

变载荷工作环境下的输送链动态性能分析

胡瑞华, 毛立民

(东华大学 纺织装备教育部工程研究中心, 上海 201620)

摘要: 对水浮式玻璃啤酒瓶理瓶机出瓶系统输送链的变载荷工作环境进行了分析, 并应用多体动力学软件 (RecurDyn) 对该输送链进行了动力学建模与仿真, 得到了输送链运行过程中的紧边张力及啮合冲击力变化曲线, 验证了输送过程的可靠性, 为输送链的优化设计提供了理论依据。

关键词: 输送链; 动态性能分析; RecurDyn

中图分类号: TB486; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0056-05

Dynamic Performance Analysis of Conveyor Chains under Variable Loading Environment

HU Rui-hua, MAO Li-min

(Donghua University, Engineering Research Center of Textile Equipment, Ministry of Education, Shanghai 201620, China)

Abstract: The variable loading on the conveyor chains used in water-floating glass beer bottle unscrambler were analyzed. Dynamic model of the conveyor chains was built and simulated by multi-body dynamic software RecurDyn. The tension and meshing impact curve of tight side of conveyor chains during operation was obtained. The reliability of conveying process was verified. The purpose was to provide reference for optimal design of conveyor chain.

Key words: conveyor chain; dynamic performance analysis; RecurDyn

随着啤酒自动包装生产线的日益完善和生产速度的不断提升, 传统的人工理瓶方式已经无法满足高速生产的需求^[1]。水浮式高速玻璃啤酒瓶理瓶机利用啤酒瓶瓶体灌水后, 在水中自主漂浮竖立的特性, 实现高速理瓶功能。

出瓶系统是该理瓶机的重要组成部分, 其功能是将漂浮在理瓶机水槽中的啤酒瓶瓶体送出, 同时排除其内部灌入的液体。啤酒瓶瓶体被前续送瓶装置以底朝外的姿态送入输送链主体上的瓶笼内, 并随输送链运动, 期间完成瓶体的运送与瓶内液体排除工艺过程, 最后通过后续落瓶装置实现瓶体的输出。

根据啤酒瓶瓶体的运动过程及状态分析得出, 输送链主体在运行过程中会受到变载荷的影响, 变载荷产生的原因有: 灌有液体的瓶体的送入; 瓶内液体的不断排出; 空瓶体的输出。其中第 1 和 3 项属于突变

载荷, 第 2 项属于渐变载荷。

为了进行高速生产, 输送链主体采用连续运动方式, 相比间歇运动方式, 不但要求各项运动之间具有严格的配合关系, 同时输送链自身也需具备良好的工作性能, 因此, 对该输送链在变载荷工作环境下的动态性能进行分析很有必要。

笔者主要针对输送链运行过程中的紧边张力及啮合冲击力进行分析研究。

1 设计与分析

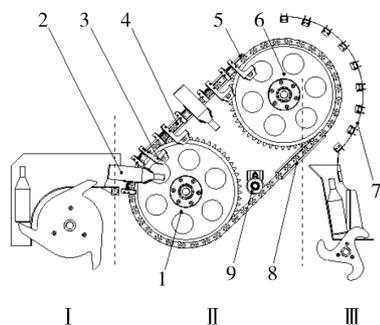
输送链采用与水平方向成 45° 夹角的倾斜式布局, 主体由 2 组平行布置的传动链组成, 安装有瓶笼的支架横跨在 2 根链条上, 传动链带动支架乃至瓶笼沿着导轨运动, 其详细结构见图 1(II), 相关设计参

收稿日期: 2010-12-10

作者简介: 胡瑞华(1985—), 男, 江西上饶人, 东华大学硕士生, 主攻新型机械结构设计与分析。

通讯作者: 毛立民(1956—), 男, 浙江江山人, 东华大学教授, 主要从事新型纺织机械设计、移动机器人和码垛设备等研究。

数见表 1。



I—送瓶装置;II—输送链主体;III—落瓶装置;1—从动链轮;2—瓶体;3—瓶笼+支架;4—滚子链;5—上导轨;6—主动链轮;7—出瓶挡板;8—下导轨;9—张紧轮

图 1 出瓶系统结构

Fig. 1 Structure of conveyor system

表 1 输送链的相关设计参数

Tab. 1 Design parameters of conveyor chain

型号	节距 p /mm	链节数	链轮 齿数	链轮转速 n /($r \cdot s^{-1}$)
20A	31.75	100	55	1/22

1.1 载荷分析

根据输送链上支架的数量,将输送链运行轮廓分成 20 份,并依次编上序号,见图 2。

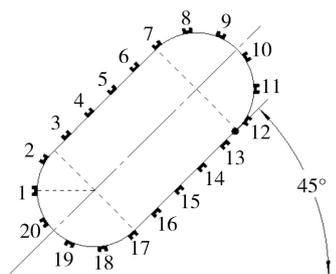


图 2 输送链的关键位置点

Fig. 2 Key positions of conveyor chain

将“支架+瓶笼+瓶体”看作一个整体,当支架依次经过以上各编号位置时,随着瓶笼内瓶体状态的变化,支架将表现出不同的质量特性,具体如下:

1) 编号 13~20 处为空程阶段,在此期间支架质量恒为 9.1 kg。

2) 编号 1 处为瓶体送入位置,当支架到达该编号位置时,瓶体被送入瓶笼,送瓶过程历时约 1 s,表现为支架质量在 1 s 内由 9.1 kg 突变为 23.4 kg。

3) 编号 2~7 处为排液阶段,随着支架位置的不断上升,瓶内部的液体余量依次为初始量的 1, 3/4, 1/2, 1/3, 1/6, 0 倍,表现为支架质量按照 23.4 kg → 22.3 kg → 21.2 kg → 20.5 kg → 19.8 kg → 19.1 kg 的顺序变化,各质量之间连续平稳过渡。

4) 编号 8~12 处为空瓶运送阶段,在此期间支架质量恒为 19.1 kg。

5) 编号 12.5 处为瓶体输出位置,当支架到达该编号位置时,瓶体从瓶笼内滑出,历时约 0.5 s,表现为支架质量在 0.5 s 时间内由 19.1 kg 突变为 9.1 kg。

6) 以上各状态依次循环。

值得注意的是,支架的质量特性与其所处的位置有关,因此其变化规律是可寻的,这为后文中支架质量函数的编写提供了依据。

1.2 紧边张力

输送链运行过程中,链条的张力由多方面因素决定,对于倾斜式布局情况,其张力还受链条自身重力及载荷沿倾斜面方向分量的影响。

取输送链紧边上的某段链节进行受力分析,见图 3(左),可得:

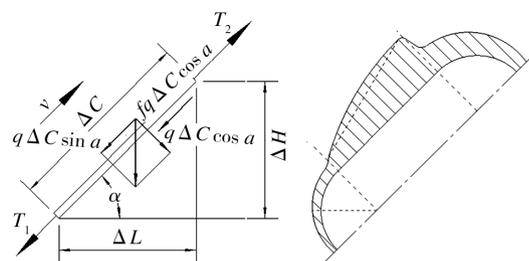


图 3 链条的张力分布

Fig. 3 Tension distribution of conveyor chain

$$T_2 = T_1 + (q\Delta C \sin a + f q \Delta C \cos a)$$

其中: q 为该段链节上的单位线载荷(包括自身重力)。

根据前文的载荷分析,此处 q 值将随着链节位置的不断上升而逐渐减小,因此紧边处张力将呈递增幅度逐渐减小的非线性递增,大致见图 3(右),最大张力出现在紧边链条与主动轮啮合位置。

针对此工况下输送链的最大张力计算并没有现成的公式,因此考虑先按照均匀载荷情况进行近似计算,然后在结果中附加一个载荷系数 S 。

均匀载荷情况下的倾斜式输送链,最大张力计算

公式^[3]如下:

$$T = \left[(M + mC) \frac{L f_1 + H}{C} + 1.1m(L f_1 - H) \right] \times$$

9.8

式中: M 为被输送物件的最大质量(kg); m 为输送链自身运行部分单位质量(kg/m); H 为链轮垂直方向中心距(m); L 为链轮水平方向中心距(m); C 为链轮中心距(m); f_1 为链条与导轨之间的摩擦系数。

经计算,输送链最大张力 $T = 426.73$ N, S 取 1~3。

1.3 啮合冲击力

当链节从紧边啮入主动链轮时,其滚子会与链轮轮齿产生冲击,有关冲击力的计算,过程相对复杂,有相关人员研究得出以下结论^[4]:

$$F \propto \rho \dot{\theta}_1 \sqrt{K_1 M}$$

式中: F 为冲击力; $\dot{\theta}_1$ 为主动链轮的平均角速度; K_1 为链轮滚子的接触刚度; M 为冲击的有效质量。

2 链系建模基础

2.1 链条模型

链条是由一定数量的链节以铰链的形式依次连接起来的柔性体,其建模较复杂。现有的主流模型有3种:四杆机构、重弦模型、多刚体动力学模型。本文采用的是多刚体动力学模型,由于该模型在对链条的建模过程中既考虑到链节的局部刚性,又考虑到链条的整体柔性,使得计算结果更贴近实情。

在链条模型中,相邻链节之间的约束关系主要靠转动铰来实现,其间的作用力可通过求解相应广义坐标下的广义力来获取,见图4,具体公式^[5]如下:

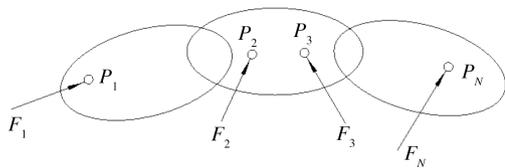


图4 力系作用下的多体系统

Fig. 4 Multi-body system under the action of force

$$F_\tau = \sum_{i=1}^N F_j \cdot \frac{\partial v^{p_j}}{\partial \dot{x}_\tau}$$

式中: F_τ 为广义力; F_j 为作用于多体系统的力

系; v^p 为作用点 p 在参考系中的速度。

2.2 啮合关系

在链系模型中,链条与链轮之间的啮合关系主要靠接触碰撞来实现,RecurDyn 软件环境下的接触力大小通过以下公式定义:

$$f_n = k\delta^{m_1} + c \frac{\dot{\delta}}{|\dot{\delta}|} |\dot{\delta}|^{m_2} \delta^{m_3}$$

式中: δ 为穿透深度; $\dot{\delta}$ 为接触点的相对速度; c 为阻尼系数; k 为接触刚度系数; m_1, m_2, m_3 分别为刚度指数、阻尼指数、凹痕指数。

3 输送链动力学仿真

建立输送链仿真模型的关键环节是链系的建模,传统的链系建模方法是:(1)通过第三方软件导入完整的链系三维模型;(2)在各链节之间添加转动副;(3)在各链节与链轮之间添加接触碰撞。整个建模过程需要手动定义大量的转动副与接触碰撞,不但操作繁琐,仿真结果也往往不尽人意。

采用相对坐标系运动方程理论和完全递归算法的新一代多体系统动力学仿真软件 RecurDyn,非常适合于求解大规模及复杂接触的多体系统动力学问题,能够有效保证输送链仿真的精确性与可靠性;同时软件内置的 Chain 分析模块,能够快速生成完整的链系模型,提高了建模效率^[8-9]。

3.1 输送链建模主要步骤

1) 使用 RecurDyn 软件内置的 Chain 分析模块,通过输入链轮、链节的相关参数快速建立链系模型,模型中将自动生成衬套特性、接触参数及接触力输出等链条系统的全部装配信息。

2) 在三维设计软件中建立好瓶笼支架模型,另存为 Parasolid(*.x_t)格式,通过 RecurDyn 软件中的 Import 命令导入。检查导入模型的完整性,并将模型移动至正确位置。对于可能出现多个实体的现象,可以使用 Merge Body 命令对其进行融合处理,融合在一起的实体相当于一个块,然后对块定义材料属性。

3) 瓶笼支架与链条之间的固定关系通过添加衬套特性(bushing)来实现。

4) 根据输送链实际情况,添加虚拟导轨(Guide)。

5) 变载荷的施加。变载荷的施加是建模的难

点。较直接的方法是使用实体模型来实现,但这样需要额外定义大量的运动与接触碰撞,势必对仿真结果产生影响。最后决定通过给瓶笼支架定义一个变化的质量特性来近似模拟瓶体的送入、输出及排液过程。

主要使用 STEP 函数来定义瓶笼支架的变质量特性,该函数的格式为:STEP(x, x_0, h_0, x_1, h_1),其中 x 是自变量,当 $x < x_0$ 时返回值 h_0 ;当 $x > x_1$ 时返回值 h_1 ; x 处于 h_0 和 h_1 之间时,返回 2 个数值之间的 3 次样条插值。

为了便于函数编写,使支架起始位置与编号重合。例如起始位置位于编号 1 处的支架的质量函数为:

STEP(TIME, 2, 23.4, 4, STEP(TIME, 4, 22.3, 6, STEP(TIME, 6, 21.2, 8, STEP(TIME, 8, 20.5, 10, STEP(TIME, 10, 19.8, 12, STEP(TIME, 12, 19.1, 14, STEP(TIME, 14, 19.1, 16, 19.1))))))

相应的转动惯量也需同时进行定义。

6) 设置仿真时间 End=18 s,步长 Step=540,开始仿真。

3.2 结果与分析

3.2.1 紧边张力

选取起始位置位于编号 20 处的链节,显示其张力变化曲线(bushingtension),并截取其稳定运转阶段部分,见图 5。

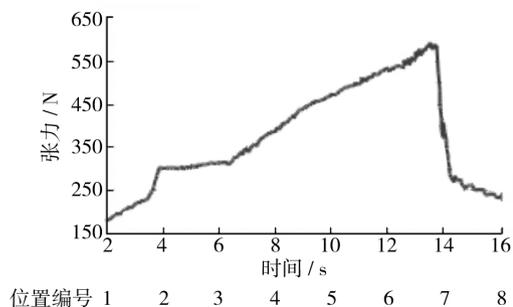


图 5 链节的张力变化曲线

Fig. 5 Tension curve of conveyor chain node

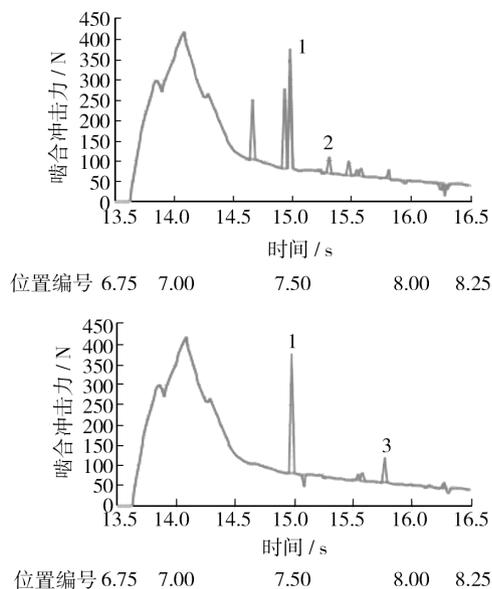
图 5 中曲线包含 3 部分:编号 1—3 处为链节与从动轮啮合阶段,其中编号 1.5 处,由于瓶体的送入,链节张力突增,编号 2.5—3 处,链节与从动轮脱离啮合;编号 3—7 处为输送链紧边张力变化曲线,其总体变化规律与前文分析相符,紧边张力的变化过程中并没有出现峰值,因此可以说明,瓶体的送入与输出产

生的突变载荷对输送链紧边张力几乎无影响;编号 7~8 处为链节与主动轮啮合阶段,其中编号 6.8 为啮合位置,啮合后,链节张力突降。

从图 5 中可以看出,输送链的最大张力值约为 600 N,将其与前面经验公式计算的最大张力值 $T=426.73$ N 相比较,可以得出,针对本输送链的工作情况,附加载荷系数 S 取 1.5 较合适。

3.2.2 啮合冲击力

同样选取起始位置位于编号 20 处的链节,显示其与链轮间的接触力变化曲线(FM_Sprocket),并截取其稳定运转阶段部分,见图 6 曲线 1。



1—正常加载;2—无瓶体送入载荷;3—无瓶体输出载荷

图 6 链节的啮合冲击力

Fig. 6 Meshing impact of conveyor chain node

从图 6 中可以看出,链节与链轮大约在编号 6.8 位置处开始发生啮合,与图 5 中所示相符,啮合后经历了 2 次峰值,其中最大啮合冲击力出现在第 1 次峰值处,大小约为 430 N。

为探讨第 2 次峰值出现的原因,先后删除瓶体送入与输出的模拟载荷,重复进行仿真,得到曲线 2 和 3。与正常加载情况相比,无瓶体送入载荷时,前峰值不变,后峰值有所衰减;无瓶体输出载荷时,前峰值不变,后峰值消失。因此可以认定,第 2 次峰值的出现是由瓶体的输出造成,究其原因是瓶体输出过程导致载荷突然下降,松边处链条产生跳动所致,可以通过后期对张紧轮的适当调节使其得到缓解。

4 结论

1) 文中涉及的连续式输送链,应用于水浮式高速玻璃啤酒瓶理瓶机出瓶系统,有效实现了啤酒瓶体的快速送出及瓶内液体排除功能。

2) 在对输送链运行过程中所受变载荷进行理论分析的基础上,应用多体动力学软件 RecurDyn 对输送链进行了动力学建模与仿真,虚拟呈现了输送链的运动过程,得到了输送链运行过程中的紧边张力及啮合冲击力变化曲线,验证了输送方案的可靠性,为输送链的优化设计提供了有效的理论依据,同时体现了 RecurDyn 软件在链系建模方面的优越性。

3) 通过 STEP 函数实现了对输送链运行过程中所受变载荷的模拟,有效简化了模型,提高了计算效率,保证了仿真结果的可靠性。

参考文献:

[1] 周文玲,刘安静. 啤酒包装线的布局及单机的选配[J].

包装工程,2007,28(5):62-64.

[2] 许林成,赵治华. 包装机械原理与设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1988.

[3] 王义行,黄骥洪,黄伟兴,等. 链条输送机[M]. 北京:机械工业出版社,1997.

[4] 荣长发,张明路. 滚子链传动的振动特性分析[J]. 机械传动,2006(4):63-65.

[5] 休斯敦,刘又午. 多体系统动力学(下册)[M]. 天津:天津大学出版社,1991.

[6] CHEN C K, FREUDENSTE F. Toward a More Exact Kinematics of Roller Chain Drives[J]. Transmission and Automation in Design, ASME Journal of Mechanisms, 1988,110:269-275.

[7] 贺兵. 基于虚拟样机技术的包装机械系统仿真研究[J]. 包装工程,2008,29(2):63-65.

[8] 毛立民,于海涛. 基于 RecurDyn 的四履带足机器人运动学仿真[J]. 微计算机信息,2009(35):185-205.

[9] 黄运琳. RecurDyn 在多体动力学上之应用[M]. 台北:五南图书出版股份有限公司,2009.

(上接第 25 页)

[4] 卢军. 国内 G7 工业标准测试全接触[J]. 印刷质量与标准化,2008(2):41-46.

[5] 刘彩凤,唐义祥,平其花. 印前输出设备的线性化曲线校正[J]. 包装工程,2006,27(3):59-61.

[6] 李凯. G7 工艺在色彩管理中的应用[J]. 印刷世界,2008(4):39-41.

[7] 程常现. 解析 GRACoL 7 通用商业平版胶印工艺要求规

范及 G7 工艺规程[J]. 包装工程,2008,29(7):189-191.

[8] 柯成恩. 平版胶印技术问答[M]. 北京:化学工业出版社,2006.

[9] 李小东. 胶印质量控制技术[M]. 北京:印刷工业出版社,2006.

(上接第 55 页)

包装设计。通过设计实例可知,在包装设计上运用 QFD,较传统设计方法能够更加快速、准确地设计出符合市场需求的产品,有效提升包装设计质量。

QFD 不仅可以应用于包装设计阶段,也可应用在包装产品的生产阶段,将零件规划质量屋继续向下一级展开,配置形成关键工序质量屋和关键工艺参数质量屋,就可得到产品生产过程中的关键质量控制点。另外,在各级质量屋展开时,会涉及多种系统分析方法,可根据实际情况灵活选用。

参考文献:

[1] 李奔波,何利娟,周海平,等. 基于质量功能展开的包装设计研究[J]. 包装工程,2004,25(5):63-64.

[2] 范斌. QFD 系统的若干理论方法与应用研究[D]. 青岛:青岛大学,2007.

[3] 杨永发,徐人平. 设计管理中基于质量功能展开的设计控制[J]. 包装工程,2007,28(10):183-185.

[4] 秦现生. 质量管理学[M]. 北京:科学出版社,2005.

[5] 熊伟. 质量功能展开[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

[6] 欧阳明德. 产品质量管理[M]. 北京:企业管理出版社,1989.

[7] 汪应洛. 系统工程理论、方法与应用[M]. 第 2 版. 北京:高等教育出版社,1998.

[8] 吴祈宗. 系统工程[M]. 北京:北京理工大学出版社,2006.

[9] 吕永波. 系统工程[M]. 北京:清华大学出版社,2006.