

镐型截齿割煤产尘机理研究

张 锁^{1,2} 刘小波¹ 董俊亮² 朱星昱¹ 徐 超³

1. 神华新街能源有限责任公司博士工作室, 鄂尔多斯;

2. 神华新街能源有限责任公司无废矿区工作室, 鄂尔多斯;

3. 中国矿业大学(北京) 共生能源精准开采北京市重点实验室, 北京

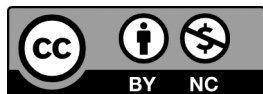
摘 要 | 煤尘灾害作为煤炭井工开采的主要防控对象之一, 威胁井下作业人员身体健康和煤矿日常生产安全。为明晰新街台格庙矿区深部掘进工作面破煤产尘机理, 降低工作面粉尘危害, 以新街台格庙矿区掘进工作面为工程背景, 通过弹塑性力学理论分析及数值模拟方法, 研究截齿侵入角度、截齿锥角和截齿间距对截齿产尘影响。研究表明, 随齿尖锥角增大, 齿尖应力和产生的粉尘量也同时增大, 齿尖锥角与截齿侵入煤体时的齿尖应力和产生的粉尘量呈线性关系; 与此相反, 截齿侵入角度与截齿齿尖应力和粉尘量呈负相关, 截齿侵入角度越小, 产生的粉尘量越少; 此外, 截齿间距与截齿齿尖应力、裂隙数量表现为先增大后减小的关系, 截齿间距为20mm时, 齿尖应力、裂隙数量最大, 截齿破岩效果最好, 产生的粉尘量最高。研究结果揭示了煤岩掘进设备截齿破煤产尘规律, 为工作面防尘设计提供参考, 对实现掘进工作面的安全开采具有指导意义。

关键词 | 工作面; 粉尘浓度; 侵入角度; 截齿锥角; 截齿间距

Copyright © 2025 by authorx (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



煤体的颗粒粒径小于75微米时被称为煤尘。在采掘、爆破、支护、装载、运输等煤矿生产作业过程中都产生煤尘^[1, 2]。细微煤尘颗粒能够长时间在煤矿井下硐室、巷道、工作面空气中悬浮, 井下煤矿作业人员长期吸入大量细微粉尘容易引发尘(煤)肺病等呼吸系统疾病, 容易对作业人员的身心健康造成不可逆的危害^[3]。2023年新增职业性尘(煤)肺病8051例, 占当年新增职业病病例的66.61%, 随较2022年下降了1.62%^[4], 尘(煤)肺病是我国首要的职业病。粉尘不仅会对作业人员造成健康危害, 同时也对煤矿安全高效生产造成严重威胁, 煤尘爆炸事故是煤矿最严重的灾害之一。我国2024年生产原煤

47.8亿吨, 作为全球最大的煤炭生产国, 我国煤矿煤尘爆炸危害不容忽视, 国有重点煤矿中有87.37%煤矿的煤尘具有爆炸危险性, 60%以上的煤矿具有强爆炸性。因此, 研究粉尘产生机理, 对于煤矿粉尘防治, 强化煤矿工人职业健康防护、保障煤矿安全生产具有重要的现实意义。

新街台格庙矿区位于内蒙古鄂尔多斯市, 矿区规划总面积681.03 km²。矿区煤炭资源丰富, 矿区可采煤层15层, 煤层埋深519 m ~ 1043 m。赋存条件较好, 煤层倾角在3° 以内, 煤层开采技术条件较简单。煤质优良, 为富煤, 局部地区为高油煤, 可作为工业原料煤。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52130409, 52121003); 国家能源集团科技项目(GJNY-21-129)。

通讯作者: 张锁, 注册安全工程师, 研究方向: 煤炭开采。

文章引用: 张锁, 刘小波, 董俊亮, 等. 镐型截齿割煤产尘机理研究[J]. 环境与资源, 2025, 7(2): 297-303.

<https://doi.org/10.35534/er.0702024>

新街台格庙矿区初步规划八矿井和一个后备勘察区（矿区北部）。先期开发的新街一矿于2025年同步开工建设。新街一矿采用立井开拓方式，在第一水平布置四条主要巷道，分别是主运大巷、回风大巷和两条辅助运输巷，其中主运大巷、回风大巷和一条煤辅助运输巷部署在2-2煤层中，另一条辅助运输巷部署在2-2底板岩层中。

为提升岩巷掘进效率和安全性，煤矿企业逐渐开始使用隧道掘进机（TBM）工法掘进岩石巷道，例如王家岭矿、塔山矿、补连塔矿、新巨龙矿、可可盖矿、核桃峪矿等。随着TBM研发水平进步，形成了刮刀破岩、齿刀破岩、滚刀破岩等破岩方式，但盘形滚刀破岩依然是TBM主要破岩方式。因为TBM在工法掘进过程中形成了封闭空间，因此TBM工法的粉尘控制效果通常优于传统爆破法或综掘机掘进，新街一矿布置的辅助运输大巷即采用敞开式TBM掘进。煤矿井下嗣室主要采用钻爆法和综掘机掘进。钻爆法采用炸药破岩，爆破后工作面粉尘极大，作业环境恶劣。综掘机通常采用悬臂式截割刀具破岩。煤巷和半煤岩巷道通常采用综掘机和掘锚一体机掘进破岩。由于破岩方式的差异，采用截齿截割作业时粉尘防治难度远大于TBM破岩作业。

掘进机械在破煤作业过程中产生的粉尘粒径分布特征及粉尘量是表征煤的产尘特性主要特征。掘进机破碎产尘涉及的研究对象为掘进作业中机械设备对煤体的截割过程，故影响产尘特性的因素可以从掘进设备参数外包括截齿参数、截割工艺等外在条件，和煤体自身煤的理化、力学性，两个角度去研究。

从1950年以后，相关学者围绕煤的自身属性对产生的影响进行了相关实验研究，推进了产尘特性相关认识，莫尔和彼赛的认为煤尘含量与哈氏可磨性系数（HGI）成正相关性，同时无烟煤产生量比烟煤少，即煤阶越高产生量越少^[5]，同时巴菲和拉马尼^[6]也认为煤阶越低，煤的产尘量越大。但是，斯里坎特和拉马尼^[7]则认为煤尘生成率与HGI相关性不大，而与水分、挥发分、碳含量等因素相关。由于前者利用哈氏可磨性测定仪作为产尘工具，后者则采用辊式破碎机作为破碎产尘工具，这可能是导致不同研究者得出的不同结论的原因。

从1990年开始，国内学者逐步开始研究煤的水分、强度和煤阶与产尘特性关系。研究表明煤的含水率与产尘量成负相关性，且饱和煤体破碎时产生量达到最小值^[8]。煤的抗压强度与产尘量成负相关，煤体破碎时的落锤能量越大产生的细微粉尘越多^[9]。需要注意的是室内试验通常采用落锤冲击作为煤体破碎产尘方式，这与掘进作业实际采用的镐型截齿割煤产尘方式有很大不同。采煤机、掘进机或者掘锚机采用滚筒推进破煤方式产生粉尘。因此，相关学者利用滚筒割煤的方式研究了煤体抗压强度与破碎煤体粒径的关系，但由于分析破碎煤体粒径在厘米级，因此，无法准确推演滚筒破

煤粉尘的产生特性^[10]。事实上，滚筒上镐型截齿侵入煤壁是破岩、产尘的本质过程。因此，截齿锥角角度、截齿侵入角度以及截齿间距等截齿特性是破煤产尘外在影响因素，是揭示工作面产尘机理关键内容。为此，本文通过理论计算和数值仿真方法，研究了截齿特性对于产尘影响。

1 截齿破碎煤体产尘机理

1.1 煤体破碎产尘过程

可将镐型截齿破碎煤体分为5个阶段，如图1所示。首先是形成压碎区。截齿齿尖接触并挤压煤块表面，在接触部分形成较高的压应力并向齿尖周围传递，并且应力随着与齿尖接触点的距离增加而递减。但当煤体所受压应力值超过屈服强度后，区域内煤体由弹性变形转换为塑性形变，形成压碎区。其次是粉化核形成。由于初期压碎区体积较小，而此处破碎的煤体仍然暂时留存于截齿作用范围内，伴随随截齿的移动被持续运动，进而形成粉化核。粉化核具有较高能量，同时也是镐型截齿侵入煤体过程中的首要尘源。然后是裂纹萌生与扩展。随着截齿侵入深度持续增加，粉化核外部煤体开始扩展微裂纹，多条微小裂纹并相互合并、扩展，形成宏观裂纹。随着宏观裂纹迅速向外扩展，裂纹所处的煤体表面与空气相接触形成新自由面。最后是粉化核应力解除。随着新自由面产生，为煤体飞溅提供空间，大体积碎块崩落，同时粉化核的应力约束状态被解除，粉化核聚集内能向动能转化，大量微小颗粒释放，形成煤尘。

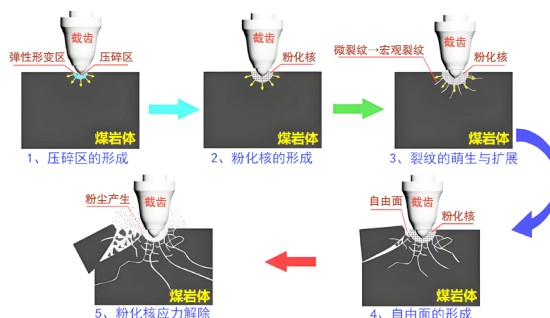


图1 镐型截齿侵入煤体破碎产尘过程^[11]

Figure 1 Process of dust production from coal cutting with pick-type cutter teeth

1.2 塑性区计算模型

未经扰动的煤体无外加应力作用，煤体呈现弹性体，随着截齿侵入，在煤体内产生塑性区。煤体弹性区和塑性区分界面（I）与齿尖和煤体的接触相关，煤体塑性区体积是截齿煤体非弹性体积，可以通过摩尔-库伦准则以及塑性势能为基础建立力学方程：

$$F = \sigma_r - K_p \sigma_\theta - \sigma_c \quad (1)$$

式中 σ_r 是径向应力, MPa; K_p 是被动系数, $K_p = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$; ϕ 是内摩擦角; σ_θ 是环向应力, MPa; σ_c 是单轴抗压强度, MPa。

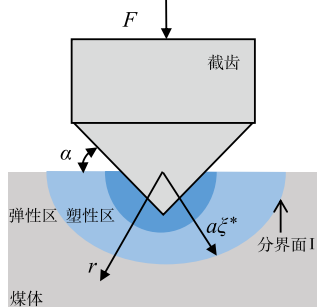


图 2 塑性区体积模型 [12]

Figure 2 Volume modelling of the plastic zone

塑性部分应力场屈服条件为:

$$\sigma_r - h = K_p (\sigma_\theta - h) \quad (2)$$

式中 $h = \sigma_c / (K_p - 1)$, 平衡方程如下:

$$\frac{d\sigma_r}{d\xi} + n \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{\xi} = 0 \quad (3)$$

式中 n 是截齿尺寸指数, 当 $\sigma_c = p$ 、 $\xi = 1$ 的条件下:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= h - (p + h) \xi^n (1 - k_p) / k_p \\ \sigma_\theta &= h - \frac{1}{k_p} (p + h) \xi^n (1 - k_p) / k_p \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

在弹性区中式中 p 为齿尖附件压实煤体均匀静水压强。 $\xi = \xi^*$ 应力可以根据拉梅解给出:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_r \left(\frac{\xi^*}{\xi} \right)^{n+1} \\ \sigma_\theta &= -\frac{\sigma_r^*}{n} \left(\frac{\xi^*}{\xi} \right)^{n+1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 σ_r^* 是分界面 I 上的径向应力。将 $\xi = \xi^*$ 位置上的应力连续性条件应用于上式中, 得到 p 与 ξ^* 函数关系:

$$P = (n+1) \frac{k_p S_0'}{k_p - 1} \xi^{*n} \frac{n(k_p - 1)}{k_p} - h \quad (6)$$

式中 S_0' 是极限偏应力, 塑性区的应力状态可写为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= h - (n+1) \frac{k_p S_0'}{k_p - 1} \xi^{*n} \frac{n(k_p - 1)}{k_p} \\ \sigma_\theta &= h - (n+1) \frac{S_0'}{k_p - 1} \xi^{*n} \frac{n(k_p - 1)}{k_p} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

可以看出, 分界面 I 上的径向和环向应力应为常数:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r^* &= h - (n+1) \frac{k_p S_0'}{k_p - 1} \\ \sigma_\theta^* &= h - (n+1) \frac{S_0'}{k_p - 1} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

根据速度表达式, 弹-塑性边界的比例尺寸可以推出:

$$\left. \begin{aligned} (1 + \mu) \xi^{*(k_d + n)/k_d} - \mu \xi^{*n(k_p - 1)/k_d} &= \gamma \\ \gamma &= \frac{2^{3-2n} \tan \alpha}{\pi^{2-n} k} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

塑性破碎区的真实半径应为:

$$\gamma^* = \xi^* \frac{dc}{d\xi} \left[(1 + \mu) \xi^{*(k_d + 2)/k_d} - \mu \xi^{*2(k_p + 1)/k_p} \right] \quad (10)$$

式中 $C = G(k_p + 2) / 3 \sigma_c$ 。因此得出侵入力 $F(N)$:

$$F = (3 - n) \pi^{n-1} p d^n C^n \left[(1 + \mu) \xi^{*(k_d + 2)/k_d} - \mu \xi^{*(k_p - 1)/k_p} \right]^n \quad (11)$$

2 数值模型构建与模拟方案

2.1 数值模型构建

在PFC中建立0.3 m × 0.15 m的煤块模型, 根据实验数据以及参数标定, 具体参数设定见下表。本次模拟主要针对滚筒截齿结构特征对产尘特性影响, 不考虑侵入速率与侵入力对产尘特性影响关系, 因此在模拟中截齿的侵入速率保持不变, 准静态加载过程中的加载速率设置为0.02 m/s, 侵入深度设置为0.01 m。

表 1 细观参数表

Table 1 Mesoscopic parameter

颗粒	数值	平节理接触	数值
接触模量 (GPa)	1.89	粘接模量 (GPa)	1.89
刚度比	1.5	接触刚度比	1.5
最大、最小直径比	1.66	抗拉强度 (MPa)	1.17
平均直径 (mm)	1.15	内聚力 (MPa)	12.24
密度 (Kg/m ³)	1.539		

2.2 模拟方案

运用数值模拟软件, 开展10组截齿破碎煤体产尘的数值仿真实验, 研究截齿破碎煤体产尘过程, 研究截齿锥角、侵入角度及侵入间距对产尘特性的影响。具体模拟组数与侵入参数方案如表2所示。

表 2 侵入参数数值模拟实验设计

Table 2 Experimental design of numerical simulations with different intrusion parameters

研究对象	组数	软件	详细参数数值
锥角	3	PFC	87°、100°、110°
侵入角度	3	PFC	90°、60°、45°
间距	4	PFC	6、10、20、30 (mm)

3 煤体产尘分析

3.1 截齿锥角对产尘特性的影响

截齿侵入煤块时,齿尖周围的煤体会先形成破碎塑性区,当压力增加时细微裂以齿尖为核心持续发育,向煤体深部扩展,随着截齿持续侵入,微裂纹合并,最终形成宏观裂纹,贯通煤体产生大碎块。在三种齿尖锥角截齿侵入下,煤体在宏观裂纹扩展至自由面时的发展情况如图3所示。可以看出,虽然齿尖锥角不同,但裂纹发展总体情况详细,裂纹以齿尖附件的塑性区为核心,此处裂纹数量最多、最密集。需要注意的是,三次侵入煤体都产生了向煤体侧方发育的2~3条明显的宏观裂纹,但随着截齿齿尖锥角的增大,裂纹的延展长度逐渐降低。

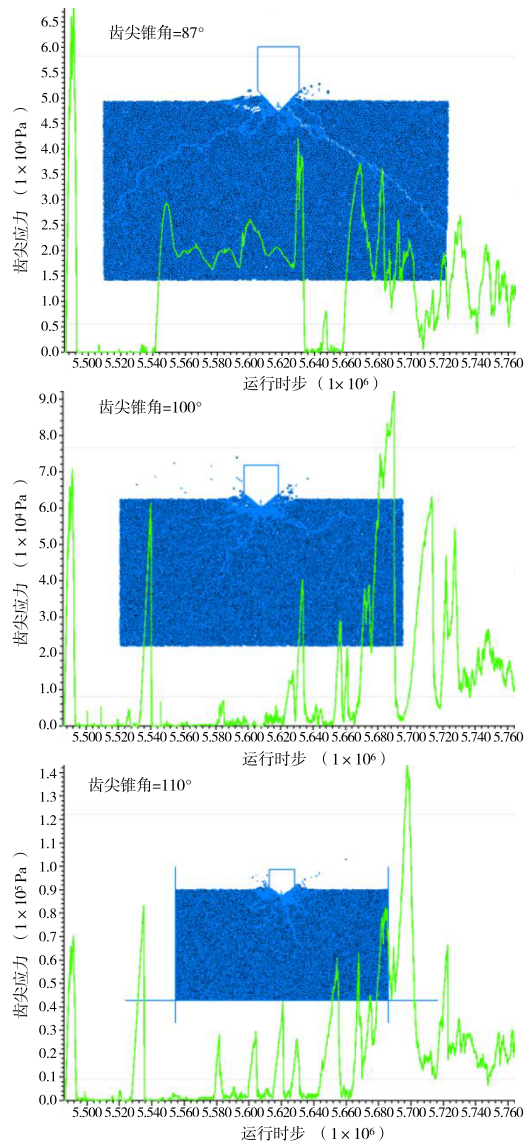


图3 不同锥角时煤体裂隙发育特征

Figure 3 Characteristics of coal body crack development at different cone angles

图4表明,随着截齿齿尖锥角的增大,截齿齿尖应力峰值一直增大,87°截齿侵入力曲线首先达到峰值,其次是100°截齿以及110°截齿。同时,随着齿尖锥角从87°增加至110°,截齿齿尖应力峰值也从69 kPa增加至146 kPa左右,截齿锥角角度与齿尖应力的正相关性,也说明了采用齿尖锥角较大的截齿侵入煤体时产生的粉尘量会更大。

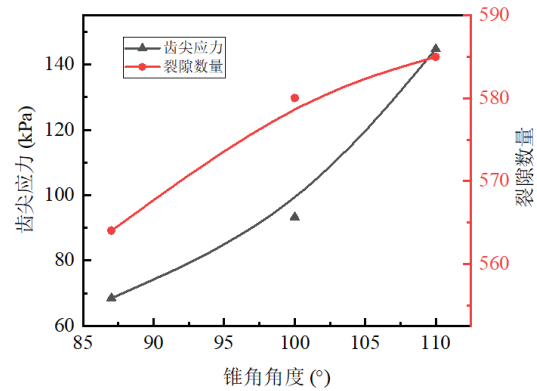
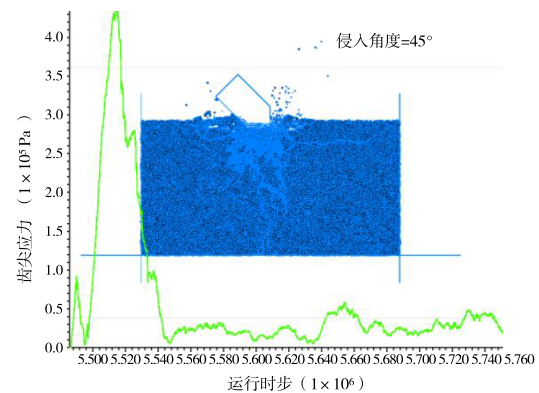


图4 不同锥角时煤体齿尖应力与裂隙数量

Figure 4 Coal body cusp stress and number of fissures at the same cone angle

3.2 截齿锥角侵入角度对产尘特性的影响

在三种侵入角度条件下,截齿的塑性阶段应力曲线如图5所示。可以看出,侵入角度为45°、60°以及90°时截齿受力曲线变化形态上相差较大,在相同时步内,峰值应力主要出现在前期或中期,同时在峰值应力。以45°侵入角度为例,煤体受力曲线在达到峰值前出现小峰值(9 kPa),随后截齿齿尖应力迅速增加至峰值应力43 kPa,宏观裂纹产生,煤体发生破碎。当侵入角度为0°以及90°时,截齿齿尖应力曲线呈现不止一个局部峰值,表明煤体破碎并非严格的连续性破坏,而是多条宏观裂纹的发育破坏。



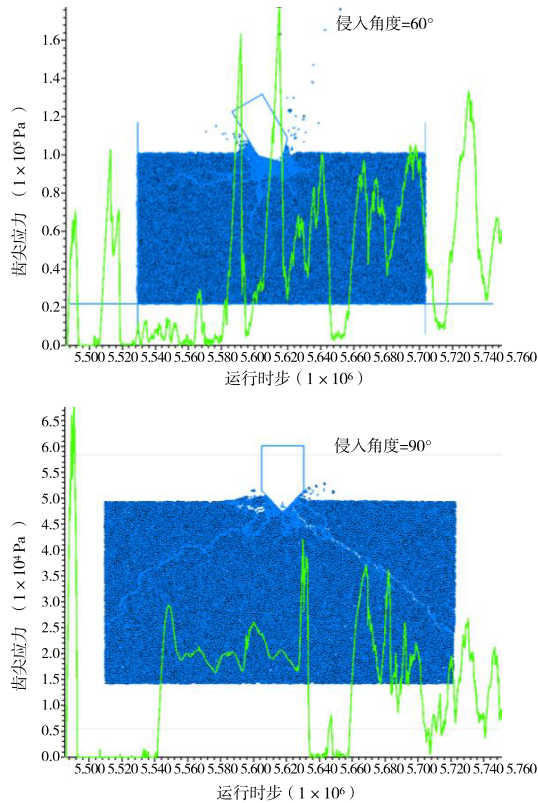


图 5 45°、60° 和 90° 侵入角度时煤体裂隙扩展
Figure 5 Characteristics of coal body crack development at 45°, 60° and 90° intrusion angles

侵入角度与齿尖应力峰值和裂隙数量的关系曲线如图 6 所示，两条曲线整体呈非线性降低趋势。随着截齿侵入角度从 45° 增加至 90° 度时，齿尖应力从 441.3 kPa 降低至 64.8 kPa；同时，裂隙数量也从 1864 降低至 564。随着侵入角度不断增大，截齿齿尖应力以及裂隙数量都明显下降。由此可见，在侵入深度一定时，侵入角度越大，截齿齿尖应力峰值越低，煤体产生的裂隙数量就越低，煤体粉尘量就越少。

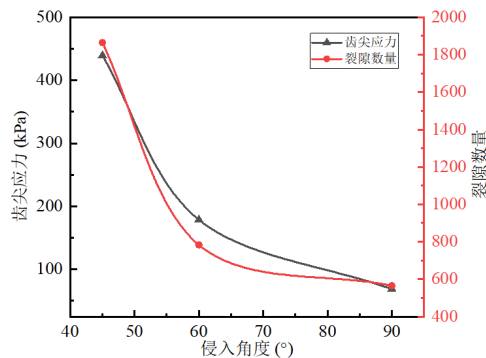
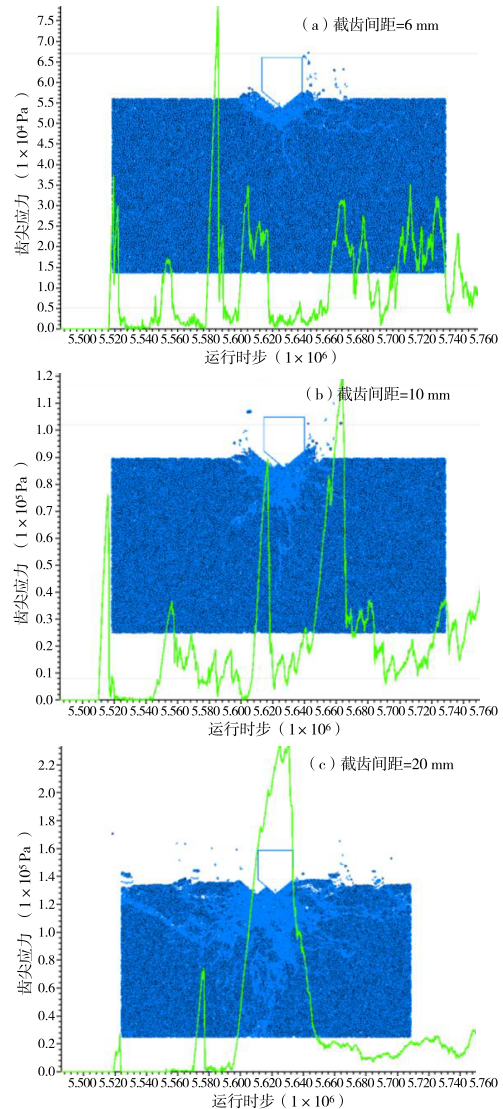


图 6 不同侵入角度时齿尖应力与裂隙数量关系曲线
Figure 6 Curve of tooth tip stress versus number of cracks at different intrusion angles

3.3 截齿间距对产尘特性的影响

截齿间距是影响设备破岩的重要因素之一，截齿间距直接影响于粉尘产生特性，间距过小使煤岩被过度挤压研磨，产生大量呼吸性粉尘；间距过大则因侵入力集中，导致煤体断裂时产生更多飞溅粉尘。在本方案中，煤块颗粒模型在 6–30 mm 截齿间距条件下的破坏如图 7 所示。由于设置的间距较小，避免两个截齿相互影响，当第一个截齿完成对煤体颗粒体的侵入后，后续截齿在水平向左偏移一定距离起始继续进行侵入，通过此种方法表征截齿间距对煤体颗粒破坏影响。图 7 (a) 为第二刀次相对第一刀次水平向左偏移 6 mm 的破岩效果，图 7 (b) 至 7 (d)，分别偏移 10、20、30 mm。结果表明，当截齿间距在 10 以内时，截齿存在局部重复侵入作业，由此导致煤体破岩效果差；当截齿间距为 20 和 30 mm 时，见图 7 (c) 和 (d)，两个截齿侵入产生的宏观裂纹可以贯通，截齿对煤体破碎效果明显。



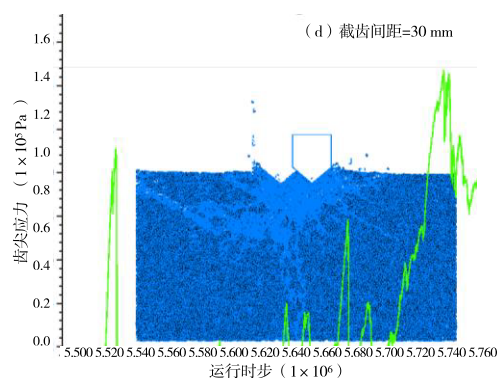


图7 截齿间距6–30mm时的截齿破岩效果

Figure 7 Coal breaking effect of interceptors with a interceptor spacing of 6–30mm

进一步的, 图8显示了在4种截齿距离时齿尖应力和裂隙数量演化曲线。当截齿间距为6 mm时, 截齿齿尖的应力79.6 kPa, 裂隙数量为624; 当截齿间距为10 mm时, 截齿齿尖的应力121.5 kPa, 裂隙数量为977; 截齿间距增加到20 mm左右时, 截齿齿尖的应力增加至最大值, 同时裂隙数量也增大为3574, 当截齿间距为30mm时, 截齿齿尖的应力降低至174.4 kPa, 裂隙数量也降低至2822。由此可得, 随着截齿间距从6mm增加至30mm时, 裂隙数量先增大后减小, 在截齿间距为20 mm时, 产生的粉尘浓度最高, 这表明截齿对煤体的破岩效果最好, 截齿间距对截齿齿尖应力影响与对裂隙数量影响类似, 不做赘述。

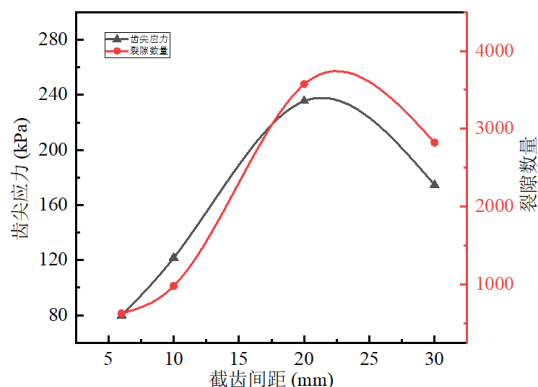


图8 不同截齿间距时齿尖应力与裂隙数量关系曲线

Figure 8 Curve of tooth tip stress versus number of cracks at different the spacing

3.4 产尘与掘进效率分析

本文主要从掘进设备截割破岩作业时产粉尘角度分析镐型截齿特性, 然而在设备实际制造与生产作业时, 不仅会考虑设备产尘特性, 更会考虑截齿的掘进效率。从掘进效率分析, 截齿间距需与煤岩硬度匹配, 若截齿间距过小时, 截齿易重复破碎同一区域, 增加无效能耗

同时加剧齿体磨损, 导致掘进速度下降; 间距过大则单齿侵入载荷过高, 可能引发截齿折断, 同时未被充分破碎的大块煤岩会阻碍排矸, 降低循环作业效率。此外侵入角度决定截齿切入煤岩的方式, 角度不当时截齿易“滑切”, 无法有效破岩; 角度过小则截齿承受的齿尖力较大, 不仅增加电机负载, 还可能导致滚筒卡顿, 影响连续掘进。因此, 设备制造时要针对矿区煤体物理力学特性针对性开展截齿设计, 从而取得掘进和防尘效果最优解。

4 结论

本文通过研究镐形截齿侵入煤体后的破碎产生过程, 并结合截齿侵入煤体的数值模拟得到以下结论: 截齿侵入时首先促使齿尖下方形成弹性形变区, 随后煤体形成压碎区与粉化核, 并以塑性形变能耗散能量, 最终自由面形成及粉化核应力解除, 对应动能与表面能的应力释放过程。当齿尖锥角越大时, 截齿侵入煤体产生的粉尘量更多; 侵入角度越大, 粉尘生成量反而越少; 截齿间距为20mm时, 不仅粉尘浓度达到最高, 截齿的破岩效果也最为理想。

参考文献

- [1] 王富强. EBZ260掘进机机载除尘系统测试分析[J]. 煤炭工程, 2017, 49(6): 135–138.
- [2] 马胜利, 张凯铭, 张恒, 等. 湿式振弦除尘风机在综掘工作面的应用[J]. 煤炭工程, 2020, 52(12): 80–84.
- [3] 王桂林. 基于FLUENT数值模拟的露天煤矿坑底粉尘浓度分布特征[J]. 煤炭工程, 2020, 52(S2): 80–84.
- [4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会规划发展与信息司. 2022年卫生健康事业发展统计公报发布[J]. 中国农村卫生, 2023, 15(10): 1.
- [5] Moore M P, Bise C J. The relationship between the Hardgrove Grindability Index and the potential for respirable dust generation [C] //Proceedings of the Coal Mine Dust Conference. Morgantown, West Virginia: West Virginia University, 1984: 250–255.
- [6] Baafi E Y, Ramani R V. Rank and maceral effects on coal dust generation [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1979, 16(2): 107–115.
- [7] Srikanth R, Ramani R V. Single-Breakage Studies to Determine the Relationships between Respirable Dust Generation and Coal Seam Characteristics [J]. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 1996, 11(7): 662–668.

- [8] 柴肇云, 康天合, 李清堂. 低级无烟煤冲击产生特性的试验研究 [J]. 矿业研究与开发, 2008 (4): 60–63.
- [9] 赵文彬, 乔善成, 王金凤, 等. 焦煤产生粒径分布特征与产生规律分析 [J]. 煤炭科学技术, 2016, 44 (6): 164–168.
- [10] 刘送永, 李洪盛, 江红祥, 等. 矿山煤岩破碎方法研究进展及展望 [J]. 煤炭学报, 2023, 48 (2): 1047–1069.
- [11] 许文忠. 采煤机割煤减尘分析 [J]. 机械管理开发, 2021, 36 (3): 289–290.
- [12] 周文东. 掘进机截齿割煤产生尘机制及减尘应用研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.

Study on the Mechanism of Dust Production from Coal Cutting with Pick-type Cutter Teeth

Zhang Suo^{1,2} Liu Xiaobo^{1,2} Dong Junliang² Zhu Xingyu¹ Xu Chao³

1. PhD Group, Shenhua Xinjie Co., Ltd, Ordos;

2. Waste-Free Mining Zone Studio Group, Shenhua Xinjie Co., Ltd, Ordos;

3. Beijing Key Laboratory of Precision Mining of Co-associated Energy, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing

Abstract: Coal dust hazard is a primary target for prevention and control in underground coal mining, posing threats to workers' health and daily production safety. To elucidate the mechanism of dust generation during coal cutting at the deep excavation face in the Xinjie Taigemiao mining area and to mitigate dust hazards, this study established a physical model of the coal-cutting process using pick-type cutter teeth based on elastic-plastic theory and numerical simulation. The effects of the cutter's attack angle, cone angle, and spacing on dust generation were investigated. The results show that as the cutter's cone angle increases, the tip stress and the amount of dust generated increase simultaneously, showing a linear relationship. Conversely, the attack angle is negatively correlated with tip stress and dust generation; a smaller attack angle produces less dust. Furthermore, the cutter spacing demonstrates a non-monotonic relationship with tip stress and the number of cracks, first increasing and then decreasing. At a spacing of 20 mm, the tip stress and number of cracks peak, resulting in the highest coal-breaking efficiency and the highest dust generation. The findings reveal the mechanism of dust generation during coal breaking by picks in excavation equipment. This study provides a valuable reference for dust control design at working faces and offers guidance for achieving safe mining practices in tunnelling operations.

Key words: Working face; Dust concentration; Intrusion angle; Pick cone angle; Cutter spacing