

倾斜动线形成犁体曲面的 研 究 报 告

《倾斜动线形成犁体曲面研究》课题组

一九七七年九月

倾斜动线形成犁体曲面的研究报告

完 成 单 位

负责单位 镇江农业机械学院

贵州省山地农业机械研究所

参加单位 云南大学

贵州工学院（部份协作）

中国科学院数学研究所

中国科学院南京土壤研究所（部份协作）

江苏省太仓农机二厂

江苏省淮阳犁耙厂（部份协作）

云南省嵩明县农机修造厂

《倾斜动线形成犁体曲面研究》课题组

一九七七年九月

试 验 单 位

江苏省丹阳练湖农场

江苏省武进县农机局，武进县“五七”农场

江苏省清江拖拉机厂

江苏省溧阳县农机研究所，社社机电站

江苏省句容县农机研究所

陕西省汉中地区农机研究所

广东省东莞县农机研究所

福建省机械研究所，长太县美彭大队

主 要 人 员

杜家瑤 邹 举 孙一源

蒋锡琦 程培基 秦元勋

王国栋 朱金华 杨生明

倾斜动线形犁体曲面的研究报告目录

本文所用符号	1
前 言	5
一 课题由来和任务	7
二 研究过程、方法、计算及测试手段	9
三 南方水田系列通用型犁体曲面规律性的发现	13
四 犁体曲面的数学解析	17
五 通用(A)型犁体设计	29
六 犁体螺旋面的自锁理论	47
七 论凸胸扭翼犁面的实质性与非展直纹面作为犁面的优越性	53
八 土迹线计算和犁体曲面的性能估算	61
九 A型犁体的试制和试验	69
十 结论	71

主 要 参 考 文 献

(附录和资料)见另册

本文所用符号

大写拉丁字母

符 号	代 表 意 义	符 号	代 表 意 义
A	耕深	$\vec{N}_0$	单位法矢
B	耕宽	O	坐标原点
ΔB	幅宽增量	P	作用力
C	积分常数	P_n	正压力 [六]用
E	弹性模量	R	曲率半径
E_1	$E_1 = \frac{t}{2\pi}$ [六]专用	R	法矢模值 [六]专用
E, F, G	高斯第一基本系数	R_1	顶边线圆弧半径 [五]
L, M, N,	高斯第二基本系数	R_2	翼边线圆弧半径 [五]
G	扭转模量	S	曲面
H	高度	S_1	犁翼曲面
I, J	惯性矩	S_2	犁铧曲面
K	系数	S_3	犁铧曲面
K_1	$K_1 = \cot(\pi - \alpha_1)$ [四]专用	dS	微弧
K_g	测地曲率 [八]专用	T	时间, 推力
L	开度, 长度	U, V	参数
M	力矩	X, Y, Z	坐标系
N, $\vec{N}$	曲面法向力, 曲面法矢, 曲面法线方向		

小写拉丁字母

符 号	代 表 意 义	符 号	代 表 意 义
a, b, c, d	水平迹线(直线)系数	q	犁铧方程参数 [附录二]用
$\vec{b}^0$	副法向单位矢	$\vec{r}$	矢径
d, d_1, d_2	系数	r	半径
$c_1, c_2, \dots$	常数	Δr	犁铧进入沟壁量[五]用
Δe	犁铧下垂量[五]用	s	弧长
f 或 (μ)	摩擦系数	s_1, s_2	水平迹点间距
f	翼边线修正值[五]	t	时间
g	重力加速度	t	螺距[六]专用
h	高度	$t = \frac{B}{2}$	翼边基准线起点距离 [五]专用
i, j, k	单位矢量	u, v	参数 $u = x_n - x$ $v = z$
l, m, n	方向数	ω	斜螺旋面上任一点距 轴线在 ZOY 面上的 距离[四, 六]用
$l(l)$	水平迹线长[四]	x, y, z	坐标系
m	质量	x_n, y_n	水平迹线位标
$\vec{n}$	法矢	x_l	胫刃线开度[四]专用
$\vec{n}^0$	单位法矢	z_h	胫刃线高度[四]专用
n	元线号		
p	坚实度, 压力		
q	荷重		

小写希腊字母

符 号	代 表 意 义	符 号	代 表 意 义
α, β, γ	方向角	μ	泊松比, 摩擦系数
α_1	动直线与水平迹线夹角	μ, ν	二组直线族系数
$\alpha_x, \beta_y, \theta_z$	碎土角, 翻土角, 堆土角 [四]	$\bar{\gamma}$	侧压力系数
		π	3.1416
γ	容重	ρ	曲率半径
γ	土堡对角线长度 [六] 专用	ρ_1	粘附系数
δ_n	元线在 ZOY 面内投影角	σ	正应力
		σ	系数 [附录二] 用
ε	犁铧安装角	τ	切向力
ξ, η, ε	坐标系	τ	螺旋线切矢 [六] 用
η	土粒在犁铧的进入角	$\vec{e}_0$	单位切矢
η'	水平迹线与前进方向的夹角 [三] 专用	$(\phi) \varphi_n$	元线在 ZOX 面内投影角
θ	法矢间夹角 [附录七] 用	ψ	翻堡角 [八] 用
K_r	四分之一螺距与耕宽之比 [六, 附录八] 用	ψ	系数 [六] 用
$\bar{\lambda}$	系数	φ, φ'	内摩擦角
$\bar{\lambda}_n$	元线在 XOY 面内投影角	φ_0	摩擦角 [八] 用
λ_0	铧刃角		

大写希腊字母

符 号	代 表 意 义	号 数
Γ	动直线 [四] 用	8.9.1
Λ	犁胸方程系数 [四] 用	10
Φ	转角	21
Ω	水平迹线 [四] 用	20.19.1

前 言

铧式犁是人类历史上出现得最早而极为重要的工具之一，迄今为止，仍在农业生产上起着重大的作用。

铧式犁貌似简单，对其进行理论研究者，常常遭到轻视和非难，但铧式犁的工作对象又如此复杂多变，提到犁体曲面的问题，往往又令人困惑难解。前人对铧式犁进行过不少的研究*，试图从理论上解决铧式犁的有理设计问题，但收效甚微，以致在科学技术如此发达的现代，犁面设计仍停留在最原始的试修法和经验设计的水平上。随着农业生产规模的发展和扩大，高速大马力拖拉机的出现，对铧式犁也就提出了高速、宽幅的相应要求，铧式犁的理论研究的意义，正日益为人们所理解和重视。

我们伟大的祖国，幅员辽阔，地形复杂，土壤和作物种类繁多，在精耕细作的条件下，对犁体曲面的设计提出了种种要求，南方水田地区，希望水旱通用；在北方辽阔的土地上，高速大马力拖拉机大有用武之地，犁的高速化问题即将提上议事日程。当前，我国正处于一个极其伟大的历史时期，时代

要求我们要以最快的速度，赶上并超过世界先进水平。我们不能走世界各国技术发展的老路，必须独立自主，自力更生发展具有我国特色的，先进的铧式犁，以满足农业迅猛发展的需要。

我们伟大的各族人民，曾在人类历史上创造了灿烂的古代科学文化，最早创制了优良的畜力犁。近百年来，由于封建统治的腐败和帝国主义的侵略，出现了科学技术落后的现象。近年来，又由于刘少奇、林彪修正主义路线的干扰，特别是万恶的“四人帮”的严重破坏，我们与先进国家的差距拉大了。但是，中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来赶上和超过世界先进水平。将以伟大的社会主义强国屹立于世界。

*

*

*

*

附言：犁面研究，常被嘲为“一块弯弯钢板有啥理论”？而我们却怀着赶超世界先进水平的雄心壮志，顶着“四人帮”刮起的冷风，逆流而上，把犁面研究这个“酸果”啃了多年，苦涩之余，尚有回味，现将草创之见，求教于世，错谬难免，尚祈匡正。

*详见〔资料I〕

二、课题由来和任务

§1. 课题由来

在党中央的英明领导下，廿八年来，广泛开展了群众性的水田耕作机械化科学实验，引进并试验了苏联和欧美等国的多种犁体，都不能满足我国南方水田地区精耕细作、水旱通用的农业技术要求。随着农业生产的不断发展，迫切要求创制适合我国南方水田地区耕作的新型犁体。

1966年，八机部组织了东方红水田犁系列设计，吸取了我国传统犁的“窜壁”原理和国外犁“滚壁”原理的优点，采用“泥塑犁模法”，集中了广大工农群众和科技人员的实践经验，成功地创造了具有我国特色的滚窜结合”的新型犁体——滚—20、滚—25。1972~1974年，一机部又组织了南方水田犁系列设计，在滚—20、滚—25的基础上，修改、定型为南方水田系列通用型犁体（通—20，通—25），现已在南方各省成批生产，并将定为部颁标准。

我国创型的水旱通用型犁体，经过大面积的生产考验，作业质量良好，但是不能用传统的水平直元线法设计，只能按实物测绘犁体曲面和样板曲线，既不了解其形成规律，又没有完整的设计方法，如不进行系统的科学研究，就只能沿用旷日费事的试修法来改进提高，大大影响了赶超世界先进水平和实现耕作机械化的速度，远远不能满足生产、教学和科研的需要。为此1973年，系列设计组就成立了专

题小组，进行曲面的整理和理论研究工作，初步发现了通用型犁体曲面可用倾斜动线扫描两直纹面来表达。1974年，南方水田犁系列设计鉴定会上，系列设计组向一机部提出迫切要求，希望乘胜追击，组织力量，开展犁体曲面的专题研究。随后，一机部以重点科研项目下达了本课题。

2.2 课题任务

《倾斜动线形成犁体^曲面研究》课题编号为73210—1—8—1—(2)，属于部管重点科研项目。

课题任务要求是：

“探索形成规律，为犁面设计提供理论依据。”

75年目标是：通—20、25、30、35犁体进行数学解析和实验验证。

76年目标是：进一步理论分析与实验验证。提出研究报告。”

1976年3月25日第一机械工业部机械研究院农业机械化研究所(76)农机一便字第39号文指出：“该课题仍应按部中计划期限(75~77年)和要求完成，不宜再扩大内容和推迟年限。设计应紧紧抓着水田方面适用的倾斜动线形成犁体曲面的问题，加以深入研究，以通—20、通—25为典型，探讨倾斜动线形成曲面的规律。”

三 研究过程、方法及计算和测试手段

§1. 研究过程和方法

本课题的研究工作，大致经历了四个阶段。

(一) 寻求犁体形成规律阶段

1973年根据系列设计组的要求，寻求通用型犁体曲面的形成规律。我们先用动直线扫描其曲面图，发现基本上属于直纹面。其次是精细地测绘曲面，探求直元线的扫描规律，测定水平迹线和元线投影角规律，并求得了近似方程。第三进行了大量的绘图工作，比较原曲面与逼近曲面各类性能参考曲线，研究其近似程度。第四推导了曲面方程通式。最后进行试验验证。

(二) 犁体曲面数学解析和斜螺旋面犁翼的研究阶段

1974年，提出了倾斜动线直纹面的解析法，在此基础上，又发现了犁翼曲面的规律性——它近似于斜螺旋面。1975年课题建立后，一方面按斜螺旋面犁翼参数设计75年样机，另一方面用数学解析法探讨了斜螺旋面的力学性质。该年的性能试验和上千亩的生产试验，验证了这项研究结果。

(三) 典型几何曲面构成的犁体曲面研究阶段

1976年应用电子计算机，进行了多方案的数学曲面逼近，寻求犁胸和犁铧的典型几何曲面。终于建立了数字化的组合曲面构成的A型犁体曲面应用电子计算机计算了通—20A、25A的全部样板

曲线，按此赶了压模试制了14台样机，分送四省五个点试验。同时仍用计算和图解法研究了曲面的几何性质，测定了土迹线。至此，课题内原定任务已基本完成。

四 土迹线的初步研究阶段

1977年在曲面几何性质研究的基础上，以土迹线为桥梁，将土壤因素、曲面的力学性质和几何性质联系起来，提出了非展面的土迹定性（估计）微分方程和作业质量估算方法。进行了“滚帘结合”的假想土位运动过程的科学抽象。同时，在更广泛的基础上，研究了曲面的力学性质，从理论上论证了非展直纹面作为犁壁曲面的优越性。

1977年，又按电子计算机算得的通—30A样板曲线，设计、试制并试验了这一犁体，进一步验证理论。其余二种犁体扩大到六个省九个点作生产试验，更广泛地考核理论研究和设计方法。还采用高速摄影机，试拍了犁耕过程。设计并试制了光学犁体曲面测绘仪，为今后的研究提供了新的测量手段。

§2 计算和测试手段

1. 电子计算机的应用

三年来，我们应用 DJS-5 型通用电子计算机计算了下列问题。

a. 样板曲线的计算

按犁面的数学表达式，推导了 A 型犁体样板曲线的计算方法，并编制了一个适用不同幅宽的样板曲线计算通用程序 (Algol-60 语言) [见附录六]。

b. 测地线的计算 这是一个较复杂的二阶常系数微分方程，可将其化为一阶微分方程组，用 GILL 法求其数值解 (已用 Algol-60 语言编制了一套程序 [附录六])。

c. 安适螺旋线的计算。

d. 土垡运动参考曲线*的计算。这是一常微分方程，用龙格-库塔法求其数值解。

e. 根据理论研究提出的一些经常性的计算任务。

2. 空间测力

为研究 A 型犁体的空间力情况，75~77 年分别在江苏和福建用卧式和立式圆筒测力装置和悬挂杆五杆测力装置，测定犁体的空间力。

在江苏用镇江农机学院的随行测力车测定。主要仪器有 YED-3A 型动态应变仪和 SC-16 型光线示波器。为提高测量精度，减小六个分量间的相互干扰，采用串阻方法，降低了干扰系数，使之小于 4.6%。由于测试仪器本身尚处于试验研究阶段，测定结果不甚稳定，只求得了土壤比阻，对犁体空间力，尚缺乏

* 为翻土曲线族的正交轨线族。

完整可靠的数据。

3. 土迹测定

为研究土垡在犁体曲面上的运动情况和分析曲面的力学性质，我们测定了犁体曲面上的土迹线。测定方法是：在曲面上涂上白色磁漆，充分干燥之后，装在调整好的犁架上，耕60~70米后，以出现可见刮痕为度，然后用曲线板将刮痕联成土迹线。再在曲面上画上各倾斜动直线。在平板上用高度游标尺测量土迹与各元线交点的 η , ν 值。用照相法或作图法将土迹线画在犁体曲面图上。我们测定了通—20、20A、25、25A四种犁体的土迹线，详见【附录十二】。

为验证涂白漆的表面与土壤间的摩擦系数，用滑尺式摩擦仪测定了土壤—钢和土壤—白漆层间的摩擦系数，两者相近或涂漆者略高。见【附录十二表6】。

三、南方水田系列通用型犁体曲面规律性的发现

一个作业质量优良的犁体必然有其内在规律，这是不以人们意志为转移的客观存在，问题是我们如何去发现它和认识它，这也就是理论研究的主要任务。

正如毛主席指出的：“理论才能解决本质问题”。

从总结实践经验入手，我们探索了犁面形成规律。

南方水田系列通用型犁面经过用倾斜动线法整理后，显露了粗略的规律性，并应用数学析解法^[1]，发现了以下几点：

1. “凸胸扭翼”的犁壁曲面属于倾斜动线形成的非展直纹面。

2. 通用型犁体的犁胸曲面大部分是双曲点构成的具有较好的脱土性能。[见附录十二]。

3. 其理论胫刃线中段近似于指数曲线（用纵坐标为对数之坐标纸画出来近于直线）。

通-20之理论胫刃线近似于：

$$\delta = 14e^{0.0103x}$$

通-25之理论胫刃线近似于：

$$\delta = 13.5e^{0.018x}$$

4. 在犁胸部分发现除了原来的一族直母线外，还有第二族直母线存在的可能性（但需对曲面稍加整理），根据几何学可知：如果在一个“二次曲面”上同时有二族直母线存在，则可是单叶双曲面或双曲抛物面，后者又必需满足以下条件——任取三条直母线均需平行于某一平面。根据通-20、25的倾斜动线曲面图没有发现后一种可能性，因此，我们认为犁胸曲面有近似地整理为单叶双曲面的可能。此点规律性的分析，后为用二次曲面逼近所得的通用(A)型犁体的犁胸曲面所证实。详见[附录四]。