



国外水稻 联合收割机新技术及 相关理论研究

陈德俊 陈霓 姜喆雄等 编译

GUOWAI SHUIDAO
LIANHE SHOUGEJI XINJISHU JI
XIANGGUAN LILUN YANJIU



 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

国外水稻 联合收割机新技术及 相关理论研究

编译 陈德俊 陈 霓 姜喆雄
陈树人 王志明 徐锦大
校对 姜喆雄 沙立功 陈红光
设计 傅美贞

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

国外水稻联合收割机新技术及相关理论研究 / 陈德俊等编译. — 镇江 : 江苏大学出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-81130-995-9

I. ①国… II. ①陈… III. ①水稻收获机—联合收获机—研究—国外 IV. ①S225.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 137200 号

国外水稻联合收割机新技术及相关理论研究

Guowai Shuidao Lianhe Shougeji Xinjishu Ji Xiangguan Lilun Yanjiu

编 译/陈德俊 陈 霓 姜喆雄 陈树人 王志明 徐锦大

责任编辑/吴昌兴 郑晨晖

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/<http://press.ujs.edu.cn>

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/丹阳市兴华印刷厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/12.5

字 数/211 千字

版 次/2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-995-9

定 价/35.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

本书主要根据日本《农业机械学会志》和会议论文等有关资料编译而成。全书分为两部分,第一部分(第1章和第2章)介绍了日本半喂入(穗喂入)和全喂入(普通型和通用型)两类联合收割机在1996—2013年期间所开发的新技术,内容涵盖收割、输送、脱粒、清选、籽粒处理、操纵、行走、自动控制、动力配套、维护保养及信息化联合收割机开发等方面;第二部分(第3章和第4章)介绍了上述两类联合收割机在收割、脱粒、清选和行走等方面的相关理论研究,还介绍了被称为介于全喂入和半喂入之间的梳穗式(站秆脱粒)联合收割机的试验研究。另外,该部分还介绍了苏联有关谷物联合收割机清选机构的设计计算理论。

在第3章中,日文文献3.1“联合收割机切割器驱动装置的力学模型及其检证”、3.2“关于轴流脱粒机研究——被脱粒物脱粒室内的运动分析”、3.4“用有限体积法的联合收割机脱粒装置分选风速的数值分析”三篇文献,由中国农业机械化科学研究院姜喆雄编译;英文文献3.5“用于预测履带式车辆转向阻力的理论模型”,由金华职业技术学院机电工程学院陈霓编译,金华职业技术学院国际商务学院陈红光校对;第4章中英文文献4.1“基于谷物籽粒流量变化调整清选风机的研究”,由江苏大学农业工程研究院陈树人编译,陈德俊校对;英文文献4.2“清选风作用下稻谷飞行轨迹研究”,由金华职业技术学院机电工程学院王志明编译,陈红光校对;全书其余日文文献(第1章、第2章、第3章3.3、3.6、3.7和第4章4.4)及俄文文献(4.3)由金华职业技术学院机电工程学院陈德俊编译,分别由中国农业机械化科学研究院姜喆雄(日文)、沙立功(俄文)校对;浙江省农业机械研究院徐锦大负责全书统稿;金华职业技术学院学报编辑傅美贞负责全书的设计。

本书出版承蒙日本农业机械学会及日本农业机械学会主席宫崎昌宏先

生和秘书长杉山隆夫先生的热情支持,以及日本新农林社董事长岸田义典先生的关心和帮助;中国农业机械化科学研究院陈公望研究员为本书的编译出版提供了诸多帮助。在此一并表示感谢!

编译者在此也向所有原著作者致意,感谢他们的辛勤劳动!

本书由金华职业技术学院出版基金、浙江省自然科学基金“提高水稻联合收割机脱分选系统性能的基础研究”项目(Y1110647)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(51305182)资助出版。

本书因金华职业技术学院联合收割机科研工作需要而编译。本书对了解日本水稻联合收割机的技术沿革和发展近况,对我国水稻联合收割机产品开发和理论研究有一定的参考价值,可供联合收割机生产厂家和农业机械科研院所的技术人员及大专院校的农业机械专业师生参考。

由于水平所限,书中错误在所难免,欢迎批评指正。

陈德俊

2014年12月

目 录

概 述 / 1

第 1 章 半喂入联合收割机新技术 / 4

1.1 收割输送部 / 4

1.1.1 适应往复、绕圈和中分双割 / 4

1.1.2 割茬高度跟踪机构及收割台控制 / 6

1.1.3 扶禾机构 / 9

1.1.4 确保输送有序无故障 / 10

1.1.5 收割输送部整体开启 / 12

1.2 脱粒清选部 / 12

1.2.1 籽粒处理 / 12

1.2.2 提高清选精度,减小功耗 / 16

1.2.3 确保籽粒损失最小,提高脱净率 / 18

1.2.4 脱粒能力增强技术 / 21

1.2.5 提高作业效率,确保清选性能稳定 / 23

1.3 底盘行走部 / 25

1.3.1 1996 年收割机行走系统新技术 / 25

1.3.2 组合式履带驱动链轮 / 26

1.3.3 恒定驱动系统(FDS) / 26

1.3.4 四液压缸水平调节系统 / 27

1.4 操纵控制部 / 28

1.4.1 侧置操纵手柄 / 29

1.4.2 轻松收割按钮 / 29

1.4.3 自动副变速机构 / 30

- 1.4.4 导杆遥控操作机构 / 30
- 1.4.5 可变离合器控制传动装置(VCCT) / 31
- 1.4.6 电控可变式离合器转向(EVCCT)系统 / 31
- 1.5 动力及其他 / 33
 - 1.5.1 增大配套发动机的功率 / 33
 - 1.5.2 共用蓄压室发动机 / 33
 - 1.5.3 轻小型半喂入机开发 / 34
 - 1.5.4 后置监控器 / 35
 - 1.5.5 驾驶室门滑动开闭机构 / 35
 - 1.5.6 提高夜间作业性能 / 36
 - 1.5.7 提高维护保养方便性 / 36
 - 1.5.8 缩短转向和卸粮等辅助作业时间 / 38
- 1.6 性能与成本 / 38
 - 1.6.1 1996 年半喂入联合收割机的作业性能 / 38
 - 1.6.2 6 行半喂入联合收割机的作业性能 / 38
- 1.7 几种新机型 / 40
 - 1.7.1 带有收获量测定装置的联合收割机 / 40
 - 1.7.2 信息化联合收割机开发 / 40
 - 1.7.3 高效联合收割机开发 / 40
- 1.8 研究开发动向 / 41
 - 1.8.1 1997 年提出提高联合收割机的性能 / 41
 - 1.8.2 2002 年提出增大配套发动机功率 / 42
 - 1.8.3 2005 年提出发动机废气排放应满足排放标准要求 / 43
 - 1.8.4 2007 年提出零件材料应符合环保要求 / 44
 - 1.8.5 2009 年提出节能和通用化设计 / 44
 - 1.8.6 2010 年提出提高安全性,开发测定生物体信息的联合收割机 / 45

第 2 章 全喂入(普通型/通用型)联合收割机新技术 / 47

- 2.1 大型全喂入联合收割机的结构特点 / 47

2.1.1	割台 / 47
2.1.2	脱粒清选部分 / 49
2.1.3	粮箱及卸粮装置 / 49
2.1.4	行走机构 / 49
2.1.5	发动机 / 50
2.1.6	其他 / 50
2.2	大型全喂入联合收割机的性能 / 50
2.3	全喂入通用型联合收割机的技术进步 / 51
2.3.1	传统横置轴流滚筒存在的问题 / 51
2.3.2	全喂入联合收割机的改进(久保田) / 51
2.3.3	脱粒装置的改进 / 52
2.3.4	联合收割压捆机开发 / 53
2.3.5	梳子齿式脱粒机构 / 54
第3章	相关理论研究(1) / 56
3.1	联合收割机切割器驱动装置的力学模型及其验证 / 56
3.1.1	序言 / 56
3.1.2	割台的振动降低法和验证试验 / 57
3.1.3	无秩序时间序列分析 / 61
3.1.4	时间序列分析结果和考察 / 65
3.1.5	结论 / 66
3.2	关于轴流脱粒机的研究 ——被脱粒物脱粒室内的运动分析 / 67
3.2.1	序言 / 67
3.2.2	理论分析 / 68
3.2.3	试验装置和方法 / 74
3.2.4	试验结果和分析 / 76
3.2.5	结论 / 85
3.3	联合收割机清选系统谷粒流模型 / 85
3.3.1	序言 / 85
3.3.2	试验装置和方法 / 87

- 3.3.3 试验结果和分析 / 93
 - 3.3.4 结论 / 95
 - 3.4 用有限体积法的联合收割机脱粒装置分选风速的数值分析 / 96
 - 3.4.1 序言 / 96
 - 3.4.2 试验方法 / 97
 - 3.4.3 试验结果和分析 / 105
 - 3.4.4 结论 / 107
 - 3.5 用于预测履带式车辆转向阻力的理论模型 / 108
 - 3.5.1 序言 / 108
 - 3.5.2 理论方法 / 109
 - 3.5.3 试验方法 / 117
 - 3.5.4 试验结果和讨论 / 119
 - 3.5.5 结论 / 121
 - 3.6 关于站秆脱粒的研究(1)
 - 水稻收获性能试验 / 122
 - 3.6.1 序言 / 122
 - 3.6.2 站秆脱粒收割台 / 123
 - 3.6.3 站秆脱粒联合收割机 / 130
 - 3.6.4 结论 / 135
 - 3.7 关于站秆脱粒的研究(2)
 - 小麦性能试验 / 136
 - 3.7.1 站秆脱粒收割台 / 137
 - 3.7.2 站秆脱粒联合收割机 / 142
 - 3.7.3 站秆脱粒残秆处理方法的探讨 / 146
 - 3.7.4 结论 / 149
- 第4章 相关理论研究(2) / 151**
- 4.1 基于谷物籽粒流量变化调整清选风机的研究 / 151
 - 4.1.1 概述 / 151
 - 4.1.2 试验装置和试验方法 / 152

- 4.1.3 试验结果 / 153
- 4.2 清选风作用下稻谷飞行轨迹研究 / 155
 - 4.2.1 水稻籽粒在空气中运动的动力学方程 / 156
 - 4.2.2 水稻籽粒的阻力和升力系数 / 157
 - 4.2.3 终端速度计算 / 159
 - 4.2.4 水稻籽粒在清选室中的运动轨迹 / 159
 - 4.2.5 运动轨迹的仿真计算 / 160
 - 4.2.6 空气动力特性等效球体模型 / 161
- 4.3 联合收割机清选装置设计计算 / 162
 - 4.3.1 概述 / 162
 - 4.3.2 清选装置处理的混合物的构成 / 164
 - 4.3.3 主要清选机构的尺寸选择和计算 / 165
- 4.4 通用型联合收割机的开发研究 / 167
 - 4.4.1 部件试验与通用型联合收割机的试制 / 167
 - 4.4.2 水稻收获试验 / 177
 - 4.4.3 麦类收获试验 / 182

参考文献 / 187

概 述

在水稻生产过程中,收获作业是用工量最多、劳动强度最大的作业,水稻收获机械化因而受到高度重视。在联合收割机研发方面,日本首先引进国外的小麦联合收割机进行水稻收获试验,但由于其机型体积大而笨重,不适应田块小、土壤承压力低的水田作业,因此开始自行研发小型水稻联合收割机。该联合收割机有3个特征:一是受国外技术的启发采用半喂入收获方法,即只把稻穗喂入收割机脱粒而茎秆不喂入(中国于1957年发明了世界上第一台半喂入谷物联合收割机,样机于1958年在莱比锡国际博览会上展出);二是模仿人工收割水稻的动作设计收割台;三是用接地面积大的履带替代轮子。通过多年反复试验研究,日本于1968年成功研发了实用化的半喂入水稻联合收割机,并将其用于农业生产,经大面积生产实践不断完善。为适应除水稻以外多种作物的收获,日本又开发了纵轴流式全喂入通用型联合收割机,并进行了站秆脱粒联合收割机的试验研究。日本在水稻联合收割机研发过程中创造了许多新技术,日本学者对联合收割机研究深入细致发表了不少高水平的学术论文。苏联在水稻收获机械化方面也进行了很多试验研究,开发了履带式水稻联合收割机(如СКД-5Р),出版了Э. В. Жалинин的专著《水稻收获机械化》等。苏联《农业机械设计手册》中关于联合收割机清选装置的设计计算方法的论述被广泛引用。

日本水稻生产的气候环境、土壤条件、种植方式和中国基本相同,其水稻联合收割机产品在中国适应性很强。日本水稻联合收割机的研发经历了一个曲折漫长的过程。

日本农作物种植面积约为424.4万 hm^2 ,约占国土面积的11.3%;2010年农业人口约为260万人,约占总人口的2.0%,其中65岁以上的农业人口占农业人口总量的61.6%。水稻种植面积为162.4万 hm^2 ,约占总种植面积的

38%，水稻总产量为 882.30 万 t，单产约为 $5\,432.88\text{ kg/hm}^2$ 。

日本的 2 行和 3 行半喂入联合收割机属小型机，适用于种植规模小于 1 hm^2 的农户，2008 年该类收割机约占收割机总量的 70%；4 ~ 6 行机属大型机，适用于种植规模大于 1 hm^2 的农户。

在 1966 年之前，日本的水稻收获靠人工和固定式脱粒机完成，1966 年后，水稻收获用割捆机和移动式脱粒机完成。1968 年成功开发集收割、脱粒于一体的联合收割机。久保田于 1980 年开发了 4 行机(CRX 系列)，1988 年开发了 5 行机(RI 系列)，1994 年开发了 6 行机(SR 系列)。现在 ER 系列 6 行机最高作业速度已达到 1.9 m/s 。

1995 年水稻收获机械化情况如下：

水稻收获作业已近 100% 实现了机械化，特别是 1995 年以来，由半喂入联合收割机和普通型(全喂入)联合收割机收割的比例年年增加，已经从 1975 年的 35% 增加到 1995 年的 85% 以上(见图 1)。“水稻收获就用联合收割机”的说法已不再言过其实。

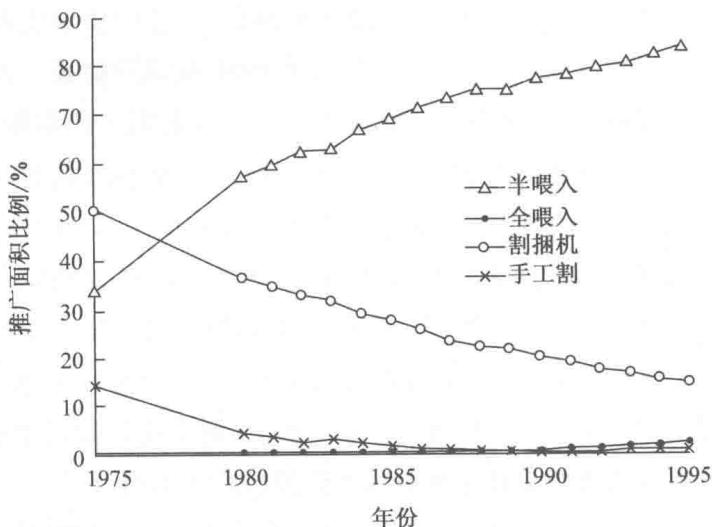


图 1 不同收获方式的比例

联合收割机有半喂入和全喂入型 2 种，由于各种新技术不断在联合收割机上应用，水稻收割的效率在不断地提高。

从 20 世纪 60 年代末日本开始应用半喂入联合收割机，到 1995 年，已普及应用约 120 万台，半喂入联合收割机成为水稻收获的主力机型。之后又以

增大作业的速度、提高作业性能、提高安全性和舒适性为目标开发研究,水稻收获已实现高精度化。

日本半喂入联合收割机历年生产情况如图2所示,全喂入联合收割机历年生产情况如图3所示。

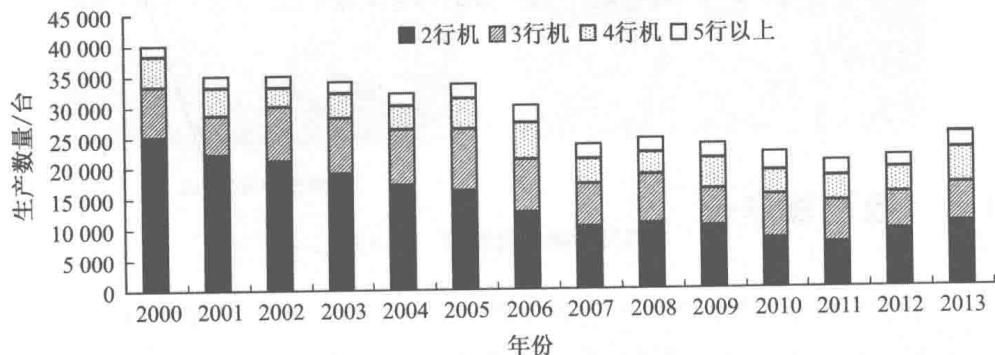


图2 日本半喂入联合收割机历年生产情况

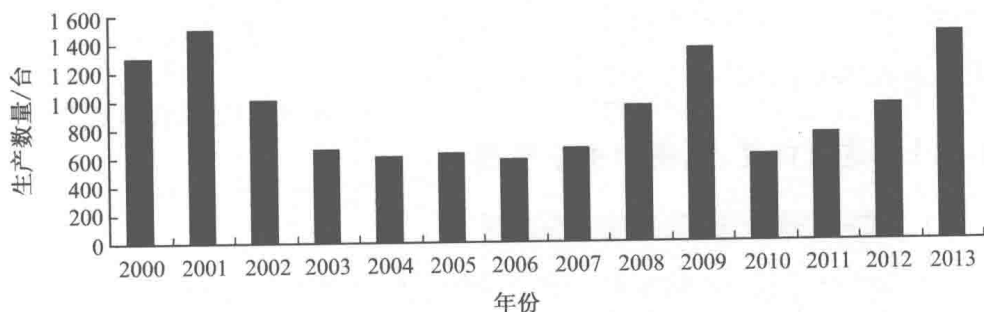


图3 日本全喂入联合收割机历年生产情况

半喂入联合收割机新技术^[1~4]

1.1 收割输送部

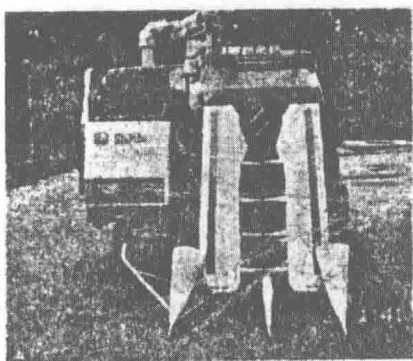
采用半喂入联合收割机收获的作物在扶禾、拨禾、切割和输送交接给夹持喂式链之前,都集中在收割部。作物经扶禾指扶直,由拨禾星轮拨向往复式切割器支承切割后,由穗端和茎端两条输送链集束后送至安装在脱粒清选部的喂式夹持链的交接口,即完成作物传统意义上(脱粒前)的输送作业。近年来收割输送部的技术进步有以下几方面。

1.1.1 适应往复、绕圈和中分双割

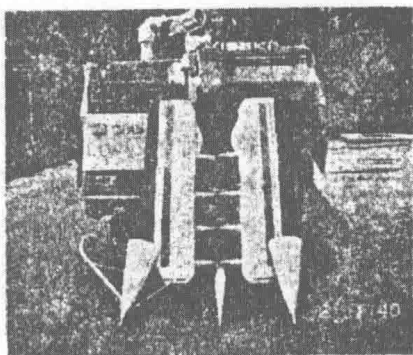
1. 收割部偏移机构

半喂入联合收割机的收割行数受到脱粒形式的限制,但由于脱粒机构的技术进步,市售半喂入联合收割机已达到6行,现在从适应丘陵山区的小田块到面积超过1 hm²的大田块作业的半喂入联合收割机系列产品已形成。

为了提高收割机的作业性能,开发了应用切割装置的偏移机构,该偏移机构用于收割田埂边作物和中分收割(即在田块中间挑选适合机械收割的地段进行收割)。如2行的半喂入联合收割机切割器安装在履带内侧(即履带比切割器宽),可避免收割田埂边的水稻时右履带跑上田埂,收割机履带将水稻压倒。另外,中分收割时由于切割器和履带的位置配置不当,也容易引起机器压倒水稻的问题,为此开发了可左右移动150 cm的切割机构,如图1.1所示。这项技术多年前已在一些机器上应用,但没有推广。目前为了进一步提高收割机的作业性能,大多数小型半喂入联合收割机都装上了切割装置偏移机构。



(a) 向右移的状态



(b) 向左移的状态

图 1.1 收割台的偏移机构

2. 割幅增宽机构

2 行半喂入联合收割机由于具有收割台偏移机构,所以由田边开始收割或从中间开始收割都比较适应。但是,从降低成本和操作简易化角度看,用 3 行以上的联合收割机实现的称之为“与机器等宽收割”的方案也可由 2 行收割机来实现。其方法是将右侧分禾器向右侧扩出。配合扶禾机构和输送机构的改进,割幅从 600 mm 扩大到 905 mm 的新机型已开发成功,如图 1.2 所示。

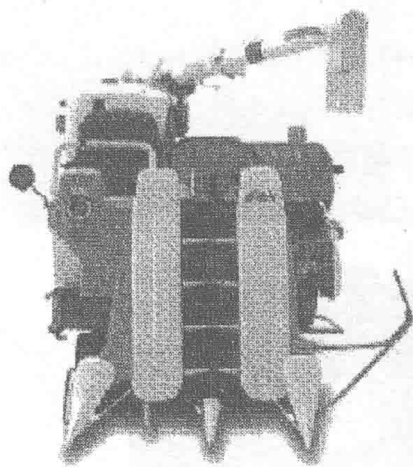


图 1.2 割幅增宽机构(久保田)

3. 遥控分禾器

机器右侧分禾器左右方向可以调整的“可变式遥控分禾器”已开发成

功。其分禾器距离可以在驾驶座上遥控改变,如图 1.3 所示。

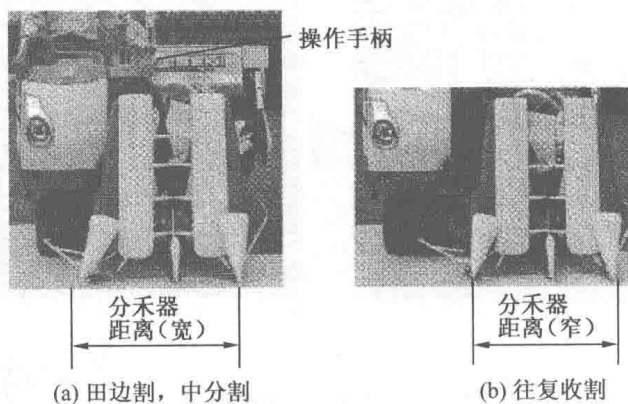


图 1.3 遥控分禾器(洋马农机)

由于操作台手柄可以一杆遥控操作,已割一侧的分禾器可以左右调节,割幅可以从 2 行变为 3 行,田埂边的禾秆能流畅地割取,因此,地头收割方便,田块四角人工收割面积减少。可调节割幅机构的应用可适应不同的收割方法(往复收割、绕圈收割和中分收割),并适应操作者的高龄化。

1.1.2 割茬高度跟踪机构及收割台控制

1. 割茬高度跟踪机构

对收割机不熟悉的用户在操作时,易将收割台前部插入地面,为了消除该隐患,在收割台下设了滑橇,在干田中收割台下降接地后,即使不操纵手杆,支承弹簧也可减轻收割台的重量,而且由于滑橇分散压力,收割台整体上下摇动,这样可以防止插入地面突起。该产品已经开发成功,如图 1.4 所示。

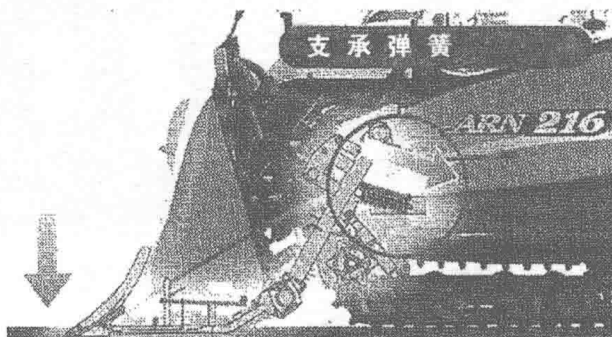


图 1.4 滑橇(久保田)

2. 收割台控制

为了适应地面的起伏,自动测定地面高度以防分禾器插入泥土,在机器上安装了“超声波传感器”,其原理是将超声波发射到地面,根据地面的反射波可检测出切割器离地高度并实现割茬高度控制,但由于信号发射部和接收部黏上泥土后,超声波传感器受到信号干扰,其工作很不稳定。因此,开发了“接地式传感器”作为收割配合装置。其原理是传感器下部装有“滑橇”并与地面接触,在收割机作业时由于地面对滑橇的反作用力,使滑橇上抬,其上抬量由传感器测定并控制在一定范围内,从而实现割茬高度恒定并防止分禾器尖插入地面。

收割部增设跟踪地面起伏的“收割控制装置”如图 1.5,1.6 和 1.7 所示,即使操作熟练程度低的操作者也不会对此感到有压力。这样的设计应用在大型联合收割机上也可称为“轻松控制”。上述“轻松控制”由于收割部有 2 处设有收割高度传感器,分禾器和地面的距离能自动检测,割茬高度随之自动调整,因此,高速作业时不必担心机器零件插入地面,从而轻松进行收割作业。

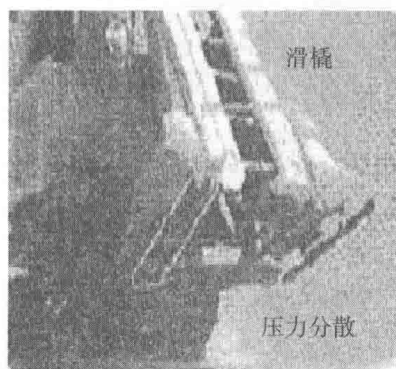


图 1.5 滑橇分散压力



图 1.6 接地式割茬高度传感器



图 1.7 收割控制装置(久保田)