

中国数学地质

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

7

地质出版社

中国数学地质

7

5755/01

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

地质出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

中国数学地质(7)/中国地质学会数学地质专业委员会编.-北京:地质出版社,1996.10
ISBN 7-116-02180-9

I. 中… I. 中… III. 数学地质-文集 N.P628

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第11240号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑: 杨友爱 林宏远

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 ¹/₁₆ 印张: 22 字数: 520 000

1996年10月北京第一版, 1996年10月北京第一次印刷

印数: 1—500册 定价: 32.80元

ISBN 7-116-02180-9

P·1637

前 言

本书的论文选自 1995 年 10 月 6 日至 10 日在山东省东营市召开的“第五届全国数学地质学术会议”。本次会议由 中国地质学会数学地质专业委员会和胜利石油管理局联合主持召开,由胜利石油管理局计算中心承办。来自全国各个系统和部门的 155 位数学地质工作者参加了会议,共提交学术论文 111 篇,论文内容大致涉及下列 10 个方面:

1. 数学地质的进展和展望;
2. 矿产(油气)资源评价预测;
3. 地质统计学和随机模拟;
4. 地质数据库、计算机自动绘图和显示;
5. 人工智能和神经网络;
6. 地质过程的数学模拟;
7. 非地震物化探和地化资料处理;
8. 稳健统计学;
9. 数学地质新理论、新技术;
10. 有关第三十届国际地质大会数学地质分组学术活动的内容。

本次会议为继“第四届全国数学地质学术会议”(1990 年,成都)以后,国内的又一次重大数学地质学术活动。本次会议的学术交流内容丰富,涉及面宽,论文质量高。本次会议的召开将为推动我国数学地质的进一步发展起到一定作用。

胜利石油管理局计算中心为本次会议召开做了大量工作,尤其是中国地质学会数学地质专业委员会委员、胜利石油管理局计算中心副总工程师阎汉杰为本次会议的召开付出了大量的辛勤劳动,完成了非常出色的组织工作,使会议得以顺利进行并取得圆满成功。胜利石油管理局及其计算中心的领导及有关同志对本次会议给予了大力支持,特此致谢。

我国数学地质工作开始于 60 年代初期,在 70 年代和 80 年代得到了蓬勃发展。第一届全国数学地质学术会议于 1978 年 10 月在杭州召开,中国地质学会数学地质专业委员会于 1981 年正式成立。自 1978 年以来,我们共主持召开了 17 次全国数学地质学术会议(其中包括 5 次全国数学地质学术会议和 12 次具有全国规模的专题数学地质学术会议),共有 2079 人次参加了会议的学术交流,共提交学术论文 1782 篇。在此期间,中国地质学会数学地质专业委员会和地质出版社联合主编出版了 10 本不定期数学地质连续出版物,总字数约 330 万。此外,还开展了科技咨询和人员培训等工作。上述的学术活动和组织工作,对我国数学地质发展起了重要的推动作用。

展望 21 世纪,在实施“科教兴国”战略的过程中,伴随着我国国民经济的发展和综合国力增强,数学地质也会相应发展。让我们为创造数学地质发展的新局面而进一步贡献力量。

中国地质学会数学地质专业委员会主任委员 刘 承 祚

1996 年 3 月

目 录

前言

对近年来数学地质发展概况的综述和分析	刘承祚 (1)
重力差值趋势面分析系统及应用	景 平 阎汉杰 肖仁陵 杨帆 张晓凤 (7)
矿物岩石化学定量计算系统研究	徐振邦 蔡剑辉 宫成江 孟庆茹 (14)
数学地质在扶余油田小层剩余油饱和度分布研究中的应用	 王仁铎 王岫云 马 正 (22)
神经网络在石油工业中的应用及发展前景	张志华 朱章森 (27)
试论信息有序过程	徐道一 (33)
砂岩储层自动对比技术研究	丁文光 阎汉杰 邹传堂 景 平 (40)
东营凹陷深层天然气勘探重力资料处理技术研究	 董 涛 肖仁陵 阎汉杰 邹传堂 王邦华 徐公达 (48)
三维储层随机建模和随机模拟技术研究	张团峰 王家华 景 平 阎汉杰 (59)
非地震物化探综合数据库的建立与应用	 李云平 胡加山 叶飞跃 赵树山 李明亮 (66)
地质总体分解的新对策	侯遵泽 徐振邦 林存山 (78)
矿物信息管理系统	杨 颖 徐振邦 (85)
铀矿资源评价方法学讨论及 URAS 微机辅助评价系统的开发	 殷 棣 贺国信 张文凯 (90)
对专家系统未来几个问题的思考	马生忠 范兴业 (97)
分形理论在成矿预测中的应用	王京贵 饶安妮 (103)
华北地块北缘贵、多金属成矿系列预测	范继璋 许亚光 李守义 (108)
模型转换及靶区优选评价的方法尝试——特征标志类比求同	 王全明 方一平 张晓华 (114)
多源地学信息综合技术在云南禄武地区成矿条件分析和找矿预测中应用研究	 傅水兴 李 恭 李文尧 张炳雄 (120)
数学地质在矿床勘探方法研究中的应用	张廷勋 (130)
三维球面统计分析在处理煤岩体地质数据中的应用	孙惠文 刘承祚 (136)
地质、物探、化探、遥感变量的空间变异性的分析系统	李新中 (148)
周口店地区自然水系网的计算机模拟	刘楚雄 徐振邦 (153)
三维地质模型的设计和显示	张菊明 (158)
建立在二维空间上的地学计算机图形、图像系统	侯遵泽 徐振邦 (168)
地质实体三维可视化图形显示方法	夏 炎 宁书年 邓化武 (180)
空间地质模型及其可视化系统	毛善君 许友志 张海荣 邵玉宏 (186)
复杂构造计算机绘图算法研究	王 磊 刘 力 傅 荣 (190)
磷灰石裂变径迹技术在地质热历史中的分析方法	廉法科 常云岫 王娅辉 (197)
基于专家系统的圈闭地质综合评价推理模型与评价系统	 徐景祯 刘晓冬 高春文 (201)

盆地模拟中的化学动力学生烃模型与应用	赵永军 查明 李汉林	(210)
含油气盆地控油构造分形特征及其石油地质意义探讨.....		
.....	沈忠民 冯祖钧 周光甲 王 捷 洪志华	(215)
危急矿区外围煤炭资源综合信息统计预测研究.....		
.....	韩金炎 田 雪 荆惠林 吴克平 卢 轶	(223)
含低熟油盆地数值模拟研究	程本合 段智斌 曹忠祥	(230)
工作站测井系统及其地质应用	隋志强 王 慧 林治模 胡爱华 郝 云	(241)
油藏数值模拟技术在油田开发调整中的应用	周建林 白群丽	(244)
GD 油田馆陶组河流相砂岩储层物性参数测井解释方法研究.....		
.....	王 慧 战艾婷 武玉宏	(254)
砂岩储层评价数据库的建立与应用	刘志国 贾淑琴 叶飞跃	(262)
试论资源与环境的极限问题	孟宪国	(269)
盆地热演化的一种数值模拟方法及其在塔里木盆地中的应用.....		
.....	邓 林 张志华 王英民 赵仕波	(276)
油气地表化探指标的优选与综合信息加权叠加	李汉林 赵永军 查 明	(284)
油藏描述技术在东濮凹陷黄河南中央隆起带油藏研究中的应用.....		
.....	杨少春 信荃麟 刘泽容 金 强 王伟锋 任怀强 徐守余 王月莲	(289)
铀矿成矿过程的耗散结构分析	王京贵 刘光萍	(298)
寻找油气田的重力数据处理方法	张 晶 朱永盛	(302)
光照明模型在地质体数据显示中的应用	周金宏 周 叶 王家华	(310)
单井油气层识别的 BP 神经网络模型及其应用	刘晓冬 徐景祯 高春文	(316)
矿床经济评价专家决策支持系统的研究	李克庆 黄凤吟	(322)
甘孜嘎拉地区金矿预测靶区研究	张建龙	(326)
下庄铀矿田古地温场的有限元模拟	刘金辉 孙占学	(331)
煤岩体的数学地质特征研究	刘承祚 孙惠文 张菊明	(339)

对近年来数学地质发展概况的综述和分析

刘 承 祚

(中国科学院地质研究所)

摘 要 本文对近年来数学地质发展概况进行了综述和分析,内容主要涉及:非线性科学(分形理论、混沌理论、耗散结构理论、非线性动力学、协同学以及突变理论等)在地质学中的应用;人工智能、地理信息系统、数据库技术、自动绘图技术以及计算机最新硬件、软件在地质学中的应用等。最后给出了几点结论。

关键词 非线性科学,数学地质,新理论新方法新技术,地质应用。

数学地质是地质学中较新的分支学科,是由地质学、数学和计算机科学互相结合而产生的。它的产生是地质学沿着定量化方向发展的必然结果。地质学和数学的首次结合大约开始于150年以前,但直到20世纪50年代末期,电子计算机才开始引进到地质学中来,并逐渐扩展应用于地质学的各个分支领域。国际数学地质协会(International Association for Mathematical Geology,简称IAMG)于1968年在捷克的布拉格召开的第二十三届国际地质大会上宣告成立。至此,数学地质成为地质学中的独立分支学科。

本文将对近年来数学地质发展概况进行综合评述,并提出作者的分析意见,供国内同行参考。

一、非线性科学在地质学中的应用

1. 非线性科学在地质学中应用的意义

非线性理论是在本世纪中继量子力学和相对论之后的第三次重大科学发现,非线性科学研究在近代科学中有重要意义。非线性科学研究的一个共同的最基本内容是研究对象的复杂性,而综合性是非线性理论的共同特点。由于系统之间的相互作用是非线性的,整体不等于部分之和,因此局部和整体之间关系的研究是非线性理论的一个很重要的内容。我们的研究对象是地质学,地质学是地球科学中的一个重要分支学科。地球系统是地球科学的研究对象,它是一个复杂的巨系统,非平衡性、非线性、多尺度性、突变性、自组织性、自相似性、有序性和随机性等是其最本质的属性,因而非线性理论及有关方法是研究地球科学和地质学的最有效的理论和方法之一。

2. 在地质学中得到应用的非线性理论的主要内容和应用实例

1) 分形理论

分形(fractal)是数学领域中出现的一个新的研究方向。它是指具有自相似性或膨胀对称性的几何现象,即局部与整体在形态、功能和信息等方面具有统计意义上的相似性。分形

是一种复杂的几何形体,但并不是所有的复杂几何形体都是分形,唯有具备自相似结构的几何形体才是分形。

定量描述分形特征参数称为分维。比较常见的分维有四种,即拓扑维数、容量维数、信息维数及关联维数。

可以举出下列的分形理论在地质学中的应用实例:

A. 分形理论在准晶体微粒结构模型研究中的应用

原武汉地质学院北京研究生部彭志忠教授在1986年研究准晶体微粒结构模型时发现:所推导出来的理想准晶格具有分形结构特征,准晶格在三个维轴上的自相似比例因子均为黄金中值1.618。他首次发现了准晶体是具有分形结构的物质。

B. 分形理论在断层体系研究中的应用

经研究表明,断层体系具有最典型的分形结构。下面给出一些有代表性断层的分维值D:日本境内的断层体系, $1.05 < D < 1.60$; 美国圣安德烈斯断层, $1.10 < D < 1.50$; 日本的北伊豆断层体系, 1.49; 日本的尤卡山断层体系, $1.12 < D < 1.16$ 。对于断层分维值的物理意义,目前存在着不同意见,正在进一步研究探讨中。

C. 分形理论在地质体表面模拟中的应用

在三维地质空间中,根据一组数据点模拟和建立地质体表面是经常遇到的问题,分形理论在解决这一问题中能够得到应用。首先,应用分形理论估算曲线,然后模拟生成地质体表面。和其他方法的区别在于,应用分形理论模拟生成地质体表面时引进了粗糙度,使所模拟的表面更接近地质实际。

D. 应用分形理论研究矿石品位和吨位之间的关系

矿产地质学家经研究发现,矿石平均品位 $\bar{C}$ 和吨位 M 存在着下列的定量关系:

$$\bar{C} \sim M^{-D_0/3}$$

上式中 D_0 为分维值。

美国矿产地质学家卡吉尔(Cargill)对美国的汞矿和铜矿作了计算,对汞矿得出 $D_0 = 2.01$,对铜矿得出 $D_0 = 1.16$ 。由此可知,在矿石品位和开采的累积吨位之间存在着一定的定量关系,在一定区间内,分维值保持不变。

2) 混沌

混沌(chaos)现象在1963年被美国气象学家芬仑兹(Lorenz)首先发现。对于混沌现象,很难用一两句话说清楚。一般认为:确定性系统长时间行为,可能对初值的微小变化极其敏感,这一现象称为混沌。为了具体形象地说明混沌现象,现在给出一个用计算机模拟得到的纯理论例子:“一只蝴蝶在巴西扇动翅膀有可能引起德克萨斯州的龙卷风”。

混沌的发现揭示出了非线性复杂世界中的一般规律性,是科学的重要进展。地质学中存在着非线性问题,混沌在研究地质问题中将有广阔的应用前景。

实际的混沌现象往往过于复杂。为了有效地研究混沌现象,第一步应进行抽象,去粗取精,通过几何定性分析抽出本质,将具体系统简化为符号序列;进而研究符号序列系统的动力学,即符号动力学方法。它是描述和研究混沌运动的有效而严格的方法。很多学科中的非线性问题,都采用此法进行研究,取得重要进展。

3) 耗散结构理论

耗散结构是在远离平衡的条件下,借助于外界的能量流和物质流而维持的一种空间或时

间的有序结构。有序结构一般都是从大量微观粒子杂乱无章的无序运动中产生的,是在一定的外界条件下自发地形成的有组织行为,所以耗散结构也称为自组织。耗散结构形成的条件为:

A. 远离平衡的开放系统:耗散结构只有在远离平衡的非线性区中的开放系统中才能形成。

B. 不稳定性阈值条件:不稳定性的出现是产生耗散结构不可缺少的条件。

C. 非线性:线性和非线性是系统本身固有属性,线性系统只有两种演变前途,即衰亡或无限增长。非线性系统的演变具有多种前途,在远离平衡区时,由涨落决定选择哪一个稳定分支(演变前途)。

D. 涨落导致有序:在非线性和非线性系统中,当非平衡的约束驱使系统远离平衡态进入非线性区时,由涨落促使系统进入耗散结构分支,即涨落导致有序。

耗散结构理论在地质学中的应用较多,相对较成熟,可以举出下列的应用实例:

A. 应用耗散结构理论研究矿物离解过程,以云南个旧锡-多金属成矿区为例,研究和解决成矿理论问题。

B. 应用耗散结构与双扩散对流理论,研究热液成矿作用动力学。

C. 应用耗散结构理论研究混合岩成因等问题,取得一系列成果。

D. 应用耗散结构理论研究壳幔体系及其运动。

4) 其他非线性科学的理论和方法

A. 非线性动力学

在耗散结构理论应用的研究中,应用热力学方法只能从原则上指出在远离平衡条件下出现不稳定性耗散结构的可能性,只有应用非线性动力学才能定量地具体描述不稳定性条件和耗散结构分支数目等。因此,非线性动力学是很重要的理论和方法。

B. 协同学

协同学(synergetics)是德国理论物理学家哈肯(Haken)于1977年创立的,是不受热力学约束而从动力角度来研究从无序产生有序结构的规律的。协同学研究的对象是各种复杂系统,可将这些系统看作由若干子系统组成,子系统之间存在着相互作用(协同作用)。这种相互作用使它们在一定条件下自发地形成宏观上的时空有序结构。协同学的研究内容为:探索在系统宏观状态发生质的改变的转折点附近,支配子系统协同作用的一般性原理。由于地质学中存在多种复杂系统,因此它是协同学的可能应用领域。

C. 突变理论

突变理论是研究系统的状态随外界控制参数连续改变而发生不连续变化的数学理论。它是法国数学家勒内·汤姆(Thom)于1968年提出的,是在微分拓扑学基础上发展起来的。突变理论是专门用于研究突变现象的数学理论。突变现象是自然界中普遍存在的现象,在地质学中尤其如此。突变现象的共同特点是:外界条件的微变导致系统宏观状态的剧变,这只有在非线性系统中才有可能实现。目前,突变理论在研究地质问题中得到了一定应用。例如:断层运动、二叠纪海洋无脊椎动物突然灭绝、地质灾害过程、斜坡体失稳、水库诱发地震等。

5) 对非线性科学在地质学中的应用现状的分析

A. 一些非线性科学的理论和方法在地质学中的应用,提出较早,但取得的应用效果不大,应用的面不够广,进展不明显。例如:分形理论在地质学中的应用,最早于1986年提出。

10 正 卷 第 4 章

经过了大约 10 年,至今仍然是在局部性的地质问题上进行了带有探索性的研究,尚未取得解决重大地质问题的突破性进展。又例如:突变理论在地质学中的应用,于 1978 年首先提出。当时提出:在控制因子不多于 4 个的情况下,突变最多有 7 种模型,其中最简单的一种叫做“尖点突变”,并指出了断层运动和二叠纪海洋无脊椎动物生物灭绝等几个例子。经过了大约 20 年,在方法上和应用实例上均未取得新的显著突破。

B. 最近三四年,非线性科学在地质学中的应用呼声较高,形成了一些有关“地质学中的非线性问题”、“非线性地质学”的研究项目和课题。其内容涉及分形理论和耗散结构理论的较多,有少量内容涉及突变论,涉及混沌和协同学的较少。

C. 在从事非线性科学在地质学中应用的人员中,青年数学地质工作者较多,特别是在第一线从事实际工作的人员,绝大多数为青年。

D. 应当抓住非线性科学在地质学中应用这一新方向。但要扎扎实实地工作,切忌对理论论述较多,而实际研究成果很少。

二、人工智能在地质学中的应用

1. 专家系统在地质学中的应用

专家系统在地质学中的应用,开始于 1976 年,为美国斯坦福大学的“探矿者”(Prospector)专家系统;国内于 80 年代末和 90 年代初,大约出现了数十个在地质领域中应用的专家系统。回顾国内外情况,一般解决问题比较单一、具体的地质专家系统的成功率较高,解决高度综合的复杂地质问题的专家系统的成功率较低。

2. 多种人工智能技术在地质学中的综合应用

如上所述,单纯应用专家系统技术有一定的局限性。例如:专家系统缺乏“常识”,在处理快速变化方面不够灵活,这时就需要综合应用多种人工智能技术(神经网络、遗传算法等),以弥补不足。神经网络能在大量数据中灵活进行挑选,从中发现模糊的偶然联系。当原始数据太多或太少时,应用神经网络技术会发生“无用输入”或“无用输出”,这时就需要应用遗传算法解决问题。遗传算法应用“适者生存”的原理找出解决问题的途径,可以进行千百万次数据变换,直至得到满意的结果为止。

三、地理信息系统(geographic information system,简称 GIS)

1. 地理信息系统是一种在计算机软硬件支持下的、空间数据输入、存储、检索、运算、显示和综合分析的应用技术系统。该系统的设计和研究重点是空间实体及其相互关系,系统的主要用途是分析和处理在一定地理区域内分布的各种现象和过程。

2. 地理信息系统有下列三种功能

- 1) 数据库功能;
- 2) 信息分析功能;
- 3) 显示功能。

3. 地理信息系统在地质学中的应用

- 1) 应用地理信息系统研究矿产资源综合预测数据,对贵金属矿床和火山成因块状硫化

物矿床进行预测。

2) 应用地理信息系统技术对安徽月山地区的多种资料进行处理分析,得到对铜矿体预测的有用信息。

3) 应用地理信息系统技术研究花岗岩地区新构造。

四、数据库技术在地质学中的应用

当代社会具有信息社会的特点,获取和传递信息的快慢已成为事业成败的关键;其中,数据库是信息服务的重要支柱之一。在地质学中,地质数据库占有同样重要地位。到1993年初,全世界共建成数据库8000多个,其中大约600—800个为与地学有关的数据库。

地质数据库大约有六种类型:①全文型;②数值(数字)型;③文字数字型;④参考目录型;⑤文献指示型;⑥混合型。

地质数据库的进一步发展方向是:

- 1) 开展地质计算机网络和联机服务;
- 2) 大力发展地质微机通讯网络;
- 3) 发展地质数据库软件技术;
- 4) 开展地质信息核心技术,将各种数据网络联接到微机网中来;
- 5) 发展智能数据库系统。

五、自动绘图技术在地质学中的应用

应用计算机自动绘图技术对各种地质资料、数据和成果进行自动显示,在数学地质中始终占有一定地位。下面介绍一些最新进展:

1. 为了成功地显示地质图形,研制了各种应用算法(三角算法、网格算法、加权逆距离、克立格法、Spline函数、多项式以及在网格上重新取数的三角算法等),生成各种图形(嘴状、瓶颈状、蛋状、眼状、立体交叉状、钩状、山谷低地、波浪状、台阶状、鼻状、串珠状等)及图形组合,供自动绘图用。

2. 计算机三维动画显示动态的地质过程。

六、计算机的最新硬、软件在地质学中的应用

近年来,在计算机技术领域不断地出现一些硬件和软件,这些硬件和软件及时地在地质学中得到应用。属于这一范围的硬件和软件可以列举下列内容:多媒体、光盘存储器(CD-ROM)、“视窗95”软件、海水入侵动态三维有限元模拟等。

七、结 束 语

1. 数学地质是地质学中的独立分支学科,不管由国际发展现状看还是由国内发展现状看,都是如此,是符合实际的。应当按照对待独立分支学科的要求促进其发展,有利于出成

1. 正教

果、出人才,培养人才,稳定队伍,加强科学技术储备,促进学科发展。

2. 数学地质是地质学中的重要分支学科,但不是起主导作用的分支学科。认清这一特点,有利于实事求是地提出各种要求和对待各种问题,有利于鼓舞数学地质工作者的信心和保持长期稳定的心态。

3. 和地质学的其他分支学科相比,数学地质的历史比较短,成熟程度较低,而且是几个学科杂交的边缘学科。数学地质有下列特色:学科的研究对象和研究领域较宽,理论体系和方法体系正在形成之中,界线比较模糊,应用数学和其他高技术较多,定量化和现代化程度较高,生命力和适应性较强,具有较广阔的发展前景。

4. “计算机在地质学中的应用”和“数学地质”两者既有联系又有区别,前者为在地质学中应用的一种先进技术和方法,后者是独立的分支学科。从事前者的人数很多,涉及的面很宽,专门从事后者的无论在国外或国内,人数均较少。

5. 数学地质应当在实践中逐渐形成自己的较完整的理论和方法体系,并形成自己的特点。

6. 重视地质基础工作,数学地质一定要建立在可靠的地质工作基础之上。

7. 追踪最新动态,由相邻学科吸取新的营养,注意寻找学科的新生长点。但要脚踏实地认真工作,避免总是空洞地讨论新方向,而无具体成果。

8. 重视联系地质实际问题,面向生产,扎扎实实地工作,避免昙花一现,使其立于不败之地。

重力差值趋势面分析系统及应用

景 平 阎汉杰 肖仁陵 杨 帆 张晓凤

(胜利石油管理局计算中心)

摘 要 从数学上,我们已成功地导出了差值趋势面分析这一具有空间分布的综合信息分解的新的多元分析方法,从而理想地把目前国内外仅可使用的中低次趋势面分析提高到现已使用的 30 次趋势面分析的最新水平,进而与重力信息分解机理相结合,研制出一套可运行于 VAX 小型机、SUN 工作站上的重力差值趋势面分析软件系统(GDVTAS),并为油田处理了济阳、昌潍、临清、胶莱等地的重力资料。经大量的分析和检验,确认该系统较传统的微商、解析延拓等方法先进,在区域构造演化、层系发育及地层空间分布规律的研究上均取得了重要进展,尤其对 CD 油田的发现、寻找大 35 井有利含油区、探索博兴洼陷沙四下与孔店组的南延、研究新疆准噶尔盆地东部地区构造演化等问题都获得了新的认识。

关键词 趋势面分析,差值趋势面分析,拟合度。

一、重力差值趋势面分析系统

重力差值趋势面分析系统是由布格重力异常资料与差值趋势面分析(含趋势面分析)结合组成的重力资料处理流程与地质解释系统,主要用于研究区域构造演化、局部构造变迁及其在空间的分布规律。该系统主要包括三部分内容:

1. 由低次到高次的布格重力异常趋势面组成的处理流程与地质解释系统,简称为重力趋势面分析子系统。如 1 次,2 次,……,20 次趋势面分析系列,随次数提高而信息增加,反映的是近似于地质现象的加积过程:浅部地层的影响逐渐增加,背景信息逐渐被复杂化,最后在高次趋势图上则清晰地呈现出现今区域地质构造的形态。因此又可将此过程广义地理解为“区域地质构造从古至今的演化过程”。

2. 由低次到高次的布格重力异常差值趋势面组成的处理流程与地质解释系统,简称为重力差值趋势面分析子系统。如 1—20 次,2—20 次,……,19—20 次差值趋势面分析系列(如目前可达到的最高趋势面的次数仍不够高,则需改用由低次到高次的布格重力异常趋势面的剩余所组成的处理流程与地质解释系统,如 1 次,2 次,……,20 次趋势面分析的剩余系列),与重力趋势面分析子系统相反,随次数提高而信息减少,反映的地质现象近似于剔除区域背景的过程:深部地层的影响逐渐减少,浅部地层的信息逐渐被突出,最后在高次差值趋势面上只剩下浅层的信息,甚至为最新沉积的反映。因此,重力差值趋势面分析子系统 $m-(m+1)$ 次, $m-(m+2)$ 次,……, $m-q$ 次差值趋势面, q 次趋势面剩余图系列,如 10—11 次, 10—12 次,……,10—20 次差值趋势面,20 次趋势面剩余图系列,随次数的提高,反映的地质现象又可广义地理解为“不同层系从古至今的构造发育史”。

3. 由趋势面与差值趋势面、随机异常图混合组成的处理流程与地质解释系统,简称为重力混合处理与地质解释子系统。它可把反映地下诸地层密度变化的布格重力异常信息,分解成反映区域背景、多种局部异常、随机影响三部分与地质现象相关的信息分量。假如以实际情况选择的自然数 $m < k_1 < k_2 < \dots < k_e < q$, 重力混合处理与地质解释系统分解地下诸层系重力布格重力异常信息的表达式,由可简化表示为:布格重力异常实测信息(实测图或称等值图)=反映区域性变化规律的背景信息分量(m 次趋势面图)+反映局部异常规律之一的局部异常信息分量($m-k_1$ 次差值趋势面图)+反映局部异常规律之二的局部异常信息分量(k_1-k_2 次差值趋势面图)+ $\dots$ +反映局部异常规律之($e+1$)的局部异常信息分量(k_e-q 次差值趋势面图)+反映偶然因素作用的随机异常信息分量(q 次趋势面分析的剩余图)。

重力差值趋势面分析系统中趋势面分析的最高次数 q 如何确定? 重力趋势面分析子系统中依次所做的趋势面和重力差值趋势面分析子系统中依次所做的差值趋势面,它们如何按有密度界面的层系进行地质解释? 重力混合处理与解释系统的参数又如何选择? 除依地质情况外,非常重要的手段是参照趋势面分析的拟合度曲线。

趋势面分析的拟合度曲线,一般具有两个关键点:一个是拐点,一个是平缓点。拐点是在拟合度曲线上由中低次趋势面向中高次趋势面的转折点,趋势面从反映中深部地层的区域构造转向以中深部地层为背景的中浅部地层的区域构造,并清晰地呈现出现今的区域地质构造形态;而差值趋势面却从反映现今区域构造形态转向反映中浅部地层的构造形态。据济阳坳陷试验处理,拐点之上的一两个点是应引起重视的点,其对应的差值趋势面一般都能较好地揭示浅部沉积地层的局部构造,对于指导区域勘探、寻找次一级的局部构造具有特殊的参考价值。

平缓点是在拟合度曲线上由中高次趋势面向高次趋势面转折并开始变得平缓的点。越过平缓点,趋势面则转向越来越清晰地呈现出现今的区域构造形态,而趋势面的剩余却转向越来越接近反映随机异常信息。因此,趋势面的最高次数 q ,都应选择平缓点之上的点所对应的趋势面的次数。据济阳坳陷重力资料处理结果统计,平缓点处的拟合度一般在 98% 附近,少数在 90% 附近,它们的 q 次趋势面都非常接近油田的区域勘探形势图。而剩余图,当拟合度在 98% 附近时,可直接当做随机异常图;而在 90% 附近时,则不能简单地将其当做随机异常图,因其中含有非常复杂的浅层构造信息,还有待继续分解。

二、系统的关键技术

该项目在研制重力差值趋势面分析系统中,解决了几项技术难题与关键,创出了一些具有国内外水平的成果。

从数学上导出了差值趋势面分析与趋势面分析的定量关系及其使用价值的范围,并从理论上把实测资料信息在趋势面分析的基础上进一步分解成三部分信息——反映区域性变化规律的背景分量、反映单一局部性变化规律的诸种局部异常分量以及反映偶然性因素作用的随机异常分量,进而在趋势面分析的基础上研制了一种新的多元分析方法——差值趋势面分析。该方法现已在石油、煤炭、矿产等部门推广应用(差值趋势面分析的数学推导及与趋势面分析的定量关系请参见参考文献^[1])。

在趋势面分析的国内外应用中,多数使用 3—5 次的低次趋势面分析,少数使用 7—8

次,最高 12—13 次,而次数更高的趋势面分析,则因其存在内插外推效果差、假的凹陷凸起多的现象,故一直无人问津。

差值趋势面分析的导出,从理论上较为理想地解决了随机异常信息剔除,以及局部异常信息的细分解。但是要想应用于实际还必须把高次趋势面分析提高到如中、低次趋势面分析一样的水平上,否则仅靠中、低次趋势面分析很难在计算区域大或数据变化复杂的情况下,剔除随机异常和实现实测资料信息的全分解。

趋势面分析的次数高低不是绝对的,高次趋势面也应与中低次趋势面分析一样都有其实际的应用价值。但过去未能利用的原因主要有两个:

一是数据少而又分布不均匀,缺乏必要的代表性和随机性。用这样的资料求出的方程,尤其是中高次趋势面方程,采用内插外推,在缺少数据的区域里出现假的凹陷凸起,显然是不可避免的。

二是求解方程系数误差大,以致出现“病态”,大到不能保持差值趋势面分析与趋势面分析的定量关系,出现拟合度下降的异常现象。用这样大误差的方程,不出现假象倒是不可思议的。

高次趋势面分析不稳定的“症结”找到了,进而综合应用 HOUSEHOLDER 变换与奇异值分解方法,探索解决了高次趋势面分析求解问题,较为成功地把目前国内外仅可使用的中低次趋势面分析的水平提高到了现在 30 次趋势面分析的最新水平。在趋势面分析的应用中,只要数据足够多又分布均匀,保持数据的随机性和代表性;只要求解方程系数的误差不大,在误差允许的范围内保持差值趋势面分析与趋势面分析的定量关系,那么趋势面的次数再高也不会出现假的凹陷凸起、也有其较高的使用价值,从而取得了高次趋势面分析应用的突破性进展。

重力差值趋势面分析系统不仅可以如同微商、解析延拓等重力常规处理方法一样用于研究局部异常、区域构造,而且还可以别具特色地用于定性研究在下列方面:

1. 类似地质现象的“区域构造演化或加积过程”;
2. 类似地质现象的“主要层系发育史”;
3. 主要层系的构造形态及其空间分布的变化关系。

三、系统的推广应用

根据用户的需要,1987 年以来曾把山东石油探区先划分为若干个区(车西、义和庄、桩西、浅海、阳信、惠民、博兴、草桥—八面河—羊角沟、东营);继之分成临清地区、昌潍地区、胶莱地区、滨海地区、惠民—东营地区,以及把山东北部 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 作为一个大区,系统地做了反映区域构造演化的重力趋势面分析子系统图件,反映主要层系发育史的重力差值趋势面分析子系统图件,以及诸主要层系空间分布规律的重力混合子系统图件,共处理约 $7 \times 10^4 \text{ km}^2$,15 个地区出图 1800 多张,分别向油田地质科学研究院、地球物理勘探开发公司、浅海和滨海指挥部等单位提供 5800 多张图,有力地配合了钻井与地震布署,发挥了重力在石油勘探中的效用。尤其在研究 CD 地区构造演化、圈定含油气有利带,探讨义和庄地区大 35 井含油有利带,以及指导地震布署等方面,均收到了良好的效果。

应用重力差值趋势面分析资料处理与地质解释系统,1988 年以来处理了新疆准噶尔盆

地东部地区和陆梁地区、四川川中地区、广东三水地区重力资料共 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。新疆石油管理局地质院高级工程师吴庆福认为,准噶尔盆地东部地区重力差值趋势面分析资料能较为理想地反映出该地区的构造演化史,这是重力资料应用的一大进展。

应用重力差值趋势面分析系统处理了东营凹陷博兴洼陷重力资料,给出三套子系统图 273 张。12 次趋势面呈现近东西向(图 1),12—16 次差值趋势面呈近北西西向(图 2),而 16—23 次差值趋势面为北北东和近南北向(图 3),与该区各时代地层等厚图及相应的构造图件对比,可以看到该区古生界确系近东西展布,并且保存较好;中生界特别是火成岩系从周缘推测很可能受北西向断裂控制,沿石村断裂在下降盘一侧厚度较大,这一作用可能延续至早始新世;从而使得孔店组地层也大体沿这一方向在博兴洼陷内大量沉积,柳参 2 井已在该区钻遇大约 200m 厚(钻井遇事故未钻穿,从地震资料分析有

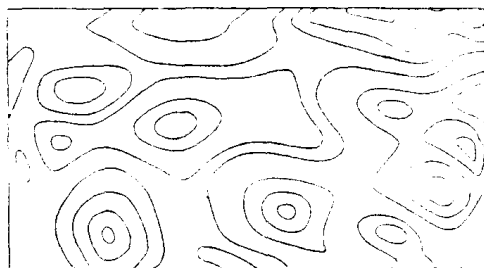


图 1 博兴地区布格重力异常 12 次趋势面等值图

大约 1700m 厚)的孔店组暗色泥页岩。渐新世以来该区受北东的构造线控制,沉积了数千米生储油岩系,并在洼陷及邻近隆起上现已探明了七个油田,多处见到工业油流。从这些图件上也非常明显地指示出洼陷应向南延伸。据有关的钻井与资料分析,沙四下向南延伸数十平方公里,馆陶组、第四系向南超覆也数十平方公里,孔店组、中生界向南扩大了大约 200 km^2 。这样,为扩大第三系含油气范围,在孔店组、中生界找油气提供了新的依据。

滨海地区 1 次趋势面(图 4)呈北西西走向、南西单斜。随着次数增加,趋势面反映的物性界面逐步从深到浅,由花岗岩顶部经变质岩直至具有更大起伏的沉积岩。从中发现义和庄凸起原是从埕子口基岩隆起上发育出来的,7 次趋势面为向南倾没的鼻状隆起(图 5),15 次后则表现为渐渐地脱离“母体”,自成一独立的隆起(图 6、7),与此类似,埕北凸起主要是从海上基岩隆起从东向西演化来的,15 次之后,便与渤中 25-1-1 凸起分开,形成现今的披复构造形态。而在反映古生代以来地层发育史的差值趋势面(图 8、9),趋势面的剩余图上渐渐地反映出潜山披复构造与现今主要含油气层位上第三系馆陶组披复构造的形态,而且埕北潜山构造高点从古至今向南偏东方向移动,揭示出呈北 12 井、11 井是馆陶组披复构造的较佳位置。但是,如果考虑到深层,特别是潜山,最佳井位则应在呈 20 井北部选择。还有车镇凹陷西北大 52 井以北偏西地区,大致相当于套儿河口出现的一个正异常地区,大王庄与埕中凸起鞍部的大 35 井区;桩 14—桩 303 井地区(看来桩 303 并未打在构造高点),在发育图上皆有非常明显的正异常。像大 35 井区已进行重点勘探,套儿河口地区、桩 303 以北地区,应是今后勘探重视的地区。

对用该系统处理出的胶莱地区重力差值趋势面资料初步分析,继承性发育较好的诸城凹陷及莱西凹陷应是勘探部署的重点对象。

四、结 束 语

随着非地震技术的发展,尤其是高精度重力勘探的高速发展,应运而生的重力差值趋势

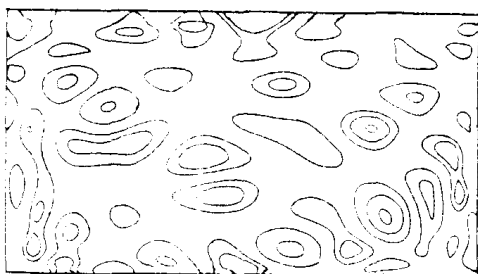


图2 博兴地区布格重力异常 12—16 次差值
趋势面等值图

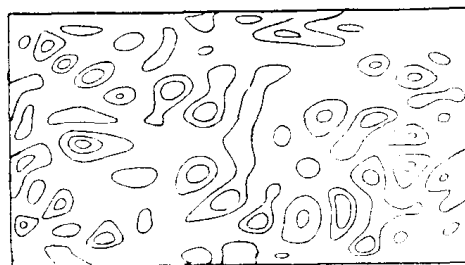


图3 博兴地区布格重力异常 16—23 次差值
趋势面等值图

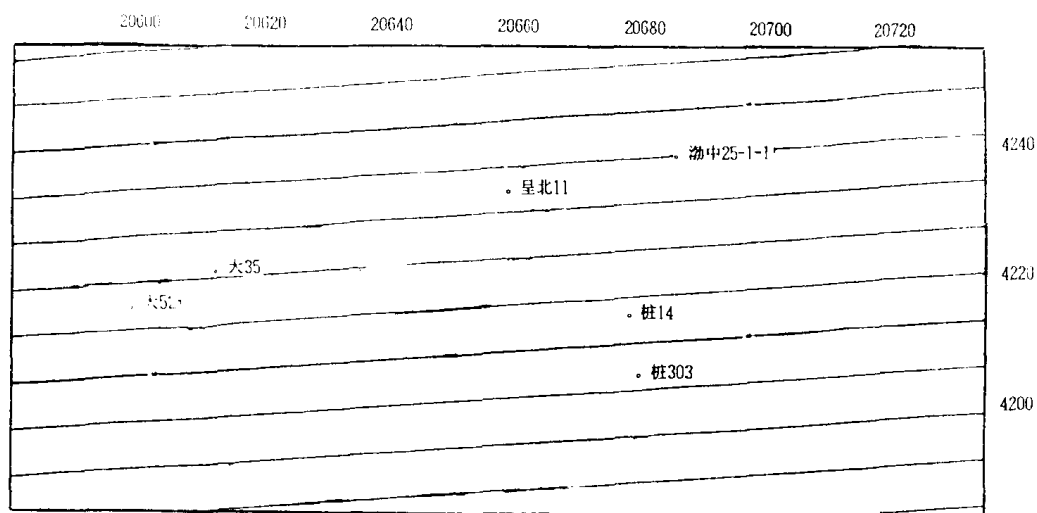


图4 滨海地区布格重力异常 1 次趋势面等值图

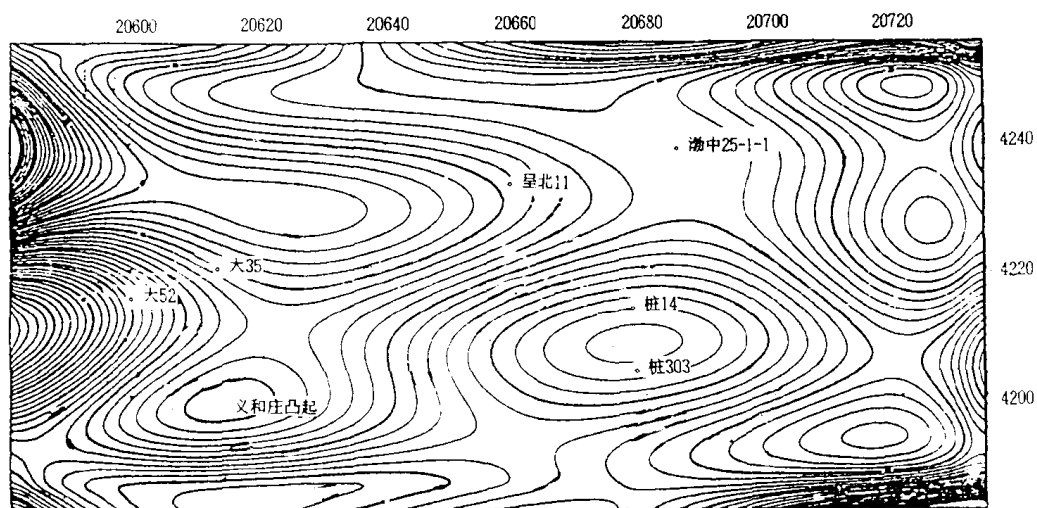


图5 滨海地区布格重力异常 7 次趋势面等值图