

石油工业干部科技学习丛书

亮点技术

牟永光 编

石油工业出版社

石油工业干部科技学习丛书

亮点技术

牟永光 编

石油工业出版社

内 容 提 要

《石油工业干部科技学习丛书》包括八个专业，即1，石油地质；2，石油地球物理勘探；3，矿场地球物理测井；4，钻井；5，油气田开发开采；6，石油天然气储运；7，石油炼制；8，海洋石油开发等。本书是石油地球物理勘探专业中的一个专题。书中介绍了亮点技术的基本原理，亮点资料的处理方法和解释方法，并对各种亮点标志的综合利用做了简要说明。

石油工业干部科技学习丛书

亮 点 技 术

牟永光 编

*

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $1^{1/8}$ 字数16千字印数1—36,750

1979年9月北京第1版 1979年9月北京第1次印刷

书号15037·2105 定价0.11元

内 部 发 行

目 录

一、亮点技术的基本原理	2
1. 地震反射波的 振 幅	2
2. 岩层的反射系 数	7
3. 地震反射波振幅变化的其 它 原因	11
二、亮点资料的处理方法	15
1. 真 振 幅 恢 复	16
2. 反 褶 积	18
3. 动校正和水 平 迭 加	18
4. 波动方 程 偏 移	19
5. 宽频 带 滤 波	20
三、亮点资料的解释和应用	20
1. 亮点作为含气岩层的 标 志	20
2. 亮点资料的模型 解 释	24
3. 由非含气岩层引起的假 亮 点	26
4. 亮点的其它 标 志	27
思考题	32

亮点技术是近几年来在数字地震勘探领域中发展起来的一项新技术。它是利用地震反射波法直接找油找气的一种新方法。

所谓亮点，狭义地说是指在地震反射剖面上由于地下油、气藏存在所引起的地震反射波振幅相对增强的“点”。

过去，地震反射波法主要是利用地震反射波传播的时间等地震波运动学的特点寻找适宜于油、气聚集的地质构造，间接探测地下油、气藏。而亮点技术则主要是利用地震反射波的振幅等地震波动力学的特点来直接寻找地下油、气藏。

虽然直接探测石油和天然气，一直都是石油地震勘探工作者所向往的目标，但是，只有1965年在野外采用二进制增益数字地震仪，并用数字计算机进行处理后，才在实践中真正成为可能。自从1972年底，国外有两家主要的石油公司采用亮点技术，根据含气砂岩与页岩、含水砂岩或含油砂岩界面反射系数的差异所引起的反射波振幅异常预测海上气田获得成功以来，亮点技术就受到石油地震勘探工作者的普遍注意。

通过近几年的实践，人们已经对亮点技术的理论基础及其限制条件有了进一步的了解，现在，采用亮点技术直接找寻油、气藏，不仅利用地震反射波的振幅异常，同时也利用反射波极性反转、水平反射的出现、速度的降低及吸收系数的增大等一系列标志，综合指示地下油、气藏的存在。

目前，由于亮点技术的应用，大大地提高了石油钻探的成功率。在条件有利的地区钻探的成功率由12%可以提高到60%，采用这种新技术已经在世界各地成功地发现了一些大油、气田，其中北海油田的发现就与亮点技术的应用有很大关系，在国内，我们已经在渤海湾地区已知油、气层上得到了明显的亮点，表明在这类地区应用亮点技术直接找油、找气有着广阔的前景。

一、亮点技术的基本原理

1. 地震反射波的振幅

当地震波离开地面附近的震源向地下传播时，如果遇到两种不同岩层的分界面便要发生反射，形成地震反射波返回到地面，被地面附近的检波器所接收。这种情况就象一个人站在空旷的山谷里喊话，声波从对面的岩壁上反射，喊叫的人能听到回声一样。从地

下两种不同岩层的分界面反射回来的地震反射波的振幅(地震反射波振动的幅度)与入射波的振幅之比叫做反射系数。在入射波振幅一定的情况下,地震反射波的振幅与界面的反射系数成正比,即界面的反射系数越大,反射波的振幅也越大;反之,界面的反射系数越小,反射波的振幅也越小。

界面的反射系数与界面两侧岩层的密度与地震波传播速度的乘积——波阻抗有关。简单来说,界面反射系数与界面两侧岩层的波阻抗之差成正比。即界面两侧岩层的波阻抗差越大,界面的反射系数就越大;反之,界面两侧岩层的波阻抗差越小,界面的反射系数就越小。这种情况正象声波在室内墙壁上反射时,由于墙壁的波阻抗比空气的波阻抗大得多,因而往往产生较强的反射(图1 a)。为了减弱这种声波的反射,必须减小墙面的反射系数,这就需要减小墙壁与空气之间的波阻抗之差。为此可以在墙壁上贴上呢绒或泡沫塑料一类的东西,例如象在广播电台的播音室里那样(图1 b)。

对地震波来说,含石油或天然气(特别是含天然气)的岩层其波阻抗比它的上、下岩层页岩或含水砂岩的波阻抗明显减小。使含油特别是含气岩层与其上、下岩层之间的界面的反射系数比一般岩层界面的

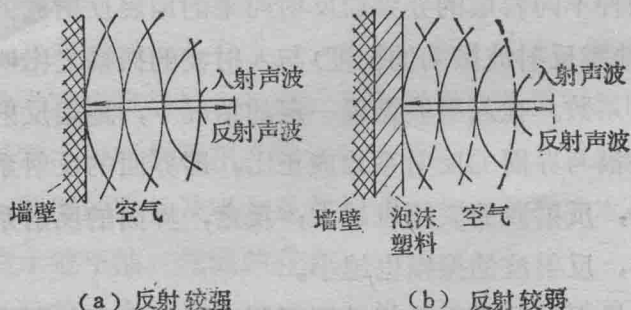


图 1 墙壁对声波的反射

反射系数大得多，因而使地震反射波振幅增强，在该处的地震反射记录上，形成所谓的亮点（图 2）。图中(a)为页岩/含水砂岩* 弱反射界面所引起的弱反射波振幅，(b)为页岩/含气砂岩** 强反射界面所引起的

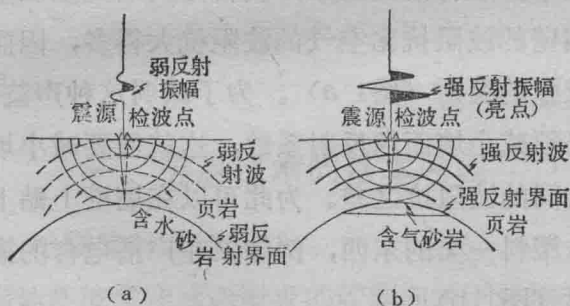


图 2 亮点的形成

* 页岩/含水砂岩表示上面的页岩层与下面的含水砂岩层之间的界面。

** 页岩/含气砂岩表示上面的页岩层与下面的含气砂岩层之间的界面，以下类同。

强反射波振幅(亮点)。

根据弹性波理论可知,当平面简谐波垂直入射到平面反射界面时(图3),界面的反射系数 R 与反射界面两侧介质的波阻抗之间的关系是

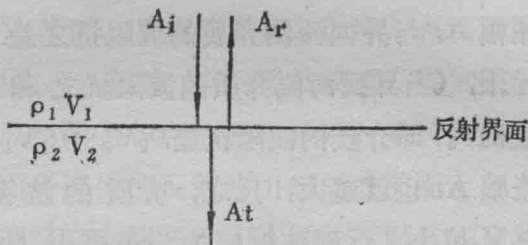


图3 平面简谐波垂直入射到平面反射界面时的情况

$$R = \frac{A_r}{A_i} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (1)$$

式中 A_i 和 A_r ——入射波和反射波的振幅;

ρ_1 和 ρ_2 ——反射界面两侧介质的密度;

V_1 和 V_2 ——界面两侧介质波的传播速度。

从(1)式可知,当入射波振幅 A_i 一定时,反射波振幅 A_r 与反射系数 R 成正比。反射系数 R 与界面两侧介质的波阻抗 $\rho_1 V_1$ 、 $\rho_2 V_2$ 有关。如果界面两侧介质的波阻抗 $\rho_2 V_2$ 与 $\rho_1 V_1$ 相等,则由(1)式可知其反射系数 $R = 0$, 这时反射波振幅 $A_r = 0$, 即在这

种界面上没有反射波产生。显然，只有当界面两侧介质的波阻抗 $\rho_2 V_2$ 与 $\rho_1 V_1$ 不等时，反射系数 R 才不为零，这时反射波振幅 A_r 也才不为零，在这种界面上才有反射波产生。因此，只有当地震波入射到两种介质波阻抗不同的分界面上时，才可能产生反射波。反射波的振幅 A_r 与界面两侧介质的波阻抗之差 $\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1$ 成正比（当界面两侧介质的波阻抗之和 $\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1$ 不变时）。即介质的波阻抗差 $\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1$ 越大，反射波振幅 A_r 也就越大，反之，介质的波阻抗差 $\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1$ 越小，反射波振幅 A_r 也就越小（图 4）。

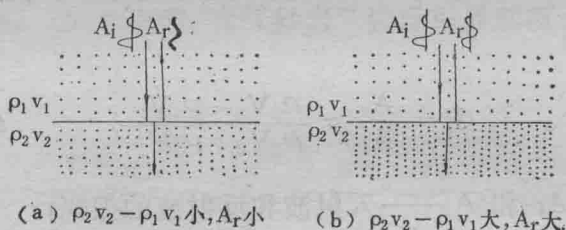


图 4 反射波振幅 A_r 与界面两侧介质波阻抗之差 $\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1$ 之间的关系

图中用小圆点的稀密表示介质波阻抗的大小，小圆点密表示介质波阻抗大；小圆点稀表示介质波阻抗小。下同

另外，由 (1) 式可知，当界面远侧介质的波阻抗 $\rho_2 V_2$ 比近侧介质的波阻抗 $\rho_1 V_1$ 大时，反射系数 R 为正值，这表明反射波振幅 A_r 的极性与入射波 A_i 的极性

相同，即如果入射波所引起的波前面上各点的振动开始时是向外压缩的，由这种界面所产生的反射波引起的波前面上各点的振动开始时也是向外压缩的，这样的反射波到达地面使地面的检波器开始向上运动。反之，当界面远侧介质的波阻抗 $\rho_2 V_2$ 比近侧介质的波阻抗 $\rho_1 V_1$ 小时，反射系数 R 为负值，表明反射波振幅 A_r 的极性与入射波 A_i 的极性相反，即如果入射波所引起的波前面上各点的振动开始时是向外压缩的，由这种界面所产生的反射波引起的波前面上各点的振动开始时则是向内膨胀的，这样的反射波到达地面使检波器开始时向下运动（图 5）。

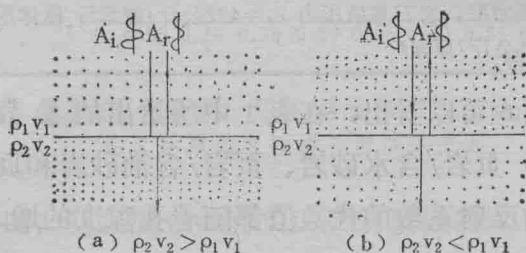


图 5 反射波与入射波的极性关系

2. 岩层的反射系数

由上述可知，地震反射波振幅的大小与界面的反射系数成正比，反射波的极性也由反射系数的符号决定。因此，在亮点技术中分析各种岩层的反射系数是

非常重要的。

按照表 1 中所列的参数，用理论公式分别计算出含气砂岩、含油砂岩和含水砂岩的密度和速度，相乘得到这些岩层的波阻抗，再根据 (1) 式分别计算各种岩层之间的反射系数，其结果示于图 6 和图 7 中。

表 1

	密度 ρ (克/厘米 ³)	速度 V (米/秒)
页 岩	2.25	2439
砂岩岩石基质	2.65	5335
气	0.25	433
油	0.87	1201
水	1.10	1521

温度 $T=27^{\circ}\text{C}$ ，岩石基质压力 $P_r=422$ 公斤/厘米²，流体压力 $P_f=211$ 公斤/厘米²

由图 6 可以看出，在表 1 中所给出的参数条件下：(1) 页岩/含水砂岩、页岩/含油砂岩和页岩/含气砂岩的反射系数的代数值都随着孔隙度的增大而减小，其中页岩/含气砂岩随孔隙度的增大减小得最快，页岩/含油砂岩次之，页岩/含水砂岩减小最慢，后两者比较接近。(2) 页岩/含气砂岩的反射系数：当孔隙度为 13% 时，其反射系数接近于零，反射完全消失，出现所谓的暗点。当孔隙度小于 13% 时，其反射系数为正，反射波与入射波极性相同。孔隙度大于

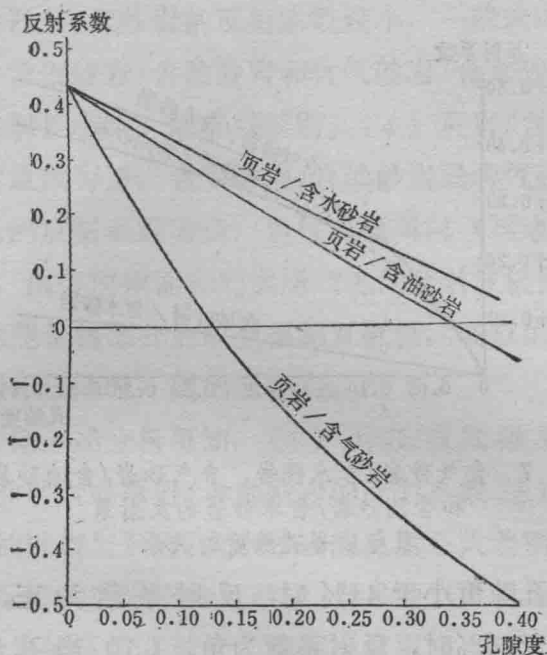


图 6 页岩/含气砂岩、页岩/含油砂岩和页岩/含水砂岩的反射系数与砂岩孔隙度的关系

13% 时，其反射系数为负，反射波极性发生反转。

(3) 页岩/含油砂岩的反射系数：当孔隙度为 34% 时，其反射系数接近于零，反射完全消失，出现“暗点”。当孔隙度小于 34% 时，反射系数为正，反射波与入射波极性相同，当孔隙度大于 34% 时，反射系数为负，反射波极性反转。(4) 页岩/含水砂岩的反射系数：当孔隙度为 44% 左右时，其反射系数接近于

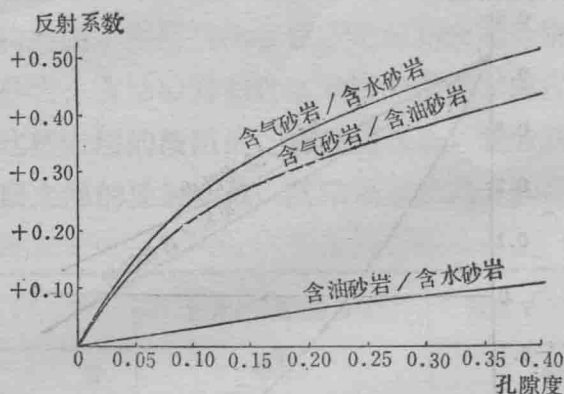


图 7 含气砂岩/含水砂岩、含气砂岩/含油砂岩
和含油砂岩/含水砂岩的反射系
数与砂岩孔隙度的关系

零，当孔隙度小于 44% 时，反射系数为正，当孔隙度大于 44% 时，反射系数为负。(5) 当孔隙度为 22% 时，页岩/含气砂岩和页岩/含水砂岩的反射系数的绝对值相等，两者反射波的振幅相同，但是极性相反。当孔隙度大于 22% 时，页岩/含气砂岩的反射系数的绝对值将逐渐大于页岩/含水砂岩的反射系数，这时页岩/含气砂岩界面形成的反射波振幅增强，出现亮点，同时反射波极性发生反转。

由图 7 可以看出，在表 1 所给出的参数条件下：

(1) 在砂岩中含气—含油—含水的顺序情况下，反射系数都是正的，反射波的极性与入射波相同。(2)

含油砂岩/含水砂岩的反射系数较小，一般难以识别。

(3) 含气砂岩/含油砂岩和含气砂岩/含水砂岩反射系数差别甚小，一般难以区别。(4) 页岩/含气砂岩的反射系数为正，含气砂岩/含油砂岩或含气砂岩/含水砂岩的反射系数为负，当气层很薄时（与地震波长相比），由气层顶面和底面所产生的反射波极性相反，两者的能量将部分地或全部相互抵销，亮点消失，而当气层不很薄时；则出现亮点。

根据上述分析可知：(1) 页岩/含气砂岩与页岩/含油砂岩或页岩/含水砂岩的反射系数差别比页岩/含油砂岩与页岩/含水砂岩的反射系数差别大，含气砂岩/含油砂岩或含气砂岩/含水砂岩比含油砂岩/含水砂岩的反射系数大，因而，应用亮点技术寻找含气砂岩比寻找含油砂岩有利。(2) 应用亮点技术寻找含气砂岩当砂岩孔隙度较大（超过22%）时，比较有利。(3) 含气砂岩的厚度较大（超过 $1/4$ 地震波长）较为有利。

在上述有利条件下，即沉积盆地年代较新，岩层埋藏较浅，砂岩贮集层孔隙度较大，厚度不很薄的等，应用亮点技术根据地震反射波振幅增强直接寻找含气砂岩层是比较有效的。

3. 地震反射波振幅变化的其它原因

应用亮点技术直接寻找含气岩层主要是根据地震反射波振幅增强这个标志。它可以反应出地下含气层所引起的较大反射系数界面的存在。但是，由野外数字仪所记录下来的地震反射波的振幅不仅与反射界面的反射系数有关，同时它还与地震波的激发、传播和接收等一系列因素有关。这些因素主要有

（1）地震波的激发条件和接收条件

地震波的激发条件和接收条件如震源强度和耦合情况，检波器的灵敏度和耦合情况，震源或检波器组合的方向特性，记录仪器的增益等对所记录的地震反射波的振幅都会发生影响。但是，这些激发条件或接收条件对于一张地震记录或一道地震记录来说，影响可认为是相同的，这些因素对于某个记录道的地震反射波振幅总的影响可用一个常数因子来表示。

（2）波前发散

当地震波在地下均匀介质中传播时，波前面是一个以震源为中心的球面，随着地震波传播距离的增大，波前球面不断扩张，使由震源发出的总弹性能量逐渐分散在一个表面积不断扩大的球壳体积里。如果从震源发出的总弹性能量是不变的，这个能量就均匀分布在波前球面附近，由于随着地震波传播距离增大，波前球面扩张，使波前面附近单位体积的能量密

度逐渐减小,因而使地震波的振幅不断减弱(图8)。
地震波的振幅与其传播距离 r 成反比或者说与传播时间 t 成反比而衰减。因而地震波在均匀介质中,由波前发散所引起的地震波振幅衰减因子 D_d 为

$$D_d = \frac{1}{r}$$

或
$$D_d = \frac{1}{Vt} \quad (2)$$

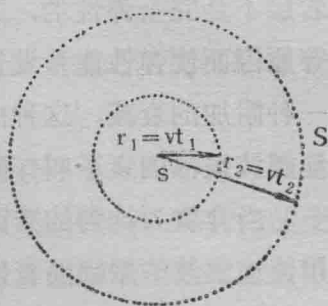


图8 波前扩张

图中用小圆点的稀密表示波前面附近弹性能量密度的大小。小圆点密表示波前面附近能量密度大,小圆点稀表示波前面附近能量密度小

对于层状介质(地震波传播速度随深度分层变化)或连续介质(地震波传播速度随深度连续变化)地震波由波前发散所引起的振幅衰减因子为

$$D_d = \frac{V_1}{V^2 t} \quad (3)$$

或
$$D_d = \frac{V_0}{V^2 t} \quad (4)$$

式中 V_1 、 V_0 ——第一层和地表附近的速度;

$\bar{V}$ ——地震波双程旅行时 t 的均方根速度。

(3) 吸收