

物料加工过程气流流道的节能改造

蒋翔, 朱冬生

(华南理工大学化工与能源学院 传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:物料加工中的气流循环过程常伴有涡流出现, 涡流会增大气流流动阻力, 消耗风机能量, 对设备和管道也有破坏作用, 有必要采取导流措施对气流进行合理组织。基于计算流体力学模拟结果, 通过在不同位置安装导流挡板对原料成型罐气流流道进行了改造。模拟及测试结果表明, 改造后风量可增大14%~18%, 或者气流流动能耗可降低15%~20%, 原料成型床气流流场分布更加均匀。

关键词:物料加工; 气流组织; 风机; 计算流体力学; 节能

中图分类号: TK124, TQ021.3

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2005)04-0049-03

Modification for energy saving of air circulation systems in material machining

JIANG Xiang, ZHU Dong-sheng

(Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer & Energy Conservation by the Ministry of Education, Chemical and Energy Engineering Institute, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Air flow in industrial process always generates vortexes, which not only increase flow resistance and consume much energy, but also destroy the equipment. It is vital to guide air flow in industrial buildings, to make air flow equably distribute. Based on the calculated fluid dynamics (CFD) simulation results, the air flow sprues in material molding tanks are modified by installing guide plates in different places to optimize the air circulation systems. The simulation and test results indicate that the air flow rate can be increased by 14% - 18%, or the energy consumption of the fan can be reduced by 15% - 20% after modification, and the air flow field in material molding bed will become more symmetrical.

Key words: materiel machining; air distribution; fan; calculated fluid dynamics; energy saving

在化工、石化、食品、冷冻及空气调节等过程中, 常常需要对大批量物料进行冷却、干燥、恒温以及置换通风。在这些过程中, 为了满足物料加工的温度要求, 需要将物料温度场均匀分布^[1], 因此一般采用大型风机对气流进行强制循环, 其气流循环量大, 风机功耗大^[2-5]。由于物料加工系统流通空间大而且复杂, 气流在系统内流动时无固定的流道, 只是随着建筑通道流动, 因此在气流流动过程中时常伴有涡流产生^[6], 涡流的存在会产生以下影响: ①增大气流流动阻力, 其能耗占风机总功耗的30%以上, 节能潜力大; ②涡流流动消耗的动能会转化为热能, 影响换热器换热效率, 且压降增大使风量减小, 导致热交换量不足; ③导致气流及物料的温度场分布不均, 影响产品质量; ④对设备和管道有很强的破坏作用, 现场观察表明, 设备迎风面损坏严重, 不仅影响制冷效果, 而且会缩短设备使用寿命^[7-8]。

要减少甚至消除涡流的发生, 需要采取导流措施对气流在通风系统中的流动进行组织。对于高大

空间内气流的导流和组织, 目前尚无成熟的理论和实验结论, 主要研究手段是气流数值分析和实验相结合。由于气流数值分析能够考虑流道内各种可能的内扰、边界条件和初始条件, 因此它能全面地反映流道内的气流分布情况, 有助于发现最优的气流导流方案; 实验则主要用来对重要的数据进行验证或者进行必要的修正, 因此气流数值分析和实验的结合应该说是一种较好的气流导流方法^[9-12]。

笔者以原料成型系统为研究对象, 利用上述方法对气流强制循环进行导流, 具体方法如下: 首先利用已知参数, 用计算流体力学(CFD)方法模拟出气流流场分布; 然后根据流场分布情况确定导流方案, 用实验进行验证, 并根据实验的结果进行必要的修正和改进; 最后对流道进行节能改造, 并评估节能改造的效益。

1 建筑结构及气流流程

具体研究对象为粤海集团宁波分公司的12个

收稿日期: 2004-12-27; 修回日期: 2005-02-24

基金项目: 国家自然科学基金(No. 20346001), 广东省自然科学基金重点项目(No. 011584)

作者简介: 蒋翔(1977-), 男, 博士生, gxjiang@163.com; 朱冬生(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事高效换热、制冷空调及CFD技术的研究及应用, 通讯联系人, 020-87114568, cedshzhu@scut.edu.cn。

原料成型罐及其附属系统,它们具有相同的结构。原料成型罐直径达 30 m,气流通道总长约 80 m,风机设计功率为 80 kW,正常功耗约为设计功率的 70%~80%。原料成型系统建筑结构及各气流通道中各进出口的结构尺寸分别见图 1 和表 1。

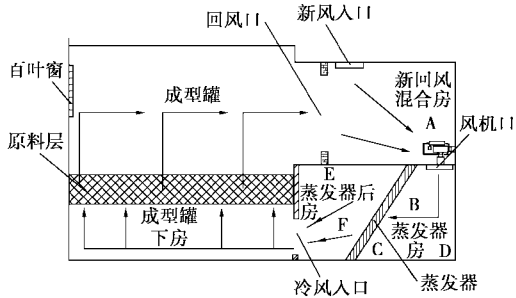


图 1 原料成型系统建筑结构示意图

表 1 气流通道中各设备或进出口的尺寸

名称	宽或直径/m	高/m
原料层	25.00	5.40
百叶窗	4.78	2.90
回风口	1.70	3.00
新风入口	1.70	3.00
风机	1.97	
风机出口	1.80	2.10
蒸发器	5.37	3.02
冷风入口	2.15	1.53

该系统主要由 3 部分组成:空气流利用、空气流循环和空气流冷却部分。其中空气流利用部分由原料成型罐、原料成型床及原料成型罐下房组成;空气流循环部分由新回风混合房、风机、蒸发器房、蒸发器后房及气流通道组成;空气流冷却部分则主要包括蒸发器和制冷系统。在原料成型过程中,新风和回风在新回风混合房按一定比例混合后,被风机经 L 形流道吸入蒸发器房,经垂直放置的蒸发器冷却后,由面积很小的冷空气入口进入到空间较大的原料成型罐下房,然后经 L 形流道流向原料成型床,气流与原料换热后经 L 形流道流回新回风混合房。由上述流程及表 1 所示数据可以看出,气流循环流道结构复杂,流通方向及流通面积的不断变化导致了气流在大型空间中流动的复杂性。

2 改造方案与过程

2.1 总体改造

采用 CFD 软件 Fluent 模拟得到原料成型系统的

流场,发现在新回风混合房的新风与回风相互冲击区域 A,蒸发器房的 B、C、D 区域,以及蒸发器后房的 E、F 区域都存在较大涡流;另外,在气流进入蒸发器时,由于蒸发器流通面积突然缩小,流动阻力突然增大,气流难以顺利进入,在蒸发器表面形成很大的涡流,不仅耗能大,而且涡流不断冲击蒸发器表面叶片,对蒸发器破坏作用很大^[13]。

为解决上述问题,在 CFD 模拟结果的基础上,采取在气流通道中设置导流板的方法对气流进行导流,以消除气流流动过程中产生的涡流,达到减小气流流动过程能耗,使气流流场均匀分布的目的。由于原料成型区空间过大,导流成本高,空气流速低,节能改造意义不大,因此未对其进行改造。

2.2 新回风混合房的改造

对新回风混合房的 A 区域流道,由于其气流进出口较多,气流在此区域强烈混合和扰动形成涡流,难以进入风机。由于此区域为风机入口,风机吸力较大,为使风机安全运行,不宜采用过于复杂的导流结构,宜采用整体式导流结构,简化气流流道,使空气流顺利进入风机,避免新风与回风在 A 区域形成大涡流。导流挡板的形状及安装位置如图 2 所示,导流挡板弧长约 3.5 m,高度与气流混合房高度相同,约 3.8 m,它为气流混合及气流顺利进入风机提供了合适的流道形状与大小。

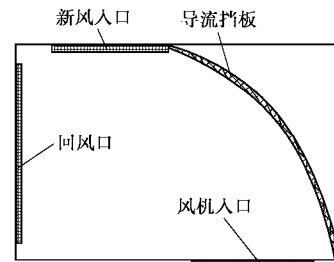


图 2 新回风混合房导流挡板安装示意图

2.3 蒸发器房的改造

蒸发器房的特点是:空间小,气流流量、流速、流动阻力大,涡流也最多,无效能耗占总无效能耗的 50%以上;B、C 区域面积大,D 区域面积较小;C、D 区域风速特别大,而 B 区域风速相对较小。因此导流装置布置较为复杂,具体改造方法为:对 B、C 2 个区域的大涡流,采用在 C 区域沿高度 z 向每间隔 1 m 安装导流板的方法,导流板与地面平行,这样可将 C 区域大环流通道分为 3 段,使大环流分成多个小环流,从而破坏 C 区域的大涡流,而且可使 C 区域气流流向蒸发器和 B 区域,破坏 B 区域涡流;对 D

区域的涡流,将靠近D区域的两墙面前推至风机出口,这样就消除了涡流产生的空间,也有利于气流向蒸发器,对整个房间进行导流,同时在D区域角落安装导流板,避免了气流在D区域下部形成涡流;对蒸发器表面涡流,采用在蒸发器表面安装导流板的方法,不仅可破坏蒸发器表面的涡流,而且有利于整个房间的导流。

2.4 蒸发器后房的改造

由于蒸发器截面积远大于冷气流出口面积,一方面,由蒸发器出来的气流冲击冷气流出口上部的墙面,气流回旋而产生涡流;另一方面,气流难以及时排出形成涡流。导流挡板安装位置如图3所示,导流挡板1的主要作用是破坏墙面区域的回旋涡流,导流挡板2和3的主要作用是使气流及时排出,3块导流挡板的共同作用破坏了E、F2个区域的大涡流,从而不仅起到节能作用,还避免了回旋涡流对蒸发器表面叶片的冲击。

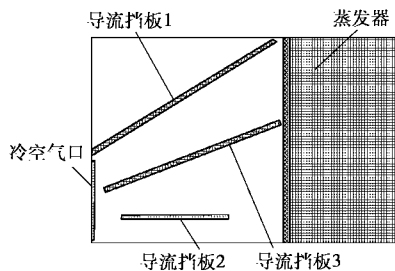


图3 蒸发器后房导流板安装示意图

3 数据测试与处理

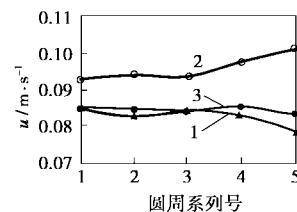
风机功耗主要根据轴功率测定,轴功率与风压及风量都成正比,风压反映了系统阻力性能,而风量则反映了系统的通风能力。当风机轴功率一定时,系统阻力与风量成反比,若阻力减小,则风量增加,因此涡流的减少可以在风机功率不变的情况下增加风量,也可在风量不变的情况下减少能耗。在改造前后,首先保持风机功率不变,测定风量变化,然后降低风机功耗到预期值,测试风量变化,根据风量的变化率即可确定功耗的变化量。

在气流循环系统中,新回风混合房、蒸发器房及蒸发器后房流道复杂,风速大,而且由于涡流的存在使风速方向不断变化,难以准确测定。直径为30m的原料成型罐空间较大,受外界影响基本可忽略,风速较低且风速方向单一向上,因此选择原料成型罐作为测试地点。但测量其全部风量有一定难度,因此采用布点统计法测量:在圆周上等距取10点,径

向等距取5点,共计50点,通过测量各点风速来统计风量,同时为工艺提供原料成型罐内的风速均匀分布情况^[14]。由于原料层表面风速很低,为提高准确度,需采用锥形风罩来放大风速,其风进出口面积比为10:1,可将风速放大10倍。测量时将风罩水平放置于原料层上,探头水平放置于出口处,气流垂直掠过探头。风速仪最小分度值为0.01 m/s,测量偏差为2%。

4 改造结果及分析

图4表示改造前后原料成型罐内的风速分布情况,图中每个数据点代表了原料成型罐圆周上10个测试点的风速平均值(μ)。



1—改造前风速分布;2—改造后风机功率不变时风速分布;
3—改造后风机功率降低12.5%时风速分布

图4 改造前后原料成型罐内的风速分布情况

表2为改造前后风速及功耗的测试结果。由表2可以看出,改造后,当风机功率保持不变时,系统的风速即风量提高15.84%;当风机功率降低12.5%时,风量仍提高2.17%,总体效率提高15%左右。经多次测试,风量可增加14%~18%,或风机功率可降低15%~20%。

表2 改造前后风速及功耗测试结果比较

参数	改造前	改造后 (功率不变)	改造后 (功率降低12.5%)
风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.0827	0.0958	0.0845
风速提高率/%		15.84	2.17
功率/kW	56	56	49
功率降低率/%		0	12.5
总体效率提高率/%		15.84	14.67
风均匀程度	不均匀	较均匀	均匀

模拟及测试结果均表明,改造后的流道比原有流道更为合理,所加导流板不仅破坏了涡流,起到了导流作用,而且消除了气流流动的无效空间,气流分布更为均匀,减少了涡流对蒸发器等设备的冲击。

(下转第54页)

第 2 套气体分馏装置在操作条件基本相同的情况下,改造后处理能力(按年生产时间 8 000 h 计算)由 15 万 t/a 提高到 20 万 t/a,装置加工能力比原设计值提高了 33%,并且生产的丙烯、丙烷产品质量都能满足生产要求。

2.2 能耗降低

(1)循环水消耗基本未增加。虽然装置新增加了 2 台冷凝器,增加了循环水的消耗,但是由于该装置 4 台换热器采用了二次循环水,并且严格控制了新增冷凝器的循环水流量,所以循环水的能耗并未增加。

(2)电耗降低。由于脱乙烷塔回流泵和脱丙烯塔中间回流泵都采用了变频器,节电效果较好。

(3)蒸汽消耗量降低。由于第 2 套气体分馏装置脱乙烷塔、脱丙烯塔的重沸器热源由蒸汽改为来自催化装置及加氢装置的热水,充分利用装置的热水资源,降低了蒸汽的消耗量。改造前后的能耗情况见表 3。

由表 3 可知,改造以后,第 2 套气体分馏装置的能耗由 3 624.06 MJ/t 降到 3 215.20 MJ/t,降低能耗 11.28%,节能效果较好。

(上接第 51 页)

改造后的节能效果明显,提高了原料成型质量,增加了设备换热效率及运行稳定性,延长了设备使用寿命。12 个原料成型系统改造总成本为 30 万元,改造后年节电 60 万 kW·h,年直接经济效益为 36 万元,10 个月即可全部收回投资成本。

5 结语

大型工业建筑气流循环过程中气流流动复杂,涡流节能潜力大,将气流数值分析与实验相结合的方法是一种经济、有效的气流导流和组织方法,值得研究和大力推广应用。对工业建筑原料成型系统改造的实例表明,CFD 软件系统 Fluent 可以很好地模拟大型风机推动气流在大空间中循环流动的流场分布。采用导流板对气流进行导流,可有效消除气流流动过程中产生的涡流,使气流均匀分布,可提高原料成型质量,并使风机效率提高 15%,还可减少涡流对设备的冲击,增加操作的稳定性和安全性,延长设备使用寿命,而且对流道进行改造不影响生产过

表 3 气体分馏装置改造前后能源消耗情况对比

项目	改造前		改造后	
	质量消耗/t	能量消耗/MJ	质量消耗/t	能量消耗/MJ
循环水	27.81	116.52	27.08	113.47
电		471.63		389.49
蒸汽	1.06	3372.92	0.19	604.58
凝结水	-1.06	-337.08	-0.19	-60.46
热媒水	0	0		2168.20
合计		3623.99		3215.28

注:质量消耗及能量消耗均以 1 t 进料计算。

2.3 经济效益显著

由表 3 可知,装置改造后,循环水的单耗降低了 0.73 t,电单耗降低了 6.54 kW·h,脱乙烷塔和脱丙烯塔塔底热源由蒸汽改为低温热水后,蒸汽单耗降低了 0.87 t,而低温热水可循环利用。按中国石化济南分公司财务处内部核算价格:蒸汽 80 元/t,循环水 0.40 元/t,电 0.50 元/kW·h 计算,装置年节约 1 614 万元(按满负荷计算),经济效益显著,表明这项技术改造是成功的。■

程,投资小,效益高。

参考文献

- [1] 程殿林.[J].酿酒,2001,28(3):48-49.
- [2] Lesieur M. Turbulence in fluids [M]. The 3rd edition. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [3] Mirade P S, Picgirard L.[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2001, 36(1):21-49.
- [4] 董玉平,山世俊,叶天震,等.[J].流体机械,2004,32(5):60-64.
- [5] 周绍荣,程运林,汤莉,等.[J].湖南大学学报,1998,25(2):70-74.
- [6] 时书丽.[J].辽宁大学学报(自然科学版),1997,24(1):59-65.
- [7] 庄达民,孟宪海.[J].空气动力学学报,2002,20(3):332-338.
- [8] 孙福来,顾林.[J].酿酒科技,1998,3(1):78-79.
- [9] Khouja M, Shelnutt J W.[J]. Integrated Manufacturing Systems, 1998, 9(3):182-192.
- [10] 陶文铨.数值传热学[M].第 2 版.西安:西安交通大学出版社,2003.
- [11] 谭良才,陈沛霖.[J].暖通空调,2002,32(2):1-4.
- [12] 陈作斌.计算流体力学及应用[M].北京:国防工业出版社,2003.
- [13] Wang S W, Zhu D S.[J]. Energy and Building, 2003, 35:803-902.
- [14] Wang S W, Chen Y M.[J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21(6):683-702. ■