

# 防爆柴油机排气格栅计算流体动力学分析

## Computational Fluid Dynamics Analysis of Exhaust Grille of Explosion-proof Diesel Engines

李文君<sup>1</sup> 鄂斌扬<sup>2</sup> 苏万华<sup>2</sup>

Wenjun Li<sup>1</sup> Binyang Wu<sup>2</sup> Wanhua Su<sup>2</sup>

1. 国家能源集团神东煤炭集团

中国·陕西 榆林 719315;

2. 天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室

中国·天津 300072

1. National Energy Group Shendong Coal Group,

Yulin, Shaanxi, 719315, China;

2. State Key Laboratory of Engines, Tianjin

University,

Tianjin, 300072, China

**【摘要】**防爆柴油机排气格栅的使用增加了排气阻力,造成功率损失、扭矩下降等一系列问题。为优化排气格栅的性能,论文采用了数值模拟仿真分析对排气防爆格栅和高温排气喷雾降温系统进行了计算流体动力学分析,结合速度及压力云图分析了格栅造成气流阻力增大的原因,探究了缓冲角对格栅流通阻力的影响,以期防爆格栅结构设计提供理论指导。

**【Abstract】**The use of explosion-proof diesel engine exhaust grille increases exhaust resistance, resulting in power loss, torque decline and other problems. For optimizing the performance of the exhaust gas grill, paper adopts the numerical simulation analysis on the exhaust explosion-proof grille and high temperature exhaust gas spray cooling system are analyzed in computational fluid dynamics, in this paper, the velocity and stress nephogram grille causes of the air flow resistance increases, to explore the effect of buffer angle of grille flow resistance, so as to provide theoretical guidance for explosion-proof grid structure design.

**【关键词】**防爆柴油机;排气格栅;三维模拟

**【Keywords】**flame-proof diesel engine; exhaust gas grill; computer simulation

**【DOI】**10.36012/etr.v2i1.1023

## 1 引言

现阶段煤矿无轨化技术高速发展,防爆柴油机无轨胶轮运输车应用十分广泛,防爆柴油机作为主要的动力元件,其性能提升已成为重要课题<sup>[1]</sup>。为了保障矿井下无轨胶轮车运输的安全性,防爆柴油机进、排气口需要安装防爆格栅,这是进、排气防爆单元不可或缺的部件<sup>[2]</sup>。防爆格栅安装在防爆柴油机的进、排气管道中,可以杜绝不正常情况下火焰在进、排气管中的传输,以避免危险事故的发生<sup>[3]</sup>。在管道中安装防爆格栅虽然保障了矿井下的安全,却会造成过高的排气系统阻力<sup>[4]</sup>。论文综合运用 Pro/Engineer 与 Converge 软件对排气防爆格栅和高温排气喷雾降温系统进行了数值仿真分析,结合速度及压力云图,探究了格栅造成气流阻力增大的原因,同时分析了缓冲角对格栅流通阻力的影响。

## 2 软件介绍

Pro/Engineer 是一个三维建模与设计软件,可以应用于从产

品开发到样品加工的各个阶段,大大提高了研发和生产效率。Converge 是一种三维计算流体模拟软件<sup>[5]</sup>,具有良好的网格生成能力和广泛的适用性,在内燃机行业得到了广泛的应用。

## 3 防爆格栅计算流体动力学分析

### 3.1 防爆格栅三维模型创建与导入

排气防爆格栅实物图如图 1 所示,其固定组件如图 2 所示。

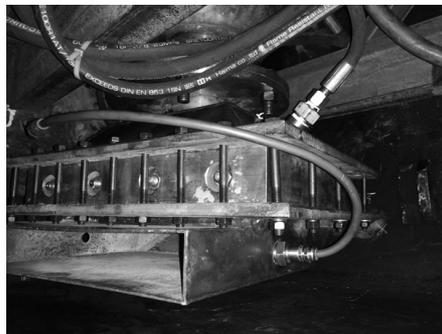
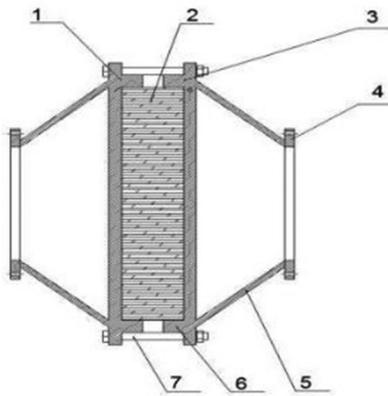


图 1 排气防爆格栅实物图



1—左盖板;2—格栅原件;3—右盖板;4—法兰盘;  
5—扩张腔;6—支撑底座;7—紧固螺栓

图2 排气防爆格栅固定组件

首先,根据所研究的排气防爆格栅在 Pro/Engineer 软件中建立三维实体模型。三维实体模型如图3所示。

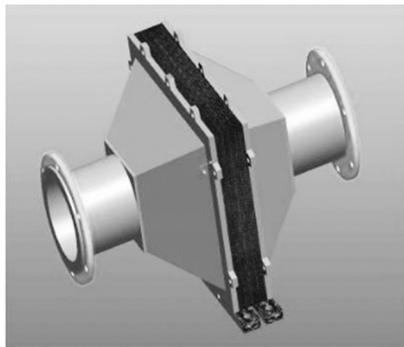


图3 排气防爆格栅三维实体模型

由于其结构对称,论文取整体结构的四分之一模型进行分析,如图4所示。

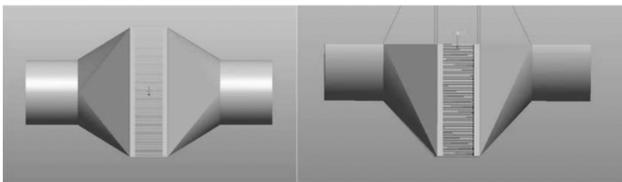


图4 排气防爆格栅三维模型

其次,将三维模型导入到 Converge 中,自动生成网格,如图5所示。

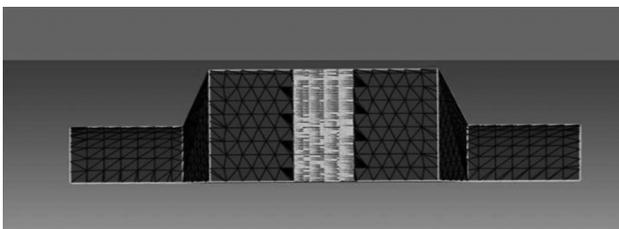


图5 三维模型导入 Converge

最后,分别定义  $D$  和  $L_2$  为防爆格栅的边长和高, $\delta$  和  $h$

为间隙和厚度,如图6所示。论文中研究的防爆格栅实际尺寸为  $D=308\text{mm}$ ,  $L_2=53\text{mm}$ ,  $\delta=0.5\text{mm}$ ,  $h=2\text{mm}$ ;  $L_1$  和  $L_3$  分别为扩张缓冲区的入口及出口长度,  $L_1=L_3=100\text{mm}$ ;  $\theta$  为缓冲角。

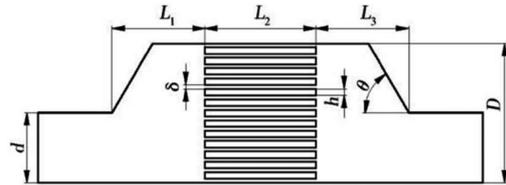


图6 防爆格栅二维结构示意图

### 3.2 防爆格栅边界条件设置

文中设定排气入口温度为  $343\text{K}$ , 额定功率点为分析点,入口质量流量为  $0.37\text{kg/s}$ , 温度为  $343\text{K}$ ; 系统出口压力为  $101325\text{Pa}$ 。

### 3.3 排气防爆格栅中气体流动性计算结果分析

#### 3.3.1 压力分析

截面压力如图7所示。

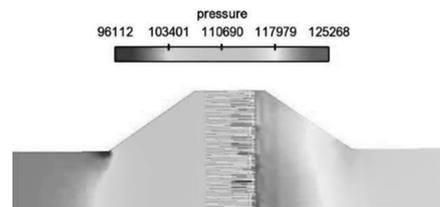


图7 截面压力云图

图7的右侧是排气口。从入口到出口,压力都在下降。平均进出口压力分别为  $122.31\text{KPa}$  和  $108.06\text{KPa}$ , 其总压降为  $14.25\text{KPa}$ 。从图中可以明显看出,最大压降位于格栅的前部和后部,最高压力点位于防爆栅的进气侧的中心处,最大压力为  $125.12\text{KPa}$ 。主要是由于防爆格栅增加了格栅层,从而减小了气流截面。当排气到达网格层时,流动面积的减小造成了气流的堆积和回流,使压力增大;当排气通过网格层时,流动面积增大,压力减小。格栅两侧的压差阻碍了废气的流动,增加了排气系统的阻力,带来能量损失。

#### 3.3.2 流速分析

截面速度如图8所示。

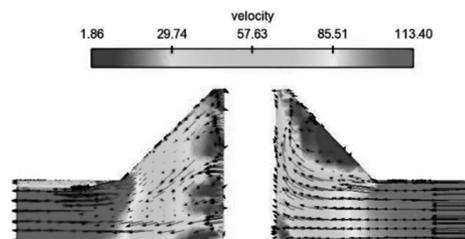


图8 截面速度云图

由图8可以看出,截面整体速度分布均匀,网格中心和缓

冲段的气体速度较低。主要是由于排气流入防爆栅后,随着膨胀管通流面积的增大,气流边界层会逐渐与壁面分离,形成涡流,使壁面流速变小;通流面积的增大也会增强排气。当气流到达格栅层时,流动面积的急剧减小导致气流聚集和空气压力上升,空气流返回,并减少接近排气。格栅中心的流速导致格栅层两端压力和流速降低,间接减小了排气格栅的流通面积和气流。

### 3.4 缓冲角对防爆格栅中气体流动性的影响

#### 3.4.1 压力损失对比分析

当缓冲角分别为  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  及  $90^\circ$  时,边界条件相同。图 9 和图 10 显示了排气格栅进出口的平均压差与缓冲角之间的关系。

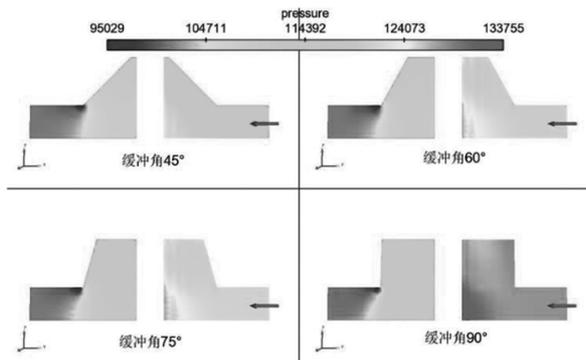


图 9 不同缓冲角的压力对比

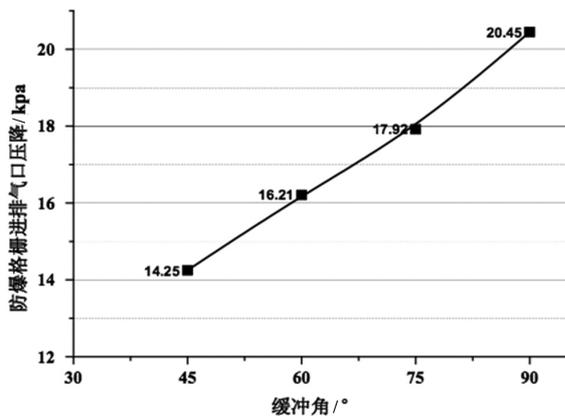


图 10 防爆格栅进出口压降随缓冲角的变化关系图

四种不同缓冲角排气防爆格栅的压力分布十分接近。入口和出口之间的压力趋于减小,最大压力差是格栅两侧的压力差,最大压力点位于入口端格栅中心附近。 $45^\circ$  扩散角时,进出口压降为  $14.25\text{KPa}$ ;  $90^\circ$  扩散角时,进出口压降为  $20.45\text{KPa}$ 。随扩散角增大,边界层与墙面分离,气流向中心积聚,使中心压力增大,排气格栅的流通面积减小,增加了格栅进出口压降。因此,适当减小缓冲角有助于提高压力分布的均匀性。

#### 3.4.2 气流速度对比分析

当缓冲角分别为  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$  及  $90^\circ$  时,边界条件相同。图 11 比较了四种不同缓冲角下的气流速度。

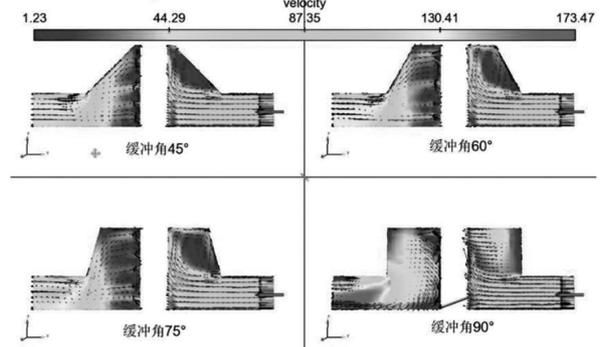


图 11 不同缓冲角的气流速度对比

图 11 显示了不同缓冲角防爆格栅的速度分布相似,格栅中心的进风侧和壁面位置附近的风速较低。当废气通过缓冲段时,由于流动面积的变化,边界层与壁面分离形成涡流。当气流到达网格层时,气流面积的急剧减小导致气流的聚积和压力的提高,使气流向壁面上的低压区形成回流,从而使排气格栅中心处的流速降低。当缓冲角增大时,进气侧的回流及涡流效应提高,能量损失增大,气体流量减小。

## 4 结语

论文利用三维数值模拟软件对气流阻力增大的诱因进行分析,同时探究了缓冲角的大小对网格流动阻力的影响,最后得出如下结论。①当废气通过防爆隔栅时,最大压降位于网格中心两侧,最高压力点位于靠近进气端的网格中心处。靠近中心位置和缓冲段,膨胀管壁面上的气体流速较低。②当防爆格栅缓冲角度增大时,流通面积的突变程度增大。边界层分离产生的涡流运动加强,间接减小了防爆格栅的流通面积,阻碍气流流通,进而增大了进、出风口之间的压差。由结论可知,缓冲角应在一定范围内尽小选择。

### 参考文献

- [1]周凯元,李宗芬,周自金.波纹板阻火器对爆燃火焰淬熄作用的实验研究[J].中国科学技术大学学报,1997(4):77-82.
- [2]张福祥.不同间隙防爆栅阻火性能的试验研究[J].煤矿机械,2015,36(10):98-100.
- [3]李天鹏,张翠平,王斌,等.不同形状进气栅栏的流体动力学分析[J].煤矿机械,2012,33(10):92-93.
- [4]范江鹏,李宝林,张健全,等.防爆格栅结构对压力损失的影响[J].煤矿安全,2011,42(5):161-163.
- [5]魏勇刚,孟国营.柴油机进气防爆单元的计算流体动力学分析[J].煤炭学报,2009,34(10):1420-1423.