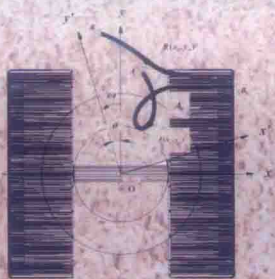


水稻联合收割机 新型工作装置设计与试验

Shuidao Lianhe Shougeji Xinxing
Gongzuo Zhuangzhi Sheji Yu Shiyan

陈德俊 戴素江 陈霓 等著



$$\Delta P = \frac{\eta \gamma}{g} (v_{21} u_{21} \cos \alpha_{21} - v_{22} u_{22} \cos \alpha_{22}) \quad KS \geq \frac{60v}{p \lambda n_2} \quad \begin{cases} x = x' \cos \theta - y' \sin \theta \\ y = x' \sin \theta + y' \cos \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + B\omega_1^2 - M_{12} + M_{21}(t) = M_{21} \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} - B\omega_2^2 - M_{21} + M_{12}(t) = M_{12} \end{cases}$$



中国农业大学出版社
CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

农业机械化

水稻联合收割机 新型工作装置设计与试验

陈德俊 戴素江 陈 霓 等著

中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书简述了联合收割机的发明、发展以及早年我国农机工作者对联合收割机技术进步所做的贡献。阐述了新研发的包括全喂入、半喂入、横轴流、纵轴流和微型机等多种水稻联合收割机的新型工作装置设计与试验,内容涵盖脱粒分离、清选复脱和行走转向;阐述了“同轴差速脱粒”“回转凹板分离”“非均布气流清选”和“单 HST 原地转向”等 4 项原创技术的设计理论、台架试验和田间试验,论证了它们对提高水稻联合收割机的工作性能、作业效率、清选质量和机动性能的实际效果。为规范设计和提高效率,开发了水稻联合收割机“脱分选装置参数化设计平台”,验证了市售机型的设计参数。

本书可供农业机械科研单位技术人员和大专院校农业机械专业师生以及联合收割机生产厂家技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水稻联合收割机新型工作装置设计与试验/陈德俊等著. —北京:中国农业大学出版社,2018.7

ISBN 978-7-5655-2050-1

I. ①水… II. ①陈… III. ①水稻收获机-联合收获机-研究
IV. ①S225.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 155555 号

书 名 水稻联合收割机新型工作装置设计与试验

作 者 陈德俊 戴素江 陈 霓 等著

策划编辑 康昊婷

责任编辑 韩元凤

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.caupress.cn>

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 15 印张 260 千字 彩插 2

定 价 42.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

著者名单

陈德俊	戴素江	陈霓
刘正怀	熊永森	王志明
傅美贞	王金双	徐锦大

前 言

我国水稻联合收割机研发始于20世纪50年代。通过多年探索发现:轴流式脱粒滚筒+栅格式凹板构成的脱粒分离装置最适合水稻脱粒,橡胶履带式行走装置最适合水田作业。于60年代后期开发成功的履带自走轴流式全喂入水稻联合收割机,是当今广泛应用的横轴流全喂入水稻联合收割机的雏形。这种适合水稻收获的联合收割机,由于各种原因直到90年代中期才被重新认识,再开发后得到快速推广应用。在推广应用过程中,由于各种工作装置逐步完善,使水稻联合收割机整机技术水平不断提高。新型工作装置的开发应用,更促进了水稻联合收割机的技术进步。横轴流水稻联合收割机孕育了纵轴流水稻联合收割机。

金华职业技术学院机电工程学院十多年来承担并完成了多项浙江省科技厅水稻联合收割机攻关项目和国家、省自然科学基金项目。本书主要根据这些项目科研成果提炼集成撰写而成。全书共10章,内容涵盖切割、输送、脱粒、清选、行走等诸多方面。其中,为提高水稻联合收割机作业性能而研发的同轴差速脱粒技术、为提高生产效率而研发的回转式栅格凹板技术、为提高清选质量而研发的非均布气流清选技术、为提高机动性能而研发的单液压马达原地转向技术4项技术属原创发明。在理论分析的基础上,分别建立了相应的运行方程式。

本书由陈德俊主著,金华职业技术学院“农机技术与装备浙江省工程实验室”收获装备科研团队成员参著。其中第1章,第2章,第3章中3.8、3.9,第10章由陈德俊执笔;第3章中3.1、3.2、3.4、3.5,第5章中5.1,第7章,第8章由陈霓执笔;第5章中5.2,第6章,第9章中9.2由刘正怀、戴素江执笔;第4章中4.1、4.2由熊永森执笔;第9章中9.1由王志明执笔;第3章中3.6,第5章中5.3由傅美贞执笔;第3章中3.7由王金双执笔;第3章中3.3由浙江省农机研究院徐锦大执笔;陈德俊参与所有章节撰写并负责全书统稿。

机电学院郑一平老师为本书提供了珍贵资料,张建荣、倪匀、张正中、朱笑

笑等老师为本书制作了多幅插图或协助整理了实验数据,在此一并表示感谢!

本书由金华职业技术学院“机械装备创新设计与精密制造”科研创新基金和国家自然科学基金“水稻联合收割机脱分选系统工作机理及设计方法研究”项目以及浙江省技术应用研究“联合收割机脱分选装置工作性能智能测控技术研究”项目资助出版。

本书侧重应用技术研究,对我国水稻联合收割机产品开发和理论研究有一定参考价值。可供农业机械科研单位技术人员和大专院校农业机械专业师生以及联合收割机生产厂家技术人员参考。

由于水平所限,其中缺点错误在所难免,欢迎批评指正。

陈德俊

2018年2月

目 录

第 1 章 谷物联合收割机的发明与发展	1
1.1 谷物联合收割机的发明	1
1.2 我国对谷物联合收获提出三大技术方案	3
1.2.1 开发半喂入式联合收割机	3
1.2.2 实现田间直接脱粒收获	4
1.2.3 增设二次切割装置	5
1.3 我国农机工作者对水稻联合收获机械化的探索	5
1.4 履带式全喂入联合收割机的问世	6
1.5 近年来我国水稻联合收割机的发展	7
1.5.1 全喂入联合收割机	7
1.5.2 半喂入联合收割机	8
1.5.3 梳穗式联合收割机	10
第 2 章 水稻物理机械特性对切割、脱粒和清选性能的影响	12
2.1 水稻籽粒连结力和脱粒滚筒转速	12
2.1.1 几个水稻品种籽粒连结力的测定数据和分布频谱	12
2.1.2 水稻籽粒平均连结力 \bar{f} 与脱粒齿顶线速度 v	17
2.1.3 根据水稻籽粒 \bar{f} 值计算脱粒滚筒齿顶线速度 v 和转速 n	19
2.2 稻麦作物几种物理机械特性	20
2.2.1 几种超级稻单株切割力	20
2.2.2 几种因素对超级稻单株力学性质的影响	21
2.2.3 稻麦物料空气动力学特性	22
2.2.4 水稻物料摩擦系数	22
2.2.5 水稻物料容重和千粒重	22
第 3 章 全喂入横轴流联合收割机新型工作装置设计与试验	23
3.1 双动刀往复式切割器	23

3.1.1	基本结构与工作原理	23
3.1.2	双动刀切割器理论分析	24
3.1.3	双动刀和单动刀切割器振动测定	27
3.1.4	双动刀切割器工作特性	28
3.2	双动刀双层联动驱动机构	29
3.2.1	双层联动驱动机构设计	29
3.2.2	双层联动驱动机构理论分析	30
3.3	二次切割装置	32
3.3.1	二次切割装置设计	33
3.3.2	二次切割装置功率消耗及其对脱粒功耗的影响	35
3.3.3	二次切割分向输送效果分析	36
3.4	同轴差速轴流脱粒分离装置	36
3.4.1	差速脱粒理论依据	37
3.4.2	同轴差速脱粒装置设计	37
3.4.3	同轴差速脱粒装置理论分析	40
3.4.4	杆齿式轴流差速滚筒高、低速段的功率消耗	40
3.4.5	不同脱出物在差速与单速脱粒装置中轴向分布数学模型	41
3.4.6	分布试验结果分析	45
3.4.7	两种滚筒性能指标测定计算和结果分析	47
3.5	非均布气流清选装置	48
3.5.1	理论分析	49
3.5.2	圆锥形清选风扇设计	51
3.5.3	非均布与均布气流筛面风速测定和流场仿真	53
3.5.4	非均布与均布气流筛面物料分布测定分析	54
3.5.5	圆锥形清选风扇应用效果分析	56
3.6	杂余复脱装置	57
3.6.1	杂余占比及构成分析	57
3.6.2	复脱系统设计	58
3.6.3	复脱系统物料轴向移动速度分析计算	60
3.6.4	复脱系统输送量计算	61
3.6.5	实验研究和性能测定	62
3.6.6	复脱系统应用效果分析	63

3.7 双滚筒脱粒装置	64
3.7.1 双滚筒配置原则	64
3.7.2 双滚筒脱粒装置设计计算	65
3.7.3 双滚筒脱粒装置实验研究	67
3.7.4 双滚筒脱出物分布试验	68
3.7.5 单滚筒和双滚筒脱粒装置比较试验	69
3.8 多功能切割器试验研究——全地形垄作大豆收割装置	70
3.8.1 基本结构和工作原理	70
3.8.2 全地形收割装置设计	72
3.8.3 全地形切割器理论分析	73
3.8.4 田间试验结果与分析	77
3.9 多功能收割台试验研究——梳穗式收割台	80
3.9.1 梳穗装置基本结构和工作原理	80
3.9.2 梳穗装置主要参数计算	81
3.9.3 梳穗割台全喂入联合收割机田间试验综述	84
第4章 全喂入纵轴流联合收割机新型工作装置设计与试验	85
4.1 同轴差速轴流脱粒装置	85
4.1.1 纵轴流同轴差速脱粒装置设计	85
4.1.2 差速脱粒脱出物质点运动学分析	87
4.1.3 差速脱粒脱出物质点动力学分析	87
4.1.4 杆齿式纵轴流差速滚筒高、低速段的功率消耗	88
4.1.5 纵轴流差速脱粒装置物料分布试验	89
4.2 无级调节伸缩收割台	90
4.2.1 伸缩收割台结构和工作原理	90
4.2.2 收割台三角区设计	92
第5章 半喂入联合收割机新型工作装置设计与试验	94
5.1 半喂入同轴差速脱粒装置	94
5.1.1 半喂入同轴差速脱粒装置设计	95
5.1.2 半喂入同轴差速脱粒理论分析	96
5.1.3 两种半喂入脱粒装置试验及脱出物分布模型	98
5.1.4 两种半喂入脱粒装置物料分布、杂余量和脱不净率比较	101
5.2 半喂入回转式栅格凹板	102
5.2.1 回转式栅格凹板脱分装置结构设计	102

5.2.2	回转式栅格凹板脱分系统工作原理	105
5.2.3	回转式栅格凹板脱粒装置理论分析	106
5.2.4	脱出物分布测定	108
5.2.5	回转式栅格凹板半喂入联合收割机田间试验	110
5.3	不沾水清选筛	111
5.3.1	脱出物清选过程及物料黏附	112
5.3.2	不沾水涂装处理设计	112
5.3.3	不沾水涂装处理工艺	113
第6章 微型联合收割机新型工作装置设计与试验——气流式清选装置		114
6.1	气流式清选装置结构与工作原理	115
6.2	气流式清选装置设计计算	115
6.2.1	清选筒设计计算	115
6.2.2	吸风管设计计算	117
6.2.3	吸风机设计计算	118
6.3	清选筒气流流场仿真	121
6.3.1	清选筒建模	121
6.3.2	计算方法	121
6.3.3	边界条件	121
6.3.4	计算结果与分析	122
6.4	气流式清选装置田间试验验证	124
第7章 联合收割机新型行走装置设计与试验——原地转向行走变速器		127
7.1	基本结构和工作原理	127
7.2	反转离合器基本参数计算	129
7.2.1	计算转矩 T_j 计算	129
7.2.2	反转离合器摩擦片内外半径 R_1 、 R_2 计算	130
7.3	原地转向运动学和动力学分析	130
7.3.1	履带速度 v_1/v_2 和整机回转角速度 ω	130
7.3.2	履带受力分析	131
7.3.3	原地转向功率消耗	132
7.4	原地转向理论分析	132
7.5	原地转向特征分析	133

第 8 章 联合收割机新型工作装置设计参数化——脱分选装置参数化设计	136
8.1 喂入量与工作性能的数学模型	136
8.1.1 脱粒装置生产率	136
8.1.2 清选筛生产率	137
8.1.3 清选风扇风量	137
8.1.4 脱粒滚筒齿数	138
8.2 脱分选装置参数化设计计算机模型	138
8.2.1 各部分结构参数选择	138
8.2.2 脱分选装置参数化设计的计算机模型	139
8.3 设计平台构建及三维模型生成	141
8.3.1 设计流程和程序界面	141
8.3.2 三维模型生成	141
8.4 联合收割机脱分选装置参数化	145
8.4.1 全喂入机型	146
8.4.2 半喂入机型(四行机)	147
8.5 参数化设计系统运行分析	148
第 9 章 水稻联合收割机新型工作装置试验验证	149
9.1 全喂入横轴流同轴差速脱分选装置台架试验	149
9.1.1 同轴差速轴流脱分选装置基本结构和工作原理	149
9.1.2 试验台机械系统设计	150
9.1.3 试验台电气控制系统	153
9.1.4 试验台架操作顺序	156
9.1.5 台架试验 I—— $L_9(3^4)$ 正交试验	157
9.1.6 台架试验 II——二次正交旋转组合试验	170
9.1.7 $L_9(3^4)$ 正交试验与二次旋转正交组合试验结果比较	182
9.2 半喂入回转式栅格凹板脱分选装置台架试验	183
9.2.1 试验台结构和工作过程	183
9.2.2 试验指标测定方法	185
9.2.3 $L_9(3^4)$ 正交试验	186
9.2.4 二次正交旋转组合试验	190
9.2.5 $L_9(3^4)$ 正交试验与二次旋转正交组合试验结果比较	200

第 10 章 新型工作装置传动设计	202
10.1 联合收割机传动系统设计一般原则	202
10.2 几种新型工作装置传动系统设计计算	203
10.3 几种具有新型工作装置联合收割机传动参数	206
参考文献	219

第1章 谷物联合收割机的发明与发展

1.1 谷物联合收割机的发明

为了创制能一次完成谷物切割、脱粒和清选联合收割机,世界上农作者为之付出了长期、艰辛的努力,经过多年探索终于有所发明。据《世界农业机械发展大事年表》记载,美国人穆尔(Hiram Moore, 1801—1875)和黑斯考尔(John Hascal)于1834年制成了可工作的谷物联合收割机,并于1836年获得了专利。1867年,美国马特森地区出现了9.1~12.2 m割幅、用多匹马拉的谷物联合收割机,《世界博览》蒸汽机史话刊登的照片显示了当年的情景(图1-1)。



图 1-1 用多匹马作动力的谷物联合收割机

1886年,美国人贝利(George Stockton Berry)研制成世界上第一台自走式

谷物联合收割机,采用蒸汽机作动力。

1908年,俄国出版了B. П. 郭略契金院士所著的《收割机理论》,这是世界上第一本较为完善的收割机理论书籍。

1911年,美国开始使用以内燃机作动力的谷物联合收割机。

1925年,苏联从美国引进第一批谷物联合收割机。

随着技术的进步,谷物联合收割机由多匹马作动力发展到由蒸汽机作动力(图1-2),再到内燃机作动力来牵引联合收割机并由机载动力驱动工作部件(图1-3),再由牵引式发展为自走式联合收割机(图1-4)。在这个发展过程中,联合收割机各部工作部件也不断完善。

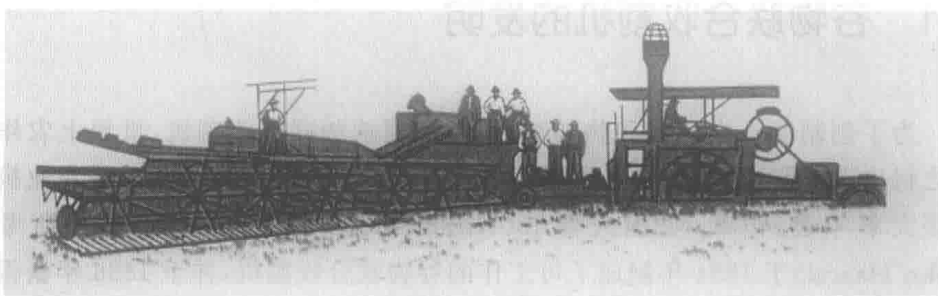


图 1-2 用蒸汽机驱动的牵引式谷物联合收割机

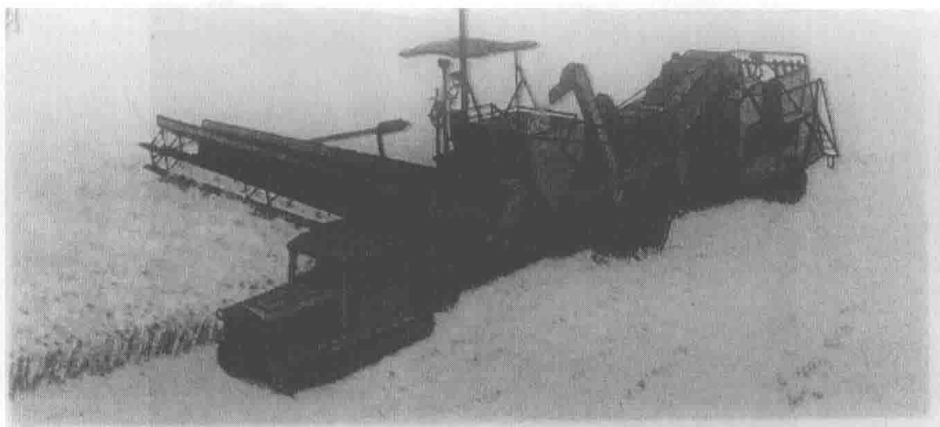


图 1-3 用内燃机驱动的牵引式谷物联合收割机

20世纪50年代初,我国从苏联引进谷物联合收割机生产技术,并于1955年开始生产牵引式谷物联合收割机。1965年,我国东风牌自走式谷物联合收割

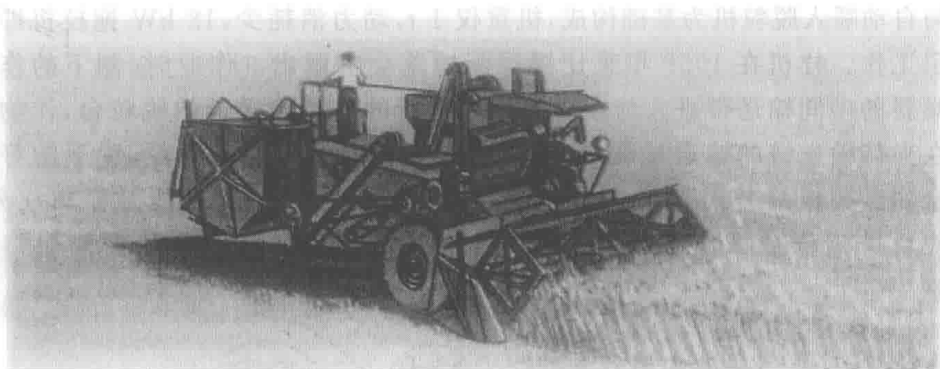


图 1-4 用内燃机作动力的自走式谷物联合收割机

机研发成功并通过国家鉴定投产。

1.2 我国对谷物联合收获提出三大技术方案

20 世纪 50 年代初,我国从苏联引进投产的谷物联合收割机是全喂入式。随着农业生产推广密植单产提高,全喂入联合收割机作业时负荷增大,粮食损失率等作业质量指标下降。如何使联合收割机适应高产作物收获是个难题。据文献记载,为了适应高产作物收获,根据茎秆少进入或不进入滚筒、在相同的滚筒条件下可以相对增加谷穗喂入量的原理,我国农机工作者提出了三大技术方案:开发半喂入式联合收割机,作业时仅将作物穗部喂入脱粒装置脱粒而茎秆不进入;开发田间直接脱粒的联合收割机,作业时在茎秆生长状态下进行脱粒收获;在全喂入联合收割机收割台的后下方增设二次切割装置,原收割台切割器只收割作物的带穗部分,减少茎秆进入脱粒滚筒。

1.2.1 开发半喂入式联合收割机

全喂入式联合收割机将割下的茎秆连穗一起喂入脱粒装置,脱粒负荷约占联合收割机总动力的 50% 以上。若仅仅将作物穗部喂入脱粒装置脱粒而茎秆不进入,则可大幅降低脱粒功率消耗,并可减少籽粒清选负荷,还可保存完整的稻麦茎秆以作他用。1957 年,我国第一机械工业部农业机械研究所工程师马骥等研制成世界上第一台半喂入式谷物联合收割机(图 1-5),它以割捆机的收割

台与自动喂入脱粒机为基础构成,机重仅 1 t,动力消耗少,18 kW 拖拉机即可牵引工作。样机在 1958 年莱比锡国际博览会上展出。作业时,割下的作物经倾斜的中间输送带进入与脱粒滚筒轴平行的夹持输送链的脱粒台,作物茎秆在夹持输送链的输送过程中,将穗部喂入脱粒装置进行脱粒,脱下的籽粒混合物经凹板筛分离到清选装置上,经清选后送入粮箱,杂质被排出机外。脱粒后的茎秆被排出机外并均匀地铺放于地表,排出的茎秆仍能保持其完整。

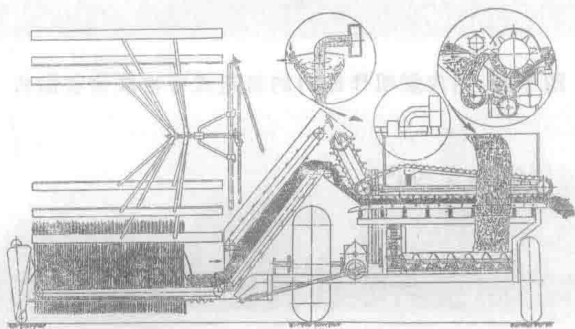


图 1-5 世界上首台半喂入式谷物联合收割机“高产-2号”

1.2.2 实现田间直接脱粒收获

利用作物根部与地面的连结力,将谷穗喂入脱粒滚筒脱粒,而后将滑出的禾秆割倒在田间,机器的工作部件主要部分是脱粒和清选(图 1-6)。

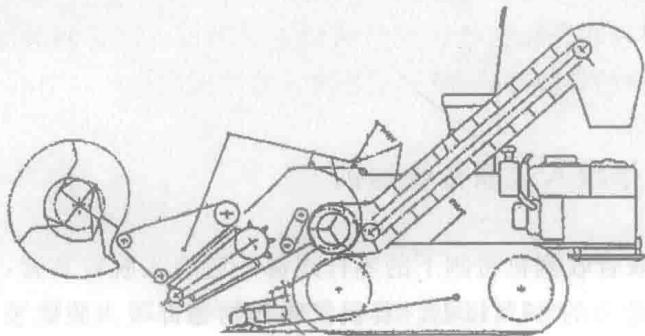


图 1-6 早年田间直接脱粒联合收割机

1.2.3 增设二次切割装置

在谷物联合收割机收割台切割器的后下方,增设二次切割装置(图1-7)。它安装在收割台底板之下。作业时,收割台原有切割器在高割茬状态下将作物含穗部分割下后,经中间输送机送入脱粒装置脱粒,增设的二次切割装置将余下的茎秆低割茬割下撒于田间,即所谓的“二次切割,分向输送”。

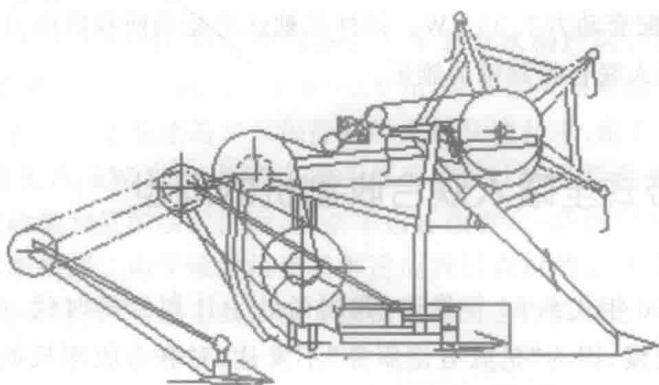


图1-7 设有二次切割器的收割台

以上3项新技术,在后来获得发展和应用,特别是根据半喂入式收获技术开发出的谷物联合收割机,通过不断改进提高,由日本于20世纪60年代末推出实用化机型并不断改进,成为当今水稻收获的主打机型之一。

1.3 我国农机工作者对水稻联合收获机械化的探索

20世纪50年代初我国引进、生产的谷物联合收割机,均采用切流式脱粒装置,且体积大、质量大,仅适应北方旱地麦类作物收获,不适应水稻收获。

我国南方水稻联合收获的试验始于1952年。据文献记载,当时江西省农业厅农具研究所引进苏联的C-4等大型联合收割机做收割水稻试验,结果因机型大、易下陷、脱不净和破碎多等原因而告失败。为此他们于1956年又进行了挂结于福格森拖拉机上小型直流型悬挂式联合收割机的研究。1958年,广东省农机所对西德克拉斯小型牵引式联合收割机进行了改进设计,研制了水稻联合