现代蔬菜育苗与栽植技术及装备

金鑫◎著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

现代蔬菜育苗与栽植技术及装备

金　鑫　著

机 械 工 业 出 版 社

本书主要包括现代工厂化育苗技术概述、常见作物的钵苗机械力学特性分析、移栽机关键部件分析与设计及钵苗与栽植器互作特性研究分析等内容。本书作者长期从事移栽机械，特别是蔬菜移栽机械化技术研究，结合自己近年在移栽领域的科研经历，对采用基于钵苗力学特性的研究新思路，以及全自动移栽技术所需的概念、思路和方法进行总结，以解决自动移栽成功率问题为核心，全面论述了智能移栽的关键技术和装备设计原理。本书可作为移栽机械科研和教学工作者的参考资料，也适合农业机械化专业、农业机械专业的学生和部分技术推广人员阅读。

图书在版编目（CIP）数据

现代蔬菜育苗与栽植技术及装备/金鑫著. —北京：机械工业出版社，2018.10

ISBN 978-7-111-60879-0

Ⅰ.①现… Ⅱ.①金… Ⅲ.①蔬菜园艺 Ⅳ.①S63

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 209712 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：孙 鹏 责任编辑：孙 鹏

责任校对：郑 婕 王 延 封面设计：陈 沛

责任印制：张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184 mm × 260 mm · 16.5 印张 · 404千字

0001—2000册

标准书号：ISBN 978-7-111-60879-0

定价：59.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

网络服务

机 工 官 网：www.cmpbook.com

机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

金 书 网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



前　言

我国是世界上最大的蔬菜生产和消费国，约有60%的蔬菜采用育苗移栽方式种植。蔬菜钵苗移栽技术是提高蔬菜产量、降低蔬菜成本的关键技术。但目前，蔬菜育苗移栽主要依靠人工进行，研制的移栽机多为半自动移栽机，栽植效率低下；而对于自动移栽机的研究还处于探索阶段，未有成型的机型应用。此种情况严重制约了我国蔬菜产业的发展。因此对蔬菜移栽技术进行理论及应用研究，设计出高效、运行可靠、成本低、适合我国国情的自动移栽机具有十分重要的意义。当前，我国的农机装备在自主研发设计中仍然普遍停留在粗放式设计和经验式设计阶段，严重缺乏自主核心技术和针对我国农业生产特点开展的基础理论研究。同时，蔬菜移栽机械领域的著作还比较少，大多数能查阅到的手册也较为陈旧，这就是作者写作本书的总体背景和原因所在。作者真诚地希望，本书能给蔬菜移栽机械研究及开发的工作者提供参考和启发。

本书是在课题组的共同努力下，将本团队在过去十年中围绕蔬菜移栽开展的大量研究工作进行系统梳理后写作而成。全书在内容设置上考虑蔬菜移栽科研、生产应用的急需，反映了作者近几年来在该研究中所获得的理论方面的成果，并对相关技术的原理、概念以及设计计算做了充分阐述。在章节的安排上，第1~2章对国内外移栽机研究概况及蔬菜工厂化育苗技术及装备进行了分析整理，第3章对钵苗移栽基本特性展开试验研究，第4~6章则重点阐述了课题组近年来在全自动蔬菜移栽机钵苗输送机构、取苗机构和栽植机构设计的研究过程及结论。第7章专门对钵苗与栽植器互作特性开展了研究分析。

本书理论分析、基本原理和方法具有鲜明特色，密切联系科研和生产实际，内容丰富，实例涉及面广，可作为从事蔬菜移栽机研究人员的参考书，也可作为相关专业的本科生选修课和研究生专业课教材，有助于读者利用学过的基础知识，结合专业，掌握蔬菜移栽机械问题的分析建模和综合能力，在方法上有利于培养读者的自学能力和创造性。

本书的研究工作得到了国家重点研发计划项目"高速栽植技术装备研发"（编号：2017YFD0700800）、国家自然科学基金项目"高速移栽苗-机互作机理及钵苗状态检测方法研究"（编号：51875175）、河南省高校科技创新人才计划"蔬菜移栽装备智能栽插技术研究"（编号：19HASTIT021）的资助，特此表示感谢。

作者还要特别感谢团队的研究生刘卫想、陈凯康等，他们为本书的出版做了大量的工作，在编写过程中还得到了项目团队专家们的指导与帮助，在此一并表示感谢。

由于作者水平与经验有限，书中难免有疏漏及不当之处，恳请广大读者和同仁提出批评指正，不胜感谢。



目　　录

前　言

第 1 章　概论 …… 1

1.1　本书简介 …… 1

1.2　国外移栽机研究概况 …… 1

1.2.1　半自动移栽机研究现状 …… 2

1.2.2　全自动移栽机研究现状 …… 4

1.3　国内移栽机研究概况 …… 7

参考文献 …… 10

第 2 章　工厂化育苗技术及装备 …… 11

2.1　工厂化育苗技术优势 …… 11

2.2　穴盘苗生产流程 …… 15

2.2.1　穴盘规格的选择 …… 15

2.2.2　基质选择 …… 16

2.2.3　播种环节 …… 17

2.2.4　苗期管理 …… 20

2.3　穴盘育苗机械设备 …… 22

2.3.1　基质加工机械 …… 22

2.3.2　精密播种机械 …… 26

2.3.3　育苗温室设备 …… 34

2.3.4　控制系统 …… 40

参考文献 …… 43

第 3 章　钵苗基本特性研究 …… 45

3.1　辣椒钵苗物理特性试验研究 …… 45

3.1.1　试验仪器 …… 45

3.1.2　试验材料与方法 …… 45

3.1.3　试验结果与分析 …… 47

3.2　辣椒钵苗钵体抗压特性试验研究 …… 52

3.2.1　试验研究材料 …… 52

3.2.2　试验仪器 …… 52

3.2.3　试验设计 …… 53

3.2.4　试验结果与分析 …… 54

3.3　辣椒钵苗与栽植嘴壁面摩擦系数试验研究 …… 63

3.3.1　试验研究材料 …… 63

3.3.2　试验仪器 …… 64

3.3.3　试验设计 …… 64

3.3.4　钵苗与栽植嘴壁面间摩擦系数 … 65

3.4　番茄钵苗钵体抗压特性试验研究 …… 70

3.4.1　试验条件 …… 70

3.4.2　钵体抗压性能试验结果与分析 … 71

3.5　番茄钵苗钵体蠕变特性试验研究 …… 75

3.5.1　试验条件 …… 75

3.5.2　试验结果与分析 …… 76

3.6　番茄钵苗钵体拉拔力试验研究 …… 76

3.6.1　试验条件 …… 76

3.6.2　试验结果与分析 …… 78

参考文献 …… 80

第 4 章　钵苗输送机构研究分析 …… 81

4.1　国外蔬菜穴盘钵苗输送装置的发展概况 …… 81

4.2　国内蔬菜穴盘钵苗输送装置的发展概况 …… 85

4.2.1　国内半自动蔬菜钵苗输送装置发展概况 …… 85

4.2.2　国内自动蔬菜钵苗输送

需要全本请访问 www.ertongbook.com



装置研究概况 …… 86
4.3 钵苗输送机构设计要求 …… 93
4.4 蔬菜钵苗输送机构总体方案设计 …… 93
4.4.1 供苗方案选择 …… 93
4.4.2 供苗系统最优方案设计 …… 95
4.5 苗盘输送机构理论分析 …… 96
4.5.1 横向移动机构运动分析 …… 96
4.5.2 纵向移动机构运动分析 …… 100
4.6 苗盘输送机构设计 …… 102
4.6.1 送盘机构方案设计 …… 102
4.6.2 驱动元件设计 …… 102
4.6.3 同步带机构设计 …… 103
4.6.4 穴盘定位机构设计 …… 105
4.6.5 步进电动机选型 …… 106
4.7 控制系统设计与开发 …… 107
4.7.1 系统机构工艺过程及执行机构协调设计 …… 107
4.7.2 控制系统总体设计 …… 108
4.7.3 PLC 控制系统硬件选型 …… 108
4.7.4 控制系统软件设计 …… 111
4.8 蔬菜钵苗自动输送机构三维建模与性能试验 …… 116
4.8.1 虚拟模型建立与样机试制 …… 116
4.8.2 样机试制与性能试验指标制定 …… 119
4.8.3 自动送盘机构性能试验 …… 120
参考文献 …… 124

第 5 章　蔬菜移栽取苗机构研究分析 … 126

5.1 国内、外取苗机构研究现状 …… 126
5.1.1 国外取苗机构研究现状 …… 126
5.1.2 国内取苗机构研究现状 …… 130
5.2 取苗机构分类及特点 …… 135
5.2.1 机械手式取苗机构 …… 136
5.2.2 顶杆式取苗机构 …… 147
5.2.3 气吸式取苗机构 …… 147
5.3 机械手式取苗机构理论分析与设计仿真 …… 148
5.3.1 蔬菜穴盘苗取苗机理分析 …… 148
5.3.2 取苗机构结构设计 …… 148
5.3.3 取苗机构运动学和动力学分析 …… 149
5.3.4 人机交互优化软件的开发 …… 155
5.3.5 机构参数对运动和动力学特性影响分析 …… 155
5.3.6 机构运动参数优化 …… 157
5.3.7 取苗执行部件分析与设计 …… 158
5.3.8 取苗机构三维建模与仿真分析 …… 161
5.4 顶杆式取苗机构研究分析 …… 165
5.4.1 顶杆式自动取苗装置的整体设计 …… 166
5.4.2 建立顶苗机构理论模型 …… 168
5.4.3 夹取苗机构工作流程 …… 173
5.4.4 钵苗顶出力试验研究 …… 174
5.4.5 钵苗顶苗机构设计 …… 178
5.4.6 苗爪翻转机构设计 …… 178
5.4.7 取苗机械手几何建模 …… 179
5.4.8 取苗爪仿真分析 …… 180
5.4.9 取苗装置工作性能试验研究 …… 184
参考文献 …… 192

第 6 章　栽植机构分析研究 …… 195

6.1 七杆式栽植机构分析研究 …… 195
6.1.1 移栽过程运动分析 …… 195
6.1.2 运动仿真模型的建立 …… 198
6.1.3 主要参数对钵苗移栽机构运动特性影响分析 …… 199
6.1.4 参数优化 …… 202
6.2 凸轮摆杆式栽植机构分析研究 …… 205
6.3 移栽机构建模条件 …… 205
6.4 移栽机构对比分析 …… 206
6.5 凸轮摆杆式移栽机构与运动数学模型 …… 207
6.5.1 模型建立 …… 207
6.5.2 运动数学模型 …… 209
6.5.3 移栽机构 MATLAB 模型 …… 212
6.6 凸轮机构仿真优化 …… 213
6.6.1 数学建模分析 …… 213
6.6.2 MATLAB 建模与优化 …… 215
6.7 计算机辅助分析工具的设计与开发 …… 218

6.8 移栽机构单因素运动分析 …… 218
6.8.1 影响栽植轨迹的因素选取 …… 218
6.8.2 传动比 i 对栽植轨迹的影响 …… 219
6.8.3 曲柄 CD（L_2）长度对栽植轨迹的影响 …… 220
6.8.4 曲柄 CD 的初始相位角 Φ_2 对栽植轨迹的影响 …… 221
6.8.5 摆杆 OA（L_1）对栽植轨迹的影响 …… 222
6.8.6 摆杆 OA 的初始相位角 Φ_1 对栽植轨迹的影响 …… 222
6.8.7 平行连杆 AG（BF 或 L_5）对栽植轨迹的影响 …… 223
6.9 移栽机构因素正交分析 …… 224
6.10 移栽机构较优栽植点的速度和加速度分析 …… 228
6.10.1 栽植点速度仿真分析 …… 228
6.10.2 栽植点加速度仿真分析 …… 229
6.11 移栽机构虚拟模型验证 …… 229
6.11.1 三维模型 …… 229
6.11.2 仿真分析 …… 229
参考文献 …… 232

第7章 钵苗与栽植器互作特性研究分析 …… 233

7.1 基于高速摄像的移栽过程中钵苗下落试验 …… 233
7.1.1 栽植机构的选用 …… 233
7.1.2 试验材料 …… 234
7.1.3 试验设备 …… 234
7.1.4 试验方法 …… 234
7.1.5 试验结果与分析 …… 235
7.2 栽植机构运动学分析 …… 237
7.2.1 栽植机构运动学模型的建立 …… 238
7.2.2 鸭嘴栽植器运动学模型的建立 …… 238
7.3 钵苗下落过程中钵苗与栽植器互作过程动力学模型的建立 …… 238
7.3.1 钵苗在空中自由下落过程 …… 239
7.3.2 钵苗与栽植器壁面碰撞过程 …… 240
7.3.3 钵苗在栽植器内做斜抛运动过程 …… 242
7.3.4 钵苗与栽植器鸭嘴壁面碰撞过程 …… 245
7.3.5 钵苗在栽植器鸭嘴内的平面运动过程 …… 246
7.3.6 钵苗沿栽植器鸭嘴壁面下滑过程 …… 248
7.4 鸭嘴－钵苗互作过程运动分析 …… 249
7.4.1 钵苗运动过程辅助分析界面 …… 249
7.4.2 最佳参数组合下的辣椒钵苗运动过程分析结果 …… 249
7.4.3 钵苗运动过程分析 …… 249
7.5 最佳栽植机构下钵苗下落试验 …… 252
7.5.1 试验材料及设备 …… 252
7.5.2 试验方法 …… 253
7.5.3 试验结果分析 …… 253
参考文献 …… 254

第8章 总结与展望 …… 255

8.1 全书总结 …… 255
8.2 后续研究展望 …… 257

第 1 章　概　　论

1.1　本书简介

本书在内容设置上考虑蔬菜移栽机械科研、生产应用的急需，反映了作者近几年来在蔬菜移栽机械研究中获得的理论成果，并对相关技术的原理、概念以及设计计算做了充分阐述；在内容设置上，本书融入了现代移栽机械设计的新方法、新理念，理论联系实际，重点论述了研究的手段和方法，对移栽过程中所用到的机械进行了介绍，并针对其中的一些机械进行了详细的分析研究。

书中对国内外移栽机械研究现状进行整理，并结合目前发展现状和研究动态，提出了我国移栽机械发展中存在的突出问题和今后蔬菜机械化移栽的发展趋势；根据移栽农艺技术的要求，按照农机与农艺相结合的原则，总结了现代工厂化育苗技术方案及所需关键装备，为蔬菜移栽的发展提供技术储备和装备支撑；通过对蔬菜穴盘苗的抗压特性、物理力学特性及蔬菜钵苗与栽植嘴壁面摩擦系数试验研究，获得了穴盘取苗力的影响因素和较佳的取苗作业条件；采用运动学和动力学优化分析、结构设计计算、虚拟模型装配及三维仿真验证等方法对自动移栽输送机构和取苗机构进行设计研究，完整呈现了蔬菜移栽机钵苗输送机构和取苗机构设计全过程；栽植机构作为将钵苗植入田间的最终工作部件，其性能的好坏对钵苗的栽植质量起到了至关重要的作用，因此书中对移栽机的栽植机构进行分析，采用运动学和动力学优化分析、凸轮机构仿真优化、移栽机构单因素运动分析和正交分析的方法对栽植机构关键部件参数进行优化设计，达到了较好的栽植效果；最后，基于高速摄影栽植过程中钵苗下落试验，将钵苗在栽植器内的运动过程分为六个运动阶段，并对各阶段鸭嘴－钵苗互作过程进行动力学和运动学分析，最终试验验证栽植机构作业性能可靠。

本书理论分析、基本原理和方法具有鲜明特色，密切联系科研和生产实际，内容丰富，可作为从事蔬菜移栽机械研究人员的参考书，也可作为相关专业的本科生选修课和研究生专业课教材，有助于读者利用学过的基础知识，结合专业，掌握农机问题的分析建模和综合能力，在方法上有利于培养读者的自学能力和创造性。

1.2　国外移栽机研究概况

国外移栽机的发展起步相对较早，20 世纪 80 年代，半自动的移栽机械就已在农业生产中得到了广泛的使用，并且国外许多国家已经开始了对取苗系统的自动化研究，近 20 年，一些国家已经研制出了全自动移栽机，目前为止，欧美一些较发达国家，大部分的蔬菜和几乎全部的花卉生产都实现了机械化的育苗和移栽。

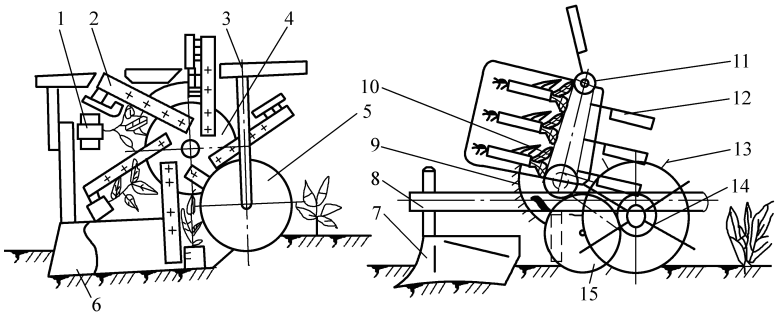
其中，无论是半自动还是全自动的移栽机均有一套栽植机构，其作为将秧苗植入田间的最终机构，对栽植质量有直接的影响，是移栽机设计的重中之重。

1.2.1 半自动移栽机研究现状

按照栽植机构的结构形式，移栽机主要类型有钳夹式、挠性圆盘式、导苗管式、平行四杆圆盘式、多连杆式和齿轮行星轮系等几种。

1. 钳夹式移栽机

钳夹式移栽机如图 1-1 所示，其中包括圆盘夹式（图 1-1a）和链夹式（图 1-1b）两种机型，主要工作部件有圆盘夹式或链夹式栽植器、开沟器和覆土镇压轮等。该类移栽机进行移栽作业时，一般通过人工投苗的方式将秧苗放置在随栽植盘或环形链转动的秧夹上，在秧苗随秧夹转动至由开沟器开好的穴沟时，秧苗根部恰好进入穴沟内，秧夹此时受到回位弹簧的作用力而被打开，秧苗落入穴沟，然后在开沟器回流土壤和覆土镇压装置的共同作用下将秧苗定植。



a) 圆盘夹式　　b) 链夹式

图 1-1　钳夹式移栽机

1—横向输送链　2、10—秧夹　3、8—机架　4—栽植盘　5、15—镇压轮　6、7—开沟器　9—滑道　11—环形链　12—钳夹　13—地轮　14—传动链

特点：该类移栽机结构简单，适合裸苗的移栽；栽植轨迹为类摆线，理论上能保证较好的直立度；移栽株距和栽植深度稳定，但是对株距的调整一般通过改变秧夹的数量来达到，因此调整起来相对比较困难；进行移栽作业时，秧夹需夹住秧苗的茎部进行移栽作业，在此过程中极易对秧苗造成损伤；作业时需采用人工的方式将秧苗放置在秧夹上，栽植速度一般为 30 ~45 株/min，且在加快栽植效率时极易出现漏苗的现象，效率低，劳动强度大。

2. 挠性圆盘式移栽机

挠性圆盘式移栽机如图 1-2 所示，通过能够产生弹性变形的两片挠性圆盘来实现秧苗的夹持与输送。进行移栽作业时，通过手工将秧苗放置在输送带上，然后通过输送带的传动功能将秧苗送入到挠性圆盘张开处，之后随圆盘转动，当带有秧苗的挠性圆盘转动至开好的穴沟时随即将苗放开，完成秧苗的栽植。

特点：该种类型的移栽机不受苗夹数量的限制，对秧苗株距有较好的适应性，但是株距和栽植深度无法得到保证，差异较大，容易出现倒伏及埋苗的问题，适用于裸苗及纸筒

移栽，具有结构简单、成本低的优点。



图 1-2 挠性圆盘式移栽机

1—送秧传送带 2—挠性圆盘

3. 导苗管式移栽机

导苗管式移栽机结构如图 1-3 所示，主要由投苗筒、导苗管、开沟器、平土器、镇压轮等组成。工作时，通过人工或机械方式将秧苗放置到投苗筒内，随投苗筒旋转至落苗位置时，投苗筒打开，秧苗在自身重力的作用下落入导苗管内，然后沿导苗管落入开好的穴沟内，在镇压轮的作用下完成秧苗的栽植。

特点：秧苗在整个运动过程中较为自由，对秧苗的损伤较小；适应性较广、效率较高，一般能达到 60 ~ 70 株/min。但该类型的移栽机无法实现膜上移栽，并且在移栽过程中易产生倒伏和埋苗等现象。

4. 平行四杆圆盘式移栽机

平行四杆圆盘式移栽机如图 1-4 所示，该类移栽机适合地膜覆盖后的膜上打孔栽植作业，适合对钵体苗、纸筒苗的移栽，一般由偏心圆盘、栽植器、镇压轮等部件组成。移栽作业时通过人工将苗放至投苗筒内，待置有钵苗的投苗筒转至落苗处时，钵苗在自身重力的作用下落入栽植器内，当栽植器运行到最低处时，栽植器打开，钵苗落入被栽植器打好的穴孔内，最后通过镇压轮的作用完成对钵苗的覆土镇压，由此完成整个栽植过程。

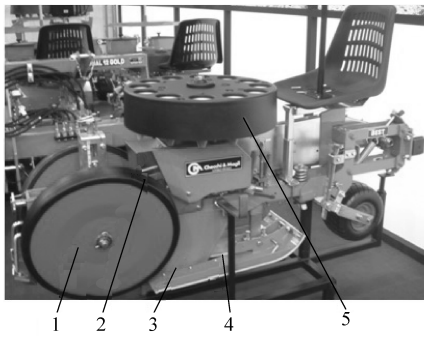


图 1-3 导苗管式移栽机

1—镇压轮 2—导苗管 3—开沟器

4—平土器 5—投苗筒

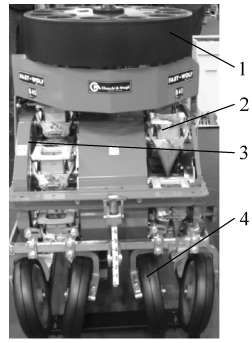


图 1-4 平行四杆圆盘式移栽机

1—投苗筒 2—栽植器

3—偏心圆盘 4—镇压轮

特点：栽植器的动轨迹为类摆线，导致栽植器回程时过于前倾，与完成定植的钵苗产生干涉，甚至将苗带回，造成钵苗的倒伏及损伤。作业速度过高时，还会增加钵苗的漏栽率，影响栽植质量。

5. 多连杆式移栽机

多连杆式移栽机如图 1-5 所示。移栽机工作时采用人工将钵苗放入到投苗筒内，当投苗筒转至苗盘托架的空档时，钵苗在自身重力的作用下开始下落至鸭嘴式栽植器内，鸭嘴栽植器在多连杆式栽植机构的带动下做上下的往复运动，待栽植器运动至最低点时，被强

行打开，钵苗则落入栽植器插入土壤形成的栽植孔内，然后在回流土壤及镇压轮的作用下完成对钵苗的移栽。

特点：钵苗在鸭嘴栽植器内的运动是自由的，因此对钵苗的损伤较小，但对连杆的初始相位角进行调节时相对较为困难，栽植过程中栽植机构的转动惯性力相对较大，作业时振动较大，高速作业条件下钵苗的倒伏现象严重。

6. 齿轮行星轮系移栽机

齿轮行星轮系移栽机如图 1-6 所示，其栽植作业过程与多连杆式栽植机构的作业过程类似。

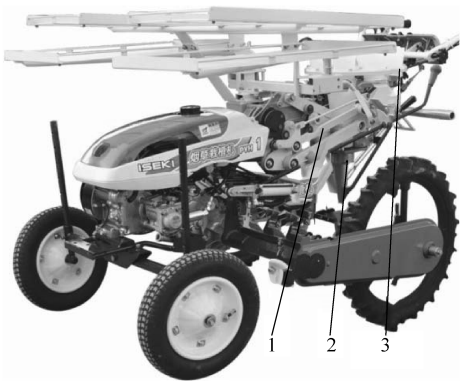


图 1-5　多连杆式移栽机

1—多连杆式栽植机构　2—鸭嘴栽植器　3— 投苗筒

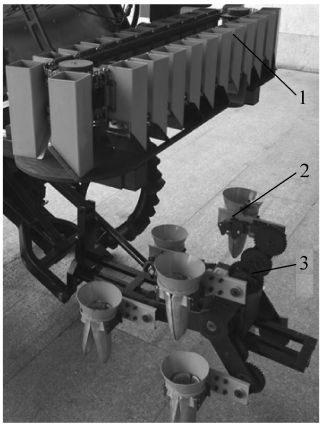


图 1-6　齿轮行星轮系移栽机

1—投苗筒　2—鸭嘴栽植器　3—齿轮行星轮系栽植机构

特点：钵苗在栽植器内的运动是自由的，因此，栽植过程中对钵苗的损伤相对较小；采用齿轮传动，栽植机构作业时速度和加速度的波动相对较小，运转平稳，栽植机构回转一周可以完成多次栽植动作，更易实现高速移栽。

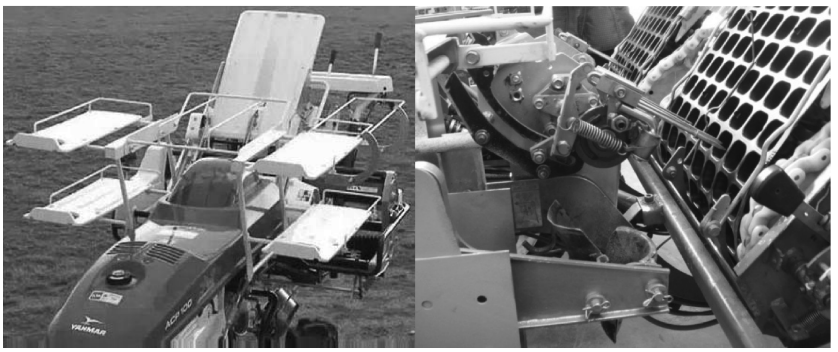
1.2.2　全自动移栽机研究现状

（1）日本自动移栽机

日本由于劳动力较为短缺、土地地块较小、蔬菜需求量巨大和生产成本较高等客观因素制约，其自动移栽机的研发以小型化、精密化和专用性为主要方向，因此需要劳动力少、劳动强度低、生产效率高的全自动移栽机在日本发展较为迅速。我国近几年从日本也引进了一些自动化程度较高的蔬菜移栽机，其中较为典型的机型是洋马（YANMAR）公司生产的蔬菜自动移栽机，如图 1-7 所示。

该机主要由苗盘托架、动力总成、供苗装置、取苗机构、栽植机构、动力传动机构和行走系统组成。移栽作业时，人工将苗盘放入供苗装置内，苗盘随供苗装置可实现纵向进给（两平行放置的同步链传动带动）和横向进给（双螺旋轴滑槽机构带动），取苗机构一直做回转式运动，带动尖部的取苗针以一定轨迹做往复运动，当到达取苗位置时取苗针插入盘穴将苗钵夹取出并向下运动，与此同时，栽植机构也以一定轨迹做往复运动，当取苗针夹带着钵苗运动到最低点时，栽植器正好到达最高点与之相匹配，将苗推入栽植器，而

需要全本请访问 www.ertongbook.com



a) 整机　　b) 取苗、栽植机构

图 1-7　洋马蔬菜自动移栽机

后植入大田，完成一个栽植过程，如此循环可实现蔬菜穴盘苗的自动移栽。目前，该类型移栽机在日本已推广使用，移栽成功率在 80% 以上，但由于机器结构较为复杂、成本高，工作部件易磨损，移栽效率提升空间有限等原因，并未在我国大量推广使用。

除此之外，日本的井关（ISEKI）、久保田（Kubota）等几大主要农机企业都进行了自动移栽机的研发，研制出了多款穴盘苗自动移栽机，可用于豆角、大蒜、卷心菜、大白菜等蔬菜的移栽。主要机型有：久保田（Kubota）的 A－500 型自动移栽机和鸭嘴式全自动膜上移栽机，井关（ISEKI）的 PR2 和 PVR－200 型自动移栽机，关东的 KTII－70 型自动移栽机，豆虎 TP－1 型自动移栽机。此类移栽机主要由秧箱机构、取苗机构、栽植机构以及部分控制系统组成，设计小型化，自动化程度和作业效率较高，但由于整体结构复杂、价格较贵、维护成本高，并且对育苗和整地要求也较高，并未在我国引进和推广使用。

（2）欧美自动移栽机

欧美等国由于农业从业人口较少，农业人口的人均耕地面积较大，且农业土地较为集中、地块较大等因素，旱地栽植机械的研究和应用更为普遍，其自动移栽机的研发以大型化、自动化和联合作业为主要方向，多采用机电液一体化系统，可同时进行多行作业，适用于大型农场。其中较为典型的机器有：

美国 Renaldo 公司研发的基于空气整根育苗盘的 SK20 蔬菜自动移栽机如图 1-8 所示。它针对特制的倒锥形硬质组合穴盘所育的小秧苗，采用负压取苗方式将苗自上向下吸出，然后沿着送苗管道导入栽植器。其缺点是苗盘价格过高，构造复杂，取苗时易致基质松散脱落，而且只能适合幼小秧苗移栽。与它类似的还有以色列研制的履带式全自动移栽机，先采用负压将整盘苗吸出，而后转移至同等空格的随动投苗器，进行二次投苗，该机可靠性差，且整机机构庞大，未能推广使用。



图 1-8　美国 Renaldo 自动移栽机

美国 RAPID 公司生产的 RTW 系列穴盘苗移栽机，其已在特定设施环境下实现产品化应用；澳大利亚威廉姆斯（Williames）公司生产的大型全自动蔬菜移栽机（图 1-9），只需要一人操作可同时进行 16 行移栽作业，自动化程度高。

澳大利亚 Transplant Systems 公司研发的 HD144 型自动移栽机（图 1-10），采用较为先进的滑针式取苗机械手，可在竖直放置的穴盘中一次取出 4 ~6 株钵苗，随后将钵苗转至输送杯中，由钵苗输送杯进行二次投苗，其特点是自动化程度高，作业速度较快，一次移栽可同时完成 4 ~8 行作业，但整机系统较为复杂，成本较高，对育苗和苗盘的要求苛刻；与此类似的还有英国皮尔逊（Pearson）公司生产的全自动移栽机（图 1-11），它采用穴盘水平放置、整行取苗方式来完成多行栽植。

意大利法拉利（Ferrari）公司生产的 FUTURA 系列全自动移栽机（图 1-12），其采用推杆从苗盘底部的透水孔将穴盘苗顶出，同时由一对 C 形的苗夹夹持住整个钵苗，然后送入旋转输送杯中，它的特点是自动化程度高，工作效率高，但整机成本较高，且必须采用硬质专用盘；与其类似的还有美国生产的 FMC 全自动移栽机，也采用推杆顶苗的方式取苗，不同之处是 FMC 自动移栽机将苗盘平置，二次投苗方式采用传送带输送。



图 1-9　澳大利亚威廉姆斯移栽机



图 1-10　澳大利亚 HD144 移栽机



图 1-11　英国皮尔逊自动移栽机



图 1-12　意大利法拉利 FUTURA 移栽机

综上所述可以看出，国外移栽机的发展特点是：完善普及半自动移栽机，逐步研发推广全自动移栽机；注重将移栽作业作为一个系统工程来研究，从育苗到移栽全程跟踪，着力实现育苗和移栽的全程机械化；依据各国不同国情研制符合本国需求的移栽机，日本的

移栽机灵活性、专用性和针对性强，而欧美等国的移栽机通用性和适应性强；另外移栽机械的发展和育苗技术紧密结合，具有标准化、通用化和系列化等特点。

通过国外移栽机的丰富实践可以得出：机械化移栽不仅能保证移栽秧苗的株距、行距和栽植深度均匀一致，而且能在一定范围内调整；基本上消除了作业过程中的伤苗现象，秧苗栽后的直立度、覆土压实程度等都可以得到良好的控制，移栽效率较人工有了大幅提高，另外还有利于后续机械化收获作业。

1.3 国内移栽机研究概况

我国旱地移栽机械的研究起步较晚，是从20世纪50年代末期开始，比国外晚了近40年，初期的移栽机主要用来移栽棉花和玉米等作物；20世纪70年代开始研制裸根苗半自动移栽机械，其中包括油菜钳夹式半自动移栽机；20世纪80年代开始研制蔬菜半自动移栽机；进入20世纪90年代，随着国民经济的发展和育苗技术的革新，研发了多种半自动钵苗移栽机和蔬菜裸根苗移栽机；近年来，国家有关部门对农业高新技术的推广应用更加重视，育苗移栽成为科研和生产部门关注的问题之一，育苗移栽机械的研究已逐渐成为热点。截至目前，国内已有多家单位成功研制出了不同类型的半自动移栽机，其中部分机型已经小批量投产，较为典型的有：

中国农业机械化科学研究院下属现代农装科技股份有限公司生产的2ZY－2A型吊杯式半自动移栽机（图1-13）和2ZB－2型行星轮系鸭嘴式半自动移栽机（图1-14）；青州华龙机械科技有限公司生产的2ZY－2型半自动移栽机（图1-15）；新疆农垦科学院机械装备研究所研制的2ZML－6膜上移栽机（图1-16）。



图1-13 中国农机院2ZY－2A移栽机



图1-14 中国农机院2ZB－2移栽机

20世纪80年代至21世纪初，我国移栽机械的发展迎来了一个小的高潮，大批科研院所加入研究行列并取得了进展，尤其是在玉米、油菜、棉花、蔬菜等作物的移栽领域。其中，具有代表性的研究成果有：

山东泰安国泰拖拉机总厂生产的2ZM－2和2ZM－AI型棉花移栽机，该系列棉花移栽机吸收了国外同类产品的先进技术，总体设计合理，具有结构简单、性能先进、使用维修方便、作业成本低和栽植质量好等优点。其中，2ZM－2型移栽机为塑料软盘育苗的半自动棉花移栽机，主要适合棉花栽植密度高、苗龄小的地区使用；2ZM－AI型移栽机为普通

型土钵育苗的半自动棉花移栽机，国内大部分棉区均可适用。该机单体生产率高，进行移栽作业时，采用人工喂苗，开沟、栽苗、覆土、压实、施肥和浇水均为自动化作业，可一次完成，实现了中国棉花机械化移栽零的突破。



图 1-15　青州华龙 2ZY－2 移栽机

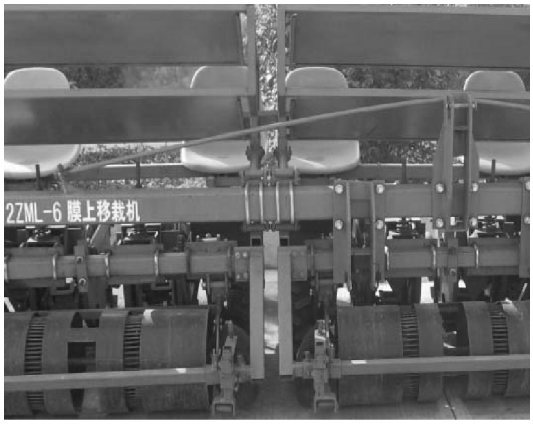


图 1-16　新疆农垦科学院 2ZML－6 移栽机

黑龙江农垦科学院研发的 2Z－2 型钵苗移栽机，主要用于玉米营养钵苗的移栽作业，也可通过更换栽植器实现蔬菜、棉花等营养钵苗和甜菜纸筒苗的移栽。该机能够适应平作和垄作，一次作业可完成整地、开沟、栽植、扶直和覆土镇压等工序。该机的主要特点是通用性强、作业效率较高、栽后钵苗直立度较高、成本低和作业质量好。

安徽滁州农机研究所研发的 2ZY－2 型油菜移栽机，它在结构上可以保证油菜移栽所需的株距和行距，夹持机构可靠且不易伤苗，栽后直立度较高，栽植质量满足农艺要求。机组转弯半径小，适合小田块作业。通过对不同土壤的性能试验，机器工作稳定，对不同土壤有较好的适应性。

黑龙江八五二耕作机械厂研制的 2YZ 型秧苗移栽机，采用人工喂苗，田间试验数据显示，移栽无空穴和伤苗现象；栽后秧苗直立率 85%，倾斜角在 30°左右的占 5%；栽后植株成活率 95% 以上。通过更改栽植机构也可移栽烟草、甜菜等经济作物。根据农艺要求，更改传动系统的传动比即可实现株距的调整。而栽植深度的改变是通过调整开沟器纵向位置来实现的。

唐山农机研究所研制的 2ZB－2 型移栽机，在吸收国外玉米移栽机优点的基础上，优化结构，降低成本，可适应软盘育秧移栽，一次作业可完成开沟、栽植、覆土、压实等工序，经田间试验，可以满足玉米移栽的农艺要求，并根据市场需要，现已经小批量生产。

吉林工业大学研制的 2ZT 型移栽机，其结构合理，可靠性高，苗损伤率低，调整较方便，除完成基本栽植工序外还兼具施肥和浇水功能。对秧苗适应性好，既可以对裸根苗进行移栽，又能够实现钵苗移栽。

新疆农科院农机化研究所研制的 2ZT－2 型移栽机，主要由地轮、旋转苗台、横向输送带、立式输送带、栽植盘、靴式开沟器和镇压轮组成；施肥机构由肥料箱和链传动机构组成。工作时地轮将动力传给送苗装置和栽植部件。机具前进，开沟器在待栽地上开出苗沟，用手工将苗箱内钵苗取出依次水平铺放在横向输送带上，横向输送带把苗送到立式输送带聚合处，由其夹持并向下输送，再由栽植盘夹住秧苗一端，转动落入开好的苗沟中，镇压轮覆土并压实，完成移栽过程。与 40kW 拖拉机配套，全悬挂联结。地头转弯灵活，留地较少。送苗装置和栽植部件传动速度与机组前进速度同步，株距一致性好。

中国农业大学研制的2ZDF型导苗管式移栽机，采用单组组合式结构，能与各种功率的轮式拖拉机配套使用，可方便地配置为2行、4行、6行等栽植机机型；栽植质量较好，栽植合格率达到93%以上，不易伤苗；栽植速度较快，长时间作业平均频率为50株/min左右；株距、行距和栽植深度调节方便，调节范围广，通用性好。

吉林工业大学研发的2ZY－2型玉米钵苗移栽机，该机具有结构简单、操作简便、功能齐全、对制造材料和工艺无特殊要求和造价低廉等优点。移栽部件运动由覆土镇压轮驱动；扶苗机构采用急回机构；带定量浇水装置。实现了开沟、移栽、覆土镇压、施肥、浇水等作业一次完成。适用于玉米、棉花移栽，也可移栽蔬菜、烟草等作物。

山东工程学院研制的ZZG－2型带式喂入导苗管式移栽机，可满足各项农艺技术要求指标，而且具有结构简单、工作可靠、栽植效率高、株距均匀、作业速度快等特点。

黑龙江八五零农场研制的2ZB－6型钵苗移栽机，可移栽玉米、蔬菜、甜菜、烟草、棉花等作物。经鉴定测试，班次作业量可达2.3～4.7hm^2，钵苗直立率达96%。

内蒙古农业大学农业工程成套设备研究所研发改进的2ZT－2型甜菜移栽机，该机属偏心圆盘吊杯式移栽机，突出优点是既可移栽裸根苗也可移栽钵苗，亦可实现膜上打孔移栽。与14.7～22kW拖拉机配套使用，可一次完成开沟、施肥、移栽、覆土、镇压等多项工序。移栽株距为26～33cm（可调），移栽行距为45～60cm（可调），漏苗率小于3%，作业速度1～2km/h。

白城农牧机械化研究所研制的2Z－1甜菜移栽机，与8.8kW的四轮拖拉机匹配，栽植部件由4个吊杯式栽植器组成，4个栽植器绕中心轴转动，工作时由于栽植器、转动圆盘和支架组成了平行四杆机构，旋转至任何位置时，其轴线和地面均保持垂直，栽植器栽植嘴的开合靠凸轮和滚轮控制，采用人工投苗，在落苗点栽植嘴张开，纸筒秧苗植入土壤，达到栽植的目的。经田间试验，该机生产率为0.1hm^2/h，伤苗率为零，漏栽率为0.8%。

但令人遗憾的是，上述半自动移栽机多数为研究样机，由于种种原因一直不能得到推广应用，只有极少数投入小批量生产。而目前，对于自动移栽机的研究，我国正处于探索阶段，自动移栽技术和装备的研发较少，主要是针对国外的自动移栽机技术进行改进研究，未有成型的机型应用。主要的研究成果有：

浙江理工大学研制的两种蔬菜自动移栽装置：一种是采用顶杆顶出式取苗，此移栽装置由穴盘苗输送机构、顶苗机构、分苗机构和栽植部件等组成，作业时顶苗机构一次将穴盘中的秧苗顶出，落入分苗机构，然后喂入导苗管并落入苗沟，完成蔬菜穴盘苗移栽；另一种移栽装置是采用椭圆行星轮系机构，完成从穴盘中取苗和放苗动作。两套机构需要同开沟器和覆土镇压轮配合完成移栽作业，实用性有待论证。

新疆农业大学韩长杰研制的旱地自动移栽，由移盘装置、取苗装置、方形杯送苗机构、投苗机构组成。取苗装置由一排取苗指组成，通过夹取钵苗茎秆的方式取苗，采用气动控制。投苗机构使用吊杯式栽植器。该机整体结构紧凑，是在吊杯式半自动移栽机的基础上进行改进而成的，但由于采用夹取苗茎的方式取苗，对苗茎的粗壮程度和韧性要求较高。

江苏大学毛罕平、胡建平等在引进日本全自动蔬菜移栽机的基础上，研制出了两行棉花穴盘苗自动移栽机，设计出了一种由连杆机构、行星齿轮机构和凸轮机构组合而成的取苗机构，通过供苗装置和栽植机构的配合，可实现两行移栽，但是整体结构比较复杂、槽型凸轮的轨迹设计难度较大、行星齿轮和槽型凸轮的配合要求比较高、凸轮槽易磨损，整机的工作可靠性有待进一步研究。

吉林工业大学孙廷踪详细介绍了空气整根营养钵育苗秧盘、压缩草炭饼、机械式秧盘精密播种装置和全自动移栽机，研究了空气整根营养钵育苗技术，开发了空气整根育苗移栽系统，并以此为基础研制了空气整根营养钵育苗全自动移栽机，其基本工作原理与美国SK20 移栽机相同，但布局结构不同，能够实现根系较发达作物的小苗移栽，但用于蔬菜移栽时，易使茎叶折断，且苗盘成本较高，多年来一直没有被推广使用。

浙江大学任烨、蒋焕煌等研究了基于机器视觉的设施农业移栽机器人，它包括视觉系统、控制系统、取苗机械手等，机械手由步进电动机驱动，气缸驱动机械手的末端执行器，对针式、铲式和锥形三种手指的取苗效果进行了对比试验，认为铲式效果最好。进行类似研究的还有沈阳农业大学的张诗、田素博等。

石河子大学陈风、王维新等，对钵苗移栽机的输送、分苗系统进行了建模与仿真研究。采用输送带结合导向轮对钵苗进行排队，凸轮盘驱动具有双挡销的分钵装置和带触发式托盘的落苗装置。但研究中没有涉及如何将钵苗从穴盘中取出并放至输送带。

参 考 文 献

[1] 陈风，陈永成，王维新，等．旱地移栽机现状和发展趋势［J］．农机化研究，2005（3）：24－26.

[2] Huang. B. K，W. E. Splinter. Development of an automatic transplanter［J］. Transaction of the ASAE，1986，11（2）：191－194.

[3] Brewer. H. L. Experimental Automatic Feeder for Seedling Transplanter［J］. Transactions of the ASAE，1988，4（1）：24－29.

[4] 王君玲，高玉芝，李成华，等．蔬菜移栽生产机械化现状与发展方向［J］．农机化研究，2004，（2）：42－43.

[5] Chen. B，Tojo. S，K. Watanabe. Detection Algorithm for Traveling Routes in Paddy Fields for Automatic Managing Machines［J］. Transaetions of the ASAE，2002，45（1）：239—246.

[6] 黄前泽．钵苗移栽机行星轮系植苗机构关键技术研究及试验［D］．杭州：浙江理工大学，2012.

[7] 贺智涛，郑治华，刘剑君，等．膜上移栽机的发展现状及存在的问题［J］．农机化研究，2014（9）：252－255.

[8] 王晓东，封俊．国内外膜上移栽机械化的发展状况［J］．中国农机化，2005（3）：25－28.

[9] 刘存祥，李晓虎，岳修满，等．我国旱地移栽机的现状与发展趋势［J］．农机化研究，2012，34（11）：249－252.

[10] 于向涛，胡良龙，胡志超，等．我国旱地移栽机械概况与发展趋势［J］．安徽农业科学，2012，40（1）：614－616.

[11] 宋玉洁，胡军．我国旱地移栽技术现状及发展趋势［J］．农业机械（上半月），2016（8）：102－104，106.

[12] 张祖立，王君玲，张为政，等．悬杯式蔬菜移栽机的运动分析与性能试验［J］．农业工程学报，2011，27（11）：21－25.

[13] 张冕，姬江涛，杜新武，等．国内外移栽机研究现状与展望［J］．农业工程，2012，02（2）：21－23.

[14] 王英．面向高立苗率要求的栽植机构参数优化与试验研究［D］．杭州：浙江理工大学，2014.

[15] 陈建能，黄前泽，王英，等．钵苗移栽机非圆齿轮行星轮系栽植机构参数分析与反求［J］．农业工程学报，2013（8）：18－26.

[16] 陈建能，黄前泽，王英，等．钵苗移栽机椭圆齿轮行星系植苗机构运动学建模与分析［J］．农业工程学报，2012，28（5）：6－12.

[17] 吴加伟．偏心非圆－巴斯噶齿轮行星轮系栽植机构的建模、优化及试验研究［D］．杭州：浙江理工大学，2015.

需要全本请访问 www.ertongbook.com