

加大耕深型正转旋耕机研究设计初探

夏晓东 吴崇友 张瑞林

(农业部南京农业机械化研究所)

乔富舜

(连云港旋耕机集团公司)

摘 要 为满足市场需求,研究开发加大耕深型正转旋耕机,综合运用现行土壤机器动力学和旋耕机设计理论及经验,采用适当加大刀滚直径、降低刀滚转速、设计非标准弯刀、增加刀滚每一切土小区圆周内刀片排列数、减缓机组前进速度、附加牵引切土部件、利用土壤适耕状态等专门措施,并采用增强机械传动系统、增大机架强度刚性的共性措施于设计、制造和使用环节,达到机组合理配套、控制负荷和功耗、保持机组功率平衡、实现目标耕深、满足农艺要求的效果。

关键词 旋转耕耘机 深耕 研究 农艺要求

目前国内一般卧式旋耕机产品的旱耕深度是12~16 cm,水耕深度是14~18 cm。为了满足增厚土壤熟化层,改善深层透气性,增大持水能力及栽培薯芋类、根菜类作物需要深耕的农艺要求,近年来国外开发了全幅深旋耕机和间隔窄幅深旋耕机,耕深分别达到30~60 cm和90~120 cm,使得旋耕机耕深范围大幅度拓宽。国内市场由于机械化深耕的农艺要求以及筑路平地等土方工程利用农业拖拉机旋耕机组作业,也对加大耕深的旋耕机产品提出了需求。开发设计面临的棘手问题是加大耕深将引起作业负荷和功率消耗急剧增大。本文着重对结构和运动参数的选定,控制负荷与功耗以求合理配套、功率平衡的专题展开分析讨论。

1 主要结构和运动参数的确定

1.1 旋转切土部件与牵引切土部件组合

在犁铧、各类锄铲及旋耕刀片等耕作部件的作用下,土体受到的球应力(八面体正应力或平均压应力)越高,则土体的失效强度也越高,因而耕作阻力或能耗也就越高。耕作时土体所受的球应力将与耕作部件的几何形状、结构参数、与部件配置及工作参数等的选择有密切关系,也与土体在土壤内所处的位置有关。机具设计时应尽量减少或避免高球应力区的产生,减少或避免土壤的有害压实,尽量减小外摩擦力和附着力^[1]。

把松土铲和旋耕部件组合在一起,前排用松土铲在未耕地(半无限体土壤)中剪松土壤同时把未破碎的大块土提升到土壤表面,后排旋耕刀在已开出松土带减小侧向约束甚至无侧限状态下工作,可以减小旋耕阻扭矩,降低碎土能耗。对于正转深旋耕,此举还可调整土壤耕作反力的方向,使机具易于入土并改善耕深稳定性,减消寄生功率。

1.2 刀滚转向

据理论分析和实验结果,刀滚正转能以刀片强制切碎土块,并将土块抛向机罩拖板进行二次破碎,还有助于提高拖拉机旋耕机组在软弱地面上的通过性。其不足之处是功率消耗较大,若增加耕深其负荷功耗急剧增加;刀滚切削土壤的阻力指向前上方,其垂直分力向上阻碍刀滚

收稿日期:1998-03-16

夏晓东,高级工程师,工学硕士,CSAE会员,南京市玄武区柳营100号 农业部南京农业机械化研究所,210014

入土, 尤其快速前进时因刀背挤土反力更大, 易产生旋耕机的跳动影响耕深稳定性; 其水平分力向前, 如果大于机组滚动阻力与耕作阻力之和时将推动拖拉机向前滑移, 产生按封闭回路循环的寄生功率, 加重旋耕机和拖拉机传动装置的负荷, 加大功耗并折损机械寿命。反转有利于避免寄生功率, 降低切土能耗和提高碎土效果, 适宜切削硬土, 覆盖埋青能力强, 但是机罩前方易有大量抛出的已耕土块堆积, 造成刀滚的重复切削, 增大了不必要的负荷和功耗, 因而正反转各有利弊。

据文献 [2] 和 [3] 所述潜土反转旋耕是一种大有前途的耕耘方式。反转短刀深旋耕的设想虽早已提出, 但尚须进一步研究, 完善机具设计理论, 产品有待开发。

在现有正转旋耕机产品, 尤其是结构对称、机架牢固、传动途径简捷的中间传动型旋耕机产品的基础上开发加深型, 宜仍采用正转并力图克服加大耕深后所产生的负面效应。

1.3 刀滚直径

正转旋耕, 刀轴位于地表以上, 为加大耕深必须加大刀滚直径。但刀滚直径过大将使整机结构庞大笨重。依据现行旋耕机设计理论^[4~6], 正转作业时旋耕刀从刀滚中心水平线以下开始切土, 刀片转到垂直位置时基本上结束切土过程。当刀滚半径 R 、耕深 H 、旋耕速比 λ 满足关系式 $H = R(1 - 1/\lambda)$ 时, 刀滚转动瞬心的水平迹线落在地表面上, 正切刃切削速度垂直向下, 动态切土角获最小值而使入土阻力较小。利用此关系式, 按农艺要求确定目标耕深 H 后, 刀滚半径 $R = H\lambda/(\lambda - 1)$ 。旋耕速比 λ 的常用值为 4~10, 为提高碎土率和沟底平整度, 同时为保证有合理的动态隙角, 使旋耕刀正切面不挤推未耕土壤应选用偏大的 λ 值。由此式确定的 R 值较小, 使旋耕机结构紧凑, 但可能发生旋耕机传动箱下缘、轴承座下缘与未耕地面碰触阻碍刀滚达到预定耕深的问题。须在此设置特殊的切土部件, 使旋耕机得以下沉达到目标耕深。

1.4 刀滚转速

铣切土壤与一般切削和挖掘土壤不同, 有其自己的特点。切削土壤的工作部件如铧式犁和推土铲属于从动型工作部件, 切削速度较低, 高速犁的切削速度也只有 2~3 m/s。挖掘土壤的工作部件有常见的各种挖土机的铲斗, 属于主动型工作部件, 挖掘速度也在 2~3 m/s, 铲斗中的土壤在本身的重力作用下卸掉, 这种卸载方式又称重力卸载。铣切土壤的工作部件如旋耕机和旋转开沟机的刀齿都属于主动型工作部件, 但由于工作条件不同, 对土壤铣切的要求也不同。旋转开沟机的铣刀盘属于高速铣切工作部件, 刀齿端点的速度 9 m/s 左右, 靠惯性力把土壤抛出沟外, 又称惯性卸载^[7]。验算现有旋耕机产品的刀滚外缘线速度多在 5~7 m/s, 也是惯性卸载, 具有抛土撞击的二次碎土功能, 但抛土消耗相当大的功率。在加深型旋耕机设计中为了控制刀滚作业功耗急剧增大, 在满足碎土率等农艺要求的前提下尽可能减少抛土所消耗的功率, 将刀滚外缘线速度选定在重力卸载与惯性卸载转换的临界点上下, 由此计算确定的刀轴转速低于常规旋耕机。

1.5 切土节距

因为已定的刀轴转速较低, 削弱了抛土撞击碎土的作用, 故而须选择比常规较小的切土节距, 以保证加深旋耕的碎土率符合农艺(或工艺)要求。根据切土节距 S 与刀滚半径 R 、旋耕速比 λ 刀滚每一切土小区圆周内刀片排列数 Z 之间的关系式 $S = 2\pi R/(\lambda Z)$, 减小切土节距可采用二项措施: 一是采用较大的旋耕速比 λ , 即减慢机组前进速度; 二是在刀滚每一切土小区的圆周内增加刀片排列数 Z , 依据具体的碎土要求取 $Z = 2 \sim 4$ 。

1.6 非标准旋耕刀

所设计加大半径的非标准旋耕刀综合了国产标准旋耕弯刀和国外 L 型刀的优点, 既加宽

刀身以增大强度刚性, 又具有刃口曲线和滑切角。不仅防止缠草而且刀刃按离轴心线的距离先后后远依次入土, 切土线速度逐步增大。设计刀轴上刀片的合理排列, 使每一刀片尽可能工作在少侧向约束的条件下并且按顺序均匀切土, 令各刀切土过程衔接且部分重叠, 使切土过程平稳, 降低能耗。避免了间歇砍切所造成的负荷冲击振动, 遇石块时亦有排挤作用避免崩刃折断。

1.7 作业幅宽

为了控制加大耕深后负荷与功耗急剧增加, 应适当压缩耕幅。但为了消除拖拉机轮辙, 使耕后地表平整, 仍应采用正配置, 使耕幅大于拖拉机后轮外缘。

1.8 机组前进速度

由前文已选定的刀滚半径 R , 刀滚转速 n 和旋耕速比 λ , 就基本上确定了机组前进速度 $v_m = 2\pi R n / \lambda$ 。由于 n 值减小该速度值远低于常规旋耕机组的 $2 \sim 5 \text{ km/h}$, 而在拖拉机的慢速档或爬行档内。

1.9 配套的拖拉机动力

从市场角度考虑, 加深型旋耕机应能广泛地适配国内目前生产量及保有量大的拖拉机。但由于其负荷和功耗大, 对拖拉机动力也提出了一些特殊的要求: 1) 具有较大的发动机功率和较大的功率宽度比; 2) 有高速 (1000 r/min) 动力输出轴, 能够全功率输出; 3) 具 1.5 km/h 以下多个慢速或爬行前进档。

2 机组功率平衡的校验

在选定了加深型旋耕机的主要结构和运动参数后, 应对机组的功率平衡作校验, 对某些参数作出调整, 使机组配套更趋合理。

世界各国的专家学者在旋耕机功率消耗的理论推导方面已做了不少工作, 提出了诸如单元法、能量法、比功法、比阻法等^[4, 7, 8]。由于农田土壤的复杂性, 至今尚缺乏表达旋耕阻力及能耗与土壤动力特性、耕作机具参数之间明晰的、便于应用的关系式。通过解析法所建立的数学模型非常繁杂, 有许多未知的系数、常数难以确定, 所以解析法目前尚难以实际应用。相比之下, 经验法计算公式简单易行。

以下半经验公式视旋耕刀滚功率消耗主要由切土功耗和抛土功耗两部分组成

$$N = B H v_m (P_0 + v_d \delta / 2) / \eta$$

式中 N ——旋耕机功率消耗平均值; B ——耕幅; H ——耕深; v_m ——机组前进速度; P_0 ——切土比阻, 与土壤质地、含水率、耕深、切土节距等多种因素有关, 由实测取得数据; v_d ——刀滚外缘线速度; δ ——未耕土壤密度; η ——旋耕机传动效率。

若验算所得旋耕机功耗平均值不大于拖拉机发动机额定功率的 85%, 则可认为机组功率平衡, 否则应对某些参数作调整, 重新校验。

3 利用土壤适耕状态联合作业降低能耗

耕作的主要目的之一是调节耕层土壤的疏松程度。不同的作物生长发育对耕层深浅和疏松度有不同的要求, 适度耕作既可增产又可节能。农田土壤因干湿变化, 冻融沉实等有自然变化坚实度的规律。尽量利用自然规律, 适时耕作, 在土壤含水率适宜阶段完成耕整播等作业, 可以大幅度降低耕作能耗, 提高耕作质量。比较适合于旱田耕作的土壤含水率应该低于塑限, 或者处于田间持水量的 35% ~ 60%, 水田旱耕与旱田耕作相似。联合作业能在一次行程中完成多项作业, 是适时耕作的有力措施, 降低能耗、提高耕作质量的效果显著^[1]。因此, 在加深型旋

耕机的机架前后按需附加深松、开沟、起垄、作畦、施肥、播种等工作部件,形成加深耕作的联合作业机组,抓抢时机利用土壤的自然适耕状态或灌溉调节土壤的适耕含水率进行作业,也是降低能耗的重要措施。

4 结 语

采用本文所述一系列专门措施,并采用增强传动系统、增大机架强度刚性的一般措施,开发设计了加大耕深的中间传动卧式旋耕机系列产品,已获国家实用新型专利授权(ZL 96223821. X)。试制样机在山东省鄯城县农技推广站出口蔬菜(萝卜)种植基地配用白俄罗斯牌 T-80 拖拉机,迄今累计耕整地 30 多 hm^2 ,耕深达到 30~35 cm,初步验证了上述措施的良好效果。

参 考 文 献

- 1 林金天 土壤动力特性与节能耕作及机具设计. 农业机械学报, 1996, 27(增刊): 38~42
- 2 桑正中, 王长兵 潜土逆旋耕耘研究展望. 农业工程学报, 1994, 10(3): 88~92
- 3 宋建农, 李自华 反转旋耕理论分析. 北京农业工程大学学报, 1990, 10(3): 15~22
- 4 桑正中主编 农业机械学(上册). (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1988 6 133~134
- 5 中国农业机械化科学研究院编 农业机械设计手册(上册). 北京: 机械工业出版社, 1988 4 169~194
- 6 彭嵩植, 吴德光 旋耕机工作部件设计方法的研究. 江苏工学院学报, 1983, (1): 41~55
- 7 李金琦编著 旋转开沟机. 北京: 中国农业机械出版社, 1984 119, 153~163
- 8 西涅阿科夫, H 等著 土壤耕作机械的理论与计算. 李清桂等译. 北京: 中国农业机械出版社, 1981. 12 273~354

Research and Design for Deepening Type of Clockwise-Rotating Rotatiller

Xia Xiaodong Wu Chongyou Zhang Ruilin

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture P R of China, Nanjing)

Qiao Fushun

(Lianyungang Rototiller Group Company, Lianyungang)

Abstract In order to meet the demand of the market, the deepening type of rotary tiller was researched and developed by synthetically applying present theory of the terramechanics and design experiences of rotary tiller, including the adoption of suitable bigger diameter and slower running of the rotor, design of unstandard blade, number increase of blades in the circuitry of the rotor, reduction of advancing speed of the unit, addition of trailed soil cutting parts, and utilization of fitting state of soil for tillage etc. Those were special measures. Besides, additional general measures were taken to strengthen transmission system, increase strength and rigidity of the frame. Those measures were taken on links of design and manufacture to achieve good results, such as a complete set to control load and power expense to keep power balance of the unit, to realize predetermined working depth, and to satisfy agronomy requirements.

Key words rotary tiller, deep tillage, research, agronomy requirements