

高速犁体曲面优化设计方法之新见解

杨文彩, 杨青, 邢希东, 杨福增

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨陵 712100)

S222.121

S220.2

[摘要] 以古典土堡翻转为理论依据,从微分几何角度出发对土堡受力进行微观分析,用土迹线模拟法建立了以功率消耗为目标函数、农业技术要求为约束条件的犁体曲面优化数学模型。仿真试验表明,遗传算法求解时间是复合形法的1/360,优化犁体曲面的比阻降低了10.68%,阻力降低了6.16%。

[关键词] 高速犁体曲面; 功耗模型; 曲面优化方法; 遗传算法

优化设计; 土迹线模拟

[中图分类号] S222.121 **[文献标识码]** A

中外学者已对犁体曲面进行了大量的研究^[1~8],但以往的设计不能将犁体曲面形状的几何参数与耕后质量、所耕土壤的物理力学特性、耕速、阻力和功率消耗等进行有机联系。随着农业科技的飞速发展,我国80年代已定型生产的犁体(只适宜7 km/h以下的低速耕作)已不适宜“高效节能”型农业的发展需求。李庆中^[6]建立的优化模型基本能达到耕作质量要求,但要以较大的功率消耗为代价。因此,很有必要采用新兴的理论、方法和手段来设计符合当代农业发展的新型犁体曲面。本研究用土迹线模拟法建立了以功率消耗为目标函数,以土迹线的 x 坐标和土堡侧抛速度为优化变量,以土堡不上窜为约束条件的二维优化模型。并对该复杂模型提出了遗传算法(GA)求解法。

1 目标函数的建立

1.1 土迹线的参数描述

以理论铧尖点为坐标原点建立直角坐标系如图1所示, x 轴负向为犁前进方向。由于从铧尾进入犁面的土壤很少,且在犁面上时间较短,因此计算时,只考虑铧刃线上 $y=(2/3)B$ (B 为耕宽)的部分,将其分为 K 段,把这部分土壤按 $K+1$ 条土迹线散为 K 个带形区域。土迹线采用以 x 为参变量的三次多项式^[7]来进行描述,即

$$\begin{cases} y = A_{i0} + A_{i1}x + A_{i2}x^2 + A_{i3}x^3 \\ z = B_{i0} + B_{i1}x + B_{i2}x^2 + B_{i3}x^3 \end{cases}$$

其中, x 为土堡在犁面上运动时的 x 向坐标。 $i=1,2,\dots,n$; n 为土迹线条数。 $A_{i0}, A_{i1}, \dots, A_{i3}; B_{i0}, B_{i1}, \dots, B_{i3}$ 为方程系数。

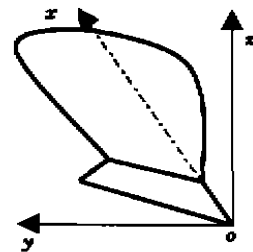


图1 土迹线直角坐标示意图

[收稿日期] 1999-10-19
[基金项目] 杨陵农业科技专项基金资助项目(98A13)
[作者简介] 杨文彩(1973—),女,硕士研究生。

1.2 犁耕过程的主要功率消耗

1.2.1 犁体运动由于摩擦引起的功耗

1) 克服土堡与犁壁间产生摩擦力的功耗(W_{m1})

$$W_{m1} = \sum_{K=1}^n \iint_{s_K} R_N \mu |v| ds \quad (1)$$

其中, R_N 为曲面法向反力; s_K 为第 K 条土迹线所对应的犁面上的带形区域; μ 为土堡与犁壁间的摩擦系数; v 为土堡在犁面上的运动速度; ds 为土堡微元的底面积。

2) 克服土堡弯曲变形的功耗(W_{m2})

$$W_{m2} = \sum_{K=1}^n \iint_{s_{K0}} q_N \mu |v| ds \quad (2)$$

其中, q_N 为由土堡弯曲变形引起的附加正压力; s_{K0} 为犁铧部分土堡的长条面积。

3) 克服犁侧板与沟壁间的摩擦功耗(W_{m3})

$$W_{m3} = \sum_{K=1}^n \iint_{s_{K\gamma}} R_{N\gamma} \mu |v| ds \quad (3)$$

其中, $R_{N\gamma}$ 为土壤在犁面上运动产生动压的 γ 向分量。

4) 克服犁体与沟底间的摩擦功耗(W_{m4})

$$W_{m4} = [G_1 + \sum_{K=1}^n \iint_{s_{Kz}} (R_{Nz} + q_N)] \mu |v| ds \quad (4)$$

其中, G_1 为犁体自重; R_{Nz} 为土壤在犁面上运动产生动压的 z 向分量。

1.2.2 土壤在犁面上运动由于动能增加引起的功耗(W_d)

$$W_d = \sum_{K=1}^n \iint_{s_K} \Delta m (v - v_0) a ds \quad (5)$$

其中, Δm 为土堡微元的质量; v_0 为微元的初速度; a 为微元的加速度。

1.2.3 土壤在犁面上运动由于势能增加引起的功耗(W_s)

$$W_s = \sum_{K=1}^n \iint_{s_K} \Delta m g v_z ds \quad (6)$$

其中, v_z 为 v 在 z 向的分量; g 为重力加速度。

1.2.4 抛掷土堡使其破碎所消耗的功率(W_p)

$$W_p = \sum_{K=1}^n \iint_{s_K} \Delta m g \sqrt{v_0^2 + 2gl_z} ds \quad (7)$$

其中, v_0 为土堡起抛时的绝对速度; l_z 为土堡起抛位置到落地位置的高度。

1.2.5 其他功率消耗 这项功率消耗包括犁铧切削土壤引起的功耗、犁铧挤压犁前土壤引起的功耗和土壤与犁壁间的粘结能耗。若选择适耕期进行耕作, 并按切土阻力最小选取犁刃参数后, 该项即成为常数。

1.3 目标函数

对于 1.2 中分析的 5 项功率消耗, 第 1.2.5 项对优化变量没有影响, 因此目标函数由第 1.2.1~1.2.4 项组成, 即:

$$\min W(x_m, y_m) = W_{m1} + W_{m2} + W_{m3} + W_{m4} + W_d + W_s + W_p \quad (8)$$

其中, x_m, y'_m 分别为第 i 条土迹线的 x 坐标和侧抛速度。

2 约束条件的确定

本设计以土迹线的 x 坐标和侧抛速度为优化变量, 以高速耕作时功耗最小为目标函数来进行犁面优化设计, 因此整个过程应满足下列约束条件:

$$\begin{cases} 0.8 \leq x_m \leq 1.2 & (a) \\ 0.6 \leq y'_m \leq 1.2 & (b) \\ R \geq \frac{v^2(\cos \theta_4 - \cos \theta_3)}{g(\mu \cos \theta_2 - \cos \theta_3)} & (c) \end{cases} \quad (9)$$

其中, θ_2, θ_3 分别为重力与 $\vec{n}, \vec{b}$ 的夹角; θ_4, θ_5 分别为离心力与 $\vec{b}$ ($\vec{b} = \vec{\tau} \vec{n}$, $\vec{\tau}$ 为土迹线的切向量)、 $\vec{n}$ (微元所在点的曲面法向量) 的夹角; R 为曲线的曲率半径, 且 $R = |\vec{r}'|^3 / |\vec{r}' \times \vec{r}'|$; (c) 项为土堡不上窜条件。

3 优化方法的实现

3.1 优化方法的提出

目标函数和约束条件均为典型的非线性规划问题, 而且目标函数与优化变量是间接关系, 不能对其求导, 故一般需对目标函数求导的优化方法均不适用。

根据本研究所建模型的特点, 并考虑在计算机上求解时计算的时间和空间复杂度, 本文提出一种新近发展起来的模拟生命进化机制的优化算法——遗传算法(GA)。它是一种把自然遗传和计算机科学结合起来的优化方法。因其在求解非线性复杂函数时表现出来的鲁棒性、全局最优性及高效性而受到广泛关注。它不需要梯度信息, 同时, 由于其搜索最优解的过程具有指导性, 因此不会出现一般优化算法的维数灾难问题^[9]。

3.2 遗传算法的描述

结合本文, 将用遗传算法求解该模型的主要步骤描述如下:

1) 编码。在域 S 上将优化变量 x_m, y'_m 表示成二进制串。

2) 初始群体的生成。从域 S 上随机选取 N 个点 $x(i, 0), i=1, 2, \dots, N$, 组成初始群体 $P(0) = \{x(1, 0), x(2, 0), \dots, x(N, 0)\}$ 。

3) 适应度函数定标。通过一定的映射关系将代价型目标函数映射成效能型目标函数, 定标后的适应度函数为 $F(x) = C_{\max} - f(x), f(x) < C_{\max}$ 。其中, $f(x) = W(x_m, y'_m) + r \sum_{j=1}^M \Phi[b_j(x)]$, Φ 为代价函数, r 为代价系数; $C_{\max}$ 为输入参数。

4) 计算适应度函数值。计算群体 $P(k)$ 中每个个体 $x(i, k)$ 的适应度值 $F(x(i, k))$, 其中 k 为代数。

5) 选择算子。对每一个体进行生存概率计算 p_i^k

$$p_i^k = \frac{F(x(i, k))}{\sum_{i=1}^N F(x(i, k))} \quad (10)$$

6) 遗传操作。利用赌轮选择策略从群体 $P(k)$ 中按概率选择 $N(1-G)$ 个个体进行父代 $P(k+1)$ 的繁殖, 然后进行杂交变异形成新个体。其中 G 为代沟。

7) 终止准则。按以上步骤反复执行直到进化趋于稳态时停止。

8) 输出。将最优染色体译码后输出。

4 结 论

文献[10]的研究表明,从微分几何的角度出发建立的犁面一维优化模型,能将犁面参数、土壤特性、耕后质量、耕速、阻力和功率消耗等有机地联系起来。经仿真试验,结果表明用遗传算法求解犁面一维优化模型的时间是复合形法的 1/360;优化的犁体曲面比阻降低了 10.68%,阻力降低了 6.16%;遗传算法的引入能较为成功地解决犁面优化时高度非线性函数优化求解难的问题。经分析,对于本文建立的高度非线性二维优化模型,遗传算法也将是对其进行优化求解的最优算法,这为犁体曲面的优化设计提供了一种具有广阔前景的新思路。

[参考文献]

- [1] 吴成武,董加礼.犁体曲面设计的数学方法[J].农业机械学报,1980,11(4):49—60.
- [2] 曾德超,郭祺泰.按翻土曲线变化规律设计滚垡型犁体曲面的方法[J].农业机械学报,1965,8(3):265—276.
- [3] 曾德超,赵作善.犁体曲面设计的数学解析法[J].农业机械学报,1979,10(1):1—22.
- [4] 杜家瑶,邹 举.高速和常速犁面的数学模型解析设计法及理论基础[J].农业机械学报,1981,12(1):1—18.
- [5] 蒲松云,尹庆元,邹 举,等.数学解析法设计犁体曲面探索之一[J].农业机械学报,1981,12(3):62—72.
- [6] 李庆中.高速犁体曲面的优化设计[D].北京:北京农业工程大学,1988.
- [7] Richey S B, Srivastava A K, Segrlind J L. The use of three dimensional computer graphics to resign moldboard plough surfaces[J]. J. Agri Eng Res, 1989, 43: 245—258.
- [8] Cracium V, Leon D. An analytical method identifying and designing a moldboard plow surface[J]. Transaction of ASAE, 1998, 41(6): 1589—1599.
- [9] 云庆夏,黄光球,黄战权.遗传算法和遗传规划——一种搜索寻优技术[M].北京:冶金工业出版社,1997.
- [10] 杨文彩.基于遗传算法的高速犁体曲面优化设计的研究[D].陕西:西北农林科技大学机电学院,2000.

A new method of optimal design for high speed plough surface

YANG Wen-cai, YANG Qing, XING Xi-dong, YANG Fu-zeng

(College of Mechanical and Electronics Engineering, Northwest Science and Technology
University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper makes a microanalysis of soil slice force according to differential geometry on the basis of classical turning theory, sets up plough surface optimal math model by imitating soil paths, looks its energy requirement as goal function and looks agricultural requirement as restraining condition. Imitating experiment shows that the resolves of time in GA is 1/360 in compound method, the resistance of optimal plough surface is down by 10.68% and the draught is down by 6.16%.

Key words: high-speed plough surface; energy requirement model; optimal method; genetic algorithms (GA)