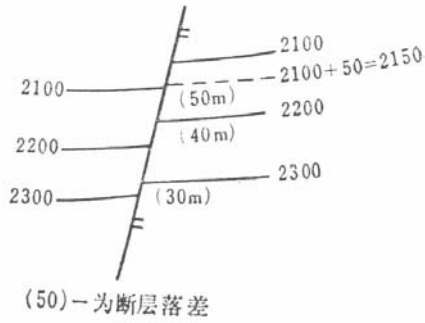


图 2.6-30

图 2.6-31

⑤同一断层，在上下层构造图上的位置不能相交，当断面直立时，深浅层构造图的断层位置应当重合；当断层倾斜时，同一断层在各层构造图上应彼此平行，且深层的较浅层的往断层下倾方向偏移。

⑥背斜构造断开后，下降盘等值线范围比同深度上升盘的小。对于正断层，上下盘断点投影到地面上的水平位置错开，如图 2.6-32b 所示；对于逆断层，上下盘断点投影到地平面上，水平位置出现叠掩，如图 2.6-32a 所示。

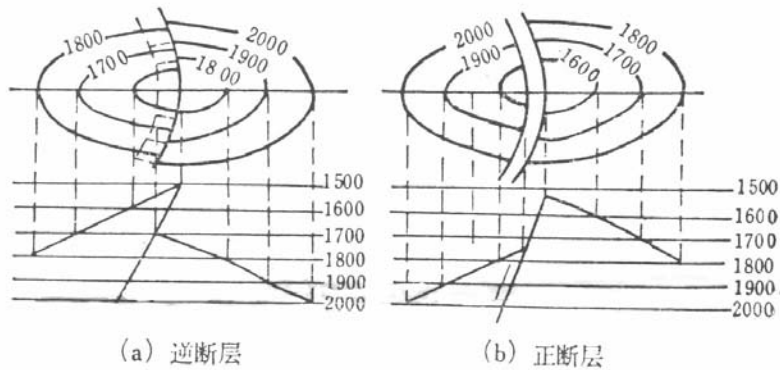


图 2.6-32

(3)构造图的规格要求及常用地质符号。在构造图上应标注图名、比例尺、经纬度、井位、主要地物、图例和责任人等。常用的地质符号见图 2.6-33。








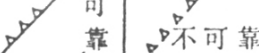

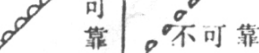
构造等值线	 可靠	 不可靠
正断层	 可靠	 不可靠
逆断层	 可靠	 不可靠
背斜	 尖灭	 可靠 / 不可靠
向斜	 超复	 可靠 / 不可靠

图 2.6-33

## 八、由等 $t_0$ 图经过空间校正作真深度构造图

### (一)、方法原理

#### 1. 由等 $t_0$ 图求真倾角

设  $O_1$ 、 $O_2$  为等  $t_0$  图上两条等值线与法线 ( $\vec{n}$ ) 的交点 (图 2.6-34a),  $\vec{n}$  方向  $t_0$  时间梯度 ( $\frac{dt_0}{dn}$ ) 比其它方向都大, 因此也是界面最大倾斜方向 (即倾向), 其倾角为真倾角 ( $\varphi$ )。在图 2.6-34(b) 中:

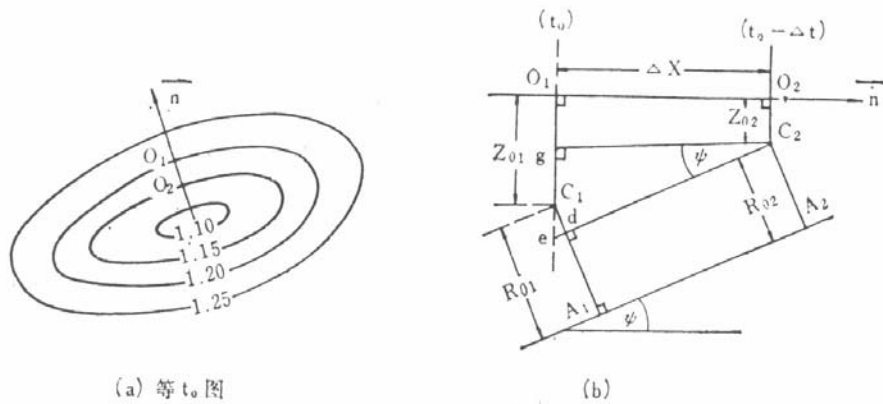


图 2.6-34

在  $O_1$  点有:

$$O_1C_1 = Z_{01}, \quad C_1A_1 = R_{01};$$

在  $O_2$  点有:

$$O_2C_2 = Z_{02}, \quad C_2A_2 = R_{02};$$

作  $C_2g \perp O_1C_1$ 、 $C_2d \perp C_1A_1$ ，则  $\angle gc_2d = \angle ec_1d = \varphi$ （对应边互相垂直）。在直角  $\triangle C_2ge$  中可看出

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{ge}{c_2 \cdot g} = \frac{gc_1 + c_1e}{C_2 \cdot g} = \frac{(Z_{01} - Z_{02}) + \frac{R_{01} - R_{02}}{\cos \varphi}}{\Delta x}$$

设： $\Delta Z = Z_{01} - Z_{02}$ ， $\Delta R_0 = R_{01} - R_{02}$ ，则有：

$$\Delta x \cdot \operatorname{tg} \varphi = \Delta Z_0 + \frac{\Delta R_0}{\cos \varphi}$$

上式两边乘以  $\cos \varphi$  再平方得：

$$\Delta x^2 \sin^2 \varphi = \Delta x^2 \cdot (1 - \cos^2 \varphi) = \Delta Z_0^2 \cdot \cos^2 \varphi + 2Z_0 \Delta \cos \varphi \Delta R_0 + \Delta R_0^2$$

整理后得：

$$(\Delta x^2 + \Delta Z_0^2) \cdot \cos^2 \varphi + 2\Delta Z_0 \cdot \Delta R_0 \cdot \cos \varphi + (\Delta R_0^2 - \Delta x^2) = 0 \quad (2.6-16)$$

因  $\varphi < 90^\circ$ ，所以  $\cos \varphi$  不为负值，解(3-1)式得：

$$\cos \varphi = \frac{\Delta x \sqrt{\Delta Z_0^2 - \Delta R_0^2 + \Delta x^2} - \Delta Z_0 \cdot \Delta R_0}{\Delta Z_0^2 + \Delta x^2} \quad (2.6-17)$$

## 2. 求偏移距离和真深度

在图 5-27 中，O 点到 A 点的回声时间为  $t_0$ ，A 点在地面的投影点为  $O'$ ，则 O 点的偏移校正距离应为  $\overline{OO'}$ ，真深度为  $H = \overline{O'A}$ ，它们的计算公式从图 2.6-35 中可以看出：

$$\overline{OO'} = R_0 \sin \varphi \quad (2.6-19)$$

$$H = Z_0 + R_0 \cos \varphi \quad (2.6-20)$$

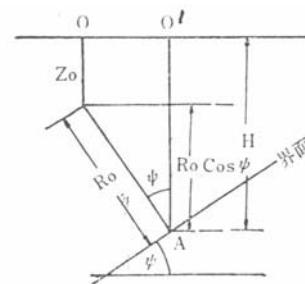


图 2.6-35

## 3. 空间校正数据表或量板的制作

给出某  $t_0$  值，可计算其  $Z_0$  和  $R_0$ ，由相距为  $\Delta x$  的  $O_1$  和  $O_2$  点的  $t_0$  值可求出  $Z_0$  和  $R_0$ ，然后由(3-2)式求出  $\varphi$ ，再利用(3-3)式和(3-4)式求出  $\overline{OO'}$  和  $H$ 。将  $t_0 - \Delta x - \overline{OO'} - H$  的对应数据列成表，即为空校数据表，或作成空校图板，计算时， $t_0$  间隔可由  $t_0$  等值线的间隔而定，一般为  $\Delta t_0 = 0.05s$ ， $\Delta x$  间隔取 10m。但由于地层倾角的变化， $t_0$  等值线的疏密变化会很大，为了保证精度，制作时可取较小的  $\Delta t_0$  值，如  $\Delta t_0 = 0.025s$ 。

## (二)、空校步骤及绘制真深度构造图

1. 由水平叠加时间剖面作等  $t_0$  图，等值线勾绘如第一节所述，等值线间隔可取 25ms

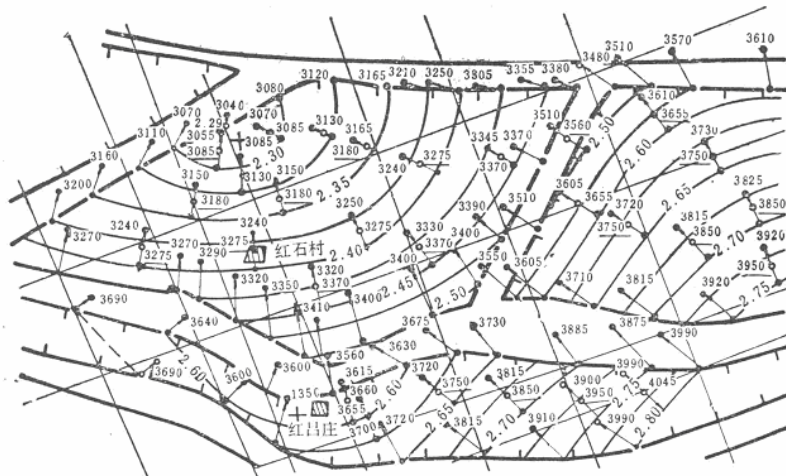
或 50ms。

2. 在  $t_0$  等值线上取足够多的点(包括断点), 量出等值线间法线方向的水平距离  $\Delta x$  。

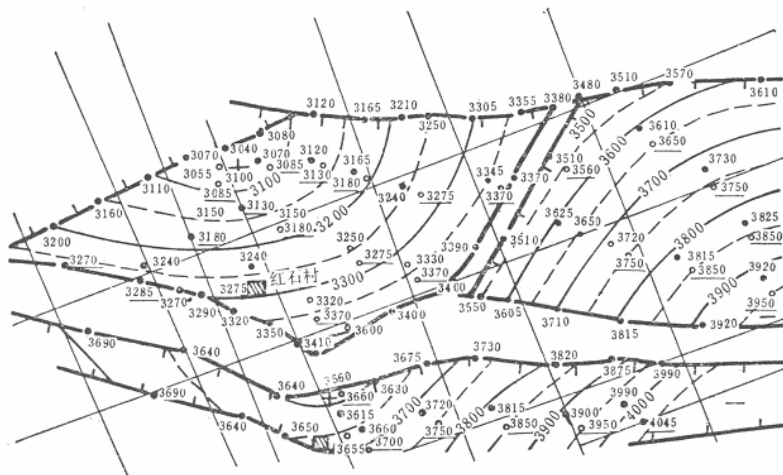
3. 根据某点上的  $t_0$ 、 $\Delta x$  值查表或空校图版, 求出偏移距  $\overline{OO'}$  和真深度  $H$ 。

4. 在等  $t_0$  图上, 用箭头标出该点的偏移方向(上倾方向), 箭杆长度表示偏移距离  $\overline{OO'}$  箭尾表示偏移前某点的位置  $O$ , 箭头表示偏移后的位置  $O'$ , 并在  $O'$  点处写上真深度(图 2.6-36a)。对断层空间校正的处理, 见图 2.6-37。要求在等  $t_0$  图上断点位置准确, 才能使得空校更可靠。

5. 将所有偏移后的点的位置和真深度值, 透在一张透明纸上, 先由偏移后的断点勾出断层位置, 再根据  $H$  值按一定间隔绘深度等值线, 即得到真深度构造图, 如图 2.6-36b 所示。



(a) 等  $t_0$  图



(b) 真深度构造图

---

图 2.6-36



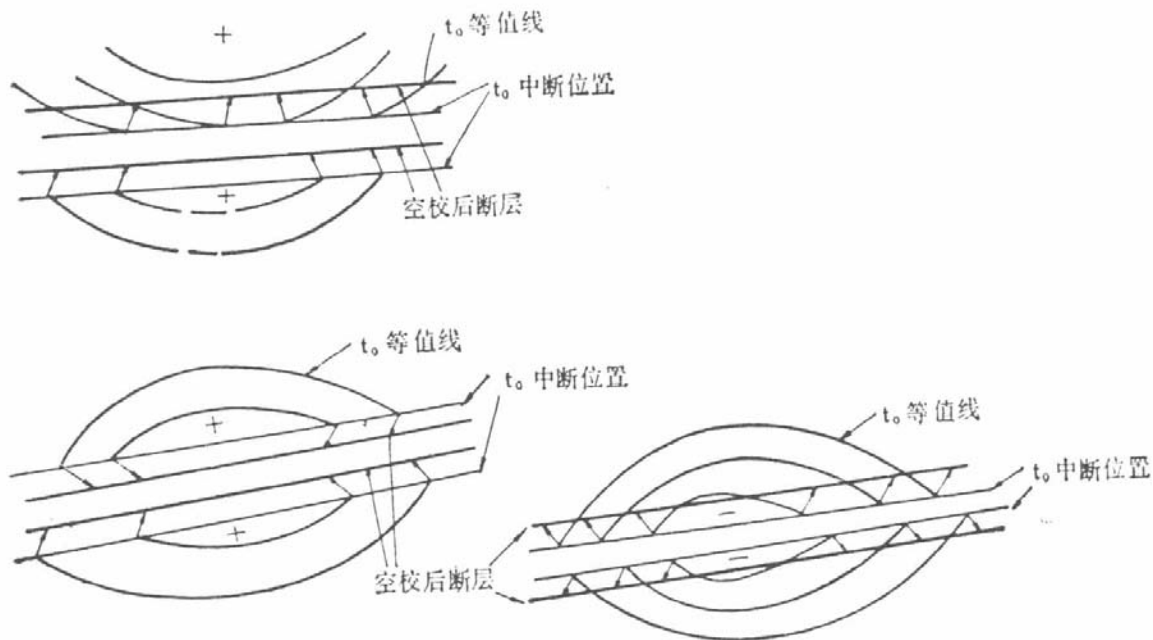


图 2.6-37

## 九、等厚图的绘制方法及解释

### (一)、等厚图的绘制

#### 1. 等厚图的绘制方法

表示两个地震层位之间的沉积厚度的平面图称为等厚图。一般绘制等厚图只绘视厚度图，视厚度是指两个地震标准层之间的铅直深度 $\Delta H$ 图 2.6-38，它不等于真厚度 $\Delta h$ 。因此，利用地震构造图很容易绘制等厚图，即把画在透明纸上的两个标准层的真深度构造图，按测线位置或经纬网精确地重合在一起，在这两张图的一系列等值线的交点上，计算它们的深度差值，然后把这些差值写在另一张平面图的相应位置上，绘出视厚度等值线，便得到等厚图，图 2.6-39。

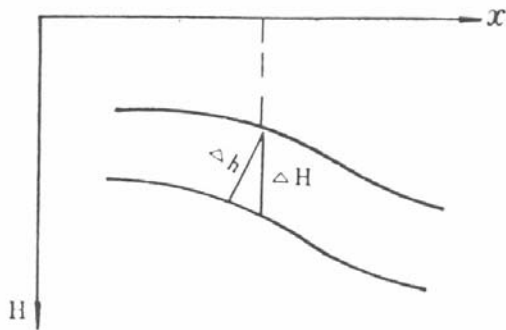


图 2.6-38

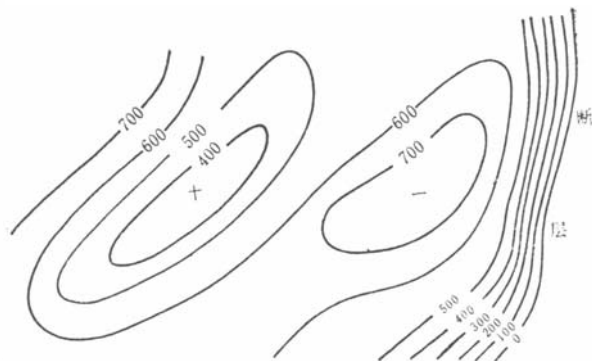


图 2.6-39

对于一级大断层，在断棱处，地层厚度可为零，在地层尖灭点处亦会如此，见图 2.6-40(a)、

(b)。在厚度为零的等值线附近，等值线较密集。对于中、小断层，一般不出现厚度为零的情况图 2.6-40(c)，因此可不考虑断层的存在，量取视厚度。

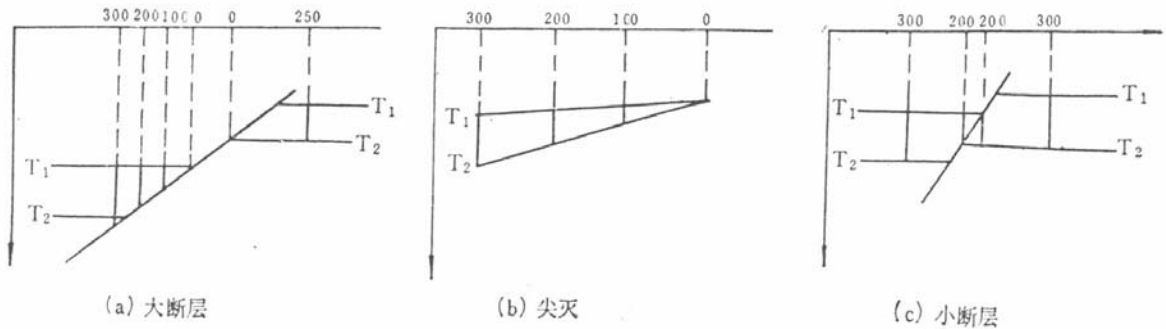


图 2.6-40

## 2. 等厚图的解释

分析等厚图上厚度的变化，如果发现某个方向厚度明显增大，则可推断沉积物来源就是这个方向；如果发生褶曲的地层厚度一致，则表明褶曲发生于沉积之后；如果随着离开背斜顶部地层厚度加大，说明在沉积的同时可能有构造发生，这对油气的积聚最为有利。

在断裂发育的地区，地层受断裂破坏作用，上升盘常常受到剥蚀，因此厚度变化很大。在断层附近，厚度变化迅速，厚度等值线表现得较密集。根据从浅到深各层等厚图，分析不同时期地层的厚度变化，可以看出地壳的升降和沉积中心的变化，从而了解沉积盆地的地质发展史。