

# 北方大型联合整地机 设计与试验

Design and Test of Northern Large-scale  
Combined Cultivating Machine

许春林 李连豪 著  
赵大勇 李向军



中國農業大學出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

北方大型联合整地机设计与试验  
**Design and Test of Northern  
Large-scale Combined  
Cultivating Machine**

许春林 李连豪 赵大勇 李向军 著

中国农业大学出版社  
· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书在分析研究国内外联合整地技术发展现状的基础上,对比传统形式联合整地机的优缺点,对大宽幅联合整地机灭茬部件、旋耕部件、起垄部件和镇压部件的特点进行了系统研究与分析,构建出新型联合整地技术,并付诸实践,设计出一款适合北方作物特点的大型联合整地机,即灭茬深松前置式联合整地机。

在成功设计出灭茬深松前置式联合整地机的基础上,开发出一种适用于测试农机组性能的综合测试系统,通过误差补偿,以此作为后继试验数据采集方法,进行了灭茬深松前置式联合整地机单一部件工作状态下以油耗和牵引力为评价指标的综合试验,构建出在灭茬深松前置式联合整地机单一部件工作状态下的油耗和牵引力估算模型,并得出该工作状态下最佳工作参数。

### 图书在版编目(CIP)数据

北方大型联合整地机设计与试验/许春林等著. —北京:中国农业大学出版社,2014.4

ISBN 978-7-5655-0923-0

I. ①北… II. ①许… III. ①联合-作业-耕整地机具-机械设计②联合-作业-耕整地机具-试验 IV. ①S222.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 049937 号

书 名 北方大型联合整地机设计与试验

作 者 许春林 李连豪 赵大勇 李向军 著

责任编辑 梁爱荣

责任校对 陈莹 王晓凤

封面设计 郑川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷

规 格 787×1092 16开本 10印张 184千字 彩插2

定 价 32.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

# 前 言

随着我国农业高速发展,出现耕地减少、水土流失、地力下降等一系列问题,严重制约粮食生产能力。如何建设节约高效的农业生产耕作模式和科学高效使用现有耕地,是确保我国粮食储备和实现农业可持续发展的关键。传统的农业耕作技术和方法已不能满足现代农业发展的需要,保护性耕作是解决上述问题的有效途径之一。

传统式联合整地技术是保护性耕作体系的重要组成部分。联合整地机是联合整地技术的集成实现,能够一次完成灭茬、旋耕、深松及起垄等作业。联合整地机不但具有减少作业次数、减少机组对土壤频繁翻耕、蓄水保墒及改善作物生长环境、降低盐碱层、改良土壤的层粒结构、渗水、透气性能等优点,而且具有促进作物根系生长发育和促进作物增产、农户增收等效果,普遍受到广大农户欢迎。

传统式联合整地机在使用过程中普遍存在作物硬茬对拖拉机轮胎损伤以及拖拉机对土壤压实促使作业阻力增加等问题,解决这一问题的有效手段是在拖拉机轮胎接触硬茬前进行灭茬和深松作业,这就需要将灭茬和深松装置配置在拖拉机前端,即需要解决动力前置问题。解决动力前置问题是对我国目前拖拉机结构的一个巨大挑战。

面对挑战,原哈尔滨农业机械化研究所等研究机构的科研人员近年来在灭茬部件、旋耕部件、起垄部件和镇压部件等关键部件理论分析的基础上,开发出一款灭茬深松前置旋耕后置式联合整地机,这款整地机巧妙地将目前我国传统拖拉机后置动力通过传递系统传送到拖拉机前端,驱动灭茬装置进行提前灭茬作业,从而解决动力前置问题。虽然动力传递方式有所差异,但具有与传统整地机相同的功能。2011—2013年在黑龙江省尚志市大面积田间生产性试验结果表明其能够有效解决作物硬茬对拖拉机轮胎损伤以及拖拉机对土壤压实促使作业阻力增加等问题,是对传统形式的联合整地机结构设计的一次革新。

本书在综述国内外联合整地技术发展现状的基础上,通过理论与田间试验相结合的方法,对灭茬深松前置式联合整地机关键部件的结构、原理、参数进行了深入研究与探索。从介绍灭茬深松前置式联合整地机关键部件结构和工作原理入手,将运动学与动力学理论和试验研究方法相结合,对灭茬深松前置式整地灭茬部

件、旋耕部件、起垄部件和镇压部件的特点进行综合研究与分析,对丰富我国联合整地技术体系及提高我国农机水平具有重要的理论价值和现实意义。具体内容如下:

(1)分析现有联合整地机组的耕作特点和研究现状,总结目前联合整地机存在的问题,展望了大宽幅联合整地机的市场需求前景,提出问题解决措施。

(2)建立大型联合整地机灭茬部件的数学模型,通过对运动学和动力学模型的分析,确定灭茬刀辊的转速和直径,通过对灭茬刀正面角度和正面后角设计确定灭茬刀的主要参数。

(3)建立大型联合整地机旋耕部件数学模型,通过运动学和动力学分析,确定旋耕刀的运动轨迹、刀片入土条件、切土节距、沟底凸起高度和功耗。

(4)建立大型联合整地机深松机构的运动学和动力学模型,通过研究土壤的切削特性和对深松铲的受力分析,得出了铲柄厚、侧面宽度、耕作深度和刃倾角的关系。

(5)研制出一种适用于农机组动力学参数测试的田间实时测试系统。测试系统采用传感器系统、信号调理电路进行多种信号数据采集,由数据处理软件对数据进行实时处理,能够最大限度地解决自然环境带来的振动、干扰、灰尘等问题;并对系统误差进行拟合分析,可通过田间试验验证,具有采集数据快速、准确、可靠和便携的特点。

(6)以功耗和油耗为大型联合整地机性能指标,在田间进行单一工作部件试验和二次正交旋转组合试验,利用农机组性能综合测试系统进行试验数据的采集,应用 Design-Expert 6.0.1 软件进行试验数据的处理与分析,构建单一工作状态下的油耗和牵引力估算模型,利用响面分析法得出单一工作状态下的机组最佳工作参数。

本书共分 10 章,第 1 章主要介绍课题研究的的意义、主要研究内容和方法;第 2 章主要介绍大型联合整地机结构设计和性能试验;第 3~5 章主要对大型联合整地机灭茬部件、旋耕部件和深松部件进行动力学分析和力学模型构建;第 6 章介绍大型联合整地机性能测试系统,对系统组成部分、工作原理等进行详细阐述;第 7 章重点介绍农机组性能测试系统误差补偿方法;第 8~9 章构建出单一工作状态下的油耗和牵引力估算模型;第 10 章介绍利用响面分析法得到单一工作状态下的最佳工作参数。

许春林撰写第 6 章、第 9 章和第 10 章,共计 7 万字;李连豪撰写第 2 章、第 4 章、第 5 章和第 8 章,共计 6.3 万字;赵大勇撰写第 3 章和第 7 章,共计 2 万字;李向军撰写第 1 章和第 6 章,共计 3.1 万字。

本书撰写过程中,李明金、耿涛、毕春辉、高明宇、张宝库、吴家安、张成亮、崔波和刘恩宏等在试验设备的设计和关键部件的结构问题上提出了宝贵意见,使得本书涉及的试验能够顺利完成;王金武教授在动力学序列求解过程中给予了指导和帮助,特别是课题组的同事们在数据的采集和整理方面提供的帮助对完成本书具有重要作用。此外,还得到黑龙江八一农垦大学工程学院老师们的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书主要面向广大农业种植户和农业科技工作者。

书中错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究目的和意义	1
1.2 国内外研究动态趋势和进展	4
1.2.1 国内发展现状	4
1.2.2 国外发展现状	8
1.3 联合整地机存在的问题	11
1.4 大型联合整地机应用前景分析	12
1.5 主要研究内容和方法	13
1.5.1 研究内容与方法	13
1.5.2 本研究创新点	14
1.6 技术路线	14
第 2 章 大型联合整地机设计与试验	16
2.1 结构参数与工作原理	16
2.1.1 结构参数	16
2.1.2 工作原理	17
2.2 主要工作部件设计	18
2.2.1 灭茬部件	18
2.2.2 深松部件	18
2.2.3 旋耕部件	19
2.2.4 镇压起垄部件	19
2.3 动力传递系统设计	20
2.3.1 方案选择	20
2.3.2 系统设计与工作原理	21
2.4 生产性试验与性能分析	22
2.4.1 生产性考核	22
2.4.2 生产性试验测试	22
2.5 小结	25
第 3 章 大型联合整地机灭茬部件运动轨迹分析	26
3.1 运动方程	26

3.2	灭茬速比	27
3.3	灭茬刀运动速度	28
3.4	灭茬刀辊转速与直径	29
3.5	灭茬刀辊参数设计	31
3.5.1	灭茬刀辊参数化设计意义	31
3.5.2	灭茬刀正面角度分析	31
3.5.3	灭茬刀正面后角设计	32
3.5.4	灭茬刀刀盘参数化设计	32
3.6	灭茬部件功耗分析	33
3.7	小结	34
<b>第4章</b>	<b>大型联合整地机旋耕部件运动轨迹分析</b>	<b>35</b>
4.1	旋耕部件运动分析	35
4.2	刀片入土条件	36
4.3	切土节距	37
4.4	沟底凸起高度	37
4.5	旋耕部件功耗数学模型构建	37
4.5.1	目标函数建立	37
4.5.2	约束条件	43
4.6	小结	44
<b>第5章</b>	<b>大型联合整地机深松部件运动轨迹分析</b>	<b>45</b>
5.1	深松机构的运动学和动力学分析	45
5.2	底刀铲面的受力分析和建模	49
5.3	铲柄受力分析和建模	50
5.3.1	直腿式铲柄的受力分析与建模	50
5.3.2	弧形铲柄的受力分析与建模	51
5.4	全方位深松机受力分析与建模	53
5.5	小结	55
<b>第6章</b>	<b>大型悬挂农具作业动力学参数田间实时测试系统</b>	<b>56</b>
6.1	系统组成及原理	56
6.2	传感器的组成及标定	57
6.2.1	牵引力传感器选择与测力原理	57
6.2.2	位移传感器	59
6.2.3	油耗(流量)传感器	59
6.2.4	转数传感器	60



6.2.5	转速扭矩传感器	60
6.2.6	传感器组标定	60
6.3	数据采集与处理系统	61
6.3.1	数据采集硬件配置	61
6.3.2	基于 Lab VIEW 程序的软件	62
6.3.3	系统误差分析及消除措施	63
6.4	田间测试试验与验证	63
6.4.1	系统校核	64
6.4.2	田间试验	64
6.4.3	试验验证	65
6.5	小结	66
<b>第 7 章</b>	<b>田间实时测试系统误差补偿</b>	<b>67</b>
7.1	传感器组成	67
7.2	主上拉杆传感器误差补偿	67
7.3	主左下悬臂传感器误差补偿	68
7.4	主右下悬臂传感器误差补偿	69
7.5	副上拉杆传感器误差补偿	71
7.6	副左下悬臂传感器误差补偿	72
7.7	副右下悬臂传感器误差补偿	73
7.8	小结	74
<b>第 8 章</b>	<b>大型联合整地机单一作业油耗估算模型</b>	<b>75</b>
8.1	试验安排与估算模型构建步骤	75
8.1.1	试验安排	75
8.1.2	估算模型构建步骤	76
8.2	估算模型构建	77
8.2.1	单一作业下机组前进速度对油耗影响估算模型	77
8.2.2	单一作业下耕深对油耗影响估算模型	82
8.3	精确度验证	89
8.3.1	试验安排	89
8.3.2	估算模型精确度验证	90
8.4	第三方验证	94
8.5	存在的问题及解决措施	94
8.6	结论	95

<b>第 9 章 大型联合整地机单一作业牵引力估算模型</b> .....	96
9.1 试验安排与估算模型构建步骤 .....	96
9.1.1 显著影响因素分析 .....	96
9.1.2 试验时间 .....	97
9.1.3 数据采集 .....	97
9.1.4 数据处理与估算模型构建 .....	97
9.1.5 误差与精确度验证 .....	97
9.2 估算模型构建 .....	98
9.2.1 单一作业下机组前进速度对牵引力影响估算模型 .....	98
9.2.2 单一作业下耕深对牵引力影响估算模型 .....	103
9.3 估算模型误差分析与精确度验证 .....	110
9.3.1 试验安排 .....	110
9.3.2 估算模型精确度验证 .....	111
9.4 第三方验证 .....	115
9.5 存在的问题及解决措施 .....	115
9.6 小结 .....	116
<b>第 10 章 大型联合整地机单一作业参数响应面法优化</b> .....	117
10.1 材料与方法 .....	117
10.1.1 试验参数 .....	117
10.1.2 试验时间与地点 .....	117
10.1.3 试验安排 .....	118
10.2 结果与分析 .....	119
10.2.1 单一深松作业机组前进速度和耕深对油耗和牵引力 影响及最佳工作参数 .....	119
10.2.2 单一旋耕作业机组前进速度和耕深对油耗和牵引力 影响及最佳工作参数 .....	123
10.2.3 单一灭茬作业机组前进速度和耕深对油耗和牵引力 影响及最佳工作参数 .....	127
10.3 小结 .....	131
附录 .....	132
参考文献 .....	142

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究目的和意义

在当今我国农业高速发展的同时,也正面临着能源危机、资源浪费、耕地减少、水土流失严重、地力下降和作业成本提高的严峻形势(丁启朔,2006)。传统的农业耕作技术与方法已不能满足现代农业发展的需要,也同时面临新的挑战和历史性转变。从目前农业耕作新技术、新方法的创新与发展趋势看,世界各国已把研究高效节能、蓄水保墒、联合复式等高度机械化的作业方式作为其发展方向及目标。

我国不仅是一个人口大国,同时也是一个农业大国。目前,我国现有 13 亿人口,其中 9.4 亿为农业人口,约 2.5 亿个农户单位,而耕地面积已经减少到 1.23 亿  $\text{hm}^2$ ,户均耕地面积不足 0.47  $\text{hm}^2$ ,全国人均耕地面积不足 0.09  $\text{hm}^2$ ,仅相当于世界平均水平 40%,更远远低于欧美发达国家的平均水平。因此,如何建设节约高效的农业生产耕作模式和科学高效使用现有耕地,是确保我国粮食安全和实现农业可持续发展的关键。

由于我国人多地少和农业科技整体发展水平较低,以户为单位的小规模耕种经营当前仍是我国农业耕作的主要模式。该模式以小型农机具为主,翻、耙、起等多项作业须逐一地完成,这种作业模式不仅效率低下且能源消耗巨大(张兴义,2005)。传统耕作模式中由于中小型农机具只能进行单一的作业,因此耕整地的多项作业需中小型农机具多次进地耕作才能完成。由此产生的危害主要表现在:

(1)多次进地作业造成土壤反复压实。目前,由于我国的个体农户耕地面积较小、生产技术水平较低、经济能力差等原因,大功率复式作业机具仍未得到大范围的推广应用。因此,多数地方的耕整地作业都经历灭茬—翻耕—碎土—起垄等多次进地作业,农机具重复多次下地对土壤造成的多次压实,使得土壤内部易形成板结,从而降低水分下渗和传输能力,久而久之,土壤的肥力和保墒性能自然下降(李汝莘等,2002);另外,机具多次下地作业不仅作业效率低且能源消耗大,这相当于增加了农业的投入成本,增强了农业对石油的依赖度(张兴义,2002)。

(2)水土流失和耕地退化。目前,中国约有 1/3 的耕地受到水土流失的危害,每年流失的土壤总量惊人(半个世纪以来,水土流失毁掉的耕地达 267 万  $\text{hm}^2$ ),所流失的土壤养分相当于 4 000 万 t 标准化肥,即全国一年生产的化肥中氮、磷、钾的含量。造成水土流失的主要原因是合理耕作模式的滥用(如农田一年翻耕多次等)而导致大量植被的毁坏,还直接导致土壤质量呈下降趋势,如全国耕地有机质含量平均已降到 1%,明显低于欧美国家 2.5%~4%的水平;东北黑土地带土壤有机质含量也由刚开垦时的 8%~10%降为目前的 1%~5%。据资料表明:自然黑土腐殖质层厚度一般应该在 30~70 cm。由于多年的不合理耕种和土壤侵蚀的发展,东北黑土层逐渐浅薄和土壤严重退化。如吉林省目前黑土层厚度在 20~30 cm 的薄层黑土面积占黑土总面积 25%,黑土层厚度小于 20 cm 的黑土面积占 12%左右,完全丧失黑土层的“露黄”黑土面积占 3%。

(3)对环境造成的负面影响加强。近年来,我国沙尘天气呈明显增多趋势。由于处于干旱及半干旱地区的农田长期过度耕作,农田土壤的团粒结构遭到破坏,形成单粒的粉尘,加之地表根茬及秸秆的减少或基本没有,这就为沙尘天气的形成创造了最基本的条件。中国科学院地学部的研究结果显示:产生沙尘天气的地表粉尘颗粒物主要来自农田;中国农业大学教授高焕文的研究结果也表明北京沙尘天气的沙尘主要来源是北京外围地区冬春季翻耕后裸露的农田。另外,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所研究员靳鹤龄表示,沙漠里的沙子颗粒粗,很难“飞”起来,容易“飞”起来的沙尘主要存在于耕作后的农田、干涸的河谷湖盆和荒漠化的草地。因此,上述研究结果说明产生沙尘天气的主要原因是土地经传统的翻耕裸露后,土壤受风蚀所致。土壤风蚀中产生的大量悬浮于大气中的溶胶颗粒是造成沙尘天气的重要尘源。

针对我国传统耕作模式出现的问题,我国学者借鉴国外先进国家的经验,经多年试验提出适宜我国耕地的多种保护性耕作方式:即以水土保持为中心,保持适量的地表覆盖物,尽量少翻动土层,而又能保证作物正常生长的耕作方法(李汝莘等,1998)。保护性耕作方式具有以下优点:由于秸秆的覆盖作用可明显减少地表径流,减轻土壤风蚀水蚀,不仅保护了土壤也宜于改善环境;增加土壤蓄水能力;增加土壤有机质含量,改善土壤结构;提高产量,降低生产成本,增加收入,提高经济效益。保护性耕作的主要方式包括:少耕或免耕播种,以节能降耗和水土保持为主的复式少耕作业等。

近年来,随着农机作业合作社的大量建立,耕整地作业所用的拖拉机动力由 20 世纪 80 年代的 12~75 马力(1 马力=0.735 kW,下同)换代为现在的 200~300 马力,甚至达 400~500 马力。随着农村土地的逐步集中,农业的规模化生产得以

实现,大马力拖拉机大量引进和使用,目前迫切需要进行适于当地耕作模式的大型、高效农机具和拖拉机配套装置开发。正是由于大马力拖拉机的应用和农业生产的急需,近年来陆续开发出多种集灭茬、深松、旋耕、起垄镇压于一体的宽幅复式作业机具。

深松型联合整地机作用有以下优点:①打破犁底层,增强土壤蓄水保墒能力。深松型复式整地机能显著改变土壤板结状况,进行深松联合整地。耕层的深松深度可达25~35 cm,超深松可达35~50 cm。据专家测定,耕层每加深1 cm,即可增加30 t/hm<sup>2</sup>的蓄水能力,相当于土壤蓄水厚度3 mm。经过深松整地的土地蓄水深度可达100 cm,而没有深松整地的土地蓄水深最多45 cm。深松使耕地增加600~1 200 t/hm<sup>2</sup>的蓄水量(Tobias S, 2001),形成了土壤水库,达到“表润里湿,水分深蓄”的程度。②减少水土流失,增强水土保持能力。据统计,黑龙江省每年向江河流走十几亿吨的水,相当于多座大型水库的容量,夹杂冲走2亿~3亿 m<sup>3</sup>地表肥土,水土流失十分严重。机械深松整地是解决水土流失的主要措施之一。据测定,深松整地与常规整地相比较,地表径流可减少12.4%~15.7%。③有利于作物根系生长发育,提高农作物产量。深松联合整地加深了土壤耕作层,有利于农作物根系发展和下扎,提高吸收肥料和水的的功能,促使农作物稳产高产(Carman K, 2002)。据测定,土壤耕作深度超过25 cm,黑土地地区玉米根系体积增加14 cm<sup>3</sup>/株,大豆根系体积增加47 cm<sup>3</sup>/株;白浆土地地区的大豆根系质量增加23%,根系密集层下移2~10 cm。深松整地能使农作物增产10%~15%。④降低机械作业成本,提高作业效率。深松联合整地可实现灭茬、深松、旋耕和起垄等多项作业一次完成,可节省油料10%~30%,减少耕作成本1/3以上,经济效益可观。深松联合整地可以减少拖拉机作业次数,减少土壤再次压实程度,缩短作业时间,提高机组的作业效率,解决了翻、耙和起垄脱节问题,实现了机具一次进地即可完成全部耕整地作业,使耕地达到待播状态(Neve S de, 2002)。

耕整地联合复式作业工艺及系列配套机具的研究,对提高机组作业效率、降低作业成本、蓄水保墒、增加收入、解决我国北方大中型拖拉机配套机具的急需、加快农业生态环境建设和荒漠化综合治理、提高农业竞争能力、加快和提高我国农机化发展水平具有重要意义。

但随着上述单独后悬挂式系列联合整地机推广应用,一些问题逐渐凸显,例如,单独后悬挂式系列联合整地机对拖拉机稳定性影响,作物硬茬对拖拉机轮胎的损伤,拖拉机对土壤压实增加作业阻力等,这些问题在一定程度上制约单独后悬挂式系列联合整地机的大面积应用,因此,开发新型联合整地机成为亟待解决的问题。

基于上述考虑,设计出一款前后分别配置的联合整地机,即将灭茬部件和深松部件配置于拖拉机前端,将旋耕起垄部件配置于拖拉机后端,灭茬深松后既可以有效减少根茬对拖拉机轮胎扎划,深松后拖拉机轮胎碾压土壤又加速土块破碎,能够解决拖拉机前配重和纵向稳定性问题;同时减轻机具整体质量。该机具一次下地能完成灭茬、旋耕、深松及起垄等作业,一次整地达到待播状态,也可分别完成单项作业,能够满足不同农户的需求,具有较强实用性。

在自主开发的联合整地机性能测试系统的基础上,对灭茬深松前置式联合整地机进行综合试验,得出灭茬深松前置式联合整地机工作状态动态变换下油耗和牵引力估算模型,以及最佳工作状态。

本研究的开展对丰富我国联合整地技术体系及提升我国农机水平具有重要意义。

## 1.2 国内外研究动态趋势和进展

### 1.2.1 国内发展现状

#### 1. 政策演变与效应

联合作业就是在农业生产中将多种机具多次完成的作业工序集中于一台机器上在一次作业行程中完成的工艺过程。由于联合作业具有功能多、作业效率高和经济效益明显等特点,所以刚一出现就深受农民欢迎,联合作业的优点如下:

(1)联合作业效率高,缩短作业周期,有利于抢农时、抗旱保墒、节约能耗、降低成本和增产增收。

(2)联合作业减少进地次数,不但节约油料消耗,而且还可减轻对土壤的压实,利于保持土壤团粒结构,利于土壤的生态保护,减少水土流失和土地沙漠化。

新中国成立至今,面对人多地少的国情,国家对农业生产一直十分重视,但由于受农业经济整体发展水平较低的影响,联合作业机具在我国发展和应用的速度较慢,其发展状况大体可归纳为如下几个阶段:

(1)研究起步阶段(20世纪60年代初至70年代中期)。新中国成立后由于我国工农业水平落后,到20世纪60年代,多功能联合作业机具才开始研发,受到当时体制、经济等因素的限制,其发展的速度几乎处于停滞状态。

(2)试用推广阶段(20世纪70年代中期至90年代初)。1975年1月13日,周恩来总理在第四届全国人大会议所作的政府工作报告中提出在本世纪内,全面实

现农业、工业、国防和科学技术的现代化,即进行“四化”建设。这次报告吹响了农业现代化建设的号角,一系列惠农政策措施的实施,使得农村经济取得了快速发展,农民的经济意识也得到了普遍提高,加之国内大功率拖拉机的研究与应用也取得长足发展,这为与之配套联合作业机的发展提供了条件。在应用的同时,大家也越来越意识到发展联合作业机的综合经济价值,因此,科研院校和生产企业都把目标瞄准了这一领域,这些都为该阶段联合作业机具的研究和推广提供了良好的社会环境。

(3)规模使用阶段(20世纪90年代初至今)。该阶段可分为2个时期:①1990—2000年,该段时期,国内各项事业蓬勃发展,承包土地后的农民生产积极性高涨,农作物产量和农民人均收入均稳步提高,在一些农场和南方经济较好地区,联合作业机已得到普遍使用,但此时的联合作业机具的使用仍以一些低功率的小型作业机具为主(吴永波,2010)。②21世纪初至今,随着中央对“三农”(农业、农村、农民)问题的进一步重视,各种惠农政策(如免除农业税、实施种粮补贴和农户购买农机具资金补贴等)切实实施,同时,农民进城务工人员增多和农民工工资得到进一步保障,农民为了节约更多的进城务工时间,他们在农忙时期大都雇用联合机具实行抢收抢种,从而加大了联合作业机的应用规模,这也使得联合作业机跨省和跨区作业有了广阔的市场。另外,还有部分农民,外出务工时将家中农田承包给其他农业种植户,承包土地的农业种植户必须依靠高效率的作业机具方可及时完成农田大面积的种植工作,也即农业的规模化经营,这又进一步促进了联合作业机具的应用。据统计,目前全国每年生产的为中小型拖拉机配套的灭茬、旋耕类复式联合作业机具就达10万多台。

## 2. 联合整地机研究进展

(1)水田联合整地机研究进展。国内对水田联合整地机前期研究比较少,随着社会发展和市场需要,一些学者对此深表关注并进行深入研究。

20世纪60年代,陈长吹等(1961)开发出悬挂式水田复式整地农具,提高工效达40%。20世纪70年代,沈阳市苏家屯区农科所科研人员开发出水田旱整地深施肥机,该机具能够早整平土地,开沟深层施肥,是水稻整地施肥技术上的一项重要改革。20世纪80年代,吴士斯(1985)进行水田不同整地工艺方案的综合效应研究,认为通常所谓旋耕作业工艺会对水稻土造成粘闭板结的说法是没有根据的。21世纪初,哈尔滨农机化研究所许春林研究员(2006)对水田免搅浆以侧深施肥复式整地机开发,试验结果表明,能够大幅度降低动力消耗及费用,由于采用新的带状少耕润田插秧的整地方法,取消了传统水耙田、人工扬肥、耩平、沉浆和捞残茬5项作业环节,降低了动力消耗并节省了50%~60%的整地费用;泡田用水相对传

统整地方法可节约30%~40%，是一项水稻生产的高效节水新技术；作业周期由原来的10~15 d减为1~2 d即可；实现了少耕和根茬及部分秸秆还田的保护性耕作方式；平均增产幅度为8.4%~12%，该技术对水稻生产的发展具有推动作用，是一项创新技术。

(2)早田复式整地机研究进展。20世纪80年代，陈瑞贤等(1982)开发出SDZ型山地弹齿圆盘整地机，用于坡度15°以下的缓坡、丘陵地带造林前的带状整地及农田开荒，该机经几年来的不断试验改进，结构渐臻完善，使用效果显著。汪志文等(1986)开发出3QY-260型缓冲式圆盘整地机，将该机悬挂于J-50拖拉机之后，利用J-50的液压系统来控制缓冲式整地机的起落和工作机构。20世纪90年代，王序俭等(1996)对1LZ-5.4复式整地机设计和试验研究，认为该机具一次作业即可完成土地平整、松土、碎土和镇压4道工序，具有结构新颖、生产率高、作业质量好、节约能源等特点。单爱军等(1999)介绍了1FCH-4型根茬粉碎整地机的构造、作业流程及主要技术参数，该机属于联合作业机具，一机多能，而且经该机作业后，耕地可达到播种前准备状态。21世纪初，韩树明等(2002)针对58.8 kW轮式拖拉机在田间生产的应用情况，研制出与之相匹配的幅宽为2.1 m复式整地机，并对灭茬和深松部件提出了合理的工作参数，经试验和生产已证明其设计的合理性和可行性。付爱民等(2004)根据国外先进技术，结合中国国情设计出1ZL鹅掌式系列深松联合整地机并进行了试验研究。许春林等(2012)对深松灭茬以及垄作组合复式整地机进行设计和试验，结果表明，能够充分发挥大马力拖拉机的作业效率，减少拖拉机的功率消耗，节能约14.3%；机具配置的灭茬刀、深松铲和旋耕刀排列合理，保墒效果明显，碎土率和灭茬率高达95%，整地保墒效果明显好于多次耕整地方式。

### 3. 农机具设计动力学分析与建模研究进展

刘少刚(1993)利用矩阵法与现代电子计算技术相结合，系统地对连续挖坑机进行了动力学分析。在曲柄的一个旋转周期内，每间隔4°转角计算主运动四杆机构曲柄上总驱动力矩 $T_0$ 的变化情况，并将其绘成直观的曲线，得出了该机构各铰链上的作用力及两个连架杆对机架的联合作用力(即所谓的颤动力)，且将其制成力变化的极坐标图。利用上述结果对连续挖坑机的动力特性进行了阐述，为结构设计提供了必要的参数。王国权等(2001)为解决农作物收获后秸秆的收集处理问题，设计了一种秸秆捡拾压捆机，介绍了该机械的总体结构及工作过程，对滑道滚筒式捡拾器的工作原理和设计要求进行详细分析，通过对捡拾器设计方案的计算机仿真，对滑道曲线进行拟合优化，实现了捡拾器的优化设计。于玉真等(2007)针对我国山区农田土壤中含有大量砾石的现状，研制了一种专门用于山区农田捡



石任务的链齿式土壤捡石机,该机采用栅条式分石器、链式输送装置,可以在捡拾砾石的同时,将农田土壤分离并及时还田。为此,利用动力学方法,对链齿式土壤捡石机作业时栅条齿与土壤之间的相互作用进行了分析,建立了栅条齿切土时阻力的数学模型,根据该模型做出了其水平方向的牵引力学方程;并对砾石沿栅条齿运动时的受力状况进行了研究,建立了砾石产生滑动和滚动的极限条件,为下一步土壤捡石机的设计和改进提供了参考依据。王金武等(2007)结合割前摘脱工艺在切割茎秆时摘脱装置压倒茎秆前倾一定的角度,从实际应用出发,采用自行设计研制的测量装置,对前倾禾秆顶端的水平力和垂直力进行了测试研究,得到了禾秆前倾时水平力和垂直力的数学模型。为前倾禾秆横向输送器进行结构设计提供重要的理论依据。李尚平等(2008)认为切割器是甘蔗收获机砍蔗机构的重要部件,其刚性对甘蔗破头率有着显著的影响,所以必须对切割器的刚性进行优化设计。通过虚拟仿真和物理试验相结合的方法,分析比较了不同轴承及间距对刀轴刚性及甘蔗断面切割质量的影响,并在此基础上提出了一种高刚性的轴承布局方法,为设计低破头率的小型甘蔗联合收获机切割器提供了依据。王金武等(2011)为保证液态施肥机在高速作业下仍具有良好的可靠性,以液态施肥机扎穴机构为研究对象,将太阳轮  $x$ 、 $y$  方向峰值力和波动力作为目标函数,运动学优化结果作为目标函数的约束条件,应用 Visual Basic 6.0 软件开发出了基于“种间竞争”改进遗传算法动力学优化软件。得到优化参数为:喷肥针尖和行星轮轴连线与行星架的初始夹角为  $42^\circ$ 、行星架初始角位移  $45^\circ$ 、喷肥针尖与行星轮轴心距离 285 mm。根据动力学优化结果,应用 Pro/E 和 ADAMS 对扎穴机构进行设计与仿真验证。结果表明,根据优化参数设计的扎穴机构既能满足工作要求,又具有较好的力学特性。杨有刚等(2005)为避免挖坑机传动系统因扭转振动导致强度不足,在对 W60 型挖坑机的非链状结构进行链状简化的基础上,用动力分析与动态设计方法,建立了系统的动力学模型,求得了系统的前 5 阶固有频率和对应的主振型,从而获知系统以第 2 和第 4 阶模态振动时,机器零件易发生非正常失效。邱高伟等(2005)对一种新型小籽粒谷物脱粒机机构进行了运动学和动力学分析,获得了相应的动力学参数,并对承载输送机构的动力学模型进行了振动响应分析确定了振动一阶固有频率和振型。为机构设计和优化提供了依据。

#### 4. 农机具性能测试系统研究进展

吴相吉等(1987)介绍了主要用于风室试验台的植保风机性能自动测试系统,该系统是在 T P-801 单板机的基础上建立的,可进行从试验条件检查、测量、计算到打印和绘制性能曲线的全过程,给出最终结果。该系统能够解决有关系统参数的测量方案、相应的硬件和一系列的数据采集和处理程序、有关对传感器传递特性