

矿用喷嘴堵塞的解决方案及改进设计验证

赵洪林

(三一重型装备有限公司 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 截割头作业雾化降温除尘喷嘴在实际生产中会出现堵塞现象,本文在分析喷嘴存在的问题和造成问题的主要原因基础上,对喷嘴进行了简单喷雾机理研究,分析和明确了影响雾化寿命的相关因素,并结合生产实际提出了喷嘴优化方案。方案主要是扩大喷嘴最小通径,改进喷嘴内腔结构,改进喷嘴的组装和安装方式,引入了旋流芯设计、短冲程设计等参数,从而提高了喷嘴的适应性和雾化效果。

关键词: 截割作业喷嘴; 气雾喷嘴; 改进设计

0 引言

综掘机喷雾系统主要用于对综掘作业空间内悬浮颗粒进行除尘及给截齿冷却降温。除尘可提高井下作业便利性,改善作业环境,避免粉尘过多遇明火发生爆炸。进行截齿降温,可减少截齿消耗,从而提高作业效率,降低开采成本。但以水为介质的喷雾降温喷嘴易堵塞且堵塞后井下作业除尘效果不佳,这是综掘机行业普遍存在的问题,这些问题的优化研究也是业内一直关注的重点。当前广泛应用在综掘机作业面的喷嘴主要为全锥水喷嘴,该喷嘴喷雾形状为实心锥形,主要用于截割头内喷、环喷、外喷,以实现增湿、降尘等功能。

但是我国缺少对喷嘴基础性的相关探索,因此有必要进行防堵关键基础技术开发^[1]。

1 喷嘴寿命影响因素

根据原有喷嘴在井下的实际使用状况归纳,影响喷嘴工作效果的因素如下:

1.1 喷嘴材料特性的影响

现喷嘴主要以铜质水芯和不锈钢喷嘴座为主,在作业时长大于500h以后,以黄铜喷嘴为例经测量喷嘴孔径会增大0.15~0.2mm。在一定程度上,喷嘴孔径增大的原因在于供水系统增压泵持续供应压力为3Mpa的水流冲刷造成喷嘴出水口磨损和破坏,这种情况在水源含有碳酸沉积物杂质及水性偏酸时会更为严重。由于喷嘴出水口直径会被水流冲刷磨损发生不可逆的变化,造成雾化效果不好^[2]。

1.2 喷嘴流道外堵

综掘机喷雾降温喷嘴发生外堵主要是截割作业过程

中泥沙沉积未及时冲刷而导致的,进而影响出水流量,影响喷嘴的雾化效果。

1.3 喷嘴内堵

内堵原因为水源杂质较多导致滤芯及出水腔堵塞。受井下水质影响,在截割作业后,在滤网处易发生碳化钙类沉积结晶,导致喷嘴功能受限,影响作业效果^[3]。

2 研究指标

(1) 堵塞频率由2h/次提升至4~6h/次。喷嘴堵塞是综掘机行业的共性问题 and 难题。降低喷嘴堵塞率的研究和优化一直在进行。全锥水雾化喷嘴在泥沙截割作业状态下更容易堵塞。

(2) 雾化效果提升50%。喷嘴的喷射角度和覆盖范围在不同水压、不同流量下都有不同的影响。

(3) 内部结构及组装方式优化。喷嘴的内部结构设计优化是喷嘴性能提升的难点和核心,内部结构的变化影响着喷嘴性能的各个方面,喷嘴内部结构的优劣也是喷嘴制造商核心竞争力之一和重点技术、专利保护的内容。优化内部结构能够提高混合均匀性,提高内部效率和喷射速度;改进喷嘴的组装方式便于减少泥沙沉积,提高喷嘴更换的灵活性,从而减少维修时间^[4]。

3 喷嘴详细改进设计

3.1 喷嘴方案改进

为了进一步提高喷射速度,降低动能消耗,本次优化改造,在喷管内引入了旋流设计,也就是直射式喷嘴内部增加一个旋转芯组合而成。

3.2 喷嘴材料改进

选择碳化硅替换铜和不锈钢作为喷嘴的主要材料。首先,碳化硅材料硬度更好,抗腐蚀且耐磨。其次,碳

化硅材料不生锈、自密度高,无需担心水质附着结垢的风险,雾化效果更稳定。

3.3 喷嘴具体结构方案改进

喷嘴雾化性能主要由喷嘴结构参数决定,其结构参数见图1。喷嘴关键尺寸参数包括入口参数 d_s 、漩流室长度 L_s 、收缩角 2β 、出口长度 L_0 、出口直径 d_0 、过水面 A 、旋芯角 α 。

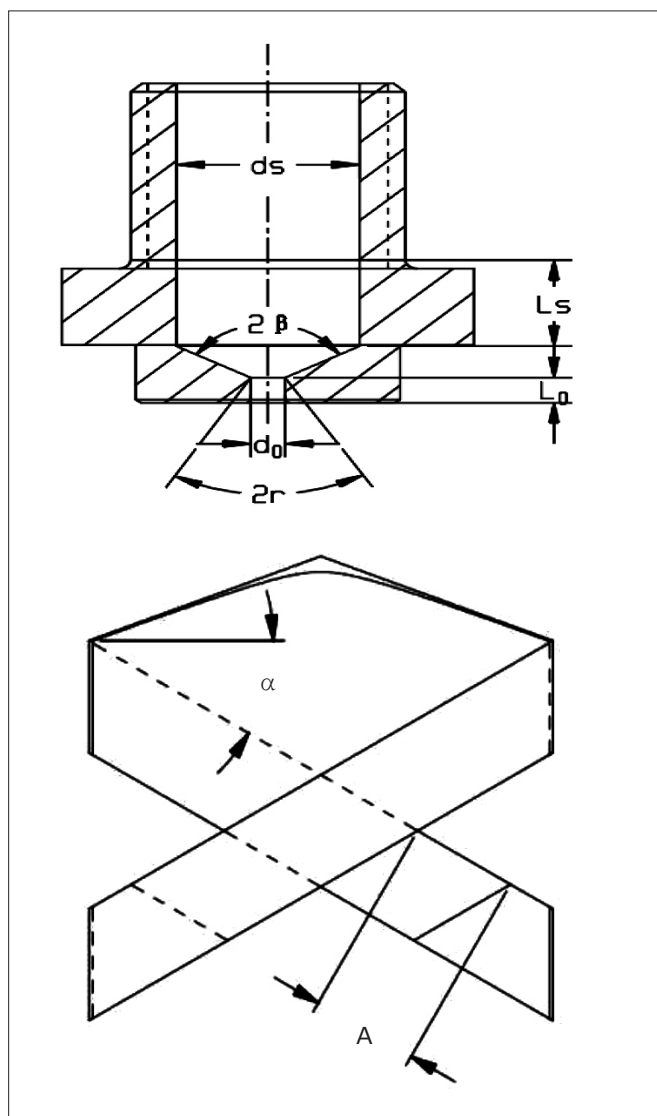


图1 喷嘴关键尺寸示意图

(1) 喷嘴直径。出水口孔径取较小值有利于增加流体喷射速度,同时数值不应过小,也应考虑喷嘴的堵塞问题。

(2) 喷嘴的通径比。喷嘴的入口段射流性能无多大影响, L_s/d_s 比值过大会导致压力损失,根据流体力学原理,细长孔具有较高的流量系数,较高流量系数转变为压力,便能提高喷射速度的转化效率,当出口直径确定后, $L_0 = (2.5 \sim 3) d_0$ 。

(3) 喷嘴收缩角(2β)。喷嘴流动阻力主要来自喷嘴收缩角,较小时,在喷嘴喷射过程中会产生射流不稳定且附壁现象;较大时,发生卷吸使射流连续长度减少。

(4) 旋芯角 α 。流体经过旋流叶片后离开喷嘴时,使流体同时具备影响射程的轴向速度,及影响雾化范围的径向速度和切向速度。

4 喷嘴关键参数设计试验验证

为模拟实际工况作业情况,新增设喷嘴雾化试验台,试验台方案如图2所示。

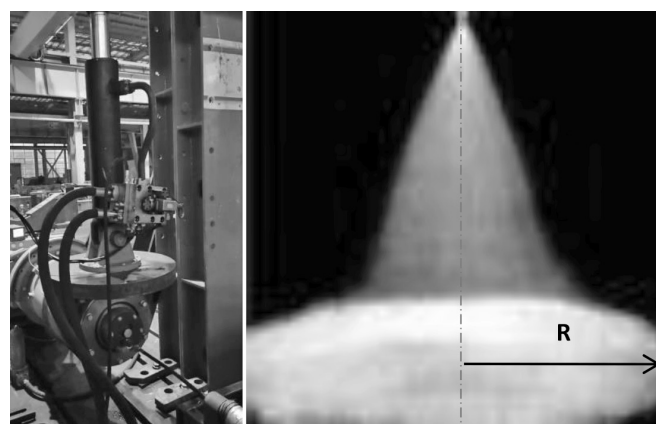


图2 喷嘴雾化试验测试试验台

试验台测试结论如下:通过试验验证分析得出结论,出口直径 d_0 、过水面 A 、旋芯角 α 为三个主要的结构影响参数。其中 d_0 对出口雾化角的影响最大, A 次之, α 影响最小。

(1) 收缩角(2β)对喷雾特性的影响。当收缩角 2β 分别为 60° 、 100° 、 120° 时,且除收缩角 2β 参数外其余参数保持一致,不同直径下喷雾圆形范围径向取样点的轴向及切向速度,见表1。

表1 收缩角与雾化数据

位置	$R=0\text{mm}$		$R=0.2\text{mm}$		$R=0.4\text{mm}$	
参数	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)
$2\beta = 60^\circ$	55	0	55	15	55	20
$2\beta = 100^\circ$	50	0	50	10	50	10
$2\beta = 120^\circ$	52	0	50	15	48	20

当 $2\beta = 60^\circ$ 时,水流轴向速度较大;当 $2\beta = 100^\circ$ 和 $2\beta = 120^\circ$ 时,轴向速度大体相当, $2\beta = 100^\circ$ 时的速度略大于 $2\beta = 120^\circ$ 时的轴向速度,且 $2\beta = 120^\circ$ 时切向速度越大,因为切向速度决定雾化角大小,结合数据统计发现收缩角与旋流效果成正相关,因此收缩

角越大作用越好。

(2) 出口直径 d_0 喷雾特性的影响。为了获取出口直径 d_0 分别为 1mm、1.5mm、2mm 时的喷嘴射流特性，且除出口直径 d_0 参数外其余参数保持一致，不同直径下喷雾圆形范围径向取样点的轴向及切向速度，见表 2。

表 2 出口直径与雾化效果数据

位置	R=0mm		R=0.2mm		R=0.4mm	
参数	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)
$d_0=1$	60	2.5	50	5	40	5
$d_0=1.5$	60	2.5	50	5	40	10
$d_0=2$	60	5	50	5	40	12.5

当喷嘴直径增大时，轴向速度成负相关关系，切向速度明显增大，因为切向速度决定雾化角大小，结合数据统计发现出水口直径越大，出口的整体旋流效果略有增加，因此出口直径越大作用越好。

(3) 出口长度 L_0 。出口长度 L_0 可直接影响到喷嘴的流动阻力，对出口长度 L_0 为 3mm、6mm、9mm 时的喷嘴射流特性，且除出口长度 L_0 参数外其余参数保持一致，不同直径下喷雾圆形范围径向取样点的轴向及切向速度，见表 3。

表 3 出口长度与雾化效果数据

位置	R=0mm		R=0.2mm		R=0.4mm	
参数	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)
$L_0=3$	52	0	53	10	52	20
$L_0=6$	50	0	50	7	50	15
$L_0=9$	51	0	52	7	52	10

当喷嘴出口段长度增大时，轴向速度成自相似关系，切向速度不断减小，因为切向速度决定雾化角大小，结合数据统计发现出口段长度越小，出口的整体旋流效果略有增加，因此出口长度越小作用越好。

(4) 旋芯角 α 。当旋芯角 α 分别为 25° 、 35° 和 45° 时的喷嘴射流特性，且除旋芯角 α 参数外其余参数保持一致，不同直径下喷雾圆形范围径向取样点的轴向及切向速度，见表 4。

表 4 旋芯角与雾化效果数据

位置	R=0mm		R=0.2mm		R=0.4mm	
参数/ $^\circ$	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)
25	58	0	58	5	58	6
35	48	0	48	7	48	8
45	47	0	47	8	47	10

当喷嘴出口段旋芯角增大时，轴向速度减小切向速度增大，因为切向速度决定雾化角大小，结合数据统计发现旋芯角在 $35^\circ \sim 45^\circ$ 趋向稳定，出口的整体旋流效果略有增加，因此旋芯角 α 应该在 $35^\circ \sim 45^\circ$ 间选择。

(5) 旋芯过水面积 A 。当旋芯过水面积 A 分别为 0.25mm^2 、 1mm^2 和 2.25mm^2 时的喷嘴射流特性，且除旋芯过水面积 A 参数外其余参数保持一致，不同直径下喷雾圆形范围径向取样点的轴向及切向速度，见表 5。

表 5 旋芯过水面积与雾化效果数据

位置	R=0mm		R=0.2mm		R=0.4mm	
参数 / mm^2	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)	轴向 / (m/s)	径向 / (m/s)
0.25	42	0	42	15	42	20
1	50	0	50	10	50	12.5
2.25	48	0	48	0	48	5

当喷嘴旋芯过水面积 A 增大时，轴向速度减小切向速度减小，出口的整体旋流效果略有减小，过水面积与雾化角旋流特性成负相关，但如果过水面积过小会造成水雾轴向速度损失。

5 综掘工作面喷嘴改进方案实施

川煤芙蓉威鑫矿，综掘工作面 EBZ160 型掘进机，截割头采用 1.5mm 直径不锈钢喷嘴，喷嘴方案如图 3 所示，喷雾压力为 3MPa。从实际应用来看出口直径为 1.5mm 喷嘴容易堵塞，泥沙沉积造成喷雾失效，因此需要增加出口直径，基于试验数据结果将喷嘴直径增加 20% 至 1.8mm 以增强防堵性能，并将出口紧固方式由内六角改为外六角紧固，减少泥沙沉积。出口段长度由 3mm 改进为 2.4mm，原铜质柱状导水芯改进为 45° 旋角的旋转芯。为增大雾化效果将收缩角由 105° 提升至 120° ，同时将喷嘴主体材质改为碳化硅。改进后方案如图 4 所示。

6 结语

通过实际现场跟产试验，经验证喷嘴防堵技术，达到行业技术领先水平。

其一，碳化硅作为主要材料的喷嘴实现相同截割头同时作业，喷嘴出水口累计冲刷磨损改善超 50%。

其二，喷嘴出水口配合防尘圈实现平面化作业，进而实现作业出水口无泥沙沉积。同时由于碳化硅材料喷嘴受温变形较小，防尘圈实现无脱落。

其三，短冲程水柱配合双螺旋导水芯，相同进水实



图 3 原方案喷嘴结构图

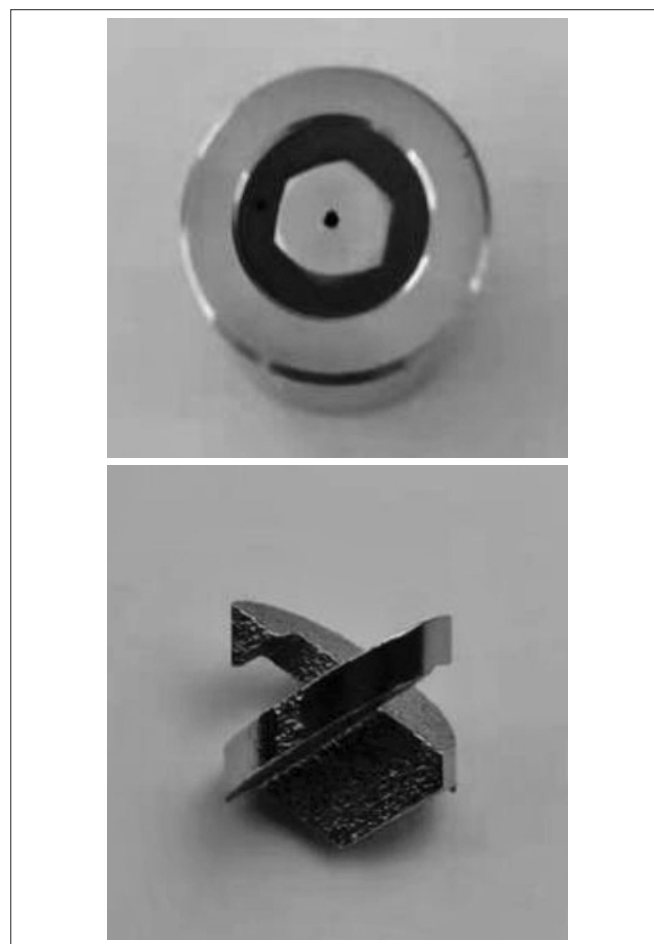


图 4 改进后喷嘴结构图

现旋转喷射水雾，增强雾化效果增强超 10%。三者同时作用，实现井下喷嘴喷雾作业单班次寿命 $> 4\text{h}$ ，旧品 $< 1\text{h}$ ，性能提升 $> 400\%$ 。

参考文献：

- [1] 李建志. 煤矿巷道掘进机喷雾降尘装置应用分析[J]. 机械管理开发, 2019, 34(01): 64-65.
- [2] 罗洪章. 煤矿井下高效喷雾降尘系统的应用研究

[J]. 机械管理开发, 2019, 34(10): 172-173.

[3] 魏勇. 煤矿采掘机械喷雾降尘模糊评价[J]. 机械设计与制造, 2018(09): 185-188.

[4] 李慧斌. 煤矿井下喷雾降尘装置喷嘴结构的优化研究[J]. 机械管理开发, 2019, 34(02): 50-51.

作者简介：赵洪林(1992.07-)，男，满族，辽宁沈阳人，本科，研究方向：精密机械结构设计、掘进机机械。