

国家重点基础研究发展计划（973计划）项目（2012CB723103）资助
河南重大公益招标项目（101100910700）资助

基于瓦斯膨胀能的煤与瓦斯突出 预测指标研究与工程实践

Jiyu Wasi Pengzhangneng De Mei Yu Wasi Tuchu
Yuce Zhibiao Yanjiu Yu Gongcheng Shijian

魏风清 宋建成 史广山 段秋朝 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2012CB723103) 资助
河南省重大公益招标项目(101100910700) 资助

基于瓦斯膨胀能的煤与瓦斯突出 预测指标研究与工程实践

魏风清 宋建成 史广山 段秋朝 编著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

煤与瓦斯突出是由地应力、瓦斯压力、煤体结构综合作用的、严重威胁煤矿安全生产的矿井瓦斯动力现象。煤与瓦斯突出机理及预测指标研究是制定突出危险性预测和防突措施效果检验指标体系的重要理论和技术依据。本书综合采用理论分析、实验室实验、现场实测验证的方法,对煤与瓦斯突出机理、预测指标及临界值确定方法、测试仪表、工程应用进行了系统研究,形成了一套从机理—预测指标—临界值—预测仪表—工程应用的理论技术体系,提高了煤与瓦斯突出预测的可靠性和准确性。

图书在版编目(CIP)数据

基于瓦斯膨胀能的煤与瓦斯突出预测指标研究与工程实践/魏风清等编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2015.7
ISBN 978-7-5646-2751-5

I. ①基… II. ①魏… III. ①煤突出—瓦斯突出—突出预测—研究 IV. ①TD713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 167751 号

书 名 基于瓦斯膨胀能的煤与瓦斯突出预测指标研究与工程实践
编 著 魏风清 宋建成 史广山 段秋朝
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 13.5 字数 363 千字
版次印次 2015 年 7 第 1 版 2015 年 7 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)



前 言

煤与瓦斯突出是由地应力、瓦斯压力、煤体结构综合作用的、严重威胁煤矿安全生产的矿井瓦斯动力现象。我国绝大部分煤炭来自地下开采,而且煤层赋存条件复杂多变,煤与瓦斯突出事故常有发生。特别是近十多年来,随着开采深度的加大导致自然条件更趋复杂,集约化开采技术的发展对安全生产也提出了更高的要求。现场实践表明,突出危险煤层内突出危险区呈带状分布,这个面积一般还不到突出煤层面积的10%,其长度一般在100 m以内,在各突出危险带之间分布着较宽的突出威胁带。对突出危险程度不同的区域应采取不同的措施,这不仅有利于防突而且也会带来显著的经济效益。因此,开展煤与瓦斯突出危险性预测,一方面为采取合理的防突措施提供科学依据,可减少防突措施的工程量与时间,提高采掘速度,从而改善矿井经济技术指标;另一方面为在突出危险带内采取有效的防突措施提供保证和条件,主动及早采取措施,以保证安全生产和计划的顺利完成。

煤与瓦斯突出预测预报是各类防突措施效果检验和区域验证、预测、保证安全生产的重要技术手段。由于煤与瓦斯突出机理的复杂性和煤层地质条件的多样性、复杂性,煤与瓦斯突出的预测指标选择和临界值确定目前还建立在感性经验基础之上,缺乏深入系统的理论研究,预测指标和煤与瓦斯突出机理的内在联系还未揭示,区域突出危险性预测指标与工作面突出危险性预测指标之间缺乏联系与统一等,预测仪表、测试方法还需要规范统一,降低了煤与瓦斯突出预测结果的可靠性,对煤矿安全生产构成了隐患。

因此,研究煤与瓦斯突出发生、发展的机理,探索合理的预报理论和准确可靠的预测方法是煤矿安全科技工作者亟需解决的问题。本书以煤与瓦斯突出机理和预测指标为研究对象,从瓦斯膨胀能的角度对煤与瓦斯突出预测指标进行定量研究,并提出煤与瓦斯突出预测敏感指标及其临界值的确定方法,规范改进预测仪表、测试方法,对于进一步提高煤与瓦斯突出预测可靠性、保证安全生产具有重大的理论意义和工程实用价值。

本书综合采用理论分析、实验室实验、现场实测验证的方法,对煤与瓦斯突出机理、预测指标及临界值确定方法、测试仪表、工程应用进行了系统研究,形成了一套从机理—预测指标—临界值—预测仪表—工程应用的理论技术体系,提高了煤与瓦斯突出预测的可靠性和准确性。

本书分为九章,第一章总结了煤与瓦斯突出机理研究,煤与瓦斯突出预测,瓦斯膨胀能等方面的研究现状,提出了本书的研究思路和主要研究内容。第二章在充分研究煤与瓦斯突出要素及其影响的基础上,讨论了煤与瓦斯突出的动力来源和能量转化。第三章研究了瓦斯膨胀能与内能之间的区别和瓦斯膨胀能公式,引入扩散理论研究了吸附态瓦斯解吸膨胀能,最后简化了煤与瓦斯能量方程,分析了瓦斯膨胀能的临近值。第四章研究了煤与瓦斯突出预测指标及其临界值的确定方法,并对各指标进行了分析、试验。第五章对现有突出参数测定仪不足之处进行分析、优化,研制出CWY—40型钻孔瓦斯涌出初速度测定仪和

YTC—120/2000 型突出参数测定仪。第六章通过新安煤田二₁煤层瓦斯地质规律及实验室研究,得到了新安煤田二₁煤层煤与瓦斯突出主控因素及其临界值,提出了区域预测方法和指标,对新安煤田二₁煤层进行了区域突出危险性预测。第七章基于煤与瓦斯突出简化能量方程和实验室研究,根据提出的预测指标临界值确定方法,并结合郑州矿区二₁煤层瓦斯地质规律研究,研究了郑州矿区二₁煤层区域突出危险性预测指标——瓦斯含量测定的影响因素及优化测定过程。第八章通过实验室研究和现场专项测试,分析了工作面预测指标和瓦斯含量的关系,通过现场工业性试验和可靠性评价,确定了告成煤矿掘进工作面、采煤工作面、孟津煤矿石门揭煤工作面突出危险性预测指标及其临界值。第九章根据《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》(安监总煤装[2011]163号,参考《义煤集团矿井瓦斯抽采达标评判细则》等相关文件。经现场实测和计算分析,判定义安矿二 112040 采煤工作面区域瓦斯抽采是否达标。

本书在写作的过程中参考了前人研究成果,在此谨致谢意。衷心感谢河南理工大学张铁岗院士对作者的关心和支持;感谢河南理工大学安全科学与工程学院的同事和郑州煤炭工业(集团)有限责任公司的同仁对作者的关心和支持;感谢刘少博、冉小勇、韩世英等研究生的辛苦工作。

由于作者水平所限,书中疏漏不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2015 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究的目的和意义	1
第二节 国内外研究现状	2
第三节 本书研究内容和方法	13
第二章 煤与瓦斯突出要素与突出能量	14
第一节 突出煤体结构特征和力学特性	14
第二节 突出煤体的吸附、解吸性能	16
第三节 瓦斯在煤与瓦斯突出中的作用	19
第四节 地应力场和工作面应力状态	20
第五节 煤与瓦斯突出过程与突出动力	22
第六节 本章小结	27
第三章 瓦斯膨胀能和煤与瓦斯突出能量方程研究	28
第一节 瓦斯膨胀能	28
第二节 简化煤与瓦斯突出能量方程	34
第四章 煤与瓦斯突出预测指标及临界值确定方法	37
第一节 概述	37
第二节 预测指标的分析与选取	37
第三节 预测指标临界值的确定方法	39
第四节 预测指标可靠性评价方法	40
第五节 瓦斯解吸指标 Q_3	44
第六节 瓦斯解吸指标 Δh_2	51
第七节 钻孔瓦斯涌出初速度 q	53
第八节 本章小结	57
第五章 煤与瓦斯突出预测参数测定仪	58
第一节 仪器研发的意义	58
第二节 CWY—40 型钻孔瓦斯涌出初速度测定仪	62
第三节 YTC—120/2000 型突出参数测定仪	70
第四节 本章小结	78

第六章 区域突出危险性预测指标研究	80
第一节 新安煤田概况	80
第二节 新安煤田瓦斯地质规律研究	83
第三节 预测指标临界值实验室研究	89
第四节 区域突出危险性预测	92
第五节 本章小结	97
第七章 郑煤矿区区域措施效果检验指标及其快速测定技术	99
第一节 郑州矿区瓦斯地质特征	99
第二节 郑煤集团瓦斯含量测定过程优化方法	113
第三节 瓦斯含量测定影响因素实验室研究	115
第四节 现场采样方式分析	130
第五节 瓦斯浓度对瓦斯含量影响分析	132
第六节 瓦斯解吸指标临界值确定	137
第七节 本章小结	142
第八章 工作面突出危险性预测指标研究	144
第一节 掘进工作面突出危险性预测指标研究	144
第二节 采煤工作面突出危险性预测指标研究	155
第三节 石门揭煤工作面突出危险性预测指标研究	165
第四节 本章小结	167
第九章 工作面抽采达标评判应用	168
第一节 研究区域情况	168
第二节 区域预抽工程施工与抽采情况	177
第三节 预抽钻孔有效控制范围界定与评价单元划分	182
第四节 残余瓦斯含量与可解吸瓦斯量的计算	183
第五节 预抽瓦斯效果指标现场实测	186
第六节 抽采效果达标评判	193
第七节 本章小结	199
参考文献	200
附件	207

第一章 绪 论

第一节 研究的目的和意义

煤与瓦斯突出是伴随煤矿生产过程中发生的一种极其复杂的动力现象。发生煤与瓦斯突出时,在极短的时间内向采掘空间喷出大量煤岩和瓦斯,在个别情况下抛出煤炭可达 14 000~20 000 t,涌出瓦斯达 200 000~300 000 m³^[1-2],并具有一定的冲击性动力效应。煤与瓦斯突出的危害主要表现在两个方面:抛出的煤炭可以冲毁巷道支护和设施,引起巷道变形,淹没人员造成死亡;涌出的瓦斯可以造成采掘空间瓦斯积聚和瓦斯超限,严重时风流发生逆转,引起人员窒息和瓦斯爆炸。煤与瓦斯突出具有发生的突然性、过程的快速性、后果的严重性、机理的复杂性等特点,对煤矿安全生产具有极大的危害性和破坏性。

关于煤与瓦斯突出的定义,我国《防治煤与瓦斯突出规定》^[3]描述为煤与瓦斯突出是一种复杂的矿井瓦斯动力现象。俄罗斯《煤(岩石)与瓦斯突出危险煤层安全作业规程》(2000)^[4]描述为煤与瓦斯突出是发生在含瓦斯煤层中的危险和复杂的瓦斯动力现象,其特点是以矿山岩体抛出(移动)的方式岩体快速破坏和瓦斯向井巷涌出。

在煤矿生产实践中,煤与瓦斯突出已有 170 多年历史了。1834 年 3 月 22 日在法国鲁阿雷煤田依阿克矿急倾斜厚煤层平巷掘进工作面发生了世界上第一次有记载的煤与瓦斯突出,至今已有法国、比利时、波兰、澳大利亚、保加利亚、英国、匈牙利、德国、西班牙、加拿大、中国、墨西哥、荷兰、罗马尼亚、土耳其、捷克、塞尔维亚、南非、日本、独联体等 20 多个国家和地区发生过煤与瓦斯突出,累计发生煤与瓦斯突出达 50 000 多次,死亡 35 000 人以上。大型煤与瓦斯突出在世界上发生多次^[5]。1904 年发生在加拿大不列颠哥伦比亚省的莫里斯矿的煤与瓦斯突出,抛出煤炭 3 500 t,涌出甲烷 700 000 m³;1904 年发生在法国“诺尔德—阿列”矿的煤与瓦斯突出,抛出煤炭 4 000 t,涌出大量的二氧化碳充满了井下全部巷道,而且波及地面井口 200 m 的半径范围内;1921 年发生在法国丰坦矿的煤与瓦斯突出,抛出煤炭 5 000 t,涌出的大量二氧化碳在极短的时间内充满井下 34 km 的巷道。

独联体和中国是世界上煤与瓦斯突出最严重的国家,突出强度之大、突出次数之多均居世界前列。乌克兰第一次煤与瓦斯突出发生于 1906 年 9 月 9 日,在顿涅茨克矿区新斯莫良卡矿—728 m 水平石门,用打眼爆破揭穿斯莫良尼诺夫斯基煤层时发生煤与瓦斯突出。世界上发生煤与瓦斯突出强度最大的是顿涅茨克矿区阿尔捷姆煤管局的加加林矿—710 m 水平石门,1969 年 7 月 13 日在揭穿马祖尔卡煤层时发生煤与瓦斯突出,抛出煤炭 14 200 t,涌出瓦斯 250 000 m³。据统计,顿涅茨克矿区是独联体国家煤与瓦斯突出最严重的地区,75% 的煤与瓦斯突出矿井分布在顿涅茨克矿区^[6]。截至目前,在乌克兰记录到的煤与瓦斯突出已达 11 000 多次^[7]。

中国第一次有记载的煤与瓦斯突出发生在 1950 年,是吉林省辽源矿务局富国西二坑在垂深 280 m 煤巷掘进发生煤与瓦斯突出。据统计^[1],至 1988 年底,中国煤与瓦斯突出矿井 250 个,突出总次数约 14 300 次。到 1995 年底,国有重点煤矿中先后有 138 个矿井发生了 10 815 次煤与瓦斯突出,死亡 1 266 人^[8]。2008 年中国煤与瓦斯突出矿井共计 754 个,比 2007 年增加了 55 个。

中国煤与瓦斯突出强度最大的一次是 1970 年 3 月 10 日发生在天府矿务局三汇坝一矿主平硐石门揭煤(垂深 412 m),突出煤量 12 780 t,突出瓦斯量 140 万 m³,粉煤喷出最远达 1 100 m。2000~2004 年,中国国有煤矿共发生煤与瓦斯突出 815 起,其中伤亡事故 185 起,共造成 760 人死亡,其中一次死亡 10 人以上的突出事故共发生 12 起,死亡 334 人。2006 年全国共发生一次死亡 3 人以上的煤与瓦斯突出事故 40 起,死亡 262 人,事故起数占瓦斯事故的 26.1%,死亡人数占瓦斯事故的 24.4%^[8]。2008 年,中国煤矿发生重大煤与瓦斯突出事故 10 起,占重特大瓦斯事故的 55.6%。

瓦斯事故仍是煤矿的“第一杀手”,重特大瓦斯事故仍时有发生,其中煤与瓦斯突出事故多发,在瓦斯事故中所占比例逐年上升。2006 年、2007 年、2008 年重大以上瓦斯事故中,突出事故起数所占比重分别为 26.1%、34.6%、43.4%,死亡人数所占比重分别为 24.4%、29.4%、46.8%。重大突出事故,2005 年 4 起,2006 年 9 起,2007 年 7 起,2008 年 10 起,2009 年重大以上煤与瓦斯突出事故 16 起。2009 年 5 月 30 日,重庆松藻同华煤矿发生了特大突出事故。严格规范煤与瓦斯突出防治是当前煤矿安全生产工作的一项紧迫任务。

煤与瓦斯突出预测预报是各类防突措施效果检验和区域验证、预测、保证安全生产的重要技术手段。由于煤与瓦斯突出机理的复杂性和煤层地质条件的多样性,煤与瓦斯突出的预测指标选择和临界值确定目前还建立在感性经验基础之上,缺乏深入系统的理论研究,预测指标和煤与瓦斯突出机理的内在联系还未揭示,区域突出危险性预测指标与工作面突出危险性预测指标之间缺乏联系与统一等,预测仪表、测试方法没有统一规范,降低了煤与瓦斯突出预测结果的可靠性,对煤矿安全生产构成了隐患。

本书以煤与瓦斯突出机理和预测指标为研究对象,从瓦斯膨胀能的角度对煤与瓦斯突出预测指标进行定量研究,并提出煤与瓦斯突出预测敏感指标及其临界值的确定方法,规范改进预测仪表、测试方法,对于进一步提高煤与瓦斯突出预测的可靠性、保证安全生产具有重要的理论意义和工程实用价值。

第二节 国内外研究现状

一、煤与瓦斯突出机理研究现状

煤与瓦斯突出是破碎的煤岩瓦斯从煤(岩)体突然向采掘空间喷出的异常动力现象并伴随有大量瓦斯涌出^[9]。自 1834 年世界上首次在法国依阿克矿井发生煤与瓦斯突出以来,各国学者都在探索和研究煤与瓦斯突出发生发展的机理。尽管在煤与瓦斯突出发生、发展的宏观微观机理方面取得了许多可喜的成果,但时至今日,对煤与瓦斯突出发生、发展的宏观微观机理的认识还尚未达到完美的地步,大部分是根据现场统计资料及实验室研究提出的各种假说。这些假说只能对某些现象给予解释,还不能得出统一的完整的突出理论。对煤与瓦斯突出机理的研究工作投入力量最大的是苏联,既有实验研究,又有现场观测;日本则

偏重于实验室研究;而西欧国家却偏重预测预报措施,对理论研究投入的力量不大。一个半多世纪以来,各国专家学者采取各种各样的方法对煤与瓦斯突出机理进行深入的研究,如观察统计法、逻辑演绎法、实验法和数值计算法等,对煤与瓦斯突出发生的原因提出了数十种假说,但影响面较大的概括起来主要有瓦斯说、地应力说、综合假说、流变假说、煤与瓦斯突出球壳失稳假说等。

瓦斯说认为,煤体内贮存的高压瓦斯是突出中起主要作用的因素,其代表有^[10]“瓦斯包说”、“煤粉带说”、“突出波说”、“瓦斯膨胀说”、“卸压带说”、“瓦斯解吸说”等。

地应力说认为,突出是高地应力作用的结果。这类假说的主要代表有^[10]“岩石变形潜能说”、“地应力集中说”、“塑性变形说”等。

综合假说认为,煤与瓦斯突出是地应力、瓦斯压力和煤层结构综合作用的结果,随煤层开采深度的增加和瓦斯压力的增长,煤与瓦斯突出危险性增大^[11-13]。由于其全面考虑了突出发生的作用力和介质两个方面的主要因素,得到了国内外多数学者的普遍承认。对于综合假说,有代表性的是“振动说”、“分层分离说”、“游离瓦斯说”、“能量假说”及“应力分布不均匀说”等^[10],其中苏联学者 B. B. 霍多特提出的“能量假说”^[14]使突出的综合假说更为完善,其大部分观点至今仍有指导意义。B. B. 霍多特等人除在实验室对煤的孔隙结构、吸附性能、渗透性能和力学性质进行了大量的测定研究外,还在实验机上做了煤与瓦斯突出模拟实验,并阐述了煤与瓦斯突出的能量来源,用数学方法计算了煤层的变形潜能、围岩的动能、瓦斯的膨胀功和造成突出所需要的功,提出了能量假说。B. B. 霍多特认为,煤与瓦斯突出是煤体的变形潜能与瓦斯内能突然释放所引起的工作面煤体的高速破碎。然而以 B. B. 霍多特为代表的综合假说的主要缺点是没有说明含瓦斯煤的破坏过程和破坏条件,没有考虑时间因素对煤与瓦斯突出的影响。

流变假说是 20 世纪 90 年代初何学秋和周世宁根据含瓦斯煤岩三轴应力状态下的流变特性研究提出的,其特点是运用流变学观点分析了突出过程中含瓦斯煤在应力和孔隙气体作用下的时间和空间过程,不仅考虑了瓦斯、地应力、煤的物理力学性质三个主要因素,而且考虑了时间因素和空间因素对煤与瓦斯突出的影响。该假说认为^[15-16],在外力作用下的含瓦斯煤岩,当达到或超过其屈服载荷时,则明显地表现为时间上的三个阶段,即变形衰减阶段、均匀变形阶段和加速变形阶段,其中前两阶段对应于煤与瓦斯突出准备阶段,第三阶段对应于煤与瓦斯突出的发生发展阶段,突出是含瓦斯煤体快速流变的结果。考虑时间过程的突出流变假说很好地解释了能量假说无法解释的石门自行揭开和煤与瓦斯延期突出等动力现象。

煤与瓦斯突出的球壳失稳假说是中国矿业大学蒋承林、俞启香教授提出来的。该假说认为^[17-18],煤与瓦斯突出的实质是地应力破坏煤体,煤体释放瓦斯,瓦斯使煤体破裂扩张并使形成的煤壳失稳破坏,将原来具有一定支撑作用的表面破坏煤体抛向巷道,迫使应力峰移向煤体内部继续破坏后续的煤体这样一个联系发展的过程。并且认为突出过程中煤体在地应力的作用下破坏后释放出来的初始瓦斯膨胀能是发生突出的真正动力来源,煤体中的初始瓦斯膨胀能随地应力、瓦斯压力的增大而增大,随原始煤体强度的增大而减小。这种能量越大,煤层的突出危险性就越大。

日本的氏平增之在实验室模拟了煤与瓦斯突出,发现瓦斯压力梯度是导致煤体拉应变增高从而破坏的直接原因,而后他又首次用有限元方法分析了突出暴露面附近的有效应力

场,证明瓦斯压力梯度增大可引起有效拉应力增加^[19]。

中国科学院力学所在郑哲敏院士的带领下对煤与瓦斯突出启动及突出阵面推进规律、煤与瓦斯突出过程的理论模型及其预防原理进行了研究,提出了含气多孔介质的卸压破坏极强破坏准则,认为煤的破碎启动和瓦斯渗流的气固两相耦合作用是煤与瓦斯突出的主要因素。对一维模拟实验,主要考虑了瓦斯因素对突出的影响,含孔隙介质在卸压下的拉伸破坏具有不发散传播的特性,可用稀疏间断波(即破坏波)来表示,临界突出始终是单一极强破坏波的恒稳推进;对二维模拟实验,主要考虑了瓦斯和地应力的因素,煤样破坏时破坏阵面的前沿以拉伸强破坏波的形式向外传播,不存在恒稳推进,在煤岩体的破坏中,应力重新分布,并有4种不同的应力转移形式^[20-23]。

辽宁工程技术大学章梦涛、梁冰、潘一山等教授对煤与瓦斯突出及冲击地压统一理论、煤与瓦斯突出的工程分析和控制进行了研究,提出了煤与瓦斯突出及冲击地压统一理论模型、煤与瓦斯突出的固流耦合失稳模式^[24-28]。

重庆大学鲜学福、许江、王宏图、李贺等教授对煤与瓦斯突出危险区划分的力学机制和层状复合煤岩力学特性进行了研究,基于对 Drucker-prager 理论的修正和完善建立了他们的断裂判据,提出了计算稳定系数和潜在弹性应变能密度的公式,以及按这两个指标划分煤与瓦斯突出危险区(带)的基本方法^[29-31]。

中南大学何继善、吕绍林教授提出了关键层—应力墙瓦斯突出理论模型^[32-33],认为瓦斯突出的发生和发展受控于赋存在岩石—含瓦斯煤—岩石体系中诸多因素的综合作用,该假说可以描述为关键层的存在使煤层具备了发生瓦斯突出的介质条件,在采场集中应力的作用下容易在工作面前方形成具有高瓦斯内能和高弹性潜能的应力墙,当应力墙的动态平衡被破坏就发生瓦斯突出。

郑哲敏等通过量纲分析和能量对比方法研究,证明瓦斯的膨胀能远大于煤岩弹性能,并且两者具有数量级的差别,指出发生突出的能量主要来自煤体中的瓦斯能。

俄罗斯 Ю. Н. Малышев、А. Т. Айруни、Ю. Л. Худин、М. И. Большинский 根据动力学理论,建立了煤层中突出发生条件的动力平衡方程,即岩体的弹性能、压缩瓦斯能之和大于煤的破坏功、移动功之和^[34]。

关于煤与瓦斯突出机理认识的种种解释,对认清煤与瓦斯突出的发生条件、发展过程以及采取相应的预测方法和防治措施具有重要的指导意义。

二、区域突出危险性预测研究现状

煤与瓦斯突出具有分区分带特征,其分布主要受地质构造的控制。苏联 Л. Н. Быков 指出,煤与瓦斯突出发生在地质破坏带或在地质破坏带附近^[35];Аносов И. И. 认为,构造作用导致的煤层结构破坏带具有突出危险性^[36];突出点附近煤层破坏程度增高,煤层强度降低,突出的条带性显现与地质构造之间存在联系,突出带的特征是煤层结构复杂,厚度变化剧烈,次生裂隙发育^[35-36];前苏联 Эттингер И. Л. 认为,在较小范围内,煤层瓦斯压力与地应力几乎是恒定的,煤层结构与构造的变化是决定突出发生的重要因素^[35]。

煤与瓦斯突出预测的基础是人们对突出过程及其影响因素的认识。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,提出了各种各样的突出预测方法。突出预测从预测的范围和时间来分,大致可分为两类:区域突出危险性预测和局部突出危险性预测。前者的任务是确定矿井、煤层和煤层区域的危险性,这种预测也可称为长期预

测;后者的任务是在前者的基础上,及时预测局部地点即采掘工作面的突出危险性。

目前,区域突出危险性预测的方法主要有指标法、瓦斯地质法、地质动力区划法、地球物理法等。

(一) 区域突出危险性预测的指标法

在指标法中,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,这些指标主要包括瓦斯指标、煤层性质指标、地应力指标。

反映瓦斯的指标主要有瓦斯压力和瓦斯含量,一些学者对这两个指标进行了研究并提出了不同的临界值^[37-40,10]。

反映煤层性质的预测指标主要由煤的坚固性系数 f 、瓦斯放散初速度 Δp 、煤的破坏类型、煤的变质程度和煤的电阻率等,这些指标在苏联得到了广泛的应用。这些指标中,煤的破坏类型是煤体的结构指标,在国内外受到了广泛的重视。苏联学者 1958 年提出了煤体结构指标,把煤分成了五种破坏类型^[41],并认为煤层中含有 IV、V 两类煤的分层时具有突出危险性;中国矿业学院瓦斯组把煤体结构划分为三种破坏类型^[42],其丙类煤为突出危险性煤;焦作矿业学院瓦斯地质研究室 1980 年根据煤体宏观和微观结构特征,以构造煤的类型为基础,以突出的难易程度为依据,把煤体结构划分成四种类型^[43],即原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤,后三种类型为构造煤;“十五”期间测定了大量的煤体结构参数,并配合煤壁煤体结构观测结果,补充了煤体结构的成因分类,在完善煤体结构四分法的基础上提出了构造煤新的分类方法与指标(构造软煤与硬煤),这样分类除便于生产单位推广应用之外,还有利于构造软煤非接触性探测研究的开展^[44];王恩营等^[45]借鉴构造岩的分类方法和前人的研究成果,依据构造煤的成因、结构和构造,提出了一套既适合煤矿瓦斯灾害防治又适合煤层气开发的新的成因—结构—构造分类方案,将构造煤划分为脆性变形和韧性变形 2 个变形序列 8 个煤类,其中脆性变形序列的构造煤又进一步划分出片状序列和粒状序列,同时重新厘定了不同类型构造煤的变形性质和结构、构造特征。

地应力是重要的突出影响因素,关于矿山岩体的应力应变状态有多种看法,很多研究者认为矿山岩体的应力应变状态由上覆岩层的压力决定^[46-48],在局部区域除了自重应力外,还存在残余构造应力和现代构造运动应力^[49];但苏联 В. Е. Забига́йло 未发现顿涅茨克矿区残余构造应力存在的直接证据^[50],В. И. Нико́лин 通过专门研究,完全否定了残余构造应力、现代构造应力的存在^[48]。文献[51]、[52]、[53]、[54]作者研究了工作面附近煤体的应力应变状态,在工作面附近存在应力降低区、应力升高区和原始应力区,导致工作面附近瓦斯动力状态的不同,向工作面深部,煤层瓦斯含量、瓦斯涌出初速度呈增大趋势。

地应力测量困难,因此在预测中把应力作为一个量化预测指标还存在困难。大地应力测量研究表明,地应力随埋深增加而增加,侧向应力大于垂直应力^[55-56]。开采实践也表明^[57],开采深度越大突出越严重,因而突出预测中多把开采深度作为预测指标。在目前的开采深度下,尽管埋藏深度作为煤层应力大小的指标具有重要的研究意义,但地质构造是突出呈条带分布的重要影响因素。

(二) 瓦斯地质法

焦作工学院著名安全专家杨力生教授 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掘进巷道瓦斯变化规律时,就发现瓦斯突出与断层有密切关系。70 年代他就提出了编制矿井瓦斯地质图的想法。1963 年,周

世宁提出了影响煤层原始瓦斯含量的 8 项主要因素,其中主要为地质因素。1977 年彭立世、袁崇孚在煤炭工业部建立了“湘、赣、豫煤与瓦斯突出带地质构造特征”研究课题。这些都为瓦斯地质的深入研究奠定了基础。

河南理工大学(原焦作工学院)自从 20 世纪 60 年代以来,一直用瓦斯地质的观点来研究突出^[58-62],并提出了瓦斯地质的区划论。该理论认为:① 突出的分布是不均衡的,具有分区分带的特点;② 瓦斯突出的分区分带与地质条件有密切关系,地质因素的分区分带控制突出的分区分带;③ 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。

从 20 世纪 80 年代起,在我国瓦斯地质学科的创始人杨力生的带领下,在全国开展了瓦斯地质调查和瓦斯地质编图工作,查明了煤矿瓦斯灾害分布的主控因素。结果表明^[58-63],煤矿瓦斯灾害危险的分布具有条带分布特征,矿区(井)规模的构造是控制煤矿灾害区域分布的主控因素,它通过控制煤矿的瓦斯分布和构造软煤分布控制煤矿瓦斯灾害的区域分布。

另外,通过“七五”~“十一五”的国家科技攻关研究,河南理工大学逐步形成了以瓦斯地质编图为基础的煤矿瓦斯灾害区域预测的瓦斯地质技术。

(三) 地质动力区划法

地质动力区划方法是 20 世纪 80 年代在苏联发展起来的,它是以板块学说为基础,综合地形地貌学、地球物理学、断裂学、测量学及采矿工程等学科而形成的一门新兴的边缘学科,其主要研究内容为^[64-68]:首先确定活动断裂构造,进行断块划分,确定井田现今的构造格架,并以此为基础建立力学模型,利用地应力实测数据反演边界条件,依据测定的岩石物理力学性质确定断块及断裂的力学参数,应用“岩体应力状态数值模拟系统”计算原岩应力的分布,并根据对井田原岩应力场的计算结果,划定井田范围内的高应力区、低应力区及高应力梯度区,确定可能发生煤与瓦斯突出等矿井动力现象的危险区域,评估冲击危险程度。该方法在北票、抚顺、平顶山、开滦、淮南、兖州等矿区进行了研究应用。

(四) 地球物理法

无线电波透视技术用于探测地质小构造已取得了较好的效果。研究表明^[69],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。中煤科工集团重庆研究院有限公司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。

三、工作面突出危险性预测研究现状

根据突出预测过程及其连续性,工作面突出危险性预测又可分为静态(或不连续)和动态(或连续)两类预测方法。静态法是指从采掘工作面含瓦斯煤体中提取煤体或瓦斯在某一时刻所处状态的某种量化指标从而确定危险性的方法。动态法是指通过动态连续地监测能够综合包含瓦斯煤体所处应力(或变形)状态的某种指标而确定工作面附近煤层危险性的方法。《防治煤与瓦斯突出规定》第七十四条规定,在突出危险区域中掘进煤巷时可采用复合指标法、R 值指标法、钻屑指标法及其他经试验证实有效的方法(如钻屑温度、煤体温度、爆破后瓦斯涌出量等)之一预测煤巷工作面的突出危险性。第七十八条规定,采煤工作面突出

危险性预测可使用煤巷掘进工作面突出预测方法。

(一) 静态(不连续)预测法

静态预测法的实质^[70]就是通过钻孔获得一些反映采掘工作面前方瓦斯突出危险性的量化指标来预测突出危险性。预测时考察其中的单个或多个指标是否超过临界值。如原捷克斯洛伐克、罗马尼亚、英国、比利时和澳大利亚,采用在工作面前方钻孔中测定瓦斯压力以及煤的瓦斯解吸指标法预测煤层的突出危险性^[41],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煤与瓦斯突出预测指标,20世纪80年代开始又采用钻孔瓦斯涌出量作为预测指标;英国采用同一地点的密封煤样的瓦斯涌出量 S 和非密封煤样的瓦斯涌出量 V 的比值 R_0 。作为煤的瓦斯解吸指标,认为 $R_0 = S/V > 4$ 时,掘进巷道进入突出危险带。苏联根据预测的范围,将突出预测分为区域的(对整个矿区)、局部的(对单个矿井煤层)和现场的(在采掘过程中确定突出危险带)三类预测方法,采掘过程中,为确定工作面煤层突出危险性,采用了钻孔瓦斯涌出初速度的现场预测方法^[41];波兰判别突出危险采用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;德国采用的是钻屑瓦斯解吸强度预测突出危险性。我国目前较多采用的指标有钻屑量 S 、钻孔瓦斯涌出初速度 q 、反映钻屑瓦斯解吸速度的钻屑瓦斯解吸指标 K_1 和 Δh_2 ,或这些指标的组合。通常它们是通过钻孔获得的,具有分散和不连续的特点。

1. 钻屑量

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三个方面的因素,这三个因素在打钻时以煤体转移、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。世界各国都普遍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。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多,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。按照《防治煤与瓦斯突出规定》规定,钻屑测定有两种方法:①每钻1 m 钻孔,收集全部钻屑,用弹簧秤称重即重量法;②每钻1 m 钻孔,收集全部钻屑,用量具测量钻屑体积即容量法。对于钻屑倍率,煤炭科学研究总院沈阳研究院按排出的钻屑体积与钻孔空间之比来计算^[71],而中煤科工集团重庆研究院有限公司则是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^[72]。

通过对突出煤层和非突出煤层钻屑量的大量实际考察,世界各国得出了不同钻屑指标预测煤层突出危险性的临界值。德国认为在以下钻孔直径下打钻,煤层有突出危险性时钻屑量的临界值为:钻孔 $\Phi 50$ mm 时为8 L/m, $\Phi 95$ mm 时为50 L/m, $\Phi 140$ mm 时为90 L/m。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;而日本则采用 $\Phi 42$ mm 钻孔时,钻屑量大于6 L/m 有突出危险性。煤炭科学研究总院沈阳研究院20世纪80代初期通过对北票局、红卫煤矿钻屑量的测定,得出 $\Phi 42$ mm 钻孔时,钻屑倍率 $n \geq 4$ 时,有突出危险性^[73]。中煤科工集团重庆研究院有限公司在南桐局和梅田局对煤巷掘进工作面进行大量的测定,认为钻粉倍率为3倍时,易出现倾出、压出^[74]。

钻屑量测定的准确性与人为因素关系很大,例如钻进速度、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,均可造成

钻屑指标测定不准。

2. 钻孔瓦斯涌出初速度

钻孔瓦斯涌出初速度法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,由苏联马凯耶夫煤矿安全研究所提出,它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》。我国河南理工大学(原焦作工学院)和丰城矿务局较早使用这一方法进行突出危险预测^[75],之后原煤科总院抚顺院、煤科总院重庆院和中国矿业大学对其在理论上和实践上进行了探讨,认为它是一个非常有前途的预测指标,已被列入我国《防治煤与瓦斯突出规定》,得到了广泛应用。苏联在1969~1978年间对瓦斯涌出初速度进行的大量测定证实,当其小于5 L/m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,瓦斯涌出初速度的临界值取决于煤的种类。根据马凯耶夫煤矿安全研究所的研究^[76],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。秦祥基^[77]通对平顶山八矿、芙蓉矿务局白胶矿、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,发现工作面煤体一般在4~8 m时 q 值出现峰值,打钻时往往在此区段发生喷孔卡钻现象,认为瓦斯涌出初速度的钻孔深度应达到6~10 m。魏风清^[78]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,得出钻孔瓦斯涌出初速度的测试深度必须穿过工作面前方的煤层卸压带,进入应力集中带的塑性极限应力区。河南理工大学在英岗岭建山煤矿测定表明^[77], 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,因此钻孔瓦斯涌出初速度的测定应在打钻后立即测定。《防治煤与瓦斯突出规定》中只规定了此项测定必须在打钻结束后的2 min内完成,却没有规定测定的具体时间,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。

实践中还发现^[69],对于透气性较大的煤层,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了突出临界值,而若煤层的破坏类型高、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,以至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。因此该方法在上述条件下的煤巷掘进工作面会受到限制。

3. 钻屑瓦斯解吸量和解吸特征指标

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。研究表明^[79],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,但不能反映掘进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。钻屑瓦斯解吸指标的形式很多,根据确定方法的不同,可以将它们分为两类:直接指标法和间接指标法。

(1) 直接指标法

钻屑瓦斯初期解吸量可以直接反映突出的煤层瓦斯压力和煤体破坏程度的大小。当煤

层突出危险性越大,这一解吸量也越大。通常采用 U 形水柱计测量这一解吸量,当水柱计玻璃管内径、钻屑质量、钻屑粒度和测量时间固定不变时,一定的水柱高度变化量就和一定的瓦斯解吸量对应。钻屑瓦斯解吸量是一定时间内的累积量,不能直接反映瓦斯解吸速度的变化。为此原煤科总院抚顺院^[80]在上述基础上又提出了指标 $C=4\Delta h_2/(\Delta h_{10}-\Delta h_2)$,其中 Δh_2 、 Δh_{10} 分别为测量时前 2 min 和后 10 min 瓦斯解吸量所对应的水柱高差(mm)。

(2) 间接指标法

大量的研究表明,瓦斯解吸规律经验公式中的待定常数与瓦斯压力和煤的破坏程度密切相关,可以作为预测突出危险的指标。拟合瓦斯解吸规律的经验公式一般是瓦斯解吸量或解吸速度与时间变量之间的关系式,因此可以相对于时间变量将这些待定常数划分为系数和指数两种形式。系数形式的常数主要反映瓦斯压力和煤的吸附容积大小;而指数形式的常数主要反映煤颗粒渗透容积的大小,即瓦斯解吸速度衰减的快慢程度。

拟合瓦斯解吸规律一个常用的公式为 $Q_0 = Kt^i$, 式中 Q_0 为至 t 时刻钻屑的累计瓦斯解吸量(cm^3/g); i 、 K 为常数,其中 $0 < i < 1$ 。相应于上式的瓦斯解吸速度式为 $V_t = V_1 t^{-R_1}$, 式中: V_t 、 V_1 别为 t 时刻和 $t = 1$ 时刻的瓦斯解吸速度 [$\text{cm}^3/(\text{g} \cdot \text{min})$]; R_1 为瓦斯解吸速度衰减指数。

《防治煤与瓦斯突出规定》中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。

钻屑解吸指标往往可以在实验室里模拟测定。邵军^[80]利用试验室方法研究了 K_1 指标,研究表明 K_1 与瓦斯压力密切相关并近似服从抛物线规律。胡千庭^[81]通过实验室试验结合理论分析,找出了影响钻屑瓦斯解吸指标因素之间的相关关系以及这些因素与钻屑瓦斯解吸指标的关系,得出在关系式 $K_1 = AP^B$ 中系数 A 随 Δp 的增加而增大,随灰分 A_{ad} 的增大而减小,而 B 可近似地认为取常数,其平均值为 0.563 3。王魁军等^[82]依据钻屑解吸指标 Δh_2 的理论分析,结合实验室和井下实测结果,得出 Δh_2 与吸附平衡压力 P 、煤的瓦斯放散初速度的关系: $\Delta h_2 = AP^B K^C$, 其中 A 、 B 、 C 是依赖于煤种的试验常数。

在测定解吸指标仪器方面我国发展较快,目前已基本有了比较成熟的测定仪器。原煤科总院抚顺院于 1980 年研制了 MD—1 型煤钻屑瓦斯解吸仪,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 年煤科总院重庆院研制出 CMJ—1 型解吸仪并提出相应的解吸指标 K_1 。之后煤科总院抚顺院在 MD—1 型的基础上又研制了 MD—2 型解吸仪^[83],煤科总院重庆院在 CMJ—1 型的基础上研制成功 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型式的瓦斯解吸仪。20 世纪 90 年代后期,煤科总院重庆院又开发出新一代主要用于测定钻屑瓦斯解吸指标的 WTC 突出参数仪^[84],煤科总院抚顺院则研制出试验 MJL—1 型钻屑解吸指标临界值确定测定仪^[85]。

通过现场和理论研究表明,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。

4. 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。苏联东方煤矿安全研究所于1969年提出了瓦斯涌出初速度结合钻屑量的综合指标法。该方法同时考虑了煤层的应力状态、物理力学性质、瓦斯含量、透气性和煤层的放散能力^[75]。我国《防治煤与瓦斯突出规定》中规定的R值指标法基本与此相同,具体测定方法是:在煤巷掘进工作面的煤层软分层中打直径为42 mm、深为5.5~6.5 m的钻孔,钻孔每打1 m测定1次钻屑量和钻孔瓦斯涌出初速度。测定钻孔瓦斯涌出初速度时,测量室的长度为1.0 m。根据钻孔的最大钻屑量和最大瓦斯涌出初速度,按下式确定R值:

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

式中 $S_{\max}$ ——每个钻孔沿孔长的最大钻屑量,L/m;

$q_{\max}$ ——每个钻孔沿孔长的最大瓦斯涌出初速度,L/min。

(二) 动态(连续)预测

1. 声发射法

煤和岩石内部存在大量的裂隙等固有缺陷,煤岩变形及破坏的结果就是裂隙的产生、扩展、汇合贯通。研究表明^[86],裂隙的产生和扩展都将以弹性应力波的形式产生能量辐射,这就是声发射。

早在20世纪40年代初,美国就利用声发射技术监测金属矿井的岩爆;20世纪80年代初,澳大利亚研究了一种双声道声发射突出预测系统;英国的声发射突出预测系统从1983~1987年在南威尔士煤田的Cynheidre矿进行了试验,但在试验过程中没有发生过突出。其他国家如德国、日本和波兰等在这方面也有不同程度的研究^[87-89]。苏联用记录声噪脉冲数的方法预报煤与瓦斯突出并在顿巴斯煤田进行了推广应用。

我国平顶山矿务局从俄罗斯引进了声发射监测系统,并用于煤与瓦斯突出预报试验研究^[87]。煤科总院重庆院生产了声发射监测系统,“九五”攻关期间在平顶山矿区进行了应用。煤科总院西安院也研制了MUY-1型声发射实时监测系统,并在平顶山十矿进行了现场实验。声发射技术用于矿井已有几十年的历史,其在岩爆监测方面已取得一些成果,尽管很多人认为声发射突出预测系统是一种很有发展前途的预测方法,各国都投入了大量的人力物力进行了广泛的研究,但目前其突出预测的可靠程度与生产实际的需要还有差距。随着大容量、高速度计算机系统的引入和声接收技术的发展,用声发射技术进行突出预测可望获得突破。

2. 瓦斯涌出动态法

V_{30} 是掘进工作面爆破后30 min内的瓦斯涌出量与落煤量的比值。德国研究表明,如果 V_{30} 值达到崩落煤可解吸瓦斯量的40%,则说明存在突出的可能性,如果达到60%则表示有突出危险性。国内煤科总院重庆院、煤科总院抚顺院利用WTC瓦斯参数仪和矿井环境监测系统,通过对煤巷掘进工作面瓦斯动态涌出的连续观测和分析,用掘进煤巷炮后 V_{30} 来反映瓦斯涌出量的上升幅度,并将其作为一项突出预测指标。俄罗斯斯科钦斯基矿业研究院根据连续监测掘进煤巷每个落煤循环的瓦斯涌出数据,采用相对均方差根偏差公式计算瓦斯涌出变动系数 K_v ,表征瓦斯涌出增、减或“忽高忽低”的变化幅度。 K_v 是采用数理统计得出的反映连续测定值动态变化幅度的一个敏感指标,是均方差根对平均值的相对变化量,当工作面瓦斯涌出量偏离正常值时, K_v 将敏感地反映它的异常变化。原煤科总院抚顺院对我国北票局的初步研究表明, V_{30} 突出临界值为9 m³/t。煤科总院重庆院在芙蓉矿务局白皎