

种子在气流管道中运动规律的研究

李飞雄 何东健

(西北农业大学农机系)

摘 要

本文从理论上分析了种子在气流管道中的运动规律,采用电测的方法,对八种农作物种子、十种不同形式的气流输种管道,在各种气流速度 U_a 下进行试验。结果表明:(a)在直管中,种子运动速度的变化规律和理论分析基本一致;(b)在弯管中,种子速度呈指数函数衰减;(c)输种管倾角小时, U_a 增大,输种均匀性提高;倾角大时, U_a 过大或过小都不利均匀输种;(d) U_a 较小的情况下,弯管半径对输种均匀性影响很大,当 $U_a > 18.5\text{m/s}$ 时,影响并不显著;(e)水平→水平形式弯管输种均匀性最差,水平→垂直上升和垂直下降→水平这两种形式输种均匀性较好。

关键词 气流输种;输种管;输种均匀性

一、前 言

气流输种广泛用于集中排种系统气力播种机。然而,从排种器排出的均匀种子流经过长度不一、弯曲程度相异的气流管道才落入种沟。在输种过程中,因气流的脉动、气流速度分布的不均匀性,种子的各向异性及管道曲折产生的碰撞等随机因素,使种子的运动速度和通过管道的时间产生变异,直接影响种子在行内分布的均匀性。

关于气流输种,国内外已有一些研究^{[3][4]},但对单粒种子在小直径气流管道中运动的基本规律、管道结构参数、管道配置形式等因素对输种均匀性的影响研究较少。本研究通过理论分析和试验验证,探讨单粒种子在各种形式气流管道中的运动规律及气流参数、管道结构形式对输种均匀性的影响,为设计气流输种系统提供参考资料。

二、种子受力及运动分析

气力输种时,如果两粒种子相距很近,势必相互影响,使作用在两种子上的气流阻力发生变化,进而影响种子的运动。原秀介、横山一夫的研究表明:若球径为 d ,两球前后距为 X ,则当 X/d 在 $1.0\sim 2.5$ 之间时,两球在气流中相互干涉显著,而 $X/d > 2.5$ 时,两球无相互干涉^[6]。实际播种时,计算知各种种子 X/d 均显著大于 2.5 ,故相邻种

本刊编辑室收到此稿时间:1985年4月16日。

子并无影响。因此，本文只研究单粒种子的气力输送。

气流输种是一个极为复杂的过程，为了便于进行理论分析，作如下假设：

- (1) 管道的同一断面上各点的气流速度相同，均为平均速度；
- (2) 不计沿程阻力损失；
- (3) 不规则形状种子的悬浮速度 U_g 不变；
- (4) 在直管中种子完全悬浮于气流中，种子 and 管壁不碰撞。并认为种子浮重在垂直于运动方向的分力和气流在该方向产生的压差力、马格努斯效应力等相平衡；
- (5) 种子在直管中沿管轴以直线轨迹运动。

在上述假设之下，可分析种子在气流管道中的受力和运动。上述假设可能影响理论分析的结论，下面将通过试验验证，并根据试验结果对理论分析的结论进行修正。

2.1 种子在直管中的运动分析

2.1.1 受力分析及运动微分方程的建立

下面，首先分析种子在倾斜管道中的运动，然后，作为极限情况，便可导出种子在水平和垂直管道中的运动方程。

气流和种子的速度方向与水平方向成 θ_1 角运动时，种子受力如图 1 (a) 所示。根据气固两相流理论，当量直径为 d_s 的球形种子在气流中受到的阻力为：

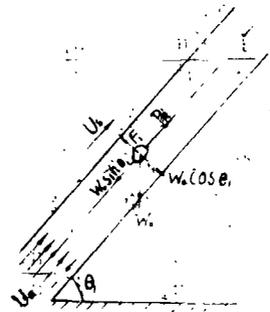


图1(a). 种子受力分析

$$P_R = C_o a \frac{\gamma_a u_r^2}{2g} \quad (1)$$

$$\text{而种子浮重为 } W_0 = (\gamma_a - \gamma_s) \frac{\pi d_s^3}{6} \approx \gamma_s \frac{\pi d_s^3}{6} \quad (2)$$

式中： P_R —气流阻力 (N)； C_o —种子阻力系数；

a —种子迎流面积， $a = \frac{\pi d_s^2}{4}$ (m²)；

γ_a —空气重度 (N/m³)； γ_s —种子重度 (N/m³)；

u_r —相对速度， $u_r = u_a - u_s$ (m/s)；

u_a —气流平均速度 (m/s)； u_s —种子运动速度 (m/s)；

d_s —种子当量直径 (m)； g —重力加速度 (m/s²)。

如前所述，种子浮重分力 $W_0 \cos \theta_1$ 可认为和气流产生的压差力、马格努斯效应力 F_M 相平衡。而种子在运动方向则受 P_R 和 $-W_0 \sin \theta_1$ 的作用。据达朗培尔原理，可得种子运动微分方程式：

$$m \frac{du_s}{dt} = P_R - W_0 \sin \theta_1$$

$$\text{即： } \frac{\gamma_s}{g} \frac{\pi d_s^3}{6} \frac{du_s}{dt} = C_o \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{\gamma_a u_r^2}{2g} - \gamma_s \frac{\pi d_s^3}{6} \sin \theta_1 \quad (3)$$

若种子的悬浮速度为 U_g ，与此对应的阻力系数为 $C_{o,}$ ，根据悬浮速度的定义得：

$$C_{0s} = \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{\gamma_s u_s^2}{2g} = \gamma_s \frac{\pi d_s^3}{6} \quad (4)$$

C_0 和 C_{0s} 都随颗粒雷诺数 Re 变化,这显然是符合相同阻力定律的。根据相同的阻力定律,可分别表示为: $C_0 = \frac{\alpha}{Reo^k}$, $C_{0s} = \frac{\alpha}{Reg^k}$

式中, $Reo = \frac{d_s u_r}{\nu_s}$, $Reg = \frac{d_s u_g}{\nu_s}$ 。本试验 Re 在626~14214之间,种子受牛顿阻力的作用,依据牛顿阻力定律, $K=0$, $\alpha = \text{const}$ 。从而有:

$$\frac{C_0}{C_{0g}} = \left(\frac{Reg}{Reo} \right)^k = 1 \quad (5)$$

将式(4)代入式(3),并用式(5)化简,得单位重量种子在倾斜上升气流管道中运动的微分方程式:

$$\frac{1}{g} \frac{du_s}{dt} = \left(\frac{u_r}{u_g} \right)^2 - \omega \quad (6)$$

式中, $\omega = \sin\theta_1$

2.1.2 种子运动速度随运动时间和距离的变化

设种子运动时间 t (s),运动距离 l (m),为了用无因次量表示式(6),引入无因次函数:

$$\varphi = \frac{u_s}{u_g}, \quad \phi = \frac{u_r}{u_g}, \quad T = \frac{gt}{u_g}, \quad F = \frac{gl}{u_g^2} \quad (7)$$

利用式(7)将式(6)无因次化得:

$$\frac{d\varphi}{dT} = \frac{(1-\varphi)^2}{\phi} - \omega\phi \quad (8)$$

$$\text{或} \quad \frac{d\varphi}{dF} = \frac{(1-\varphi)^2}{\varphi} - \omega \frac{\phi^2}{\varphi} \quad (9)$$

设初始条件为: $t=0$ 时, $u_s=0$; 即 $T=0$ 时 $\varphi=0$ 。解式(8)得:

$$T = \frac{1}{2\sqrt{\omega}} \ln \frac{(1-\sqrt{\omega}\phi)(1-\varphi+\sqrt{\omega}\phi)}{(1+\sqrt{\omega}\phi)(1-\varphi-\sqrt{\omega}\phi)} \quad (10)$$

$$\text{解出}\varphi\text{得: } \varphi = \frac{(1-\omega\phi^2)(e^{2\sqrt{\omega}T}-1)}{e^{2\sqrt{\omega}T}-1+\sqrt{\omega}\phi(e^{2\sqrt{\omega}T}+1)} \quad (11)$$

对式(9)求解得:

$$F = \frac{1}{2} \left[\ln \frac{(1-\varphi)^2 - \omega\phi^2}{1-\omega\phi^2} + \frac{1}{\sqrt{\omega}\phi} \ln \frac{1-\omega\phi^2 - (1-\sqrt{\omega}\phi)\varphi}{1-\omega\phi^2 - (1+\sqrt{\omega}\phi)\varphi} \right] \quad (0 < \omega < 1) \quad (12)$$

式(11)和式(12)就是所求的单粒种子在倾斜上升气流管道中运动速度随时间和距离的变化规律。

对于水平管道, $\theta_1 = 0^\circ$, $\omega = 0$ 。将 $\omega = 0$ 代入式(11)、(12),两式都为不定型。

取极限得:

$$\varphi = \frac{T}{\phi + T} \tag{13}$$

$$F = \ln(1 - \varphi) + \frac{\varphi}{1 - \varphi} \tag{14}$$

对于垂直管道, $\theta_1 = 90^\circ$, $\omega = 1$, 将 $\omega = 1$ 代入式 (11)、(12) 得:

$$\varphi = \frac{(1 - \phi^2)(e^{2T} - 1)}{e^{2T} - 1 + \phi(e^{2T} + 1)} \tag{15}$$

$$F = \frac{1}{2} \left[\ln \frac{(1 - \varphi)^2 - \phi^2}{1 - \phi^2} + \frac{1}{\phi} \ln \frac{1 - \phi^2 - (1 - \phi)\varphi}{1 - \phi^2 - (1 + \phi)\varphi} \right] \tag{16}$$

当 T 或 F 变得很大时, φ 的最终值为 φ_∞ , 这时种子以匀速运动, $\frac{d\varphi}{dT} = \frac{d\varphi}{dF} = 0$.

由式 (8)、(9) 得: $\varphi_\infty = 1 - \sqrt{\omega\phi}$ (17)

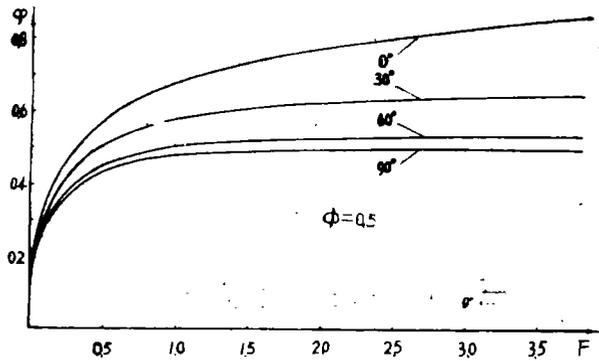


图 1 (b) 种子速度 φ 随时间 T 变化的理论曲线

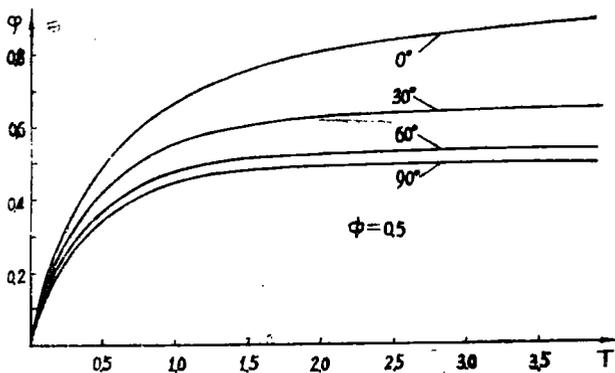


图 1 (c) 种子速度 φ 随距离 F 变化的理论曲线

实际上, 由于总存在有沿程损失, 而推导时忽略不计, 所以, 其最终速度要比式 (17) 算出值稍低。

取 $\phi = 0.5$, 以 ω 为参变量, 将式 (11)、(12) 及其极限情况作成曲线, 如图 1 (b)

和图 1 (c) 所示。可见,受牛顿阻力的种子,在运动初期加速很快,然后很快变为等速运动。这是因为气流阻力与相对速度 u_r 的平方成正比的缘故。种子的运动状态随管道倾角的不同有很大差异。水平管中,加速距离和时间都很长,一般认为 $T = F = 4$ 时, $\varphi \rightarrow 1.0$;在垂直管中,种子运动初期加速最快,很快便进入匀速区,当 $T = F = 2$ 时, $\varphi \rightarrow 0.5$; θ_1 在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间,种子的加速状态介于以上两种情况之间, φ 在 $0.5 \sim 1.0$ 范围内,可用式(17)近似计算。

此外,在水平管中受牛顿阻力的种子,以 $F = \frac{gl}{u_r^2}$ 为相似函数。即使气流速度和种子大小不同,只要 F 相等, φ 值也是相同的。

2.2 种子在弯管中的运动

种子在弯管中有:水平 \rightleftharpoons 垂直下降、垂直上升 \rightleftharpoons 水平及水平 \rightleftharpoons 水平等五种运动形式。据报导^[2],在不同曲率半径的弯管中以不同气流速度输送时,通过高速摄影可见,在任何情况下,大部分物料都抛向弯管断面外侧。这些粒子偏向外侧的主要原因是粒子本身有惯性力。首先以直线碰撞到弯管外侧的粒子,由于气流作用,反射轨迹角比几何反射角小,使该粒子再次与管外侧壁碰撞而通过弯管。并且气流经过弯管时,在弯管部分产生涡流及二次流动,使种子的运动更为复杂,从理论上分析其运动比较困难。因此,试图通过试验,探讨种子在弯管中的运动速度变化规律以及弯管结构、气流速度等因素对输种均匀性的影响。

三、试验装置及方法

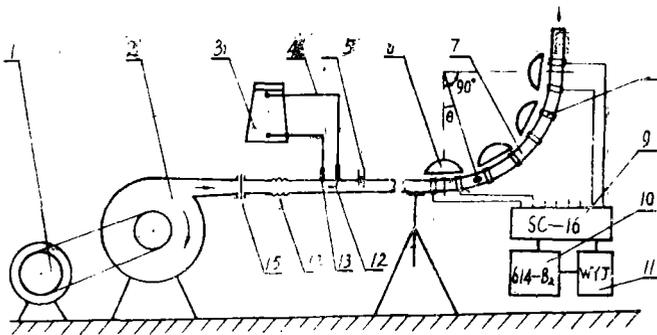


图 2 试验装置示意图

- | | | | | |
|---------|-----------|------------------------|---------|-------|
| 1—电动机 | 2—风机 | 3—JM ₀ 型微压计 | 4—乳胶管 | 5—持种夹 |
| 6—平行光源 | 7—试验管道 | 8—光电传感器 | 9—光线示波器 | |
| 10—稳压电源 | 11—直流稳压电源 | 12—全压测头 | 13—静压测头 | |
| 14—减振胶管 | 15—节流阀 | | | |

3.1 试验装置

试验装置如图 2 所示(直管试验原理与此相同)。待试种子用钢丝持种夹 5 夹住

后,置于管内中心线上,松动持种夹,种子就在风机 2 的吹送下开始在透明有机玻璃管道中运动。管道上装有光电传感器,种子通过时经光电传感器检测,并直接用光线示波器 9 把种子通过信号记录下来。由此可间接测出种子通过管道的时间和运动速度。气流速度用自制全压测头 12 和微压计 3 测量,调节节流阀 15,可获得不同的气流速度。风机出口与管道之间用挠性胶管 14 联接,以消除风机机械振动对测试的不良影响。试验前用 LZB-50 型玻璃转子流量计及 PR-2 型数字频率计分别对自制全压测头和光线示波器的时标进行了标定。试验管道均采用和实际输种管内径相近的同一种管道,其内径为 18.6mm。

3.2 供试种子

表 1 试验种子物理特性和空气动力学特性

| 种 子 | 长 (mm) | 宽 (mm) | 厚 (mm) | 千粒重 (g) | 重度 γ_s (N/m^3) | 当量直径 d_s (mm) | 悬浮速度 u_g (m/s) | 形状系数 (k_s) |
|------|-----------|-----------|-----------|------------|------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 玉 米 | 9.52 | 9.20 | 6.22 | 339.7 | 11098.5 | 8.31 | 11.01 | 1.27 |
| 大 豆 | 8.14 | 6.38 | 5.33 | 176.1 | 11764.8 | 6.54 | 11.17 | 1.24 |
| 豌 豆 | 7.00 | 6.44 | 5.87 | 166.7 | 12250.0 | 6.34 | 12.09 | 1.09 |
| 绿 豆 | 4.40 | 3.76 | 3.67 | 45.0 | 13230.0 | 3.86 | 11.52 | 1.03 |
| 小 麦 | 5.89 | 3.30 | 3.00 | 36.7 | 13487.4 | 3.71 | 9.47 | 1.40 |
| 稻 谷 | 10.68 | 3.28 | 2.34 | 36.9 | 11307.2 | 3.94 | 6.67 | 2.40 |
| 脱绒棉籽 | 9.50 | 5.48 | 5.06 | 101.5 | 9996.0 | 6.41 | 7.01 | 2.65 |
| 油菜籽 | 3.82 | 3.64 | 3.46 | 3.6 | 11068.1 | 1.83 | 7.83 | 1.00 |

四、结果及分析

为了验证种子在直管中运动速度变化理论分析的结论,探讨种子在弯管中的运动规律以及管道结构、配置形式和气流速度等因素对输种均匀性的影响,本研究做了五组试验,样本容量均为 50,结果如表 2~表 4 和图 3 (a)~图 3 (h) 所示。

4.1 种子在直管中的运动情况

图 3(a)作出了种子在水平气流管道中运动速度随时间变化的理论曲线和试验点。由图可见,几乎每种种子的试验值都落在理论曲线附近,吻合程度令人满意。图 3 (b)是速度随运动距离的变化关系,显见,除大豆外,其余种子在相同 F 下,运动速度试验点都在理论曲线附近。也就是说,受牛顿阻力的种子确以 F 为相似函数,只要 F 相等,运动速度也必然相同。

表2 倾斜管中 $\varphi \sim F$ 关系修正系数K和弯管中速度衰减指数 β

| 种子 | 玉米 | 大豆 | 绿豆 | 豌豆 | 小麦 | 稻谷 | 脱绒棉籽 |
|-----------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 修正系数K | 1.50 | 0.85 | 1.20 | 1.60 | 1.00 | 0.65 | / |
| 衰减指数 $\beta \times 10^{-3}$ | 1.8~2.8 | 2.0~5.0 | 1.7左右 | 2.0左右 | 3.4左右 | 4.0左右 | 5.3左右 |

表3 种子在弯管中运动速度变化回归分析结果

| 种子 | 回归方程 | 相关系数 r^2 | F值 | 显著性 |
|------|---|------------|--------|-----|
| 大豆 | $\varphi = 0.4338 e^{-2.29 \times 10^{-3} T}$ | 0.9006 | 45.33 | ** |
| 玉米 | $\varphi = 0.4764 e^{-2.38 \times 10^{-3} T}$ | 0.9551 | 106.42 | *** |
| 豌豆 | $\varphi = 0.4645 e^{-2.05 \times 10^{-3} T}$ | 0.8955 | 42.79 | ** |
| 绿豆 | $\varphi = 0.4614 e^{-1.72 \times 10^{-3} T}$ | 0.8279 | 24.07 | * |
| 小麦 | $\varphi = 0.5460 e^{-3.41 \times 10^{-3} T}$ | 0.9651 | 138.55 | *** |
| 稻谷 | $\varphi = 0.5441 e^{-4.00 \times 10^{-3} T}$ | 0.9637 | 132.85 | *** |
| 脱绒棉籽 | $\varphi = 0.5735 e^{-5.30 \times 10^{-3} T}$ | 0.9737 | 185.00 | *** |

〔注〕 试验条件: $R = 0.3m$ $D = 18.6mm$ $u_a = 19.65m/s$ 水平 \rightarrow 垂上

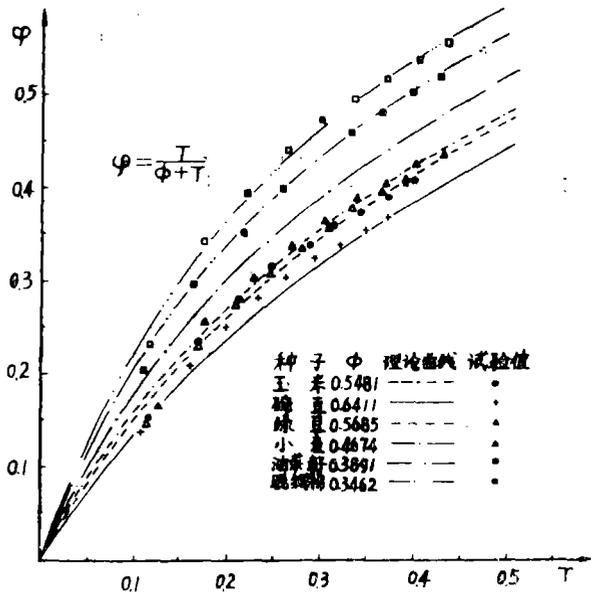


图3(a) 水平管中 φ 随T的变化

表 4 弯管形式对种子通过时间、标准差及变异系数的影响

| 弯管形式 | | 种子 | | | | |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 水平→水平 | 水平→垂下 | 垂上→水平 | 水平→垂上 | 垂下→水平 |
| 大豆 | t (s) | 0.0835 | 0.0809 | 0.1122 | 0.0739 | 0.0887 |
| | S(s) | 0.0142 | 0.0100 | 0.0118 | 0.0041 | 0.0042 |
| | V | 0.1696 | 0.1235 | 0.1048 | 0.0559 | 0.0478 |
| 玉米 | t (s) | 0.0698 | 0.0693 | 0.0869 | 0.0688 | 0.0710 |
| | S(s) | 0.0106 | 0.0062 | 0.0074 | 0.0033 | 0.0039 |
| | V | 0.1525 | 0.0900 | 0.0849 | 0.0483 | 0.0548 |

(注) 试验条件: R=0.3m D=18.6mm $u_a=19.65\text{m/s}$

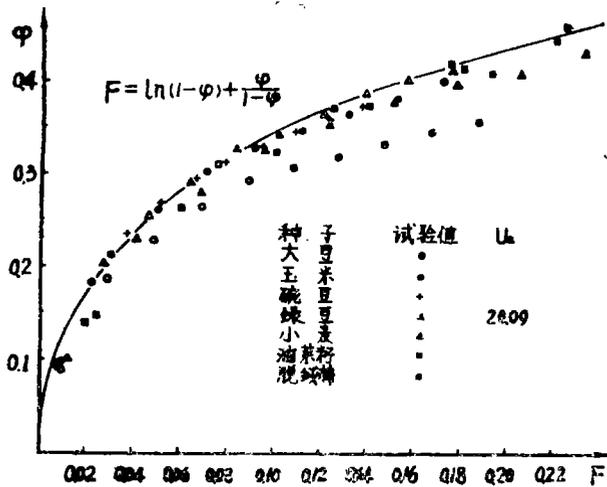


图 3 (b) 水平管中 ϕ 随 F 的变化

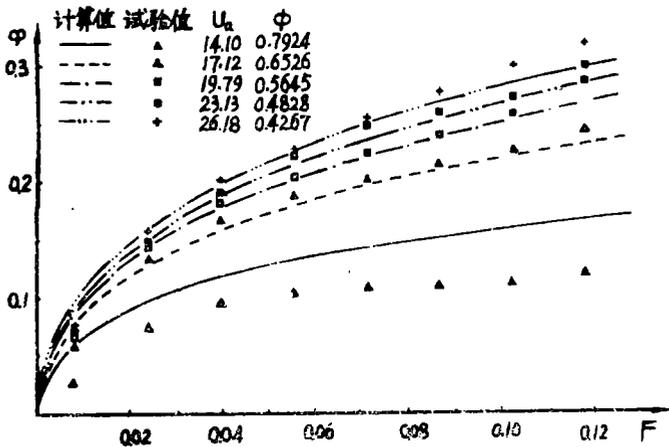


图 3 (c) 90° 倾角不同 U_a 下 ϕ 随 F 的变化

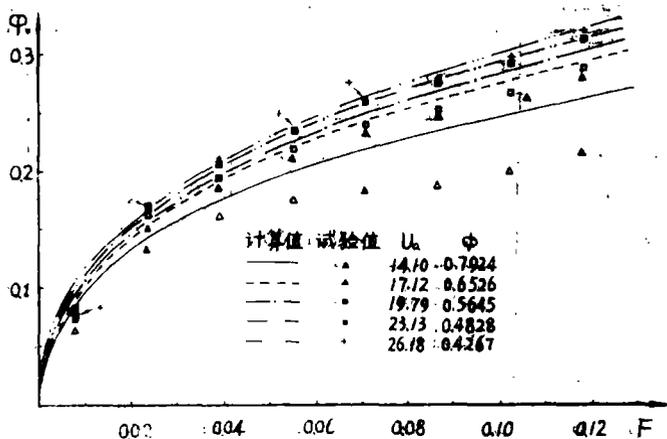


图 3 (d) 60° 倾角不同 U_a 下 ϕ 随 F 的变化

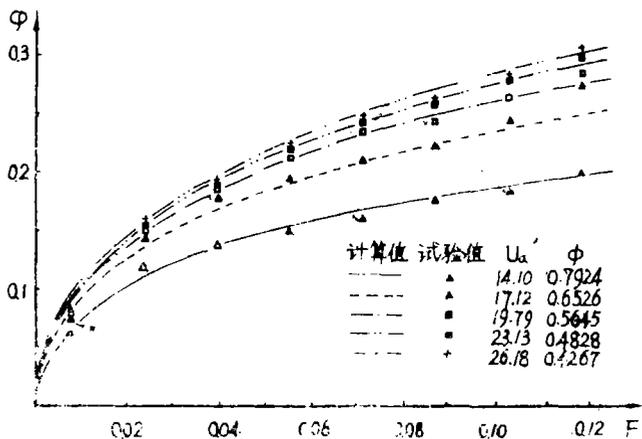


图 3 (e) 30° 倾角不同 U_a 下 ϕ 随 F 的变化

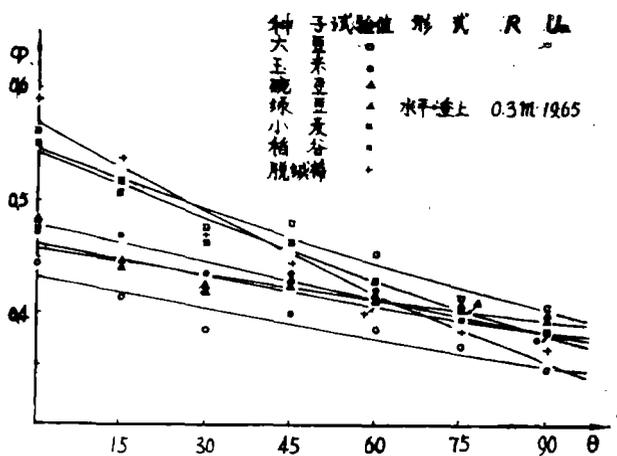


图 3 (f) 弯管中 ϕ 随中心角 θ 的变化

理论分析和试验表明，式(13)和(14)可定量描述种子在水平气流管道中运动速度的变化，用式(14)或图3(b)可很方便地估算出种子运动速度。

大豆在倾斜气流管道中各种气流速度下，运动速度随距离的变化如图3(c)~图3(e)所示。显见，倾角相同，气流速度愈高，种子加速愈快。在同一气流速度下，倾角愈小，种子速度愈高；倾角愈大，运动速度愈低。但气流速度 $u_a > 20\text{m/s}$ 时，倾角对种子运动速度的影响已不显著。

将理论分析得到的式(11)、(12)作成曲线，并和试验值比较，发现有的种子理论曲线与试验结果偏差较大。这是因为理论分析时所做假设与实际情况有出入的缘故。因此，对式(12)作如下修正：

$$F = \frac{1}{2K} \left[\ln \frac{(1-\varphi)^2 - \omega\phi^2}{1-\omega\phi^2} + \frac{1}{\sqrt{\omega\phi}} \ln \frac{1-\omega\phi^2 - (1-\sqrt{\omega\phi})\varphi}{1-\omega\phi^2 - (1+\sqrt{\omega\phi})\varphi} \right] \quad (0 < \omega \leq 1) \quad (15)$$

K为修正系数。通过计算，K值按表2选取时，计算值与试验值能很好地吻合。图3(c)~图3(e)上作出大豆在不同倾角、不同气流速度下由式(15)求得的 $\varphi \sim F$ 曲线。由图显见，除 u_a 小的场合外，试验值和修正曲线基本一致。

4.2 种子在弯管中的运动情况

图3(f)表示种子在弯管中运动速度 φ 随中心角 θ 的变化关系，由图示结果知， φ 随 θ 增大而减小；不同的种子， φ 减小快慢程度不同。绿豆、豌豆和大豆等园形种子， φ 减小速率小；小麦、稻谷及脱绒棉籽等不规则细长种子， φ 减小较快。这是因为园形种子易于滚动而不致使速度衰减过快。此外，各种种子在 θ 为 30° 时运动速度较低，这可能是进入弯管的种子在中心角为 25° 左右处与管壁首次碰撞，使运动速度急剧减小的缘故。

试验还表明，在不同 u_a 和弯管形式下， φ 随 θ 的变化规律大致相同，可用一个数学模型表示。观察图3(f)可见， φ 随 θ 的变化大致呈线性函数或指数函数关系，分别用线性函数和指数函数模型进行回归分析，知指数函数回归效果更为显著。故设数学模型为：

$$\varphi = \varphi_0 e^{b\theta}$$

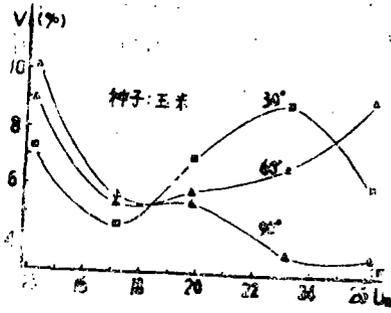


图 3 (g) 气流速度倾角对均匀性的影响

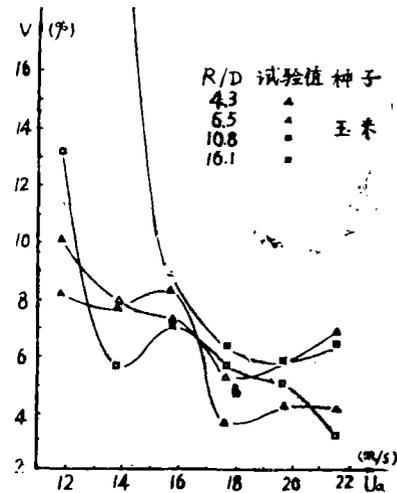


图 3 (h) 气流速度弯管半径对均匀性的影响

式中： φ_0 —弯管入口处种子无因次速度；

b —指数； θ —种子所处位置的中心角（度）。

令： $X = \theta$ ， $Y = \ln \varphi$

则有直线化方程： $Y = \ln \varphi_0 + bX$

用上述直线化方法对试验数据进行回归分析，并做显著性检验，结果如表 3。取置信度 $\alpha = 0.01$ ，查 F 分布表得 $F_{0.01}(1, 5) = 16.26$ ，显然表 3 中 F 比均远大于 16.26，所有回归效果都是高度显著的。图 3(f) 上作出表 3 中回归方程的曲线，试验值和回归曲线吻合极好。

由以上分析，种子在弯管中运动速度 φ 随中心角 θ 的变化呈指数衰减函数

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\beta\theta} \quad (16)$$

$\beta = -b$ ，为衰减指数。几种种子的 β 值见表 2。

用式 (14)、(15) 或图 3 (b) ~ 图 3 (e) 和式 (16)，很容易估算种子在水平、倾斜、垂直及弯管组合的气流管道中的运动速度。

4.3 管道倾角对输种均匀性的影响

种子通过管道的时间偏差 Δt 与播种机工作速度 $u_{机}$ 之积，就是实际播点与理论位置的偏差 ΔX ，即 $\Delta X = u_{机} \cdot \Delta t$ 。所以，种子通过输种管的时间及变异情况，直接影响株距均匀性，其变异系数 V 可作输种均匀性指标。

图 3(g) 表示管倾角 θ_1 和 u_1 对 V 的影响。显见， u_1 对输种均匀性的影响较大，倾角小时，输种均匀性随 u_1 增大而提高；倾角较大时， $u_1 > 18.5 \text{ m/s}$ 均匀性反而变差。但不管何种倾角， u_1 在 $17 \sim 19 \text{ m/s}$ 之间，输种均匀性都比较好。

4.4 弯曲半径对输种均匀性的影响

由图 3(h) 可以看出， u_1 增大， V 随之减小，当 $u_1 > 18 \text{ m/s}$ 时， $V < 7\%$ 。此外， R/D 愈大， V 也愈大，在 $u_1 < 14 \text{ m/s}$ 的情况下， R 对 V 的影响更加显著。这是因为 R/D 大弯管就愈长，种子与管壁的碰撞次数增多而使均匀性变差。由此可知，当 u_1 超过一定值后，弯管半径对输种均匀性已无显著影响。但弯管曲率愈大，种子与管壁碰撞愈激烈，种子减速较快，输种频率高时易在弯管后部发生堵塞；另外，曲率愈大局部损失也随之增大。所以，弯曲输种管曲率半径不能太小，建议 R/D 取 $6 \sim 10$ 为宜。

4.5 弯管形式对输种均匀性的影响

种子在不同形式弯管中，因自重作用方式不同，其运动情况也不尽相同。大豆、玉米通过不同形式弯管的时间 t 、时间标准差 S 和变异系数 V 见表 4。从表中看到，种子通过不同形式弯管的时间标准差和变异系数差异很大。在水平 \rightarrow 水平形式中，两种种子 S 和 V 都为最大，输种均匀性最差；而水平 \rightarrow 垂直上升和垂直下降 \rightarrow 水平形式， S 和 V 都比较小，输种均匀性较好。在水平 \rightarrow 水平形式中输种均匀性之所以差，是因种子在重力作用下并非在同一平面运动，运动轨迹呈复杂的空间曲线，种子与管壁的碰撞也变得更复杂，从而使输种均匀性变差。

五、结 论

1. 种子在水平和倾斜气流管道中运动速度 φ 随运动时间 T 和距离 F 的变化关系, 可分别由:

$$\left[\varphi = \frac{T}{\phi + T}, F = \ln(1 - \varphi) + \frac{\varphi}{1 - \varphi} \right]$$

$$\text{和 } \varphi = \frac{(1 - \omega\phi^2)(e^{2\sqrt{\omega}T} - 1)}{e^{2\sqrt{\omega}T} - 1 + \sqrt{\omega}\phi(e^{2\sqrt{\omega}T} + 1)}$$

$$F = \frac{1}{2K} \left[\ln \frac{(1 - \varphi)^2 - \omega\phi^2}{1 - \omega\phi^2} + \frac{1}{\sqrt{\omega}\phi} \ln \frac{1 - \omega\phi^2 - (1 - \sqrt{\omega}\phi)\varphi}{1 - \omega\phi^2 - (1 + \sqrt{\omega}\phi)\varphi} \right]$$

定量表示。

2. 在弯管中, 种子运动速度呈指数衰减函数: $\varphi = \varphi_0 e^{-\omega t}$ 。

3. 输种管倾角小时, 输种均匀性随 u_s 增大而提高; 倾角大时, u_s 过大或过小都不利均匀输种。

4. u_s 小时, 弯管半径对输种均匀性影响很大, R/D 愈大, 输种均匀性愈差; 当 $u_s > 18.5\text{m/s}$ 时, R/D 对输种均匀性的影响已不显著。一般取 $R/D > 6 \sim 10$ 为宜。

5. 在水平 \rightarrow 水平形式弯管中, 输种均匀性最差; 在水平 \rightarrow 垂直上升和垂直下降 \rightarrow 水平这两种形式中均匀性较好。因此, 应尽量避免水平 \rightarrow 水平配管方式, 最好采用后两种配置形式。

6. u_s 对输种均匀性影响较大, 不管何种管道, u_s 在 $17 \sim 19\text{m/s}$ 之间, 输种均匀性较好, 建议 u_s 最小不应低于 17m/s , 最大不宜超过 22m/s 。

参 考 文 献

〔1〕张波屏: 论精密播种技术, 中国农机学会1980年年会论文。

〔2〕上龙具贞: 《粉粒体的气力输送》, 东京日刊新闻出版社, 1974年。

〔3〕松尾昌树、石川胜美: 关于气力式精密播种的研究, 〔日〕《农业机械学会志》, 41卷第1~3期。

〔4〕何有璋: 关于气流输种管结构及气流参数的研究, 西北农学院农机系硕士学位论文论文, 1981年。

〔5〕李诗久: 《工程流体力学》, 机械工业出版社, 1980年。

〔6〕原秀介、横山一夫: 球的相互干涉空气动力学特性, 〔日〕《流体工学》, 15卷第1期。

Research on the Moving Regularity of Seeds in Pneumatic Pipes

Li Feixiong He Dongjian

(Farm Machinery Department, Northwestern Agricultural
University)

Abstract

This paper describes the moving regularity of seeds in the pneumatic pipes theoretically. Electric determination is adopted. Seeds of 8 crop varieties and the pneumatic pipes of 10 different types are tested under the different velocities (U_a) of air current. Results indicate that (a) the varying regularity of the seed moving velocity is basically agreeable to the theoretical analysis in the vertical pneumatic pipe; (b) the seed velocity appears to be reduced in the exponential function in the crooked pneumatic pipe; (c) when the inclination of seed conveying pipe is small, the velocity (U_a) of air current tends to increase, thus the uniformity of seed conveys is improved. When the inclination of seed conveying pipe is large, either too high or too low velocities are unfavourable to the uniformity of seed conveys; (d) when U_a is small, the radii of the crooked pipe might have a great effect on the uniformity of seed conveys, when U_a is more than 18.5m/s, the effect of radii of the crooked pipe on seed conveys is not significant; and (e) the uniformity of seed conveys by the crooked pipe from level to level is the poorest and that by the crooked pipe upward from level to vertical and downward from vertical to level is much better.

Key words seed conveys by air current/seed conveying pipe/
uniformity of seed conveys