



高压磨料射流割缝防突技术研究及工程应用

安全监管总局政府网站

2007/04/25 16:20

稿件来源：安全监管总局规划科技司

【字号 [大](#) [中](#) [小](#)】

【[打印本页](#)】

[关闭窗口](#)

重点推广项目编号：AQT-3-03

主要完成单位：平顶山煤业（集团）有限责任公司、中国矿业大学

项目内容：

我国是世界上突出最为严重的国家之一，至2005年，我国已有20个省（区）的一些矿井发生了突出，仅国有重点煤矿就有突出矿井250多对，共发生突出30000多次，仅强度超过千吨的特大型突出就有100多次。根据对发生突出的作业地点统计，突出多数发生在煤巷掘进工作面，占有突出次数的66.2%，煤巷掘进过程中频繁的突出成为危及职工生命安全的主要原因；同时，掘进防突措施工序复杂，掘进速度缓慢，造成采掘比例严重失调。为了有效防治掘进期间掘进工作面的瓦斯突出，国内外煤炭科研人员进行了较为广泛的研究，先后试验了多项防突技术措施，并取得了一定的防突效果。目前，本煤层掘进工作面可供采取的主要防突技术措施有：超前钻孔、深孔注水、水力冲孔、深孔松动爆破和深孔控制爆破等。这些防突技术措施普遍存在着整体卸压不够充分，容易出现措施后效检指标超限，施工工序复杂等现象。

目前平煤公司有突出矿井10对，高瓦斯矿井2对，全公司瓦斯绝对涌出量468.33m³/min，相对涌出量2.33~19.39 m³/t，绝对量平均每年以8.5%的速度递增；煤层瓦斯含量4.6~30.0m³/t，瓦斯压力为0.60~2.55 MPa。矿区自1984年发生第一次煤与瓦斯突出以来，累计突出137次，突出总煤量8075t，总瓦斯量47.3万m³。随着矿井开采的延深，瓦斯含量、瓦斯压力、绝对瓦斯涌出量逐年增加，突出的危险性将越来越大，给安全生产带来严重的威胁。尤其是东三矿（八矿、十矿和十二矿），瓦斯问题已成为威胁煤矿安全生产的主要障碍。

为了有效治理高突煤层掘进巷道瓦斯突出问题，提高执行防突措施的有效性和矿井生产的安全性，平顶山煤业（集团）公司与中国矿业大学联合进行攻关，对平煤集团高突矿区煤层巷道掘进过程中的防突技术进行了研究，并且以东三矿（八矿、十矿和十二矿）作为示范点，以期解决目前我国高突矿区煤层巷道掘进过程中存在的主要问题。

一、总体思路

本项目以流体力学、渗流力学、岩体力学、弹塑性力学等为基础，采用现场实测分析、理论研究、数值计算和实验室模拟实验相结合的方式。首先通过对高突煤层巷道煤与瓦斯突出机理的研究，建立了卸压区煤体稳定性的条件，煤巷卸压区和煤与瓦斯突出危险性之间的关系，揭示了煤与瓦斯突出是一个由量变到质变的过程。然后以煤层巷道卸压区宽度为变量，构建了煤层巷道煤与瓦斯突出的突变理论模型，将以往的点—线式（一维）预测模型，推进到了面（二维）预测模型，并且利用该突变理论模型能更好地、直观地描述煤层巷道煤与瓦斯突出现象和目前存在的低指标突出现象。又以突出机理为指导，创造性地提出从点到线、从线到面、从面构成立体的整体卸压新理念。并采用数值模拟的方法对高压磨料射流割缝卸压效果及瓦斯渗流场的变化规律进行模拟，模拟结果和现场实测情况基本相符，可以认为采用高压磨料射流割缝技术能够有效地实现煤层的卸压—排瓦斯作用。在研究了高压磨料射流破岩机理、磨料加速机理及输送管路中液固两相流的运动规律的基础上，开发出了高压磨料射流割缝卸压防突技术及装备，并把上述研究的技术和装备在平煤十二矿、八矿、十矿高突煤层掘进工作面推广应用，确保该条件下煤巷掘进的安全生产和高产高效，为我国类似条件下煤巷的掘进提供了借鉴。

二、技术方案

本项目紧密围绕平煤集团高突矿井煤层巷道掘进过程中的瓦斯突出及防治技术开展研究工作，主要内容包

括：

1、研究了煤层巷道煤与瓦斯突出机理，揭示了煤巷卸压区对煤与瓦斯动力现象的作用机制

由于煤体是非均质且各相异性，对瓦斯又具有强烈的吸附性，造成了含瓦斯煤体和其它固体有很大的不同，是一种包含有固相、吸附相和气相的三项介质。长期以来，国内外学者的研究仅仅局限于简单地将煤体作为单相介质加以处理，使研究成果和工程实际有较大的差距。本项目应用流体力学、渗流力学、岩体力学、弹塑性力学等知识，结合含瓦斯煤体实验研究结果和煤层巷道特点对煤层巷道煤与瓦斯突出机理进行了深入的研究工作，取得的主要成果包括：

(1) 建立了煤层巷道卸压区煤体稳定性条件及其安全宽度

在对煤层巷道区域中的应力分布、煤巷工作面前方极限应力区中煤层界面的应力分布状态和卸压区煤体破坏判据进行深入分析的基础上，得出了煤巷卸压区的安全宽度表达式及其煤体稳定性条件。

建立了煤巷卸压区长度与瓦斯压力、地应力、煤体强度相互关系的数学模型，强调了卸压区范围大小在煤与瓦斯突出中的重要作用，即煤巷工作面前方卸压区越薄、则集中应力区越接近工作面、卸压区煤体被冲破而形成突出的可能性就越大。此外，还研究了瓦斯压力分布及其在突出过程的作用，揭示了瓦斯在突出过程中降低煤体强度的作用机制。

(2) 煤层巷道上山掘进卸压区对动力现象的作用机理

在平巷掘进卸压区安全宽度研究的基础上，进一步分析了煤层巷道上山掘进卸压区对煤与瓦斯突出动力特征的影响作用，建立了煤层巷道上山掘进卸压区安全宽度计算数学模型。

研究结果认为：煤与瓦斯突出和工作面前方卸压区的大小有直接的关系，卸压区的大小决定了煤体中储存的弹性潜能和瓦斯内能是否得到释放，突出是否能够形成。煤与瓦斯突出预测所要做的工作实际上就是采用一定的手段（如钻孔瓦斯涌出初速度、钻屑指标等）检测工作面前方一定范围内是否存在高压瓦斯源和应力集中，卸压区的范围是否足以阻止突出的发生。

上述研究成果为合理确定防突措施参数（如超前距）和进行突出危险性预测、采取有效防突措施提供了理论依据。

2、构建了煤与瓦斯突出的突变势函数，揭示了煤层开采过程中煤(岩)与瓦斯动力现象的发生过程。

在发生煤与瓦斯动力现象前，影响动力现象的一个或多个因素在变化着，一直达到其临界点，这段过程可以说是动力现象的量变过程；达到临界点后，当某个或多个因素朝有利于动力现象发生的方向变化时，此时动力现象发生了，这段过程可以说是质变过程；这两个过程之间必定存在一个突变，故可以采用突变理论进行解释。本项目的重点工作是将卸压区宽度加入突变势函数中，建立了煤与瓦斯动力现象的突变模型，将点的突出模型拓展为面的突出模型。

所构建的煤与瓦斯动力现象突变势函数为：

$$V(x) = (x_0 - x_1)^4 + g(x_0 - x_1)^2 + f(x_0 - x_1)$$

平衡曲面M的方程为：

$$V' = 4(x_0 - x_1)^3 + 2g(x_0 - x_1) + f = 0$$

奇异点集S方程为： $V'' = 12(x_0 - x_1)^2 + 2g = 0$

分叉集B为： $8g^3 + 27f^2 = 0$

当 $x_0 - x_1 > 0$ 时，单调增加，当 $x_0 - x_1 < 0$ 时单调减小（ x_0 为卸压区安全宽度， x_1 为实际卸压区宽度）。利用上述突变函数能够较好地推算和解释动力现象的发生与否。

3、建立了煤层巷道瓦斯流动模型并且进行了分析

根据平煤公司十二矿己15-17180工作面的实际情况，建立了一般状态下瓦斯在实际煤层中的单向流动场模型，推导出了瓦斯涌出量的方程式，并且根据实测数据计算出了工作面的瓦斯涌出量，计算准确率达到85.3%。

(1) 建立瓦斯在实际煤层中的径向流动模型

当石门或钻孔垂直贯穿煤层时，煤层中将会形成同心圆状的瓦斯压力等压线，瓦斯将向石门或钻孔流动，这种流动状态称之为径向流动。一般情况下，径向流动属于平面流动，其特征是在三维空间中有二向流动。

(2) 瓦斯涌出量回归模型的建立

根据不同月份瓦斯涌出量随时间和距离的变化规律曲线可知瓦斯涌出量 q 最初随时间的增加而增加，而当其达到一个峰值之后， q 又开始回落，当其达到一个谷值之后，然后开始回升到下一个峰值。根据平滑线散点图的形状，可以认为是抛物线回归。通过数学变换，推导出瓦斯涌出量回归模型。

4、首次开展了高压磨料射流割缝卸压及瓦斯排放过程的数值模拟试验

本项目以突出机理为指导，创造性地提出从点到线、从线到面、从面构成立体的整体卸压新理念，并且认为，只有达到整体卸压，才能有效防治煤与瓦斯突出事故的发生，为提高高突煤巷掘进工作面防突技术措施的有效性奠定了基础。

为了更进一步地研究高压磨料射流割缝卸压及排放瓦斯的作用，我们首次采用RFPA^{2D}-Flow软件进行数值试验，该软件根据煤岩变形与瓦斯渗流的基本理论，由可压缩瓦斯气体运动方程与煤岩体变形相互耦合，建立含瓦斯煤岩破裂过程的固气耦合模型，并用弹性有限元方法进行计算，能够较好地模拟高压磨料射流割缝卸压及排放瓦斯的过程。

采用数值试验的方式，对高压磨料射流割缝抽放瓦斯的过程中瓦斯的渗流场的分布规律及工作面中的应力状态变化过程进行模拟。

5、首次研制了具有自主知识产权的、适用于高突煤巷掘进工作面防突工作的高压磨料射流割缝成套装备。

在研究了高压磨料射流破岩机理、磨料加速机理及输送管路中液固两相流的运动规律的基础上，开发出了高压磨料射流割缝卸压防突技术及装备，并且在现场得到了应用，使上述整体卸压新理念得以实现。

(1) 高压磨料射流割缝防突原理

高压磨料射流割缝是对透气性系数低、原始瓦斯含量高、有突出危险的煤层进行超前高压磨料射流割缝。这种方法即是在煤层中先打一个钻孔，然后在钻孔内利用高压水射流对钻孔二侧的煤体进行切割，在钻孔二侧形成一条具有一定深度的扁平缝槽，利用水流将切割下来的煤体带出孔外。

采用高压磨料射流割缝措施后，首先增加了煤体暴露面积，且扁平缝槽相当于局部范围内开采了一层极薄的保护层，达到层内自我解放，给煤层内部卸压、瓦斯释放和流动创造了良好的条件，其结果是造成了缝槽上下煤体的一定范围的较充分卸压，增大了煤层的透气性能；其次，割缝在煤体中形成的缝槽或空间在地压的作用下，使缝槽周围的煤体向缝槽空间移动，因而更扩大了缝槽卸压、排瓦斯范围。由于高压磨料射流割缝的切割、冲击作用，钻孔周围一部分煤体被高压水击落冲走，形成扁平缝槽空间，这一缝槽可以使周围煤体发生激烈的位移和膨胀，增加了煤体中的裂隙，大大改善了煤层中的瓦斯流动状态，为瓦斯排放提供了有利条件，改变了煤体的原始应力和裂隙状况，煤体和围岩中的应力紧张状态得到一定程度缓和，达到突出潜能的大量释放，使煤岩变硬。这样，既削弱或消除了突出的动力，又大大改变了突出煤层的物理机械性能。因此高压磨料射流割缝技术既可以增大透气性和提高煤层抽放瓦斯的能力，又可以起到防止突出的有效作用。

瓦斯的共同作用下，使煤体破裂，可以认为在煤层的饱和瓦斯地区，水射流的作用是激发地应力和瓦斯压力降的力量破坏煤体的过程。而瓦斯除了破坏煤以外，还把破坏的煤从孔内排出。

(2) 高压磨料射流割缝装置构成

高压磨料割缝装置主要是由高压泵站、高压磨料发生装置、高压磨料喷枪组件、液压控制系统等组成。

所研制的高压磨料射流割缝成套装备经过应用表明：具有割缝效果好，工艺简单，操作方便，使用安全可靠的特点。

6、高压磨料射流割缝技术在平煤集团高突煤巷掘进工作面的推广和应用。

采用高压磨料射流割缝防突技术措施，增强了防突措施的有效性，缩短了防突措施执行时间，提高了掘进速度。并且在平煤十二矿、十矿和八矿高突煤巷掘进工作面得到应用，证明该卸压新理念可以有效地解除高突煤巷掘进工作面的突出危险，提高掘进速度和掘进期间的安全性。

创新点：

(1) 以煤层巷道卸压区宽度为变量，构建了煤层巷道煤与瓦斯突出的突变理论模型，将以往的点—线式（一维）预测模型，推进到了面（二维）预测模型，并且利用该突变理论模型能更好地、直观地描述煤层巷道煤与瓦斯突出现象和目前存在的低指标突出现象。

(2) 首次以突出机理为指导，创造性地提出从点到线、从线到面、从面构成立体的整体卸压新理念；并且认为，只有达到整体卸压，才能有效防治煤与瓦斯突出事故的发生，为提高高突煤巷掘进工作面防突技术措施的

有效性奠定了基础。

(3) 首次采用数值模拟的方法对高压磨料射流割缝卸压效果及瓦斯渗流场的变化规律进行模拟，模拟结果和现场实测情况基本相符，可以认为采用高压磨料射流割缝技术能够有效地实现煤层的卸压—排瓦斯作用。

(4) 研制了具有自主知识产权的、适用于高突煤巷掘进工作面防突工作的高压磨料射流割缝成套装备，其中包括：喷嘴、磨料罐和液压控制系统。所研制的成套装备经过应用表明：具有割缝效果好，工艺简单，操作方便，使用安全可靠的特点。

(5) 该技术创造性地把高压磨料射流割缝卸压增透与煤体注水同步完成，在更好地消除突出危险性的同时，也降低了工作面的粉尘浓度，为矿工创造了一个良好工作环境。

应用情况：

高压磨料射流割缝成套装备适用于高突煤巷掘进工作面防突工作，经过应用表明：具有割缝效果好，工艺简单，操作方便，使用安全可靠的特点。

高压磨料射流割缝防突技术于2004年5月~2005年11月在天安公司十二矿已15-17180机巷工作面进行工业性试验及应用，不仅表现出良好的适用性，而且取得了显著的应用效果。该技术实施后工作面的突出危险性显著降低，保证了掘进过程的安全生产。在已15-17180机巷掘进速度由原来的平均55.3米/月，提高到98.8米/月，掘进速度提高了79%，最高速度达115米/月，取得了显著的经济效益和社会效益。

高压磨料射流割缝防突技术从2005年4月开始在天安公司十矿已15-24080机巷炮掘工作面应用。在已15-24080，掘进速度由原来的平均46.8米/月提高到85.8米/月，掘进速度提高了83%，最高速度达115米/月。

高压磨料射流割缝防突技术从2005年6月开始在天安公司八矿已15-12150机巷炮掘工作面应用。在已15-12150机巷，掘进速度由原来的平均60.1米/月提高到110.4米/月，掘进速度提高了84%，最高速度达125米/月。

通过在平煤十二矿、十矿和八矿高突煤巷掘进工作面得到应用，证明该卸压新理念可以有效地解除高突煤巷掘进工作面的突出危险，提高掘进速度和掘进期间的安全性。

采用高压磨料射流割缝防突技术措施，增强了防突措施的有效性，缩短了防突措施执行时间，提高了掘进速度。证明该卸压新理念可以有效地解除高突煤巷掘进工作面的突出危险，提高掘进速度和掘进期间的安全性。

相关研究成果被收入美国“Ei”有3篇，被收入美国“ISTP”有2篇，被收入“中国科技情报所”有6篇，已查到被正式出版专著和公开发表论文引用十多处。

该项目提出并完善了具有国际领先水平的煤巷掘进过程中煤与瓦斯突出防治理论，并提出了相应得防治技术措施，推进了相关问题的研究进展，具有较高的科研价值，为我国类似条件下煤巷的掘进提供借鉴，具有广阔的推广应用前景。

相关链接

责任编辑：周秀玲

关闭窗口

主办单位：国家安全生产监督管理总局 国家煤矿安全监察局 查询电话：(010)64463366 事故举报电话 010-64294453

承办单位：国家安全生产监督管理总局通信信息中心 网站值班电话：(010)64463685 010-64237232

协办单位：国家安全生产监督管理总局调度统计司 中国安全生产报社 中国煤炭报社 网站管理员邮箱:wzbj@chinasafety.gov.cn

京 ICP备05071369号