

犁耕机组作业行程率计算及试验验证

田志宏 张桐华 朱瑞祥 姚万生

(西北农业大学机械与电子工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘 要 在分析现有机组作业行程率计算公式的基础上, 就犁耕作业推导出新的计算公式和最佳小区宽度计算式, 与现有公式相比, 新算式具有较强的理论性和实用性, 尤适于小地块作业情况。试验结果证实了新算式的正确性。

关键词 犁耕作业, 作业小区, 行程率, 机组时间利用率, 最佳小区宽度

中图分类号 S233.1

我国常用的机组行程率计算式^[1]源于苏联学者50年代的著作^[2], 本文通过理论分析和试验认为, 该式推导过程和导出式有着特定的前提条件, 与我国目前的实际情况有较大差距, 其中以单向铧式犁作业行程率计算最为明显, 限制了该式的应用。考虑到犁耕是最普遍且能耗比例最高的作业项目, 故对其进行重新推导和试验验证。

1 犁耕作业行程率计算式

1.1 常用计算式分析

常用作业行程率计算式是从计算工作小区中空行程长度和工作行程长度得出的。

$$\varphi = L_w / (L_w + L_e) = L / [L + 0.5C + R(1 + 4B_p/C) + 2e + B_p] \quad (1)$$

式中, φ ——工作小区内的行程率; L_w, L_e ——机组的工作行程、空行程长度, m; C, L ——工作小区长度(不计地头)、宽度, m; B_p, R, e ——机组工作幅宽, 转弯半径和出线长度, m。为了便于讨论, 本文对各文献中的计算符号进行了统一, 以下均同。

令 $\partial\varphi/\partial C = 0$, 得 φ 最大值对应的小区宽度, 即最佳工作小区宽度

$$C_{opt} = \sqrt{8RB_p} \quad (2)$$

式(1)、(2)对开、闭垄犁耕作业是一致的。

式(1)导出式有两个假设条件: A. 机组只在最后一行程做有环节转弯; B. 不考虑开收墒作业增加的行程。本文认为, 以上假设仅在 L 较大, C 较大且远大于 $2R$ 时可近似成立, 它与农业生产责任制下多数作业区条件不符, 使 φ 的理论值大于实际值。按式(2) C_{opt} 划区因 C 过小分区过多使作业质量降低, 除受地块条件限制外一般不采用。

这样, 虽然(1)式的部分解析推导^[1,2]非常精细, 因假设条件不合理在实际生产中其计算值有较大偏差, 且使应用范围受限, 特别在作业小区面积较小时难以应用。

1.2 行程率计算式的重新推导

文献[3]曾针对假设条件 A 进行了部分修正, 得出公式

$$\varphi = L / [L + 0.5C + 0.5B_p + R + 2e + (8R^2 - 4RB_p)/C] \quad (3)$$

文献[4]导出了假设条件 A 所产生的 L_i 的偏差值 $\Delta S_i = 8R^2/B_p$, 又引入了附加的空行行程 ΔS_i 来修正假设条件 B, 得出公式

$$\varphi = L/[L + 0.5C + 1.14R + 2e + (8R^2 + \Delta S_i B_p)/C] \quad (4)$$

与(4)式对应的导出式为

$$C_{opt} = \sqrt{16R^2 + 2B_p \Delta S_i} = \sqrt{16R^2 + K_c B_p L_w} \quad (5)$$

式中比例系数 $K_c = 2\Delta S_i/L_w$, 但是, (4)、(5)两式中 ΔS_i 或 K_c 的使用却不明确。

文献[5~8]中也就 φ 的计算问题以作业时间组成和时间利用系数的角度进行了许多探讨, 尤其张圣虎教授^[5]结合我国耕作特点做了细致的讨论。但仅偏重于最佳工作小区数目或小区宽度的确定, 或者较大的作业面积, 对于地头空行时间的处理也稍嫌粗糙。

综上所述, 有必要对机组行程率公式重新推导。限于篇幅, 推导步骤从略。

1) 工作行程总长度 $L_w = CL/B_p$;

2) 地头空行长度。当两相邻行程之间距离小于 $2R$ 时, 机组作有环节转弯, 反之则按无环节转弯计算;

3) 开收墒作业空行。为了平整犁耕沟垄以保证作业质量, 必须进行开收墒作业, 它属于额外的附加空行程; 对于开、闭垄作业附加空行程的差异可以忽略;

4) 作为理论公式推导, 本文忽略了漏耕和重耕的影响。对于可满足机耕条件的地头作为独立小区处理, 故未考虑地头作业。

综(1)~(4), 本文导出

$$L_i = [0.5C^2 + (1.14R + B_p + 2e)C + 7.72R^2]/(B_p + 7R + 2e + 2L - B_p) \quad (6)$$

$$\varphi = CL/[0.5C^2 + (1.14R + B_p + 2e + L)C + 7.72R^2 + (7R + 2e + 2L - B_p)B_p] \quad (7)$$

$$C_{opt} = \sqrt{15.44R^2 + (14R + 4e + 4L - 2B_p)B_p} \quad (8)$$

1.3 行程率计算式分析

与式(1)、(3)、(4)相比, 式(7)比较符合一般地块情况下的行程率计算。图1是利用铁牛-55悬挂三铧犁机组参数(表1)得到的一组模拟计算结果。表1中 V_{s2} 和 V_p 是开收墒速度和作业速度。

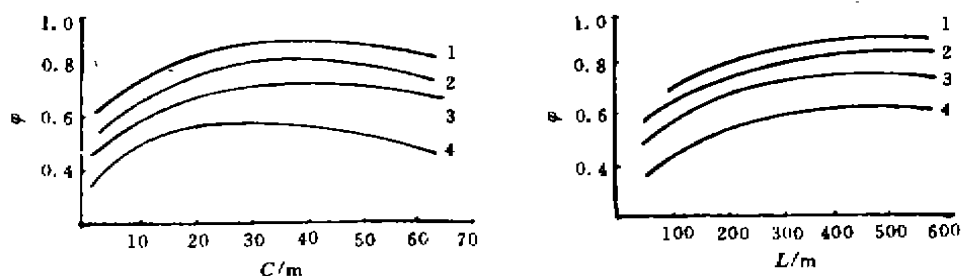


图1 悬挂三铧犁机组 φ 与 C, L 的关系

a. L 一定时, $\varphi = \varphi(C)$; b. C 一定时, $\varphi = \varphi(L)$;

1~4. $L = 500, 200, 100, 50$ m; $C = 50, 30, 10, 5$ m

表1 耕作机组参数

L/m	C/m	R/m	e/m	B_p/m		$V_p/m \cdot s^{-1}$		V_{12}/V_p	
				$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ	$\bar{x}$	σ
62-322	4-45	5.0	2.0	1.098	0.042	1.812	0.172	1.175	0.117

式(7)表明,最佳小区宽度不仅与 B_p, R 有关,工作小区长度的影响也是很大的,它是对式(2)、(5)的修正和补充。图2是上述机组的 C_{opt} 模拟计算结果。

2 行程率计算式的试验验证

为了证明本文所推导的计算式(7)、(8)的合理性,1990~1993年在咸阳市秦都区程家村和杨陵区夏家沟村连续进行了秋耕试验。

2.1 试验验证原理

由于式(7)含有较多参数,尤其测量各行程长度非常困难,直接按公式推导思路来验证不太现实。我们是用测量机组时间利用率的方法来验证式(7)的,时间利用率

$$\tau = T_w / (T_w + T_i) \quad (9)$$

那么

$$\varphi = L_w / (L_w + L_i) = T_w / (T_w + \alpha T_i) \quad (10)$$

式中, T_w, T_i 为机组在小区上的作业时间和空行时间(s), V_i 是机组空行速度(m/s), $\alpha = V_i/V_p$ 。由于犁耕速度一般为1.4~2.3 m/s,且 V_i, V_p 非常接近,可取 $\alpha \approx 1$,即 $\varphi \approx \tau$ 。实际上,由于测取 V_{12}, V_p 比较方便,利用(9)、(10)两式关系将两者的差异部分地纳入考虑^[5~8]也是容易的,表1中的 V_{12}/V_p 即是对 α 的部分考虑。因此,我们可以用测定时间组成的方法来验证行程率公式。

2.2 试验条件和方法

试验选用三台技术状态良好的铁牛-55悬挂三铧犁耕地机组,在玉米茬地上作业,地块平整,无自然障碍,土壤类型主要是关中塬土,耕深22~27 cm,耕层含水率、作业负荷和滑转率等均满足试验要求。主要测试项目包括地块形状参数、机组的作业和空行时间。共测试25个地块,作业小区面积为0.03~1 hm²不等。为了保证试验结果稳定可靠,选择了多个作业经验丰富的驾驶员,并对滑转率、速度、转弯方式、耕层含水率及地头地边状况等指标做了测试和记录。

2.3 测试结果及验证

图3和表2给出了测试和验证结果。其中,实测值是测量 τ 得到的,理论值是将表1中的

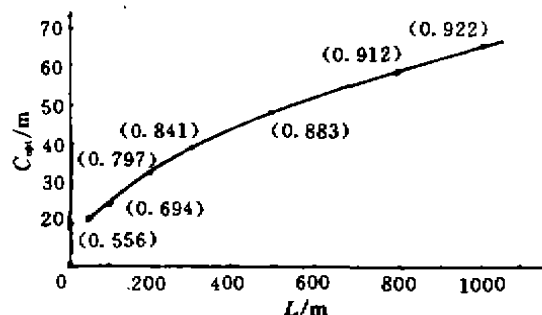


图2 悬挂三铧犁机组 C_{opt} 与 L 的关系
括号内数字为 φ 值

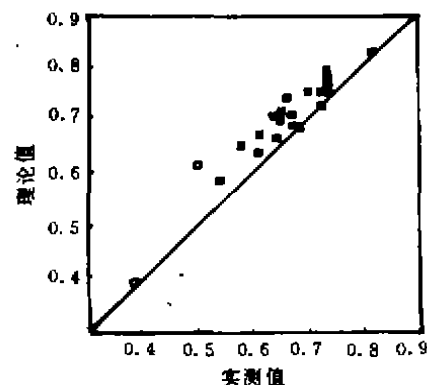


图3 行程率实测值与理论值的比较

参数代入式(7)模拟计算得到的。

用 $\hat{\varphi}_i, \varphi_i$ 分别表示 φ 的第 i 个实测值和理论值, 定义平均误差 $= \sum_{i=1}^n (\hat{\varphi}_i - \varphi_i) / n$, 误差均方差 $= [\sum_{i=1}^n (|\hat{\varphi}_i - \varphi_i| - \sum_{i=1}^n |\hat{\varphi}_i - \varphi_i| / n)^2 / (n-1)]^{1/2}$, 相对误差 $= \sum_{i=1}^n |\hat{\varphi}_i - \varphi_i| / \varphi_i n^{-1}$, 求平均误差未加绝对值符号是为了从误差积累中分析偏差方向。表2中对应地给出了式(1)、(3)的计算结果。

表2 行程率计算式的验证结果($n=23$)

计算式	平均误差	误差均方差	相对误差 (%)	最大相对 误差(%)	样本数相对误差	
					>10%	>20%
式(7)	0.041	0.052	6.6	21.3	5	1
式(1)	0.202	0.066	33.1	108.3	23	15
式(3)	0.149	0.031	23.8	46.9	23	20

不难看出, 本文推导出的式(7)符合实际情况。该式对于描述 φ 与 L, C 的关系, 对于分析机组参数对 φ 的影响等都可以满足精度要求。本文认为, 用 r 代替 φ 实测值进行误差分析, 会使实测值略偏小, 表2中式(7)对应的平均误差为0.041, 即理论值平均高出0.042, 约6%的偏差; 式(1)、(3)有很大的偏差源于公式本身, 由于三个计算式所得误差均方差相当, 可以判断式(1)、(3)较大的相对误差是由于偏差所致。

3 对最佳小区宽度计算式(8)的验证和分析

为了检验和说明导出式(8)的正确性, 我们测算了一组不同宽度作业小区的 φ 值, 图4中理论值仿前法由式(7)、(8)获得, C_{opt} 由式(8)求得; 由式(2)求得 $C_{opt} = 6.63$ m, 明显不符合实际。同时, 对照图1a, 可以看出, 当 $C > C_{opt}$ 时, C 对 φ 的影响较小, 而小地块情形下 C 远小于 C_{opt} , 此时 C 对 φ 则有较大影响。

对于 C_{opt} 的计算, 式(2)不合理的原因除前述假设条件外, 忽略有环节转弯所增加的空行长度也是一个主要原因。当相邻两行程间距离小于 $2R$ 时, 机组必须作有环节转弯, 最少 $INT(2R/B_p) - 1$ 次, 由于犁耕作业 B_p 较小, 总体上增加的空行长度或时间是可观的, 尤其对于小地块。图5是机组按闭垄法作业各行程地头转弯空行时间。可以看出, 当两行程间距为 $2R$ 左右时, 空行长度和操向次数最少, 空行时间最短。

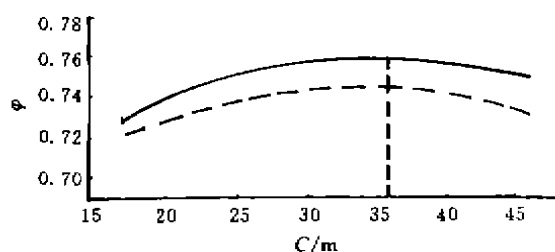


图4 不同宽度小区的 φ 值 ($L=163$ m)
----实测值; ——理论值

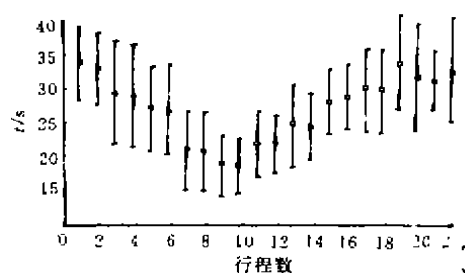


图5 各作业行程的地头转弯时间

4 结 论

1) 本文就犁耕作业机组,从理论上推导出了作业行程率计算式及相应最佳小区宽度公式,修正了常用公式。试验结果证明了新公式的正确性。

2) 式(7)、(8)是针对开闭垄犁耕作业推导的,对套耕作业及其他种类的作业也有参考价值。它对于模拟研究耕作机组性能或地块条件对机组作业性能的影响程度是有意义的,作者将就此另撰文探讨。

3) 利用地块的适度组合(即通常所说的适度连片作业)可以提高机组的行程率和时间利用率。

4) 从解析推导和实际测量两方面看,作业行程率和时间利用率两个性能指标具有相互补充的作用。

本试验得到咸阳市秦都区农机局董敏静工程师杨福平同志,本院中心实验室薛少平主任和邓海涛、左石平师傅,93~94届毕业生吴大胜、赵互全、赵晓东、李怀忠的帮助,在此致谢。

参 考 文 献

- 1 郭仁华,张锦庆,张桐华等主编. 农业机械运用学. 北京, 农业出版社, 1983, 40~43
- 2 [苏]Л. Д. 特列其亚科夫著, 东北农学院译. 农业机械运用学讲义. 北京, 高等教育出版社, 1959, 上册: 109~128, 下册: 208~211
- 3 陈忠慧, 吴士澍主编. 农业机械运用管理学. 北京, 农业出版社, 1993, 51~53
- 4 张锦庆, 陈济勤主编. 农业机械运用管理学. 西安, 西安交通大学出版社, 1988, 51~53, 61~69
- 5 张圣虎. 翻耕作业最佳小区的计算公式. 北京农业工程大学学报, 1993, 13(1), 34~37
- 6 Hunt D R. Farm power and machinery management, 8th ed. Iowa, Iowa State University Press, 1983, 4~16
- 7 Wintey B. Choosing using Farm Machines. Singapore, Longman Singapore Publishes (Pte) Ltd., 1988, 103~127, 388~394
- 8 Lal H. Improved nomographs for estimating efficiency and capacity of agricultural field operations. AMA, 1986, 17 (2), 57~60

Fieldwork Efficiency Calculation of Plowings and its Experimental Verification

Tian Zhihong Zhang Tonghua Zhu Ruixiang Yao Wangsheng

(The College of Mechanical and Electronic Engineering,
Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Based on the analysis of the formulas generally used currently for the calculation of the fieldwork efficiency of farm machines, this paper established a new calculation formula and a formula for the optimum land width calculation. The experimental results showed, compared with the existing ones, the new formula is more rational and practical, especially for small pieces of land.

Key words plowing, unit plowing land, fieldwork efficiency, field time efficiency of machines, optimum land width