

谷物含水率中子法在线测量的可行性研究³

杨悦乾

(东北农业大学)

王剑平

(浙江大学)

王成芝

(东北农业大学)

摘要: 研究了处于冰冻和流动状态下的谷物含水率的快速测量, 探讨了中子式测水仪对谷物含水率测量的一些基本规律, 得出: 谷物含水率的中子法在线测量是可行的; 谷物的流动速度在一定范围内变化对慢中子计数比 R_c 的影响不大; 谷物含水率的中子法在线测量可实现干燥机的自动控制。

关键词: 中子; 谷物含水率; 在线测量

谷物含水率快速准确的测量, 目前在国际上还是一个难点, 而对于冰冻和流动状态下谷物含水率的快速测量则更加困难。由于谷物含水率测量的不准确, 造成谷物干燥机生产的波动, 使谷物干燥机生产难以实现自控。目前, 快速测量含水率的仪器产品有很多, 主要有: 电阻式、电容式、红外式、微波式、核磁共振式等。这些产品除了有其自身的缺点外, 价格因素也影响了产品的推广。同时这些产品对冰冻和流动状态下谷物的含水率快速测量也不适应。因此, 研究谷物含水率的在线测量是非常有意义的。

1 理论研究

中子式含水率仪由美国在 40 年代研究成功以来, 世界各国相继研制成各种用途的中子式含水率仪并商品化, 现在我国也已经开发了六、七种不同方式和用途的新产品, 应用于农业土壤、土木建筑、地下水研究以及水利工程和冶金业等领域, 但是成功应用于谷物含水率在线测量上还很少有报道。

中子式含水率测量装置(如图 1), 主要由中子源、慢中子探测器、脉冲计数器、中子源保护管、电源等组成。中子源插入谷物中, 中子源每时每刻都在产生快中子(0.1~10 MeV), 单位时间发出的中子数目大致相等。快中子在谷物内运动就会与谷物的氢原子核碰撞, 散射而损失能量, 逐渐慢化成为慢中子(0~1 keV)、热中子(0.025 eV)并在中子源周围形成一个“热中子云球”。在中子慢化过程中, 氢原子起着特别重要作用, 由于氢核质量小, 中子与其每次

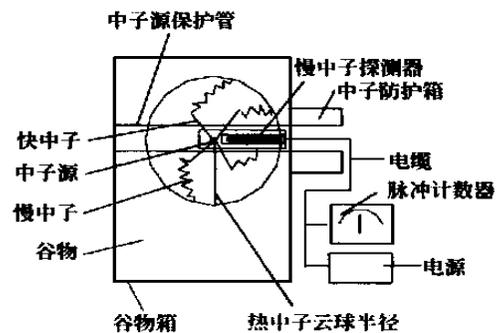


图 1 中子式谷物水分测定装置和原理示意图

Fig 1 Device for detem ining moisture content of grain by neutron counting and its principle

碰撞损失能量多; 另一方面是中子与氢核相互作用的截面大^[1]。谷物中含有氢原子, 而谷物中的含氢量随含水率的变化而变化。谷物本身的含氢量是固定不变的, 谷物含水率越大, 快中子被慢化得越快, “热中子云球”半径越小, 热中子密度越大, 反之则相反。热中子打到慢中子探测器上, 产生电压脉冲, 由脉冲计数器记录脉冲数(即为慢中子计数), 此脉冲数是“热中子云球”内的脉冲数。为了准确测量, 必须首先测得“热中子云球”半径。为此设计了静态标定试验桶(直径为 60 cm, 高为 100 cm, 在 50 cm 处装有中子源保护管), 将中子源保护管以下部分用谷物添满; 测出中子源在防护箱内的慢中子计数, 然后将中子源插入保护管内, 记录中子计数; 逐渐增加上半桶谷物, 并记录相应的中子计数, 为减小误差用中子计数比来反映中子的慢化程度, 中子计数比 $R_c = n/n_0$ (n_0 为中子源在防护箱内的计数, n 为中子源在谷物桶内的计数)。图 2 为玉米试样的试验结果, 由此可见, 随谷层厚度增加, 计数比(R_c) 明显增加, 当谷层厚度增加到一定值时, 谷层厚度再增加, 计数比(R_c)

收稿日期: 1999212213 修订日期: 2000206222

3 国家自然科学基金资助项目(69274028)

杨悦乾, 工程师, 哈尔滨市香坊区 东北农业大学工程学院, 150030

增加不明显。此厚度即为此含水率下的“热中子云球”半径。谷物处于动态时，“热中子云球”半径相应增大。

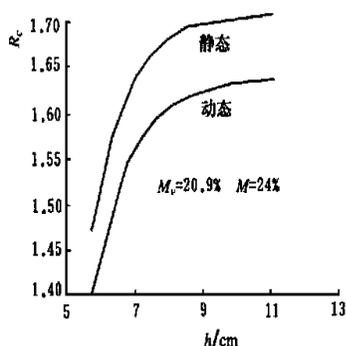


图2 谷层厚度对计数比的影响

Fig 2 Effect of grain thickness on counting ratio

2 对影响因素的研究

对不同含水率、动态与静态、冰冻与非冰冻的情况作试验研究。谷物质量含水率用烘箱法(烘箱法依据国家标准 GB öT 10362289 玉米含水率测定法进行)测量。可知中子计数比 (R_c) 与谷物状态的关系为:

1) 谷物容积含水率 M_v ($M_v = M_1 C, M$ —— 谷物质量含水率, C —— 谷物在此 M 时的容重) 与中子计数比 R_c 成非单调关系。

2) 谷物静止时, R_c 较动态时大, 但流动速度对 R_c 影响不大(见图 2 和表 1)。

3) 冰冻谷物 (-22.7°C , 谷物质量含水率 $M = 19\% \sim 28\%$) 的 R_c 变化趋势与非冰冻谷物变化趋势相同^[2]。

4) 对几个不同品种的谷物研究发现 R_c 与 M_v 之间的变化规律差异较大。

3 在线测量试验研究

图 3 为中子测水试验台, 它由上粮装置、粮箱、排粮电机、料位器以及核心部分的中子测水探头和计算机单片测控装置组成。

实验方法: 粮食由上粮装置提至粮箱后, 被排粮轮排出。粮食在流过中子探头时测出中子计数; 然后经计算机算出中子计数比 R_c 。此 R_c 必与此试样的容积含水率 M_{vi} 相对应, 改变谷物质量含水率 M (同时测得容重 C) 逐次进行试验即可得到计数比 R_{ci} 与谷物容积含水率 M_{vi} 的对应关系曲线。

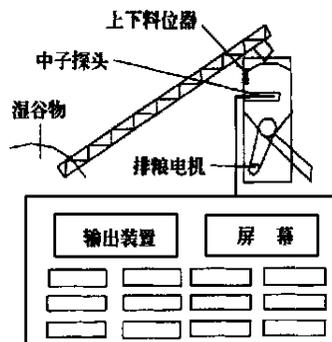


图3 中子在线测水试验装置图

Fig 3 Sketch map of on2line measurement of moisture by neutron gauge on experiment stand

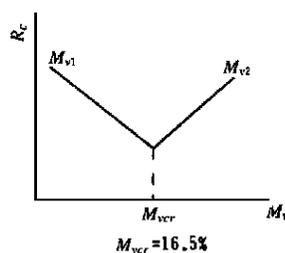


图4 中子在线测水试验数据线性回归结果

Fig 4 Result of linear regression of moisture content of grain and counting ratio R_c

表 1 为玉米试样的试验数据, 对其中排粮轮转速 $n = 200 \text{ r/min}$ 的数据进行线性回归, R_c 与 M_v 的关系如图 4 所示, R_c 与 M_v 成分段线性关系。其中存在一个临界点 M_{vcr} 。当 $M_v < M_{vcr}$ 时, 成单调下降关系, 由(1)式给出(为低含水率段); 当 $M_v > M_{vcr}$ 时, 成单调上升关系, 由(2)式给出(为高含水率段)。应用哪一段根据物料情况做出判断。

$$R_c = 0.4109655 - 0.17728M_{v1} \quad (1)$$

$$R_c = 0.07325868 + 1.73067M_{v2} \quad (2)$$

以上研究方法可为谷物干燥工艺自动控制提供依据, 以白单四玉米为例, 测控步骤如下:

1) 作预备试验获得欲测谷物的 $R_c - M_v$ 关系曲线(见图 4)、回归方程。同时测定试样的容重 C 与容积含水率 M_v 的关系为

$$C = 0.664 - 0.274M_v \quad (3)$$

2) 利用中子在线测水装置测出原粮的中子计数比 R_c 。

3) 根据预测物料含水率判断, 应用(1)式或(2)式计算此时谷物容积含水率, 并由(3)式进一步获得谷物容重 C 。

求出粮食的质量含水率

$$M = M_v \cdot \bar{C} \quad (4)$$

表 1 玉米含水率与计数比的关系试验数据(玉米品种: 白单四)

Tab. 1 Experiment data of corn moisture and neutron counting ratio

序号	质量含水率 $\delta\%$	容积含水率 $\delta\%$	不同排粮转速下中子计数比			
			$n = 0$	$n = 100 \text{ r}\ddot{a}\text{m in}$	$n = 200 \text{ r}\ddot{a}\text{m in}$	$n = 400 \text{ r}\ddot{a}\text{m in}$
1	26.80	19.31	0.428	0.401	0.405	0.407
2	26.04	18.15	0.404	0.396	0.394	0.391
3	25.89	17.54	0.378	0.377	0.373	0.710
4	25.87	16.87	0.368	0.369	0.365	0.364
5	26.12	16.66	0.364	0.364	0.361	0.358
6	26.15	16.49	0.363	0.357	0.359	0.359
7	25.24	16.62	0.381	0.378	0.380	0.380
8	24.67	16.48	0.382	0.383	0.384	0.382
9	22.54	15.21	0.384	0.382	0.383	0.386
10	21.78	14.57	0.384	0.385	0.385	0.386
11	18.02	12.14	0.397	0.384	0.388	0.392
12	17.78	12.26	0.394	0.398	0.391	0.393

4) 由(5)式推算出此质量含水率下烘干机生产干粮流量 G_g [kg \ddot{o} h], 设定烘干机所采用的热风流量和热风温度是确定的(最佳参数值), 小时去水量是确定值 W [kg \ddot{o} h³], 则

$$G_g = \frac{W(1 - \mathcal{M})}{\mathcal{M}} = \frac{W(1 - M + M_g)}{M - M_g} \quad (5)$$

$$\mathcal{M} = M - M_g$$

式中 \mathcal{M} —— 谷物降水幅度, %; G_g —— 干粮流量, kg \ddot{o} h; M_g —— 干粮质量含水率, %。

如果 \mathcal{M} 越大, 即初粮含水率越高, 烘至安全含水率所需时间越长, 干粮流量越小, 反之则相反。

5) 由烘干机的系统结构参数计算排粮电机的转速, 并调整排粮电机的转速于此一致。

4 结 论

1) 用中子法对冰冻和流动状态谷物含水率的测量, 是一项可行且很有实际意义的项目。但是还需

要进行大量的完善工作, 才能应用到生产中。

2) 中子计数比 R_c 与谷物容积含水率 M_v 的关系的变化规律因谷物的品种而异, 不同的年份同一品种的谷物也不相同。采用中子法测量谷物含水率时要对每一批物料作相应的预处理工作。

3) 谷物的流动速度在一定范围内变化对慢中子计数比 R_c 的影响不大, 因此可以采用中子法在线测量实现烘干机的自动控制。从而可以提出一种以原粮初始含水率为控制条件的新型干燥工艺。

[参 考 文 献]

[1] 刘大森等 中子式谷物含水率测定原理及其测定装置的试验研究 见: 全国干燥学术会议论文集, 广州, 1997
 [2] 王剑平: 干湿粮混合干燥工艺模型、模拟和中子法测量动态含水率的研究: [博士学位论文] 哈尔滨: 东北农业大学, 1994
 [3] 王成芝 谷物干燥原理与谷物干燥机设计. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 1997

Study on on-Line Measurement of Grain Moisture Content by Neutron Gauge

Yang Yueqian

Wang Jianping

(Northeast Agricultural University, Harbin 150030)

(Zhejiang University)

Wang Chengzhi

(Northeast Agricultural University)

Abstract: The method of quickly measuring grain moisture content under freezing and flowing conditions was studied. Some basic regularities of measuring grain moisture content by neutron gauge was obtained. The conclusions were drawn as follows: the on-line measurement of grain moisture content by neutron gauge was a feasible. The different flow speed of grain changed in certain range had little influence on the counting rate R_c of slow neutron. The automatic control of grain dryer could be realized by this on-line measurement of grain moisture content by neutron gauge.

Key words: neutron; grain moisture content; on-line measurement