

豫西“三软”不稳定厚煤层 煤与瓦斯突出快速判识技术

YUXI SANRUAN BUWENDING HOUMEICENG
MEI YU WASI TUCHU KUAISU PANSHI JISHU

翟 华 张建甫 王恩营 编著

YUXI SANRUAN
BUWENDING HOUMEICENG
MEI YU WASI TUCHU
KUAISU PANSHI JISHU

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

豫西“三软”不稳定厚煤层 煤与瓦斯突出快速判识技术

翟 华 张建甫 王恩营 编著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

豫西“三软”不稳定厚煤层煤与瓦斯突出快速判识技术/翟华,张建甫,王恩营编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.1

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1264 - 1

I. ①豫… II. ①翟…②张…③王… III. ①厚煤层—煤突出—预防—河南省②厚煤层—瓦斯突出—预防—河南省 IV. ①TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 196148 号

书 名 豫西“三软”不稳定厚煤层煤与瓦斯突出快速判识技术
编 著 翟 华 张建甫 王恩营
责任编辑 潘俊成
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 787×1092 1/16 印张 14.25 彩插 12 字数 374 千字
版次印次 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 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)

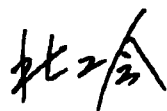
序

我国是世界上第一产煤大国,煤炭是我国的主要能源,支撑着国民经济的快速发展,是国家能源安全的基石。同时,我国也是世界上煤与瓦斯突出最严重的国家之一,随着矿井开采深度的不断增加和开采规模的加大,突出矿井数量也在增加,突出危险性越来越严重,威胁着煤矿安全以及高产、高效,已成为制约煤炭工业健康发展的最大障碍。因此,瓦斯防治关键技术研究迫在眉睫。

煤与瓦斯突出是地应力、瓦斯及煤的物理力学性质等因素综合作用而产生的一种极其复杂的动力现象,多年防治瓦斯的实践证明:准确快速地判识煤与瓦斯突出危险性是防治煤矿瓦斯灾害事故的关键环节和采取防突技术措施的重要依据,但由于我国煤矿地质条件极其复杂,并且突出机理的研究尚不透彻,很难准确判识煤层的突出危险性,也就给矿井采取针对性的防突措施带来了难度。

作者在煤与瓦斯突出理论指导的基础上,采用现场观测、实验室测试和理论分析、计算相结合的方法,系统、深入研究了豫西煤田瓦斯地质条件、煤与瓦斯突出机理、地质条件对煤与瓦斯突出机理的控制、煤与瓦斯突出区域预测指标和工作面预测指标,从而建立适用于豫西煤田“三软”不稳定煤层的突出危险性快速判识指标体系。该项研究取得了一系列结论,具有相当新颖性和创造性,提出了煤与瓦斯突出危险性预测新方法,为准确采取防突措施提供了依据。

该书的作者长期从事瓦斯灾害预测和防治的技术研究工作,具有丰富的现场实践经验和扎实的理论基础。该书的显著特点在于理论与生产实际紧密结合,可以更好地用于指导煤矿瓦斯灾害防治。该书的出版对于促进我国煤与瓦斯突出的理论研究、现场管理及煤矿安全生产有着重要的借鉴和指导意义。



2011年7月

前 言

煤与瓦斯突出是煤矿生产过程中遇到的一种极其复杂的瓦斯动力现象,它能在极短的时间内,由煤体向巷道或者采场空间抛出大量的煤炭,并喷出大量的瓦斯,不仅会造成人员伤亡,还会造成国家财产损失。因此,煤与瓦斯突出是严重威胁煤矿安全生产的重大自然灾害之一。

我国是世界上发生煤与瓦斯突出最严重、危害性最大的国家之一。我国煤矿每年以 10~20 m 的速度向深部延深,许多矿井开采深度达到 800~1 200 m,地应力及瓦斯压力不断增加,突出灾害日趋严重,现在全国共有 800 多对突出矿井(国有煤矿 255 对),每年由于突出死亡 300 人以上。目前为止,总突出次数达万次以上,最大突出强度为 12 780 t,最大突出瓦斯量为 350 万 m^3 。

近年来,随着矿井开采深度的增加和开采强度的增大,以郑州矿区为代表的豫西地区 and 全国其他严重瓦斯灾害矿区一样,煤与瓦斯突出等动力灾害越来越严重,已成为制约煤矿安全高效生产的主要隐患之一。

多年来,国内外科研、生产单位在煤与瓦斯突出预测及防突技术措施等方面开展了大量研究工作。经过长期的研究与实践,初步形成了以合理采掘部署与开采工艺为基础,区域性、局部性两级“四位一体”的综合防突技术体系,在一定程度上有效地遏制了突出事故的发生。但由于我国突出的严重性和复杂性,在防突技术上还存在不少薄弱环节和技术难题,如低指标突出、打钻诱导突出、延期突出、误穿突出煤层、集约化开采矿井的防突、防突钻孔施工困难、突出危险性预测预报及预警、防突措施合理选择等等。因此,突出的防治还是一项复杂而艰巨的系统工程,突出矿井必须建立“系统配套,技术集成,综合治理”的防突体系,其中,快速判断煤层的突出危险性,对局部有突出危险的煤层强化防突措施,以及解放无突出危险煤层是矿井综合防突体系中至关重要的环节。

豫西煤田二₁煤为全层构造煤,煤厚变化大,瓦斯含量分布极不均匀,全区滑动构造普遍发育;煤的坚固性系数 f 值一般小于 0.2,瓦斯放散初速度 Δp 一般在 15~20 之间,是我国华北、东北、西北同一煤层唯一高类别构造煤全层分布区,属典型的“三软”不稳定煤层。大量研究表明,突出危险区实际发生突出的面积一般不到 15%,对于豫西“三软”不稳定煤层来说,由于煤厚对瓦斯含量影响较大,因此,突出危险区中的薄煤区通常没有突出危险性,防突措施的重点可放到厚煤区,否则就会造成浪费;现有的突出危险性预测技术测定时间均较长,对煤矿的连续生产影响较大,如果能够实现现场快速判断防突措施效果和煤层的突出危险性,对煤矿生产必定起到极大的促进作用。本书以豫西二₁煤层瓦斯地质条件为基础,以《防治煤与瓦斯突出规定》(2009)为依据,以煤与瓦斯突出理论为指导,采用现场观测、实验室测试和理论分析、计算相结合的方法,系统、深入地研究了豫西煤田瓦斯地质条件、煤与瓦斯突出机理、地质条件对煤与瓦斯突出机理的控制、煤与瓦斯突出区域预测指标和工作面预测指标,从而建立适用于豫西煤田“三软”不稳定煤层突出危险性快速判识指标体系,为保

证矿井正常的“抽、掘、采”平衡提供技术支撑。

全书共分十章,具体章节分工:前言、第六章、第七章由郑州煤炭工业(集团)有限责任公司翟华编著;第三章、第四章及第五章由郑州煤炭工业(集团)有限责任公司张建甫编著;第一章、第二章、第八章、第九章、第十章由河南理工大学王恩营编著。全书由王恩营统一审核定稿。

本书的出版将使我国煤矿煤与瓦斯突出的判识技术提高到一个新的理论水平,有利于促进煤矿安全状况的改善。在本书的编写过程中,得到了郑煤集团总工程师宋建成、副总工程师张长海等同志的指导和帮助,在此一并向他们致以最诚挚的感谢!

受作者水平所限,书中难免有错误和不足之处,敬请批评指正。

编 者

二〇一一年七月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究背景	1
第二节 国内外研究现状	2
第三节 研究目标及内容	12
第四节 研究方法与技术路线	13
第二章 瓦斯的形成及赋存状态	14
第一节 瓦斯的性质及其形成	14
第二节 瓦斯的赋存状态	17
第三节 瓦斯的吸附与解吸	19
第三章 豫西瓦斯地质条件分析	24
第一节 地层	24
第二节 构造	26
第三节 煤层厚度及变化	35
第四节 构造煤	42
第五节 水文地质条件	45
第四章 煤与瓦斯突出规律	47
第一节 煤与瓦斯突出分类与特征	47
第二节 煤与瓦斯突出的一般规律	48
第三节 豫西煤与瓦斯突出规律	52
第五章 煤与瓦斯突出机理	63
第一节 煤与瓦斯突出机理研究阶段	63
第二节 “能量”假说和“应力分布不均匀”假说	67
第三节 煤与瓦斯突出的发展过程	72
第四节 瓦斯含量对煤与瓦斯突出的控制	73
第五节 地应力及其对煤与瓦斯突出的控制	76
第六节 构造煤及其对煤与瓦斯突出的控制	77
第六章 地质因素对煤与瓦斯突出的控制	99
第一节 埋深对煤与瓦斯突出的控制	99

第二节	构造对煤与瓦斯突出的控制·····	107
第三节	煤厚对煤与瓦斯突出的控制·····	129
第四节	围岩对煤与瓦斯突出的控制·····	138
第五节	煤质对煤与瓦斯突出的控制·····	147
第六节	水文地质条件对煤与瓦斯突出的控制·····	148
第七节	岩浆岩对煤与瓦斯突出的控制·····	149
第八节	地质条件对煤与瓦斯突出的综合控制·····	149
第七章	煤与瓦斯突出区域预测快速判识技术·····	153
第一节	煤与瓦斯突出区域预测的依据·····	153
第二节	矿井突出区域预测判识指标及临界值·····	155
第三节	采区突出区域预测判识指标及临界值·····	160
第四节	工作面突出区域预测快速判识指标及临界值·····	160
第五节	区域措施效果检验快速判识指标及临界值·····	168
第六节	区域验证快速判识指标及临界值·····	168
第八章	工作面突出预测快速判识指标分析·····	170
第一节	工作面突出预测的依据·····	170
第二节	工作面预测敏感指标分析·····	171
第三节	辅助指标·····	177
第四节	工作面校检指标·····	180
第九章	工作面煤与瓦斯突出预测指标临界值的确定·····	181
第一节	钻孔瓦斯涌出初速度(q 值)临界值的确定·····	181
第二节	钻屑解吸指标(Δh_2 或 K_1)临界值的确定·····	190
第三节	辅助指标临界值的确定·····	194
第十章	豫西防治煤与瓦斯突出措施·····	199
第一节	煤与瓦斯突出治理方案的选择·····	199
第二节	区域防突措施·····	200
第三节	局部防突措施·····	204
参考文献 ·····		208

第一章 绪 论

第一节 研究背景

本书是依据《防治煤与瓦斯突出规定》(2009)和豫西煤田瓦斯地质特点编写的,研究的目的是通过现场预测指标测试,快速判断煤层的突出危险性,对局部有突出危险的煤层,强化防突措施,解放无突出危险的煤层,把矿井有限的人、财、物用在实际最需要的地方,解决长期以来因煤矿防突工作而产生的“抽、掘、采”接替紧张等制约煤矿生产发展的瓶颈。

豫西煤田主采二₁煤层,其典型的瓦斯地质特点是:

① 二₁煤为全层构造煤,煤的坚固性系数 f 值一般小于0.2,瓦斯放散初速度 Δp 一般在15~20之间,是我国华北、东北、西北同一煤层中唯一高类别构造煤全层分布区。

② 煤层平均厚度为5~8 m,但煤厚变化大,似鸡窝状,常常在短距离内变厚或变薄,如白坪矿钻孔揭露煤厚平均变化率为0.37 m/10 m,生产揭露则达到1.1 m/10 m。厚煤区瓦斯含量一般比较高,薄煤区则比较低,致使瓦斯含量分布极不均匀。

③ 煤层直接顶板一般为大占砂岩,少数情况下有伪顶或1~2 m厚的泥岩;煤层底板一般为4 m厚的泥岩,有时相变为砂质泥岩或粉砂岩。顶板产状相对稳定,底板起伏比较明显,并常常在向斜处形成厚煤区。

④ 重力滑动构造普遍发育,已查明大小29个滑动构造区,滑动面一般在煤层顶板附近或沿煤层顶板滑动,不仅使煤厚发生巨大变化,甚至铲蚀煤层,而且还形成构造顶板和局部构造应力集中等。

根据《防治煤与瓦斯突出规定》第四十五条,区域预测突出危险区在进行采掘前要采取区域防突措施,包括开采保护层和预抽煤层瓦斯两类。大量研究表明,突出危险区实际发生突出的面积一般不到15%,对于豫西“三软”不稳定煤层来说,由于煤厚对瓦斯含量影响较大,因此,突出危险区中的薄煤区常没有突出危险性,防突措施的重点可放到厚煤区。

根据《防治煤与瓦斯突出规定》第五十条:预抽煤层瓦斯钻孔应当在整个预抽区域内均匀布置,钻孔间距应当根据实际考察的煤层有效抽放半径确定。该规定对于瓦斯含量变化均匀的煤层是适应的,但对豫西瓦斯含量变化极不均匀、煤厚变化大的特殊条件不适应,机械地执行《防治煤与瓦斯突出规定》必然造成极大的浪费。根据预抽钻孔揭露的煤厚和实测的含量等方法,现场快速判断预抽区域的突出危险性可以达到事半功倍的效果。

突出危险区采取区域防突措施之后还要进行效果检验,依据《防治煤与瓦斯突出规定》第五十一条、第五十二条、第五十三条,可以采用残余瓦斯压力或残余瓦斯含量的方法进行,但其测定时间均较长,对煤矿的连续生产影响较大,如果能够实现现场快速判断防突措施效果和煤层的突出危险性,对煤矿生产必定起到极大的促进作用。

依据《防治煤与瓦斯突出规定》第五十七条、第五十八条,工作面采掘生产中,每推进10

~50 m 至少进行两次区域验证……只要有一次区域验证为有突出危险或超前钻孔等发生了突出预兆,则该区域以后的采掘作业均应当执行局部综合防突措施。

《防治煤与瓦斯突出规定》第八十一条、第八十七条、第八十九条等规定了局部防突措施的具体种类和要求,特别指出,有突出危险的煤巷掘进工作面应当优先选用超前钻孔(包括超前预抽钻孔、超前排放钻孔)防突措施。由于采用敏感指标预测的偶然性,结合辅助指标现场快速判断煤层的突出危险性,能够在一定程度上减少措施孔的施工,提高掘进速度,保证煤矿的正常采掘接替。

上述分析表明,突出煤层通过采取区域防突措施、区域措施效果检验和局部防突措施三个环节,结合辅助指标现场快速判断煤层的突出危险性,对于减少不必要的防突工程、降低生产成本、保证煤矿正常生产的“抽、掘、采”平衡具有重要的实际意义。

第二节 国内外研究现状

一、煤与瓦斯突出区域预测研究现状

煤与瓦斯突出预测的基础是人们对突出过程及影响因素的认识。在对煤与瓦斯突出进行研究的一个多世纪中,各国的研究者经过不懈的努力,提出了各种不同的预测方法,包括单项指标法、综合指标法、瓦斯地质统计法、瓦斯地质单元法、地质动力区划方法等。

(一) 单项指标法

单项指标法是预测煤层是否具有突出危险性的一种方法。预测的基础是含瓦斯煤体性质及其赋存条件的某些量化指标,包括瓦斯指标、煤层性质指标、地应力指标和综合指标;预测的结果是将含瓦斯煤层划分为有突出危险煤层和无突出危险煤层。Paul(1980)、Noack(1983)和王佑安(1984)等学者研究了瓦斯含量指标,提出了不同的瓦斯突出临界值;于不凡(1985)和俞启香(1987)详细地讨论了瓦斯压力指标,但认为瓦斯压力不能单独用作突出预测指标;前苏联科学院地质所于1958年提出了煤体结构指标,把煤分成5种破坏类型,认为Ⅳ、Ⅴ两类煤具有突出危险性;中国矿业学院瓦斯组(1979)把煤体结构划分为3种破坏类型,其中丙类煤为突出危险煤;焦作矿业学院瓦斯地质研究室(1991)根据煤的宏观特征,以构造煤类型为基础,以突出的难易程度为依据,把煤体结构分为4种类型,其中Ⅲ、Ⅳ两类煤为突出危险煤等^[1]。目前,我国煤层的突出危险性预测指标为煤的破坏类型、瓦斯放散初速度、煤的坚固性系数和煤层瓦斯压力,各种指标的突出危险临界值应根据实测资料来定,无实测资料可参考表1-1所列数据,只有全部指标均达到或者超过表1-1所列的临界值的,确定为突出煤层。

表 1-1 预测突出危险性单项指标

煤层突出危险性	破坏类型	瓦斯放散初速度 Δp	坚固性系数 f	瓦斯压力(相对压力) P/MPa
突出危险	Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ	≥ 10	≤ 0.5	≥ 0.74

在波兰的下西里西亚和上西里西亚(雷布尼克区)盆地的矿井内,定期测量残余瓦斯压

力作为突出预测指标。按照波兰的标准,当残余二氧化碳压力达到 0.03 MPa、残余甲烷压力达到 0.03 MPa 时,该煤层属于有突出威胁性煤层;原捷克斯洛伐克、罗马尼亚、英国、比利时和澳大利亚,都采用在工作面前方钻眼中测量绝对瓦斯压力,以及煤的瓦斯解吸指标预测煤层的突出危险性;法国采用阿普蒂测量仪进行突出预测;德国主要通过地质钻孔取煤样测定煤层的可解吸瓦斯含量,通过可解吸瓦斯含量指标进行地勘时期煤层突出危险性预测。

前苏联以挥发分 V_{daf} 和电阻率对数 $\log \rho$ 表示煤的变质程度,预测煤层的突出危险性。根据顿巴斯煤田 1970~1978 年期间的开采实践,煤层的突出危险程度与其挥发分是密切相关的:当烟煤的挥发分 $V_{daf} > 35\%$ 和无烟煤的比电阻率对数值 $\log \rho < 3.3$ 时,无突出危险;当挥发分 $V_{daf} = 18\% \sim 22\%$ 时,突出危险程度最高。突出危险性之所以呈这种分布形式,取决于煤变质过程中煤的分子结构及一系列物性的重大变化。

瓦斯放散初速度 Δp 是煤的重要的气动力学特征之一,它表征“煤—气”平衡状态开始破坏时煤解吸或吸附瓦斯作用的动力学特征,能较好地反映煤层的突出危险性,这一指标在世界很多国家都得到了应用。

(二) 综合指标 D 与 K 法

抚顺分院、北票矿务局与红卫矿提出用综合指标 D 与 K 来预测煤层的突出危险性^[2],并被列入我国的《防治煤与瓦斯突出细则》(1995),目前,该方法被用作石门揭煤工作面的突出预测综合指标。

(三) 地质统计法

该法的实质是根据已开采区域突出点分布与地质构造(包括褶皱、断层、煤层赋存条件变化、火成岩侵入等)的关系,然后结合未采区域的地质构造条件来大致预测突出可能发生的范围。不同矿区控制突出的地质构造因素不同,某些矿区的突出主要受断层控制,另一些矿区则主要受褶皱或煤厚变化控制,因此,各矿区可根据已采区域主要控制突出的地质构造因素,来预测未采区域的突出危险性。

(四) 瓦斯地质单元法

原焦作矿业学院著名安全生产专家杨力生教授 1948 年从美国回国后,发现治理瓦斯必须走瓦斯地质研究的道路。1964 年,他在焦作矿务局焦西矿跟踪观察掘进工作面瓦斯变化规律时,发现瓦斯突出与断层有密切关系,70 年代他就提出了瓦斯地质编图的想法。1963 年,周世宁提出了影响煤层瓦斯含量的 8 项主要因素,其中主要为地质因素。自 1977 年以来,焦作矿业学院瓦斯地质研究室彭立世、袁崇孚等一直用瓦斯地质的观点来研究煤与瓦斯突出,并提出了瓦斯地质单元法。通过对湘、赣、豫三省 12 个矿区 61 对突出矿井进行研究,提出了瓦斯地质区划理论^[3],认为突出的分布是不均衡的,具有分区分带的特点;瓦斯突出的分区分带与地质条件有密切的关系。地质因素的分区分带控制突出的分区分带;进而通过地质因素的区域划分来预测突出区带。彭立世等(1987)在瓦斯地质区划的基础上又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。

(五) 无线电波透视探测技术

无线电波透视探测技术在国内外都进行了较为广泛的研究及推广应用^[4-6]。前苏联早在 1923 年就开始这方面的研究工作,20 世纪 70 年代中期,在东顿涅茨无烟煤矿区进行了

系统试验^[7]。煤炭科学研究总院重庆分院等单位在 1976 年研制成功我国第一台无线电波坑道透视仪。随后,煤炭科学研究总院重庆分院(1984)、河北煤炭科学研究所相继对仪器进行换代改造,推出了第三、第四代产品,并在全中国范围内煤矿井下探测陷落柱、断层及其他地质构造等,同时,针对实际应用中的具体问题,也进行了大量的基础性研究,取得了丰硕的成果^[8]。该技术的应用为采煤工作面的高产高效提供了地质保障,即预先探明采煤工作面内地质构造,以保证采煤的顺利进行^[9]。该技术在韩城、南桐、阳泉、平顶山等矿务局应用中多次发现无线电波透视圈定的断层、褶皱、产状变化、力学性质变化等地质异常带,往往就是煤与瓦斯突出多发地带^[10]。研究认为,具有不同结构和含气条件的构造煤体和非构造煤体具有明显不同的电性特征,构造煤体中存在各种规则和不规则的界面对无线电波传播产生影响,可以通过无线电波透视探测出采煤工作面内存在的地质构造破碎带来达到预测煤与瓦斯突出危险区域的目的^[11-13]。

(六) 现代数学方法

主要是对突出危险性预测指标利用数学的一些方法进行处理而得出一些判断结论。如赵耀江、李万武、王家立等基于神经网络建立煤与瓦斯突出预测数学模型,将以模拟人脑信息处理机制为基础的非线性动力学系统方法应用于煤与瓦斯突出区域预测,得出了突出规模与瓦斯压力、垂深、放散速度、地质构造、煤的坚固性系数的关系,预测大、中、小规模突出^[14-17];焦作矿业学院王运泉提出积分法,将瓦斯涌出量、瓦斯含量、瓦斯压力、瓦斯放散初速度、煤的坚固性系数等多种指标,根据数值大小分为四个等级,每个等级有不同的积分,将各种指标的积分相加,利用其总积分将煤层分为非突出、突出危险性小、突出、严重突出四个等级^[18];刘建平采用灰色理论,用灰色聚类法对掘进工作面和采区的突出危险性进行分析,使其与实际所测的突出危险参数相符^[19];冯小平对各种瓦斯突出指标进行灰色优选,用灰色系数对突出危险性进行评分,将突出规模分为无突出、小型突出、中型突出、次大型突出、大型突出、特大型突出^[20];吴斌等应用模糊数学方法对煤层进行区域预测,将煤层局部地区分为非突出、一般突出危险、严重突出危险^[21];孟贤正用综合指标记分法预测急倾斜煤层上山掘进的突出危险性,将其突出危险性分为突出可能性极小、一般突出危险、严重突出危险^[22]。近来在突出危险性的预测上,较多地采用模糊数学方法,如重庆大学的冯涛等人将模糊数学的方法应用于煤与瓦斯突出预测,对煤与瓦斯突出进行三级模糊综合评判,将工作面前方的危险程度分为安全区、威胁区、危险区三个等级^[23];吴斌用模糊数学方法,对大同一矿的各区域突出危险指标进行分析,使之与实际揭露过程中的突出危险状况相符^[24];吴海清通过对丰城尚庄矿 32 起煤与瓦斯突出事例进行统计分析,借助于模糊数学有关隶属度的知识,对该矿煤与瓦斯突出做出早期预测预报^[25];张宏伟、李胜基于模式识别对潘一矿 13-1 煤层煤与瓦斯突出的区域进行预测,得到的突出危险区与实际发生的突出点分布范围相吻合^[26]。陈祖云、师旭超等为准确预测矿井煤与瓦斯突出的危险性,针对煤与瓦斯突出样本的不足从一定程度上制约了基于知识的方法在煤与瓦斯突出预测中的应用这一问题,利用支持向量机在小样本情况下具有较强识别能力的特点,提出了煤与瓦斯突出的支持向量机预测方法^[27-28]。王超等将距离判别分析法应用在煤与瓦斯突出预测中,建立煤与瓦斯突出预测的距离判别分析模型^[29]。

(七) 地质动力区划方法

20 世纪 80 年代,前苏联国立莫斯科矿业大学地球动力研究中心 И. М. 巴杜金娜教授、

И. М. 佩图霍夫教授创立了地质动力区划方法,它是以板块学说为基础,根据地形地貌的基本形态和主要特征取决于地质构造形式的原理,通过对地形地貌的分析,查明区域断裂的形成与发展,预测可能产生的地质动力效应。在前苏联的库兹巴斯、瓦尔库达、顿巴斯、卡拉干达矿区,在戈尔多里、北乌拉尔、那里里斯克金属矿区均开展过地质动力区划工作,同时为圣彼得堡—莫斯科—革米洛洼铁路及乌林戈—萨拉多夫石油管线及乌鲁木齐系金油田开展地质动力区划研究^[30]。

辽宁工程技术大学张宏伟、段克信教授等将地质动力区划方法应用于岩体应力状态研究与矿井动力现象区域预测^[31-35]。1990~1993年,与俄罗斯国家地质力学与矿山测量研究院合作,在北票矿区开展了用地质动力区划方法对煤与瓦斯突出的预测预防研究。在“九五”国家重点科技攻关项目“煤层区域突出三因素分布规律及区域突出危险性预测方法研究”中^[36],应用矿井动力现象统一预测理论和方法进行煤与瓦斯突出区域预测,用地质动力区划方法确定平顶山矿区的地质构造模型,进而对区域岩体应力状态做出预测。在“十五”国家重点科技攻关项目“煤与瓦斯突出区域预测的地质动力区划和可视化技术”中^[37],对淮南矿业集团潘一矿、谢一矿进行了地质动力区划研究,在查清各级活动断裂、划分断块和评估其相互作用的基础上,确定了矿区现今构造运动的地质构造格架,评估了构造应力场、断裂活动性和煤与瓦斯突出显现趋势,在国内外首次应用多因素模式识别概率预测方法,完成了煤与瓦斯突出危险性的区域预测工作,开辟了煤与瓦斯突出区域预测新的研究方向。

综上所述,煤与瓦斯突出预测、预报的研究不仅有理论上的价值,而且有重大的生产实际意义。近年来,主要产煤国家都投入了大量的人力、物力和财力对煤层突出危险性以及在井田和采区范围内突出危险带预测的有效方法进行了广泛而深入的研究^[38],研究工作特别重视能够及时预报危险性的一系列煤层突出危险性参数连续监测方法的发展和改进,取得了丰硕的成果,并广泛应用于矿井生产实践,取得了良好的经济效益和社会效益。不过,准确的预测、预报方法应建立在对突出机制充分认识的基础上,由于目前对突出机理的认识较少,从而对可靠预测、预报方法的建立带来困难。因此,深入研究煤与瓦斯突出预测和防治技术、实现定性研究向定量研究转变势在必行^[39]。

综合现有的各种预测、预报突出的方法,尚存在如下主要问题:

① 从突出机理上,尽管目前尚无法准确地确定,但突出是地应力、瓦斯和煤的力学性质三种因素共同作用的结果,在煤矿安全领域已经达成共识,突出预测基本上是围绕以上三种因素来进行,但突出预测的准确率依然很低,是否有其他外因对突出产生重要影响。

② 所有的突出预测、预报方法均系建立在经验的基础上,且多为单指标的,即根据统计分析有突出危险性和无突出危险性的煤、煤层和煤田等在某些方面的差异,提出区分或评价突出危险性的指标,其可靠性取决于统计资料的广泛性及其范围,因而对不同地质条件及不同开采工艺条件的矿山难以普遍适用。在突出预测指标选择、预测指标敏感性、指标的临界值确定上目前只是根据现场实测的经验,经常造成较大的误差。使得一些矿区在突出预测中指标长期超限,反复地进行防突措施和效果检验,致使采掘速度非常缓慢,严重地影响生产。

③ 目前有很多突出危险预测方法,如强度预测、分级预测等,在实际中应用得很少,主要原因是这些方法只是针对预测数据进行处理,缺乏实验和理论依据,更没有针对不同的分类结果采取不同的防突程序,没有与“四位一体”的综合防突措施结合起来。

二、工作面突出预测研究现状

自 20 世纪 50 年代开始,人们就从煤的物理力学性质和渗透性能、瓦斯动力状态、岩相特征等几个方面,研究了突出煤和非突出煤的差异,并先后提出了瓦斯压力、瓦斯放散初速度、钻孔瓦斯涌出量、钻孔瓦斯涌出初速度、煤的坚固性系数、钻粉量等 70 多项用于工作面预测的指标^[40]。如德国对煤与瓦斯突出的危险性预测采取了先确定瓦斯突出的嫌疑和瓦斯突出危险性,再对确定有突出嫌疑的煤层采用预测指标,如可解吸瓦斯含量、特殊的地应力、 V_{30} 特征值、 ΔP_{60} 、解吸指标 K_1 等开展下一步预测;英国采用了瓦斯指数 R (同一地点密闭煤样的瓦斯解吸量和非密闭煤样瓦斯涌出量之比)作为突出危险性预测指标;日本采用钻孔中的自喷瓦斯压力和自喷瓦斯含量作为突出危险性预测指标进行预测;波兰判别突出危险的参数是钻屑瓦斯解吸强度、钻孔瓦斯压力、钻孔瓦斯涌出强度、钻粉量和煤的坚固性系数;前苏联根据预测的范围将预测分为区域的、局部的和现场的三类,采掘过程中预测工作面突出危险性指标采用钻孔瓦斯涌出初速度;原捷克斯洛伐克采用煤层瓦斯压力和瓦斯放散初速度作为预测指标等。

我国于 70 年代后期在借鉴国外突出预测成果的基础上,根据煤与瓦斯突出假说,对突出预测敏感指标进行研究,提出了适合我国突出矿井开采技术条件和突出煤层地质条件的突出预测指标,主要包括钻屑量法、钻屑瓦斯解吸量和解吸特征指标法、钻孔瓦斯涌出初速度法及钻屑瓦斯解吸指标法、综合指标 R ;以及焦作矿务局煤研所在九里山矿提出的预测煤与瓦斯突出的综合指标 B_1 和 B_2 ,抚顺煤科院和北票矿务局提出的预测煤与瓦斯突出的综合瓦斯解吸指标 G 和综合指标 F ,重庆煤科院提出的预测突出的综合指标 S_1R 、 S_2R 、 S_3R 和 R_m ,涟邵矿也提出了综合指标 R_m 等^[41]。

近年来,随着科学技术的飞速发展以及新技术的运用,越来越多的人在研究基于连续动态非接触预测煤与瓦斯突出的方法,已经逐渐研究出了一些新的突出预测方法^[42],如声发射预测法、电磁辐射预测法、瓦斯涌出动态监测预测法、温度指标法、惰性气体含量预测法等。但就目前而言,工作面突出危险性预测应用较为成熟的依然是不连续静态接触式的预测方法。

(一) 静态预测法

静态预测法是根据含瓦斯煤体性质及其赋存条件的某些量化指标来判断前方煤层的突出危险性。目前我国采用的指标主要是钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值或 Δh_2 、钻孔瓦斯涌出初速度 q 、钻屑量 S 等。这些指标反映了煤层瓦斯含量、瓦斯压力、煤体性质、地应力等因素,预测则是考察其中的单个或同时考虑多个指标是否超过临界值^[43]。

1. 钻屑量指标 S

从理论上讲,钻屑量反映了煤的强度、煤体承受的地应力和煤中瓦斯压力的综合作用,这三个因素在打钻时以煤体转移、挤出、摩擦、破碎等方式释放潜能,并通过钻屑增量的形式表现出来^[44]。按照《防治煤与瓦斯突出规定》,采用钻屑指标法预测煤巷掘进工作面突出危险性时,应在煤巷掘进工作面打 2 个(倾斜和急倾斜煤层)或 3 个(缓倾斜煤层) $\phi 42$ mm,孔深 8~10 m 的预测钻孔。钻孔应尽可能布置在软分层中,一个钻孔位于掘进巷道断面中部,并平行于巷道掘进方向,其他钻孔终孔应位于巷道断面两侧轮廓线外 2~4 m 处,钻孔每钻进 1 m,测量一次钻屑量 S ,根据每个钻孔沿孔长的最大钻屑量 $S_{\max}$ 来预测工作面的突

出危险性。

钻屑量指标 $S_{\max}$ 是地应力判断指标,从理论上分析,当煤层的力学性质一定时,钻孔四周的变形量大小与煤层的受力情况在一定范围内存在着正变关系,且煤质越软,其钻孔的变形量越大,钻屑量的变化幅度也越明显^[45]。

在相同的煤层和打钻技术条件下,煤层瓦斯压力越大,受到的地应力越大,煤的强度越小,在钻孔形成过程中所产生的钻屑量也就越大,从而间接反映了煤层的突出危险性。在现场应用中,发现钻屑量指标 S 受地应力和煤体硬度影响较大,是对地应力较敏感的指标^[46]。

按照《防治煤与瓦斯突出规定》,在用 $\phi 42$ mm 钻取煤样时,每钻 1 m 收集全部钻屑,用弹簧秤称重即重量法,或用量具测量钻屑体积即容重法。取测量中最大值即最大钻屑量 $S_{\max}$ 作为突出预测测值,当 $S_{\max}$ 大于等于 6 kg/m 时认为有突出危险性,否则无突出危险性。煤炭科学研究总院抚顺研究院提出了钻屑倍率即按排出的钻屑体积与钻孔空间之比计算,在 80 年代通过对北票局、红卫煤矿钻屑量的测定,得出 $\phi 42$ mm 钻孔时,钻屑倍率 $\eta \geq 4$,有突出危险性^[47];重庆院则是按排出的钻屑体积与正常钻屑体积之比来计算^[48,49],正常钻屑体积约为按钻头直径得出的钻孔体积的 1.3 倍,认为钻粉倍率为 3 倍时,易出现倾出、压出。

世界上其他国家通过对突出煤层和非突出煤层钻屑量的大量实际考察,得出了不同钻屑量预测煤层突出危险性的临界值。联邦德国研究人员认为,在以下钻孔直径下打钻,煤层有突出危险性的临界值为:钻孔 $\phi 50$ mm 时为 8 L/m, $\phi 90$ mm 时为 50 L/m, $\phi 140$ mm 时为 90 L/m;日本采用 $\phi 42$ mm 钻孔时,钻屑量大于 6 L/m 有突出危险性;法国认为钻粉量为正常钻粉量 8 倍时,煤层具有突出危险性。

影响钻屑量测量准确性的因素主要有:煤电钻排粉不畅、钻杆之间连接的紧密性和同心性、钻进速度、操作人员的操作水平、钻屑量收集不全、钻孔钻进与钻屑的收集不同步等,均可造成钻屑量测定不准。

2. 钻孔瓦斯涌出初速度法 q

钻孔瓦斯涌出初速度是一种反映煤层的渗透性、强度等煤的物理力学性质、地应力和煤层瓦斯含量与压力大小的综合指标^[50]。钻孔瓦斯涌出初速度指标也是煤与瓦斯突出危险性预测指标中应用比较广泛且可靠性较高的指标。由前苏联马凯耶夫煤矿安全研究所提出,已被列入前苏联的《有煤、岩石和瓦斯突出倾向煤层安全采掘工程》,是前苏联运用最为广泛的方法。前苏联在 20 世纪 70 年代通过大量的掘进工作面和回采工作面的预测表明: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,准确率高达 98%。

据马凯耶夫研究所的研究,钻孔瓦斯涌出初速度 q 值是一个随时间变化的量,瓦斯涌出初速度曲线 $q=f(t)$ 具有某个最大值(图 1-1),一般情况下,极大值位于开始测量后的 0.5~5 min 内,也就是从打钻结束时刻 t_0 到开始测量时刻 t_H 的时间间隔通常不超过 3 min,其中钻孔瓦斯涌出速度在初期增加的原因是游离态瓦斯不断充填测量室,测量室内残余压力增加,因此,钻孔瓦斯涌出初速度测定全过程要求在成孔后 2 min 内完成。

在我国,焦作工学院和丰城矿务局 1984 年使用该方法进行突出危险性预测,随后,煤炭科学研究总院抚顺研究院、重庆研究院和中国矿业大学对其进行了理论分析和探讨,被认为是一个非常具有前途的预测指标,目前已被列入我国《防治煤与瓦斯突出规定》,且得到了广泛的使用。

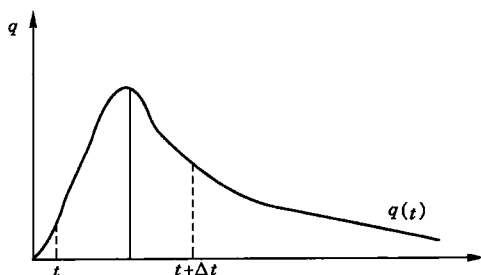


图 1-1 瓦斯涌出初速度标准曲线

通过对大量预测数据的实践分析与理论分析,用钻孔瓦斯涌出初速度预测煤与瓦斯突出时,在打钻完成后立即测定时最大,而且其值会随着时间很快衰减,尤其对于透气性很差的煤层更为明显。通过分析钻孔瓦斯涌出初速度的影响因素及其与工作面前方应力分布状态的关系得出^[51],测试深度必须穿过工作面前方的煤层卸压带,进入到应力集中带的塑性极限应力区。通过对平顶山八矿、芙蓉矿务局白皎矿、焦作九里山矿、六枝四角田矿采掘工作面瓦斯涌出初速度考察测定发现,工作面煤体内一般在 4~8 m 时 q 值出现峰值,打钻时往往在这个区段发生喷孔、卡钻等现象,因此认为,瓦斯涌出初速度的钻孔深度应该达到 6~10 m。焦作工学院在英岗岭建山煤矿测定时发现, q 值在 0~2 min 之间呈直线下降趋势,在 6 min 后平稳略有波动^[52]。因此,采用钻孔瓦斯涌出初速度法时要在钻孔成形后立即测定。

3. 钻屑瓦斯解吸指标法(K_1 、 Δh_2)

钻屑瓦斯解吸量或钻屑瓦斯解吸特征指标法所测得的指标均能正确反映煤层的破坏程度与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^[53]。

应用钻屑瓦斯解吸量对煤与瓦斯突出进行预测,无论是在国外还是国内都有着广泛的应用。联邦德国的雅纳斯等提出的预测突出指标 K_1 反映了钻屑瓦斯解吸速度随时间衰减的快慢程度。法国通过直接测定煤层可解吸瓦斯含量方法导出 V_1 值,即 10 g 煤屑在暴露后第 35 s 和第 70 s 的瓦斯解吸量,并以 V_1 大小预测突出危险性^[54]。澳大利亚等一些国家则直接把煤样解吸强度和解吸量作为突出预测指标。德国学者 H. Janace 等人提出了煤样的解吸瓦斯量与解吸时间的关系,可以用指数函数形式表示,并且把解吸衰减系数作为突出预测指标。

钻屑瓦斯解吸指标 K_1 、 Δh_2 是我国提出用于预测煤与瓦斯突出的不同解吸指标,特别是钻屑解吸指标 K_1 和 Δh_2 值写入了《防治煤与瓦斯突出规定》中。 K_1 和 Δh_2 值分别由我国煤炭科学研究总院重庆研究院和抚顺研究院提出,其中 K_1 值由重庆研究院于 1984 年提出,研制了用于测定 K_1 值的 CMJ—1 型瓦斯解吸仪,后来在 CMJ—1 型基础上又成功研制了 ATY 型瓦斯突出预报仪; Δh_2 指标是 1979 年由抚顺研究院与北票矿务局、红卫煤矿提出的,并研制了 MD—1 型煤钻屑瓦斯解吸仪,用钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 和衰减系数来预测工作面突出危险性,在 MD—1 型的基础上,抚顺研究院又研制了 MD—2 型瓦斯解吸仪^[54]。20 世纪 90 年代后期,煤科总院重庆研究院又开发出了新一代主要用于测定钻屑瓦斯解吸指标的 WTC 突出参数仪^[55],抚顺研究院也研制出了 MJL—1 型试验用的钻屑解吸指标测定仪^[56]。湖南省煤研所、焦作矿务局科研所等单位也相应研制了不同形式的瓦斯

解吸仪。

4. R 值指标法

在煤与瓦斯突出过程中,地应力、瓦斯和煤的物理力学性质的综合作用是发生突出的条件,在预测煤与瓦斯突出方法中,大部分仅能反映突出发生因素中的一部分。为了克服单项指标的局限性和片面性,可以多考虑一些影响因素,提高突出预测的准确性,因此,我国许多矿井采用了综合指标来进行突出预测。综合指标法就是将反映不同突出因素的多个预测突出指标综合起来对煤与瓦斯突出的危险性做出判断的一种方法。

前苏联东方煤矿安全研究所于 1969 年首先提出了瓦斯涌出初速度结合钻屑量的综合指标法,这种方法同时综合考虑了煤层的应力状态、物理力学性质、瓦斯含量、透气性和煤层瓦斯放散能力等多种影响因素。我国的《防治煤与瓦斯突出规定》中也有相应的综合指标法,即 R 值指标法,按下式计算 R 值:

$$R = (S_{\max} - 1.8)(q_{\max} - 4) \quad (1-1)$$

式中 $S_{\max}$ ——每个钻孔沿孔长最大钻屑量, L/m;

$q_{\max}$ ——每个钻孔沿孔长最大钻孔瓦斯涌出初速度, L/m · min。

判断煤巷掘进工作面突出危险性临界值 R_m 应根据实测资料来分析确定,如无实测资料,可取 $R_m = 6$ 。需要指出的是,当 R 值为负数时,应采用单项指标法进行预测。

在利用综合指标进行突出预测时,也可以用几个不同的单项指标组合起来或者组成一项较为敏感的综合指标来进行煤与瓦斯的突出预测。在焦作焦西矿就是采用几个单项指标复合的方法,即复合指标法预测煤与瓦斯的突出危险性,在实际应用中发现,其预测突出的效果并不比单项指标法好,既降低了预测突出的准确率,又增加了防突措施的实施区域。同时,焦作矿务局也提出了适合于本矿区的综合预测指标 B_1 和 B_2 。煤炭科学研究总院抚顺分院在与北票矿务局合作的过程中,提出了适合该局的突出预测敏感指标 F ,即:

$$F = (\Delta h_{\max})(S_{\max} - 4) \quad (1-2)$$

式中 $S_{\max}$ ——每个钻孔沿孔长最大钻屑量, L/m;

$\Delta h_{\max}$ ——每个钻孔沿孔长最大钻屑瓦斯解吸指标, Pa;

北票矿区综合指标 F 的临界值为 17,用其进行煤与瓦斯突出危险性预测时的准确率达到了 66%,预测突出率为 32.6%,预测不突出准确率达到 98.2%^[58]。

(二) 动态预测法

动态预测是通过连续监测能够综合包含瓦斯煤体所处应力状态的某种指标而确定工作面附近煤层危险性的方法。按照《防治煤与瓦斯突出规定》,该方法仅作为辅助预测指标。

1. 电磁辐射预测技术

前苏联和我国在电磁辐射预测技术方面是较早开展研究的国家,希腊、美国、日本、瑞典、德国等也开展了这方面的研究。电磁辐射预测技术是一种非接触式、定向、区域性、动态监测的预测方法,是近年发展起来的一种比较有前途的预测方法^[59]。通过研究煤岩体受载变形破裂时向外辐射的电磁波,对煤与瓦斯突出进行预测。因为煤岩体也是由基本粒子所组成的,在受载变形及破裂过程中基本的带电粒子变速运动会向外辐射电磁波。研究发现^[60],电磁辐射与煤岩体的受载状况及变形破裂过程密切相关,基本上随着载荷及变形破裂强度的增强而增强,且瓦斯气体也有助于电磁辐射信号的增强,电磁辐射强度和脉冲数两个指标可综合反映工作面前方煤体的突出危险性。在系统分析电磁辐射预测煤与瓦斯突出