

冰冻杂鱼切块机精准自动控制技术研究

朱 烨¹, 江 涛¹, 洪 扬², 陈 超², 倪 琦¹

(1 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海, 200092;

2 农业部渔业装备与工程重点实验室, 上海, 200092)

摘要:为提高渔业养殖效率,改变现有杂鱼块不平整和破碎率较高等缺点,研制了一种自动化程度较高的冰冻杂鱼切块机。采用变频调速技术,以通用串行通信接口通讯协议实现西门子 PLC 与 MM440 变频器通讯,用普通齿轮减速电机进行杂鱼切块宽度调节,用测距传感器进行精确测距,对射式光电计数器进行切块计数。通过 PLC 控制变频器参数,设置减速电机的运行参数,再运用 PLC 与上位机之间的串口通讯,实现良好的人机交互,从而完成切块机精准自动控制。性能测试结果显示,在额定电压 400 V 条件下,切块速度 25~35 块/min,可将 600 mm×400 mm×80 mm 的杂鱼板切成宽 60~90 mm,宽度可调;空载状态下,功率 0.26 kW,负载运行时的转速、功率、扭矩成正比。在指定宽度下,切块精度为±5%,切块个数准确。研究表明,该控制系统可靠,适合在沿海渔业养殖中应用推广。

关键词:切块机;变频调速;PLC;步进电机;光电计数器

中图分类号:TP29

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2017)05-045-06

牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)主要栖息在浅海的沙质海底,以捕食小鱼虾为主。牙鲆前期人工养殖仍需要投喂冰冻杂鱼块,目前主要通过人工用铡刀或家用菜刀把冰冻杂鱼板切成条块,耗时耗力,效率低下。本文研发的冰冻杂鱼切块机,以自动化机械代替人工,提高作业效率,降低成本。目前,与冰冻杂鱼切块技术相关的研究较少,如:马铃薯种薯自动切块机^[1]采用图像识别技术对芽眼识别进行研究,但其控制系统中未采用触摸屏,控制性能不高;面团切块机^[2]采用传感器等装置,运用可编程控制器统一控制,但机械结构复杂,未采用触摸屏;柠檬切块机^[3]采用独特刀具组合件,可处理较大尺寸水果,卫生水平提高,但机械设计较复杂;多功能果蔬鲜切机^[4]采用离心切削法,方便拆装刀具,可连续喂料。相关专利包括猪肉切块机^[5]、冷鲜肉切块机^[6]等。

目前市场上较多的成品切块设备有冻肉切块机、鱼肉切块机等,多数用于食品加工。其

中冰冻杂鱼切块机械自动化程度较低,切块不平整。针对实际需求,本文设计了全自动冰冻杂鱼切块机。

1 主要结构

冰冻杂鱼切块机由步进电机调距系统、变频器调速系统、计数器系统、电气控制系统等组成(图1)。

1.1 步进电机调距系统

由于步进电机^[7]具有精度高、惯性小、工作可靠的特点,在开环控制系统中能快速、准确地实现动作,因此被广泛应用^[8-9]。本系统选择了普通齿轮减速电机(57BYGH1.8°),在鱼块进料方向设计了弹性挡块,通过调节前后位置来调整鱼块宽带,同时还有对鱼块进行缓冲、防止鱼块被切碎的作用。实际切块调距的数学模型如下图2所示。

收稿日期:2017-06-05

基金项目:国家鲆鲽类产业技术体系(CARS-50-G04);中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2017LKY046)

作者简介:朱烨(1990—),男,硕士研究生,研究方向:渔业仪器自动化。E-mail:zhuyue@fmiri.ac.cn

通信作者:江涛(1969—),男,研究员,研究方向:渔业机械仪器设计。E-mail:jiangtao@fmiri.ac.cn

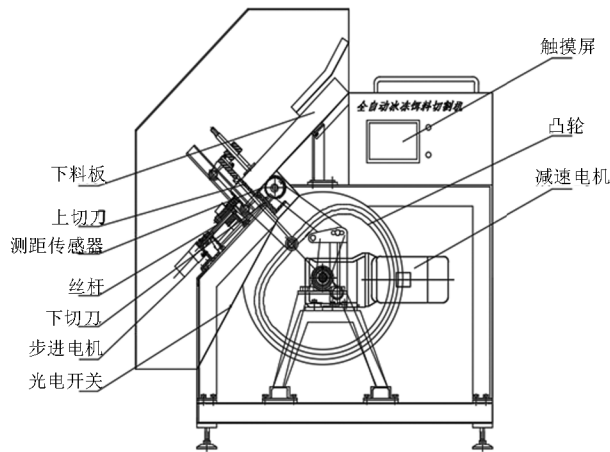


图 1 冰冻杂鱼切块机结构简图

Fig.1 Schematic diagram of frozen fish cutting machine

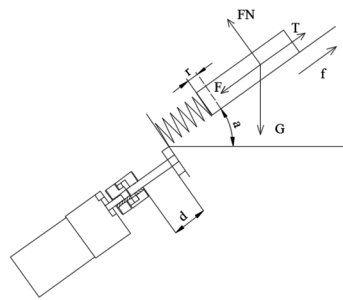


图 2 电机调距数学模型

Fig.2 Mathematical model of motor control

图中: G 为杂鱼块的重量(N); F_N 为支持力(N); F 为压力(N); T 为弹簧的弹力(N); f 为摩擦力(N); μ 为摩擦系数; r 为弹簧变形量(mm); α 为倾斜角度; d 为步进电机的调节距离(mm)。

根据受力分析可得^[10]

$$\begin{cases} G \sin \alpha = F \\ T + f = F \\ G \cos \alpha = F_N \end{cases} \quad (1)$$

$$f = \mu F_N \quad (2)$$

弹簧变形量^[11]:

$$r = \frac{8nD^3F}{G_1d_1^4} = \frac{8nC^3F}{G_1d_1} \quad (3)$$

$$C = D/d_1 \quad (4)$$

式中: n 为弹簧有效圈数(圈); D 为弹簧中径(mm); d_1 为材料直径(mm); F 为弹簧的工作负载(N); C 为旋绕比; G_1 为切变模量(MPa)。

在试验中, 测量得到 $G = 180N$, $\alpha = 45^\circ$, 冰在

铁上摩擦系数 $\mu = 0.027$, 可求出弹簧工作负载 $F = 127.3N$, 弹簧的弹力 $T = 123.9N$, 由于采用三组弹簧支撑, 所以单个弹簧的弹力 $T_1 = T/3$ 。根据设计查询弹簧材料, 得到参数 $n = 5.5$, $d_1 = 2mm$, $D = 25mm$, $G_1 = 79 GPa$, 求得 $r = 22.5mm$ 。

计算值与实际值存在误差, 原因是由于摩擦系数为纯冰块, 杂鱼块的摩擦系数可能会偏大, 若摩擦系数变大则计算的弹簧变形量会减小。通过计算可知, 弹簧变形量和弹簧工作负载 F 成正比。然而, F 是一个变量, 经过理论计算, 可得:

$$\begin{cases} F_1 = (G - \rho abcg) \sin \alpha \\ F_2 = (F_1 - \rho abcg) \sin \alpha \\ \vdots \\ F_n = (F_{n-1} - \rho abcg) \sin \alpha \\ r = \frac{8nC^3}{G_1d_1} F_n \end{cases} \quad (5)$$

式中: ρ 为冰块的密度; a 、 b 、 c 分别为杂鱼块的长、宽、高; g 为重力加速度; F_1 为第一次弹簧工作负载; F_n 为第 n 次弹簧工作负载。根据条件可知, 弹簧变形量数学模型为:

$$r = 0.127(F_n - 282.24a) \quad (6)$$

设定运行距离的参数数值传送给 PLC, 经过其内部数据处理^[12], 将移动脉冲信号、方向信号和速度信号给步进电机驱动器, 由驱动器控制步进电机。设计长度为 $(60 \sim 90 mm)$ 。

1.2 变频调速系统

根据设计, 需要自由选择切块频率, 降低设备

故障率,延长设备寿命,并且考虑节能特点。选用西门子变频器 MM440 进行变频电机调速。根据异步电机转速公式^[13]为

$$n = \frac{60f_1}{p}(1-s) \quad (7)$$

电机旋转磁场极对数 p 是一定的,电机转速 n 和频率 f_1 成正比,而转差率 s 是人为定义的,通过改变频率即可改变转速,这就是变频调速原理。PLC 与变频器调速控制方式有好多种,比较实用的有固定频率控制和二进制编码选择控制^[14]。本文应用变频器的 USS 协议进行通讯^[15-17]。在编程软件中,应用指令库支持 USS 协议,可实现对变频器的编程。然后再进行变频器主要参数设定,相关参数相配合,实现变频调速功能。西门子变频器可作为一种很好的通信链路^[18],可提高可靠性、减少接线和开发费用、降低成本。调速范围为 (25~35 块/min)。

1.3 计数器系统

电传感器检测模式有对射式、反射板式、聚焦式等^[19]通过可靠性和防水性对比,本系统采用对射式,其检测物体不受检测背景和被测物颜色的影响,测距远,防水性能好,检测距离 0~10 m。由于沿海地区环境较恶劣,运用其他计数方式可能会出现失灵或不准确的现象。在设计中也考虑到特殊情况,如两块杂鱼块出现连续遮挡会导致计数不准确,因此在程序设计中,当超过一定时间则计数为两块。计数器安装在出料斗两侧(图 3)。

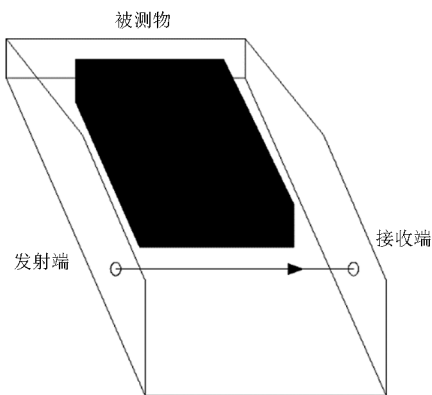


图 3 对射式检测模式

Fig.3 Correlative detection mode

1.4 电气控制系统

本系统主要采用 PLC 为控制核心,以液晶触摸屏为人机交互窗口,并结合相应软件、变频装置、计数传感器、测距传感器、步进电机及相应的执行元器件对冰冻杂鱼切块机进行自动控制。

2 工作原理

首先将冰冻的杂鱼板(规格为 600 mm×400 mm×80 mm),平整地放入切块机入口处,然后从触摸屏输入切块长度,调节范围为 (60~90 mm);切块速度调节范围为 (25~35 块/min)。切块机按照设定的速度转动,将大的杂鱼块切成设定宽度的杂鱼块,切块数量可通过触摸屏显示。当重新设定新的宽度时,按下复位按钮,步进电机回到初始位置,重新设置切块长度。如果发生切块机切不动鱼块,或者鱼块不从出料口出料等突发情况,可按下紧停按钮,切块机停止运行。

3 自动控制系统

自动控制系统由硬件和软件组成,控制系统原理^[20]见图 4。

3.1 硬件选型

选用 SIEMENS S7-200,其中 CPU 为 224XP 型(14 点输入,10 点输出);开关电源输入 120/230V AC,输出 24V/5A DC;触摸屏选用 SIEMENS Smart 700IE,触摸屏与 PLC 之间通讯采用 RS485 口。变频器选用西门子 MM440,功率 1.5 kW。PLC 与变频器之间采用 UUS 通讯。步进电机选用 57BYGH1.8°,计数器为 G12A-M1002/1 型常开对射传感器,测距传感器为 SW-LD50A 型。

3.2 软件设计

3.2.1 触摸屏界面设计

控制系统软件分为触摸屏界面和系统控制两部分。触摸屏界面软件采用 WINCC Flexible 2008 组态软件^[21]编写,存放于触摸屏内存中,实现设备参数、运行动态参数等的输入、读取和显示。在冰冻杂鱼切块机制作中,切块机的急停保护操作可在控制面板中进行。从上位机中输入数字信号,直接送入 PLC 输入端,最后在上位机中显示信号值。由于控制系统采用虚拟开关,减少了开关和中间继电器,接线布局清晰,操作方便。

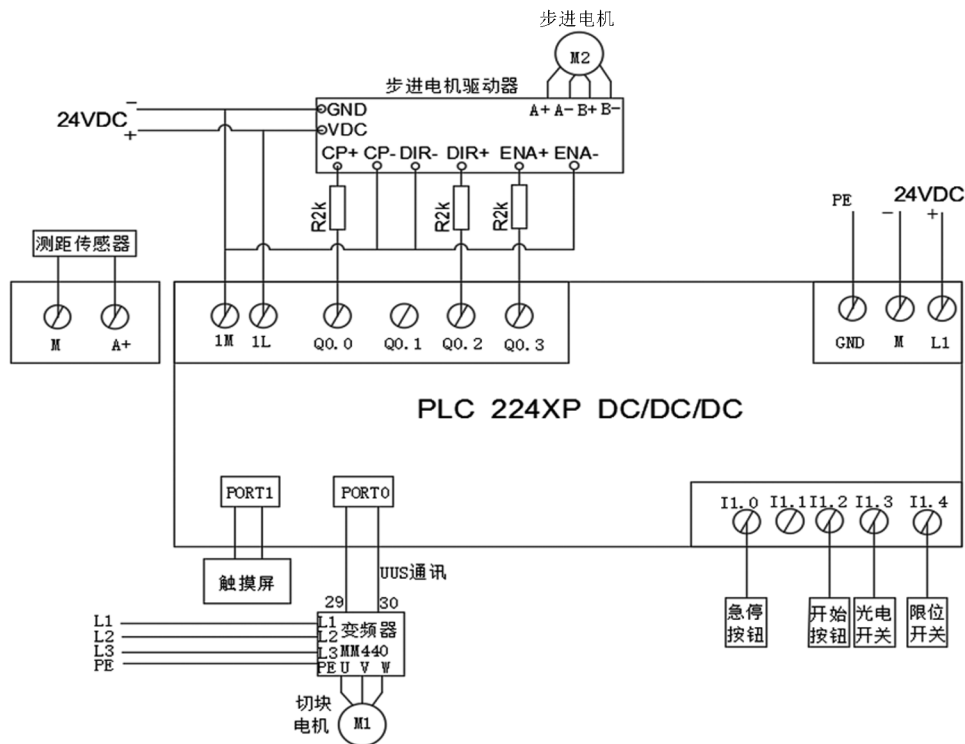


图 4 自动控制系统原理图

Fig.4 Schematic diagram of automatic control system

3.2.2 系统软件设计

在控制系统中,需要协调变频、调距、计数三者的相互关系,编写程序(表 1)。

表 1 PLC 的 I/O 口分布

Tab.1 Distribution of I/O in PLC

地址	注释
I1.0	计数
I1.2	限位
I1.3	启动
I1.4	停止
AIW0	测距
Q0.0	脉冲信号
Q0.2	向信号
Q0.3	使能信号

将程序设置的参数和对应的点相互对接,再用通信线将 PLC 与变频器连接进行 USS 协议通讯。精确调距技术是主要研究内容。每次切块长度要求保持一致,当每次杂鱼块切完后,剩下的杂鱼块重量会减少,则切块距离需要重新校准。使用数学模型计算得到每次弹簧的变形量,得到步

进电机可调距离,再运用测距传感器进行测量反馈,从触摸屏界面中显示测量距离,从而保证切块长度准确。PLC 产生 800 个脉冲,步进电机带动丝杆,丝杆运行一圈的距离为 4 mm,根据需要行走的距离 s , PLC 发送的脉冲则为 $200 \times s$ 。

在软件分析过程中,考虑到起始点的问题,加入限位开关作为初始点定位。试验过程中,切块长度可以通过改变步进电机正反转进行调节,运行转速可以通过改变变频器频率进行调节。

4 系统试验及数据分析

根据方案设计和分析,搭建系统并进行试验。电机选用四级变频减速电机,功率 1.1 kW,减速机传动比 55.5,额定扭矩 420 N · m。设置好切块长度和切块速度,变频电机就会带动高强度凸轮,驱动硬质不锈钢刀具做上下切块动作。

4.1 测试性能分析

试验中进行了空载和负载运行参数比较。负载运行时,电流瞬时变大,功率升高,原因是电动机负载和电流成正比,其扭矩也会增大。在转速

25 块/min 状态下,空载运行功率很小,在切冰冻杂鱼的瞬间,功率变大。整个试验过程都在额定电流、额定转矩下完成。测试数据如表 2 所示。

表 2 冰冻杂鱼切块机性能试验

Tab.2 Frozen fish cutting machine performance test

序号	状态	转速/ (块/min)	功率/ (kW)	扭矩/ (N·m)
1	空载	25.0	0.25	95.5
	负载	25.0	0.45	171.9
2	空载	26.0	0.26	95.5
	负载	26.0	0.53	194.7
3	空载	27.0	0.26	92.0
4	负载	28.0	0.58	197.8
5	空载	30.0	0.28	89.1
	负载	30.0	0.62	197.4
6	空载	32.0	0.30	89.5
	负载	32.0	0.78	232.8

4.2 切块宽度分析

试验结束后得到表 3 数据。结果表明,设定宽度和测量宽度相差不大,相差最大的为 3 mm,原因是弹簧补偿不够。虽然在调距中加入补偿,但由于杂鱼块大小不同、形状不规则、底部不平整,导致中间杂鱼块宽度误差会稍大,导致实际结果有误差(误差率 $\pm 5\%$)。但对投喂饲料来讲,可满足实际需要。

表 3 冰冻杂鱼块宽度测量

Tab.3 Width measurement of frozen fish fillet

序号	设定宽度/mm	测量宽度组/mm
1	60	60、61、60、62、62、60
2	65	66、65、64、66、67、63
3	70	71、73、72、70、69、68
4	75	74、77、75、76、74、78
5	80	80、82、79、78、80、78
6	85	84、86、84、85、86、83

5 结论

冰冻杂鱼切块机不仅大幅降低劳动力,节约劳动成本,而且提高了工作效率。采用变频调速、步进调距、光电计数等技术,实现了速度可调范围(25~35 块/min),切块条状长度可选(60~90 mm),光电计数准确的功能。试验过程中,在额定工作电压 400 V 条件下运行,切块平整、误差

率为 $\pm 5\%$,可以连续进行运行,设备安全可靠。在未来远洋养殖场中,冰冻杂鱼切块机可用于切块整齐、形状规则的小方块鲜活饲料,进行投饲。

□

参考文献

- [1] 张国强.马铃薯种薯自动切块机的研究与设计[D].呼和浩特:内蒙古大学,2015.
- [2] 朱克庆,马卫淇.全自动面团切块机的研究与开发[J].粮食加工,2014,39(6):52-53.
- [3] HRISHIKESH T A, DEEPAK S, VENKATESHMURTHY K, et al. Development of a lemon cutting machine[J]. Journal of Food Science & Technology, 2014, 51(12):3846-3853.
- [4] YANG D Y, HU. Development of multifunctional fresh-cutting machine for fruits and vegetables[J]. Food & Machinery, 2012, 28(3):183-185.
- [5] 何云峰.猪肉切块机:206201038U[P]. 2017-5-31.
- [6] 黄海波.一种冷鲜肉切块机:205415793U[P]. 2016-8-3.
- [7] 坂本文.步进电机应用技术[M].北京:科学出版社,2010:9-45.
- [8] 刘宝廷,程树康.步进电动机及其驱动控制系统[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1997:99-167.
- [9] 王志勇,湛志新,江涛.集中式自动投饵系统的研制[J].渔业现代化,2011,38(1):46-49.
- [10] 温诗铸,黄平.摩擦学原理[M].北京:清华大学出版社,2009:271-289.
- [11] 机械设计手册编委会.机械设计手册[M].5版,北京:机械工业出版社,2008:15-30.
- [12] 廖长初.PLC 编程及应用[M].北京:机械工业出版社,2013:25-31.
- [13] 屈维谦.异步机调速原理与转速公式探讨[J].电气传动自动化,2005,27(4):9-13.
- [14] 刘彦良,李夏,付海涛.基于西门子 PLC 与 MM440 变频器的多段速控制方法应用[J].电工技术,2011(8):47-49.
- [15] 张松顺,谢汝生.通过 USS 协议实现变频器的 PLC 控制[J].工业仪表与自动化装置,2001(5):39-41.
- [16] 高锐,姜波.基于 USS 协议的 WINCC 与 S7-200 变频器网络通讯研究[J].工业控制计算机,2009,22(5):3-4.
- [17] 杨坤,唐岚,江昊.减震器性能试验台控制系统研究[J].中国测试,2015,41(4):70-73.
- [18] 李方园.变频器自动化工程实践[M].北京:电子工业出版社,2007:1-10.
- [19] 乔惠惠.光电传感器原理及应用[J].可编程控制器与工厂自动化,2008(5):103-106.
- [20] 王志勇,湛志新,徐志强.渔船拖网绞机电力控制技术研究[J].渔业现代化,2015,42(1):53-56.
- [21] 李静,杨胜泉.WinCC flexible 组态软件在矫直机 PLC 控制系统中的应用[J].有色金属加工,2014(5):56-59.

(下转第 66 页)