

三效降膜蒸发器噪声的试验研究

张俊友¹, 温艳霞², 白英³

(1. 内蒙古农业大学职业技术学院, 包头 014109;
2. 包头市土默特右旗职业技术教育中心, 包头 014100;
3. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 012300)

摘要: 针对目前国内外乳粉车间的环境噪声严重超标情况, 依据中华人民共和国标准(声学), 在某乳粉浓缩车间对三效降膜蒸发器设备不同工况下所发射的噪声进行了全面测试, 测得在不同工作压力下的噪声发射声压级最高达109dB, 并运用喷射气流噪声特性公式, 结合频谱分析仪数据准确获得峰值噪声频率, 反算出降膜蒸发器设备喷射气流的速度大致为600m/s的超音速, 证实了降膜蒸发器设备中拉伐尔喷管中的超音速宽频带噪声的理论, 进一步运用现代信号分析仪器对采集的噪声信号进行系统分析, 验证了气流喷射噪声是该设备的最主要噪声源, 对乳粉浓缩生产车间工作环境噪声做出合理评价, 为进一步改善该设备生产环境噪声污染提供数据支持。

关键词: 噪声; 气流; 热压泵

中图分类号: U483

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2009)-01-0064-04

Experimental study of the noise of falling-film evaporator

ZHANG Jun-you¹, WEN Yan-xia², BAI Ying³

(1. *Vacational and Technical College, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China;*
2. *TuMoTouYou County Vocational and Technical Education Centre of Baotou City, Baotou 014100, China;*
3. *Inner Mongolia Agricultural University Institute of Water Conservancy and Civil Construction, Hohhot 012300, China*)

Abstract: Currently the noise in omestic milk powder factories is far beyond the standard in the world. Based on the national standard, GB/T17248.3-1999, the noise generated by the fall-film evaporator has been tested in different working conditions. The results indicate that the maximal sound pressure level is 109dB, theoretical and experimental results show that the velocity of jet steam of the falling-film evaporator is about 600m/s. And a further test proves that the jet steam is the main source of noise. Based on this study it has been expected to adopt effective measures to improve production equipment and working condition.

Key words: noise; jet steam; fall-film evaporator

1 引言

降膜蒸发器是一种广泛用于乳品、饮料、制药、化工等行业的成套加热蒸发浓缩设备。它的工作原理是将料液自降膜蒸发器加热室上管箱加入, 经料液分布器均匀分配到各换热管内, 并沿换热管内壁呈均匀膜状流下。在流下过程中, 被壳程加热介质加热汽化, 产生的蒸气与液相共同进入蒸发器的分离室, 汽液经充分分离, 液相则由分离室排出, 蒸气进入冷凝器冷凝(单效蒸发器)或进入下一效蒸发器作为加热介质, 即由蒸气喷射泵(也称热压泵)中的高速、高压热生蒸气将蒸发器中产生的这部分蒸气抽吸进来并压缩, 使得这两部分蒸气混合, 从

而使低品位的二次蒸气变为高品位的加热蒸气再次利用, 使生蒸气消耗大大降低, 从而实现多效操作, 节约热能。该设备运行时的噪声严重超标, 笔者现场测试得知, 在不同工作压力下的噪声级最高可达109dB(A), 工厂为了减少噪声对工人的危害, 通常采用佩戴护听器、耳塞等被动防护措施。

经过现场测试得知, 降膜蒸发器的噪声主要由气流噪声和机械噪声构成, 而起主导作用的是气流噪声, 气流噪声的声源主要由热压泵产生, 即由热压泵内的拉伐尔管中的高速、高压气流产生^[1,2]。

2 降膜蒸发器设备噪声测试

2.1 测量仪器

(1) 声级计

型号: B&K-2231+BZ7110 模件化精密声级计, 测量范围: 24dB(A)~130dB(A)。

(2) 磁带记录仪

收稿日期: 2008-10-20; 修回日期: 2009-01-08

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(200408020711)

作者简介: 张俊友(1972-),男,内蒙古卓资县人,硕士,讲师,研究方向为结构动态特性、振动、噪声。

通讯作者: 张俊友, E-mail: zhangjunyou03@163.com

型号: MR-30 型, 它使用盒式磁带记录和回放 7 通道模拟信号。

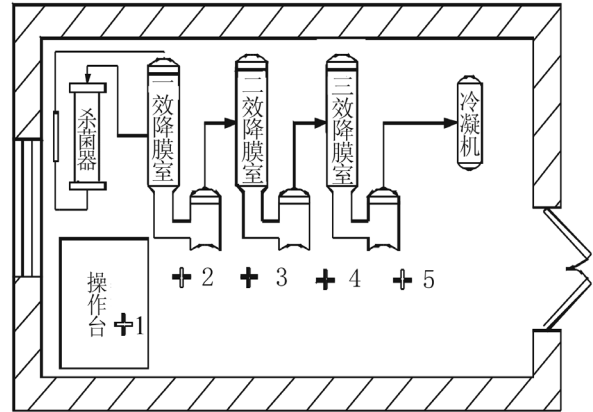
(3) 信号分析仪

型号: B&K-2034 双通道信号分析仪。这是一种具有 801 条分辨线的快速、灵敏、易用且完整的双通道 FFT 分析系统。

2.2 测试方法和数据

按照中华人民共和国标准(声学 机器和设备发射的噪声 工作位置和其他指定位置发射声压级的测量 现场简易法), 现场选定了五个测试点进行测试, 按照本标准布置测点如下: 操作台操作者位置(记录为 1 号点)传声器位于操作者头部, 两眼连线中心平面右侧 0.20m 位置, 其轴线平行操作者的视线, 并且位于测得的 A 计权声压级 L_{pA} 较高的一侧。操作者沿指定路径移动时的传声器位置依次为 2 号点(距设备 2.5m、距地面 1.55m)、3 号点(距设备 1.6m、距地面 1.55m)、4 号点(距设备 1.6m、距地面 1.55m)、5 号点(距设备 2.5m、距地面 1.55m)、降膜蒸发器设备正常工作热压泵拉伐尔管处临时

测点(由于设备结构复杂, 在测点布置示意图中不便标出)。分别测量各测点不同工况(物料泵开启、0.4MPa 压力、0.45MPa 压力、0.5MPa 压力、0.55MPa 压力、0.6MPa 压力、设备正常工作)下的发射噪声情况, 由于各测点设备发射噪声情况类似, 这里仅以 5 号测点和降膜蒸发器正常工作工况的噪声做一详细分析。测点位置如图 1 所示。



(注: ⊕ 表示传声器位置, 2-5 为指定路径传声器位置)

图 1 测点布置示意图

Fig.1 Location of testing points

表 1 RNJM-03 型三效降膜蒸发器 5 号测点噪声 1/1 倍频程测试数据表

Table 1 Test data of 1/1 octave noise level for RNJM-03 triple effect falling-film evaporator at Point 5

工况	对应 1/1 倍频程中心频率处声压级/dB										
	中心频率=20Hz	40Hz	80Hz	160Hz	315Hz	630Hz	1.25kHz	2.5kHz	5kHz	10kHz	20kHz
物料泵启	51	54.8	54.3	70.2	80.5	82.5	86.8	85.8	84.8	68.4	56.4
0.4MPa	51.9	55.3	55.8	73.4	82.2	84.2	87.2	86.4	85.1	72.6	57.8
0.45MPa	69.6	51.3	54.4	77.6	80.9	83.5	87.3	87	90.2	76.4	57.6
0.5MPa	52	50.8	55.5	74.6	80.8	83.7	88	90.4	95.5	81.1	59.3
0.55MPa	59.4	63.3	58	70.1	80.7	86.4	90.6	96	103	86.8	63.3
0.6MPa	64.1	59.6	52.7	70.8	82.4	86.7	93.3	99.1	105	88.8	65.3

表 2 RNJM-03 型三效降膜蒸发器 5 号测点热压泵发射噪声数据表
Table 2 Noise level generated by the hot pump of RNJM-03 falling-film evaporator at Point 5

热压泵的工作压力/MPa	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6
L_{pz} /dB(A)	93.7	93.7	98.6	104	107
L_{pr} /dB(A)	90.6	90.6	97.8	103.8	107

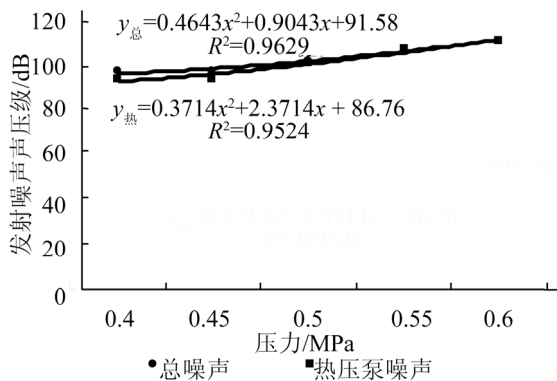


图 2 RNJM-03 型降膜蒸发器 5 号测点发射噪声声压级图
Fig.2 The sound pressure level about RNJM-03 of falling-film evaporator at Point 5 noise

表 1 和表 2 分别是 5 号测点噪声 1/1 倍频程声压及热压泵发射噪声数据表。以表 2 数据作图见图 2, 表 3 和表 4 分别为蒸发器正常生产时的测试数据表。表 2 中 L_{pz} 值是物料泵和热压泵都开启时, 不同工作压力下测得噪声值, L_{pr} 值是热压泵开启时, 不同工作压力下发射的真实噪声值, 是通过公式 (1) 计算得到的^[3]。

$$L_{pr} = 10 \lg [10^{0.1L_{pz}} - 10^{0.1L_{pw}}] \quad (1)$$

式中: L_{pw} 为物料泵开启时测得噪声级; L_{pz} 为物料泵和热压泵都开启时测得噪声级; L_{pr} 为热压泵开启时其本身发射的噪声级。

3 降膜蒸发器设备噪声数据分析

3.1 1/1 倍频程声压级表分析

由 1/1 倍频程声压级表(表 1)可知, 1/1 倍频程声压级随频率的增加均呈先上升后下降的趋势, 最

表3 RNJM-03型三效降膜蒸发器正常生产发射噪声1/1倍频程测试数据表
Table 3 Test data of 1/1 octave noise level for RNJM-03 triple effect falling-film evaporator in normal working condition

正常生产	1/1 倍频程中心频率(Hz)处声压级 (dB)										
	20	40	80	160	315	630	1.25k	2.5k	5k	10k	20k
1号点	52.3	57.8	55.7	70.8	78.4	87.4	94.7	104	108	90.3	67.9
2号点	53.1	58.4	56.2	74.1	80.4	88.7	95.6	104	108	90.4	68.8
3号点	53	58.7	56.3	71.1	81.1	88.8	96.1	104	108	89.5	68.3
4号点	51.1	52.7	56.1	72.1	80.1	89.2	95.8	104	108	90.2	67.8
5号点	61.8	58.6	55.1	71.1	81	89.1	95.4	104	107	89.3	67.3

表4 RNJM-03型三效降膜蒸发器正常生产拉伐尔管处发射噪声1/1倍频程测试数据表
Table 4 The 1/1 octave noise level at Lavar tube of RNJM-03 triple effect falling-film evaporator in normal working condition

Ln	20	40	80	160	315	630	1.25k	2.5k	5k	10k	20k
116	64.7	65.9	71	71.9	80.1	88.8	97	110	111	95.4	78.3

大声压级集中在中心频率为 1.25kHz~5kHz 频段。不同工况下, 对应同一中心频率处 1/1 倍频程声压级都有不同幅度的波动, 但最大值和最小值都几乎是在最大压力工况条件下, 对应的频率范围分别为 2.5kHz~5kHz 和 40Hz~80Hz。在降膜蒸发器设备正常工作工况条件下, 距离热压泵中拉伐尔管喷口 1m, 距离地面 1.5m 处 1/1 倍频程声压级与其他测点相似, 最大值和最小值分别对应中心频率为 5kHz(111dB)和 20Hz(64.7dB), 这都符合喷射气流噪声规律特性。由于喷射流产生噪声是连续的宽频带噪声, 从低频到高频都较丰富, 但在一定频率上又有较强的峰值。这个峰值频率可用式(2)计算得到。

$$f = S_0 V / d \quad (2)$$

式中: V 为气流速度(m/s); d 为排气管直径(m); S_0 为斯脱拉哈数, 无因次量, 一般为 0.15~0.2。

由式(2)可知, 流速越快, 排气管径越小, 产生的噪声频率就越高, 就越趋于尖叫刺耳^[4,5,8,9]。

由于我们无法先测得喷射气流速度, 故只有通过频谱分析准确获得这个峰值频率, 进而反算求得喷射气流速度大致为 600m/s 左右, 这是符合热压泵中拉伐尔喷管由亚音速变为当地音速再变为超音速的喷射特性规律的。

3.2 发射噪声声压级图分析

由发射噪声声压级图(图2)可知, 各测点降膜蒸发器设备发射的总噪声, 随热压泵的工作压力增加整体呈上升趋势, 就现场测试的工作压力变动范围内, 工作压力越大, 发射噪声也越大, 经曲线拟合得二者呈二次线形增长函数关系, 最大工作压力为 0.6MPa 时, 对应的噪声声压级为 107dB。而把物料泵开启时的噪声作为研究热压泵噪声的背景噪声, 利用噪声叠加原理进一步确定热压泵发射的真实噪声, 其特征与设备发射的总噪声类似, 最大值为 5号测点 107dB(0.6MPa), 最小值为 90.6dB(0.4MPa), 其它测点发射噪声特点与 5号测点类似。降膜蒸发

器设备正常生产条件下各测点发射噪声声压级 109dB, 由于物料泵开启时的噪声与设备总噪声相差较大, 利用噪声叠加原理及公式(1), 计算可得热压泵发射的真实噪声仍为 109dB。

3.3 噪声信号频谱分析

由图3所示的降膜蒸发器噪声时间历程图可看出, 整体设备噪声信号主要由随机噪声组成, 但由于该设备结构较为复杂, 其中也可能存在有周期噪声信号。为了判定其存在周期信号与否, 对其做自相关分析^[6,7]。如图4所示, 可看出其中存在有周期信号。

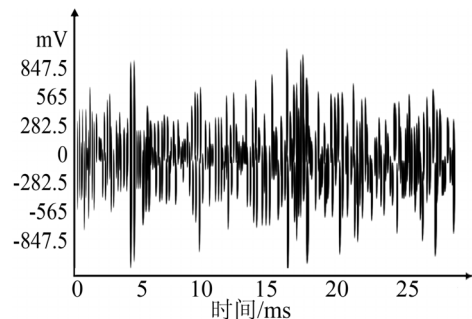


图3 5号测点降膜蒸发器噪声时间历程图

Fig.3 The noise waveform of the falling-film evaporator at Point 5

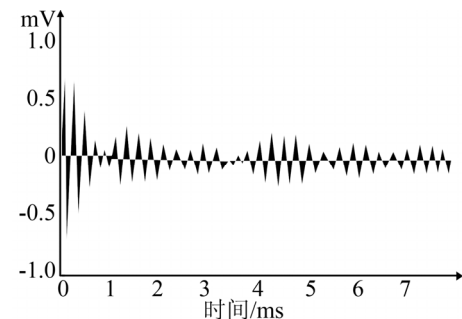


图4 5号测点降膜蒸发器噪声自相关函数图

Fig.4 The auto-correlation function of the falling-film evaporator noise at Point 5

从时域分析较难把握信号的全部特征, 研究噪声信号最应该关心的是频率组成情况, 所以对其做频域分析; 而本噪声信号属于非确定性信号, 用自

功率谱密度函数描述其频域特性。

为了说明问题,这里只对 5 号测点两种工况下的自谱图进行分析。图 5、6 分别为 0.55MPa、0.6MPa 压力工况下降膜蒸发器噪声自谱图。

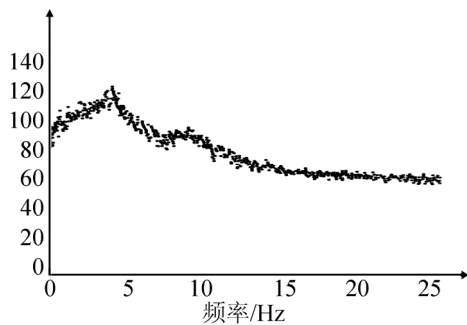


图 5 5 号测点 0.55MPa 工况降膜蒸发器噪声自谱图

Fig.5 Noise spectrum at Point 5 for falling-film evaporator in 0.55MPa condition

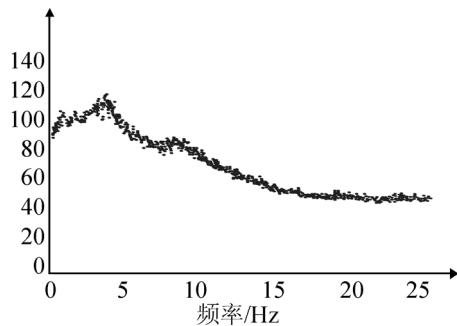


图 6 5 号测点 0.6MPa 工况降膜蒸发器噪声自谱图

Fig.6 Noise spectrum at Point 5 for falling-film evaporator in 0.6MPa condition

从图 5、6 可以看出,它们峰值的频率结构基本相同,几乎所有的峰值均出现在 3kHz~4kHz 和 8kHz~9kHz 两处,而声波频率在 3kHz~4kHz 是人耳最为敏感的频段,所以应该设法降低该频段噪声,前面已经分析了这个峰值频率的成因,主要与喷射气流的速度和喷口直径有关,公式(2)反映得较为详细。噪声的能量主要集中在 10kHz 以下,属中、高频噪声。在不同压力工况下对应的噪声的最高峰值几乎完全一致。与前面 1/1 倍频程声压级表反映的情况基本吻合,更准确地反映了不同工况下噪声的频域特征,同时也验证了降膜蒸发器设备中主要噪声源是由热压泵内拉伐尔喷管喷射气流产生的结论。

4 结论

(1) 通过对乳粉车间三效降膜蒸发器设备现场噪声测试,根据现行《工业企业噪声控制设计规范》(GBJ87-85)每个工作日噪声暴露时间 8 小时(不超出 90dB)的规定^[3],该工作环境必须实施降噪或减少

工作日噪声暴露时间。

(2) 利用现代声学测试技术和信号处理技术,对 RNJM-03 型三效降膜蒸发器的噪声进行较详细地分析,得出三效降膜蒸发器噪声最主要是气流噪声,其特性随其热压泵工作压力增加而增加。利用噪声叠加原理,将三效降膜蒸发器设备中物料泵噪声作为背景噪声,计算并得出热压泵真实噪声亦随热压泵压力增大而增大的特性。

(3) 经过分析降膜蒸发器设备系统可知,由于各种机械设备运转时,部件间的摩擦力、撞击力或非平衡力,使机械部件间产生振动而辐射机械噪声;牛奶液体流过调节阀的节流孔时,由于阀门节流口对液体产生节流作用,因而容易产生阻塞流、闪蒸和空化作用,易诱发液体动力噪声;蒸气流过节流孔时产生的调节阀气体动力噪声,但这些噪声相对热压泵气流噪声来说都不属于主要噪声。

参 考 文 献

- [1] 马大猷,李沛滋,戴根华,等.小孔喷注噪声和小孔消声器[J].中国科学,1997,(5):445-455.
MAA Dayou, LI Pizhi, DAI Genhua, et al. Little hole jet-flow and muffler[J]. China Science, 1997, (5): 445-455.
- [2] 刘殿宇.降膜式蒸发设备中热压泵的设计[J].化工设备与管道,2001,38(1):43~46.
LIU Dianyu. Design a jet-ejector for falling-film evaporator[J]. Chemical Equipment and Pipe, 2001, 38(1): 43-46.
- [3] 洪宗辉,潘仲麟.环境噪声控制工程[M].北京:高等教育出版社,2002:1-25.
HONG Zonghui, PAN Zhongling. Environment noise control engineering[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001: 1-25.
- [4] 张俊友.降膜蒸发器噪声机理的分析研究[D].内蒙古农业大学硕士学位论文,2006:11-29.
ZHANG Junyou. Study for mechanism of noise of falling-film evaporator[D]. Master's degree paper of Inner Mongolia Agricultural University, 2006: 11-29.
- [5] 王权,向雄彪.蒸气喷射压缩机喷射系数计算方法研究[J].太阳能学报,1997,(3):314-321.
WANG Quan, XIANG Xiongbiao. Study the method of calculate jet coefficient of the jet-ejector[J]. Solar Journal, 1997, (3): 314-321.
- [6] 卢文详,杜润生.机械工程测试·信息·信号分析(第二版)[M].武汉:华中科技大学出版社,1999.
LU Wenxiang, DU Runsheng. Mechanical engineering test-information-study the signal(Second Edition)[M]. Wuhan: Medi-china Science and Technology University Press, 1999.
- [7] 胡广书.数字信号处理[M].北京:清华大学出版社,1999.
HU Guangshu. Treatment of digital signals[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [8] 马大猷,李沛滋,戴根华,等.阻塞喷注的冲击噪声[J].声学学报,1980,5(3):172-182.
MAA Dayou, LI Pizhi, DAI Genhua, et al. The impact noise of block jet[J]. Journal of Acoustics, 1980, 5(3): 172-182.
- [9] 马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].北京:机械工业出版社:512-514.
MAA Dayou. Handbook of noise and vibration Control Engineering[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 512-514.