

一种新型液压微耕机的结构设计^①

陈 刚¹, 陈 宝²

1. 重庆工商职业学院 智能制造与汽车学院, 重庆 401520; 2. 重庆理工大学 重庆汽车学院, 重庆 400054

摘要: 鉴于传统微耕机的操控性和舒适性不好, 分析其结构原理的优缺点后, 提出了用液压动力总成代替传统机械动力总成的新型液压微耕机. 依据其结构原理, 进行了三维建模设计, 并通过虚拟装配做成虚拟样机进行运动仿真试验以优化三维模型. 由最终的三维模型做成了原理验证机并进行了实机试验. 试验表明: 新型液压微耕机的操控性和舒适性都得到了很大的改善, 对于传统微耕机的改进升级有较大的指导价值.

关 键 词: 操控性; 舒适性; 液压动力总成; 液压微耕机

中图分类号: U461.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)04-0108-05

传统微耕机以其轻便、耐用、灵活、多功能以及较低的价格得到了农民的普遍认可, 但也有比较多的缺陷限制了它进一步发展, 主要是其操控性和舒适性较差. 在操控性方面: 制动和助力转向功能的缺失, 使得耕作时即使熟练的青壮年劳动力操纵起来也很费劲; 在舒适性方面: 耕作时, 旋转的耕刀受土壤的强烈的反作用力几乎全部传到手柄, 使得操作者受到烈度很大的振动. 当在耕作季节, 操作者长时间使用, 振动严重影响其身体健康, 降低生产率. L. Ragni 等人的研究表明, 正常工作条件下每天使用微耕机 4 h, 3 年后将会有 10% 的人出现白指病. 在西南地区, “微耕机解放了牛, 累死了人”是操作者的普遍反映. 熟练操作者工作一天甚至半天后, 手都不能自如地掌控筷子^[1]. 因此研发一款具有制动、助力转向、减振功能的微耕机具有重要的现实意义.

本文在分析传统微耕机的优缺点之后, 提出了新型液压微耕机(以下简称新微耕机)的功能要求, 并提出了满足要求的结构原理. 在此基础上, 采用 SolidWorks 对新微耕机进行三维建模设计和装配, 导入多体动力学软件 Adams-view 做成虚拟样机进行动力学仿真以优化模型. 根据优化后的最终模型做成原理验证机进行实际测试以验证其设计的合理性. 试验表明, 新微耕机相对于传统微耕机在操控性和舒适性方面具有较大的优势, 对以后微耕机的改进具有较强借鉴作用.

1 设计要求

新微耕机的设计不但要适合熟练的青壮年操作者, 还必须面向当今的农村社会的劳动力情况. 近年来, 随着农村劳动力转移, 农村劳力老龄化趋势明显. 抽样调查表明, 在重庆, 微耕机操作者年龄在 49 岁以下的占 38.81%, 50 岁以上的占 61.19%, 操作者最大年龄为 73 岁^[2]. 因此, 新微耕机必须适合体力偏弱的操作者. 易操控、舒适度好成为主要的设计要求, 具体设计要求体现在以下几方面:

1.1 转向功能要求

- 1) 操纵力小, 适合体力偏弱操作者;
- 2) 转向灵活, 其转弯半径为零, 即可实现原地转向.

① 收稿日期: 2016-10-29

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA60005); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ130817).

作者简介: 陈 刚(1974-), 男, 重庆合川人, 硕士, 讲师, 主要从事机械设计.

1.2 制动功能要求

- 1) 操纵力小, 适合体力偏弱操作者;
- 2) 响应快, 能够实现及时制动.

1.3 减振功能要求

旋耕刀传递到手柄的振动烈度降低, 适合操作.

1.4 其它辅助功能要求

- 1) 具有载荷保护功能, 遇到大载荷时, 保证过载荷不传递到发动机, 以实现对整个机的过载保护.
- 2) 工作过程经济性, 发动机运行在合理速度、载荷范围, 即发动机工作在省油区间, 达到工作过程省油.
- 3) 质量轻, 在传统微耕机基础上降低 10% 的质量.

通过参照传统微耕机的技术指标和实践调查, 新微耕机指标为: 整机总质量 90 kg; 耕作速度 0.55~0.88 m/s^[3]; 总输出扭矩 450 Nm; 刀滚直径 0.35 m; 耕作幅宽 0.3~0.5 m; 耕作深度 0.12~0.18 m^[4].

2 新微耕机的设计方案

2.1 液压动力系统的优点

液压动力系统相对于传统的机械动力系统具有以下优点^[5]:

- 1) 传动平稳: 在液压传动装置中, 油液有吸振能力, 在油路中还可以设置液压缓冲装置, 使传动十分平稳;
- 2) 功率密度大: 易于获得很大的力和转矩, 且能有效地减少体积和质量;
- 3) 容易控制: 由于液压系统的压力、流量、方向易于控制, 很容易实现助力换向、制动和过载保护功能;
- 4) 可靠性高: 液压传动能够实现自润滑, 元器件的使用寿命较长.

传统微耕机采用了机械动力总成, 其工作原理是: 发动机通过传动部分将动力传入齿轮箱, 齿轮箱通过齿轮的啮合将动力进一步传到驱动轮轴, 驱动轮轴直接驱动工作部件进行各种作业^[6], 整个动力传递过程为刚性连接, 不易实现助力转向、制动和减振功能. 为很好满足设计要求, 抛弃了传统的机械动力系统, 采用了容易实现助力转向、制动和减振功能的新动力系统(即液压动力系统).

2.2 新微耕机的液压原理图

根据新微耕机的设计要求, 其液压原理方案如图 1.

图 1 展示了新微耕机工作原理, 主要由启动、建压、转向、制动和减振模块组成, 其每个模块的工作原理如下:

启动模块: 新微耕机采用通用汽油机作为动力, 启动方式为手拉绳式反冲启动. 由于启动过程中不能有负载, 因此在启动时, 截止阀 10 打开, 实现无负载启动. 启动完毕之后, 关闭截止阀便可实现建压.

建压模块: 溢流阀 11 合理建压可以实现经济性和过载保护功能. 调整溢流阀, 设定合理的压力值, 调整汽油机合理的油门开度使其能够运行在合理速度载荷范围(即省油区间), 因此实现经济性. 当负载过大, 液压增大到设定值时, 溢流阀自动开启泄压, 避免了压力继续增大, 造成发动机熄火, 实现了对系统的过载保护.

制动模块: 同时调整手动换向阀 5(右)和手动换向阀 8(左)的位置, 当两换向阀处于中位时, 液压马达进出油路截断, 油路处于封闭状态, 便实现制动.

转向模块: 手动换向阀 5(右)和手动换向阀 8(左)分别换向控制液压马达 6(右)和液压马达 7(左)的旋转方向实现转向. 如马达(左)正转, 马达(右)反转, 则实现向右原地转向(即转弯半径为零), 反之, 向左原地转向. 由于转弯半径为零, 因此可以实现灵活的转向, 当两支液压马达都正转和反转时实现直线行驶(包括前进和倒退).

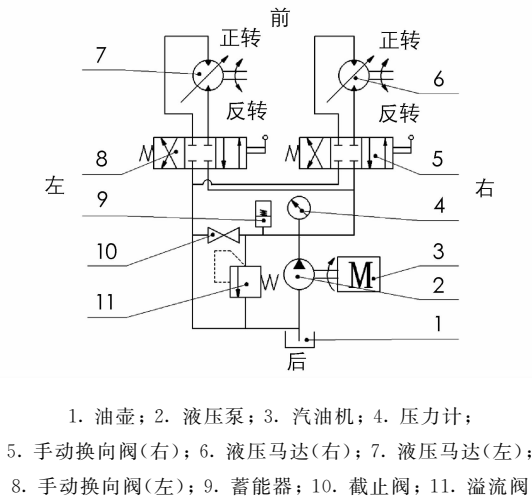


图 1 新微耕机的液压原理

减振模块：主要由蓄能器 9 和液压管路构成. 旋耕刀旋转时, 土壤对耕刀片的周期反作用力产生的振动通过马达轴传递到液压管路中形成液压脉动. 蓄能器可吸收压力的脉动, 使脉动得到了衰减, 从而减小了振动. 同时油液本身也有吸振能力, 其振动进一步得到减少.

2.3 液压马达的参数选择

根据设计要求可计算液压马达的转速和扭矩, 液压马达转速为

$$n_{\text{马达}} = \frac{V_{\text{刀滚}} \times 60}{r_{\text{刀滚}}} = \frac{(0.55 \sim 0.88) \times 60}{0.35 \times \pi} = 30 \sim 48 \text{ r/min}$$

液压马达扭矩: $T_{\text{马达}} = \frac{T_{\text{总}}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ Nm}$

$T_{\text{总}}$ 为两支马达输出的总输出扭矩.
根据表 1, 选择满足要求的液压马达.

表 1 液压马达选型表

型号	排量 ($\text{mL} \cdot \text{r}^{-1}$)	最大压降/ MPa			最大扭矩/ $\text{N} \cdot \text{m}$			转速范围 (连续) ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	最大流量 (连续) ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	最大输出 功率(连续) / kW	质量 / kg	长度/ mm	
		连续	间断	尖峰	连续	间断	尖峰					B	L
BMP-50	52.9	14	17.5	20	89	110	130	10-800	40	7	5.6	7	141
BMP-80	79.3	14	17.5	20	150	185	215	10-770	60	10	5.7	10.5	144.5
BMP-100	98.2	14	17.5	20	191	231	268	9-615	60	10	5.9	13	147
BMP-125	120.9	14	17.5	20	235	292	336	9-480	60	10	6.0	16	150
BMP-160	158.7	14	17.5	20	307	376	430	8-385	60	10	6.2	21	155
BMP-200	196.4	14	17.5	20	365	440	506	7-310	60	8	6.4	26	160
BMP-250	241.8	11	14	16	378	465	537	5-250	60	6	6.6	32	166
BMP-315	317.3	9	11	13	378	465	537	5-195	60	5	6.9	42	176
BMP-400	392.9	7	9	11	378	465	537	5-155	60	4	7.4	52	186

从表 1 可知, 液压马达 BMP-125 的性能参数为: 连续扭矩为 235 Nm, 转速范围为 9~480 r/min, 因此满足设计要求.

2.4 液压泵的参数选择

从表 1 可知, 液压马达 BMP-125 最大压降为 14 MPa, 单台流量为 120.9 ml/r; 由设计要求可知, 新微耕机的最大耕作速度为 0.88 m/s(即 48 r/min). 则液压泵的参数要求为:

- 液压泵使用压力: $p_{\text{泵}}=14 \text{ MPa}$;
液压泵转速预设定: $n_{\text{泵}}=1\ 450 \text{ r/min}$;
液压泵流量:

$$q_{\text{泵}} = \frac{q_{\text{马达}} \times n_{\text{马达}} \times 2}{n_{\text{泵}}} = \frac{120.9 \times 48 \times 2}{1\ 450} = 8 \text{ ml/r}$$

表 2 液压泵选型表

型号	最高使用压力/ MPa	排量/ $(\text{ml} \cdot \text{rev}^{-1})$	容许转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	
			最低	最高
VQ15-08	21	8.1	600	1 800
VQ15-11		11.2		
VQ15-14		14.3		
VQ15-17		17.1		
VQ15-19		19.2		1 500
VQ15-23		23.3		
VQ15-26		26.1		
VQ15-31		31.1		

从表 2 可查, VQ15-08 液压泵的性能参数为: 最高压力为 21 MPa, 流量 8.1 ml/r, 最高转速为 1 800 r/min, 满足设计要求.

2.5 发动机的参数选择

根据 2.4 液压泵参数可以确定发动机的转速和扭.

发动机转速: $n_{\text{发动机}}=1\,450\text{ r/min}$;

发动机扭矩:

$$T_{\text{发动机}}=\frac{1}{2\pi}p_{\text{泵}}q_{\text{泵}}\frac{1}{\eta}=\frac{1}{2\pi}\times 14\times 8.1\times \frac{1}{0.9}=20.06\text{ Nm}$$

从表 3 可知:通用汽油机 JS170F 的输出最大扭矩 12 Nm 时,其速度为 2 500 r/min. 为满足要求,必须减速增矩.

传动比: $i_{12}=\frac{n_{\text{发动机}}}{n_{\text{泵}}}=\frac{2\,500}{1\,450}=1.724$

通过改变发动机的输出传动比($i_{12}=1.724$),可以得到其实际输出转速和转矩.

实际转速: $2500\div 1.724=1\,450\text{ r/min}$;

实际转矩: $12\times 1.724=20.688\text{ Nm}$.

因此通用汽油机 JS170F 的参数满足设计要求.

表 3 通用汽油机 JS170F 参数表

项 目	JS170F
发动机型式	单缸、强制风冷、四冲程、0HV25°倾斜
缸径×行程/mm	70×54
气缸排量/mL	212
压缩比	8.5 : 1
最大功率/kW	4.8(3 600 r/min)
额定功率/kW	4.2(3 600 r/min)
最大扭矩/Nm	12(2 500 r/min)
点火系统	无触点晶体管点火
启动系统	手/电启动
燃油箱容量/L	3.6
油耗/[g·(kW·h) ⁻¹]	≤395
机油容量/L	0.6
净重/毛重/kg	15/17
外形尺寸/mm	400×380×385

3 新微耕机的三维模型及运动仿真

采用 Solidworks 建立完整的新微耕机三维模型,并进行部件虚拟装配,再导入多体动力学软件 Adams-view 对其进行动力学仿真,分析结构对性能的影响,再对结构进行优化,得到优化的最终的三维模型(图 2).

4 试验验证

根据优化后的结构模型,完成了新微耕机的原理验证机的加工和制作,原理验证机总质量 89 kg,依据设计技术要求,参照《微型旋耕机》(JB/T10266-2013)所要求的试验方法进行了试验验证. 在试验过程中,为了更符合当今农村社会劳动力的情况,操作者选用了年龄为 62 岁体力偏弱的劳动力. 在试验中,考虑到道路行驶比土壤行驶对制动性能要求更高,因此制动试验选择了有 20°倾斜的下坡泥泞土路(农村典型路况). 主要完成的试验项目见表 4^[7-8].

在试验过程中,通过调整油门的合理开度,使发动机工作在省油区间,实现节油. 发动机在实验中未出现熄火,实现了对整机的过载保护功能.

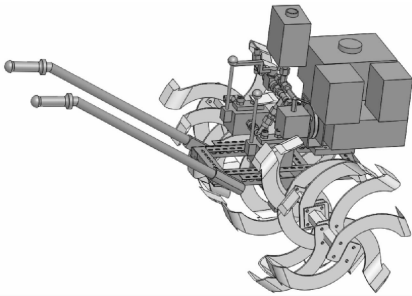


图 2 优化后的新微耕机三维模型

表 4 试验项目及参数表

序号	试验项目	试验场地主要参数	试验主要参数	试验结果(主观评价)
1	转向试验	1. 土壤的绝对含水率 15%~20%; 2. 植被覆盖率大于 50%; 3. 平地.	1. 行驶速度 0.6 m/s; 2. 耕深大于 10 cm.	能够比较容易地实现原地转向.
2	制动试验	1. 路面附着系数 0.6; 2. 路面滚动阻力系数 0.2; 3. 坡度 20°路面.	1. 行驶速度 0.6 m/s	能够比较容易地实现制动.
3	振动主观评价试验	1. 土壤的绝对含水率 15%~20%; 2. 植被覆盖率大于 50%; 3. 平地.	1. 行驶速度 0.6 m/s; 2. 耕深大于 10 cm.	振动比传统微耕机得到了改善

5 结 语

通过对新微耕机原理验证机的试验验证,基本上达到了新微耕机的设计预期要求,其操控性、舒适性在传统微耕机的基础上都得到了很大的改善。

当然,由于原理验证机制作还比较粗糙,还无法满足全面系统的试验,如由于密封性的问题,还没有进行水田耕作试验。试验中也暴露了一些不足,如直线行驶过程中,两马达的同步性需改善。

总体而言,新微耕机相对于传统微耕机的结构和功能都有较大的提升,对于以后传统微耕机的改进升级有较大的指导价值。

参考文献:

[1] 陈 建,陈 川,陈 洪. 西南地区微耕机面临的三大新挑战及对策探讨 [J]. 农机化研究, 2014, 36(10): 245—248.

[2] 金 成,金 艺. 重庆市微耕机用户群体浅析 [J]. 中国农机化, 2012, 33(6) : 49—51.

[3] 张柯柯,卢剑锋,张富贵. 微耕机的结构设计与动力学分析 [J]. 农机化研究, 2012, 34(4): 58—61, 68.

[4] 曾 晨,李 兵,李尚庆,等. 1WG-6.3 型微耕机的设计与实验研究 [J]. 农机化研究, 2016, 38(1): 132—137.

[5] 章宏甲,黄 谊. 液压传动 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 10.

[6] 王 帅,曹 磊,刘 欣,等. 微耕机发展现状及趋势探讨 [J]. 农业科技与装备, 2010(12): 63—64.

[7] 中华人民共和国工业和信息化部. JB/T10266—2013 微型旋耕机 [S]. 1 版. 北京: 机械工业出版社, 2013.

[8] 彭 彬,杨 玲,杨明金,等. 微耕机标准体系的内涵分析及其发展对策 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(4): 141—146.

On Structure Design of a New Type Hydraulic Mini-Tiller

CHEN Gang¹, CHEN Bao²

1. College of Intelligent Manufacture and Automobile, Chongqing Technology and Business Institute, Chongqing 401520, China;
2. College of Vehicle Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China

Abstract: In view of the fact that control and comfort of traditional mini-tiller is not good, after analyzing the advantages and disadvantages of the structure principle, a new type of hydraulic mini-tiller with hydraulic power train instead of the traditional mechanical power train has been put forward. According to the structure principle of the new hydraulic micro-tiller, three-dimensional modeling design has been carried out, and the virtual prototype been used to carry on the motion simulation experiment to optimize the three-dimensional model. Based on the final three-dimensional model, the principle machine has been tested. The results show that the handling and comfort of the new type of hydraulic mini-tiller have been greatly improved, which is of great guiding value for the improvement and upgrading of traditional mini-tiller.

Key words: handling; comfort; hydraulic powertrain; hydraulic Mini-tiller

责任编辑 汤振金