

# 核子式谷物产量自动测量方法

田国政 汪懋华 黄季平

(中国农业大学精细农业研究中心)

**摘要** 介绍了国内外谷物产量自动测量技术的发展状况,用国产核子秤设备,进行了 $\gamma$ 射线对谷物的辐射衰减性能试验和谷物动态流量测量试验,验证了核子技术用于谷物流量自动测量的可行性,并提出了应用于谷物联合收获机的产量实时动态测量技术方案。

**关键词**  $\gamma$ 射线; 谷物产量; 自动测量; 谷物联合收获机

**分类号** S 124.1; S 51

## Study on Nuclear Grain Yield Auto-monitoring Method

Tian Guozheng Wang Maohua Huang Jiping

(Research Center for Precision Agriculture, CAU)

**Abstract** The developing state of grain yield auto-monitoring technology is introduced. Based on domestic nuclear balance technology, measurements are made to radiation attenuation characteristics of grain and its dynamic flux when passing through gamma ray. The feasibility of nuclear technology used for grain yield auto-monitoring on combine is validated. The technical project of grain yield auto-monitoring applying for combine is put forward.

**Key words** gamma ray; grain yield; auto-monitoring; combine

近年来,西方发达国家已开始研制带差分全球定位系统(DGPS)和产量自动计量系统的谷物联合收获机。机器在田间收获过程中按s为单位存储空间位置和对应的小区平均产量信息,构建小区产量空间分布图,为作物生产决策提供依据。DGPS技术现已非常成熟,并已商品化,其定位精度已达cm级(静态、后处理方式)和m级(动态、校正方式),完全可以满足作物定位管理的要求。对于作物产量的自动测量,现在主要以谷物产量为研究对象。据报导,1992年时美国使用了约50台带产量传感器的联合收获机,1997年底增长为17000台,1998年已超过20000台。美国目前约有20个制造商供应谷物联合收获机产量计量系统,一个主要厂商宣称,至2001年其生产的90%的谷物联合收获机将装备产量监测系统<sup>[1]</sup>。由此可以看出,研制带产量自动测量装置的谷物联合收获机是未来发展的方向。各国对谷物产量自动计量所采用的方法有所不同,主要有测量体积流量和质量流量2种方法。因为体积流量受谷物密度和水份的影响较大,所以一般采用质量流量测量方法。流量传感器可以用于绘制谷物产量分布图,流量除以机器通过的面积(行走速度 $\times$ 收割宽度)即为单位面积的产量。谷物流量测量原理有多

收稿日期: 1999-12-23

博士后基金资助项目

田国政,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)63信箱,100083

种,美国主要采用冲击式载荷测量法(impact),这种方法易受机器振动的影响从而产生较大的测量误差。英国曾用电容法测量(silsoe yield mapping system)谷物质量流量,这种测量系统会受到谷物湿度、谷物在容器内的分布及机器运行状态的影响。德国采用容积式光电测量法(volumetric),通过测量升运器内谷物高度得出体积流量,这种方法会受到机器倾斜及谷物湿度的影响,为了确定谷物的质量流量,还必须测定谷物的密度和含水量。田间试验结果表明,当收获面积较大时,计量误差约3%;在小田块(3.6m×20m)内试验误差可达10%(由于随机干扰的影响)。上述几种用于联合收获机的谷物流量测量传感器都存在精度不高、性能不稳定和结构复杂等问题。据最近报道,英国Massey Ferguson公司研制生产的产量自动计量系统采用 $\gamma$ 射线吸收原理,具有较高的精度,但价格昂贵,很难在我国推广使用<sup>[2-4]</sup>。

我国目前尚无带产量传感器的谷物联合收获机,根据我国的实际情况,研究联合收获机谷物产量在线自动测量的原理和方法,研制性能可靠的谷物产量传感器及相应的智能化系统,是发展精细农业技术的关键,笔者采用辐射测量技术对可用于联合收获机的谷物产量自动测量方法进行了研究。

## 1 核子秤测量原理

核子秤是根据 $\gamma$ 射线与物质相互作用原理研制的。其测量系统的设备包括: $\gamma$ 射线输出器、 $\gamma$ 射线探测器、速度测量装置和微型计算机。图1示出核子秤的工作原理。

$\gamma$ 射线穿过物料时,其射线强度会发生变化,并服从指数衰减规律: $I = I_0 \exp(-\mu \rho_s)$ 。式中: $I$ 和 $I_0$ 分别为有物料和无物料时,探测器接受的 $\gamma$ 射线强度, $C_i$ ;  $\mu$ 为与物料有关的物质对 $\gamma$ 射线的质量吸收系数, $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $\rho_s$ 为输送物料的面质量, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

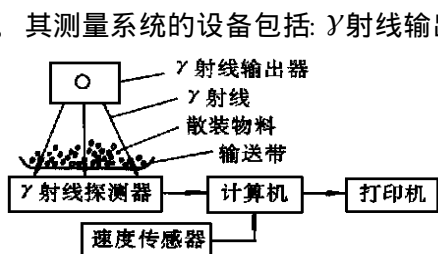


图1 核子秤工作原理

核子秤工作时,进入探测器的 $\gamma$ 射线经探测器和前置放大器转化为输出电压信号,并且输出电压的幅度与被探测的 $\gamma$ 射线强度成正比。所以有

$$U = U_0 \exp(-\mu \rho_s) \quad (1)$$

其中 $U$ 和 $U_0$ 分别为 $\gamma$ 射线强度 $I$ 和 $I_0$ 所对应的探测器的输出电压信号, $V$ 。对式(1)取对数,移项整理得

$$\rho_s = -\mu^{-1} \ln(U/U_0) \quad (2)$$

设输送带宽度为 $b$ , $\text{cm}$ ;输送带上负载的线密度为 $\rho_l$ , $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}$ ;则有 $\rho_l = \rho_s \cdot b$ 。令 $B = -b \cdot \mu^{-1}$ ,代入式(2),经计算机线性拟合后得 $\rho_l = A + B \ln(U/U_0)$ 。 $U$ 和 $U_0$ 为直接测量值, $A$ , $B$ 为标定核子秤时确定的常数,因此输送带上物料的线密度 $\rho_l$ 可由计算得到。

若测得某时刻输送带的运行速度 $v_i$ ,则该时刻输送带传送的物料质量流量为 $q_{m_i} = \rho_{l_i} v_i$ ;在时间 $t$ 内输送带传送的物料质量

$$m = \sum_{i=1}^n q_{m_i} \Delta t$$

式中: $\Delta t$ 为计算机采样计算周期, $n$ 为 $t$ 时间内计算机采样计算的总次数。

上述所有测量、计算工作均由计算机完成。在物料传送过程中,计算机不间断地采集来自

探测器的电压信号和速度传感器记录的输送带的速度信号, 经计算后, 将空载电压、负载电压、输送速度、物料流量和累计物料质量等有关信息送至计算机显示器。

## 2 谷物流量测量试验

我国目前已具备成熟的固态散装物料流量的在线自动测量技术, 其中核子秤技术采用非接触式的测量方法, 动态测量精度高, 性能稳定可靠, 适合在高温、高粉尘和强振动的环境下工作, 现已广泛地用于钢铁、水泥、煤炭、化肥、化工、冶金、电力、盐业、港口等行业的在线计量与控制。笔者采用国产核子秤设备, 进行了谷物流量测量试验。

### 2.1 高能射源测量

试验装置见图 2, 一导流槽倾斜放置在  $\gamma$  射线源和探测器之间, 导流槽下方放置一个谷物储藏桶。探测器接收的信号经前置放大器后转变为与  $\gamma$  射线强度成正比的电压信号送计算机进行处理和显示。 $\gamma$  射线源为高能源 ( $\text{Cs-137}$ ), 发出的  $\gamma$  射线能量为 662 keV, 其活度为 100 mCi, 同位素半衰期为 30 a, 探测器是充有氙气的电离室。

1) 谷物对射线的吸收试验。将谷物导流槽平行放置在射源和探测器之间, 在导流槽内放置不同厚度的小麦, 可以测出探测器的输出电压发生变化, 数值为 3.04~

2.99 V。将导流槽倾斜放置, 小麦从导流槽上方逐渐下滑, 沿导流槽流入储藏桶内。控制小麦流量, 观测探测器输出电压的变化, 可以看出, 当流量增加时, 输出电压减小。

2) 核子秤对谷物流量的动态测量。核子秤的计量精度关键在于标定工作, 标定的主要内容包括空载电压信号  $U_0$  的测量和被测物料的动态标定。进行连续动态测量之前, 首先要进行标定。本次试验被测物料为小麦。打开探测器电源和计算机电源, 选择系统进入测试和标定状态, 打开射源开关, 空载时探测器输出的电压信号测量值为 3.05 V, 输入常数  $B = -100$ 。用标准秤称量少量待测小麦, 倒入核子秤进行反复测量, 将称量得到的小麦实际质量与测量值对比, 计算出准确的  $B$  值, 即  $B$

$$B = (m/m_0)B_0$$

式中:  $m$  和  $m_0$  分别为测量值和称量值, kg。

测量时, 首先用标准秤称好小麦 13 kg, 将小麦从导流槽上方逐渐倒下, 使之沿导流槽流入储藏桶内。倒入小麦的同时按下测量键, 观察计算机屏幕有关参数的显示, 可以看出负载电压变化范围为 3.05~ 2.99 V, 流量变化范围为 0~ 3 t·h<sup>-1</sup>。进行 3 次重复试验观测测量累计质量的变化, 第 1 次为 13.2 kg, 第 2 次为 13.3 kg, 第 3 次为 13.5 kg。测量误差分别为 1.5%, 2.3% 和 3.8%。再用标准秤称量小麦 7.2 kg, 重复上述试验, 得到小麦累计质量 6.1 kg。测量误差达 15%。

从试验结果可以看出, 核子秤的测量精度随被测物料总质量的减少而降低。另外, 如系统调零不准, 会存在零点误差, 当无谷物流入时, 也会出现流量值, 从而导致累积误差。

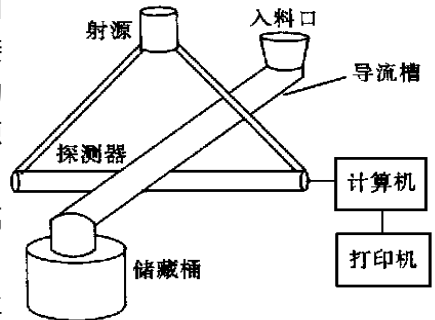


图 2 谷物流量测量试验装置

## 2.2 低能射源测量

当 $\gamma$ 射线与物质相互作用时,其作用几率随射线能量的增大而减小,随作用物质原子序数的增加而增大。为了提高安全性能,防止辐射污染,增加探测灵敏度和扩大动态测量范围,笔者设计了专门用于联合收获机的谷物测量传感器。射源采用低能同位素 $A_{m-241}$ , $\gamma$ 射线能量为59 keV,其活度为20 mCi,半衰期为433 a,探测器为充气电离室。在探测器和射源之间放入不同质量的小麦时,测出探测器输出电压与谷物质量之间的关系。图3示出小麦对 $\gamma$ 射线的吸收特性。可以看出,射线强度的衰减与谷物的质量呈指数关系,见图3(a), $U = 4.2674 \exp(-0.0014m)$ ;取对数后为线性关系,见图3(b), $\ln(U) = -0.0014m + 1.451$ ;相关系数为0.9994。

用核辐射测量方法对谷物流量进行在线连续测量具有较高的精度(误差 $< 1\%$ ),这种方法可以用于谷物联合收获机在田间收获时的产量自动测量。在实验的基础上已设计出一套模拟联合收获机谷物传送的试验台及谷物流量动态测量系统。

## 3 结论

当谷物从辐射源和探测器之间通过时,射线强度的衰减与谷物的质量呈指数关系,取对数后为线性关系,相关系数为0.9994。核子式测量方法具有非接触式的优点,采用核子秤在谷物收获的同时直接测量谷物流量,可在线计量田间小区的谷物平均产量,为进一步研究田间谷物产量的差异性提供准确的基础信息。在现代化的计算机技术和微电子技术的基础上选择合适的辐射源和探测装置,采用先进的信号处理技术和智能化的数据处理方法,将会大大提高测量精度。如果对与联合收获机相关的谷物输送机构进行适当的改造,采取科学合理的防护措施,提高设备工作的稳定性和可靠性,将会对农机装备的智能化发展产生直接的推动作用。

## 参 考 文 献

- 汪懋华.“精细农业”发展与工程技术创新. 农业工程学报, 1999, 15(1): 1~ 8
- Stafford J V. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. Computers and Electronics in Agriculture, 1996, 14(2, 3): 101~ 119
- Reitz P. Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Computers and Electronics in Agriculture, 1996, 14(2, 3): 137~ 150
- Schueler J K. Technology for Precision Agriculture. Proceedings of the First European Conference on Precision Agriculture. Warwick: B D S Scientific Publishers Limited, 1997, 33~ 44

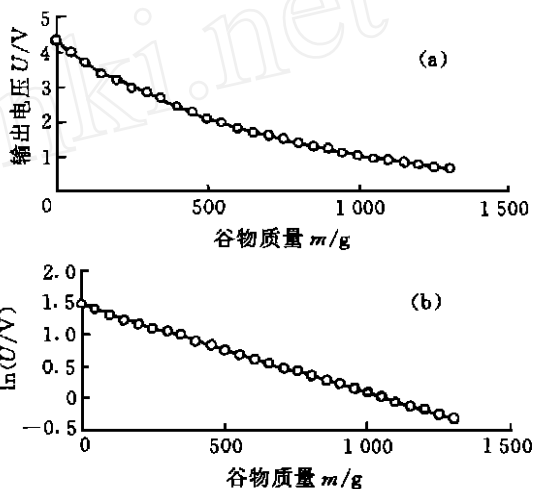


图3 小麦对 $\gamma$ 射线的吸收特性