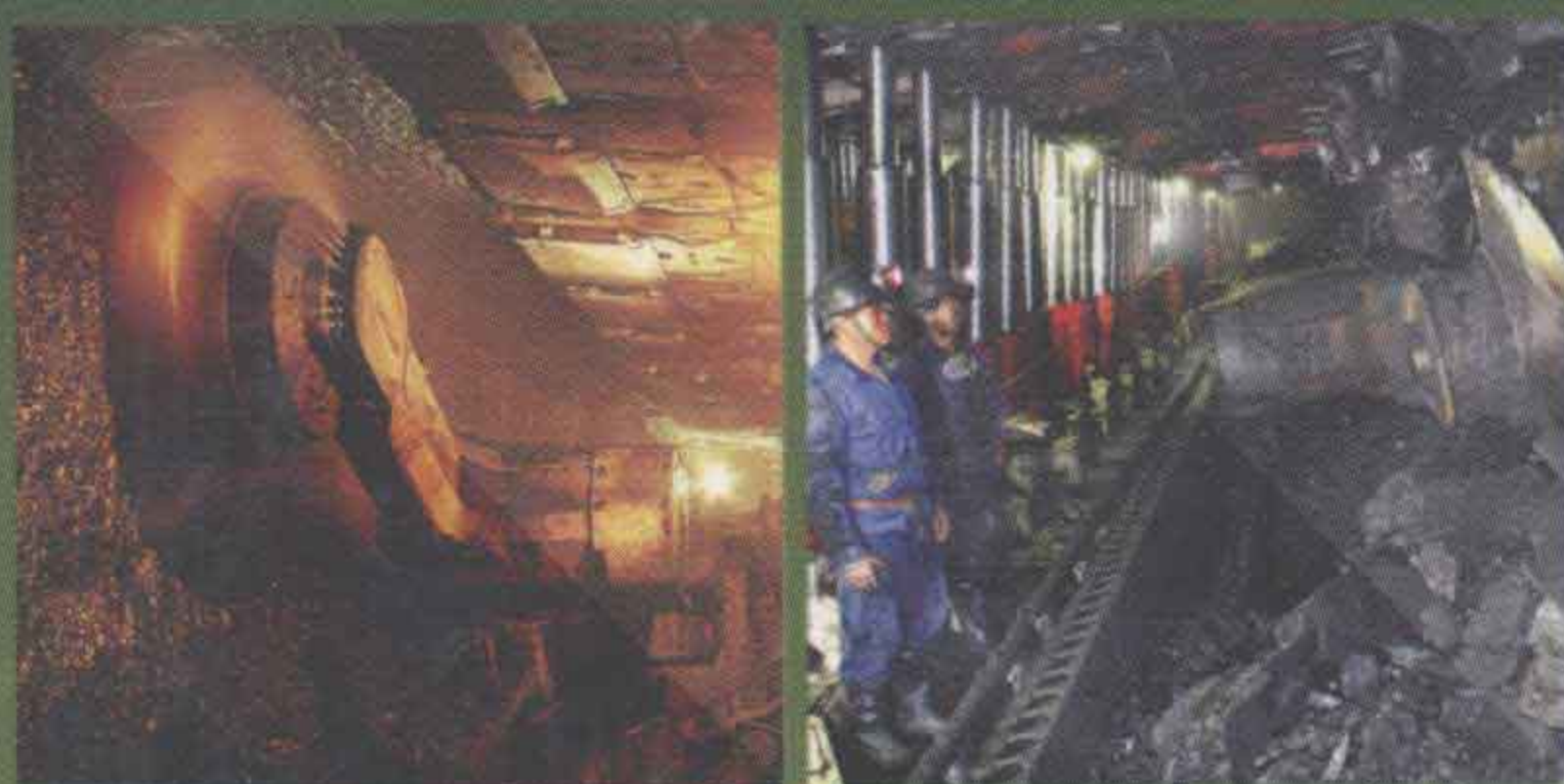


王 汉 斌 著

煤 与 瓦 斯 突 出 的 分 形 预 测 理 论 及 应 用



责任编辑：向云霞 赵 冰
封面设计：王 超

ISBN 978-7-5020-3993-6



9 787502 039936 >

定价：55.00元

煤与瓦斯突出的分形预测 理 论 及 应 用

王汉斌 著

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤与瓦斯突出的分形预测理论及应用/王汉斌著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2012

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3993 - 6

I. ①煤… II. ①王… III. ①分形理论 - 应用 - 煤突出
②分形理论 - 应用 - 瓦斯突出 IV. ①TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 005284 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 18¹/₄ 插页 1
字数 392 千字
2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 6816 定价 55.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

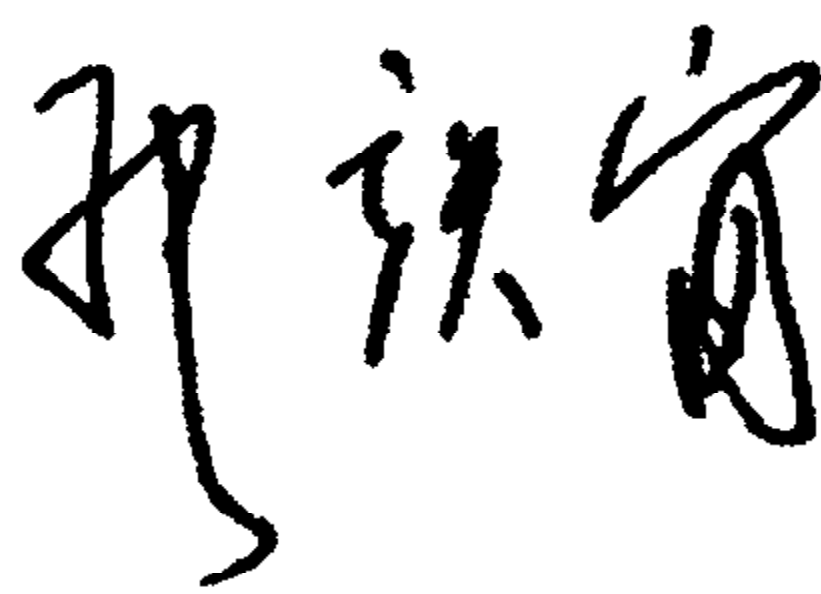
序

煤与瓦斯突出是煤矿井下极为复杂的瓦斯动力现象，是煤矿严重的灾害之一。我国是世界上发生煤与瓦斯突出最为严重的国家，突出矿井多，分布范围大，突出次数多，突出频率高，始突深度浅，突出类型全，突出强度大，突出瓦斯大，而且随开采深度的不断延伸，煤与瓦斯突出现象会进一步加剧。因此，煤与瓦斯突出的预测特别重要。然而，目前所流行的煤与瓦斯突出预测方法大多属于接触式的，不但预测所花费的时间长，而且由于预测时间和采掘时间的时差，导致预测结果的不准确，更有甚者，预测引发突出的现象时有发生。因而，寻求一种更好的非接触式预测措施是非常有必要的。

作者从煤与瓦斯突出预测的方法和煤与瓦斯突出机理研究的成果出发，经过现场调研和广泛收集资料，确定了瓦斯涌出量对煤与瓦斯突出的相关性，应用分形理论与方法，判定了瓦斯涌出的分形特征，并提出了煤与瓦斯突出分形预测的方法。该方法揭示了工作面由无突出到突出的分形盒维数的变化规律，找出了煤与瓦斯突出的分形盒维数临界值，为确定突出时间提供了依据。从几个矿井的突出实际资料验证，该方法无论是理论上分析还是实际中应用，都是科学可行的。特别是瓦斯数据的获取由瓦斯监控仪提取实现，不仅方便、快捷、连续、实时，实现了真正意义上的非接触获取数据、非接触预测，而且不需要任何额外投资，应用价值很大，应用前景广阔。为了便于推广，作者进一步讨论了分形预测理论实施的方法问题。为实现实时预测，提出了基于 Web Services 的预测煤与瓦斯突出信息系统的模型，使数据采集、盒维数计算、盒维数曲线绘制实时完成，为实时预测提供了思路和方法。

我愿将此书推荐给全国的同行，以促进中国煤与瓦斯突出预测技术的进步，并希望其能为减轻煤与瓦斯突出的灾害程度发挥作用。

中国工程院院士
河南理工大学教授、博导



2012年1月10日

独创性说明

本书是在“煤与瓦斯突出的分形预测理论研究”成果的基础上整理完成的。该研究成果具有3个创新点。具体说明如下：

(1) 用系统的方法确定了煤与瓦斯突出非接触式预测的指标，并用多种方法判定了该指标具有分形特征。

从煤与瓦斯突出预测的方法和煤与瓦斯突出机理研究的成果出发，通过现场调研和广泛收集资料，应用系统工程的理论与方法，对导致煤与瓦斯突出所有可能因素进行了全面的分析，归纳出了影响煤与瓦斯突出的4大类因素，即地质因素、煤体结构、瓦斯和矿山压力（地压）。从而建立了影响煤与瓦斯突出因素的指标体系。由于不同矿井影响煤与瓦斯突出的因素不尽相同，有些因素甚至在某些矿井并不存在，如果对每个矿井都用所有的指标进行预测，势必造成系统复杂而庞大，无效计算工作量剧增，事倍功半。因此，寻找影响煤与瓦斯突出的主要因素，确定一个既容易获取数据，又能实现突出预测的综合指标，是一种科学的思路和方法。为此，利用从汪家寨、大淑村、邯郸、红卫矿、丰城、三汇一、平顶山、淮南、南桐、桑树坪等矿井收集的煤与瓦斯突出资料，进行了不同地域的资料总体层次分析法计算。计算结果表明，瓦斯因素对突出影响所占的比重最大，达56.639%。为了进一步探究和证实这个结论的可靠性，用同一资料进行了主成分分析法的计算，计算结果是，瓦斯放散指数、瓦斯涌出速度、瓦斯含量这3个瓦斯因素指标在第一主成分中就占到了94.78%。可见，瓦斯是引起煤与瓦斯突出的主要因素，这也符合煤与瓦斯突出的相关机理。而瓦斯放散指数、瓦斯涌出速度、瓦斯含量这3个瓦斯因素指标都是测定指标，有的还需要在实验室进行测量和计算，计算一次需要花费很多时间，占用大量采掘空间，显然在获取上无法做到实时、连续、快捷和非接触，对煤与瓦斯突出预测来说，还是很不方便。因此，通过分析这3个指标与瓦斯涌出量的关系，用系统的方法确定煤与瓦斯突出预测的指标为瓦斯涌出量指标。瓦斯涌出量指标本身就是涵盖所有因素的综合指标。该数据的获取由瓦斯监控仪监测系统实现，不仅方便、快捷、连续、实时，而且真正实现了非接触获取数据、非接触预测，且不需要任何额外投资。

为建立煤与瓦斯突出的分形预测理论，随机抽取瓦斯涌出量数据，分别

计算庞加莱映射、赫斯特指数和功率谱指数,判定了瓦斯涌出具有分形特征,为分形理论预测煤与瓦斯突出奠定了理论基础和实践依据。

(2) 提出了煤与瓦斯突出分形理论预测的方法。

该方法以 B 矿的掘进工作面煤与瓦斯突出事故的瓦斯涌出时间序列数据为基础进行分析计算,以 C 矿数据作为佐证。通过确定每次计算所用样本时间序列长度 t_d ,该时间内所用的数据量 d ,每次预测计算的数据移动步距 t_l ,以及每计算一次移动的数据个数 l ,据此绘制瓦斯涌出折线图,并用该图计算瓦斯正常涌出和煤与瓦斯突出时期的分形盒维数,将分形盒维数的计算结果列表、作图,寻找出由无突出到突出分形盒维数的变化规律。

①提出了煤与瓦斯突出分形盒维数临界值的概念。临界值是指物体从一种物理状态转变到另外一种物理状态时,某一物理量所要满足的条件点。对于 B 矿井而言,无突出时分形盒维数为 $D = 1.4 \sim 1.7533$,突出时为 $D_0 = 1.8106$,突出临界值 $D_c = 1.7533$ 。实例佐证 C 矿正常瓦斯涌出量较 B 矿大得多,然而计算结果为正常无突出时, $D = 1.4 \sim 1.7617$,突出时 $D_0 = 1.8177$,临界值 $D_c = 1.7617$,与 B 矿相差甚微。同时,通过两个矿井分形盒维数变化率的计算,无规律,证实了分形盒维数是判断突出与不突出的唯一标志。

②提出了煤与瓦斯突出预警时间问题。B、C 两个矿井 3 次瓦斯突出的数据表明,工作面的瓦斯浓度分形盒维数达到临界值的时间到瓦斯突出的时间有一定的间隔,这段时间可称为煤与瓦斯突出的预警时间。现有资料表明,由于各工作面的地质条件、工艺过程和技术管理方面存在较大差异,因此,煤与瓦斯突出预警时间各不相同。如 B 矿井的预警时间为 19 h,而 C 矿井的两次突出中,预警时间分别为 38 h 和 15 h。提出预警时间概念的意义在于:一是预警时间可作为人们进行防突工作的时间,为实施防突措施,减少或消除突出事故创造条件;二是它表明突出时间是有办法预先知道的,对于已经有过突出史的矿井,可用第一次达到临界值时距离突出的时间作为预警时间,尚未发生过突出的矿井,可用比较类推法,根据类似自然地质条件已发生突出矿井的分形盒维数资料,结合本矿的分形盒维数,确定临界值和预警时间,估计突出发生的时间。

③揭示出分形盒维数在预警时间内呈 V 形曲线特性。研究表明,预警时间内的分形盒维数,经历了由临界值起逐渐降低的过程,而后在接近突出的时刻,突然增高以致达到突出,这个过程呈现 V 形曲线特性,与人们习惯性地以为突出前的分形盒维数一直递增的认识完全不同。揭示这个规律可以避免在实际工作中麻痹大意,积极采取防突措施,减少或消除瓦斯突出灾害。

(3) 提出了基于 Web Services 的预测煤与瓦斯突出信息系统的模型。

在分形理论预测方法的基础上,进一步讨论了分形预测理论实施的方法问题。为实现煤与瓦斯突出的实时预测,提出了基于 Web Services 的预测煤与瓦斯突出信息系统的模型,使数据采集、分形盒维数计算、分形盒维数曲线绘制实时完成,临界值、突出时间自动计算并预报,为实时预测提供了思路和方法。

作 者

2012 年 1 月

目 录

序	I
独创性说明	III
1 绪论	1
1.1 现有煤与瓦斯突出预测方法综述	1
1.2 系统工程理论与方法综述	10
1.3 煤与瓦斯突出机理综述	15
1.4 煤与瓦斯突出的一般规律	21
1.5 分形预测方法的提出及研究方法综述	28
2 影响煤与瓦斯突出的因素分析	30
2.1 瓦斯正常涌出的影响因素	30
2.2 影响煤与瓦斯突出的因素	33
3 煤与瓦斯突出预测指标的确定	49
3.1 煤与瓦斯突出影响因素描述指标体系	49
3.2 层次分析法确定煤与瓦斯突出预测的指标	51
3.3 主成分分析法确定煤与瓦斯突出预测指标	67
3.4 煤与瓦斯突出预测指标的分析与确定	77
4 煤与瓦斯突出预测指标——瓦斯涌出量的分形特征	80
4.1 分形与混沌简述	80
4.2 瓦斯涌出分形特征的判断	85
5 煤与瓦斯突出分形预测方法	95
5.1 分形预测煤与瓦斯突出的原理	95
5.2 时间序列盒维数	96
5.3 分形预测煤与瓦斯突出的方法	99

6 基于 Web Services 的煤与瓦斯突出预测信息系统建立	111
6.1 系统分析	111
6.2 系统设计	113
6.3 系统实现	116
7 煤与瓦斯突出的分形预测理论应用实例及分析	119
7.1 预测矿井基本情况	119
7.2 预测结果及其分析	120
8 结论与展望	126
 附录 A 瓦斯涌出量分形盒维数的计算	129
附录 B B 矿西区掘进工作面区域回风巷瓦斯监控数据	135
附录 C B 矿西区西回风巷与西运输巷之间的 6 号联络巷煤巷掘进工作面 瓦斯涌出时间序列波形图集	192
附录 D C 矿南二采区 14202 掘进工作面轨道巷瓦斯监控数据	245
附录 E C 矿南二采区 14202 掘进工作面轨道巷瓦斯涌出时间序列波形图集	264
 参考文献	273
后记	278

1 绪 论

由于煤与瓦斯突出严重威胁着矿井安全生产,制约着矿井经济效益的提高,因此,对突出进行有效防治,成为保障突出矿井安全生产和提高其经济效益的重要技术手段。研究科学、可靠的突出预测方法则是突出防治工作的基础,它可以指导人们更加合理地应用防突措施,减少防突工作的盲目性,节约防突工程费用,从而有效地保障矿井安全生产,提高矿井经济效益。

研究煤与瓦斯突出预测,对于预防煤与瓦斯突出事故,实现瓦斯综合治理,保证煤矿安全生产,具有积极的意义。

1.1 现有煤与瓦斯突出预测方法综述

煤与瓦斯突出严重威胁煤矿安全生产。国内外研究表明,突出危险煤层的突出发生具有区域性或条带状分布特点,即突出只发生在某些局部地带,其突出危险带的面积,还不到突出煤层总面积的10%,其长度变动在10~100 m之间^[1],突出危险带之间往往间隔很远,有时甚至达千米。若不准确地预测这些突出危险带,势必要在整个突出危险矿井采取防突措施,从而造成人力、物力的极大浪费,同时还要消耗大量的工作时间。为了保证开采突出危险煤层的人身安全,减少采取防突措施的盲目性,改善矿井技术经济指标,各国都非常重视突出的预测预报工作。

按突出预测预报范围和时间不同,苏联将突出预测方法分为3类:第一类是区域性预测,它主要是确定煤田、井田、煤层和采掘区域性的突出危险性;第二类是局部预测,它是在区域性预测的基础上,根据钻探、采掘工程等资料,进一步对局部地区(如采区)或地点的突出危险性作出判断;第三类是日常预测,它是在区域性预测、局部预测的基础上,根据突出预兆的各种异常效应(如声、电、磁、震、热等),对突出危险发出警报。

在国内按照《防治煤与瓦斯突出规定》(以下简称《防突规定》),把煤层突出危险性预测分为区域突出危险性预测(以下简称区域预测)和工作面突出危险性预测(以下简称工作面预测)两大类。突出煤层经区域预测后可划分为突出危险区、突出威胁区和无突出危险区,在突出危险区内,工作面进行采掘之前,必须首先进行工作面预测^[2]。

1.1.1 区域突出危险性预测方法

区域预测的任务是根据突出规律,综合区域瓦斯地质和开采技术条件对煤层及煤层区域的突出危险性作出判断。目前,区域预测方法主要有指标预测法、微震预测法、瓦斯地质单元法、专家系统预测法和物探法等。

1.1.1.1 指标预测法

指标预测法包括单项指标法和综合指标法^[2]。单项指标法是根据煤的破坏类型、瓦斯放散初速度 Δp 、坚固性系数 f 、煤层瓦斯压力 p 等指标进行综合判定，其判断煤层突出危险性的临界值应根据矿井实测资料确定。如无实测资料时，可参考表 1-1 所列数据，只有全部指标达到或超过其临界值时，方可划为突出煤层。

表 1-1 预测煤层突出危险性单项临界指标值^[3]

煤层突出危险性	煤的破坏类型	煤的瓦斯放散初速度 Δp	煤的坚固性系数 f	煤层瓦斯压力 p/MPa
突出危险	Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ	10	0.5	0.7

煤炭科学研究总院抚顺分院与一些突出矿区合作，提出了突出预测的综合指标 K 和 D ^[4,5]。它们被列入我国《防突规定》，并得到了广泛应用。煤层突出危险性可按下列两个综合指标判断：

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

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

式中 D 、 K ——煤层突出危险性综合指标；

H ——开采深度，m；

f ——煤的平均坚固性系数；

p ——煤层瓦斯压力，MPa；

Δp ——煤的瓦斯放散初速度。

综合指标 D 、 K 的突出临界值应根据矿井实测资料确定，如无实测资料，可参考表 1-2 所列临界值来确定煤层突出危险性。

表 1-2 综合指标法预测煤层突出危险性的临界值^[6]

煤层突出危险性综合指标 D	煤层突出危险性综合指标 K	
	无烟煤	其他煤种
0.25	20	15

注：1. 若 $D = \left(\frac{0.0075H}{f} - 3 \right) (p - 0.74)$ 式中两个括号内的计算值都为负时，则不论 D 值大小，都为突出威胁区域。

2. 地质勘探或新井建设时期进行煤层突出危险倾向性预测时，突出威胁视为无突出危险。

1.1.1.2 微震预测法^[7]

研究表明，煤和围岩受力破坏过程中，会发生破裂和震动，从震源传出震波或声波。当震波或声波的强度和频率增加到一定数值时，可能出现煤的突然破坏，发生突出。煤岩内的震动波可以被安设在煤体内的探测仪器（如地音器或拾震器）所接收，经放大并记

录下来。然后通过资料分析,进行突出危险性预测。研究表明,突出是由连续的多起断裂引起的,而且异常的微震发射通常在断裂之前 5~45 min 内产生,故微震法作为突出预报方法,将显示出其广阔的应用前景。

20 世纪 70 年代初以来,美国矿业局就用标准微震技术研究煤层结构破坏。同时,采用超声波监测技术来监测岩层响声能量。研究人员利用低频微震技术监测和确定最可能发生突出的地点,利用高频微震技术确定发生突出的时间。

低频微震系统一般由 7 个或更多的地音探头、放大器、滤波器和一个多通道中央记录装置组成。所有地音探头的信号由中央记录站记录,然后通过数据分析处理,以确定发生在地音探头中的每个声响源的三维坐标,将每个声源绘在工程图上,根据密度等值线,即可确定煤岩破裂活动最频繁区的位置及其范围。

高频微震系统数据采集装置将每个单独信号当做一个事件,每个事件有其能量值,以 1 min 为间隔将能量值和事件数计数。在每分钟终了时将能量值与事件数传递到地面的数据记录装置,然后打印出来。根据研究结果得知,在突出发生前均出现了异常数值,预报时间为 20~55 min。

1983 年,英国在赛恩赫德雷矿井下 BV15、BV24、BV26 等工作面用微震法,检测表明:

第一,微震活动主要发生在采煤和移架期间,工作面卸压主要发生在落煤时。最大微震频率在 3000 次/h 以上,正常生产情况下,峰值为 1700 次/h,采煤结束后 2 h 为 50 次/h,4 h 后为 50~100 次/h。

第二,微震和瓦斯涌出量的峰值及谷值基本对应,瓦斯涌出可能落后于微震,但两者同时达到峰值。

第三,微震活动随产量增加而增加。

第四,监测期间没有发生过煤与瓦斯突出,且采动诱发因素不存在时,工作面煤体结构基本正常。

俄罗斯开采煤与瓦斯突出煤层时,通过地震声学预测方法取得了较好研究成果。其理论依据为:采掘作业时,煤层在变化的应力场、瓦斯场、温度场的作用下,其内部发生动力物理过程。动力物理过程可以理解为煤层内部脆性塑性破坏形式的结构重组过程,并伴随有煤层的声发射。俄罗斯专家在顿巴斯矿区进行了大量的现场观测研究,观测了突出准备、发展的过程和突出危险带的地震声学特征,研究了地震声学脉冲的概率统计规律及其与动力现象的关系,并制定了地震声学预测方法的判断准则,在顿巴斯矿区中部迅速得到了推广应用。在监测仪器方面,俄罗斯斯阔钦斯基矿业学院研制成功 3YA-6 型仪器 and CAK-1 型地震声学压电陶瓷传感器配套使用,使地震声学预测系统自动化,实现了脉冲信号识别、计算预测、资料管理自动化,将突出危险性预测和监测技术提高到了新的水平^[8]。

1.1.1.3 瓦斯地质单元法^[9-11]

河南理工大学对湘、赣、豫 3 省的 12 个矿区 61 对突出矿井进行研究,提出了瓦斯地质区划论,认为突出的分布是不均衡的,具有分区带的特点;瓦斯突出的分区带与地质条

件有密切的关系,地质因素的分区带控制着瓦斯突出的分区带;进而通过地质因素的区域划分来预测突出区带。

彭立世等在瓦斯地质区划的基础上提出了用地质观点进行突出预测的方法,即瓦斯地质单元法。这种方法根据地质构造、煤层厚度及其变化、煤体结构和煤层瓦斯等瓦斯地质参数,把煤层按照突出危险程度划分为不同的瓦斯地质单元,从而实现突出的区域预测。

1.1.1.4 专家系统预测法^[7,12]

专家系统是一个模拟人类专家解决某一问题所用知识和经验的计算机程序。近些年来国内外研制预测突出的专家系统,如英国煤炭公司技术发展部已开发出 UPEL 专家系统,该专家系统用于预报井下开采过程中煤与瓦斯突出的危险。中国科学院地质研究所也正在研制预测突出的专家系统,该系统被称为 GASBURST,它根据用户提供的矿区地质构造、地下水、瓦斯、钻孔粉尘、地应力和已经发生突出的资料,划出煤矿突出危险区、危险带,预测突出危险程度随采深增加的变化趋势,预报突出点的位置;同时,还能在计算机屏幕上显示突出危险区的位置、井下突出点的位置、各次突出间的相互联系等。

1.1.1.5 物探法^[13]

无线电波透视技术用于探测地质小构造领域已取得了较好的效果。研究表明,突出煤层与非突出煤层的物理性质不同,煤层突出危险区域对电磁波能量的吸收作用大,使得电磁波穿越该区域时衰减系数较大,其能量损失也较大。基于这一原理,煤炭科学研究总院重庆分院等单位进行了借助无线电波透视技术探测突出构造带与突出危险区的研究。

1.1.2 工作面突出危险性预测方法

工作面预测的任务是确定掘进或回采工作面前方煤体的突出危险性。统计表明,煤巷掘进时期发生的煤与瓦斯突出次数占矿井突出总次数的首位,因此,煤巷掘进工作面又是突出预测的重点。工作面预测依其与煤体的关联程度,分为接触式预测与非接触式预测。

1.1.2.1 接触式预测

我国从 20 世纪 70 年代末开始对工作面预测进行研究,至 80 年代后期,基本形成了以钻屑量、钻孔瓦斯涌出初速度和钻屑瓦斯解吸特征等指标进行工作面预测的方法。另外,也有利用钻屑温度、钻孔内壁温度和钻孔涌出瓦斯中氦(He)、氩(Ar)同位素含量等参数预测突出的方法^[14],但应用不太广泛。我国现行《防突规定》中规定,进行煤巷掘进工作面突出危险性预测时,可采用钻孔瓦斯涌出初速度法、 R 值指标法和钻屑指标法等。由于这些方法都是在向煤层打钻的基础上进行的,因此也统称为钻孔法。

1. 钻孔瓦斯涌出初速度法

钻孔瓦斯涌出初速度法是由苏联马凯耶夫煤矿安全研究所提出的,它被认为全面反映了煤的渗透性能、力学性质、煤层瓦斯压力和含量及地应力等因素的变化,是苏联运用最为广泛的日常预测手段,已被正式列入《在有煤、岩石和瓦斯突出倾向煤层安全采掘规程》^[1]。我国河南理工大学和丰城矿务局较早使用这一方法进行突出危险性预测。之后煤炭科学研究总院抚顺分院^[15]、煤炭科学研究总院重庆分院^[16]和中国矿业大学^[17]对其进行了理论上的探讨,认为它是一个极有前途的预测指标。这一方法已被列入我国《防突规

定》，得到了广泛应用。苏联于1969—1978年间进行的大量测定证实，当钻孔瓦斯涌出初速度小于5 L/min时，绝大多数情况下煤层不发生突出，后在《苏联煤、岩和瓦斯突出危险层安全开采细则》中又规定，钻孔瓦斯涌出初速度的临界值取决于煤的种类（即挥发分含量）。我国《防突规定》中的规定与此相同。

按照《防突规定》规定，钻孔瓦斯涌出初速度的测定方法如下：沿工作面采掘方向，在煤层内打直径42 mm、长3.5 m的钻孔，然后用专门的封孔器封住孔底0.5 m长的一段钻孔作为测量室，孔周煤体涌入测量室的瓦斯经由导气管导出，用流量计读数，则在初始的单位时间内，从测量室涌出的最大瓦斯量就是钻孔瓦斯涌出初速度 q ，单位为L/min。根据马凯耶夫煤矿安全研究所的研究^[1]，从流量计读出的钻孔瓦斯涌出量随时间的变化曲线在初期上升，然后下降，具有某个极大值 $q_{\max}$ ，这一极大值是由于游离瓦斯不断充填测量室和测量室中残余瓦斯压力的增加造成的。理论分析以及现场的预测实践表明，钻孔瓦斯涌出量在打钻结束后立即测定的瞬间最大，而且随时间会很快衰减。河南理工大学在英岗岭建山煤矿的测定表明^[18]， q 值在0~2 min之间呈直线下降的趋势，6 min后平稳略有波动；焦作矿务局九里山矿的测定也表明，突出危险性越大，钻孔瓦斯涌出初速度的值就越高，并且在打钻结束后的衰减也越快。因此，钻孔瓦斯涌出初速度的测定应在打钻后立即进行，但是《防突规定》中只规定了此项测定必须在打钻结束后的2 min内完成，却没有规定测定的起始时间，这样容易造成在突出危险地点往往测不到钻孔瓦斯涌出量的最大值，使测定结果偏小，达不到预测突出的效果。

苏联东方煤矿安全研究所的研究发现^[1]，在靠近工作面煤壁附近的煤体内，由于瓦斯排放作用的影响，钻孔瓦斯涌出初速度 q 值较小，随着钻孔向煤体深部延伸， q 值逐渐增大，在1.5~4 m处达到最大值 $q_{\max}$ ，以后又有降低。B·H·普则列夫等人则提出把钻孔瓦斯涌出初速度极大值梯度 $q_{\max}/L_{q_{\max}}$ 作为一项预测指标（ $L_{q_{\max}}$ 为出现 $q_{\max}$ 处至工作面煤壁的距离）^[19]。河南理工大学在丰城煤巷突出危险性预测研究中，对单位钻孔长度瓦斯涌出初速度沿孔深分布的极大值及其距工作面的距离进行了大量研究。范启炜也对这种情况进行了理论分析^[15]。此外，河南理工大学在平顶山八矿突出危险采面巷道掘进时的测定显示， $q_{\max}$ 出现在沿孔深5~7 m处；芙蓉矿务局白皎矿2604采区掘进面的测定结果显示，在孔深6 m处 q 值最大，并严重喷孔（钻孔间歇性瓦斯喷出事故简称喷孔）；六枝矿务局四角田矿突出煤层掘进巷道在实施防突措施之前测定出，工作面煤壁前方0~3 m为瓦斯排放带，3~8 m内 q 值上升达到最大值，为突出危险带，8 m以外为正常带^[18]。总之，突出危险工作面前方煤体一般在4~8 m处 q 值达到最大，打钻时往往在此区段发生喷孔、卡钻现象。显然，《防突规定》中所规定的3.5 m深的预测钻孔不可能测到真正有突出危险的 $q_{\max}$ 值，在实际预测时，为防止漏报和误报，预测钻孔深度宜大于4~8 m。这一点在《防突规定》中的 R 值指标法中有所体现。但采用 R 值指标法测定每米钻孔瓦斯涌出初速度时，钻孔每打1 m，就需要进行1次封孔，同样会因耽搁一定的时间而可能测不到钻孔瓦斯涌出量的最大值，达不到预测突出的效果。

实践中还发现，对透气性较大的煤层，钻孔瓦斯涌出初速度指标的敏感性较差，用于

突出预测时容易产生误报, 主要原因是瓦斯来源广, 即排放半径较大, 造成煤层突出危险性不大时其值却超过突出临界值^[20]。而若煤层破坏类型高、透气性差, 则在规定的时间内完成测定 q 时, 一般会出现孔内瓦斯已基本枯竭、 q 值很小的情况, 以致煤层突出危险性较大而 q 值却未超过临界值, 同样会产生误报(即所谓的低指标突出现象)。同时, 由于煤层极为松软, 钻孔时易垮孔, 往往造成封孔困难, 操作麻烦, 施工时间长。因而, 钻孔瓦斯涌出初速度法在上述煤层条件下的煤巷掘进工作面应用时会受到一定的限制。

鉴于上述原因, 目前已有应用钻孔瓦斯涌出初速度与其衰减指标相结合的方法来预测突出, 且应用效果较好。研究和实践表明, 钻孔瓦斯涌出初速度越大, 并且其衰减速率越快, 则突出危险性越大。

一般在测定钻孔瓦斯涌出初速度时, 都需要停止钻进, 封孔测定。苏联研制了一种在打钻过程中测量瓦斯涌出初速度的装置^[21]。其特点是, 打钻的钎子是中空的, 钻头后 0.5 m 处有螺旋除粉器, 每段钻孔(长 0.7 m)钻进过程中涌出的瓦斯因螺旋除粉器及前方煤粉的阻挡, 不能向孔外涌出, 只能沿钎子中心的孔眼流出, 并可用阻力很小的流量计测定其涌出速度。但钻进结束后的涌出速度则仍需按原来测定涌出初速度的方法封孔测定。

2. 钻屑量法

打钻时排出钻屑量的多少在某种程度上综合反映了煤层应力状态、煤的力学性质和瓦斯 3 个方面的因素, 这 3 个因素在打钻时以煤体位移、挤出、摩擦、破碎等方式所释放的潜能通过钻屑增量的形式表现出来。世界各国都较为普遍地应用钻屑量指标预测井下动力现象(冲击地压和煤与瓦斯突出)的危险性, 并进行了一定的理论研究^[17, 22-31]。在相同的打钻工艺条件下, 煤层应力越大, 瓦斯压力越大, 煤的强度越小, 所产生的钻屑量就越大, 从而间接地反映出突出危险性也越大。钻屑量的大小通常用单位孔长排出的钻屑量或钻屑倍率来表示, 并以此作为衡量突出危险性的指标。关于钻屑倍率, 煤炭科学研究总院抚顺分院按排出的钻屑体积与钻孔空间之比来计算^[24], 而煤炭科学研究总院重庆分院则按排出的钻屑体积与正常钻孔钻屑体积之比来计算, 其中正常钻孔钻屑体积约为按钻头直径得出的钻孔体积的 1.3 倍^[26]。

国内外对利用钻屑量指标预测突出危险性的现场研究较多。德国采用钻屑量及钻屑特征作为预测指标, 认为当钻屑量超过下列极限值或者出现某种征兆时, 有突出危险: 直径 50 mm 的钻孔为 8 L/m, 直径 95 mm 的钻孔为 50 L/m, 直径 140 mm 的钻孔为 90 L/m; 突出危险的征兆是粗钻屑增多, 煤粉和瓦斯喷出等^[27]。法国学者认为钻屑倍率大于 8 时, 煤体有突出危险。日本后藤研在夕张新矿研究指出, 当钻屑倍率大于 5 时有突出危险; 而外尾善次郎则认为, 钻屑倍率为 3 时就有突出危险。煤炭科学研究总院抚顺分院和北票矿务局于 20 世纪 80 年代初期对钻屑量作为预测突出的指标进行过研究, 初步提出危险临界值为钻屑倍率大于或等于 4^[23]; 煤炭科学研究总院重庆分院等单位在一些矿区进行了钻屑量测定, 得出钻屑量大于正常钻屑量的 3 倍时, 最易出现倾出或压出, 如果瓦斯压力增大时则会发生较大的突出^[25]; 其他矿区在进行煤巷突出预测时也把钻孔的最大钻屑量作

为预测突出危险性的主要参数之一。另外,煤炭科学研究总院重庆分院等单位还把最大钻屑量与产生最大钻屑量时的钻孔深度之比 S_L 作为预测指标,认为产生最大钻屑量的位置距工作面的距离越近,突出倾向性越大,并通过对鱼田堡矿和梅田二矿的实际测定分析,得出当 $S_L > 1.25$ 时,煤层的突出倾向性将会明显增加^[25]。

钻屑量的测定方法很简单,钻孔每钻进一定深度,用简易收尘器收集一次钻屑量,用弹簧秤或量具测定其质量或体积^[2]。钻屑量测定的准确性与某些人为因素关系很大,如钻进速度、钻孔的弯曲程度与钻杆的连接方式、司钻人员的操作水平、钻屑量收集不全或钻孔钻进与钻屑收集不同步等原因,均可造成钻屑量指标测定不准。

3. 钻屑瓦斯解吸量和解吸特征指标法

应用钻屑瓦斯解吸量或解吸特征指标预测突出危险性,在国内外都较为广泛应用。研究表明^[20],钻屑瓦斯解吸指标值能正确反映煤层的破坏程度和瓦斯含量的综合作用,但不能反映采掘工作面附近煤层的受力情况。煤层中瓦斯含量和瓦斯压力的大小、煤体的力学性质以及煤层遭受构造破坏的严重程度将直接影响到该煤层的钻屑瓦斯解吸特征,因此,钻屑瓦斯解吸指标的大小在一定程度上反映了煤层突出危险性的大小。德国学者 H. Janace 等人提出^[1,32],煤样的瓦斯解吸量与解吸时间的关系可以用指数函数的形式表示,并把解吸衰减指数作为突出预测指标,其值可由 EL·KD-02 型电容栅式瓦斯解吸仪测定。澳大利亚、法国等其他一些国家直接把煤样的解吸强度和解吸量作为突出预测指标,只是使用的测定仪器和方法有所不同,如澳大利亚采用的是 Hargraves 等压解吸仪,法国采用的是阿普蒂解吸测量仪,波兰采用的是 DMC 型压力计式解吸仪等^[1]。

我国《防突规定》中也规定了采用每米钻孔最大钻屑量和钻屑解吸指标 (Δh_2 、 K_1) 预测工作面突出危险的方法,并得到广泛应用。煤炭科学研究总院抚顺分院于 1980 年研制了 MD-1 型煤钻屑瓦斯解吸仪^[33,34],提出以钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 、衰减系数 C 预测工作面突出危险性。1983—1984 年,煤炭科学研究总院重庆分院研制出 CMJ-1 型解吸仪并提出相应的解吸指标 K_1 值;之后煤炭科学研究总院抚顺分院在 MD-1 型解吸仪的基础上又研制了 MD-2 型解吸仪,煤炭科学研究总院重庆分院在 CMJ-1 型解吸仪的基础上研制成功 ATY 型瓦斯突出预报仪,湖南省煤研所、焦作矿务局科研所等单位也研制了不同类型的瓦斯解吸仪。20 世纪 90 年代后,煤炭科学研究总院重庆分院又开发出新一代主要用于测定钻屑瓦斯解吸指标的 WTC 瓦斯突出参数仪^[35],煤炭科学研究总院抚顺分院则研制出试验用 MJL-1 型钻屑解吸指标临界值确定测定仪^[36]。

通过近几年的现场应用和理论研究表明,对于结构破坏程度比较严重、瓦斯压力和含量较大的突出煤层,利用钻屑瓦斯解吸指标预测其突出危险性的准确率较高。但在实测中,人为因素对钻屑瓦斯解吸指标有较大的影响,主要表现在暴露时间的长短、钻屑煤粒的大小、煤样质量、仪器漏气以及测定 K_1 值的准确性和测定点数的多少等方面。

4. 钻孔综合指标法

综合指标在一定程度上可以克服单项指标的局限性和片面性,多考虑一些因素的影响,使预测突出的准确率有所提高。因此,我国许多矿井都采用综合指标来预测突出,但