

第一章 绪论

第一节 种子加工的含义及其在农业生产上的意义

一、种子加工的含义

种子加工是指从收获到播种前对种子所采取的各种处理，包括种子清选、精选分级、种子干燥、种子包衣、种子引发和种子包装等一系列工序，以达到提高种子质量和商品特性，保证种子安全贮藏，促进田间成苗及提高产量的目的。

二、种子加工的内容

种子加工内容包括种子清选、干燥，精选分级、种子包衣，种子播前处理和引发，定量或定数包装等加工程序，是把新收获的种子加工成为商品种子的工艺过程。

三、种子加工的目的

种子加工的目的是提高种子净度、发芽率、品种纯度、种子活力，降低种子水分，提高种子的耐藏性、抗逆性和种子用价，以及种子的价值和商品特性。

四、种子加工在农业生产上的意义

在农业生产上，种子加工的意义主要表现在五个方面：

1. 是提高农作物单位面积产量最经济、最有效的增产措施。

1997年国务院制定的《全国种子发展“九五”计划和2010年远景规划》提出，到本世纪末以增产50亿kg粮食为目标，种子承担36%的任务。因此，进行“种子加工”势在必行，加工后的种子出苗整齐、苗多苗壮、分蘖多、成穗多，一般可增产5%~10%。“种子加工”是今后粮食增产的一个重要技术保证。

2. 可减少播种量，节约粮食。

种子经加工后，净度可提高2%~3%，千粒重提高2~3g，发芽率提高5%~10%，使种子质量明显提高，可减少播种量。以小麦为例，如推广精量、半精量播种，每公顷可减少用种量37.5~75kg。此外，加工出来的瘦籽、碎粒还可用作饲料。我国1997年的种子粗加工量仅20亿kg，占种子经营量的57%，这表明种子增产潜力还很大。

3. 可提供不同级别的商品种子，有效防止种子经营中伪劣种子的流通。

通过种子加工，可按不同的用途及销售市场，分级加工成不同等级要求的种子，并实行标准化包装销售，提高种子的商品性，从而防止伪劣种子鱼目混珠，坑害农民。

4. 加工后的种子适用于田间机械化作业，从而提高劳动效率，减轻劳动强度。

种子加工处理后，籽粒饱满，大小均匀，适用于机械化播种。且可减少田间杂草，作物生长整齐，成熟一致，从而大大减少田间管理劳动量。利用机械化作业。

5. 能减少农药和肥料的污染，促进农业的可持续发展。

种子加工，可去掉大部分含病虫害的籽粒，且在种子包衣过程中，溶入药肥于包衣剂中，缓慢释放，为幼苗生长提供了良好条件，因此可减少化肥和农药施用量，而且这种用肥方式相当于由外向型施药转向内向型施药，有利于环境保护和不断促进农业的可持续发展。

另外，种子加工不仅对农业生产发展具有十分重要的意义，而且对于确保种子的安全贮藏、运输，保持种子较高的生活力和活力，都具有不可低估的作用。

综上所述，种子加工已成为种子产业化的重要技术环节。种子加工机械化必将推动种子产业化发展。

第二节 种子加工的发展简史及国内外发展概况

一、种子加工的发展简史

(一) 古代种子加工史

最早应用化学药品防止贮藏中的种子生虫的，是公元 1 世纪古罗马自然学家 Pliny。他用酒和松针相混合，制成了有效杀虫剂——氢氰酸来处理种子。

我国劳动人民很早就应用风车来清选种子。南北朝（公元 420—589 年）时期，中国就有文字记载“溲种法”，即以某类药用植物的液汁及动物内脏、骨骼的发酵物拌种播种，达到防治苗期病虫害的目的；利用清水漂去瘦瘪粒，是较早广泛应用的种子清选方法之一；另外，也有用粪肥丸化种子的记载。这些都可以看作是有文字记载的较早的种子加工的方法。

(二) 现代种子加工史

国外现代意义上的种子产业是从二战后逐步发展起来的。种子的机械加工最近二三十年来才迅速发展，机械加工由单机向成套设备发展，现代种子工业已成为一个与工业、农业生产紧密结合的新兴工业部门。

我国的种子产业在解放前尚未从粮食部门中独立出来，直至 1953 年才在农业部下设立种子站，开始种子技术方面的培训工作。真正把提高“种子加工率”摆到发展种子产业的重要位置上，是在 20 世纪 90 年代国家创建了“种子工程”以后。1995 年是我国种子发生问题较多的一年，也是在这一年，我国提出创建种子工程。实施种子工程，目的是为了改变当前我国种子工作的落后状况，加速建设我国现代化种子产业，提高我国良种的综合生产力、推广覆盖率和市场占有率，提高种子的商品质量和科技含量，促进农业和农村经济持续、快速、健康地发展。其内容包括良种引育、生产繁殖、加工包装、推广销售、宏观管理五大系统，和种质资源收集、育种、区试、审定、原种亲本繁殖、种子生产、收购、储藏、精选、包衣、包装、标牌、检验、销售、售后服务 15 个环节。国家提出了实施“种子工程”必须坚持“以种子加工、包装为突破口，抓中间带两头”即从种子加工、包装和标牌统供环节入手，实现“中间突破”带动育种科研和良种生产、推广。其突破点的关键在于抓好提高种子的“三率”，即统一供种率、精选率、包衣率。经过两年多的努力，至 1998 年全国主要农作物统一供种率和种子精选率提高 30 个百分点，达到 70% 左右；种子包衣率由不足 10% 上升到 25%，使供种质量大大提高。

尽管我国现代种子加工工业发展较迟，但发展潜力很大。

二、种子加工技术发展概况

(一) 国外先进的种子加工技术水平

近年来，西欧、北美的一些发达国家，已逐步形成了良好的种子产业，繁育的良种几乎都经过现代化的种子加工厂处理。加工后的优质种子作为商品，由专门的经销部门销售。国外的做法中有许多值得我们借鉴的地方：

1. 建立一套完整的良种繁育、加工、销售、推广服务等种子产业化体系。

2. 各类种子基本上实现现代化、自动化和工厂化加工处理，种子加工质量和劳动生产率均很高。

3. 为进一步提高种子质量、满足精量播种要求，种子的包膜、丸粒化、计量包装等技术装备发展迅速，如一些蔬菜种子包膜和丸化率达 90% 以上，引发种子也已在市场上出售，并且在加工机械设备方面形成了鲜明的特点，其中主要有：

(1) 设备成套性好，可成套提供小区良种繁育机械，种子加工厂的设备均按加工工艺流程配备各种主机及辅机，形成完善的成套加工流水线，并备有各种监控仪器、仪表，实行自动监测控制。

(2) 产品标准化、系列化、通用化程度高。无论是单机还是成套设备，都已实现了专业化生产，按照标准化系列，可用最少的主机和辅机规格，形成适用于不同作物、不同经营规模、不同技术水平要求的成套设备，因而产品规格齐全。

(3) 关键零部件制造工艺先进、质量好，系采用专用设备加工。

(4) 在按种子物理机械特性开发加工设备的基础上，开发了按种子光电特性进行精细加工的设备。如光电一体化的光电色泽分选机，能按种子颜色进行分选，能将霉变种子和异色种子剔除。

(二) 国内种子加工发展水平

1. 我国种子加工的发展和变化

我国种子加工工业的起步较迟，但近十年来发展较快。现已有 10 多个科研院所、20 多家工厂从事种子加工机械设备的研制工作，有上百家工厂能进行种衣剂生产，尤其是在“种子工程”提出后种子质量问题引人注目，国家提出行政推“三率”即统一供种率、精选率、包衣率。其主要目的是加强种子加工技术。现已初步研制成功几十种中小型单机产品和 10 多种成套设备以及如北农牌等一系列的种衣剂，明显提高了我国种子加工技术水平，大大提高了我国种子质量，节约了播种量，每年为国家节约了许多粮食，并促进了作物单产的提高。

近年来，我国种子机械加工发展很快，主要发生了以下变化：

(1) 种子加工布局的变化。正在逐步改变“小、散、低”的布局，从分散向相对集中转变，从单机加工向系列化、工厂化、成套设备加工转变。

(2) 种子加工机械的变化。种子加工机械制造发展较快，数量逐年增加，质量逐步提高，正在由初级向高级转变，从型号少、功能单一、种类单调向多型号、多功能、多种类转变。

(3) 被加工种子的变化。被加工种子数量逐年增加，质量逐步提高，由单项种子加工向系列化、全面种子加工转变。

(4) 种子包衣的变化。种子包衣从无到有，从单方包衣向多种配方包衣转变。

(5) 种子包装的变化。改变了散装和大麻袋包装，种子包装从无到有，从大包装向小包装、

单种包装向多种包装转变。

(6)种子标牌的变化。改变了种子无标牌的状况，种子标牌从无到有，并向规范化、系列化、标准化转变。

另外，种子机械加工的发展和变化，促进了种子统供率的提高，特别是常规种子统供率大大提高，带动了种子产业化发展。

2. 我国与国外种子加工水平存在的差距

我国种子加工水平与国外相比，仍存在如下差距：

(1)种子加工机械设备多数还是中小型单机，甚至是手工操作，近年虽研制了一些成套设备，但制造工艺水平低。

(2)单机品种少，规格不全，设备成套性差，产品标准化、系列化、通用化程度低，不利于专业化生产和推广使用。

(3)筛片及窝眼筒等关键零部件的制造工艺尚不精细，而且在材料工艺、加工精度和表面热处理等技术方面尚待加强。

(4)种子包膜、丸粒化技术和控制种子内在品质的光电色泽分选机还未达到完全成熟的阶段。种子包衣技术方面虽生产了很多剂型的种衣剂，但一些作物尚缺有效的种衣剂，如甜玉米、水稻、大豆等。

第三节 种子加工技术的发展趋势

一、从手工或半机械向机械化方向发展

如种子清选由风车、电风车、自然风扬谷逐步由长孔筛、圆孔筛、窝眼筒和风选组合等风筛选全套设备替换。

二、由单纯按物理特性分离，向利用光电特性分离等新技术方向发展

如原来无法剔除霉变粒和异色粒，现用光电颜色分选机可剔除。

三、由原先单一目的的逐步向多目的、综合效果方向发展

如种子包衣，原先由肥料对种子进行丸化，以提高产量为目的，现已逐步形成含杀虫、杀菌剂、肥料、激素等多种成分，具多种功效的包衣剂。为发展无公害农业，现阶段各国正在逐步开发天然、无毒的植物成分来替代杀虫剂和杀菌剂；种子清选也由粗选逐步向精选分级发展。

四、随着品牌意识的加强，向注重种子包装质量方向发展

随着社会主义市场经济的发展，人们的品牌意识日益增强，种子包装由简单、粗糙或直接用麻袋、纸袋包装逐步向铝箔装、罐装等多形式包装和小型化方向发展，包装日益精美。为了树立自己的品牌信誉，包装的种子均是经过加工的高质量种子。

五、由单机向成套设备方向发展

目前国内种子加工机械发展较快，从单机使用向配套和整体加工厂流水线方向发展。特别在有些省市，从国外引入了成套种子加工设备，使种子加工设备和技術有了极大的改善。

第四节 提高我国种子加工技术的对策

近年来，我国种子机械加工虽然发展较快，但也存在不少问题，当务之急是进一步落实“以种子加工、包装为突破口”的措施，促进种子产业化工程的顺利实施。

一、统筹规划 合理布局

目前种子机械加工布局虽然已开始从行政区划设置的“小、散、低”向相对集中转变，但发展不平衡，还需进一步规划调整。一是要根据自然生态、作物布局、技术经济等条件及资金投入情况，在深入调研的基础上，因地制宜，统筹规划，合理安排，打破行政区划，彻底扭转重复建设、浪费的现象及解决“小、散、低”的问题，使种子机械加工布局趋于合理。二是建设和完善种子加工包装系统。在“九五”期间按照种子生产、加工的区域布局及销售网络，选择一些有一定基础设施和条件的单位，本着“填平补齐、上档次、上水平、上规模、上效益”的原则，利用贴息贷款和世界银行贷款，重点扶持一批良种经营量大、覆盖面广、信誉高，效益好的重点国有种子分公司，建设与完善一批具不同加工能力的粮食、棉花、蔬菜、油料等作物种子加工中心，及其配套的晒场、仓库和经营设施，并对现有重点种子加工中心进行改造。三是慎重选择适合当地实际需要的机型，进行试验、示范、推广，严禁盲目批量引进。对投资较多、项目较大的设备，应组织专家进行技术可行性分析论证。

二、挖掘潜力 提高效率

目前种子加工机械利用率较低，据统计，实际生产量约为设计负荷的一半。为此，应挖掘潜力，充分发挥现有种子加工设备的作用。一是加强组织、技术和经营管理，提高种子加工设备的“三率”。针对本地的实际情况，建立健全各类管理制度，落实“五定一奖”等各种形式的经济承包责任制，对各种机械应逐台检查，按不同技术状态，分别进行处理，加强维修保养，建立健全技术档案，以延长使用寿命。开展考核各项指标的经济核算和评选竞赛活动，及时总结经验，表彰先进，调动一切积极因素。二是根据实际情况与可能性，积极开展种子加工新项目、新技术的开发，向种子机械加工的深度和广度发展，探索配套类型，提高配套设备使用效果。应进一步完善成套加工设备的生产、加工、销售一条龙工作，国有种子分公司应做到不加工的种子不销售。三是开展多种经营。要以种子加工为主，配套综合利用，开展农副产品加工，探索综合开发利用的新路子，并可建立服务网络，开拓服务领域，方便群众。广泛开展加工服务，可采取分片设点、定点加工等多种形式。

三、改进工艺 提高质量

当前，我国的种子加工机械缺点较多：如工艺水平较低，质量不稳定，工作性能不可靠，使用寿命较短，具体表现在适应性较差，系列化、标准化水平较低，配件服务跟不上等。这些问题必须尽快解决：一是建立健全我国种子机械设备标准，严格按标准生产高质量、规格化、系列化的种子加工机械设备，以迅速提高产品质量，并根据“市场引导企业”的原则，研制适合市场需求的产品。二是发挥现有种子加工机械生产能力，维护好现有的种子加工机械厂设备，特别是量大面广的小型设备生产线。建立健全技术档案，加强技术管理，提高使用技术水平，延长机械使用寿命。同时，在“九五”期间，要建设和改造一批重点种子加工机械企业。三是积极引进成

套的种子加工机械生产线，提高其利用率，充分发挥其作用。同时，也应注意引进技术及设备的消化吸收工作，特别是关键零件的研制、生产、供应，以保证其正常运转。并应研制适合生产的新机型，做好对种子加工机械的改进和革新工作。四是我国地域辽阔，气候、土壤等生产条件各异，农业生产的要求也不同，使用不同类型的种子，就需要研制不同品种、型号和规格的种子加工机械，改进其关键配件（如筛片和窝眼筒等）质量，提高工艺水平，改进模具设计，因地制宜地建立不同类型的种子加工厂。

四、组织培训 建设队伍

目前，在全国种子系统的组成人员中，虽然绝大多数是从农业院校毕业，但农业机械人才少，缺乏机械原理基础知识和操作技能。特别是种子机械加工的技术性强、环节多，成套设备较复杂，现代化程度较高，使这方面的问题更加突出。解决这些问题的办法有：一是调整人员结构，吸收农业机械、机械维修和农产品加工等专业的人才，与农业技术人员组成一个比较合理的人才结构。二是加强技术培训。根据当地种子加工设备情况，充分利用各种有利条件，有组织、有计划、有目的地、分期分批地按不同类型、不同层次、不同形式进行技术培训以加强队伍建设，提高人员素质。做到必须经培训上岗，改变以往边学边上岗的做法。三是稳定技术队伍。采取相应的措施，保持种子加工技术队伍的相对稳定，特别是机手的稳定，以积累经验，提高技术水平，形成一支有为农业服务的思想且操作技术熟练的种子机械加工专业技术队伍。四是完善技术教材。应由农业部牵头，组织有关方面，根据我国种子机械加工现状，编写种子机械加工技术教材，以推动全国工作。

五、加强理论研究 增强后劲

我国开展大规模种子工业化加工的工作起步较晚，还未来得及对其技术理论进行深入研究。为此，一是要进行综合研究。由于现代化的种子机械加工处理技术是一项包括种植、机械、化学、物理、生物、贮藏等内容的多学科、多层次的综合性科学技术，需要各方面密切配合才能进行深入系统的研究。农业部应组织协调有关方面，对技术问题进行共同研究、攻关。二是要研究种子机械加工技术经济。在市场经济条件下，种子机械加工技术理论，不能只限于生产系统的技术，还应面向市场，研究其技术经济，以取得最佳经济效益。三是不仅要借鉴发达国家的先进成果，还要结合我国的实际情况，建立健全具有中国特色的种子机械加工理论体系。

第二章 种子清选精选原理和技术

第一节 种子清选精选的目的和意义

一、种子清选精选的意义

种子从收获至干燥、包装和贮藏前，必须进行有效的清选和精选分级。有的种子，如有芒的水稻和大麦等，在清选前还需进行除芒工作以清除妨碍清选的讨厌物质。这种程序，通常称为种子调剂 (Seed Conditioning)。刚从田间收获的种子，往往含有各种废料、干叶、杂草的种子、异作物种子和害虫等杂质，如果种子里含有绿叶、断茎、杂草和其他高水分物质，就会影响有效干燥，安全包装和贮藏，所以对刚收获的种子进行清选和精选分级是十分必要的。

二、种子清选精选的目的

1. 除芒的目的：有些种子，如有芒水稻和大麦种子，在风筛机清选时，其芒会阻塞筛孔，影响种子的正常清选，所以对有芒种子，必须预先除芒。

2. 清选的目的：种子清选主要是清除混入种子中的茎、叶、穗，和损伤种子的碎片、异作物种子、杂草种子、泥沙、石块、空瘪子等掺杂物，以提高种子纯净度，并为种子安全干燥和包装贮藏做好准备。

3. 精选分级的目的：主要是剔除混入的异作物或异品种种子，不饱满的、虫蛀或劣变的种子，以提高种子的精度级别和利用率，即可提高纯度、发芽率和种子活力。

三、种子清选精选工作的原则

1. 清除全部所含杂质，提高种子质量；
2. 选用合适的种子清选技术，控制损失至最低程度；
3. 彻底清除霉烂、破裂、破碎、虫蛀或其他损伤及低质量的种子，提高种子等级；
4. 采用有效的清选技术，提高生产效率；
5. 尽量降低种子加工劳力成本，节约种子加工费用。

四、种子清选精选的程序和人员素质的要求

种子清选精选分级工作需通过几个分离程序才能完成。每个程序应针对不同种子种类、杂质种类及其特性，选用适合的机械类型，才能达到有效的分离，获得最好的种子质量，以满足国家种子质量标准和市场的要求。

同时，有效的种子清选精选还需要有熟练的种子加工技术人员。他们不仅要具有种子科学

和种子加工机械知识，而且要具有解决种子加工过程所遇到问题的能力。

在种子到达加工厂后，一般应及时进行清选，或者暂时贮藏，但须谨防高水分种子发热变质，影响种子质量。

第二节 种子清选精选的原理

种子清选精选是根据种子尺寸大小、种子比重、空气动力学特性、种子表面特性、种子颜色和种子静电特性的差异等，对种子进行分离，以清除掺杂物和废料。

一、种子的尺寸特性分离原理和技术

(一) 种子形状和大小

种子大小通常以长度(l)、宽度(b)和厚度(a)三个尺寸来表示(图 2-1)。各种种子长、宽、厚之间的关系，主要有如下四种情况：

$l > b > a$ 为扁长形种子 如水稻、小麦、大麦等的种子；

$l > b = a$ 为圆柱形种子，如小豆等的种子；

$l = b > a$ 为扁圆形种子，如野豌豆等的种子；

$l = b = a$ 为球形种子 如豌豆种子等。

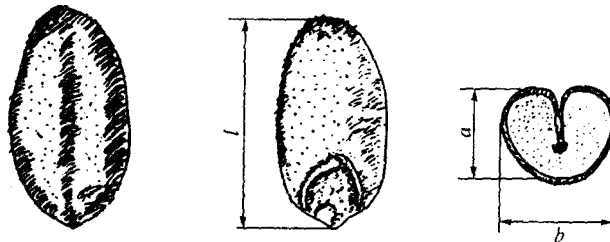


图 2-1 小麦种子形状

(二) 筛子种类和筛孔形状

1. 筛子种类

目前常用种子清选用筛按其制造方法不同，可分为冲孔筛、编织筛和鱼鳞筛等种类(图 2-2)。

(1) 冲孔筛。冲孔筛是在镀锌板上冲出排列有规律的、有一定大小与形状的筛孔，筛孔的形状有圆孔、长孔、鱼鳞孔等，也有冲三角孔的。筛板的厚度一般取决于筛孔的大小，筛孔小的薄一些，筛孔大的厚一些，以保持筛面的刚性强度。但若筛面的镀锌板过厚，筛时筛孔易于堵塞，一般使用的厚度为 0.3~2.0mm。冲孔筛面具有坚固、耐磨、不易变形的特点，适用于清理大型杂质及种粒分级，但筛孔所占用的面积较小(即有效面积较小)。

(2) 编织筛。编织筛面是由坚实的钢丝编织而成的，其筛孔的形状有方形、长方形、菱形 3 种。编织筛钢丝的粗细根据筛孔大小而定，直径一般在 0.3~0.7mm 之间。编织的筛面，因钢丝易于移动，筛孔容易变形，筛面坚固性较差，但有效筛面积大，杂质容易穿过，适于清理细小杂质。菱形孔的编织筛面主要用于进料斗上，作过滤防护网使用。编织筛面也可用于圆筛、溜筛。

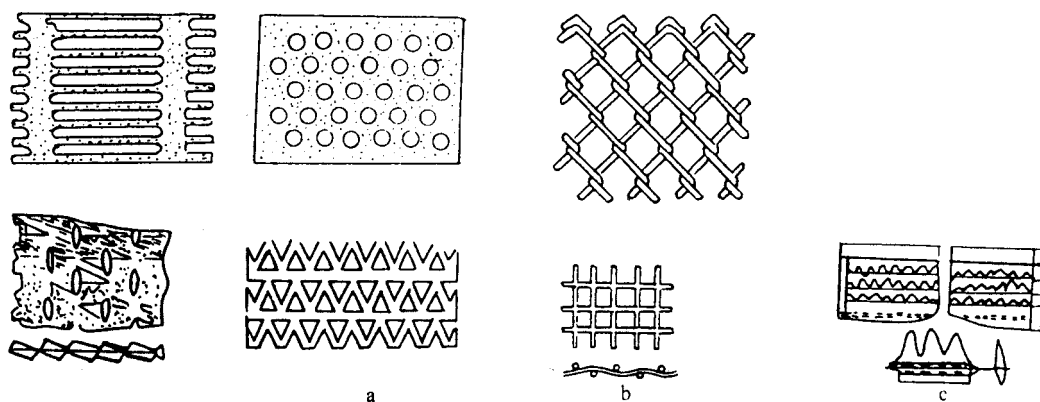


图 2-2 筛子的种类

a. 冲孔筛 b. 编织筛 c. 可调鱼鳞筛

2. 筛孔形状

一般常用冲孔筛面的筛孔有圆孔、长孔和三角形孔等（图 2-3）。

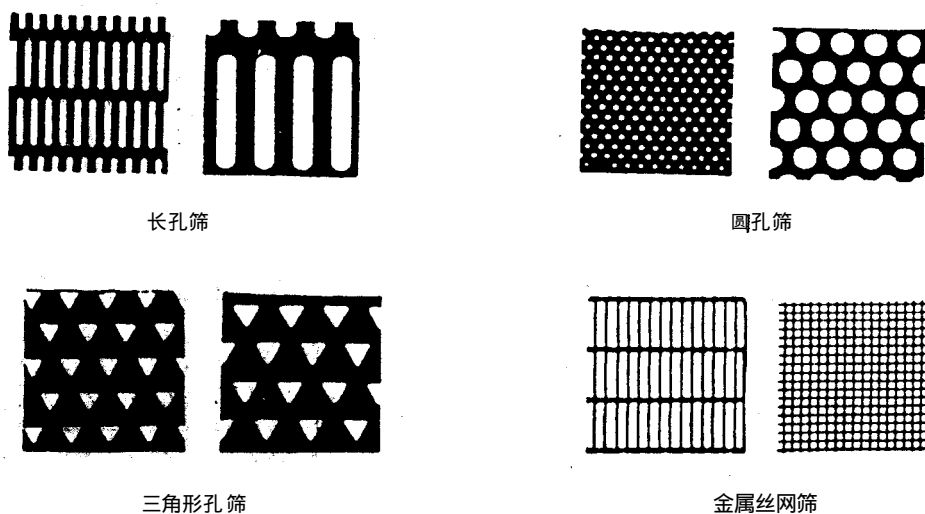


图 2-3 种子清选筛孔类型

（三）不同形状筛孔的分离原理和分离用途

根据种子形状和大小，可选用不同形状和规格的筛孔进行分离，把种子与夹杂物分开，也可把不同长短和大小的种子进行精选分级。

1. 圆孔筛

按种子的宽度分离选择圆孔筛。圆孔筛的筛孔只有一个量度，即直径，它应小于种子的长度，大于种子的厚度。因为筛面上的种子层有一定的厚度，当筛子运动时有垂直方向的分向量，种子可以竖起来通过筛孔，这说明筛孔对种子的长度不起限制作用。对于麦类作物种子，它的厚度小于宽度，筛孔对种子厚度也不起作用。所以对圆孔筛来说，它只能限制种子的宽度：种子宽度大于筛孔直径的，留在筛面上；宽度小于筛孔直径的，则通过筛孔落下（图 2-4）。

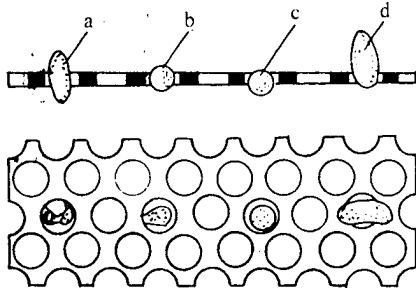


图 2-4 用圆孔筛清洗种子的原理
a、b、c. 种子宽度小于筛孔直径（能通过筛孔）
d. 种子宽度大于筛孔直径（通不过筛孔）

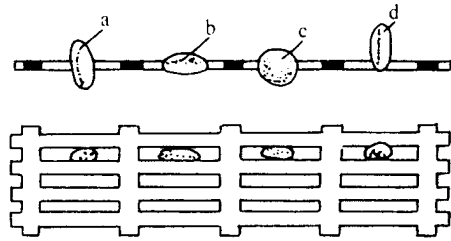


图 2-5 用长孔筛清洗种子的原理
a、b、c. 种子厚度小于筛孔宽度（能通过筛孔）
d. 种子厚度大于筛孔宽度（不能通过筛孔）

2. 长孔筛

按种子的厚度分离，可选用长孔筛。长孔筛的筛孔有长和宽两个量度，由于筛孔的长度大于种子的长度（大两倍左右），所以只有筛孔宽度起限制作用。麦类作物种子的宽度大于厚度，种子可侧立起来以厚度方向从筛孔落下，所以种子的长度和宽度不起作用，只有按厚度分离。种子厚度大于筛孔宽度的留在筛面上，小于筛孔宽度的落于筛下（图 2-5）。这种筛子工作时，只需使种子侧立，不需竖**起**，种子作平移运动即可。因此，这种筛子可用于不同饱满度种子的分离。

3. 三角形筛

三角形筛可用于三角形种子的分离（图 2-6）。在农业种子和杂草种子中存在三角形种子，如荞麦、蓼属和小酸模种子等，三角形筛就可用于从小麦中分离蓼属杂草种子，从梯牧草种子中分离出小酸模种子。

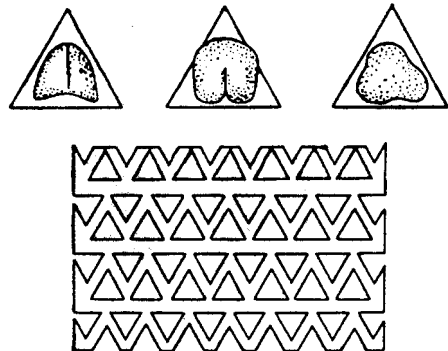


图 2-6 三角形筛和分离原理

4. 窝眼筒和窝眼盘

窝眼筒的窝眼有钻成和冲压两类。钻成的窝眼形状有圆柱形和圆锥形两种，而冲压的窝眼可制成不同规格的形状。

喂入到筒内的种子，其长度小于窝眼口径的，就落入圆窝内，并随圆筒旋转上升到一定高度后落入分离槽中，随即被搅龙运走。长度大于窝眼口径的种子，不能进入窝眼，沿窝眼筒的轴向从另一端流出。这样，就可按种子长短进行分离。

窝眼筒可以将小于种子（小麦）长度的夹杂物（草籽等）分离出去，也可以将大于种子长度的夹杂物（大麦等）分离出去。前者窝眼口径小于种子长度，而后者大于种子长度。（图 2-7A、B）。

窝眼筒是用金属板制成的内壁上有圆形窝眼的圆筒，可水平或稍倾斜放置。工作时，筒作旋转运动，在圆筒中安有铁板制成的 V 形分离槽，收集从窝眼落下的种子。分离槽内一般装有搅龙，用来排出槽内种子（图 2-7C）。

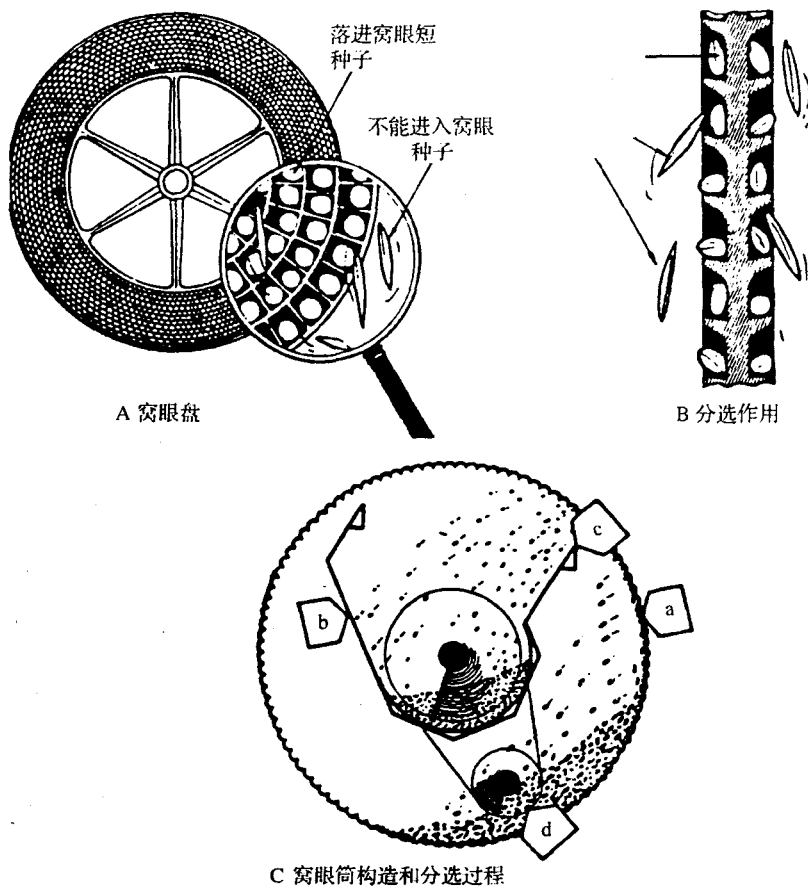


图 2-7 窝眼盘和窝眼筒的分离作用

a. 种子落入窝眼筒壁 b. 收集调节 c. 分选调节 d. 输送搅龙

窝眼筒按转速大小，一般分为快速和慢速两种：

快速窝眼筒的转速 $n = 0.75n_k$ ，

慢速窝眼筒的转速 $n = 0.15 \sim 0.30n_k$ 。

式中 n_k 为临界转速，如窝眼筒的半径用 r 表示时，则 $n_k = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r}} \approx \frac{30}{\sqrt{r}}$ 。

5. 筛孔尺寸的选择

筛孔尺寸选择的正确与否，对大杂、小杂的除净率和种子的获选率有着极大的影响。应根据种子、杂质的尺寸分布，成品净度要求及获选率要求进行选择。通常底筛让小杂质通过，用于除去小杂，而让好种子留在筛面上。底筛筛孔尺寸大，小杂除去量多，有利于质量的提高，但小种子淘汰量也相应增加。中筛主要用于除去大杂，让好种子通过筛孔，而大杂留在筛面上到尾部排出。中筛孔越小，大杂除净率越高，有利于成品种子质量的提高，但获选率会相应下降。上筛主要用于除去特大杂质，便于种子流动和筛面均匀分布。

根据杂质的特性，同一层筛可采用一种孔形或几种孔形，如加工大豆用的下筛，若以半粒豆杂质为主，可改用长孔筛或长孔和圆孔筛组合使用更为理想。

以上是按种子的长、宽、厚进行分离时选择筛子的方法。值得提出的是，种子尺寸越接近筛孔尺寸，其通过的机会越少，二者尺寸相等时，实际上不能通过。因此，确定筛孔尺寸时，应比被

筛物分界尺寸稍大些才可以。

6. 筛孔的布置

筛孔的布置对种子通过性有很大关系。种子通过筛孔的可能性是随着筛面上的筛孔面积之和的增加而增加的。

设筛子的单位工作面积为 $F(\text{m}^2)$ ，而单位面积上的筛孔面积之和为 $f(\text{m}^2)$ ，则相对有效面积利用系数：

$$\mu = f/F。$$

μ 值越大，生产率越高。但是由于筛面的材料不同，对筛孔的分布和密度受到一定的限制，在材料允许的情况下，应尽量增加筛孔的面积。在孔距相同时，孔的排列形式不同，其 μ 值也不同。例如按菱形排列和按正方形排列，设它们的孔距均为 t ，筛孔直径为 d ，则有效面积利用系数分别为：

$$\mu_{(\text{菱})} = f/F = \pi d^2 / (2\sqrt{3} t^2)，$$

$$\mu_{(\text{方})} = f/F = \pi d^2 / (4t^2)，$$

$$\frac{\mu_{(\text{菱})}}{\mu_{(\text{方})}} = \frac{\pi d^2 / (2\sqrt{3} t^2)}{\pi d^2 / (4t^2)} = 1.155。$$

即菱形排列的圆孔筛比正方形排列的有效面积利用系数提高 15% 以上。按菱形排列，通常 $\mu = 0.4 \sim 0.5$ 。

生产实践证明，菱形排列的圆孔筛用长轴作为种子流动方向，比用短轴作种子流动方向更利于提高产量和质量。

长孔筛和圆孔筛的技术规格，在国家标准 GB3943—83 中有明确的规定：圆孔筛按菱形排列，但物料运动方向有所不同；长孔筛的排列及孔形有 3 种：①长圆孔筛片，筛孔沿纵向直线分布，横向交错排列；②长圆孔筛片，筛孔沿横向直线分布，纵向交错排列；③长方孔筛片，筛孔沿纵向直线分布，横向交错排列。其中第二种加工工艺简单，筛片宽度方向刚性好，筛孔不易变形，因而被广泛应用于种子加工机械行业。

长孔筛的相对有效面积利用系统 μ 计算如下：

$$\text{长方孔 } \mu = s \cdot d / (k \cdot c)，$$

$$\text{长圆孔 } \mu = d(s - 0.215d) / (k \cdot c)。$$

(三) 平面筛的工作原理

筛子的任务主要是使种子与夹杂物在筛面均匀地移动，其中小于筛孔的部分通过筛孔，而大于筛孔的部分则阻留在筛面上，使其沿筛面流出，或借风力将其中轻者吹起，以完成分离。分离的方式可以使所要的种子由筛孔漏下，而将大夹杂物留在筛面上；也可以使小于种子的细小夹杂物，如草籽、泥沙等由筛孔漏下，将所要的种子留在筛面上。这两种分离方式的选择，依工作要求而定。

不管采用哪种方式筛选，必须保证被筛物在筛面上移动，使被筛物有更多的机会从筛孔通过，被阻留在筛面上的夹杂物（或种子）沿筛面流出。

平面筛的筛体一般用吊杆悬起或支起，借曲柄连杆机构使它往复摆动。

筛体的摆动有纵向摆动和横向摆动两种形式。纵向摆动，被筛物沿筛面由纵向上下移动，下移较上移的距离大，逐渐移出筛外。这种形式摆动时被筛物在筛面上的停留时间相对较短，所以生产率较高，但分离效果较差。横向摆动，被筛物在筛面上作“之”字形移动，与纵向摆动相比，分离效果较好，但生产率低。目前多用纵向摆动，纵向摆动的筛体运动示意图见图 2-8。

图 2-8 中筛面 AB 上的被筛物质量为 m 如不考虑空气阻力, 筛体作往复运动时, 它将受以下 4 个力的作用: (1) 被筛物本身的重力 mg ; (2) 由于筛体的加速度而产生的惯性力 u ; (3) 筛面对被筛物的反力 N ; (4) 摩擦力 F 。

通过调节曲柄转速不同, 可使这 4 个作用力大小不同, 从而使被筛物在筛面运动的方向和方式也不同。

规定被筛物沿 AB 筛面向上的位移 ($A \rightarrow B$) 为正 ($+\zeta$), 向下 ($B \rightarrow A$) 为负 ($-\zeta$), 这样被筛物在筛面上的运动有以下 3 种情况 (图 2-8)。

(1) 被筛物沿筛面向上移动 (图 2-9a)。从被筛物所受的 4 个力看, 只有当其惯性力和重力沿筛面 AB 方向分量之和大于筛面与被筛物之间的摩擦力时, 被筛物相对于筛面向上移动。

被筛物向上移动时, 曲柄最低转速以 n_1 表示, 当选择曲柄转速 n 大于 n_1 时, 筛面上的被筛物向上移动。

(2) 被筛物沿筛面向下移动 (图 2-9b)。当惯性力和重力沿筛面 AB 方向分量之和大于筛面对被筛物的摩擦力时, 被筛物相对于筛面向下移动。

被筛物沿筛面向下移动的曲柄最低转速以 n_2 表示, 当选择的曲柄转速 n 大于 n_2 时, 筛面上的被筛物向下移动。

(3) 被筛物抛离筛面。当曲柄转速过大, 作用于被筛物的惯性力沿垂直于筛面方向的向上分力, 大于被筛物的重力沿垂直于筛面方向的分力时 (此时反力为 0), 则被筛物抛离筛面。

被筛物抛离筛面的最低转速以 n_3 表示, 当曲柄转速 n 大于 n_3 时, 筛面上的被筛物被抛离筛面。

为使被筛物在筛面上得到充分的清选, 应使被筛物在筛面上做上下交替的移动。这样可以提高筛子的分离效果, 也可以缩短筛理时间。这时要求筛子的曲柄转速在 n_1 和 n_3 之间, 即 $n_3 > n > n_1 > n_2$ 。选用圆孔筛分离时, 曲柄转速 n 应大于 n_3 。

(四) 平面筛的清选质量和生产率

平面筛的清选质量一般用分离完全度 ϵ 表示:

$$\epsilon = \frac{G_1}{G_2}$$

式中: G_1 —清选机上过筛的种子及夹杂物的重量;

G_2 —实验室中过筛 (同一尺寸的筛孔) 的种子及夹杂物的重量。

筛子的分离完全度 ϵ 随种子及夹杂物的物理机械性质、筛子尺寸、筛孔形状和分布、筛体的运动性质 (振动次数、倾斜度) 等变化而变化。

利用长方形筛孔的筛子 (孔宽为 2.25mm), 分离小麦所得的分离完全度与筛长的关系如图 2-10 所示。

图 2-10 中, 当筛长增加时, 分离完全度也增加。但筛长超过某一限度后, 分离完全度的增

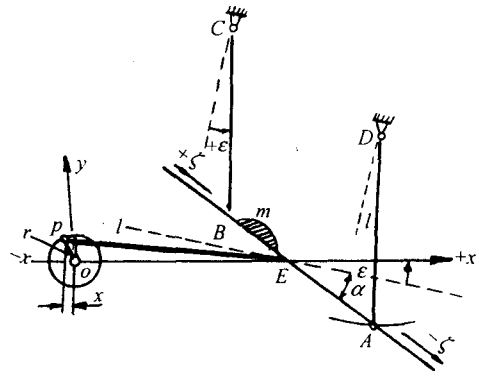


图 2-8 筛体运动机构

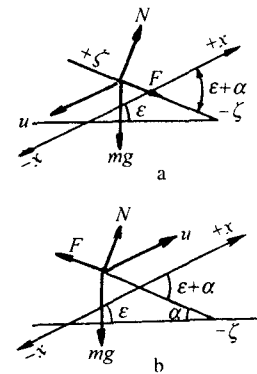


图 2-9 被筛物受力分析

a. 右半周受力分析

b. 左半周受力分析

加就变得很缓慢。各种清选机上的筛子长度在 0.6~2.5m。精选机（分级机）上的筛子较短，复式清选机上的筛子较长。筛长与筛宽之比一般为 1 : 3。

筛子的分离完全度和被筛物流过筛面的速度有关。如速度太高，则被筛物跃过筛孔，使部分筛孔失去分离作用，同时被筛物在筛面上停留的时间缩短，因此减少了通过筛孔的机会。如果被筛物移动速度太低，虽然在筛面上停留时间延长，但筛子生产率低，所以速度降低受到预定的生产率限制。被筛物在筛面上的速度大小，与曲柄的转速、筛子的倾斜角以及被筛物与筛面间的摩擦力大小有关。

筛子的生产率与筛子工作表面的形状、尺寸、筛孔的配置及筛孔的清理方法等有关。生产率 $Q(\text{kg/h})$ 可根据种子及夹杂物在筛面上的平均移动速度 $v_{cp}(\text{m/s})$ 来计算：

$$Q = 3600bhv_{cp}\gamma$$

式中： γ —种子及夹杂物容重 (g/m^3)；

b —筛子宽度 (m)；

h —种子层的厚度 (m)，为保证种子与夹杂物有效分离， h 不超过种子厚度的 2 倍；

v_{cp} —种子在筛面上的平均速度，一般可取 0.25~0.35m/s。

(五) 圆筒筛

圆筒筛是将筛子制成一个封闭的圆筒形，圆筒壁上制有圆孔或长方形孔（图 2-11）。当需

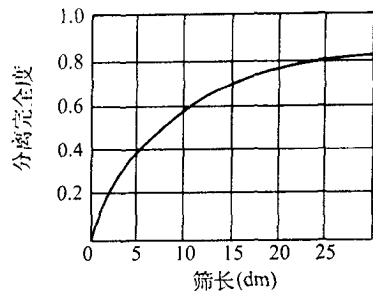


图 2-10 筛长与分离完全度的关系

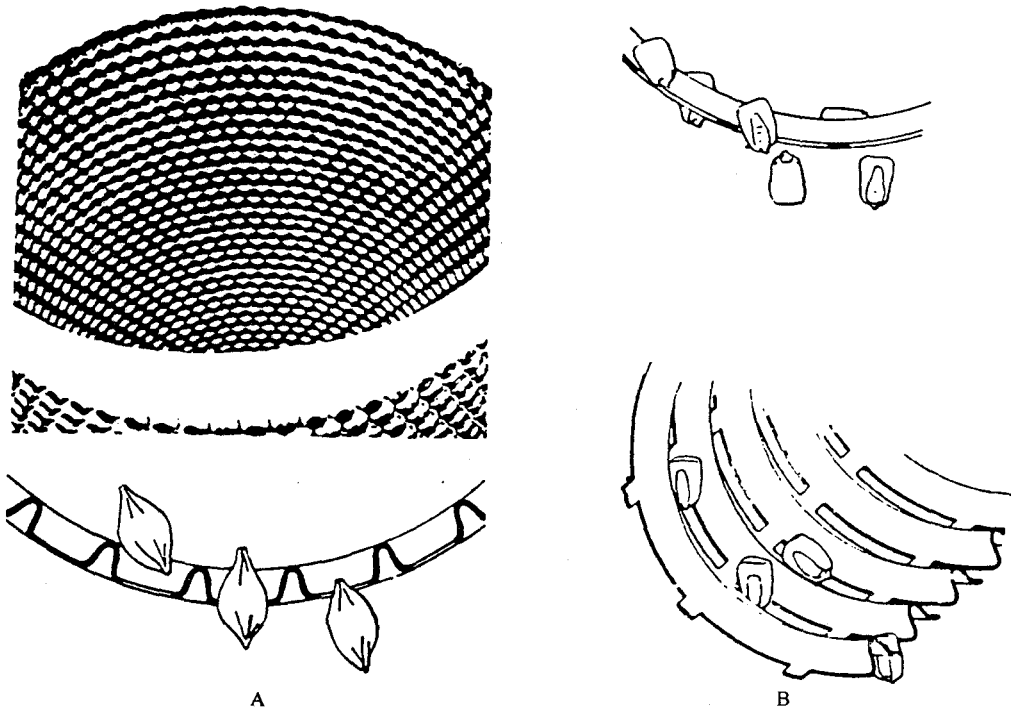


图 2-11 圆筒筛的构造和分离

A. 圆孔圆筒筛 B. 长方孔圆筒筛

要清选的种子从进口端喂入时，一面在圆筒筛面上滑动，一面沿其轴向缓慢地向出口端移动，进行筛选。其中大于筛孔尺寸的种子，留在圆筒筛内，沿轴向逐渐从出口端排出，而小于筛孔尺寸的种子由筛孔漏出。

圆筒筛可根据种子分级标准，沿轴向做成两段或三段，每段筛孔尺寸不同。这样，当种子通过圆筒筛时，即可将种子分成二级或三级。

圆筒筛有长孔和圆孔两种，其中圆孔筛筛选长粒种子时，种子需直立，或者有 60° 以上的倾角才能使其漏出。另外，圆孔筛不宜筛选圆粒种子，因为半粒大豆很难用圆孔筛筛出去。为克服上述缺点，目前采用如图 2-11 所示的结构形式，它能使种子很快地直立起来，较顺利地通过圆孔筛。

圆筒筛在工作过程中，种子与筛孔接触的机会越多，分离效果越好。

种子在圆筒筛内的每个运动周期中，可能发生 4 种情况：①相对静止。这时种子靠摩擦力随筛面上升。 相对滑动。种子靠自重克服摩擦力的作用沿筛面向下滑动。 自由运动。种子离开筛面自由下落。 分离。小于筛孔的种子通过筛孔落下。

圆筒筛的转速过高时，种子在离心力的作用下，紧紧地压在圆筒筛的内壁上而不下落，形成长久的相对静止，这就失去了圆筒筛的分离作用。因此，当种子随圆筒筛转到顶部极限位置时，其重力必须大于它的离心力。即

$$mr\omega^2 < mg。$$

式中 r —圆筒筛半径 (m)，

ω —圆筒筛角速度 (rad/s)，

mg —种子重力 (kg)。

将上式化简后得：

$$r\omega^2 < g$$

$$\text{或 } r\left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 < g$$

$$\text{其中 } n < \frac{30}{\pi} \sqrt{g/r} \approx \frac{30}{\sqrt{r}} = n_k$$

式中 n_k 为圆筒筛临界转速；圆筒筛半径 r 一般为 200~1000 mm 转速在 30~50 r/min。

由于圆筒筛的转速受到限制，生产率不高，在使用中受到限制。但与平面筛相比，它有以下几方面优点：①种子一次通过圆筒筛可以分成几级；②圆筒筛旋转，种子除受到本身的重力作用外，还受到离心力的作用，有利于种子通过筛孔，分离效果较好，尤其对小粒种子更为显著；

圆筒筛作旋转运动，传动简单，易于平衡，筛子便于清理。

圆筒筛的轴线可以水平安装，有时为了增加种子沿轴向的运动速度，提高生产率，圆筒筛的轴线也可以与水平面成一不大的角度 ($1 \sim 5^\circ$) 安装。

圆筒筛的生产率与旋转速度和分离面积有关，即

$$Q_1 = 3600 FV_* \gamma_1$$

$$Q_2 = 3600 kLU\gamma_2$$

所以 $Q = Q_1 + Q_2$ 。

式中 Q —圆筒筛生产率 (kg/h)；

Q_1 —单位时间内由圆筒筛末端流出的种子重量 (kg/h)；

Q_2 —单位时间内通过筛孔的种子重量 (kg/h)；

F —圆筒筛末端种子层断面积（垂直于圆筒筛轴线 m^2 ），

V_* —圆筒筛末端种子沿轴线的运动速度（ m/s ），

L —圆筒筛长度（ m ），

k —系数，

γ_1, γ_2 —由圆筒筛末端流出的和通过筛孔的种子容重（ kg/m^3 ）。

（六）筛子清洁器

筛子在工作中，筛孔经常会被种子或夹杂物堵死，降低分离质量，为此在筛子上装有清洁器，防止筛孔堵塞。筛子清洁器按结构型式可分以下 5 种。

1. 架刷式清洁器

如图 2-12 所示，该清洁器由曲柄连杆机构带动。为保证清洁质量，架刷的摆幅（ $\approx 2r$ ）应大于相邻两刷子间的距离 L 。一般常取 $L=240mm$ 曲柄半径 $r=125mm$ 曲柄转速 $n=35r/min$ 。

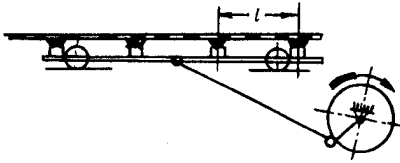


图 2-12 架刷式清洁器

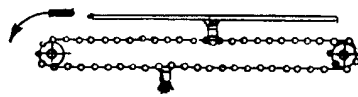


图 2-13 链刷式清洁器

2. 链刷式清洁器

如图 2-13，该清洁器由链条和刷子构成，刷子贴着筛底的运动方向与筛子上种子的运动方向相同，链条的速度一般在 $0.10\sim 0.15m/s$ 。

3. 打杆式清洁器

如图 2-14，打杆式清洁器的工作原理是，由筛架的摆动带动打杆摆动，以其杆端打击筛子，借以清理筛面。打击力的大小可用改变打杆的摆幅来调节。

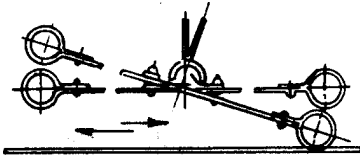


图 2-14 打杆式清洁器

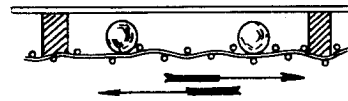


图 2-15 橡皮球清洁器

4. 橡皮球清洁器

如图 2-15，橡皮球清洁器的橡皮球装在筛子与辅助筛之间，通过橡皮球与筛子的撞击清理筛子，这种清洁器多用于编织筛。

5. 圆筒筛清洁器

如图 2-16，常见的圆筒筛清洁器为一固定毛刷、毛刷辊或木制压辊。

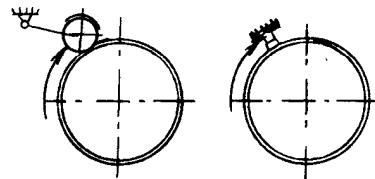


图 2-16 圆筒筛清洁器

（七）影响筛选质量的主要因素

1. 孔形及尺寸的正确选取：因种子的形状、尺寸，混杂物的形状、尺寸及清选要求不同，即使同一品种的种子，也可因产地或生产年份的不同而使所需要的筛孔尺寸要求不同。

2. 筛子的制造质量：筛孔的排列与种子相对的运动方向、筛子的平面度和光滑程度及尺

寸公差都会影响加工质量。

3. 喂料的均匀性：喂入筛面的种子是否连续、均匀，及种子在筛面宽度方向上的分布均匀性都影响加工质量。

4. 料层的厚度：通常料层控制在 5~10mm（种子厚度的 2 倍左右），料层太厚筛选不彻底，太薄发挥不出应有的能力。

5. 筛子的尺寸与负荷：筛子的宽度、长度与生产能力和加工质量直接相关，通常单位筛宽负荷能力 $Q_b=10\sim40\text{kg}/(\text{cm}\cdot\text{h})$ 或筛面负荷能力 $Q_s=1000\sim2500\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。当小型机具取小值，大型机器取大值用于初清时，能力可增加 100%~300%。筛面的长宽比 $L:B=1:2$ 。用于清选不同作物种子时，筛面负荷能力可按折算系数折合。折算系数：小麦为 1 水稻为 0.7，玉米为 0.8 油菜为 0.5 胡萝卜为 0.1。

筛子长度合理时，既能满足加工要求，又节省制造成本，减轻机器重量。

6. 筛面倾角：通常上筛取 $2^\circ\sim7^\circ$ ，下筛取 $7^\circ\sim12^\circ$ 。流动性好的种子取小值，流动性差的种子取大值。预清时，上筛取 $5^\circ\sim10^\circ$ ，下筛取 $10^\circ\sim15^\circ$ 。

7. 振动方向角 ϵ ：振动方向角的大小，直接影响到种子在筛面上受到的作用力， ϵ 增加对种子的上滑或下滑都不利。 ϵ 过大种子跳起不利于筛选 通常 $\epsilon=3^\circ\sim20^\circ$ 。

8. 摩擦角 φ 摩擦角 φ 增加，不利于种子在筛面上的运动，但当筛子材料与筛选种子品种确定后，相对摩擦系数为定值。不同种子对金属筛面的摩擦系数为：小麦 0.36，豌豆 0.14，水稻 0.4。筛面的平整度、毛刺等对 φ 的影响很大，要求光面向上，旧筛片在产量和质量上都要高于新筛片 10%~20%。

9. 振幅与频率：通常 $\gamma\omega^2=10\sim20\text{m}^2/\text{s}$ 。振动频率 r (单位为 min^{-1}) 可通过下式计算：

$$n=(40\sim50/\pi)\times[g/r\times\text{tg}(\varphi+\alpha)]^{-1/2}$$

从受力分析可知， $\gamma\omega^2$ 增加时有利于种子在筛面的上下滑移。当 $\gamma\omega^2$ 增加到一定数值时，种子跳起，离开筛面，减少了种子穿过筛孔的机会，同时振动增加，影响机器寿命。

种子在筛面上的平均运动速度，通常为 0.25~0.35m/s，速度太低影响生产率；速度太高，影响筛选质量。速度的高低与筛面倾角、摩擦系数、振幅及频率等有关。

(八) 正确选用筛孔的技术

由于清选的种子种类和品种不同，其大小尺寸也有差异。为了对清选种子进行有效的分离，清选前，必须对欲清选种子样品的最大、最小尺寸，夹杂物的种类和大小尺寸有较清楚的了解，这就需预先根据种子尺寸的分布曲线和复合图来选用筛子种类和筛孔规格大小。

1. 分布曲线的制作

先取一定数量的种子样品，测量每粒种子的大小尺寸。然后以种子的尺寸为横坐标，每种尺寸的粒数或百分数为纵坐标，绘制成曲线，即为种子尺寸分布曲线图（图 2-17）。若试验结果表明，小麦种子厚度大于 2.3mm 的种子活力强 出苗整齐 那么需选用宽度大于 2.3mm 的长孔筛。几种作物种子尺寸列于表 2-1 供选筛参考。

2. 复合图的制作

首先测出种子样品的宽度和长度，然后按图 2-18 绘制成两种尺寸的复合图。从复合图就

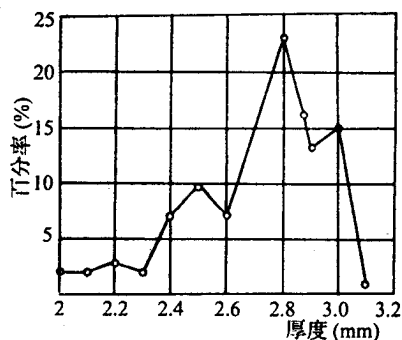


图 2-17 小麦厚度分布曲线