

高等院校试用教材

农业机械学

江苏工学院 主编

上 册

中国农业机械出版社

高等院校试用教材

农业机械学

(上册)

江苏工学院 主编

中国农业机械出版社

本书为高等院校农机设计专业教材之一。主要内容有农业机械的典型结构、基本理论、主要工作部件的设计、试验方法等。读者对象主要是农机专业师生，也可供农机工程技术人员参考。

农 业 机 械 学

(上 册)

江苏工学院 主编

*

中国农业机械出版社出版
机械工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
新华书店经售

*

787×1092 16开 19 印张 468千字

1981年2月北京第一版 1986年6月北京第五次印刷

印数：21,001—22,200 定价 3.20元

统一书号：15216·055

前 言

本书是根据1978年6月在江苏镇江召开的高等院校农业机械专业教材会议上拟定的编写大纲编写的。全书分上下两册，上册主要为耕种机械和植保机械，下册主要为收获机械和禽畜饲养机械。

本书内容着重于常用农业机械的原理、构造和设计计算等。编者力求从我国实际出发，反映我国农业机械在科学研究和生产制造方面的新成就，并适当介绍了有关国外资料。考虑到教材的通用性，取材方面偏重于南北方有代表性的典型机具。我国幅员辽阔，农业机械的地方性较强，机具种类又多，各校可根据地区特点组织教学。

由于参考资料较多，本书未能全部采用国际单位制，还部分地保留了与国际单位制并用的单位和其他单位。

参加本书编写工作的有：吉林工业大学何春岁（上册第三章的六、七节，第五章的十一节和第八、九章）、张兰星（下册第四、五、六、九章和第十章的一至五节）、吴贵山（下册第十二章）；洛阳工学院白崇仁（上册第四、七章）、许大兴（下册第七章）；武汉工学院陶福林（下册第三、十一章）；北京农业机械化学院曹崇文（下册第十章的六、七节）；江苏工学院孙一源（上册第一、三章）、桑正中（上册第二、五章）、彭嵩植（绪论、上册第六、十二、十三、十四章，下册第十六章）、凌景行（上册第十、十一章）、吴守一（下册第一、二、八章）、李伯珩（下册第十三、十四、十五章和第十七章的一至五节）、高行方（下册第十七章的六至十节）。

以上五院校还有一些同志参加了本书的审校和修改工作，最后由彭嵩植和吴守一分别对上册与下册统稿、定稿。

1979年10月在成都召开了由吉林工业大学袁矿苏主持的审稿会议，参加会议的有：农业机械部教材编辑室、成都农业机械学院、吉林工业大学、洛阳工学院、武汉工学院、安徽工学院、北京农业机械化学院、东北农学院、西南农学院、山西农学院和江苏工学院等单位的同志。与会者审阅和讨论了初稿，提出了不少宝贵意见，谨致谢意。

限于编者水平，难免有缺点和错误，诚恳地希望读者批评指正。

一九八〇年七月

目 录

前 言 绪 论

耕 作 机 械

第一章 土壤耕作及耕层土壤的物理-机械性质.....7	
§ 1-1 主要农业技术要求和所采用的机具 7	
§ 1-2 耕层土壤的物理-机械性质..... 9	
第二章 犁的构造..... 16	
§ 2-1 铧式犁的类型和一般构造 16	
§ 2-2 犁的工作部件 18	
§ 2-3 犁的辅助部件 28	
§ 2-4 其他类型犁的特点 33	
第三章 犁体曲面..... 36	
§ 3-1 土垡运动过程 36	
§ 3-2 犁体曲面的形成原理 38	
§ 3-3 水平直元线犁面的设计方法 40	
§ 3-4 倾斜直元线犁面的解析设计法 49	
§ 3-5 犁体曲面的近似展开法 55	
§ 3-6 深耕型犁体曲面 58	
§ 3-7 高速型犁体曲面 61	
§ 3-8 犁体曲面的测绘 63	
§ 3-9 犁体曲面研究的展望 66	
第四章 犁体外载..... 70	
§ 4-1 犁体外载的研究目的和表示方法 70	
§ 4-2 犁体外载测定方法及其装置 73	

§ 4-3 犁体工作状态外载的测定结果 77	
§ 4-4 影响犁体外载的因素 80	
§ 4-5 犁耕阻力 82	
第五章 犁耕机组..... 86	
§ 5-1 概述 86	
§ 5-2 悬挂犁机组 87	
§ 5-3 入土性能 88	
§ 5-4 耕深调整和耕深稳定性 91	
§ 5-5 拖拉机的增重问题 95	
§ 5-6 耕宽和耕宽稳定性 97	
§ 5-7 机组操向性 102	
§ 5-8 悬挂犁主要参数的确定 106	
§ 5-9 机组配置 108	
§ 5-10 牵引犁机组 110	
§ 5-11 半悬挂犁机组 114	
第六章 旋耕机..... 117	
§ 6-1 旋耕机的类型 117	
§ 6-2 卧式旋耕机的构造和工作过程 119	
§ 6-3 卧式旋耕机的运动分析 122	
§ 6-4 旋耕刀片 125	
§ 6-5 旋耕机的功率消耗 133	
§ 6-6 旋耕机总体配置 135	
§ 6-7 耕耙犁 135	

整 地 机 械

第七章 耙..... 141	
§ 7-1 耙的用途和分类 141	
§ 7-2 圆盘耙的构造 143	
§ 7-3 圆盘耙的主要参数和受力平衡 145	
§ 7-4 水田耙 151	
§ 7-5 驱动耙 157	
第八章 中耕机..... 159	

§ 8-1 中耕机的类型 159	
§ 8-2 除草铲 159	
§ 8-3 松土铲和培土器 162	
§ 8-4 中耕锄铲的配置 163	
§ 8-5 三角犁铲的设计 164	
§ 8-6 仿形机构 166	
§ 8-7 水田中耕机 169	

种植机械

第九章 播种机.....	171	§ 9-9 播种机总体设计要点	193
§ 9-1 概述	171	第十章 秧苗准备机械与设备.....	196
§ 9-2 种子特性和种子处理	176	§ 10-1 水稻拔秧机.....	196
§ 9-3 种子箱设计要点	177	§ 10-2 盘式工厂化育秧设备	210
§ 9-4 排种器的类型	178	第十一章 水稻插秧机械.....	214
§ 9-5 排种器设计	181	§ 11-1 水稻插秧机的设计依据	214
§ 9-6 排种器性能试验	187	§ 11-2 水稻插秧机的类型与构造	216
§ 9-7 开沟器	188	§ 11-3 分插秧机构	220
§ 9-8 覆土器、镇压轮的类型和结构特点	192	§ 11-4 送秧机构	237
		§ 11-5 插秧机的总体配置.....	246

植物保护机械

第十二章 喷雾机械.....	256	§ 13-4 喷粉机的其他工作部件	283
§ 12-1 喷雾机的种类	256	第十四章 其他植保机械.....	287
§ 12-2 喷雾机的构造	257	§ 14-1 多用途植保机	287
§ 12-3 雾化的基本原理与喷头类型	263	§ 14-2 超低量喷雾机	290
§ 12-4 喷雾机的其他工作部件	270	§ 14-3 喷烟机	293
第十三章 喷粉机械.....	277	§ 14-4 静电喷雾、喷粉机	295
§ 13-1 概述	277	§ 14-5 航空植保机械	296
§ 13-2 喷粉机的类型和构造	277	§ 14-6 植保机械的防腐与安全技术.....	298
§ 13-3 喷粉头	280		

绪 论

一、引 言

实现社会主义四个现代化，农业的现代化是很重要的。因为农业是国民经济的基础，要改善人民生活，要发展工业，都要有这个基础。只有加速发展农业，尽快地把农产品的产量搞上去，才能使工业、国防和科学技术更好地向前发展。

要发展农业，就要用最先进的科学技术和装备武装农业，并采用现代化的科学管理方法，不断提高单位面积产量和劳动生产率，不断改善劳动条件和增加农民的收入。

农业机械化是农业现代化的重要内容，是发展农业生产的重要环节，它不仅可以提高劳动生产率，而且是提高单产的重要手段。随着现代农业科学技术的发展，各项技术措施直接靠人的器官和体力是无法完成的，只有使用机器，才能突破人体功能的限制，使农业生产更快地向前发展。

实现农业机械化，简单地说就是用机器来进行农业生产的各项作业。任何技术措施都要用一定的工具来完成，各种农业机械都是为了完成一定的农业作业才设计制造出来的。农业生产包括农、林、牧、副、渔等许多方面，凡用于这方面的动力机械和配套机具（包括田间作业机械、牧草机械、禽畜饲养机械、林业机械、副业机械、排灌机械及运输机械等）都属于农业机械的范畴。

随着农业生产的发展及各方面需要的不同，逐渐形成了许多专业部门，从事有关机械的设计研究工作（如林业机械、排灌机械）。因此，目前所指的农业机械，主要包括大田和场上作业机械。

二、我国农业机械发展概况

我国的农业生产已有几千年历史，在生产工具方面也有许多创造发明，但由于受到长期的封建统治以及近百年来帝国主义的压迫，农业生产和工具的改革都处于停滞状态，发展缓慢。

全国解放后，为了适应农业生产发展的需要，首先从国外引进一批拖拉机和农业机械，并积极推广各种新式畜力农具，如步犁、双轮双铧犁、播种机等，以推动农业生产的发展。

随着我国的工业发展，动力工业体系也逐步形成。从1959年起，便开始生产各种类型轮式和履带式拖拉机，并逐步确定了我国拖拉机的系列型谱。

在发展拖拉机工业的同时，也在我国各地建立了许多农业机械专业厂，生产与拖拉机配套的和自走式的农业机械，并具有一定的生产能力。

我国幅员广阔，各地区的自然条件复杂，耕作制度及作物种类也各不相同，因此对农业机械的要求也不一样。为了适应各地区农业机械化的发展，在研究单位及有关工厂的共同努力下，在研制我国农业生产需要的新产品和新系列中取得了很大成绩。如创制了机耕船，水稻拔秧机和插秧机；设计出了适应我国旱作地区需要的北方系列犁、系列耙、系列播种机，

适应水田地区的南方系列犁、系列耙、系列旋耕机以及植保机械用的系列三缸泵等许多系列产品，在农业生产中发挥了很大作用。目前还有许多新产品正在研制中，将逐步形成符合我国农业生产需要的农业机械系统。

三、国外农业机械的发展趋向

为了加速我国农业机械的发展，可以借鉴国外的经验，从中吸取有益的部分，再结合我国的实际情况，走我国自己发展的道路。

国外先进国家的农业机械化是从本世纪初开始的，至今已有70多年的历史。由于自然条件、土地资源、农业生产和劳动力等特点不同，因此实现农业机械化的过程也不一样。如美国和加拿大等国以发展大型农业机械为主，日本和英法等国则以中小型农业机械为主。但其中有些趋向却是一致的，主要有以下几方面。

1. 发展高生产率的农业机械

为了提高农业劳动生产率，必须提高作业机组的生产率。所以，大功率拖拉机逐年增加，作业机械的工作幅宽也相应加大，机组速度普遍提高。此外，拖拉机的配套农具大大增加，作业项目齐全，拖拉机的利用率较高。

2. 发展联合作业机械

所谓联合作业，就是用一台机器，在一次行程内，同时完成两种或数种作业项目。如耕耙联合作业机，能一次完成耕地整地作业；整播联合作业机，能一次完成整地、播种、施肥、施农药作业。这样既可提高劳动生产率，抢农时，降低成本，又可减少了机器的类型和在田间的运行次数，避免压实土壤。

3. 发展多用途机械

为了提高机器的利用率和降低成本，如能将一台机器经过简单的改装就能进行多种作业，是当前农业机械研究的一个重要课题。如美国生产一些谷物联合收获机，备有5~6种适应收获不同作物（小麦、玉米、水稻、大豆等）的收割台，只要由驾驶员一人操纵，便可在短时间内完成收割台的更换工作。

4. 发展农用飞机

近几十年来，农用航空事业发展很快，根据近年来的统计，欧美等国研制了几十种型号近两万架农用飞机，作业面积达50多亿亩。

农用飞机可进行播种、施肥、防治病虫害、除草、人工降雨、护林防火等多种作业。其突出优点是，生产率高，成本低，效果好，同时还能免除人工或机械在田间作业造成土壤压实和损坏庄稼的现象。

5. 发展工厂化生产

发展工厂化生产是人们多年来的愿望，实现工厂化生产有利于实现生产过程的自动化，电气化，既可缩短生产周期，又可提高劳动生产率。如国外建立的大型自动化养猪、养鸡工厂，一个工厂每年可提供几十万斤肉类和上百万只鸡；自动化温室栽培的蔬菜可保证一年四季向市场供应新鲜蔬菜。

6. 采用先进科学技术

随着现代科学技术的发展，许多新技术如液压技术、电子技术、电子计算机、红外线等

也已应用于农业机械。如联合收获机采用各种电子监控装置，能使驾驶员随时知道机器是否处于正常工作状态，并可根据信号对某些部分进行调整，及时消除故障，保证机器顺利工作。

此外，许多新材料、新工艺也广泛用于农业机械。如植保机械的药箱采用聚乙烯、聚丙烯塑料，既耐腐蚀，又减轻了重量，同时简化生产工艺、降低制造成本；大型药箱则采用旋转浇注工艺制成；喷头采用高铝陶瓷制成，从而保证了工作性能，延长了使用寿命。

7. 产品系列化、标准化和通用化

农机工业发达的国家，对于产品及零部件的系列化、标准化、通用化方面的工作，做得都是比较好的。因此，生产的农业机器系列型号比较完整，可以满足各种不同农业条件的需要，生产批量易于提高，产品成本可以降低，维修也较方便。如美国的赛克罗 (cyclo) 型气力播种机系列共有牵引式、悬挂式和半悬挂式等16种机型，并备有多种部件，仅排种滚筒就有24种，适应性很强。

8. 加强农机和农艺的相互配合

由于农业机械的工作对象异常复杂，如果单靠机器来满足农业技术的要求就有一定困难。因此需要农业科学紧密与农机配合，研究出一套适用于机械化作业的农艺和品种，以促进机械化程度的提高。如日本在水稻种植方面，发展了一套小苗育秧及移栽技术，改变传统的育秧、拔秧过程，省去了拔秧工序，加快了水稻栽培机械化的发展速度，仅用了十年时间，机插面积从3%增加到80.6% (1977年)，同时水稻产量也增加了23%。

此外，育种工作者还重视研究作物生长形态和特性，使之适应机械化的要求。如培育矮秆高粱，抗倒伏玉米，棉桃生长比较集中和成熟期比较一致的棉花以及表皮比较坚韧的蕃茄等，这些都为机械收获制造了有利的条件。

四、农业机械的设计要求及设计程序

(一) 设计要求

设计任何机器，首先应了解其特点及要求，才能设计出符合需要的产品。农业机械的设计要求可归纳为以下几方面。

1. 农业技术要求

农业机械是农业生产的工具，其工作对象大都是生物和土壤。衡量某种农机具的好坏，除技术指标（如生产率、功率消耗、操纵性能等）外，最主要是看其能否满足农业技术要求，并要有良好的适应性。如设计耕作机械必须符合提高土壤肥力的要求；设计插秧机除应满足各地区提出的株行距要求外，应尽量减少伤秧率和钩秧率，否则将妨害秧苗生长而造成减产。农业技术要求都是综合性的，各环节之间又相互影响，因此设计人员应当熟悉农业生产，才能设计出符合要求的农业机械。

2. 使用、维修方面的要求

设计农业机械时，应从机器的使用、保养维修方面考虑，尽量满足以下要求：

1) 在满足作业要求的前提下，机器应结构简单，操作方便，工作可靠，寿命长，能适应恶劣环境（如尘土飞扬、泥水浸蚀、风吹雨淋、烈日曝晒等），做到不误农时。

2) 机器应有较高的生产效率，较少的动力消耗和较广的应用范围。由于农业机械的使

用受到农时季节的限制, 利用率较低, 因此应尽量考虑机器的综合利用, 以提高机器的利用率。

3) 减轻工人的劳动强度, 改善劳动条件, 注意采取安全防护措施。对暴露的传动件应加防护装置(如防护罩); 对一些难于加防护装置的工作部件(如切割器), 应有警告标志。

4) 机器的主要工作部件或易于损坏的关键性零部件应有安全装置, 以防零部件的损坏。如耕地时, 经常会碰到石块, 若犁体上装有安全器, 犁体就可越过石块, 避免锋尖碰断。

5) 便于保养维修, 尽量减少润滑点(如采用一次性润滑密封轴承等)。零部件的调整、装卸应当方便, 易损件应具有通用性。

3. 制造方面的要求

1) 农业机械产品面广量大, 在保证机器性能和寿命的前提下, 优先采用廉价材料, 尽量减少材料的规格和品种, 以降低制造成本和节省维修费用。

2) 合理确定零件的加工精度和技术条件, 注意改善零件的结构工艺性和装配工艺性。

3) 在保证机器可靠性的条件下, 应减轻机器的重量, 如用冲压件代替铸件等, 以减少金属耗量。

4) 应按照“三化”(系列化、通用化、标准化)的原则设计产品, 以减少零部件的种类, 提高通用性和互换性。这样, 既有利于组织大批量专业化生产, 缩短生产周期, 提高产品质量, 降低生产成本, 亦有利于配件供应、维修和发展新品种。

随着我国农业机械化事业及农机工业的迅速发展, 有关部门已制定了一百多种农业机械的国家标准和部颁标准(其中包括基础与一般标准, 内燃机标准, 拖拉机和农机具标准), 可作为某些产品设计和制造的依据。

(二) 设计程序

农业机械的设计项目大致有: 1) 根据农业生产要求设计新型机器。2) 对现有机器进行改进设计和变型设计, 以提高机器的性能或扩大使用范围。3) 对工作部件或试验设备的研究和设计。

机器的设计程序和内容大致如下:

1. 提出设计计划任务书

设计计划任务书应明确规定任务的来源, 机器的适用范围, 设计依据及有关技术经济指标等内容。然后根据任务要求, 制定执行计划及完成的进程。

为了确保设计质量, 应进行必要的调查研究, 进一步明确该设计的技术要求、重点、难点、主攻方向及完成任务的技术途径等, 以利于提出切实可行的工作计划, 落实各项设计任务。

2. 性能设计(样机设计)和试验阶段

这一阶段的设计主要解决机器的性能问题, 设计重点应放在整机的工艺流程及主要工作部件方面, 只要机器的工作原理及主要工作部件的性能, 可以满足农业技术要求并能达到规定的技术指标就行了, 至于机器的使用要求和制造要求等问题, 能在性能设计时考虑到的可同时解决, 也可留到下一轮设计去完成。

3. 产品设计和试验阶段

样机通过一定面积的试验考核, 其结构及工作性能确已达到预期要求, 并通过主管部门组织的性能鉴定后, 可进行产品设计制造。产品设计应符合正式投产的要求, 机器的结构应

当完善，坚固耐用，同时还应考虑机器的工艺性和经济性，使机器具有较高的生产率，较低的功率消耗、零部件的选用符合“三化”要求，保养维修方便。

产品设计好以后，先进行小批量生产，进行多点试验，按国家规定进一步考核机器的性能，直到通过生产鉴定，方可进行批量生产。

即使是批量生产的机器，也还会出现不同的技术问题，仍需进行改进设计，如提高机器的使用寿命，扩大机器的使用范围，采用新材料、新工艺以降低成本等。

五、农业机械的研究和试验工作

由于农业机械的工作对象非常广泛，工作条件也很复杂，怎样才能设计出符合农业技术要求的机器，还需要进行大量的试验研究工作，从中获取有用的设计资料和数据，作为完善机器设计的依据。

农业机械学是一门应用科学，在农业工程领域里还比较年轻，它是在本世纪初才逐步形成和发展起来的。

农业机械学研究的内容主要有：1）工作对象（如土壤、茎秆、种子、肥料、农药等）工艺特性的研究；2）工作对象在工作部件作用下工艺过程的研究；3）工作部件的设计和计算。以往在这些方面的研究工作很不完善，缺少系统的理论作为产品设计的依据。一般来说，早期的农业机械主要采用试凑法或类比法进行设计，所以比较粗糙而带有偶然性。但是近年来，许多国家对农业机械的基础理论（如土壤动力学、雾化理论等），工作对象的机械、物理、化学性质，工艺过程（如谷物收获的工艺过程、甘蔗收获的工艺过程等）和工作部件（如切割器、犁铧等）的设计计算等方面做了大量的试验研究工作，使农业机械的设计建立在比较科学的基础上，因此取得了迅速的发展。

目前在农业机械的设计研究中，也开始应用模拟电子计算机和数字电子计算机。利用计算机的运算速度高，容量大的特点，能使科技人员根据不同情况多次改变设计，从中选择最佳的参数组合，作为机器设计的依据。

农机试验是农机设计研究工作中重要的一环。机器性能的优劣，工艺流程是否合理，机器工作是否可靠等，都需通过试验才能得到正确的评价。此外，在整机设计前，要求进一步了解某些主要工作部件的性能及影响因素，也需进行试验，以掌握其中的规律性和有关参数。因此，农机试验的内容是非常广泛的，其主要试验项目有：整机或工作部件的性能试验，耐久性试验，生产试验等。

农机试验工作除生产试验需在田间进行外，其他试验工作既可在田间进行，也可在实验室内进行。但田间试验经常受自然条件的限制，试验周期较长，有许多因素很难控制，试验数据的准确性和可比性受到一定限制。随着科学技术的发展，测试仪器和测试方法的不断完善，有些室内试验，可以模拟与田间载荷及周围环境基本相同的条件，使试验工作能在人为控制的情况下重复进行，不受时间及外界条件的限制，并可获得比较精确的试验结果。这样就可以节约大量时间，减少劳动量和科研费用。

六、本课程的性质、内容和学习方法

农业机械学是农业机械专业的一门专业课，其内容主要包括农业机械的原理、构造、理论分析、设计计算等部分。考虑到我国农业机械的现状及农机专业的特点，本教材是以常用的田间作业机械为主编写的，其中包括：耕作机械、种植机械、植保机械、谷物收获机械、经济作物收获机械和禽畜饲养机械。在编写内容上为了有所侧重，采用了点面结合的方法，把全书分为重点章节(上册的铧式犁和种植机械，下册的谷物收获机械)和一般性章节。前者除介绍机器的工作原理和构造外，还着重阐述机器的基本理论与部件的设计计算方法。后者只着重介绍机器的工作原理和构造。

通过本课程的学习，要求学生能掌握大田常用农业机械的工作原理和构造，并熟悉其使用方法。在此基础上再学习重点章节中有关农业机械的理论、计算及设计方法，以了解农业机械的设计原则、方法和步骤，培养对农机产品的设计能力并相应地提高分析问题和解决问题的能力。

耕作机械

耕作机械包括耕地机械和整地机械两大部分。前者用来耕翻土地，主要作业机具有铧式犁、圆盘犁等；后者用来碎土、平整土地或进行松土除草，主要作业机具有钉齿耙、圆盘耙、平地拖板、网状耙、镇压器、中耕机等。

为了提高作业效率，近年来复式作业和联合作业机具发展很快，应用较广的机具有旋耕机、耕耙犁等。

此外，为了适应新的耕作法——少耕法的需要，推广使用了凿形犁、通用耕作机及深松播种施肥联合作业机。

第一章 土壤耕作及耕层土壤的物理-机械性质

§ 1-1 主要农业技术要求和所采用的机具

土壤耕作分为传统耕作法 and 少耕法两类。前者还可分为播前耕作和播后耕作，主要为种子发芽和作物生长创造良好条件；后者是为保持土壤水分，防止水土流失，减少能耗和人工而发展起来的一种耕作法。

一、传统耕作法

(一) 播前耕作

播前耕作分为耕地作业和整地作业两种。

1. 耕地作业

耕地作业的主要目的在于：将土垡翻转，使地表杂草与残茬连同表层内的虫卵、病菌、草子和基肥等，一起埋到沟底，达到消灭杂草和病虫害、改善适耕性、恢复土壤结构和提高肥力。其主要农业技术要求为：

(1) 耕深

应随土壤、作物、地区、动力、肥源、气候和季节等不同而选择合理的耕深。耕作层通常在16~20cm之间。初改机耕地区的耕层要浅些，一般为10~15cm。常年机耕地区的耕深较深，例如东北地区可达20~30cm。水田地区略浅，约为12~20cm。一般说来秋耕冬耕宜深，而春耕夏耕又宜浅。深耕作业水田在20~27cm之间，旱地在27~40cm之间。耕深要求均匀一致，沟底也应平整。

(2) 覆盖

良好的翻垡覆盖性能是铧式犁的主要作业指标之一，要求耕后植被不露头，回立垡少。对于水田旱耕，要求耕后土垡架空透气，便于晒垡，以利恢复和提高土壤肥力。

(3) 碎土

犁耕作业还需兼顾碎土性能，耕后土垡松碎，田面平整。对于水稻土秋耕后，要求有良好的断条性能，通常以每米断条数目或垡条的平均长度来表示。一般说来，铧式犁的碎土质量往往难于满足苗床要求，还需进行整地作业。

2. 整地作业

旱地整地作业的主要目的在于：进一步破碎土块，压实整平地表，消除土块间的过大空隙，减少水分蒸发，以利保墒，为种子发芽生长打下良好的基础。水田整地的目的，则要求土壤松、碎、软、平，便于插秧和灌水。

旱地与水田整地作业的农业技术要求差别很大，应分别情况，区别对待，基本的要求有：

(1) 耙深

旱地一般为10~20cm；水田一般为10~15cm。耙深要求均匀一致。

(2) 碎土

耙透、耙碎垡片和草层，耙后表土平整、细碎、松软，但又需有适当的紧密度，因此，有些地区还需进行镇压作业。

此外，对于春耕后种早稻的水田整地作业（如绿肥田、稻板田和休闲地等），还要求土壤松软，起浆良好，并能覆盖绿肥等。双季连作稻地区栽种晚稻前的整地作业，往往因季节紧，多采用以耙代耕，要求能将前作稻茬直接压入糊泥之中，再将田整平即可。此时整地的主要要求是：灭茬起浆。稻草还田地区，一般先耕后耙，耙地时要兼顾碎土、起浆和压草等要求。

(二) 播后耕作

主要有中耕除草、间苗、松土、施肥、培土（包括起垅）、筑埂和开排灌沟等。及时中耕可以消灭杂草、蓄水保墒、提高地温，促使有机质分解，为作物生长创造良好土肥条件。

主要的农业技术要求是：中耕适时，除草要提早，不漏不重不伤苗；中耕深度通常为10~25cm；看苗培土（起垅）施肥，部位适中。也可同时进行病虫害防治作业。

二、少耕法

少耕法是一种改变以犁耕为中心的耕作方法，可大大减少或完全免去耕耘作业，把作物种子直接播在前作茎秆覆盖的土壤中。这种耕作法，主要是为了和干旱、风蚀及水蚀作斗争。早在几百年前，我国东北地区应用扣、耢耕作法，特别是原垅耢种法，即为适应春寒的一种少耕法^①。五十年代在苏联为防止风蚀和抗旱推广的马尔采夫耕作法，是采用无壁犁的深松耕作，也属于少耕法。美国近二十年来也发展了这一耕作法。七十年代我国黑龙江省，在总结国内经验的基础上，也广泛应用了深松耕作法。

少耕法的实质在于减少（或免去）铧式犁的耕翻作业，使耕层只松不翻，地表土层较紧，不易被雨水冲走，也可抵抗风蚀。有的还覆盖前作残茬，大大提高了保持水土的能力，这对坡地耕作更为有利。这些覆盖的残茬还可防止水分蒸发，同时又是有机质的来源。深松土层，既可破坏坚实的耕作底层（又称犁底层），改善耕层结构，又可调节该层中土壤的固、液、气三相的比例，协调其中的水、肥、气、热状况，以适应作物生长。又由于减少耕

^① 姜希祉，谈谈免耕法，光明日报，1978，1.3。

作次数，就大大降低耕作机组对耕层的压实程度，保持适当的孔隙度，并可减缓土壤内有机质的分解速度，能持续供给腐植质，促使土壤团粒结构的形成，有良好地蓄水保肥的性能。因此这一耕作法不但对玉米、棉花、大豆的旱地作物有增产效果，就是对水稻等需水较多的作物，也有增产的记录。不过对于粘重而过分潮湿地区，种植玉米，采用少耕法也有减产的报导。这一点必须引起注意。

采用少耕法带来的草荒和病虫害，必需引起注意，往往需用能消灭多种杂草的广谱型除草剂和高效低毒的农药以防治病虫害和消灭杂草，这样会增加农业生产成本。因此每隔数年，进行一次铧式犁的耕翻作业，就可克服上述缺点。

三、耕作机具

为完成土壤耕作的各项作业，常用的机具有：

传统耕作法：

播前 耕作	耕地作业：铧式犁，圆盘犁。
	整地作业：圆盘耙，钉齿耙，水田耙，镇压器，驱动耙，耧等。
	耕耙联合作业：旋耕机，耕耙犁，回转铧。
播后 耕作	中耕培土作业：中耕机（水田旱地两类），培土器。
	施肥、开沟、筑埂等作业：中耕培土施肥机，筑埂机，开沟机，盖麦机等。

少耕法：

浅松或深松作业：深松（凿形）犁，通用耕作机（深松、浅松、除草）。
播种、施肥、洒药等联合作业：联合种植机（深松、镇压、播种、施肥洒药等）。

§ 1-2 耕层土壤的物理-机械性质

一、耕层土壤的基本物理性质

耕作层土壤由固、液、气三相组成。固相颗粒主要为矿物质，也有的是有机无机物相结合的颗粒。液、气两相是土壤中的活跃部分。固相是土壤的物质基础，其组成比例不同，决定着土壤的物理、化学和生物学特性，又和植物生长所需的水分、空气、热量和养分有着十分密切的关系。

土壤颗粒有石块、石砾、砂粒、粉粒和粘粒等，粘粒含量的多少，对土壤的强度、耕性等都有重要影响。由于土壤质地不同，可分为砂土、壤土和粘土三大类。

整个土体大致可分为耕作层、犁底层、心土层和底土层。

耕作层是最重要的层次。肥沃的土壤必须有一定厚度的土层，要有较为丰富的有机质和合适的总孔隙度，其中毛管孔隙度应在37~40%之间，才能保持良好的通透性能。

在耕层中，能为植物吸收的是毛细水，最为有效的孔隙是毛管孔隙。非毛管孔隙的孔径较大（一般大于0.1mm），其中经常充满气体，是通气透水的通道。非毛管孔隙度一般为13~20%。

精耕细作是恢复和提高土壤肥力的重要措施。耕地作业可降低土壤容重，增加总孔隙度，提高田间持水的能力，对粘重土壤改善其物理性状的效果更为显著。

二、土壤与金属间的摩擦系数

为克服在耕作机械工作部件工作表面上产生的土壤与金属间的摩擦力，大约消耗拖拉机牵引功率的一半。

摩擦力 F 通常按下列公式计算:

$$F = fN \quad (1-1)$$

式中 f ——摩擦系数; N ——正压力。

土壤与金属(或其他材料)间的摩擦系数与土壤的类型、机械组成、含水量,工作部件的材料性质和表面状况,单位面积的压强以及运动速度等因素有关。许多研究报告的结果差别也很大,为简化起见,一般认为当运动速度在 $0.5 \sim 4 \text{ m/s}$ 之间,压强在 $20 \sim 100 \text{ kPa}$ ($0.2 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$)范围内,可用表1-1的 f 值作估算。

表1-1中1~4的数值,除沙土外,水分低时取下限,水分高时取上限。沙土则在有一定粘性时,水分高时取下限,水分低时取上限。

公式(1-1)为刚体的摩擦定律,摩擦系数 f 与两个刚体的接触面积无关。但耕作状态下的土壤并非刚体,而是呈现塑性的物体,因此土壤与金属间的摩擦系数应由粘附摩擦和摩

表1-1 土壤与钢之间的摩擦系数

土 壤 类 型	摩 擦 系 数	摩 擦 角
1. 砂土及砂壤土(松散)	0.25~0.35	$14^\circ \sim 19^\circ 30'$
2. 砂土及砂壤土(较粘结)	0.50~0.70	$26^\circ 30' \sim 35^\circ$
3. 轻型及中型粘壤土	0.35~0.50	$19^\circ 30' \sim 26^\circ 30'$
4. 重型粘壤土及粘土	0.40~0.90	$22^\circ \sim 42^\circ$
5. 棕壤水稻土(如苏南地区等)	0.90~1.00	$42^\circ \sim 45^\circ$
6. 极粘重土壤(如云南望子田)	1.00~1.20	$45^\circ \sim 50^\circ$

擦二部分组成,前者与二个物体的接触面积有关。只要能减少这两类摩擦就能降低总的摩擦力。目前降低土壤与耕作机械部件表面的摩擦方法很多:如工作部件振动,不但可改变二物体间的接触面积,而且可以改变摩擦的性质,由静摩擦变为动摩擦;也可以在土壤与工作表面间注入润滑剂,如水、空气或高分子聚合物,这样可同时降低上述二种摩擦;比较有效的是采用非亲水性的合成树脂,如在犁壁上覆盖聚四氟乙烯、尿素树脂和碳素树脂等,由于降低了粘附摩擦,从而可减小犁体的耕作阻力。但合成树脂的耐磨性和经济性还有待提高。关于土壤与金属间摩擦的本质属性也需在今后作更为深入的探讨,因为弄清了这一问题的机理,对降低能耗,将会有重要作用。

三、土壤坚实度及其压缩性

土壤坚实度是表征土壤机械抗力的综合指标,它是指在垂直载荷作用下,土壤不同深度的抗压能力。其测定原理是用一定的测头垂直压入土层中,测得不同深度 h 处的土壤的单位面积压力(kPa)称为某一深度的土壤坚实度。通常是取各分层的平均值的总平均值作为某一土壤的坚实度。测得的土壤坚实度曲线如图1-1所示。

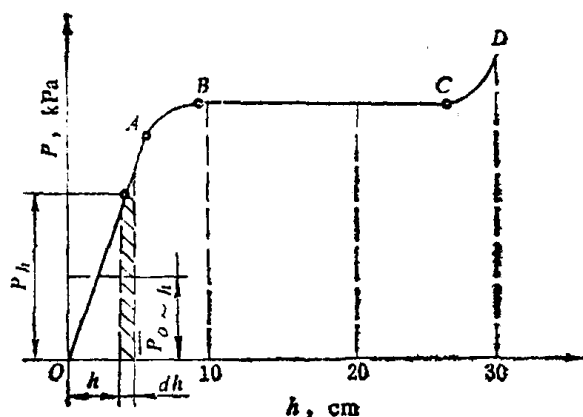


图1-1 典型的土壤坚实度曲线

测头压入土壤中大致有三个阶段:

OA 为弹性变形阶段; AB 为测头前形成压实的锥形土核,出现压力增加不多,土壤变

形大于第一阶段的塑性变形阶段； $\overline{BC}$ 为压力不再增大而变形很大的土壤流动阶段，大都出现在耕作层中；随后，当测头进入犁底层时，由于该层已被压实，所以压力再度增大， $\overline{CD}$ 曲线上升较快。

0~hcm土层内的平均坚实度为

$$\bar{P}_{0 \sim h} = \frac{\int_0^h f(h) dh}{h} \quad \text{kN/m}^2 \quad (1-2)$$

式中 $f(h)dh$ ——坚实度曲线与0h轴围成的微分面积； $\int_0^h f(h)dh$ ——为深度0~h范围内坚实度曲线与0h轴围成的面积，可以用求积仪或其他方法测得； h ——表示测头所达到的深度。

如已知弹簧的刚度 K_d kN/cm，坚实度曲线与0h轴围成的面积的平均深度 $\bar{h}$ ，则土壤坚实度还可下式表示：

$$\rho = \frac{K_d \bar{h}}{A} \quad \text{kPa} \quad (1-2a)$$

耕层土壤坚实度一般分0~10、10~20、20~30cm三层，求得各层的平均坚实度，然后再求总的平均值。

常用的测头有圆柱形和圆锥形二种，其尺寸各国标准不尽相同，如圆锥角有22°、22°30'和30°等几种；其截面积 A 有1cm²、2cm²和3cm²等几种。

表征土壤抗压能力的名称并不统一，除称土壤坚实度外，也有叫土壤承载能力或土壤硬度。或圆锥指数等。

耕层土壤的压缩性 采用圆柱型测头，在坚实度仪上，可以测得耕层土壤的压缩性。土壤的压缩性以土壤容积系数 q_0 kN/cm³来表示，其意义是压缩每一立方厘米的土体，需要的作用力，kN。利用坚实度仪测定值，可求得压力

$$P = q_0 A h \quad \text{kN} \quad (1-3)$$

式中 q_0 ——比例常数，土壤容积系数，一般在5~50kN/cm³之间； h ——土壤的压缩变形，即压头的压入深度，cm。

公式(1-3)表示土壤被压缩时，压力 P 与变形 h 成线性关系，这一情况大多出现在低压状态。由图1-1可见，在OA阶段内，压缩土壤的能量 E ，即为0~ h 深度范围内，坚实度曲线与0h轴围成的面积：

$$E = \frac{1}{2} Ph = \frac{1}{2} q_0 A h h = \frac{1}{2} q_0 A h^2 \quad \text{kN-cm} \quad (1-4)$$

由公式(1-4)可知，耕层土壤的压缩能与深度平方成正比。如拖拉机行走装置形成轮辙消耗的能量与轮辙深度（下陷量）成正比。因此，需采用减小单位面积压力的措施，如采用超低压轮胎或接地面积较大的履带等。

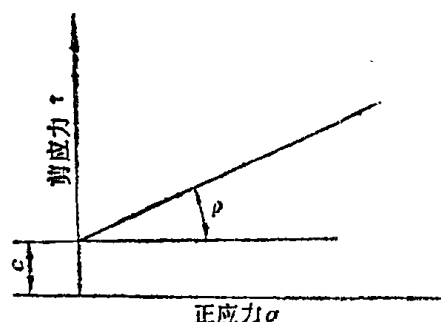


图1-2 库伦剪应力定律

四、土壤的抗剪强度

耕层土壤在耕作机械工作部件（如犁体、中耕铲等）作用下，往往出现剪切破坏，其剪应力大致服从库伦定律：

$$\tau = c + \sigma \tan \rho \quad (1-5)$$

式中 τ ——剪应力，kN/cm²； σ ——剪切面上的法向压应力