

挤出联动生产线吹风冷却装置结构优化有限元分析

吕炜帅¹, 臧金旺¹, 李慧敏¹, 李长金²

(1. 天津赛象科技股份有限公司, 天津 300384; 2. 北京化工大学, 北京 100029)

摘要: 利用流体力学软件ANSYS-FLUENT对挤出联动生产线吹风冷却装置进行流场有限元分析模拟, 对比结构优化前后吹风冷却装置内部的流体(空气)速度场和压力场分布规律。结果表明, 结构优化后吹风冷却装置出口流体速度分布和压力分布较均匀, 能较好地满足挤出联动生产线挤出单条或多条半成品的吹风冷却要求。

关键词: 吹风冷却装置; 挤出联动生产线; 结构优化; 有限元分析; 速度场; 压力场

在挤出联动生产线中, 吹风冷却装置用于吹干挤出机挤出的条状半成品(经过冷却水槽), 在吹干半成品过程中吹风冷却装置内的流体产生不同且复杂的流场, 流场参数无法人工计算^[1]。传统的流场设计方法是反复试验、反复修改, 这种方法具有一定的盲目性^[2], 因此过去设计或改进吹风冷却装置机械构造、控制冷却流场、获得理想的流场速度分布和压力分布十分困难。本课题利用流体力学软件ANSYS-FLUENT将CFD(计算流体动力学)引入到吹风冷却装置设计中, 由于CFD可以准确描述流体流动细节, 不仅可以预测吹风冷却装置的性能, 而且容易从流场定量分析中发现吹风冷却装置设计中存在的问题; 通过对吹风冷却装置内部流场的数值模拟, 得到流场的流动规律, 从而有效优化吹风冷却装置结构。

1 几何结构和网格模型

本课题研究对象为复合挤出联动生产线中辊道宽度为1000 mm的改进前吹风冷却装置(吹风体1)和改进后吹风冷却装置(吹风体2), 先用Solidworks建立吹风体内部流体的三维模型, 然后对吹风体进行网格划分, 吹风体的流体物理模型、

导流板结构和网络模型如图1~6所示。

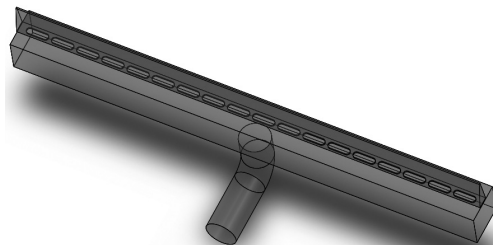


图1 吹风体1流体物理模型

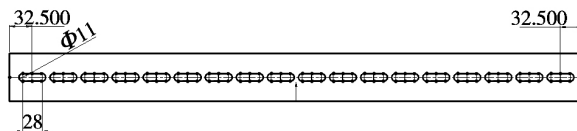


图2 吹风体1导流板结构

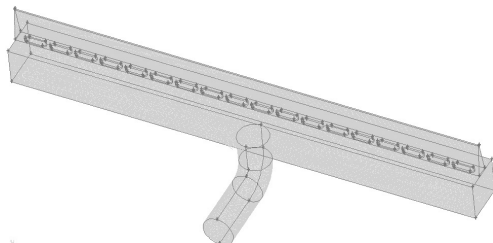


图3 吹风体1流体网格模型

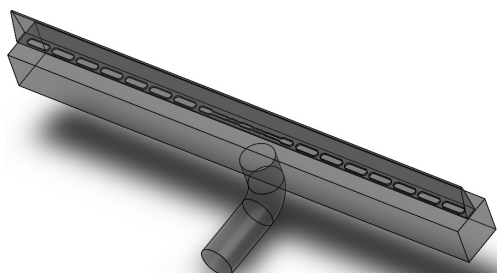


图4 吹风体2流体物理模型

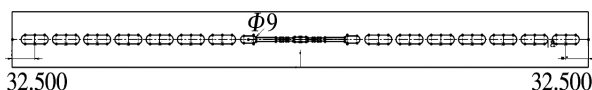


图5 吹风体2导流板结构

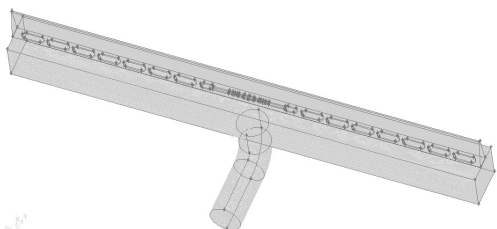


图6 吹风体2流体网格模型

2 计算方法

2.1 湍流流动控制方程

本研究吹风体的流体为空气，属于牛顿型流体，并假设流体粘性不随吹风体温度改变而改变，即流体为粘性衡定的不可压缩流体。在三维稳态湍流流动的计算方程中，控制方程是流体动力学基本守恒定律的数学表现形式，研究中应用的湍流流动控制方程有质量守恒方程和动量守恒方程，由于不涉及热量传递和扩散，忽略能量方程，湍流流动控制方程采用标准的 κ - ε 模型^[3]。

2.2 边界条件

湍流流动物理参数为等效温度下的常量，则流道内流体的流动满足连续性方程和动量方程^[4]，湍流强度 (I) 计算式为：

$$I = 0.16Re^{-1/8}$$

$$Re = vd\rho/\eta$$

$$P_2 = P_1 - 1/2\rho v^2$$

式中， Re 为雷诺数， v 为流体平均速度， d 为吹风体进口直径， ρ 为流体密度 ($1.225 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)， η 为流

体动力粘度系数 ($1.789 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)， P_1 为进口流体压力， P_2 为出口流体压力。

干燥装置风流由1台流量 $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}$ 、压力50 kPa、真空压力31 kPa的旋涡气泵提供，风流经管道输送给干燥装置各吹风体，吹风体进口流体速度 v 为 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，进口流体湍流强度为3.5，流体回流湍流强度取5，进口直径为54 mm，进口条件设为速度进口，出口条件设定为压力出口，出口压力为零，管道壁面为无滑移固体壁面。

2.3 材料设置

吹风体的流体为室内空气。

3 模拟与分析

采用标准的 κ - ε 模型，求解器定义为基于压力求解器（分离求解器，隐式求解）。压力-速度耦合采用目前工程上应用广泛的Simple 流场求解算法，经过200次迭代后计算收敛。

分别从FLUENT中读取2种吹风体的速度场和压力场。2个模型参数设置完全相同，以便于进行直观比较。

3.1 吹风体1

3.1.1 速度场分布

吹风体1内部速度场分布如图7~12所示。

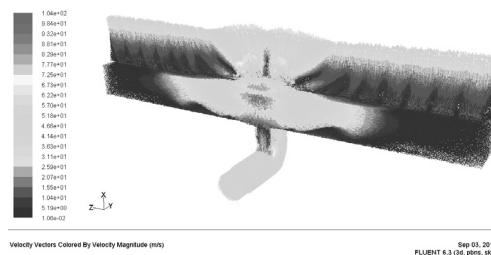


图7 吹风体1流体速度矢量图

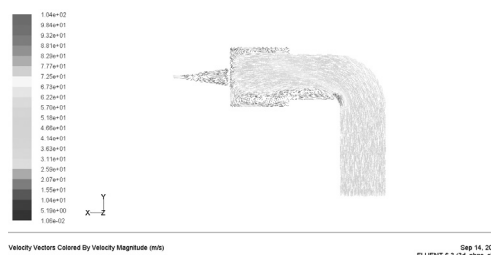


图8 吹风体1 XY 截面流体速度矢量图



图9 吹风体1 XZ截面流体速度图

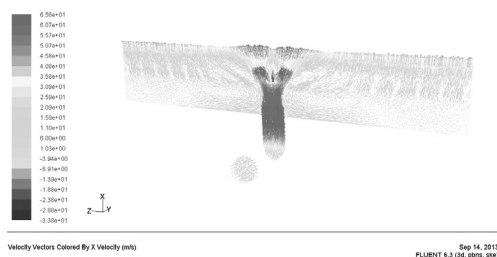


图10 吹风体1 XZ 截面X方向流体速度矢量图

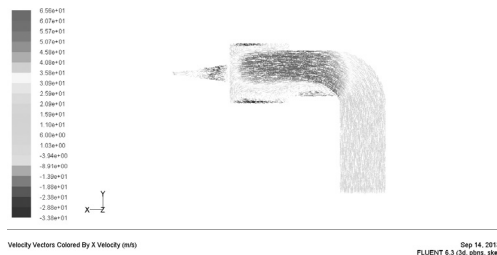


图11 吹风体1 XY 截面X方向流体速度矢量图

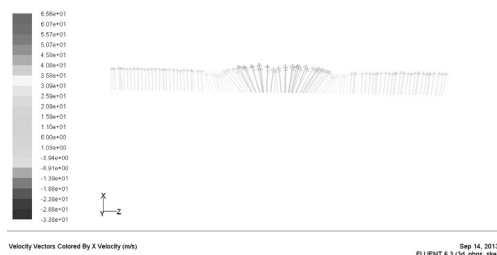


图12 吹风体1 X方向出口流体速度矢量图

从图7, 8和11可以看出, 吹风体1的流体经过进口弯管段时, 弯管的凸边壁面流体速度降低, 凹边壁面流体速度增高, 当流体从弯管段过渡到直管段后, 速度趋于相同, 这是弯管对流体介质产生的转向作用或离心力产生的二次流作用造成的。

从图11可以看出, 吹风体1中从进口到导流板, 流体速度逐渐增高, 而在下弯管弧附近流体流

动方向发生变化, 速度瞬间增高; 流体通过弯管后穿过导流板到达出口。

从图7, 9, 10和12可以看出, 吹风体1的流体速度存在中间较高、两端偏低的特点, 这说明大量的流体通过吹风体1的中间区域流出, 从而导致吹风体1出口的流体分布不均匀, 出口流体速度差较大。

3.1.2 压力场分布

吹风体1内部压力场分布如图13~16所示。

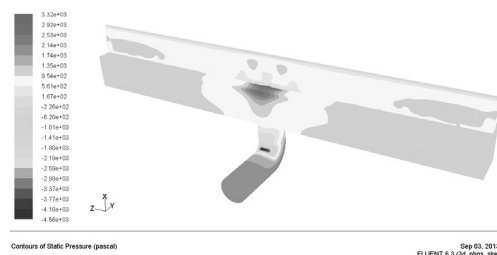


图13 吹风体1流体压力场分布

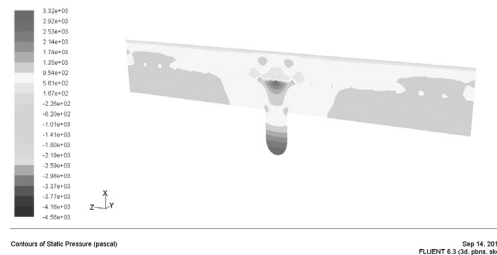


图14 吹风体1 XZ 截面流体压力场分布

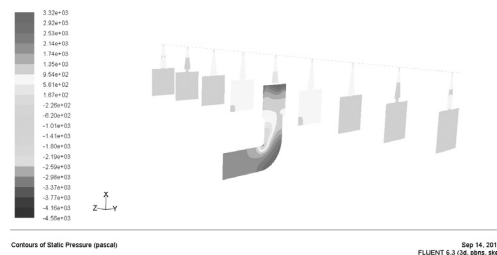


图15 吹风体1 XY 截面流体压力场分布



图16 吹风体1在X=125截面流体压力场分布

从图13~15可以看出：吹风体1的流体在经过入口弯管段时，弯管的凸边壁面压力增大，凹边壁面流体压力减小，这也是由于弯管对流体介质产生的转向作用或二次流作用而造成；流体从弯管段过渡到直管段，随着弯管影响逐渐消失，即弯管凸边壁面流体压力逐渐减小，而凹边壁面流体压力逐渐增大，凸、凹边壁面液体压力逐渐趋于相同。

从图13和14可以看出，吹风体1的流体到达导流板前，吹风体1中流体压力中间区域小两端大。这主要是由于中间区域阻力小，流程短，流体流动快；两端流体受阻滞，在压力作用下旋转流动，且流动行程长。

从图16可以看出，吹风体1的流体通过导流板流向出口时，由于大量的流体通过中间导流板孔流出，故吹风体1中间区域流体压力大于两端。

3.2 吹风体2

3.2.1 速度场分布

吹风体2内部速度场分布如图17~22所示。

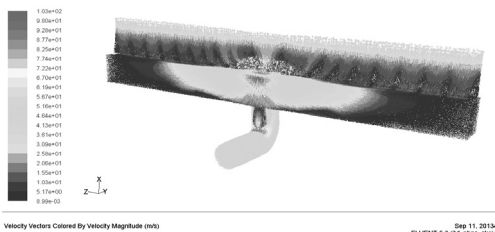


图17 吹风体2流体速度矢量图

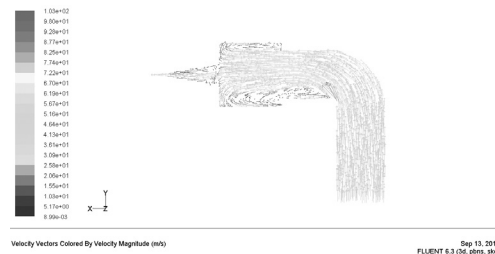


图18 吹风体2 XY 截面流体速度矢量图

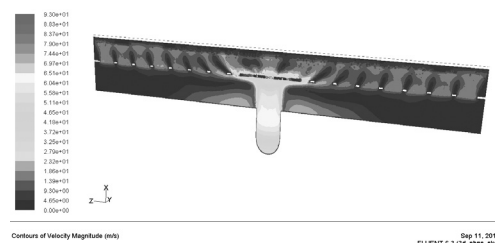


图19 吹风体2 XZ 截面流体速率图

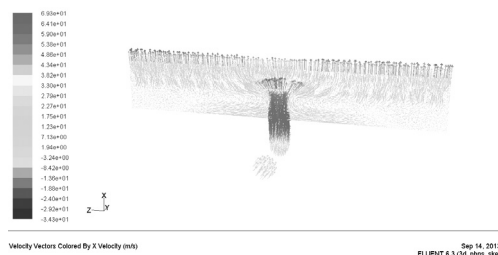


图20 吹风体2 XZ 截面X 方向流体速度矢量图

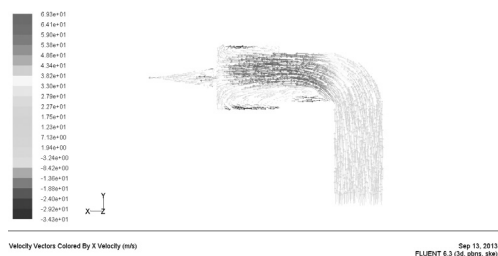


图21 吹风体2 XY 截面X 方向流体速度矢量图

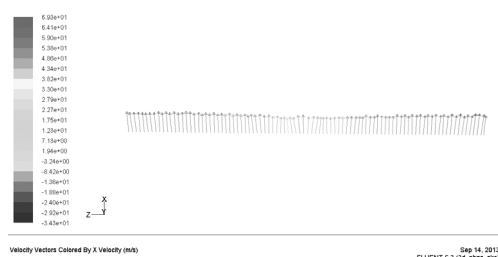


图22 吹风体2 X 方向出口流体速度矢量图

从图17, 18和21可以看出，吹风体2的流体在经过进口弯管段时，弯管对流体介质产生转向作用或二次流作用，流体速度变化规律与吹风体1相同，弯管处流体速度最高。

从图21可以看出，与吹风体1相同，吹风体2中从进口到导流板流体速度逐渐增高，下弯管弧附近流体流动方向也发生变化，流体速度瞬间增高。

从图22可以看出，吹风体2的流体通过进口弯管段后经导流板到达出口，速度在中间区域略低，但整体分布相对均匀，这说明在改进后的导流板作用下，吹风体2出口的流体较均匀流出，这就减小了吹风体2出口的流体速度差。

3.2.2 压力场分布

吹风体2内部压力场分布如图23~26所示。

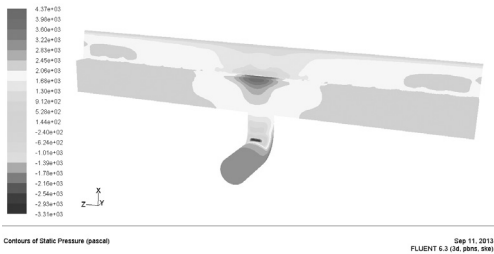


图23 吹风体2流体压力场分布

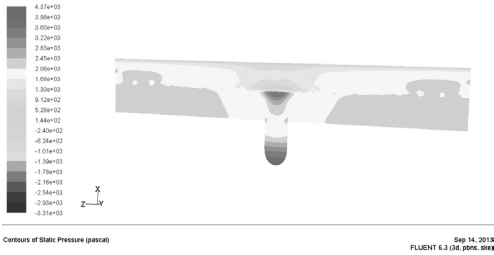


图24 吹风体2竖直截面流体压力场分布

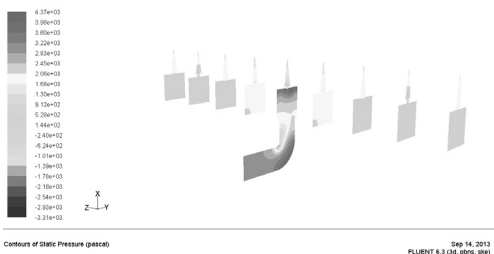


图25 吹风体2 XY 平面截面流体压力场分布

从图23~25可以看出,与吹风体1相同,由于弯管对流体介质产生的转向作用或二次流作用,吹风体2的流体在经过进口弯管段时,弯管的凸边壁面流体压力增大,凹边壁面流体压力减小;吹风体

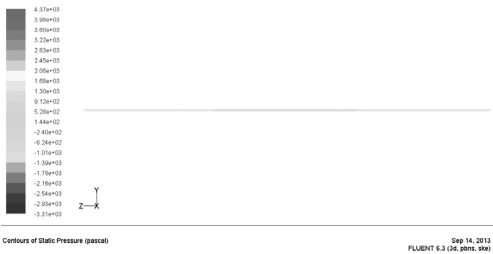


图26 吹风体2在X=125截面流体压力场分布

2的流体从弯管段过渡到直管段,随着弯管影响逐渐消失,弯管凸边壁面流体压力减小,而凹边壁面压力增大,凸、凹边壁面流体压力逐渐趋于相同。

从图23和24可以看出,吹风体2的流体到达导流板前,流体压力分中间区域小两端大。这主要是中间区域流程短,流体能很快通过导流板;两端气流受阻滞而旋转流动,且流动行程长,这一流动规律与吹风体1流体相同。

从图26可以看出,当吹风体2流体通过导流板流向出口时,流体压力中间区域略低于两端,但整体压力分布均匀,原因在于改进结构的导流板有利于流体同时到达出口,使出口流体压力分布较均匀。

3.3 吹风体1与吹风体2出口流体速度和出口流体压力比较

吹风体1与吹风体2出口流体速度和出口流体压力比较如表1所示。

4 结论

(1) 由于弯管对流体介质产生转向作用或二

表1 吹风体1与吹风体2出口流体速度和出口流体压力比较

项 目	吹风体1 (改进前吹风冷却装置)	吹风体2 (改进后吹风冷却装置)
出口流体速度		
最大值/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	48.25	61.55
最小值/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	33.35	51.60
值差/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	14.90	9.95
分布规律	中间高, 两端低	中间略低于两端, 整体趋于均匀
出口流体压力		
最大值/Pa	757.5	1490.0
最小值/Pa	364.0	1106.0
值差/Pa	393.5	384.0
分布规律	中间大, 两端小	中间略小于两端, 整体趋于均匀

次流作用,因此在吹风冷却装置进口弯管段凸边壁面流体压力大、速度低,凹边壁面流体压力小、速度高。

(2)改进前吹风冷却装置出口流体速度中间区域高两端低,分布不均,差值较大;改进后吹风冷却装置出口流体速度中间略低,分布较均匀,差值较小。

(3)流体到达吹风冷却装置导流板前,流体压力中间小两端大。改进前吹风冷却装置出口流体压力中间区域大于两端;改进后吹风冷却装置出口流体压力中间压力略小于两端,整体分布均匀。

(4)改进后的吹风冷却装置能更好地满足挤出联动生产线挤出单条或多条制品的吹风冷却

要求。

参考文献:

- [1] 江山,张京伟,吴崇健,等.基于FLUENT的90°圆形弯管内部流场分析[J].中国舰船研究,2008,3(1):37
- [2] 周建亨,秦鹏飞.CFD在吹风冷却装置设计中的应用[J].机械设计与研究,2004,20(1):80.
- [3] 韩占忠,王敬,兰小平.FLUENT-流体工程仿真计算实例与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2010:229-232.
- [4] 温良英,张正荣,陈登福,等.弯管内流体流动的模拟计算与实验研究[J].计量学报,2005,26(1):53.

Finite Element Analysis of the Air Blast Cooling Device for Extrusion Line

Lv Weishuai¹, Zang Jinwang¹, Li Huimin¹, Li Changjin²

(1.Tianjin Saixiang Technology Co., Ltd., Tianjin 300384, China;

2.Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The finite element model for the air blast cooling device of extrusion line was built by using CFD software ANSYS-FLUENT. The velocity field distribution and pressure field distribution of the air flow for the original device and the modified device were analyzed and compared. The results indicated that after modification, the air flow velocity field distribution and pressure distribution were more uniform, and the modified device could better meet the cooling requirement for production of single or multiple strip products.

Keywords: air blast cooling device; extrusion line; structure optimization; finite element analysis; velocity field; pressure field

信息·资讯

奥瑟亚建阳炭黑项目开工建设

日前,由山东能源枣矿集团与韩国奥瑟亚(OCI)公司共同出资2.05亿美元建设的山东奥瑟亚建阳炭黑有限公司年产20万吨炭黑项目在山东枣庄举行奠基仪式。

该项目分2期建设,其中一期工程投资为9800万美元,将建成的3条生产线包括2条年产4

万吨硬质炭黑生产线和1条年产4万吨软质炭黑生产线,合计炭黑年产能12万吨,采用奥瑟亚公司的炭黑生产技术,预计2015年10月投产。项目占地8万m²,韩方占公司股权的51%,中方占公司股权的49%。

郭毅