

PS-4 型络筒机导纱机构的设计研究

郑筱春 谢少荣

(天津纺织工学院)

【摘要】 本文讨论了 PS-4 型络筒机导纱原理, 推导了导纱板理论轮廓曲线方程。并采用优化方法得出最佳的近似廓形曲线, 以简化制造, 同时给出了相关零件的系列尺寸参数。

瑞士 PS-4 型高速精密交叉卷绕络筒机取消了槽筒, 卷取头由交流调频电动机通过齿形带单锭驱动。纱线沿卷筒的轴向往复移动由两片反向旋转的浆叶与导纱板共同作用完成。卷取头与浆叶间采用定比运动, 按照不同的卷绕比更换齿形带轮可调整传动比。该机的卷绕比为分母很大的分数, 既消除了连续重叠卷绕又保证了纱线沿筒子圆周均匀离散分布。与槽筒机的等螺旋角卷绕方式不同, PS-4 型机采用等螺距卷绕。

本文讨论了 PS-4 型络筒机导纱机构原理, 给出了导纱板轮廓曲线方程。为制造方便, 用优化方法找出了替代导纱板理论廓线的最佳圆弧曲线。并按照纱线公称往复行程, 推得导纱板和浆叶片的系列几何参数。

一、导纱板轮廓曲线分析

图 1 示一片浆叶的某一位置, 浆叶顺时针旋转带动纱线由左向右移动(为清晰未画出反向旋转的浆叶)。在导纱过程中, 纱线始终与浆叶和导纱板侧面接触。图中 oxy 坐标系的原点与浆叶回转中心重合, x 轴与纱线移动方向平行。纱线在此坐标系下的 x 坐标为:

$$x = R(\phi)\sin\phi \quad (1)$$

式中: ϕ 为纱线与导纱板轮廓接触点的位置角, 规定以 y 轴的正方向逆时针旋转所得的 ϕ 角为负, 反之为正; $R(\phi)$ 为接触点的极半径。

按照卷绕工艺要求, 一次往复导纱过程中, 纱线沿 x 方向移动速度应均匀一致, 即

$$V_x = dx/dt = (dx/d\phi) \cdot (d\phi/dt)c\omega \quad (2)$$

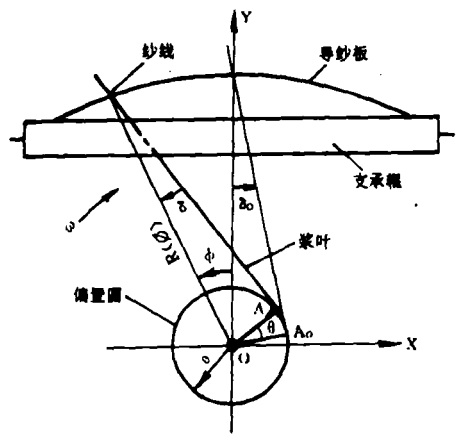


图 1 一片浆叶在某一位置时示意图
式中: c 为常数; ω 为浆叶转动的角速度, 在一次往复导纱中 ω 是恒定的。注意浆叶的导纱侧面不通过浆叶的回转中心, 故 $d\phi/dt \neq \omega$ 。(1)式两边对 ϕ 求导得:

$$dx/d\phi = R'(\phi)\sin\phi + R(\phi)\cos\phi \quad (3)$$

为了求得浆叶回转角 θ 与纱线位置角 ϕ 之间的关系。过 y 轴与导纱板轮廓曲线的交点, 作半径为 e 的偏置圆的切线得切点 A 。(见图 1), 连接 OA_0 作为计算浆叶回转角 θ 的起始位置, 规定 OA_0 逆时针旋转与 OA 重合扫过的 θ 角为负, 反之为正。由图知:

$$\phi = \theta + S_n(\delta_0 - \delta) \quad (4)$$

式中: $\delta_0 = \sin^{-1} \frac{e}{R(0)}$; $\delta = \sin^{-1} \frac{e}{R(\phi)}$; S_n 为符号系数, $S_n = -1 (\theta < 0)$ 或 $S_n = 1 (\theta \geq 0)$ 。由(4)式知, 当 $e \neq 0$ 时浆叶回转角 θ 不等于纱线位置角 ϕ , 故有

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{\omega}{d\theta/d\phi} \quad (5)$$

(4)式两边对 ϕ 求导,并整理得

$$\frac{d\theta}{d\phi} = 1 + S_n \frac{d\delta}{d\phi} = 1 - \frac{S_n e R'(\phi)}{R(\phi) \sqrt{R^2(\phi) - e^2}} \quad (6)$$

将(3)、(5)两式代入(2)式,并利用(6)式简化整理得:

$$R'(\phi) \sin\phi + R(\phi) \cos\phi = C \left(1 - \frac{S_n e R'(\phi)}{R(\phi) \sqrt{R^2(\phi) - e^2}} \right) \quad (7)$$

(7)式为导纱板轮廓曲线设计方程,该方程为一阶非线性常微分方程。由观察知,该方程的解 $R(\phi)$ 为一偶函数,因此 $R'(0)=0$ 。当 $\phi=0$ 时,由(7)式得 $C=R(0)$ 。

二、导纱板近似轮廓曲线设计

按照(7)式设计制造导纱板轮廓,要采用数值解法和数控加工。从卷绕工艺的角度看,纱线沿 x 方向的运动,在一次往复导纱中,接近恒定即可。因此为方便设计与制造,采用圆弧曲线替代导纱板的理论廓线。图2示替代理论廓线的圆弧。该圆弧的圆心为 O' ,位于 y 轴上。圆弧半径为 R_a 。圆心 O' 距浆叶回转中心 O 的距离为 d 。由图可得:

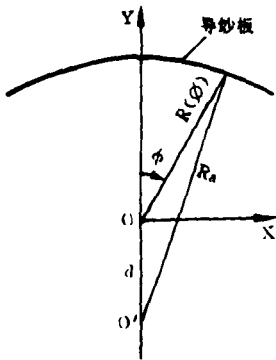


图2 替代理论廓线、圆弧

$$R(\phi) = \sqrt{R_a^2 - d^2 \sin^2\phi} - d \cos\phi \quad (8)$$

式中: $d=R_a-R(0)$

(8)式两边对 ϕ 求得

$$R'(\phi) = \frac{-d^2 \sin 2\phi}{2 \sqrt{R_a^2 - d^2 \sin^2\phi}} + d \sin\phi \quad (9)$$

为寻找最佳圆弧曲线,引入速度波动率:

$$u(\phi) = \left| \frac{v_x(\phi) - v_x(0)}{v_x(0)} \right| \quad (10)$$

式中:

$$v_x(\phi) = \frac{R'(\phi) \sin\phi + R(\phi) \cos\phi}{1 - S_n e R'(\phi) / R(\phi) \sqrt{R^2(\phi) - e^2}} \cdot \omega \quad (11)$$

$$v_x(0) = R(0) \cdot \omega \quad (12)$$

波动率 $u(\phi)$ 为一偶函数,对理论廓线 $u(\phi)$ 恒为零。对圆弧廓线,将(8)、(9)两式代入(11)式,并利用(12)、(10)两式即可求得波动率 $u(\phi)$ 。

为进行系列参数设计,我们引入两个无量纲参量 $\xi_1=e/R(0)$, $\xi_2=R_a/R(0)$ 。并建立下面优化数学模型:

$$\min F = \max u(\phi) \quad \phi \in [0, \phi_c] \quad (13)$$

$$S. t. \quad \xi_1 = 0.25$$

$$\xi_2 > 1$$

式中: ϕ_c 纱线极限位置角, $\phi_c = \pi/4$ (双叶片浆叶) 或 $\phi_c = \pi/6$ (三叶片浆叶)。

$$u(\phi) = \left| \frac{\rho_2 \sin\phi + \rho_1 \cos\phi}{1 - \xi_1 \rho_2 / \rho_1 \sqrt{\rho_1^2 - \xi_1^2}} - 1 \right| \quad (14)$$

式中:

$$\rho_1 = \frac{R(\phi)}{R(0)} = \sqrt{\xi_2^2 - (\xi_2 - 1)^2 \sin^2\phi} - (\xi_2 - 1) \cos\phi$$

$$\rho_2 = \frac{R'(\phi)}{R(0)} = (\xi_2 - 1) \sin\phi - \frac{(\xi_2 - 1)^2 \sin 2\phi}{2 \sqrt{\xi_2^2 - (\xi_2 - 1)^2 \sin^2\phi}}$$

为节省篇幅,(14)式的推导从略。

上机计算结果为: $\xi_2=1.5$, $F=0.0373$ (两叶片浆叶) 和 $\xi_2=1.4$, $F=0.0159$ (三叶片浆叶)。注意目标函数 F 代表速度波动率的最大值。上述结果表明采用圆弧曲线替代导纱板的理论廓线,速度波动率可控制在4%以内,工艺上是完全允许的。

三、导纱板系列几何参数与调整参数确定

前面优化结果确定了两个无量纲参量, ξ_1 与 ξ_2 , 保证了导纱板圆弧曲线对理论廓线的最佳逼近。但 PS-4 型络筒机为适应不同的卷装宽

度, 纱线的公称往复行程从 75mm 到 254mm 有 12 个级别。公称往复行程不同, 所得的 $R(0)$ 亦不同, 从而导致了导纱板和浆叶片的几何尺寸的变化及相关零部件位置参数的调整。

图 3 示顺时针回转的浆叶片引导纱线到右极限位置, 浆叶片与纱线脱离。此脱离点到 oy 轴的距离等于纱线公程往复行程 L 的一半。由

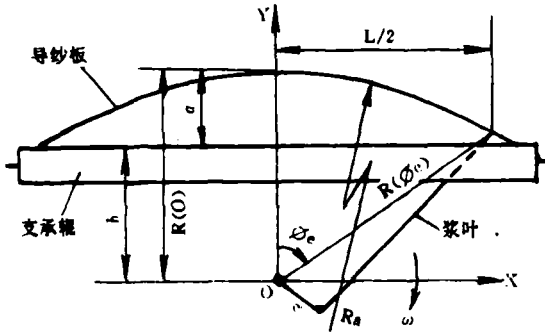


图 3 导纱板系列几何参数与调整参数示意图知:

$$L/2 = R(\phi_e) \sin \phi_e = \rho_1 R(0) \sin \phi_e$$

故有:

$$R(0) = L/2 \rho_1 \sin \phi_e \quad (5)$$

对二叶片浆叶, $\phi_e = \pi/4$, $\xi_2 = 1.5$, $\rho_1 = 1.06$; 对三叶片浆叶, $\phi_e = \pi/6$, $\xi_2 = 1.4$, $\rho_1 = 1.039$ 。 $R(0)$ 确定之后, 几个重要的尺寸参数亦随之确定:

$$e = \xi_1 R(0) \quad (16)$$

$$R_a = \xi_2 R(0) \quad (17)$$

$$R(\phi_e) = \rho_1 R(0) \quad (18)$$

(15)~(18)式表明, 随着纱线公程往复行

程 L 的变化, 导纱板与浆叶片的几何尺寸亦发生变化。故改变卷装宽度时, 要更换导纱板和浆叶片。考虑到浆叶箱的结构设计, PS-4 型机规定公称往复行程 $L \geq 130\text{mm}$ 时, 采用两叶片浆叶; $L = 75 \sim 110\text{mm}$ 时, 采用三叶片浆叶。

下面讨论两个位置调整参数 a 和 b (见图 3)。 a 为导纱板轮廓中点到支承辊前沿距离, b 为浆叶片回转中心到支承辊前沿距离。由于支承辊的位置涉及驱动卷筒转动的调频电机的控制, 故支承辊在络筒机上的位置是固定的。由图 3 知:

$$a + b = R(0) \quad (19)$$

上式表明, 改变卷装宽度时, a, b 两参数需要调整。 b 的调整, 涉及浆叶箱位置和水平调整及传动路线中带的张力调节。调整时应使

$$b \leq b_{\max} = \rho_1 R(0) \cos \phi_e \quad (20)$$

同时在整个卷装宽度变化范围内, b 的变化不易过大, 以避免复杂的调整结构。并要兼顾 a 使其尽量接近 $a_{\min} = R(0) - b_{\max}$, 以使导纱点(纱线与导纱板接触点)和握持点(纱线进入卷筒和支承辊的接触点)距离不要过大, 从而保证导纱的准确。资料^[1]中给出了纱线公称往复行程 L 变化时的调整参数 a , 利用它我们算得 b 的变化约 50mm。

参 考 资 料

[1] Manual of CROSS WINDER and ASSEMBLY WINDER PS-4, SCHÄRER SCHWEITER METTLER AG.

[2] 曾昭华等,《优化设计》,机械工业出版社,1992.1.

泰兴市三江化工厂产品简介

1. TH-6 喷水织机浆料, 含固量 $25 \pm 1\%$, 适用于喷水织机生产涤纶长丝的上浆及在细旦丝纤维的上浆。

2. TH-9 喷水织机浆料, 含固量 $25 \pm 1\%$, 适用于喷水织机生产锦纶丝的上浆。

3. TH-8 喷气织机浆料, 含固量 $25 \pm 1\%$, 适用于喷气织机涤纶丝的上浆, 具有较好的抱合力和耐磨性, 浆膜平滑性好, 上浆无起毛及断丝现象。

4. SR-1 浆丝后上油剂, 有效成分 $\geq 89\%$, 是喷水织机纤维上浆的配套产品。

5. PN-6 增稠剂, 含固量 $25 \pm 1\%$, 应用于各类化纤地毯背面上胶, 配胶中作增稠助剂。

6. PN-893 分散剂, 含固量 $40 \pm 2\%$, 该产品主要适用于铜板纸、白板纸涂布作颜料分散剂, 对高岭土、 CaCO_3 、 BaSO_4 、缟白等白色颜料具有良好的分散性。

7. 高含固自交联水性聚丙烯酸酯涂层剂 (PA-939 涂层胶), 含固量 $50 \pm 2\%$; $55 \pm 2\%$; $60 \pm 2\%$ 。用于防水要求较高的风雨衣、旅游帐篷和油田防护服等面料的涂层整理。

(季建军)