

测量谷物流含水率声学方法的研究

李小昱 王 为 任小春*

(西北农业大学农工系, 陕西杨陵·712100)

摘 要 研究了一种测量流动谷物含水率的声学方法。通过试验, 确定了大豆流声信息与含水率的关系, 在 200~310 Hz 频率范围内分析了含水率 9%~16% 时声压与含水率、流量、声源距离、下落高度诸因素的关系, 并建立了数学模型。

关键词 谷物, 含水率, 幅频特性, 声学方法

中图分类号 S122, S226.9

测定谷物含水率的方法有烘干法、干燥剂法、蒸馏法、化学法、气相层析法、电方法及核磁共振法。但无论哪一种方法都费时耗资, 且不能瞬时、连续地测量出含水率。

机械收获时及时准确地测出谷物的含水率, 可以使收获机械自动进行调节; 干燥、贮存时迅速准确地测出谷物含水率, 可大大提高干燥效率, 并为安全贮存提供可靠理论数据; 谷物加工时连续准确地测出谷物含水率, 可有效地控制加工工艺, 自动调整加工设备。总之, 谷物的收获、处理、加工过程的机械化和自动化控制都需在线测其含水率。本研究的目的是要建立一种瞬时、连续、准确地测量谷物流含水率的声学方法, 这对于提高谷物收获、干燥、贮存、加工等方面的工作效率与自动化程度具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验用的谷物为上年收获并经精选的吉豆 18 号大豆, 含水率控制在 9%~16%, 所有含水率都以湿基计算。在含水率上下限之间选择几个等间距含水率水平, 通过加水、混合、平衡 3 d, 使之达到不同的含水率⁽¹⁾。较高的含水率水平, 需要加几次水方能达到要求。然后将大豆样品密封于塑料袋中, 以保持含水率并防止变质。

试验时, 对每一个含水率等级的大豆取 6 个样品置于烘箱中, 据 ASAE 标准, 在 130℃ 的温度下保持 19 h 进行测量。得出不同水平的含水率如表 1。

1.2 试验装置

试验装置及测量系统简图如图 1。

试验时大豆储存在一金属仓内, 仓底部开槽, 槽内可重迭插入两金属板, 一板用于开关谷物流, 另一板在中心开口, 其开口为矩形, 长度为 40 mm, 宽度分别为 20, 25, 30,

表 1 用烘干法测定的大豆含水率

含水率组	含 水 率 (%)	
	平均值	标准差
1	15.62	0.036 7
2	14.58	0.016 6
3	13.67	0.024 5
4	11.05	0.037 3
5	9.76	0.029 8

收稿日期: 1992-09-23.

* 现在陕西省靖边县农机局工作。

35 mm,以获得期望的流量。大豆从储仓中落到一木制圆盘上,此盘直径为230 mm,厚19 mm,盘上覆盖4 mm厚的硬橡胶和11 mm厚的塑料泡沫,以吸收大豆撞击圆盘发出的声音。圆盘距仓口距离可调,圆盘下放置一收集盒,盒内壁衬30 mm厚的软海绵,以抑制不需要的噪声。

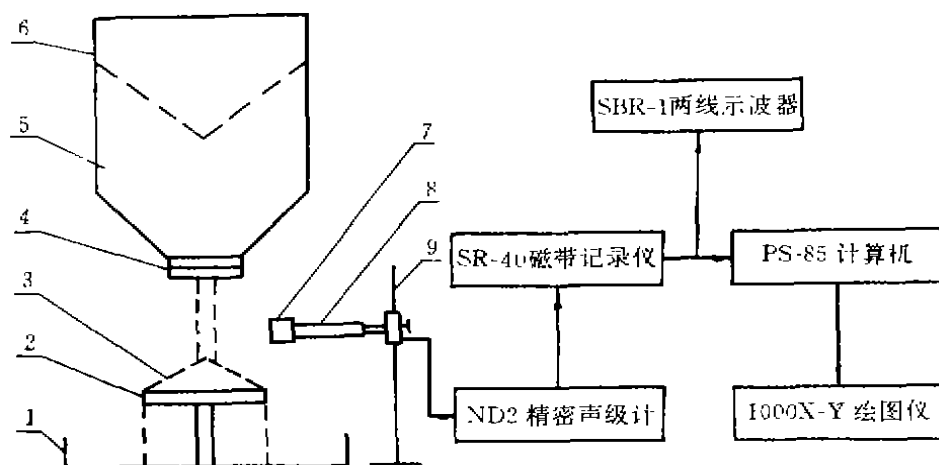


图1 试验装置与测量系统

1. 收集盒; 2. 圆盘; 3. 大豆堆; 4. 插板; 5. 大豆; 6. 储仓; 7. 风罩; 8. 传声器; 9. 支架;

1.3 试验方法

谷粒的物理结构、弹性和振动特性取决于其含水率^[2]。谷粒在碰撞时,从其碰撞表面会发出声音。用传声器及数据处理的方法,仅测谷粒相互撞击产生的声音,去掉其他声源产生的声音。

试验开始前,向储仓加入9 kg大豆样品。每次试验抽掉仓出口的插板使大豆流出。测量前,让大豆样品流动15~20 s,以使大豆流和声波都达到稳态。试验工况分别采用改变插板开口面积、改变传声器距大豆流中心距离、改变大豆流下落高度及改变样品含水率4种状态^[3,4]。声级计的信号经磁带机输入PS-85计算机中作频谱分析及进一步数据处理^[5,6]。

2 结果与分析

对某一含水率,一条经平滑处理后的典型的流动大豆声压频谱曲线如图2所示。由幅频特性曲线可知,各试验工况均在200~300 Hz频率范围内幅值最大,当大于800 Hz后,声压的变化趋于平缓。

2.1 改变插板开口面积

流量随开口面积的增加并非线性,而呈指数关系。因流量还与物料的尺寸、形状、表面

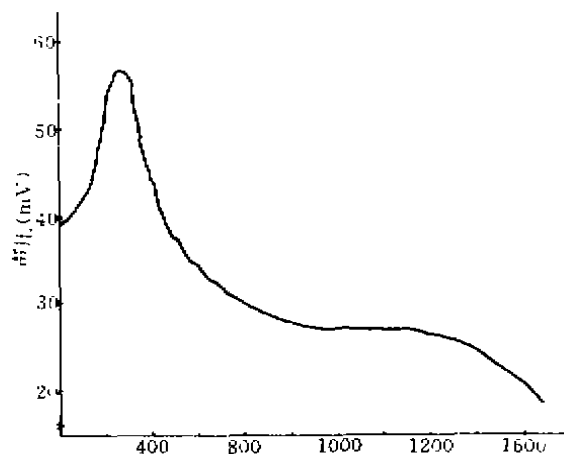


图2 含水率9.76%流动大豆声压幅频曲线

粗糙度、含水率及开口的形状等因素有关^[7]。一方面,开口要小,以尽可能减小储仓的容积,同时又有足够长的流动时间,以获得有代表性采样;另一方面,开口又要足够大,以保证含水率变化不影响体积流量和抑制边界效应。为此,本试验分别采用了开口面积为 800,1 000,1 200 和 1 400 mm² 的 4 种插板,以造成不同的流量。从幅频曲线中可看出,在 200~300 Hz 频率范围内,其幅值最大,即声压对插板开口面积的改变有最大灵敏度,可在该范围内建立数学模型。

当中心频率为 250 Hz,含水率 $MC=11.05\%$,传声器距大豆流中心距离 $D=90\text{ mm}$,大豆流下落高度 $H=260\text{ mm}$ 时,声压 V 与开口面积 A 的关系为:

$$V = 26.6870 + 0.0223A \quad R = 0.951^{**}$$

可知,随着开口面积的增大,声压级增大。另外,从幅频曲线中还可看出,在某一频率点,开口面积一定,含水率较低的大豆声压级较高,该关系一直贯穿整个频率范围。

2.2 改变传声器距大豆流中心的距离

凭经验可知,传声器距声源的距离越近,声信号越强,然而仅凭此点在生产实际中是很难应用的,需建立二者之间的数学关系。所以,将传声器的距离设定为 90,110,130,150,170 mm,在 200~310 Hz 频率范围内,传声器距离变化时其灵敏度最高,那么在该频率范围内建立数学模型。

当中心频率为 250 Hz,含水率分别为 14.85%,11.05%,大豆下落高度 $H=260\text{ mm}$,开口面积 $A=1\,200\text{ mm}^2$ 时,声压 V 与传声器距大豆流中心距离 D 的关系为:

$$MC=14.85\% \text{ 时, } V=59.3325-0.1521D \quad R=0.902^{**};$$

$$MC=11.05\% \text{ 时, } V=69.3335-0.1865D \quad R=0.887^{**}$$

综上所述,随着传声器距大豆流中心距离的增加,其声压降低。且在相同距离下,含水率较高者,声压较低。

声压级与传声器距声源之间距离的数量化关系在生产实践中是很有指导意义的,它可提供在实际测量中声级计与声源的安装距离。

2.3 改变大豆流下落高度

大豆流下落高度对声压级是有影响的。为此,将其下落高度分别定为 230,260,285,315 和 345 mm,其幅频曲线表明,随着下落高度的增加,声压级逐渐增大,且在 200~310 Hz 之间灵敏度最大。

当中心频率为 250 Hz,含水率 $MC=11.05\%$,传声器距大豆流中心距离 $D=90\text{ mm}$,插板开口面积 $A=1\,200\text{ mm}^2$ 时,声压 V 与大豆流下落高度 H 间的关系为:

$$V=19.7815+0.1501H \quad R=0.891^{**}$$

2.4 改变样品含水率

由图 3 看出,随着大豆含水率减小,幅频曲线上移。这表明在一定频率下,比较干燥的大豆有较大的声压幅值,且这种关系存在于整个频率范围。在 200~310 Hz 频率范围内,几条曲线平行,表明在这一段频率区间,频率对含水率与幅值的关系没有影响,在任一频率点,只能确定唯一的含水率——声压方程。同时,在该频率范围内,声压有最大幅值,表明幅值对含水率变化有最大灵敏度。

当中心频率为 250 Hz,传声器距大豆流中心距离 $D=90\text{ mm}$,插板开口面积 $A=$

1 200 mm²,大豆下落高度 $H=260$ mm 时,声压 V 与含水率之间的关系为:

$$V=74.5472-1.7789MC$$

$$R=0.968^{**}$$

2.5 声压级、含水率、频率之间的关系⁽¹⁾

在考虑了以上几个单因素对声压影响的同时,频率对声压的影响也不可忽视。从以上幅频曲线中可看出,频率对曲线的形状有重要的影响,而含水率则使曲线在垂直方向上产生波动。在实际工况中,谷物流出口面积,声级计距声源距离,谷物下落高度等常常都是一定的,那么知道声压级与含水率、频率之间的关系会更有意义。为此,可建立以含水率和频率为自变量,声压为因变量的数学模型,即声压= f (含水率、频率)。

其方程如表2所示。

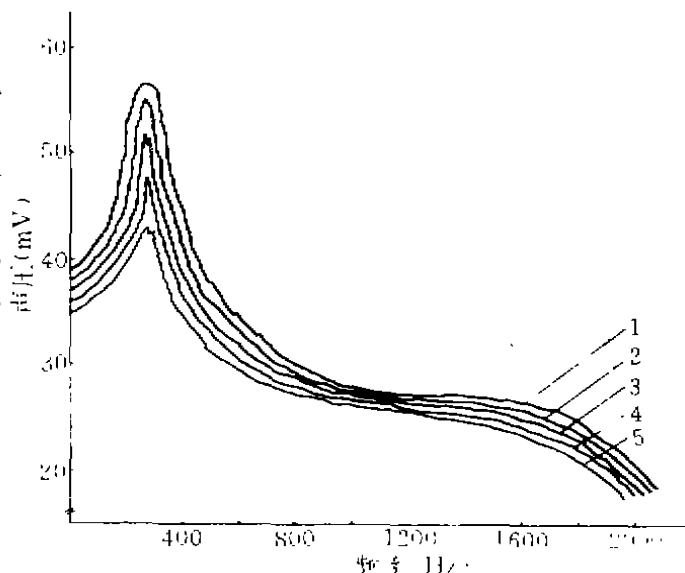


图3 几种不同含水率经平滑处理后的幅频曲线

1~5 分别示含水率为 9.76%, 11.05%, 13.67%, 14.85%, 15.62%

表2 预测声压幅值的回归方程

R	方 程
0.114 7	$V=41.273-0.508MC$
0.829 8	$V=52.124-0.508MC-0.0143F$
0.845 1	$V=55.554-0.508MC-0.0253F+0.00001F^2$
0.868 8	$V=62.929-0.508MC-0.0635F+0.00005F^2-0.00001F^3$
0.872 1	$V=68.782-0.956MC-0.0711F+0.00005F^2+0.00059F \times MC$
工 况	$A=1200 \text{ mm}^2 \quad D=90 \text{ mm} \quad H=260 \text{ mm}$

注: V = 幅值(mv), MC = 含水率(%), F = 频率(Hz)

其结果表明,相关最好的模型为:

$$V=f(MC, F, F^2, F \times MC)$$

即加入交互作用参数后,其相关系数为 0.872 1, $F=34.304 > F_{0.01}$, 这一四变量关系是描述声压与频率及含水率关系的有效模型。

3 结论与讨论

(1) 研究与确定了测定流动谷物含水率的声学方法并用大豆作了验证。

(2) 通过流动大豆声信号的频谱分析和数据处理,选择了最优频带宽度,在 200~310 Hz 频带范围建立了含水率 9%~16% 时声压与开口面积、传声器距声源距离、大豆的下落高度、大豆含水率之间的数学模型。其灵敏度高,相关性好。

(3) 当大豆含水率增加,在整个频率范围内其声压级都降低。

(4) 建立了声压级与含水率、频率之间的数学模型,确定了最佳预测方程。

(5)以上述研究为基础,可设计以单片机为核心,并设置带通滤波器以抑制本底噪声的谷物水分测定仪。

参 考 文 献

- 1 Friesen T L, Brusewitz G H, Lowery R L. An acoustic method of measuring moisture. *J Agric Engng Res*, 1988, (1), 49~50
- 2 Mohsenin N N. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, 1970
- 3 Harrenstein A, Brusewitz G H. Sound level measurements on flowing wheat. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 1986, 29(4), 1 114~1 117
- 4 Brusewitz G H, Venable P B. Sound level measurements on flowing grain. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 1987, 30(3), 863~ 864
- 5 黄世霖. 工程信号处理. 北京:人民交通出版社, 1986
- 6 梁德沛. 机械参量动态测试技术. 重庆:重庆大学出版社, 1987
- 7 Chang C S, Converse H H, Lai F S. Flow rate of corn through orifices affected by moisture content. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 1984, 27(5), 1 586~1 589

An Acoustic Method for Measuring Moisture content of Grain Flowing

Li Xiaoyu Wang Wei Ren Xiaochun

(Agricultural Engineering Department, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract This paper studies an acoustic method for measuring moisture contents in grain flowing. The relation between the acoustic information and moisture contents in soybean was established through the experiments. The relations among such factors as acoustic pressure and moisture contents, flow rate, acoustic source, and falling height were analysed within the range of 200~310 Hz when moisture content is 9%~16%, and the corresponding mathematical models are established.

Key words cereal grains, moisture content, amplitude frequency behaviors, acoustic method