

犁面的计算机辅助设计

吴成武 马成林 陈晓光 左春桢 李法来

(吉林工业大学)

提 要 为采用计算机辅助设计犁体曲面,提出以耕作速度为基础的十二参数设计法。通过其设计原理分析,建立数学模型,研制了计算机辅助设计硬、软件系统。应用该软件计算、绘制各种幅宽犁体曲面及犁面展开图方便、快捷,比人工设计提高工效20倍以上;按绘图试制的30cm幅宽犁体,经生产试验表明,较对照犁体使用性能良好,降阻10%左右。

关键词 犁体曲面 十二参数设计法 计算机辅助设计

随着农机工业的发展和电子计算机的日益普及,我国现行的犁面设计方法和手段已不能满足形势发展要求,为了提高水平,必须采用现代设计理论、方法和手段。为此,我们研究提出一种犁面十二参数设计法及其计算机辅助设计的硬、软件系统。它适用于各种耕深、耕宽和耕速的旱田犁体曲面设计。

1 犁面设计原理

犁体曲面设计主要包括两方面:一是犁体曲面本身的设计,包括主、俯视图,构成线,样板曲线;二是犁体曲面的展开。

1.1 十二参数设计法原理

1.1.1 以垡片翻转为主

对于铧式犁的设计要求,主要包括翻土、碎土好和耕作阻力小。但这三项要求并不是一致的,更不能等量齐观。在设计铧式犁时,应着重考虑耕作过程中的翻土和碎土质量问题,特别是翻土质量问题。犁地达不到的翻土程度是后续作业无法弥补的。据此,我们以垡片翻转为主来设计犁体曲面。

1.1.2 尽量减少犁耕阻力

不管犁耕阻力如何,也不管土壤状况怎样,垡片的翻转总是由运动着的犁体曲面的几何形状来实现。因此,在保证耕作质量的前提下,应尽量减少犁耕阻力。除采取通常减少阻力的措施外,在这里减少犁耕阻力有三个途径:

1)降低垡片在犁面上的势能和动能

以垡片的定点翻转可使垡片在犁面上不整体升起,使垡片势能保持最小,控制垡片的旋

转角速度,以控制垡片离开犁面的出口速度,从而控制垡片离开犁面时的动能 W_1 [1]:

$$W_1 \leq \sqrt{2g} / \sqrt{A^2 + B^2}$$

式中: A —犁体设计耕深; B —犁体设计耕宽; g —重力加速度。

2) 降低垡片在犁面上的摩擦能

降低垡片在犁面上的摩擦能,一个有效途径就是缩短犁体曲面纵向长度。犁体曲面的最小纵向长度 L 为 [1]:

$$L \geq \frac{V_m}{W_1} (\max \beta_0 + \min \beta_0)$$

式中: V_m —耕作机组的运动速度。 $\min \beta_0$ —假想刚性垡片作匀角加速旋转时,必须转过的最小角度。它与耕速、耕宽、耕深和土壤性质有关。 $\max \beta_0$ —假想刚性垡片在犁面上旋转时必须转过的最大角度。 $90^\circ < \max \beta_0 \leq 110^\circ$

对于粘性土壤,又要求翻土性能好的犁体,设计时 $\max \beta_0$ 可取较大值;对于用于松碎土壤的犁体,设计时 $\max \beta_0$ 则不必取较大值。

3) 良好的构成线形状及其变化规律有利于减少垡片变形能。

垡片的翻转总是由运动着的犁体曲面的几何形状来实现,垡片在翻转过程中的运动状态及其空间位置完全由犁面上构成线的形状及其变化规律所决定,同时也决定了犁耕阻力和犁耕质量。因此,良好的构成线及其变化规律也是减少阻力的一个重要方面。为此必须使各构成线具有一阶或一阶以上光滑,其变化规律也是渐进的、光滑的,以利垡片在翻转过程中变形,减少变形能。

1.1.3 以耕作速度为基础

事实上,通过各种试验已证明,低速犁用于高速作业最突出的问题是阻力过大,土垡抛掷过远,致使能耗过多。一般来说,低速犁进行高速作业虽然碎土不存在什么问题,但翻土和覆盖质量都有所降低。可见耕作速度不仅与耕作阻力有关,也与耕作质量有关。因此,要想使犁体适应高速作业,必须解决速度问题,应该把速度与犁耕质量,犁体曲面参数等联系起来。用相应于速度的犁面参数来保证土垡不致抛扔过远,用相应于速度的曲面形状及轮廓形状来保证犁面不漏土,以至用速度来求出合理的犁面长度和构成线的变化规律等等。总之,耕作速度不仅仅作为犁面设计的一个参数,而且应该在设计中起主导作用,作为犁面设计的基础。

1.2 十二参数设计法主要数学模型

1.2.1 犁面数学模型

$$F_1(x)y^3 + F_2(x)y^2 + F_3(x)y + F_4(x) = F_5(x)z^3 + F_6(x)z^2 + F_7(x)z \quad [2]$$

1.2.2 构成线数学模型

1)犁面胸部构成线数学模型(见图 1)

(a)三次曲线形式

$$\begin{cases} z(x,y) = F_1(x)y^3 + F_2(x)y^2 + F_3(x)y + F_4(x) \\ x = (i - 100)l_0 \end{cases}$$

式中:

$$F_1(x) = \frac{2\text{tg}\beta_0 - \text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l^2 \cdot \cos^2\beta_0}$$

$$F_2(x) = \frac{3\text{tg}\beta_0 - 2\text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l \cdot \cos\beta_0} - 3y_0 \frac{2\text{tg}\beta_0 - \text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l^2 \cdot \cos^2\beta_0}$$

$$F_3(x) = 3y_0^2 \frac{2\text{tg}\beta_0 - \text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l^2 \cdot \cos^2\beta_0} - 2y_0 \frac{3\text{tg}\beta_0 - 2\text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l \cdot \cos\beta_0} - \text{tg}\beta_1$$

$$F_4(x) = y_0^3 \frac{3\text{tg}\beta_0 - 2\text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l \cdot \cos\beta_0} - y_0^3 \frac{2\text{tg}\beta_0 - \text{tg}\beta_1 - \text{tg}\beta_2}{l^2 \cdot \cos^2\beta_0} + y_0 \text{tg}\beta_1$$

式中: β_0 —构成线 $\widehat{a_1a_2}$ 的弦 $\overline{a_1a_2}$ 与 y 轴负向夹角。

β_1, β_2 —构成线 $\widehat{a_1a_2}$ 在点 a_1 和 a_2 处的切线与 y 轴负向夹角。

i —第 i 条构成线

l_0 —两条构成线间距。

l —构成线 $\widehat{a_1a_2}$ 的弦 $\overline{a_1a_2}$ 之长度。

y_0 —点 a_1 的 y 向坐标

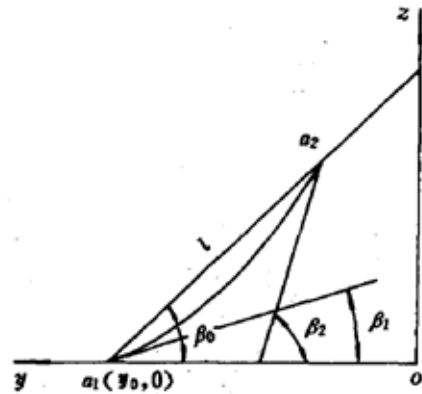


图 1 犁面构成线

Fig1. Component line of plow body surface.

(b)二次曲线形式

$$\begin{cases} F_2(x)y^2 + F_3(x)y = z^2 + F_7(x)z - F_4(x) \\ x = (i - 100)l_0 \end{cases}$$

式中:

$$F_7(x) = - \frac{2l\sin\beta_0(\sin\beta_0 - \cos\beta_0\text{tg}\beta_2)}{2\sin\beta_0 - \cos\beta_0(\text{tg}\beta_1 + \text{tg}\beta_2)}$$

$$F_2(x) = \frac{\text{tg}\beta_0(\sin\beta_0(\text{tg}\beta_1 + \text{tg}\beta_2)) - 2\text{tg}\beta_1\cos\beta_0\text{tg}\beta_2}{2\sin\beta_0 - \cos\beta_0(\text{tg}\beta_1 + \text{tg}\beta_2)}$$

$$F_3(x) = - \text{tg}\beta_1 \cdot F_7(x) - 2y_0 \cdot F_2(x)$$

$$F_4(x) = - y_0^2 F_2(x) - y_0 F_3(x)$$

(c)一次曲线形式

$$\begin{cases} y = F_7(x)z - F_4(x) \\ x = (i - 100) \cdot l_0 \end{cases}$$

式中: $F_7(x) = -\frac{1}{\operatorname{tg}\beta_0}$

$$F_4(x) = -y_0$$

2) 犁面翼部构成线数学模型

$$\begin{cases} y(x, z) = F_5(x)z^3 + F_6(x)z^2 + F_7(x)z - F_4(x) \\ x = (i - 100) \cdot l_0 \end{cases}$$

式中: $F_5(x) = \frac{2\cos\beta_0\operatorname{tg}\beta_1\operatorname{tg}\beta_2 - \sin\beta_0\operatorname{tg}\beta_2 - \sin\beta_0\operatorname{tg}\beta_1}{l^2 \cdot \operatorname{tg}\beta_1\operatorname{tg}\beta_2\sin^3\beta_0}$

$$F_6(x) = \frac{2\sin\beta_0\operatorname{tg}\beta_2 + \sin\beta_0\operatorname{tg}\beta_1 - 3\cos\beta_0\operatorname{tg}\beta_1\operatorname{tg}\beta_2}{l \cdot \sin^2\beta_0\operatorname{tg}\beta_1\operatorname{tg}\beta_2}$$

$$F_7(x) = -\frac{1}{\operatorname{tg}\beta_1}$$

$$F_4(x) = -y_0$$

1.3 犁面十二参数(主参数)简介

A—设计耕深 (mm)

B—设计耕宽 (mm)

V—设计耕速 (km/h)

θ_0 —铧刃角 (deg)

$100\beta_0$ —理论铧翼点构成线 β_0 角 (deg)

$\max\beta_0$ —壁翼端点构成线 β_0 角 (deg)

$100\beta_2$ —理论铧翼点构成线 β_2 角 (deg)

$\max\beta_2$ —壁翼端点构成线 β_2 角 (deg)

${}_1\beta_1$ —犁铧平面处构成线 β_1 角 (deg)

$\max\beta_1$ —壁翼端点构成线 β_1 角 (deg)

AO—顶边线系数(无量纲)

PE—翼边线角 (deg)

其它还有若干辅助设计参数

1.4 犁面展开原理与主要数学模型

犁体曲面展开是采用单元节点展开原理^[3],它包括三角单元,四边形单元。

1.4.1 三角单元

$$Z_j = \frac{A \cdot B + Z_c \pm \sqrt{(A \cdot B + Z_c)^2 - (B^2 + 1)(A^2 + Z_c^2 - R_1^2)}}{b^2 + 1}$$

式中: $A = \frac{R_1^2 - R_2^2}{2(Y_f - Y_c)} + \frac{Y_f - Y_c}{2} + \frac{Z_f - Z_c^2}{2(Y_f - Y_c)}$

$$B = \frac{Z_f - Z_c}{Y_f - Y_c}$$

$$R_1 = \sqrt{(X_G - X_E)^2 + (Y_G - Y_E)^2 + (Z_G - Z_E)^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(X_G - X_F)^2 + (Y_G - Y_F)^2 + (Z_G - Z_F)^2}$$

$(Y_f, Z_f), (Y_e, Z_e), (Y_g, Z_g)$ ——三角单元节点 F, E, G 在展开平面上的坐标。

$(X_f, Y_f, Z_f), (X_e, Y_e, Z_e), (X_g, Y_g, Z_g)$ ——三角单元节点 F, E, G 空间坐标。

$$Y_g = \frac{R_1^2 - R_2^2}{2(Y_f - Y_e)} + \frac{Y_f + Y_e}{2} + \frac{Z_f^2 - Z_e^2}{2(Y_f - Y_e)} + \frac{Z_f^2 - Z_e^2}{2(Y_f - Y_e)} - \frac{Z_f - Z_e}{Y_f - Y_e} \cdot Z_g$$

在求 Z_g 的公式中有一增根,实际应用时应注意消去。

1.4.2 四边形单元

可化为三角单元,用上述三角单元公式进行计算。

2 软件设计

2.1 一体化驱动框图(见后)

2.2 运行环境

2.2.1 在 IBM-PC 机上运行

本软件设计计算部分在 CCDOS 支持下进行,绘图部分在 DOS 状态进入 AUTOCAD 和 FORAUT 支持下进行。支撑环境的转变由一体化驱动程序自动进行。CAD 工作站主机内存不少于 640K,应有相应的数字化仪、绘图机、打印机和监视器。

操作系统: DOS 3.2

汉字系统: CCDOS 2.13 以上

数据库管理系统: CDBASE II V1.0A

绘图软件: (1) FORAUT 2.0 参数化绘图接口软件

(2) AUTOCAD 2.18 以上绘图软件

工作语言: FORTRAN 77 3.3 编译系统

2.2.2 在 MICRO VAX-11 超级微机上运行

操作系统: MICRO VMS 4.5

数据库管理系统: RDB

CAD 图形系统: DDM/DIMENSION III

工作主语言: FORTRAN 77

2.3 软件组成

(1) 本软件由 26 个文件组成(不包括运行中所产生的中间数据文件,所产生的图形命令文件和图形文件,也不包括,运行环境文件,编译文件等),其中批命令文件 2 个;支撑文件 1 个;数据文件 6 个;执行文件 17 个。

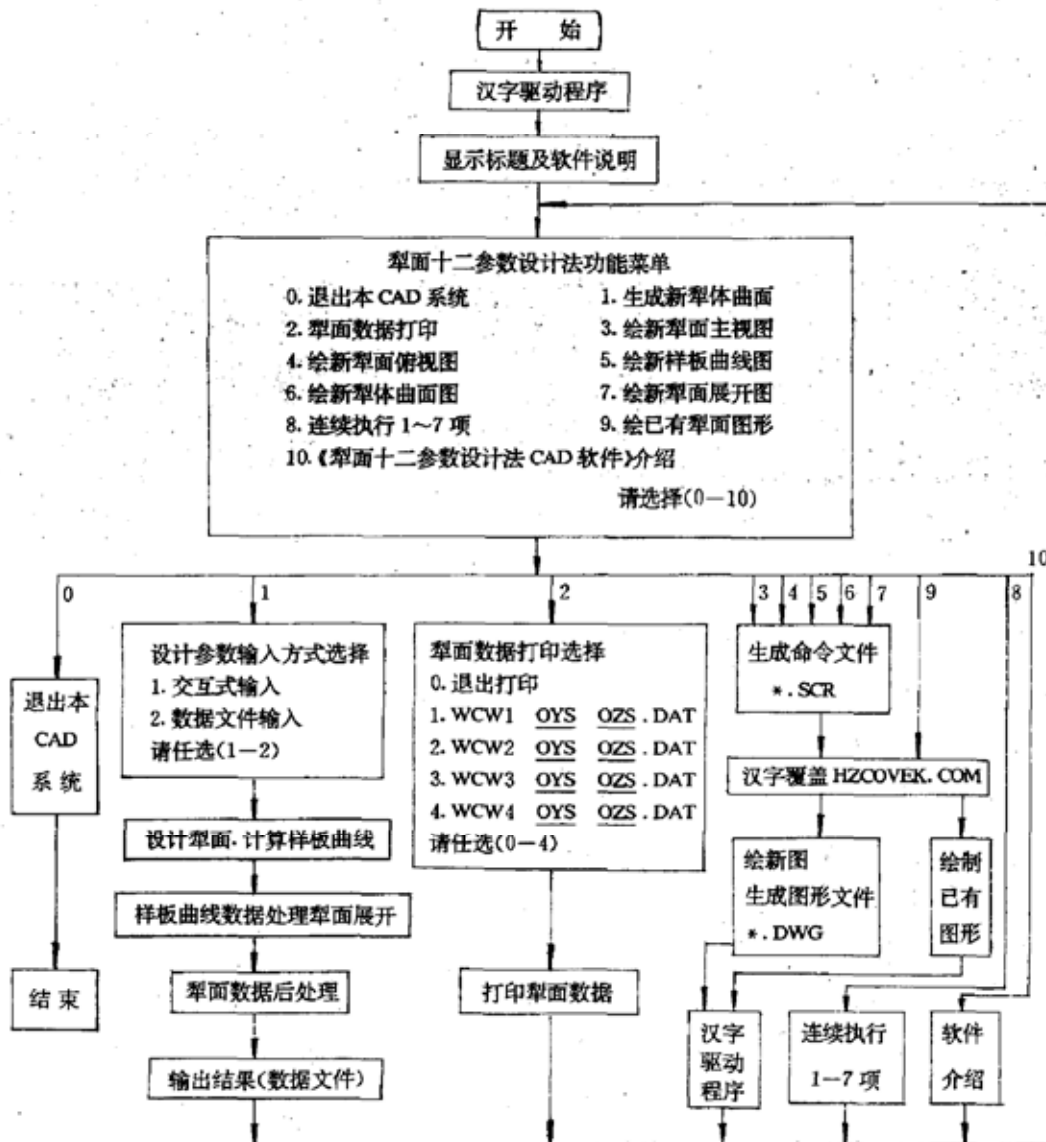
(2) 执行文件的源程序由主程序和若干子程序组成。主程序只起调用各子程序的作用。

这样程序结构层次清楚,便于查找、修改和扩充。

2.4 输入、传递、输出

2.4.1 数据输入

设计犁曲面时,原始设计参数较多,除十二个设计主参数外,还有若干个辅助设计参数,本软件的数据输入采用二种方式:①人机交互输入方式;②数据文件输入方式



2.4.2 数据传递

犁面设计在一体化驱动下进行,各功能模块间的数据传递采用三种方式:

①数据文件方式,主要用于各执行文件间的数据传递。

②数据公用区方式,用于各执行文件内各功能模块间的数据传递。

③哑实元方式,用于各执行文件内各功能模块间的数据传递。

2.4.3 输出结果

①数据文件方式,可由打印机给出所设计犁面的一切必要数据信息。

②图形文件方式,可由 CAD 工作站的图形屏幕或绘图机绘出所设计犁面的一切图形,数据信息。

3 应用

我们用该软件在以 Super AT 为主机的 CAD 工作站上设计计算了幅宽为 20cm、25cm、30cm、40cm 的犁体。图 2 为已试制,试验过的幅宽为 30cm 的 NO. 34 犁体曲面设计图。其与对照犁体 (BT-30) 试验结果见表 1。试验表明,该软件设计计算的犁体性能良好。

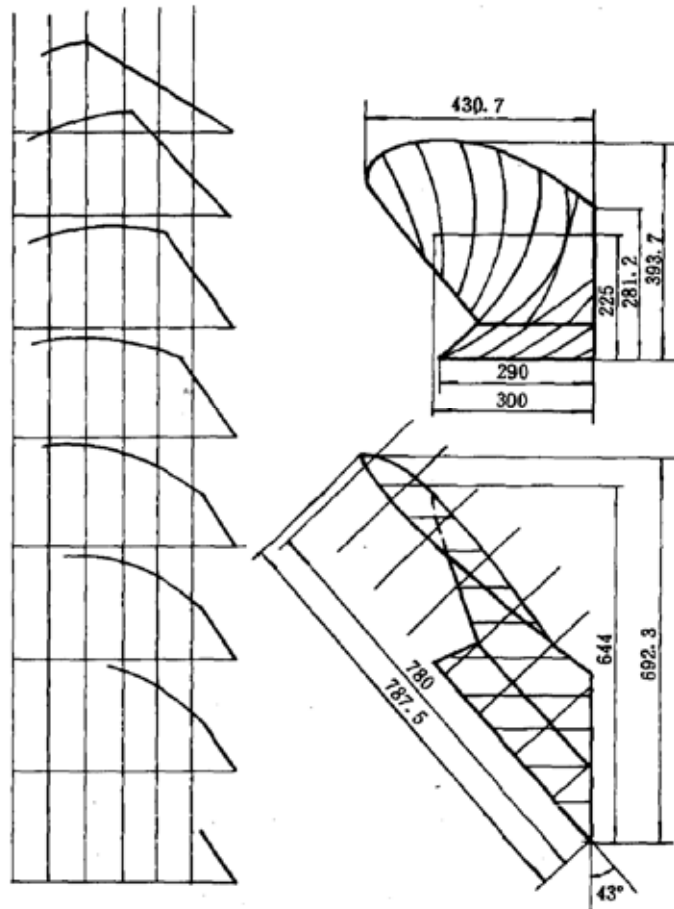


图 2 犁面设计图

Fig2. Design drawing of plow body surface.

表 1 犁体性能对比试验^[2]

Tab. 1 Test Results of Plow Body Performance

犁体	NO. 34		BT-30	
	6km/h	8km/h	6km/h	8km/h
耕 深/cm	22.82	23.47	20.11	20.54
实测耕速/km·h ⁻¹	5.65	7.41	5.21	7.32
比 阻/kPa	37.24	45.08	42.14	50.96
碎 土(%)	68.20	74.62	70.05	68.70
覆盖 地表以下	92.4	91.3	91.4	89.0
(%) 8cm 以下	76.6	76.8	77.6	76.4

4 结 论

(1)本软件由于采用了以耕作速度为基础的犁面十二参数设计法,使犁面设计从纯经验的静态几何设计开始走向定量的动态的物理设计。

- (2) 由于采用了犁面的单元节点展开法,使犁面展开从纯几何作图变成了计算绘图。
- (3) 软件参数输入可靠,友好性强。
- (4) 软件一体化程度高。运行效率高,与人工设计相比,至少提高工效 20 倍以上。
- (5) 在其它条件基本相同的情况下,本软件设计的犁体(No. 34)比现有生产的对比犁体(BT-30)降阻 10%左右。

参 考 文 献

- 1 吴成武、董加礼. 犁体曲面设计的数学方法. 农业机械学报, 1980, 11(4): 49~61
- 2 Wu Cheng wu et al. Design and test system of High-speed plow body. International Academic Publishers. 《Proceedings of International Symposium on Agricultural Engineering》, 1989, vol. I: 218~221
- 3 吴成武等. 犁体曲面的单元节点计算机展开法. 农业机械学报. 1990, 21(3): 22~27

CAD System of Plow Body Surface

Wu Chengwu Ma Chenglin Chen Xiaoguang Li Falai

(Jilin University of Technology)

Abstract

To develop CAD of plow body surface, 12-parameter plow design method is presented on the basis of plow velocity as primary design parameter. Through analysing design principle of plow body surface, mathematical model of plow body surface is established and a system of software and hardware of CAD is developed. Plow body surface drawing and its expending drawing with all sorts of plow body width is calculated and drawn by this software. The speed of drawing and expending plow body surface is 20 times faster than normal design, and the precision is high.

Depending on the CAD system, NO. 34 plow body has been trial produced and tested. This article describes the comparative test results between No. 34 and BT-30 plow body in detail.

Through all sorts of trial manufacture and tests, it has proved that performance of No. 34 plow body is better than BT-30, with resistance reduced by 10 percent.

Key words Plow body surface Twelve-parameter design method Computer-Aided-Design(CAD)