

在各种煤矿事故中,煤与瓦斯突出、冲击矿压、瓦斯爆炸、透水是造成一次性大量人员死亡的主要原因。目前,我国煤矿事故死亡率虽然呈下降趋势,但安全形势仍然堪忧,其中在煤矿灾害预测技术上的突破将发挥重要作用。

煤矿安全监测“入地难” 亟待深度破解

□本报见习记者 冯丽妃

据国家安全生产监督管理总局近日透露,我国前三季度煤矿事故死亡人数在1760人左右,比去年下降了27.6%。按此降幅,在未来两个月内,如果不发生重特大事故,今年的煤矿事故死亡人数有望下降到2000人以下。

然而,若未来两个月内发生煤矿事故的概率为零,2011年,我国每天仍有近5人在矿难中丧生,煤炭安全现状仍然堪忧。

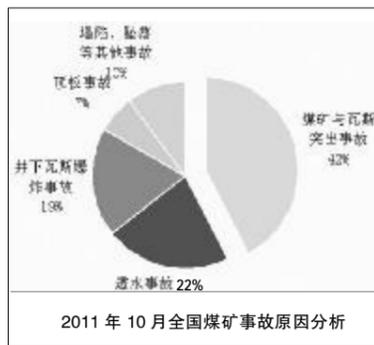
如何有效监测和预防煤矿事故,维护相关人员的安全,是我国煤矿开采所要解决的急迫问题。

煤矿安全形势依然严峻

据统计,我国10月份共发生12起煤矿事故,导致59人死亡,10人失踪。其中有3起事故死亡人数在10人以上,占当月事故遇难人数的69.5%。

10月4日,贵州安平煤矿发生煤与瓦斯突出事故,导致17人死亡;

10月11日,黑龙江省鸡东县金地煤矿发生透水事故,导致13人死亡;



10月16日,陕西省铜川市耀州区照金镇田玉煤矿井下瓦斯爆炸事故,导致11人死亡。

或许是巧合,这三起事故正好印证了中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会委员、河南理工大学教授刘明举所列举的矿难事故的主要原因。

“目前,在各种煤矿事故中,煤与瓦斯突出、瓦斯爆炸、透水是造成一次性大量人员死亡的主要原因。”刘明举对本报记者表示。

事实上,除了以上三起事故之外,10月27日发生的河南焦作九里山煤矿事故主要原因也已证实为煤与瓦斯突出所致。目前,该事故已造成8人死亡、10人失踪,搜救工作还在进行中。

据刘明举介绍,瓦斯与透水是煤矿事故的两大主要原因。其中,瓦斯问题本身并不会产生特别严重的灾害,但是由于煤岩动力灾害导致的瓦斯溢出,往往会造成伤亡人数很多的大事故。

煤岩动力灾害现象是指一切与煤层、岩石等快速破坏并伴随大量能量释放的地质动力现象。地震、滑坡、建筑物岩石混凝土结构的失衡、煤与瓦斯突出等现象均属于动力灾害现象。

在煤矿事故中,除了煤与瓦斯突出以外,煤岩动力灾害还可以导致冲击矿压、顶板灾害、突水等严重事故。它能在极短的时间内由煤体向巷道或采场突然突出大量的煤炭及涌出大量的瓦斯,或者造成其他大规模的破坏,是一种严重威胁煤矿安全生产的地质灾害。

“十一五”期间,煤矿事故死亡人数从5000~6000人之间下降到2433人,事故死亡率降低50%。

“进步很大,但是差距不小。”这是对我国煤矿安全现状的评价。如果从纵向发展的角度看,我们的进步很大。但是跟发达国家事故率相比,跟经济发展与老百姓对煤矿安全的要求相比,我们的安全度还有待提高。”刘明举说。

“狼来了”的故事时有发生

“由煤岩动力灾害引发的煤与瓦斯突出问题仍然是当今世界煤炭开采中所面临的一项技术难题。我国当前在煤岩动力灾害的问题机理、检

测技术、防治手段上还存在很多不足之处。”中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室主任窦林铭在接受本报记者采访时强调。

关于煤岩动力灾害的发生机理,国内外提出很多假说。其中以地应力、煤层瓦斯、煤的物理力学性质和时间四要素综合作用的流变—突变机理得到大多数煤矿专家的认可。

从20世纪60年代起,我国就对突出煤层的应力状态、瓦斯赋存状态、煤的物理力学性能等开展了一系列的研究,提出新的见解和观点。21世纪以来,我国已在煤岩动力灾害预测技术上取得重要成果。

针对我国地形结构复杂的特点,目前,煤矿开采已经建立了数字地震勘探、无线电波透视等瓦斯地质理论与物探技术相结合的多项技术;开发了具有信息输入、动态管理和空间分析功能的自动化、可视化的瓦斯突出区域预测信息平台;采用电磁波透视技术,成功研制出了探测煤层瓦斯灾害易发区的技术和装备,形成一套适用于瓦斯灾害易发区的判别方法。

为了减少瓦斯爆炸引发的煤矿事故,从20世纪50年代开始,我国就将瓦斯抽放作为治理煤矿瓦斯灾害的重要措施。2002年,国家煤矿安全监察局制定了先抽后采,以风定产,监测监控的煤矿瓦斯防治方针,强化了瓦斯抽放治理瓦斯灾害的地位。

“传统测试瓦斯浓度与煤矿灾害的方法是先打钻,然后用流量计测试瓦斯涌出的速度快慢并判断可能引发的事故;现在通过能量辐射技术,在地面上就可以看到矿井中的具体状况。降低了事故发生率。”中煤科工集团沈阳研究院总工程师王魁君告诉本报记者。

据王魁君介绍,我国目前有1/3的煤炭开采量在技术装备、管理水平、安全水平上都是世界一流的。但是由于我国经济增长对能源需求的压力,还有1/3处于高危地区的煤矿仍必须开采,而美国、欧洲有很多国家已经放弃了这些煤矿。

半个世纪以来,我国在煤岩动力灾害预防与治理方面已经取得了很大进展,但随着经济社会发展,煤炭需求量不断扩大,我国煤矿开采的深度也逐渐增大,这导致矿井瓦斯涌出量倍增,对



发生在今年7月2日的广西来宾金佛山矿难成功救出两名被埋188小时的矿工,创造了矿难救援史上的奇迹。图为救援人员正在进入矿井。新华社记者黄孝邦/摄

当前的监测预防技术形成严峻挑战。

“到底有没有危险,监测装置在煤矿开采前与开采中的预测时不准确的情况发生。就像‘狼来了’的故事一样,这种不准确就可能产生心理上的松懈,导致真的‘狼来了’(发生事故)。”刘明举说。

实时监控解决“入地难”

受地质条件影响,我国煤矿遭受的自然灾害种类较多,涉及开采沉陷地质灾害、滑坡、瓦斯与煤尘爆炸、矿井突水、井筒破裂、采矸废弃物污染和水土流失等。

“上天容易入地难”,这是煤矿工人都知道的一句话。随着采掘量的增多,煤矿开采深度年均加深了10~20米,这相当于为技术监测又添了一道屏障,增加了“入地”的难度。

对此,窦林铭认为,未来需要从提高监测监控系统、完善灾害治理措施以及改进生产装备等方面来提高煤矿开采的安全度。

“目前,监测系统的有效性还不像天气预报一样准确,准确率有待进一步提高。另外,煤矿安全监测又与天气预报不同,在预测之后,它重在采取措施避免灾害的发生。我们在防灾减灾的装备手段与技术方法上提高的空间仍然很大。”窦林铭说。

据他介绍,未来煤矿安全监测措施主要分为两大板块。一是“区域措施”,即对整个区域的地质机理与安全性能进行分析;二是根据具体条件采取“具体措施”,以提高监测预警的准确率。

“无论采取哪一种措施,都要保证全员、全方位、全天候的实时在线监测,做好预测预报工作。”刘明举说。

为应对采掘过程中的安全问题,我国已从澳大利亚引进煤矿矿井专用避难仓。避难仓配有空

气滤清系统,呼吸用气双重供给系统,非电力驱动降温系统和生物技术型卫生间装置,并能同时监控仓内外的瓦斯,可供24名矿工在紧急防爆、防火中生存避险4天。但这种避难仓成本很高,每个工人要花费10万~20万元,推广难度较大。

窦林铭强调:“通过监测预防措施来减少人员伤亡仍是煤矿安全的首要目标。灾害发生后,如何把危险降到最低也是迫切需要解决的问题。这些问题的解决需要科技提供更广泛持久的支撑。”

背景链接

事故死亡人数占世界的70%

尽管我国年度煤矿事故死亡人数呈逐年下降趋势,但事故死亡人数却占全世界煤矿死亡总人数的70%左右。

每天事故死亡218人

国家安监总局公布的统计数据,2010年全国各类生产事故死亡79552人,同比减少3648人,下降4.4%。但平均每天事故死亡218人,伤亡数字依然庞大。

中型煤炭企业科技贡献率36.2%

2010年中大型煤炭企业科技贡献率达到36.2%。“十一五”期间,全行业煤炭科技投入1149亿元,占总产值的2.75%。

煤矿百万吨死亡率0.74%

科技进步推动煤矿安全生产,我国煤矿百万吨死亡率已由2005年的2.77%下降到2010年的0.74%。今年前四个月又下降到0.466%,达中等发达国家水平。

观点

煤矿煤岩动力灾害监测预警技术进展

□何学秋

我国煤岩动力灾害世界第一

煤岩动力灾害,主要包括煤与瓦斯突出和冲击矿压。突出是采掘工作面周围煤岩向采掘空间高速喷出的一种动力灾害过程,高地应力和高压瓦斯是能量的主要来源。我国最大的突出灾害发生在四川三汇坝一井,在几分钟内突出煤炭12780吨,喷出瓦斯气体140万立方米。冲击矿压灾害是在高地应力作用下,采掘空间周围的煤岩体失稳破坏并向采掘空间高速运动的动力灾害过程,高地应力是主要能量来源。我国最大的冲击矿压发生在抚顺老虎台矿,震级达到里氏4.3级。

煤岩动力灾害除造成人员伤亡外,还严重摧毁巷道等采掘空间、破坏保障安全的通风系统。灾害过程伴随矿井瓦斯涌出异常,常诱发重特大瓦斯爆炸事故,造成群死群伤。2004年郑州大平矿死亡148人的瓦斯突出—瓦斯爆炸事故;2005年辽宁阜新孙家湾矿死亡214人的冲击—瓦斯爆炸事故;2009年黑龙江鹤岗新兴煤矿死亡108人的瓦斯突出—瓦斯爆炸事故。这类灾害严重威胁煤矿安全,是煤矿重大工程灾害。

我国是世界上煤岩动力灾害最严重的国家。截至2010年,我国已备案的煤岩动力灾害矿井达1420多个。由于种种原因,还有超过一倍数量的这类矿井没有备案。据不完全统计,我国已累计发生31000多次动力灾害,平均每年死亡近300人。目前,除海南、广东、福建、浙江、西藏等少数省区外,我国主要采煤省区不同程度地受到动力灾害的威胁,著名的平顶山、淮南矿区的动力灾害全部为突出矿井,兖州矿区主力矿井受冲击灾害威胁严重。

随着煤矿开采深度的不断加大,灾害更为严重,预防的难度也在不断加大。我国煤矿有重点矿平均采深700米,最深达1365米,煤层最大瓦斯压力达10兆帕。来自权威部门的统计表明,“十一五”期间,我国煤矿重、特大瓦斯突出事故的起数和死亡人数分别占40%和28.5%;2010年发生的11起重特大瓦斯事故中,煤与瓦斯突出事故6起,死亡150人,分别占54.5%和68.2%。从煤矿重特大事故看,煤与瓦斯突出事故的比例逐年上升,遏制煤与瓦斯突出等煤岩动力灾害事故是今后减少煤矿重特大事故的重中之重。

煤岩动力灾害预防是世界性难题

煤矿煤岩动力灾害的本质是含有高压瓦斯

的煤岩体在内部能量和损伤积累到一定条件下快速失去稳定性,坍塌并释放巨大能量的动力灾害过程,是一个极其复杂的非线性力学现象。受地质条件、采掘布局、开采技术条件和煤岩性质等多种因素的综合影响,其预防是世界性难题。世界主要产煤大国,不论是发达国家还是发展中国家,均深受其害。由于预防难度大,无法避免灾害造成人员伤亡,世界动力灾害严重的国家如美国、加拿大、英国、法国、德国、日本和苏联基本关闭了具有动力灾害,特别是瓦斯突出灾害的矿井。

我国主要产煤区均受动力灾害威胁。煤炭是我国主要能源,2000年以来,煤炭产量以每年超过GDP的速度增加,引领国民经济发展。为满足经济快速发展的需要,受动力灾害威胁煤矿仍需长期开采,如平顶山、淮南等。因此,有效预防煤岩动力灾害是我国煤矿必须面对的问题。

在我国,煤系地层受多次构造运动作用,地质条件复杂多变,动力灾害的预防难度极大、危险度高。煤矿瓦斯突出灾害预防难度大的另外一个原因是机理不清。长期以来,世界突出预防一直以苏联学者霍多特提出的综合作用定性假说为指导,它表明了突出主要受应力、煤层瓦斯和煤层物理力学性质等三个主要因素控制,并未揭示这些因素如何耦合并影响灾害动态演化过程。机理不清,使得预测准确率,防治措施针对性不强,导致事故经常发生,严重恶化煤矿安全环境。

煤岩动力灾害是突发性的动力灾害,其发生具有很强的时间、空间随机性和不确定性。现场实测突出危险参数、预测煤层突出危险性和实施放突措施不仅困难,而且非常危险。我国湖南、江西、贵州、四川、重庆、河南等严重突出矿区在预测预报和执行放突措施过程中经常发生突出事故。笔者在研究突出时,也常遇到这样的情况。在焦作中马村矿井下实验时遇到一次突出,当时在工作面前方实施突出危险钻孔时喷出近一吨煤粉,眼前什么也看不见,想跑都没法跑,后来喷孔停止了,才躲过一劫。在煤矿井下开展突出和冲击矿压研究,面临十分危险的环境,但越是危险的地方,越需要去考察、实测和分析。

传统的检测方式是通过向煤体打钻测试钻屑量、瓦斯参数的方法进行预测,测得的预测信息量少,准确率低,还时常发生低指标突出及高指标不突出的情况,更容易漏报、误报,造成严重后果。而且打预测钻孔时扰动煤体,常诱发突出事故,具有很大的危险性。

针对我国煤岩动力灾害预防存在的问题,我们在煤岩动力灾害演化过程及机理、煤岩动力灾害监测预警理论与技术等关键科学和工程应用难题进行了长期的攻关研究,取得了一些重要进展。

突出的流变—突变机理

在煤与瓦斯突出现象,笔者的博士生导师周世宁院士和笔者发现,突出区域的煤体存在向突出孔洞流动的现象。四川三汇坝特大瓦斯突出地点300米以外的地方有明显的流动痕迹。受此启发,我们用流变力学的方法对含瓦斯煤岩的流变破坏规律进行了深入研究。研究发现,含瓦斯煤岩体在高压应力作用下是强流变介质,应力、孔隙气体压力越高,吸附性越强,煤岩的流变性越强。根据流变力学理论和实验研究建立的含瓦斯煤岩三维流变本构方程揭示了应力、瓦斯压力、煤岩力学特性、时间四大要素之间的非线性演化关系,实现了对含瓦斯煤岩流变破坏过程的本构方程描述。

基于流变本构方程和突出现象,提出了煤与瓦斯突出的流变—突变机理。该机理说明,突出现象的本质是含瓦斯煤岩在应力、瓦斯、煤层物理力学性质和时间四大要素作用下的流变—突变破坏过程。含瓦斯煤岩流变破坏速度和能量分布是否异常,是突出能否发生的关键。煤与瓦斯突出灾害在时间上,具有突出的孕育准备、发动、发展和结束四个阶段。

突出的流变—突变机理告诉我们,煤与瓦斯突出是含瓦斯煤岩体流变破坏动态化后发生突变的结果,这是有效预测和防治突出的最根本基础。要准确预测突出,给出早期预警,必须找到监测流变破坏过程的工具。“卸应力、抽瓦斯、控流变、防突变”是流变—突变理论揭示的防治突出灾害的基本原则,已被突出矿井防突工程普遍采用,效果显著,并被《煤矿防治煤与瓦斯突出规定》采纳。例如,沈煤集团红菱矿12号煤层突出严重,按照卸应力、抽瓦斯、控流变、防突变的原理,开采与之相距16米、厚度仅40厘米的11号煤层,同时采一米厚岩石,采后消除了12号煤层的突出危险,确保了安全高效开采。

该理论的重要理论意义在于,它解释了以前无法解释的延期突出、硬煤突出、突出过程瓦斯喷出量远大于抛出煤瓦斯含量等突出现象。延期突出是含瓦斯煤岩流变发展到突变的阶段;只要条件具备,硬煤也会发生突出;突出过程中,整个流变区域瓦斯是突出瓦斯的重要补给源。这对于准确评价煤层突出危险性、准确预测突出危险区域具有重要意义。大量现场实际突出现象验证了流变—突变机理。如奇河矿2008年“5·20”突出事故等,验证了硬煤突出的结论;应用该理论查明了大平矿“10·20”特大瓦斯事故原因是延期突出。

电磁辐射监测预警技术装备与方法

煤岩动力灾害的本质是煤岩体经过流变破裂演化过程而发生的瞬间突变行为。实现含瓦斯煤岩流变破坏过程及状态的实时监测,及时掌握采掘空间含瓦斯煤岩体发生动力灾害的危险,是突出灾害预防工程、技术及研究人员的梦想,但一直没有得到很好的解决。

笔者在含瓦斯煤岩流变破坏实验过程中发现,流变破坏过程伴随产生电磁辐射现象,并从1992年起开始专注于这一方向的研究。通过大量的实验室实验和煤矿井下工程实测,发现电磁辐射是煤岩流变—突变破坏过程中的一种能量辐射形式,它与应力、瓦斯压力密切相关。应力和瓦斯压力越高,煤岩体变形破裂越强烈,电磁辐射越强。因此,可以用电磁辐射监测煤岩体流变—突变形成灾害的过程,实现动力灾害的早期预警。

研究结果表明,煤岩电磁辐射信号是频谱范围宽、强度弱的脉冲信号。如何在煤矿井下实测到这些非常微弱的信号,面临着很多难题。一是缺乏专用的工程监测仪表;二是地面的监测仪表无法直接下井,需要解决仪器防水、防尘和防爆的问题;三是煤矿井下采掘空间也有很多机电设备,其工作时产生的电磁干扰信号很强。通过多年的努力,笔者与科研团队成功发明了具有完全自主知识产权的、主要由高灵敏度宽带定向接收天线和智能监测主机组成的系列化煤岩流变破坏电磁辐射监测装备,为煤岩流变破坏过程监测和煤岩动力灾害监测预警提供了基础工具和应用装备。该装备成功解决了抗干扰、防爆、防尘、防水等难题,与软件配套解决了复杂信号滤波、多源信息自动处理、生产工艺干扰信号和有效信号等自动监测辨识问题。该装备通过了国家相关机构的检测检验和认证。

在进行电磁辐射监测预警煤岩动力灾害工程验证及工业性试验的过程中发现,同传统钻孔检测技术一样,存在着预警临界值难以确定和临界值法预警准确率低等问题。通过钻孔指标、动力显现和实际发生的动力现象进行对比和统计确定预警临界值是非常困难的,而且周期很长。因此,需要从理论上解决监测预警的指标、方法和临界值确定等问题。

我们基于电磁辐射实验规律和损伤力学理论,建立了煤岩流变破坏力—电耦合理论模型。它建立起电磁辐射与应力、破裂间的理论对应关系;基于煤岩动力灾害流变—突变规律和煤岩力—电耦合模型建立了煤岩动力灾害电磁辐射监测预警准则,确定了临界值与动态趋势相

结合的预警方法,并得出煤岩动力灾害危险临界条件的无量纲值域,实现了对煤岩动力灾害无危险、危险和强危险的三级预警,解决了预警临界值难以确定的问题,改变了过去只依靠临界值法预警而准确率低的历史,显著提高了预警准确率。

电磁辐射监测装备实现了非接触式、定向、实时监测与预警,实现了煤岩动力灾害全过程及全空间的实时监测,监测信息量和准确率显著提高,操作非常简便。该项技术成果被列入《国家科技成果重点推广计划》和国家《安全生产重点推广技术目录》,在全国近百家矿山获得应用,在全国7所高校用于煤岩电磁辐射实验及应用研究。已经在50%以上的国有重点突出煤矿区进行了应用,在我国90%以上有冲击矿压危险区域进行了工程应用,成为冲击矿压的主要监测预警手段,有效预防了煤矿冲击矿压伤亡事故。如在徐州三河尖煤矿,近60%可采煤层区域受冲击矿压威胁,有些采区因冲击矿压灾害严重,又没有可靠的检测预警手段,矿工不敢下井而被迫停止开采。电磁辐射预警技术应用到该矿,实现了可靠预警,对有冲击矿压危险区域采用卸压措施,消除了冲击矿压危险,保证了安全回采。在该矿冲击矿压灾害最严重的7204工作面回采过程中,电磁辐射监测预警系统成功预警到了38次冲击矿压危险并被验证。

此外,该技术装备还被用于隧道稳定性评估。重庆朝天门隧道顶部建有两座36层大楼,1999年发现隧道有渗水、开裂等不稳定性征兆,采用电磁辐射等技术实测评估围岩确实存在发生动态破坏,并确定了危险位置,后期实施了加固工程。电磁辐射监测预警系统在冲击矿压比较严重的波兰ZOFIOWKA煤矿进行了成功的应用。在岩爆严重的加拿大IAMGOLD金矿也进行了成功的应用。

电磁辐射监测预警技术及装备,为研究煤岩破坏规律提供了一种新的有效监测和辨识方法,实现了对煤岩流变破坏过程的非接触连续监测,对实现煤岩动力灾害监测预警信息化、智能化,提高预警的可靠性具有重要促进作用。在矿山和地下工程方面也有广泛的应用前景。

煤岩动力灾害非常复杂,随着采深加大、地质环境和采矿活动的变化,其监测预警难度更大。笔者只是在这一领域做了一些初步的开创性工作,煤岩动力灾害的准确监测预警和有效防治任重道远,还需要更艰苦的研究探索。

(作者系中国安全生产科学研究院教授)