

喷水织机喷嘴口射流速度的理论研究

李克让

陈明

(宁波服装职业技术学院,宁波,315100) (东华大学机械学院)

摘要:建立喷水织机引纬系统的力学模型和计算方法,通过对喷水织机喷水动力学研究,首次在考虑双臂杠杆套件的转动惯量和水流阻力损失的情况下,得出了计算喷嘴口出流速度的理论公式。

关键词:喷水织机 喷水引纬 射流速度 动力学 理论研究

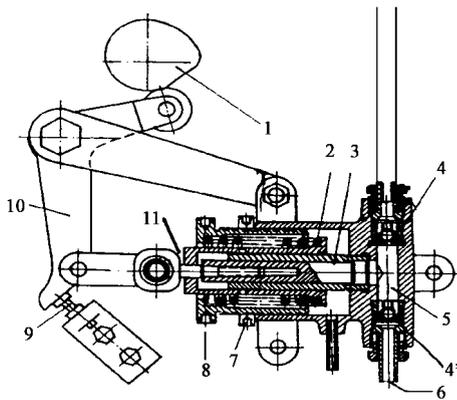
中图分类号:TS 103.337.12 文献标识码:A

喷水织机采用喷水引纬机构,其性能的优劣决定了整台织机的档次。喷水引纬织造时,纬纱是依靠高速水射流牵引的,因此水射流的运动规律是非常重要的,而水射流的运动规律又取决于喷嘴出水口的水射流速度。由此可见,喷射水流的出流速度是分析喷水织机上水射流的运动规律和纬纱飞行的出发点和关键。

研究喷水系统动力学,有助于探索主要引纬机构参数对水射流的出流速度的影响及其相互关系,并通过引纬机构参数的优化组合来达到改善喷射水流的性能,并提高水射流的速度和水射流对纬纱的牵引力,以实现提高喷水织机入纬率和适当扩大喷水织机织造幅宽的目的。

1 喷水装置

喷水装置如图1所示^[1]。柱塞3的运动是受凸轮1和弹簧2相配合的作用所控制的。当凸轮从小半径转向大半径时,通过双臂摆杆10的作用带动柱塞向左运动,同时通过衬套使弹簧2压缩。另一方面又在水泵内腔5形成一负压使出水单向阀4关闭,将水从进水单向阀4'及进水口6引入。当凸轮从最大半径突然降至最小半径时,由于弹簧的作用通过衬套使柱塞迅速向右,带动双臂杆做逆时针方向转动。在柱塞随弹簧力的作用而向右时水压将进



1 - 凸轮;2 - 弹簧;3 - 柱塞;4,4' - 单向阀;5 - 水泵内腔;
6 - 进水口;7 - 锁紧螺母;8 - 滚花螺母;9 - 支头螺钉;
10 - 双臂摆杆;11 - 衬套

图1 喷水装置示意图

水单向阀4'封闭,同时将水从内腔压出,使水流经喷嘴而喷出。

调节弹簧左端的滚花螺母8及锁紧螺母7,可调节压水弹簧压力的大小。调节支头螺钉9可以调节柱塞向右的最大位移以调节每次压出水量的多少。

2 喷嘴出口喷水速度的计算

在以下理论分析中,假设水流为理想流体,不可压缩,其在水泵内、输水管内及喷嘴内的流动为层流;假设喷嘴出水口可以等效看作一圆孔形状出口。

经简化的柱塞喷射装置示意图或受力模型如图 2, 该模型第一次考虑了输水管(泵与喷嘴之间的连通管)的作用长度 l_1 , 以及管内各种作用阻力损失, 包括摩擦阻力及局部阻力 Σhg 。下面以该模型来推导喷嘴出口处喷水速度^[1,2]。参数定义如下:

m 为柱塞组件集中在柱塞处的质量, 包括柱塞、套筒、短杆、三分之一弹簧以及双臂杠杆的相当质量; g 为重力加速度; t 为时间; ρ_0 为水的密度。

图 2 中, 柱塞、喷嘴入口及喷嘴出口面积分别为 s, s_1, s_2 , 其相应的流速为 v, v_1, v_2 , 则 $sv = s_1 v_1 = C s_2 v_2$ (C 为流量系数, 一般在 $1 \sim 0.95$ 之间)。

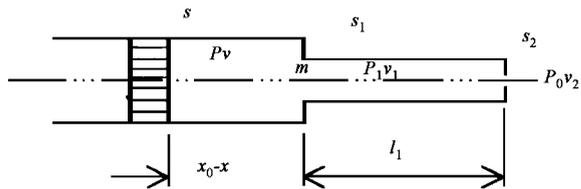


图 2 喷射系统示意图

在柱塞内、管道及喷嘴内以及喷嘴出口处压力分别为 p, p_1, p_0 , 若柱塞缸内腔长近似为 x_0 , 当柱塞位移 x 后内腔长 $x_0 - x$, 铜管长 l_1 , 此时 $p > p_1 > p_0$, 其压力差可用功能原理求出, 即柱塞压力做的功等于缸内、管内水的功能和喷出水的动能的总和。

若计及管内阻力损失, 并考虑到 $C s_2 v_2 dt = sv dt = s dx$, 则

$$\frac{p - p_0}{\rho_0} = \left| x_0 - x + \frac{s}{s_1} l_1 \right| \frac{v dv}{dx} + \frac{v^2}{2} \left| \frac{s^2}{s_2^2 C^2} - 1 \right| + \Sigma hg \quad (1)$$

式(1)中有阻力损失项 Σhg 。若设 v 为常数, 则

$$v^2 = \frac{2(p - p_0) / \rho_0 - 2 \Sigma hg}{1 - C^2 s_2^2 / s^2} \quad (2)$$

如把柱塞组件作为分离体加以考虑, 则在柱塞右行喷射过程中受到弹簧作用力 p_s , 其值应等于柱塞上水的压力 p_h , 摩擦阻力 p_f , 以及惯性力 p_i 之和。

$$p_s = p_h + p_f + p_i \quad (3)$$

鉴于 $p_s = k(x_0 - x)$, $p_h = sp$, $p_i = m \frac{d^2 x}{dt^2}$, 并设作用力与压力、阻力、惯性力方向一致, 则式(3)可转为:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} - k(x_0 - x) + sp + p_f = 0 \quad (4)$$

因为 $\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dv^2}{2 dx}$, 故令 $y = v^2$, 考虑(1)式则得:

$$(1 - Kx) \frac{dv}{dx} + ay = b - qx \quad (5)$$

$$\text{式中: } K = \frac{s^2 \rho_0 l_1}{m s_1}, q = \frac{2k}{m}$$

$$a = \frac{s \rho_0}{m} \left| \frac{s^2}{C^2 s_2^2} - 1 \right|$$

$$b = \frac{2}{m} (kx_0 - sp_0 - s \rho_0 x_0 + s \rho_0 \Sigma hg - p_f)$$

求解得

$$y = \frac{b - q/K}{a + 1} - \frac{q(1 - Kx)}{K(K - a - 1)} + c(1 - Kx)^{\frac{a}{K}} \quad (6)$$

上式(6)中 c 是积分常数, 根据柱塞右行的起始条件: $x=0, v=0, y=v^2=0$, 求出

$$c = \frac{q - 2q(a + 1)/K - b(K - a - 1)}{(a - 1)(K - a - 1)}$$

则喷嘴出口喷水速度

$$v_2 = \frac{s}{C s_2} \sqrt{\frac{b - q/K}{a + 1} - \frac{q(1 - Kx)}{K(K - a - 1)} + c(1 - Kx)^{\frac{a}{K}}}$$

3 理论分析的测试论证

由于喷嘴口处的喷水速度对时间的关系不易测试, 为此利用喷嘴口前管道内的水压来进行验证, 而水压变化的测试过程如图 3 所示。



图 3 喷水压力测试方框图

通过实际测试得到的压力变化如图 4, 曲线 1 为根据理论计算的压力变化曲线, 曲线 2 为以测试数据拟合获得的压力变化曲线^[3], * 号点为测试获得压力数据值。通过曲线 1 和曲线 2 的比较, 表明理论计算分析和实际是符合的。

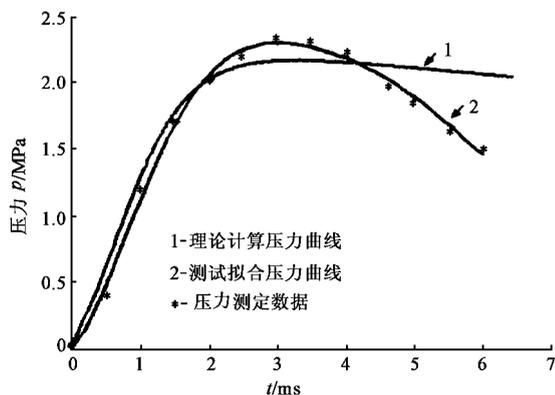


图 4 实测和理论计算压力比较

在喷水织机上, 喷水速度在开始喷射的很短时间内上升得很快, 因此在水流突然转向的某些局部将发生水锤现象, 不过由于是间接水锤, 所以水锤并

不严重,图中曲线 2 的后端压力下降即由水锤现象造成的。

4 讨 论

由于采用了假设条件及泵内弹簧作为刚体考虑,喷嘴出水口射流速度的理论计算值与实际测试值之间尚存在微小差距,为此喷嘴出水口射流速度的理论计算有待于进一步完善。

5 结 论

通过建立喷水织机引纬系统的力学模型和计算

方法,首次考虑了双臂杠杆套件的转动惯量和水流阻力损失,得出了计算喷嘴口出流速度的理论公式。该理论研究在分析喷水机构各项参数对出流速度的影响方面,在优化喷水参数及进一步提高射流的稳定性、提高喷水引纬的速度和适当扩大织幅方面具有一定的参考价值。

参 考 文 献

- 1 陈 明.新型织机.上海:中国纺织大学出版社,1999:77~93.
- 2 张光顺等.流体力学.北京:清华大学出版社,1999:46~127.
- 3 张宜华.精通 MATLAB 5.北京:清华大学出版社,1999:153~158.