

中国数学地质

中国地质学会数学地质专业委员会 编著



地质出版社



中国地质学会文集之三

中国数学地质

5

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

地质出版社

·北京·

(京)新登字 085 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国数学地质 (5)/中国地质学会数学地质专业委员会主编.-北京:地质出版社,1994.9
ISBN 7-116-01696-1

I.中… II.中… III.数学地质-计算机应用-中国-文集 IV.P5-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (94) 第08287号

地质出版社出版发行

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:杨友爱

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:15.625 字数:370000

1994年9月北京第一版·1994年9月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:13.10 元

ISBN 7-116-01696-1

P·1367

前 言

本书的论文选自1993年11月17日至21日在西安市召开的“全国数学地质及计算机地质应用成果、经验交流会”。本次会议由中国地质学会数学地质专业委员会和陕西省地质学会联合主持召开，由陕西省地质学会数学地质专业委员会及其挂靠单位煤炭科学总院西安分院承办。来自全国各个系统和部门的66位数学地质工作者参加了会议，共提交了学术论文73篇。本次会议的学术交流主要涉及下列方面内容：

1. 金属矿产和石油资源的定量评价预测；
2. 地质统计学；
3. 地质过程数学模拟；
4. 地质专家系统（其中包括地质图形知识和图形推理）；
5. 地质信息系统；
6. 分形理论和人工神经网络在地质中的应用；
7. GIS在地质中的应用；
8. 数学地质的国内外最新发展动态和趋势。

本次会议的学术交流内容丰富，涉及面广，应用水平高，论文质量好，而且多数研究成果体现了科学技术已转化为生产力，产生了可观的经济效益和社会效益。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。

陕西省地质学会和陕西省地质学会数学地质专业委员会为本次会议召开作了大量的工作，尤其是中国地质学会数学地质专业委员会常委、陕西省地质学会数学地质专业委员会主任门桂珍高级工程师不但为本次会议提交了一篇高水平的论文——煤矿地质信息系统的开发与应用，还为会议作了深入细致的组织工作，使会议得以顺利召开，并得到各方面的好评。

由于一些客观原因，还有很多优秀论文未选入本书，敬请作者和读者谅解。

编 者
1993年12月

目 录

前言

从第26届国际地质大会看数学地质的现状与发展·····	赵鹏大 孟宪国 姜作勤 (1)
信息预测与有序性·····	徐道一 (7)
煤矿地质信息系统的开发与应用·····	门桂珍 萨贤春 雷宝林 毛善君 (14)
空间域中多元信息的地质统计学研究·····	
·····	侯景儒 王志民 张树泉 郎宝平 潘贵平 黄竞先 (23)
理论变异函数·····	蒋 志 (29)
广义克立格方法·····	蒋 志 (33)
微量元素在地质场中迁移的方向性和迁移陷阱分维结构模型·····	
·····	周永章 杨蔚华 刘友梅 彭先芝 孙洪利 (50)
估值的稳健性和变异函数的模型化·····	王家华 高海余 (56)
油气储层随机模拟的地质应用·····	张团峰 王家华 (62)
西昌地区含油气构造遥感信息定量解析方法·····	杨武年 朱章森 (74)
地质过程模拟的程序设计和应用·····	罗秋霞 郑朝阳 郭迪孝 (77)
欧氏距离分析法·····	郭光裕 林卓虹 朱学文 (84)
储量计算工作的新工具——铀矿勘探软件系统·····	
·····	张 鹏 薛禹选 汤 彬 傅继光 徐 双 刘腾耀 刘耀荣 (91)
图形知识和图形推理的初步研究·····	马生忠 叶永盛 陈廷勇 朱政嘉 李学斌 (95)
金矿综合信息预测知识库建造与优化·····	王于天 刘 超 陈爱菊 (103)
协同克立格法在桃江锰矿的应用·····	王志民 侯景儒 (113)
空间变异参数模型研究·····	王志民 侯景儒 (121)
均匀介质油气藏边界位置估计·····	吴声昌 余其煌 周 宏 胡承先 陈永明 (127)
长方形天然裂缝油藏压力分布的边界影响·····	吴声昌 郭 革 胡承先 张 宁 (134)
石油地质勘探开发综合研究的日趋计算机化——兼介绍二个辅助地质绘图实 用程序·····	帅林华 (139)
数值模拟技术在川东石炭系气藏开发中的应用·····	唐 楷 蒲加奇 唐玉林 (146)
一种分块连续曲面的克立格估计方法·····	周 叶 王家华 (154)
用于计算机自动绘制地层构造横剖面图的一种断层处理方法·····	
·····	高海余 周 叶 王家华 (159)
数学地质及计算机在气田开发地质研究中的应用·····	
·····	陈立平 董敏淑 李志良 刘发洪 (164)
基于神经网络模式识别的数学地质新方法·····	汤大立 王小立 (169)
综合分析法在薄层地震资料中的应用·····	陈琴芳 季钟霖 贺振华 (176)
用GIS预测煤矿底板突水·····	季景贤 孙亚军 郑世书 张大顺 (187)

经典统计方法的稳健化处理·····	夏玉成(192)
TM数字图像处理在豫西南无模区1:5万金矿评价预测中的应用·····	周志强(199)
成矿预测中地质统计单元的定量划分方法及晋东北金矿预测单元研究·····	
·····	侯惠群 田 华(208)
我国含锰沉积岩系统分类及地球化学特征·····	朱作山 黄金水(212)
渭北煤田岩溶裂隙水控水指标的应用研究·····	王晓刚 樊怀仁 牟国栋(219)
川南下二叠统裂缝系统的分形研究初步·····	胡志水 徐瑞松(225)
地测微机网络系统的应用·····	郭励生 李成智 李彩惠(230)
露天煤田综合评价的指标体系和权重的确定·····	张瑞新 王忠强(233)
数学地质在1992—1993年期间的主要进展·····	刘承祚(237)

从第 26 届国际地质大会看 数学地质的现状与发展

赵 鹏 大 孟 宪 国

(中国地质大学)

姜 作 勤

(地质矿产部)

摘 要 第29届国际地质大会所显示的数学地质的现状与发展主要有下述几点：①计算机模拟与三维分析有较大发展；②地学中计算机图形学和三维图示技术更加普及；③地质数据的数学和统计分析仍是最热门的研究课题；④基础地质研究中的数学地质应用有所加强；⑤分形理论和方法在地质研究中受到重视；⑥地质数据和信息管理及其工具和技术的开发有所进展；⑦数字测（编）图技术发展迅速。总的来看，数学地质在不同国家和不同领域发展很不平衡。

关键词 第29届国际地质大会；数学地质及地质信息；计算机模拟。

在1992年8月24日—9月3日在日本京都召开的第29届国际地质大会上，“数学地质及地质信息”分组（Ⅱ—22）共组织了6个讨论会，其中4个既有报告又有展讲会，2个或只有报告会，或只有展讲会。在计算机室（安装有IBM/PC，NEC-9801及Macintosh三类微机）则可演示计算机程序及其应用。在数学地质分组之外，还有两个附加的讨论会，一是定量地层学，二是涉及数学地质发展史（“数学地质50年—金岁纪念”）。

“数学地质及地质信息”下设的6个专题讨论会是：①地质过程和事件的计算机模拟；②地学中的计算机图形和三维分析；③地质数据的数学和统计分析；④地学中的数据合成；⑤地学数据管理：工具与技术；⑥地学中的数字编图。可以看出，专题组织者突出了计算机在地学中的应用，覆盖了较广泛的领域。整个Ⅱ—22学科组共有论文118篇（发言59篇，张贴展讲59篇），涉及26个国家，从论文数量的国家分布看：独联体最多，共24篇，东道国日本占第二位，总计19篇；美国15篇，法国12篇，中国占第五位，计11篇。此外，德国7篇，加拿大4篇，澳大利亚3篇，保加利亚、越南、奥地利、尼日利亚各2篇，其余伊朗、荷兰、挪威、土耳其、伊拉克、埃及、埃塞俄比亚、丹麦、葡萄牙各1篇。

从本次地质大会所发表的论文及展示情况看，数学地质的发展现状有以下几个特点：

1. 计算机模拟与三维分析有了较大的发展

各种地质现象和地质体是地质作用和其它自然作用长期演化的结果。研究这些地质现象和地质体可以对其发展演化过程作出种种推断和解释并进而预测未来可能发生的地质现象或事件，因而具有重要的理论和实际意义。然而，许多地质过程或过快、过慢，或太大、太微，或太危险、太复杂，以至无法或很难采用一般的物理和实验的方法进行验证。在这

种情况下, 计算机模拟地质过程就成为一种重要研究手段而受到数学地质界的广泛重视。本次大会在这方面的论文共有17篇, 主要集中在美国、日本、法国及独联体国家, 其余加拿大、中国、尼日利亚也有少量文章。从模拟的内容看, 对各种沉积现象的模拟比较集中, 包括网状水系沉积的几何模拟; 侵蚀沉积年代及岩性的重建; 陆架盆地填充的数学模拟等。美国著名模拟专家(《地质过程计算机模拟》著者)、斯坦福大学应用地球科学系教授哈博(J. W. Harbaugh)在会上发表了一篇题为“沉积盆地模拟方法现状”的文章, 指出过去五年, 沉积盆地模拟的模型和方法都有迅速发展, 全部使用计算机并用计算机生成的图形展示模拟的特征。早期采用的模型都是二维的, 盆地的表示是用垂直剖面, 而新的模型则是三维的。

二维模型的优点是编程简单, 计算迅速及易于图形的显示, 主要缺点是内在的不现实性。例如, 在盆地边缘由河流系统产生的三角洲的特征只有用三维模型才能较合理地加以表示; 再如弯曲河流产生河流沉积时的侧向位移及其受波浪的侵蚀也不能有效地用垂直剖面来表示。事实上, 所有模拟沉积盆地的模型都力图表示盆地生成的主要地质过程, 但反映过程的方式可以有很多, 例如在一个二维模型中碎屑沉积物在盆地中的搬运可以简单地用扩散方程表示, 而在更先进的三维模型中则可以表示河流中或海洋中水流的运动, 而且可以把沉积物搬运方程及流动方程联结起来。真正有效的盆地模型必须把所有主要控制实际盆地生成的地质过程都包括进来, 包括水流、波浪作用、侵蚀作用, 水流中碎屑沉积物的搬运和沉积, 碳酸盐的沉积与蒸发, 压实与孔隙流体的排出, 成岩作用, 均衡补偿以及构造变形; 另一些过程是烃类的产生及运移、风力搬运、沉积物的大量运动等。这反映了今后模拟模型的发展方向。

除沉积盆地外, 地质模型的其它方面也越来越多地使用三维模型。如网状水系沉积的几何模拟(美国、威斯康辛大学地质地球物理系 E. K. Webb 等)研制出一种估计网状水系沉积物三维分布的方法。褶皱和断裂地体计算机三维侵蚀模型(法国, M. Perrin)等。模拟的内容还涉及板块边界的形变与动力学之间的关系(法国, E. Calais “横推板块边界应力-运动学关系的半定量模拟”); 节理岩体风化过程计算机模拟, 地质构造演化的力学-数学模拟等。

2. 地学中计算机图形学和三维图示技术更加普及和发展

这方面文章的数量虽不多(13篇), 但分别来自法国、中国、日本、以色列、独联体、澳大利亚、伊朗、比利时及荷兰等国, 内容比较集中, 全部是三维图示技术在地学中的应用。一种是利用现有的软件直观展示地质现象, 如法国矿产资源局与其它单位协作, 利用 gOcad 软件进行地层或断层的三维几何模拟。用该软件解决三角网, 用软、硬数据进行内插和平滑, 连接地层和断层, 组合各种限制条件, 使地质专家集中精力解决实际问题, 对数据进行解释。另一种是研究算法, 开发软件, 重建地质现象。包括利用露头 and 钻孔中的方位角和倾角, 重构地质边界; 确定溶液中铀和羟基组分的计算和可视化程序; 与野外观测一致的三维地质表面的优化确定; 开发组合电磁测深数据结果的可视化程序; 地中海盆地晚第三纪演化的三维计算机辅助复原以及探讨用交互式计算机图示技术重建三维地质系统的有关问题。后者是澳大利亚学者 J. Tipper 在“重建三维地质系统”一文中提出的。他认为, 大多数地质系统具有三维性、非均质性及观测不全面性。因此, 一个重要的和十分普遍存在的问题是如何根据不充分的观测数据重建三维的不均质系统。他们进行了三方

面的工作：①重建地下单元可能的地形及几何特征；②储层和开发盆地可能流径的预测及③概率地质图的编制。

3. 地质数据的数学和统计分析仍是国际数学地质界最热门的研究课题

这部分在整个学科专题论文中所占比例最大，总计41篇。论文最多是独联体(13)篇，其次是美国、印度和日本，而且共有20个国家提交了论文报告或展示。

这部分论文可划分为侧重于方法模型方面和侧重于应用方面两类，而在应用性论文中又以利用数学及统计分析方法进行能源及矿产资源预测及评价者为多。

美国 Hergfeld 在“连续空间模型的离散地质数据分析”一文中分析了数学地质方法学中的一个普遍性问题，即“分析一个有限数据集，以描述地球某种特征的连续性质，诸如构造界面，地形起伏，厚度区间，地球的重力场和磁场等。此时，用一个空间限定的模型在数据点之间进行内插。进行这些工作的方法是依据地球物理反演理论，区域化变量理论（地质统计学），测量学及光学制图理论，凸面优化理论以及数学规划及运筹学理论。俄罗斯著名数学地质学家罗吉昂诺夫（Rodionov）提出了一个“定量与定性混合数据均质化分割的多元统计法”。他以前曾经提出过两种方法分别用于定量和定性数据，现在他将两种方法合而为一，途径是提出一种检验定性定量混合地质数据均质性的假设检验法。加拿大数学地质学家郑昌祚（Chang-Jo F. Chung）提出了“具低于灵敏度下限地球化学数据集的协方差矩阵计算法”。西班牙 V. Pawlowsky 及美国 J. Davis 联合提出了“一个油田的体积估计法”，还有美国 D. F. Merriam 的“地质数据的空间分析法”，日本 M. Hirano 的“用拉普拉斯法研究地下地质构造及其应用”等。在应用性论文中以油气资源预测及评价、金属矿床或某个地区矿床的综合、定量预测为主。如法国 J. Harff 的沉积盆地中烃类预测”一文提出了一种被称为“正态化距离克立格法”的内插方法，以获取无资料可利用地区的找矿有利度的估计。挪威 Sinding-Larsen 及 Zhuoheng Chen 的论文“应用改进的 Anchored 模型进行石油资源评价”是对考夫曼 1986 年提出的用连续抽样模型进行油气资源发现顺序随机模拟的一种改进。矿床的综合定量预测论文大部分来自独联体国家的学者。如“哈萨克斯坦矿床模型及其计算机定量预测”，“综合应用地物化数据进行矿产资源预测”等。

4. 基础地质研究中的数学地质应用有所加强

此前，在地层学、古生物学、沉积学等学科领域应用数学方法较为重视，在理论和实践的基础上逐步形成了“定量地层学”、“定量沉积学”等分支学科。本次地质大会论文中，数学模型在基础地质研究的更广泛领域有所应用。如独联体 Sirotinskaya 的“用数理逻辑研究地质事件的计算机应用”；日本及美国的“下古生代海面温度（SST）计算”，在加勒比—北美板块之间现今运动分析中的半定量模拟；利用金属元素浓度计算深海—半深海—近海陆源沉积环境指数；根据产状数据进行地质构造自动分析；利用沉积物化学成分多元分析结果，确定大地构造部位，判断活动大陆边缘（ACM），ACM/大陆岛弧（CIA），ACM/被动边缘（PM），CIA/大洋岛弧（OIA）等。

5. 分形理论和方法在地学研究中受到重视

有几篇文章涉及这一新方法的应用。日本地质技术研究中心 Reuo Colas 的“分维在地质统计分析中的应用”报道了借助分维技术克服应用地质统计学方法的困难。作者在研究一个地区的断裂破碎数据集时发现在一条测线上很小的跨度里破碎频率的波动是很大的，

在变异图上变程很小, 约在5—9m之间, 而测线的平均间距为40m, 在这种情况下要预测两条测线之间的破碎数据分布是很困难的, 因为应用克立格法必需确定一个“研究半径”(数据点个数的界线), 以避免过大的光滑效应。为此, 作者应用普通常规方法计算破碎频数对数的分维, 这就可以将每个破碎“族”的特征加以确定。利用两条测线的平均分维可以在两条测线之间建立一条人工线, 在一个小的选定的“研究半径”之内应用常规克立格法是可能的, 所得结果较之不用人工线更好。

另一篇是美国R. H. Fluegeman的“长程古海洋数据分形分析: 太平洋岩心V 19—30 氧、碳同位素记录”。以前(1989)曾经用分形研究过赤道太平洋的氧同位素记录, 该研究所用氧同位素数据是由浮游有孔虫导出的, 该项记录的分维(D)为1.22并解释为代表太平洋赤道的古气温/冰体积记录的特征。为了古气温/冰体积的分维能否与其它古气候、古海洋现象进行比较, 一个重新标度的测程(R/S)分析用底栖有孔虫氧同位素记录及浮游和底栖有孔虫的碳同位素记录进行, 其数据是从东太平洋岩心V 19—30取得的, 上述三种记录的分维分别为 $D_1=1.12$, $D_2=1.10$ 及 $D_3=1.08$, 结果表明所有三个分析的参数十分一致, 两个深记录与浮游有孔虫氧同位素特征很相似。此外还有我国作者的“确定重力场和布格密度的分维模式”及“矿床统计预测的分形理论”等。

6. 地学数据和信息管理及其工具和技术的开发有所进展

数据库是地学领域计算机应用最广泛的技术之一。发达国家从60年代开始建立各种数据库或信息系统, 70年代初具规模, 80年代是不断完善和发挥作用的阶段。29届地质大会上, 独联体介绍了“矿物数据库”和“活动断层数据库”的情况。奥地利介绍了国家地质信息系统。除建立了文献库、地质技术和地球科学专题图信息系统、样品信息系统外, 奥地利地调局正在加强用ARC/INFO作为工具, 研究辅助地质图出版印刷过程。日本学者介绍了利用已知数据库编绘伊朗西北工程地质图等。在数据管理工具方面, 美国地球物理协会的G. N. Rassam提出利用网络技术作为地学数据的管理工具。近几年, 电子网络无论是作为通讯的手段还是作为信息传播的工具发展都很快。“Internet”将成为真正的全球科学网。现在已有40多个国家参加, 300多万用户。对于地学领域, 这种发展一方面受到欢迎, 同时也带来一些问题。现在的高速、高容量使科学家们很容易传输大量的计算机文件, 同时通过快速准确的电子邮件, 使大家共享观点, 实现数据库远程存取。存在的困难和问题是①在世界的某些地方网络无法存取, ②费用问题, ③缺乏标准化的对比方法, ④与商业公司的竞争, ⑤缺乏地质信息, 如图件的数字化标准。

另一技术涉及多语种词表。这是由国际地学联合会与国际科学技术信息委员会资助的国际合作项目, 是一个由英、法、德、俄、西班牙、意大利、芬兰和捷克语对照的地质术语表。1970年开始, 1989年28届地质大会时出版了第一版本, 那时, 库内包含4000多个无系统的术语, 现在这些术语又增加了1000多个, 还增加了几千个系统的术语, 如化石组名、矿物岩石、地层和地理单元, 并增加了葡萄牙语, 1993年将发布第三版本。

在第29届地质大会上, 地科联的两个委员会(地质文献委员会及地质数据存储、处理和检索委员会)已决定联合成“地质信息委员会”(COGEOINFO), 这一举措将促进适合解决地质问题的多媒体方法的发展。

7. 数字测(编)图的新进展

长期以来, 地学各类图件一直是以纸质形式提供, 直到70年代中后期发达国家(美、

德、英等)开始数字制图的研究才逐渐有所变化。由于计算机技术的迅速发展,对具有与计算机兼容格式的图件信息产生了新的和日益增长的需求,这就促进了数字测(编)图技术的发展。从29届地质大会所展示的成果看有以下几方面新的进展:

① 遥感技术已成为数字编图的重要手段,也是研究的热点。

由于利用遥感信息编图具有速度快、覆盖面大、成本相对低(是传统编图的1/3左右),可大大减少地面工作,并不受国界限制等优点,引起各国重视。在29届地质大会上,美、德、法等国地质学家共提交了5篇论文介绍他们利用遥感信息进行填图所作的工作。这些工作的共同特点是利用多卫星遥感信息及其它数据(航空地球物理、地面地质、地球物理、地球化学等信息)编图。在中美洲的填图中应用遥感信息是由一个IUGS和UNESCO支持的国际合作项目。利用MSS, TM和SPOT卫星图像与地面的实际数据直接用于描述岩性单元,识别蚀变带,进行构造分析和确定岩石土壤和植被的光谱特征,在这个项目中,成功地将TM数据,航空伽马放射性测量所得数据与地质背景的地球化学异常综合在一起描述岩性单位,识别构造。另一篇由法国C. Bardinnet与德国G. Gabert合写的“国际地圈-生物圈计划尼泊尔喜马拉雅地区多卫星编图及立体地形建造”介绍了在该地区将TM、SPOT图像与其它信息综合在一起揭示地貌、地质、构造、土壤、植被特征以及侵蚀和滑坡。

利用卫星遥感在不同时间对同一地区测得的信息进行统计分析可精确地确定不同时间的空间差异,因而有可能检测环境过程的变化和变化的速率。这种方法很适合于那些在广阔的范围,在多个若干平方公里连续发生的运转。如沙丘移动、大型地震应变场、冰川移动等。

利用卫星遥感远距离采集信息的特点,可在环境恶劣地区填图。来自美国的另一篇论文介绍利用立体卫星和数字地形数据进行玻利维亚高原地表填图。为了进行此项研究,开发了各种新的遥感和数字分析技术,包括数字立体像对的建造和解释、数字摄影测量、数字高程模型分析等。

澳大利亚CSIRO勘探地学部与美国科罗拉多大学合写的一篇论文介绍了利用高分辨率数字光谱数据和反演方法进行地层填图。新研制的图像分光光度计可在几百个很窄的光谱波段采集地球表面的图像,因此可测量每个数字像元详细的反射光谱,这些信息可用于唯一识别许多地质上重要的矿物。利用地球物理反演方法对所测得的信息进行分析并结合地面野外工作提供沉积露头的详细图解。

② 采用数字制图技术,用计算机辅助完成图件的输入、编辑、修改直至生成达到出版质量要求的图件已在世界许多国家实现。从29届地质大会可以看到,奥地利、瑞典、日本、意大利等国也都实现了上述过程。软件用的几乎全部是ARC/INFO。奥地利还开发了电子挂网制四色印刷版的软件。

③ 计算机辅助编图。

一类是通过建立逻辑模型,构造地质边界,实现计算机辅助编图。这方面的三篇文章都是日本的、思路也是相同的,即根据野外实际工作得到的信息和所提出的逻辑模型,模拟地质构造,然后用计算机辅助生成地质图。构造模型至少需要两类信息:地质时间序列的顺序关系和相互衔接的岩性单元构造关系可表示成置换关系矩阵。该矩阵可用于安排确定地质界线的三维形状的数据。逻辑模型和三维地质边界结合可生成三维固体模型,进而产生二维或三维地质图和剖面。

另一类计算机辅助编图软件是提供交互式地质解释的功能、处理图像图形信息的能力以辅助编制地质图。美国喷气推进实验室的B.A. McGuffil的文章“IGIS——在Macintosh机器上的交互式地质解释系统”提供了航摄地质解释，走向倾角的确定，剖面构成，地质剖面的测量，地形斜度测量，地势剖面的生成，旋转式3D块状图生成和地震分析等功能的辅助构造地质图件。另一个软件是德国下萨克森地调局1985年立项开发的GIROS系统。目的是利用已有数字数据辅助编图。因此重点的问题是解决不同来源、不同格式数据的综合问题；解决利用钻孔数据和地质与土壤调查的数字化边界一起进行面填充的问题，主要功能包括：数字化和读取制图矢量数据，用数据文件中的区域属性与多边形联合起来，图件叠加，读取各种来源和格式的图像数据，矢量与光栅数据之间的转换、用钻孔的深度信息读取点数据、生成柱状剖面图，综合点、线、剖面、区域和光栅功能并绘出图件。

总的来看，数学地质学科在不同国家和不同领域的发展是不平衡的。在先进技术的研究与应用方面（如计算机模拟、计算机图形学与3D分析以及数字测（编）图等）发达国家占很大优势。而从研究领域上看，计算机应用技术优于应用数学模型的建立和改进，而后者又优于数学地质基本理论的研究，看起来，理论研究有些滞后，解决实际问题的有效性还有待进一步提高。

第30届国际地质大会1996年将在我国召开，所剩时间已不很多，为了展示我国数学地质的研究成果和水平，有必要及早准备报告论文和展讲材料。从我们学科的角度为开好这次国际地质盛会作出我们的贡献。

信息预测与有序性

徐 道 一

(国家地震局地质研究所)

摘 要 本文介绍了信息预测的基本思路,和它与统计预测的基本差别,以及在预测实践中一些主要进展(大洪水和大地震的预测)。数学地质应注意应用这些研究成果来发展新方法和新理论。

关键词 信息预测,有序性,可公度性,地震预报,统计预测。

近代自然科学的发展有300多年的历史,它是以牛顿科学的确定论观点来研究自然现象的。本世纪开始的现代自然科学承认了偶然性和随机性的存在。当前人们把统计方法作为许多现象进行定量研究的主要方法之一。

数学地质的发展大体上亦是按这一顺序发展起来的。它所应用的数学方法开始是一些确定性的数学公式(方程)。由于许多地质现象受很多因素影响,相互关系复杂,依据“现实世界简单性”的观念(普里戈金,1980)为基础的确定性方法难以有效地描述它们,因而在地球科学中应用受到很大限制。

统计方法自本世纪初提出之后,得到迅速发展。它被引入地质学研究中,亦颇见效果,辅以电子计算机技术的快速发展,各种统计方法(包括统计预测)目前已成为数学地质中广泛应用的主要方法之一。但是,还应看到统计预测亦有它的局限性。在预测一些罕见事件方面(如大洪水、大地震等),其预测效果并不理想。翁文波在80年代提出了信息预测的概念,开拓了与统计预测有明显区别的一个预测新途径。

一、信息预测与统计预测

翁文波在他的《预测论基础》一书中对信息预测给以明确的定义,并把它与统计预测相区别,从理论上概括为“从统计预测的平均法发展到否定随机性为原则的信息预测”。他的著作发表已约10年,但至今国内数学地质界对信息预测的了解甚少,有必要在下文作简要介绍。

目前对信息有各种各样的理解和定义,从而引起概念和使用上混淆。自从申农(C. Shannon)在1948年提出信息概念并用概率来定义信息量以来,现在不依据概率的信息定义受到非常广泛的注意。

翁文波认为:信息是信息体系中的元素、元素集或子体系。信息体系是受人们主观定义约束的秩序类。主观定义的约束可以是:某种理解、信念、设想、定理、法则、规律、法律、契约、编码等。信息的主观性早被维纳(见他的《控制论》,1948)明确说明,他把人、动物和机器的控制与通讯过程统一起来。所以信息不仅有科学本身的问题,还有社会

实践问题。上述信息体系中的“人们”的潜在涵义是：单个人的某种信息思维，只有在传播到其它人并为其它人所共同理解的条件下才成为信息。

在预测方面，目前可区分出两类预测模型。一类是以体系（客观世界中被主观选取的一个局部）中各元素的共性为基础的统计模型。体系中各元素的共性包涵在该体系之中。例如统计模型中对应一个 X 值，模型给出一个随机变量的分布，对于另一个 X 值，乃是符合同一分布。在统计量定义后，不再需要其它主观选择。从统计模型所产生的预测称为统计预测。

另一类模型是以体系中各元素的特性为基础的信息模型。这种特性就是信息的定义。它也有两种基本类别（亚类），对应于两种信息模型：一种是以概率为基础，即随机信息模型（如申农提出的信息论）；另一种是确定信息模型，信息的定义不涉及概率，而是由主观决定的。从信息模型所产生的预测称为信息预测。翁文波提出的和着重研究的信息预测主要是指确定信息模型为基础的。

翁文波认为：信息体系有两个极端情况。一个极端是事先就预定什么是（所要的）信息组成的体系；另一个极端是事先完全不规定什么是信息，而用相对简单的模型去拟合客观实际体系。统计预测显然是属于前一类的，因为它已假设某种统计分布和大数定理等。

从信息预测的理论出发，翁文波提出了可公度信息系等方法，10年来已有上百次成功地预测了大洪水、低温、地震等自然灾害的实例。

二、可公度信息系

“可公度性”（commensurability）一词是在天文学中首先提出来的，一直被当作经验关系未被重视，现在许多人快要把它忘记了。近十几年来翁文波在理论和实际应用上对可公度信息系进行了系统地研究，有了显著进展，已成为信息预测中一个重要方法。

可公度信息系的一般表达为：

$$x_{i+1} = \sum_{j=1}^l I_j x_j \quad i=1, 2, \dots, n; \quad l \geq 2$$

n 为元素的个数， l 是正整数， $\{j\} \subseteq \{i\}$ ，即 j 是下标集 $\{i\}$ 中的元素。 I_j 为整数。

仅一个可公度式可能是偶然的，不能作为预测的依据，一般要有两个以上的可公度式。把一系列由不同的可公度式求出的 x_{i+1} 值排列成单调上升的半序集，即

$$x_{(i+1),1}, x_{(i+1),2}, \dots, x_{(i+1),m}$$

并要求

$$(x_{(i+1),m} - x_{(i+1),1}) < \epsilon$$

式中的 ϵ 是确定模型中事先确定的可行临界值。如果满足上述条件，则 x_{i+1} 就可能不是偶然的。为了估计 x_{i+1} 的非偶然性的程度，可引入均匀分布的假设检验进行检验。

最足以证明可公度信息系的预测能力的实例是翁文波在1984年出版的《预测论基础》一书中已明确地提出了1991年将要发生大洪水的预报。

1. 预测1991年某地可能水涝

由历史记载可知，19世纪到20世纪，我国华中某地区共有大水涝（洪水）年份16次（据中央气象局气象科学研究所《中国近五百年旱涝分布图集》，1981），通过一定检查方法，翁文波从中找到有6次，表现为高置信水平的可公度关系（表1）。在表1中， x_i 为

洪水发生年份, 共有 6 次, 可分别组成 19 个可公度式。它们的均匀分布假设的检验结果都表明这些三元的可公度式不是偶然的。

表 1 最下部列出了预测结果。应用前面 6 个 x_i 值可列出 5 个可公度式, 其结果都为 1991 年, 据此预测 1991 年该地区可能再次水涝。

实际情况是 1991 年夏季我国江淮地区遭受了特大洪涝灾害。受灾范围之广、程度之深, 损失之惨重是解放以来所罕见, 直接经济损失达 450 亿元。这表明, 翁文波 (1984) 的发生洪涝的预测在时间和地区上都是符合的。

表 1 华中某地洪涝年份的可公度式

i	x_i	三元可公度式		X	$(1-\alpha)\%$
1	1827	$x_2 + x_3 - x_4 = 1827$ $x_3 + x_4 - x_5 = 1827$	$x_2 + x_4 - x_5 = 1827$	6	94%
2	1849	$x_1 + x_4 - x_5 = 1849$ $x_3 + x_5 - x_6 = 1849$	$x_1 + x_5 - x_6 = 1849$ $x_4 + x_6 - x_7 = 1849$	7	97%
3	1887	$x_1 + x_1 - x_2 = 1887$ $x_2 + x_6 - x_5 = 1887$	$x_1 + x_6 - x_4 = 1887$	6	94%
4	1909	$x_1 + x_5 - x_2 = 1909$ $x_2 + x_3 - x_1 = 1909$	$x_1 + x_6 - x_3 = 1909$	6	94%
5	1931	$x_2 + x_4 - x_1 = 1931$ $x_4 + x_4 - x_3 = 1931$	$x_2 + x_2 - x_3 = 1931$	5	88%
6	1969	$x_3 + x_4 - x_1 = 1969$ $x_4 + x_2 - x_2 = 1969$	$x_3 + x_5 - x_2 = 1969$	5	88%
7 * (预测)	1991	$x_2 + x_6 - x_1 = 1991$ $x_5 + x_3 - x_1 = 1991$ $x_6 + x_1 - x_3 = 1991$	$x_4 + x_5 - x_2 = 1991$ $x_4 + x_4 - x_1 = 1991$	9	99%

(据翁文波, 1984)

2. 大地震时间、空间分布的有序性

我们应用了信息预测的理论, 对我国大地震的时间分布的有序性进行了研究, 可以得到比一般统计分析更多的信息。周期现象只是有序性的一个特例。如仅仅限于周期性、统计性的研究要丢失许多有用的信息。应用有序性概念能更好地了解 and 有效地描述自然界各种现象的复杂性质。

对我国 8 级地震的时间有序性进行研究, 发现两个 8 级大地震发生时间之间存在有 252—257 年时间间隔的有序性 (徐道一等, 1991)。由于不同的时间间隔在时间上有部分重叠, 因此采用周期或周期叠加逼近的常用方法是不能发现这种类型的有序性。

近来, 我们对华北 7 级以上大地震的空间有序性进行了研究, 采用了相对简单的模型去拟合客观体系的观念, 发现有等腰三角形的有序性。

大地震是罕见灾变事件。我国历史悠久, 古代十分重视对地震等自然灾害的记录, 从而华北地区有相对比较完整的 7 级大地震的历史记录。解放以来, 对这些地震目录进行了

反复考核和修改,从而使其震中位置的确定达到了一定精度。目前,在大华北地区共发生了21个七级以上地震,包括1976年发生的唐山7.8级地震(1976A)和滦县7.1级地震(1976B)。

地震的震源在地表的投影为震中。三个震中可联成一个三角形。在几何学中三角形的任意两边的边长相等称为等腰三角形。

本区7级以上地震可形成20余个等腰三角形。限于篇幅,在图1中列出其中一部分。在本文中把大地震的发生年份作为该地震的编号,把两震中之间的距离值作为该边的编号。

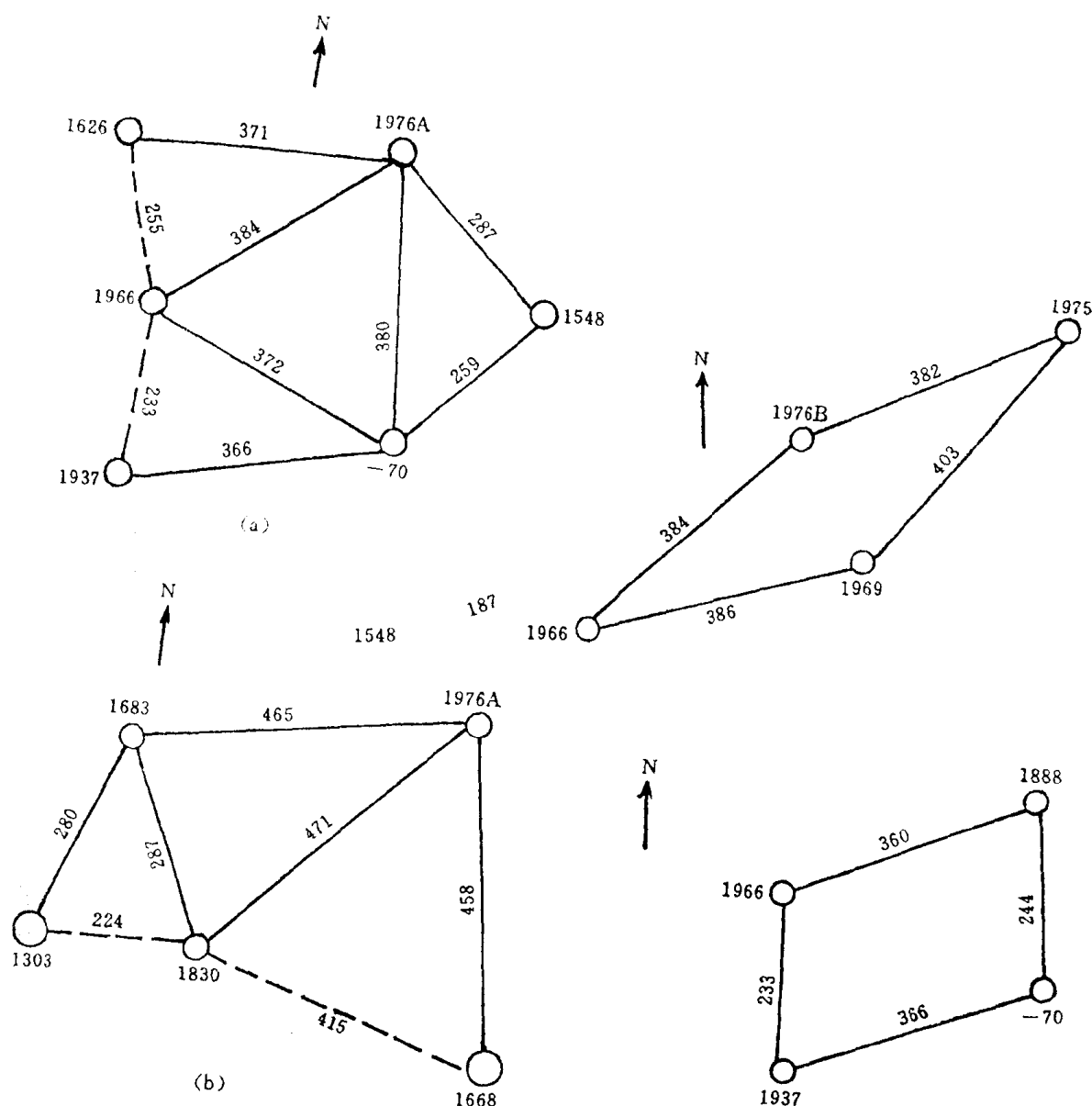


图1 华北7级以上地震的震中等腰三角形空间分布(a)、(b)

图例:大圆圈代表8级以上地震,小圆圈代表7—7.9级地震。圆圈旁的数字代表地震发生年份;两圆圈联成的线表示两震中之间距离,边上数字代表距离值;以km为单位。实线为等腰三角形的两近似相等的边

图2 华北7级以上地震的震中四边形的空间分布。(a)菱形;(b)平行四边形

图例说明同图1

由图 1 (a) 可见, 371 边与 384 边仅差 13km, 372 边与 366 边相差为 6 km, 而 384 边、380 边、372 边三者相差最大为 12km; 图 1 (b) 中, 465 边与 471 边相差仅 6 km, 471 边与 458 边相差仅 13km。

目前, 仪器测定 7 级地震的震中误差在 10km 左右, 震源深度确定的误差更大。因而在边长 250km 以上情况下, 两边相差在 25km 以下时, 假设其在确定震中误差以内, 可看作为两边相等。图 1 (a) 中由 -70、1966 和 1976 A 三个震中形成的三角形的三边大致相等, 可看成是等边三角形。

对等腰三角形两等边的边长之差值进行统计, 本区共有 30 余值 (包括等边三角形的边长差值), 最大差值为 26km, 最小为 1 km, 平均为 8.9km。

图 2 为震中排列为菱形和平行四边形, 这是另一种几何有序性。图 2 (a) 的菱形四边长相差最大的为 21km, 而且在地震发生的时间上是有序的, 以逆时针方向顺序发生, 相当有规律。此菱形亦可看成由两组两个等腰三角形组成。图 2 (b) 的四边形是相对两边相等, 组成平行四边形。

以往, 对华北大地震的空间分布规律作了一些研究, 并用统计方法进行分析, 所获得的信息不多。本文通过等腰三角形等简单几何模型进行研究, 得到了比较明显的规律。这时华北 7 级以上大地震与地表构造和深部物质结构的关系, 以及地震成因等方面都可以提供有价值的依据。在方法论角度看, 这是可公度信息系在大地震空间分布上的实际应用。

三、天干地支的有序性

十天干 (甲乙丙丁戊己庚辛壬癸) 和十二地支 (子丑寅卯辰巳午未申酉戌亥), 以这两者一一相配纪年的方法, 谓之干支纪年。这是一种 60 年有序性, 即甲子六十年。

近来, 我们对新疆 7 级以上地震的时间有序性进行了研究, 发现与干支有序性有密切联系。

新疆是我国地震活动强烈区域之一。1800 年以来, 共记录 7 级以上地震 18 次 (表 2)。其中 16 次地震可形成两系列: a 系列是 7.5 级以上地震的约 30 年、60 年的有序性。以下我们以地震发生的年分作为该地震的编号。

a 系列如下:

1812	1842	1902	1931	1992*
			1931	
(30年)	(60年)	(29年)	(61年)	

括号中为相邻两地震发生时间的间隔。带星号的是 1992 年发生在新疆边境之外位于吉尔吉斯斯坦天山地区的 7.7 级地震。由表 2 可知, 5 级地震中有三次是 8 级或 8 级以上地震。

b 系列如下:

1895	1914	1924	1944	1955	1974	1985
		1924	1944	1955	1974	
(19年)	(10年)	(20年)	(11年)	(19年)	(11年)	
[29年]	[30年]	[31年]	[30年]	[30年]		
	[59年]	[61年]	[61年]	[60年]		