

第 1 章

概 述

本章重点和学习目标

粮油加工学的范畴；粮油加工的历史与现状；粮油加工学的主要内容。

1 粮油加工学的范畴

种植业所收获的产品统称为农产品,包括粮、棉、油、果、菜、糖、烟、茶、菌、花、药、杂,种类繁多。粮油是农产品的重要组成部分,是人类赖以生存的基础。狭义的农产品,一般即指粮油原料。粮油原料主要是农作物的子粒,也包括富含淀粉和蛋白质的植物根茎组织,如稻谷、小麦、玉米、大豆、花生、油菜子、甘薯、马铃薯等。粮油原料的化学组成是以碳水化合物(主要是淀粉)、蛋白质和脂肪为主。粮油原料经过初加工成为粮油成品,是人们食物的主要来源。对粮油原料进行精深加工和转化,可制得若干种高附加值的食品和工业、医药等行业应用的重要原辅料。

以粮食、油料为基本原料,采用物理机械、化学、生物工程等技术进行加工转化,制成供食用以及工业、医药等各行业应用的成品或半成品的生产领域统称为食品工业。按加工转化的程度不同,可分为粮食、油脂加工业;粮油食品制造业;粮油化工产品制造业。在传统的意义上,粮油加工主要是指谷物的脱皮碾磨和植物油的提取,加工产品主要是米、面、油以及各种副产品。随着社会发展和科技进步,粮油加工不断向高水平、深层次扩展,粮油食品制造业的比例增加,粮油化工产品加工业正在兴起,从原料到各种产品的加工转化是一个不可分割的系统,粮油加工的内涵已经扩大。综上所述,以粮食、油料为基本原料加工成为粮食、油脂成品,进一步制得各种食品和工业及化工产品的过程都属于粮油加工的范畴。以化学、机械工程和生物工程学为基础,研究粮油精深加工和转化的基本原理、工艺和产品质量的科学即为粮油加工学。

2 粮油加工的历史和现状

粮食和油料是人们赖以生存的基本食物来源,对于中国这样一个有 80%的人口在农村的农业大国,尤其是这样。中国人饮食中大约有 90%的热能和 80%的蛋白质由粮食提供。中国人的食用油也绝大多数来自植物油料。而各种粮食和油料

都必须经过加工才能达到食用或工业利用的要求。粮油加工主要是生产食品，随着社会发展和科技进步，粮油原料加工成为食品的方法和手段不断改进，水平不断提高，加工范围不断扩大，同时又不断向除食品之外的其他方向扩展。

七八千年前，中国就开始栽种稷黍稻谷和驯养猪羊，以精耕细作著称的传统农业也有了 3 000~4 000 年的历史。中国的粮油加工与中国的农业发展同步，有着悠久的历史。如制米、制粉及豆制品的生产，从古代劳动人民运用杵臼法、石臼法开始到水磨加工、磨楼加工，再到近代的机械化、自动化生产，经历了漫长的历史过程。我国人民在长期的生产实践中，积累了宝贵的经验，形成了一系列传统的具有中国特色的粮油加工技术。源于殷商时期的粮食酿酒，发明于西汉时期的豆制品生产，都是我国劳动人民智慧的结晶。

然而，旧中国几千年封建半封建的社会制度，极大地制约了生产力的发展，农业发展缓慢，农产品单位面积产量一直处于较低的水平。在粮油原料供给不足的情况下，粮油加工必然是低层次的初加工，中国的粮油加工业在低水平的状态下徘徊了几千年。

解放以后，在中国共产党的领导下，中国的农业有了较快的发展，特别是改革开放以来，农业和农村的面貌发生了根本性的变化。在人口总数不断增加，耕地面积有所减少的情况下，依靠党的农村政策和科学技术的普及，农产品产量大幅度提高，实现了基本自给，丰年有余，人民生活基本步入小康水平。农业生产的喜人形势，给农产品加工的发展带来了机遇。

近 20 年来，我国引进国外先进的小麦制粉设备生产线 200 多条，使我国的制粉技术提高到一个新的水平，自行研究制定了多种专用粉标准，大大地缩小了与世界发达国家的差距。在碾米工业方面，除积极引进国外先进设备外，还自行研制开发了达到国际先进水平的免淘米、营养米生产技术以及相应的大米抛光机、色选机等高科技设备。方便面生产线在引进的基础上，积极研制国产化设备，现已拥有 3 000 多条方便面生产线，年产方便面 120 亿包，成为世界上生产方便面的第一大国。油脂工业完成了制油工艺方法的更新和技术改造，溶剂萃取法已基本上取代了传统的压榨法，精炼油已经普及。淀粉工业自 20 世纪 80 年代初期以来进入快速发展阶段。从当时的年产 30 万 t 到现在的 400 多万吨，年增长率在 14% 以上。淀粉生产引进了国际上先进的生产设备，并进行消化、吸收，研制出了具有较高水平的国产设备，淀粉生产工艺技术水平已接近或达到国际先进水平，正进一步向大规模、高水平方向发展。

20 世纪 90 年代以来，粮油工业随着经济体制的转变，逐渐向规模化、集约化、现代化方向发展。粮油加工的重心开始向精加工、深加工、食品加工转移，并向其他

行业延伸。高新技术、计算机技术、生物工程和现代化管理模式的应用推动了粮油工业的进一步发展。当前，主要面粉工业企业已普遍开始通过配麦和配粉技术实现了专用粉的批量生产，以专用粉为主要原料，各种面制食品的质量有了明显的改善。碾米工业从选用优质水稻品种入手，合理配置工艺，优质米、精洁米正以品牌的优势占领市场。在淀粉工业快速发展的同时，淀粉糖、变性淀粉、发酵制品、酒精等淀粉深加工与转化产品产量正逐年增加。植物蛋白质产品生产和应用正悄然兴起，粮油方便食品和主食的工业化生产发展迅速，粮油工业已经进入了一个新的发展时期。

中国加入 WTO 和经济全球化，给粮油工业带来新的发展机遇，同时也面临着巨大的挑战。应该看到，中国的粮油工业从装备到技术水平与发达国家相比，还存在着很大的差距。要参与国际竞争，就必须全面提高我国粮油工业的装备水平和技术水平，提高粮油原料质量和加工产品的质量，粮油工业的发展和技术进步还面临着繁重的任务。

3 粮油加工学的主要内容

粮油工业有自己的体系，但它与农业和食品工业的关系密不可分。粮油工业产品和食品的质量受原料质量的影响，粮油初加工的产品又是食品工业的原料。把粮油工业与农业和食品以及深加工分割开来，会使粮油加工的发展陷入困境。

从广义上说，农业也是食品工业的一部分，因为农业担负着为食品工业提供原料的任务。当前我国农业结构调整和品种改良，对食品工业起了巨大的促进作用。加工专用品种的基地建设和定单农业，都是发展粮油工业所必需的。粮油工业还必须在初加工的基础上，进一步向深加工发展，才能生产高附加值产品，创造更大的经济效益。以玉米为例，选用适合淀粉工业利用的高淀粉品种，通过湿磨加工，得到主产品淀粉和副产品如玉米油、蛋白粉、玉米浆、皮渣饲料等。淀粉可通过改性、酶解、发酵工艺途径，进一步转化成各种变性淀粉、淀粉糖品、酒精、有机酸、氨基酸、抗生素等高科技产品，为食品、医药、化工、纺织、造纸等工业提供原辅材料。从农业提供的专用玉米品种到各种产品，是一个完整的系统。其他粮油加工也是如此。

以我国主要粮油作物为基本原料，从初加工到深加工和综合利用，在新的意义上来说，粮油加工学的内容非常多。粮食、油料就其组织结构、理化特性各异的特

点，根据加工方法和加工产品，研究内容包括以下 7 个方面：

(1)粮食的碾磨加工 包括稻谷制米、小麦制粉、玉米及杂粮的粗制品如玉米粉、玉米渣等。粮食的碾磨加工 既要减少营养损失 又要精细加工 为食用和进一步加工新的食品打基础。

(2)以米、面为主要原料的食品加工 包括挂面、方便面、焙烤食品、米粉及以玉米、豆类等杂粮为原料的早餐食品等。

(3)植物油脂的提取、精炼和加工 包括各种植物油的提取，如大豆、花生、油菜子、棉子、玉米胚芽、米糠等油脂的提取方法 油脂的精炼和加工等。

(4)淀粉生产 包括从玉米、马铃薯以及豆类等富含淀粉类的原料中提取天然淀粉并得到各种副产品的生产工艺过程。

(5)淀粉的深加工与转化 包括淀粉制糖、变性淀粉的生产、淀粉的水解再发酵转化制取各种产品的过程。

(6)植物蛋白质产品的生产 包括传统植物蛋白质食品和新蛋白食品如豆腐、豆奶、浓缩蛋白、分离蛋白和组织蛋白的制备。

(7)粮油加工副产品的综合利用包括麦麸、稻壳、米糠、胚芽、皮壳、废渣、废液、糖蜜等的加工和利用。

4 开创粮油加工业的新局面

我国的粮油加工业经过建国后半个多世纪，特别是改革开放 20 多年来的发展，已经取得了巨大的成就。现已拥有制米、制粉、油脂提取和精炼、淀粉生产、制糖、焙烤、酿酒、调味品、糖果、氨基酸、抗生素、维生素、酶制剂和饲料等门类齐全的粮油加工工业体系。生产设备绝大部分已实现机械化和自动化，作坊式生产已成为历史。但在整体发展上，距世界先进水平还有相当大的差距。主要表现在品种数量少，质量标准低，加工深度不够，综合利用差。应对入世的挑战，缩小与世界先进水平的差距，开创粮油加工的新局面，是当前的重要任务。

积极开展适合加工的优质、专用型粮油原料品种的选育工作，加快粮油原料的优质化和专用化进程，完善和制定质量标准，尽快改变我国粮油加工原料参差不齐的现状，为粮油加工业提供优质原料，从根本上保证加工产品质量。

进一步加快高新技术在粮油工业上的应用，提高生产效率，降低生产成本，

保证产品质量。推广膜分离技术、超临界萃取技术、挤压膨化技术、微波技术、超微磨技术、无菌生产和包装技术 高压、光、电、气、磁效应和计算机控制技术等高新技术。进一步引进和消化国际先进设备，全面实现粮油加工与转化的机械化和自动化。

积极开展生物技术在粮油加工中的应用研究，通过基因工程、细胞工程、发酵工程、酶工程等途径 进行品种选育 提高加工转化效率 保证产品质量和开发新产品，提高粮油加工产品的附加值。

研究开发粮食与食品色、香、味及营养素的保存和使用品质改良与提高的新工艺和新技术，在分子水平上研究食品稳定性，加工可能性，提高营养及感官质量。

应用现代营养学的最新成就，研究提高米、面、油的营养效价和改善膳食结构的食用技术 开发功能食品、方便食品、运动食品、婴儿食品、老年保健食品等 积极推进主食生产的工业化。

⑥研究粮食与食品在储藏和流通的过程中品质变化的规律，科学合理地选择最佳的储藏条件，保持粮食、油料和食品的品质和新鲜度，研究粮食和食品保藏与保鲜相应的包装技术和包装材料。

⑦认真研究粮油加工副产品的综合利用 对皮壳、胚芽、渣滓、纤维、废液等副产物要提高回收利用率，只要加工利用合理，副产品都是宝贵的资源，是企业降低生产成本，提高经济效益的重要途径。

⑧积极开展以玉米为主的粮油深加工与转化技术研究，发展淀粉糖、变性淀粉、燃料酒精、功能性低聚糖、氨基酸、抗生素等高附加值产品的生产 使粮油加工向除食品以外的其他行业延伸，解决玉米产地农民买粮难的问题。

⑨面向国际市场 在生产、管理、产品标准和产品质量上尽快与国际接轨 关注食品安全，增强产品在国际市场上的竞争力。

⑩加强粮油加工的科学研究和人才培养，不断推出新的科研成果，提高粮油工业的科技贡献率，提高我国粮食资源的利用率，提高粮油工业的科技水平和效益水平。

第 2 章

稻 谷 制 米

本章重点和学习目标

稻谷品种与大米品质的关系；稻谷的工艺性质；稻谷加工的工艺；稻谷清理的方法及其原理；砻谷对稻谷的作用；砻下物的分离；碾米的过程及碾米机的工作原理；成品和副产品的整理及其目的；稻壳和米糠的综合利用途径和方法。

稻谷是第二大谷物，全世界稻谷种植面积占谷物总面积的 1/5。我国稻谷产量居世界首位，全国约 2/3 的人口以大米为主食。

稻谷加工是为了提高其食用品质，稻谷加工获得的大米的蛋白质含量虽较低，但其生物效价较高，因此营养价值较高。大米粗纤维含量较低，各种营养成分的消化率和吸收率高。大米蒸煮成米饭，香味宜人，糯黏可口，具有良好的食用品质。同时以大米为原料亦可进一步加工制作米粉、糕点、酿制米酒等。

稻谷的加工方法有湿法和干法之分，本章讨论的是干法，其工艺过程一般包括清理、砻谷及砻下物分离、碾米及成品整理 3 个主要阶段。

1 稻谷的工艺品质

稻谷的加工受很多因素影响，而稻谷本身所具有的影响加工工艺效果的特性称为工艺性质，这些性质直接影响到成品的质量和出米率的高低。稻谷的工艺品质主要是指稻谷的子粒形态结构、化学成分、物理性质等。不同品种、等级的稻谷具有不同的工艺性质，不同的加工方法和加工精度对稻谷的工艺性质亦有不同的要求。只有了解掌握稻谷的工艺性质，选择确定合适的加工方式及设备，才能使稻谷资源得到充分合理的利用，获得最佳的经济效益。

1.1 稻谷的分类、子粒结构和化学组成

1.1.1 稻谷的分类

我国稻谷种植区域广，品种超过 6 万种。稻谷的分类方法很多，按稻谷的生长方式分为水稻和旱稻；按生长的季节和生长期长短不同分早稻谷（90~120 d）、中稻谷（120~150 d）、晚稻谷（150~170 d）；按粒形粒质分有粳稻谷、籼稻谷、糯稻谷。

旱稻谷因其品质差、产量低、播种面积少，所以未被列入国家标准。一般情况下，除非特别指明是旱稻谷，否则均认为是水稻谷。

籼稻谷子粒细长，呈长椭圆形或细长形，米饭胀性较大、黏性较小。早籼稻谷腹

白较大，硬质较少；晚籼稻谷腹白较小，硬质较多。

粳稻谷子粒短，呈椭圆形或卵圆形，米饭胀性较小，黏性较大。早粳稻谷腹白较大，硬质较少；晚粳稻谷腹白较小，硬质较多。

糯稻谷按其粒形、粒质分为籼糯稻谷和粳糯稻谷。籼糯稻谷子粒一般呈长椭圆形或细长形。长粒呈乳白色，不透明，也有呈半透明状，黏性大。粳糯稻谷子粒一般呈椭圆形。米粒呈现白色、不透明，也有呈半透明状，黏性大。

1.1.2 稻谷子粒的形态结构

稻谷子粒由颖（外壳）和颖果（糙米）2 部分组成，制米加工中稻壳经砻谷机脱去而成为颖果，又称为糙米（图 2-1）。

稻壳由 2 片退化的叶子内颖（内稃）和外颖（外稃）组成，内外颖的两缘相互钩合包裹着糙米，构成完全封密的谷壳。谷壳约占稻谷总质量的 20%，它含有较多的纤维素（30%）、木质素（20%）、灰分（20%）和戊聚糖（20%），蛋白质（3%），脂肪和维生素的含量很少，其灰分主要由二氧化硅（94%~96%）组成。

糙米是由受精后的子房发育而成。按照植物学的概念，整粒糙米是一个完整的果实，由于其果皮和种皮在米粒成熟时愈合在一起，故称为颖果。颖果没有腹沟，长 5~8 mm，粒质量约 25 mg，是由颖果皮、胚和胚乳 3 部分组成。颖果皮由果皮、种皮和珠心层组成，包裹着成熟颖果的胚乳。胚乳在种皮内，是由糊粉层和内胚乳组成。胚位于糙米的下腹部，包含胚芽、胚根、胚轴和盾片 4 个组成部分。在糙米中，果皮和种皮约占 2%，珠心层和糊粉层占 5%~6%，胚芽占 2.5%~3.5%，内胚乳占 88%~93%。在糙米碾白时，果皮、种皮和糊粉层一起被剥除，故这 3 层常合称为米糠层。米糠和米胚含有丰富的蛋白质、脂肪、膳食纤维、B 族维生素和矿物质，营养价值很高。稻谷子粒各组成部分的质量比例如表 2-1 所示。

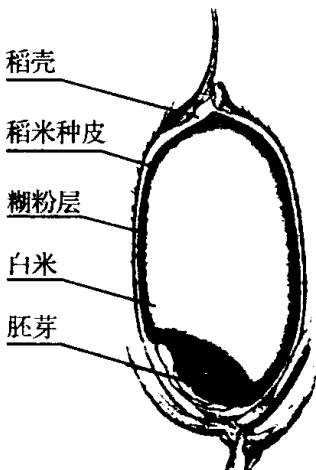


图 2-1 稻谷子粒的形态结构

表 2-1 稻谷子粒各组成部分质量比例

种类	稻壳	果皮+种皮	珠心层+糊粉层	胚	胚乳
稻谷	20	1.5	4.5	2	72
糙米	—	2.1	4.7	2.5	90.7

1.1.3 稻谷的化学成分

稻谷子粒中含有的化学成分有水、蛋白质、脂肪、淀粉、纤维素、矿物质等 此外还有一定的维生素。稻谷子粒各组成部分的主要化学成分含量见表 2-2。

表 2-2 稻谷子粒各组成部分的主要化学成分 %

种类	水分	蛋白质	脂肪	碳水化合物	纤维素	灰分
稻谷	11.7	8.1	1.8	64.5	8.9	5.0
糙米	12.2	9.1	2.0	74.5	1.1	1.1
胚乳	12.4	7.6	0.3	78.8	0.4	0.5
胚	12.4	21.6	20.7	29.1	7.5	8.7
皮层	13.5	14.8	18.2	35.1	9.0	9.4
稻壳	8.5	3.6	0.9	29.4	39.0	18.6

虽然大米胚乳中的蛋白质含量较少(7%~8%)，但它是谷物蛋白质中生理价值最高的一种，其氨基酸组成比较平衡，赖氨酸含量约占总蛋白的 3.5%。大米蛋白质以米谷蛋白为主要组成，约占总蛋白的 80%。其他 3 种为清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白 其中以醇溶蛋白含量最低 仅占总蛋白的 3%~5%。淀粉是大米最主要的组成成分，占整粒大米的 77%~80%；糯米淀粉几乎都是由支链淀粉组成，不含直链淀粉；粳米中直链淀粉要多一些（约占淀粉总量的 20%）而籼米胚乳中的直链淀粉则更多。含直链淀粉多，则米质松散，食用品质低，因此人们一般不喜欢吃籼米，但它特别适合用来加工米粉。而粳米和糯米所含的直链淀粉少或没有，米质较黏稠 食用品质好 除供直接食用外 还可用来加工年糕。大米中维生素和矿物质含量较低，比稻谷原粒中的含量低，导致了营养价值的下降，蒸谷米和强化米正是为了弥补这方面的不足而出现的（见第 3 章）。

1.2 稻谷子粒的物理性质及结构力学性质

1.2.1 稻谷子粒的物理性质

稻谷子粒的物理性质包括千粒重、密度、容重、谷壳率、爆腰率、出糙率、散落性和自动分级等性质。

千粒重是指 1 000 粒稻谷的质量 以 g 为单位，一般都以风干状态稻谷子粒进行计量。稻谷的千粒重为 15~43 g，一般为 22~30 g，千粒重大于 28 g 者为大粒，

24~28 g 之间的为中粒,20~24 g 之间的为小粒 小于 20 g 的为极小粒。

密度是指稻谷子粒单位体积的质量,以 g/cm^3 或 g/L 为单位表示。我国稻谷的密度为 $1.17\sim 1.22 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

容重是指单位容积内稻谷的质量,用 g/L 或 kg/m^3 表示。稻谷的容重一般为 $450\sim 600 \text{ g}/\text{L}$ 。

千粒重、密度和容重与谷粒的粒形、大小和饱满度呈正相关关系,即与胚乳所占质量比例呈正相关关系,但它们又各有特点。粒形、表面性状对容重影响较大,而对千粒重、密度的影响较小;颖壳结构对密度和容重影响较大,而对千粒重的影响较小。化学组成及谷物子粒各部分的比例也影响千粒重、密度和容重。

谷壳率是指稻壳占净稻谷质量的百分率。一般粳稻谷壳率小于籼稻,同类型稻谷中则是早稻谷的谷壳率小于晚稻谷。

米粒上的横向裂纹称为爆腰,爆腰率是指爆腰米粒占试样的百分率。爆腰的糙米子粒强度降低,加工易出碎米,使出米率降低。爆腰率高的稻谷不宜加工高精度大米。

出糙率指一定数量稻谷全部脱壳后获得全部糙米质量(其中不完善粒折半计算)占稻谷质量的百分率。出糙率是评价商品稻谷质量等级的重要指标。

谷壳率高的稻谷一般加工脱壳困难,出糙率低;谷壳率低的稻谷加工脱壳容易,出糙率高。

散落性是指谷物颗粒具有类似于流体且有很大局限性的流动性能。谷物群体中谷粒间的内聚力很弱,容易像流体一样产生流动,但自然下落至平面时只能形成一圆锥体,而不像液体形成一个平面。

固体颗粒群体在流动或受到振动时,由于颗粒之间在形状、大小、表面状态、密度和绝对质量等方面存在差异,性质相同的颗粒向某一特定区域集聚,造成颗粒群体的重新分布即自然分层,这一现象称之为自动分级。自动分级的一般规律是:大而轻的物料浮于料层的上部;小而重的物料沉于料层底部;轻而小和重而大的物料分别位于中层。

1.2.2 稻谷子粒的结构力学性质

因为不同的稻谷子粒组织具有不同的化学组成和细胞结构,所以稻谷各部分表现出不均匀的结构力学性质。只有对稻谷的结构力学性质有充分的了解,才能在加工的过程中合理安排工艺流程和技术参数,保证白米的完整性。

颖的主要成分是粗纤维和二氧化硅,具有较硬的质地,有较强的机械力承受能力,保护米粒不受破坏。据测定,内外颖的破坏强度约为 250 g。皮层主要由细胞壁

物质纤维素、半纤维素和木质素构成，其中还结合了较多的矿物质，胞壁较厚，而内容物较少。由于皮层处于种子的外层，其韧脆性受水分的影响较大，加工时为了提高皮层的完整性可以在表面着水，使其软化。胚乳的细胞壁薄，分布在基质蛋白质网络中的淀粉具有较大程度的结晶结构，有较大的刚性，而胚乳的质量占整个子粒的 90%左右，因此胚乳的结构力学性质对碾米工艺的影响占主导地位。胚有着很薄的细胞壁，内容物原生质具有胶体性质，细胞的韧性较强，能被压扁而不破裂。

在机械力的作用下，糙米颗粒会发生变形而产生内部应力，当外力的作用超过一定的强度时，糙米颗粒将破裂。米粒的抗破坏强度与其他固体材料一样也可以用抗压强度、抗剪切强度、抗弯曲强度等来表示，单位为 kg。碾米过程中糙米主要受挤压的作用。

影响稻谷和糙米结构力学性质的因素主要有稻谷的类型、子粒的水分含量、胚乳的组成以及温度。

籼稻谷和糯稻谷的米粒强度小，耐压性能差，加工时易产生碎米，出米率低。粳稻谷米粒强度大，耐压性能好，加工时不易产生碎米，出米率高。表 2-3 是不同类型糙米粒的抗压强度。

表 2-3 不同类型糙米粒的抗压强度				kg
类 型	早	中	晚	
籼糙米	5.3~7.0	5.4~7.1	5.4~7.7	
粳糙米	6.7	6.1~8.2	6.2~10.3	

胚乳的结构主要表现在腹白心白粒和角质粒的差别上。角质粒的强度最大，粉质粒的强度最小，两者相差高达 2 kg 之多；心白粒的强度较腹白粒的强度小；爆腰粒的强度均小于该品种的平均强度，且折断的位置始于原裂纹处。

在一定的范围内，水分增加会导致糙米的机械强度减弱（表 2-4）为了保证稻米的安全储藏和加工的机械强度，水分应控制在 15% 以下，原料水分较高时应先进行干燥处理。

表 2-4 水分对糙米强度的影响						
水分/%	抗压强度/kg		抗弯曲强度/kg		抗剪切强度/kg	
	角质粒	腹白心白粒	角质粒	腹白心白粒	角质粒	腹白心白粒
23.24	2.35	2.05	1.61	1.42	1.15	0.91
21.51	2.86	2.63	2.17	2.02	1.49	1.04
19.12	3.54	2.91	2.37	2.15	1.52	1.30
17.39	5.34	5.02	3.18	3.05	2.10	1.46
15.28	5.94	5.89	3.80	3.39	2.69	2.02

实验证明温度在 0~5 时米粒的强度最大，随着温度的上升，米粒的强度下降(表 2-5)。夏季气温较高，且加工过程中米粒受机械作用而发热升温，会进一步降低米粒的强度，容易产生碎米。

表 2-5 温度对糙米子粒强度的影响

水分/%	温度/℃	抗压强度/kg			
		爆腰	破碎	爆腰	破碎
12.4	-20	10.91	12.54	6.39	7.81
	0	12.25	13.22	7.37	8.79
18.0	20	11.23	12.08	6.78	8.06
	30	10.66	11.46	5.73	7.81

一般而言，晚稻谷的加工工艺品质优于早稻谷，粳稻谷的加工工艺品质优于籼稻谷。

2 稻谷的清理

2.1 清理的目的与要求

用于加工的稻谷 由于选种、栽培、收割、脱粒、干燥、运输储藏等原因，一般都会混有一定数量的杂质。稻谷中的杂质按其大小可分为大、中、小杂质： ①大杂，指留存在直径为 5.0 mm 圆孔筛上的杂质； ②中杂，指通过 5.0 mm 但留存在 2.0 mm 圆孔筛上的杂质，其中以稗子及形状大小与稻谷相似的并肩石、并肩泥最难去除； ③小杂，指通过 2.0 mm 圆孔筛以下的杂质。按化学性质分类又可将稻谷中的杂质分为有机杂质、无机杂质等：有机杂质包括杂草种子、瘪谷、虫尸、虫卵和虫蛹等；无机杂质包括泥沙、石块、磁性矿石和金属杂质等。

稻谷中的杂质，不仅影响稻谷的安全储藏，更重要的是给稻谷加工带来很大的危害。稻谷中如含有石块、金属等坚硬杂质，在加工过程中易损坏机器，影响设备安全正常的工作；有些坚硬杂质与设备表面撞击摩擦产生火花而引起火灾或粉尘爆

炸。稻谷中如含有体积大 质轻而柔软的杂质如包装物的绳头、布片、秸秆、杂草、纸屑等，进入机器时会阻塞喂料机构，使进料不均，降低进料速度，降低设备工艺效果，影响设备效率。稻谷中如含有泥沙、尘土等细小杂质，带入车间后造成粉尘飞扬污染环境，影响工人身体健康。稻谷中杂质混入成品中，则会降低产品的纯度，影响成品的质量。因此加工的首要任务是清理除杂。

稻谷清理要力求做到净谷上砷。进入砷谷工段的净谷含杂总量不应超过 0.6%，其中，含沙石不应超过 1 粒/kg 含稗不应超过 30 粒/kg。

2.2 清理的方法及机理

清理杂质的方法很多，主要是借助杂质与谷粒物理性质的不同进行分选（表 2-6）。

表 2-6 稻谷清理的方法、原理、常用设备及作用

方法	原 理	常用设备	作 用
风选	利用稻谷和杂质空气动力学性质的差异	吸式风选机 吹式风选机 循环风选机	分离稻谷中的轻杂 稻谷粒度分级
筛选	利用稻谷和杂质的粒度差异	初清筛 振动筛 平面回转筛 高速筛	分离与稻谷粒度相差较大的杂质
密度分选	利用稻谷和杂质的密度差异	比重去石机 重力分级机 浓集机	分离稻谷中的石子
精选	利用稻谷和杂质的长度差异	碟片精选机 滚筒精选机 碟片滚筒组合机	分离与稻谷长度相差较大的杂质
磁选	利用杂质的磁性	磁筒 永磁滚筒 电磁滚筒	分离稻谷中的磁性杂质
光电分选	利用稻谷和杂质光学和电学性质的差异	光电分选装置	分离与稻谷色差较大或介电常数相差较大的杂质

2.2.1 风选法

风选是根据谷粒与杂质在悬浮速度等空气动力学性质方面的差异，利用一定

形式的气流使杂质与谷粒分离的方法。按气流的运动方向不同，有垂直气流风选法、倾斜气流风选法和水平气流风选法等；按气流运动方式不同又分为吸式风选法、吹式风选法及循环式风选法等。

物料在受到垂直上升的气流作用时，其运动状态由本身大小、密度和空气速度决定：空气作用力和浮力之和大于其重力时，物料上升。②空气作用力和浮力之和小于其重力时，物料下降。空气作用力和浮力之和等于其重力时，物料则处于悬浮状态。

物料处于悬浮状态时的风速就称为物料的悬浮速度。稻谷的悬浮速度为 $8\sim 10\text{ m/s}$ ，糙米的悬浮速度为 12 m/s ，稻壳的悬浮速度为 $3\sim 4\text{ m/s}$ ，米糠的悬浮速度为 $2\sim 3\text{ m/s}$ 。

物料在水平或倾斜气流（通常方向侧向上方）中，受到重力、空气作用力和浮力的联合作用，其运动轨迹呈抛物线状，物料大小、密度和空气速度也决定其水平方向的运动距离。从运动力学的分析可以知道，向上的倾斜气流比水平气流对分离更加有效。

2.2.2 筛选法

筛选法是根据杂质与谷粒在粒度大小、形状等方面存在的差异，选择合适筛孔尺寸的筛面组合，使杂质和谷粒的混合物通过筛面时，分别成为筛上物和筛下物，从而达到稻谷和杂质分离的目的。

筛选法必须具备 3 个基本条件：①过筛物必须与筛面接触。选择合适的筛孔形状及大小。筛选物料与筛面应有相对运动。

筛面形式有冲孔筛（图 2-2）和编织筛（图 2-3）两种。冲孔筛一般用 $0.5\sim 2.5\text{ mm}$ 厚的薄钢板制造，开孔率低，质量大，刚度好，不变形。冲孔筛又有平面和波纹两种筛面，筛孔形状有圆形、长方形、等边三角形和方形等。筛孔的排列方式有平行排列和交错排列，如图 2-4 所示。

编织筛用金属丝编织而成，开孔率高，质量小，因承载能力弱，筛孔容易发生变形。因此一般情况下，筛面层数少时使用冲孔筛，筛面层数多时使用编织筛。筛孔一般有长形和短形。通常，短形筛孔筛按谷粒的宽度不同进行分离，采用竖立方式过筛；而长形筛孔筛是按谷粒的厚度不同进行分离的，采用侧转方式过筛。

筛选法在稻谷制米加工中使用极为广泛，不仅用于清理，更多地用于同类型物料的分级。常见筛选设备有溜筛、圆筛、振动筛、平面回转筛等。

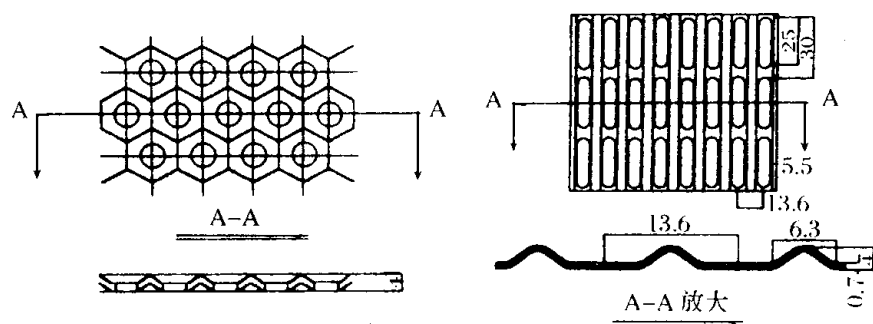


图 2-2 冲孔筛筛面示意图

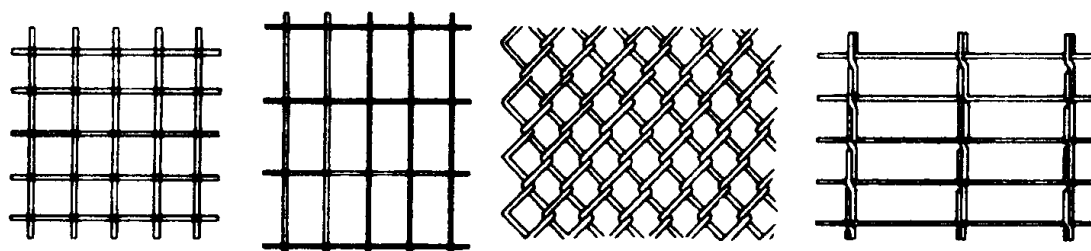


图 2-3 编织筛筛面示意图

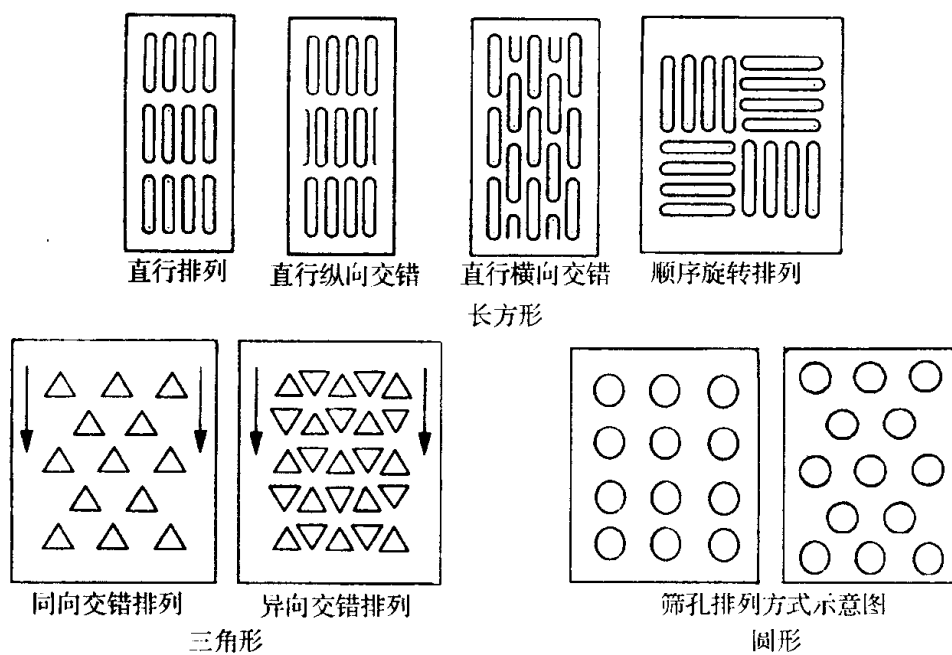


图 2-4 筛孔排列方式示意图

2.2.3 密度分选法

密度分选法是借助谷粒与杂质密度的不同，利用运动过程中产生自动分级的原理，采用适当的分级面使之分离。密度分选法有干法、湿法之分，一般干法使用较普通。干法密度去石机是典型设备之一，它有吸式和吹式两种类型。吹式密度去石机的机内装有在正压状态下吹送气流的风机，这种去石机性能稳定但易造成粉尘外逸而影响工作条件和环境卫生；吸式密度去石机处于负的工作压力下，工作环境较好，设备结构也较简单，但性能不够稳定。密度去石机由偏心连杆带动作往复运动，其工作机理如图 2-5 所示。干法密度去石机的工作原理实际上综合考虑了稻谷和杂质在密度、容重、摩擦系数、悬浮速度等物理性质上的差异。

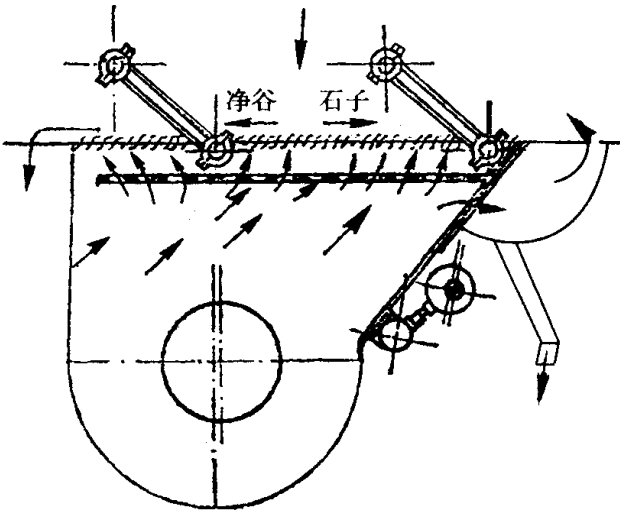


图 2-5 密度去石机工作原理示意图

2.2.4 磁选法

磁选法是指利用磁力清除谷粒中磁性杂质的方法。当物料通过磁场时，粮粒为非磁性物质，自由通过磁场，而磁性金属杂质在磁场中被磁化而与磁场产生相互吸引，从而清除磁性金属杂质。通常使用永久磁铁作磁场，常见磁选器有栅式、栏式和滚筒式设备（图 2-6）。

2.2.5 精选法

精选法是指根据谷粒与杂质长度的不同，利用具有一定

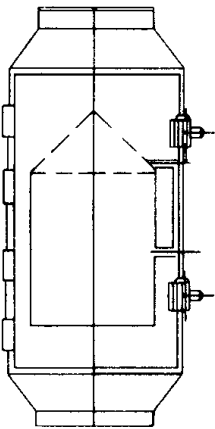


图 2-6 滚筒式磁选器