

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.01.009

锥形复合材料电线杆缠绕机控制系统设计*

许家忠,毛利明,乔明,姜涛
(哈尔滨理工大学自动化学院,哈尔滨 150080)

摘要:为克服输配电线路中采用钢结构杆塔及钢筋混凝土杆成本很高的缺点,基于嵌入式 Trio 运动控制器设计了一种锥形复合材料电线杆缠绕控制系统。以锥形柱体为模型进行数学分析,得出线型的缠绕特点,通过理论推导出各个电机的运动轨迹。采用电子凸轮的位置跟踪模式实现小车电机、伸臂电机、丝嘴电机跟踪主轴的同步运动,实现整体线型的精确平滑缠绕。实践应用表明,该缠绕机控制系统结构简单、稳定性好,能够实现锥形体线型的精确缠绕。

关键词: 复合材料; 锥形; 电线杆; 缠绕机; 控制系统

中图分类号: TQ327.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2013)01-0039-04

Control System Design of Conical Composite Pole Winding Machine

Xu Jiazhong, Mao Liming, Qiao Ming, Jiang Tao

(College of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract : Currently the price is costing a lot in power transmission lines of steel structure tower and reinforced concrete pole. A new type of composite conical pole winding control system was designed based on the embedded Trio motion controller. The conical cylinder model was analyzed by mathematical method, the linear winding characteristics were obtained, and each motor trajectory was obtained by theory deducing. The synchronous motion control of the carriage motor and outriggers motor and nozzle motor which are linked to the spindle is realized by the mode of electronic cam position tracking, and making the whole linear winding to be accurate smooth. The practice application shows that the winding machine control system has simple structure and good stability, and it will be able to realize the conical body linear precise winding.

Keywords : composite ; conical pole ; winding machine ; control system

目前国内外输电线路主要以木质杆、钢筋混凝土杆、钢结构杆塔为主。木质杆易受虫害,在水分长期的侵蚀下易腐烂;钢筋混凝土杆质量大,不易运输;钢结构杆塔受钢材本身导电性限制使导线对地绝缘距离仅为绝缘子串的爬距,此距离过短易出现污闪、湿闪事故,增加绝缘子串的数量可能增加导线因风偏而造成闪络的概率,安全无法保障,同时高度增加也提高了建设成本^[1-2]。

复合材料电线杆具有质量轻、强度大、绝缘性好、耐腐蚀、防虫害等传统材料不具备的优点,在普通环境下预期寿命为 125 a,成本效益非常好。同时很大程度上提高了电网安全性和可靠性,因此复合材料电线杆具有很大的发展前景^[3]。笔者设计了锥形复合材料电线杆控制系统,其人机界面清晰简洁、稳定性强,弥补了国内外市场的空白^[4-5]。

1 锥形复合材料管生产线机械结构及工作原理

锥形复合材料管生产线机械结构如图 1 所示。

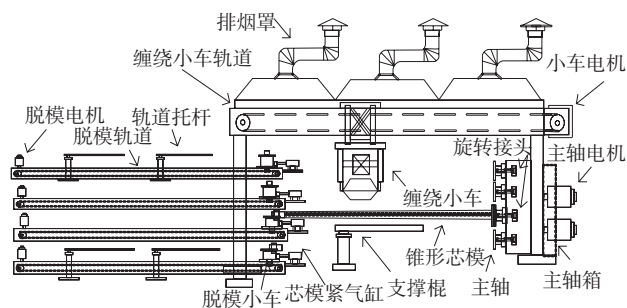


图 1 机床机械结构示意图

床身有四个可旋转主轴,分别用两个变频电机独立控制,电机与减速机连接,减速机再通过齿轮与

* 国家自然科学基金青年基金项目 (50902039)、哈尔滨市科技创新人才专项资金项目 (2012RFXXG84)、黑龙江省高校新世纪优秀人才项目 (1155-NCET-007)

联系人: 许家忠,教授,博士,主要研究方向为复合材料成型工艺技术

收稿日期: 2012-11-12

芯模的旋转轴相连。减速机与传动齿轮位于图 1 的主轴箱内。缠绕小车由一个伺服电机带动,工作过程中缠绕小车、伸臂电机、丝嘴转向电机以程序内部设定好的电子齿轮比跟随主轴做位置闭环运动,缠绕主轴电机只做接收模拟量的开环运动。

缠绕过程中,浸渍树脂的玻璃纤维均匀地排布在缠绕小车的纱梳上按照预先设置好的工艺在芯模表面排布,经过多次往复缠绕形成锥形复合材料管。脱模小车在缠绕时用于支撑芯模尾部,并通过芯模顶紧气缸顶紧芯模。脱模时,脱模小车上的装置将管道抓紧并沿脱模小车轨道在脱模电机的带动下将管体与芯模分离^[6]。

2 锥形复合材料管缠绕及控制规律分析

2.1 线型设计

为了方便分析,将圆锥台柱体展开成二维平面图形,如图 2 所示。

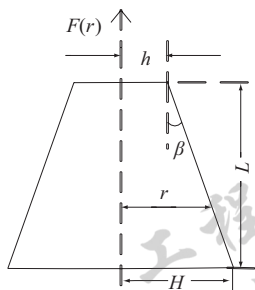


图 2 圆锥台柱体展开成二维平面图形

芯模在任意位置 r 处的函数可表示成:

$$F(r) = (1 - \frac{r-h}{H-h}) \times L \quad (1)$$

锥角如图所示,有

$$\tan \beta = \frac{H-h}{L} \quad (2)$$

对 $F(r)$ 求导可以得出

$$F'(r) = -\frac{L}{H-h} \quad (3)$$

式中: H ——芯模大端半径;

h ——芯模小端半径;

r ——任意位置处的半径;

L ——芯模长度;

β ——芯模的锥度角。

在确保等缠绕角 α 缠绕的前提下,其线型展开如图 3 所示。

等角缠绕可得出 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha$, 故有 $\tan \alpha_1 = \tan \alpha_2 = \dots = \tan \alpha$; 设芯模表面的线速度为 V_{sha} , 芯模的转速为 V_s , 小车轴向移动速度为 V_c , 伸臂速度为 V_r , 出纱

丝嘴处的移动速度为小车轴向移动速度 V_c 和伸臂径向速度 V_r 的合成速度, 记为 V_m , θ 为主轴转过的角度, ω 为主轴的角速度, 则缠绕角的正切值可表示为:

$$\begin{aligned} \tan \alpha &\approx \frac{dV_{sha}}{dV_m} = \frac{rd\theta}{\sqrt{1+F'^2(r)}dr} = \frac{r \frac{d\theta}{dt}}{\sqrt{1+(\tan^2 \beta) \frac{dr}{dt}}} \quad (4) \\ &= \frac{r\omega}{\sqrt{1+(\tan^2 \beta)V_r}} = \frac{1}{\sqrt{1+(\tan^2 \beta)}} \times \frac{V_s}{V_r} \end{aligned}$$

缠绕角 α 的值计算如下:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 \beta}} \times \frac{V_s}{V_r}\right) \quad (5)$$

由此可得缠绕角由主轴转速与伸臂速度共同决定。

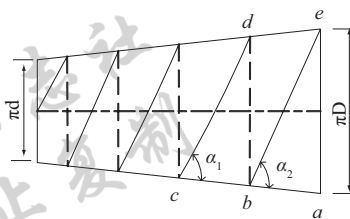


图 3 线型展开图

以聚氨酯复合材料电线杆为例,其长度 L 范围在 9~12 m, 大端直径 (D) 在 31 cm 左右, 小端直径 (d) 在 19 cm 左右^[7], 现取 $L=11$ m, 根据国际标准能满足管体横向和纵向最大应力的缠绕角应为 $\alpha=54.75^\circ$, 取 $\alpha=55^\circ$ 。实际缠绕过程中, 小车往复运动, 在模具表面做交叉布线缠绕。纱线从直径 D 端开始缠绕至直径为 d 处确保缠绕角不变完全可以实现。需要注意的是小车缠绕至端部时要确保不滑纱, 端部应有一定的加减速距离, 当小车经过加减速距离后停到端部时纱线刚好与直径方向相切或缠绕角足够大^[8]。

2.2 缠绕运动控制规律分析

本系统的控制方式是: 英国翠欧 (Trio) 运动控制器以发模拟量电压的方式对主轴转速进行开环控制, 模拟量电压 DAC 与主轴转速 n 的关系为:

$$DAC = \frac{n}{300} \quad (6)$$

利用电子齿轮将缠绕小车运动连接到主轴上, 实现缠绕小车以 $1:k$ 速比跟随主轴运动, 由缠绕小车的运动速度和主轴转速得到对应的 k 值, 参数 k 随缠绕小车位置而变化, 从而实现变齿轮比控制。同理利用 Trio 运动控制器中电子齿轮指令将伸臂

电机运动与丝嘴电机运动连接到缠绕主轴上,此速比可依据纱宽的变化计算得出,丝嘴电机的转动可改变落到芯模表面的纱宽,从而实现伸臂机构与丝嘴机构跟随缠绕主轴运动。

运动控制器采用闭环模拟量控制方式对缠绕小车、伸臂机构和导丝头进行控制。并通过 PID 参数自动调节,如果 PID 参数准确合理可确保跟随误差在 ± 30 个脉冲左右,控制十分精确。最终通过主轴、缠绕小车、伸臂机构和导丝头四轴协调运动缠绕出缠绕角不变的锥形管状电线杆。

3 缠绕控制系统设计

3.1 缠绕运动控制系统硬件原理设计

缠绕控制系统原理如图 4 所示。触摸屏作为人机交互界面主要实现加工管道的工艺设计及工艺文件的生成和保存,在加工过程中可显示各个电机运行状态。Trio MC206 根据接收到的工艺文件对小车和主轴电机进行同步控制以及各个电机的逻辑控制。脱模部分由 PLC 控制脱模小车、支撑辊等协调运动实现芯模和管体的分离。触摸屏基于 MODBUS 协议与 MC206 通讯^[9],通过 RS-232 串口进行工艺参数下载和运行状态参数传输。

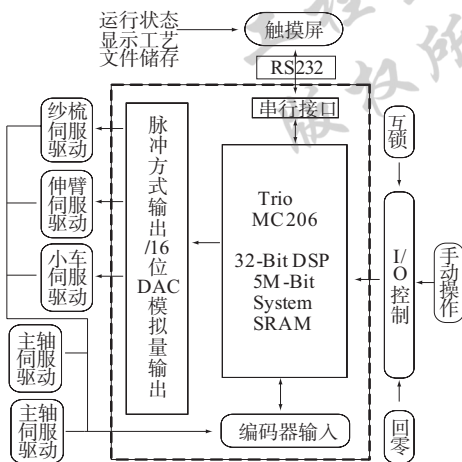


图 4 缠绕控制系统原理图

主轴电机用变频器驱动,用 ± 10 V 模拟量输出作为变频器速度控制输入信号,并通过编码器进行主轴转角和速度的检测。小车、伸臂、丝嘴电机均做跟踪主轴的位置闭环运动。同样采用编码器进行检测并自动调节。

3.2 缠绕控制系统上下位机软件设计

上位机人机界面用维纶触摸屏开发,由工艺设计、报警显示、串口通讯、运行状态显示、故障诊断和远程通讯等几个模块组成。工艺设计模块根据管道

工艺要求计算出锥形管工艺要求,设计出若干组工艺参数,从中选择最优的一组生成工艺文件,并完成保存及下载等任务。

下位机程序使用 Trio 公司提供的 Motion Perfect 软件自带编程语言进行开发,其采用的是多任务的 Trio BASIC 语法格式编程,程序线程下载至运动控制器内存 RAM 区,再经 FIX 固化到 ROM 区即可永久保存运行。可执行程序的任务功能和执行流程如图 5 所示,其中任务 7 为运动控制器上电时自动运行,完成轴参数初始化、工艺文件下载、运行状态显示及与上位机进行实时通讯等功能。

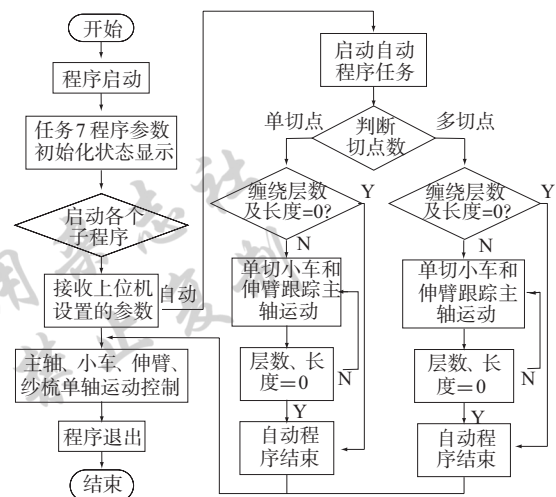


图 5 缠绕程序任务功能和执行流程图

MC206 内部程序采用电子齿轮实现电机之间的匹配运动控制,根据工艺参数以及电机的相应参数计算出电机之间运动的连接比,再保存至程序的相应变量,最终缠绕出线形精确的锥形复合材料管。

4 结论

采用触摸屏和嵌入式运动控制器主从式控制结构,通过 RS-232 串口实现通讯建立起运行稳定、功能强大、结构简单的独立开放性控制系统。采用电子凸轮的方式控制小车、伸臂、丝嘴三个电机跟随主轴同步运动,确保缠绕线型满足工艺要求,弥补了国内在该产品生产上的空缺。实践证明,该系统的整机响应速度快,性能稳定,实现了复合材料生产的自动化、低成本、工业化缠绕。

参考文献

- [1] 夏开全. 复合材料在输电杆塔中的研究与应用[J]. 高科技纤维与应用, 2005, 30(5): 19-23.
Xia Kaiquan. Composite materials in the research and application of transmission tower[J]. High-tech Fibers and Application, 2005,

- 30(5):19-23.
- [2] 胡定超.一种加强型输电杆塔[J].四川电力技术,2005(2):49-50.
Hu Dingchao.A type of transmission tower[J].Sichuan Electric Power Technology, 2005(2):49-50.
- [3] 许家忠,乔明,尤波,等.纤维缠绕复合材料壳体原位成型工艺研究[J].材料科学与工艺,2009,17:191-194.
Xu Jiazhong, Qiao Ming, You Bo, et al.Filament wound composite shell in situ forming technology research[J].Material Science and Technology, 2009, 17:191-194.
- [4] Green J E.Overview of filament winding[J].Society for the Advancement of Material and Processing Engineering (SAMPE) Journal, 2001, 37(1):7-11.
- [5] 叶鼎铨.复合材料在输电工程中的应用[J].玻璃纤维, 2009(4):43-44, 47.
Ye Dingshuan.Glass fiber reinforced plastic composite materials in the application of transmission project[J].Glass fiber, 2009(4):43-44, 47.
- [6] 尤波,王广辉,刘鹏飞,等.三轴玻璃钢容器缠绕机控制系统设计[J].玻璃钢/复合材料, 2011(1):40-43.
You Bo, Wang Guanghui, Liu Pengfei, et al.The control system design of three-axis FRP vessels winding machine [J].Glass fiber / composite materials, 2011(1):40-43.
- [7] 毕鸿章.FRP棒取代钢筋混凝土电线杆的钢筋实验[J].建材工业信息, 1996(4):15.
Bi Hongzhang.FRP rod instead of reinforced concrete pole of reinforced experiment[J].Building materials industrial information, 1996(4):15.
- [8] 韩振宇.纤维缠绕复合材料构件CAD/CAM技术及其应用的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2007.
Han Zhenyu.The research of filament wound composite material components CAD / CAM technology and application[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology, 2007
- [9] Xu Jiazhong, Gao Wenbin, Wang Xiongjian.The winding machine system of large diameter FRP tank[C].2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation(ICMA 2009), 2009:1 273-1 278.

巴特尔发明新型性能优越的聚氨酯材料

巴特尔(Battelle)的科学家近日研发出一种新的区别于其它聚氨酯的水基聚氨酯,这款产品环保效果好、生产成本低,采用大豆基、不含 n -甲基-2-吡咯烷酮(NMP)溶剂。新的聚氨酯比原来的石油基产品气味清新且可以广泛用于涂料和胶粘剂。

新产品的应用领域包括所有的喷漆、墨水、顶级涂料、密封敷层以及胶黏剂。它达到了防化学腐蚀涂层(CARC)的要求,可以用于军事领域。巴特尔目前正在寻找合作伙伴来进行产品的大规模生产。(环聚网)

天晟新材收购美国聚酯发泡公司

天晟新材公告,全资子公司天晟新材料(香港)有限公司使用自有资金800万美元于美国特拉华州注册成立一家公司,并通过其收购Polyumac股份有限公司。

其中,以300万美元收购Polyumac公司的全部股权,以500万美元对Polyumac现有部分设备进行改良及增加其现有营运资金。

资料显示, Polyumac 是一家生产聚氨酯/聚酯发泡产品的公司,成立于1998年,其生产的产品主要销售给美国的船舶建造商。从2008年开始,美国经济危机的影响对美国船舶制造业的打击,对Polyumac的营业销售产生了负面的影响。由于资金的短缺和竞争的压力, Polyumac暂时放缓了聚酰亚胺等聚合物复合发泡材料的研发进度。

天晟新材表示,公司和Polyumac在产品构成和技术上很多方面可以达到互补。

Polyumac同美国国内著名船舶制造商之间的良好业务关系,成为天晟新材顺利进入当地海洋产业市场的有利条件。

同时,通过此次收购Polyumac公司的股权以及对其现有部分设备进行改良及增加其现有营运资金,天晟新材将快速获得Polyumac公司国际领先复合材料发泡技术和产品,进一步强化天晟新材在中国市场领先的行业地位,并可以借助Polyumac公司的销售渠道,快速切入全球的复合材料市场,为天晟新材整体战略的实现、效益的提升和市场的拓展起到重要作用。(中化新网)

巴斯夫住建部用降解塑料构建绿色建筑

日前,巴斯夫(中国)有限公司和住房和城乡建设部推进绿色建筑产业集聚示范区管委会在第九届中外绿色人居论坛开幕当日签署了框架性战略合作协议。

一系列巴斯夫产品、技术和解决方案将为示范区提供支持,既有建筑材料和系统,如创新保温材料、外墙外保温系统、环保涂料、地坪和防水系统,也有废物管理解决方案,包括可生物降解塑料袋和水处理解决方案。

作为绿色建筑产业集聚示范区内的一大亮点,示范区科创园科研用房在住建部和德国能源局的支持下,按照德国“被动房”标准设计。“被动房”通过太阳能、地热等可再生能源,以及高效的通风系统和隔热密封实现超低的取暖和制冷能耗。根据此次框架性协议,巴斯夫将为该建筑提供具有良好成本效益的建筑材料及解决方案,包括高效的凡士能®外墙外保温及饰面系统,聚氨酯喷涂屋面保温防水一体化系统和环保涂料诺缤™等。

占地15.6平方公里的武进绿色建筑产业集聚示范区将力争用10年时间打造世界一流、国内领先的绿色建筑展示体验区,绿色建筑产业集聚区,绿色建筑技术集成区,绿色建筑人才创新创业区,以及绿色建筑国际交流新平台。

(中聚网)