



曹偲. 近10年我国煤与瓦斯突出事故统计规律与动力效应特征分析[J]. 矿业安全与环保, 2024, 51(3): 36-42.  
CAO Jie. Analysis of the statistical laws and dynamic effect characteristics of coal and gas outburst accidents in China in recent 10 years[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2024, 51(3): 36-42.  
DOI: 10.19835/j.issn.1008-4495.20240446

扫码阅读下载

# 近10年我国煤与瓦斯突出事故统计规律与动力效应特征分析

曹偲<sup>1,2</sup>

(1. 煤矿灾害防控全国重点实验室, 重庆 400037; 2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037)

**摘要:** 挖掘历史事故案例特征可为准确认识煤与瓦斯突出机理及灾害防控预警提供更多支撑。分析近10年发生的煤与瓦斯突出事故统计数据尤其是较大及以上事故案例, 探究突出发生规律及动力效应特征。结果表明: 近年来重大以上突出事故基本杜绝, 但事故死亡人数占煤矿事故总死亡人数的比例仍较高, 其平均死亡人数为煤矿事故的2.9倍; 事故发生地点以煤层平巷为主, 占比为43.2%; 综掘机割煤作业时诱导突出事故比例显著上升, 近5年占比为57.0%; 与其他地质构造相比, 断层、煤层厚度变化易导致突出发生, 褶曲构造附近的平均突出强度最大, 其中38起事故平均突出强度与瓦斯涌出量分别为521.34 t、3.55万 m<sup>3</sup>, 重大及以上事故突出强度与吨煤瓦斯涌出量均呈波动减小趋势; 钻孔喷孔是最为常见的突出预兆, 合理利用钻孔信息进行灾害探测及预警是重要的发展方向。证实了突出动力效应在巷道空间发展演化的3个阶段, 瓦斯逆流不仅会通过防突风门进入进风巷, 也可能沿回风路线进入其他采掘作业面。

**关键词:** 煤与瓦斯突出; 事故统计; 发生规律; 动力效应; 事故案例

**中图分类号:** TD713.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-4495(2024)03-0036-07

## Analysis of the statistical laws and dynamic effect characteristics of coal and gas outburst accidents in China in recent 10 years

CAO Jie<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Prevention and Control, Chongqing 400037, China;  
2. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China)

**Abstract:** The excavation of historical accident cases characteristics can improve the understanding of the outburst mechanism and contribute the disaster prevention and control practice. This paper analyzed the patterns and dynamic characteristics of coal and gas outburst accidents by collecting statistical data which occurred in the past ten years. The results show that, in recent years, major outburst accident had been basically eliminated. However, the proportion of casualties by outburst accidents out of the total number of coal mine accidents remains high. The average number of deaths in outburst accidents being 2.9 times that of the average coal mine accidents. The locations of accidents are mainly on coal seam roadways, which account for 43.2%. The outburst accidents induced by coal cutting with fully mechanized excavators has increased significantly by around 57.0% in the past five years. Compared with other geological structures, the faults and changes in coal

thickness are more likely to trigger outburst accidents. The average outburst intensity near a fold structure is the highest. The average outburst intensity and gas emission of 38 accidents are 521.34 t and 35 500 m<sup>3</sup> respectively. As the data suggests, the outburst intensity and gas emission per ton of coal in the major outburst accidents both showed a fluctuating downward trend. Borehole spraying is the most common indicator of outbursts, and rational utilization of borehole information for disaster detection and early

收稿日期: 2024-05-14; 2024-06-03 修订

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(52104239, 52274246); 重庆市自然科学基金项目(cstc2021jcyj-msxmX1149); 天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2023-2-TD-ZD001)

**作者简介:** 曹偲(1988—), 女, 四川岳池人, 博士研究生, 副研究员, 主要从事煤岩瓦斯动力灾害方面的研究工作。E-mail: cqcaoj@126.com。

warning is an important development direction. The three stages of the development and evolution of outburst dynamic effects in roadway space have been confirmed. Gas counterflow can not only occur through the outburst prevention airlocks into the intake roadway, but may also enter other mining and excavation working faces along the return air route.

**Keywords:** coal and gas outburst; accident statistics; occurrence patterns; dynamic effects; accident cases

大地构造决定了我国煤田地质条件复杂,灾害防控难度大。随着我国相关法律法规的健全、安全技术水平的快速发展及对落后产能的淘汰,煤矿事故情况持续好转。百万吨死亡率由 2000 年的 5.280 下降至 2023 年的 0.094<sup>[1]</sup>。尽管事故起数和死亡人数逐年下降,但煤矿安全生产水平与美国、澳大利亚等国家相比,仍有较大差距。最新数据显示,我国有 1 128 座灾害严重生产煤矿<sup>[2]</sup>,煤矿安全形势依然严峻。

煤与瓦斯突出(以下简称“突出”)至今仍是我国煤炭行业安全防控的难点之一<sup>[3]</sup>。突出发生时,在短时间内采场或巷道空间会抛出大量的煤炭并涌出大量瓦斯,产生巨大的动力效应,摧毁设施,造成井下作业人员伤亡;甚至还会致使风流发生逆转,诱发瓦斯爆炸等次生灾害,导致更大范围的伤亡。统计分析 2000 年以来发生的 9 起特别重大突出事故:单一突出事故共 6 起,平均死亡约 37 人/起;其余 3 起为突出诱发的次生灾害事故,平均死亡高达 100 人/起。煤与瓦斯突出过程十分复杂、影响因素众多,目前对突出机理的研究仍停留在定性解释和近似定量计算的综合作用假说阶段,难以解释所有的突出动力现象<sup>[4-5]</sup>。一直以来,事故统计分析都是认识突出机理的重要手段。刘明举<sup>[6]</sup>、赵旭生<sup>[7]</sup>、李波<sup>[8]</sup>、张超林<sup>[9]</sup>等分别对 2001—2008、2007—2008、2001—2012、2000—2020 年我国煤矿突出事故的基本特征及发生规律进行了统计分析,得到突出事故发生的基本特征:等级方面,较大事故多发且造成的死亡人数最多;地域分布方面,呈现南多北少、南重北轻特征;早期事故主体多为非国有乡镇小煤矿;高瓦斯矿井突出危险性增高。

这些分析主要基于事故起数与死亡人数,形成了突出发生规律的基本认识,在一定程度上可指导灾害防控措施的制订。随着安全监控技术的发展及《生产安全事故报告和调查处理条例》<sup>[10]</sup>的发布实施,更多的监测数据和事故调查报告可被用于分析研究。借助历史事故案例特征的挖掘可为准确认识突出机理及灾害防控预警提供更多支撑<sup>[11-12]</sup>。笔者根据中华人民共和国应急管理部、各省市安全生产信息网、国家煤矿安全监察局网站及相关文献资料,收集了近 10 年(2014—2023 年)发生的较大及

以上突出事故的统计数据和部分事故案例,从事故起数、死亡人数、作业方式、煤层赋存条件、突出强度,以及动力效应表现特征等多角度,分析突出发生的规律及动力效应特征,为突出防治及防控措施制订等提供依据。

## 1 突出事故总体情况

### 1.1 事故起数与死亡人数

2014—2023 年,我国煤与瓦斯突出事故情况如图 1 所示。

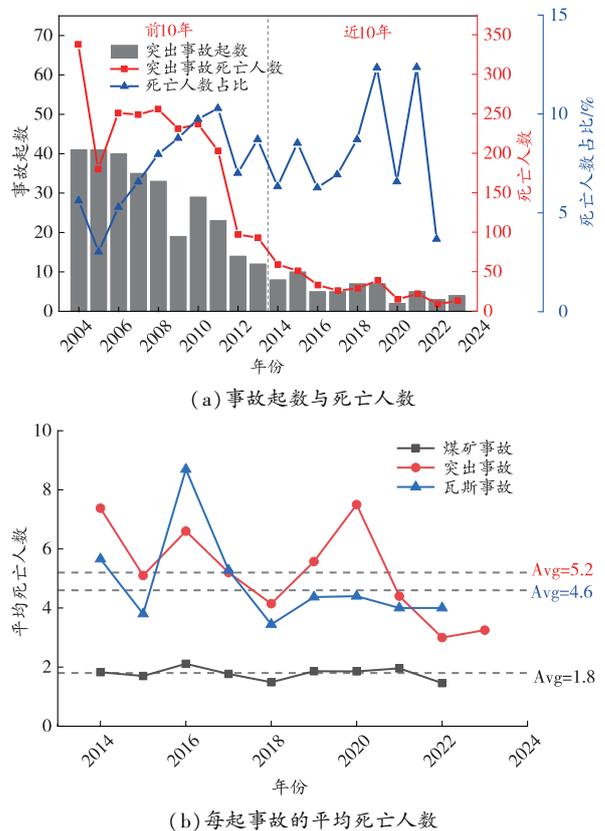


图 1 突出事故概况统计<sup>[7]</sup>

Fig. 1 Statistics of outburst accidents

由图 1(a)可知,2014—2023 年,我国共发生突出事故 56 起,死亡 296 人,对比前 10 年(2004—2013 年)分别下降了 80.50%、86.10%。2016 年以后,年事故起数降至 10 以下,年死亡人数少于 40,每年最多 1 起或无重大事故发生。但近 10 年突出事故死亡人数在煤矿事故总死亡人数中的占比仍较高(平均 7.97%),2019、2021 年分别为 12.34%、12.36%。

由图 1(b)可知,近 10 年每起突出事故平均死

亡 5.2 人,平均死亡人数从 2014 年的 7.4 人/起降至 2023 年的 3.3 人/起,呈波动式降低。每起事故平均死亡人数总体上仍大于瓦斯事故,是煤矿事故的 2.9 倍。说明煤矿安全形势整体向好,但突出事故仍然是煤矿灾害防治的重中之重。

### 1.2 事故等级及地域分布规律

相关学者对 2011—2020 年我国煤与瓦斯突出事故的等级、地域及发生时间分布规律进行了统计分析<sup>[7]</sup>;较大突出事故的起数与死亡人数持续占据主导地位,重大以上事故平均每年 1~2 起,一般突出事故时有发生;突出事故具有“范围广、分布较为集中且南多北少、南重北轻”的地域分布特点,其中贵州、湖南、云南、河南 4 省最为严重,事故起数和死亡人数的占比分别为 68.00%、79.00%。

2021 年至今,突出事故发生情况见表 1。事故发生规律基本一致,其中较大事故仍然占主导地位,重大以上事故基本杜绝,仅 1 起重大事故发生于 2024 年 1 月。

表 1 2021 年 1 月—2024 年 3 月突出事故统计  
Table 1 Statistics of outburst accidents from January 2021 to March 2024

年份	一般事故		较大事故		重大及以上事故		合计	
	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数
2021	2	2	3	20	0	0	5	22
2022	2	1	1	8	0	0	3	9
2023	2	0	2	13	0	0	4	13
2024	0	0	0	0	1	16	1	16

贵州省由于其煤层瓦斯赋存情况复杂、灾害治理难度大,仍然是突出事故最为严重的地区<sup>[13]</sup>,3 年间发生 4 起,平均事故死亡人数 6 人/起。同时,随着安全防护技术的不断发展,灾害应急救援能力进一步提升。近年来有 4 次突出事故避免了人员伤亡,其中,2021 年 6 月 5 日黑龙江滴道盛和煤矿立井发生突出事故,突出煤炭 793.80 t、涌出瓦斯约 1.02 万 m<sup>3</sup>,8 名矿工被困,经全力救援,被困矿工全部获救<sup>[14]</sup>。

## 2 较大及以上突出事故典型特征

### 2.1 事故地点、作业方式及赋存特征

由 2020 年以前突出事故数据<sup>[7]</sup>和表 1 统计数据可知,近 10 年我国共发生较大及以上煤与瓦斯突出事故 44 起、死亡 288 人,其中重大事故 9 起、死亡 110 人,无特别重大事故发生。

不同地点突出事故起数与死亡人数统计情况见表 2。

表 2 不同地点突出事故起数与死亡人数  
Table 2 The number of outstanding accidents and the number of deaths in different locations

事故地点	事故起数	死亡人数	平均每起死亡人数
煤层平巷	19	128	6.7
石门	5	21	4.2
开切眼	4	30	7.5
采面	4	27	6.8
上下山	3	24	8.0
主斜井	3	15	5.0
底板瓦斯抽放巷	2	13	6.5
其他地点	3	22	7.3
不明确	1	8	8.0
小计	44	288	6.5

由表 2 可知,事故发生地点主要在煤层平巷,共 19 起(其中重大事故 5 起),占 43.2%,平均每起事故死亡约 7 人;其次为石门与开切眼、采面。然而,平均事故死亡人数较多的地点为上下山、开切眼及其他工作面(泵房管子道、水仓等),主要是由于越界、违规开采,未进行瓦斯抽采作业等违规作业行为,以及遇断层等复杂地质条件导致。同时,近 5 年(2019—2023 年)由于煤矿机械化智能化的发展,57.0%的突出事故发生在综掘机割煤作业环节,1 起发生在放炮作业期间,1 起事故发生的作业环节不明;对比 2014—2018 年,仅 9.7%的突出事故发生在综掘机割煤作业,而 32.0%以上发生在放炮作业,3 起事故发生情况不明。

统计近 10 年 22 起事故地点埋深数据:平均埋深 477.81 m;400~600 m 的 8 起,超过 600 m 的 6 起。收集了 7 座高瓦斯、低瓦斯矿井由于瓦斯频繁超限未引起重视,超过突出危险性鉴定范围组织生产,以及出现突出预兆仍未采取有效防突措施等原因发生突出事故的案例:死亡 63 人,突出煤炭 132.00~820.00 t,吨煤瓦斯涌出量为 23.40~122.30 m<sup>3</sup>/t,平均 59.37 m<sup>3</sup>/t。

众多学者认为地质构造是诱导突出的重要因素,而地质构造往往又会导致应力、瓦斯及煤层强度、厚度或倾角的异常变化<sup>[15-16]</sup>。收集了近 10 年 25 起事故发生地点附近有断层、褶曲等典型地质构造的案例,占较大及以上事故的 56.8%,见表 3。其中,在 16 起与厚度变化有关的突出事故中,5 起与断层、5 起与褶曲、1 起与火成岩入侵有关。而褶曲构造突出时的平均突出强度最大,达到 1 164.88 t。地质构造与煤层赋存异常极易导致突出防治措施不可靠及突出预测不准确。例如 2014 年贵州新田煤矿突出事故:回风巷掘进过程中遇背斜、煤层变厚,最大瓦斯含量达到 20.59 m<sup>3</sup>/t,工作面施工进入复杂

地质构造带,而未调整区域防突措施,钻孔覆盖面未达到要求,煤体实际未消突,在综掘机割煤过程中发生突出,突出煤炭约 2.5 万 t。

表 3 地质构造与煤层赋存异常  
Table 3 Geological structure and coal seam occurrence anomaly

类 型	事故起数	死亡人数	平均突出强度/t
地质构造	断层	14	98
	褶皱	5	41
	火成岩入侵	2	19
煤层赋存异常	厚度变化	16	116
	倾角变化	1	4

### 2.2 突出强度与瓦斯涌出量

收集了近 10 年 38 起事故(占比 86.4%)的突出强度与瓦斯涌出量数据。平均突出强度与瓦斯涌出量分别为 521.34 t、3.55 万 m<sup>3</sup>。瓦斯涌出量与突出强度关系如图 2 所示。平均瓦斯涌出量为 65.17 m<sup>3</sup>/t,其中 7 起事故瓦斯涌出量大于 100.00 m<sup>3</sup>/t,6 起事故瓦斯涌出量小于 30.00 m<sup>3</sup>/t。

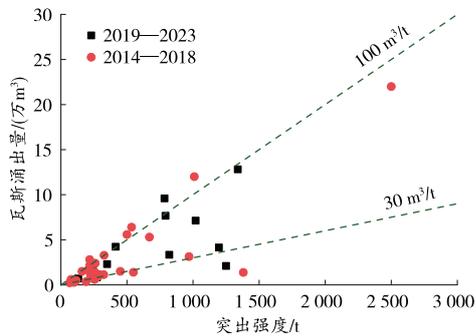
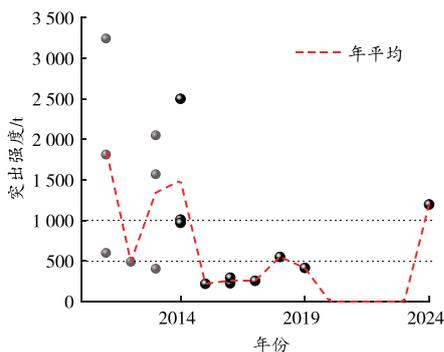


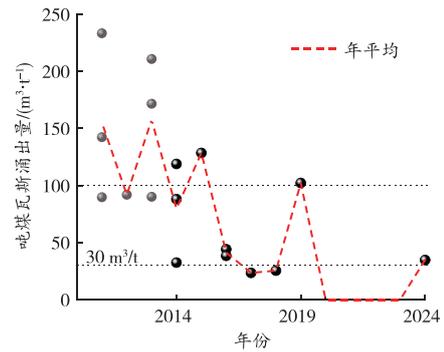
图 2 瓦斯涌出量与突出强度的关系

Fig. 2 The relationship between gas emission quantity and outburst intensity

近 10 年重大突出事故情况如图 3 所示,平均突出强度与吨煤瓦斯涌出量分别为 714.80 t、66.77 m<sup>3</sup>/t,均呈波动式减小趋势。2015 年以来,突出强度基本小于 500 t。



(a) 突出强度



(b) 吨煤瓦斯涌出量

图 3 近 10 年重大突出事故情况

Fig. 3 Major outburst accidents in the past ten years

### 2.3 突出前的预兆

调查发现,近 10 年来有 24 起事故(占比 54.5%),事故前作业过程出现典型突出预兆包括瓦斯超限、忽大忽小等异常涌出,以及打钻施工过程喷孔、顶钻、夹钻、响煤炮等,且多数事故同时出现多种类型的预兆现象,具体情况见表 4。

表 4 突出前的预兆案例起数

Table 4 The number of omen cases before the outburst

单位:起

年 份	瓦斯涌出		钻孔施工			其他	
	增大/ 超限	忽大 忽小	喷孔	顶钻	夹钻	响煤 炮	片帮
2019—2023	2	0	5	2	2	4	2
2014—2018	5	1	10	5	8	7	4

由表 4 可以看出,钻孔喷孔是最常见的突出预兆,其次是响煤炮、夹钻等。共有 6 起事故在发生前出现片帮现象,这些事故突出强度与瓦斯涌出量普遍较小,平均突出强度 368.17 t、平均瓦斯涌出量 40.27 m<sup>3</sup>/t。现有突出预测预警手段多以瓦斯参数(瓦斯含量、瓦斯涌出量等)作为主要指标与依据。在实际工程中,喷孔、夹钻等现象较早就被工程技术人员视作突出预兆,来对灾害风险进行定性判识,但并未真正被应用于灾害预警系统中。随着煤矿智能化发展,灾害信息随钻感知与预警成为重要的发展方向。随钻感知技术能够实时捕捉煤岩的物理属性,建立钻孔表征参数与灾害响应特征之间的内在联系,为灾害随钻智能预警提供技术支撑。

## 3 突出典型动力效应的表现特征

### 3.1 突出动力效应的基本特征

突出发生时,煤中积聚的高压瓦斯会快速膨胀,并以极快的速度涌向采掘空间,先后形成突出

冲击波与突出煤—瓦斯两相流。突出煤—瓦斯两相流是突出过程中物质运移和能量释放的主要形式,是突出致灾的直接诱因<sup>[17-18]</sup>。因此,突出典型动力效应的表现特征包括冲击波、煤岩抛出、瓦斯逆流等。

早期,受技术条件与监测手段限制,有关突出过程动力效应的现场描述与图片资料较少,仅能通过突出后突出孔洞、煤粉堆积特征等来对突出过程进行描述、反演。据不完全统计,2014年以来有7起事故过程中有突出冲击波描述,见表5。

表5 突出事故发生过程中的冲击波  
Table 5 The outburst shock wave during the accidents

年份	事故矿井	突出煤 炭/t	瓦斯涌出 量/(万 m <sup>3</sup> )	方式	冲击波描述
2024	河南平煤十二矿	1 196.0	4.15	视频图像	事故地点前矿车受冲击向前转移
2022	贵州利民煤矿	792.0	7.66	调查报告	放炮后感受到明显冲击波 <sup>[19]</sup>
2021	贵州东风煤矿	1 250.0	2.10	调查报告	冲击波将进入 10901 运输巷准备吊挂电缆的杂工冲倒 <sup>[20]</sup>
2020	陕西乔子梁煤矿	820.0	3.34	监控数据	主要通风机负压传感器发生负压突变
2019	贵州三甲煤矿	784.0	9.59	监控数据	总回风井的风压发生突变
2017	河南薛湖煤矿	116.0	0.49	调查报告	张某忽然听到“轰”的一声,一股冲击波将他从综掘机座位上冲到转载胶带下面 <sup>[21]</sup>
2016	吉林松树镇煤矿	293.0	1.12	调查报告	刘某突然感到背后一股冲击波,随后看到煤尘飞扬,自身携带的瓦斯报警仪报警,浓度达到极限值 4% <sup>[22]</sup>

由表5可以看出,即使较小的吨煤瓦斯涌出量(2021年贵州东风煤矿事故,16.80 m<sup>3</sup>/t)或突出强度(<300.00 t)也会产生突出冲击波。多起事故由于瓦斯逆流到其他作业工作面,扩大了事故面,造成人员窒息死亡。随着监控视频、高稳定性传感器的应用,可直接观察到突出过程冲击波冲击矿车、突出煤抛出等现象,并获得瓦斯浓度、风压等数据。

### 3.2 典型案例

#### 3.2.1 案例1:2024年1月12日,河南平煤十二矿煤与瓦斯突出事故

事故发生地点在已15-31090进风巷外段掘进工作

面。突出煤炭1 196.28 t,瓦斯涌出量约41 468.52 m<sup>3</sup>,发生了瓦斯逆流现象。事故造成16人死亡,其中有8名遇难者位于已15-31090回风斜巷两道风门之间,死亡原因为瓦斯浓度过高而窒息。事故有明显的动力现象:距突出点向外15 m范围内顶板锚杆和锚索外露部分受突出物冲击向外弯曲,突出点锚网向外翻转,距离突出点40 m处发现了被推移的约0.70 t大块煤。

工作面前方20 m处布设有工业监控视频,通过视频可直接观察到冲击动力现象。将视频逐帧回放,抽取各时间段图片,如图4所示。

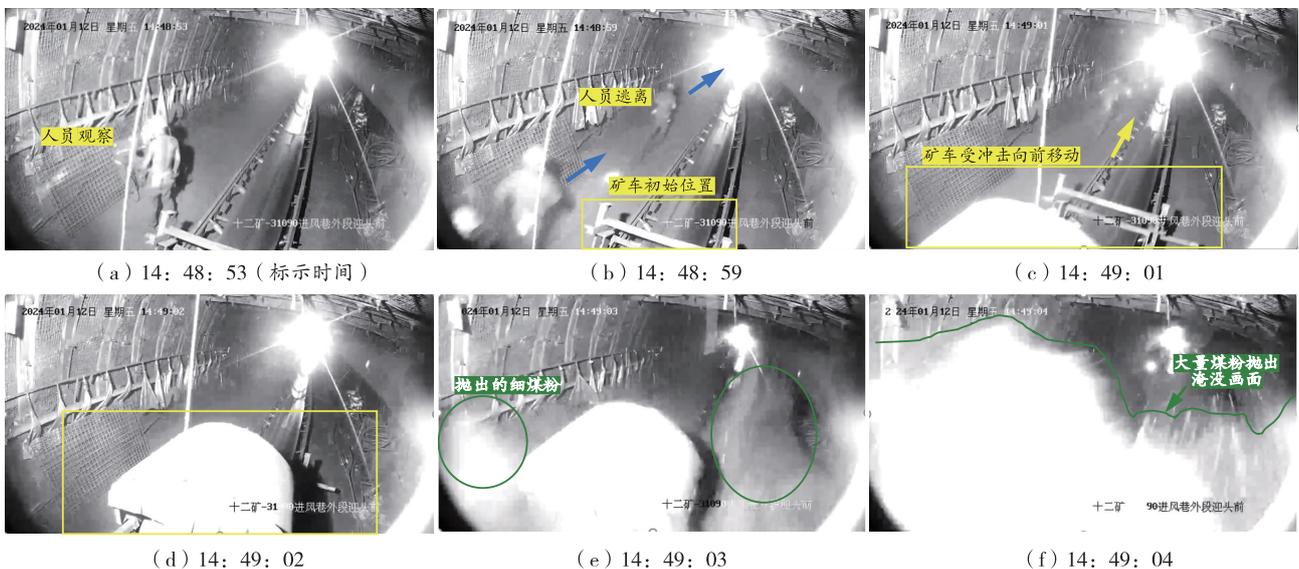


图4 事故发生地点视频监控画面  
Fig. 4 Video surveillance footage of accident site

据事故鉴定专家分析发现,视频中标示的时间比北京时间滞后 10 s。因此,北京时间 14:49:03 时,作业人员已判识到危险并向外逃离;14:49:09—14:49:12,可以观察到视频图片下方的矿车在冲击气流的作用下向前滑移;14:49:13 时,观测到突出煤粉开始从事故地点向巷道空间运移;14:49:14 时发生突出,煤粉淹没整个画面。而根据矿井安全监测系统显示,工作面甲烷传感器 T1、T2 均在北京时间 14:51:47 超限断电。

### 3.2.2 案例 2:2019 年 11 月 25 日,贵州三甲煤矿煤与瓦斯突出事故

事故发生地点位于 41601 运输巷掘进工作面,已掘 891 m,抛出煤炭约 784.00 t,瓦斯涌出量约为 9.59 万 m<sup>3</sup>。突出发生了瓦斯逆流,工作面锚网被破坏、折弯。监控系统监测到突出后风压、风速、瓦斯浓度等参数发生了变化。

#### 1) 风压及风速

突出发生后,巷道空间内的气体压力与流速发生了变化,如图 5 所示。

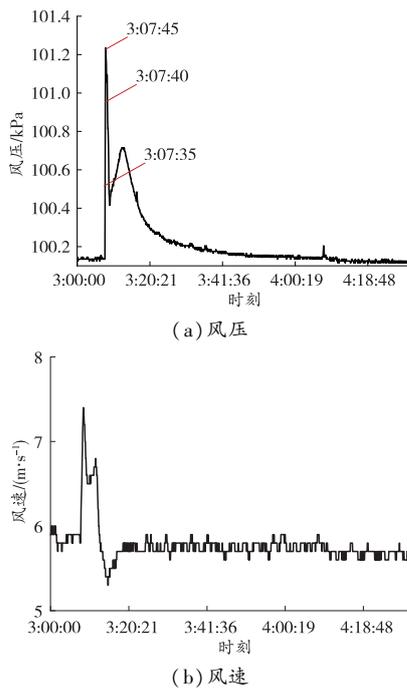


图 5 总回风风压与风速

Fig. 5 Total return wind pressure and wind speed

由于该矿为负压通风,突出瓦斯运移方向与回风井风流方向一致。因此,在突出发生时回风井风压、风流速度呈快速增大后缓慢降低的趋势。同时,监控系统数据显示总回风风压、主井风速、副井风速在 3:07:35 发生异常变化。

#### 2) 瓦斯浓度(CH<sub>4</sub> 体积分数)

突出发生后,大量涌出的瓦斯向巷道空间运移,波及 41601 运输巷(事故巷道)、41601 回风巷、41503 运输巷、41502 回风巷及整个回风系统巷道。

部分巷道瓦斯浓度如图 6 所示。

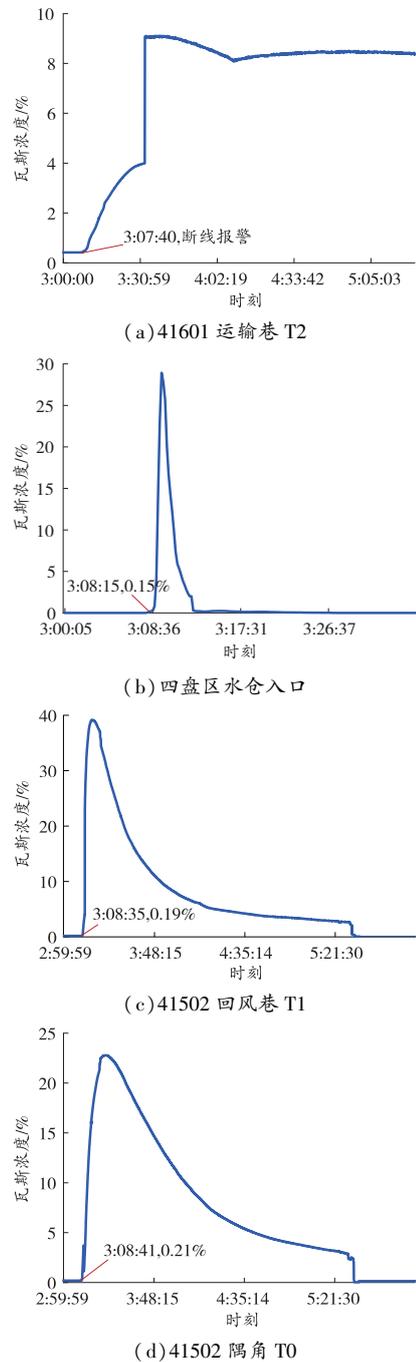


图 6 巷道内的瓦斯浓度

Fig. 6 The methane concentration in roadways

由图 6 可以看出,41601 运输巷掘进工作面 T2 甲烷传感器于 03:07:40 时断线报警,瓦斯浓度持续保持在 8.00% 以上。3:08:05 时运移至事故巷道末端风门进风侧,由于风筒及刮板输送机处漏风等原因,突出时瓦斯浓度急剧上升至 28.93% 后快速降低。另外 2 条掘进巷道(41601 回风巷、41503 运输巷)瓦斯浓度也受突出影响先急剧上升后下降,持续时间 20 min 左右。突出高浓度瓦斯沿 41502 回采工作面的回风巷(3:08:35)逆流至工作面上隅角(3:08:41),

回风巷瓦斯浓度最高达到 39.16%，上隅角最高达到 22.78%。说明瓦斯不仅会通过防突风门进入进风巷发生逆流，还可能会沿回风路线逆流进入其他采掘作业面。

综上所述，先进的矿井安全监控手段为突出动力效应研究带来了更多、更准确的现场数据。根据突出在巷道空间的发展情况可将整个动力效应过程划分为 3 个阶段：①突出瞬间，高速涌出的瓦斯气体压缩巷道内空气形成冲击气流与冲击波；②大量破碎煤体在瓦斯作用下被抛出，形成煤—瓦斯两相流；③突出孔洞稳定，不再有煤体抛出，突出孔洞周围瓦斯不断逸散涌出。

## 4 结论

1) 近 10 年，我国发生煤与瓦斯突出事故 56 起、死亡人数 296 人，相比前 10 年分别下降 80.5%、86.1%。但突出事故死亡人数比例仍较高，是煤矿事故平均死亡人数的 2.9 倍。突出事故仍然是煤矿灾害防治的重中之重。较大事故仍然占主导地位，重大以上事故基本杜绝，贵州省仍然是事故最为严重的地区。同时，随着安全防护技术的不断发展，灾害应急救援能力提升，4 次突出事故避免了人员伤亡。

2) 事故发生地点以煤层平巷为主，占 43.2%，其次为石门与上下山工作面；随着煤矿机械化发展，综掘机割煤作业环节诱导突出事故比例显著上升，2019—2023 年占比达 57.0%。与其他地质构造相比，断层、煤层厚度变化易发生突出，突出地点附近为褶曲构造时的平均突出强度最大。38 起事故平均突出强度与瓦斯涌出量分别为 521.34 t、3.55 万 m<sup>3</sup>。9 起重大突出事故中，突出煤炭与吨煤瓦斯涌出量均呈波动式减小趋势。钻孔喷孔是最常见的突出预兆，其次为响煤炮、夹钻。合理利用钻孔信息进行灾害的探测及预警是重要的发展方向。

3) 突出动力效应的表现特征包括冲击波、煤岩抛出、瓦斯逆流等。以典型案例分析证实了突出动力效应在巷道空间发展演化的 3 个阶段。瓦斯逆流往往会造成更大伤亡，瓦斯不仅会通过防突风门进入进风巷发生逆流，也可能会沿回风路线逆流进入其他采掘作业面。

## 参考文献 (References) :

[1] 国家统计局. 中华人民共和国 2023 年国民经济和社会发展统计公报 [N]. 人民日报, 2024-03-01 (10).  
[2] 国家矿山安全监察局. 全国灾害严重生产煤矿名单 [EB/OL]. [2024-04-30]. [https://www.chinaminesafety.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/tzgg/202404/t20240415\\_484910.shtml](https://www.chinaminesafety.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/tzgg/202404/t20240415_484910.shtml).  
[3] 王思元, 张国锐, 张超林, 等. 我国煤与瓦斯突出防治理论技术研究进展与展望 [J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 297-322.

WANG Enyuan, ZHANG Guorui, ZHANG Chaolin, et al. Research progress and prospect on theory and technology for coal and gas outburst control and protection in China [J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1): 297-322.  
[4] 李希建, 林柏泉. 煤与瓦斯突出机理研究现状及分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2010, 38(1): 7-13.  
LI Xijian, LIN Baiquan. Status of research and analysis on coal and gas outburst mechanism [J]. Coal Geology & Exploration, 2010, 38(1): 7-13.  
[5] 张超林, 王培仲, 王思元, 等. 我国煤与瓦斯突出机理 70 年发展历程与展望 [J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(2): 59-94.  
ZHANG Chaolin, WANG Peizhong, WANG Enyuan, et al. Coal and gas outburst mechanism: Research progress and prospect in China over the past 70 years [J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(2): 59-94.  
[6] 刘明举, 孟磊, 魏建平. 近年煤与瓦斯突出的统计特性及其防范措施 [J]. 煤矿安全, 2009, 40(7): 73-76.  
LIU Mingju, MENG Lei, WEI Jianping. Statistical characteristics of coal and gas outburst in recent years and its preventive measures [J]. Safety in Coal Mines, 2009, 40(7): 73-76.  
[7] 赵旭生, 邹云龙. 近两年我国煤与瓦斯突出事故原因分析及对策 [J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(1): 84-87.  
ZHAO Xusheng, ZOU Yunlong. Cause analysis and countermeasures of coal and gas outburst accidents in China in recent two years [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2010, 37(1): 84-87.  
[8] 李波, 王凯, 魏建平, 等. 2001—2012 年我国煤与瓦斯突出事故基本特征及发生规律研究 [J]. 安全与环境学报, 2013, 13(3): 274-278.  
LI Bo, WANG Kai, WEI Jianping, et al. On the basic characteristic features and incidental regularity of coal and gas outbursts in China since from 2001 to 2012 [J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(3): 274-278.  
[9] 张超林, 王思元, 王奕博, 等. 近 20 年我国煤与瓦斯突出事故时空分布及防控建议 [J]. 煤田地质与勘探, 2021, 49(4): 134-141.  
ZHANG Chaolin, WANG Enyuan, WANG Yibo, et al. Spatial-temporal distribution of outburst accidents from 2001 to 2020 in China and suggestions for prevention and control [J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(4): 134-141.  
[10] 郭玉梅, 王高峰. 生产安全事故调查处理中若干问题探讨: 兼论《生产安全事故报告和调查处理条例》有关规定 [J]. 华北科技学院学报, 2015, 12(6): 66-72.  
GUO Yumei, WANG Gaofeng. The problems on production safety accident investigation and handling: And the theory of production safety accident report and the investigation and handling rules [J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2015, 12(6): 66-72.  
[11] 司鹤, 赵剑楠, 胡千庭. 大数据理论下的煤与瓦斯突出事故致因分析 [J]. 西安科技大学学报, 2018, 38(4): 515-522.  
SI Hu, ZHAO Jiannan, HU Qianting. Analysis of causes of coal and gas outburst accidents based on big data theory [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2018, 38(4): 515-522.  
[12] 李全贵, 李建波, 胡千庭, 等. 基于案例推理的煤与瓦斯突出预警模型研究 [J]. 矿业安全与环保, 2023, 50(5): 24-29.  
LI Quanguai, LI Jianbo, HU Qianting, et al. Research on early warning model of coal and gas outburst based on case-based reasoning [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2023, 50(5): 24-29.  
[13] KONG B, CAO Z Y, SUN T, et al. Safety hazards in coal mines of Guizhou China during 2011-2020 [J]. Safety Science, 2022, 145: 105493.

(下转第 49 页)

- [3] 李雷雷. 煤矿瓦斯爆炸灾区次生爆炸规律及应急决策模型研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2019.  
LI Leilei. Research on secondary explosion rule and emergency decision-making model in coal mine gas explosion disaster area[D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2019.
- [4] 孟远, 谢东海, 苏波, 等. 2010 年—2019 年全国煤矿生产安全事故统计与现状分析[J]. 矿业工程研究, 2020, 35(4): 27-33.  
MENG Yuan, XIE Donghai, SU Bo, et al. Statistics and analysis of coal mine production safety accidents in China from 2010 to 2019 [J]. Mineral Engineering Research, 2020, 35(4): 27-33.
- [5] 王先梅. 基于贝叶斯网络的煤矿瓦斯爆炸事故情景分析[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
- [6] 宋英华, 刘子奇, 刘丹, 等. 基于模糊贝叶斯网络的化工园区火灾爆炸事故情景推演[J]. 安全与环境工程, 2022, 29(3): 86-93.  
SONG Yinghua, LIU Ziqi, LIU Dan, et al. Scenario deduction of fire and explosion accidents in chemical industry parks based on fuzzy Bayesian network[J]. Safety and Environmental Engineering, 2022, 29(3): 86-93.
- [7] 季嘉琪, 吕月颖, 苗德俊. 基于 BN-ELM 的煤矿瓦斯风险预测与可视化研究[J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(9): 103-106.  
JI Jiaqi, LÜ Yueying, MIAO Dejun. Research on coal mine gas risk prediction and visualization based on BN-ELM [J]. Shandong Coal Science and Technology, 2022, 40(9): 103-106.
- [8] 张永刚. 煤矿瓦斯爆炸事故原因分析及对策[J]. 科学之友, 2010(17): 21-23.  
ZHANG Yonggang. Coal mine gas explosion accident cause factor analysis and countermeasure [J]. Friend of Science Amateurs, 2010(17): 21-23.
- [9] 张宁. 基于贝叶斯网络的煤矿瓦斯爆炸风险判别与预警研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2020.
- [10] KAHN H, WIENER A J. The next thirty-three years: A framework for speculation [M]. Macmillan: New York, 1967.
- [11] GERSHUNY J. The choice of scenario [J]. Futures, 1976, 8: 496-508.
- [12] SCHOEMAKER P J H. When and how to use scenario planning: A heuristic approach with illustration [J]. Journal of Forecasting, 1991, 10(6): 549-564.
- [13] 刘铁民. 应急预案重大突发事件情景构建: 基于“情景-任务-能力”应急预案编制技术研究之一 [J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(4): 5-12.  
LIU Tiemin. Studies on scenes' construction of emergency planning: Part I of emergency planning technology based on "scene - task - ability" [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(4): 5-12.
- [14] 陈祖琴, 苏新宁. 基于情景划分的突发事件应急响应策略库构建方法[J]. 图书情报工作, 2014, 58(19): 105-110.  
CHEN Zuqin, SU Xinning. The model of constructing emergency response strategy library by scenario division [J]. Library and Information Service, 2014, 58(19): 105-110.
- [15] 方铖, 朱琳, 庄非凡, 等. 面向城市轨道交通突发事件的情景构建方法研究[J]. 交通工程, 2024, 24(2): 49-55.  
FANG Cheng, ZHU Lin, ZHUANG Yifan, et al. Research on scenario construction method for urban rail transit emergency [J]. Journal of Transportation Engineering, 2024, 24(2): 49-55.
- [16] 成连华, 李树刚, 林海飞, 等. 基于情景认知的煤矿瓦斯爆炸事故进程研究[J]. 煤矿安全, 2010, 41(9): 108-111.  
CHENG Lianhua, LI Shugang, LIN Haifei, et al. Study on process of gas explosion accident in coal mine based on situational cognition [J]. Coal Mine Safety, 2010, 41(9): 108-111.
- [17] 王先梅, 王珊珊. 基于情景分析的突发事件应急管理初探[J]. 科技创新与应用, 2016, 168(20): 292-293.  
WANG Xianmei, WANG Shanshan. Preliminary study on emergency management of emergencies based on scenario analysis [J]. Technology Innovation and Application, 2016(20): 292-293.
- [18] 付媵媵. 基于情景推演的非常规突发事件应急决策研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [19] 桂昊宇. 基于情景演化的高速公路重大突发事件应急决策研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [20] 曾小芹. 基于 Python 的中文结巴分词技术实现[J]. 信息与电脑(理论版), 2019, 31(18): 38-39.  
ZENG Xiaoqin. Technology implementation of Chinese jieba segmentation based on python [J]. China Computer & Communication, 2019, 31(18): 38-39.

(责任编辑: 陈玉涛)

(上接第 42 页)

- [14] 国家矿山安全监察局. 2021 年全国矿山较大涉险事故典型案例 [EB/OL]. (2022-03-16) [2024-04-30]. [https://www.chinamine-safety.gov.cn/xw/mkaqjcxw/202203/t20220316\\_409733.shtml](https://www.chinamine-safety.gov.cn/xw/mkaqjcxw/202203/t20220316_409733.shtml).
- [15] 程远平, 雷杨. 构造煤和煤与瓦斯突出关系的研究[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 180-198.  
CHENG Yuanping, LEI Yang. Causality between tectonic coal and coal and gas outbursts [J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1): 180-198.
- [16] 郭德勇, 揣筱升, 张建国, 等. 构造应力场对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 煤炭学报, 2023, 48(8): 3076-3090.  
GUO Deyong, CHUAI Xiaosheng, ZHANG Jianguo, et al. Controlling effect of tectonic stress field on coal and gas outburst [J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48(8): 3076-3090.
- [17] 许江, 程亮, 周斌, 等. 突出过程中煤-瓦斯两相流运移的物理模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(10): 1945-1953.  
XU Jiang, CHENG Liang, ZHOU Bin, et al. Physical simulation of coal-gas two-phase flow migration in coal and gas outburst process [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(10): 1945-1953.
- [18] 曹偈, 孙海涛, 戴林超, 等. 煤与瓦斯突出动力效应的模拟研究[J]. 中国矿业大学学报, 2018, 47(1): 113-120.  
CAO Jie, SUN Haitao, DAI Linchao, et al. Simulation research on dynamic effect of coal and gas outburst [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2018, 47(1): 113-120.
- [19] 国家矿山安全监察局贵州局. 贵州省贵阳市清镇市利民煤矿“3·2”较大煤与瓦斯突出事故调查报告 [R/OL]. [2022-08-26]. <https://gz.chinamine-safety.gov.cn/detail.html?id=1562974649627930625>.
- [20] 国家矿山安全监察局贵州局. 贵州黎明能源集团有限责任公司金沙县西洛乡东风煤矿“4·9”较大煤与瓦斯突出事故调查报告 [R/OL]. [2022-02-25]. <https://gz.chinamine-safety.gov.cn/detail.html?id=1534372830341488641>.
- [21] 国家矿山安全监察局河南局. 薛湖煤矿“5·15”事故调查报告 [R/OL]. [2024-04-30]. <http://hn.chinamine-safety.gov.cn/upload/20180125/20180125102433813.pdf>.
- [22] 佚名. 卸压消突不力 伤人教训惨痛——吉煤集团通化矿业(集团)公司松树镇煤矿“3·6”重大煤与瓦斯突出事故分析[J]. 吉林劳动保护, 2016(12): 39-41.  
Failure to relieve pressure and eliminate outburst hurts people, and the lesson is painful—Analysis of the “3.6” major coal and gas outburst accident in Songshu Town Coal Mine of Tonghua Mining (Group) Company of Jimei Coal Group [J]. Jilin Labour Protection, 2016(12): 39-41.

(责任编辑: 林桂玲)