

新型聚甲醛喷嘴在煤矿降尘中的应用研究

刘广建 陈 颖

(北京化工大学,北京 100029)

摘要 依据降尘机理,在分析了影响喷雾降尘效率主要因素的基础上,提出了一种较理想的降尘系统的喷嘴结构。通过对聚甲醛(POM)进行阻燃和抗静电方面的改性,达到煤矿井下安全标准。用改性 POM 注塑加工出能代替不锈钢、铜等金属材料的喷嘴,可满足在矿井下的使用要求且有良好的降尘效果。

关键词 聚甲醛 喷嘴 降尘 阻燃 抗静电 应用

随着煤矿机械化水平的不断提高,开采强度增大,出现了许多高产、高效的矿井,在为煤矿带来巨大经济效益的同时,也带来了粉尘的严重危害。主要表现在:一是粉尘可以引起职业病,长期吸入含有一定粉尘浓度的空气,会缓慢导致尘肺病;二是粉尘在一定条件下会获得电荷,从而引起剧烈爆炸,威胁煤矿安全生产;三是高浓度的粉尘悬浮在空气中,会降低井下作业现场的能见度,使安全事故发生率增多^[1-2]。有效降低作业环境的总粉尘及呼吸性粉尘浓度,是控制尘肺发病率和防止煤尘爆炸事故的根本性措施。

目前,喷雾洒水技术以其适应广、便于操作等特点而被广泛应用。这项技术是利用细小雾滴与浮尘的碰撞接触,使尘粒被水捕捉而附于水滴上或者湿润的尘粒互相凝集成大颗粒,从而加速其沉降^[3]。现阶段煤矿降尘系统多采用钢管给水,使水雾化的喷嘴主要是使用铜、铝和不锈钢等材料。但是现有的管道和喷嘴各自存在着缺点:金属管质量大、易生锈,造成喷嘴经常堵塞;铜和不锈钢喷头的成本较高,不便于携带。随着石化工业的飞速发展,塑料作为一种新材料已逐步进入煤矿,以替代钢材、木材和橡胶使用。实践证明塑料在矿井下应用具有耐腐蚀、轻便、可再回收利用等优点,具有很广阔的前景。但因煤矿井下是一个富含瓦斯的场合,进入煤矿井下应用的塑料必须符合 MT113 ~1995《煤矿井下非金属材料制品安全性能检验规范》要求,即需要有一定的阻燃、抗静电性能。这样可将煤矿降尘给水系统的支管路更换成符合要求的聚乙烯(PE)管,但目前市场上的塑料喷嘴多用于农业上防治病虫害,尚没有煤矿降尘的专用的塑料喷嘴。

笔者通过对聚甲醛(POM)进行阻燃、抗静电性能改性制备的改性 POM 喷嘴达到煤矿井下安全标准。

1 喷雾降尘的相关理论研究

1.1 喷雾降尘的机理

目前,许多学者对喷雾降尘的机理做了比较深入的研究。常规喷雾降尘的机理为重力沉降、惯性碰撞、惰性凝结与扩散捕集。喷雾喷出的液体雾粒与固态尘粒的惰性凝结过程使尘粒湿润,自重增加且沉降,称之为凝聚作用。其次,当风流携带尘粒向水雾粒运动并离雾粒不远时就要开始绕雾粒运动。风流中质量较大、颗粒较粗的尘粒因惯性的作用会脱离流线而保持向雾滴方向运动。如不考虑尘粒的质量,则尘粒将和风流同步,因尘粒有体积,粉尘粒质心所在流线与水雾粒的距离小于尘粒半径时,尘粒便会与水雾滴接触而被拦截下来,使尘粒附着于水雾上,这就是拦截捕尘作用。对细微粉尘,特别是直径小于 $0.5\ \mu\text{m}$ 的粉尘,由于布朗扩散作用,也可能被水雾粒捕集,称之为扩散捕集^[4]。

1.2 影响喷雾降尘效率的主要因素

在进行降尘系统喷嘴结构设计或制定喷雾参数时应优先考虑:

(1) 雾滴与粉尘的相对直径。雾滴粒径大,水的分散性差,雾滴数量少,与粉尘碰撞、拦截的概率小,捕尘效果差,但是雾滴粒径过小在空气中的时间过短,还未与粉尘碰撞就可能气化。一般认为,粉尘直径越小,最宜雾滴直径也越小。有实验资料认为,雾滴直径为粉尘直径的 50 ~150 倍为宜^[5]。

(2) 雾化粒度及流量密度的均匀性。雾化后实际雾滴粒子群中雾滴尺寸大小相差悬殊,有时达 10 倍左右,因此常用均匀性指数 N 表示雾滴群中不同雾滴大小的均匀程度。 N 值大,雾化均匀性好,喷雾效果好; N 值小,则雾化均匀性差。分布较好的雾滴群能分散到整个降尘空间,在较小的空气扰动下与

空气获得充分的混合,从而提高降尘效率。

(3) 喷雾作用范围。它是指喷出的喷雾体所占的空间。分别用喷雾体作用长度、有效射程和扩散角表示。喷雾的作用范围越大,降尘能力越强^[6]。

(4) 粉尘与雾滴捕集体的相对速度。它决定着粉尘与雾滴的接触效果,如相对速度大,两者碰撞时动量大,有利于克服水的表面张力,将粉尘湿润捕获。一般情况下,喷雾降尘的雾滴速度应大于 5 m/s^[7]。

2 喷嘴材料的选择及处理

选择喷嘴材料时,首先要保证有足够的硬度、韧性和耐磨性,不会遭到内部流场和外部冲击的破坏;其次是通过加工能达到较高精度。因为如果喷嘴内表面的微小凹凸不平,导致射流产生较大的初始扰动,引起流体压力波动;再次是具有良好的抗水蚀能力。POM 作为工程塑料,具有优良的力学性能、良好的耐磨损性、耐疲劳性及自润滑性,尺寸稳定性好,吸水性小(0.25%),远低于聚酰胺。因此 POM 可用来取代有色金属及其合金,已在农业灌溉上广泛用于喷嘴的制造。通过添加长玻璃纤维(LGF),可以使 POM 的拉伸强度、刚性、耐疲劳性、耐蠕变性等大幅提高,当玻璃纤维(GF)的质量分数为25%,其拉伸强度可提高1倍以上,达到127~147 MPa,基本上能够满足降尘喷头所承受的水压要求。

2.1 阻燃 POM 配方

POM 作为一种性能优异的工程塑料被广泛用于汽车、电子电气、精密机械和建材等诸多领域。但 POM 的极限氧指数仅为 15%,是极易燃烧的塑料品种,使其应用受到限制。POM 属线性高结晶聚合物,与其它材料相容性差,选择阻燃剂时要特别注意。安徽省化工研究院采用复配技术,设计了阻燃 POM 的最佳配方^[8]。实验结果显示,聚磷酸铵(APP)和三聚氰胺的用量低于 10 份时,对 POM 的氧指数影响不明显,而在 10 份以上时,影响明显。当 POM 的用量为 100 份、APP 为 30 份、三聚氰胺为 20 份时,材料的氧指数达到 41.5%,力学性能下降 40%左右。一般情况下,氧指数为 27%即可达到《煤矿井下非金属聚合物制品安全性能检验规范》要求^[9],考虑到助剂的添加量与材料的力学性能关系很大,应尽量控制添加量。将 POM、APP 与三聚氰胺进行配方实验,测定氧指数,结果列于表 1。由表 1 可见,阻燃 POM 配方最终确定为 POM 100 份,APP 20 份,三聚氰胺 10 份,可满足 MT113-1995

表 1 阻燃 POM 的配方及氧指数

配方编号	POM/份	APP/份	三聚氰胺/份	氧指数/%
1	100	10	10	20.5
2	100	10	15	21.5
3	100	15	10	24.0
4	100	10	20	25.0
5	100	20	10	28.0

要求。

2.2 抗静电 POM 配方

静电现象在聚合物的生产、加工和使用过程中是非常普遍的。一般聚合物的电阻率高,其体积电阻率为 $10^{10} \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$,一旦带上静电,便很难消除。这些电荷的积聚正是产生火灾、爆炸和电击等灾害的根源。要达到抗静电性符合煤炭行业的标准,其体积电阻率应在 $3 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下。炭黑(CB)是天然的半导体材料,其体积电阻率为 $0.1 \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$,原料易得,导电性能持久稳定,可大幅度调整聚合物材料的电阻率。选购导电 CB 时,应优先考虑粒径小(20~40 nm)、炭粒表面不光滑且炭粒呈空壳结构的品种。因为这样的 CB 具有很大的表面积,在相同质量下,空壳结构的炭粒数目较实心炭粒多,相邻 CB 粒间距小,使电子易于跃迁。但加入 CB 势必使体系的其它性能下降很多,尤其是力学性能。采用间接包覆法将 POM 与处理剂氧化聚乙烯(OPE)混合加热至处理剂熔点之上,使处理剂均匀分布于 POM 颗粒表面,再加入 CB 与二者混合,使 CB 均匀包覆于树脂颗粒表面。这种处理工艺可极大地改善体系的加工性能,并可减少 CB 对材料力学性能的影响,其中处理剂的添加质量以 2~3 份为宜^[10]。表 2 是在 100 份 POM 中加入 2 份处理剂质量时,CB 添加量与 POM 体积电阻率的关系。

表 2 CB 添加量对 POM 体积电阻率的影响

项 目	CB 用量/份				
	1	2	3	4	5
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	2×10^{14}	7×10^{13}	2×10^{12}	8×10^9	1×10^8

由表 2 可见,当 CB 加入量很少时,体积电阻率下降不明显,一旦 CB 添加量超过临界值 3 份时,试样的体积电阻率大幅下降。当添加量达 5 份时,即可使试样的体积电阻率小于等于 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

3 喷嘴结构的设计

近几年来随着喷嘴结构的不断改进,对于雾化性能的研究水平也有很大提高。但是由于雾化过程很复杂,雾化理论的发展仍很缓慢,还没有一个比较

完善的雾化理论。大部分研究工作者都是通过对不同类型的喷嘴进行广泛的实验研究, 从而得到一些经验或半经验公式。同时随着激光测雾技术的应用, 已使一些经验公式日臻完善, 致使研究雾化质量的水平有了很大提高^[11]。

喷嘴结构在很大程度上决定了雾化状况。为提高微细粉尘, 尤其是呼吸性粉尘的沉降效率, 要求喷嘴喷出的雾滴不仅要雾化均匀、分散度好, 并且雾滴直径须在 $100\ \mu\text{m}$ 以下。因此喷嘴结构的设计至关重要。将一般喷嘴装置内的流体直线运动改为一种复合运动 (见图 1), 设直线运动 v_1 和旋转运动 v_2 的合成运动为流体绝对运动速度 $v_0 = v_1 + v_2$, 由图 1 可知, 流体绝对运动速度 v_0 大于直线运动速度 v_1 。 v_0 速度越大, 那么喷嘴流出速度就越大, 在水压一定的情况下, 可提高喷雾速度, 改善雾化效果^[12]。因此通常在直射式喷嘴内腔安放一螺旋形交叉开口的旋芯。旋芯前为混合腔和圆形出口小孔, 使水流未出口前即被旋芯整流而具有较强的旋转倾向, 出口后迅速雾化。旋芯喷嘴喷雾机理可用不稳定性理论进行解释^[13]。针对供水管中杂质较多、喷嘴易堵塞的情况, 设计必须同时考虑工作可靠性问题。

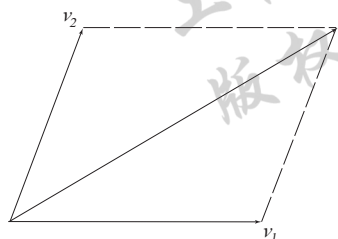
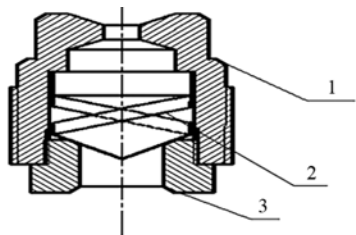


图 1 复合运动矢量合成

为保证塑料的加工性能, 喷嘴壁厚不宜太薄, 一般应为 $1.5 \sim 5.0\ \text{mm}$ 。为减小制品中的内应力, 有利于物料均匀收缩, 还应注意壁厚的均匀性, 要求相差不要太大, 并避免缺口、尖角的存在, 转角、厚薄连接处等部位采用圆弧过渡。综合考虑雾化性能和工作可靠性, 较理想的喷嘴结构形状如图 2 所示。它由喷嘴体、旋芯和顶盖组成^[14]。旋芯与喷嘴体之间



1—喷嘴体; 2—旋芯; 3—顶盖

图 2 可拆分喷嘴结构图

是间隙配合, 容易取出, 在喷嘴发生堵塞时清理方便, 从而能够延长喷嘴的使用寿命。为防止旋芯脱落, 顶盖的一端与喷嘴体内部通过螺纹连接。

在喷嘴出口处, 旋转液体的离心力将克服其表面张力, 使水流喷出后呈渐扩开口、旋转中空的圆锥薄膜状流动。随着喷雾发展, 锥膜流动截面直径增大, 相应地锥膜厚度不断变薄; 当外层锥膜减至一定厚度时, 旋流液体的离心力与锥膜表面的收缩张力相平衡, 射流锥膜截面直径不再增大, 锥膜厚度也不再减小; 但在空气阻力作用下, 射流锥膜变成碎膜, 然后在液体张力作用下进一步形成细小的球形液滴, 并作分散流动成为雾场^[15]。

有关研究结果表明, 雾滴直径与喷嘴口直径成正比, 为控制雾滴在 $100\ \mu\text{m}$ 以下, 喷嘴口直径须尽可能小, 但考虑到煤矿井下水质较差的问题, 喷嘴口直径应在 $1\ \text{mm}$ 以上, 否则堵塞现象太过频繁。同时喷嘴内腔直径与喷嘴口直径应匹配协调, 从雾化效果和分散均匀度来说, 喷嘴内部流道相对小一些较为有利, 但太小的话, 流体在喷嘴内部流动阻力太大, 造成较大的压力损失。若内部流道比口径大得太多, 水流在内部流道中的流动速度变小, 紊流程度低, 水流横向速度也小, 水流喷出后扩散不开, 分散度差, 严重时成细射流状喷出。鉴于上述原因, 喷嘴口直径取 $1.2\ \text{mm}$, 内腔直径取 $5\ \text{mm}$ 。

为弥补阻燃剂和抗静电剂对 POM 力学性能的影响, 需向 POM 中再加入质量分数为 25% 左右的 GF 和 2% 的增韧剂。将经过造粒的阻燃抗静电改性 POM 装入螺杆式注塑机中进行注射成型, 注塑过程顺利。由于 POM 中添加了 GF, 流动性变差, 注塑压力和温度比纯 POM 应适当提高, 其中机筒温度需提高 $20 \sim 30\ ^\circ\text{C}$, 模具温度提高 $10\ ^\circ\text{C}$ 左右。该喷嘴由 3 部分组成, 要分别进行注射成型。

4 结语

这种新型煤矿降尘改性 POM 喷嘴可满足在喷雾系统中的使用要求, 阻燃、抗静电性能均达到 MT113-1995 标准, 并且质量轻、耐腐蚀、易于成型加工, 价格比不锈钢等材料便宜。该喷嘴在邯郸矿务局的多个矿井进行了现场实验, 降尘效果明显, 最高可达 70% 以上, 在“以塑代钢”的趋势之下, 具有广阔的应用前景。它的成功应用为工程塑料在煤矿行业中的推广开辟了一个新的方向。

参考文献

- [1] 宋文珍. 煤矿粉尘综合防治技术探讨[J]. 劳动安全与健康,

- 2001(1):36-37.
- [2] 黄声树.我国煤矿粉尘防治技术的现状及进展[J].煤炭工程师,1998(3):13-14.
- [3] 张永红,赵红兵,李继春.高压喷雾降尘机理分析[J].煤,2003,12(3):38-39.
- [4] 谢金亮,王花平.喷雾降尘在矿山中的应用[J].矿业快报,2007(1):86-87.
- [5] 郭立新.提高水泥厂电除尘效率措施的研究与运用[D].长春:吉林大学,2004.
- [6] 赵栋,刘文虎,姚理忠.1307综放工作面实施采煤机内喷雾降尘效果分析[J].矿业安全与环保,2003(6):124-125.
- [7] 高辉,李艳红.喷雾洒水降尘器控制煤尘的研究[J].山东环境,2002(5):34-35.
- [8] 樊真,赵小平.阻燃聚甲醛的研究[J].工程塑料应用,2002,30(10):1-3.
- [9] 张化廷.煤矿工程塑料的阻燃研究[J].塑料科技,2000(2):24-25.
- [10] 张芳,章于川,庄永龙.阻燃抗静电尼龙6中炭黑的选择及处理[J].塑料工业,1999,27(7):39-41.
- [11] 艾育华.喷嘴与蒸汽喷射器[D].北京:华北电力大学,2001.
- [12] 杨树军,王常富,刘东升.综掘FS-1型机载喷雾降尘器[J].矿业安全与环保,2002(6):33-34.
- [13] Reitz R D. Modeling atomization processes in high-pressure vaporizing sprays[J]. Atomization and Spray Technology, 1987(3):309-337.
- [14] 马素平,寇子明.用于喷雾降尘的压力型雾化喷嘴设计研究[J].矿山机械,2006(1):67-68.
- [15] 周华,朱畅,范明豪.高压旋芯喷嘴的雾化特性[J].农业机械学报,2006,37(1):63-67.

APPLICATION OF A NEW POM NOZZLE FOR DUST REDUCTION IN COAL MINE

Liu Guangjian, Chen Ying

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT According to the dust-settling principle, and on the basis of analyzing the dust removal efficiency influence factors, an ideal nozzle structure used in dust reduction system was designed. By antistatic and flame retardant modification, the polyoxymethylene (POM) became an ideal material to mold nozzles by injecting. The new nozzles could reach the coal mine safety standard, and it could replace stainless steel and brass nozzles, and their dust reduction efficiency was obvious.

KEYWORDS POM, nozzle, dust reduction, flame retardant, anti-static, application

亚太最新推出先进工程塑料 PMMA/ABS 合金

2008年亚太(Asia International Enterprise)推出PMMA/ABS优异的工程塑料,它保留了ABS良好的加工性、韧性,同时兼具PMMA优异的耐候性、表面硬度、光泽性等优点,使得PMMA/ABS合金具有比ABS好的多的耐候性、耐磨擦性和光泽。产品广泛运用于要求外观亮丽的各种电器、电子及复杂制件,特别是液晶电视等大型家电,实现了高光泽,免喷涂化。亚太提供各种等级的PMMA/ABS,如M2010HG、M2010H1、M2010RS等。

PMMA/ABS合金高光泽、高流动、优异的耐磨擦性能应用于家用电器领域如车载电视、CD机壳、液晶电视外壳、显示器外壳、音响壳体;能应用于设备、办公领域如电话机、打印机壳体、复印机部件;以及电子电器领域如MP3外壳、手机壳和充电器外壳等。

亚太国际企业(香港)有限公司是一家致力于工程塑料和特种塑料研发、生产、销售的港资公司。目前公司在深圳拥有一家年产能达到8万t的工程塑料改性工厂。亚太利用自身独特的共聚共混技术,为每位顾客提供优质的工程塑料和改性塑料。公司产品包括改性塑料PC、PC/ABS、PBT、PA6、PET、POM、PP、ABS、HIPS、PA66、PPO、PPS和其它特种工程塑料如LCP、PEI、PA46、PES、PEEK、PPA等,另外还特别推出PC/PET、PC/PBT、PPS/PS、PBT/ABS等特殊合金塑料。

(工程塑料网)

高阻隔聚酯专用料成功为食品瓶助力

辽阳石化公司研究院采用纳米复合方法在聚酯合成过程中加入经高分子改性的纳米溶胶,使其均匀分散在聚酯高分子链间,有效阻隔气体渗透,制得的高阻隔聚酯阻隔性能突出,是普通聚酯阻隔性的两倍。使用该技术生产的高阻隔聚酯切片在制瓶时操作简单,便于控制,不需要特别精密、复杂的注塑模具,可以在普通注塑——制瓶联合设备上直接生产单层、透明的高阻隔聚酯啤酒瓶,有效降低生产成本。

经过3年攻关,辽阳石化公司研究院顺利完成“十一五”中国石油股份公司级技术课题,研制成功以纳米溶胶为添加剂的高阻隔聚酯专用料。

据介绍,高阻隔聚酯专用料是一种新型瓶用聚酯原料,可以广泛应用于啤酒、奶制品等食品包装领域,能够替代此类食品的传统包装,使用量大,市场前景良好。采用该技术试生产的高阻隔聚酯切片先后在上海爱思必机械有限公司、浙江黄岩塑料机械厂、辽阳天诚塑料制品有限公司等多家制瓶厂家分别进行一步法和二步法制瓶实验。结果表明,辽阳石化研制生产的高阻隔聚酯瓶用料成型性能良好,瓶体着色均匀,瓶体表面光洁度较好,瓶体力学性能良好。该聚酯专用料的研制成功,将为国内聚酯生产与市场带来一个新思路和新亮点。

目前,该技术申请了6项国家发明专利,其中两项已获得专利授权,其余4项专利正在办理之中。

(中华包装瓶网)