

柴达木盆地航磁资料微弱信息增强技术研究 及在线性构造识别中的应用

夏玲燕^{1,2}, 吴汉宁², 柏冠军³, 侯宝宁²

(1. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 西北大学地质系, 西安 710069; 3. 中海石油研究中心, 北京 100027)

摘 要 目的 利用重磁异常数据微弱信息增强技术识别线性构造的方法, 并介绍其实现过程. 方法 文中提出了一种梯级带滤波增强非线性滤波技术与 Tilt 梯度及其水平导数的有效结合, 增强放大微弱信息再识别提取线性构造, 利用数字图象显示技术成图. 结果 识别出柴达木盆地线性构造多条, 分析对比柴达木盆地地质构造资料及重力解释成果, 具有较好的吻合性. 为深入研究该地区线性构造、成矿特征、寻找勘探靶区补充了新的证据. 结论 该方法提取了区域航磁异常资料中的微弱信息, 弥补传统方法的不足, 对断层边界及异常的边界划定更为准确. 梯级带滤波增强技术与 Tilt 梯度及其水平导数相结合取得良好的解释效果.

关键词 线性构造, 非线性滤波, Tilt 梯度, 重磁源边界位置提取, 柴达木盆地

中图分类号 P318

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2008)04-1058-05

Research on enhancing weak signal technology and recognition of linear structures using aerial-magnetic data in the Qaidam Basin

XIA Ling-yan^{1,2}, WU Han-ning², BAI Guan-jun³, HOU Bao-ning²

(1. China Aero Geophysical Survey & Remote Sensing center for Land and Resources, Beijing 100083, China;
2. Department of Geology Northwest University, Xi'an 710069, China; 3. CNOOC RC, Beijing 100027, China)

Abstract Aim A new method of recognition of linear structures using usual aerial-magnetic data is introduced, and the actualization of this technology is also accounted for in this paper. The enhancing less stronger signal technology and methods of Tilt derivative and the total horizontal derivative are adopted to extract faint information, and digital image display technique is used to show the results. First, the aerial-magnetic data is computed using nonlinear filter technology to enhance the weak signal. Second, the Tilt derivative and the total horizontal derivative of each point in the region are calculated, according to the algorithm in this paper. Finally, the linear structures are recognized according to these images. The structures are then defined comprehensively combining the regional geology. A comparison and analysis between the digital image of aerial-magnetic anomalies from the Qaidam Basin and regional geological structures replenish new evidence for deep research of this region's structure. The recognized linear structures in the Qaidam Basin are consistent with the existing geology data. The magnetic data can be shown in an image by this method, describing more clearly than the routine methods, particularly advantaged to analyze linear structures, and the faint information can be explained from the unusual data of the region at the same time. Through the enhancing weak signal technology and methods of Tilt derivative and the total horizontal derivative combined with the digital image technology, a good explanation effect is achieved, which can be used in the tectonic interpretation of magnetic and gravity anomalies.

Keywords linear structure, nonlinear filter technology, Tilt derivative, locate the boundaries of magnetic or gravity sources, Qaidam Basin

收稿日期 2008-02-10; 修回日期 2008-04-20.

基金项目 多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律(973 计划, 2003CB214600) 国家自然科学基金项目(40374020)联合资助.

作者简介 夏玲燕, 女, 1982 年生, 江苏扬州人, 硕士研究生, 中国国土资源航空物探遥感中心主要从事物化探信息综合分析研究. (E-mail: summer19820418@163.com)

0 引 言

重磁法面积勘探时,获取的异常往往十分复杂,通常要对异常资料进行转换和处理,才能用于解释.目前,重磁异常面积资料处理与转换的方法很多,每种处理方法因其目的不同而各有其特点^[1~3].

针对重、磁场数据的特点,我们采取梯级带滤波增强技术,突出异常中的线性构造特点.此技术具有实际应用价值,特别是应用于重力异常的构造特征增强方面.

梯级带滤波增强技术,属于非线性滤波的范畴,是针对传统处理方法所存在的问题提出来的.它通过适当的数据处理,使异常梯级带信息得到非线性增强,从而准确地确定断裂等线性构造的位置^[1,3].

线性构造的分析与确认往往是区域重磁资料解释的重要内容,然而由于传统的解释方法和处理技术上存在着不足,在地质情况复杂的地区,迭加异常相互干扰,弱信号与误差并存,使异常资料变得十分复杂而造成解释困难^[1,2].

为了解决传统处理方法中的埋深不同、倾角不同的多场源物体边界的问题,Miller and Singh 在 1994 年首次给出了 Tilt 梯度的定义^[4,5],这种方法求得的梯度值对于场源的深度是不敏感的,不受场源埋深的限制,因此它能很好的探测出埋深不同的多场源物体的边界,但是 Tilt 梯度只适合于探测倾角为 0 或 $\pi/2$ 的地质体边界,J Derek Fairhead and Chris M. Green(2004)提出 Tilt 梯度的水平导数的概念,这种方法可以解决地质体倾角为任何值的问题,可以更准确的探测不同倾角的地质体边界^[6].

为了满足微弱信息增强和精细解释的要求,本文以柴达木盆地区域航磁资料为例,利用一种梯级带滤波增强非线性滤波技术与 Tilt 梯度及其水平导数的有效结合处理并提取的微弱信息,研究线性构造、预测成矿特征、寻找下一步勘探靶区,旨在表明它的实用性,同时希望为充分利用区域物探资料中的信息以及丰富解释手段提供可能.

1 梯级带滤波方法原理

如图 1 所示,将一个 5×5 网格加权区域按四种不同剖分方式,分成 8 个子区域.

梯级带滤波增强技术处理过程很简单,分以下几个步骤:

(1)在每个子域内分别计算异常均值和方差

$$\delta_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n [\Delta g_i - g_i(j)]^2 / 15}, \quad (1)$$

式中, Δg_i 为第 i 个子域异常均值, $g_i(j)$ 为第 i 个子域内第 j 个点上的异常值, δ_i 为第 i 个子域的异常方差.

(2)选择 δ_i 中最小的 δ_{\min} .

(3)把 δ_{\min} 所对应子域的异常均值作为处理结果.

(4)窗口滑动到下一点上重复(1)~(3).

梯级带滤波增强技术对磁异常梯级带具有强烈的放大作用,是一种提高断层信息分辨率的有效方法.经梯级带滤波增强技术滤波后,求取的水平总梯度异常与单纯进行水平总梯度处理相比,能更准确地确定断裂位置^[3,7].

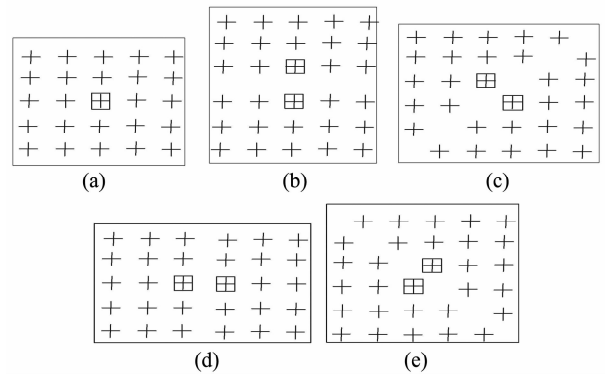


图 1 梯级带非线性滤波增强技术
(a)1 原 5×5 网格;(b)上下分为 2 部分;(c)按负对角线划分;
(d)按左右划分;(e)按主对角线划分

Fig. 1 Enhanced weak signal using nonlinear-filter technology

2 Tilt 梯度

梯度是重力场、磁场中场变化最剧烈的地方,它反应了地质体的边界.划分大地构造单元,进行构造分区,确定断裂构造带的位,区分不同岩性与地层的分布,进行物性填图等,均需确定边界位置.这在区域重磁异常解释中,是经常遇到的问题.

Tilt 梯度(Tilt Derivative)是一种新的定义方法:是用垂直梯度 V_{dr} 比上水平梯度 Th_{dr} 的绝对值的 \arctan 角度^[4~7]

$$\begin{aligned} T_{dr} &= \tan^{-1} \frac{\text{垂直梯度}(V_{dr})}{\text{水平梯度}(Th_{dr})} \\ &= \tan^{-1} \frac{\partial T / \partial z}{\partial T / \partial h}, \end{aligned} \quad (2)$$

公式(2)中

$$\frac{\partial T}{\partial h} = \sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial y)^2}. \quad (3)$$

T 是总磁场强度(TMI)的大小, z 和 h 指垂直方向和总的水平方向, x 、 y 是水平方向相互垂直的两个方向. V_{dr} 是 TMI 垂直方向的一阶导数, 可能为正值也可能为负值, 在物体上 V_{dr} 为正, 在物体外为负, 在边界位置为零, Th_{dr} 是 TMI 水平方向的一阶导数的绝对值, 总为正值, 在物体边界位置处取最大值; T_{dr} 为两者比值的 \arctan 值, 在物体上为正值, 在边界位置处为零; 在物体外为负值. 所以对于深部场源, 即使它的垂直梯度和水平梯度都很小, 两者的比值仍然会很大, 边界的位置在零位置处取得, 不受埋深深度的影响. 把 Tilt 看成是一个角度而不是一个比例的话, 由于 \arctan 值的属性, 不管 V_{dr} 和 Th_{dr} 的振幅为多大, T_{dr} 所有的振幅都限制在 $-\pi/2$ 和 $+\pi/2$ 之间. 这个事实使 T_{dr} 的运行效果像自动增益控制滤波器 (Automatic Gain Control, AGC) 一样, 均衡化 TMI 异常的输出振幅.

Tilt 梯度的水平导数为

$$T_{dr_}Th_{dr} = \left| \frac{\partial T_{dr}}{\partial x} \right|, \quad (4)$$

对于网格:

$$T_{dr_}Th_{dr} = \sqrt{\left(\frac{\partial T_{dr}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_{dr}}{\partial y}\right)^2}. \quad (5)$$

与上述定义方法类似, Nabighian (1972) 提出分析信号法^[7], 他用两种方法定义复杂分析信号:

(1) 根据水平和垂直导数定义

$$A(x, z) = \frac{\partial T(x, z)}{\partial x} - \frac{\partial T(x, z)}{\partial z}j; j, j \text{ 为虚部}. \quad (6)$$

(2) 根据总磁场和 Hilbert 变换定义

$$A(x, z) = |A| \exp(j\theta). \quad (7)$$

公式(7)中

$$|A| = \sqrt{(\partial T/\partial x)^2 + (\partial T/\partial z)^2},$$

被称作 AS (Analytic Signal).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\partial T/\partial z}{\partial T/\partial x}, \quad (8)$$

$$k = \frac{\partial \theta}{\partial x},$$

被称作 local wavenumber.

J. Derek Fairhead and Chris M. Green (2004) 指出 $T_{dr_}Th_{dr}$ 与分析信号法中的 AS 相似, 与倾角大小无关, 与分析信号法中 local wavenumber 的绝对值等同^[6]. $T_{dr_}Th_{dr}$ 与 AS 不同的是, Tilt 梯度的

水平导数的波峰更尖锐, 对于较窄小的物体源就能更准确的定义物体边界, 对于薄板还可以定义出物体源的中心位置.

3 柴达木盆地野马泉地区航磁资料线性构造识别及解释

3.1 区域地质构造概况

研究区位于东昆仑祁漫塔格—都兰早古生代弧后盆地的西部祁漫塔格地区, 其南以昆北断裂为界, 与东昆仑前寒武纪隆起带 (东昆仑中岩浆弧带) 相接, 其北以柴南缘断裂为界, 与柴达木地块为邻. 祁漫塔格弧后盆地属于北西西向构造带, 由于遭受多期的滑脱—逆冲推覆作用, 产生一系列的叠瓦状推覆体和构造岩片, 造成区内地层以断块出露, 构造岩片混杂, 地层层序混乱. 各地层单元之间以走向断层为界. 区内构造以断裂为主. 元古代的结晶基底呈长条状或断块夹持在古生代—中生代地层之中, 华力西—印支期中酸性岩浆活动极为强烈, 燕山期酸性岩浆侵入活动也较发育. 北西西向、北西向和北东向断裂构造十分发育.

3.2 区域地球物理特征

区域 1:100 万航磁异常 (ΔT) 为一低值区, 在大面积负磁场背景中发现一些幅值在 0~80 nT, 最高可达 82 nT 的正异常或局部异常. 地磁异常与航磁异常分布基本吻合, 呈明显的带状分布, 展布方向与区域构造线一致, 异常分布严格受区内地质构造和岩浆岩的布局所制约, 而且与矿产的分布是紧密相关的. 区域航磁资料显示, 祁漫塔格地区处于航磁梯度带, 为有利的找矿构造环境.

3.3 线性构造识别

在航磁资料处理和提取微弱信息基础上, 采用数字图象成图显示线性构造 (如图 2, 3). 由于梯级带非线性滤波和 Tilt 梯度对于叠加磁异常数据的分辨率较高, 因而具有较好的突出被区域场掩盖、甚至被歪曲了的浅部地质体引起的次级异常能力. 但是在传统处理图上微弱的信息很难被解释者分辨, 采用该方法结合可以容易地识别重要的微弱信息. 航磁 Tilt 水平方向导数更精确反应异常体边界位置或断裂的位置^[1~18].

区域性构造直接控制了与成矿作用密切相关的地质体 (岩体、地层和变质岩系), 亦控制了控矿的次一级构造体系的空间分布, 因此, 也间接的控制了矿床的空间产出, 有些长期活动的深大断裂可以直接为成矿作用提供通道.

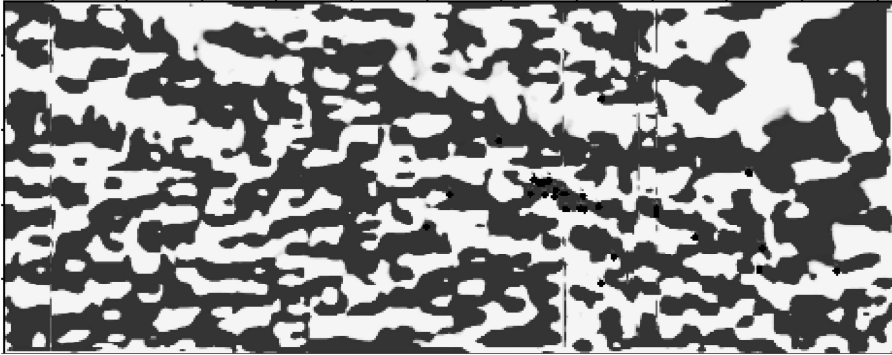


图 2 非线性增强滤波后求取的 Tilt 梯度

Fig. 2 Tilt derivative computed using the nonlinear-filter data

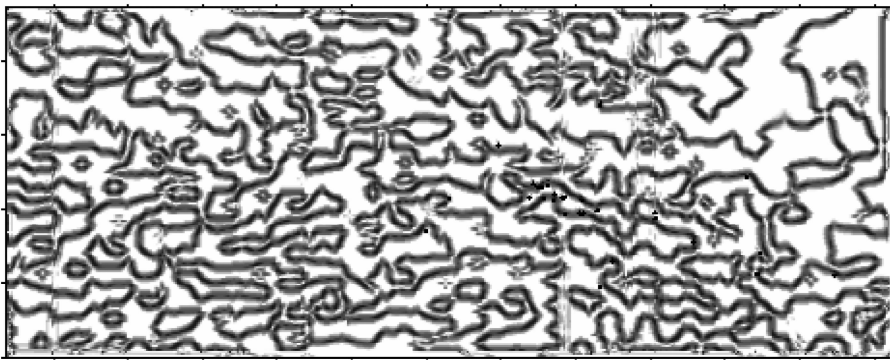


图 3 非线性增强滤波后求取的 Tilt 水平导数

Fig. 3 Total horizontal derivative of Tilt computed using the nonlinear-filter data

由图 2,3 可知,线性构造按走向可分为北西西、北西、东西向,其中北西西向断裂带是测区的主干断裂构造,北西向次之.北西西向断裂构造带控制着区域上的侵入岩体和火山岩的分布.区域上已知的肯德可克钴多金属矿、尕林格铁矿、野马泉铁矿等(红色代表已发现矿点或矿床)均位于北西西向构造带上(见图 3).由图 2,3 可看出,已发现的矿床都位于线性构造上或线性构造边界上,根据此特征,划分出几个勘探靶区,结合化探信息进行钻探.

区域岩浆活动可以促进成矿物质的活化、迁移,为成矿作用提供驱动力条件;岩浆期后热液往往富含成矿物质,为成矿提供介质和物质;岩浆侵入造成的同构造,可成为成矿流体运移的通道,也可成为成矿流体卸载成矿物质的场所.线性构造识别结果成为本区的区域矿产预测评价的主要依据.

该区钴多金属矿多赋存于构造的复合部位,如褶皱核部、弧形断裂的转弯处.控矿构造中北西西向、北西向构造为导矿构造,东西向构造重复活动成为良好的储矿构造.

4 结 论

梯度带滤波增强非线性滤波技术与 Tilt 梯度及其水平导数的有效结合,增强放大微弱信息再识别提取线性构造,为一种快速简便且比较实用的方法,它能弥补传统方法手段的不足.

该方法更能突出断层信息,有效的进行异常体边界的划分,Tilt 梯度的水平导数与 TMI 异常的振幅也是无关的,这种方法还受场源角度的影响,可以解决倾角为任何值的问题,并且当倾角很小时,相对于其它的求导方法效果更好.尤其是在大范围区域异常资料线性构造解释过程中,能更直观更真实展示异常的特征,有助于解释人员全面地认识异常和准确地判断以及获取微弱信号,为解释工作提供可靠的依据.以柴达木盆地为例,在柴达木盆地航磁资料进行了微弱信息提取和线性构造的解释方面获得了新的认识,为研究成矿特征提供构造依据,划分出确定勘探靶区 5 块,前景区若干.

致 谢 本研究得到青海省有色地勘局地质矿产

勘察院孙占科院长、西北大学刘养杰教授、核工业203研究所赵希刚研究员等人的指导和帮助,在此致以衷心感谢!

参 考 文 献 (References):

- [1] 柏冠军,吴汉宁,赵希刚,王靖华,于彦. 重力资料识别鄂尔多斯盆地线性构造方法研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(5): 1386~1392.
Bai G J, Wu H N, Zhao X G, Wang J H, Yu Y. Research on recognition of linear structures using gravity data in ordos basin[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(5): 1386~1392.
- [2] 赵希刚. 多源信息处理及其在线环构造识别和多种能源矿藏(床)找矿中的应用—以鄂尔多斯盆地为例[D]. 西安:西北大学图书馆, 2006.
Zhao X G. Multi-geoinformation Processing for Recognizing Linear-annular Structures and Prospecting Multi-energy Source Mineral Deposits[D]. Xi'an: Northwest University library, 2006.
- [3] 严良俊,胡文宝,姚长利. 重磁资料面积处理中的滤波增强技术与应用[J]. 勘探地球物理进展, 2006, 29(2): 102~103.
Yan L J, Hu W B, Yao C L. Research on the enhanced filtering technology processing gravity and magnetic data[J]. Progress in Exploration Geophysics (Bimonthly), 2006, 29(2): 102~103.
- [4] Hugh G M, Vijay S. Potential filed tilt—a new concept for location of potential field sources[J]. Journal of Applied Geophysics, 1994, 32: 213~217.
- [5] 王想,李桐林. Tilt 梯度及其水平导数提取重磁源边界位置[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(3): 625~630.
Wang X, Li T L. Locating the boundaries of magnetic or gravity sources with T_{dr} and $T_{dr}-Th_{dr}$ methos. Progress in Geophysics (in Chinese), 2004, 19(3): 625~630.
- [6] Derek J, Airhead F, Chris Green M. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. The Leading Edge, 2004, 116~119.
- [7] Jeffrey B. Thurston, Richard S Smith. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI method[J]. Geophysics, 1997, 47: 31~37.
- [8] 刘艳,李桐林,黄旭钊. 航磁异常轴向特征提取算法研究及其应用[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(1): 141~144.
Liu Y, Li T L, Huang X Z. An Automatic Method of Detection of Aeromagnetic Axes and Its Application[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2002, 17(1): 141~144.
- [9] 宁津生,汪海洪,罗志才. 基于多尺度边缘约束的重力场信号的向下延拓[J]. 地球物理学报, 2005, 48(1): 63~68.
Ning J S, Wang H H, Luo Z C. Downward continuation of gravity signals based on the multiscale edge constraint [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2005, 48(1): 63~68.
- [10] 马宗晋,高祥林,宋正范. 中国布格重力异常水平梯度图的判读和构造解释[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 106~114.
Ma Z J, Gao X L, Song Z F. Analysis and tectonic interpretation to the horizontal-gradient map calculated from Bouguer gravity data in the China mainland[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(1): 106~114.
- [11] 赵百民,郝天珧. 反演磁性地质界面的意义与方法[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 353~359.
Zhao B M, Hao T Y. The geological significance and the inversion method of the magnetic geologic interface [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(2): 353~359.
- [12] 王永军,郭泽清,刘卫红,徐小林,曾富英. 柴达木盆地东部三湖地区四系米兰柯维奇旋回分析[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(2): 544~551.
Wang Y J, Guo Z Q, Liu W H, Xu X L, Zeng F Y. Analysis of milankovitch cycles of quaternary in sanhu area, eastern qaidam basin[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(2): 544~551.
- [13] 尚永生,杨长春,王真理,陈发宇,范兴斌. 柴达木盆地第四系气藏烃类检测研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 831~835.
Shang Y S, Yang C C, Wang Z L, Chen F Y, Fan X B. The research of hydrocarbon indication on gas reservoir of Qaidam basin[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(2): 831~835.
- [14] 乔金海,叶育鑫,杨永强,叶水盛. 地物化遥综合信息矿产预测图库管理系统[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 984~988.
Qiao J H, Ye Y X, Yang Y Q, Ye S S. Maps database management system of mineral resources prediction of synthetic information based on geology-geophysics-geochemical and remote sensing [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(2): 984~987.
- [15] 张凤旭,姜正奎,张凤琴,杨恕. 利用余弦变换计算重力异常的向上延拓[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 57~62.
Zhang F X, Jiang Z K, Zhang F Q, Yang S. Calculating upward continuation of gravity anomalies using cosine transform[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(1): 57~62.
- [16] 邱宁,何展翔,昌彦君. 分析研究基于小波分析与谱分析提高重力异常的分辨能力[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 112~120.
Qiu N, He Z X, Chang Y J. Ability of improving gravity anomaly resolution based on Multiresolution wavelet analysis and power spectrum analysis [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(1): 112~120.
- [17] 于鹏,王家林,吴健生,王大为. 重力与地震资料的模拟退火约束联合反演[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 529~538.
Yu P, Wang J L, Wu J S, Wang D W. Constrained joint inversion of gravity and seismic data using the simulated annealing algorithm[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(2): 529~538.
- [18] 张凤旭,张凤琴,孟令顺,刘财. 基于离散余弦变换的磁位谱分析及磁异常导数计算方法[J]. 地球物理学报, 2007, 50(1): 297~304.
Zhang F X, Zhang F Q, Meng L S, Liu C. Magnetic potential spectrum analysis and calculating method of magnetic anomaly derivatives based on discrete cosine transform[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(1): 297~304.