

煤与瓦斯突出危险性 区域预测的数学地质研究

刘承祚 张菊明 刘素华 柴俊杰 著

154

3

海洋出版社

74.154
193

中国科学院地质研究所

工程地质力学开放研究实验室

煤与瓦斯突出危险性 区域预测的数学地质研究

刘承祚 张菊明 刘素华 柴俊杰 著

海 洋 出 版 社

1992

Engineering Geomechanics Laboratory
Institute of Geology, Academia Sinica

**GEOMATHEMATICAL RESEARCHES OF
REGIONAL PREDICTION OF COAL
AND GAS OUTBURST RISK**

Liu Chengzuo Zhang Juming Liu Suhua Chai Junjie

Ocean Press, Beijing, China
1992

内 容 简 介

本书为一本应用数学地质的理论和方法研究煤与瓦斯突出危险性区域预测问题的专著。全书共分十五章。第一章至第六章的主要内容为：绪论，应用数学地质的理论和方法研究煤与瓦斯突出问题的现状和设想，本书的基本研究思路 and 主要工作过程，对各类原始数据的介绍及分析，根据本书工作特点而必须完成的一些先行的基础性准备工作，数据库的基本组成及运行程序等。第七章至十二章详细介绍了三大类数学模型的六种数学地质方法，介绍了方法原理及其在煤与瓦斯突出预测中的应用效果。第十三章和第十四章介绍了突出危险性综合得分值的计算及其在突出危险性区域预测中的应用。第十五章介绍了突出危险性预测程序系统。

本书可供煤矿安全、瓦斯地质、数学地质等专业的科研及工程技术人员应用，亦可供大专院校相应专业的师生阅读参考。

(京)新登字 087 号

煤与瓦斯突出危险性 区域预测的数学地质研究

刘承祚 张菊明 刘素华 柴俊杰 著

特约编辑：王桂凤

责任编辑：王加林

海洋出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省地矿局测绘印刷厂印刷

开本：787×1092 毫米 1/6 印张：10.4 字数：250 千字

1992 年 5 月第一版 1992 年 5 月第一次印刷

印数：1-600

ISBN 7-5027-2333-1/P·193

定价：9 元

序 言

煤与瓦斯突出是一种发生在煤矿井下的严重自然灾害,但就其实质来说,它又是一种极其复杂的动力现象。世界上第一次煤与瓦斯突出发生于大约 150 年以前,目前在世界各国的煤矿生产中,煤与瓦斯突出是一种比较普遍的现象。在全世界范围内大约有 18 个国家和地区有煤与瓦斯突出发生,其中我国是煤与瓦斯突出灾害最严重的国家。根据不完全统计数字,在 1950 年至 1981 年期间,我国共发生煤与瓦斯突出 9845 次,最大突出强度 8500t。由于我国煤矿的煤与瓦斯突出灾害普遍而严重,对煤矿生产和工人的人身安全构成严重威胁,所以煤与瓦斯突出研究引起了我国有关主管部门、研究单位和专家们的高度重视,集中了人力和物力,进行了不同层次的研究,但由于问题本身的高难度和极端复杂性,虽然取得了一定进展,但问题至今尚未得到彻底解决。

煤与瓦斯突出问题是一个煤矿安全技术问题,也是一个重大的地质工程问题。而其中的突出机理问题,突出的孕育、形成和发生的过程以及对这一过程实质的阐述等是重大的理论研究课题。

由于煤与瓦斯突出问题的高度复杂性和高难度,为了在这一问题的研究中取得有效进展,需要由多方面探索解决问题的途径,而采用新技术新方法就是这样的途径之一。根据这一思路,本书采用了数学地质的理论和方法作为研究手段,试图为煤与瓦斯突出危险性区域预测研究开辟一条新的道路。本书成功地将矿产统计预测(数学地质的一个非常成功和活跃的分支方向)的理论和方法移植到煤与瓦斯突出研究中来,并应用了三大类数学模型共包含六种数学地质方法,提出了一些新的概念,在方法的应用上有一定的特色和創新,并以我国的一个煤矿为实例,进行了方法的具体应用研究,取得了一定效果。为我国煤与瓦斯突出危险性区域预测工作贡献了一点菲薄力量。同时也希望以本书取得的成果和广大同行们进行交流,并诚恳地希望大家对本书的缺点和不足之处进行批评指正。

本书由刘承祚、张菊明、刘素华、柴俊杰共同撰写。由刘承祚提出了写书的指导思想并拟定了详细的撰写提纲。本书撰写的具体分工如下:第一至五章、第十三章由刘承祚执笔;第六、十四章由张菊明执笔;第七、八、十章由柴俊杰、刘承祚执笔;第九、十一、十二章由刘素华、刘承祚执笔;第十五章由集体完成(程序一、二、三、十三由张菊明编制;程序六、八、九由刘素华编制;程序四、五、十至十二由柴俊杰编制;刘承祚完成了程序系统的汇总工作)。全书的汇编整理工作由刘承祚完成。

本书是在国家七·五重点科技攻关项目中的一个分项目以及中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室研究课题所取得的成果基础之上经修改补充加工整理而成。

本书研究工作得到了孙广忠教授的热情指导,作者对他表示衷心的感谢。

在本书研究工作过程中得到了南桐矿务局瓦斯研究所、地质勘测处、鱼田堡煤矿瓦斯区,焦作矿院瓦斯地质研究室等单位的大力支持。尹代勋高级工程师、姚宝魁副研究员对本书研究工作给予了多方面的关怀和照顾。下列专家和同志(以姓氏笔划为序):刘竹

华、朱铭、许兵、李安文、李任伟、应育浦、吴俊、林大兴、陈瑞君、罗信华、罗昭林、袁崇孚、张子戎、张光德、黄伯龄、蔡春祥、鲜学福为本书提供了原始资料和数据。本书作者对以上提到的单位和个人表示衷心感谢。

中国科学院地质研究所十一室完成了本书的编辑加工、微机排版、图件绘制等工作，海洋出版社完成了出版工作。在此谨对邵兴亚高级工程师、王桂凤编辑以及沈小东、陈爱华、胥云等同志表示衷心感谢。

中国科学院地质研究所工程地质力学开放研究实验室资助和支持了本书的出版，特此致谢。

作 者

1991 年 7 月

目 录

序言

第一章 绪 论	(1)
一、煤与瓦斯突出是一种在全世界范围内严重威胁煤矿安全生产的自然灾害...	(1)
二、我国是世界上煤与瓦斯突出灾害最严重的国家.....	(2)
三、煤与瓦斯突出危险性预测预报的研究概况	(2)
四、应用新技术新方法是研究和解决煤与瓦斯突出问题的一条重要途径	(5)
第二章 应用数学地质的理论和方法研究煤与瓦斯突出问题的现状和设想.....	(6)
一、数学地质理论和方法在煤与瓦斯突出研究中的应用现状	(6)
二、应用数学地质的理论和方法研究煤与瓦斯突出问题的设想	(7)
第三章 煤与瓦斯突出危险性区域预测的基本思路和主要过程	(10)
一、煤与瓦斯突出危险性区域预测的基本思路	(10)
二、主要工作过程	(11)
第四章 各类原始数据的来源及对其基本情况的分析	(14)
一、各类原始数据的来源	(14)
二、各类原始数据的基本情况	(14)
三、判断各类数据能否进入突出危险性区域预测综合判据的几个条件	(15)
第五章 煤与瓦斯突出危险性区域预测的一些先行的基础性准备工作	(16)
一、已知区和未知区的划分	(16)
二、煤与瓦斯突出预测预报研究单元的划分	(16)
三、数据管理单元的划分	(18)
四、突出危险性预测单元的划分	(18)
五、根据煤层的实际分布范围确定参加运算的数据管理单元数目	(22)
第六章 煤与瓦斯突出地质标志数据库的基本组成和运行程序	(23)
一、煤与瓦斯突出地质标志数据库的基本组成	(23)
二、数据库运行程序	(29)

第七章 逐步回归分析	(39)
一、回归分析方法原理	(39)
二、逐步回归分析方法原理	(44)
三、因变量和自变量的选取	(47)
四、逐步回归分析的计算结果	(51)
五、对逐步回归计算结果的分析	(54)
第八章 模糊集合隶属度计算	(56)
一、模糊集合隶属度计算的方法原理	(56)
二、已知模糊集合的划分和待判单元的确定	(58)
三、模糊集合隶属度的计算结果	(58)
四、对模糊集合隶属度计算结果的分析	(58)
第九章 模糊综合评判	(60)
一、模糊综合评判的方法原理	(60)
二、模糊综合评判的计算步骤	(61)
三、计算参数的选取	(63)
四、模糊综合评判的计算过程	(63)
五、模糊综合评判的计算结果	(64)
第十章 特征分析	(65)
一、特征分析的方法原理	(65)
二、煤与瓦斯突出危险性特征模型区的建立	(71)
三、特征分析计算结果	(71)
四、对特征分析计算结果的分析	(75)
第十一章 数量化理论 (I) 分析	(76)
一、数量化理论 (I) 的方法原理	(76)
二、基准变量和说明变量的选取	(84)
三、数量化理论 (I) 的计算结果	(84)
四、对数量化理论 (I) 计算结果的分析	(87)
第十二章 数量化理论 (II) 分析	(88)
一、数量化理论 (II) 的方法原理	(88)
二、已知判别组和待判对象的确定	(96)

三、数量化理论 (II) 的计算结果	(96)
四、对数量化理论 (II) 计算结果的分析	(99)
第十三章 已知区突出危险性综合得分值的计算和对未知区的外推预测.....	(100)
一、已知区突出危险性综合得分值的计算	(100)
二、对未知区煤与瓦斯突出危险性的外推和预测	(101)
三、对已知区和未知区综合得分值计算结果的解释	(102)
第十四章 突出危险性综合得分值等值线图的自动绘制.....	(105)
一、自动绘制等值线图的原理和方法.....	(105)
二、等值线的追踪方法.....	(107)
三、等值线值的数字标识.....	(109)
四、综合得分离散点数据的准备和等值线绘制.....	(109)
第十五章 煤与瓦斯突出危险性区域预测程序系统.....	(111)
一、系统运行的总菜单程序.....	(111)
二、数据库主库及专用辅助库.....	(113)
三、数据库运行程序.....	(115)
四、逐步回归分析程序.....	(126)
五、模糊集合隶属度计算程序.....	(129)
六、模糊综合评判程序.....	(132)
七、特征分析程序.....	(134)
八、数量化理论 (I) 分析程序.....	(138)
九、数量化理论 (II) 分析程序.....	(141)
十、煤与瓦斯突出危险性综合得分值计算程序.....	(144)
十一、突出危险性外推预测标志计算程序	(146)
十二、建立突出危险性外推预测方程和计算未知区突出危险性的程序.....	(147)
十三、综合得分值等值线图程序.....	(148)
十四、其他数据库程序.....	(148)
参考文献.....	(151)

第一章 绪 论

煤与瓦斯突出是产生于煤矿矿井中的一种非常复杂的动力现象。大约在 150 年以前在法国的鲁阿雷煤田伊萨克矿井发生了世界上第一次煤与瓦斯突出，使人们首次认识了这种严重的地质灾害。在十九世纪 80 年代，比利时的阿格拉普矿发生了煤与瓦斯突出，在这次突出中 122 名矿工丧生，沉痛的损失唤起了人们对这一问题的高度重视，正式开始了煤与瓦斯突出产生原因和条件的研究。目前在世界上很多国家和地区的煤矿中均有煤与瓦斯突出发生，所以它是一种非常严重而又比较普遍的威胁煤矿安全生产的自然灾害，成为各国众多煤矿安全专家、瓦斯地质专家及有关专业人员关注并投入很多力量和时间进行研究的重大课题。由于问题本身的高难度和高度复杂性，在一些方面取得了进展，但整个问题还远远没有得到彻底解决。

一、煤与瓦斯突出是一种在全世界范围内 严重威胁煤矿安全生产的自然灾害

在全世界范围内煤与瓦斯突出都在严重地威胁着煤矿的安全生产。据统计目前大约有 18 个国家和地区有煤与瓦斯突出发生，它们是：中国、法国、苏联、波兰、日本、匈牙利、比利时、英国、捷克、保加利亚、澳大利亚、荷兰、德国、加拿大、罗马尼亚、南斯拉夫、印度和南非，其中前五个国家的突出情况最为严重。

下面通过对几个国家煤与瓦斯突出情况比较详细的介绍向读者展示煤与瓦斯突出给煤矿安全生产造成的严重威胁。

法国是仅次于中国的严重突出国家，在 1879 年至 1965 年期间共突出 6278 次，最大突出强度为 5600t 煤，突出的瓦斯类型为 CO_2 、 CH_4 和混合气体，突出地区主要集中在塞伟内煤田。苏联也是一个重要的煤与瓦斯突出国家，在 1946 年至 1982 年期间共突出 3627 次，突出的次数多而且强度大。苏联的顿巴斯加林煤矿曾发生过到目前为止世界上最大的一次煤与瓦斯突出，突出煤 14000 吨，沼气 25 万立方米。日本也是一个煤与瓦斯突出灾害严重的国家，可以列举出下述的一些重大的煤与瓦斯突出事故：1969 年 5 月 16 日歌志内煤矿死亡 17 人；1971 年 7 月 17 日歌志内煤矿瓦斯突出死亡 30 人；1975 年 11 月 27 日幌内煤矿瓦斯爆炸死亡 24 人；1981 年 10 月 16 日夕张煤矿瓦斯爆炸死亡 83 人；1985 年 4 月南大夕张煤矿瓦斯爆炸死亡 63 人。日本的瓦斯突出事故多发生在北海道，这和当地的地质条件有密切关系。在 1950 年至 1982 年期间，日本共发生煤与瓦斯突出事故 130 起，最大突出强度为 3000 吨煤，突出瓦斯主要为甲烷。

二、我国是世界上煤与瓦斯突出灾害最严重的国家

在 1950 年至 1981 年期间我国共发生煤与瓦斯突出 9845 次，最大突出强度 8500t，突出瓦斯主要为甲烷。我国突出总次数占世界各国总突出次数的三分之一以上，我国目前是世界上煤与瓦斯突出灾害最严重的国家。

近三十年来，随着我国国民经济的发展，对煤炭的需求量日益增大，要求煤炭工业相应地迅速发展，使采掘的深度不断增加，煤炭开采的地质条件和技术条件也日趋复杂，随着新矿区的开发，老矿井的延深，煤与瓦斯突出矿井的数目增多，次数频繁，强度加大。

在 1954 年以前，煤与瓦斯突出在我国只在鸡西、北票、天府等个别矿井、个别地点出现，突出的煤量未超过百吨，以后四川的南桐、湖南的马田、河南的焦作等矿相继发生煤与瓦斯突出，但突出煤量未超过千吨。近十多年来突出的次数和强度均明显增加，突出煤量也超过千吨以上，四川和湖南已有六次煤量近五千吨的突出。全国最大的一次突出发生于四川省天府矿务局的三汇一矿，突出煤量 7500t，岩石约 1000t，瓦斯量 140 万立方米。目前煤与瓦斯突出矿井遍布全国各地，而且在开滦、淮南等煤矿的深部已开始发生突出。煤与瓦斯突出正在严重地影响着我国煤炭工业的进一步发展。

二十世纪初期，外国资本家在我国沿海地区开办了一些半机械化矿井，进行煤矿资源的掠夺式开采，不重视改善煤矿安全生产条件，曾发生过一些骇人听闻的重大煤矿安全事故，例如：1942 年 4 月 26 日本溪煤矿瓦斯大爆炸，一次死亡 1400 余人，成为当时世界上最大的瓦斯爆炸惨案。全国解放前夕仍保留了落后的生产方式，恶劣的劳动条件，恶性重大煤矿安全事故仍然不断发生，例如：1948 年 4 月四川天府龙井矿发生瓦斯连续爆炸一次死亡 99 人。1949 年建国后，在党的安全生产方针指引下，我国煤矿安全生产条件取得了明显改善。例如：1957 年我国先进的矿务局和煤矿的百万吨死亡率已接近当时的世界先进水平。近年来，由于煤矿开采深度增加，煤与瓦斯突出现象日趋普遍和严重，为我国煤矿安全生产提出了新的任务和课题，引起有关领导方面的高度重视，组织国内的有关单位和专家，开展专题研究和联合攻关，目前在一些方面已取得进展，创造了许多防治突出的有效方法和措施，防治能力不断提高，对突出产生的原因和条件以及突出机理的认识也加深了一步。由于煤与瓦斯突出问题在全世界范围内是一个尚未获得彻底解决的科技难题，我国煤矿安全技术专家、瓦斯地质专家以及其他有关专业专家有必要集中力量，努力研究以期在未来的一段时期内获得突破性进展。

三、煤与瓦斯突出危险性预测预报的研究概况

煤与瓦斯突出危险性的预测预报研究是煤与瓦斯突出理论和实践研究的最重要的课题之一。经大量研究表明，在突出危险煤层中，突出仅发生于局部地区或局部地段，这几乎是一个普遍的规律。为了能使煤矿进行安全生产，对上述局部地区或局部地段进行预测预报便成为一项紧迫的重要任务。

在一般情况下，发生突出的地区或地段仅占突出煤层的一部分（约占开采面积的 5-10%），因此，采用一定的方法将突出发生地区或地段成功地预报出来，在突出发生地

段或地区采取防突措施（而不是在整个煤层范围内全面地采取防突措施），这不仅可以加快开采速度，确保生产安全，而且可以节省大量资金，取得明显的经济效益和社会效益。

目前对煤与瓦斯突出危险性的预报已进行了大量研究。在国外开展研究较早并有较成功的实例。例如：苏联在 70 年代初就已经比较成功地在煤矿中应用了煤与瓦斯突出的预测预报方法。在顿巴顿煤矿，应用突出预测预报方法将占突出煤层 5~7% 的面积预测为突出危险带，在此带以外的面积上可不采取防突措施，使产量和掘进速度分别提高了 25% 和 30%，同时保证了井下作业工人的安全，效益明显。

国内对煤与瓦斯突出危险性的预测预报研究也非常重视，召开了一系列的学术会议，例如：全国突出机理和预测预报会议（1982 年），煤和瓦斯突出预测预报学术讨论会（1986 年，重庆南坪），第一至三届瓦斯地质学术会议（1978 年焦作；1987 年山东烟台；1988 年广州）。各有关矿务局及煤矿均开展了有关的科学研究和实际的防治工作。国内开展此项工作较早并取得成果较多的单位有：抚顺、重庆、湖南煤炭研究所、北票矿务局以及一些有关的煤炭院校等。

1. 煤与瓦斯突出预测预报的分类

根据煤与瓦斯突出预测预报的性质，将其按不同的方法进行分类，现存的分类方法有下列几种：

1) 三分法

(1) 第一种三分法为将突出预测预报按其性质划分为：

- i) 区域预测；
- ii) 局部预测；
- iii) 日常预测。

(2) 第二种三分法，将其划分为：

- i) 地质勘探过程中突出危险预测；
- ii) 石门揭穿煤层突出危险预测；
- iii) 煤巷突出危险日常预测。

2) 二分法

(1) 第一种二分法

- i) 区域预测（长期预测）；
- ii) 日常预测（及时预测，点预报）。

(2) 第二种二分法

- i) 区域突出危险性预测（简称为区域预测）；
- ii) 工作面突出危险性预测（包括石门揭煤工作面，煤巷掘进工作面和回采工作面的突出危险性预测，简称为工作面预测）。

最后一种划分方法为“防治煤与瓦斯突出细则”（1988 年 4 月煤炭部颁布）公布的，本书采用这一种划分方法。

2. 煤与瓦斯突出危险性预测预报的综合指标

在煤与瓦斯突出危险性预测预报中可以应用突出预测预报的单项指标，但在更多情况

下是应用综合指标，下列两个综合指标在区域预测中得到了最广泛的应用（引自煤炭部“防治煤与瓦斯突出细则”）：

$$D = \left(0.0075 \frac{H}{f} - 3 \right) (P - 0.74) \quad (1-1)$$

$$K = \frac{\Delta P}{f} \quad (1-2)$$

式中， D 为煤的突出危险性综合指标之一；

K ——煤的突出危险性综合指标之二；

H ——开采深度 (m)；

P ——煤层瓦斯压力（取两个测压孔实测瓦斯压力的最大值）(MPa)；

ΔP ——煤层软分层煤的瓦斯放散初速度指标（瓦斯放散指数）；

f ——煤层软分层的平均坚固系数。

D 和 K 为评价突出区域危险性的综合指标，应根据各矿的实际情况测定其突出危险的临界值，当无实测数值时，可采用表 1-1 的数据。

表 1-1 应用综合指标 D 和 K 预测突出区域危险性的临界值*

综合指标 D	综合指标 K	突出的区域危险性
< 0.25	—	突出威胁区
> 0.25	< 15	突出威胁区
> 0.25	> 15	突出危险区

* 引自煤炭部“防治煤与瓦斯突出细则”。

除了上述两个最常用的综合指标以外，还有一些其他的突出危险性预测预报综合指标，例如：煤屑瓦斯解吸规律指标 KB 、煤层瓦斯解吸指标 Δh_2 、综合指标 B （与瓦斯放散指数 ΔP 、煤的坚固系数 f 、瓦斯压力 P 、煤的含水率等指标有关），综合指标 R_w （与打孔时的最大钻粉量和瓦斯涌出速度等指标有关），综合指标 Π_s （为石门穿煤时突出危险性判断指标，与瓦斯压力和煤的坚固系数有关），综合指标 R （为波兰煤矿安全专家给出的指标，与钻粉量、瓦斯涌出强度、煤层厚度等指标有关），综合指标 K_A （为波兰煤矿安全专家提出的指标，该指标与应力和瓦斯压力的变化有关）。此外，还有一些煤与瓦斯突出危险性预测预报的综合指标，此处不一一列举。

3. 煤与瓦斯突出危险性的区域预测

煤与瓦斯突出危险性区域预测的主要任务为预测煤层和煤层区域（井田、新水平、新采区等）的突出危险性，此种预测应在地质勘探、新井建设、新水平和新采区开拓时进行。

根据目前对突出的认识水平，造成突出的主要因素为：地应力、瓦斯和煤的物理力学性质。因此，在进行区域预测时主要研究突出的区域危险性与上述各种因素之间的关系，

阐明突出产生的区域条件（特别是区域地质条件），探索在这种区域条件下突出的孕育、形成和产生的规律性。

四、应用新技术新方法是研究和解决 煤与瓦斯突出问题的一条重要途径

由于煤与瓦斯突出的高度复杂性和高难度，为了研究这一问题并取得有效进展，除了需要在原有基础上循序渐进、增加知识积累以外，必须采用新技术新方法，以期取得突破性进展。例如：利用煤中特种组分、煤的电学、声学和热力学性质和微观结构来预测突出危险性，利用顺磁中心浓度、煤的半导体特性、地电场变化、温度指标和地球物理方法研究和探索煤与瓦斯突出危险性预测。数学地质的理论和方法也是研究和解决煤与瓦斯突出危险性预测预报的重要途径之一。

本书编写的目的为：以煤与瓦斯突出的各项地质标志的研究结果和数据为基础，以数学地质的理论为指导，应用现代数学方法和电子计算机技术研究和建立煤与瓦斯突出地质标志的综合判据，并应用上述综合判据对煤与瓦斯突出危险性进行区域预测，为研究和解决煤与瓦斯突出预测预报问题开辟新的途径，并为煤矿安全生产作出相应的贡献。

煤与瓦斯突出不仅仅是重大的工程技术问题或地质工程问题。其中的突出机理问题，突出的孕育、形成、发生的过程以及此过程的实质等问题是重大的理论研究课题。

第二章 应用数学地质的理论和方法研究

煤与瓦斯突出问题的现状和设想

数学地质是近二十多年来发展起来一个地质学中的新分支学科，它是地质学、数学和计算机科学互相结合的产物，同时它也是一个边缘分支学科。近年来，国内外大量的实践证明：数学地质在研究和解决地质学的理论和实际问题中是一种强有力的手段，表现出了强大的生命力。

一、数学地质理论和方法在煤与瓦斯突出研究中的应用现状

目前的应用主要局限于多元统计和数值模拟两大类方法，现将其应用情况分别介绍如下：

1. 多元统计的应用

目前应用较多的是回归分析模型。如应用一元线性回归研究云南省恩洪煤矿瓦斯涌出量和开采深度（垂深）之间的关系。应用多元线性回归研究了淮北芦岭矿瓦斯绝对涌出量（因变量）和标高、厚度、产量、风量之间的关系。应用多元线性回归研究了江西萍乡青山矿煤体破坏程度（因变量）和地质构造、煤厚及其变化之间的关系。在个别情况下应用了判别分析、因子分析和数量化理论。在苏联、波兰、西德的“突出”研究中也应用了回归分析模型。

2. 数值模拟的应用

数值模拟方法在瓦斯突出机理研究和突出危险性预测预报中的应用主要包括：在煤层中瓦斯流动、瓦斯渗透和扩散的数值模拟、煤层应力-应变的数值模拟、应用数值模拟方法预测煤层瓦斯涌出趋势和涌出量等。

上述两方面的应用都要在电子计算机上实现，因此也可概括地称为：电子计算机在煤与瓦斯突出问题研究和突出危险性预测中的应用。

由上述情况可知，在煤与瓦斯突出问题研究中，数学地质应用的广度和深度都是不够的。本书拟扩展这种应用的广度和深度，提高这种应用的水平，充分发挥这种先进科学技术的作用，以便将煤与瓦斯突出预测预报研究向前推进一步。

二、应用数学地质的理论和方法研究

煤与瓦斯突出问题的设想

1. 将矿产统计预测的思路、理论和方法引进和应用于 煤与瓦斯突出危险性的评价和预测

1) 矿产统计预测是数学地质中一个比较成熟和非常活跃的分支方向

矿产统计预测是在一定范围的区域内,对某一种矿产而言,根据矿产分布规律与该区域内各种地质因素之间的关系,建立数学模型,应用已建立的数学模型,在一定范围的新区内对这种矿产的分布规律进行外推预测,对该种矿产的资源量进行评价预测,从而达到扩大矿产资源量和勘探新矿床的目的。

矿产统计预测的早期工作开始于本世纪 50 年代后期,到目前已有三十余年历史,它是数学地质中比较成熟和非常活跃的分支方向。例如:在 26 届(1980,法国)、27 届(1984,苏联)国际地质大会上,矿产统计预测论文数目分别占提交大会的数学地质论文数目的 30% 和 21.6%。在国内召开的数学地质学术会议上,矿产统计预测历来都是学术交流的一个主要方面。

2) 矿产统计预测的历史回顾

通过对矿产统计预测的发展历史进行简要回顾,可以对它的产生、发展及在各个时期的主要内容有一个大致了解。

最早的矿产统计预测方法,是在 1957 年由阿莱斯 (M.Allais) 提出的估计区域矿产资源的定量模型,他把美国西部的含矿盆地和山区省划分为网格单元,每个单元面积为 10km^2 ,他认为每个单元中的矿床数服从泊松分布:

$$P(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

式中, $P(x)$ ——单元中发现 X 个矿床的概率;

λ ——每个单元中发现矿床的平均数。

阿莱斯将上述模型应用到具有相似地质构造格局的阿尔及利亚撒哈拉地区,计算出在该区可发现 20 个矿床。阿莱斯的模型比较简单,仅把一个矿床数目分布模型外推到未知区,未考虑各种地质因素同矿产之间的定量关系。

为了弥补阿莱斯模型的不足,在 60 年代初、中期发展了一些比较复杂的矿产统计预测模型,如 1962 年美国格里费思 (J.J.Griffiths) 建立的矿产资源评价判别模型,1965 年美国哈里斯 (D.P.Harris) 的多元统计模型等。下面较详细地介绍哈里斯模型。

哈里斯矿产多元统计预测模型共包括下列基本内容 (主要工作步骤):

(1) 在美国亚利桑那州和新墨西哥州选择勘探程度较高的部分地区作为已知区进行研究;

(2) 将上述已知区划分为均匀网格单元 (共 240 个单元),每个单元面积为 32km^2 ;

(3) 在每个单元中读取与矿产预测有关的地质变量,共读取了 26 个地质变量 (其中岩石类型和时代变量 5 个,与断裂有关的变量 7 个,构造特征变量 4 个,侵入活动的时代

及接触关系变量 10 个);

(4) 根据已知资源, 计算每个单元的矿产资源量 (用价值表示), 大于 100 万美元者列为 I 组, 否则列为 II 组;

(5) 建立定量预测方程 (在本情况中为判别函数式), 确定矿产资源量和 26 个地质资源量之间的定量关系, 当判归 I 组的概率大于 0.2 时, 该单元判为有矿单元, 可进一步勘探;

(6) 将地质构造条件相似的美国犹他州部分地区 (144 个单元) 作为未知区进行外推预测, 结果 19 个单元判为有矿单元, 可进一步勘探。

哈里斯的模型比较全面, 既考虑了矿产资源的分布规律, 又考虑了各种地质因素与矿产资源分布之间的定量关系, 哈里斯模型的出现是矿产统计预测工作的一大进展。

继哈里斯的模型之后, 又出现了一些其他的矿产统计预测模型。如阿格特伯格 (F. Agterberg) 的回归-泊松分布模型, 主观概率模型 (哈里斯, 1973) 等。

本世纪 70 年代中期以来, 开展了国际地质对比计划第 98 项“资源研究中的计算机应用标准”, 对 20 年来的矿产统计预测工作进行了总结提高, 提出一系列新方法, 使矿产统计预测工作发展到了一个新阶段, 并提到了更高水平。

3) 矿产统计预测的核心思想和基本步骤

矿产统计预测的核心思想是: 根据矿产预测任务和具体地质条件将研究区划分为已知区和未知区。在已知区中建立矿产资源量 (或储量) 与各种地质因素之间的定量关系, 根据这种定量关系, 向具有相似地质条件的未知区进行外推, 从而达到对未知区矿产的评价预测目的。

矿产统计预测的基本步骤是:

- (1) 在已知区建立矿产资源量 (或储量) 与各种地质因素之间关系的定量模型;
- (2) 确定和已知区具有相似地质条件的未知区;
- (3) 将已知区的定量模型外推到未知区, 对未知区的矿产资源量 (或储量) 进行评价预测。

4) 矿产统计预测的理论和方法向煤与瓦斯突出危险性研究中的引入和应用

经过分析研究, 将矿产统计预测问题和煤与瓦斯突出危险性预测问题的分析对比结果列于表 2-1。

由表 2-1 可知, 矿产统计预测问题和煤与瓦斯突出问题之间有很多相似和共同之处, 因而有可能将矿产统计预测的理论和方法引入和应用于煤与瓦斯突出危险性预测中来。

2. 将数学地质的其他新方法应用于煤与瓦斯突出危险性的评价和预测

在本书中除了应用矿产统计预测的理论与方法以外, 还将应用下列的数学地质新方法:

- 1) 模糊数学: 包括模糊集合隶属函数计算和模糊综合评判;
- 2) 特征分析;
- 3) 数量化理论。

对上述新方法的作用、意义和方法原理将在下文的有关章节中进行详细介绍。