

吨袋包装机料仓额定容量设计计算方法研究

苏俊明, 李振亮, 李亚, 刘宝华

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: **目的** 研究在设计吨袋包装机料仓时计算料仓设计额定容量大小的方法。**方法** 通过分析、简化包装机的工作过程和整个工作循环中料仓内物料量变化趋势,研究料仓在正常工作中应满足的要求和料仓内物料最大量,从而根据料仓内最大物料量设计料仓额定容量。**结果** 包装机料仓内最大物料量取决于料仓进料速度、排料速度以及包装规格等参数,在连续正常工作中料仓内物料最大量与料仓进料速度、排料速度和包装规格等参数存在确定的关系,可根据已知的料仓进料速度、排料速度和包装规格等参数求得料仓最大物料量。**结论** 在保证料仓连续稳定供料且不出现溢料的条件下,提出了一种设计料仓额定容量的计算方法,由此可求得包装机料仓的设计额定容量。

关键词: 包装机; 料仓; 给料速度; 容量; 计算

中图分类号: TB486

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)07-0095-06

Calculation Methods for Rated Capacity Design of Hopper in Ton Bag Packing Machine

SU Jun-ming, LI Zhen-liang, LI Ya, LIU Bao-hua

(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the method of calculating the designed hopper rated capacity of ton bag packing machine when designing its hopper. **Methods** By analyzing and simplifying the work process of the packaging machine and the change trend of granular materials in the hopper during the whole working cycle, the requirements to be fulfilled by the hopper and the maximum amount of material in the hopper were studied, and the hopper rated capacity was designed based on the maximum amount of material in the hopper. **Results** The maximum amount of material in the hopper depended on the feeding rate, the nesting rate and the packaging specifications, and there were clear relationships among them. Therefore, the maximum amount of material in the hopper could be calculated based on the known parameters such as feeding rate, nesting rate and packaging specifications. **Conclusion** Under the prerequisite of ensuring the continuous and stable nesting of the hopper and avoiding overflow, a method was proposed for the calculation of designing hopper rated capacity, through which the designed rated capacity for the hopper of packing machine could be calculated.

KEY WORDS: packaging machines; hoppers; feed speed; capacity; calculation

料仓包括仓筒与料斗,在粉状、颗粒状散物料称重式吨袋包装机中具有重要作用,主要包括接料缓冲、定时放料以及协调生产线等作用。包装机中料仓的设计很重要,设计不当可能导致排料不畅、溢料等

问题,从而影响包装范围和精度,甚至影响整条生产线正常工作,给设备调试带来很大麻烦。目前关于料仓结构设计方面的文献比较多,如文献[1—7]都不同程度地介绍了料仓设计中料斗半锥角、料口尺寸等参

收稿日期: 2014-01-03

基金项目: 科技人员服务企业计划(2009GT1300009)

作者简介: 苏俊明(1989—),男,内蒙古人,天津科技大学硕士生,主攻自动机械设计与控制技术。

通讯作者: 李振亮(1953—),男,天津人,天津科技大学教授、博士生导师,主要研究方向为自动机械设计与控制技术。

数确定原则。然而关于料仓设计额定容量的计算方法却未见报道,长期以来主要靠经验确定。料仓的额定容量是指设计料仓在不溢料时最多允许容纳物料的量,显然料仓额定容量设计不当就不能很好地发挥其作用,甚至影响包装机的正常工作。料仓额定容量并不是越大越好,只有研究清楚料仓容量与包装机各参数之间的定量关系,由此关系而合理计算出的料仓额定容量才最合理。为此,文中欲通过分析连续工作的包装机中料仓内物料量变化规律,探索不同工况对料仓容量的需求,找出吨袋包装机及此类包装机的料仓额定容量设计计算方法。

1 包装机工作过程与料仓应用形式

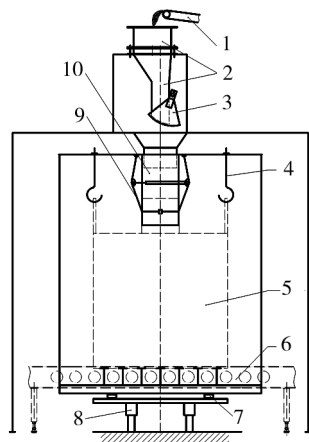
1.1 包装机工作过程

一般吨袋包装机的基本构成为:料仓、给料器、称重系统、运输机等,其中料仓包括料斗和仓筒(见图1中的2),给料器有料门式、螺旋式、振动式等形式。在一般连续包装生产中,带输送机等散料输送机械不断将散颗粒物料输送到料仓中,同时料仓中储存的颗粒物料经给料器定时定量流入袋中。某料门给料称重下置式吨袋包装机结构见图1。包装机工作时,先将袋套在导料筒上并用压袋机构压紧,同时将袋的吊耳挂在挂钩上。然后给料器以一定速度将料仓内颗粒物料送入袋内,同时称重系统不断称量、统计袋内物料质量,袋内物料达到包装要求后给料器停止给料,完成一袋包装。最后将已装好的袋运走,开始下一袋的包装。在整个包装过程中,带输送机不断将散颗粒物料送入料仓中。

图1中给料方式为料门式给料,通过控制料门的开合实现给料,料门处于不同位置实现不同的给料速度,物料完全靠自身重力流入袋中。其他给料方式中料仓的安装方式与料门式类似,料仓出料口接螺旋给料器或振动给料器的进料口,通过调节螺杆的转速或振动电机的振动频率、幅度等实现给料速度的调节。

1.2 包装机工作循环图

包装机的给料可分为2级给料和3级给料,2种给料方式的区别在于2级给料只有粗给料和精给料,而3级给料还有半精给料。3级给料精度一般会更高,过冲现象较弱,但是结构相对复杂。一般情况下2级给料就可满足要求,文中以2级给料方式进行研



1. 散料输送带 2. 料仓: 仓筒、料斗 3. 料门 4. 挂钩 5. 包装袋 6. 辊输送机 7. 称重传感器 8. 称重模块运动机构 9. 压袋机构 10. 导料筒

图1 某吨袋包装机结构

Fig. 1 Structure of a ton bag packing machine

究,3级给料分析方法类似。

若以粗给料开始时刻为一个工作循环起点,则包装机的工作循环过程为:粗给料—精给料—停料等待—脱袋—运离已装好袋—上袋夹紧—安全等待。由此可作出包装机的工作循环图,在忽略机构启动停止以及2级给料切换等过度过程的情况下,可得在一个工作周期 $T(s)$ 内包装机工作循环见图2。

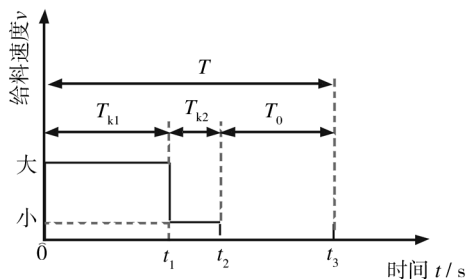


图2 包装机工作循环

Fig. 2 Working cycle of packaging machine

从图2可知,在循环起始时刻(即0时刻)开始粗给料,粗给料时间为 T_{k1} ; t_1 时刻开始精给料,精给料时间为 T_{k2} 后达到包装质量,在 t_2 时刻停止给料,完成给料的一个循环过程; T_0 为停料等待、脱袋、运离已装好袋、上袋夹紧等辅助时间,到 t_3 时刻以后开始另一个包装循环。此处选择粗给料开始时刻为工作循环起点是为了分析简便,也可选择其他时刻作为工作循环起点,其所包含的阶段和意义都基本相同,分析方法也类似。

2 料仓内物料量的影响因素与动态变化情况

料仓的直接作用是存放散颗粒物料,因此需要知道料仓内物料存量的变化情况,才能更好地确定料仓额定容量。

2.1 料仓模型简化

连续包装中,料仓不断有物料流入,定时有物料流出,料仓内物料一直处于动态变化中。实际包装过程中一般要求给料机构提供一个稳定的给料速度,以保证包装精度,且传输带等散料输送机将颗粒物料送入料仓的速度基本恒定。由此忽略进出料速度波动的情况下,料仓可看成是一个以相对恒定的速度连续进料、定时放料的恒容积容器,容器的容积为料仓额定容量。

料仓内物料量的影响因素主要是散颗粒物料流入料仓的速度即料仓进料速度、料仓流出物料的速度即排料速度以及进料和排料时间,知道这些因素的关系就能知道料仓内物料量的变化情况。

2.2 料仓内物料量的动态变化情况

以图2所示的工作循环图为例,设颗粒物料稳定连续流入料仓的平均速度为 v_0 (kg/s),工作循环起始时刻料仓内颗粒物料量为 m_0 (kg),粗给料速度为 v_1 (kg/s),精给料速度为 v_2 (kg/s) 且 $v_2 < v_1$,一袋的额定质量为 M (kg)。记任意时刻料仓内剩余物料量为 Q_t ,则一个包装周期内料仓内物料量可表示为:

$$\begin{cases} Q_t = m_0 + (v_0 - v_1)t & 0 \leq t \leq t_1 \\ Q_t = m_0 + v_0 t - T_{k1} v_1 - (t - t_1) v_2 & t_1 \leq t \leq t_2 \\ Q_t = m_0 + v_0 t - M & t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases} \quad (1)$$

对于长期连续工作的包装机,理想状态是一个工作周期内输送机送入料仓内物料的质量与 M 相同,从而每袋包装工作周期开始时刻料仓内颗粒物料量基本相同并等于最初料仓内的物料量,即每个周期的 m_0 基本相等。此时有 $v_0 = M/T$, $T = T_{k1} + T_{k2} + T_0$ 为一个包装周期,单位为 s。若粗给料时共给料 m_1 ,精给料共给料 $m_2 = M - m_1$,则 $v_1 = m_1/T_{k1}$, $v_2 = m_2/T_{k2} = (M - m_1)/T_{k2}$ 。由于 $T_{k2}, T_0 > 0, m_1 < M, v_2 < v_1$,故有 $v_0(T_{k1} + T_{k2}) < v_0 T = M = v_1 T_{k1} + v_2 T_{k2} < v_1(T_{k1} + T_{k2})$,所以必有 $v_0 < v_1$ 。

实际上 v_0 不一定等于 M/T ,由此需要按 $v_0 = M/T$, $v_0 < M/T$ 以及 $v_0 > M/T$ 3 种情况讨论料仓内物料量变

化,并相应地作出 3 条变化曲线,见图 3。

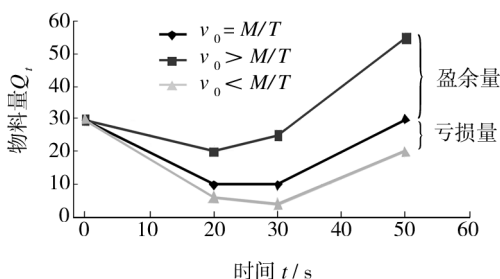


图3 料仓内物料变化趋势

Fig. 3 Changing trends of the material in hopper

当 $v_0 = M/T$ 时,由上分析可知 $v_0 < v_1$,粗给料时流入料仓内的颗粒物料始终大于料仓排出的物料,粗给料期间料仓内物料在减少。但由于 $v_0 T = M$,完成一袋包装工作循环后料仓内物料量不变。

当 $v_0 > M/T$ 时,若 $v_0 > v_1 > v_2$ 则整个工作过程中料仓内物料都在增加;若 $M/T < v_0 < v_1$,则在粗给料时,由于排料速度 v_1 大于进料速度 v_0 ,因此料仓内总物料下降。由于 $v_0 > M/T, v_0 T > M$,所以一个包装周期内流入料仓内物料多于料仓排出的物料,每完成一袋包装料仓内物料会增加 $v_0 T - M$,出现“盈余”。

当 $v_0 < M/T$ 时,显然 $v_0 < v_1$,粗给料时流入料仓内物料始终大于料仓排出的物料,粗给料期间料仓内物料在减少。但是由于 $v_0 < M/T, v_0 T < M$,一个包装周期内流入料仓内物料少于料仓排出的物料,即每完成一袋包装料仓内物料量都会减少 $M - v_0 T$,出现“亏损”。

图3中3条曲线分别表示不同的 v_0, v_1, v_2 所对应料仓内物料量的变化趋势及相互关系,并不表示实际物料量的多少与变化速度的具体值。

3 料仓设计时额定容量计算方法

料仓额定容量的设计原则是保证料仓能够正常可靠发挥效用,主要取决于正常包装时料仓最大物料量和料仓容许物料量波动的大小。由2.2节可知,不同的 $v_0, v_1, v_2, T_{k1}, T_{k2}, T_0, m_0$ 及 M 对应不同的料仓内物料最大量,但是同一种 v_0, v_1, v_2 对应物料最大量出现点基本相同,由此只要知道这些设计参数就可以求得一个工作周期内物料最大量,从而可预测整个工作过程中物料的最大量。因此设计料仓额定容量至少应保证料仓在其内物料量达到最大时仍然不出现溢料。

考虑到料仓进、排料速度等的波动以及工作过程

中可能出现临时停机等情况,文中利用公式(2)来计算料仓额定容量:

$$M_d = S \times M_q + T_s \times v_0 \quad (2)$$

式中: M_d 为料仓设计额定容量, kg; M_q 为计算额定容量, kg, 对应由理论分析直接求得的料仓内最大物料量; S 为理想状况与实际情况会出现偏差而增加的安全系数; T_s 为包装机和散料输送机二者之一可能出现停机情况而增加的设计允许停机时间, s。包装机停机时, 料仓需要继续接收带输送机送来的物料; 相反, 如果带输送机需要停机时, 料仓也需要有足够空间提前多容纳一定物料以应对物料断供情况。若已知物料堆积密度为 ρ 的情况下, 可求得料仓设计额定容积 $V = M_d \cdot \rho$ 。

3.1 保证料仓连续稳定排料的条件

包装机正常工作时, 为保证包装精度和工作的连续性, 料仓必须保证能够连续稳定供料, 因此料仓设计的重要原则是保证连续稳定供料, 即排料速度波动小、不出现断料现象。实际中有一个较好的措施就是料仓内始终有足够高的料位, 以减少排料速度变化, 防止出现断料现象。在此条件下, 设保证料仓连续稳定排料的最少料量为 $M_{\min}$, 这里称之为“稳定料量”, 则保证料仓连续稳定排料的条件就变为任意时刻 $Q_t \geq M_{\min}$, 代入式(1)得在一个周期内有:

$$\begin{cases} m_0 + (v_0 - v_1)t \geq M_{\min} & 0 \leq t \leq t_1 \\ m_0 + v_0 t - T_{k1} v_1 - (t - t_1) v_2 \geq M_{\min} & t_1 \leq t \leq t_2 \\ m_0 + v_0 t - M \geq M_{\min} & t_2 \leq t \leq t_3 \end{cases} \quad (3)$$

在忽略 v_0 和 v 波动的情况下, 只要保证在 $0, t_1$ 和 t_2 时刻料仓内物料都大于 $M_{\min}$ 即可, 则有:

$$\begin{cases} m_0 \geq M_{\min} \\ m_0 + T_{k1}(v_0 - v_1) \geq M_{\min} \\ m_0 + v_0(T_{k1} + T_{k2}) - M \geq M_{\min} \end{cases} \quad (4)$$

$M_{\min}$ 的选取没有统一标准, 根据不同的精度要求和物料特性选择。笔者认为如果条件允许可以选择 $M_{\min}$ 为料仓底部压力随着料位高度的增加变化很小时对应的料位, 即料位高度约为仓筒直径的 2~5 倍, 此时卸料速度不再随着料位的增加而增加^[8]。此外也可以增设释压锥, 来减少物料高度变化对排料速度的影响。

3.2 计算料仓额定容量 M_q 的方法

由于不同的 v_0, v_1 及 v_2 对应料仓内最大物料量

出现点不同, 因此按照不同的速度关系分别讨论料仓计算额定容量 M_q 的计算公式。

$$1) v_0 = M/T$$

由 2.2 节讨论可知, 每包装完一袋后料仓内物料量恢复到初始物料量, 那么整个包装过程中料仓最初物料量最多为 m_0 。由式(4)可得:

$$\begin{cases} m_0 \geq M_{\min} \\ m_0 \geq M_{\min} - T_{k1}(v_0 - v_1) \\ m_0 \geq M_{\min} + M - v_0(T_{k1} + T_{k2}) \end{cases} \quad (5)$$

则 $M_q = m_0$, 由于 $v_0 < v_1, v_0 - v_1 < 0$, 所以 $M_{\min} - T_{k1}(v_0 - v_1) > M_{\min}$, 即:

$$M_q = m_0 \geq \max \{ M_{\min} - T_{k1}(v_0 - v_1), M_{\min} + M - v_0(T_{k1} + T_{k2}) \} \quad (6)$$

$$2) v_0 < M/T$$

由 2.2 节分析可知, 每包装好一袋料仓内物料都将减少 $M - v_0 T$, 一段时间后料仓内物料将小于稳定料量 $M_{\min}$, 故不能保证稳定料仓稳定连续排料, 包装机也不能正常工作。显然包装开始时料仓需要加足够的料以应对每包装一袋出现的“亏损”, 由此包装机初始时刻料仓内物料最多, 即 $M_q = m_0$ 。那么在不停机的情况下能够包装的袋数 $n \leq (m_0 - m_0') / (M - v_0 T)$, m_0 为实际包装开始时料仓内物料量, m_0' 为满足包装一袋的最少初始料量, 即 m_0' 满足式(4)。若已知至少要包装完 n 袋后才可停机, 则料仓初始料量 $m_0 \geq n \times (M - v_0 T) + m_0'$, 故

$$\begin{cases} M_q = n \times (M - v_0 T) + m_0' \\ m_0' = \max \{ M_{\min} - T_{k1}(v_0 - v_1), M_{\min} + M - v_0(T_{k1} + T_{k2}) \} \end{cases} \quad (7)$$

$$3) v_0 > M/T$$

由 2.2 节分析可知, 每完成一袋包装料仓内物料都会增加 $v_0 T - M$, 如果料仓容量一定时, 一定时间后料仓内物料将超过料仓容量而出现溢料, 由此需要停止给料仓输送物料, 以消耗积累的物料。不停机能够连续包装的袋数 $n \leq (M_q - m_0) / (v_0 T - M)$ 。若已知至少要包装完 n 袋后才可停机, 则包装完 n 袋后料仓内物料最多, 所以有:

$$\begin{cases} M_q = n \times (M - v_0 T) + m_0 \\ m_0 = \max \{ M_{\min}, M_{\min} - T_{k1}(v_0 - v_1), M_{\min} + M - v_0(T_{k1} + T_{k2}) \} \end{cases} \quad (8)$$

3.3 安全系数 S 和设计停机时间 T_s 的选取

设计停机时间 T_s 主要是考虑到工作中可能出现

的突发情况,根据产品要求和工作机的可靠性确定具体时间,文中不具体限定。安全系数是对理想和实际出现偏差进行安全修正,防止出现溢料等情况。安全系数的选择与 v_0 和 v 的稳定性、料仓中料斗的对称性以及给料速度计算的准确性等有关,若 v_0 和 v 的变化较小,则安全系数取较小值,相反可取大;料斗结构对

称,安全系数可适当取大一点,反之适当取小,这是因为偏心料斗中流入料仓物料对物料流出速度的影响较小。根据这些安全系数影响因素,笔者认为安全系数值可借用齿轮设计中的载荷系数值,则可得安全系数参考值见表 1^[9]。

表 1 料仓额定容量安全系数参考值

Tab.1 Safety factor reference value of hopper rated capacity

进、排料速度 稳定性	均匀平稳		轻微波动		中等波动		强烈波动	
	对称	非对称	对称	非对称	对称	非对称	对称	非对称
均匀平稳	1.2~1.5	1.2~1.3	1.5~1.9	1.5~1.6	1.9~2.2	1.8~1.9	2.2~2.6	2.1~2.3
轻微波动	1.4~1.7	1.3~1.4	1.7~2.0	1.6~1.8	2.0~2.4	1.9~2.1	2.2~2.8	2.2~2.4
中等波动	1.6~1.9	1.5~1.6	1.9~2.2	1.9~2.1	2.2~2.6	2.1~2.3	2.5~3.0	2.4~2.6
强烈波动	1.9~2.3	1.8~2.0	2.2~2.6	2.2~2.4	2.5~3.0	2.4~2.6	2.8~3.4	2.7~2.9

4 应用实例

以图 1 所示某吨袋包装机为例,主要用于流动性较好的颗粒状散料包装,料门式给料,可长期连续工作,额定包装能力为 24 包/时,包装规格为 1000 千克/包,即 $T=150\text{ s}$, $M=1000\text{ kg}$ 。主要用于包装盐,堆积密度 $\rho=1300\text{ kg/m}^3$ 。 $v_0=M/T=6.667\text{ kg/s}$ 。粗给料时料门排料口尺寸为 $120\text{ mm}\times210\text{ mm}$,给料量为目标质量的 98%;精给料时排料口尺寸为 $50\text{ mm}\times50\text{ mm}$,给料到目标值 1000 kg 。

该包装机由于是料门式给料,物料靠重力自由落下,料仓设计为整体排料以保证卸料速度稳定、卸料密度均匀等^[8],粗、精给料速度可认为是定值。此处

给料速度由文献[8]中提供的公式 $W=4\sqrt{\frac{2\lambda}{\pi}}\rho g^{0.5}(S-kd_p)(B-kd_p)^{1.5}\times(B_h-kd_p)^{0.5}$ 计算,也可以实测得到。式中: W 为卸料流量, kg/s ; λ 为流动系数; ρ 为物料密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; S 为矩形卸料口长度, m ; B 为矩形卸料口宽度, m ; k 为粉体颗粒常数; d_p 为平均颗粒直径, m ; B_h 为当量直径 ($B_h=A/L$, L 为卸料口周长), m 。

以盐为例进行计算,粗给料时参数: $\lambda=0.58$, $S_1=0.21\text{ m}$, $B_1=0.12\text{ m}$, $k_1=1.4$, $d_p=0.85\times10^{-3}\text{ m}$, $B_{h1}=0.0382\text{ m}$ 。精给料时参数: $\lambda=0.58$, $S_2=0.05\text{ m}$, $B_2=0.05\text{ m}$, $k_2=1.4$, $d_p=0.00085\text{ m}$, $B_{h2}=0.0125\text{ m}$ 。代入计算得 $v_1=16.273\text{ kg/s}$, $v_2=16.273\text{ kg/s}$, $T_{k1}=61\text{ s}$, $T_{k2}=36.5\text{ s}$, $T_0=52.5\text{ s}$ 。

设计稳定供料最低料位为 $h_{\min}=1050\text{ mm}$, $V_{\min}=0.0587\text{ m}^3$, $M_{\min}=V_{\min}\times\rho=76.33\text{ kg}$,取 $M_{\min}=77\text{ kg}$ 。

由式(6)可得 $M_q=m_0\geq\max\{M_{\min}-T_{k1}(v_0-v_1),M_{\min}+M-v_0(T_{k1}+T_{k2})\}=\max\{665\text{ kg},427\text{ kg}\}$,取 $M_q=m_0=665\text{ kg}$ 。

安全系数取 $S=1.3$, $T_s=30\text{ s}$,代入式(2)得:

$M_d=M_q\times S+v_0\times T_s=1065\text{ kg}$,料仓额定容积 $V=M_d/\rho=0.8192\text{ m}^3$

如果仓筒截面设计为 $272\text{ mm}\times272\text{ mm}$,仓筒高度 $h\approx V\times10^9/(272\times272)=11\,072\text{ mm}$,可见仓筒需要特别高,因此需要增大仓筒截面。最终料仓设计结果见图 4。

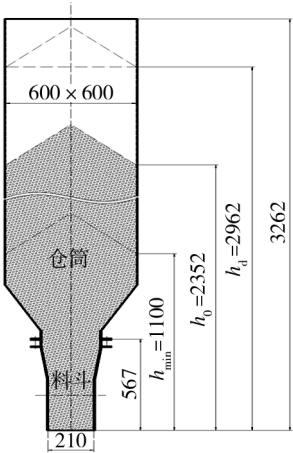


图 4 料仓设计结果
Fig.4 Hopper design results

$h_{\min}=1100\text{ mm}$; $V_{\min}=0.151\text{ m}^3$;
 $M_{\min}=V_{\min}\times\rho=196.622\text{ kg}$; $M_q=m_0=782.622\text{ kg}$;

$$h_0 = 2352 \text{ mm}, h_d = 2962 \text{ mm}, M_d = 1068 \text{ kg}$$

5 结语

在保证料仓连续稳定排料的条件下,提出了料仓设计时额定容量计算公式。依据此公式,只要知道料仓稳定料量 $M_{\min}$ 、额定质量 M 、粗给料速度 v_1 、精给料速度 v_2 、粗、精给料时间 T_{k1} 和 T_{k2} ,及给料仓加料的速度 v_0 等参数,可求得料仓初始料量 m_0 和料仓计算额定容量 M_q ,从而求得料仓设计额定容量 M_d 。文中所提出的料仓额定容量设计计算公式可用于吨袋包装机和类似包装机的料仓设计,同时可用于料仓的改装或料仓进料速度匹配的计算中。最后文中通过将所提出的算法进行实例计算应用,根据经验判断计算结果可行,说明该公式可以作为吨袋包装机料仓额定容量设计计算方法。

参考文献:

- [1] 赵金郁. 关于料斗设计若干问题的探讨[J]. 港口装卸, 1997(2): 6—8.
ZHAO Jin-yu. Discussed Some Problems of Hopper Designing[J]. Port Operation, 1997(2): 6—8.
- [2] 李诚, 张秀坤. 粉体料仓的设计[J]. 齐鲁石油化工, 2002, 30(1): 64—67.
LI Cheng, ZHANG Xiu-kun. Powder Hopper Design[J]. Qilu Petrochemical Technology, 2002, 30(1): 64—67.
- [3] 陆厚根. 粉体整体流料仓最小卸料口径的理论探讨[J]. 水泥, 1985(6): 3—7.
LU Hou-gen. Theoretical Study of Smallest Caliber of Overall Flowing Powder Hopper[J]. Cement, 1985(6): 3—7.
- [4] 李志义, 王淑兰, 丁信伟. 粉体料仓的设计[J]. 化学工业与工程技术, 1999, 20(4): 11—15.
LI Zhi-yi, WANG Shu-lan, DING Xing-wei. Powder Hopper Design[J]. Journal of Chemical Industry & Engineering, 1999, 20(4): 11—15.
- [5] 张耀金. 重力流动料仓的功能设计[J]. 南京化工学院学报, 1994, 16(3): 66—70.
ZHANG Yao-jin. Gravity Flow Hopper Functional Design[J]. Journal of Nanjing University of Chemical Technology, 1994, 16(3): 66—70.
- [6] 李志义, 王淑兰, 丁信伟. 粉体物料和料斗材料对料仓流型的影响[J]. 化学工业与工程技术, 2000, 21(1): 12—14.
LI Zhi-yi, WANG Shu-lan, DING Xing-wei. Powder Material Impact on the Silo and Hopper Material Flow Patterns[J]. Journal of Chemical Industry & Engineering, 2000, 21(1): 12—14.
- [7] 李志义, 王淑兰, 丁信伟. 如何确定料仓卸料口尺寸[J]. 化工装备技术, 1999, 20(6): 44—46.
LI Zhi-yi, WANG Shu-lan, DING Xing-wei. How to Determine the Size of the Hopper Discharge Port[J]. Chemical Equipment Technology, 1999, 20(6): 44—46.
- [8] 李志义, 周一卉, 由宏新. 料仓的卸料流动[J]. 化工装备技术, 1999, 20(6): 39—43.
LI Zhi-yi, ZHOU Yi-hui, YOU Hong-xin. The Flow When Silo Unloader[J]. Chemical Equipment Technology, 1999, 20(6): 39—43.
- [9] 陈秀宁, 顾大强. 机械设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010.
CHEN Xiu-ning, GU Da-qiang. Mechanical Design[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2010.
- [10] 王梅. 包装托盘结构设计软件的开发[J]. 包装工程, 2013, 34(1): 56—59.
WANG Mei. Development of Structural Design Software of Packaging Pallet[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 56—59.
- [11] 杨冠林, 吴传续. 机械产品运输包装设计的标准化流程研究[J]. 包装工程, 2012, 33(19): 142—144.
YANG Guan-lin, WU Chuan-xu. Research on Standard Operating Procedure in Transport Packaging Design of Mechanical Product[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19): 142—144.
- [12] PASDARPOUR M, GHAZAVI M, et al. Optimal Design of Soil Dynamic Compaction Using Genetic Algorithm and Fuzzy System[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2009, 29: 1103—1112.
- [13] 李晓刚. 基于 Matlab/Simulink 的缓冲包装系统动态响应及影响因素分析[J]. 包装工程, 2011, 32(1): 65—68.
LI Xiao-gang. Analysis of Dynamic Response and Influencing Factors of Cushioning Package Based on Matlab/Simulink[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(1): 65—68.
- [14] 李志强, 邢月卿. 包装冲击试验机研究与设计[J]. 包装工程, 2010, 31(17): 4—6.
LI Zhi-qiang, XING Yue-qing. Research and Design of Package Impact Testing Machine[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17): 4—6.
- [15] Aniterated Local Search Heuristic for Multicapacity Bin Packing and Machine Reassignment Problems[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(13): 5266—5275.
- [16] 杨祖彬, 曾莉红. 基于食品安全的我国食品包装机械技术发展路径探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(13): 117—121.

参考文献:

- [1] FENG Xiao-fei, JI Xing-zhong. A Blind Watermarking Method with Strong Robust Based on 2D-barcode [C]//2009 International Conference on Information Technology and Computer Science, 2009:452—456.
- [2] VONGPRADHIP S, RUNGRAUNGSILP S. QR Code Using Invisible Watermarking in Frequency Domain [C]//2011 Ninth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2012:47—52.
- [3] WANG Hui-qin, SHANG Fei, et al. Robust Digital Watermarking Adopting Barcode in Image [C]//The 1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE2009), 2009:660—662.
- [4] 孙刘杰, 王子煜. 一种新的安全鲁棒全息数字水印技术 [J]. 包装工程, 2013, 34(1):106—109.
SUN Liu-jie, WANG Zi-yu. A New Holographic Digital Watermarking Technology with Good Security and Robustness [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1):106—118.
- [5] 王子煜, 孙刘杰, 等. 强鲁棒性 QR 码水印技术 [J]. 包装工程, 2012, 33(15):84—87.
WANG Zi-yu, SUN Liu-jie, et al. QR Code Watermark Technology with Strong Robustness [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15):84—87.
- [6] 孙刘杰, 庄松林. 双随机相位加密全息标识防伪技术研究 [J]. 光学学报, 2007, 27(1):31—34.
SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Anti-fake Technique by Double Random Phase Encrypted Holographic Mark [J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(1):31—34.
- [7] 孙刘杰, 庄松林. 双随机相位加密同轴傅里叶全息水印防伪技术 [J]. 光学学报, 2007, 27(4):621—624.
SUN Liu-jie, ZHUANG Song-lin. Forgery Prevention Based on Inline Fourier Holographic Watermark with Double Random Phase Encryption [J]. Act, 2007, 27(4):621—624.
- [8] 李孟涛, 孙刘杰, 等. 基于小波变换的傅里叶加密印刷水印算法研究 [J]. 包装工程, 2012, 33(1):108—112.
LI Meng-tao, SUN Liu-jie, et al. Research on Fourier Encryption Printing Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1):108—112.
- [9] 李孟涛, 孙刘杰, 等. 变换域加密全息水印算法 [J]. 包装工程, 2011, 32(15):22—24.
LI Meng-tao, SUN Liu-jie, et al. Encrypted Holographic Watermarking Algorithm Based on Transform Domain [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15):22—24.
- [10] 李晨璐, 孙刘杰, 李孟涛. 强鲁棒性全息水印算法 [J]. 包装工程, 2012, 33(13):104—107.
LI Chen-lu, SUN Liu-jie, LI Meng-tao. Robust Holographic Watermarking Algorithm [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13):104—107.
- [11] 卢鹏, 刘真. 基于归一化的全息水印技术 [J]. 包装工程, 2013, 34(1):115—118.
LU Peng, LIU Zhen. Holographic Watermark Technology Based on Image Normalization [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1):115—118.
- [12] 黄素娟, 王杜瑶, 等. 基于小波变换的硬拷贝全息水印 [J]. 光电子·激光, 2011, 22(9):1415—1420.
HUANG Su-juan, WANG Du-yao, et al. Hardcopy Hologram Watermarking Based on Discrete Wavelet Transform [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2011, 22(9):1415—1420.
- [13] 肖菲菲, 刘真. 二维码防伪技术在可变数据印刷中的应用 [J]. 包装工程, 2011, 32(21):102—109.
XIAO Fei-fei, LIU Zhen. Application of Anti-counterfeiting Technology Based on Two-dimensional Bar Code in Variable Data Printing [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21):102—109.
- [14] GB/T 18284—2000, 快速响应矩阵 [S].
GB/T 18284—2000, QR Code [S].
- [15] 邹雄, 刘国栋, 等. QR 码图像预处理中的滤波研究 [J]. 应用光学, 2010, 31(3):413—417.
ZOU Xiong, LIU Guo-dong, et al. Filtering for QR Code Image Pre-processing [J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(3):413—417.
- [16] 周欢伟, 陈新, 陈新度. 基于属性约束的食品包装机械优化设计规划和算法 [J]. 包装工程, 2011, 32(21):7—10.
ZHOU Huan-wei, CHEN Xin, CHEN Xin-du. Optimum Design Planning and Algorithm of Food Packaging Machine Based on Attribute Constrains [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21):7—10.
- [17] YIN Wang, YONG Lu, JIN Y. Numerical Modelling of Dynamic Pressure and Flow in Hopper Discharge Using the Arbitrary Lagrangian-eulerian Formulation [J]. Engineering Structures, 2013, 56:1308—1320.

(上接第 99 页)

- YANG Zu-bin, ZENG Li-hong. Discussion on Technical Development Path of China's Food Packaging Machine Based on Food Safety [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13):117—121.
- [17] YIN Wang, YONG Lu, JIN Y. Numerical Modelling of Dynamic Pressure and Flow in Hopper Discharge Using the Arbitrary Lagrangian-eulerian Formulation [J]. Engineering