基于流体仿真技术的气枪降噪喷头研究

薛飞[1]，黄忠[2]，王其龙[1]，李晓伟[1]，黄巍[1]

1.上汽大众汽车有限公司　上海　281328

2.上海电机学院　上海　265266

摘要：吹屑气枪是机加工车间中广泛应用于清洁工件表面切削液、切屑的工具。高速流动的空气会产生噪声，影响操作者的身心健康。从流体力学理论提出了降噪气枪喷头的设计思路，并通过Flow Simulation流体仿真软件对降噪喷头在不同吹屑环境下的声学能级进行研究，采用3D打印技术制做了降噪喷头。经过实际检验，噪声下降为原来的80%。

关键词：雷诺数；流体仿真；降噪

吹屑气枪（以下简称气枪）是用压缩空气动能对工件、夹具上难以清洁部位吹扫，清除附着在工件表面的切屑和切削液（见图1）。尤其适用于空间位置较小的孔系、内腔等部位。具有清扫效果好、使用便捷的特点。在带来便利的同时，气枪也是机加工车间中产生噪声的重要来源之一。长期在噪声环境中工作会导致耳鸣、神经衰落、永久性听力损伤。随着人们对噪声污染的日益重视，在保证吹扫力的同时如何减少气枪吹扫过程中的噪声有着重要的意义。



图1　气枪吹扫工件

流体分析

根据流体力学知识，随着压缩空气流速的提高，气流由层流向紊流转变。气枪产生的噪声就是因为从气枪喷头高速喷涌出的压缩空气与喷头周围低压的空气产生了不稳定的紊流。而紊流引起空气的振动、漩涡的破裂，产生向周围辐射的噪声。同时，紊流状态下气流的漩涡、轨迹曲折混乱的形态也使得气流的动能大量损耗，降低了吹扫力。

要消除气枪产生的啸叫噪声就是要将气枪喷头处紊乱无序气流的紊流状态变为层流。流体力学中，通常用雷诺公式及雷诺数Re来表达流体流动情况：

$$Re=\rho v d/\mu \qquad (1)$$

式中 ρ——流体的密度；

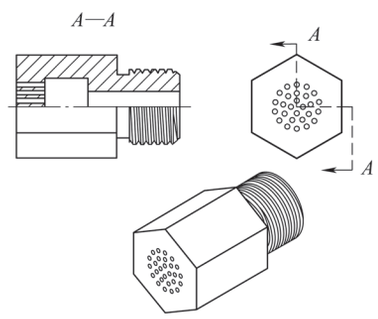
v——流体的流速；

d——特征长度，对于圆柱形管道用当量直径来表示；

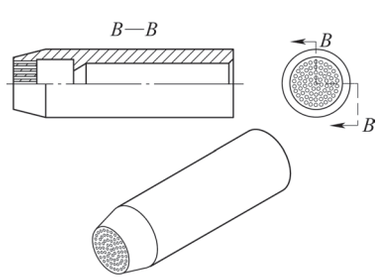
μ——黏性系数。

当雷诺数较小时流体为层流，随着雷诺数的增

大，流体逐渐向紊流状态过渡。由雷诺公式可知，如要减少雷诺数，可以减少流体的流速、密度、管道直径，增加黏性系数。但压缩空气的密度、黏性系数由其物理特性决定无法改变。而减少流速会减少气流动能，降低吹扫力。采用将喷嘴设计成多个小孔的结构，且小孔的总截面积与原气枪开口管的截面积相等。达到既减少气流喷口直径，又不减少流量的目的。当紊流转变为层流时，不仅降低了噪声还避免气流无续的损耗，提高定向动能的转化率。针对生产现场不同的气枪结构，分别设计了螺纹接口和光孔接口的两种降噪喷头（见图2）。



a）螺纹接口



b）光孔接口

图2　降噪气枪喷头

基于流体仿真的声学分析

分别建立降噪喷头和普通开口管的三维模型（见图3）。在喷头尾部绘制气管，在喷头外部绘制一个圆通来模拟“风洞”环境（见图4）。

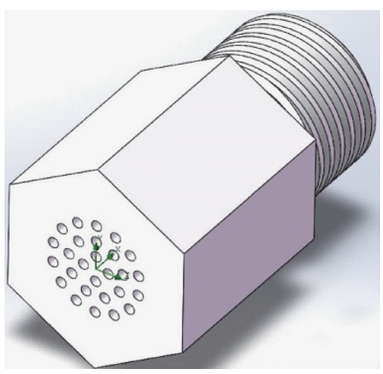
进入Flow Simulation流体仿真软件界面新建项目，设定常用的气压单位MPa，分析类型为内部，流体成分为空气及标准大气压、环境温度等参数（见图5）。

气枪管的输入端及风洞的两端建立封盖，并将气枪管的输入端压力设为0.6MPa，风洞的两端压力设为静压，即标准大气压（见图6）。

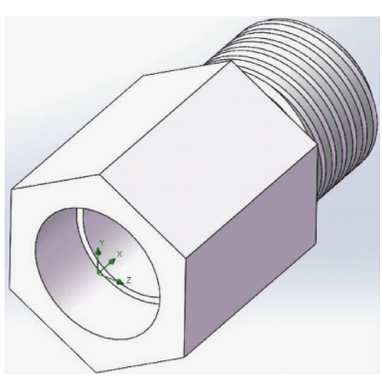
设定计算域和网格数量，对模型进行运算。在运算结果切面图中插入“声学能级”的参数,可通过声能分布等高线图观察噪声大小和分布情况（见图7）。

当吹扫区域没有任何障碍物时，传统开口管最高198dB，降噪喷头最高157.17dB。且传统开口管噪声分布范围约是降噪喷头的2倍（见图8）。

当气枪垂直于工件表面时，传统开口管最高151dB，降噪喷头最高136dB。且传统开口管噪声分布范围约是降噪喷头的3倍（见图9）。



a）降噪喷头



b）普通开口管

图3　降噪喷头和普通开口管的三维模型

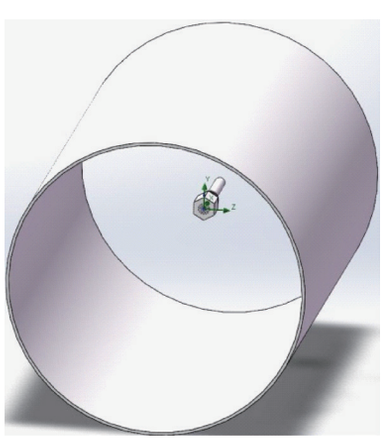


图4　圆通“风洞”



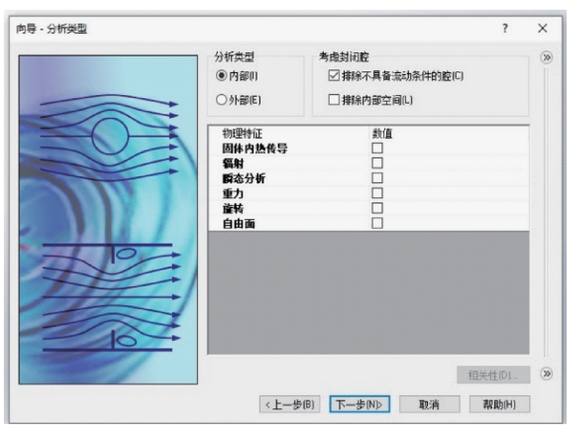


图5　流体仿真软件设定参数

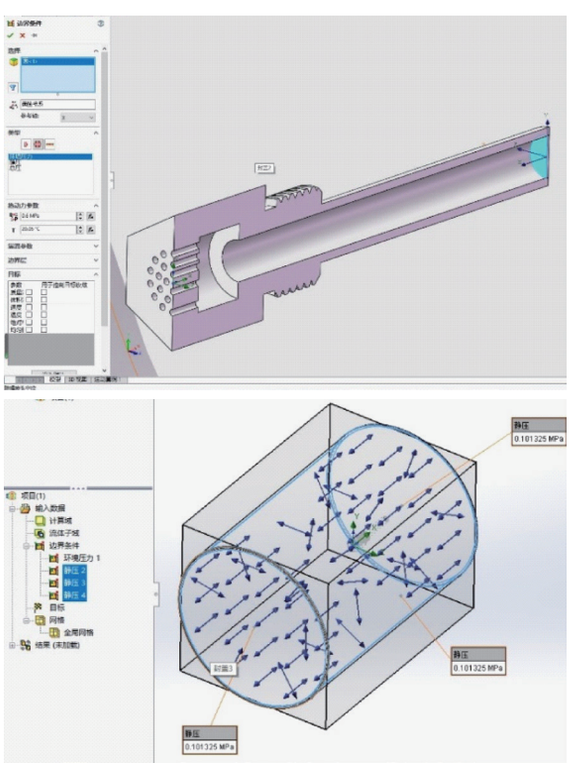


图6　设定压力边界条件

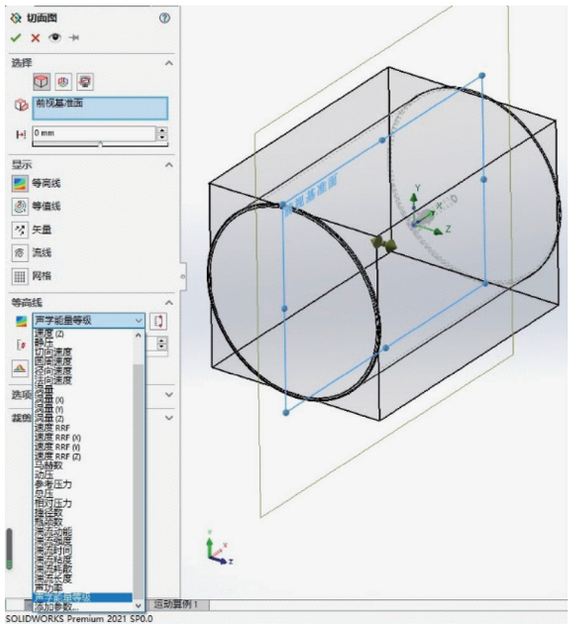
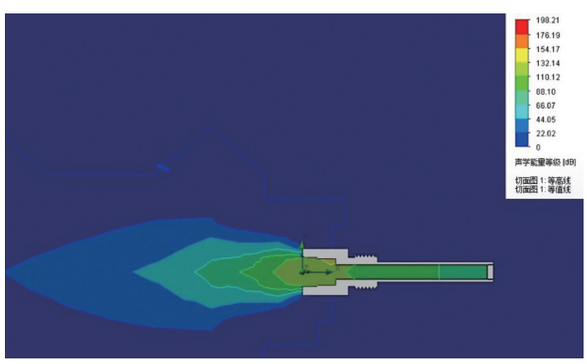
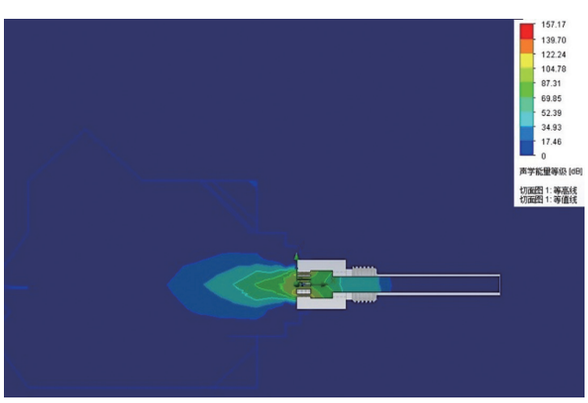


图7　插入“声学能级”参数

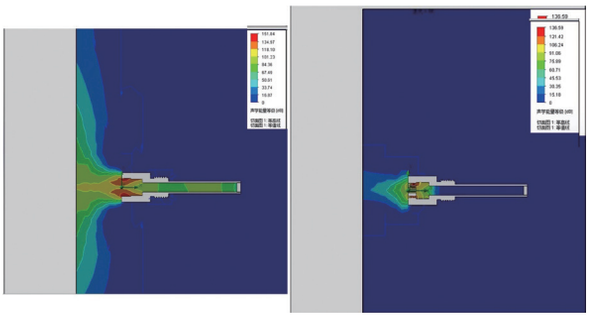


a）传统开口管

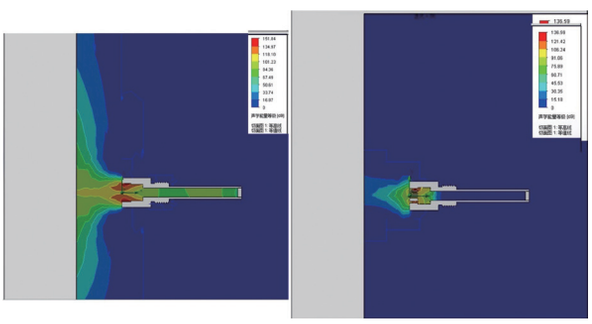


b）降噪喷头

图8　无任何障碍物时开口管与降噪喷头噪声对比



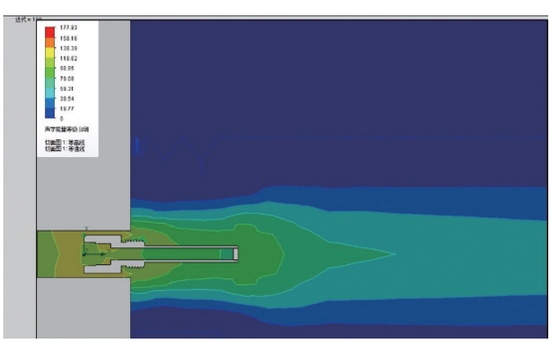
a）传统开口管



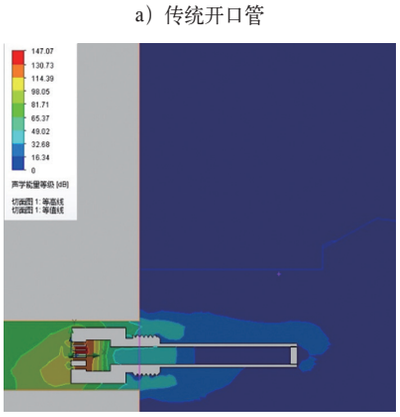
b）降噪喷头

图9　吹扫表面时开口管与降噪喷头噪声对比

当气枪对盲孔吹屑时，传统开口管最高177dB，降噪喷头最高147dB。且传统开口管噪声分布范围约是降噪喷头的6倍（见图10）。



a）传统开口管



b）降噪喷头

图10　盲孔吹屑时开口管与降噪喷头噪声对比

通过流体仿真分析，可得出结论。降噪喷头可有效降低传统气枪的噪声。尤其是在对平面和盲孔中吹屑这类易产生啸叫的情况下，效果更明显。

具体措施

降噪喷头的基体是采用熔融沉积成型法（FDM）或光固化法（SLA）3D打印技术制造的。受3D打印工艺限制，直径小于0.6mm的孔无法打印，因此将小孔直径设定为0.6mm。同时，受3D打印制造精度限制，无法满足与气枪连接部位的精度要求。在降噪喷头建模时，要对连接部位留有精加工余量。对螺纹接口的喷头打印后，用板牙套外螺纹。对光孔接口的喷头打印后，用铰刀精加工连接孔径。降噪喷头与气枪连接时最好在连接处涂抹密封胶，提高连接牢固性和密封性。如果没有3d打印设备的现场也可以用塑料棒料机加工的方式加工喷头（见图11）。



图11　增加降噪气枪喷头

（下转第43页）

2）铆接两层材料不同的金属时，将塑性好的板材放在下层。

3）铆接金属与非金属板材时，将金属放在下层。

4）车身应用自冲铆时，板材层数不建议大于3层。

（4）铆接力/铆接速度　自冲铆需要较高的铆接力，铆接力通常在20～100kN。铆接接头需要满足所有的截面金相和强度准则要求如剪切强度、剥离强度、钉头高度、互锁长度和底材最小剩余厚度，因此铆接力需设定合理。如果铆接力太低，铆钉头可能伸出板材表面，影响美观，同时由于间隙的存在水可能渗入其中会使其容易发生腐蚀。此外，铆接力过小会导致互锁长度变小，降低铆接接头强度。如果铆接力太大，铆钉头部上板压痕会很大，底材最小剩余厚度变小，同时过大的压痕甚至会损坏上板，减小上板抵抗铆钉被拔出的强度。通常当铆钉用于外观件时，其头高要求-0.1～+0.1mm内为合格；当铆钉用于非外观件时，其头高要求-0.5～+0.3mm内为合格，铆接力的设定需参考铆钉具体头高要求。

随着低塑性底材和高强度上材应用比例的增加，需要更高的铆接力。相比铆接铝合金，铆接高强材料时铆钉执行工具对中性变得更加重要，而且铆接工艺窗口变得很小，在其他条件一定的情况下，需测试最优的铆接力以求获得最优的铆接接头质量和接头强度。

铆接速度对接头质量及强度同样影响很大。一定条件下，铆接速度越大，互锁值增大，剩余厚度越小，接头剪切强度增加。白车身铆接过程中较优的铆接速度范围为200～300mm/s，最佳的铆接速度选取及设计需根据具体的铆钉、铆模、板材组合等工况，通过开展试验验证确认。

结语

随着钢铝车身及全铝车身的开发及应用，自冲铆接成为一种不可或缺的主流连接工艺，同时随着铝合金真空高压压铸结构件、高比例超高强钢和热成型钢以及复合材料等轻量化材料的应用，涉及自冲铆接搭接的板材材质类型及搭接组合越来越复杂。只有在产品开发、设计和验证过程中的各阶段，充分利用标准试片级的搭接组合和整车实物搭接组合，多阶段系统的开展铆钉、铆模、板材组合、铆接力及铆接速度等关键工艺参数的测试、验证和优化，并系统评价不同工艺条件下铆接接头的截面金相质量和强度性能指标，最终确认出适合于量产工况条件下的自冲铆接工艺参数，确保造车质量。此外，结合自冲铆接工艺仿真技术和企业内部及供应商的铆接经验库和应用大数据，更有利于准确、高效的开发铆接工艺参数，提升验证效率和质量。AUTO1950

（上接第38页）

结语

1）使气枪喷射出的高压气流呈层流状态。原气枪实测噪声112.3dB，安装降噪喷头后实测噪声89.9dB。既噪声下降为原来的80%，说明降噪喷头可以有效降低气枪噪声（见图12）。

2）由于减少原气枪高速气流在紊流状态下无序摩擦、旋涡导致的能耗损失。使得高速气流更加聚焦，提升吹扫效果。

3）采用3D打印和机加工方式组合的制造工艺。发挥了3D打印柔性、自动化性高的特点，又用局部机加工解决了3D打印精度不高的问题。AUTO1950



图12　安装降噪喷头后实测噪声对比