

基于散体力学的大型埋刮板粮食卸船机提升机理研究

童民慧^{1,2},王悦民²,李涛²

1. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 201804

2. 上海海事大学 物流工程学院, 上海 201306

摘要:为实现大宗粮食散货的卸船设备的大型化、高效化、低能耗化、低污染化方面的发展,本文基于散体力学仿真建模方法,分析了散料粮食在离开船舱料堆时的受力情况,确立了刮板之间的距离对稳定输送的影响,物料的运行阻力与间距的关系,并验证了埋刮板卸船机的实际应用效果。结果表明:当刮板间距很小的时候,则刮板背面会增加与物料运动方向相反的压力,从而降低链条对被输送物料的作用效率,刮板间距过大将导致物料在机槽内运动时各层物料间产生相对滑移;间距过小又会使牵引构件重量增加,从而增加功率的消耗。最合理的刮板间距可以为卸船机设计提供理论指导。

关键词:散体力学;埋刮板卸船机;侧压力系数

中图分类号: U653.921

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2015)05-0761-04

The Elevating Principle for Grain Ship Unloader with Embedded Scraper Based on Bulk Mechanics

TONG Min-hui^{1,2}, WANG Yue-min², LI Tao²

1. School of Mechanical Engineering/Tongji University, Shanghai 201804, China

2. College of Logistics Engineering/Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China

Abstract: In order to realize the high efficiency, low energy consumption and low pollution in a bulk unload, this paper analyzed the stress of bulk grain when it leaved ship's hold, established the effect of distance between scrapers on the stable convey and the relation between running resistance and spacing, and got a proof for an application to the unload ship with embedded scraper. The results showed that the back of scraper could increase a pressure to move an opposite direction with a material so as to low the function efficiency of chain to material. Too much spacing between scrapers would lead to the relative slippage among material layers, however too small spacing could also increase the weight of pull components to increase the consumption of power. The most reasonable scraper spacing could provide a theoretical guidance for the design.

Keywords: Bulk mechanics; ship unloader with embedded scraper; coefficient of lateral pressure

随着大宗散货的运输量不断增加和散货船舶的日趋大型化,大宗干散货的卸船设备朝着大型、高效、低能耗、低污染的方向发展。我国正在开发研制各种新型的连续卸船机械。连续卸船机可分为气力式和机械式两大类,机械式连续卸船机又可根据取料或提升构件的特性再细分为链斗卸船机、斗轮卸船机、双带式卸船机、波纹挡边带式卸船机、埋刮板卸船机等^[1]。埋刮板卸船机^[2]作业的对象主要是粮食,所以散粒物料在刮板中的受力情况是主要研究的问题。

物料之所以能够被中空的埋刮板从船舱中提升到地面皮带系统中,是因为物料与物料之间的内摩擦力比较大,能够克服重力引起的剪切应力,在提升的过程中物料可以组成连续的整体。空心的埋刮板提升物料是利用散粒物料颗粒间的内摩擦力大于物料与料槽之间的外摩擦力的原理。分析物料在离开插入区域时的受力情况。刮板与刮板之间的距离对稳定输送的影响。物料的运行阻力与间距的关系。刮板与机槽之间的间隙研究分析。

文中拟以散体力学为理论基础,将其与埋刮板卸船机相结合,提出刮板提升物料的机理描述,确定物料的提升受力,分析运行阻力与刮板间距的关系^[3],从而实现刮板对散货物料的提升,最后埋刮板卸船机在散货粮食中的应用^[4]。

1 侧压力

散体力学是研究散粒体的平衡和运动的学科^[5],在解决散粒体平衡问题时,常需预先给出散粒

收稿日期: 2014-08-05

修回日期: 2014-09-10

基金项目: 国家科技部 863 重点项目:集装箱自动化码头装备及示范(2009AA043000)

作者简介: 童民慧(1979-),男,江苏扬州人,讲师,在职博士,主要从事大型机械建模与仿真研究。E-mail:tongminhui2008@163.com

体在某一方向上的压应力。如远离存仓壁处的垂直应力，在连续牵引的输送机中刮板作用在所输送物料上的压力等。一定方向上的压力是解决问题的初始值，将有条件地成为作用压力。

1.1 理想状态散粒体的活动系数

最小的侧压力系数称之为散粒物料的活动系数 $m=n_{\min}$ 。散粒体的极限平衡方程为 $\tau=f\cdot\sigma$ 式中： f —物料的内摩擦系数^[6]。莫尔圆见图 1。

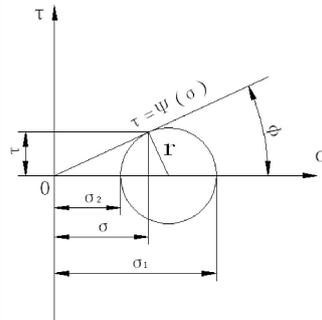


图 1 理想散粒介质活动系数的应力图

Fig.1 The stress of ideal bulk medium activity coefficient

由莫尔圆可知物料的活动系数：

$$m = n_{\min} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\frac{r}{\sin \varphi} - r}{\frac{r}{\sin \varphi} + r} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \tag{1}$$

其中： φ —物料的内摩擦角

由此可见，对理想散粒体活动系数与正压力值无关，对于理想的散粒体来说物料的活动系数是一个常量。

1.2 散粒体内的局部应力

作用于散粒体上较小区域内的应力，称之为局部应力。局部应力的大小明显的不同于作用在相邻区域内的应力。连续牵引埋刮板输送机的轮廓刮板，在被输送物料上产生的压力是局部应力的实例。作用在轮廓刮板上与物料接触表面上，其值可超过物料作用在容器壁上的很多倍。

1.3 局部压力的扩散区域

依据散货力学中侧压力的规定；侧压力系数的定义；理想状态下散粒物料的活动系数 m ；散粒体在斜截面上的侧压力系数。以及埋刮板输送机的刮板产生局部应力影响的扩散区域，确定了刮板间距不应该过小，应该符合上述公式。

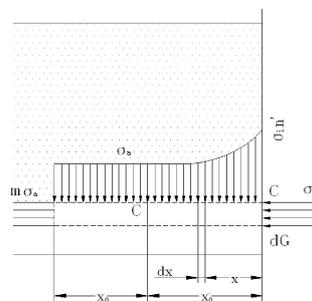


图 2 局部压力的扩散区域

Fig.2 Diffusion region of local pressure

$$x+x' = \frac{S}{2m \cdot f} \left(\frac{\ln \sigma_i \cdot m}{\sigma_a} + 1 - m^2 \right) \tag{2}$$

2 埋刮板垂直输送的力学模型

垂直埋刮板系统的是由刮板链条和链轮组成的。作业时刮板取料头直接插入物料中,物料从侧面流入,通过在封闭矩形钢槽中高速运转的刮板链条,利用散粒物料颗粒间的内摩擦力大于物料与料槽间的外摩擦力,使物料成整体输送,实现物料的垂直提升^[7]。

2.1 两刮板之间物料的受力分析

当机槽内的物料到达一定高度时,便具有足够的压力和内摩擦力,形成了稳定的整体被刮板向上推送。此时,每一个刮板所承受的载荷都是相同的,即一个刮板的推力恰好能够克服两个刮板之间物料的重力与机槽摩擦力之和。

2.2 离开插入区域物料提升受力分析

当输送的物料确定的时候,物料的容重,物料的内摩擦系数及物料的活动系数就为一个常数。那么物料的水力半径 R 越大物料的侧压力就越大,物料和物料之间的内摩擦就越大,越有助于物料的输送;但是侧压力越大的同时,物料在机槽中的运行阻力就越大消耗的能量就越大。

2.3 两刮板之间距离的选择

刮板间距也是一个重要的参数之一^[8]。间距过大,会导致物料在料槽中运动时各层物料产生相对的滑动,增加动力的消耗;间距过小,又会使链条重量增加,各层物料之间受力状态相互影响,也增加了功率消耗。

埋刮板输送机的刮板在输送物料时,较小尺寸的刮板产生了局部应力。刮板之间的距离应该超过刮板在物料上传递的范围,否则刮板背面会出现与物料运动方向相反升高的压力,从而降低链条对被输送物料的作用效率。所以两刮板的间距应该超过刮板在物料上压力的传递范围,则:

$$h \geq x_o' + x_o \quad (3)$$

其中:

$$x_o' + x_o = \frac{Sn}{2 \cdot f \cdot m} \cdot (\ln \frac{P_i \cdot m}{P} + 1 - m^2) \quad (4)$$

2.4 运行阻力

对于每一节物料来说,在平稳运行过程中受到六个力的作用^[9],其中总的运行阻力 W 包括机槽对物料的摩擦阻力 N_3 和自身的重力 G 。

$$W = h \cdot [2(B + L) \cdot P \cdot f_1 + B \cdot L \cdot \gamma \cdot g \cdot K_y \cdot K_e] \quad (5)$$

从上式可以看出刮板和刮板的间距越大,物料运行的阻力也就越大,刮板上承受的力也就越大。

2.5 刮板与槽壁间隙的确定

刮板与槽壁的间隙过大,会使物料相对于链条的滞后速度加大,从而降低输送效率。如果间隙较小,又容易引起物料在其中卡住,不仅要增加动力消耗,而且会使刮板链条与槽壁的磨损加剧。因此,正确选定间隙是保证埋刮板卸船机正常工作、减少能耗以及延长使用寿命的重要因素。

$$\delta = \frac{(f - f_1) \cdot P \cdot L}{2 f_1 \cdot P + L \cdot \gamma \cdot g} \quad (6)$$

表1 刮板与机槽的间隙

Table 1 The clearance between the machine slot and scraper

刮板宽度范围 (mm)	Range of width	73~130	130~230	230~580
每边的间隙 (mm)	Clearance among sides	6	9	13

3 实例分析

某港口埋刮板连续卸船机输送小麦、大豆等谷物^[10],垂直埋刮板机槽的宽度为 $B=430$ mm、长度为 $L=430$ mm、小麦的堆积密度 0.75×10.6 kg/mm³,内摩擦角为 $\gamma=35^\circ$,物料的内摩擦系数 $f=0.7002$,

活动系数 $m=0.27099$, 物料的压实系数 $K_y=1.1$, 物料的填充系数 $K_e=0.97$, 小麦与机槽的摩擦系数 $f_i=0.5$, 离开插入区域物料的水力半径 $R=34.13 \text{ mm}$, 刮板型式是确定的, 刮板的宽度 $S_n=20 \text{ mm}$, 刮板的横截面积 69220 mm^2 , 刮板链条的面积 26000 mm^2 , 确定刮板的合理间距。

要确定刮板的合理间距之前, 先确定物料的侧压力值 P 的大小。

$$\text{由公式知, } P = \frac{K_y \cdot \gamma \cdot g}{f} \cdot R = 394.1 \text{ Pa}$$

将侧压力值 P , 代入公式 (7):

$$h_{\max} = \frac{(\omega_b + f_1 \cdot \omega_a \cdot m^2) \cdot P}{m^2 [2(B+L) \cdot P \cdot f_1 + B \cdot L \cdot \gamma \cdot g \cdot K_y \cdot K_e]} \quad (7)$$

得刮板之间的最大间距允许值为: $h_{\max}=206.4 \text{ mm}$

当刮板间距很小的时候时, 则刮板背面会出现与物料运动方向相反升高的压力:

$$h_{\min} = \frac{S_n}{2 \cdot f \cdot m} \cdot \left(\ln \frac{P_i \cdot m}{P} + 1 - m^2 \right) \quad (8)$$

得刮板之间的最小间距允许值为: $h_{\min}=117.6 \text{ mm}$

综上所述, 刮板之间的距离不能取得过大, 过大的间距会导致物料在机槽内运动时各层物料间产生相对滑移; 间距过小又会使牵引构件重量增加, 两种情况都会增加功率的消耗。所以刮板间距必须适当的选取。

物料稳定输送时, 两个刮板之间物料的受力情况, 物料离开插入区域的受力情况以及刮板与机槽间隙的大小。从而得出了物料的侧压力与物料的容重、活动系数、内摩擦系数以及刮板轮廓的水力半径之间的关系; 刮板的间距与侧压力、物料和刮板的摩擦系数、物料的容重、活动系数、及刮板的外形轮廓之间的关系; 以及刮板与机槽间隙和料槽宽度的关系。

4 结论

(1) 散粒物料在垂直埋刮板内的侧压力分布不能像流体力学压力分布那样简单的计算, 散粒物料对机槽的压力由垂直压力和侧压力系数求得。通过对离开插入区域物料的分析, 得到式, 当料槽很高的时候物料的侧压力与高度就没有关系

(2) 当输送的散粒物料的物理属性(物料的密度、物料的内摩擦角)确定后, 物料的侧压力仅仅和离开插入区域的水力半径有关。当刮板的型式确定时, 即离开插入区域的水力半径确定, 物料的侧压力仅和物料属性的有关。

(3) 在设计埋刮板时刮板的间距是个很重要的参数之一。刮板的间距越大, 物料的运行阻力越大, 同时也会导致物料在料槽中运动时各层物料间产生相对的滑动, 增加动力消耗。间距过小的话, 又会使链条的重量增加, 同样会增加功率的消耗。可以看出当机槽的轮廓确定时, 刮板的横截面积越大, 刮板允许间距也越大, 所以可以通过增加刮板的截面积来增大刮板的间距。

参考文献

- [1] 顾培望.埋刮板卸船机的结构型式及性能[J].起重运输机械,1987(4):34-41
- [2] 毕华林,蒋琼珠,梁一如.散货连续卸船机[M].北京:港口装卸杂志社,1990:193-227
- [3] 李 涛.埋刮板连续卸船机垂直输送的研究[D].上海:上海海事大学,2012
- [4] 秦镜泉.大型埋刮板输送机在港口散粮输送中的应用[J].粮食与饲料工业,2005(9):18-19,26
- [5] 黄松元.散体力学[M].北京:机械工业出版社,1993:15-40
- [6] 克列因.I.K.散体结构力学[M].陈大鹏,译.北京:人民铁道出版社,1960
- [7] 郑见粹.国内外连续卸船机的发展情况[J].起重运输机械,2000(6):1-4
- [8] 杨正中,张玉芳.埋刮板输送机刮板链条和链轮的设计与制造[J].粮食加工,2009,34(4):60-63
- [9] 毛广卿,赵 韩.埋刮板输送机垂直输送原理分析[J].起重运输机械,2004(10):13-16
- [10] 计三有.1000t/h 埋刮板卸船机的设计特点[J].港口装卸,1995(4):4-7