

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.01.015

基于 CADFIL 和 NUM 的缠绕机控制系统设计^{*}

许家忠^{1,2}, 王荣国¹, 高立业², 杨红红², 周铭一²

(1. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨理工大学, 哈尔滨 150080)

摘要: 设计了基于 CADFIL6.0 和 NUM1040 数控系统的 4 自由度缠绕机控制系统。CADFIL6.0 完成缠绕制品及模具的建模、线型设计、运动仿真及 G 代码轨迹输出, NUM1040 数控系统和西门子伺服电机构成的数控系统完成芯模旋转及导丝头轴向、径向运动和导丝嘴翻转控制。该系统集成了 CADFIL 软件的缠绕制品工艺设计、线型设计及轨迹仿真功能以及 NUM 数控系统的开放性、稳定性及通用性等特点, 提高了缠绕机的生产柔性及可靠性。

关键词: 缠绕机; CADFIL 软件; NUM 数控系统; 设计

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)01-0071-04

Control System Design of Winding Machine Based on CADFIL and NUM

Xu Jiazhong^{1,2}, Wang Rongguo¹, Gao Liye², Yang Honghong², Zhou Mingyi²

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: A control system of the four degree-of-freedom winding machine based on CADFIL6.0 and NUM1040 is designed. Modeling of the wound products and the mandrel, winding pattern design, motion simulation and the G code output are accomplished via CADFIL6.0. The numerical control system composed of NUM1040 numerical control system and SIEMENS servos controls the rotation of the mandrel, the axial and radial movement of the outrigger, and the rollover of the winding guide head. With the functions of process design, winding pattern design and winding track simulation of CADFIL and the characteristics of openness, stability and universality of NUM, the production flexibility and reliability of the winding machine are improved.

Keywords: winding machine; CADFIL software; NUM numerical control system; design

缠绕成型是生产复合材料制品的重要技术, 缠绕机是缠绕制品成型的核心设备。近年来, 纤维缠绕机技术发展迅速, 精确、快速、多轴、计算机数控(CNC)式缠绕机和机器人得到广泛应用^[1], 相应的纤维缠绕 CAD 软件开发也获得迅速发展。德国、美国、意大利和英国等最早开始开发纤维缠绕设计软件, 较著名的有 CADWIND^[2] 及 CADFIL^[3-4]。此类软件能生成缠绕线型, 实现机器运动的实时三维仿真, 还可帮助操作人员自动生成芯模几何体, 在芯模上设计缠绕路径并且生成 G 代码用于通用数控系统的执行, 它的应用大大加快了新缠绕制品开发和生产的速度^[3]。

目前, 国内多采用基于 PMAC^[5] 或 TRIO^[6] 等的运动控制器(卡)和工控机结构的缠绕机控制系统, 以及基于 ARM^[7] 和 LabVIEW^[8] 的缠绕机控制系统。在实际生产中应用的上述缠绕机控制系统通常存在缠绕制品单一、柔性差、控制系统开放性差、无轨迹仿真及输出等缺点。

基于 CADFIL6.0 软件和 NUM1040 数控系统,

笔者设计的 4 轴缠绕机控制系统集成了 CADFIL 软件强大的纤维缠绕设计、仿真功能和 NUM 数控系统通用性好、控制精度高的优点, 能够实现多规格缠绕制品的 CAD/CAM。笔者介绍了该 4 轴缠绕机的系统构成和工作原理, 设计了 NUM 数控系统的 PLC 程序, 并且介绍了基于 CADFIL 软件的芯模设计、纤维缠绕线型及轨迹设计功能。

1 缠绕机系统构成及工作原理

缠绕机的机械结构如图 1 所示。缠绕机各运动轴由西门子伺服电机驱动。其中主轴的伺服电机通过减速机驱动链条带动芯模沿 B 轴做回转运动, 小车的伺服电机通过减速机驱动滚珠丝杠带动小车沿 Y 轴做往复运动, 伸臂伺服电机通过减速机驱动滚珠丝杠带动伸臂装置沿 X 轴做伸缩运动, 丝嘴伺服

^{*} 黑龙江省自然科学基金项目(E201301), 哈尔滨市科技创新人才研究专项基金优秀学科带头人基金项目(RC2012XK009017)

联系人: 许家忠, 教授, 主要从事复合材料高效成型工艺及装备的研究

收稿日期: 2013-11-07

电机带动丝嘴装置绕其自身轴 A 做回转运动。四个运动轴按设定线型协调运动,将浸渍树脂的纤维缠绕到芯模上。缠绕机控制系统的原理如图2所示。系统通过 CADFIL6.0 软件完成芯模设计、线型设计、轨迹计算仿真及后处理,最终生成 G 代码缠绕程序,下载到 NUM1040 数控系统。数控系统根据 G 代码指令对主轴、小车、伸臂及丝嘴驱动电机进行协调同步控制,完成制品的缠绕。4 个运动轴的驱动采用三环控制,NUM1040 数控系统和西门子电机编码器反馈构成位置环,NUM 1040 数控系统通过轴接口向 4 个伺服驱动器发送 $\pm 10\text{ V}$ 的模拟电压,以实现驱动器的速度控制,其中西门子伺服驱动器完成电流环和速度环控制。

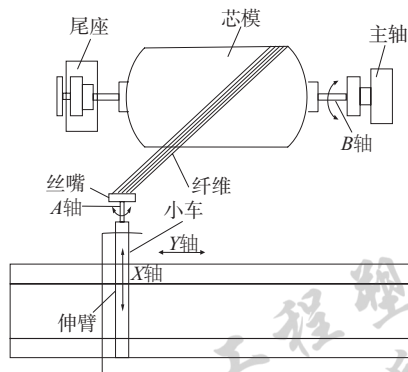


图1 轴缠绕机机械结构

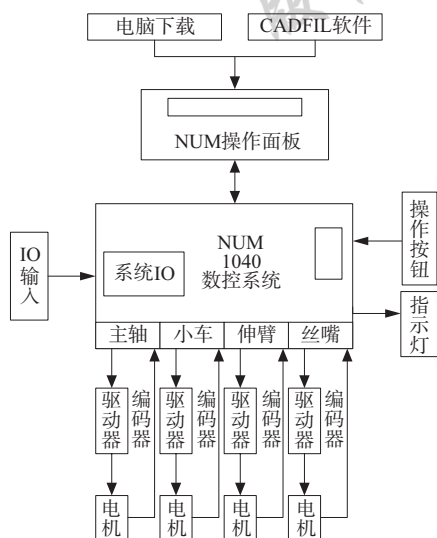


图2 缠绕机控制系统原理图

2 数控系统软件设计

NUM 数控系统是由法国施耐德公司研制的,具有可靠性及灵活度高、开放性好的特点,并有友好的人机对话界面。NUM 数控系统的输入电源采用直流 24 V 供电,减弱了外部线路电压对系统的干

扰,降低了发热及不稳定因素的影响,提高了整个系统的可靠性和稳定性。系统具有内部高度集成化的 PLC 功能,提高了 PLC 与 CNC 之间的内部通信能力以及内部数据的交换速度,增强了数控机床的逻辑控制能力。NUM 具备非常高的带宽频率,伺服驱动可以达到很短的响应时间,能保证加工速度和加工精度的最佳匹配。

NUM 系统的软件设计包括 NUM 的数控 (NC) 参数设置及 PLC 程序编制。其中 NC 参数设置包含控制参数、机械传动参数、速度参数和机床配置参数的设置。NUM 的 PLC 程序和逻辑与一般的梯形图编制原则一致,该系统编制的 PLC 程序结构如图3所示。其中 %INI 初始化程序完成错误信息清零复位的功能,NC 系统启动后只执行一次。%TS0 为循环主程序,每个扫描周期都执行,功能是调用子程序 %SP0(处理启动、停止的输入信号)、%SP246(执行 G 代码中的 E20000 和 E20001,功能为使加工程序配合机床信息运行)和 %SP247(处理 RESET、主轴手动正反转以及西门子变频器的 Ready 信号),并且完成 NUM 系统启动的初始化。%TS1 ~ %TS4 为顺序间隔扫描循环程序。%TS1 程序使小车轴 X 准备与主轴联动;%TS2 程序调用子程序 %SP1(PLC 输出启动、停止、自动及手动的指示灯信号)和 %SP2(启动主轴下方的传送带电机,回收缠绕时滴下的胶)及控制刮胶板的升降,完成胶回收部分的控制;%TS3 调用子程序 %SP245(在 CNC 显示屏上显示程序运行时间,如果运行过程中有错误,会在显示屏上显示轴的错误信息);%TS4 程序触发中间变量 %V0.2,如果程序运行中出现错误,%V0.2 触发 %TF0 中故障显示标志,在 CNC 显示屏上显示错误信息。

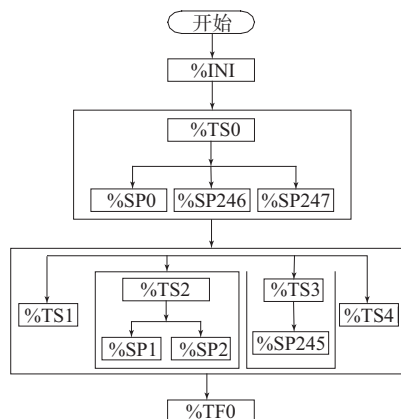


图3 NUM 中 PLC 程序设计

缠绕控制模式主要分为自动和手动模式。在手动模式下,可对小车、伸臂、丝嘴及主轴分别进行相应的操作,主要用于设备的调试和异常处理;在自动模式下,将 CADFIL6.0 软件生成的缠绕程序下载到 NUM1040 数控系统中,即可开始对制品进行自动缠绕。在自动模式下,系统先进行回零操作,回到系统设定的零点,然后控制小车、伸臂、丝嘴跟随主轴进行同步运动,运动后判断运动轨迹点是否完成,在缠绕过程中可以随时进行缠绕速率的调节,并可进行暂停和启动,以方便处理异常状况(如断纱处理)。

3 缠绕线型及轨迹设计

CADFIL 软件是一个计算机辅助设计软件包,能够让操作人员方便地生成各种高精度的制品缠绕程序。操作人员可以查看在几何体上可能的缠绕角,并查看纤维在芯模上的缠绕路径,估计缠绕制品所需的纤维量,预计缠绕时间,然后产生控制程序等。CADFIL 能把输入的参数保存成文件,随时供操作人员进行调用和修改,并具有显示机器位置坐标和缠绕路径的功能^[3]。

软件的芯模设计界面如图 4 和图 5 所示。

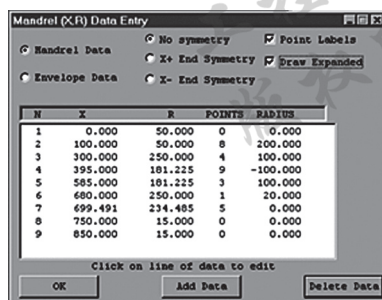


图 4 芯模设计界面

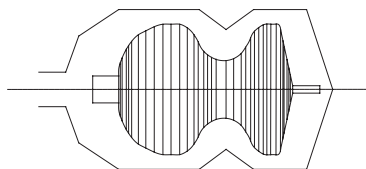


图 5 芯模生成界面

操作人员输入所要缠绕的芯轴的几何参数,软件根据输入的芯轴几何参数自动生成芯轴的几何模型。创建芯轴的几何模型后,为了避免在缠绕过程中小车和芯轴发生碰撞,软件会自动生成小车运动轨迹包络线,操作人员也可根据实际机床的状况调整包络线。然后 CADFIL 软件定义芯轴模型表面网格,用以后续的缠绕路径开发。

CADFIL6.0 既可以创建防止滑纱的测地线路径,也可以根据计算出的树脂与纤维、纤维与纤维以及纤维与芯轴之间的摩擦系数创建非测地线路径。软件根据包络线和保存的设计数据计算线型及丝嘴的轨迹。操作人员可以选择最接近于初始缠绕角的缠绕模式对制品进行缠绕。如果当前计算的缠绕线型都不符合实际缠绕情况,操作人员可以更改输入参数,重新计算缠绕线型,直到符合缠绕设计和工艺要求为止。

线型设计完毕之后,软件的后处理模块能够将丝嘴路径的绝对坐标转化为 G 代码程序。CADFIL 可以用多种形式输出所设计的线型,操作人员可以根据自己的缠绕机的类型选择以何种输出方式输出纤维轨迹。图 6、图 7 分别为后处理界面和后处理生成界面,操作人员可以实时监测小车的速度、芯轴的转速、丝嘴的速度以及纱线进给的速度。最后将软件生成的 G 代码形式的文件导入到 NUM1040 数控系统中,从而完成多轴缠绕运动控制。整个缠绕过程中,操作人员只需输入一些参数,并根据工艺及操纵要求利用按钮箱选择工作模式、启停控制、进给倍率调节等,便可完成不同规格制品的缠绕。

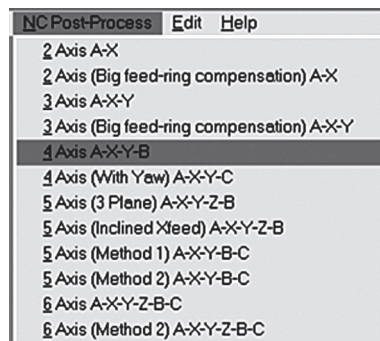
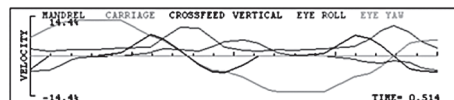


图 6 后处理界面



MINIMUM & MAXIMUM EYE POSITIONS IN MANDREL UNITS, RELATIVE TO MANDREL ORIGIN			
CARRIAGE	-18.26	317.24	
CROSSFEED	51.29	120.00	
VERTICAL	0.00	0.00	
MINIMUM & MAXIMUM MACHINE POSITIONS			
MANDREL	-24.31	377.04	
CARRIAGE	-453.26	-117.76	
CROSSFEED	424.00	492.71	
EYE ROTATION	19.21	161.07	

图 7 后处理生成界面

CADFIL6.0 软件后处理模块输出的 NC 程序例程如下所示:

```
O0000
N 10 G01 G94 G105 F 2000
(PAYOUT FILE NAME NEW3.PAY)
```

(BAND PATTEERN 5)
(NO.OF CYCLES PER LAYER)
(103)
(NUMBER OF LAYERS)
(1)
.
N 15 G90
N 20 X -22.14 Y 446.85 B 90.00
N 25 M00
N 30 M21
#1 = 103
N 35 M98 P1030001
N 40 M28
(TOTAL ROTATION : 4257978.425)
(TOTAL TIME MINS : 5.49)
(NO.OF POINTS : 28)
N 40 M22
N 45 M00
N 50 M30

O0001
N 10 G01 G91 F 29000 A 10.46 X
23.46 Y -22.85 B -32.83
N 15 F 19877 A 4.90 X 24.87 Y
0.00 B -21.06
..
N 140 F 29000 A 17.70 X 16.07 Y
-21.42 B -20.84
#1 .#1 -1
N 145 F 29000 A 2.54 X 3.95 Y
-5.27 B -6.18 M99
%

4 结论

设计了基于 CADFIL6.0 和 NUM1040 数控系统的缠绕机控制系统,采用纤维缠绕软件 CADFIL 完成缠绕制品的模具建模、线型设计、运动仿真及 G 代码输出,采用 NUM1040 数控系统和西门子伺服电机构成的数控系统完成对芯模旋转及导丝头轴向、径向运动和丝嘴翻转的控制,该系统集成了 CADFIL 软件对缠绕制品的工艺设计、线型设计及轨迹仿真功能以及 NUM 数控系统的开放性、稳定

性及通用性等特点,提高了缠绕机的生产柔性及可靠性。

参考文献

- [1] Koussios S, Zu L, Wentzel C M. Filament winding: Process overview & novel developments[C]. Baltimore, MD, United States: International SAMPE Technical Conference, 2012.
- [2] Heitkoetter R F, Almeida S F M. Computational simulation of non-geodesic filament winding of pressure vessel of rocket motor[J]. Journal of Aerospace Technology and Management, 2009, 1(2): 185-191.
- [3] Peters S T. Composite filament winding [M]. United States of America: ASM International, 2011.
- [4] 董雪琴, 刘仕华. 用 CADFIL 仿真复杂构件的纤维缠绕 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2002(4): 19-21.
Dong Xueqin, Liu Shihua. Simulation of complex composites for filament winding by CADFIL[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composite, 2002(4): 19-21.
- [5] 韩振宇, 孟庆鑫, 路华, 等. 基于 PMAC 六轴缠绕机开发与应用 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(11): 1800-1802.
Han Zhenyu, Meng Qingxin, Lu Hua, et al. The development and application of six-axis filament winding machine based on PMAC [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(11): 1800-1802.
- [6] 王莉娟, 尤波, 许家忠. 基于 Trio 运动控制器的缠绕机控制系统设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(6): 14-20.
Wang Lijuan, You Bo, Xu Jiazhong. Design of the winding machine control system based on Trio motion coordinator[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2007, 12(6): 14-20.
- [7] 王志辉, 李明捷. 基于 ARM 微控制器的缠绕机控制系统研究 [J]. 电子测量技术, 2006, 29(6): 87-90.
Wang Zhihui, Li Mingjie. Research of control system of fiber rotating machine based on ARM microchip [J]. Electronic Measurement Technology, 2006, 29(6): 87-90.
- [8] 潘梁, 俞今天. 基于 LabVIEW 的玻璃钢管缠绕控制系统设计 [J]. 天津工业大学学报, 2013, 32(3): 85-88.
Pan Liang, Yun Jintian. Design of FRP square tube winding control system based on LabVIEW [J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2013, 32(3): 85-88.

未来 3 年巴西将迎塑料行业爆发式增长

未来 3 年,以桑巴和足球闻名的巴西即将迎来两场世界顶尖级赛事——2014 足球世界杯和 2016 夏季奥林匹克运动会,作为东道主,巴西正在进行着各场馆的基础设施建设,在这过程中,塑料发挥着巨大的作用,而场馆建设对塑料的需求则会进一步繁荣巴西塑料市场。据巴西塑料行业协会透露,两大赛事工程项目建设极大地拉动了国内塑料市场需求。数据显示,去年巴西首季度塑料市场需求较去年同期上涨近 3%。此外,汽车制造、塑料包装等行业的相继复苏也进一步推高了巴西塑料市场走势。其中,2013 年改性塑料市

值增至 150 亿雷亚尔 (70 亿美元)。

近年来,巴西塑料机械出口实现稳步增长。这得益于本国政府的大力扶植及行业协会的共同努力,巴西塑料机械在全球其它地区,尤其是拉美市场上的销售业绩正在稳固提升。

尽管如此,巴西塑料机械贸易依旧存在逆差。2010~2011 年,巴西塑料机械出口由 5260 万美元增至 9780 万美元,而 2012 年的出口额有所下滑,至 7950 万美元;进口方面,由 2010 年的 5.65 亿美元增至 2011 年的 8.88 亿美元,而 2012 年减至 6.69 亿美元。(工程塑料网)