

转盘斜刮式光电自动数粒仪设计^{*}

宋初苏¹ 华 娇² 蓝景针³ 夏世峰³

(1. 浙江省农业科学院蚕桑研究所, 杭州 310021; 2. 浙江大学现代光学国家重点实验室, 杭州 310027;
3. 福鼎市电子仪表厂, 福鼎 355200)

【摘要】 基于粒料在移行中可自动产生间距的转盘斜刮排序原理, 设计了转盘斜刮式光电自动数粒仪和千粒重仪。无序的粒料或种粒进入有斜槽和弧槽的槽盘中, 在底部转盘带动下实现移行、自动整齐排序和产生粒间距, 获得光电计数所需的可靠透光间隙, 并通过预置和复检二次计数实施数粒。试验表明: 每轮预置计数误差数小于1~2颗, 而复检计数与实际粒数的误差率小于0.04%; 计数速度可达30~50粒/s; 粒料适用范围为0.5~18 mm; 未发现供试粒料破损现象; 结构简单可靠, 无电磁振动噪声等; 转盘斜刮式排序原理还可用于开发高精度无粒料损伤的数粒设备。

关键词: 自动供料 自动数粒仪 光电计数 转盘斜刮式

中图分类号: S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)11-0089-04

Design of Turntable-inclined Scratch Style Photoelectric Instrument to Automatically Count Granules

Song Rengsu¹ Hua Jiao² Lan Jingzhen³ Xia Shifeng³

(1. Institute of Sericulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China
2. State Key Laboratory of Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China
3. Fuding Electronic Instrument Factory, Fuding 355200, China)

Abstract

Described herein are the principles for automatically arranging, and separating granules via an inclined turntable, the foundations of which have been established through the design and manufacture of a turntable-inclined scratch style photoelectric apparatus that can count granules or weigh up to 1 000 of them. The unorganized granules enter an inclined trough and onto a turntable, the bottom of which automatically migrates, sorts and arranges the granules into space from each other, to get the reliable light-trough gaps, at which point a photoelectric apparatus accurately preset, counts and verifies the collection of granules. This type of instrument provides several advantages over other designs: the counting mechanism is extremely precise, for every round, the preset counting error is less than 1~2 granules, and the re-examination counting error rate is less than 0.04%; the counting speed is as high as 30~50 granules per second; the valid range of diameters is from 0.5 mm to 18mm; no seed damage was found during tests; the simple and reliable structure enables no electromagnetic vibration or noise; and the principles underlying the device have a wide range of potential applications beyond precise counting and sorting granules, especially for some devises with no-damage counting.

Key words Automatically providing granules, Automatically count granules instrument, Photoelectric count, Turntable-inclined scratch style

引言

自动数粒仪用途广泛。在农业上可用于种子千粒重测量、种子定量分装、蚕卵雌雄分离和计数、播种机的精准排种等;在工业上可用于粒料、药丸、珍珠等定量分装和数粒。数粒仪一般可分为两类。一类是粒料静态测量仪,如具有计算机图像处理功能的数粒仪和千粒重仪^[1~3];另一类是粒料动态测量仪。目前,国内外可购到的小型动态数粒仪多数采用电磁扭振盘原理^[4~5],盘中粒料沿 V 形环槽螺旋向上排序移行,并在落粒过程中光电计数。但由于移行中不产生粒间距,落粒穿过光电检测区时会有叠影和散乱现象,易造成计数失误;此外受电磁振动噪声影响,计数速度只能达到 330 粒/min^[6]。

针对上述问题,提出转盘斜刮排序原理,并基于该原理设计光电自动数粒仪(已申请了专利^[7])。

1 转盘斜刮排序原理

图 1 所示结构由槽盘和转盘等组成。开有斜槽和弧槽的槽盘套装在转盘上面,且两盘的接触面是倾斜一定角度的圆锥面,中心低边缘高,盘中的粒料受重力作用而获得向心合力 f_3 ,使粒料具有滚向或滑向盘心的趋势。槽中的粒料在转盘切向力 F 作用下移动并接触到斜槽边时, F 作用力可分解为方向与斜槽平行的槽向分力 F_1 和方向与斜槽垂直的法向分力 F_2 ,同时也产生 2 个摩擦力 f_1 和 f_2 。 f_1 由粒料自重产生,作用在粒底,当粒料较轻时,可忽略不计。 f_2 由 F_2 产生,作用在粒与槽边的接触点上,方向与 F_1 相反。当粒料在斜槽中移行有空隙 h 时,因 F_1 作用在粒底,一般会以粒半径为力矩,以摩擦力 f_2 为动态支点,使粒料向前滚动或滑移。当许多粒料排列成无空隙移行时,一些粒料的滚动力被互挤而抵消,无法滚动。 F_1 克服摩擦力 f_2 和向心力 f_3 ,推动粒料以槽向速度 v_1 沿斜槽平移,同时法向分力 F_2 和 f_3 的分力挤压粒料嵌入粒间而实现排列。设转盘转速合理,且粒料被排成了理想的单列沿斜槽移行状态,当粒料脱离斜槽,拐入弧槽(图 1 中 C1、C2),因失去 F_2 和 f_2 的约束而释放,粒速在拐弯处(C2)从 v_1 突然变为转盘切向速度 v ,加快了约 $1/\cos\alpha$ 倍,而排在其后的粒料还未脱离斜边的约束。此时,粒与粒之间便自动产生了间隙,形成粒间距 S 。

从图 1 的 α 角关系可知

$$v_1 = v / \cos\alpha \tag{1}$$

设 T 时间内以 v_1 速度沿斜槽槽向移动 $h + d$,则

$$v_1 T = h + d \tag{2}$$

由式(1)和(2)可得

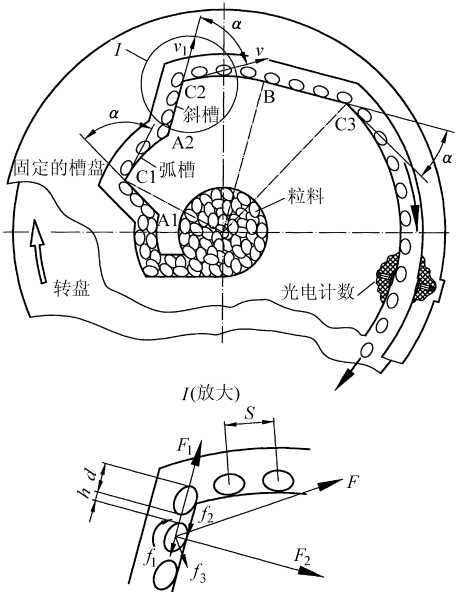


图 1 转盘斜刮排序原理图

Fig. 1 Turntable-inclined scratch principles diagram for automatically arranging and separating granules

$$vT = (h + d) / \cos\alpha$$

而 vT 是以切线速度 v 在 T 时间内移动 $h + d$,即粒间距 S ,则

$$S = (h + d) / \cos\alpha \tag{3}$$

式中 α ——斜槽上某粒点处圆切线与斜槽的夹角
 d ——粒料沿斜槽方向的槽向尺寸,当粒料大小形状接近时,该值可近似相等

斜槽上任一点的 α 均不同。图 1 中所示的几处 α 均表示粒料从斜槽拐入弧槽时的角。

当 $h = 0$ 时, $S = d / \cos\alpha$,也就是说即使粒料在斜槽中没有空隙,在拐入弧槽后依然会产生粒间距。例: $h = 0, d \approx 1.5 \text{ mm}$, α 分别为 $30^\circ、45^\circ$ 和 60° 时,可算出 S 分别约为 1.73、2.12 和 3.00 mm。试验数据基本与以上计算相符。

从式(3)可知:如 $d、h$ 变大, S 将相应变大。

另外, α 和 R 随斜槽的直线向外延伸而增大,在盘中某一段斜槽中,其进端与出端粒速之比

$$i = R_1 \cos\alpha_1 / (R_2 \cos\alpha_2) = 1 \tag{4}$$

式中 $R_1、R_2$ ——同段斜槽中两粒料与斜槽的接触点至转盘中心的不同半径

$\alpha_1、\alpha_2$ —— R_1 和 R_2 粒点处的圆切线与斜槽的夹角

从式(4)可得出(推导略): R 与 $\cos\alpha$ 互成反比,且 $i = 1$,因此粒料的槽向速度 v_1 在同段斜槽中各处相同,即可实现同速移粒。另换一段斜槽分析,也可以证明同槽同速。但不同段斜槽的粒速不一定相同,取决于进入该槽的粒速。

从图 1 中还可以看到,粒料从弧槽至斜槽的再次转向连接有两种形式:一种是折线转向(图 1 中

A1、A2), 它将使已经产生的粒间隙消失或变小, 可利于约束流量; 另一种是切线转向(图 1 中 B), 如将切线槽延伸, α 角可从 0° 伸展变大, 遵循前述的同速移粒结论, 该切线段保持粒间距不变, 如再拐入弧槽(图 1 中 C3) 可进一步增加粒间距。

只要粒料能在斜槽中排成单列移行的状态, 且离心力小于等于向心力, 一般都会在进入弧槽后产生可靠的粒间距, 为光电精确计数提供关键的透光间隙。反之, 透光粒间距就不可靠。

不能形成单列排序的原因很多。如某种粒料的形状不利于在斜刮中通过挤压嵌入粒间、供粒量过大等, 均会形成堆积排列的粒流, 必然影响粒间距形成。另外, 光滑易滚的粒料如约束不好也会影响单列排序。因此, 进行具体设计时, 应充分考虑如何控

量、控流和控速, 以形成单列排序。
当转速过高时, 离心力会使粒料在进入弧槽时形成抛物线, 碰擦槽道, 影响粒间距的形成。因此, 合理的转速 n (推导略) 应为

$$n \leq \frac{30}{\pi} \sqrt{(\tan \theta + \mu \cos^2 \theta) g / r}$$

(5)

式中 θ ——圆锥转盘的倾斜角
 g ——重力加速度
 μ ——转盘与粒料的摩擦因数
 r ——槽盘中最大的弧槽半径

2 仪器基本结构

仪器由预置数粒、复检数粒和电控等系统组成。仪器结构如图 2 所示。

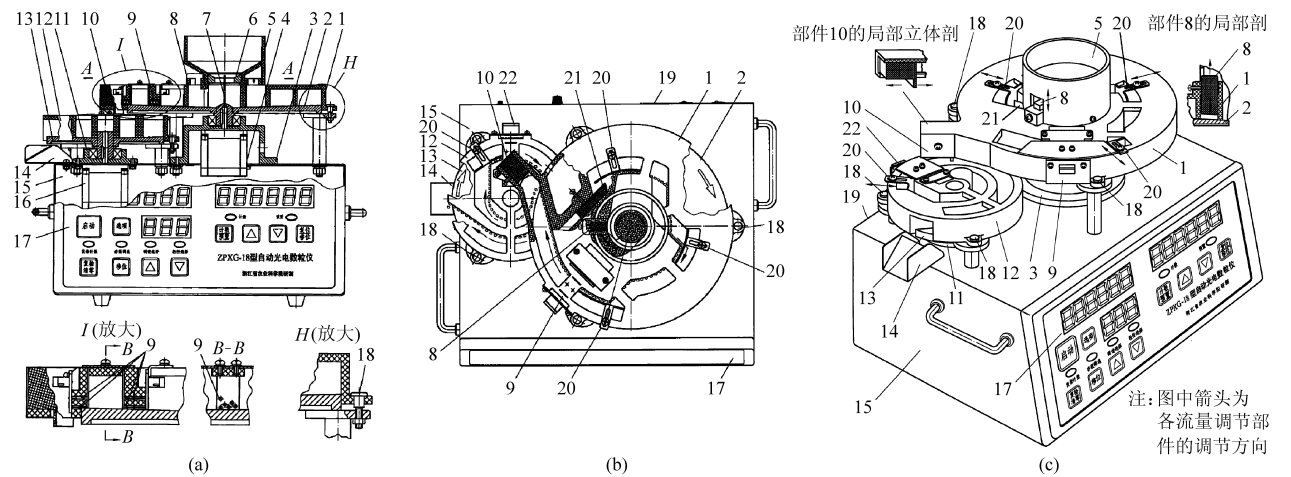


图 2 仪器基本结构

Fig. 2 Basic structure of the instrument

(a) 正视剖面图 (b) A-A 剖切俯视图 (c) 外形图

1. 预置计数槽盘 2. 预置计数转盘 3. 供粒电动机轴承座 4. 供粒步进电动机 5. 锥形供料筒 6. 限量套筒 7. 防堵搅粒杆 8. 流量垂直调节板 9. 预置计数传感器 10. 出口挡粒调节板 11. 复检电动机轴承座 12. 复检计数槽盘 13. 复检计数转盘 14. 排粒滑梯 15. 仪器箱壳 16. 复检步进电动机 17. 数控电路及前操作面板 18. 定位轴销 19. 电源电路及后操控面板 20. 导流限粒调节板 21. 流量水平调节板 22. 复检计数传感器

2.1 预置数粒系统

该系统主要由转盘供粒、流量调节、光电计数传感等装置组成。其功能和流程是: 预置粒数—控量供粒—按本原理排序移行—光电计数—满数自停—延时—启动下一轮预置计数, 依次循环。

2.1.1 转盘供粒装置

装置由锥形供料筒 5、预置计数转盘 2、预置计数槽盘 1、供粒电动机轴承座 3、供粒步进电动机 4 等组成。为防止细小颗粒误入转盘和槽盘之间, 槽盘 1 被套接在 3 组定位轴销 18 上, 既被定位和固定, 又依靠自重沿轴销 18 作微小的上下浮动, 与转盘 2 保持紧贴无缝(图 2a 中 H 放大)。转盘还带动防堵搅粒杆 7 在限量套筒 6 中搅动, 可有效防止粒料堵塞。

2.1.2 流量调节装置

为防止粒料过量涌入槽道并控制流量, 采取以下措施: ①根据不同粒料的粒径, 配换不同口径的限量套筒 6(图 2a)。②通过流量垂直调节板 8, 使粒料尽可能铺平而行(图 2b、2c)。③通过流量水平调节板 21 在水平方向限流(图 2b)。④调整转速控流。还通过圆锥转盘结构(图 2a)和安装多个导流限粒调节板 20 来防止粒流堆积排列、离心现象和光滑圆粒随意滚动, 促使粒料形成单列排序。另外, 配有出口挡粒调节板 10, 以减少粒料惯性等引起的计数误差(图 2b、2c)。

2.1.3 光电计数传感装置

为适应不同粒径的光电检测, 预置计数传感器 9 由 6 组构成, 分置在不同的高度, 与粒径相适配。

(图 2a 中 I 放大图和 $B-B$ 剖面图)当选中某组时,其余 5 组自动关闭。为使用方便,仪器设有 6 组默认转速分别与 6 组计数传感器自动匹配,但转速仍可根据需要通过人工调整设定。

2.2 复检数粒系统

在每轮预置计数停转时,最后一颗粒料在出料口有可能处于半落状态,发生多落或少落;另外,停转后粒料的惯性、粒径、形状和间隔等均可能影响数值的精确性。为此增设了复检计数系统。

系统由复检输粒、复检计数传感、粒料排出等装置组成。前两组装置结构与 2.1.1 节和 2.1.3 节所述基本相似,且输粒也同样应用了转盘斜刮排序原理。主要由复检计数转盘 13、复检计数槽盘 12、复检步进电动机 16 和 6 组复检计数传感器 22 等组成。排粒滑梯 14 固定在仪器箱壳 15 上,下倾 30°向外伸出。其上端对准复检计数槽盘 13 的出粒口。

2.3 电控系统

电控系统主要包括电源电路 19 和数控电路 17 及前后操作面板等。数控电路主要由预置计数、复检计数和步进电动机控制电路以及功能选项调控电路和断电数据保护电路等组成。

数控电路自动调控功能主要有:①供粒电动机启动后自动逐步增速和停机前逐步减速。②使复检电动机转速是供粒电动机的一倍,并保持不停机工作。③根据选定的粒径,设定预置和复检的计数传感器组别,并提供相应的默认转速。④预置清零、复检清零和警示音。⑤循环启停预置计数程序。⑥进行复检计数及贮存各复检数据。⑦断电数据保护。

数控电路通过人工操作实现的调整功能主要有:①预置数设定。②根据粒径选择计数传感器。③调整 and 选择所需的供粒速度。④调看和显示复检贮存的数据。⑤手动复检清零或预置复位。⑥调节循环启动的延时时间。⑦临时中断运行。

功能选项调控电路主要由数据(复检保存)调用显示、调速选择、按粒径选择计数器等电路构成。

步进电动机控制电路可根据预置、缓速和调速等综合指令,通过步进电动机驱动器向供粒步进电动机发出不同的脉冲,实现预置计数转盘按默认转速或调整后转速运行以及其他相关调控。

与循环启停的预置计数不同,复检计数转盘始

终保持旋转,使经预置计数后再落入复检计数槽盘的粒料无一例外地被重新计数,确保粒数的精确。

3 试验与分析

3.1 供试材料与设备

选极小和易破损的活性蚕卵(秋华×平 30,扁椭圆形,0.5 mm×0.8 mm×1.2 mm)、小粒径油菜籽(浙双 758,球形,直径 1.8~2.5 mm)、中粒径的菜用春大豆种粒(浙 0724,椭圆形,约 10 mm×9 mm×7 mm)和大粒径莲子(浙江武义宣莲,腰鼓形,长 12~16 mm,直径 8~14 mm)各 2.2×10^5 粒作为供试粒料,在试验样机上运行测试。

3.2 测试分析

测试表明:每轮预置计数误差数小于 1~2 颗,而复检计数与实际粒数的误差率小于 0.04%。只要无异常,复检一般不会发生失误。

0.5~10 mm 粒径的供试粒料均能在约 50 粒/s 的计数速度下正常运行。16 mm 粒径莲子计数速度约为 30 粒/s。

由于机器中没有剪切等能引起损伤的机械结构,因此在试验中未发现粒料破损现象。

若配置一台电子天平,数粒仪可变成千粒重仪。因复检增加了可靠性,故可获得精准的千粒重数据。

本仪器与电磁扭振式数粒仪相比,最主要区别是:①让粒料移行和排序的方式及结构不同,后者采用电磁扭振和 V 形槽,前者为转盘斜刮和槽盘。②后者不能产生粒间距,而前者可在运行中自动产生透光粒间距,并通过二次计数来提高数粒精度,这也是本仪器最主要的特点。

4 结束语

依据转盘斜刮排序原理而设计的数粒仪机械结构并不复杂,却可以实现粒料自动移行、整齐排序和产生粒间距,得到了使获得光电计数所必需的粒间透光间隙,减少了计数误差;无电磁噪声;也无需比较复杂的产生粒间距的机构(如擒纵式、孔穴式、举升式等^[4]),避免了对粒料的机械剪切或碰损;样机对粒径为 0.5~18 mm 的粒料进行了计数试验,速度可达 50~30 粒/s,复检计数误差率小于 0.04%。

参 考 文 献

1 张云鹤,乔晓军,王成,等.种子自动数粒仪[J].自动化技术与应用,2005(3):59~61.
Zhang Yunhe, Qiao Xiaojun, Wang Cheng, et al. An automatic seed-counting system[J]. Techniques of Automation and Applications, 2005(3):59~61. (in Chinese)

16 李怀恩,同新奇,张康,等. 沙棘“柔性坝”对土壤水分调控作用的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(11):69~73.
Li Huaen, Tong Xinqi, Zhang Kang, et al. Experimental research on the soil moisture regulation of seabuckthorn plant flexible dams [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22 (11):69~73. (in Chinese)

17 胡建忠,杜文嫣,殷丽强,等. 砒砂岩区沙棘人工林的萌蘖能力[J]. 中国水土保持科学,2009,7(4):26~30.
Hu Jianzhong, Du Wenyan, Yin Liqiang, et al. Sprouting capacity of artificial hippophae rhamnoides forest in soft sandstone areas [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(4):26~30. (in Chinese)

18 Abrahams A D, Parsons A J, Luk S H. Resistance to overland flow on desert hill slopes [J]. Journal of Hydrology, 1986, 88(3~4):343~363.

19 吴普特. 动力水蚀实验研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997:90~91.

20 吕文舫. 水力学[M]. 上海:同济大学出版社,1995:23~64.

21 张新和. 黄土坡面片蚀—细沟侵蚀—切沟侵蚀演变与侵蚀产沙过程研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.

22 张光辉,卫海燕,刘宝元. 坡面流水动力学特性研究[J]. 水土保持学报,2001,15(1):58~61.
Zhang Guanghui, Wei Haiyan, Liu Baoyuan. Study on hydro-dynamic properties of overland flow [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(1):58~61. (in Chinese)

23 丁文峰,李占斌,丁登山. 坡面细沟侵蚀过程的水动力学特征试验研究[J]. 水土保持学报,2002,16(3):72~75.
Ding Wenfeng, Li Zhanbin, Ding Dengshan. Study on hydrodynamic characters of runoff in rill erosion process on slope [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2002, 16(3):72~75. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 92 页)

2 何有根. 基于图像识别的千粒重仪研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.  
He Yougen. Research on the instrument of the mass of 1000 based on image recognition[D]. Yangling: Northwest A & F University,2007. (in Chinese)

3 杭州万深检测科技有限公司. SC-A 型高精度超快千粒重仪、自动数粒仪产品说明书[M]. 杭州:万深检测科技有限公司,2011.

4 藤森洋三. 供料过程自动化图册[M]. 1 版. 贺相,译. 北京:机械工业出版社,1985:7~8.

5 张小津,刘顺康. DS 型多用数粒仪的研制[J]. 电子工程师,1995(2):27~30.

6 张霖,赵祚喜,可欣荣,等. 压电式种子计数系统[J]. 农业机械学报,2011, 42(8):41~44.  
Zhang Lin, Zhao Zuoxi, Ke Xinrong, et al. Seed counting syssem design using piezoelectric sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(8):41~44. (in Chinese)

7 宋苾苏. 转盘斜刮式自动光电数粒仪: 中国,201110170633.3[P]. 2011-06-23.

8 宋苾苏,蓝景平,华娇,等. 雌雄蚕卵光电自动分选仪器的基本结构设计与工作原理分析[J]. 蚕业科学,2011,37(3):473~480.  
Song Rengsu, Lan Jingping, Hua Jiao, et al. Basic structure dsign and working pinciple analysis of the photoelectric instrument to automatically sort male and female silkworm eggs[J]. Science of Sericulture,2011,37(3): 473~480. (in Chinese)