

重磁勘探反演问题研究述评

曾 华 霖

(中国地质大学·北京)

摘 要

阅读了近三十年来发表的关于重磁反演问题的230余篇英、俄文文章和专著以及10多年来国内发表的近50篇文章和专著,并根据研究反演问题的实践,论述了国内外较流行的重磁勘探反演方法,扼要介绍了国外的研究情况,评述了国内的研究成果并与国外水平做了比较,提出了当前值得重视的研究课题。

重磁异常的反演问题,是重磁勘探工作的主要环节之一,也是资料处理和解释中的一个难题。几十年来,国内外的地球物理学家对此进行了广泛而深入的研究。在地球物理文献中,解反演问题一直是引人注目的讨论题目。十多年来,笔者在研究反演问题的同时,阅读了近三十年来发表的230余篇英、俄文有关的文章和专著;与一些同志合作,笔译了二百余万字的英、俄文资料,编译了《重磁勘探反演问题》一书。在此基础上,试图通过本文扼要介绍国内外流行的解重磁勘探反演问题的方法,比较国内外的研究水平,提出当前值得重点深入研究的课题。

一、解反演问题的目标和方法原理简述

从地质角度上说,解反演问题的目标主要是研究(推断)金属或非金属矿体和地质构造(包括控矿构造,如含油、天然气、煤的构造,以及区域性的深部构造等)。前者可称为矿体类问题,后者称为构造类问题。从地球物理角度上来讲,这一目标可以分为:确定地质体(用几何模型表示)参数,属于矿体类问题;确定物性分界面起伏,属于构造类问题;还有确定物理参数(密度、磁化强度等)的分布。

当今国内外流行的解反演问题的基本方法大体上是相同的,主要分两步:(1)用一个或一组几何形状简单、密度或磁化强度均匀分布或以某一规律分布的模型体,表示形状复杂、密度或磁化强度分布不均匀的地质体;(2)由观测异常确定模型体的几何参数(位置、大小等)和物性参数(密度、磁化强度等),以此来表示实际的地质体。由观测异常求模型体参数,可以一次完成,例如,根据异常曲线的特征点确定模型体参数,或者由异常曲线直接计算模型体的某些参数;也可以多次完成(迭代法),例如,用某些模型体的理论异常与实测异常进行多次比较,选择两者拟合得最好的模型体来表示实际地质体。

反演问题研究所面临的几个主要问题是:

(1) 如何从观测场值中选择适当的点值作为反演用的异常值

无论是重力异常或磁异常,进行反演计算时,首先必须从观测的复杂叠加异常中划分出单纯由反演目标引起的那部分场值。有时不直接采用观测场值,而是先将它们作某些数学变换,例如,求出场值的导数、傅立叶频谱等,然后用变换出的场值作为反演用的原始数据。这也是值得研究的。

(2) 选择适当的模型体

表示形状不规则的地质体,一般采用一组(多个)模型而不是单个模型,每个模型的几何形状要尽可能简单。在计算时,关键问题是给定模型体的合适初值。

(3) 应用合适的计算方法

反演计算过程能否快速、收敛并得到精确的结果,除了给定适当的模型体参数初值外,主要还取决于所用的计算方法。应针对不同的问题选择适当的计算方法,而且在计算过程的不同阶段需不断调整、修改所用的方法,才能加快计算速度、节省机器时间,保证计算结果的精度。

(4) 减少多解性(非唯一性)的影响

显然,反演结果的可靠性是反演方法的“生命”,而位场反演中固有的多解性的存在,严重影响到计算结果的可靠性。应特别强调的是,可靠性主要指的是得到的模型体与地质体的“符合”程度,而绝不能只满足于由模型体算出的理论异常与观测异常的“拟合”好坏。

实际上,反演问题的研究基本上是围绕以上几个问题展开的。

下面以确定地质模型体参数、确定物性分界面的起伏以及确定物性参数的分布为题简单介绍反演问题的解法。

1. 确定地质模型体参数

确定地质模型体参数的方法主要有:特征点法,最优化选择法,应用异常的傅立叶频谱等数学变换的方法及人机会话(联作)等。特征点法简单易行,能对地质体做出粗略的估计。

最优化选择法的基本原理是从许多理论模型中,选择一个其理论异常同观测异常符合得最好的一个模型表示地质体。

应用观测异常的变换值作为反演用的原始数据,具有一定的优越性。例如,位场的复杂表达式、场值与模型体参数间的关系,经变换后可以变得比较简单,而且可以加快正问题的计算速度。目前在解反问题中用得较多的是傅立叶变换、汉克尔(Hankel)变换、梅林(Mellin)变换、希尔伯特(Hilbert)变换以及B. M. Березкин(1973)提出的规格化总梯度法等。

2. 确定物性分界面的起伏

确定物性分界面的起伏(简称为“界面反演”)实际上也是确定模型体参数。例如,为了求一个密度分界面的起伏,用一组呈二维分布的长方体作模型,固定模型体顶面深度,界面起伏就可以用这些长方体底面深度的变化来表示。

根据文献资料来看,界面反演方法大致可分为:迭代法反演、统计分析、频谱展开法、广义矩阵反演,多项式法以及正则化法等。其中,迭代法用得最多。

3. 确定物性参数的分布

根据重磁异常求地下密度、磁化强度的不均匀分布,目前流行的作法是(以二度问题为

例):把地下半空间分为许多大小相等(或不等)的矩形或正方形格子,并设每个格子内的物性分布是均匀的,保持每个格子的大小不变,由异常直接计算出每格内的密度或磁化强度;根据计算出的物性分布,就可以判断是否存在高(或低)密度体,或强(或弱)磁性体。当它们存在时,物性分布可以形象地显示其位置、大小和形态等。

目前,求物性分布的方法主要有:

Backus-Gilbert法,线性规划和二次规划法以及傅立叶褶积法等。

二、国外研究情况简介

解反演问题是三十多年来欧美、苏联及东欧地球物理学家十分感兴趣的一个热门课题,这方面的文章在地球物理文献中占有相当大的比重。下面按上节所述的方法分类简单介绍一下国外的情况。

1. 确定地质模型体参数

(1) 特征点法

由E. A. Мудрецова编辑的苏联《重力勘探手册》(1981)可能是目前关于此法的最为详细的论著。此书叙述了以球体、水平圆柱体、水平物质带、水平半平面、垂直层、倾斜层等为模型体,根据 Δg 、 V_{xx} 、 V_{yy} 及 V_{zz} 等位场要素曲线特征点,求取模型体参数的方法。

(2) 最优化选择

苏联E. Г. Булах等发表了不少关于最优化选择法(极小化方法)的文章。他们在1984年发表的专著系统地论述了多参数泛函的极小化方法及自动化程序的设计等。他们指出,解释复杂的重磁资料,选择法是最有效的,因为只有这个方法才可能考虑所研究地区地质构造的所有先验资料。

B. K. Bhattacharyya(1978)评论了当时流行的空间域和频率域最优化方法。他认为,方法效果主要取决于按所研究地区的先验的地质和地球物理资料所选择的简单几何形体,而且直觉和经验仍起主要作用。

此外,M. Al-Chlabi(1971)比较系统地讨论了用最优化方法解释重力异常,论述了初始模型给定方法、目标函数的特性和加约束等问题。他指出,在计算的不同阶段应采用不同的最优化方法。P. H. McGrath和P. J. Hood(1973)提出用有限薄板引起的磁效应的数值积分,去近似表示诸如有限长走向薄岩脉、垂直棱柱、截断台阶、平行六面体等不同形状的模型的磁异常,以实现磁异常的反演。L. R. Lines和S. Treitel(1984)从理论上评述了最小二乘最优化算法的显著特征以及在重力问题上的应用等。

(3) 应用异常的频谱等数学变换

目前,用得最多的是傅立叶变换。较突出的是D. W. Odenburg(1974)根据R. L. Parker(1973)的频率域二度起伏层重力异常快速正演公式提出的一种计算场源体形状(包括界面起伏)的频率域迭代反演方法。

在其它的变换方面,D. Patella(1980)把汉克尔变换用于球体、水平圆柱体、垂直杆的重力反演。他表明,对于球体、垂直杆模型,汉克尔变换比傅立叶变换要好。N. L. Mohan等(1986)首次提出用梅林变换解释重力异常,导出了球体、二度水平圆柱体以及二度薄断

层重力效应的水平一次导数的梅林变换表达式,并由此求取模型体的参数。N. Sundararajan, S. V. Seshagiri, Rao (1982) 叙述了用希尔伯特变换求似二度断层的顶面深度、底面深度以及剩余密度参数的方法。

2. 确定物性分界面的起伏

M. H. P. Bott, (1960) 提出了一种根据剩余重力异常直接计算已知密度差的二维沉积盆地形状的快速数字计算方法。方法的原理是利用逐次逼近消去剩余值。这一方法为迭代计算界面(特别是盆地)反演打下了基础。

后来, L. Cordell 和 R. G. Henderson (1968) 根据 Bott (1960) 和 Danes (1960) 方法的思想提出根据重力异常数据用迭代法求三度地质体(界面起伏)的方法。他们对不同的计算点分别采用直立长方体和直立线元为模型,以加快计算速度,还对参考面深度的选择进行了较深入的讨论。A. Gerard 和 N. Debeglia (1975) 提出的求物性界面起伏的方法,国内用得较多。其计算工作分两步:(1) 根据重磁异常的能谱计算两个均匀介质分界面的平均深度和密度或磁化强度;(2) 用迭代法计算界面深度的局部变化(起伏)。

上述方法中,界面上下物质密度或磁化强度均被视为均匀分布。在70年代, L. Cordell (1973) 根据 Athy (1930), Hedberg (1936) 等人对沉积盆地物质密度变化规律的研究结果,提出在沉积盆地中密度随深度呈指数规律增加的关系以及相应的反演方法。后来,又有多篇文章讨论了密度按线性、二次函数关系随深度增加的反演方法。D. B. Rao (1986) 用二次函数近似盆地中密度随深度的变化关系,由重力异常来模拟盆地,他指出,二次函数比指数关系更易于计算。H. Granser (1987) 综述了变密度条件下沉积盆地的重力反演,根据密度随深度的指数关系,提出一个基于级数展开式的频率域正演公式,并用快速傅立叶变换实现数值计算。我国留美学者 Yufu Chai 和 W. J. Hinze (1988) 也提出密度随深度呈指数关系,并用垂直长方体进行重力反演。为提高傅立叶变换的精度,应用了移动取样技术 (Shift-Sampling technique)。

3. 确定物性参数的分布

解重磁异常线性反问题求物性参数分布的文章比上述两类要少,而且解决实际问题的效果也很不理想。

代表性的研究有: W. R. Green (1975) 用 Backus-Gilbert 方法研究地下密度构造, J. Mottl 等 (1972) 研究用整形线性规划法解二度水平圆柱体的重力反问题,以及 M. H. P. Bott (1967) 用傅立叶褶积法解磁异常线性反问题等。

4. 多解性问题

自从 D. C. Skellns (1947) 的著名论文发表以来,国外对这个问题有相当多的研究。许多学者认为,限制多解性影响有效而又实用的措施,是尽可能利用已知的地质、地球物理及钻探等资料,对反演结果施加约束。

关于多解性问题的文献很多,例如: M. Al-Chalabi (1971) 应用参数超空间详细研究了重磁反演中的非唯一性问题, R. L. Parker (1975) 提出了重磁解释的理想体理论。这些研究对于限制多解性的影响具有重要意义。苏联学者着重于从理论上寻求能得到唯一解的模型、准则和条件, Ю. А. Шапкин (1957), Е. Г. Булах (1984) 等人都发表过文章。

5. 解反演问题的计算方法

西方和苏联学者对解反演问题所用的计算方法也做了相当多的研究,如,在国内应用十分广泛的阻尼最小二乘法 (D. W. Marquardt, 1963), A. H. Тихонов 的正则化法以及 B. И. Старостенко 的方法 (1978) 等。有些作者还比较了不同方法的优缺点,如 M. AlChalabi (1971), S. E. Hjelt (1973) 以及 B. И. Майер 等 (1985) 等。

应当指出,西方学者在地球物理(重磁)反演理论方面,也有不少研究,如 G. E. Backus 和 J. F. Gilbert (1967, 1968, 1970) 以及苏联的 B. H. Страхов 等。

关于国外的详细情况,请读者参阅即将出版的《重磁勘探反演问题》一书。

三、国内研究情况评述

本世纪的五六十年代,在国内的重磁勘探资料解释工作中,已开展了解反演问题的研究,不过,采用的计算手段比较简单,主要借助于手算和量板。

60年代末到70年代初,在资料解释中应用了电子计算机,加强了国外反演方法的引进,特别是在1974年,原国家地质总局在北京大学的协助下举办了第一期金属物探重磁电算班以后,应用计算机处理、解释重磁资料的工作(包括自动反演方法的研究)蓬勃开展起来。

1. 研究概况

为了说明问题,从国内的几种常见地球物理杂志上不完全地统计了发表的48篇文章,并按上述的解反演问题的方法分类排列于表1。从表1看出,反演问题研究具有下列特点:

表1 国内发表的重磁勘探反演问题文章数目(不完全统计)

年	模型参数	界面起伏	物性分布	其它专论	合 计
1974	1				1
1975					
1976					
1977		1			1
1978					
1979	1			1	2
1980	1	1	1		3
1981	1	3			4
1982	1		1		2
1983	1		1		2
1984	4	7	1		12
1985	3	3			6
1986	2	4		1	7
1987		3	1	1	5
1988	1	1			2
1989		1			1
合计	16	24	5	3	48

(1) 大部分文章集中在80年代,这是因为解反演问题比较复杂,计算上实现起来比较

困难,比起其它的处理、解释方法需要更多的研究时间。

(2) 绝大部分文章都是涉及确定地质体产状等实际问题,几乎没有“纯”反演方法研究及不同方法的比较性研究。这是可以理解的,因为计算机反演方法的研究在我国起步较晚,从矿产勘探和构造研究的需要着手,是比较实际的。

(3) 在这48篇文章中,以界面反演为最多。这与从八十年代以来,我国大面积开展的区域重磁测量工作的需要有关,也反映出我国地质学家、地球物理学家对构造特别是深部构造研究的重视和兴趣。

(4) 发表这些文章的单位约有20个,绝大部分是研究单位和高等院校,来自物探队的文章仅4篇。这也说明反演方法在生产中还应用得不够普遍,还没有成为常规的处理解释手段。

(5) 只有少数几篇文章提出了新颖独特的方法,大多数属于改进从国外引进的某些方法或只是应用这些方法。

(6) 从实用性看,大多数文章都附有理论模型验证和应用实例,不过理论模型大都较简单,实例也都分析得比较浅显。

(7) 有一些文章在介绍方法的优点时,没有同时客观地指出缺点和应用条件。

2. 有代表性的一些研究成果

下面就七十年代中期以来公开发表的文献分类介绍有代表性的一些研究成果。

(1) 确定地质模型体参数

1974年,桂林冶金地质研究所物探室磁法组与中国科学院数学研究所方程室偏微二组协作,并发表了国内第一篇实现二维磁异常自动选择法反演的文章。

1980年,周熙襄等发表了国内第一本关于最优化选择法反演的专著,该书全面而系统地论述了这一方法,特别讨论了目标函数及其性质,以目标函数等值线图分析参量的选择和变化对迭代过程的影响;同时以收敛性和稳定性为标准,评价了一些常用的最优化方法。

在频率域反演方法方面,管志宁等(1985)探索了用最优化方法实现磁异常的二维反演;侯重初等(1985)在B. K. Bhattacharyya等的基础上,提出了计算磁性体上顶与下底深度的功率谱法。

用人机会话方式实现选择法反演的研究成果发表得还不多。林振民等(1983)在微机上用宽行打印机、绘图仪实现一维(剖面)反演,其思想在具有绘图终端的大型计算机上更易实现。

(2) 确定物性分界面的起伏

大多数文章涉及单一界面,并假定界面上下物质密度分布均匀,而且不少方法要求界面起伏比其平均深度小许多。A. Gerard等(1975)、B. K. Bhattacharyya及Parker(1973)、Oldenburg(1974)的方法在我国得到较多的应用。

1977年,刘元龙等提出压缩质面法求深部密度分界面的起伏,其基本原理是用压缩质面去近似二度地质体。先由实测异常,用矩阵法反演压缩质面各单元的面密度,然后由面密度与体密度的关系求得各二维地质体单元的厚度,进而得到各单元的厚度,再由计算出的理论异常与实测异常的差值不断修改得到整个地质体厚度。

李国治等(1980)及管志宁等(1984)在A. Gerard等(1975)方法的基础上,分别在

重力异常及磁异常反演方法上加以改进,在油气区密度界面反演及区域性磁性界面反演上得到比较成功的应用。

孙德梅等(1984)对重力异常正演公式进行了研究,提出了一个简便的适用于求深部密度界面的方法。

冯锐等(1986)评述并详细研究了 Parker-Oldenburg 方法,从计算方法、单界面反演、约束条件、密度与界面同时反演方面加以改进。

实际的密度不均匀分布对反演计算结果有很大的影响。吴宜志(1984)提出了一个密度随深度呈指数关系条件下的频率域反演方法。

由B. M. Березкин(1973)提出的用规格化总梯度向下延拓求地质体特征点的方法(全部译文见《地质计算技术》1981年第六期)已证明有较大的实际效果,肖一民等(1984)把这一方法用于油气藏,同时讨论了方法的应用条件。

求多层密度界面起伏是一个十分复杂的问题。周国藩等(1984)探索用一组其上顶深度相同、下底深度不同的两个二度矩形棱柱体为模型,以上下两个棱柱下底深度的变化实现两层界面的反演。

反演计算要用很长的机器时间,因此,改进计算方法、加快程序的计算速度成为反演方法能否用于实际资料处理的关键。在这方面,马殿仁(1986)提出的在迭代计算中用“分块合一”解线性方程组加快计算速度的方法是有意义的。

(3) 确定物性参数的分布

最近几年国内有一些单位进行了这方面的研究,并已开始用于实际资料的解释但都仅限于一维(剖面)情况。

申宁华等(1983)较系统地介绍了重磁异常反演的线性规划法,做了理论模型计算,并用实测异常验证,指出可用此法求场源边界。

3. 国内外研究水平的比较

首先说明,下面的比较是根据“质”(研究的广度和深度),而不是“量”(文章的多少),本人认为,有下列两个方面:可以和国外水平相比较:

(1) 空间域最优化选择法反演。从公开发表的文献来看,在1974年,国内就提出了用组合模型体实现反演,同时采用了改进的阻尼最小二乘法。国外类似的方法是在1976年发表时。

(2) 我国的物探工作者更注意方法的实际应用和实际效果,采用的实例也比国外复杂。

与国外相比的不足之处主要是在基础研究上,例如,反演理论的研究薄弱,提出的新方法少。我们应当发挥我国先进的数学水平,加强物探人员同数学工作者的密切合作,探索能用于实践的新方法。

其次是研究面窄,在某个问题上过多地重复。有些重要的既有理论意义又有实用价值的课题,如限制多解性影响、最优化方法等,缺乏专门的研究。

第三是缺乏对反演计算全过程的“微观”研究。

总的说来,在我国开展计算机自动反演方法的研究只有15年左右,已取得了相当多的成果;有些研究课题,如人机会话未能普及是由于客观条件限制,例如在一些计算中心缺乏足够的带绘图(图形显示)的终端设备。

四、对当前需加强研究的课题的建议

除继续开展已有的研究外,从当前的实际需要出发,建议加强下列工作:

(1) 研究适用于困难地区的单界面重磁异常反演方法。

所谓困难地区,系指界面起伏大、断裂十分发育、界面最深可超过10km的地区。在我国的一些油田区存在这样的地段。

(2) 建立并推广适用于金属矿区或大的岩体构造的人机会话自动选择系统。

(3) 建立一个评价反演方法的标准(模型)。

笔者设想,是否可以建立一个评价不同反演方法的标准模型,对每个反演方法,都用这同一模型加以检验,了解其计算速度、精度和应用条件。这样的模型可以有两个:一组模型体及计算的异常值;一个困难地区的实测异常及地震、钻井推断的结果。

最后,笔者对编译《重磁勘探反演问题》一书的合作者阙筱玲、谢婷婷高级工程师、张汝康教授表示感谢,此书对完成本文打下了重要的基础。

参 考 文 献

- [1] 桂林冶金地质研究所物探室磁法组、中国科学院数学研究所方程室磁法组:选择法解释二维磁异常的自动化,地质与勘探,第四期,1974。
- [2] 刘元龙、王谦身:用压缩面法反演重力资料以估算地壳构造,地球物理学报,第1期,1977。
- [3] 周熙襄、钟本善、何宝佩:地球物理反问题中的最优化方法(下),地质出版社,1980。
- [4] 李国治、陈忠华:重力异常频域迭代计算方法的应用,石油物探,第3期,1980。
- [5] 申宁华、高锐:重磁异常反演的线性规划法,物探与化探,第2期,1983。
- [6] 林振民:解重磁反演问题的人机结合选择法,物化探计算技术,第1期,1983。
- [7] 吴宣志:应用重力资料反演莫霍面的若干问题,物化探计算技术,第2期,1984。
- [8] 管志宁、安玉林:频率域磁性单界面反演方法,地球物理学报,第2期,1984。
- [9] 孙德梅、闵志:三维密度界面反演的一个近似方法,物探与化探,第2期,1984。
- [10] 肖一鸣、张林祥:重力规一化总梯度在寻找油气中的应用,石油地球物理勘探,第3期,1984。
- [11] 侯重初、李保国:直接计算磁性体下界面深度的功率谱法,物化探计算技术,第3期,1985。
- [12] 管志宁、刘天祐:二维磁异常频率域最优化反演,物化探计算技术,第4期,1985。
- [13] 冯锐、严惠芬、张若水:三维位场的快速反演方法及程序设计,地质学报,第4期,1986。
- [14] 曾华霖、阙筱玲、谢婷婷、张汝康编译:重磁勘探反演问题,石油工业出版社(即将出版)。
- [15] M. Al. Chalabi, Some studies relating to non-uniqueness in gravity and magnetic inverse problems, Geophysics, Vol. 36, pp. 835—855, 1971.
- [16] B. K. Bhattacharyya, Computer modeling in gravity and magnetic interpretation, Geophysics, Vol. 43, pp. 912—929, 1978.
- [17] M. H. P. Bott, The use of rapid digital Computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins, Geophys. J. Roy. Astro. Soc., 3, pp. 63—87, 1960.
- [18] M. H. P. Bott, Solution of the linear inverse problem in magnetic interpretation with application to oceanic magnetic anomalies, Geophys. J. Roy. Astr. Soc., 13, Vol. 3, pp. 13—323, 1967.
- [19] L. Cordell, R. G. Henderson, Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer, Geophysics, Vol. 33, pp. 596—601, 1968.
- [20] L. Cordell, Gravity analysis using an exponential density-depth function-San Jacinto Graben, California, Geophysics, Vol. 38, pp. 684—690, 1973.

- [21] A. Gerard, N. Debeglia, Automatic three dimensional modeling for the interpretation of gravity or magnetic anomalies, *Geophysics*, Vol. 40, pp. 1014—1034, 1975.
- [22] S. E. Hjelt, Experiences with automatic magnetic interpretation using the thick plate model, *Geophysical Prospecting*, No. 21, pp. 243—265, 1973.
- [23] L. R. Lines, S. Treitel, Tutorial: A review of least squares inversion and its application to geophysical problems, *Geophysical Prospecting*, Vol. 32, pp. 159—186, 1984.
- [24] D. W. Marquardt, An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, Vol. 11, pp. 431—441, 1963.
- [25] N. L. Mohan, L. Anadababu, S. V. Seshagiri, Rao, Gravity interpretation using the Mellin transform, *Geophysics*, Vol. 51, pp. 114—122, 1986.
- [26] J. Mottl, J. Mottlova, Solution of the inverse gravimetric problem with the aid of integer linear Programming, *GeosExploration*, Vol. 10, pp. 53—62, 1972.
- [27] D. W. Oldenburg, The inversion and interpretation of gravity anomalies, *Geophysics*, Vol. 39, pp. 525—536, 1974.
- [28] R. L. Parker, The rapid Calculation of potential anomalies, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, Vol. 31, pp. 447—455, 1973.
- [29] R. L. Parker, The theory of ideal buffers for gravity interpretation, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, Vol. 42, pp. 315—334, 1975.
- [30] D. Patella, Gravity interpretation using the Hankel Transform, *Geophysical Prospecting*, Vol. 28, pp. 744—749, 1980.
- [31] D. C. Skeels, Ambiguity in geophysical interpretation, *Geophysics*, Vol. 12, pp. 43—56, 1947.
- [32] Е. Г. Булах, М. Н. Маркова, В. И. Тимошенко, И. Л. Бойко, Математическое обеспечение автоматизированной системы интерпретации гравитационных аномалий (Метод Минимизация), «Наукова Думка», 1984.
- [33] Е. А. Мудрецова (Редакция), Гравитразведка, Справочник Геофизика, М., «Недра», 1981, 398с.
- [34] В. И. Старостенко, Устойчивые Численные Методы и Задачах Гравиметрии, Киев, Науково Думка, 1978.
- [35] Ю. А. Пашкин, О единственности в обратной задаче теории потенциала, Докл. АН СССР, Т. 116, №. 1, 64—66, 1957.

THE INVERSED PROBLEM IN GRAVITY AND MAGNETIC EXPLORATION: A REVIEW

Zeng Hualin

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

On the basis of more than 230 English and Russian papers or monographs issued in the last 30 years as well as nearly 50 Chinese articles published over the past 10 years on the inversed problem in gravity and magnetic exploration, combined with his practice in the study of the inversed problem, the author expounds the inversed methods in gravity and magnetic exploration currently used both at home and abroad, briefs the readers about the research situation in China and foreign countries, and makes a detailed review on achievements gained in China in comparison with the research levels abroad. Finally, suggestions are put forward concerning some subjects which are worth noticing in future research work.