

异型辊子输送机的设计与研究

辛建阳

天津长荣科技集团股份有限公司 天津 300400

摘要: 随着工业 4.0 进程的逐步加快, 自动化, 智能化正在向着全行业全领域延伸。智能化设备代替传统手工操作可以极大的节省人力成本, 并提高产量。这为生活提供极大便利的同时也是高危行业工作者的福音。自动输送设备是智能化设备中必要的一环, 其特点是通过电机驱动的形式完成对不同物料的运输, 提升, 分拣等功能。常用的自动输送设备有皮带输送机, 辊子输送机, 板链输送机和链条输送机等等。随着科技的进步, 自动输送设备正朝着多元化的方向进行发展, 但仍有小部分物体的输送存在无法解决或者效率不高的问题。本文探究了一种新型的联排异型辊子输送机, 可以对表面接触形变较大的物体提升输送效率。

关键词: 输送机, 异型辊子, 接触形变, 输送效率

Design and Research of Irregular Roller Conveyor

Jiayang Xin

MASTERWORK.Co.Ltd, Tianjin, 300400

Abstract: with the gradual acceleration of the Industry 4.0 process, automation and intelligence are extending towards the entire industry and field. Replacing traditional manual operations with intelligent devices can greatly save labor costs and increase production. This provides great convenience for life and is also a blessing for high-risk industry workers. Automatic conveying equipment is a necessary part of intelligent equipment, characterized by the ability to transport, lift, sort and other functions of different materials through motor drive. The commonly used automatic conveying equipment includes belt conveyors, roller conveyors, plate chain conveyors, and chain conveyors, among others. With the advancement of technology, automatic conveying equipment is developing in a diversified direction, but there are still some unresolved or inefficient problems in the transportation of small objects. This article explores a new type of combined row shaped roller conveyor that can improve conveying efficiency for objects with large surface contact deformation.

Key words: conveyor, irregular roller, contact deformation, conveying efficiency

1、异型辊子概念解释

本文中所提到的异型辊子本质上是一种多边形轮子, 与使用圆形轮子或滚筒的传统自动化输送设备不同, 异型辊子输送机采用多边形的小轮子作为动力传输的媒介, 通过多边形小轮子的棱边拨动物体, 并传递力矩, 使被传输的物体沿着轮子转动的方向运动。然而这种多边形的轮子在转动的过程中与物体表面的接触是不连续的, 这就导致了动能是以间断的形式进行传输, 进而导致了被传输物体的震动。因此本设计采用联排多个不同角度的多边形辊子, 使得物体在传送的过程中有尽可能多的棱边与其接触, 这种设计保证了动能传递的连续性。独特的棱边接触方式使得其对表面硬度较低同时韧性较大的物体有着良好的力矩传递效果。

2、多边形辊子的运动学模型

为了更好的了解多边形辊子输送机的原理, 首先使用等边三角形辊子为例, 探究其运动学模型。假设一台输送机中只有单一种类的同相位的正多边形辊子。当辊子为正三角形时, 根据经验判断, 被输送的物体会随着正三角形辊子的转动上下起伏振动。在分析过

程中, 可以假设被输送的物体不动, 辊子在上面滚动。通过分析滚动的辊子质心的变化, 可以得到被输送物体的振动情况^[1]。

$$T(n) = \frac{2\pi}{n}$$
$$h(\theta) = \frac{\sqrt{3}}{3}L\sin(\theta), \quad (0 < \theta \leq T)$$

上式中 n 为多边形辊子的边数, 例如正三角辊子的边数为 3。T 为被输送物体振动的周期, L 为正三角形的边长, θ 为辊子转过的角度, h 为辊子质心上下起伏的幅度, 即可表示被输送物体振动的幅度。

从图 1 中可以得到多边形轮子在运动过程中质心位置与运动角度的关系。正三角形的辊子在运动的过程中轮子质心的起伏较大, 但随着辊子边数的增加, 其质心的起伏范围逐渐减小。从图 1 中可以看出, 当辊子达到正四十边形的时候, 其质心的高度几乎变为一条直线, 这代表这辊子在输送物体的过程中, 物体上下振动的幅度极小, 可以认为物体的输送速度稳定。这种结果接近圆形的辊子对物体的输送场景。

因此我们可以得出增加辊子边数, 使其趋近圆形可以有有效的增

加输送的稳定性。但这只是考虑单一的或者多个同相位辊子情况。在设计辊子输送线的过程中，我们可以设置多个不同相位的辊子串联，使物体在被传输的过程中质心上下起伏的幅度和周期都大大缩减^[2]。

$$h(\theta) = \frac{\sqrt{3}}{3} L \sin(\theta + \phi), \quad (0 < \theta \leq T)$$

例如使用 4 个正三角形辊子，每个辊子之间偏置 30°，即

$\phi=30^\circ$ 。在运动的过程中，质心的振动如图 1 中右图所示。经过叠加后的运动曲线可以参考图像的顶部，质心振动幅值约为 0.05mm，较三角形辊子的 0.25mm，缩小为原来的 20%，振动周期变为原来的 1/4。因此可以得出结论，多边形辊子串联布置越多，相位的角度越密集，物体质心的振动就越小，输送就越稳定。

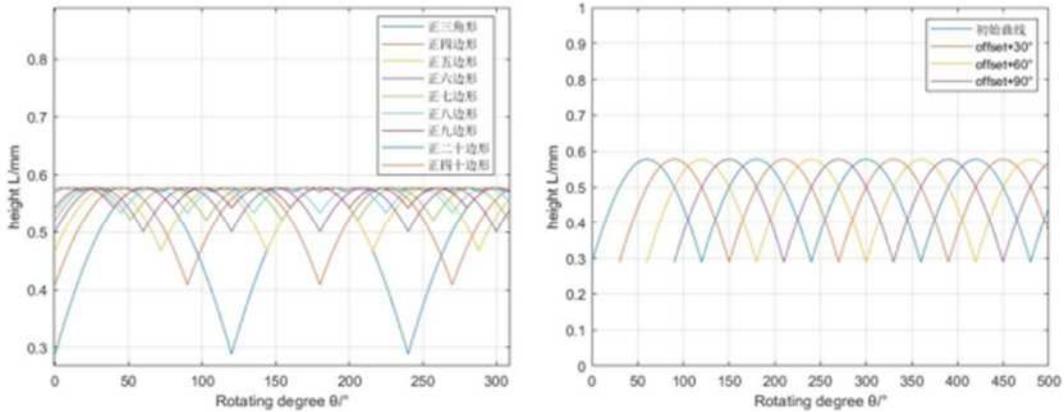


图 1：左为多边形轮子在滚动的过程中追踪质心在高度方向的运动曲线；右为不同偏置角度下不同轮子运动曲线的叠加

3、不同表面硬度物体的接触形变

不同表面硬度的物体在与辊子的接触面上的形变不同。例如柔软的海绵在接触到辊子的时候表面会发生较为明显的凹陷，凹陷处与辊子充分接触使得接触面积增大。但是这种现象在表面较硬的尼龙或陶瓷上就不明显。在相同表面硬度的情况下，越大的压紧力和越小的接触面积，会造成更大的形变^[3]。例如 1kg 的细铁棒会深入软海绵中，而 1kg 的铁片则会被海绵支撑住不会塌陷。因此可认为物体表面的接触形变与所接触物体的软硬程度和接触压力（压紧力/接触面积）有关。

在探究接触形变时，假设辊子为刚体，辊子表面硬度远大于所输送的物体，辊子与物体的接触时发生的形变全部由物体本身产生。同时在研究形变的大小时，仅考虑沿着重力方向的形变。通过实验可以得到物体表面的形变如下图所示。在此次实验中，使用邵氏硬度（HA）来衡量物体表面的软硬程度。选用邵氏硬度（HA）20~90 的若干个测试样块^[4]，如图 2 左所示，在相同的压紧力情况下分别挤压不同接触面积的尼龙辊子（邵氏硬度大于 100），并得到如下图所示曲线。

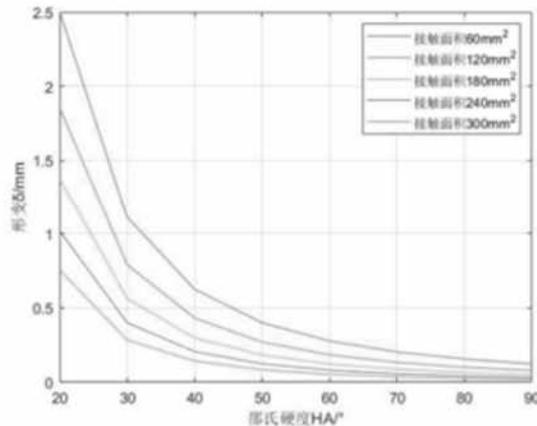
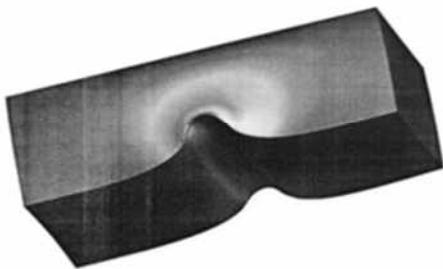


图 2：左为测试样块在计算机软件中模拟底部收到压力形变的情况，右为不同接触面积的情况下接触面硬度与发生形变的关系

从图表中可得出,在同样的表面硬度情况下,接触面积越小,则物体发生的形变越大。在同样的接触面积情况下,表面硬度越小,则发生的形变越大。

4、接触形变对力矩传递的影响

在得到了物体表面硬度、接触面积和接触面形变的关系后,进一步探究接触形变会对输送效果产生的影响。这里用力矩传递的效率来衡量输送效果^[5]。首先需要明确为什么力矩传递的效率不是100%,这是因为辊子和接触面发生相对滑动,这导致无论辊子可提供的力矩有多大,驱动物体前进的力始终为接触面的滑动摩擦力。假设传动轴可传递的力矩始终大于驱动物体前进的力矩,即可以得到如下公式:

$$\tau \geq F \times D$$

上式中 F 为驱动物体前进的力, D 为接触面到动力轴中心的平

均距离, τ 为动力轴可提供的力矩。力矩传递的效率定义为驱动物体前进的力乘上接触面与动力轴的距离再与动力轴上可提供的力矩的比值。即可表示为:

$$\eta_{力} = \frac{F \times D}{\tau}$$

对于表面较为坚硬的物体,即接触形变很小的情况下,驱动物体前进的力是滑动摩擦力,其不随着驱动轴功率的变化而变化。然而对于表面柔软的物体,即接触形变较大的情况下,驱动物体前进的力会随着驱动轴功率的变化而有所不同^[6]。因此可通过实验的方法确定其变化关系。

设计实验,使用邵氏硬度 20~100 的测试样块,在相同的重量和相同的辊子输送线上进行输送实验,通过拉力传感器测量获得驱动物体前进的力的大小,与驱动轴输出力矩的大小的关系。

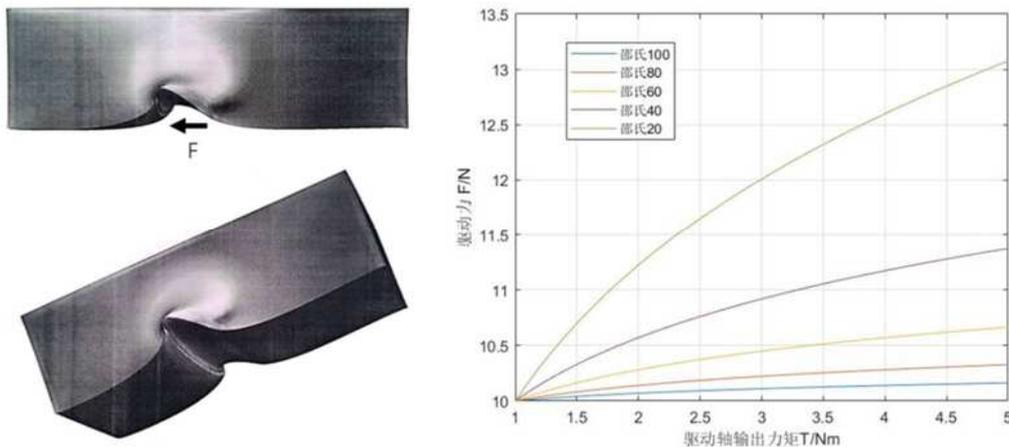


图 3: 左为物体样块在输送线辊子的力的作用下产生的表面蠕动现象, 右为样块受到的驱动力 F 与驱动轴输出力矩 T 之间的关系

从上图中左侧可以看出,较为柔软的物体样块表面在接触到旋转的辊子上时,表面发生了较大的形变,这种形变可以看成时重力方向的压力形变和与辊子接触的扭转形变的叠加表现。这种表面的蠕动现象可以使得物体表面更好的贴合辊子,并可以在一定程度上跟随辊子的转动,这将使得辊子的输出力矩可以直接传递到样块上,而非通过滑动摩擦力传递。

从上图中右侧可以看出,物体样块表面硬度较大时,驱动力随着输出力矩的变化非常小,这说明在物体此时的驱动力是滑动摩擦力较多,靠表面蠕动直接传递的力较少。而滑动摩擦力不随着驱动力矩的增加而变化。因此可以解释表面硬度越大,驱动力变化则越小。

再根据前文中对力矩传递效率的描述,可以得出结论,物体表面硬度越小,表面接触形变越大,在相同输出力矩的前提下,驱动力越大,传递效率越高。

5、异型辊子输送线的设计

从上述的研究中可以发现:1、多边形辊子串联布置的越多,相位交错的角度越密集,输送物体的重心越稳定,动力传递越均匀;2、对于柔软的物体,多边形的辊子比圆形辊子有着较好的力矩传递效果。

由以上两条结论,可以设计一种联排多角度相位交错的多边形辊子输送线,使其对表面较为柔软的物体有着较好的输送效果。如下图中左上所示,为了能够有更好的力矩传递效果,将五角形辊子的边向内凹陷,用以增加接触面形变^[7],使得驱动轴传递的力矩可以更好的作用于形变后的接触面上。然后将每个单独的辊子并排连接成一串,如下图左下所示,每个独立的辊子之间相位相差 10° 后安装固定。并将每一串辊子联排放置于一个输送框架上,组成一条输送线。该输送线的原型机如下图右下角所示。该输送线由伺服电机驱动,使用一条同步带传动主轴,主轴再通过圆橡胶带传动每一串异型辊子。使用铝型材作为输送线体的框架,外部安装钣金护罩,和检修的柜门。

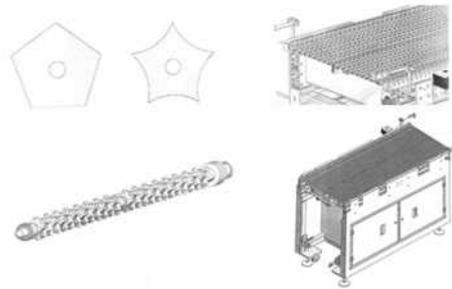


图 4: 左上为五角形辊子的设计, 左下为相位交错辊子组成的一个输送辊, 右上为联排辊子示意, 右下为输送线框架整体示意

使用 PLC 控制伺服电机以额定功率输出, 再通过替换同步带轮来控制齿数比来控制主轴输出力矩。使用该输送线可测试在不同力矩输出下, 对物体的输送效果。

6、输送效果测试于对比

使用该设计的输送线进行两种实验, 第一种实验通过替换同步带轮的齿比, 使得主轴输出力矩控制在 5Nm 和 10Nm 两种情况下。分别对软木 (邵氏硬度 80 左右), 优力胶 (邵氏硬度 50 左右) 和海绵 (邵氏硬度 20 左右) 进行输送, 每种输送样品被切割成相同

的接触面积, 并控制在相同的重量上, 通过在单位时间内物体输送的距离来判断输送效果。如输送距离较近, 则说明滑动摩擦较大, 力矩损失较大, 输送效果较差。相反, 若输送距离远则书名力矩损失小, 输送效果较好。

第二种实验是将输送线输出力矩控制在 5Nm, 使用圆形辊子替换异型辊子, 再分别对相同质量和接触面积的测试样块进行输送, 同样比较单位时间内输送的距离。得到实验数据后绘制柱状图如下所示。

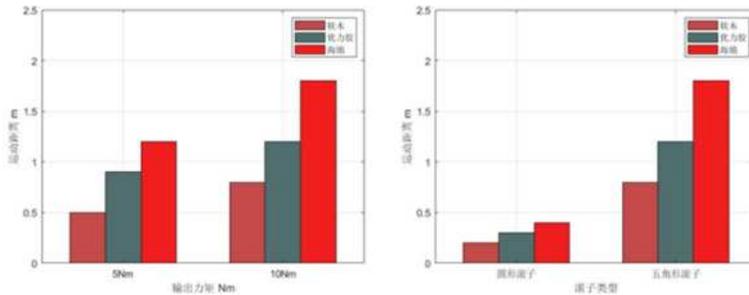


图 5: 左为不同输出力矩下异型辊子对不同物体的输送效果, 右为圆形辊子和异型辊子的输送效果对比

测试结果如上图左侧所示, 在不同输出力矩的作用下, 表面较为柔软的海绵输送距离均大于优力胶, 更大于软木。输送力矩为 10Nm 的情况下, 物体的输送距离均大于 5Nm 的情况。因此可得出, 对于该异型辊子输送线来说, 改变输出力矩可在一定程度上改变物体的输送效果, 但在相同输出力矩的情况下, 表面较为柔软的物体有着较好的输送效果。

根据测试结果右图所示, 在相同输出力矩的情况下, 有着五角构型的异型辊子输送线的输送效果显著优于圆形辊子输送线。

7、结论

新型设计的联排异型辊子输送线相较于传统圆形辊子输送线, 对表面坚硬不易形变的物体输送效果较差, 且会造成输送物体的震动, 但对于表面具有一定柔性形变空间的物体来说, 异型辊子输送线有着较好的力矩传递效果, 在同等输出力矩的情况下, 接触面打滑较少, 有着不易划伤物体表面的特性。该类型的输送线在实际生活中有着较大的应用前景, 为工业自动化建设探索新的方向。

参考文献:

- [1] 岳龙旺, 朱敬花, 武可艳等. 基于 ADAMS 的三角轮系式移动机构动力学仿真[J]. 机床与液压, 2015, 43(05): 127-129.
- [2] 岳龙旺, 朱敬花, 吴利涛等. 三角轮系式移动机构动力学建模及仿真[J]. 机床与液压, 2015, 43(03): 1-3+19.
- [3] 许正功, 陈宗帖, 黄龙发. 表面形变强化技术的研究现状[J]. 装备制造技术, 2007, No.148(04): 69-71+75.
- [4] 邵龙泉, 赵依民, 赵信义等. 低邵氏硬度 SY 复合型硅橡胶的配方筛选[J]. 临床口腔医学杂志, 2005(02): 77-79.
- [5] 邓彬, 刘冬园, 张伟等. 模块化辊子输送机设计[J]. 装备制造技术, 2018, No.284(08): 74-75+83.
- [6] 罗军, 杨敏, 李成立. 可逆配仓带式输送机行走驱动原理探讨[J]. 绿色科技, 2020(24): 275-277. DOI: 10.16663/j.cnki.lskj.2020.24.091.
- [7] 虞伟良. 硬度测试技术的新动态与发展趋势[J]. 理化检验(物理分册), 2003(08): 401-405+435.