

两种喷嘴结构对冲击式速冻机流场及换热特征的影响

Influence of two different nozzle forms on the flow field and heat transferring characteristics of quick freezer

王金锋^{1,2,3,4,5} 李文俊^{1,2} 谢晶^{1,2,3,4,5} 杨大章^{1,2,3,4,5}

WANG Jin-feng^{1,2,3,4,5} LI Wen-jun^{1,2} XIE Jing^{1,2,3,4,5} YANG Da-zhang^{1,2,3,4,5}

柳雨嫣^{1,2} 陆卫华⁶ 杨晓燕⁶

LIU Yu-yan^{1,2} LU Wei-hua⁶ YANG Xiao-yan⁶

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 农业部冷库及制冷设备质量监督检验测试中心, 上海 201306; 3. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306; 4. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海 201306; 5. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 6. 南通四方冷链装备股份有限公司, 江苏 南通 226371)

(1. College of Food Sciences & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Quality Supervision, Inspection and Testing Center for Cold Storage and Refrigeration Equipment, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 4. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering [Shanghai Ocean University], Shanghai 201306, China; 5. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China; 6. Nantong Square Cold Chain Equipment Company, Nantong, Jiangsu 226371, China)

摘要:以速冻机中 V 型条缝喷嘴与平直条缝孔板为研究对象,探索了两种喷嘴结构在相同送风条件下,改变喷嘴与钢带表面间距 H 对速冻机内部冻结区域流场与压力场的影响,以及钢带表面的换热特征。结果表明:与平直条缝孔板相比 V 型条缝喷嘴沿横流方向流体流动阻力更小,当钢带与条缝出口间距 H 与条缝宽度 S 之比即 H/S 较小时,横流方向压力极差明显小于平直条缝孔板,此时 V 型条缝喷嘴出口流速均匀性高于平直条缝孔板;平直条缝孔板横流方向气流流速较大,冻品易被吹飞,不利于冻品安全有效的加工;沿横流方向,平直条缝孔板的钢带表面 Nu 数存在较大差异性,其平均 Nu 数较低,而 V 型条缝喷嘴的差异性较小,平均 Nu 数高

于平直条缝孔板,因此,使用 V 型条缝喷嘴在钢带表面的换热均匀性更强,且换热均匀性优于平直条缝孔板。

关键词:速冻机;V 型条缝喷嘴;平直条缝孔板;横流效应

Abstract: In this study, V type slit nozzle and straight seam hole plate in a quick freezer was used to investigate the effect by the change of distance (H) between the nozzle and the plate surface on the internal flow field and the pressure field in a freezer with these two kinds of nozzle structures under the same air condition. Moreover, the metal surface heat transfer characteristics were also studied. The results showed that the flow resistance of the straight slot seam orifice was smaller than that of the V type slot nozzle along the cross-flow direction. The pressure range along cross flow direction of the V slot nozzle was significantly less than that of the flat nozzle, when the jet-to-plate spacing H/S ($H/S = H/s$) was at the small value, and the V slot nozzle outlet velocity uniformity was higher than that of straight slotted orifice. The velocity along cross-flow direction in flat nozzle was higher than that of the V slot nozzle, which was not good to safe and effective production for an air impact freezer. Compared with the flat nozzle quick freezer, the difference of the Nu number on the surface of the steel strip of the V slot nozzle was obviously smaller, and the average Nu number of the V slot nozzle was greater than

基金项目:国家“十三五”重点研发项目(编号:2016YFD0400303);上海海洋大学科技发展专项基金(编号:A2-0203-17-100207);上海市科委平台能力提升项目(编号:16DZ2280300);上海市科委公共服务平台建设项目(编号:17DZ2293400);上海海洋大学博士科研启动基金(编号:A2-0203-17-100317)

作者简介:王金锋,女,上海海洋大学副教授,博士。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2017—10—15

that of the flat nozzle. The overall flow and heat transfer characteristics of the V slot nozzle was better than those of flat nozzle, and the heat transfer uniformity of metal surface of the V slot nozzle was also better than that of flat nozzle.

Keywords: Quick freezer; V type slot nozzle; flat nozzle; cross flow effect

为提高速冻食品的品质及产量,高效速冻设备的研发一直以来深受行业内关注。使用空气作为冷却介质,是目前最常用的方法。通常,提高食品冻结速率的方法主要有降低送风温度、提高送风速度,但当温度降低到一定程度时,继续降低制冷剂蒸发温度将使设备性能系数(COP)大幅降低。因此,当蒸发温度一定时,提高送风速度,能有效地提高食品的冻结速率。

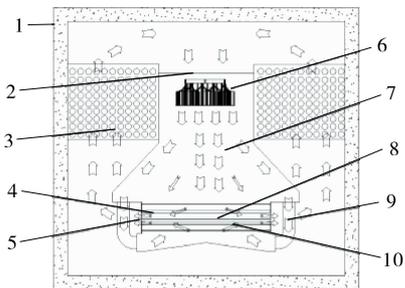
在同样空气循环量的前提下,通过优化送风结构,使空气在局部区域产生高速气流,是目前提高送风速度的常用方法,这在冲击式速冻机中尤为重要,因为不同形状的送风结构及尺寸对冻品表面换热以及冻结区域的气流组织将产生较大影响。Katti等^[1]研究了喷嘴(直径为 d)与目标板面的距离为 $d, 2d, 3d$ 时板面的努塞尔数(Nusselt number, Nu)分布情况,结果表明,顺气流方向 Nu 数在相邻滞止点之间呈波状分布,且波的衰减速率在喷嘴与板面间距为 $3d$ 时达到最大,波的衰减是由横流导致。Hebert等^[2]研究了阵列喷嘴条件下,顺气流流动方向的压力梯度分布,其结果表明,顺气流方向的压力梯度改变了流体的流动状态,是影响换热系数的重要原因。Bernhard等^[3-4]研究了横流效应从强到弱,及喷嘴与板面的距离对目标板面换热性能的影响,结果表明喷嘴与目标板面距离越短,横流效应越弱时,板面的换热系数越大;同时考虑了目标板面的粗糙度对换热性能的影响,结果表明粗糙板面的表面 Nu 数比光滑表面 Nu 数明显增大。Lee等^[5-8]系统研究了宽度 B 为1 mm,纵横比 y/B 为50的条缝喷嘴在喷嘴与板面间距 $H = 0.75 \sim 12.5$ mm,雷诺数 $Re = 120 \sim 200$,冲击板面滞止点的 Nu 数分布,结果表明, Re 数越大换热系数越大,当 $H = 2$ mm时,冲击板面 Nu 数达到最大值,此时横流对板面传热影响较小。Choo等^[9]研究了不同尺寸的条缝喷嘴在雷诺数 Re 范围为150~5 000对冲击板面换热性能的影响,结果表明,当 $Re < 2 500$ 时,微尺寸条缝喷嘴(条缝宽度 $< 200 \mu\text{m}$)与较大尺寸条缝喷嘴相比换热性能差异不大,当 $Re > 2 500$ 时,局部 Nu 数峰值往下游方向偏移,并且喷嘴与目标板面的距离是影响换热系数的关键。

总结前人的研究结果发现,在冲击式速冻机中影响冲击板面的换热性能主要有以下几个因素:①喷嘴形状与尺寸;②送风速度;③喷嘴与冲击板面间距;④横流效应强弱;⑤冲击表面粗糙度。本研究团队在优化设计冲击式速冻机设计中提出了对冷空气出风喷嘴的创新,本试验以提出的V型条缝喷嘴和平直条缝孔板为研究对象,对比两种喷嘴结构在速冻机运行过程中钢带表面的换热强度和换热均匀性,目的是在研制新型冲击式速冻机时为提高冻结效率而选取更安全高效的喷嘴。

1 数值模拟

1.1 物理模型

图1为冲击式速冻机内部流场循环模型,其基本原理是,通过离心风机的抽吸作用,将冷空气鼓入速冻机静压腔,空气在静压腔内蓄积静压能,一部分通过钢带上方喷嘴进行压力释放,产生高速流体吹到钢带上方的冻结区域,另一部分空气通过引风风槽,经钢带下方喷嘴实现压力释放,并冲击到钢带下表面,依次通过对流和导热两种换热方式向冻品传输冷量;最终吸收热量的空气在风机循环压差的作用下向钢带两侧出风口排出,并进入蒸发器降温,如此往复最终使冻品中心温度达到规定的 $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ 。



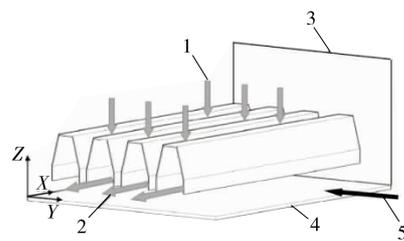
1. 围护结构 2. 压力入口 3. 蒸发器 4. 上条缝喷嘴 5. 压力出口 6. 离心风机 7. 静压腔 8. 钢带 9. 导风槽 10. 下条缝喷嘴

图1 速冻机内部流场循环物理模型

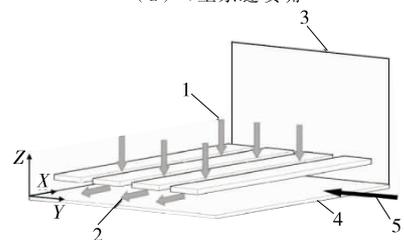
Figure 1 Physical model of internal flow field in a freezer

如图2所示,本试验以两种不同形式的条缝喷嘴结构为研究对象,比较两种喷嘴在速冻机运行过程中的性能参数。为降低数值计算强度,处理时计算模型取整体模型的1/40,相邻区域作对称边界处理。

V型条缝喷嘴与平直条缝孔板的条缝宽度 S ,条缝长 X_L ,钢带宽 Y_w ,钢带与条缝出口间距 H ,喷嘴结构见图3;喷嘴结构参数见表1。通过定义无量纲参数 $H_s(H_s = H/S)$



(a) V型条缝喷嘴



(b) 平直条缝孔板

1. 冷却空气 2. 横流方向 3. 对称边界 4. 钢带 5. 钢带移动方向

图2 条缝喷嘴结构

Figure 2 Slot nozzle structure

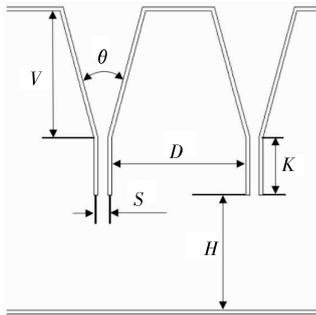


图 3 V 型条缝喷嘴结构

Figure 3 V type slot nozzle structure

表 1 喷嘴结构参数

Table 1 Nozzle structure parameters

喷嘴类型	D/mm	K/mm	X _L /mm	Y _w /mm	S/mm	V/mm	θ/(°)
V 型条缝喷嘴	73	30	750	600	5	66	30
平直条缝孔板	73	2	750	600	5	—	—

对喷嘴与钢带间距进行描述。

1.2 数值模型的条件设置及计算模型选取

采用 FLUENT 软件进行数值模拟,以 V 型条缝喷嘴为例,平直条缝孔板计算模型设置与其相同。

模拟对象的流动介质为空气,模拟过程中,假设:

(1) 空气为不可压缩、密度均匀的黏性流体。

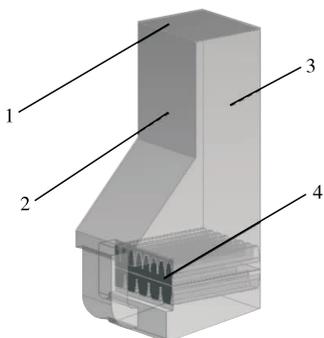
(2) 静压腔壁面及条缝喷嘴壁面视为无滑移壁面,即贴壁处气体流速 $U=0$ 。

(3) 静压腔与喷嘴壁面绝热,即热流密度 $q=0 \text{ W/m}^2$ 。

数值模拟过程中采用连续性方程、动量方程和能量方程联合求解^[10],由于采用 Pressure inlet 作为入口边界条件,设置更加符合实际且计算的准确性更高,采用 Pressure outlet 为出口边界条件计算收敛速度更快,因此选择的计算模型为:

(1) 采用 Pressure inlet 作为入口边界条件,Pressure outlet 为出口边界条件,且 $P_{in}=250 \text{ Pa}$,温度 $T_{in}=228 \text{ K}$, $P_{out}=0 \text{ Pa}$, $T_{out}=233 \text{ K}$ 。

(2) 计算模型与速冻机整体毗邻部分做镜像边界设置,即 Symmetry1、Symmetry2,见图 4。



1. 压力入口 2. 对称边界 1 3. 对称边界 2 4. 压力出口

图 4 数值模型及边界条件设置

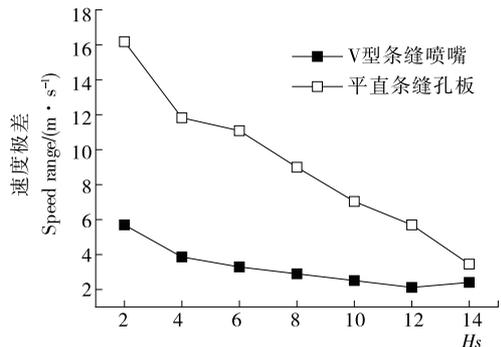
Figure 4 Numerical model and boundary condition setting

(3) 模型中采用 $k-\epsilon$ 湍流模型、SIMPLE 算法及二阶迎风格式^[11]进行计算。

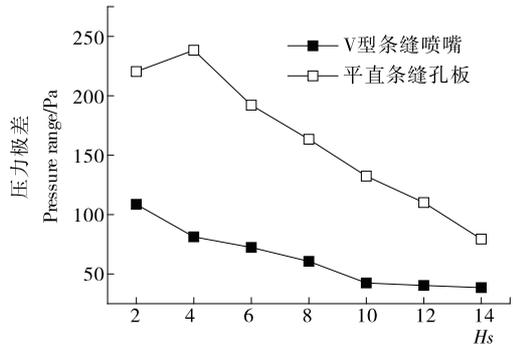
2 结果与讨论

2.1 H_s 对喷嘴出流流速及横流的影响

图 5(a,b) 分别展示了,随着喷嘴与冻结平板距离的变化,V 型条缝喷嘴与平直条缝孔板在喷嘴出口处的速度极差分布与压力极差分布。结果表明, H_s 越小,沿横流方向速度变化越显著,特别是当 $H_s=2$ 时,V 型条缝喷嘴在靠近回风口侧喷嘴出口流速与速冻机输送带宽度中心喷嘴出口流速的极差值为 6 m/s ,而平直条缝孔板的极差值达到 16 m/s ,表明沿速冻机输送带宽度方向 V 型条缝喷嘴出口气流射流均匀性更高。随着 H_s 增大,2 种喷嘴类型沿横流方向速度梯度逐渐降低,其中平直条缝孔板降低速率最快,当 $H_s=14$ 时,两种类型喷嘴结构的出口流速变化范围趋于一致,其差值仅为 1.05 m/s 。通过上述分析表明,当 $H_s < 14$ 时,V 型条缝喷嘴气流射流均匀性明显高于平直条缝孔板,更利于钢带表面的冻品保持均匀一致的对流换热系数。



(a) 速度极差



(b) 压力极差

图 5 喷嘴出口极差分布

Figure 5 The distribution of range nozzle outlet

通过对上述现象进行分析,其原因在于,当 H_s 较小时,平直条缝孔板喷嘴出口压力变化较大,沿横流方向喷嘴出口压力变化范围为 $0 \sim 240 \text{ Pa}$,即在速冻机输送带宽度方向中心,静压腔与喷嘴出口之间的压差仅为 10 Pa ,导致流体流动动力较弱,此时喷嘴出口流速较低;而在靠近回风口处,静压腔与喷嘴出口的压差为 250 Pa ,气流流动动力较强,喷嘴出口流速较高。因此造成沿横流方向往输送带边缘方向移动喷嘴出口流速逐渐增加,并在靠近边缘处达到最大,越往输送带中心喷嘴出口流速越小,在速冻机宽度方向中心达到最

低,因此喷嘴出口流速均匀性较差。然而对于V型条缝喷嘴,其压力变化范围为0~110 Pa,明显小于平直条缝孔板,因此其喷嘴出口流速均匀性明显强于平直条缝孔板。另一方面影响横流方向压力梯度的主要因素是空气流动方向的沿程阻力,而横流流通通道截面积是影响沿程阻力的的重要因素,因此当 H_s 增加时,流通截面积增大,横流方向沿程阻力减小,导致压差减小,见图5(b)。然而,对于V型条缝喷嘴与平直条缝孔板,两者的压降梯度存在差异性,见图6。当 H_s 较小时,平直条缝孔板在 x/S (沿速冻机宽度方向喷嘴出口与回风口间的距离 x 与喷嘴宽度 S 之比)的范围为0~20,存在较大的压降梯度,随着 H_s 增加,压降梯度逐渐降低;而对于V型条缝喷嘴,压降梯度较为平缓;原因在于,当 H_s 较小时, c [见式(1)]较大,此时平直条缝孔板的延程阻力降更明显,而随着 H_s 增加, c 值逐渐减小,面积 A 对V型条缝喷嘴的影响逐渐减弱;因此,当 $H_s=14$ 时,V型条缝喷嘴与平直条缝孔板的压降梯度基本趋于一致。通过上述分析表明,V型条缝喷嘴在速冻机宽度方向具有较低且平稳的压降梯度,这也是保证V型条缝喷嘴气流射流均匀性明显高于平直条缝孔板的原因。

$$c = \frac{A + f(H)}{f(H)}, \quad (1)$$

式中:

c ——两种喷嘴的横流流通截面积之比;

A ——V型条缝孔板本身的凹槽结构与喷嘴出口所处位置平面之间的区域面积, m^2 ;

$f(H)$ ——V型条缝喷嘴出口所处平面与钢带表面之间的区域面积(平直条缝孔板横流流通截面积), m^2 。

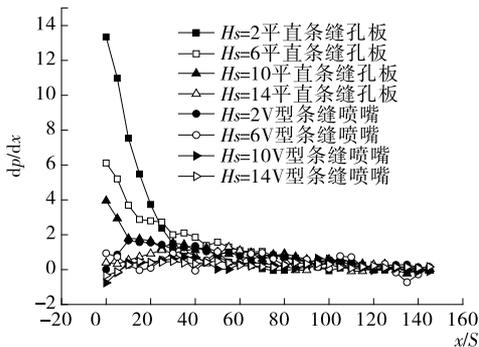


图6 横流方向压力梯度分布

Figure 6 Cross-flow pressure gradient distribution

当速冻机运行时钢带表面的冻品将受到气流组织力的作用,当横流风速达到一定值时,冻品将会被吹离冻结区域,这对速冻设备安全运行是不利的,为确定不同冻品的安全冻结风速就需要对盛放在钢带上的冻品进行吹飞试验。为此,本研究以虾仁为试验对象,测试工具选择 SYSTEM MODEL 1560 多点风速仪以及 0965-00/01 风速探头,测试结果见表2。为进一步研究冻品在钢带表面的状态,仍以虾仁为研究对象,由于冻结过程中虾仁的一般摆放高度约为10 mm,因此分析时取钢带上表面10 mm进行研究,见图7;根据测试结果,对于平直条缝孔板,虾仁移动风速延伸到 x/S 为

40~75(x 为横坐标)处,当 $H_s=14$ 时,虾仁有最大的安全冻结范围,但在 x/S 为0~40的区域,虾仁将被吹离冻结区域,这对速冻机安全有效的生产是极为不利的。然而,对于V型条缝喷嘴,当 $H_s=10$ 时,钢带表面虾仁处于安全冻结范围,能够实现速冻机安全有效运行。

2.2 钢带表面换热特性

2.2.1 钢带表面平均Nu数

图8反映了V型条缝喷嘴与平直条缝孔板在 H_s 分别为2, 8, 14时钢带表面的平均Nu

表2 虾仁移动速度与横向流速关系

Table 2 Relationship between moving speed and transverse velocity of shrimp

横向流风速/($m \cdot s^{-1}$)	虾仁移动速度/($m \cdot s^{-1}$)
<5.0	0.000
5.7	0.002
8.0	0.010
≥ 11.5	吹飞

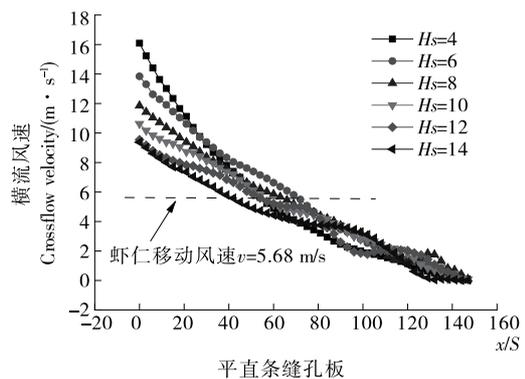


图7 钢带表面上方10 mm处横流风速分布

Figure 7 Cross-flow velocity distribution at 10 mm above the surface of steel strip

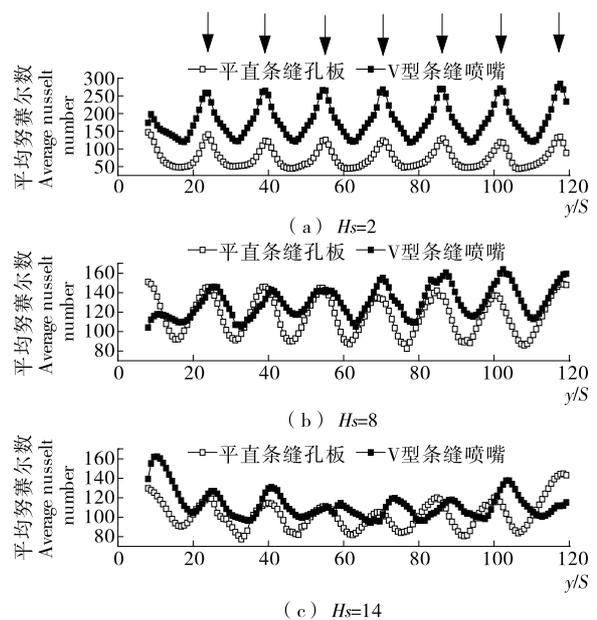


图8 钢带表面平均努塞尔数分布

Figure 8 The average Nusselt number distribution of steel strip surface

数分布,箭头方向表示条缝出口方向。如图 8 所示,喷嘴与钢带间距对钢带表面换热性能有较大影响,值得注意的是,V 型条缝喷嘴与平直条缝孔板在钢带表面的滞止点处,努塞尔数存在峰值,并且在滞止点附近,努塞尔数逐渐降低,在相邻两滞止点附近达到最低值,同时 Nu 数沿条缝排列方向呈波状分布。随着 H_s 增加,气流射流到钢带表面的能力逐渐减弱,导致 Nu 数降低,且峰值发生偏离,偏移幅度和 H_s 值呈现正相关趋势。原因在于随着 H_s 增加,气流拓展到钢带表面的能力逐渐减弱,因此在滞止点附近流体抗干扰能力降低,最终导致努塞尔数峰值发生偏移。当 $H_s=2$ 时,V 型条缝喷嘴与平直条缝孔板之间的换热性能表现出较大的差异性,此时,V 型条缝喷嘴的换热系数是平直条缝孔板的 2 倍;随着 H_s 增加,两者之间的差异性逐渐降低,但 V 型条缝喷嘴的换热性能依然高于平直条缝孔板。

2.2.2 钢带表面局部 Nu 数分布 图 9、10 分别为平直条缝孔板与 V 型条缝喷嘴沿横流方向的局部 Nu 数分布图,横流方向如图中箭头所示,其中 y/S 与 x/S 范围分别为 $0\sim60$, $0\sim150$;如图 9(a) 所示,当 $H_s=2$ 时,努塞尔数峰值主要集

中在回风口附近,与横流上游区域 Nu 数分布存在较大差异性;这是由于 $H_s=2$ 时,横流流通截面积较低,往横流上游方向,距离回风口越远,气流的沿程阻力越大,导致上游方向喷嘴出口气流流动阻力增加,上游喷嘴出口流速降低,气流拓展到钢带表面的能力减弱,因此,在横流上游钢带表面的平均努塞尔数较低。随着 H_s 增加,靠近回风口处 Nu 数逐渐降低,见图 9(b)、(c);但不同的是,在横流上游,钢带表面 Nu 数增加,在横流方向钢带表面换热性能差异性逐渐降低,当 $H_s=14$ 时,沿横流方向钢带表面 Nu 数基本趋于一致。这是因为,随着 H_s 增加,一方面流体拓展到钢带表面的能力减弱,因此靠近回风口处钢带表面 Nu 数降低;另一方面, H_s 增加使横流流通截面积增大,横流上游气流到达回风口的延程阻力降低,静压腔与喷嘴出口压差增大,流体传输动力增强,喷嘴出口流速增加,最终使横流上游钢带表面 Nu 数增加,与下游钢带表面换热差异性降低。

对于 V 型条缝喷嘴,当 $H_s=2$ 时,沿横流方向 Nu 数变化幅度与平直条缝孔板相比更为平缓,见图 10(a)。这是由于, $H_s=2$ 时 V 型条缝喷嘴的横流流通截面积是平直条缝

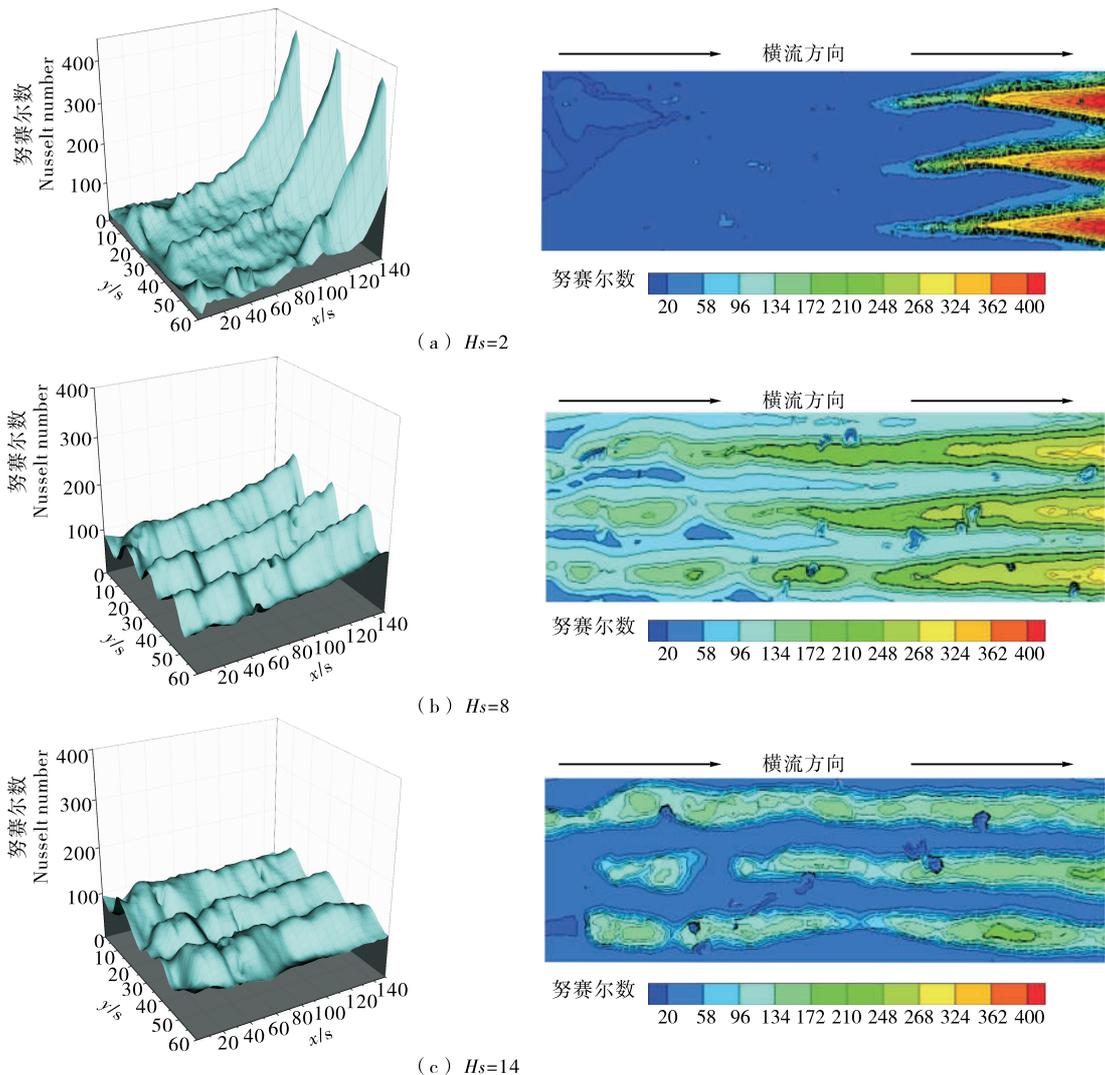


图 9 不同 H_s 钢带表面努塞尔数分布(平直条缝孔板)

Figure 9 Distribution of Nusselt number on the surface of different H_s steel strips(Flat slit plate)

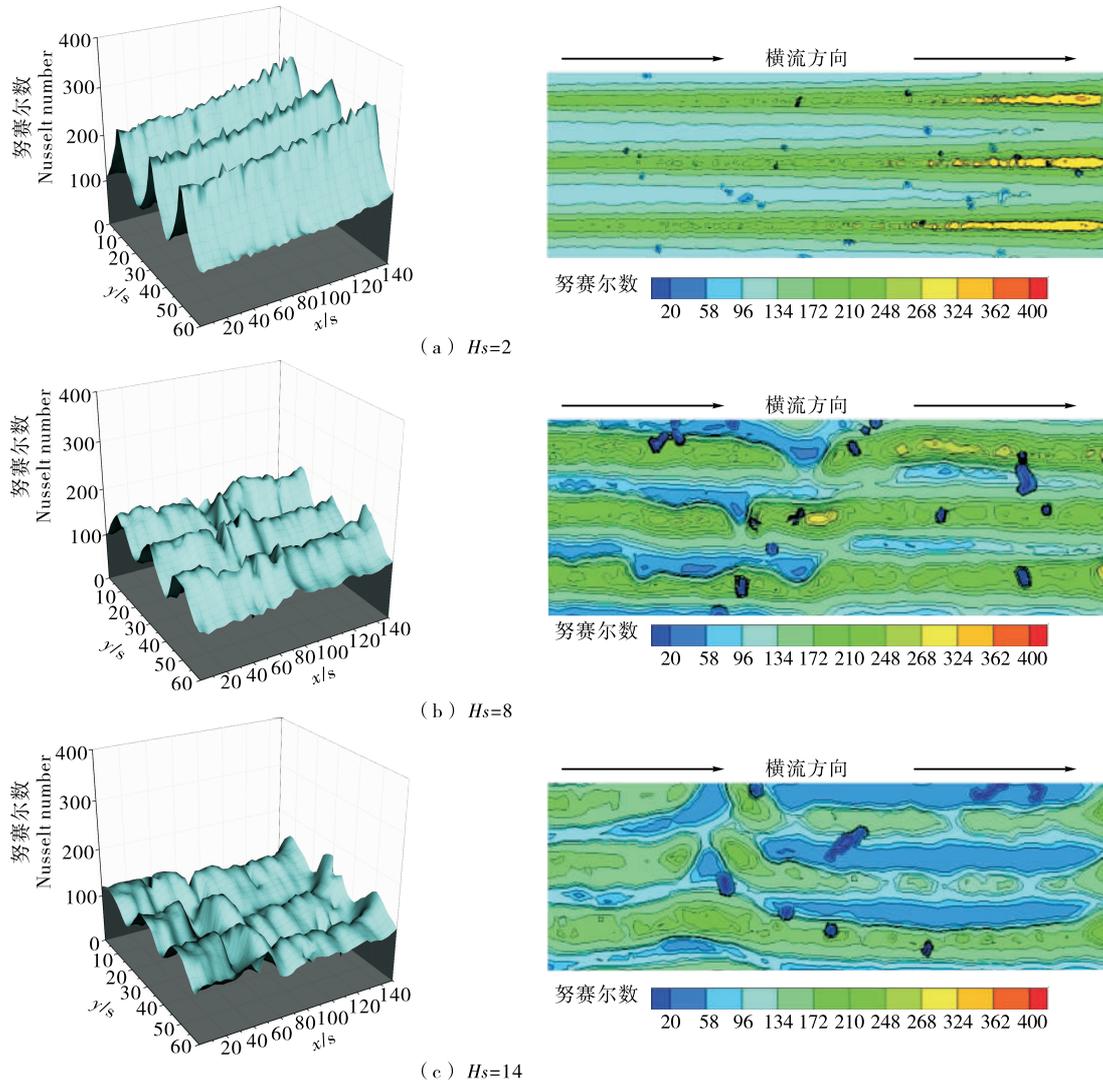


图 10 不同 H_s 钢带表面努塞尔数分布(V 型条缝喷嘴)

Figure 10 Distribution of Nusselt number on the surface of different H_s steel strips(V type slit nozzle)

孔板横流通截面积的 9 倍,即 $[A + f(H)]/f(H) = 9$,因此与平直条缝孔板相比,V 型条缝喷嘴横流上游气流阻力较小,喷嘴出口流速较大,钢带表面换热系数更高。随着 H_s 增加,沿横流方向钢带表面换热差异性进一步减小,此时,喷嘴与钢带间距是影响钢带表面换热性能的最主要因素,但和平直条缝孔板相比,V 型条缝喷嘴表现出较好的换热特性以及沿速冻机宽度方向较好的换热均匀性。

对于传统的圆形喷嘴,横流效应是影响其下游方向冲击板面换热的重要原因^[12];但对于条缝喷嘴,横流效应并没有对冲击表面换热造成重要影响,其原因在于,条缝喷嘴是连续性的,因此不存在上游喷嘴射流的气流对下游喷嘴流出的气流流动方向产生重要影响,所以,横流效应对条缝喷嘴的换热影响较弱,但较强的横流效应将导致冻品被吹飞的现象,这对食品冻结过程是不利的。

3 结论

本试验以 V 型条缝喷嘴与平直条缝孔板为研究对象,探索了 2 种喷嘴形式在相同送风条件下,改变喷嘴与钢带表面间距 H 对速冻机内部冻结区域流场与压力场的影响,以及

钢带表面的换热特征。得到以下结论:

- (1) 与平直条缝孔板相比 V 型条缝喷嘴沿横流方向流体流动阻力更小,当 H_s 较小时横流方向压力极差明显小于平直条缝孔板,因此 V 型条缝喷嘴出口流速均匀性高于平直条缝孔板。
- (2) 平直条缝孔板横流方向气流流速较大,不利于冻品安全有效的生产。
- (3) 平直条缝孔板沿横流方向,钢带表面 Nu 数存在较大差异性,其平均 Nu 数较低;而 V 型条缝喷嘴表现出差异性较小,其平均 Nu 数高于平直条缝孔板;因此,使用 V 型条缝喷嘴在钢带表面的换热均匀性更强,且换热均匀性强于平直条缝孔板。

参考文献

[1] KATTI V, PRABHU S V. Influence of spanwise pitch on local heat transfer distribution for in-line arrays of circular jets with spent air flow in two opposite directions[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2008, 33(1): 84-95.

(下转第 90 页)

入到 Solidworks 中按照修正的形状得到合理的三维图,由于 ANSYS 本身的计算方式导致每一条设计出来的曲线都是由若干个线段组合而成,难以准确的描述。

5 结论

(1) 逆向挤出设计使原口模中流体的速度峰值降低,低谷上升,从截面上来看让流体的速度分布更为合理,整体上使流体速度分布更为均匀。

(2) 在流体挤出口模后较短的距离内,截面形状不断在张力的作用下发生变化,总体上让各个部分的尖角变得更为圆润,在挤出口模至挤出物末端表面张力的作用变得十分缓慢,经过逆向挤出设计的口模的流体在表面张力作用下最终形状符合设计要求。

(3) 流体的速度随着 Z 向移动,整体上经历了流速先增大后减小的流动规律,在口模内部流体速度略有升高达到最高,之后不断降低并且在挤出物末端流速达到最低点。

挤出机多应用在高分子聚合物的连续生产中,如轮胎、各种塑料管材和塑料建材的生产,而挤出变形现象总是出现在挤出加工的过程中^[16-17],通过“田”字型口模的设计和对比分析,具体分析了逆向挤出设计在高分子聚合物口模设计中的作用,Polyflow 的逆向挤出设计可以为高分子聚合物成型过程中发生的变形现象提供补偿,主要是按照口模内部网格和口模外自由部分各项边界条件的设定,利用网格重生成技术,结合材料属性的定义和运算迭代方法的选择,进行反复迭代计算,对网格重新画分,预测出口模的形状,将结果导入 Solidworks 中,得到合理的口模形状。此方法可以为形状复杂的易变形异型材的口模设计提供参考。

参考文献

- [1] 李宪实, 周曰从, 杨光华. 我国预制直埋热水保温管“以塑代钢”趋势浅析[J]. 中国塑料, 2014, 28(1): 1-5.
- [2] “以塑代木”已成为建筑模板使用的新趋势[J]. 塑料科技, 2013(11): 68.
- [3] 邹萍萍. 聚乳酸/纳米纤维素可降解食品包装材料的制备与发泡研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 3-4.
- [4] 宋亚男, 陈绍状, 侯丽华, 等. 植物纤维增强聚乳酸可降解复合材料的制备[J]. 高分子通报, 2011(9): 111-120.
- [5] SCHUT H. 可生物降解的 PLA 发泡食品托盘[J]. 现代塑料, 2008(3): 64-65.
- [6] 杨佳黎, 柳和生, 黄兴元, 等. Polyflow 逆向挤出功能在 T 型材口模设计中的应用[J]. 塑料, 2011, 40(1): 114-118.
- [7] 甘学辉, 马晓建, 刘强, 等. 基于 Polyflow 的十字异形纤维挤出成形过程的模拟计算[J]. 纺织学报, 2011, 32(7): 132-136.
- [8] 黄志刚, 刘凯, 李梦林, 等. 单螺杆挤出机计量段模拟研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 63-67.
- [9] 张宏建, 黄志刚, 李梦林, 等. 啮合同向双螺杆挤出机不同螺杆流场仿真分析[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(9): 70-74.
- [10] 李欢欢, 陈海英, 崔政伟. 螺槽间隙对单螺杆食品挤压膨化机熔体输送影响数值模拟[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 68-72.
- [11] 杨佳黎, 黄兴元, 蒋发梅. POLYFLOW 逆向挤出功能在挤出方型物口模设计中的应用[J]. 南昌大学学报: 工科版, 2010, 32(4): 326-330.
- [12] 刘斌, 马骏. Polyflow 逆向挤出功能在异型材口模设计中的应用[J]. 塑料科技, 2008(1): 66-70.
- [13] 时俊峰, 黄志刚, 蒋卫鑫, 等. 聚乳酸在啮合同向双螺杆挤出机头过渡体的流场研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 72-75.
- [14] 王国林, 姜波, 李国瑞, 等. 轮胎胎面胶料挤出口型逆向数值设计[J]. 高分子材料科学与工程, 2014(10): 108-112.
- [15] 薛平, 赵永生, 王哲, 等. 逆向挤出在木塑异型材挤出口模设计中的应用[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(6): 54-57.
- [16] 刘霞. 粒径对轮胎橡胶在双螺杆挤出机中超声脱硫的影响[J]. 橡胶参考资料, 2015, 45(6): 39-47.
- [17] 戴元坎. 汽车橡胶密封条挤出成型过程的计算机模拟研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 33-41.
- [18] RYAN T, HEBERT S V, LUJIA G, et al. Impingement heat transfer, Part II: Effect of streamwise pressure gradient[J]. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 2005, 19(1): 66-71.
- [19] XING Yun-fei, BERNHARD W. Experimental investigation of impingement heat transfer on a flat and dimpled plate with different crossflow schemes[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010, 53(19/20): 3 874-3 886.
- [20] XING Yun-fei, SEBASTIAN S, BERNHARD W. Experimental and numerical investigation of impingement heat transfer on a flat and micro-rib roughened plate with different crossflow schemes[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2011, 50(7): 1 293-1 307.
- [21] LEE D H, BAE J R, PARK H J. Confined, milliscale unsteady laminar impinging slot jets and surface Nusselt numbers[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2011, 54(11/12): 2 408-2 418.
- [22] LEE D H, PARK H J. Visualization and structure of confined, milliscale, unsteady impinging slot jets and associated vortices[J]. Experiments in Fluids, 2013, 54(1): 1-15.
- [23] LEE D H, PARK H J. Milliscale confined impinging slot jets: Laminar heat transfer characteristics for an isothermal flat plate[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, 55(9/10): 2 249-2 260.
- [24] LEE D H, BAE J R, RYU M, et al. Confined, milliscale unsteady laminar impinging slot jets: effects of slot width on surface stagnation point nusselt numbers [J]. Journal of Electronic Packaging, 2012, 134(4): 1-11.
- [25] KYO S C, YOUNG J Y, SUNG J K. Heat transfer characteristics of a micro-scale impinging slot jet[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2009, 52(13/14): 3 169-3 175.
- [26] 朱红钧. FLUENT 12 流体分析及工程仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 6-8.
- [27] VIKAS K, AI P W, SOHAN B. A 3-D computational fluid dynamics model for forced air cooling of eggs placed in trays[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(3): 480-492.
- [28] NUNTADUSIT C, TEKASAKUL P. Local heat transfer characteristics of array impinging jets from elongated orifices[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2012, 39(8): 1 154-1 164.

(上接第 85 页)