

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017050120304

# 碳纤维复合材料织机打纬和引纬机构设计

洪流<sup>1</sup>, 曹清林<sup>1</sup>, 俞成涛<sup>1</sup>, 赵红霞<sup>2</sup>, 赵加洋<sup>2</sup>

(1. 江苏理工学院 机械工程学院 江苏 常州 213001; 2. 江苏润源控股集团有限公司 江苏 常州 213131)

**摘要:** 为了研发织造碳纤维复合材料的剑杆织机, 对其中打纬和引剑机构设计问题进行了研究。根据碳纤维的特点, 织造时采用平面多连杆机构实现打纬和引纬运动。分析了引纬剑头运动位移与引剑机构中引剑构件相对筘座脚摆角之间的关系, 得出, 为达到引剑构件相对筘座脚运动要求, 引剑机构应为具有2次停歇的往复摆动。根据“惯性”打纬要求, 研究了图解法设计平面四连杆打纬机构的方法和步骤。由打纬机构与引剑机构的相位关系, 得出, 对于1个运动周期, 引剑构件需到达3个运动位置(2个位置重合), 由这3个位置图解综合出引剑机构的尺度。该设计方法应用于织造碳纤维复合材料的剑杆织机的打纬引剑机构设计, 可以得到所有机构尺度。

**关键词:** 碳纤维; 剑杆织机; 打纬机构; 引纬机构; 连杆机构

中图分类号: TS 103.1

文献标志码: A

## Design of beating-up and weft insertion mechanism for carbon fiber composite loom

HONG Liu<sup>1</sup>, CAO Qinglin<sup>1</sup>, YU Chengtao<sup>1</sup>, ZHAO Hongxia<sup>2</sup>, ZHAO Jiayang<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou, Jiangsu 213001, China;

2. Jiangsu Runyuan Holding Group Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213131, China)

**Abstract:** In order to exploit the rapier loom of weaving carbon fiber composite material, the designing method of the beating-up and rapier inserting mechanism was studied. The planar multi-link mechanism was used to achieve the movement of beating up and weft insertion according to the characteristics of the carbon fiber of textile raw materials. The rapier inserting constitutive relative to sley sword movement requirements of rapier mechanism with two dwells swinging were gotten while the relationship between motion displacement of the rapier gripper and the swinging angle of rapier inserting constitutive relative to sley sword was analyzed. According to the requirement of “inertia”, the method and procedure of graphic design of four-bar beating up mechanism was studied. On the basis of phase relationship between beating-up mechanism and rapier driving mechanism, rapier driving mechanism can reach to three ports location (two positions coincidence) in a movement cycle and by the three locations with diagrammatize the dimension of rapier driving mechanism was synthetically determined. The design method was applied to the design of weft insertion mechanism of carbon fiber rapier loom, and the size of all mechanism was obtained.

**Keywords:** carbon fiber; rapier loom; beating-up mechanism; weft insertion mechanism; linkage

采用机织方法生产碳纤维复合材料, 虽然织物中纤维发生屈曲, 使其力学性能有所下降, 但由于生

产效率高、设备(常用剑杆织机)成本较低而得到广泛应用。实际生产中, 对织造棉纤维、化学纤维等的剑杆织机进行一定改造<sup>[1-3]</sup>, 以使整机适合织造碳纤维复合材料。由于碳纤维原料、成品下机前的处理等方面, 都与原织机织造对象有较大不同, 因此对整机各个部分的结构提出了不同要求, 经局部改造

收稿日期: 2017-05-22

基金项目: 江苏省重点研发计划项目(BE2015007-1)

第一作者简介: 洪流, 硕士, 主要研究方向为机械学及复合材料。通信作者: 曹清林, E-mail: cql@just.edu.cn。

的剑杆织机不一定能很好地保证织造质量,有必要根据碳纤维特点,开发相应专用织机。

对于剑杆织机,打纬和引纬是整机的重要组成部分,一般由平面连杆机构、凸轮机构、空间连杆机构或电子凸轮(伺服电动机)实现打纬和剑头的引纬运动<sup>[4-6]</sup>。由于碳纤维较粗重,所需打纬、引纬力大,平面连杆打纬、引纬机构较凸轮机构、空间连杆机构或电子凸轮(伺服电动机)更能适合要求,且结构相对简单,制造成本较低。

平面多连杆和轮系组成的打纬、引剑运动机构,连杆机构部分由平面四连杆打纬机构和平面五连杆引剑机构组合而成,通过机构运动分析、计算剑头运动动程,检验引纬效果<sup>[7-9]</sup>。为了使引纬装置有良好的动力学特性,对引剑机构中的若干杆件尺度进行优化,使剑头运动加速度极值较小<sup>[10-11]</sup>。本文针对开发碳纤维复合材料织机实际需要,根据运动学要求,探讨平面多连杆打纬、引剑运动机构设计方法。

### 1 机构结构及传动原理

打纬和引纬机构如图1所示。图1(a)构件“1”“2”“3”和“71”(机架)构成曲柄摇杆打纬机构 $A_0AB_1B_0$ ,构件“4”“5”“6”“3”(“3”与筘座脚“3”固结)和“72”(机架)构成引剑机构 $C_0CDB_2B_0$ ,后者为平面五连杆机构。由打纬机构 $A_0AB_1B_0$ 和引剑机构 $C_0CDB_2B_0$ 组合在一起构成2个自由度平面七连杆打纬和引纬机构。点 $A_0$ 为主轴,由电动机驱动,齿轮“1”与曲柄“1”共同固装在主轴 $A_0$ 上转动,齿轮“2”与引剑机构 $C_0CDB_2B_0$ 的曲柄“2”固结在一起转动,齿轮“1”与“2”啮合。当电动机驱动主轴并使齿轮“1”转动时,齿轮“2”转动,曲柄“1”和“4”分别随之转动,为机构2个自由度的运动输入。引剑机构 $C_0CDB_2B_0$ 中构件“6”(也称之为引剑构件)固结有扇形齿轮“6”(齿数 $Z_1$ ),筘座脚“3”上固结的小齿轮“8”(齿数 $Z_2$ )与扇形齿轮“6”啮合,当构件“6”相对构件“3”摆动时,扇形齿轮“6”相对座脚“3”摆动,实现齿轮“8”的转动。以 $B_0$ 点为坐标原点 $O$ ,与直线 $A_0C_0$ 垂直为 $x$ 轴,建立直角坐标系 $xoy$ ,并设主动曲柄“1”逆时针匀速转动,转角为 $\varphi_1$ 。当打纬机构 $A_0AB_1B_0$ 运动至前死点位置时,定义曲柄“1”转角 $\varphi_1$ 为 $0^\circ$ 起始位置。图1(b)为固装在筘座脚“3”上的剑带传动轮系,齿轮“8”的转动经圆锥齿轮“9”(齿数 $Z_9$ )和“10”(齿数 $Z_{10}$ )啮合驱动剑轮“11”转动,并使围绕在其上的剑带作相对筘座“3”的直线运动。

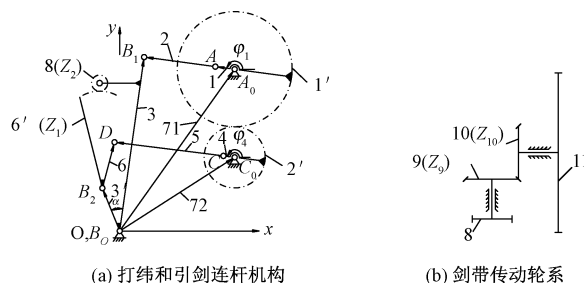


图1 打纬和引纬机构

### 2 运动要求分析

剑头运动要求见图2。

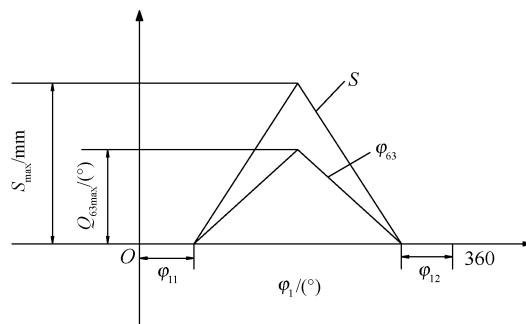


图2 剑头运动要求

图1(b)中剑轮“11”,其圆周运动即为剑带相对于筘座脚“3”的直线移动,设以剑带上剑头运动到筘座“3”两侧极限位置为相对直线位移 $S$ 的 $O$ 点位置,向筘座“3”中间位置为位移正方向,拟定出剑头相对筘座“3”的直线移动位移 $S$ 的运动要求,如图2中 $S$ 线所示,其中,横坐标 $\varphi_1$ 为曲柄1转角, $S_{max}$ 为剑头运动动程。在筘座脚“3”由前死点位置开始向后运动初始阶段,剑头应位于梭口外侧,以免与筘发生干涉,即有 $\varphi_{11}$ 停歇阶段,同样,当剑头引纬结束应提前退出梭口,即有 $\varphi_{12}$ 停歇段。

设剑轮“11”直径为 $D$ ,扇形齿轮“6”和小齿轮“8”传动比为 $i_1 = \frac{Z_2}{Z_1}$ ,齿轮“9”和“10”传动比为 $i_2 = \frac{Z_{10}}{Z_9}$ ,由图1(b)轮系,剑头相对筘座“3”运动位移 $S$ 对应扇形齿轮“6”相对筘座“3”摆角 $\varphi_{63}$ 为:

$$\varphi_{63} = \frac{2S}{i_1 i_2 D} \quad (1)$$

显然,构件“6”相对筘座“3”摆角 $\varphi_{63} = \varphi_{63}$ ,由式(1)可求得相应要求的 $\varphi_{63}$ 。

设在坐标系 $xoy$ 中,构件“3”和“6”摆角分别为 $\varphi_3$ 和 $\varphi_6$ ,则有:

$$\varphi_6 = \varphi_{63} + \varphi_3 \quad (2)$$

一般情况下,打纬机构 $A_0AB_1B_0$ 的运动是确定的,即可以先计算出构件“3”的摆角 $\varphi_3$ ,则由图2和

式(2)可确定出构件“6”的运动要求  $\varphi_6$ 。

### 3 机构设计

#### 3.1 打纬机构

打纬机构设计见图 3。

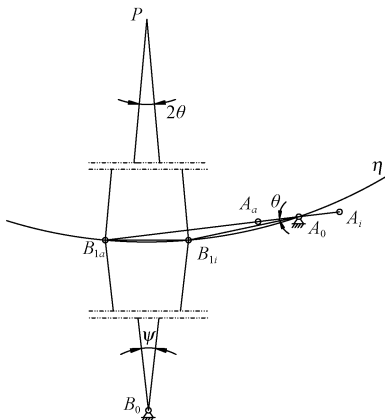


图 3 打纬机构设计

织机对打纬机构的要求为: 筘座脚“3”的摆角范围  $\psi$  及打纬区域,“惯性”打纬,即筘座打紧纬线过程中,其加速度应较大,以利于更好地打紧纬线。为实现“惯性”打纬,采用行程速比系数  $K < 1$  的负偏置曲柄摇杆打纬机构<sup>[12]</sup>,显然  $K$  值越小,“惯性”打纬的力越大。由  $K$  值计算出极位夹角  $\theta$ ,取筘座“3”摆臂长为  $l_3$ ,在图 3 中作等腰三角形  $B_{1a}B_{1i}B_0$ ,使  $B_{1a}B_0B_{1i} = \psi$ ,以  $B_{1a}B_{1i}$  为边作等腰三角形  $B_{1a}B_{1i}P$ ,使  $B_{1a}PB_{1i} = 2\theta$ ,再以  $P$  点为圆心,作三角形  $B_{1a}PB_{1i}$  的外接圆  $\eta$ ,则圆  $\eta$  为主轴  $A_0$  可能位置的所有的集。若预先选定  $A_0B_0$  长度  $l_{71}$ ,则以  $B_0$  点为圆心, $A_0B_0$  长  $l_{71}$  为半径的圆与圆  $\eta$  的交点为  $A_0$  点,如图 3 所示,连接  $A_0B_{1a}$  和  $B_{1i}$  点,则曲柄“1”和连杆“2”长  $l_1$  和  $l_2$  分别为:

$$l_1 = \frac{A_0B_{1a} - A_0B_{1i}}{2} \quad (3)$$

$$l_2 = \frac{A_0B_{1a} + A_0B_{1i}}{2} \quad (4)$$

在此基础上,计算出筘座脚“3”的摆角  $\varphi_3$ ,结合图 2 和式(2),得到要求的  $\varphi_6$ 。

#### 3.2 引剑机构

图 1 中引剑机构  $OCDB_2B_0$  为平面五连杆机构,设构件“4”“5”“6”和“3”杆长分别为  $l_4$ 、 $l_5$ 、 $l_6$  和  $l_3$ ,机架线  $B_0C_0$  长为  $l_{72}$ ,构件 3 与“3”的夹角为  $\alpha$ ,其运动学设计问题为:确定合适的机构结构参数,满足构件“6”的若干运动位置。

在图 1 中,取齿轮“1”和“2”传动比  $i'_{12} = \frac{1}{2}$ ,即曲柄转动  $\varphi_1$  时,曲柄“4”转动  $\varphi_4 = 2\varphi_1$ 。

由初始位置关系,打纬机构  $A_0AB_1B_0$  处于前死点即打纬最前位置时(对应筘座“3”摆角为  $\varphi_{30}$ ),引剑机构  $C_0CDB_2B_0$  中,曲柄“4”与连杆“5”也处于拉直共线位置,此时剑头位于其运动位移  $S$  的  $O$  点位置,由图 2,在该位置要求的构件“6”相对筘座“3”的摆角  $\varphi_{63}$  为  $0^\circ$ ,设该位置构件“6”相对  $x$  轴摆角为  $\varphi_{60}$ ,由式(2)得  $\varphi_{60} = \varphi_{30}$ ,此为构件“6”要求运动到达的第 1 个位置。

当打纬机构  $A_0AB_1B_0$  曲柄“1”逆时针转动  $180^\circ$  时,筘座“3”到达后死点位置, $\varphi_3$  摆角最小,设为  $\varphi_{3M}$ ,引剑机构曲柄“4”顺时针转动  $360^\circ$ ,曲柄“4”与连杆“5”再次拉直共线,构件“6”相对筘座“3”的摆角  $\varphi_{63}$  最大,为图 2 中  $\varphi_{63max}$ ,剑头运动到位移  $S$  最大位置,即机器中部实现与另一侧运动到机器中部的剑头实现纬线交接。构件“6”相对  $x$  轴摆角  $\varphi_6$  也有最大值  $\varphi_{6M}$ ,由式(2)得  $\varphi_{6M} = \varphi_{63max} + \varphi_{3M}$ ,此为构件“6”要求运动到达的第 2 个位置。

当曲柄“1”继续逆时针转动  $180^\circ$ ,打纬机构  $A_0AB_1B_0$  再次到达前死点位置时,曲柄“4”继续顺时针转  $360^\circ$ ,再次到达曲柄“4”与连杆“5”拉直共线位置,即剑头再次回到位移  $S$  的  $O$  点位置,构件“6”仍然有位置角  $\varphi_{60} = \varphi_{30}$ ,此为连杆“6”要求运动到达的第 3 个位置。

由上述分析可知,在主轴转动一周过程中,构件“6”应到达 3 个指定位置,其中,第 1 和第 3 个位置重合,也即实际有 2 个位置,对应摆角分别为  $\varphi_{60}$  和  $\varphi_{6M}$ 。引剑机构设计见图 4。

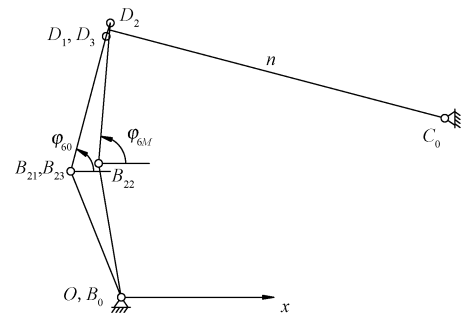


图 4 引剑机构设计

对于引剑机构  $C_0CDB_2B_0$ ,在筘座脚“3”上选择合适的  $B_2$  点位置,再在扇形齿轮“6”上选择合适的  $D$  点位置,从而确定了  $l_3$ 、 $l_6$  和  $\alpha$  的参数值。根据  $\varphi_{60}$  和  $\varphi_{6M}$  值,作出其 3 个位置分别为  $B_{21}D_1$ 、 $B_{22}D_2$  和  $B_{23}D_3$ ,其中,  $B_{21}D_1$  和  $B_{23}D_3$  重合。由于  $D_1$ ( $D_3$ ) 和  $D_2$  点都是当曲柄“4”转动至与连杆“5”拉直成直线位置,也即此时  $D_1$ ( $D_3$ ) 和  $D_2$  点应位于以  $C_0$  点为圆心,半径为  $l_4 + l_5$  的圆上,所以,连接  $D_1$ ( $D_3$ ) 和  $D_2$  点,作其垂直平分线  $n$ , $C_0$  点应位于  $n$  上。又常使

$C_0$  点位于  $A_0$  点正下方,过  $A_0$  点作  $y$  平行线与  $n$  交点即为  $C_0$  点,进而定出  $l_{72} = \overline{B_0C_0}$ 。另外,在  $\overline{C_0D_1}$  上任取一点为  $C$ ,则  $l_4 = \overline{CC_0}$ ,  $l_5 = \overline{C_0D_1} - l_1$ 。

### 4 设计实例

设计某型碳纤维方格布织机,要求一侧剑杆最

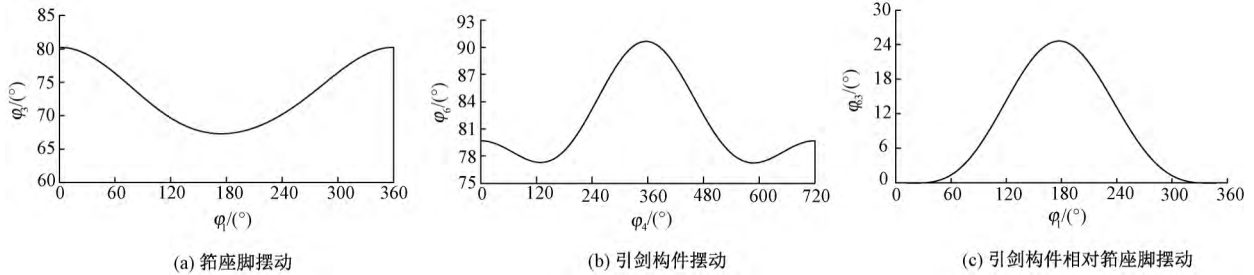


图5 摆动角位移

打纬机构设计:取  $K = 0.94$ ,  $\psi = 13^\circ$ ,  $l_3 = 684 \text{ mm}$ ,  $l_{71} = 773 \text{ mm}$ ,由图3式(3)和(4)得  $l_1 = 76.385 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 275.705 \text{ mm}$ ,进一步计算得到箱座脚3摆动角位移  $\varphi_3$ ,见图5(a),其中,  $\varphi_{30} = 80.48^\circ$ ,  $\varphi_{3M} = 67.48^\circ$ ,所以,  $\varphi_{60} = \varphi_{30} = 80.48^\circ$ ,  $\varphi_{6M} = \varphi_{63\max} + \varphi_{3M} = 25.35^\circ + 67.48^\circ = 91.83^\circ$ 。

引剑机构设计:取  $l_3' = 180 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $l_6 = 185 \text{ mm}$ ,作出打纬机构  $A_0AB_1B_0$  前、后死点位置,并在其上作出  $B_{21}(B_{23})$  和  $B_{22}$  两点位置,再由  $\varphi_{60}$  和  $\varphi_{6M}$  的值,作出构件“6”的2个位置  $B_{21}D_1$  和  $B_{23}D_3$ ,由前述作图法求得  $l_{72} = \overline{B_0C_0} = 517.52 \text{ mm}$ ,  $\overline{C_0D_1} = 506.11 \text{ mm}$ ,取  $l_4 = 12 \text{ mm}$ ,则  $l_5 = \overline{C_0D_1} - l_4 = 494.11 \text{ mm}$ 。对设计出的引剑机构运动分析,得到构件“6”角位移曲线图5(b)所示。由图5、式(2)求得  $\varphi_{63}$  曲线,见图5(c),剑头在布边外实际停歇主轴转角  $\varphi_{11j} = 36^\circ$ ,  $\varphi_{12j} = 36^\circ$ ,满足分别不小于  $30^\circ$  的要求。由图5(c),构件“6”相对箱座“3”实际摆动角最大值  $\varphi_{63j\max} = 24.27^\circ$ ,由式(1),对应剑头实际最大动程  $S_{j\max} = 846.79 \text{ mm}$ ,偏差  $\Delta S = 3.12 \text{ mm}$ ,相对偏差  $\frac{\Delta S}{S_{\max}} = 0.38\%$ ,小于  $\pm 5\%$ ,满足工程应用要求。

### 5 结束语

在碳纤维方格布剑杆织机引剑机构中,引剑机构的运动要求形式为具有2次停歇的往复运动,由剑头运动动程大小和停歇,确定出引剑机构中构件的3个具体要求位置,图解综合出机构中构件尺度。机构设计结果有无穷多组解,应根据剑头加速度、跃度等动力学特性值,对机构进行优化设计。

大位移  $S_{\max} = 850 \text{ mm}$  根据实际使用经验,剑头在布边外停歇主轴转角  $\varphi_{11j}$  和  $\varphi_{12j}$  分别不小于  $30^\circ$ 。

$$\text{取 } i_1 = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{300}{18} = 16.67, i_2 = \frac{Z_{10}}{Z_9} = 1, D =$$

240 mm,将  $S_{\max}$  代入式(1),得  $\varphi_{63\max} = 24.35^\circ$ 。

摆动角位移见图5。

### 参考文献:

- [1] 李建利,张元,张新元. 国产 GA747/II 型剑杆织机织造碳纤维工艺探讨[J]. 成都纺织高等专科学校学报, 2014, 31(4): 13-17.
- [2] 杨建恒,侯建荣,韩笑. 国产碳纤维织物织造工艺技术探讨[J]. 高科技纤维与应用, 2012, 37(4): 35-40.
- [3] 刘薇,蒋秀明,杨建成,等. 碳纤维多层角联机织装备的集成设计[J]. 纺织学报, 2016, 37(4): 128-136.
- [4] 宋波. GA731、GA747、和 TP536 剑杆织机的应用对比分析[J]. 毛纺科技, 2005(4): 52-55.
- [5] 赵雄,徐宾,陈建能,等. 几种典型的剑杆织机引剑机构及其机构创新[J]. 纺织机械, 2008(2): 48-51.
- [6] 张雷,余克龙,陈少钟,等. 基于 ANSYS 和 ADAMS 空间四连杆引纬机构的柔性动力学仿真[J]. 纺织学报, 2013, 34(5): 116-120.
- [7] KAZUO Washida, HIDEHIKO Sugimoto, ATUJI Masuda. Servo-controlled weft yarn inserting mechanism for rapier loom [J]. Journal of Textile Engineering, 2006, 46(3): 83-92.
- [8] 王为民. G1613 型剑杆织机引纬机构分析[J]. 河南纺织高等专科学校学报, 2006, 18(2): 20-23.
- [9] 周国庆,刘日涛. GA747 型剑杆织机引纬机构运动分析[J]. 纺织机械, 2002(4): 27-30.
- [10] 赵延雯,陆刚,雷富祥. 剑杆织机引纬机构的优化设计[J]. 武汉科技学院学报, 2000, 13(4): 42-46.
- [11] EREN Recep, ERTURK Mesrur, HASCELİK Baris. Kinematic de-sign and motion analysis of spatial rapier drive mech-anisms used in weaving machines [J]. Textile Research Journal, 2014, 84(19): 2065-2073.
- [12] 华大年,唐之伟. 机构分析与设计[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1985: 76-82.