

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.06.017

水平式螺旋输送机运动模型搭建和参数化设计

The movement model construction and parametric
design of horizontal screw conveyor

刘威 唐倩 刘宗敏 梁平华

LIU Wei TANG Qian LIU Zong-min LIANG Ping-hua

(重庆大学, 重庆 400044)

(Chongqing University, Chongqing 400044, China)

摘要:针对重力作用下水平式螺旋输送机的输送特点,提出了输送运动简化模型,推理了各参数之间的约束关系。通过计算螺旋输送机输送速度和物料下落高度之间的关系,提出“全填充状态”概念,并探索该状态下设计转速与其他尺寸参数之间的关系;确定了物料输送在轴向的最小落料长度;通过各参数计算,得到了输送量与转速的关系曲线。

关键词:水平式螺旋输送机;全填充状态;转速;最小长度;输送量

Abstract: Aiming at the conveying characteristics of the horizontal screw conveyor under the action of gravity, a simplified model of the conveying motion is proposed, and the constraint relationship between the parameters is calculated inference. By calculating the relationship between the conveying speed of the screw conveyor and the height of the material drop, the concept of “full filling state” is proposed, and the relationship between the design speed and other dimensional parameters in this state is calculated; the material conveying is determined. The minimum blanking length in the axial direction; through the calculation of each parameter, the relationship between the conveying amount and the rotational speed is obtained.

Keywords: horizontal screw conveyor; full filling state; speed; minimum length; delivery volume

螺旋输送机是连续的输送机,由固定在输送轴上的螺旋叶片和固定槽组成。旋转的螺旋叶片将物料推移而实现输送,使物料不随螺旋输送机叶片一起旋转的力是物料自身重力和螺旋输送机机壳的摩擦阻力。根据输送物料方向的不同,可以分为水平式螺旋输送机、垂直式螺

旋输送机、倾斜式螺旋输送机、弯曲式螺旋输送机、螺旋管输送机^[1]。其中水平式螺旋输送机被广泛应用于食品输送、加工等领域,具有结构简单、工作可靠、成本低廉、设计方便等优点^[2-4]。

螺旋输送机的设计主要是相关参数的设计,包括输送量、螺旋转速、螺旋直径、螺距、螺旋轴直径、倾斜角度、电机传动功率,此外还需考虑被输送物料的物理性质^[5-9]。输送量是衡量螺旋输送机生产能力的一个重要指标,应当根据生产需求确定,在输送物料时,螺旋轴颈的截面积也对输送能力有一定的影响,但所占比例很小,因此在输送量的计算公式中并未体现^[10]。

在传统设计过程中,往往是根据输送量,首先计算2个临界值,确定螺旋直径临界值。为保证输送效果,防止转速过高需要确定临界转速值,然后在以上边界条件约束条件下到给定的标准表上查找合适的参数,再根据经验公式确定其他相关参数设计^[11-12]。传统设计过程未过多研究输送量与各参数之间的相互影响关系,给出的边界条件相对较少,而且以往研究仅仅集中在定量输送设计这一领域。

本试验拟在以上研究的基础上,针对重力作用下水平螺旋输送机输送的特点,提出运动简化模型,采用运动学方法,根据给定的输送条件,推理计算得到各参数之间的约束关系,完善整个螺旋输送机结构参数设计过程中的设计准则,为实际生产提供指导。

1 螺旋输送机结构

本试验以如图1所示的水平式螺旋输送机为例,电动机驱动螺旋叶片在圆周方向做旋转运动,物料受轴向作用在壳体内向前输送。

2 物料输送模型分析

2.1 简化模型

图2为简化的给定开口大小下的螺旋输送机简化模型,ABCDEFGFI输送箱的底板EFGI在水平方向以速度

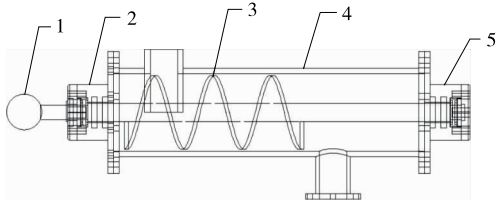
基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:51575069)

作者简介:刘威,男,重庆大学在读硕士研究生。

通信作者:唐倩(1969—),女,重庆大学教授,博士。

E-mail: tqcqu@cqu.edu.cn

收稿日期:2018-12-13



1. 驱动电机 2. 左端盖 3. 螺旋叶片轴 4. 机壳 5. 右端盖

图 1 水平式螺旋输送机简图

Figure 1 Schematic diagram of horizontal screw conveyor

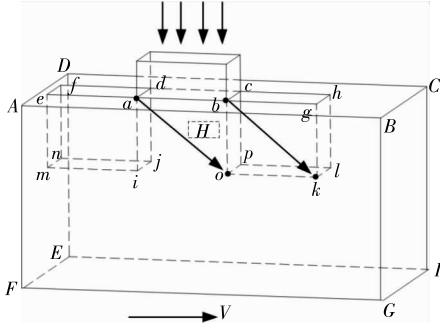


图 2 水平式螺旋输送机简化模型

Figure 2 Simplified model of horizontal screw conveyor

V 作平移运动,在输送箱上部有一泄露口 $abcd$,泄露口上端物料从泄露界面 $abcd$ 以初速度为 0 做自由落体运动和水平速度 V 两个速度叠加运动,物料进入输送箱,假设进入泄露口的物料都能从底板 $EFGI$ 输出(模拟螺旋输送机正常工作时螺旋叶片的轴向推动作用,忽略螺旋叶片在圆周方向的影响和摩擦力带来的滞留影响),泄露口长度 ab 为 L ,宽度 bc 为 W ,输送箱的长度和宽度远大于泄露口的长度和宽度。在连续的输送过程中,不考虑初始瞬时状态时,物料在整个料腔内所填满的横截面积大小由下落高度和泄露口宽度决定。

2.2 泄露口尺寸、输送速度与输送量的关系

通过分析,物料的下落高度由水平方向的速度 V 决定,速度越大,则下落高度越小,即来不及向下运动就被轴向输送出,此高度定义为输送高度 H ,按式(1)计算。

$$H = \frac{1}{2}gt^2, \quad (1)$$

式中:

g ——重力加速度, m/s^2 ;

t ——时间, s 。

t 的大小可根据式(2)计算。

$$t = \frac{L}{V}, \quad (2)$$

式中:

L ——泄露口长度, m ;

V ——水平速度, m/s 。

为进一步说明,取虚拟体积空间 $ae fdijmn$,长度为 L ,宽度为 W ,高度为 H ,处于图 2 中的位置为初始位置,取一颗粒位于 a 点,当颗粒运动到 o 点时为终点位置,虚拟体积空间中的 i 点刚好移动到 o 点,在这个时间段, b 点的颗粒运动到 k 点,即整个输送腔的物料体积为一个平行六面体 $abcdoklp$,高度为 H 。

由此分析,在连续的输送过程中,物料下落的高度受 L 、 V 、 g 三者的影响。输送体积按式(4)计算。

$$I = HLW = \frac{1}{2}g\left(\frac{L^3}{V^2}\right)W, \quad (3)$$

式中:

I —— t 时间内的轴向输送量, t/h ;

W ——泄露口宽度, m 。

因此,单位时间内的输送体积为:

$$Q = \frac{I}{t} = \frac{1}{2}g\left(\frac{L^2}{V}\right)W, \quad (4)$$

式中:

Q ——单位时间内的体积输送量, t/h 。

由此可知,在不考虑物料特性的情况下,输送量与泄露口长度 L 、宽度 W 、水平速度 V 和参数 g 相关,当泄露面积 S 一定时, L 越大, Q 越大,为保证填充充分,往往将泄露口宽度和送料箱宽度做成相等大小。

2.3 输送量与转速的关系曲线

根据实际情况,从节约材料和满足输送要求两方面考虑,输送箱的竖直高度不可能无限大,给出临界值输送箱高度 D :

$$D < H, \quad (5)$$

即

$$D < \frac{1}{2}g\left(\frac{L}{V}\right)^2. \quad (6)$$

临界输送高度的定义式取“=”时,则表示输送高度刚好等于料腔高度,处于刚好填充满状态,由式(6)可知,当 D 、 L 确定后,只要速度低于上式中的设计转速,物料理论下落高度大于输送箱高度,物料将处于“全填充状态”,输送量按式(7)计算。

$$Q = DWV. \quad (7)$$

即送料截面积确定,输送量与速度 V 呈正比,此时速度在小于式(6)取“=”中的速度时, Q 与 V 呈正比例关系,可以通过控制速度 V 来控制输送体积量的大小。

当速度大于式(6)中取“=”时的设计转速时,物料在送料箱处于“未填充状态”,输送量按式(8)计算。

$$Q = HWV = \frac{1}{2}g\left(\frac{L^2}{V^2}\right)WV, \quad (8)$$

此时输送量与速度呈反比例关系,通过式(8)确定的相关尺寸参数过后,可以得到体积输送量随速度变化的关系曲线,如图 3 所示,当速度达到 $D = H$ 对应的值时,输送量达到最大值,因此,当速度再增大,输送量反而会

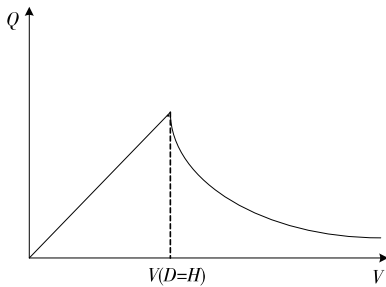


图 3 体积输送量与轴向输送速度关系曲线

Figure 3 Relationship between volumetric transport volume and axial transport speed

下降,对实际生产无作用,应尽量将转速设置在线性相关范围内。

在式(6)中分析可知,当 D 不变,如果将 L 取值为大于上述中的临界 L 值,则可以提高最大输送量,即当 L 增大则式(6)中分母 V 相应增加,则提高了式(7)中的 Q ,通过改变 L 值可以改变最大输送量,即将正比例关系曲线往后延伸。

3 参数化设计

通过上述水平螺旋输送机模型的搭建,确定了各参数之间的影响关系和设计顺序,将在拟给定输送条件下进行相关设计,并给出各参数之间的影响关系曲线,便于进行参数选择,并最终得到输送量随转速的关系曲线,用于指导实际生产。

3.1 确定输送条件

根据实际需求,确定输送量和物料特性等输送条件,确定部分输送参数如表 1 所示。

表 1 初始给定输送条件[†]

Table 1 Initial given delivery conditions

输送量/ ($t \cdot h^{-1}$)	填充系数	堆积密度/ ($t \cdot m^{-3}$)	输送机修 正参数
0.003 6~0.252 0	0.38	1.2	1

[†] 各类输送物料的填充系数和综合特性参数、堆积密度及螺旋输送机的修正系数取值参考 JB/T 7679—95。

3.2 计算过程

传统输送量按式(9)计算:

$$Q = 60 \frac{\pi D^2}{4} S n \varphi \rho_s C \quad (9)$$

输送量确定可以得到转速 n 与螺旋直径 D 的关系式,本试验根据最大输送量确定螺旋输送直径最小值。

$$D \geq K^{2.5} \sqrt{\frac{Q}{\gamma \times C}} \quad (10)$$

由式(10)求得 $D > 33$ mm。

螺旋在一定的转数之前,这种附加的物料流对物料

运动的影响并不显著,当转数超过一定转数时,物料就会产生垂直于输送方向的跳跃的翻滚,起搅拌而不起轴向的推动作用,因此,代入最小螺旋直径,确定极限转速。

$$n < n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (11)$$

由式(11)求得 $n < 411$ r/min。

为了兼顾最小输送量时的输送情况,给出了最小输送量时转速与螺旋直径的关系曲线见图 4、5。

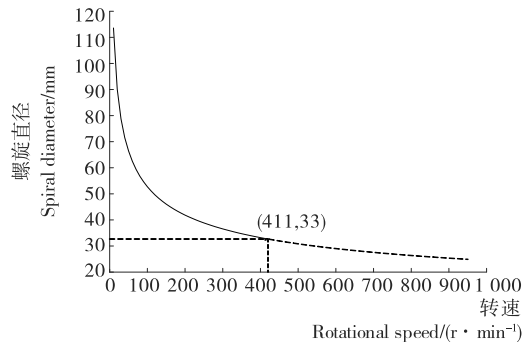


图 4 螺旋直径与转速关系曲线

Figure 4 Spiral diameter and speed curve

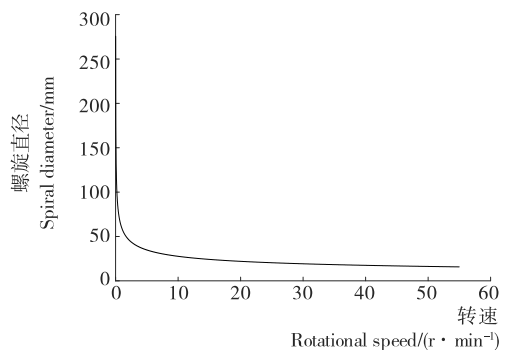


图 5 最小输送量时螺旋直径与转速关系曲线

Figure 5 Curve of spiral diameter versus speed for minimum delivery

暂取 $D = 40$ mm,得到对应转速 $n = 229.16$ r/min,根据式(12)确定最小开口长度,为了保持填充状态,泄露口宽度和螺旋直径相等,在螺旋输送机中, $V = S n / 60$,这里 $S = 0.8D$ 。

$$D < \frac{1}{2} g \left(\frac{L^2}{V^2} \right) \quad (12)$$

由式(12)求得 $L > 11.04$ mm。取 $L = 11$ mm。

由图 6 可知,在 n 为 0~229 r/min 时,物料在料腔内始终处于“全填充状态”,输送量随转速增加而增加,当 $n > 229$ r/min 时,物料在料腔内处于“未填满状态”,受转速影响,填充的横截面积减小,输送量减小;当 $n = 411$ r/min 时达到极限转速。在实际设计中,为保证最大输送量达到输送要求,建议将 L 适当增大,即将正比例曲线往后延伸。

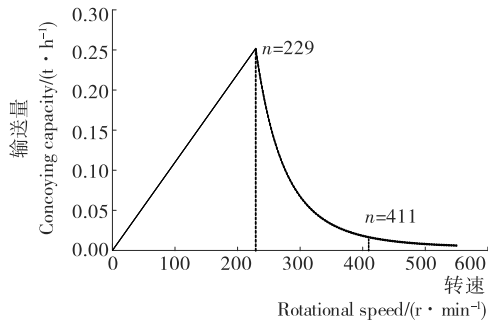


图6 输送量与转速关系曲线

Figure 6 Relationship between delivery volume and speed

通过以上设计计算过程,完善、总结得到水平式螺旋输送机设计过程为:

- (1) 确定输送条件:输送量,物料参数,螺旋机倾斜程度。
- (2) 根据输送量确定螺旋输送直径最小值和极限转速。
- (3) 得到转速和螺旋直径关系曲线。
- (4) 综合最小输送量选取目标螺旋直径值。
- (5) 确定最小开口值。
- (6) 根据以上设计尺寸得到输送量与转速的关系曲线。

4 结论

(1) 基于重力作用下的输送特性,建立了螺旋输送机工作时的简化模型,推理计算得到输送速度与输送物料在料箱内的横截面积或输送量的关系。

(2) 提出了“全填充状态”这一概念,并推理得到这一状态时的设计转速。

(3) 通过理论计算,得到螺旋输送机在输送方向上下料槽的最小长度尺寸,在实际设计过程中,可以适量增加该长度,以保证最大输送量达到要求。

(4) 基于设计的螺旋输送机,得到输送量随转速的变化曲线关系,并在图中确定了设计转速,极限转速。该曲线可用于指导水平式螺旋输送机的变量输送研究,研究成果为螺旋输送机的设计研究提供一定的参考。

参考文献

- [1] 胡建平, 郑昌华. 螺旋输送机、斗式提升机和振动输送机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991: 1-30.
- [2] 杨健, 李新闻, 柳伟兵. 挤出式奶油输送机特性分析及优化设计[J]. 食品与机械, 2018, 34(7): 78-82.
- [3] 朱斌昕. 粮食装卸输送机[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1984: 342.
- [4] 张东海. 螺旋输送机的优化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2006: 1-25.
- [5] 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.
- [6] 梅潇, 王伟, 刘海洋, 等. 大倾角螺旋输送机中物料颗粒的运动特性研究[J]. 机械设计与制造, 2018(2): 14-17.
- [7] ALTIERI G, RENZO G C D, GENOVESE F. Horizontal centrifuge with screw conveyor (decanter): Optimization of oil/water levels and differential speed during olive oil extraction[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(3): 561-572.
- [8] OWEN P J, CLEARY P W. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM)[J]. Powder Technology, 2009, 193(3): 274-288.
- [9] PEZO L, JOVANOVIĆ A, PEZO M, et al. Modified screw conveyor-mixers-Discrete element modeling approach [J]. Advanced Powder Technology, 2015, 26(5): 1 391-1 399.
- [10] 程韦武, 庞莲香, 蓝同平. 螺旋输送机的设计[J]. 现代制造技术与装备, 2018(4): 1-3.
- [11] 贾朝斌, 程珩. 螺旋输送机参数化设计方法研究[J]. 机械设计与制造, 2015(4): 206-208, 213.
- [12] 戚江涛, 李亚萍, 蒙贺伟, 等. 螺旋给料装置研究现状分析及建议[J]. 新疆农垦科技, 2017, 40(10): 30.
- [13] (上接第78页)
- [22] LI Cong-xin, GUO Tian-ying, ZHOU De-zhong, et al. A novel glutathione modified chitosan conjugate for efficient gene delivery[J]. Journal of Controlled Release, 2011, 154(2): 177-188.
- [23] VERHEUL R J, AMIDI M, VAN D W S, et al. Synthesis, characterization and in vitro biological properties of-methyl free, -trimethylated chitosan[J]. Biomaterials, 2008, 29(27): 3 642-3 649.
- [24] 董炎明, 毕丹霞, 赵雅青, 等. 十一种壳聚糖衍生物的紫外吸收特性[J]. 应用化学, 2005, 22(10): 1 050-1 054.
- [25] 刘晓丽. 壳寡糖一曲酸衍生物的制备及其抗菌活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 18-23.
- [26] BOZIC M, GORGIEVA S, KOKOL V. Laccase-mediated functionalization of chitosan by caffeic and gallic acids for modulating antioxidant and antimicrobial properties [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(4): 2 388-2 398.
- [27] NIU Xu-feng, LIU Zhong-ning, HU Jiang, et al. Microspheres Assembled from Chitosan-Graft-Poly (lactic acid) Micelle-Like Core-Shell Nanospheres for Distinctly Controlled Release of Hydrophobic and Hydrophilic Biomolecules[J]. Macromolecular Bioscience, 2016, 16(7): 1 039-1 047.
- [28] WORANUCH S, YOKSAN R, AKASHI M. Ferulic acid-coupled chitosan: Thermal stability and utilization as an antioxidant for biodegradable active packaging film[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 115: 744-751.