

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.05.003

粉体包装机密实输送螺杆的设计

郝友莉¹, 唐正宁^{1,2}, 季婷婷¹

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122;
2. 江南大学 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:针对粉体包装夹气、包装容器利用率低、难堆垛及运输不便等问题,提出了一种用来密实粉体的变螺距螺杆设计方案。根据粉体包装生产中粉体沿螺旋轴作复合空间运动的规律,为实现输送过程中粉体的密实,借鉴普通螺旋式输送器的设计原则和变螺距螺杆的设计方法,设计了具有变螺距密实功能段的螺杆,对螺距变化的输送螺杆的各设计参数进行计算与校核,并通过三维实体软件对螺杆进行实体建模。该设计方案满足了粉体密实输送包装要求,解决了粉体夹气问题,从而提高系统的包装效率。

关键词:粉体包装机;螺旋输送;密实;参数设计

中图分类号:TB486 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)05-0012-04

Design of Densifying Screw Feeder Applied in Powder Packaging Machine

HAO Youli¹, TANG Zhengning^{1,2}, JI Tingting¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: Aiming to solve the problems of gas enclosure, low utilization rate, difficult stacking and inconvenient transportation of powder packing, a kind of new powder densifying packing machine was proposed. The process and working principle of densifying screw feeder were analyzed in detail. Based on the design principle of the traditional screw and the actual packaging requirements such as densifying ratio, design parameters of the screw were calculated and checked. Finally, the three-dimension model of variable pitch screw was finished by 3D solid software. The design can meet the packaging requirements and densify powder effectively. The design can meet the requirements of powder dense conveying packaging, and solve the problem of gas enclosure, so as to improve the packaging efficiency of system.

Keywords: powder packaging machine; screw feeder; densifying; parameter design

粉体包装机是用途广泛的包装机械,其发展方向是机械的智能化和自动化^[1-3]。螺旋式粉体输送机是一种连续式的,用来输送粉体等散料的包装机械,利用螺旋体的旋转运动使物料向前轴向推移输送。螺旋式输送机^[4]具有结构简单、封闭性好以及维修方便等优点。而在粉体物料的包装过程中,粉体夹带的气体致使粉体比较松散,直接影响到粉体的密度。这不仅使包装充填效率降低,还增加了包装尺寸,且存放一定时间后,袋内的部分空气逸出,导致包装袋变形、堆垛倒塌,更是增加了仓储运输成本。

目前国内外的一些企业对粉体中的夹气处理方式大致有2种:一是对包装容器施加振动密实粉体;二是采用密实后抽气的方式,将输送系统中的气体排出。如美国加州的 Diamondback Technology 公司和印度的 Jasubhai Engineering 公司就针对夹气粉体的密实输送生产出螺旋式的密实包装机械。但少有学者对粉体包装输送过程中,粉体的密实方案进行理论分析。故课题组提出一种用变螺距螺杆输送、密实粉体的方案。相对于普通的等径等距螺杆,变螺距螺杆可以保证物料在料仓内全面流动,可以防止粉体的结拱,使得粉体

收稿日期:2017-01-16;修回日期:2017-03-15

第一作者简介:郝友莉(1991),女,山东莒县人,硕士研究生,主要研究方向为包装工艺与设备。E-mail:haoyouli91@163.com

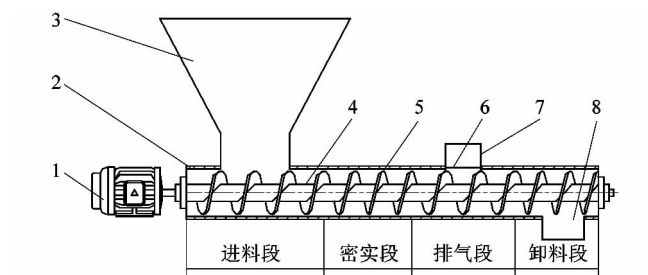
输送部下料送料的稳定性,提高输送效率。变螺距的螺旋式输送包装机设计参数较多,且参数间相互制约,相互关联,使得参数设计比较复杂,需类比其他输送设备^[5]。

课题组对粉体夹气处理采用密实后抽气的方式,即先将粉体密实,再将气体排出,因此实现该功能的部件是变螺距螺杆。在保证粉体流动均匀的情况下,借鉴普通螺旋式输送器的设计原则^[6-7]和变螺距螺杆^[8-9]的设计方法,对变螺距密实螺杆进行分段设计和计算,旨在确定符合包装要求的粉体密实包装机的设计参数。

1 粉体密实输送机工作原理

1.1 粉体包装机密实输送部件

粉体包装机密实输送部件的结构示意图如图1所示,由电机1、套筒2、料仓3、螺旋轴4、变螺距的螺旋叶片5、微孔材料6、排气口7和卸料口8组成。其中螺旋轴4的结构形状为等径变螺距,根据输送的要求分为4个功能段:进料段、密实段、排气段和卸料段。微孔材料6上有小孔,孔径较小,只允许气体通过,粉体不能通过,便于气体的排出。排气口外接真空泵,将空气抽出。



1—电机;2—套筒;3—料仓;4—螺旋轴;5—变距螺旋叶片;6—微孔材料 7—排气口;8—卸料口。

图1 螺旋式粉体密实输送包装机总体结构示意图

Figure 1 Structure of densifying powder packaging machine

课题组设计的粉体包装机的密实输送部件将等径螺距螺杆改为等径变螺距螺杆,再配合抽气装置,实现输送过程中夹气粉体的密实与排气。其工作原理是:电机带动螺旋轴旋转,料仓中夹气粉体物料靠重力作用下落到与下料口相对的进料段螺杆,进料段的螺距大,螺槽的容积大,可容纳从料斗下料口进入的松散的粉体物料。由于粉体本身的重力以及套筒壁对粉体的摩擦力,粉体物料并不沿螺旋轴的轴线作直线运动,而是沿螺旋轴轴向作复合运动。粉体物料运动到螺杆的密实段,螺距逐渐变小,使得粉体紧凑,实现有效压

实。排气段的螺距较大,保证粉体有较大的可暴露自由表面,较长的停留时间,促进气体的排出。经密实排气后的粉体进入等距卸料段,平稳落入包装容器内,为减少因粉体下落致使密实后的粉体再次变松散,包装容器可采用升降结构与粉体密实输送结构配合,这样还能减少包装过程中的扬尘现象。

1.2 粉体运动分析

螺杆充填机在输送粉体的过程中,粉体由于受螺旋旋转的影响,其运动并不沿轴线作直线运动,而是沿螺旋轴作复合空间运动。为更好地理解螺旋式粉体输送机的工作原理,接下来将选取某一粉体颗粒为对象,进一步分析粉体物料在螺杆输送过程中的运动特征。将螺旋面展开成一条斜线,以距离螺杆轴线 r 处的粉体颗粒 M 为分析对象。粉体颗粒 M 在合力的作用下,在螺杆内做空间复合运动,既沿轴向运动,速度 $v_{\text{轴}}$;又作径向运动,速度 $v_{\text{周}}$,合速度为 $v_{\text{合}}$; M 点处的线速度为 v_0 是粉体颗粒 M 牵连运动的速度。距离螺杆轴线 r 处的粉体颗粒 M 的运动速度分解图如图2所示。

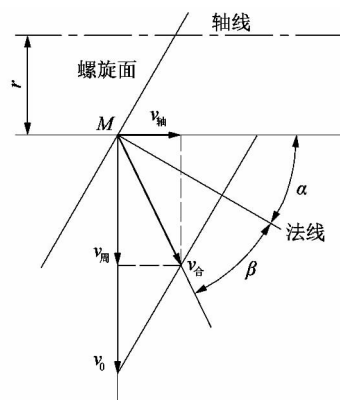


图2 粉体物料运动分析

Figure 2 Decomposition of powder movement

根据运动分析图可得

$$v_{\text{合}} \cos \beta = v_0 \sin \alpha,$$

而

$$v_0 = \frac{2\pi nr}{60\,000},$$

所以

$$v_{\text{合}} = \frac{2\pi nr}{60\,000} \times \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}. \quad (1)$$

颗粒的圆周速度

$$v_{\text{周}} = v_{\text{合}} \sin (\alpha + \beta) = \frac{2\pi nr}{60\,000} \times \frac{\sin (\alpha + \beta) \sin \alpha}{\cos \beta}.$$

由于

$$\tan \alpha = \frac{S}{2\pi r},$$

$$\sin \alpha = \frac{S/(2\pi r)}{\sqrt{1 + [S/(2\pi r)]^2}},$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + [S/(2\pi r)]^2}},$$

同时令 $f = \tan \beta$, 则

$$v_{\text{周}} = \frac{Sn}{60\,000} \times \frac{S/(2\pi r) + f}{1 + [S/(2\pi r)]^2} \quad (2)$$

同理可得粉体颗粒的轴向速度

$$v_{\text{轴}} = \frac{Sn}{60\,000} \times \frac{1 - fS/(2\pi r)}{1 + [S/(2\pi r)]^2} \quad (3)$$

式中: S 为螺杆的螺距, mm; n 为螺旋轴的转速, r/min; r 为粉体颗粒 M 到螺杆轴线的距离, mm; f 为颗粒与螺旋面的摩擦因数。

2 粉体密实螺杆主要参数设计

2.1 螺旋叶片的直径 D

螺旋叶片的直径一般根据输送机的输送能力、粉体的类型、布置形式等确定。使得粉体能够连续均匀地进入包装容器。本实例的螺杆采用水平布置的形式, 充填粉体为咖啡粉, 充填量 $Q = 0.5 \text{ t/h}$, 螺旋轴长度 $L = 750 \text{ mm}$ 。变距螺杆进料段输送原理与等径等距螺杆的相同, 螺旋叶片的直径可近似地由等径等距螺旋叶片的计算公式求得。

由 $Q = 47K_1 A \varphi \rho D^{\frac{5}{2}}$, 可得

$$D = \left(\frac{Q}{47K_1 A \varphi \rho} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (4)$$

式中: Q 为螺旋输送量, t/h; D 为螺旋叶片直径, mm; A 为粉体物料综合特性系数; K_1 为螺距和螺旋叶片直径的比例系数; ρ 为粉体物料的单位容积质量, kg/m³; φ 为填充系数。

由资料^[10]和本实例设计要求可知 $Q = 0.5 \text{ t/h}$; $K_1 = 0.8 \sim 1.0$, 取 0.8 ; $A = 35$; $\varphi = 0.4$; $\rho = 1.05 \text{ t/m}^3$ 。代入公式(4)算得螺旋叶片的直径 $D = 60.62 \text{ mm}$ 。为便于包装机械的加工生产, D 值需圆整, 综合考虑取 $D = 75 \text{ mm}$, 后面将通过校核填充系数 φ 验证该值。

2.2 螺距尺寸 S 与密实比 λ

生产要求的螺旋轴长度 L 为 750 mm , 进料段的螺距可按公式 $S = K_1 D$ 计算。当螺杆水平布置时, 计算得 $S = K_1 D = 0.8 \times 75 = 60 \text{ mm}$ 。进料段的长度定为 240 mm , 约占螺杆总长度的 32% , 符合设计要求。

密实段的螺距逐渐变小, 螺旋槽的容积变小, 将松散粉体在输送过程中密实。对于每个螺旋槽的容积, 可以用如下的经验公式计算

$$V = \frac{\pi S}{4} (D^2 - d^2) - bh \sqrt{(\pi D)^2 + S^2} \quad (5)$$

式中: d 为螺旋轴直径, mm; b 为螺旋叶片厚度, mm; h

为螺旋叶片深度, mm。密实区域的粉体密实比 λ 是密实段第 1 段螺旋槽的容积与密实段最后一段螺旋槽容积之比。粉体夹带的空气约占 10% , 则密实比 λ 至少为 $1:1.11$ 。密实段初始螺距 $S = 60 \text{ mm}$, 考虑到螺旋轴总长度的限制, 密实段采用 3 段螺距, 第 3 段螺距为 50 mm , 则密实比 λ 实际上是密实段最后一段螺旋槽容积与第 1 段螺旋槽容积之比, 即

$$\lambda = \frac{V_3}{V_1} \quad (6)$$

将参数代入式(5)求得 $V_1 = 178\,803.33 \text{ mm}^3$, $V_3 = 142\,121.34 \text{ mm}^3$, $\lambda = \frac{V_3}{V_1} = 1:1.25$ 能满足至少为 $1:$

1.11 的密实要求。考虑到螺距的均匀变化, 密实段的第 2 段螺距取 $S = 55 \text{ mm}$ 。

排气段的功能是有足够的接触面积将空气排出, 选用大的螺距, 本实例选择与进料段相同的螺距, 即 $S = 60 \text{ mm}$, 长度为 180 mm 。为满足平稳输送, 卸料段采用等螺距螺纹, 同时卸料段位于排气段的下游也应保持一定的压力, 所以卸料段的螺距也应较小, 选取 $S = 55 \text{ mm}$ 。

2.3 螺旋轴的转速 n 与填充系数 φ 校核

转速超过一定的极限值后, 粉体物料会因离心力过大无法输送, 因此螺旋轴的转速在满足实际的输送量的要求的情况下应尽量低。螺旋轴的转速不能超过它的许用转速

$$n \leq n_{\text{max}} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (7)$$

式中 n_{max} 为螺旋轴的许用转速, r/min。

螺旋轴的转速公式可按 $n = \frac{Q}{47D^2 S \varphi \rho}$ 计算, 将本实例中已确定的各参数值代入, 算得 $n = 75.65 \text{ r/min}$, 而 $n_{\text{max}} = 127.80 \text{ r/min}$, 满足 $n \leq n_{\text{max}}$, 螺旋轴的转速圆整为 80 r/min 。

螺旋轴转速和螺旋叶片直径经过圆整后, n 和填充系数 φ 可能不同于之前的选取值, 因此需按式进行校核计算得到的, 若算的 φ 值在推荐范围内, 则螺旋叶片直径与螺旋轴转速圆整合适。将参数代入得 $\varphi = \frac{Q}{47D^2 S n \rho}$, 得 $\varphi = 0.39$ 。查资料^[10]知咖啡粉推荐的 φ 值范围为 $0.35 \sim 0.40$, 故螺旋叶片的直径 D 和螺旋轴转速 n 选取合适。

3 三维实体模型的建立

综上计算可得螺距变化螺杆的参数如下: 螺旋轴

长度为 $L = 750 \text{ mm}$; 螺旋轴转速 $n = 80 \text{ r/min}$; 粉体密实比 $\lambda = 1:1.25$; 螺旋叶片的直径 $D = 75 \text{ mm}$; 螺旋轴直径 $d = 30 \text{ mm}$ 。进料段的螺距为 60 mm , 密实段螺距组合为 $60/55/50 \text{ mm}$, 排气段螺距为 60 mm , 卸料段螺距为 55 mm 。

在三维造型软件 Pro/E 建模环境中, 在基本轴体的基础上, 输入螺距数, 通过螺旋扫描建立粉体密实输送包装机主要结构的实体模型, 完成的三维实体模型如图 3 所示。

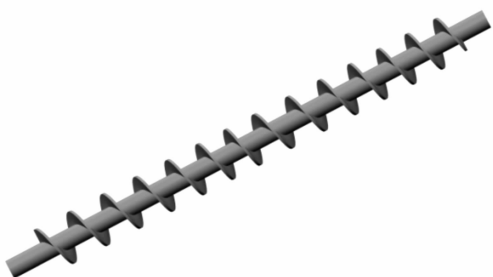


图 3 变螺距螺杆的三维实体图

Figure 3 Three-dimension model of variable pitch screw

4 结语

常用的包装充填方式夹气粉体未密实, 给包装容器仓储、运输带来不便, 笔者考虑到密实比等包装要求, 采用螺距变化的粉体输送螺杆。通过实例设计计

算出符合包装要求的主要螺杆参数值, 并对参数进行了校核; 同时运用三维实体软件得到主体结构三维模型。该设计可有效密实粉体, 解决粉体夹气问题, 提高系统的包装效率。接下来将通过相关软件对模型以及粉体密实过程进行仿真分析, 验证结构和参数设计的合理性, 进一步优化设计参数。

参考文献:

- [1] 曹艳英, 邵军. 全自动粉、粒料包装机设计[J]. 包装工程, 2002, 23 (增刊 1): 16-17.
- [2] 刘守谦. 改进包装机械设计方法的新思路[J]. 轻工机械, 2005, 23(4): 1-3.
- [3] 戴宏民. 包装机械技术发展趋势及我国的应对[J]. 轻工机械, 2003(4): 1-4.
- [4] 东时. 螺杆式粉体分装机现状及思考[J]. 机电信息, 2009(20): 38-41.
- [5] 李义生. 粉体物料包装设备的选型[J]. 食品科技, 2005(9): 65-66.
- [6] 张东海. 螺旋输送机的优化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006: 16-32.
- [7] 贾朝斌. 螺旋输送机参数设计及其优化方法研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2015: 20-34.
- [8] 宋亚英. 变螺距螺旋结构参数的理论研究[J]. 苏州大学学报(自然科学), 1996(4): 96-100.
- [9] 邱爱红, 龚曙光, 谢桂兰, 等. 变径变螺距螺旋轴参数化模型及性能仿真[J]. 机械工程学报, 2008, 44(5): 131-136.
- [10] 向冬枝, 徐余伟. 螺旋输送机设计参数的选择和确定[J]. 水泥技术, 2010(1): 29-33.



www.QCtester.com

因为专业, 所以权威

因为用心, 所以收获更多



扫一扫 加入我们