

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.02.055

# 基于 PLC 的数控皮革切割机控制系统设计

王选, 申浩宇, 宫晓峰

(烟台职业学院 智能制造系, 山东 烟台 264670)

**摘要:**针对数控皮革切割机切割速度慢、皮革利用率低、人机交互性差的问题,以 PLC 为核心控制器,运用 MCGS 技术,结合变频器,设计一套人机交互式的智能化自动控制系统。基于差分插补算法,设计最优的切割路径;借助人机界面功能,实现系统切割材料的可视化;设置变频器为三段速运行模式,满足传送带运送不同材料的速度要求。通过实例表明:该系统切割速度、皮革利用率、交互性均得到了提高。

**关键词:**皮革切割机;PLC;差分插补;人机交互;控制系统

**中图分类号:**TP273 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)02-0281-04

## Design of Control System for CNC Leather Cutting Machine Based on PLC

WANG Xuan, SHEN Haoyu, GONG Xiaofeng

(Intelligent Manufacturing Department of Yantai Vocational College, Yantai 264670, China)

**Abstract:** Regarding slow cutting speed, low leather utilization rate, and poor human-machine interaction in CNC leather cutting machines, a human-machine interactive intelligent automatic control system is designed with PLC as the core controller, by MCGS technology and integrated with frequency converter. The optimal cutting path is designed based on differential interpolation algorithm. By means of human-machine interface function, the visualization of material cutting is realized in the system. The frequency converter is set to three speed operation mode to meet the speed requirements for transporting different materials on the conveyor belt. Examples demonstrate that the cutting speed, leather utilization rate and interactivity of the system all have all been improved.

**Keywords:** leather cutting machine; PLC; differential interpolation; human-computer interaction; control system

## 0 引言

随着“碳达峰”“碳中和”的提出,加快产业结构优化调整、促进技术革新升级和推动制造业智能化、绿色化、低碳化发展是我国经济高质量发展重要举措<sup>[1]</sup>。数控皮革切割机是皮革加工行业的关键设备,采用数控技术可以实现皮革的精确切割<sup>[2]</sup>。近年来,数控技术朝着高精度、高效率、高自动化的方向发展,数控皮革切割机柔性生产能力得到提升,其能够满足小批量、多品种的生产需求,为企业降低劳动成本、提高生产效率带来明显的经济效益和社会效益<sup>[3-4]</sup>。

贾海文<sup>[5]</sup>以计算机图形学算法为基础设计了皮革切割机控制系统的硬件与软件,借助蚁群算法优化皮革切割路径,加快皮革材料切割速度、提升皮革材料利用率。吕松哲<sup>[6]</sup>提出递推最小二乘法在皮革切割机被控对象辨识中的应用,有助于

优化系统参数,预测系统故障。许东伟等<sup>[7]</sup>研究样条曲线切向跟随算法能够提高数控切割机的切割精度和运动速度。上述工作主要研究切割机运用不同的切割算法,提高切割精度和切割效率。但鲜有研究系统硬件对切割机切割质量的影响,人机交互功能也不多。所以本文提出以 PLC 为控制器并结合变频器,运用 MCGS 技术,辅以差分插补原理,设计一套智能化、宜人化的皮革切割机控制系统。

## 1 系统方案设计

数控皮革切割机包含切料检测、定长设置、切料传送等机构<sup>[8]</sup>。控制系统采用触摸屏和现场控制面板,通过 PLC 同时控制带动切刀的伺服电动机和变频调速电动机,形成 PLC 触摸屏控制数控皮革切割机的系统框图,如图 1 所示。

**基金项目:**中国高校产学研创新基金—北创助教项目(三期)第二批课题项目(2022BC147);教育部第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题项目(ZI2021020301);烟台职业学院本科科研项目(2023XBZC033)

**第一作者简介:**王选(1989—),女,山东东营人,讲师,硕士,研究方向为机电一体化,932755975@qq.com。

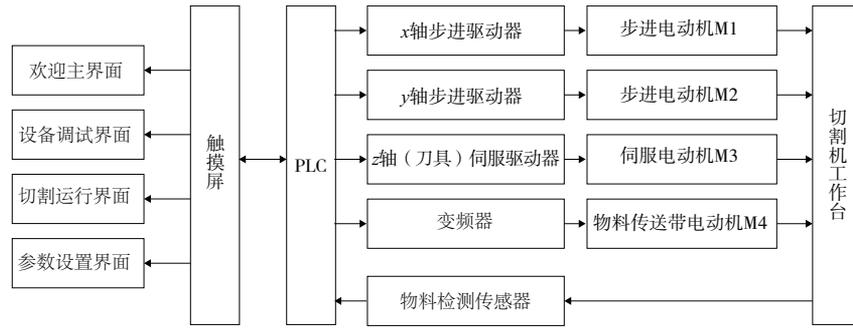


图1 数控皮革切割机的系统框图

## 2 系统硬件设计

### 2.1 硬件选型

控制器使用西门子 S7-1200 晶体管输出型 PLC,配以昆仑通态 TPC 7062Ti 触摸屏,MCGS 触摸屏连接到 PLC 上,以以太网形式组网。采用 G120 变频器以实现物料三相异步电动机 M4 低速、中速、高速三段速控制。

切割机  $x$  轴电动机 M1、 $y$  轴电动机 M2 均选用 42BYG250 型号步进电动机,步进电动机驱动器为 HB202M。驱动器 DIP 开关设置为 10001011,信号设置 CP+/CP-为脉冲信号,DIR+/DIR-为方向信号(电平控制),输出电流为 1.2 A,细分为 20 拍/齿,也就是系统步进控制 1 000 个脉冲数转一圈。

带动刀具运动的  $z$  轴电动机 M3 选用禾川 SV-X3EMA010A-N6LA 伺服电动机,由禾川 SV-X3EA010L 伺服驱动器驱动。根据计算电子齿轮比、指令脉冲频率等关键参数设置伺服驱动器参数。当驱动系统与编码器确定后,控制系统中位置分辨率  $\Delta L$  为固定值。每个指令脉冲的行程  $L$  为

$$L = \Delta L \cdot \frac{C_{MX}}{C_{DV}} \quad (1)$$

式中: $C_{MX}$ 表示电子齿轮参数(指令脉冲乘数分子); $C_{DV}$ 表示电子齿轮参数(指令脉冲乘数分母)。伺服电动机以指令脉冲和反馈脉冲相等时的速度运行,参数设置关系如下:

$$f \cdot \frac{C_{MX}}{C_{DV}} = P \cdot \frac{N}{60} \quad (2)$$

式中: $f$ 表示指令脉冲频率(采用差动线性驱动器时); $P$ 表示反馈脉冲数量; $N$ 表示伺服电动机转速。根据上式可以推导出伺服电动机的电子齿轮比和指令脉冲频率的计算公式,使伺服电动机

旋转。

### 2.2 PLC 的 I/O 分配

根据系统方案所选择的元器件,对 PLC 完成 I/O 地址的分配,如表 1 所示。

表1 I/O 地址分配表

输入信号 I/O 地址及名称			输出信号 I/O 地址及名称		
I0.0, V100.0	SB1	启动按钮	Q0.0	CP+	$x$ 轴步进脉冲
I0.1, V100.1	SB2	停止按钮	Q0.1	DIR+	$x$ 轴步进方向
I0.2, V100.2	SA1	急停按钮	Q0.2	CP+	$y$ 轴步进脉冲
I0.5, V100.3	SB4	复位按钮	Q0.3	DIR+	$y$ 轴步进方向
I0.3	SB3	变速按钮	Q0.4	PLS+	$z$ 轴伺服脉冲
I0.4	SQ1	物料检测	Q0.5	DIR+	$z$ 轴伺服方向
V110.0	TSS	调试开始	Q1.0	5	变频器 5 号端子
V110.1	TSZ	切刀正转	Q1.1	6	变频器 6 号端子
V110.2	TSF	切刀反转	Q1.2	7	变频器 7 号端子

## 3 系统软件设计

### 3.1 HMI 组态设计

为满足数控切割机加工过程的可视化监控,采用 MCGS 软件设计触摸屏,其界面共 4 个窗口,分别为欢迎主界面、设备调试界面、切割运行界面、参数设置界面。设备调试界面设置切料控制、切刀调试、设备控制 3 部分。切割运行界面按照功能划分区域,设计文件处理区、图形仿真区、手动控制区和数控状态区。参数设置界面主要有电动机参数和工作台行程参数,用户根据切割机机、物料不同,利用参数设置界面对初始参数进行设置、修正和保存,确保切割加工正确。为对应控制面板与触摸屏两地控制的关系,将触摸屏变量与控制面板变量共同进行分配如表 1 所示,切割机界面设置如图 2 所示。



图2 数控皮革切割机的人机交互界面

### 3.2 PLC 程序设计

数控皮革切割机切割直线、圆弧及其他复杂图形时,PLC需要对双轴甚至多轴进行插补运算<sup>[9-10]</sup>。一般数控系统采用传统的逐点比较法,只有直线、圆弧插补功能<sup>[11]</sup>。当切割复杂的二次曲线甚至更高次曲线时,只能使用分段直线或者圆弧来拟合逼近被加工曲线,插补运算过程中存在分段多、插补次数多、逼近精度低等问题<sup>[12]</sup>,因此严重影响产品加工质量,难以满足客户需求。本文控制系统采用差分插补原理<sup>[13]</sup>实现直线、二次曲线、三次曲线和更高次曲线的插补功能,从而提高数控皮革切割机的切割速度,优化皮革材料的切割路径。

#### 1) 正高次曲线函数与差分关系

设函数  $F(x) = cx^p$ , 在  $p+1$  个等距节点  $x_i = x_0 + tl$  上的函数值为  $F(x_i)$ ,  $c$  是系数,  $p$  是正整数,  $x_0$  是第一个等距节点,  $t=0, 1, 2, \dots, p$ , 令步长  $l=1$  是一个脉冲当量, 在  $x_0 = 0$  处函数值  $F(x_i) = F(t)$ , 函数  $F(x) = cx^p$  的第  $k$  阶差分为

$$j(xk) = (-1)^0 C_k^0 F(k) + (-1)^1 C_k^1 F(k-1) + (-1)^2 C_k^2 F(k-2) + \dots + (-1)^{k-1} C_k^{k-1} F(1) = \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i C_k^i F(k-i) \quad (3)$$

式中:  $j(xk)$  表示函数  $F(x)$  的第  $k$  阶差分;  $C_k^i$  表示  $k$  个不同元素中取出  $i$  个元素的组合数;  $F(k-i)$  表示第  $k-i+1$  个等距节点的函数值,  $k$  取  $1 \sim p$ ,  $i$  取  $0 \sim k$ 。用  $x_0 = 0$  处  $1 \sim k$  阶差分递加的方法<sup>[14]</sup>可求得各等距节点处的函数值:

$$F(x_i) = F(x_{i-1}) + j(x_{i-1}1) \quad (4)$$

式中  $j(x_{i-1}1)$  是等距节点  $x_{i-1}$  处 1 阶差分, 当  $k > p$  时, 差分值全为 0。

#### 2) 正高次曲线相对坐标系

以变量可分离的正高次曲线为例, 其数学方程为:

$$A_m(x) = B_n(y) \quad (5)$$

$$A_m(x) = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + ax \quad (6)$$

$$B_n(y) = b_n y^n + b_{n-1} y^{n-1} + \dots + by \quad (7)$$

式中  $a_m, a_{m-1}, \dots, a, b_n, b_{n-1}, \dots, b$  均为系数,  $m, n$  均为正整数。把  $x$  轴水平向右,  $y$  轴垂直向上的坐标系作为绝对坐标系。以曲线加工起点为坐标原点, 起点处的切线在第一象限建立的坐标系叫相对坐标系。平移曲线关系如表 2 所示。设置系统以脉冲当量为单位, 当  $x$  轴进给一步时, 相应  $x$  轴坐标值加 1, 函数值  $A_m(x)$  加上该点处的 1 阶差分值, 数控切割机  $x$  轴实际转动或者移动一个脉冲当量的距离。  $y$  轴同理, 不再赘述。系统有  $x$  轴单独进给、 $y$  轴单独进给和  $xy$  轴联合进给 3 种方式。通过  $A_m(x)$  与  $B_n(y)$  比较进给量的大小, 由最小值来进行进给。进给过程中尽可能保持两个函数值相等, 减小误差, 提高插补精度。

表2 平移曲线关系表

序号	在 $xy$ 绝对坐标系中的曲线方程 $A(x) = B(y)$		
	平移	增量值	相对坐标系中的曲线方程
1	平移曲线的增量	$\Delta x, \Delta y$	$A(x-\Delta x) = B(y-\Delta y)$
2	不平移曲线, $x$ 轴反向	$\Delta x=0, \Delta y=0$	$A(-x) = B(y)$
3	不平移曲线, $y$ 轴反向	$\Delta x=0, \Delta y=0$	$A(x) = B(-y)$
4	平移曲线, $x$ 轴反向	$\Delta x, \Delta y$	$A[(-x)-\Delta x] = B(y-\Delta y)$
5	平移曲线, $y$ 轴反向	$\Delta x, \Delta y$	$A(x-\Delta x) = B[(-y)-\Delta y]$
6	不平移曲线, 平移坐标系	$\Delta x, \Delta y$	$A(x+\Delta x) = B(y+\Delta y)$
7	平移坐标系, $x$ 轴反向	$\Delta x, \Delta y$	$A[(-x)+\Delta x] = B(y+\Delta y)$
8	平移坐标系, $y$ 轴反向	$\Delta x, \Delta y$	$A(x+\Delta x) = B[(-y)+\Delta y]$
9	平移坐标系, $x$ 轴 $y$ 轴反向	$\Delta x, \Delta y$	$A[(-x)+\Delta x] = B[(-y)+\Delta y]$

#### 3) 正二次曲线差分插补方法

差分插补正二次曲线时, 设函数  $A_m(x)$  在  $x=0$  处的 1 阶差分为  $j(x1)$ , 二阶差分为  $j(x2)$ ; 函数  $B_n(y)$  在  $y=0$  处的 1 阶差分为  $j(y1)$ , 2 阶差分为  $j(y2)$ ; 插补函数为  $F$ , 且  $F=A_m(x)-B_n(y)$ ; 4 个象限用  $Q$  表示, 第一象限为  $Q1$ 、第二象限为  $Q2$ 、第三象限为  $Q3$ 、第四象限为  $Q4$ ; 曲线的插补长度用  $\Delta n$  表示, 当  $x$  轴与曲线终点切线的夹角大于  $45^\circ$  时,  $\Delta n$  为曲线在  $y$  轴上的投影叠加, 否则,  $\Delta n$  为曲线在  $x$  轴上的投影叠加;  $N$  为计数方向。在插补过程中, 如果 1 阶差分值  $j(x1)$  与  $j(y1)$  是负值, 那就在几何上认定为曲线过象限。因此, 计算的

负差分值需要乘以-1,保证1阶差分值为正值,插补函数  $F$  若为负,乘以-1即可。切割机系统曲线切割的正二次曲线插补过程如图3所示。

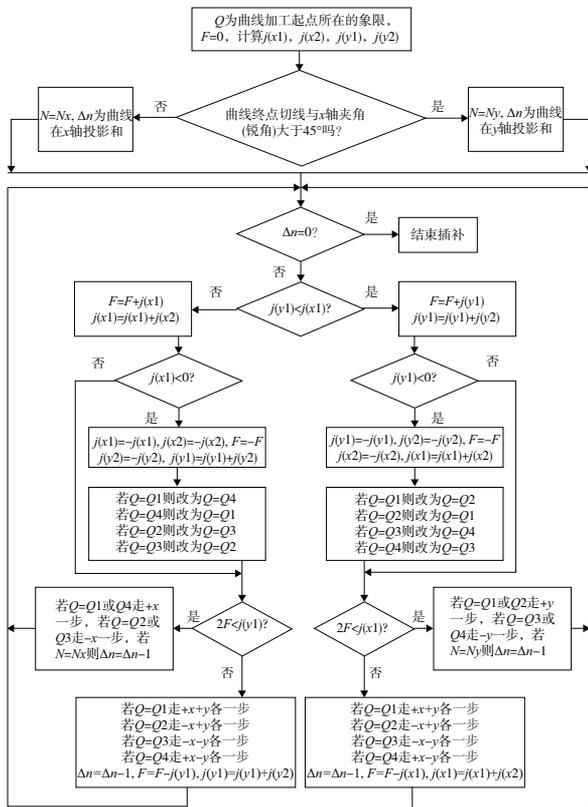


图3 正二次曲线差分插补流程图

表3 曲线差分插补过程

序号	偏差累计	进给判别	进给方向	偏差修正	终点判别	插补误差
1	$j(y1) = 1, j(x1) = 4$ $F = F + j(y1) = 1$	$2F < j(x1)$	+y	$F = 1$	$\Delta n = 4$	-0.250
2	$j(y1) = 3, j(x1) = 4$ $F = F + j(y1) = 4$	$2F > j(x1)$	+x +y	$F = F - j(x1) = 0$	$\Delta n = 3$	0
3	$j(y1) = 5, j(x1) = 4$ $F = F + j(x1) = 4$	$2F > j(y1)$	+x +y	$F = F - j(y1) = -1$	$\Delta n = 2$	-0.250
4	$j(y1) = 7, j(x1) = 4$ $F = F + j(x1) = 3$	$2F < j(y1)$	+x	$F = 3$	$\Delta n = 1$	-0.464
5	$j(y1) = 7, j(x1) = 4$ $F = F + j(x1) = 7$	$2F > j(y1)$	+x +y	$F = F - j(y1) = 0$	$\Delta n = 0$	0

### 5 结语

系统应用表明:基于差分插补原理,选用西门子 S7-1200 PLC 为核心控制器,配以昆仑通态 TPC 7062Ti 触摸屏,采用 G120 变频器,实现了切割皮革材料的交互式、智能化自动控制。该系统具有切割速度快、皮革利用率高、交互性强等优点,从而为企业减少材料浪费,提高生产效率,满足客户的个性化和小批量生产。

### 4) 基于 TIA Portal 的运动控制编程

TIA Portal 结合 CPU S7-1200 的“运动控制”功能,可以实现通过脉冲接口控制步进电动机和伺服电动机<sup>[15]</sup>。在 TIA Portal 中对定位轴和命令表工艺对象进行组态。CPU S7-1200 使用这些工艺对象来控制用于控制驱动器的脉冲发生器的输出。在用户程序中,通过运动控制指令来控制各轴运动。

### 4 整体调试

调试时首先下载 PLC 程序,正确设置变频器和伺服驱动参数,然后按下传送带调速按钮,观察频率数值,变频调速电动机转速可在高速、中速、低速之间切换,按下切刀按钮调试正转、反转,伺服电动机正常正转、反转。

以曲线  $y^2 = 4x$  为例,取起点(0,0),终点(4,4),则  $j(x1) = 4, j(x2) = 0, j(y1) = 1, j(y2) = 2, nn = 4$ 。利用差分插补算法计算结果如表3所示。

通过实例数据得到:曲线差分插补的插补次数为5,大大提高了插补速度;曲线差分插补的最大插补误差为-0.464,小于1/2个脉冲当量,有效地提高了插补精度。

### 参考文献:

[1] 郭承站. 加快经济社会绿色转型发展是碳达峰的重要举措构建生态产业化产业生态化是碳中和的重要保障;在能源绿色转型发展研讨会上的讲话[J]. 中国环保产业,2024(8):15-16.  
[2] 于方波. 数控技术在现代机械加工中的应用[J]. 造纸装备及材料,2023,52(11):115-117.

(下转第 293 页)

飞行期间前进距离和高度下降之间的比值,即

$$K = \frac{L}{H} \quad (5)$$

式中: $K$ 表示滑翔比; $L$ 表示前进距离; $H$ 表示高度下降距离。

在时间间隔  $\Delta t$  较小的情况下:

$$K = \frac{V_S}{V_H} \quad (6)$$

式中: $V_S$ 是翼伞飞行时的水平速度; $V_H$ 是翼伞飞行时的垂直速度。

通过解析翼伞中的 GPS 数据,可以得到翼伞飞行时的水平速度和垂直速度。根据上述公式可以得到翼伞飞行时的动态滑翔比,如图 8 所示。

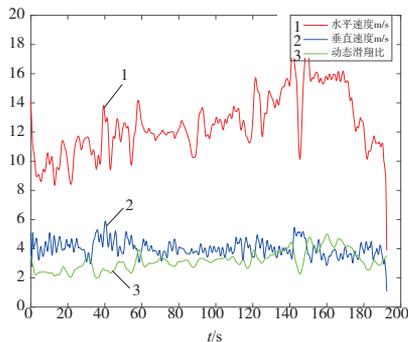


图 8 滑翔比变化图

由图 8 可知,滑翔比在实际飞行过程中是变化的,所以只需要知道翼伞在飞行过程中滑翔比的平均值。

根据 GPS 信息解算出水平速度的平均值为  $12.52 \text{ m/s}$ ,垂直速度的平均值为  $4.02 \text{ m/s}$ ;根据上述公式计算滑翔比的平均值为 3.11。

## 4 结语

1)完成翼伞滑翔比的软硬件设计以及微型化封装。

2)滑翔比测试系统得到翼伞飞行实验的验证,并得到翼伞飞行轨迹及相对风速,为求得翼伞飞行过程中的绝对风速提供支持。

3)通过飞行数据还原翼伞的飞行轨迹,并解析 GPS 数据得到翼伞飞行时的动态滑翔比,得到翼伞滑翔比的平均值。

## 参考文献:

- [1] 徐则浩,汪鹏生,陆发春. 军事纵横[M]. 合肥:安徽人民出版社,1999.
- [2] 美国联邦航空局. 飞机飞行手册[M]. 陈新河,译. 上海:上海交通大学出版社,2010.
- [3] 余莉. 飞行器救生及个人防护技术[M]. 北京:国防工业出版社,2015.
- [4] 杨华,宋磊,黄俊. 冲压翼伞滑翔性能研究[J]. 飞行力学,2014,32(6):510-513.
- [5] 费景荣,徐道琦. 直升机自转着陆滑翔比的确定[J]. 飞行试验,2001,17(4):4.
- [6] 成婷婷,屈飞舟,张海妮. 小型通用飞机滑翔比试飞方法[J]. 国际航空,2017(9):2.
- [7] 吴光润. 一种具有高滑翔比机身的无人机:CN109573033A[P]. 2019-04-05.
- [8] 李景欣,杨宁,折智强. 一种大滑翔比无人机自动着陆控制方法:CN112433533B[P]. 2023-03-14.
- [9] 何紫阳,赵敏,李宇辉,等. 一种水平风场干扰下的翼伞滑翔比测量方法:CN113086242B[P]. 2022-03-25.

收稿日期:2023-08-10

(上接第 284 页)

- [3] 宋飞科. 数学算法控制下的皮革裁床样片切割路径优化研究[J]. 西部皮革,2022,44(6):7-9.
- [4] 王毅哲. 基于单片机的皮革切割机械控制设计[J]. 中国皮革,2024,53(8):47-51,58.
- [5] 贾海文. 基于计算机图形学算法的皮革切割机控制系统研究[J]. 中国皮革,2024,53(7):46-50.
- [6] 吕松哲. 递推最小二乘法在皮革切割机被控对象辨识中的应用[J]. 中国皮革,2023,52(11):55-58,63.
- [7] 许东伟,黄国静. 数控皮革切割机的样条曲线切割算法研究[J]. 南方农机,2020,51(7):98,102.
- [8] 郑伟迪. 皮革切割机数控系统的研究与开发[D]. 广州:广东工业大学,2020.
- [9] 胡剑锋,岳博,武艳. 双刀头数控皮革切割机控制系统研究[J]. 机电工程技术,2013,42(8):182-184.
- [10] 秦少锋. 基于八轴控制器皮革切割机控制系统研究[J]. 内燃机与配件,2019(9):199-200.
- [11] 吕万德,罗晓曙,张盛明. 基于一种改进逐点比较插补法的激光打标机控制加工算法[J]. 制造技术与机床,2020(2):195-198.
- [12] 吴继春. 曲面数控加工编程轨迹的 NURBS 拟合及插补算法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2012.
- [13] 乔磊,王宏甲,杨召彬,等. 基于差分插补原理的平面三次多项式曲线插补[J]. 组合机床与自动化加工技术,2017(7):97-100.
- [14] 范柄尧. 基于差分进化算法的掘进机截割轨迹规划研究[J]. 煤矿机械,2024,45(10):41-43.
- [15] 吴子鸣,赵微雪. 步进电机的 PLC 控制系统设计[J]. 模具制造,2024,24(4):189-191.

收稿日期:2024-09-25