



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

## 农业工程概论

中国农业出版社

● 农业工程类专业用

● 张伟 主编

国高等农业院校教材指导委员会审定

# 农业工程概论

张伟 主编

农业工程类专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

# 农业工程概论

张 伟 主编

农业工程类专业用

ND12/19

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

## 农业工程概论

张伟 主编

---

责任编辑 何致莹

出版 中国农业出版社

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发行 新华书店北京发行所

印刷 北京市密云县印刷厂

\* \* \*

开本 787mm×1092mm16开本

印张 14.75 字数 338千字

版、印次 1997年5月第1版

1997年5月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 14.30元

---

书号 ISBN 7-109-04428-9/S·2750

## 前 言

任何农业工程措施要想收到预期的效果，都离不开多种因素的综合作用，这其中可能包括：生物的、化学的、物理的、环境因素及社会、经济条件，这也正是农业工程师不同于传统工程师的地方。因此农业工程师不仅要掌握有关的工程基础理论（机械、电工、建筑、水利、化工等）并受过必要的工程训练，还要具备一定的农业生物学知识和广博的科学技术知识，尤其要有正确处理农业工程问题的思维方法。多年来在一些国家（如美国、英国、日本等）的大学农业工程系曾设置《农业工程概论》课程，但从他们的教学大纲可以看出，这门课程的内容在各校之间有较大差异，且常做变动，通常由教师临时指定大量参考文献由学生自己阅读，至今尚未见有一本正式教材出版（目前在国外只有几本适合于农学各类专业的《农业工程概论》教材出版）。这不符合我国的现实情况，我们应该有一本适合于农业工程类各专业的《农业工程概论》教材。

本书介绍农业工程的基本概念，基本常识，尤其着重贯穿解决农业工程问题的正确思维方法。它不是一本农业工程手册，有关农业工程装备的具体结构、工作原理、设计方法及应用技术等，本书只可能做概括介绍，读者如有需要可查阅产品说明书及农业工程手册；较深入或更具专门性的农业工程问题，需阅读有关的专著、论文、或通过进一步研究才能解决。

本书由张伟担任主编，各章分别由有关专家执笔：

绪论 由张伟执笔

第一章 由汪裕安执笔

第二章 由张伟执笔

第三章 由黄季平执笔

第四章 由黄云栋执笔

第五章 由张伟、雷廷武执笔

第六章 由吴卫华执笔

第七章 由张伟、董仁杰执笔

第八章 由矢永达、张永贞执笔

远景展望 由张伟执笔

本书经汪懋华、蒋亦元二位教授审阅，并提出宝贵意见。由于编者水平有限，编写时间仓促，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

# 目 录

绪论 .....	1
农业工程与农业的发展 .....	1
农业工程学科的性质与任务 .....	2
农业工程师的素养和农业工程学的研究方法 .....	4
第一章 农业物料的工程性质 .....	6
1.1 研究农业物料工程性质的重要意义 .....	6
1.2 农业物料的形态特征 .....	6
1.2.1 尺寸和形状 .....	6
1.2.2 密度 .....	9
1.2.3 农业物料形态特性在农业工程中的应用 .....	9
1.3 农业物料的机械特性 .....	10
1.3.1 应力、应变与破坏 .....	10
1.3.2 流体动力学特性 .....	13
1.3.3 流变特性 .....	17
1.3.4 摩擦特性 .....	20
1.4 农业物料的热特性 .....	23
1.4.1 热量的传输过程 .....	23
1.4.2 农业物料的具体热特性 .....	24
1.4.3 农业物料热特性在农业工程中的应用 .....	25
1.5 农业物料的电磁辐射特性 .....	26
1.5.1 农业物料的可见光特性 .....	26
1.5.2 农业物料的其他光辐射特性 .....	28
1.5.3 农业物料的其他电磁辐射特性 .....	28
1.5.4 电磁辐射的应用 .....	29
1.6 农业物料的电特性和磁特性 .....	30
1.6.1 生物电 .....	30
1.6.2 介电特性 .....	30
1.6.3 电阻率 .....	31
1.6.4 磁特性 .....	32
1.6.5 农业物料电特性在农业工程中的应用 .....	32
1.7 农业土壤的工程性质 .....	33
1.7.1 自然土壤与农业土壤的形成 .....	33
1.7.2 土壤孔隙度、土壤水和空气 .....	33
1.7.3 土壤含水率和土壤状态 .....	34
1.7.4 土壤的强度和破坏 .....	35
1.7.5 土壤结持度 .....	36
1.7.6 土壤压实 .....	37

1.7.7 土壤的热特性 .....	38
1.7.8 土壤的盐化和碱化 .....	39
<b>第二章 农业机械化</b> .....	<b>41</b>
2.1 农业机械化在发展农业生产和推动社会进步中的作用 .....	41
2.2 实现农业机械化的条件 .....	42
2.3 机械化农业作业项目及农业机械的基本类型 .....	43
2.3.1 农用动力机械 .....	43
2.3.2 农业工作机械 .....	44
2.4 农业机器配备 .....	56
2.4.1 农机具、机组及机器系统 .....	56
2.4.2 机组生产率及动力机械功率匹配 .....	57
2.4.3 机组作业成本 .....	58
2.4.4 农业机器配备 .....	59
2.5 农业机械化发展战略 .....	60
<b>第三章 农村电气化及农业应用电子技术</b> .....	<b>61</b>
3.1 农村电气化 .....	61
3.1.1 农村电气化在农业经济发展中的作用 .....	61
3.1.2 农村供电 .....	61
3.1.3 农村用电 .....	65
3.2 农业应用电子技术 .....	72
3.2.1 电子技术在农业测量和控制中的应用 .....	72
3.2.2 养殖业中的环境控制与饲养管理 .....	77
3.2.3 种植业中电子技术的应用 .....	80
3.2.4 农产品的处理、贮存及质量检测 .....	83
3.2.5 计算机在农业管理上的应用 .....	86
<b>第四章 农业建筑与农业生物环境工程</b> .....	<b>88</b>
4.1 农业建筑与农业生物环境工程概述 .....	88
4.1.1 农业建筑的类型和基本组成 .....	88
4.1.2 农业生物环境工程研究的内容和特点 .....	91
4.1.3 农业建筑与环境工程设计的原则和基本要求 .....	92
4.2 温室建筑与环境工程 .....	95
4.2.1 温室的类型及其选择 .....	95
4.2.2 覆盖材料选择 .....	96
4.2.3 温室大棚的结构与构造 .....	98
4.2.4 温室的采暖设施 .....	99
4.2.5 温室通风换气与湿帘风机降温 .....	104
4.2.6 温室光能利用与光照设计 .....	110
4.2.7 温室 CO <sub>2</sub> 施肥 .....	115
4.3 禽畜建筑与环境工程 .....	118
4.3.1 养鸡场建筑与环境工程 .....	118
4.3.2 养猪场建筑与环境工程 .....	125
4.3.3 奶牛场建筑与环境工程 .....	131
4.4 果蔬贮藏保鲜建筑与环境工程 .....	132
4.4.1 贮藏保鲜条件与方式 .....	132

4.4.2 通风库贮藏	135
4.4.3 机械冷藏与气调贮藏	136
4.4.4 自然冷资源冷库贮藏	141
第五章 农业水土控制	143
5.1 我国农业水土资源的基本情况	143
5.2 农业土壤水分状况及水分运动	144
5.3 作物需水量和土壤水分调节	147
5.4 农田灌溉与排水	148
5.4.1 灌溉	148
5.5 排水	151
5.6 土壤水蚀及风蚀	152
5.6.1 水蚀	152
5.6.2 风蚀	153
第六章 农产品加工工程	155
6.1 概述	155
6.2 原料预处理	156
6.2.1 清理	156
6.2.2 物料分选	157
6.3 尺寸减小	160
6.3.1 概述	160
6.3.2 剪切式机械	160
6.3.3 撞击式尺寸减小机械	162
6.3.4 磨碎机械	162
6.4 分离	163
6.4.1 机械分离	163
6.4.2 膜分离	166
6.4.3 热分离	167
6.5 混合	170
6.5.1 固态物料的混合	170
6.5.2 液态物料的混合	171
6.6 杀菌	172
6.7 发酵与酶技术	174
6.7.1 发酵	174
6.7.2 酶技术	176
第七章 农业环境保护与农村能源	177
7.1 农业环境保护	177
7.1.1 农业环境与自然环境	177
7.1.2 农业环境质量恶化的因素及其危害	177
7.1.3 农业环境保护及治理	179
7.2 农村能源	180
7.2.1 农村能源系统	180
7.2.2 非商品性能源及节能技术	182
第八章 农业系统工程	198

8.1 系统·农业系统·农业工程系统 .....	198
8.1.1 系统概念 .....	198
8.1.2 农业系统 .....	202
8.1.3 农业工程系统 .....	203
8.2 系统工程·农业系统工程 .....	203
8.2.1 系统工程及其发展过程 .....	203
8.2.2 农业系统工程 .....	205
8.3 系统工程的基本逻辑过程和方法 .....	205
8.3.1 系统描述 .....	206
8.3.2 系统指标设计 .....	211
8.3.3 系统综合 .....	212
8.3.4 系统分析与优化 .....	214
8.3.5 系统评价 .....	215
8.3.6 决策 .....	218
8.3.7 实施 .....	220
远景展望 .....	223
主要参考文献 .....	225

## 绪 论

### 农业工程与农业的发展

人类在发展初期有很长时期（也许有 50 万年）不懂得种植植物和饲养动物，靠采集野生植物和狩猎野生动物为生，过着原始人的生活。经过长期生存斗争实践，大约在一万年以前，人类才逐渐学会靠自身体力并用极其简陋的石制或木制工具从事种植和饲养。那时人畜的粪便和秸秆、皮壳及动物的皮毛、尸骨等被丢弃后，回归土地进入自然再循环，有收无收完全靠天时，耕作过的土地遭到破坏。但当时人口密度很小，对自然生态平衡的影响不显著。那时无论土地生产率和劳动生产率都很低，个人劳动所得除了养活自己以外已无剩余，几乎人人必须从事农业生产劳动。又经过相当长的时期，人类又逐渐从原始农业的生产实践中学会引水灌溉和施用天然肥料，并学会使用役畜和以铁制农具代替石制、木制农具，从此就进入了传统农业时期。这个时期持续约两千年或更长，至今在一些发展中国家和我国的边远经济落后地区传统农业时期尚未结束。传统农业的土地生产率和农业劳动生产率虽比原始农业时期有很大进展，但仍然十分低下，因此不得不以 80% 左右的人口从事农业劳动才能养活整个社会，到 19 世纪初人口迅速增长，轻工业和手工业发展很快，粮食和原料的需求日益迫切，工业化也需要投入大批工业劳动力，在一些工业先进国家率先发明了钢犁、收割机等效率较高的农具。到 20 世纪初，内燃机的发明及石油工业的兴起，使机械动力引入农业生产成为可能，并为发展化学肥料工业提供了丰富的原料，农业从此才发生了根本性的变化。20 世纪五、六十年代一些发达国家相继实现了农业的机械化和电气化。由于繁育良种、栽培技术进步、施用化肥、利用农药控制病虫害，以及机械化作业提高了耕作和播种质量、减少收获和贮存损失、实现了适时灌溉等措施，从 1800 年到本世纪 80 年代，一些发达国家粮食的土地生产率提高了 5~8 倍，劳动生产率提高 40~50 倍。劳动生产率的大幅度提高发生在本世纪 50~60 年代以后，主要是由于以机械动力普遍代替人、畜力的结果，从而使从事农业劳动的人口降低到只占社会总人口的 2%~5%。转移出来的劳动力从事工业、第三产业及其他社会经济效益更高的活动，使整个社会的总产值远远超过人类历史上的任何时期，并推动了社会结构的巨大变化。现代化温室根据植物的环境生理要求控制温度、光照、空气中的 CO<sub>2</sub> 浓度等环境条件，更有效地利用了太阳能的光合作用，不仅提高土地生产率，并打破了农业生产季节性和地域性的限制。工厂化养殖畜禽及水产动物根据动物的环境条件及营养要求设计建筑、采取环境控制措施、进行饲料配方及饲养管理的科学化，提高了饲料转化率并缩短存栏时间。现代化的保鲜贮存工艺及设施减少了贮存损失并提高农产品质量。喷灌、滴灌等灌溉技术及设备的推广提高了灌溉效率、节约水资源和减少土壤浸蚀。长期以来农业生产活动主要为解决人类的温饱，因而农业技术及农业工程技术主要着眼于土地生产率和农业劳动生产率的提高，但农业品是一种消费弹性不大的特殊商品，当人们感觉到粮食保障已基本满足后，同时也看到了农业环境

及农业自然资源保护将影响农业的持续发展，农业环境是人类自然环境最重要的组成部分，农业工程师的任务已不再仅仅是为农产品生产及加工提供装备和工艺，而必须将农业发展和环境及资源保护做为一个整体来看待，解决其中的工程措施问题。

### 农业工程学科的性质与任务

与任何事物一样，农业工程学科也有它的发生和发展过程。随着畜力机械化的发展，1896年美国内布拉斯加大学率先在农学院设立“农业工程概论”课程，主要讲畜力机械化机具、灌溉和排水知识及实用机械技术和测量技术。以后几乎在所有美国的农学院内都把它做为公共必修课。内容包括：内燃机及拖拉机的基本常识、农业机械、灌溉、排水、实用机械技术和测量技术。1907年12月在美国麦迪逊成立美国农业工程师学会（ASAE），1910年在美国依阿华州立大学成立第一个农业工程系，以后美国所有的州立大学都相继设立了农业工程系，到1978年达44所。加拿大也仿照美国模式于1920年在萨斯卡齐旺大学设立了第一个农业工程系。农业工程系一般归工、农两学院共同领导，通常分农业工程（有的称“农业工程科学”）和“农业机械化”（有的称“农业工程技术”）两个主修科目。“农业工程”主修科目的培养方向着重研究和设计，下设若干专门化（Option）农业机械与动力、农业建筑与环境、水土控制、农业电气化、农产品加工等。“农业机械化”培养农业机械应用、推广、销售服务及管理人员。前者的学生在工学院注册，要学习工学院规定的数、理、化等基础课和工程基础课，后者的学生在农学院注册。当时的农业机械设计工作主要是在传统农艺的基础上应用传统的工程理论和方法进行的。在开始阶段设计出来的产品，经常以作坊工业方式小批量生产，这给农业机械的用户带来许多不便和风险，因而ASAE就着手建立统一的拖拉机及农业机械试验标准及制造标准。在这个阶段农业工程工作者的努力方向是千方百计地提高土地生产率和劳动生产率，特别更看重于后者：提高机械设备本身及其应用和管理的效率，到本世纪50年代，由于农业及农用工业的发展，开始重视基础研究。当时有一些富裕起来的农民为牲畜建造了精美的畜舍，但往往效果却很糟。于是一些大学的农业工程系就开始在动、植物生理学，及植物小气候学、作物收获后生理学、动物营养学、动物行为学等近代农业科学技术发展的基础上，并应用传热传质学、空气动力学等科学技术的理论和方法，研究农业动、植物环境生理学及物理学，经过许多学者多年研究，农业生物环境工程学已形成系统的理论，并成为现代化温室、畜禽舍、农产品贮存保鲜建筑设计的重要理论基础。

农业拖拉机和土壤加工机械是耗能最多、直接影响作物产量和质量的机械装备，因而较早就有人在土木工程土力学和农业土壤学的基础上根据农业机械化作业的特殊条件及要求，研究牵引土壤动力学和耕作土壤动力学，研究的目的是要提高土壤加工作业的质量和效率，减少耗能，减少土壤的破坏和压实，从而对土壤加工机械及拖拉机行走装置进行优化设计或创造新型机具的工作机理。

农产品加工、农业生产作业中的各个环节，无不涉及农业物料的工程性质，由于农业物料多是生命体，它有许多传统工程材料所没有的特殊性质，包括物理机械性质、热性质、电磁辐射性质等，这些性质都和生物体的生命过程密切相关，涉及到它们的密度、脆性、变形及破坏，并涉及农产品的产量和质量，因而农业物料的工程性质已成为所有农业工程设

计及研究人员必须了解的基础知识。

水利土木工程是一门历史较长的传统工程学科，水为生物生命活动所必需，水对土壤的机械性质、农业化学品及有机质的溶解和输运、土地盐碱化、土肥流失有密切关系。因此研究作物需水规律、水在土壤和作物中的运动、水分的蒸散等规律，对于灌溉及排水系统的设计及管理、防止土壤侵蚀及土壤和地下水污染具有重要意义。

现代化农业需要投入大量能源，这不仅增加农业生产成本并污染环境，特别在发现石油资源已日渐临近枯竭后，人们于重视农业能源转换效率的同时，开始研究农村能源系统的结构，并研究可再生能源及替代性能源的开发和利用技术。人们逐渐认识到集约型农业的废弃物如果不能妥善处理，不仅会直接造成农业环境的污染，并且对人类环境也将造成威胁，农业化学品的大量施用及城市污水、污泥及工业废气、废水、废渣用作农业灌溉及肥料或进行土地处理，对人类安全构成的威胁已日益突出，已不得不把它也纳入农业工程人员的视界。

农村实现电气化改变了农村的面貌，促进了农业和农村经济的发展，农业用电项目的不断开发为电能农业中的应用开辟了广阔前景，特别是在微电子技术和微型计算机普遍推广以后，用于农业生产及农产品加工和贮存各个环节的监测和控制传感器、数字式农产品质量检测仪表，以及微机管理系统已经使农业的面貌彻底改观。

农业生产受季节性及地区性制约，而农产品的消费则是持续的和遍及各地的。农畜产品往往是易腐败物质，因而农产品必须经过收获后处理（清洗、干燥等）并经过加工才能便于贮藏、运输或做为商品供人们消费，为保持做为食物或饲料的农产品营养、卫生、色、香、味，或不损害种子的出芽率等，在设计和选择农产品加工工艺和设备时，必须满足这些要求并适合农业物料的工程性质。现代传热传质学的理论与方法及计算机模拟方法、膜技术、挤压技术、酶技术等已逐渐在农产品加工和食品加工中得到普遍应用。

运筹学在二次大战中曾发挥过重要作用，随着计算机技术及数学方法的发展，系统工程的理论和方法已在各个行业得到了广泛应用并取得丰硕成果。本世纪50年代后期系统分析方法开始引入农业工程领域，对农业工程学科发展起到了划时代的意义。任何一项农业效果的实现都是多项因素综合作用的结果，而系统分析方法就是要首先彻底了解系统的特点，分析系统的动态反应，从而使整个系统得到最适当的配合。农业生产过程及农业生物的生命过程采取计算机模拟可以使研究工作深入到在通常条件下不可能达到的境界，并可缩短研究周期、节约研究经费。应用计算机模拟及系统分析方法进行犁曲面分析、土壤受压时应力分析、水在土壤及作物和大气连续体中的运动分析、喷雾雾滴分布分析、喷灌及滴灌水分布分析等，对犁曲面、喷雾和喷灌及滴灌设备的优化设计、实现科学的农业用水管理系统和灌溉机理研究等具有非常重要的实用价值。以专家知识为基础的专家系统对解决某一领域的实际问题，可以代替专家起咨询作用，各种各样的专家系统将逐渐在农业生产中发挥作用。系统分析方法运用于农业发展宏观决策及生产过程的管理已经愈来愈成为普遍的工具。

现代农业已离不开应用各种各样的机电设备及建筑和各种传统的工程技术，此外更有许许多多的农村适用技术需要在广大农村推广。从这一方面讲，可以把农业工程理解为各种科学技术在农业中应用的综合与分析。农业工程学科有自己的基础研究，它的任务是填

补传统工程技术与农业生物因素、环境因素及社会、经济因素之间相互关系的空白，因而它是一门带边缘性质的应用技术学科，边缘学科是不可能明确的界限和范围的，农业工程学科更是如此，它将随着农业和各种科学技术的发展而不断扩大它的研究和服务领域。农业是不可替代的，因而农业工程科学技术将愈来愈不可以被替代。

农业工程学科是首先在一些工业化先进国家伴随工业化进程而发展起来的，这些国家一般土地资源都比较丰富，当时的人口密度不大，工业化开始碰到的问题是工业劳动力的来源、人口增加及轻工业发展后食物和原料的迫切需求与传统农业落后生产力的矛盾。他们用工业化生产出来的产品及传统的工程技术，把人力替代出来做为工业劳动力的后备军、同时也使农业劳动生产率得以大幅度提高，因而农业机械化电气化的发展比较顺利。但随着农业现代化水平的提高，他们已发现现代化走过的历程也给农业和社会带来了严重的环境、生态和资源问题，因而需要对农业现代化的历程重新估计并科学地规划未来。中国至今仍然是发展中国家，到2000年人口至少达13亿，人均土地资源不到世界平均水平的1/3，单位耕地面积的水资源只有世界平均水平的1/2。我们当前面临的矛盾有：工业化和城市发展与广大农村经济落后的矛盾、提高农业劳动生产率与大量农村剩余劳动力转移出路的矛盾，以及巨大的食物与轻工业原料需求与农业自然资源相对不足的矛盾。因此中国农业工程工作者的工作条件比发达国家的农业工程工作者更为苛刻，责任也更为重大。要解决中国的农业和农村问题必须针对中国的具体实际，充分利用一切现代农业科学技术和农业工程科学技术的先进成果，但应该避免别人已经犯过的错误。

#### 农业工程师的素养和农业工程学的研究方法

农业工程师是为农业和农村服务的工程师，他们的基本任务是：研究、设计和管理农用机械、电气设备及建筑，解决农业生产和加工工艺及农业生态保护和农业环境保护以及农业自然资源开发和利用中的工程问题，解决农业及农村发展和其它生命系统有关的工程问题。当然不可能要求农业工程师是一个万能的工程师，上述的各项任务需要农业工程师和农学家、机械工程师、电气工程师、土木工程师、化学工程师、物理学家、化学家、以及经济学家、社会学家的共同努力及协作才能完成，但农业工程师的作用是不可以代替的。

农业工程师必须有广博的知识，尤其是只有了解农业生产过程及其生物学基础才能恰当地采取工程措施。因此农业工程师必须具有必要的农学及生物学基础知识。

农业工程师必须掌握有关的工程基础理论并经过必要的工程基础训练，还要掌握系统分析的基础理论和方法，方能从系统角度做到生物因素与环境因素及社会、经济因素的恰当配合。任何农业系统都是生物系统和物理系统与环境的综合系统。生物系统的特点是：随时间而变化，对外界环境因素有自适应性，但这种自适应性有一定范围，超过这个范围生命过程就要终结或使农业的输出大幅度地减少（农产品的产量及质量）

农业工程学科属于应用技术学科，在进行农业工程项目的研究和设计时，首先必须明确要解决的问题，最终要通过田间试验以至周密的推广前研究（对自然、社会、经济条件的适应性研究），才能实现预期的效果。在现代工程科学技术中模拟及系统分析方法已经得到了普遍的应用，但传统的工程（机械、电工、土木、化学等）一般只涉及物理系统，因而可以比较容易地通过力学或电学等物理分析制定出数学模型。只有经过量化及公式化后，

才能依靠系统分析的理论及方法，运用数学运算及计算工具得到精确的解答。农业工程问题涉及生物系统，不能单纯通过力学、电学中的物理分析方法制定出数学模型，但可以利用某些生物过程与力学或电学等物理现象的类比来制定近似的数学模型，从而达到量化及公式化的目的，使生物系统、物理系统共同形成的综合系统可以用系统分析方法来处理。但数学模型的制定及系统分析运算的结果是否有实用价值，决定于农业工程科技人员的知识、经验和判断，尤其是过程及相互关系的规律的深入了解、基础数据必须依赖实验室实验、田间试验及长期积累的统计资料。

本书作为《农业工程概论》，只是为未来的农业工程师及研究人员，以及正在从事农业工程工作的工程人员提供有关农业工程的基本概念及基本常识和基本方法。本书并不是“手册”也不是“专著”不可能从本书了解一切农业工程科学技术问题。有关各种农业机械、电气设备及建筑装备和工艺等方面的原理和结构可以从有关的专著、论文及说明书中去查阅，但从本书可获得必要的线索。

## 第一章 农业物料的工程性质

### 1.1 研究农业物料工程性质的重要意义

农业物料是农业工程处理的具体对象。它们的物理机械性质、热性质、电磁及辐射性质，以及某些生物学特性直接关系到田间作业、加工、贮存、运输等农业作业的工艺和设备选择及设计、农产品产量和质量的提高及评估方法，以及农业环境保护、农村能源开发利用等工程措施的实施。农业物料包括：农业动、植物产品及其加工半成品和成品，以及与农业作业密切有关的土壤、肥料、农药等。

有些农业物料固、液、气三态同时存在于同一种物料之中，并且各向异性、尺寸及形状不规则。如作物茎秆内既有固体物质，又有自由水和空气孔隙，其顺纤维方向与其他方向强度有很大差异。农业物料大部分是动、植物生命体，其活体要不断进行新陈代谢，即使收获后的作物这种生命过程也并未结束。农业物料的这种生物学特性不仅是决定农产品产量和质量的重要因素，并且在动、植物的不同生长发育阶段，由于其生物学特性变化，对农业物料的物理机械性质、热性质、电磁及辐射性质有重要影响。只有深入了解农业物料的这些性质才能恰当地采取工程措施，正确地进行工艺和设备的选择及设计。有些农业机械的机构、农业检测控制仪表的工作机理就是利用农业物料的某些特殊性质设计的。

### 1.2 农业物料的形态特征

#### 1.2.1 尺寸和形状

尺寸和形状相互结合才能正确地描述一个物料实体的形态。几何完全相似时可用一个尺寸判别其差异，不然就要用两个或三个相互垂直的尺寸。各尺寸间不同比例又反映出形状的差异。甚至相同品种的蔬菜、水果以及谷粒、茎秆等，其形状尺寸迥然不同，不存在两个绝对相同的物体。为了方便地描述形状，将物料的纵向和侧向横截面，绘成不同的形状分类标准图，如圆形、扁圆形、圆锥形、卵形等等，将实际物料对应截面绘出后与标准图形对比，就近归类即可。但对茎秆等物料，长轴方向不宜用图形对比。

**1.2.1.1 圆形与球形** 许多种子、水果近似圆球形，林木、作物和蔬菜的横截面是接近圆形，可用圆度表示它们与理想圆的接近程度，方法之一是用截面圆形（类球体取自然放置稳定状态下的最大投影面积）中各棱角的曲率半径平均值与最大内接圆半径对比法（图 1-1），并用下式计算

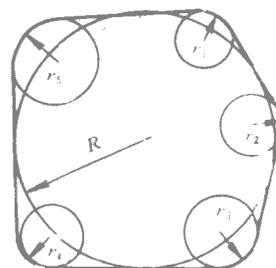


图 1-1 圆截面的圆度

$$\text{圆度} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{mR} \quad (1-1)$$

式中： $R_i$ ——投影（截面）面图形上各棱角的曲率半径；

$m$ ——棱角总个数；

$R$ ——投影（截）面图形的最大内接圆半径。

对于类球体，可取直径比公式如下

$$\text{球度} = \frac{d_i}{d_c} \quad (1-2)$$

式中： $d_i$ ——类球体的最大投影面积图形的最大内接圆直径；

$d_c$ ——类球体上述图形的最小外接圆直径。

假定物体的体积等于相互垂直的三个截矩  $a$ 、 $b$ 、 $c$  构成的椭球，且最大截矩为  $a$ ，则

$$\text{球度} = \left( \frac{\text{物体体积}}{\text{外接球体积}} \right)^{1/3} = \left[ \frac{(\pi/6)abc}{(\pi/6)a^3} \right]^{1/3} = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \quad (1-3)$$

也即几何平均直径与最大直径之比。

还有其他圆度和球度计算方法，但用它们表示三轴粒径差较大的物料（麦类、水稻等，会有较大误差）。

### 1.2.1.2 尺寸的表示

(1) 粒径。对非类球物料，测量其三轴尺寸  $a$ 、 $b$ 、 $c$  ( $a < b < c$ ) 后，可求得其折合粒径（表 1-1），对群体物料，还可利用不同方法表示各颗粒的平均粒径（表 1-2）

表 1-1 单籽粒粒径的表示和计算式

名 称	计 算 式	名 称	计 算 式
轴算术平均值	$(l+a)/2$	圆等径值	$(4f/\pi)^{1/2}$
轴算术平均值	$(l+b+a)/3$	几何平均值	$(abl)^{1/3}$
调和平均值	$3 \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{l} \right)^{-1}$	球体等值径	$(6\nabla/\pi)^{1/3}$
表面积平均值	$(2ab+2bl+2al)^{1/2}/6$	立方体等值径	$\nabla^{1/3}$
体积平均值	$3abl/(ab+bl+al)$	定向径	$dg$

注： $f$ ——投影面积

$\nabla$ ——籽粒体积

$dg$ ——籽粒投影图上任意方向的最大距离。

如已知颗粒的真实重度  $\gamma_s$ ，则不难根据其总重量  $W_{sn}$  由下式算出其等体积球的粒径  $d_s$

$$d_s = \sqrt{\frac{6W_{sn}}{\pi\gamma_s n}} \quad (1-4)$$

式中： $n$ ——颗粒个数。

对无法计数的粉状物料，按筛分法用  $m$  个孔径分别为  $d_1$ 、 $d_2$ 、…… $d_n$  的筛子，筛出各部分的重量百分比  $x_1$ 、 $x_2$ 、…… $x_m$ ，由下式算出平均粒径  $d_s$

表 1-2 平均粒径的表示和计算

名称	计算式	物理意义
算术平均径	$d_1 = \sum (nd) / \sum n$	多颗粒径的平均值
几何平均径	$d_2 = (d_1 d_2 \cdots d_n)^{1/n}$	$n$ 个粒径乘积的 $n$ 次方根
调和平均径	$d_3 = \sum n / \sum (n/d)$	各粒径的调和平均值
面积长度平均径	$d_4 = \sum (nd^2) / \sum (nd)$	表面积总和除以直径的总和
体面积平均径	$d_5 = \sum (nd^3) / \sum (nd^2)$	全部籽粒体积除以总表面积
重量平均径	$d_6 = \sum (nd^4) / \sum (nd^3)$	重量等于总重量, 数目等于总个数的等粒子粒径
平均表面积径	$d_7 = [\sum (nd^2) / \sum n]^{1/2}$	将总表面积除以总个数取其平方根
平均体积径	$d_8 = [\sum (nd^3) / \sum n]^{1/3}$	将总体积除以总个数取其平方根
中径	$d_{50}$	粒径分布的累积值为 50% 时的粒径

$$d_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{X_i}{d_i}\right)} \quad (1-5)$$

相邻筛子之间物料粒径取筛子孔径乘积的均方值, 如在  $d_i$  孔径筛下方和  $d_{i+1}$  孔径筛上方的物料, 其名义直径为

$$d_s = \sqrt{d_i d_{i+1}} \quad (1-6)$$

现有方法算出的平均粒径并不相同, 如测定同一批物料时, 按表 1-2 求得的结果, 会有  $d_3 < d_2 < d_1 < d_7 < d_4 < d_5 < d_6$  的现象。所幸实际测定粒径的目的, 均是为一定的生产工艺服务, 针对性较强, 如比较各种尺寸时常用算术平均粒径, 气力输送和燃烧等情况下则取重量平均粒径, 评定分离与分级装置的性能时都采用中径等。

(2) 单项尺寸的测定。粒径基本上都是通过测量各单项尺寸后换算的, 因此单项尺寸的测定是基础。并且谷物、种子和有些物料, 仅按单项尺寸分组。

单项尺寸测量的方法很多, 一是用卡尺、轮廓放大仪等量具进行单粒测量, 然后分组统计; 二是利用不同孔径筛片组成的套筛, 按过筛情况分组。后一种方法快速简便, 而且与分选工艺类似, 但它无法测定颗粒的长度。

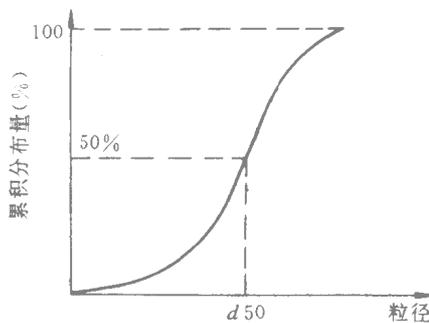


图 1-2 粒度累积分布曲线

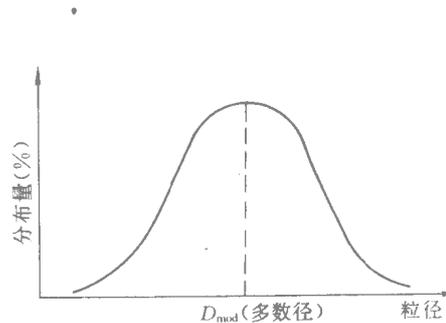


图 1-3 粒度频率分布曲线

**1.2.1.3 尺寸分布** 为了对测定结果进行分析和应用,须将物料颗粒的尺寸与其重量或粒数百分比的关系通过直方图或曲线图表示出来。可用累积分布(图 1-2)、也可用频率分布(图 1-3)。多数情况下频率分布符合正态分布规律,可用概率密度函数表示。概率分布曲线上最高点对应的多数值(多数径)  $d_{mod}$ 和累积分布曲线累计量达 50%时对应的中值(中径)  $d_{50}$ ,可代表该批物料籽粒的平均尺寸。

## 1.2.2 密度

**1.2.2.1 真实密度** 真实密度是物料的质量与其实际体积比,是物料内部成分、密度和水分等的函数。可用称重法、浮力法、比重瓶法、比重梯度法、气比法和定容积压缩法等等。称重法运用于测定水果等体积较大的物料,对小物料宜用浮力法,细小的或粉末物料则用比重瓶法。比重梯度法测试方便,但只适用于不会被容器中流体渗透的物料;气比法是通过测定物料真实体积入手的。

**1.2.2.2 容积密度与孔隙率** 农业物料大部分是散粒状或散粒物料,颗粒之间存在空隙,这时物料的体积称为视在体积,颗粒之间全部空隙体积与视在体积之比称为孔隙率。

容积密度受许多因素影响,如施压、振动和摇晃会加大密度,测定器容积不同也会引起差异。此外,颗粒尺寸均匀度越低,容积密度差异也越大,因此一般获取的均是虚表密度  $\rho_a$ 。

$$\rho_a = m_s/V_a \quad (1-7)$$

式中:  $m_s$ ——物料的总质量;

$V_a$ ——视在体积,又称虚表容积。

虚表密度  $\rho_a$  是可变量,只有不断敲打振动,使  $V_a$  连续减少,最终  $\rho_a$  逐渐稳定在某一最大值,称作最终虚表密度或填充密度  $\rho_c$ 。测定时都用统一的仪器(如 61—71 型谷物容量器)和严格的操作规程,以提高准确度和再现性。

## 1.2.3 农业物料形态特性在农业工程中的应用

**1.2.3.1 品质评定** 良好的谷粒和种子都是颗粒健壮饱满、容积密度大的。通过容积密度对比,可以判定其成熟程度,还可为确定籽粒均匀度和杂质含量提供参考。同一品种的谷物籽粒,首先完成其粒长的发育,然后依次是宽度和厚度,厚度尺寸和其他尺寸的比例,也可作为成熟的指标。

牛奶经放置后密度会提高。从其密度的变化中可以判断牛奶的新鲜程度。

**1.2.3.2 确定物料清选和分级工艺** 摩擦系数相同的条件下,球度大的颗粒较扁平颗粒滚动性好,利用螺旋分选器易于选出大豆中的半瓣粒和虫蛀粒;对籽粒长度、宽度和厚度分别有差异的物料可相应地利用窝眼筒(盘)、圆孔筛和长孔筛分选;对形状特殊的还可采用三角孔筛(选荞麦等)或其他型孔筛。

借助尺寸测定绘制尺寸—频率分布曲线后,可以比较容易确定分选的可能性以及应选用的筛孔类型和大小。

### (1) 分选可能性和孔型

在图 1-4 显示的谷粒和杂草籽的尺寸—频率分布曲线上,可能看到有三种相互分布情