

数字地质与矿产资源评价

赵鹏大^{1,2}

(1. 中国地质大学, 北京 100083, 湖北 武汉 430074; 2. 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083)

摘要:数学地质已经为我国地球科学研究作出了杰出的贡献。随着信息技术的发展, 数学地质的信息化程度也越来越高, 称之为“数字地质”。分析了数字地质的发展, 介绍了目前数字地质的研究现状及在我国的实际应用。

关键词:数学地质; 数字地质; 资源评价; 信息技术; 靶区

中图分类号: P623.6; P624.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-3636(2012)03-0225-04

0 引言

地质学和数学的结合大约始于 150 多年前, 英国地质学家莱伊尔首次应用数理统计研究第三纪地层中的古生物以解决地层的划分问题。作为独立学科的数学地质, 产生于 20 世纪 50 年代末—60 年代期间。1958 年, 电子计算机首次应用于地质领域, 应用者 Krumbein 被誉为“数学地质之父”(Merriam, 1981)。1962 年, 苏联学者维斯捷利乌斯首次给出“数学地质”一词的定义: 数学地质是研究在具体工作中建立、分析和利用地质现象数学模型的科学。1968 年, 在布拉格成立国际数学地质协会, 标志着这一学科得到国际公认。

我国在 20 世纪 50 年代就开始了用数学方法(主要是概率统计方法)研究地质勘探实际问题, 并取得了不少研究成果。1978 年 10 月, 第一届全国数学地质学术会议在杭州召开, 标志着我国数学地质研究进入一个新的发展阶段。《数学地质引论》(中国科学院地质研究所, 1978)和《数学地质基本方法及应用》(刘承祚等, 1981)的出版, 进一步推动了数学地质的研究和应用。1981 年, 我国成立了数学地质专业委员会, 并出版了《中国数学地质》专辑。这一切, 使我国数学地质的发展充满了活力与生机, 受到国际数学地质界的高度重视和评价。从 1992 年起, 每 4 年召开 1 次的国际数学地质大会

上, 都有中国学者担任分会场召集人或联合召集人。2007 年 8 月在北京召开的第 12 届国际数学地质大会, 由中国地质大学主办, 扩大了我国在数学地质界的影响。此外, 1992 年及 2008 年, 国际数学地球科学协会最高奖——克伦宾奖章, 分别由中国学者赵鹏大、成秋明获得, 也展现出中国学者在数学地质界的学术地位和影响力(赵鹏大等, 2009)。

在信息技术高度发达的今天, 地质工作的现代化、地质科技的创新都离不开信息化。数字地球、数字国土、数字城市、数字大学、数字矿山等都是人们熟悉的概念, 数学地质的信息化程度不断提高。吴冲龙等(2005)提出“地质信息科学”概念是关于地质信息本质特征及其运动规律和应用方法的综合性学科领域, 主要研究在应用计算机和通讯网络技术条件下对地质信息进行获取、加工、集成、存储、管理、提取、分析、处理、模拟、显示、传播和应用过程所提出的一系列理论、方法和技术问题。研究地质信息的科学应称之为“信息地质”, 它与研究地质数学模型的科学“数学地质”一起并称为“数字地质学”。针对此, 笔者于 2006 年在成都理工大学一次报告会上第一次使用了“数字地质”这个名词。

1 数字地质与数学地质

数学地质是地质与数学结合的交叉学科, 数字地质是数学地质与信息技术结合的交叉学科。数字

地质是数学地质发展的新阶段,是数学地质的延伸与拓展。数字地质以地质学中的信息技术应用为基础,以地质学中的数学应用和数学模型研究为主要内容,以解决地质理论和实际问题为目的。数字地质是地质学的定量化理论和信息技术,它比数学地质无论是内涵还是外延都大大扩展了。其目的是有效发现和提取信息,有效揭示和解释变异,有效查明和预测规律性,有效研究和解决地质问题。目前,国际数学地质协会和地质信息学科组织已合为一体,我国数学地质专业委员会已改名为数学地质与地学信息专业委员会,也反映了数学地质发展的新趋势和新阶段:数字地质。目前,数字地质的基本问题主要包括以下 10 个方面。

(1) 地质对象的定量化、数字化、模型化、可视化、网络化与智能化。

(2) 地质数据的复合性、混合性(多总体性)、变化性、多源性、多元性、方向性、相对性与代表性,以及混合总体的筛分技术。

(3) 地质数据的统计分布特征及其成因意义。

(4) 地质数据的变换及目的。

(5) 地质数据的空间特征、空间相依及变程、各向异性与变异函数。

(6) 地质事件的概率法则及事件结果的概率估计。

(7) 地质体成因的定量组合效应及各影响因素的权重估计。

(8) 地质体的结构特征、组合特征及熵函数。

(9) 地质过程的马尔科夫性及转移概率。

(10) 地质数据的非线性特征及非线性理论与方法。

1.1 数字地质中的数据类型

地质数据有多种形式。因此,针对不同类型的数据,应该有不同的处理方法。在进行数据综合分析时,需要将不同类型的数据进行归一化。数字地质数据主要类型见表 1。

1.2 数据预处理与数据变换

在进行数字地质研究过程中,不同的数据有不同的表现形式。因此,需要对数据进行预处理与数据变换,以便于数据综合分析。数据处理的主要目标包括以下 4 个方面。

(1) 统一地质变量的数据水平,减少量纲影响。

(2) 使地质变量尽可能呈正态分布。

表 1 数字地质中的数据类型

地质	离散型
地球化学	连续型
地球物理	定量数据(间隔型、比例型)
遥感	方向型
其他	定和型
地质数据	坐标型
	二态
	定性数据(名义型、有序型)
	三态、多态

(3) 使两变量间的非线性关系转化为线性关系。

(4) 减少变量数,即用一组新的、为数较少的相互独立变量代替具有相关联系的原始地质变量。

在数据处理过程中,不同的变换方法试图达到的目的不同,不同数学模型对地质变量的要求不同。目前常见的数据预处理与数据变换包括以下类型。

(1) 对原始数据进行标准化、极差化、均匀化变换,可使数据水平一致。

(2) 对偏态分布的原始数据进行对数变换、平方根变换、反余弦或反正弦变换,可使数据接近正态分布。

(3) 对非线性相关数据通过作散点图,根据点的分布趋势拟合曲线,用该图像的方程适当变换,可使其大致呈线性关系。

(4) 对原始数据进行 R 型主成分分析,可使原始变量个数减少且互相独立。

(5) 数据预处理和数据变换是一项十分重要的工作,但应在认真分析研究的基础上谨慎进行,变换不当可能适得其反。对于混合分布的数据,应先进行筛分,再对不同成分总体分别考查,判断是否应该变换。

2 数字地质应用

数字地质主要应用包括地质体数字特征研究、成因分析、评价地质体及预测地质体等。在我国,矿产资源定量预测与评价是开展时间最长、涉及面最广、参与人员最多、成果最显著的一个数学地质应用领域。早在 1976 年,我国在宁芜地区就开展了铁铜矿床的统计预测工作,随后在福建、河北、东北等地进行了相当数量的矿床统计预测及综合信息成

矿定量预测。1980年,美国数学地质学家麦坎蒙等来华介绍国际地质对比计划(IGCP)第98号专题,即计算机在矿产资源评价中的应用专题成果,进一步推动了我国数学地质在矿产定量预测和评价中的应用(赵鹏大,2011)。

2.1 矿产资源定量预测与评价

找矿的基本问题是“找什么”、“哪里找”和“怎么找”,随着这“三要素”的发展和变化,找矿理念也随之而变。所以,“三要素”是找矿理念变化的驱动力,也是找矿方法和技术发展的驱动力(赵鹏大,2011)。可以说找矿理念的创新是永无止境的探索和与时俱进发展的结果。美国地质调查局(2006—2010)矿产资源工程5年目标中指出:“确保未发现矿床的潜力得到最新的定量评估”认为:“现代化的评估是定量的,通过表现与矿产资源相关的经济可行性的形式来估计未发现的矿产资源的数量、价值和产地”(赵鹏大,2011)。目前常用的定量矿产资源评价包括以下5种。

(1)“预测普查组合”是由“阶段—方法—标志—对象”中相互联系的要素构成的一个系统。实现这个系统可以保证达到不同勘查详细程度要求的目标。

(2)“三部式”矿产资源评价(Singer,1993):①矿床频率分布为泊松分布或更可能是负二项分布,具有很长的右尾;②对某种估计的矿床大约一半以上矿床大于其吨位和品位的中位数;③利用找矿可行地段面积和矿床规模对矿床数的泛回归方程可大致估计矿床个数;④对某些矿床类型,利用矿床密度模型可以获得更精确的估计。

(3)“三联式”数字找矿(赵鹏大,2002):①控矿因素数字化定量化——致矿地质异常识别与提取;②矿化特征数字化定量化——成矿多样性分析与评价;③成矿规律数字化定量化——矿床谱系分析与建立。

(4)“非线性”理论找矿:①基于“奇异性—多重分形”的非线性找矿评价(成秋明等,2009);②基于“自组织理论”的找矿预测(於崇文等,2009)。

根据地壳不同地段“构造—物质有序度”的大小进行找矿,其中最有序的地段即是找矿最有远景、最有希望的地段。

(5)其他定量预测和找矿方法:最常见的是利

用多元综合信息计算出一个反映成矿或找矿的“有利度”指数,用特征分析法计算关联度,用证据权法计算综合信息有利度等。

2.2 “5P”地段靶区逐级优化圈定

随着“三联式”成矿预测研究的不断深入,找矿信息由少到多,找矿范围由大到小,靶区级别由低到高,找矿成功概率逐步增大,勘探风险逐步降低。从不同的尺度水平进行考察,地质异常可分为全球性地质异常、区域性地质异常、局部性地质异常和显微地质异常(Gorelov,1982;赵鹏大等,1991)。不同尺度水平地质异常控制不同等级矿产资源体的形成和分布(赵鹏大等,1998)。这就是“5P”地段,其主要包括以下内容(ZHAO et al,1996;赵鹏大等1998):(1)成矿可能地段;(2)找矿可行地段;(3)找矿有利地段;(4)矿产资源体潜在地段;(5)矿体远景地段。

“5P”地段的前“3P”,一般属中—小比例尺成矿预测范畴,后“2P”则属大比例尺成矿预测范畴,是对预测靶区(找矿有利地段)的深化剖析(赵鹏大等,2003)。在“三联式”成矿预测中,“5P”靶区逐步逼近法的靶区内涵逐渐增大、外延逐渐减小。

3 结 论

有人惊呼:“这个诗文的国度,快要被数字的洪水淹没了”。其实,这是不可阻挡的潮流。“不善于运用数字、指挥数字的人,总是关山阻隔道途淤塞——不知何来,不知所往”,这将越来越成为现实。但数字是把双刃剑:精确的数字是财富,虚假的数字是灾难,数字的灵魂就是真实。在实现全面数字找矿过程中,加强数字地质研究,提高地质数据的科学性和可靠性,采用合适的数字地质技术进行数据处理,使地质数据的信息化程度达到一个新的水平,将会为地学发展的新阶段和地质工作现代化作出新的贡献。

参考文献:

- 陈颢. 1989. 分形与混沌在地球科学中的应用[M]. 北京: 学术期刊出版社.
- 陈建平, 唐菊兴. 2008. 西南三江中段成矿规律与成矿预测研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 成秋明, 赵鹏大, 陈建国, 等. 2009. 奇异性理论在个旧锡铜矿

- 产资源预测中的应用:成矿弱信息提取和复合信息分解[J]. 地球科学:中国地质大学学报,34(3):232-242.
- 刘承祚,孙惠文. 1981. 数学地质基本方法及应用[M]. 北京:地质出版社.
- 吴冲龙,刘刚,田宜平,等. 2005. 论地质信息科学[J]. 地质科技情报,24(3):1-8.
- 於崇文,彭年. 2009. 南岭地区区域成矿分带性——复杂成矿系统中的时-空同步化[M]. 北京:地质出版社.
- 赵鹏大,池顺都. 1991. 初论地质异常[J]. 地球科学:中国地质大学学报,16(3):241-248.
- 赵鹏大,陈永清. 1998. 地质异常矿体定位的基本途径[J]. 地球科学:中国地质大学学报,23(2):111-114.
- 赵鹏大. 2002. “三联式”资源定量预测与评价——数字找矿理论与实践探讨[J]. 地球科学:中国地质大学学报,27(5):482-489.
- 赵鹏大,陈建平,张寿庭. 2003. “三联式”成矿预测新进展[J]. 地学前缘,10(2):455-463.
- 赵鹏大,夏庆霖. 2009. 中国学者在数学地质学科发展中的成就与贡献[J]. 地球科学:中国地质大学学报,34(2):225-231.
- 赵鹏大. 2011. 找矿理念:从定性到定量[J]. 地质通报,31(5):625-629.
- GORELOV D A. 1982. Quantitative characteristics of geologic anomalies in assessing ore capacity [J]. International Geological Review, 24(4):457-465.
- MERRIAM D F. 1981. Roots of quantitative geology [M] // MERRIAM D F. Down-to-earth statistics; solutions looking for geological problems. New York: Syracuse University Geology Contribution, (8): 1-15.
- SINGER D A. 1993. Basic concepts in three-part quantitative assessments of undiscovered mineral resources [J]. Natural Resources Research, 2(2):69-81.
- ZHAO PENGDA, HU WANGLIANG, LI ZIJIN. 1983. Statistic prediction of mineral deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House.
- ZHAO PENGDA, CHI SHUNDU, CHEN YOUNGQING. 1996. A thorough investigation of geo-anomaly; A basis of metallogenic prognosis[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2(4):361-373.

Digital geology and mineral resources evaluation

ZHAO Peng-da^{1,2}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China, Wuhan 430074, China; 2. Beijing Key Laboratory of Development and Research for Land Resources Information, Beijing 100083, China)

Abstract: Mathematical geology, an inter-discipline both geology and mathematics, has achieved an outstanding contribution to geoscientific research in China. The more information technology developed, the more information level increased, which was known as the digital geology. The author analyzed the development of digital geology, including the introduction of the mathematics-digital geological research, and the practical application of digital geology in China. Then, the course of the study of digital geological data processing and data transformation were stated, and the author also described some predictive and quantitative evaluation methods of mineral resources. It was very important for the enhancing research of digital geology, increasing reliability of geological data and application of suitable digital geological treating methods in the course of digital prospecting.

Keywords: Mathematical geology; Digital geology; Resources evaluation; Information technology; Target