

纸堆翻转机液压系统设计

王灿才, 王所杰

(青岛科技大学, 青岛 266042)

摘要: **目的** 为了能够精确、高效地设计纸堆翻转液压系统, 建立液压系统关键参数求解模型。**方法** 通过理论分析与实践研究相结合的方法建立数学模型, 即以纸张和纸堆的基本参数作为输入参数, 以液压系统的油缸直径作为输出参数, 建立翻转机液压系统设计关键参数的数学模型, 并在此模型的基础上完善液压系统的其他参数, 进而确定液压系统的整体结构, 最后完成样机的制作。**结果** 实践结果表明, 1.8 t 的纸堆采用 15 MPa 的油压, 直径为 55 mm 的油缸可以将纸堆夹紧, 采用直径为 80 mm 的油缸可以将纸堆推起。**结论** 通过样机的制造验证, 表明所建立的液压系统的数学模型可以准确地求解液压系统的关键参数。

关键词: 翻转机; 液压系统; 数学模型; 关键参数

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)09-0204-05

Design of Hydraulic System for Paper Pile Turner

WANG Can-cai, WANG Suo-jie

(Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China)

ABSTRACT: The work aims to accurately and efficiently design the pile turner's hydraulic system and establish the model for solution to key parameters of hydraulic system. The mathematical model was established in combination with theoretical analysis and practice research, namely, with the basic parameters of paper and paper pile as input parameters, and the oil cylinder diameter of hydraulic system as output parameter, the mathematical model for the key design parameters of turner's hydraulic system was built. Based on such mathematical mode, other parameters of hydraulic system were improved, thus determining the overall structure of hydraulic system. Finally, the fabrication of prototype was completed. The practice results showed that, 1.8 t paper piles could be clamped by the oil cylinder with oil pressure of 15 MPa and diameter of 55 mm, and pushed up by oil cylinder with diameter of 80 mm. By verifying the fabrication of prototype, it indicates that the mathematical model established can accurately solve the key parameters of hydraulic system.

KEY WORDS: turner; hydraulic system; mathematical model; key parameters

翻转机是一种常见的包装设备, 主要功能是实现货物的翻转。根据翻转角度, 可以分为 90° 和 180° 翻转。近年来, 根据企业生产的需要, 开发出了不同形式的翻转机。不少研究者对翻转机的主体结构及翻转工艺进行了研究^[1-3]。不同形式的翻转机的结构基本相似, 主要由机架、动力驱动系统和控制系统 3 部分构成。机架的设计要考虑翻转对象的重量、形状及翻转要求。可以采用先设计, 再仿真分析的方式进行^[4-8]。为了保证翻转效率, 大部分翻转机为液压驱动, 液压系统的设计也非常重要。国内外很多学者针对不同形

式翻转机液压系统的设计进行了研究^[9-12]。控制系统可以采用 PLC 编程来实现^[13]。纸堆翻转机与普通翻转机有着不同的工艺, 国内很少有文献对其进行深入系统研究。

1 纸堆翻转机结构

1.1 纸堆翻转机的功能

翻纸是纸堆翻转机最基本的功能。对于单张纸印刷机来说, 如果要继续在印刷面背面印刷图文, 必须

收稿日期: 2016-10-13

作者简介: 王灿才 (1981—), 男, 博士, 青岛科技大学讲师, 主要研究方向为包装与印刷设备研究。

将纸张翻转过来后再放入印刷机输纸装置进行背面的印刷。如果单纯靠人工翻纸,效率低下,严重影响印刷生产效率。纸堆翻转机可以一次性将整个纸堆翻转过来,见图 1。该翻纸机将印刷好的纸堆上下夹紧后,将整个纸堆推倒翻转 90°,然后绕与水平面垂直的中心轴旋转 180°后,最后再将纸堆回转 90°,即可以实现纸堆的翻转。在整个翻转过程中,要求纸页不能散落下来。



图 1 博世纸堆翻转机
Fig.1 BOSCH pile turner

现代纸堆翻转机普遍还有第 2 个功能:整理纸张和吹风。当纸堆被推至垂直时,所有纸页垂直于水平方向。这时将夹紧纸堆的两边力量稍微撤去(夹板适当松开后,仍然扶持着垂直的纸张),这时所有纸页落至设计好的平板上,然后振动平板,并辅助吹风,将纸屑吹干净的同时把纸堆整理齐整,方便下次印刷时的输纸。

1.2 纸堆翻转机的结构

纸堆翻转机的结构可以分为机架部分、液压驱动系统、控制系统 3 个部分。与其他翻转机不同的是,纸堆翻转机的纸堆是由可以自由散落的纸张构成,在翻转时要夹紧纸张,避免其散落,因此,机架部分除了底座、支架、旋转机构之外,还应有夹持部件。液压驱动系统除了驱动翻转、旋转之外,还应有夹持液压系统。控制系统除了控制各个动作之外,对夹持力也应加以控制。

纸堆翻转机的动作主要有 2 个,一个是将纸堆推至垂直,可以称之为翻纸,为纸页的翻转作准备;另一个是将纸堆绕其中心旋转,实现纸页的翻转,见图 2。当需要翻纸时,用上下两夹板将纸夹紧,然后将纸堆连同夹板向前旋转 90°,将纸堆放至垂直位置;接着将纸堆绕其现在中心旋转 180°,最后将纸堆还原至水平方式,即可完成纸张的翻转。

国内对于纸堆翻转机的理论研究不多,相关的专利也较为稀少。文中旨在对纸堆翻转机的液压系统的设计理论进行系统的总结,从纸堆翻转的实践出发,

运用数学分析方法,确定液压系统的各个参数,为新型纸堆翻转机的开发奠定基础。

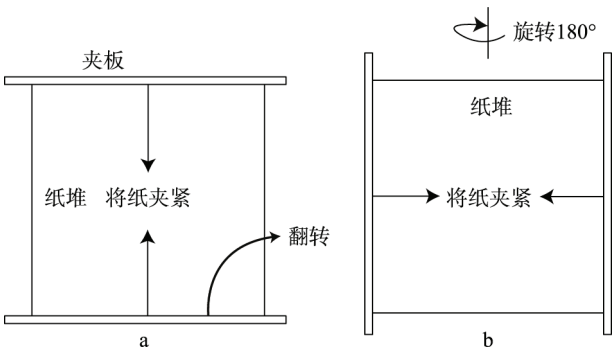


图 2 纸堆翻转机的翻转原理
Fig.2 The overturn principle of the pile turner

2 纸堆翻转机液压系统要求

纸堆翻转机的主要动作包括:翻转、旋转、夹纸、振动、吹风 5 个基本动作。除了振动可以采用振动电机,吹风采用空压系统来完成外。其余的翻转、旋转和夹纸可以采用液压系统来完成。可以采用一个液压站,分 3 路供油。一路实现纸堆的翻转,需要给予足够的力量,使纸堆能够顺利翻转 90°;一路要实现纸张的夹紧,保证纸张在翻转和旋转的过程中不发生散落和零乱;一路要能够驱动液压马达工作,实现纸堆的旋转(当然,也可以采用人工来实现旋转,可以减少制造费用)。3 个油路中,最为重要的是翻转驱动力和夹持力的确定。

2.1 纸堆重量计算

要明确翻转驱动力和夹持力,首先必须明确纸堆的质量。国际通用的 A, B, C 3 类标准纸张的幅面 841 mm×1189 mm, 1000 mm×1414 mm, 917 mm×1279 mm, 对应的面积分别为 $S_A=1\text{ m}^2$, $S_B=1.42\text{ m}^2$ 和 $S_C=1.18\text{ m}^2$ 。通过实验测试,可以得到双面铜版纸的厚度与定量之间的关系,见表 1。

表 1 纸张质量统计 Tab.1 The statistics of various kinds of coated paper			
定量/(g·m ⁻²)	厚度/mm	1 m 高纸堆张数	B0 幅面质量/kg
90	0.069	14 493	1853
100	0.077	12 988	1845
120	0.092	10 867	1852
150	0.115	8696	1852
180	0.138	7247	1852
250	0.192	5209	1850

通过比较,发现最大幅面的 B0 纸张,1 m 高的纸堆质量大约在 1850 kg 左右。如果纸张的定量为 w ,纸堆高度为 H ,每张纸厚度为 d ,开本数为 n ,则可以通过下面式子来计算纸堆的重量 G 。

$$G = \frac{H}{nd} S \cdot w g \quad (1)$$

2.2 夹持力的确定

上下夹板要夹紧纸堆, 在水平位置时 (图 2a), 夹持的最小力应该大于纸堆的重力 G 。为了保证纸页在翻转时不零乱, 则必须保持足够的夹持力, 使纸页之间不产生滑动 (图 2b)。每张纸受到 2 个摩擦力 f 和自身的重力 G' 。要使得纸张不滑落, 必须 $2f \geq G'$, 而 $f = N\mu$, N 为纸张的夹持力, 所以夹持力 $N \geq \frac{G'}{2\mu}$ 。

如果考虑纸堆所有纸张的重量, 则 2 个夹板之间的夹持力应该满足:

$$F \geq \frac{G}{2\mu} \quad (2)$$

纸张的摩擦因数根据纸张的表面情况而定, 一般非涂料纸的摩擦因数在 0.5 ~ 0.7 之间, 涂料纸的摩擦因数在 0.3 ~ 0.6 之间^[14]。

2.3 翻转驱动力的确定

主油缸要将夹紧的纸堆推起, 必须克服纸堆的重力以及机器部件之间的摩擦阻力, 见图 3。

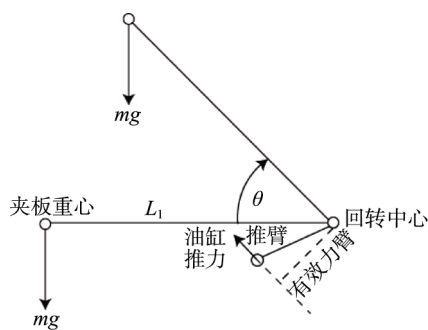


图 3 纸堆翻转力学

Fig.3 The mechanics of pile overturn

纸堆翻转时, 有一个回转中心, 纸堆有一个重心, 假设重心与回转中心的距离为 L_1 , 则其对回转中心的力矩 $M_1 = mgL_1$, 推力 T 所产生的力矩大小与其有效力臂 L_2 有关, 即 $M_2 = TL_2$ 。要能够将纸堆推动, 必须满足 $M_2 \geq M_1$, 也就是:

$$T \geq G \frac{L_1}{L_2} \quad (3)$$

且随着纸堆的上升, 力矩也发生变化。在转过一定角度 θ 时, 其力矩变为 $M'_1 = mgL_1 \cos \theta$, 也就是说力矩越来越小。而推力 T 所产生的力矩也会随之发生变化。在机架设计时, 有效力臂和实际力臂存在一个 α 的角度, 则转过 θ 角度后, 推力的有效力臂变为 $L_2 \cos \theta$ 。也就是说推力的有效力矩和重力 G 的有效力矩同步下降。如果 $\alpha = 0$, 也就是说在起步阶段, 推力

的有效力臂和实际力臂重合, 这样可以确保推力和重力的力矩同步减小。也就是说在这种情况下, 只要推力能够保证在起步时推动纸堆, 即满足式(3), 则后续过程中保持此推力即可将纸堆翻转。假设 $L_1 = 1.0$ m, $L_2 = 0.3$ m, $G = 18.5$ kN, 通过式(3)可以得到推力 T 最小应为 61 050 N。

3 液压系统参数数学模型

通过上述分析, 确定了纸堆翻转机的推力 F 和 T 。在此基础上进一步明确液压系统的主要参数, 如液压油的工作压力 p , 油缸的直径 D , 入油口和出油口直径 d , 油缸行程 l , 油箱体积 V 等参数。

目前齿轮泵的工作压力一般在 16 MPa 左右, 所以在纸堆翻转机中, 可以采用 $p = 15$ MPa 来进行设计和计算。综合式(1)和式(2)可以通过纸张参数(定量、开本、厚度、摩擦因数)和纸堆高度求出夹持力 F , 通过式(3)可以求出推纸力 T 。由 $F = pA$ 可以建立纸张的参数和油缸直径的数学模型:

$$D_1 \geq \sqrt{\frac{2HSwg}{p\pi n\mu d}} \quad (4)$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4HSwgL_1}{p\pi ndL_2}} \quad (5)$$

式中: D_1 为夹持油缸的直径; D_2 为翻转油缸的直径。夹持液压油缸的行程 l_1 由纸堆高度 H 和夹板之间的最小距离决定, 如果上下 2 个油缸错位设计, 则油缸的行程更为自由。推力翻转油缸的行程由机架的结构、纸堆翻转的角度、底部支撑的位置等因素综合决定。

纸堆翻转的速度要求不高, 油缸的速度 0.1 m/s 即可满足要求。入油口和出油口直径可以按照缸径 D , 参照 ISO 8138 选择。而油箱的体积 V , 可以通过所有油缸的体积(可通过 D 和 l 来计算)、油管体积来确定。

4 结果与讨论

按照上述模型, 设定纸堆高度 $H = 1$ m, 全开 B 系列纸张, 定量 $w = 120$ g/m² 铜版纸, 摩擦因数为 $\mu = 0.3$, 纸张厚度为 $d = 0.092$, 液压系统工作压力 $p = 15$ MPa, $L_1 = 1.0$ m, $L_2 = 0.3$ m, 通过模型计算可以得到: $D_1 = 52$ mm, $D_2 = 72$ mm。

取 $D_1 = 55$ mm, $D_2 = 80$ mm, 制作油缸及纸堆翻转机, 完成全部结构的设计与制造。制作成的样机和液压系统见图 4。“夹紧”时, 三位四通换向阀 2 由电磁阀带动连同左位, 高压油液经齿轮泵, 减压阀, 电磁换向阀 2, 单向阀 6, 节流阀 11, 液压缸 17。高压油推动活塞推出, 此时油缸 17 推出。同时另一路油路,

经过电磁换向阀 3, 单向阀 7 和节流阀 13, 将油缸 18 推出。此时在这 2 个油缸的驱动下把纸堆夹紧。达到设定的压力后, 压力继电器发出信号, 电磁换向阀 2 和 3 被接通, 滑至中位, 油路被切断, 液压泵卸荷, 油缸未卸荷。此时由于液控单向阀的存在, 和三位四通换向阀的 P 型中位机能, 油缸的油不会回流至油箱, 从而实现液压缸的保压。“打开”时, 此时液控单向阀 6, 8 和节流阀 12, 14 首先被接通, 单向阀 6, 8 被打开, 从而使液压缸 17 和 18 中的高压液压油通过节流阀、三位四通电磁换向阀的 P 型中位、减压阀与油箱连同, 实现液压缸的缓慢释压, 将纸堆松开, 释压的快慢由 12, 14 中的节流阀调节。

翻转油缸的工作原理与夹持油缸相似, 翻转时进油路为: 液压油经齿轮泵, 减压阀出液压站后, 经电磁换向阀 4 左位, 单向阀 9, 节流阀 15, 液压缸 19, 从而推动纸堆实现翻转。放纸过程与翻转过程正好相反。通过实验测试, 该纸堆翻转机采用上述数学模型

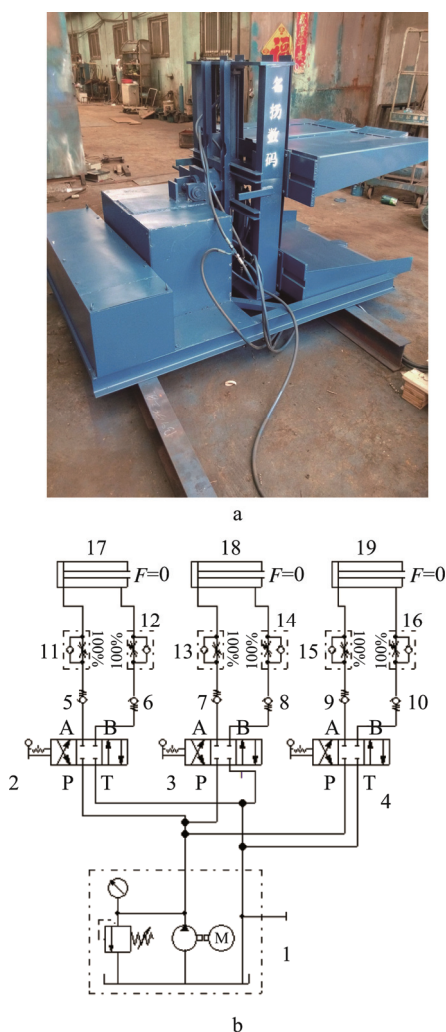
计算出来的液压参数, 能够满足夹纸和翻转的需要。实验结果非常理想。说明文中前述的理论推导及计算模型符合实际情况, 可以为纸堆翻转机的研发提供良好的参照。

5 结语

油缸的直径是整个液压系统的关键参数。对于翻转机的液压系统来讲, 如果采用齿轮泵的供油方式, 其油箱输出的最大油压不超过 16 MPa。一般情况下, 纸堆翻转机采用齿轮泵供油的方式可以满足推力需要, 因此, 在此条件下, 油缸直径直接确定了油缸的尺寸及整个液压系统的整体结构。纸堆翻转机要适应不同纸张幅面和纸堆高度, 如果设计针对性强的纸堆翻转机, 对其液压系统的精确计算, 不仅可以保证机器的正常运转, 也可以减少不必要的浪费。文中在理论分析的基础上, 对纸堆和纸张的受力情况进行了深入分析, 结合翻转机的结构, 确定了计算液压油缸直径的便捷方法, 并通过样机的验证, 证实了计算方法的有效性和可靠性。

参考文献:

- [1] 陈鹏, 孙登月. 核电大型件 90°/180° 翻转机最佳翻转工艺研究[J]. 北京工业大学学报, 2015, 45(9): 50—53.
CHEN Peng, SUN Deng-yue. Research of the 90°/180° Upender Best Turning Process of Nuclear Power Large Pieces[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2015, 45(9): 50—53.
- [2] WANG Liang, WANG Lei. Development of a 90°/180° Upender for Large and Heavy Workpiece by Using Airbags-driven Flipping Worktable[J]. Advanced Materials Research, 2014(915/916): 228—235.
- [3] 王雷. 大型翻转机构型设计[J]. 制造业自动化, 2016, 25 (1): 31—33.
WANG lei. The Type Design of Large Scale Upender[J]. Manufacturing Automation, 2016, 25(1): 31—33.
- [4] 石永鹏, 陈秀娟. 基于 Solidworks 及 PHP 的翻转机零件库的设计[J]. 机械设计, 2012, 29(12): 18—20.
SHI Yong-peng, CHEN Xiu-juan. Design of Solidworks & PHP Based on Turning Machine Part Library[J]. Journal of Machine Design, 2012, 29(12): 18—20.
- [5] 李海龙, 孙登月, 许石民, 等. 核电大型件 90°/180° 翻转机动力学分析研究[J]. 机械设计与制造, 2014, 24(12): 12—14.
LI Hai-long, SUN Deng-yue, XU Shi-min, et al. The Analysis and Research on the 90°/180° Upender Dynamics of Nuclear Power Large Pieces[J]. Machinery Design & Manufacture, 2014, 24(12): 12—14.
- [6] WANG F H, JIAO A Y. The Performance Research and



1. 液压工作站, 2, 3, 4. 换向阀, 5, 6, 7, 8, 9, 10. 单向阀, 11, 12, 13, 14, 15, 16. 节流阀 17, 18, 19. 液压油缸
图4 制作的纸堆翻转机及液压系统框架
Fig.4 The pile turner and its hydraulic system

- Dynamic Analysis for New Steel Coil Upender Clamping Device[J]. Materials Science Forum, 2011(628): 73—76.
- [7] 王伟, 陈再玉. 大型立式容器翻转机旋转支架的有限元分析[J]. 重型机械, 2016, 32(1): 36—38.
WANG Wei, CHEN Zai-yu. Finite Element Analysis for the Rotating Frame of Large Vertical Vessel Turning Machine[J]. Heavy Machinery, 2016, 32(1): 36—38.
- [8] LI Ai-min. Study on Impact of Upender Based on ADAMS[C]// Proceedings-4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2011: 936—939.
- [9] 赵丽梅. 大型自动翻转机液压系统设计[J]. 液压与气动, 2011, 28(2): 27—28.
ZHAO Li-mei. Design of Heavy-duty Automatic Turnover Machine Hydraulic System[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2011, 28(2): 27—28.
- [10] 李现友, 尹宁. 150 t矿渣车翻转机液压系统[J]. 机床与液压, 2014, 20(4): 26—28.
LI Xian-you, YIN Ning. Hydraulic System of Turnover Machine for 150 t Slag Truck[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2014, 20(4): 26—28.
- [11] 陈杰, 金鑫. 全液压翻转机系统设计[J]. 机床与液压, 2012, 22(2): 18—20.
CHEN Jie, JIN Xin. Design of a Whole Hydraulic Turnover Machine System[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 22(2): 18—20.
- [12] 谢冬冬, 李鄂民. 22t/h 铝锭翻转机液压系统设计[J]. 液压与气动, 2011, 28(11): 36—38.
XIE Dong-dong, LI E-min. The Design of Hydraulic System for 22t/h Aluminum Ingot Turnover Mechanism[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2011, 28(11): 36—38.
- [13] YAN J, ZHOU Zhi-xia. The Studying on the Automation and Control System of Unloading Line of Tipper in PLC[C]// 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 2011: 5447—5450.
- [14] 陈敬浩, 陈港. 水基涂料性质对涂布纸表面摩擦性能影响的研究[J]. 摩擦学学报, 2005, 25(5): 17—20.
CHEN Jing-hao, CHEN Gang. Influence of Water-based Coating Properties On Friction Coefficient of Coated Paper[J]. Tribology, 2005, 25(5): 17—20.
- [15] SONG Qiu-xue, WANG Lei. Design of the Main Parameter of Large and Heavy Workpieces Upender for Shell Units of Nuclear Power and Hydrogenation Equipment[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013(389): 143—148.
- [16] 储信庆, 计宏伟. 灰底白板纸与白卡纸的弹性常数对比[J]. 包装工程, 2015, 36(23): 48—51.
CHU Xin-qing, JI Hong-wei. Comparison of the Elastic Constants between the Gray Manila Board and Ivory Board[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(23): 48—51.