

文章编号: 1001—1749(2011)01—0040—05

分时窗多子波方法在制作高精度合成记录中地应用

李金磊, 屈大鹏, 陈祖庆

(中国石化勘探南方分公司 勘探研究院, 四川 成都 610041)

摘 要: 人工合成地震记录, 在地震资料的解释和储层预测中起着重要的作用。通过对地震子波时变和空变特点的剖析, 阐述了划分分时窗的必要性, 进而结合合成地震记录的制作原理和方法, 提出了综合利用雷克子波和井旁地震道提取子波, 并进行分时窗制作高精度合成地震记录的一般方法。最后将该方法应用于实例, 得到的合成记录不仅与实际地震剖面吻合较好, 而且分辨率也较高。

关键词: 地震子波; 分时窗; 合成记录; 高精度; 分辨率
中图分类号: P 631.4⁺43 **文献标识码:** A

0 前言

制作合成记录是构造解释和储层分析中最基础的工作, 同时也是连接地震、地质和测井工作的桥梁^[1~3]。合成记录的精度将直接影响到地震地质层位标定的准确性, 因此, 提高合成记录的精度, 就成了层位标定的首要问题。

作为合成记录的二大要素: 反射系数系列和地震子波。利用密度曲线和声波时差曲线联合计算反射系数, 已经大大的提高了反射系数的精度^[4]。然而地震子波在传播的过程中, 由于地层的吸收效应, 在时间和空间上均在不断地变化, 所以难以给得恰到好处。近年来提出了各种各样子波的提取与估算方法^[5~10], 以求得与实际的地震子波更加接近的地震子波。另外在实际的工作中, 考虑到大地的吸收作用, 对于陆相地层和海相地层, 分别采用单时窗下 Ricker 子波的标定, 但是这样难于获得一个完整精确的时深关系。此外, 由于单一 Ricker 子波的局限性, 在深层海相制作合成记录的分辨率较低, 不能够很好地反映出波组的特征。

作者在本文中, 首先介绍了合成地震记录制作的原理, 然后详细分析了地震子波以及地震子波时变与空变的特点, 进而提出了综合利用雷克子波和

井旁地震道提取子波, 进行分时窗制作高精度合成地震记录的方法。最后将此方法应用于实际井的层位标定中, 其结果不但与实际地震剖面吻合较好, 而且分辨率也较高。

1 合成地震记录制作的原理

合成地震记录的制作较为简单, 其过程实际上就是一维模型的计算过程, 目前, 主要是根据 Robinson 的褶积模型来计算的, 即

$$F(t) = S(t) * R(t) \tag{1}$$

式中 $F(t)$ 为合成记录; $S(t)$ 为地震子波; $R(t)$ 为反射系数。

在制作过程中, 主要包括以下几个步骤:

(1) 先利用声波测井曲线和密度测井曲线, 得到波阻抗曲线, 然后再由波阻抗曲线得到反射系数序列:

$$A = \rho_2 v_2 - \rho_1 v_1 \tag{2}$$

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \tag{3}$$

式中 A 为波阻抗; ρ_1 、 v_1 分别为界面上层的密度与速度; ρ_2 、 v_2 分别为界面下层的密度与速度。

(2) 通过理论子波或者各种子波提取技术, 得到地震子波 $S(t)$ 。

(3) 将测井反射系数序列 R 与地震子波 $S(t)$ 褶积得到合成地震记录 $F(t)$ 。

(4) 将合成地震记录 $F(t)$ 与井旁地震道对比, 进行地震反射同相轴的地质层位标定。

2 地震子波以及分时窗多子波制作高精度合成地震记录的方法

2.1 地震子波

一般认为, 地震炸药震源激发时所产生的地震波, 仅是一个延续时间极短的尖脉冲。随着尖脉冲在黏弹性介质中传播, 尖脉冲的高频成份很快衰减, 波形随之加宽, 便形成了地震子波^[5]。根据 Futterman 研究的大地对地震波的吸收, 以及频散作用原理, 在均匀吸收介质中, 传播的平面波的振幅方程为:

$$A = A_0 * e^{-\alpha * r} * w(t) \quad (4)$$

式中 A_0 为初始振幅; r 为传播距离; α 为吸收系数; $W(t)$ 为波动函数。

从式 (4) 中可以看出, 振幅随着距离的增大呈指数衰弱。

另外根据波的色散, 不同频率的波在地层中的传播速度是不同的。高频的波传播速度快, 走在波的前头, 但几乎被吸收; 低频的波传播速度慢, 从而形成延迟起跳的波形。因此, 波的色散造成了子波相位谱的改变和起跳的延迟^[11]。

(1) 首先, 由速度的色散变化公式得到某一频率 f 的波的速度 $V(f)$ 为:

$$V(f) = V(f_c) [1 + \ln(f/f_c) / (\pi Q)] \quad (5)$$

式中 f_c 为临界频率或参考频率, 通常采用 $f_c = 30 \text{ kHz}$; Q 为地层吸收因子。

(2) 然后, 可以根据在同一个距离上观测子波的原则, 求得不同频率分量的时间 t_f :

$$v(f) t_f = v(f_c) t_c \quad (6)$$

由于 t_c 是在临界频率下速度所走的时间, 因此相应的时间滞后量为: $\Delta\tau = t_f - t_c$ 。时间延迟量 $\Delta\tau$ 除以周期, 便可得到延迟相位角。

基于以上理论和分析, 可知地震子波在传播过程中, 伴随着地层的吸收作用, 不仅改变了子波的振幅谱和相位谱, 而且随着传播时间的增加, 子波的高频成份逐渐减少, 延续度加长, 出现了子波的延迟效应, 因此地震子波是一个时变子波。

2.2 分时窗多子波制作高精度合成地震记录的一般方法

既然地震子波在传播的过程中, 相位、振幅均发生了变化, 而且还出现了时间上的延迟, 因此对

应于不同的目的层来说, 子波的变化量是不一样的。此时, 针对目的层划分不同的时窗和采用不同的地震子波, 就显得很有必要了。

结合合成地震记录制作的过程, 下面给出分时窗多子波制作高精度合成记录的一般方法。

(1) 对所研究工区的地震资料进行频谱分析, 确定地震资料的主频, 并将其作为选用理论子波的主频。

(2) 结合工区的实际地质情况, 参照标志层建立第一个时间分界点 T_0 (在本文中以海陆相分界点须家河底 T_{3x1} 作为标志层)。

(3) 时间分界点 T_0 将整个合成记录划分为二个时窗, 在上、下二个时窗内选用理论子波, 或者在时窗内从井旁地震道提取地震子波, 生成初始合成记录。然后, 在各个时窗内针对目的层段, 计算合成记录与井旁地震道之间的相关系数, 同时也可得到地震子波的时间延迟量和相位变化量。参照该值调整子波的时间延迟和相位参数, 可使合成记录与井旁地震道达到相对最佳匹配。

(4) 观察整个合成记录与井旁地震道的匹配程度, 如果匹配不佳, 可尝试更换子波, 或者在大套波组整体特征不匹配的起始时间点, 建立一个新的时间分界点。

(5) 依次类推, 按照步骤 (3) 和步骤 (4) 中的方法, 进行时窗的进一步划分和子波的调整, 使合成记录与井旁地震道达到最大相关。在一般情况下, 目的层段与井旁地震道之间的相关系数达到 0.65 以上即可。

在通常情况下, 子波的长度以 100 ms 左右为宜^[12]。在提取井旁地震道子波时, 时窗长度应为子波长度的三倍以上, 可降低子波抖动, 保持其稳定性。此外时窗的顶、底尽可能放在目的层相对稳定的地方, 以减少复杂地质现象对子波的影响^[13]。另外, 在时窗与时窗之间尽可能地间隔一个最小的平滑区域, 其间隔值可根据时窗的顶、底位置以及具体使用的软件而定。

3 应用效果分析

应用以上方法, 作者在 YB 地区选取了若干井进行层位的标定。用 yb204 井为例, 以须家河底 T_{3x1} 作为标志层, 整个合成记录的时间范围为 (0 ms ~ 3 000 ms)。首先通过声波曲线和密度曲线获得反射系数系列, 然后按照分时窗多子波制作高精度合成记录的制作方法, 在各个时窗下, 进行针对目的层的合成地震记录的制作和匹配调整。

图 1 (a) 为单时窗下 Ricker 子波合成的地震记录与图 1 (b) 为分时窗下 Ricker 子波合成的地震记录的对比图 (陆相部份)。

图 2 (a) 为分时窗下 Ricker 子波合成的地震记录与图 2 (b) 为分时窗下井旁地震道提取子波合成的地震记录的对比图 (海相部份)。

从图 1 (a) 中可以发现, 在 1 650 m 到 2 140 m 之间 (上沙溪庙组到须家河组须三段), 单时窗下 Ricker 子波合成的地震记录的强相位与地震剖面的强相位相差半个相位, 吻合较差; 而图 1 (b) 中分时窗下 Ricker 子波合成的地震记录与地震剖面在此处吻合较好。

在 YB 地区陆相主要沉积为砂岩和泥岩, 海相为灰质岩。一般来说, 砂岩对地震波的吸收较大; 而灰质岩吸收较小; 泥岩介乎二者之间。另外, 也有研究表明, 振幅越强, 岩石对地震波的吸收也就

越大^[13]。因此, 在浅层陆相出现了较大的时间延迟。

在制作的过程中:

(1) 首先选择 T_{3x1} 作为参考标志层 (2 400 m s), 建立了第一个时间分界点, 将整个合成记录分为 [0 m s~ 2 400 m s] 和 [2 400 m s~ 3 000 m s] 二个时窗。

(2) 然后参照 2.2 节中的方法, 在 2 140 m s 处建立了第二个时间分界点, 将时窗 [0 m s~ 2 400 m s] 又划分为 [0 m s~ 2 140 m s] 和 [2 140 m s~ 2 400 m s] 二个时窗。

(3) 最后针对各个目的层各个时窗, 对地震子波的各项参数进行调整, 从而使合成记录与井旁地震道达到最大相关。

另外, 在图 2 中可以明显地发现, 分时窗下采用井旁地震道提取子波的合成地震记录 (见图 2 (a)), 要比分时窗下 Ricker 子波的合成地震记录

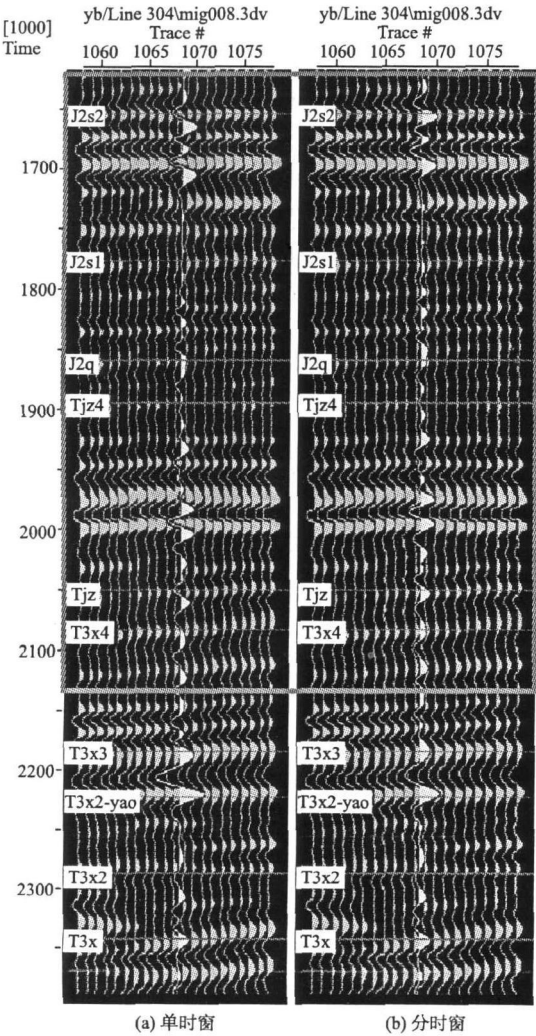


图 1 单时窗与分时窗下 Ricker 子波合成记录对比图
Fig 1 Synthetic seismogram comparison between single time window and divided time window using the Ricker wavelet

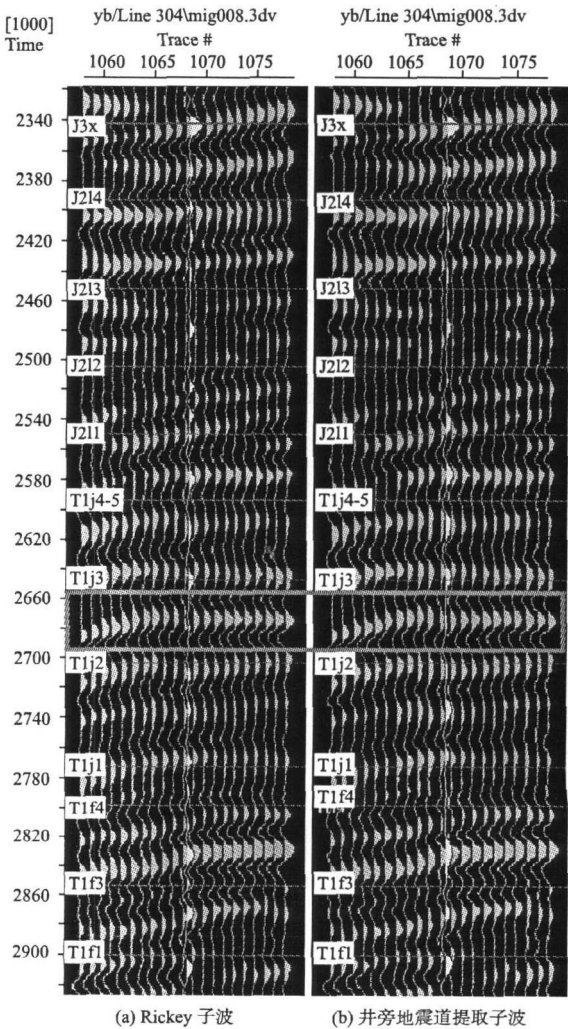


图 2 分时窗下不同子波合成记录对比图
Fig 2 Different wavelet synthetic seismogram comparison under the divided time window

(图 2(b)) 的分辨率高出许多。并且在 2 680 ms 左右(方框标示)能够分别出清晰的相位, 这一点在 Ricker子波合成地震记录上却没有显示。

综合图 1和图 2中的优点, 在该井的合成记录标定中, 采用了在分时窗下陆相部份采用 Ricker子波, 在海相部份采用井旁地震道提取子波来综合

标定。通过对各个时窗内地震子波参数的调整, 最终在各个时窗下的地震子波形态如图 3所示(该井各个时窗的顶、底均在目的层相对稳定的地方, 时窗之间没有设间隔值)。最后得到的合成地震记录(见图 4)不仅与地震剖面(见图 5)吻合较好, 而且分辨率也较高。

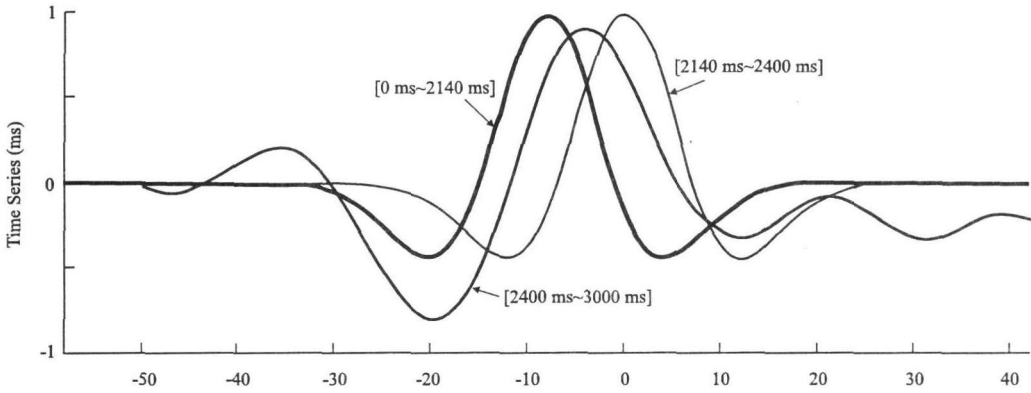


图 3 各时窗下的地震子波

Fig 3 Seismic wavelet of each time window

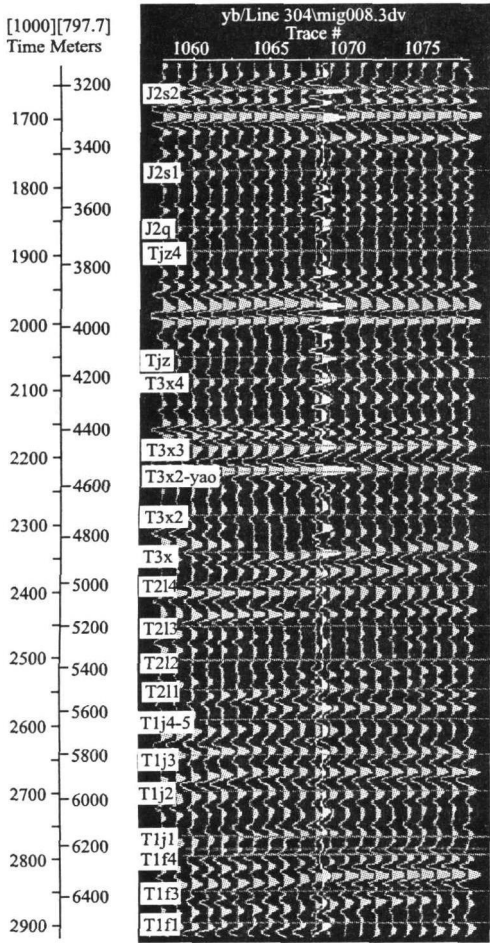


图 4 分时窗多子波方法制作的合成地震记录

Fig 4 Synthetic seismograms produced by the divided time window and multi-wavelet method

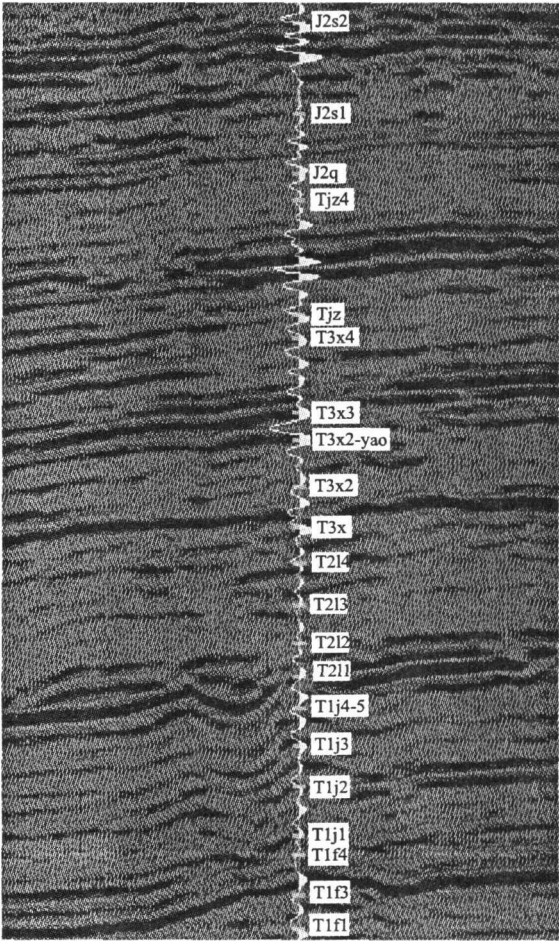


图 5 过 yb204井地震剖面

Fig 5 Seismic profile through the well yb204

作者采用该方法,还对该地区的 YB1、YB2、YB3、YB4、YB5、YB9、YB11、YB12、YB22、YB204等直井和 YB1-C斜井,以及其它地区的 M101、CK1井制作了地震合成记录,都取得了很好的效果。

4 结论

从分辨率和与地震剖面吻合程度这二点来看,分时窗下综合利用 Ricker子波和井旁地震道提取子波制作的合成地震记录的综合特性,比分时窗下单一 Ricker子波的合成地震记录和单时窗下制作的合成地震记录普遍要好。此外采用该方法还可以获得一个完整精确的时深关系。

不过作者在本文中,只是给出了分时窗下利用多种子波制作合成地震记录的一般方法,具体的情况还需要具体的分析。尤其是在时窗的划分和子波的选择上,要进行多次尝试,并对工区的地质条件,尤其是对地层情况应该有较准确的掌握,这样才能通过合成地震记录对地质层位进行准确的标定。

参考文献:

[1] 靳玲,苏桂芝,刘桂兰,等.合成地震记录制作的影响因素及对策[J].石油物探,2004 43(3): 267.
[2] 陈广军.合成地震记录制作与标定中的争论及注意的问题[J].西安石油学院学报,2002 17(4): 19.

[3] 石玉.塔河油田合成地震记录的制作和应用[J].石油物探,2004 43(4): 400
[4] 张学东,李子锋,黄伟传,等.准中地区高精度合成地震记录的制作[J].新疆地质,2004 22(3): 332
[5] 杨培杰,印兴耀.地震子波提取方法综述[J].石油地球物理勘探,2008 43(1): 123
[6] 赵秋亮,李录明,罗省贤.基于分形方法的地震子波提取及应用[J].石油物探,2005 44(1): 7.
[7] 张广智,刘洪,印兴耀.井旁道地震子波精细提取方法[J].石油地球物理勘探,2005 40(2): 158
[8] 孙成禹.空变地震子波提取方法研究[J].石油大学学报(自然科学版),2000 24(1): 77.
[9] 刘金俊,王修田,徐世浙,等.基于子波相位谱扫描法的子波求取方法[J].海洋科学,2000 24(6): 4
[10] 李鲲鹏,李衍达,张学工,等.基于谱模拟技术的混合相位地震子波估计方法[J].石油物探,2001 40(2): 21.
[11] 张海燕,李庆忠.几种常用解析子波的特性分析[J].石油地球物理勘探,2007 42(6): 651.
[12] 方小东.复杂地质条件合成地震记录的分类标定方法[J].中国海上油气,2006 18(5): 313
[13] 李庆忠.走向精确勘探的道路[M].北京:石油工业出版社,1993

作者简介:李金磊(1982-),男,助理工程师,软件设计师,工学硕士,现主要从事物探和系统管理方面的工作。

广告启事

《物探化探计算技术》期刊是由四川省教育厅主管、成都理工大学与中国地质科学院物化探研究所联合主办的科学技术刊物。她是集学术、科技于一体的“中国科技核心期刊”,双月刊,国内、外公开发行,并于2004年开始刊登广告。

《物探化探计算技术》期刊所登广告的内容涉及地质勘探、资源调查、工程勘探、计算机软件开发、生态环境保护等领域内的学术会议通知、企业介绍、物化探新仪器设备、新方法以及计算机软、硬件介绍等。欢迎各界客户来电、来函联系广告业务。

联系电话: 028- 84078995
E-mail: wth@cdut.edu.cn

《物探化探计算技术》编辑部

In this paper, we take the combination of the true amplitude one-way wave equation with split-step Fourier operator (SSF) operator, which includes the advantages of the amplitude preservation method and sub-step Fourier method. Therefore it has the advantages of calculation, accounting for less memory, the significant amplitude deviation after the Fourier finite difference migration method. It has the advantage of high precision imaging with dynamic characteristics of seismic waves compared with the widely used split-step finite difference pre-stack depth migration we successfully carried out the true amplitude split-step Fourier pre-stack depth migration based on the Mannousi model and achieve a good imaging result.

Key words one-way wave equation; true amplitude; split-step Fourier operator; pre-stack depth migration

APPLICATION OF TIME-WINDOW AND MULTIWAVELET METHOD IN PRODUCING THE HIGH PRECISION SYNTHETIC SEISMOGRAM

LI Jin-lei; QU Da-peng; CHEN Zu-qing (Research Institute of Exploration Southern Division Company SINOPEC, Chengdu Sichuan 610041, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 40

Synthetic seismogram plays an important role in the seismic interpretation and reservoir prediction. Through analyzing the characteristics of the seismic wavelet which is time-varying and spatially variable, the paper explains the need for dividing the time window, then by combining the synthetic seismogram Principles with the methods, it is proposed that a general method using the divided time window to produce a high-precision synthetic seismogram, which utilizes the ricker wavelet and the extracted wavelet from the closest well seismic. Finally, this method is used on the actual well, the synthetic seismogram which is coincided not only with the seismic but also the higher resolution.

Key words seismic wavelet; time window; synthetic seismogram; high precision; resolution

A STUDY OF APPLICATION OF GRAVITY AND MAGNETIC INFORMATION FOR THE WEST FOOT OF MOON MOUNTAIN TO ORE EXPLORATION PROSPECT FORECAST IN NINGXIA PROVINCE

CHENG Jian-hua; YIN Bin-xi (Ningxia Hui Autonomous Region Geological Survey, Yinchuan 750021, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 45

The gravity and magnetic information of the west foot of Moon mountain had been processed and interpreted. The magnetic anomaly, gravity anomaly and geochemical composite abnormal characteristics have been researched comprehensively. By analyzing mineralization geological background it could be indicated that the magnetic anomaly in researching area might probably result from the insidious medium-basic cryptovolcanic rock or the polymetal Iron-Copper ore associated to the rocks. Then the south of Chelwan, Zhaojialao, Quanewan and the north of Wamm in magnetic anomaly areas were forecasted to be the important exploration target areas of deposit.

Key words gravity and magnetic information; ore exploration prospect forecast; west foot of Moon mountain

GEODETIC COORDINATE SYSTEM AND PROJECTIVE COORDINATE SYSTEM

GAO De-zhang (Institute of Shanghai Offshore Petroleum Branch, SINOPEC, Shanghai 200120, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 51

Geophysical and geochemical exploration work, all measuring points has its only location on land, in sea and air space. According to the design requirements of work, the measuring points were marked by different ways in different stages. In the field observations, the measured points positioning by GPS (global positioning system) or DGPS (difference global positioning system) were marked by geodetic coordinate in geodetic coordinate system. In showing work, the measuring points were marked by plane rectangular coordinate in projective coordinate system. In this article, establishment and characteristics of geodetic coordinate system and common projective coordinate system, selection and application of projective coordinate system were described, but specific formulas were not involved.

Key words geodetic coordinate; projective coordinate; plane rectangular coordinate; isometric projection

THE ANALYSIS OF AEROMAGNETIC ANOMALIES ABOUT MULTIMETAL ORE-FORMING IN THE MIDDLE-SOUTH SECTION OF DAXING'ANLING MOUNTAIN

CUI Zhi-qiang; MENG Qi-min; XU Zhi-li et al (Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(1): 56

As the northern orogenic belt based on Paleo-A-