

昆明盆地中深层地震剖面特殊处理与断层解释^{*}

杨润海, 张建国, 解 丽, 郑定昌, 郭若瑾, 赵晋明, 虎雄林, 卢吉高, 李正光

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 论述了昆明盆地中深层地震勘探剖面的特殊处理方法, 主要采用针对断层及沉积地层较为敏感有效的波阻抗反演、层速度反演、瞬时相位、瞬时频率、瞬时振幅以及二维相干等几种处理手段以及基于此的断层分析, 给出了昆明盆地内主要断裂的参数。

关键词: 昆明盆地; 基底断裂; 地震反演

中图分类号: P315.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)增刊-0568-07

0 引言

地震反演的基本目的是利用地震波在地下介质中的传播规律, 通过数据采集、处理与解释等流程, 推测地下岩层结构和物性参数的空间分布, 为勘探开发提供重要的依据 (何樵登, 1986; 何樵登等, 1991; 姚姚等, 1991; 殷八斤等, 1995)。

地震资料反演已经是一项较为成熟的技术, 它充分利用测井、钻井、地质等资料所提供的丰富的构造、层位、岩性等信息, 从常规的地震剖面推导出地下地层的波阻抗、密度、速度、孔隙度、渗透率、沙泥岩百分比和压力等信息。因此, 地震资料反演可以为地震沉积学研究提供更多、更精细的地层内部的资料与信息 (王正和, 2008)。

地震资料的精细处理、成像及解释技术的综合应用是进行地震资料解释所必备的技术手段。除了常规的处理、成像与解释技术之外, 在目前的地震沉积学研究中应用较多的技术有波阻抗反演、地震数据的相干分析和地震数据的瞬态参数 (振幅、频率和相位)。

波阻抗是岩石密度与地震波速度的乘积, 它所反映的是岩石的属性而不是界面的反射。它剔除了因包含子波所引起的复杂因素, 通过加入测井数据信息, 增加了比地震更多的信息, 是地震和测井数据集成的结果。它是岩石的特性, 与岩

石的属性如孔隙度、孔隙填充因子以及其它因子有密切关系, 可用以进行快速准确的相干体的解释。

弹性波阻抗反演改进了反射系数垂直入射假设的错误, 巧妙地将 AVO 问题和地震道反演相结合, 将地震道反演技术向前推进了一步。由弹性波阻抗反演数据体可获得纵、横波阻抗, 纵、横波速度, 纵、横波速度比, 密度和泊松比等多种参数, 比叠后反演具有明显的优越性, 能更可靠地揭示地下储层的展布情况和孔、渗物性及含油气性 (王九拴等, 2007)。

波阻抗反演是地震反演的一个重要组成部分, 由于波阻抗信息是联系地质和地球物理的一座桥梁, 叠后计算数据量相对要小, 在实际生产中应用方便而且效果明显。因此, 波阻抗反演在地震反演中具有特殊的地位。波阻抗作为岩石特性而非反射界面特性可以用来直接进行地质解释, 波阻抗资料与地震资料相比, 消除了调谐效应, 提高了分辨率 (周英等, 2001)。

地下不同介质形状不同, 波阻抗不同, 产生的反射波的振幅、相位、频率均相应产生变化, 地震剖面显示的反射波是其振幅、相位、频率等参数综合显示的实信号, 这样其中一个参数变化, 因受其它参数制约, 往往不会引起实信号的明显变化。因此, 通过变换, 将实信号转变为复信号, 并提取瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率 3 个参数,

^{*} 收稿日期: 2008-10-20.

形成几个参数相互独立的剖面, 可以更好地解释地震反射剖面。瞬时振幅波形反映了给定时刻反射信号的能量大小及能量衰减状况, 利用它可以推测地下介质的性质。瞬时相位波形反映地下介质相位的变化, 地下介质力学性质差异引起相位的变化, 因此利用它可推测地下介质的连续性。另外, 瞬时相位大小与反射波的振幅无关, 利用它可研究地下深层介质的性质。瞬时频率波形也反映了地下介质性质的变化, 利用它可推测地下介质的形状及性质 (张恩厚等, 2004)。

相干性表示地震道之间的相似程度。相干技术除了能突出数据体中的断层之外, 也能用于检测细微的地层非连续性, 突出地震相的横向变化以及反射终止。

“十五”期间, 全国有 20 多个城市进行了活断层探测与地震危险性评价工作, 在活断层探测中, 多数盆地覆盖层薄, 断裂埋深浅, 浅层地震勘探已能够探测基底断裂和断层上断点埋深。昆明盆地基底埋深比较深, 局部达到 1 200 m 以上, 因此进行了 2 000 m 深度内的中深层地震勘探。为了更好地解释、判断盆地内隐伏断裂的产状, 在常规解释的基础上, 还进行了地震剖面的特殊处理, 这对活断层的探测有较好的借鉴作用。本文主要叙述对昆明盆地中深层剖面的数据特殊处理和断层解释方法。地震测线位于盆地北部, 西起西山太华寺, 往东经官渡镇至果林水库 (杨润海等, 2008)。

1 地震剖面特殊处理

对昆明盆地 KM4 地震剖面的特殊处理工作主要采用针对断层及沉积地层较为敏感有效的波阻抗反演、层速度反演、瞬时相位、瞬时频率、瞬时振幅以及二维相干等几种手段。

1.1 波阻抗与层速度反演

利用地震剖面上各地层纵向及横向上层速度、密度的不同进行反演, 当各地层横向没有实测密度、层速度时, 密度由戈德勒公式计算, 层速度由速度谱计算。因此地震波阻抗反演实际上反映了地层纵向、横向速度和密度的变化规律。经地震波阻抗反演的 KM4 剖面 (图 1、2) 可预测地层

的岩性变化规律, 进行岩性分析。

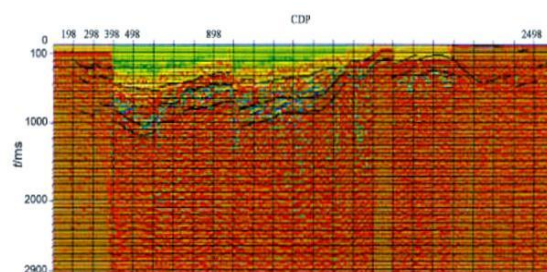


图 1 KM4 地震测线波阻抗反演图

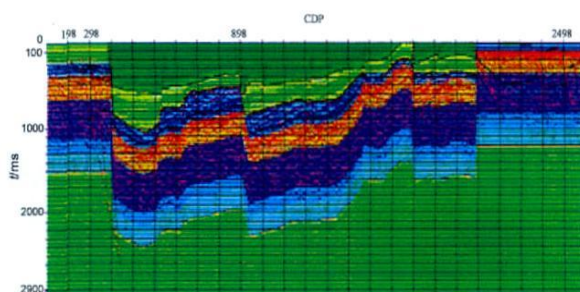


图 2 KM4 地震测线层速度反演图

1.2 瞬时相位

主要反映地震反射的几何形态。当某地层物性有所改变时, 其瞬时相位的几何形态也会有所改变, 据此可以验证断层的存在, 解释出断层 (图 3)。

1.3 瞬时频率

主要反映地震反射的频率变化。当地层物性有所改变时, 其瞬时频率也会随之而变为低频或高频, 一般当地层密度较小时表现为低频, 由此可分析地层的岩性变化情况 (图 4)。

1.4 瞬时振幅

主要反映地震反射的振幅变化, 当某地层物性有所改变时, 其瞬时振幅也会随之而有所改变, 如地层成岩性较低或断裂带附近振幅会相应变低, 据此可分析地质层位或断裂等 (图 5)。

1.5 二维相干剖面

二维相干剖面是根据地震反射波的波形、频率、振幅、反射能量等地震特征进行相邻点的相似性计算。不相干反映了地震剖面在横向上的差异, 一般代表断层发育或地层岩性突变。在 KM4 地震剖面所做的二维相干剖面上能够清楚看到各断层的存在 (图 6)。

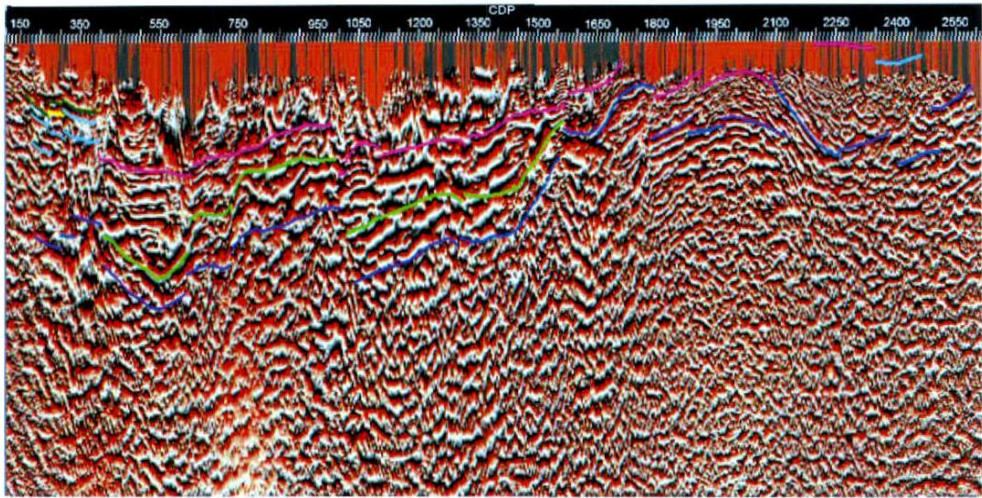


图 3 KM4 地震测线瞬时相位图

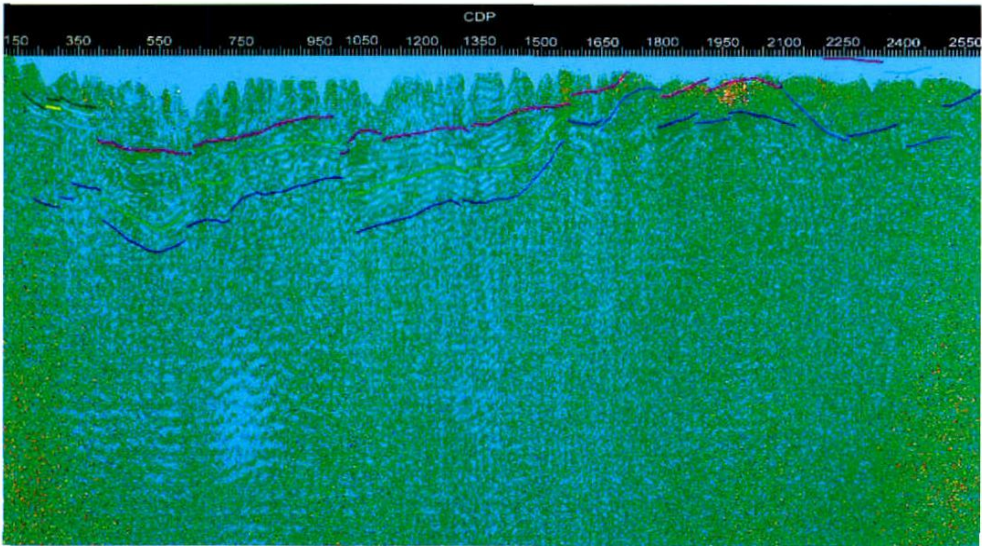


图 4 KM4 地震测线瞬时频率图

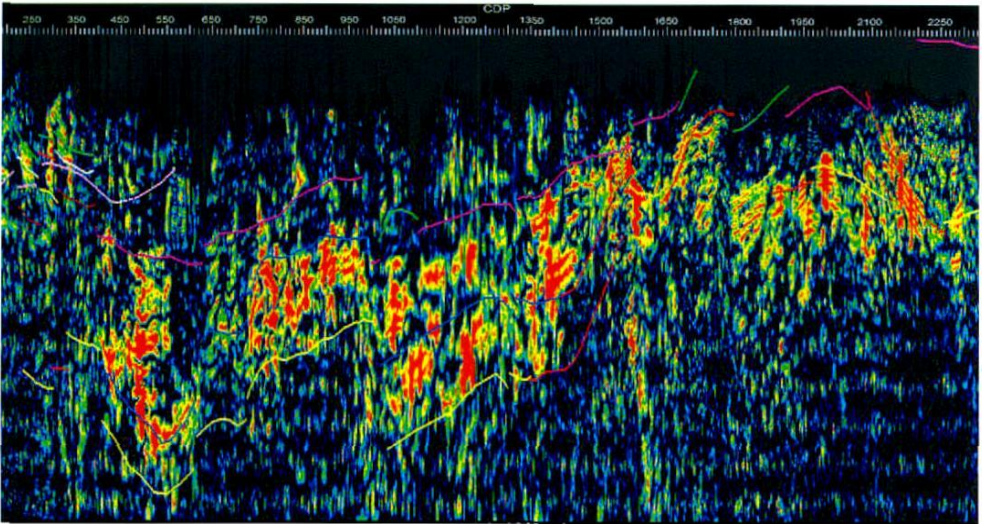


图 5 KM4 地震测线瞬时振幅图

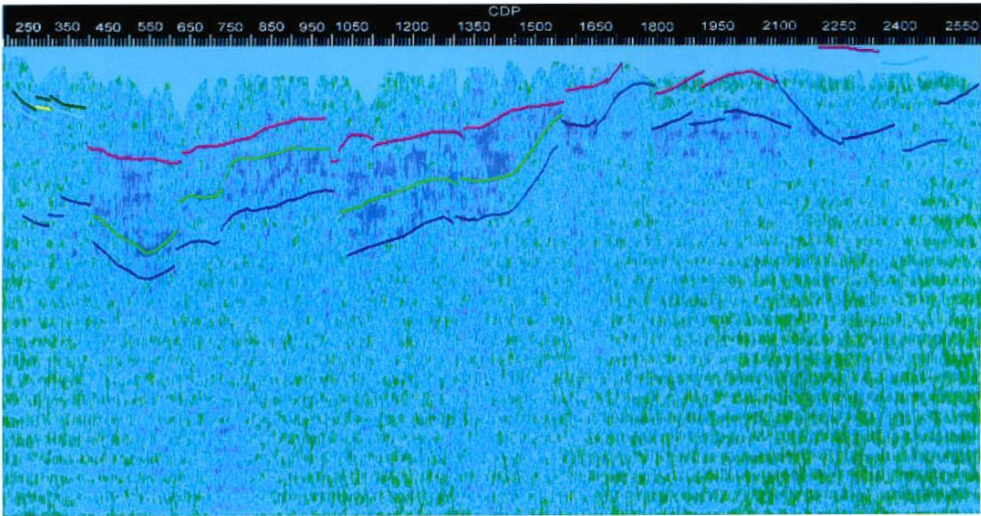


图 6 KM4地震测线二维相干图

2 断层解释

根据地震剖面（图 7）对比解释成果（同时测线附近已有钻井深度），采用分层平均速度曲线进行一深转换，得到各反射层的深度，绘制地质剖面地层界线，然后依据钻井地层岩性，波阻抗反演结果，层速度反演结果以及瞬时频率、瞬时相位、瞬时振幅、二维相干等对剖面作特殊处理（图 1~6），综合分析充填地质剖面各层岩性，完成综合地质解释剖面图的制作（图 8）。共解释出断层 19 条，其中较大的断层 13 条，断层性质有正有逆（表 1）。

经过分析认为：正断层一般为上新世以后由于拉张形成的断层，大的逆断层均为长期发育的老断层，分布在测线的两端。现就各断层的情况分别描述如下。

2.1 普渡河—西山断裂带（F₁）

普渡河—西山断裂带（F₁）在上部分为 3 支（F₁₋₁、F₁₋₂、F₁₋₃），3 支断裂向下延伸相聚于一条，最深至 11 395 m（图 7、8）。

F₁₋₁断层：位于昆明盆地西部，地震测线上 1010 桩号，地震剖面上该断层表现为反射波组错断，断面波清晰，瞬时相位剖面上反映为同相轴错位和扭曲不连续，瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续，二维相干剖面上表现为同相轴不相似。断层两盘出露岩性为二叠系玄武岩，为一逆断层，

表 1 KM4测线断层解释要素

| 序号 | 位置 (桩号) | 性质 | 向下延伸 /m | 反射层 | 断距 /m | 倾角 /([°]) |
|----|------------|----|------------|----------------|----------|-------------------------|
| 1 | 1010 | 逆 | 11 395 | T _c | 70 | 58 |
| | | | | T _D | 75 | |
| | | | | T _e | 80 | |
| | | | | T _z | 80 | |
| | | | | T _c | 25 | |
| 2 | 1032 | 逆 | | T _D | 25 | 67 |
| | | | | T _e | 25 | |
| | | | | T _z | 60 | |
| 3 | 1059 | 正 | | T _e | 330 | 71 |
| | | | | T _z | 200 | |
| | | | | T _N | 40 | |
| 4 | 1203 | 正 | 1 875 | T _e | 220 | 70 |
| | | | | T _z | 125 | |
| | | | | T _N | 145 | |
| 5 | 1381 | 正 | 3795 | T _e | 325 | 65 |
| | | | | T _z | 360 | |
| | | | | T _N | 30 | |
| 6 | 1549 | 正 | 1 495 | T _e | 30 | 63 |
| | | | | T _z | 30 | |
| | | | | T _e | 160 | |
| 7 | 1681 | 正 | 1 680 | T _z | 120 | 56 |
| | | | | T _e | 25 | |
| 8 | 1722 | 逆 | 893 | T _z | 60 | 41 |
| | | | | T _c | 60 | |
| 9 | 1782 | 逆 | 1 015 | T _z | 210 | 51 |
| | | | | T _e | 60 | |
| 10 | 1843 | 逆 | 667 | T _z | 70 | 36 |
| | | | | T _z | 255 | |
| 11 | 1920 | 逆 | 1 155 | T _z | 30 | 19 |
| | | | | T _z | 45 | |
| 12 | 1948 | 逆 | 780 | T _e | 125 | 43 |
| | | | | T _z | | |
| 13 | 2052 | 正 | 780 | T _e | | |
| | | | | T _z | | |

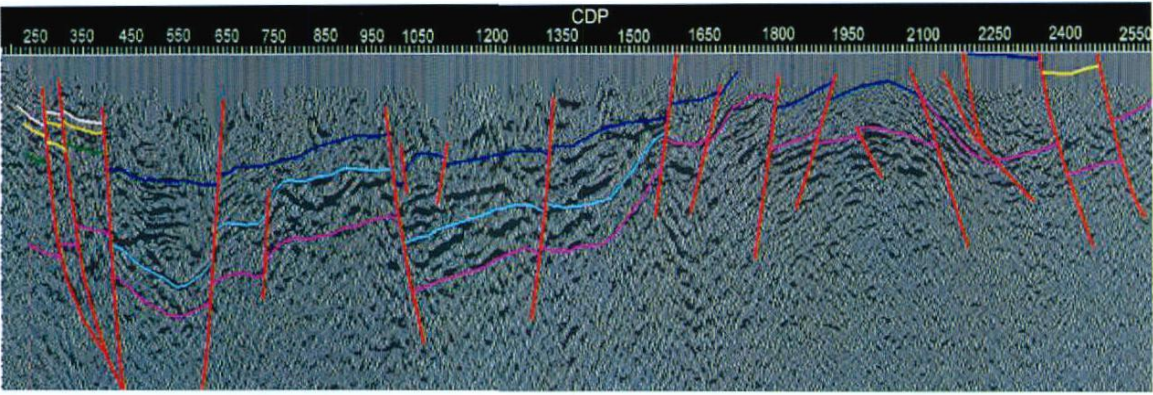


图7 KM4地震测线地震解释剖面

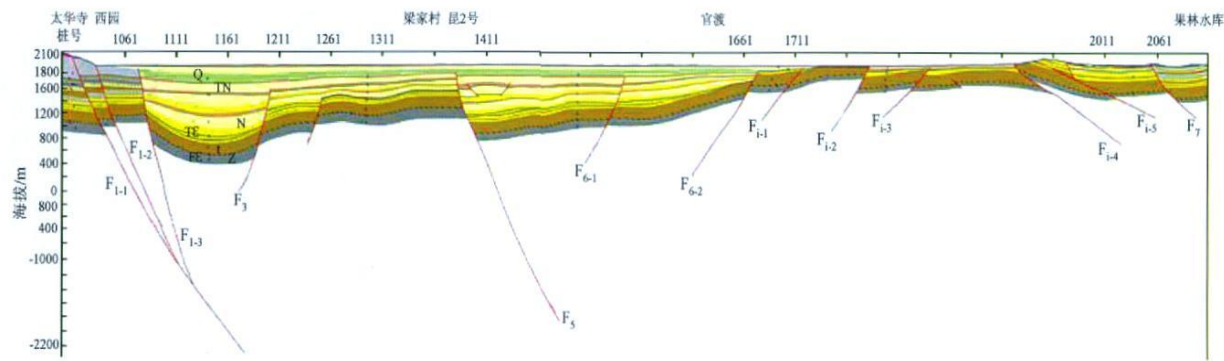


图8 KM4地震测线综合地质解释剖面

断面东倾，断开地层有二叠系、石炭系、泥盆系、寒武系、震旦系等，断层倾角 58° 。

F_{1-2} 断层：位于昆明盆地西部，地震测线上 1032 桩号，地震剖面上该断层表现为反射波组错断、断面波清晰，瞬时相位剖面上反映为同相轴错位、扭曲不连续，瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续，二维相干剖面上表现为同相轴不相似。断层两盘出露岩性为二叠系，为一逆断层，断面东倾，断开地层有二叠系、石炭系、泥盆系、寒武系、震旦系等，断层倾角 67° ，垂直断距约 60 m。

F_{1-3} 断层：位于昆明盆地西部草海，地震测线上 1059 桩号，地震剖面上该断层表现为反射波组错断、断面波清晰，瞬时相位剖面上反映为同相轴错位、扭曲不连续，瞬时频率剖面上表现为频率不一致，瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续，二维相干剖面上表现为同相轴不相似，波阻抗反演剖面上表现为波阻抗差异较大，层速度反演剖面上表现为断层两盘层速度差别较大，是昆明盆地的西部边界，形成于上新世，为正断层，断层上升盘出露为二叠系，下降盘出露为第四系，断

面东倾，断层倾角 71° ，垂直断距约 200 ~ 300 m。

2.2 普吉—韩家村断裂 (F_3)

位于民族村至大自然风情园之间之间，地震测线上 1203 桩号，地震剖面上该断层表现为反射波组明显错断、断面波清晰，瞬时相位剖面上反映为同相轴错位、扭曲不连续，瞬时频率剖面上表现为断层两盘频率不一致，瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续，二维相干剖面上表现为同相轴不相似，波阻抗反演剖面上表现为波阻抗差异较大，层速度反演剖面上表现为断层两盘层速度差别较大。 F_3 断裂控制了昆明盆地第三系的主要沉积凹陷，并向上终止于第四系底界，为一正断层，断面西倾，断开地层有寒武系、震旦系等，断层倾角 70° ，垂直断距约 40 ~ 220 m，断面向下延伸最深至 1 875 m。

2.3 盘龙江断裂 (F_5)

位于昆明盆地梁家村附近，地震测线上 1381 桩号，地震剖面上该断层表现为反射波组明显错断、断面波清晰，瞬时相位剖面上反映为同相轴错位、扭曲不连续，瞬时频率剖面上表现为断层

两盘频率不一致, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续, 二维相干剖面上表现为同相轴不相似, 波阻抗反演剖面上表现为波阻抗差异较大, 层速度反演剖面上表现为断层两盘层速度差别较大。F₅断裂控制了昆明盆地东部的一个沉积凹陷, 向上终止于第四系下部, 为一正断层, 断面东倾, 断开地层为第三系、寒武系、震旦系等, 断层倾角 65°, 垂直断距约 140 ~ 360 m, 向下断距明显增大, 断面向下延伸最深至 3 795 m, 具有同生性质, 是盆地中最大的正断层。

2.4 黑龙潭—官渡断裂 (F₆)

F₆₋₁断层: 位于昆明盆地梁家村至官渡之间, 地震测线上 1549 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组扭曲, 瞬时相位剖面上反映为同相轴杂乱、扭曲, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅连续性差, 二维相干剖面上表现为同相轴较乱, 断层向上终止于第四系中部, 为一正断层, 断面西倾, 断开地层为第三系、寒武系、震旦系等, 断层倾角 63°, 垂直断距约 30 m, 断面向下延伸最深至 1 495 m (图 7、8)。

F₆₋₂断层: 位于昆明盆地官渡附近, 地震测线上 1681 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组明显错断, 断面波清晰, 瞬时相位剖面上反映为同相轴错位、扭曲不连续, 瞬时频率剖面上表现为断层两盘频率不一致, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续, 二维相干剖面上表现为同相轴不相似, 波阻抗反演剖面上表现为波阻抗差异较大, 层速度反演剖面上表现为断层两盘层速度差别较大。该断层是昆明盆地第三系的沉积东部边界, 早期为逆断层, 上新世由于局部拉张形成一正断层, 断面西倾, 断层倾角 56°, 垂直断距约 120 m, 断面向下延伸最深至 1 680 m (图 7、8)。

2.5 基岩逆冲断层组 (F₇)

F₇₋₁断层: 位于昆明盆地官渡以东, 地震测线上 1722 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组明显错断, 瞬时相位剖面上反映为同相轴错位、扭曲不连续, 瞬时频率剖面上表现为断层两盘频率不一致, 二维相干剖面上表现为不相似该断层为逆断层, 断层地表被第四系覆盖, 断面西倾, 断开了寒武系、震旦系等地层, 断层倾角 41°, 垂直断距约 25 ~ 60 m, 断面向下延伸最深至 893 m。

F₇₋₂断层: 位于昆明盆地官渡以东, 地震测线上 1783 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组明显错断、断面波清晰, 瞬时相位剖面上反映断层为同相轴错断、不连续, 瞬时频率剖面上表现为断层两盘频率不一致, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续, 二维相干剖面上表现为地层不相似, 波阻抗反演剖面上表现为波阻抗差异较大, 层速度反演剖面上表现为断层两盘层速度差别较大, 为逆断层, 断层地表被第四系覆盖, 断面西倾, 断开了寒武系、震旦系等地层, 断层倾角 51°, 垂直断距约 210 m, 断面向下延伸最深至 1 015 m。

F₇₋₃断层: 位于昆明盆地官渡以东, 地震测线上 1843 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组错断, 瞬时相位剖面上反映断层为同相轴杂乱扭曲, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续, 二维相干剖面上表现为条带状不相似。该断层为逆断层, 断层地表被第四系覆盖, 断面西倾, 断开了寒武系、震旦系等地层, 断层倾角 36°, 垂直断距约 70 m, 断面向下延伸最深至 667 m。

F₇₋₄断层: 位于昆明盆地官渡以东与果林水库之间, 地震测线上 1920 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组明显错断且地层产状明显不一致、断面波清晰, 瞬时相位剖面上反映断层为同相轴不连续, 瞬时频率剖面上表现为断层两盘频率不一致, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续, 二维相干剖面上表现为地层不相似, 波阻抗反演剖面上表现为波阻抗差异较大, 层速度反演剖面上表现为断层两盘层速度差别较大。该断层为逆断层, 断层以西出露第四系, 断层以东出露寒武系, 断面西倾, 断开了寒武系、震旦系等地层, 断层倾角 26°, 垂直断距约 255 m, 是昆明盆地东部边界的重要断层, 断面向下延伸最深至 1 155 m (图 8)。

F₇₋₅断层: 位于昆明盆地官渡以东与果林水库之间, 地震测线上 1948 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组产状变化, 断面波明显, 瞬时相位剖面上反映断层为同相轴产状不一、不连续, 瞬时振幅剖面上表现为强振幅不连续, 二维相干剖面上表现为地层不相似。该断层为逆断层, 断层两盘出露均为寒武系, 断面西倾, 断开了寒武系、震旦系等地层, 断层倾角 19°, 垂直断距约

30 m 断面向下延伸最深至 780 m。

2.6 白邑—横冲断裂 (F_7)

位于昆明盆地官渡以东果林水库附近, 地震测线上 2052 桩号, 地震剖面上该断层表现为反射波组强弱有变化, 瞬时相位剖面上反映断层为同相轴扭曲、杂乱, 二维相干剖面上表现为反射层有条带状不相似, 为正断层, 断层西边为第四系覆盖, 断层以东出露泥盆系地层, 断面东倾, 断开了寒武系、震旦系等地层, 断层倾角 43° , 垂直断距约 45~125 m, 断面向下延伸最深至 780 m。

3 结论与讨论

根据地震剖面 and 剖面特殊处理结果判译, 断层是可靠的, 和前人工作结果基本一致。在 SN 向的主要断裂中, 普吉—王家堆断裂 (F_2) 未在剖面内; 长虫山断裂 (F_4) 在剖面内未有显示, 可能已经尖灭; 普渡河—西山断裂 (F_1) 主要有 3 个分支, 但控制盆地主要活动的是 F_{1-3} ; 盘龙江断裂 (F_5) 是一条重要的断裂, 前人因研究手段有

限, 对它有所忽略, 其实它是昆明盆地内一条十分重要的断裂; 黑龙潭—官渡断裂 (F_6) 具有两个明显分支, 这与浅层勘探结果一致。

参考文献:

- 何樵登, 熊维纲. 1991. 应用地球物理教程——地震勘探 [M]. 北京: 地质出版社.
- 何樵登. 1986. 地震勘探原理和方法 [M]. 北京: 地质出版社.
- 王九栓, 丁清香, 邵林海, 等. 2007. 弹性波阻抗反演技术的应用 [J]. 天然气工业, 27 (增刊 A): 434—436.
- 王正和. 2008. 地震沉积学研究所采用的地球物理技术 [J]. 内蒙古石油化工, (3): 23—25.
- 杨润海, 张建国, 解丽, 等. 2008. 昆明盆地中深层地震剖面地震资料解释 [J]. 地震研究, 31 (增刊): 564—567.
- 姚姚, 詹正彬, 钱绍湖. 1991. 地震勘探新技术与新方法 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 殷八斤, 曾灏, 杨在岩. 1995. AVO 技术的理论与实践 [M]. 北京: 石油工业出版社.
- 张恩厚, 陈前新. 2004. 瞬时振幅、瞬时相位、瞬时频率在地质雷达工程中的应用 [J]. 安徽地质, 14 (1): 58—60.
- 周英, 贝智敏, 张纪. 2001. 波阻抗数据的应用 [J]. 海洋石油, 114 (4): 10—15.

Process and Fault Interpretation for Reflection Exploring Data of Kunming Basin

YANG Run-hai ZHANG Jian-guo XIE Li ZHENG Ding-chang GUO Ruo-jin
ZHAO Jin-ming HU Xiong-lin LI Ji-gao LI Zheng-guang
(Earthquake Administration of Yunnan Province Kunming 650224 Yunnan China)

Abstract

We introduce special methods for processing the reflection exploring data of Kunming Basin wave resistance interval velocity instantaneous attributes and 2D coherence inversions which are effective to fault and sedimentary stratum. Based on these inversions, we give the main faults in Kunming Basin.

Key words: Kunming Basin; basement fault; seismic inversion