

# 以动态粮食摩擦阻力测量含水率的试验研究

刘庆国 邢佐群 王剑 邢柏林

(黑龙江省农垦农机试验鉴定站)

**提 要** 提出了一种以动态粮食摩擦阻力测量含水率的方法。在特制的模拟试验装置上,进行动态粮食摩擦阻力与其含水率的相关性试验,得出在一定的含水率区段内,二者具有线性正相关;这种测量含水率的方法,简便、易行、干扰因素相对较少、干扰强度低微、传感技术可靠,有望用于测量范围较窄、准确度要求不很高的粮食含水率于干燥机上的在线测量。

**关键词** 粮食 含水率 测量

## Testing Study on Measuring of Moisture Content of Grain With Its Friction

Liu Qing-guo Xing Zuo-qun Wang Jian Xing Bo-lin

(Agricultural Machinery Testing and Evaluation Station of Heilongjiang, Jiamusi)

**Abstract** This paper put forward a method, which was to measure the moisture content of grain with its dynamic friction. With a special simulative TET (test equipment tester), a correlation test between grain friction and its moisture was carried out and the result showed that there was a linear positive relation in a range of moisture content. This method is simple, convenient and reliable.

**Key words** Grain Moisture content Measuring method

### 1 引 言

粮食含水率的测量根据实际需要分为实验室(静态)测量和在线(动态)测量。实验室测量技术比较成熟,而在线测量,尤其用于干燥机上的在线测量,至今仍是一个研究课题。

当前,测量粮食含水率的方法,除国家标准认定的“烘箱法”以外,还有真空干燥法,甲苯蒸馏法,核磁共振法,碰撞噪声法,气相层析法,中子击水法,红外测水法,微波加热法,电阻法,电容法<sup>[1]</sup>。其中有些方法已得到一定范围的应用。但大部分因系统成本较高,操作复杂,只适宜于某些环境或条件下的实验室测量。近年来,国内一些专家根据工农业生产的需要,试图将上述的某种方法引入粮食含水率于干燥机上的在线测量,但因干燥机工作条件复杂、多变,以及所采用仪器的稳定性、可靠性、标定方便性等难以解决的技术问题困扰,至今仍未有成功的应用先例。

收稿日期:1996-09-28 1997-02-17 修订

刘庆国,副研究员,佳木斯市安庆街156号 黑龙江省农垦农机试验鉴定站,154007

随着粮食生产集约化、规模化的经济发展, 广大用户对粮食含水率于干燥机上的在线测量技术需求越来越迫切。黑龙江垦区拥有大型粮食干燥机 200 余台, 除少数几台采用废气状态监测器, 在线监测出机粮含水率以外, 绝大多数干燥机无在线监测粮食含水率的装置。仅有的几台废气状态监测器, 亦因其稳定性、准确性差或仪器失修而弃之。

笔者在多年与用户接触过程中, 在充分考查了用户的技术、经济接受能力的基础上, 对现有在研的几种在线测量方法的对比、分析, 结合对粮食干燥机具体作业条件的研究, 提出了以动态粮食摩擦阻力测量含水率的方法, 并初步完成了模拟粮食干燥机在线工作条件的模拟试验。

## 2 依 据

以动态粮食摩擦阻力测量含水率的方法是基于粮食的散落性而提出来的。粮食在自然形成粮堆时, 由落点向四周散开而形成圆锥体, 粮食这种流动性质称为散落性。粮食散落性的大小, 通常用静止角(自然坡角)表示。粮食静止角大小与粮粒间的摩擦系数成正比, 与粮食含水率、含杂率、粮食表面状态相关, 其中含水率的影响最为显著<sup>[2]</sup>。从表 1 的有关试验数据可见, 粮食含水率增加, 摩擦系数和静止角加大, 从 13% ~ 30% 含水率摩擦系数和静止角随含水率的增加几乎直线上升<sup>[3]</sup>。粮食属半流体, 故其动摩擦系数大于静摩擦系数。以粮食的这一物理特性为理论依据, 进行了粮食动摩擦阻力与含水率相关性模拟试验。

表 1 不同含水率的粮食静止角与摩擦系数

	玉 米								小 麦							
含水率 /% w t	9.9	12.2	13.0	13.9	16.2	19.5	23.1	11.0	11.2	13.0	14.1	15.0	15.7	17.1	19.3	
静止角 /(°)			34.9		35.1	39.0	43.5	29.3			31.0			35.6	41.0	
静摩擦系 数/%	0.31	0.33		0.37					0.31	0.35			0.47	0.48		

注: 静摩擦系数取粮食与木材间的摩擦。

粮食含水率于干燥机上的在线测量, 就其特性和具体条件, 有以下几方面不同于实验室测量。一是前者属技术性测量, 其测量结果仅供做控制的依据, 而不直接决定粮食的等级售价, 故其测量准确度允许适当低些。而后的测量值往往做为评价粮食品质的依据, 决定粮食的经济价值, 故对测值准确度要求较高; 二是前者测量的含水率幅值变化较窄, 如一次干燥到安全贮存含水率时, 干燥机出机粮含水率一般要求达到 14 % 左右(地区不同, 略有升降), 人工调整失控造成的出机粮含水率幅值变化, 一般不超过预定值的正负三个百分点, 而自动控制应达到的出机粮含水率幅值变化不超过给定值的正负一点五个百分点, 幅值变化窄, 使数学模型比较容易制定, 甚至可以现场随机标定, 从而使复杂的测量技术简单化处理。而后者测量的粮食含水率值, 常常要求在很宽的幅域间, 确保测量因子间具有很准确的相关性, 故要求的数学模型较复杂, 有时考虑线性须分段制定模型, 要求标定和使用者具有较高的技术水平; 其三, 前者测量的对象是动态和连续变化的, 后者是静止的。从上述的分析可得

出,以动态粮食摩擦阻力测量含水率的方法,比较适应在线测量的特性。

### 3 试 验

#### 3.1 试验物料

选用商品粮小麦做试验物料,分别在解湿和吸湿过程中,对不同含水率的小麦,进行动态摩擦阻力与含水率相关性试验。解湿以自然凉干方式进行,即将物料加湿到较高的预定含水率,经过充分搅拌、缓苏后,进行自然晾干,每晾干一昼夜,做一次试验(大约降1%左右),一直试验到预定的低含水率为止。吸湿试验程序采取将低含水率物料,按每次提高含水率1%左右的计算水量,人工喷水加湿、搅拌、缓苏,使粮食内外含水率基本均匀后(停放一昼夜),逐次做试验,直至加湿试验到较高的预定含水率为止。

#### 3.2 试验设备

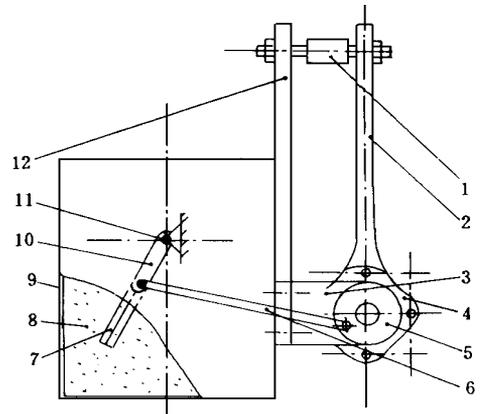
试验设备主要由两部分组成,一是粮食摩擦阻力的发生装置,二是粮食摩擦阻力的测量装置。本试验以自制的模拟试验机作为粮食摩擦阻力的发生装置,以荷重(拉压力)传感器和笔记录仪作为粮食摩擦阻力的测量装置。

模拟试验机主要结构见图1,其中摆杆7位于粮箱9内,拐臂10位于粮箱之外,二者同固定于支承轴11上,电机浮动支架3与固定力臂杆12均固定在粮箱的侧壁上。曲柄5固定在减速器4的主轴上,而测力臂2则固定在减速器4的外壳上。减速器4的外壳与电机浮动支架3铰接。连杆6用以连接曲柄5与拐臂10。

模拟试验机以摆杆7作为驱动粮食相对运动的工作部件。其横截面呈X型,V型槽与摆杆的运动平面平行,当启动电机摆杆7随着曲柄的转动而作往复摆动时,V型槽内充满粮粒,此部分粮粒被摆杆推动与粮箱内相邻接的静止粮粒形成相对运动,此运动产生的摩擦阻力作用于摆杆上,于是在支承轴11上便产生一个阻力矩。当摆杆运动速度一定时,该阻力矩的大小随粮食含水率的高低而变化,并经拐臂10、连杆6和曲柄5,最终传至减速器4的主轴。作用在减速器主轴上的阻力矩,在减速器外壳上形成一个大小相等的反力矩。如果减速器的外壳上无约束,它将在上述反力矩的作用下绕着减速器的主轴转动。荷重传感器1作为约束,联结在测力臂2与固定力臂杆12之间。因为测力臂是固定在减速器外壳上的,所以作用在荷重传感器上的力正是对减速器外壳的约束力。此力的大小与摆杆形成的阻力矩成正比。从而建立起传感器所测力值与粮食含水率的相关关系。

#### 3.3 试验方法与结果

试验在室内进行。按预先编制的计划,分别对吸湿和解湿到一定含水率的小麦进行动态摩擦阻力的模拟试验。考虑此项试验,主要是为探索以动态粮食摩擦阻力测定干燥机出机粮含



1. 荷重传感器 2. 测力臂 3. 电机(减速器)浮动支架 4. 电机及减速器 5. 曲柄 6. 连杆 7. 摆杆  
8. 物料 9. 粮箱 10. 拐臂 11. 支承轴  
12. 固定力臂杆

图1 模拟试验机示意图

水率的可行性, 故试验区段重点选取在粮食安全贮存含水率 14% (即干燥机出机粮含水率) 水平附近, 以获得粮食含水率在此区段内变化时, 其动态摩擦阻力数据的可分辨性。

试验时, 将物料放入粮箱, 每次试验粮箱内物料装满高度应保持同一水平。开动电机, 经减速器减速后, 摆杆 10 在粮堆内以 24 次/m in 的速度摆动, 以笔记录仪自动连续记录荷重传感器 1 测得的约束力示值及其变化规律。因摆杆在粮堆内的运动速度呈正弦曲线变化, 故荷重传感器测出的力值亦随之周期性地变化, 为便于实际应用, 各测次的测量值均取笔记录仪绘出的最大值的平均值。物料的实际含水率值, 按国家标准规定的烘箱法测定。

试验结果参见图 2。

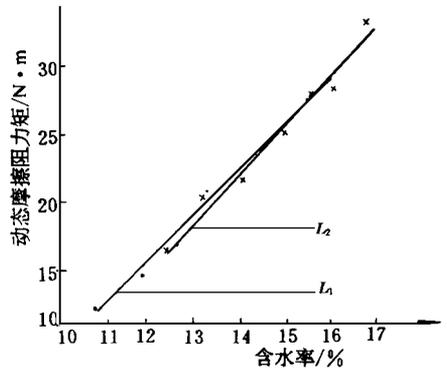


图 2 粮食间动态摩擦阻力矩与含水率关系曲线

#### 4 结 语

1) 运用吸湿、解湿处理小麦, 在特制的模拟试验机上对小麦动态摩擦阻力与含水率的相关性进行了试验, 结果得出相关显著。

2) 在安全贮存含水率  $14\% \pm 2.0\%$  范围内, 小麦动态摩擦阻力与含水率成线性关系, 含水率高, 摩擦阻力大。

3) 这种测量含水率的方法, 可望运用于粮食干燥机控制出机粮食含水率的在线测量。

4) 动态粮食摩擦阻力测量含水率方法, 具有干扰因素少, 干扰强度低微, 传感技术稳定可靠, 标定方便, 调整灵活, 寿命长, 价格低, 便于实现自动控制等优点, 适宜当前国内用户的技术水平和经济接受能力。

5) 应进一步研究和解决将该方法应用于粮食干燥机在线测量的具体技术问题。例如在线测量装置的研制, 在线测量结果的数据处理, 粮食温度对粮食动态摩擦阻力的影响及其修正等问题。

#### 参 考 文 献

- 1 曹国军 粮食流动碰撞噪声测量含水率的试验研究: [学位论文] 北京: 北京农业工程大学, 1993 2 ~ 3
- 2 赵思孟 粮食干燥技术 郑州: 郑州粮食学院, 1987. 15~ 16
- 3 (美)KB 布鲁克, FW 阿克马, CW 霍尔. 谷物干燥 周清澈译 北京: 中国农业机械出版社, 1981. 245~ 246