

冲绳海槽中部无井区速度场建立及应用

陈若瑜^{1,2}, 李琦¹, 胡俊杰¹, 邵威¹, 葛东升¹, 蔡峰², 闫桂京², 李清²

(1. 中国地质大学 海洋学院, 北京 100083; 2. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 速度场的建立是冲绳海槽中部深入研究所必需的技术资料。作者选取冲绳海槽中部无井深水区二维地震数据, 以数据处理过程中的叠加速度数据为原始速度, 通过建立双层模型和异常速度识别剔除, 采用 Dix 公式方法进行速度转换和沿层速度插值, 建立研究区速度场。从区域速度场问题建立宏观概念, 为冲绳海槽中部提供丰富可靠的速度资料, 变速成图得到的构造图件与地质认识相一致, 实现了由地震资料反映海底构造等地质信息的目的。

关键词: 冲绳海槽中部; 无井深水区; 速度场; Dix 公式法

中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)07-0069-06
doi: 10.11759/hyxx20140529001

地震波的速度是地震勘探中最重要的一个参数之一, 速度场是三维空间速度数据的集合体, 建立速度场就可以知道三维空间任一点的速度, 速度场研究对于地震勘探应用中时深转换、海底岩性和沉积构造综合解释等具有重要作用^[1]。

1 建立速度场的主要方法

目前获得地震波传播速度的方法主要有以下 5 种^[1-2]: (1)根据岩石样品在实验室内测定; (2)根据垂直地震剖面(VSP)测井得到层速度和平均速度; (3)通过声波测井获得层速度; (4)由准确的层位标定和钻井地质分层求取的伪平均速度; (5)通过地震资料处理时获得的叠加速度资料换算均方根速度、层速度和平均速度。

其中岩石样品测速、VSP 测井和声波测井所获得的速度精度高, 基本能反映地层的真实速度, 但由于在平面上受采样点和钻井位置的限制, 能获得速度资料的点一般较少。相反, 叠加速度资料则在平面上分布密度很大, 能够控制整个工区的速度变化。

目前国内、外速度场建立方法一般采用以下 3 种方法: (1)钻井 VSP 速度资料, 拟合得到综合速度, 再进行时深转换。此方法适合沉积稳定, 速度横向变化小的地区; (2)多个 VSP 速度资料, 采用不同插值方法建立速度场。适合于钻井较多的小范围工区; (3)利用地震处理过程中获取的地震叠加速度, 通过 Dix 公式得到层速度, 从而建立时深转换速度场。此法适合于叠加速度准确, 且构造相对简单, 地层平缓的地区^[3-4]。

2 冲绳海槽中部地层速度特征

2.1 地质背景

冲绳海槽位于东海东缘的欧亚大陆板块与西太平洋菲律宾海板块碰撞聚合带上, 是典型的“沟-弧-盆”弧后拉张盆地, 总体呈 NNE-NE-NEE(自北向南)走向, 引起国内外地质学家的广泛关注(图 1)^[5]。包括东海陆坡、冲绳海槽盆地、吐噶喇盆地和海槽东部火成岩隆起带等地貌单元。Nash 等^[6-7]最早对冲绳海槽东部的地震地层和构造进行详细的研究, 将冲绳海槽地层划分为 3 大层组: 前冲绳盆地层组(由前中新世沉积岩、火成岩等构成的声学基底)、冲绳盆地层组(上中新统一更新统裂谷盆地充填沉积)、冲绳海槽层组(更新统一全新统上超沉积层)。

2.2 地层速度数据前处理

冲绳海槽中部速度场对于多道地震资料的时深转换和研究区构造沉积分析至关重要。由于该地区没有钻井资料约束, 利用二维地震数据处理过程中获得的叠加速度数据, 建立双层模型并去除速度异常值, 为速度场建立奠定基础。

收稿日期: 2014-05-29; 修回日期: 2015-03-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41306062); 国土资源部天然气水合物重点实验室开放基金资助项目(SHW[2014]-DX-02, [2014]-DX-04); 国家海洋局海底科学重点实验室基金资助项目(KLSG1202)
作者简介: 陈若瑜(1989-), 女, 四川泸州人, 研究生, 主要从事海洋地质研究, E-mail: cry989525@163.com

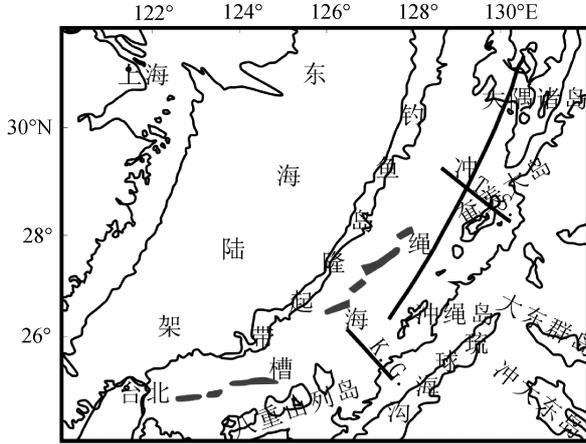


图 1 冲绳海槽地理-构造略图

Fig. 1 The frame of geography and tectonics of the Okinawa trough

2.2.1 方法

冲绳海槽中部缺少 VSP 以及其它测井资料, 能用于速度场建立的资料仅限于地震资料处理过程中获得的叠加速度, 选择 Dix 公式法建立冲绳海槽中部速度场。

Dix 公式法是一种快速简便的方法, 计算量小, 方便快捷, 便于实现。Dix 公式层速度计算方法在宏观上可以反映速度变化趋势, 具有数据分布较密、覆盖面积大的优势^[8-9]。可以对构造相对简单地区得到较高的解释精度。通过 Dix 公式^[10]求取层速度。

$$V_n = \left[\frac{t_{0,n} V_{\delta,n}^2 - t_{0,n-1} V_{\delta,n-1}^2}{t_{0,n} - t_{0,n-1}} \right]^{1/2}$$

式中, V_{δ} 为均方根速度; V_n 为层速度; t_0 为地震波双程旅行时间。

2.2.2 速度参数选择

为保证速度分析的科学性及其合理性, 在选择速度参数中建立了原始叠加速度数据库和 t_0 层为数据库。

地震速度处理过程获得的速度资料繁杂, 质量

参差不齐。首先对比所有速度资料, 选取其中质量较好, 能够反映地下真实地质情况的速度点, 建立原始叠加速度数据库。

在对研究区合理的层位标定和解释基础上, 选择地震剖面上反射能量强、连续性好的层位, 用于获得准确的 T-D 对数据。共选择了 4 个控制层, 建立 t_0 层面层位数据库。

2.2.3 双层模型的选择

地层速度的准确性直接决定深度预测的准确性和精度, 目前对地层速度的特征主要有 3 种观点: (1)深水区与浅水区地层速度没有本质区别^[11]; (2)深水区地层受上覆海水的压力作用很大, 同时代的等厚地层在深水区地层速度大^[11]; (3)海水深度越大, 地层速度越低^[12]。

综合研究发现, 处于陆架区的地层速度较高, 陆坡深水区地层速度偏低。相关学者^[13]提出采用双层模型法将海水层和沉积层剥离分析, 可以较好地消除海水对地层速度的影响。

研究区内第四纪沉积物主要为松软堆积物、半深海软泥沉积与浊流沉积。根据地层特点, 速度场建立时采用双层模型, 以去除海水层对沉积层速度的影响, 获得相对合理的叠加速度(表 1)。

2.2.4 速度异常值剔除

速度异常值的去除主要包括 3 个方面: (1)参考前人研究的冲绳海槽中部速度值范围, 去除明显的速度异常值; (2)速度是点与周围介质特性的平均反映, 并非该点地层变化规律的真实反映。因此, 在地层岩性组合相同、沉积环境类似的地震测线上, 相邻速度具有一定的相似或渐变^[14]。对比分析相邻测线位置的速度值, 结合剖面解释, 编辑和去除异常速度; (3)利用初步处理的数据生成三维点状速度场, 发现并去除明显为负值的异常点, 图中圈出海底面之上的点, 可能与测线反向有关。统一剔除此类由采集系统或处理过程产生的异常值(图 2)。

表 1 速度资料统一格式表

Tab.1 The unified speed data

X(经度)	Y(纬度)	炮点号	双程时间(ms)	VEL_RMS(m/s)	去除海水速度(m/s)
126X	28Y	100	959.6	1489.5	-10.5
126X	28Y	100	1103.8	1733	233
126X	28Y	100	1237	1742.4	242.4
126X	28Y	100	1481.7	1817.3	317.3
126X	28Y	100	1750.9	1962.5	462.5
126X	28Y	100	2376.4	2179.6	679.6
126X	28Y	100	3423.7	2686.3	1186.3

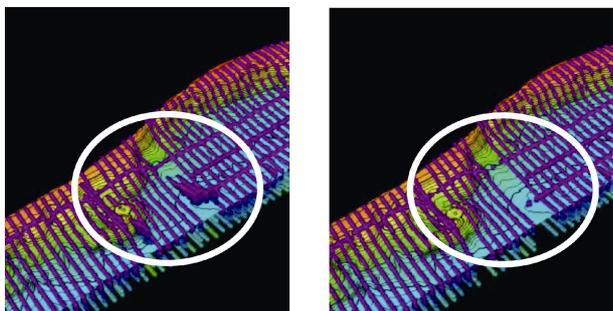


图 2 冲绳海槽中部速度异常值去除前后比较图

Fig. 2 Comparison before and after of Velocity anomaly in the middle Okinawa Trough

3 速度场建立与应用

在获得的地层速度数据基础上, 选择 Dix 公式建立研究区速度场。基本流程见图 3。

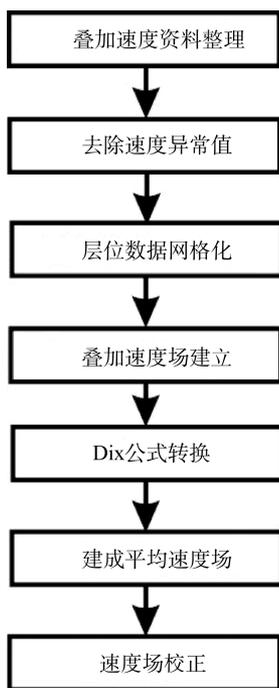


图 3 三维速度场建立流程图

Fig. 3 Major process for establishment of 3-D velocity field

3.1 速度场建立

建立速度场可利用 4 种数据类型: (1) DBS(数据库)时深表; (2)ASCII 文件输入时深函数; (3)ASCII 文件输入平均速度或 RMS 速度或层速度函数; (4)数学方程计算的速度。

作者输入 ASCII 文件层速度函数建立速度场,

进行层位数据网格化、三维工区建立和导入数据生成速度场。其中, 层位数据网格化后需观察各层是否有串层现象; 工区建立时控制速度场范围与工区相匹配(图 4)。

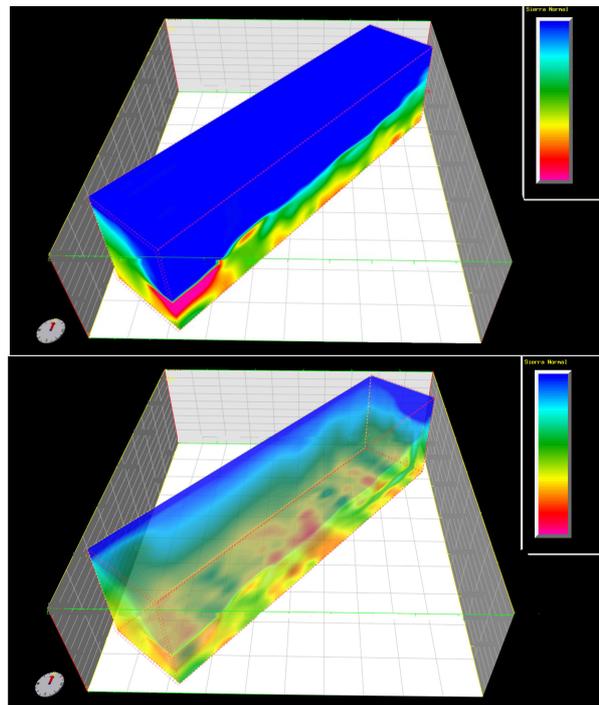


图 4 冲绳海槽中部三维速度场

Fig. 4 The three dimensional velocity field in the middle Okinawa Trough

正对该地区特点, 以叠加速度为原始资料, 用双层模型去除海水影响, 剔除速度异常点后, 采用 Dix 公式法建立冲绳海槽无井深水区速度场, 可以得到较为可靠的宏观速度分布规律。通过利用已解释的层位数据的控制和约束(图 5), 表明该速度场能客观反映冲绳海槽地下地层较为真实的地质情况^[15]。

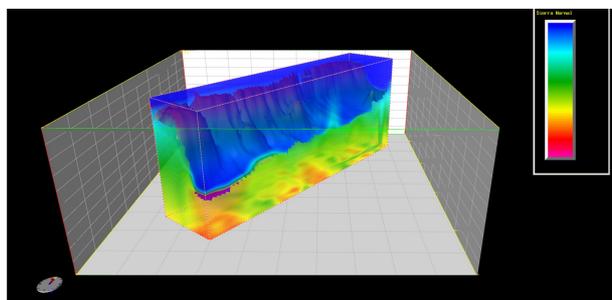


图 5 冲绳海槽中部解释层位约束层速度

Fig. 5 The explained horizon constraint velocity in the middle Okinawa Trough

3.2 变速成图

有了研究区的速度场资料, 利用变速成图方法, 根据深度计算公式:

$$H = \frac{tv}{2}$$

式中: H 为深度; t 为双层时间; v 为速度。

可对时间域等 t_0 图进行时深转换获得深度构造图, 以反映研究区地下深度域的构造形态。

时深转换, 把网格数据、层位、断层、地震道从时间域转换到深度域。有以下 3 种方法: (1) 直接进行时深转换; (2) 通过速度场关联到地震数据, 沿层提取速度, 然后进行层位计算, 完成时深转换; (3) 直接沿层提取速度, 关联地震数据, 再进行层位计算, 完成时深转换。具体采用的是第一种方法, 直接进行转换^[17]。

根据地震剖面解释的断层和层位为基础, 导出断层多边形数据和层位数据, 绘制时间域 t_0 图(图 6a)。需要注意的是, 在绘制成果图件时, 网格化间距、平滑系数和等值线间距都尽可能的小, 以突出对微幅度构造的精细刻画^[18]。

利用速度场对时间域 t_0 数据进行时深转换, 可以得到相对应的深度构造图(图 6b)。

从图 6 a、b 两图可看出, 冲绳海槽中部构造比较简单, 北西高南东低, 主要构造为南东向的正断层和岩浆侵入体, 地层整体从北西向南东增厚, 中部为鞍部。通过对比分析, 可看出同一位置的构造形态有所差异, 如在下部隆起部位, 从深度构造图可看出, 是存在 3 个高点, 而时间域 t_0 图则相对粗糙, 只呈现两个高点。

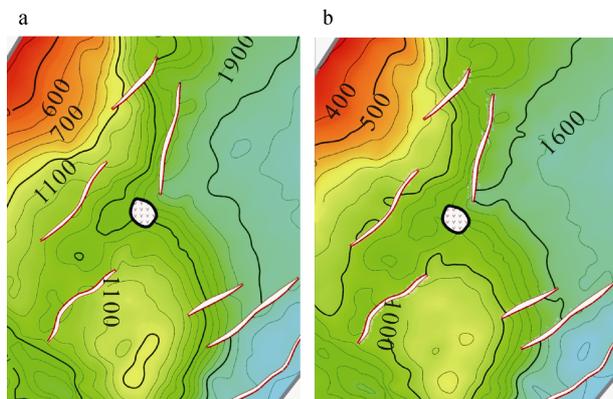


图 6 冲绳海槽中部变速成图

Fig.6 Variable velocity mapping in the middle Okinawa Trough
a. 时间域 t_0 ; b. 深度构造
a. Time domain t_0 figure, b. Depth structure figure

海底深度、地层岩性与厚度以及压实作用等在大陆坡上的差异性所引起的速度变化都会使得同一类图件因为处理方式的不同而表现有所差异, 通过变速成图获得的深度构造图对海底形态的呈现更加精准, 相比于时间域 t_0 图, 深度构造图能更加真实的反映海底构造的形态, 从而提高了海底勘探精度。

3.3 速度场资料的地质含义

速度场是由每一时刻、每一点上的速度矢量组成的物理场。

速度场可以提供丰富的速度基础信息。从三维速度场数据体可提取叠加速度、平均速度、层速度等多种速度参数, 可沿层(等 t_0 图)提取各反射层的叠加速度、平均速度、层速度等, 根据需要还可以提取任意点、任意测线的速度分析曲线。

下式可求每个网格点上每层的层速度^[16]:

$$V_{int,n} = \frac{d_n - d_{n-1}}{t_{mig,n} - t_{mig,n-1}}$$

式中: d 为深度; t 为偏移时间。

下图为上、下两层速度平面图(图 7)。

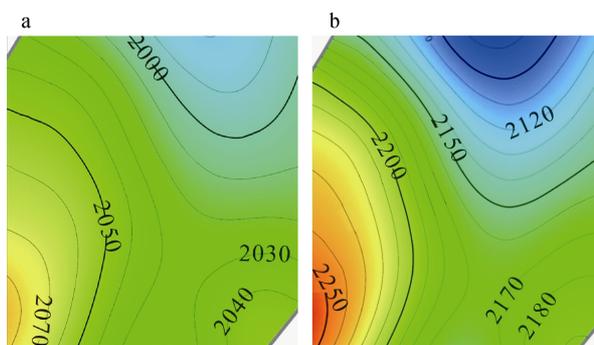


图 7 冲绳海槽中部层速度图

Fig. 7 Layer velocity figure in the middle Okinawa Trough
a. 上层速度; b. 下层层速度
a. the layers of speed; b. under the layers of speed

对速度场数据体的深入分析, 可以了解研究区速度场宏观上的变化规律, 并进一步解释其地质含义。冲绳海槽中部地区速度场具有纵向上和横向上的规律变化:

(1) 纵向上由浅到深, 速度随地层埋深增加逐渐增大。浅层速度变化幅度较小(T_1^2 反射层平均速度反射层: 1 850~1 930 m/s, 幅度 80 m/s), 深层速度变换幅度较大(T_1^0 反射层平均速度 2 080~2 270 m/s, 幅度 190 m/s), 结合地质特点分析可能与浅地层相对较平缓, 而深地层相对较陡有关。

(2) 横向上速度表现主要受构造形态(构造埋深和演化)的控制, 同时还受岩性、地层压实及流体作用等多因素综合影响。构造低部位的地层由于年代比周围地层新, 层速度小于周围的地层, 在层速度剖面上表现为一个“凹陷”, 同样的构造高部位地层的层速度, 大于周围地层的速度, 在层速度剖面上表现为一个“凸起”^[2]。

4 结论

以 Dix 公式法为基础, 对多道地震数据处理中的叠加速度综合处理, 结合双层模型约束, 首次建立了冲绳海槽中部无井深水速度场。

利用建立的速度场数据体提取层速度平面图, 了解冲绳海槽中部地区速度场具有纵向上和横向上的规律变化; 变速成图得到的构造图件与地质认识相一致, 实现了由地震资料反映海底构造等地质信息的目的。

致谢: 本文得到中国地质调查局青岛海洋地质研究所雷宝华和骆迪博士后的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。也感谢稿件审阅人提出的宝贵意见。

参考文献:

- [1] 张建华. 柴达木盆地欧南凹陷速度场的建立及应用[J]. 甘肃科技, 2013, 29(3): 47-49.
- [2] 李丽贤, 马玉春, 孙潜茹. 塔里木盆地孔雀河地区速度场建立及应用探讨[J]. 中国西部油气地质, 2006, 2(3): 317-320.
- [3] 万欢, 逢建东, 杨平华, 等. 海洋复杂陆坡深水速度场建立方法探讨[J]. 物探化探计算技术, 2012, 34(1): 1-7.
- [4] 王楠. 沾车地区速度场的建立及应用[J]. 油气地球物理, 2010, 8(4): 15-18.
- [5] 黄朋, 李安春, 蒋恒毅. 冲绳海槽北、中段火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(6): 1703-1712.
- [6] Nash D F. The geological development of the north Okinawa Trough area from Neogene to Recent[J]. J Jpn Assoc Petrol Technol, 1979, 44: 109-119.
- [7] 傅命佐. 冲绳海槽构造地貌发育模式研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2005: 67-68.
- [8] Sava P, Biondi B. Diffraction-focusing migration velocity analysis[J]. Expanded Abstracts of 74th Annual International SEG Meeting, 2004: 2389-2395.
- [9] 罗琛. 辽河东部地区速度场分析及应用[D]. 湖北荆州: 长江大学, 2012.
- [10] 谢里夫 R E, 吉尔达特 L P. 勘探地震学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [11] 李伍志, 王璞珺, 张功成. 珠江口盆地深部基底地层的地震时深转换研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 449-456.
- [12] 何敏, 朱明, 汪瑞良. 白云深水崎岖海底区时深转换方法探讨[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 966-971.
- [13] 逢建东, 李三福, 贾存富, 等. 海洋深水速度规律及速度场建立——以白云凹陷为例[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(5): 50-53.
- [14] 韩宏伟, 崔红庄, 赵海华, 等. 三维速度场建立方法[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 54-61.
- [15] 何际平, 鲁烈琴, 王红旗, 等. 复杂地区速度场建立与变速构造图方法研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1), 167-172.
- [16] 马海珍, 雍学善, 杨午阳, 等. 地震速度场建立与变速构造图的一种方法[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(1): 53-59.
- [17] 芦安贵, 潘和平. NP 凹陷速度场建立与应用[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(6): 584-588.
- [18] 王建蕊, 胡刚, 李友江. 三维速度场的建立及其在层位标定中的应用[J]. 中国石油勘探, 2012, 3: 4-51.
- [19] Herman B N, Anderson R N, Truchan M. Extensional tectonics in the Okinawa Trough Am Assoc Petrol[J]. Geol Mem, 1978, 29: 199-208.
- [20] Lee C S, Shor G G, Bibee L D, et al. Okinawa Trough: Origin of a back-arc basin[J]. Marine Geology, 1980, 35: 219-241.
- [21] 刘彦军, 刘喜武, 刘大锰, 等. 地球物理技术在天然气水合物分布区预测中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(5): 566-573.
- [22] 汪功怀, 秦广胜, 蔡其新. 东濮凹陷地震速度场建立方法与应用研究[J]. 中国石油勘探, 2011, 2: 58-66.
- [23] 李丰渝, 张军, 冯兆伟, 等. DepthTeam Express 速度场建立在无井区的应用[J]. 内江科技, 2012, 7: 136-152.

Establish and application of the velocity field in the middle Okinawa Trough of Non-well area

CHEN Ruo-yu^{1, 2}, LI Qi¹, HU Jun-jie¹, SHAO Wei¹, GE Dong-sheng¹, CAI Feng², YAN Gui-jing², LI Qing²

(1. China University of Geosciences, Beijing, Institute of Marine, Beijing 100083; 2. Qingdao Research Institute of Marine Geology, Qingdao 266071)

Received: May, 29, 2014

Key words: the middle Okinawa Trough; non well deep-water; the velocity field ; DIX formula method

Abstract: Establishing the velocity field is necessary for in-depth study of the central Okinawa Trough. In this paper, two-dimensional seismic data of the no-well deep-water area in the middle Okinawa Trough were selected for the study. The stacking velocity data during processing of seismic data were obtained as the raw velocity data. By establishing the layer model and exception speed identification removal, using the Dix formula approach speed conversion and interpolation along the velocity, the velocity field was established in the study area. The establishment of the velocity field from the macro-regional concept, provides speed information for the central Okinawa trough. By completing the variable velocity mapping, it uses geological information to reflect the subsea construction.

(本文编辑: 谭雪静)