

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.03.019

基于伺服控制的可变周期送纸控制方法研究

毕洋基,夏聪聪,吴小明

(广东东方精工科技股份有限公司,广东 佛山 528225)

摘要:针对纸箱数码印刷机因采用固定周期送纸方式而导致印刷效率与品质下降的问题,对固定周期送纸方式对印刷效率与品质的影响进行了研究,对可变周期送纸控制策略进行了归纳,提出了基于伺服控制的可变送纸周期实现纸板短间距传送的改进方法。首先优化设计了针对短间距传送的高精度机械凸轮,然后根据凸轮参数、间距参数以及各运动轴的运动规律计算出了其运动曲线的坐标参数,最后设计出了各运动轴最优的电子凸轮运行曲线;通过实验平台测试验证了该改进方法的可行性和实用性。研究表明:不同的进纸长度对应不同送纸周期,且间距相同;该改进方法能改善喷墨打印质量,实现纸板短间距传送,提升数码印刷的生产效率。

关键词:可变送纸周期;机械凸轮;伺服控制;虚拟主轴;电子凸轮

中图分类号:TH39;TH69;TS803.6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)03-0321-06

Control method of variable feeding cycle based on servo control

BI Yang-ji, XIA Cong-cong, WU Xiao-ming

(Guangdong Dongfang Precision Science & Technology Co., Ltd., Foshan 528225, China)

Abstract: Aiming at the problem of decline in printing efficiency and reduction in printing quality caused by using fixed feeding cycle of carton digital printing machine, the influence of the fixed feeding cycle mode on the printing efficiency and quality was studied, and the variable feeding cycle control strategy was summarized. An improved method based on servo control for variable feeding cycle to realize short distance transmission of cardboard was proposed. Firstly, a high-precision mechanical cam for short distance transmission was optimized. Then, the coordinate parameters of the motion curve were calculated according to the cam parameters, the distance parameters and the movement rules of each movement axis. Finally, the optimal electronic cam curve for each motion axis was designed. The feasibility and practicability of the improved method were verified through the experimental platform test. The results indicate that different paperboards correspond to different feed cycles and the spacing is the same. The control method can improve the quality of inkjet printing, realize the short distance transmission of cardboard, and enhance the production efficiency of digital printing.

Key words: variable feeding cycle; mechanical cam; servo motion control; virtual master; electrical cam

0 引言

传统的印刷工艺已经无法适应当今社会的发展,而数码印刷技术能够满足人们的个性化印刷需求。它在纸箱印刷企业中的优势逐渐显露出来^[1]。虽然数码印刷具有周期短、快捷灵活等优点,但也存在诸多问题。影响数码印刷打印质量和效率有诸多

因素,主要包含设备性能、纸板性能、墨水性能、印刷环境等^[2]。

纸箱数码印刷机送纸机构由格栅板组件、送纸轮组件、拉纸辊组件以及真空传输轮组件构成,它们均由伺服电机控制。格栅板的升降与送纸轮的启停相互配合,实现纸板送入的目的。该伺服送纸方式有以下优点:(1)不易损伤纸板;(2)送纸精度高;(3)对纸板的适应性较好。而缺点就是采用固定送

纸周期,即无论长短的纸板都是同样的送纸周期。长度越短的纸板,纸张间距越大,效率越低。间隙越大,吸附气流扰动越大。气流扰动变大使得喷头极易产生飘墨现象,印刷图案出现毛边、乱点等情况,导致印刷品质下降。

针对印刷质量控制,目前相关文献进行了不少的研究。袁清珂等^[3]采用了遗传算法对纸箱印刷机送纸机构进行了优化设计,解决了送纸机构速度和压印滚筒速度不同步而造成的多色套印不准问题;崔晓萌^[4]针对数字印刷设备对质量的控制,开展了有关数字印刷图像质量检测控制理论与方法的研究工作。范丽娟^[5]针对数码印刷技术存在的问题,提出了相关有针对性的质量控制措施。石利琴^[6]以热喷墨成像系统为研究对象,探讨了该系统成像机理、油墨和受像介质之间的相互关系以及对喷墨印刷质量的影响,并对如何控制关键参数进行了讨论。罗红莲^[7]提出了对环境条件、耗材、最大密度和输出曲线等的控制方式,以获得高质量的数码印刷品。

基于目前伺服送纸平台,为解决数码印刷效率与品质存在的问题,本研究将采用可变送纸周期实现纸板短间距传送的改进方法,并通过实验对该方法进行验证。

1 送纸周期描述

数码印刷送纸周期与纸板间距有以下关系:

$$L_M = L_f + D_1 \quad (1)$$

式中: L_M —纸板长度与纸板间距之和; L_f —纸板长度; D_1 —纸板间距。

当采用固定周期送纸时, L_M 固定不变。根据式(1)可知,当生产不同长度的纸板时,纸板间距 D_1 不相同。 L_f 越小, D_1 越大, D_1 效率越低。 D_1 越大,吸附气流扰动越大。由此喷头极易产生飘墨现象,打印图案出现毛边、乱点等情况,导致打印质量下降。纸板间距太小则打印喷头的响应时间不够。

当采用可变周期送纸时,纸板间距根据实际情况固定可设。根据式(1)可知,当生产不同长度的纸板时,因为 D_1 不变, L_M 为可变的送纸周期(纸板长度误差较小,本文所讨论方案均忽略其误差)。 D_1 越小,则受到气流扰动越小,送纸效率也会提高。

为了实现固定短间距送纸,格栅板和送纸轮配合动作至关重要。而优化机械凸轮的设计、格栅板-送纸轮的运动规律以及电子凸轮的设计是解决该问题的3个关键点。本文围绕这3个关键方面展开分析与研究。

2 机械凸轮设计

2.1 凸轮推杆规律选定

对于传统的凸轮机构,只要设计者设计出合适的凸轮轮廓,就能使从动杆按照工作要求完成各种复杂的运动,包括直线运动、摆动、等速运动和不等速运动^[8-9]。本文所设计的凸轮机构运动速度要求较高,所选择的推杆规律要适用于高速情况。因此,选择推杆运动规律为5次多项式运动规律。机械凸轮与推杆机构有以下运动关系:

(1) 在I区(低位保持段)($0 \leq \delta \leq \delta_{11}$)的推杆行程为:

$$S = 0 \quad (2)$$

式中: S —推杆行程。

$$M_{\delta_{11}} = \delta_{11} \quad (3)$$

式中: $M_{\delta_{11}}$ —I区所对应的运动角度; δ_{11} —凸轮推程运动角在与I区的分隔点。

(2) 在II区(上升过渡段)爬升段($\delta_{11} < \delta \leq \delta_{12}$)的推杆行程为:

$$S = \alpha_5 \delta^5 + \alpha_4 \delta^4 + \alpha_3 \delta^3 + \alpha_2 \delta^2 + \alpha_1 \delta + \alpha_0 \quad (4)$$

式中: $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_5$ —五次多项式系数,均可利用边界条件确定:

$$M_{\delta_{12}} = \delta_{12} - \delta_{11} \quad (5)$$

式中: $M_{\delta_{12}}$ —II区所对应的运动角度; δ_{12} —凸轮推程运动角在II与III区的分隔点。

(3) 在III区(高位保持段)($\delta_{12} < \delta \leq \delta_{13}$)的推杆行程为:

$$S = H \quad (6)$$

式中: H —凸轮最大行程,在III区, $S = H$ 。

$$M_{\delta_{13}} = \delta_{13} - \delta_{12} \quad (7)$$

式中: $M_{\delta_{13}}$ —III区所对应的运动角度; δ_{13} —凸轮推程运动角在III与 360° 的分隔点。

(4) 在IV区(下降过渡段)($\delta_{13} < \delta \leq 360$)的推杆行程为:

$$S = \alpha_{11} \delta^5 + \alpha_{10} \delta^4 + \alpha_9 \delta^3 + \alpha_8 \delta^2 + \alpha_7 \delta + \alpha_6 \quad (8)$$

式中: $\alpha_6, \alpha_7 \dots \alpha_{11}$ —五次多项式系数,均可利用边界条件确定。

$$M_{\delta_{360}} = 360 - \delta_{13} \quad (9)$$

式中: $M_{\delta_{360}}$ —III区所对应的运动角度。

2.2 凸轮参数设计

为提高机构的效率,改善其受力情况,凸轮机构的最大压力角不应接近临界压力角。根据实践经验,在推程时许用压力角的值为:对摆动推杆一般取 $35^\circ \sim$

45°,回程则取 75°~80°。当推杆运动规律选定后,可通过压力角和基圆半径关系的诺模图^[9]近似地确定凸轮的基圆半径。

推杆上升行程转角与推杆下降行程转角一般取 30°~50°。

为了实现长纸板短间距传送,需考虑到凸轮加速度问题。一般情况下,凸轮盘高位转角、加速距离与安全距离等因素都会对最佳的纸板间距产生影响。纸板间距距离所对应的高位转角不宜大,并且要求凸轮盘低位转角比高位转角大。

3 电子凸轮曲线设计

本文所设计的电子凸轮并非代替机械凸轮,而是通过设计优化的电子凸轮运行曲线来更好地控制机械凸轮的运动。通过机械凸轮与电子凸轮的配合,从而实现所需要的机械结构动作要求。因此在对电子凸轮曲线进行设计时,首先要考虑两个运动关系:(1)送纸轮与虚拟主轴的运动关系;(2)格栅板凸轮与虚拟主轴的运动关系。虚拟主轴的控制理念最初由在文献^[11]中提出的,在主从式同步的基础上,将从轴的驱动力矩反馈至主轴控制器的前向通道中,实现了主轴与从轴之间参数的耦合反馈。在文献^[12]中明确提出了虚拟主轴的概念,即通过模拟机械式同步方案中主轴的特点,为反馈力矩赋予了物理意义,在各运动轴之间建立了联系。下面分别对各轴与虚拟主轴的运动关系进行阐述。

3.1 送纸轮与虚拟主轴的运动关系

针对主轴与从轴之间参数的耦合反馈,本研究首先确定送纸轮与虚拟主轴的关系。送纸轮与虚拟主轴的运动关系如图 1 所示。

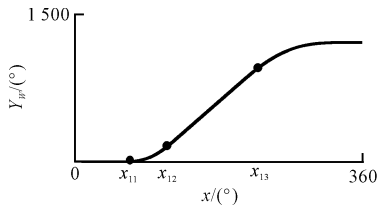


图 1 送纸轮与虚拟主轴的运动关系

根据送纸轮与虚拟主轴的运动关系,可得以下方程:

$$\begin{cases} \Delta Y_{W1} = 0, (0 < x \leq x_{11}, \text{I}); \\ \Delta Y_{W2} = c_5 x^5 + c_4 x^4 + c_3 x^3 + c_2 x^2 + c_1 x + c_0, (x_{11} \leq x \leq x_{12}, \text{II}); \\ \Delta Y_{W3} = k_2 x + f_2, (x_{12} < x \leq x_{13}, \text{III}); \\ \Delta Y_{W4} = c_{11} x^5 + c_{10} x^4 + c_9 x^3 + c_8 x^2 + c_7 x + c_6, (x_{13} < x \leq 360, \text{IV}); \end{cases} \quad (10)$$

式中: $\Delta Y_{W1}, \Delta Y_{W2}, \Delta Y_{W3}, \Delta Y_{W4}$ —送纸轮在 I、II、III、IV 区的位移; x_{11}, x_{12}, x_{13} —I、II、III、IV 各分区之间的分隔点; $c_0, c_1, c_2, \dots, c_{11}$ —五次多项式系数; k_2, f_2 —匀速段系数。

五次多项式系数和匀速段系数均可利用边界条件确定:

$$L_{VW} = \Delta X_{W1} + \Delta X_{W2} + \Delta X_{W3} + \Delta X_{W4} = 360^\circ \quad (11)$$

式中: $\Delta X_{W1}, \Delta X_{W2}, \Delta X_{W3}, \Delta X_{W4}$ —虚拟主轴在 I、II、III、IV 区的位移; L_{VW} —送纸轮虚拟主轴周期。

式(10,11)中,在区送纸轮处于静止状态;在区送纸轮加速至同步速度;在区送纸轮保持同步速度并送出纸板;在区送纸轮开始减速直至停止。

3.2 格栅板凸轮与虚拟主轴的运动关系

本研究通过虚拟主轴作为从轴送纸轮和格栅板的参考主轴作同步运动。格栅板凸轮与虚拟主轴的运动关系如图 2 所示。

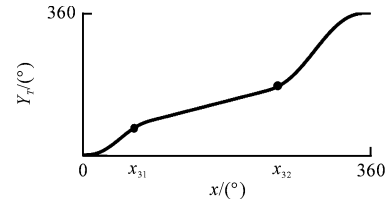


图 2 格栅板凸轮与虚拟主轴的运动关系

根据格栅板凸轮与虚拟主轴的运动关系,可得以下方程:

$$\begin{cases} \Delta Y_{T1} = d_5 x^5 + d_4 x^4 + d_3 x^3 + d_2 x^2 + d_1 x + d_0, (0 \leq x \leq x_{31}, \text{I}); \\ \Delta Y_{T2} = k_3 x + f_3, (x_{31} < x \leq x_{32}, \text{II}); \\ \Delta Y_{T3} = d_{11} x^5 + d_{10} x^4 + d_9 x^3 + d_8 x^2 + d_7 x + d_6, (x_{32} < x \leq 360, \text{III}); \end{cases} \quad (12)$$

式中: $\Delta Y_{T1}, \Delta Y_{T2}, \Delta Y_{T3}$ —格栅板凸轮在 I、II、III 区的位移; x —虚拟主轴位置; x_{31}, x_{32} —虚拟主轴 I、II、III 各分区之间的分隔点; $d_0, d_1, d_2, \dots, d_{11}$ —五次多项式系数; k_3, f_3 —匀速段系数。

五次多项式系数和匀速段系数均可利用边界条件确定:

$$\begin{cases} \Delta Y_{T1} = M_{\delta 4} + \Delta \delta \\ \Delta Y_{T2} = M_{\delta 1} - \Delta \delta + M_{\delta 2} \\ \Delta Y_{T3} = M_{\delta 3} \end{cases} \quad (13)$$

式中: $\Delta \delta$ —凸轮角度调节。

$$L_T = \Delta Y_{T1} + \Delta Y_{T2} + \Delta Y_{T3} = 360^\circ \quad (14)$$

式中: L_T —格栅板凸轮周期。

$$L_{VT} = \Delta X_{T1} + \Delta X_{T2} + \Delta X_{T3} = 360^\circ \quad (15)$$

式中: L_{VT} — 格栅板凸轮虚拟主轴周期。

式(12 ~ 14)中,在 I 区凸轮开始下降,使得格栅板下降;在 II 区凸轮保持匀速运行,格栅板保持在低位继续送纸;在 III 区凸轮开始上升,使得格栅板分离纸板与送纸轮的接触。

3.3 曲线轴参数设计

虚拟主轴的运动角度范围是 $0 \sim 360^\circ$ 。格栅板凸轮的运行角度范围也是 $0 \sim 360^\circ$ 。根据式(1)可知,虚拟主轴周期即为送纸周期, D_1 既包含了送纸轮加速过程相对虚拟主轴所损失的距离,又包含了纸板间的安全距离。为了避免两张纸板间的干扰,将纸板间的安全距离作为裕量考虑进去。送纸轮周长为 $L_{W1} = 2\pi r_{W1}$,其中: L_{W1} — 送纸轮周长, r_{W1} — 送纸轮半径。根据上式(10 ~ 15)的关系,便可对各轴的凸轮曲线参数进行设计,设计步骤如下:

(1) 启动送纸功能,格栅板同时下降。根据凸轮特点可知,当格栅板下降至最低位置时,送纸轮启动,即送纸轮开始启动的角度,如图 1 所示。

(2) 根据式(12)可得:

$$\Delta Y_{T1} = M_{\delta 4} + \Delta \delta \quad (16)$$

$$\Delta X_{T1} = M_{\delta 4} + \Delta \delta \quad (17)$$

$$\Delta Y_{T2} = M_{\delta 1} + \Delta \delta + M_{\delta 2} \quad (18)$$

$$\Delta Y_{T3} = M_{\delta 3} \quad (19)$$

(3) 如图 1 所示,当纸板被送至拉纸辊时,送纸轮和拉纸辊必须线速度同步。根据挡纸板与拉纸辊的距离 ΔL ,为了使得送纸轮的加减速和机械应力小,本研究选择主轴合适的加速同步距离 ΔL_A 和纸板加速过程中合适的损失系数 k 。由此根据 L_M 和 L_{W1} 参数推算出送纸轮达到线速度同步时,送纸轮折算到虚拟主轴可得:

$$\Delta Y_{W2} = f_{Y_{W2}}(\Delta L_A, k, L_M) \quad (20)$$

$$\Delta X_{W2} = f_{X_{W2}}(\Delta L_A, k, L_M) \quad (21)$$

(4) 如图 2 所示,当纸板被送至传输轮时,送纸轮与传输轮线速度也必须同步。根据纸板设计所需送入的长度 ΔL_p (超过挡纸板的距离,小于 ΔL),此时格栅板在最低点开始上升。由公式(12 ~ 14)可推算出在凸轮经过 I 区域 $M_{\delta 1}$ 和 II 区域的 $M_{\delta 2} - \Delta \delta$ 时,虚拟主轴在格栅板低位区和过渡区所走的角为:

$$\Delta X_{T2} = f_{X_{T2}}(\Delta L_A, \Delta L_p, L_M, k) \quad (22)$$

$$\Delta X_{T3} = 360 - \Delta X_{T1} - \Delta X_{T2} \quad (23)$$

(5) 为了使送纸轮在 IV 区域停止时加速度 V_{AC} 较小,速度较平缓。先初步设定送纸停止段与启动段参数相同,即可知:

$$\Delta Y_{W4} = f_{Y_{W4}}(\Delta L_A, k, L_M) \quad (24)$$

$$\Delta X_{W4} = C \quad (25)$$

式中: C — 初设角度常数。

(6) 如图 1 所示,送纸轮在 III 区域与虚拟主轴保持同步关系,即存在线性关系。由此根据式(10)和(11)可推算出:

$$\Delta Y_{W3} = p * \Delta X_{W3} \quad (26)$$

$$\Delta X_{W3} = 360 - \Delta X_{W1} - \Delta X_{W2} - \Delta X_{W4} \quad (27)$$

式中: p — 送纸轮与虚拟主轴的线性因子。

(7) 格栅板随着纸板传送慢慢上升,让后续纸板前段部分脱离与送纸轮的接触。因此送纸轮的行程必须大于格栅板能送出纸板的实际长度,即格栅板送完所需长度纸板后才能作减速运动。

3.4 曲线轴参数修正

加速同步距离 ΔL_A 和纸板加速过程损失系数同样影响机械应力的。假设 ΔX_{W4} 不变,随着 ΔL_A 增大, ΔY_{W2} 、 ΔX_{W2} 和 ΔY_{W4} 都会增大。

而 ΔX_{W1} 已知,又根据式(11)可知,如果增大加速同步距离 ΔL_A ,则 ΔX_{W3} 会减少。虽然加速段的加速度 V_{AC} 会减少,但是减速段的减速度 V_{DC} 则会增加,机械应力变大,并且送纸行程被缩短了,影响了送纸精度。

同样的,在设计格栅板凸轮曲线时, ΔX_{T2} 、 ΔX_{T3} 都与加速同步距离 ΔL_A 和纸板加速过程损失系数 k 有关。

因此,在保证满足设计要求的情况下通过不断调整加速同步距离 ΔL_A 、纸板加速过程损失系数 k 和 ΔX_{W4} 的值来修正送纸轮和格栅板电子凸轮曲线取得较平衡的动力特性。

4 实验结果与分析

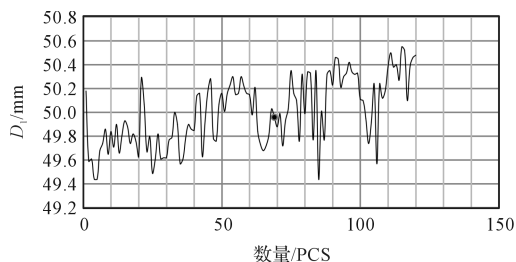
为了验证该控制方法的实际效果,本文以 DP-STAR 718 瓦楞纸板连续式数码印刷机为实验平台。

该实验平台由送纸单元、喷墨打印单元以及干燥单元组成。运动控制器作为送纸单元 3 轴驱动器的控制核心,通过现场总线控制各轴的运动^[13]。本研究根据一定范围内的各种尺寸的纸板长度,预先设计好对应每种纸板的最佳参数,并在运动控制器模块里的 CPU 中编辑送纸单元的运动逻辑控制程序和凸轮曲线控制表,以便使得纸板长度与行程一一对应。通过人机界面输入正确的纸板长度,并将电子凸轮曲线下载至运动控制器。运动控制器根据所选择的纸板长度,经过内部运算得出电机驱动的控制参数。实验参数表如表 1 所示。

表1 DPSTAR 718 实验参数表

参数名称	数值
最大打印宽度	1 800 mm
喷头种类	星光 1 024
墨水种类	环保水性墨水
颜色通道	4
喷印精度	300 dpi
测试速度	50 m/min
测试纸板尺寸	460 × 560 mm
打印面纸种类	白卡
测试纸板数量	120
设定间距	50 mm
固定周期	800 mm
可变周期	510 mm

本研究设定固定纸板间距为 50 mm,准备 120 张 460 mm × 560 mm (进纸方向为 460 mm) 的纸板在高清打印模式 50 m/min 速度下打印,以表 1 的打印速度和纸板尺寸生产时,固定周期的生产速度为 3 750 张/h,而可变周期的生产速度为 5 880 张/h。由此可推算出可变周期的效率比固定周期的效率提升了 56.8%。采用色标传感器对送纸单元的纸板上升沿位置进行检测,送纸周期即为 510 mm,间距分布图如图 3 所示(图 3 中:横坐标—测试纸板数量,纵坐标—纸板上升沿时探头检测的距离)。

图3 D_1 间距分布图

由图 3 的数据分析可知,纸板上升沿检测距离误差 ± 1.0 mm 在范围之内,送纸周期固定且精确;根据式(1)可得,纸板间距 D_1 固定且精确(此处忽略纸板长度误差),满足设计要求。

采用固定周期 800 mm 时喷头飘墨打印效果如图 4 所示。



图4 飘墨打印效果

采用可变周期 510 mm 时喷头正常打印效果如图 5 所示。



图5 正常打印效果

由图 4、图 5 可知,打印图案的毛边和乱点情况得到了改善,由此可见可变周期送纸实现固定间距对打印品质有改善作用。

5 结束语

为了实现短间距传送,本研究优化了机械凸轮,通过模拟验证并修正所设计的电子凸轮曲线参数,使各伺服运动轴取得较平衡的动力特性;通过实验装置测量验证了可变送纸周期方法对印刷效率和品质的影响。结果表明:该控制方法能根据实际纸板长度改变送纸周期实现精确送纸,不同的进纸长度对应不同送纸周期,且间距相同;印刷效率有明显的提升,因飘墨而导致品质下降的情况得到了改善。

为了适应更宽范围的纸板,在下一阶段本研究将对机械凸轮和电子凸轮进行更深一步的优化,并通过实验验证可变周期送纸控制方法。

参考文献 (References):

- [1] 李沛东. 数码印刷技术未来发展趋势展望[J]. 产业与科技论坛, 2016, 15(22): 89-90.
- [2] 柳玲. 数码印刷的优势与质量控制[J]. 印刷质量与标准化, 2008(8): 51-53.
- [3] 袁清珂, 石亚平, 张明天. 基于 GA 纸箱印刷机送纸机构的优化设计[J]. 包装工程, 2009, 30(11): 46-48.
- [4] 崔晓萌. 数字印刷图像质量检测与质量控制工程理论与应用研究[D]. 广州: 华南理工大学轻工与食品学院, 2013, 34-37.
- [5] 范丽娟. 有关数码印刷产品质量的控制策略探讨[J]. 印刷质量与标准化, 2012(10): 40-41.
- [6] 石利琴. 影响喷墨印刷质量的关键因素分析[J]. 包装工程, 2005, 26(4): 45-47.
- [7] 罗红莲, 褚庭亮, 李家祥, 等. 数码印刷产品质量分析与控制[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 81-83.
- [8] 王程, 贺炜. 凸轮结构 CAD/CAM 研究的回顾与展望

- [J]. 机械传动, 2008, 32(6): 119-123.
- [9] 刘金辉, 刘雄心, 刘 军, 等. 四边封口包装机自动对标装置的设计[J]. 包装与食品机械, 2017(3): 30-33.
- [10] 孙 桓, 傅则绍. 机械原理[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [11] LORENZ R D, SCHMIDT P B. Synchronized Motion Control for Process Automation[C]. IEEE Conference Record of the 1989 Industry Applications Society Annual Meeting, San Diego, CA, USA. 1989.
- [12] PAYETTLE K. The virtual shaft control algorithm for synchronized motion control[C]. Proceedings of the American Control Conference, Philadelphia, Pennsylvania. 1998.
- [13] SUN D. Position Synchronization of Multiple Motion Axes with Adaptive Coupling Control[J]. *Automatica*, 2003, 39(6): 997-1005.

[编辑: 李 辉]

本文引用格式:

毕洋基, 夏聪聪, 吴小明. 基于伺服控制的可变周期送纸控制方法研究[J]. 机电工程, 2019, 36(3): 321 - 326.

BI Yang-ji, XIA Cong-cong, WU Xiao-ming. Control method of variable feeding cycle based on servo control[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019, 36(3): 321 - 326.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 320 页)

(5) 左尾绞缆机移除前一定要做定位基准。机座复位后, 根据绞缆轴与下瓦的接触情况进行微调;

(6) 旧瓦磨损后, 瓦口直径较大, 能保证绞缆轴在下瓦内呈自由状态, 故左尾绞缆机微调用下瓦建议使用旧瓦。

10 结束语

本文对船用绞缆机的修理过程和相关工艺进行了详细描述, 尾绞缆机经过更换尾部甲板、修理刹车毂、更换刹车带, 换新液压马达小齿轮、更换全部绞缆轴瓦等修理工事后, 组装、研配、运转。转动平稳, 离合操纵灵活, 刹车有力, 轴承温度正常。运转结果表明该修理方案切实可行。

参考文献 (References):

[1] 孟宪法. 船舶辅助机械[M]. 北京: 人民交通出版社.

- 1985.
- [2] 国家船舶标准化委员会. CB/T 3687 - 1995. 船用系泊绞车和绞盘修理技术要求[S]. 北京: 交通出版社, 1995.
- [3] 国家交通标准化委员会. JT/T 540 - 551, 560 - 2004. 船用电动系泊绞盘及其减速箱修理技术要求[S]. 北京: 交通出版社, 2004.
- [4] 国家标准化委员会. GB/T 3687 - 1995. 钢质海船建造入级规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [5] 廖念钊, 古莹菴, 莫雨松, 等. 互换性与技术测量[M]. 北京: 中国计量出版社, 1985.
- [6] 杨可桢. 机械设计基础. [M]. 北京: 高等教育出版社. 1979.
- [7] 史美堂. 金属材料及热处理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [8] 濮良贵, 纪名刚, 陈国定, 等. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.

[编辑: 李 辉]