

煤矿瓦斯灾害防治研究进展

李 鑫 齐庆杰 刘 萍

(辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 辽宁阜新 123000)

摘 要: 从分析煤矿发生瓦斯爆炸灾害事故的原因及特点着手, 介绍了预防和控制瓦斯爆炸灾害事故的技术措施及发展趋势, 说明瓦斯爆炸事故的防治是煤矿安全工作的一项系统工程, 必须放在安全工作的首位, 才能使瓦斯爆炸事故及其他灾害事故大幅度减少。

关键词: 瓦斯爆炸; 原因分析; 控制措施; 发展趋势

0 前言

瓦斯灾害是煤矿中最严重的灾害之一。瓦斯突出不仅能摧毁井巷设施、破坏矿井通风系统, 而且使井巷充满瓦斯和煤抛出物, 造成人员窒息、煤流埋人, 甚至可能引起瓦斯爆炸与火灾事故。瓦斯爆炸不仅造成大量人员伤亡, 而且还会摧毁井巷设施、中断生产, 有时还会引起煤尘爆炸、矿井火灾、井巷垮塌等二次灾害。因此, 控制瓦斯一直是各产煤国煤矿安全的主攻方向之一。各国投入大量的资金、人力、物力进行瓦斯防治技术和装备的研究, 为煤炭生产提供了安全保障。

1 国内外研究现状

1.1 国外概况

研究煤层瓦斯的形成和迁移规律, 测定煤层瓦斯含量, 是正确预测矿井瓦斯涌出量的基础。最近 20a 来, 各国煤矿瓦斯监测系统发展很快, 为避免瓦斯事故起了重要作用。另外, 国外在不断完善突出跟踪预测的基础上, 开展了研究瓦斯突出的动态预测技术和突出危险区域预测技术。

1.2 国内概况

国内在研究和改进瓦斯抽放技术方面, 取得了一些重大进展。“九五”期间在突出危险区域预测方面, 在瓦斯地质统计分析法和综合指标法的基础上, 试验研究了突出危险区域无线电波透视技术, 技术减少了 50% 以上的防治突出措施工程量, 社会经济效益显著。

1.3 事故原因分析

煤矿发生瓦斯爆炸事故与许多因素有关, 但总的来说, 主要与自然因素、安全技术手段、安全装备水平、安全意识和管理水平等有关, 发生瓦斯爆炸事故往往是以上因素相互作用所导致的。

1.3.1 煤矿开采条件差

我国煤矿井下开采条件普遍较差, 据统计, 2000 年全国国有重点煤矿共有 580 处矿井进行了瓦斯等级鉴定, 其中高瓦斯矿井 160 处, 低瓦斯矿井 298 处, 煤与瓦斯突出矿井 122

处；有自燃发火矿井 372 处，占 64%，有煤尘爆炸危险矿井 427 处，占 73.6%。

1.3.2 瓦斯积聚的存在

煤矿井下造成瓦斯积聚的原因很多，通风系统不合理和局部通风管理不善是瓦斯积聚的主要原因。如 2005 年 34 起特大瓦斯爆炸事故中，有 22 起主要是因通风系统不合理、存在风流短路、多次串联和循环风，造成供风地点风量不足而引起瓦斯积聚；有 9 起主要是因局部通风机安装位置不当、风筒未延伸到供风点或脱落引起供风点有效风量不足而造成瓦斯积聚；有 2 起事故主要是因停电停风而引起瓦斯积聚；有 1 起是盲巷积聚的瓦斯被引爆。

1.3.3 引爆火源的存在

煤矿井下引爆瓦斯的火源有：爆破火花、电气火花、摩擦撞击火花、静电火花、煤炭自燃等。但放炮和电器设备产生的火花是瓦斯爆炸事故的主要火源。如 2005 年 34 起特大瓦斯爆炸事故中，有 16 起是由放炮产生的火花引爆的；有 15 起事故是由电器设备及电源线电火花引爆的。

1.3.4 装备不足、管理不落实

矿井安全装备配置不足，“先抽后采，监测监控，以风定产”方针未得到完全落实。如 2005 年发生的 41 起特大瓦斯事故中，有的矿井没有安装瓦斯监控系统或运行不正常，有的矿井虽安装有监控系统，但因传感器数量不足、安装位置不对、线路存在故障、显示器不显示数据等问题，不能有效发挥其应有的作用。此外乡镇煤矿发生的特大瓦斯事故都没有装备瓦斯抽放系统或抽放系统不能有效运行，监控系统也不能有效发挥作用。如内蒙古乌海市乌达区巴音赛煤焦有限责任公司某井虽安装了瓦斯监控系统，但在其实际开采区域却并没有瓦斯传感器，而造成特大瓦斯事故的发生，死亡 16 人。

1.3.5 管理水平低

许多事故分析发现，违章操作或管理不当而造成了一些本可避免的事故，但未引起重视，最终酿成特大瓦斯爆炸事故。因此，管理水平和职工的安全意识对于煤矿的长期安全生产非常重要。

1.3.6 企业技术管理薄弱

一些煤矿企业由于采煤方法落后，引起矿井采掘布置不合理，通风系统不完善，此外，作业规程编制不符合实际，针对性不强，给安全生产带来了严重隐患。

2 瓦斯火灾综合治理技术

2.1 瓦斯的燃烧爆炸性

瓦斯是一种可燃性气体，当其在空气中的浓度达到某一范围时，遇适当的点火源就会发生爆炸。按瓦斯在空气中发生燃烧的性状不同，可以将它分为 3 个区间：

(1) 助燃区间，瓦斯在点燃源附近发生氧化燃烧反应，但不能形成持续的火焰，只能起到助燃的作用。

(2) 爆炸区间，瓦斯浓度在爆炸界限内（5%~6%）。该区间内的瓦斯遇一定能量的点火源会形成可自动加速的燃烧锋面，该锋面在瓦斯—空气混合气体内加速传播从而形成强烈的爆炸。

(3) 扩散燃烧区间，瓦斯浓度大于爆炸上限（16%）。该区域内瓦斯—空气的混合气体无法直接被点燃，但是，当其与新鲜空气混合时，可以在混合界面上被点燃并形成稳定的火焰，称为扩散燃烧。

在煤矿里它从煤岩裂缝中喷出。矿井瓦斯爆炸是一种热—链式反应（也叫链锁反应）。当爆炸混合物吸收一定能量（通常是引火源给予的热能）后，反应分子的链即行断裂，离解成 2 个或 2 个以上的游离基（也叫自由基）。这类游离基具有很大的化学活性，成为反应连

续进行的活化中心。在适合的条件下，每一个游离基又可以进一步分解，再产生 2 个或 2 个以上的游离基。这样循环不已，游离基越来越多，化学反应速度也越来越快，最后就可以发展为燃烧或爆炸式的氧化反应。所以，瓦斯爆炸就其本质来说，是一定浓度的甲烷和空气中的氧气在一定温度作用下产生的激烈氧化反应。

2.2 瓦斯爆炸原因分析

瓦斯爆炸是一种化学爆炸，是爆炸性气体混合物—瓦斯在一定浓度范围内受激发而发生的剧烈化学反应，反应时产生大量的热和气体。封闭后火区发生的瓦斯爆炸为化学爆炸，是以 CH_4 为主的瓦斯与空气的混合气体点燃后发生剧烈化学反应的结果。引起瓦斯爆炸的原因有：

- (1) 存在 CH_4 与氧浓度在爆炸浓度范围内的爆炸危险区；
- (2) 在爆炸危险区内存在火源点。火区封闭后，封闭区氧浓度和温度有降低趋势，瓦斯浓度则逐渐上升。如果瓦斯浓度升至爆炸范围时，发火区温度仍很高（存在高温性火源），且氧浓度尚未降到瓦斯爆炸极限浓度以下，就可能发生瓦斯爆炸。

2.2.1 瓦斯爆炸特点

根据多年对煤矿瓦斯爆炸事故统计分析，可以发现如下一些特点：

- (1) 瓦斯爆炸多为大事故；
- (2) 事故地点多发生在采煤与掘进工作面；
- (3) 瓦斯爆炸造成的破坏波及范围大；
- (4) 多为火花引爆；
- (5) 高瓦斯矿井、低瓦斯矿井均有发生；
- (6) 瓦斯爆炸多发生在乡镇煤矿；
- (7) 基建、技改矿井和转制矿井瓦斯爆炸事故多发。

2.2.2 控制瓦斯爆炸事故的技术措施

瓦斯爆炸事故的防治可分为预防爆炸和抑制爆炸。预防爆炸措施主要有：优化通风网络及通风系统、防治瓦斯积聚、进行瓦斯抽放、加强瓦斯浓度和火源监测、防止点火源的出现等；抑制爆炸主要采用隔爆抑爆装置将瓦斯爆炸限制在一定范围内，从而减少人员伤亡和灾害事故所造成的损失。

2.3 瓦斯爆炸事故的预防措

2.3.1 煤矿瓦斯抽放技术

(1) 我国国有煤矿高瓦斯和瓦斯突出矿井占总矿井数的 46%。瓦斯抽放是减少矿井瓦斯涌出量、防止瓦斯爆炸和突出的治本措施，同时也是开发利用瓦斯能源、保护大气环境的重要手段。如皖北煤电集团公司祁东煤矿利用抽放瓦斯进行发电取得了可观的经济效益和社会效益。

(2) 为提高瓦斯抽放率，目前主要需解决长钻孔定向钻进技术，包括测斜、纠偏技术；提高单一低透气性煤层的抽放率；研制钻进能力更强的钻机具；完善和提高扩孔技术、排渣技术、造穴技术和封孔技术；开发新的瓦斯抽放技术及设备。

(3) 瓦斯抽放方法有本煤层抽放、邻近层抽放和采空区抽放等；抽放工艺有顺层长钻孔、大直径钻孔、地面钻孔、顶板岩石和巷道钻孔等。并研制出与之相配套的强力钻机及配套机具，如 MK 型长钻孔钻机和 ZSM 顺层强力钻机等。此外已研制出多种抽放泵及配套的监控系统和仪表等，大大提高了瓦斯抽放量和抽放率，使安全环境得到进一步改善。

(4) 利用多分支羽状适用技术，解决低渗煤层瓦斯治理问题，以提高抽采率。

(5) 煤矿瓦斯治理也应该与煤层气产业化紧密结合起来。

2.3.2 矿井瓦斯浓度及火源监测技术

矿井瓦斯浓度及火源的实时自动监测对于防止瓦斯爆炸非常重要,当发现瓦斯异常或有火源产生,立即采取措施可防止爆炸事故的发生。我国目前开发了 KJ90、KJ92、KJ94、KJ95、KJ73、KJ66 等型号的矿井安全监控系统,以及各类检测传感器、报警仪和断电仪。已有多多个矿井安装了矿井安全综合监控系统,并具有如下功能:

- (1) 矿井环境和工况参数实时监控;
- (2) 主要通风机在线监测;
- (3) 巷道火灾实时监控;
- (4) 矿井瓦斯抽放实时监控;
- (5) 冲击地压实时监控;
- (6) 煤与瓦斯突出实时监控;
- (7) 煤层自燃发火实时监控;
- (8) 瓦斯爆炸或燃烧实时监控;
- (9) 矿井电网监测等多种功能。监控系统的安装极大地提高了煤矿的安全管理自动化水平,防止了许多事故的发生。

2.3.3 矿井瓦斯预测方法。

瓦斯涌出量预测方法主要有三类:矿山统计法、煤层瓦斯含量计算法(简称含量法)和瓦斯分源计算法(简称分源法)。下面对含量法计算法简要介绍:含量法根据煤层含量及残余含量分别预测回采、掘进、采区和全矿井的瓦斯涌出量。它主要取决于下列因素:

- (1) 瓦斯源的瓦斯含量及残余含量;
- (2) 瓦斯涌出率,即瓦斯源的瓦斯涌入巷道所占瓦斯含量的比例;
- (3) 瓦斯源比厚度,即瓦斯源的厚度与回采煤层厚度的比值,由此把瓦斯源的涌出量换算成开采煤层的相对瓦斯涌出量;
- (4) 煤层配采和采掘比例。含量法预测模型框图如图 1 所示。

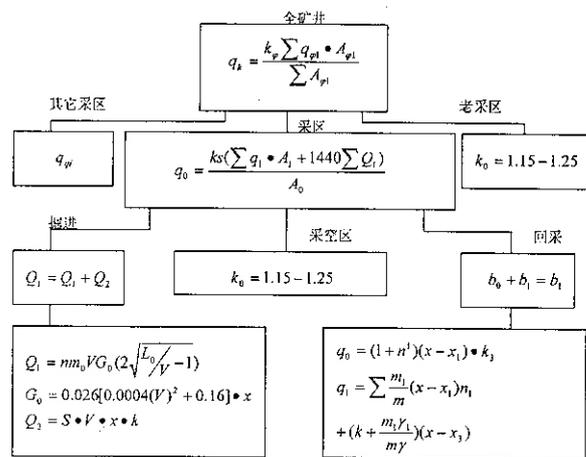


图 1 含量法预测模型框图

2.4 可供选择措施

- (1) 采取瓦斯排放措施,防止封闭区瓦斯聚集。一般高瓦斯矿工作面都有瓦斯抽放系统,工作面因火被迫封闭后,应继续对工作面进行瓦斯抽放,直至确认封闭区不再有爆炸危险性。以防封后瓦斯浓度聚集而发生爆炸。
- (2) 采取从地面注惰气、注氮等方法降低封闭区氧浓度。封闭时发火区温度、CO 浓度都

很高，所以不能在火区附近工作。此时可以从地面向火区注氮，降低火源点附近氧浓度和煤温，保证工作面安全。

(3) 消灭火源高温点。采取向发火区注凝胶等方法，使高温点温度降低到可引起瓦斯爆炸的下限温度以下。

(4) 用水封闭火区，如果发火区两端比较低，可以在撤离人员的情况下，向发火区所在巷道两端送水，直至用水封闭火区。火区用水封闭，能够保证密闭无漏风，而且一旦封闭区内发生爆炸，两端的水密封能有效地消除爆炸引起的冲击波，防止爆炸引起的大火蔓延。

2.5 井下火源防治

对煤矿井下的爆破火花、电气火花、摩擦撞击火花、静电火花、煤炭自燃等火源都有一些相应的防治措施，除炸药安全性检验、电器防爆检验、摩擦火花检验外，还需防止火源与瓦斯积聚在同时同地点出现，如放炮时检测瓦斯浓度，采用风电闭锁、瓦斯电闭锁等措施。另外加强明火的管理，严格动火制度，消除引爆瓦斯的火源。

2.6 隔爆措施

矿井隔爆抑爆装置是控制瓦斯爆炸的最后一道屏障，当瓦斯爆炸发生后，依靠预先设置的装置可以阻止爆炸的传播，限制火焰的传播范围，主要有被动式隔爆棚和自动抑爆装置。

(1) 被动式隔爆棚。隔爆岩粉棚、隔爆水槽棚和隔爆水袋棚因成本低、安装方便，因而得到了广泛的使用，其中隔爆水袋棚的使用最为广泛。目前研制的 XGS 型和 KYG 型隔爆棚，具有适应性强、安装、拆卸和移动方便的特点。

(2) 自动式抑爆装置。使用压力或温度传感器，在爆炸发生时探测爆炸波，及时将预先放置的水、岩粉、N₂、CO₂ 等喷洒到巷道中，从而达到抑制爆炸火焰传播的目的。如 ZGB—Y 型自动隔爆装置采用高压氮气引射消焰剂，能将爆炸限制在距爆源 40~60m 之内；YBW-1 型电源触发式抑爆装置，适合安装在距爆源 20~45 m 的巷道中；ZYB-S 型自动产气式抑爆装置采用实时产气原理，当传感器接收到燃烧或爆炸火焰时，触发气体发生器快速产生的高压气体喷洒消焰剂，抑制火焰的传播。

3 结束语

在煤炭开采过程中，瓦斯爆炸、煤尘爆炸、煤与瓦斯突出、中毒、窒息矿井火灾、透水、顶板冒落等多种灾害事故时有发生。在这些事故中尤以瓦斯爆炸造成的损失最大，从每年的事故统计中来看，煤矿发生一次死亡 10 人以上的特重大事故中，绝大多数是由于瓦斯爆炸，约占特重大事故总数的 70% 左右，为此，瓦斯称为煤矿灾害之王。因此，分析瓦斯爆炸原因，制订防治对策，显得特别重要。

瓦斯爆炸事故的防治是煤矿安全工作的一个系统工程，除了完善可靠的安全装备和采取有效的措施外，还应加强安全管理和安全监督，重视员工安全意识的培养。只有把安全放在首位，认真落实瓦斯治理的“十二字”方针，健全各项规章制度，合理加大安全投入，瓦斯爆炸事故及其他灾害事故才能大幅度地减少，煤矿的安全状况才能得到根本好转。