

基于机器学习的煤与瓦斯突出危险性识别研究 (BK20140192) 资助
江苏省基础 Research 计划 (自然科学基金) —— 青年基金项目资助

机器学习的煤与瓦斯突出前兆 识别方法研究

闫秋艳 著

JIQI XUEXI DE MEI YU WASI TUCHU QIANZHAO
SHIBIE FANGFA YANJIU



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

基于机器学习的煤与瓦斯突出危险性识别研究(BK20140192)资助
江苏省基础研究计划(自然科学基金)——青年基金项目资助

机器学习的煤与瓦斯突出 前兆识别方法研究

闫秋艳 著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机器学习的煤与瓦斯突出前兆识别方法研究 / 闫秋艳著.
—徐州:中国矿业大学出版社, 2017.10

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3677 - 7

I. ①机… II. ①闫… III. ①煤突出—防治②瓦斯突出—防治 IV. ①TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 208450 号

书 名 机器学习的煤与瓦斯突出前兆识别方法研究

著 者 闫秋艳

责任编辑 陈 慧

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 850×1168 1/32 印张 6 字数 156 千字

版次印次 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 第 1 次印刷

定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

煤与瓦斯突出是煤矿采掘过程中大量煤岩和瓦斯瞬间抛入采掘空间的一种动力灾害,伴随强大的冲击波,可摧毁采掘空间内的设施,抛出煤岩伤害或掩埋人员,导致人员窒息死亡;瞬间涌出的大量瓦斯气体流入通风流中,使风流中瓦斯浓度迅速增高,遇到火源时可能引发瓦斯爆炸,继而可能引发煤尘爆炸。我国 50% 以上重点煤矿为高瓦斯突出矿,对煤矿安全生产造成严重威胁。

我国学者及安全科技工作者通过卓绝的研究工作,在煤与瓦斯突出机理及灾害预警方面取得了大量的成果。随着预警及防突措施研究与实施的加强,突出数量逐年下降,防治突出效果明显。但是近年来,随着采深加大,突出日趋复杂,以应力为主或以应力和瓦斯共同作用的压出、压出型突出或冲击型突出越来越多,又出现突出事故频发的现象,突出防治任务依然严峻。

智能信息处理技术能够从数据自身出发,通过建立处理复杂系统信息的理论、算法和系统模型,发现数据包含的本质规律。将智能信息处理技术(如机器学习、神经网络、模糊数学、群智计算、粗糙集、混沌与分型以及灰色理论等)应用于煤与瓦斯突出前兆识别与突出预警,已经取得了较为丰富的研究成果。近年,大数据及云计算技术又将人工智能(特别是机器学习)技术推向新的高潮,新时期硬件技术的飞速发展,使许多原有人工智能的瓶颈问题迎刃而解,并提出了许多新理论及新方法以求解决大数据时代对处理速度及数据规模的新要求。在这样的大背景之下,运用机器学习技术从数据入手挖掘突出事故发生发展的规律,对突出监测数

据中的干扰模式及突出前兆模式进行高效识别,既顺应目前人工智能发展的大趋势,又是寻求科学的突出预警方法的必经之路,二者的结合具有重要意义。

本书以煤与瓦斯突出监测数据(瓦斯浓度及电磁强度)为研究对象,通过引入“概率数据流”模型,对监测数据进行建模,并在此模型基础上实现干扰模式的检测和突出前兆模式的识别,同时提出了突出数据的类不均衡问题,并针对类不均衡对突出模式识别产生的影响进行了深入分析,给出了有效的解决方法。本书主要成果包括:

(1) 在分析突出监测数据特点的基础上,采用“概率流数据”模型对其进行建模,并提出了一种基于拟合点的分段线性拟合方法,该方法解决了传统时间序列模式表示方法依赖序列长度和领域知识的问题,且可以根据环境变化自适应调整拟合策略。

(2) 针对环境因素及机电设备对监测数据造成的非突变型干扰,定义了“概率流数据”模型的模式异常,从概率流数据之间的概率相似距离出发,提出了“基于概率相似距离的模式异常检测方法”,推导出了概率相似距离分布函数的表示形式,得到了突出概率流数据模式异常概率的计算方法。仿真实验表明,针对瓦斯浓度监测数据中的非突变型干扰模式具有良好的检测效果。

(3) 针对机电设备对监测数据造成的突变型干扰,提出一种基于时间序列 Discord 模式检测的突变干扰模式识别方法。该方法解决了传统 Discord 方法无法处理含噪时间序列异常检测的问题,同时实现了连续时间序列的 Top- k 异常排序。对模拟数据和突出电磁强度数据的实验表明,本章算法较传统时间序列异常检测方法对突变模式的异常检测准确率有明显提高,在运行时间上虽有增加但不会造成太大的影响。

(4) 趋势分析是煤与瓦斯突出前兆识别的关键。提出了一种基于趋势分析的灾害模式检测方法,该方法采用客户/服务器模

式,客户端实现单个检测设备的模式异常概率的预测、调整,并对调整后的数据进行检验,服务器端根据各监测设备发送来的模式异常概率预测值,生成全局模式异常概率序列,并对序列趋势进行分析,最终得到是否发生突出的预测结果。仿真实验通过对一次真实瓦斯突出前夕的瓦斯浓度进行算法测试,验证了该方法对突出前兆模式识别的有效性。

(5) 提出了煤与瓦斯突出监测数据所具有的不平衡性及其对突出监测产生的影响问题,分析了其原因和现有方法的不足之处,提出了一种面向不平衡时间序列数据集的分类方法,结合了基于 shapelets 分类算法的可解释性和 AUC 对不平衡数据集的适应性,所提方法在标准不均衡数据集上取得了理想的效果,而针对突出监测数据的算法实验,将留待进一步研究。

本书在撰写过程中得到了中国矿业大学夏士雄教授和王恩元教授的悉心指导,以及研究生姚彦旭、孙其法、闫欣鸣、余思琴等人的热情帮助,在此表示深深的谢意。

本书得到江苏省青年自然科学基金的资助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点或不足之处,敬请各位专家和广大读者批评指正。

著 者

2017 年 6 月于中国矿业大学南湖校区

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 我国煤与瓦斯突出的概况	2
1.3 煤与瓦斯突出的分类	3
1.4 煤与瓦斯突出危险性预测的必要性及分类	5
1.5 工作面煤与瓦斯突出预测的研究现状	6
1.6 小结	12
第 2 章 突出监测数据的建模及分段模式表示	13
2.1 引言	13
2.2 突出监测数据的流数据特性分析	14
2.3 流数据挖掘研究现状	15
2.4 时间序列模式表示方法研究现状	21
2.5 基于拟合点的分段线性拟合方法	27
2.6 复杂度分析	36
2.7 实验及结果分析	36
2.8 小结	46
第 3 章 非突变型干扰模式检测方法	48
3.1 引言	48
3.2 流数据异常检测方法概述	49
3.3 基于概率相似距离的模式异常检测算法	54
3.4 复杂度分析	64
3.5 实验及结果分析	65

3.6	小结	76
第 4 章	突变型干扰模式检测方法	77
4.1	绪论	77
4.2	Discord 的定义及其在突出电磁数据应用中存在的 问题	78
4.3	不确定 Top- k 查询的研究现状	80
4.4	分值连续分布的 Top- k 查询算法(MCTop- k)	88
4.5	不确定连续时间序列的 Discord 查询算法	102
4.6	小结	111
第 5 章	突出前兆趋势的模式识别方法	113
5.1	引言	113
5.2	相关知识	114
5.3	基于趋势分析的灾害异常检测算法	119
5.4	实验及结果分析	132
5.5	小结	140
第 6 章	不均衡突出数据的分类方法研究	142
6.1	概述	142
6.2	不均衡数据学习概述	143
6.3	不均衡数据学习方法概述	145
6.4	基于 shapelets 特征空间的不均衡时间序列分类 方法	147
6.5	实验结果及分析	158
6.6	小结	167
参考文献		168

第 1 章 绪 论

1.1 引言

煤与瓦斯突出是煤矿生产中存在的一种极其复杂的地质动力现象,它能在极短的时间内(多则数分钟,少则数秒或数十秒钟)由煤体向巷道或采场突出大量的煤炭及涌出大量的瓦斯,并造成一定的有时是十分巨大的动力效应,诸如推倒矿车、毁坏支架等。对于大型突出特别是特大型突出,突出的煤炭可以堵塞数百米甚至千米以上的巷道,涌出的瓦斯可以逆风运行数千米,甚至弥漫波及整个矿井。煤与瓦斯突出是严重威胁煤矿安全生产的主要自然灾害之一。

国家高度重视煤矿瓦斯的防治工作,2005 年 3 月,成立了以国家发展和改革委员会为组长单位,12 个部门和单位参加的煤矿瓦斯防治协调领导小组,并先后组建了煤矿瓦斯治理国家工程研究中心、煤层气开发利用国家工程研究中心和国家能源煤与煤层气共采技术重点实验室开展瓦斯防治研究。国家多次立项开展煤矿瓦斯防治研究,经过多年努力,我国煤矿瓦斯防治成效显著^[1]。

近年来,随着我国煤矿开采深度和强度的增加,开采煤层地应力、瓦斯压力越来越高,煤与瓦斯突出、冲击地压等煤岩动力灾害危险越来越严重,已成为威胁煤矿安全生产的首要因素。2014 年与 2006 年相比,煤与瓦斯突出事故起数占煤矿重特大事故起数比例由 24%上升到 35.6%,死亡人数占煤矿重特大事故死亡人数比

例由 24.2% 上升至 37.2%，因此，煤与瓦斯突出防治任务依然艰巨。

煤与瓦斯突出的监测与预警，是突出防治的最重要环节。如何将突出事故消除在萌芽状态，及早发现、及早预防，是避免突出，减少财产损失及人员伤亡的关键环节。针对煤与瓦斯突出的监测预警技术的研究，多年来已经取得了累累硕果，不仅在学术领域获得了大量优秀的研究成果，更是将这些成果应用到了采掘现场，防治突出成效明显。

本章在综合概述我国煤与瓦斯突出特点、煤与瓦斯突出分类等问题的基础上，对我国煤与瓦斯突出预测预报的研究现状进行了阐述，重点对人工智能及机器学习技术在突出预测中的研究成果进行了详细介绍。

1.2 我国煤与瓦斯突出的概况

长期以来，我国煤炭生产和消费占整体能源的近 70%，国家《能源中长期发展规划纲要（2004—2020）》中确定，我国将坚持以“煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展”的能源战略，煤炭将长期成为我国的主导能源。但煤与瓦斯是伴生资源，我国瓦斯资源分布广、储量大、煤层深埋小于 2 000 m 的总量高达 36.81 万亿 m^3 （相当于 450 亿 t 标准煤），大部分矿区煤层属于低透气性，瓦斯抽采难度大，给矿山安全生产造成严重威胁。同时，我国是世界上煤与瓦斯突出灾害最严重的国家之一，煤与瓦斯突出矿井数量多、分布广。

新中国成立以来，我国煤与瓦斯突出事故发展的总体变化特点是上升迅速，下降平缓且有起伏，主要可划分为四个阶段^[2]：

（1）上升阶段（1950—1980 年）。煤炭工业发展迅速，突出矿井的数量增长快，很快由 1 个增加到 205 个，每年发生突出从 2

起增加到 1 151 起。

(2) 稳定下降阶段(1981—2000 年)。随着防突措施研究与实施的加强,突出起数逐年下降,20 世纪 80 年代全国每年突出事故基本控制在 500~600 起。特别是在颁布《防治煤与瓦斯突出细则》以来,全面推行“四位一体”综合防突措施,防治突出成效明显。在 1992 年后的 4 年中,国有重点煤矿年均突出控制在 300 起以内,平均为 252 起,突出死亡人数控制在每年 50 人以内。

(3) 回升抬头阶段(2001—2005 年)。随着国民经济的快速增长,煤炭需求大幅增加,矿井开采强度和开采深度不断增大,各矿区的突出危险性愈发严重,矿井超能力生产现象较为普遍,突出事故数量也维持在一个较高的水平。

(4) 下降和稳定阶段(2006—2010 年)。在国家的大力整治下,突出事故数量逐年下降。在矿井开采深度、突出矿井数量和全国煤炭产量逐年增加的形势下,保持了突出伤亡事故起数和死亡人数的基本稳定,年均突出伤亡事故 40~50 起,造成的死亡人数 250~320 人。

1.3 煤与瓦斯突出的分类

煤炭开采过程中,突然从采掘工作面的煤(岩)体内向采掘空间喷出煤(岩)与瓦斯(甲烷或二氧化碳)的动力现象,统称为煤与瓦斯突出。但由于动力现象的特征不同,而又可以分为四种类型^[3]:

(1) 煤与瓦斯突出

煤与瓦斯(甲烷或二氧化碳)突出是指煤与瓦斯在一个很短的时间内突然地连续地自煤壁暴露面抛向巷道空间所引起的动力现象。根据目前的研究结果,引起煤与瓦斯突出的力有地应力和瓦斯压力,通常以地应力为主,瓦斯压力为辅,重力不起决定作用,作

用介质为软煤和瓦斯。这种煤与瓦斯突出,具有强大的动力效应,可使井巷设施和通风系统受到破坏。

(2) 煤的突然压出

煤与瓦斯压出,简称压出,发动与实现压出的主要作用力是地应力,瓦斯压力与煤的自重是次要因素,压出的基本能源是煤岩所积蓄的弹性变形能。

煤的突然压出主要特征是:

① 压出的煤抛出距离很近,一般为 2~3 m,堆积坡度较小,有时煤壁整体位移,使工作面煤壁鼓出或巷道底部煤体鼓起。

② 压出的煤多为大块或碎块状,无分选现象。

③ 发生压出前工作面压力显现较为明显,支架折断、工作面掉渣、响煤炮等。

④ 压出时的瓦斯涌出量不大,不至于引起采区回风瓦斯超限,但工作面回风瓦斯浓度可短时升高或超限,在正常通风情况下,很快就可恢复正常,只有个别情况下会出现大量瓦斯涌出或从顶底板裂隙中喷出瓦斯现象。

⑤ 压出时动力效应明显,如打到或折断支架、推走采掘工作面的设备。

⑥ 除煤壁整体位移外,压出后所形成的空间不规则,有带状的、也有楔形或篷型的。

(3) 煤的突然倾出

煤与瓦斯倾出,简称倾出,发动倾出的主要因素是地应力,即结构松软、含有瓦斯致使内聚力降低的煤,在较高地应力的作用下,突然破坏、失去平衡,为其位能的释放创造了条件,实现倾出的主要力是煤的自重。

煤的突然倾出的主要特征是:

① 倾出的煤按照自然安息角堆积,并无分选现象。

② 倾出的孔洞呈孔大腔小,孔洞轴线沿着煤层倾斜或铅垂方

向发展。

③ 无明显动力效应。

④ 倾出常发生在煤质松软的急倾斜煤层中。

⑤ 巷道瓦斯(二氧化碳)涌出量明显增加。

(4) 岩石与瓦斯突出

岩石与瓦斯突出是由于在较高的地应力和外界动力的作用下,岩体瞬间被破坏并向巷道空间抛出,同时涌出大量的瓦斯(甲烷或二氧化碳)。

岩石与瓦斯突出的主要特点是:

① 岩石与瓦斯突出几乎都是爆破引起的,它与正常爆破崩落岩石的主要区别在于突出的岩石量比正常爆破时要多,抛出的距离也要远,视强度的大小,其抛出的距离可以从数米到数十米以上。

② 突出岩石一般为砂岩,有分选现象。

③ 突出时的瓦斯量较大,甚至出现瓦斯逆流现象。

④ 动力效应作用明显,破坏支架、推倒矿车、搬走巨石。

⑤ 突出后在岩体中形成极不规则的空洞,其位置多在巷道上方或上隅角。

1.4 煤与瓦斯突出危险性预测的必要性及分类

1.4.1 突出危险性预测的必要性

煤与瓦斯突出的发生具有突然性,防治它需要投入大量的人力、物力和财力。资料表明,突出矿井的建设要比非突出矿井增加 25%~30%,吨煤成本增加 1.5~2 倍,采煤效率要降低 25%~28%,工作面日产要减少 40%~60%,而采深每增加 100 m,由于瓦斯与地温等原因,煤炭成本要增加 5%~6%。因此,国内外的研究人员要设法研究突出前在煤体中各种突出要素的变化规律,

以便及时地发出突出预报,达到减少防突工作量、提高矿井效能、降低采煤成本的目的。因此,突出预测是防突的重要环节之一,其目的是确定突出危险区域和地点,为采取合理的防突措施提供科学依据。

1.4.2 突出预测分类

突出预测可分为区域突出危险性预测(简称“区域预测”)和工作面突出危险性预测(简称“工作面预测”)两类^[3]。

区域预测又称为长期预测,主要任务是确定矿井、煤层和煤层区域的突出危险性。区域预测应在地质勘探、新井建设、新水平和新采区开拓或准备时进行。

工作面预测又称为日常预测或点预测,包括石门和竖、斜井揭煤工作面,煤巷掘进工作面和采煤工作面的突出危险性预测,主要任务是预测工作面附近煤体的突出危险性,即该工作面继续向前推进时有无突出的危险。需要指出的是,若不加特别说明,本书中的研究对象主要针对工作面(日常)预测。

1.5 工作面煤与瓦斯突出预测的研究现状

在防治煤与瓦斯突出的研究中,人们一直在三个方面进行着不懈的努力,其一,研究煤与瓦斯突出的机理,掌握突出的发生发展规律;其二,对煤与瓦斯突出演化过程进行实验模拟研究;其三,研究煤矿现场适用的突出预测预警方法和突出防治技术。

1.5.1 突出机理研究现状

煤与瓦斯突出是一种由煤和瓦斯共同作用的复杂物理现象,近一个世纪以来,国内外专家学者对其发生机理进行了不断研究,并根据各自的研究成果提出了众多的突出机理假说,但到目前为止未达成一致。

关于煤与瓦斯突出机理的假说国外总体有四种:地应力主导

假说、瓦斯主导假说、化学本质假说和综合作用假说。其中前三种假说为单因素假说,提出也较早,从 20 世纪 80 年代开始,人们对突出机理的认识普遍由单因素逐渐向多因素转变,综合假说逐渐被人们广泛接受。

我国专家学者也在煤与瓦斯突出机理方面进行了深入的研究,从 20 世纪 60 年代起主要对煤与瓦斯突出“三因素”进行了系统研究,提供了新的观点和见解。近年来,随着研究手段的革新,产生了众多新观点,概括起来主要有以下几方面^[4]:

(1) 中心扩张假说,认为煤与瓦斯突出是由距离采掘工作面某一点开始的,随后向四周发展,突出发生中心处于应力集中状态,并且此处瓦斯压力、应力分布、煤的结构特征具有明显非均匀性,故透气性较低,低透气性又极易容易造成高的瓦斯压力梯度,突出发生的动力由煤岩和瓦斯共同提供。

(2) 流变假说,认为煤与瓦斯突出是在采动过程中地应力重新分布造成含瓦斯煤体裂隙和游离瓦斯相互作用的流变过程,在突出发生的准备阶段,煤体在地应力及高压瓦斯作用下发生蠕动变形,强度减小,并形成更加发育的裂隙网,当达到失稳临界状态后,瓦斯气体能量造成煤体大范围失稳破坏形成突出。流变假说对煤矿井下实际发生的延时突出给予了很好的理论解释。

(3) 二相流体假说,认为煤与瓦斯突出是煤粒、瓦斯二相气体流作用下冲破煤体而发生的物理现象。煤粒是在高地应力的作用下形成的,高瓦斯压力使煤粒能够克服自重悬浮于瓦斯气体中,从而形成二相流体,二相气体的形成和受压形成能量进一步积蓄,随着采掘卸压作用,积蓄的高能量冲破煤体从而发生煤与瓦斯突出。

(4) 固体耦合失稳假说,认为煤与瓦斯突出的原因是在采掘活动等作用下,煤体应力重新分布,局部含瓦斯煤体发生突然和快速破坏。

(5) 球壳失稳假说,认为煤和瓦斯突出过程的实质是地应力

破坏煤体,煤体释放瓦斯,瓦斯使煤体裂隙扩张并使形成的煤壳失稳破坏。煤体的破坏以球盖状煤壳的形成、扩展及失稳为主要特点,破坏的煤体抛向巷道后,煤体内部继续破坏。

综上所述,对煤与瓦斯突出产生和发展机理的研究成果,目前仍处于假说阶段,起始阶段主要以单因素假说为主,争论较大,随着研究的进一步深入,目前煤与瓦斯突出综合假说普遍得到了认可,认为突出是地应力、煤体和瓦斯共同作用的结果。但综合假说中针对多因素综合作用,各因素的贡献大小(即是否以一种或几种为主控因素)、突出发生和发展的机制问题仍未达成一致意见,这也是以后对煤与瓦斯突出机理进行研究的重要方向。

1.5.2 突出演化过程的模拟实验研究

(1) 瓦斯诱导突出的模拟实验研究

郑哲敏等^[5]进行了煤与瓦斯突出的一维试验,认为煤与瓦斯突出不限于一维,这种状态下的推进需要一个临界原始瓦斯压力和一个相对应的最大破碎厚度。颜爱华等^[6]进行只考虑瓦斯压力下不同煤体强度的含瓦斯煤的破坏模拟试验,验证了煤与瓦斯突出是瓦斯压力、地应力及煤岩体的力学性质综合作用的结果。魏建平等^[7]利用压差原理模拟了煤与瓦斯突出现象,认为相同瓦斯压力下近距离直角拐弯巷道产生的冲击波初始超压明显大于直线巷道,而直角拐弯巷道下,冲击波的衰减速度增加,幅度不大。

(2) 地应力诱导突出的突出模拟试验研究

地应力是控制煤与瓦斯突出的重要因素,地应力的增高和应力状态的突然变化都可能使煤体发生运动和突然破碎,从而导致煤与瓦斯突出。许江等^[8]模拟不同集中应力区应力水平条件下的型煤试件的煤与瓦斯突出,认为应力集中区应力水平的变化对煤与瓦斯突出有着重要的影响作用。孟祥跃等^[9]自行设计、加工了模拟煤与瓦斯突出的二维试验装置,同时采用了较先进的数据采集记录设备,进行模拟突出试验,发现煤样的破坏存在“开裂”和

“突出”两类典型现象,煤体的破坏区前沿压力突降,以拉伸的强间断形式从中心孔向外传播。

(3) 煤体物理力学性质影响下的突出模拟试验研究

J.Bodziony 等^[10]选用粒径小于 0.2 mm 的煤粉压制而成的型煤对突出发生的条件进行试验研究,得出结论:煤的粒度分布和煤的水分含量影响型煤的特性,煤的孔隙率增加会使煤的抗拉强度和抗压强度降低,型煤破坏速度与孔隙率之间存在明显的相关性。吴鑫等利用大型煤与瓦斯突出模拟试验台,选用不同粒级配比下的煤粒,在相同试验参数条件下制作成突出煤样,通过对比分析验证了煤体破碎程度与瓦斯突出危险性潜在的关系^[11]。

另外,尹光志等^[12]用粉和石膏混合材料模拟硬煤岩封闭突出口,进行在恒定垂直应力和水平应力情况下的石门揭煤过程中煤与瓦斯延期突出模拟实验。欧建春^[13]建立了一个模拟不同瓦斯压力、应力以及不同煤体条件下的煤与瓦斯突出实验系统,结合理论分析和数值模拟研究煤体、地应力和瓦斯压力对突出的影响规律。许江等^[14]使用自主研发的煤与瓦斯突出的模拟试验装置,开展了不同突出口径条件下煤与瓦斯突出模拟试验,认为突出口径和煤与瓦斯突出的发生、持续时间和强度都有很大关系。

1.5.3 传统突出危险性预测方法

工作面突出预测方法按照突出监测指标可分为:单指标法和综合指标法。起初多用单指标来预测工作面危险性,采用较多的指标有瓦斯压力(p)、钻孔瓦斯涌出初速度(q)、钻屑量(S)、瓦斯放散指数(ΔP)和煤体坚固性系数(f),采用的方法包括 R 指标法、煤层钻屑瓦斯解析指标法、钻孔瓦斯涌出初速度法等。之后是综合应力、瓦斯和煤的力学性质三要素的综合指标法,综合考虑在工作面前方各指标的分布状态及其与煤与瓦斯突出的关系,即各类工作面发生突出的临界条件。同时,根据突出预测的过程及其连续性,把日常工作面预测分成动态连续(非接触式)预测和静态