

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.04.016

郑来宁, 侯文庆, 杜连鹏, 等. 浅谈粮食破碎和自动分级形成原因、预防措施及装置应用现状[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(4): 120-127.
ZHENG L N, HOU W Q, DU L P, et al. Causes, preventive measures and devices application of grain crushing and automatic grading[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(4): 120-127.

浅谈粮食破碎和自动分级形成原因、 预防措施及装置应用现状

郑来宁, 侯文庆, 杜连鹏, 冯攀屹

(北京国贸东孚工程科技有限公司, 北京 100037)

摘要: 粮食破碎和自动分级现象是粮食运输和储藏过程中常见且无法避免的问题, 不仅直接影响粮食的使用价值, 降低粮食的加工品质及贸易等级, 而且存在一定的安全隐患, 给粮食的储藏安全性带来极大风险。合理解决粮食破碎及自动分级问题, 对于保证粮食数量、提高入仓粮食品质及储粮稳定性, 确保储粮安全, 具有重要意义。针对粮食筒仓的储粮特点, 对粮食入仓过程中, 粮食破碎和自动分级的形成原因以及影响因素进行详细的阐述, 并提出相应预防措施, 同时对目前已应用至筒仓中的防破碎及自动分级装置的特性、优缺点以及应用现状进行分析, 以期为仓储企业及粮食工作者在设计及设备选择时提供依据和参考。

关键词: 粮食筒仓; 破碎; 自动分级; 形成原因; 预防措施; 装置

中图分类号: TS210 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)04-0120-08

Causes, Preventive Measures and Devices Application of Grain Crushing and Automatic Grading

ZHENG Lai-ning, HOU Wen-qing, DU Lian-peng, FENG Pan-yi

(Beijing Guomao Dongfu Engineering Technology Co., Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: Grain crushing and automatic grading were common and inevitable phenomenon in grain transportation and storage. Grain crushing and automatic grading not only affect the use value of grain and reduce the processing quality and trade grade, but also bring great risks to the safety storage of grain. It's of great significance to solve the problems of grain crushing and automatic grading for ensuring grain quantity, improving grain quality and storage stability, and ensuring grain safety. In this article, the causes of grain crushing and automatic classification during the process of storage were analyzed, and prevention measures were proposed according to the characteristics of grain. At the same time, to provide reference and guidance for storage enterprises when design or select devices, we also analyzed the characteristics and application of anti-breaking and automatic grading devices applied in current silo.

Key words: grain silo; grain crushing; automatic grading; cause; prevention measure; device

20 世纪 90 年代, 我国利用世界银行贷款改

善中国粮食流通项目, 逐步引进了一批大容量、高效率的筒仓储粮设施^[1-2]。粮食筒仓以其机械化程度高、占地面积小、密闭性能好、抗震性能好等明显优势, 在粮食仓储行业中得到广泛的推广

收稿日期: 2022-03-30

作者简介: 郑来宁, 男, 1989 年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为粮食仓储物流。E-mail: zhenglaining@163.com.

及应用^[3]。但粮食筒仓在应用过程中也存在一些问题,如装粮高度高,与仓底落差大,导致粮食入仓时速度快、冲击大,造成粮食出现不同程度的破碎及自动分级现象。粮食破碎及自动分级现象对粮食的长期储存带来很多不利因素,严重影响储粮品质^[4-5]。针对这些问题,国内诸多粮食工作者及设备制造企业开拓思路、不断创新,研究出了诸多防破碎及自动分级的装置,在一定程度上解决了入仓时的普遍性问题。

1 粮食破碎和自动分级形成的原因及影响因素

1.1 粮食破碎、自动分级的形成原因

随着科技水平的快速发展及机械化水平的提高,机械设备在仓储行业的应用逐渐普遍,传统的人工作业和包装运输中出现的粮食破碎问题,在当前粮食物流过程中更加突出。

粮食的破碎率是影响粮食品质的一项重要指标,粮食的运输与输送、烘干、入仓及出仓过程中均会造成粮食的破碎。目前粮食运输方式大多为散粮,在运输途中的相互撞击不可避免的会造成粮食一定程度的破碎;湿粮在烘干过程中,水分的快速流失及温度的快速升高,使籽粒内部产生应力聚积“失去平衡”,导致粮食稍遇外力便出现破碎现象^[6],试验表明,干燥温度超过 150℃、受热温度超过 60℃或一次降水幅度超过 3%时,玉米的裂纹率就会大大增加,导致烘后粮食破碎率增值超过 1.5%、裂纹率增值超过 15%^[7-8];粮食入仓时的高度落差导致的强烈撞击,以及出入仓过程中的提升及输送设备对粮食的挤压、撞击也会造成粮食破碎率的增加,而且是影响粮食破碎率的主要因素,据统计,机械设备导致的粮食破碎率在 5%以上,甚至高达 10%及以上^[9]。

自动分级是粮堆散落性的一种反映,指粮粒在震动、移动或入仓时,同类型、同质量的组分集中在粮堆的某一部位,引起粮堆组分重新分布的现象^[10-11],是颗粒在自由运动时自动产生且不可避免的一种现象^[12]。粮堆是由粮粒、杂质和虫霉等多种组分构成的非均质聚集体,粮粒有饱满与瘪瘦、完整与破碎之分,水分含量也不尽相同;杂质有轻重、形状与大小的不同^[13],彼此的摩擦

力、重力和空气动力学特性的不同,造成其散落性的不同。在粮食入仓时,散落性不同的颗粒会引起粮堆组分的重新分布,形成以仓筒轴线为中心到仓壁由不同的颗粒组成的同心圆,即:灰尘-杂质-破碎粮的小颗粒-破碎粮的大颗粒-轻粒粮-重粒粮。灰尘、杂质和破碎粮的小颗粒形成的杂质区处于仓筒的中心部位,杂质区的直径通常为 3~4 m^[11]。

1.2 粮食破碎、自动分级的影响因素

粮食的破碎、自动分级与粮食品种、含水率、含杂率等因素密切相关。粮食品种对于其发生破碎、自动分级现象的影响主要取决于其结构特性及物理特性等,如玉米由于粉质率高、籽粒较大等特点,在烘干及入仓时极易发生破碎问题^[14],据相关检验结果显示,2008年度集港产自东北的 76 571份、代表玉米实际数量约 460万 t 玉米样品,破损粒含量最高可达 6.33%^[15]。大豆由于散落性好的特点,加之应用最多的浅圆仓仅有一个入粮点,在入仓时极易发生严重的自动分级问题,其中心落点杂质含量与仓周含量差异至少十倍以上,处理难度较大^[16-17]。粮食含水率也是影响其破碎率及自动分级的一个重要因素,以东北玉米为例,含水率低的玉米,籽粒较硬,表皮柔韧性低,加之水分含量越低,烘干时的温度越高,降水幅度越大,玉米的裂纹率越高,在输送过程中的撞击与挤压,以及入仓过程中高落差下的撞击,更易出现较高的破碎率^[8,18],粮食破碎率的增加也会引起入仓时自动分级现象的增加。粮食的收储过程中,不可避免的会带入泥土、砂石、秸秆、编织袋等杂质,粮食中杂质含量越大,不同颗粒间的散落性差异越大,在入仓时分级现象越严重等。

粮食的破碎与自动分级为储粮过程中两个常见的现象,但又相互影响与关联,如粮食的破碎引起粮食颗粒不均匀及容重差异,必然会造成入仓时的自动分级现象,因此粮食破碎也是影响粮食自动分级的重要因素,控制粮食的破碎率可减少粮食入仓时自动分级现象的产生。

粮食破碎及自动分级现象不仅直接影响粮食的使用价值,降低粮食的加工品质及贸易的商品

等级,对于粮食的储藏特性也产生极大影响,破碎的粮食和杂质在入仓时,形成以落粮点为中心的柱状杂质分级区域,该区域中破碎粮粒、土块等杂质含量可达10%~14%,严重时高达20%及以上^[8]。在粮食的长期储存过程中,这些分级区域极易出现结露、发热、霉变等影响储粮安全的异常现象,而在采取机械通风、熏蒸、气调等安全储粮措施时,又成为“死角”部位,无法消除隐患,严重影响储粮的安全稳定性。

2 预防粮食破碎及自动分级的措施

2.1 选择合适的粮食干燥工艺

水分含量是影响粮食储存安全性的重要指标之一,水分含量过高,粮食容易发热、霉变,严重影响粮食的储存及加工特性。为保证粮食的储存安全性,水分含量高的粮食(主要为玉米),入库前需进行干燥处理,使其水分含量降低至安全水分。目前,热风干燥工艺是国内粮食干燥普遍采用的工艺,利用塔式烘干机进行高温干燥,降低粮食水分含量,同时通过提高风温来提高烘干机的产量。如果过度追求产量,一次性降水幅度过大,降水速度过快,就会出现裂纹率增加、破碎率增加的现象。

实验表明,在玉米的干燥过程中,当干燥温度超过150℃、粮食受热温度超过60℃或一次降水幅度超过3%时,玉米的裂纹率就会大大增加^[19-20]。在已有干燥机使用中,通过适当降低产量、降低干燥温度、延长干燥时间,必要时进行二次干燥以降低一次性降水幅度等措施,可降低粮食干燥后裂纹率及破碎率的增加^[7]。故,选择合理的干燥工艺是减少粮食破碎的关键措施。

2.2 选择合理的进出仓工艺

筒仓粮食进仓时,入仓粮落差大、下降速度快,如不采取措施,粮食与地面或籽粒的猛烈碰撞会造成粮食大量破碎,同时不可避免地产生粮食、碎粮及杂质的自动分级现象。粮食进仓时,倾角大、长度长、垂直管道高的溜管对粮食也存在很大冲击力,极易造成粮食破碎。因此设计进出仓工艺时,应避免多次提升与抛料、溜管过长或倾角过大,或在进粮口处,增设附壁溜槽、伸缩管或减压管内缓冲器,减缓入仓粮粒的下降速

度,可在一定程度上减少碎粮产生^[21]。此外,粮食中杂质含量是影响其自动分级的主要因素,来粮过筛清理、提高入仓粮食质量是消除杂质分级的最好方法,可在进仓前增加清理环节,根据来粮杂质含量选择一道或者多道清理设备来完成。

2.3 选择合理的输送设备

粮食进出仓输送过程中,需要经过多级输送设备进行输送,不可避免的会发生碰撞、冲击,造成粮食的破碎现象,斗式提升机、刮板输送机、带式输送机等是造成粮食在输送过程中破碎的主要对象。这些输送机械在制造、安装、调试等环节大多注重输送能力的实现,忽略了设备运转过程中对粮食破碎的影响,尤其是大宗粮食品种玉米,多台设备多次倒运后,致使破碎率明显增加。

斗式提升机的回流和粮食与抛粮罩的高速撞击是造成破碎的主要因素^[22],在提升过程中,进料处底部粮堆受到挖取物料的奋斗挤压,奋斗外的物料与奋斗、机尾斜导流板发生摩擦,造成粮食的破碎,且带速越高、卸料口尺寸越小,碰撞越激烈,造成的破碎越严重^[23]。因此在选择斗式提升机设备时,应优先考虑塑料奋斗,且奋斗与斗提机底部的距离越小越好^[24-25],此外,将面对面相连的斗式提升机出料口连接,中间增加隔板,同时增加尼龙输送带等缓冲层,或在头部罩壳抛料处增加缓冲挡帘等,也可在一定程度上减少粮食破碎^[26]。

对于刮板输送机,粮食在输送过程中,极易落入刮板下方的间隙中,产生摩擦、挤压以及与底层的碰撞,导致粮食破碎率的增加,且越靠近刮板底部,粮粒破碎越严重^[27]。因此,在选用刮板输送机时,可以通过加厚导轨,扩大刮板与底板间隙,使间隙大于粮食颗粒,减少输送过程中对粮食的挤压,以及在进料口加设挡料板,使粮食输送过程中散落在刮板链条中间位置,减少刮板机链条跑偏引起的粮食冲击等方式,减少输送过程中粮食破碎率的增加。此外,由于刮板输送机导致粮食破碎的现象无法避免,因此,大产量、远距离输送时不建议考虑刮板输送机,可采用单托辊或双气垫带式输送机,故障率及能耗更低,运行更加平稳,且更便于维修,但在采用带式输送机的时候也应尽量避免多次搭接。

3 防破碎及自动分级装置的应用

粮食筒仓主要包括浅圆仓和立筒仓，目前在粮食行业，浅圆仓主要用于储备，立筒仓用于中转，对于防破碎及自动分级需求不大，因此本文着重介绍防破碎及自动分级装置在浅圆仓中的应用。

粮食破碎主要是输送过程及进仓过程中的撞击导致的，因此目前应用于浅圆仓的防破碎装置主要通过增加缓冲和减少撞击实现防破碎的目的，相关装置较为单一，如附壁折板防破碎装置；防自动分级装置主要通过增加布料器实现多点进仓达到防自动分级的目的，相关装置较多，如压力门伞形多点布料器、阀控式防分级装置及数控式旋转布粮器等；此外，也有同时预防破碎和自动分级的装置，如多功能中心减压管。目前这些装置已在仓储设施中广泛应用，但其应用效果不同，下面对这些设备的使用情况进行详细分析，粮食工作者在粮食仓储建设过程中可根据储粮品种、粮食品质、设备投资等多方面合理选择。

3.1 附壁折板防破碎装置

附壁折板防破碎装置是一种溜槽式的缓冲装置，该装置在筒仓的进料口处设置固定的敞开式斜溜粮槽（角度与粮食品种相关），再与筒仓侧壁上的附壁溜粮槽相接，附壁溜粮槽是由钢构架及溜粮槽板组成的斜度为 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 的回转折叠式排布的敞开式结构^[28]。该装置通过不断改变粮食流向，增加粮食颗粒之间的相互作用，降低粮食入仓速度，减少粮粒之间及与地面之间的冲击力，达到降低粮食破碎的目的。附壁折板装置制作简单，但设计不合理时会出现粮食“跳楼”现象，失去防破碎的意义，因此在设计时需根据粮食品种严格控制溜槽角度，同时在斜溜槽上设缓冲装置，防止粮食流速过快。此外，在使用过程中，无法避免粮食的自动分级问题，会导致杂质全部聚集在筒仓边缘，尤其是装置的正下方。

附壁折板防破碎装置具体形式如图1所示。

3.2 压力门式伞形多点布料器

压力门式伞形多点布料器^[29-30]是一种无动力的防粮食自动分级装置，已在多个粮库应用，能较好解决粮食入仓时的自动分级问题，且以自动

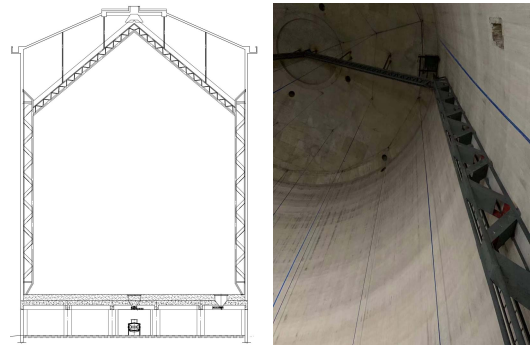


图1 附壁折板防破碎装置示意图

Fig.1 Attached wall folding board anti-breakage device

分级最为严重的大豆中应用效果最好，能很好的实现浅圆仓大豆入仓的整仓布料均匀性，消除粮堆内部通风死角，解决浅圆仓入仓时单点落料分级严重的问题。

多点布料器主要由导流器、溢料筒、压力门、伞形分配器和溜槽等部件组成。其中导流器、溢料筒安装在浅圆仓的卸料筒内，压力门安装在卸料筒的入粮口下端，伞形分配器安装在压力门下方，伞形分配器由外圆周环和中心漏斗构成；伞形分配器的外圆周环上以 30° 间隔、分两层排列着24个出口，外接24根溜槽，可形成24个落粮点，加上中心落料点，共有25个落粮点保证粮食入仓时的均匀分布。此外，25个卸料点同时入仓在一定程度上可以降低入仓后的平仓工作量，提高平仓效率。然而该装置的缺点是在防止粮食自动分级的同时无法兼顾防破碎作用。具体形式如图2所示。

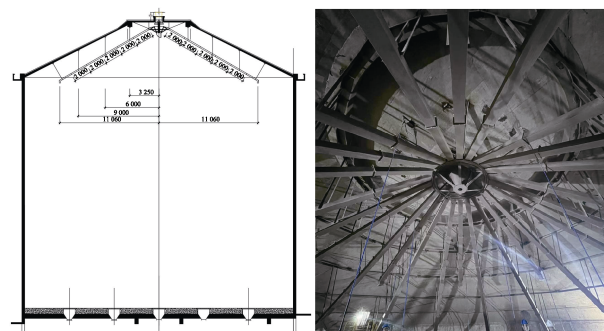


图2 压力门式伞形多点布料器装置示意图

Fig.2 Pressure door type umbrella multi-point distributor device

3.3 阀控式防分级装置

阀控式防分级是一种减少粮食入仓时自动分级的装置，采用单点间断、多点循环的入粮方

式^[31-32]。该装置主要由分配器、分配溜槽（气动阀门）、普通溜槽及控制系统（流量计、气管、气动控制箱和空气滤清器等）组成。整个装置共有 6 个分支，每个分支暂设 3 个出粮口，总共有 18 个出粮口，分支溜槽通过吊杆固定于粮仓顶部。

阀控式防分级装置的工作原理为，控制系统利用粮食的流量信息控制分配器及各个分配溜槽上翻板阀门的启闭时间，从而控制落点的位置和该次粮堆的数量。粮食的入仓方式为多点、多层交叉落料。多点是在同一层面上多个落料点进行交叉落料，使每层粮食的杂质破碎聚集区域相对分散；多层是在粮仓的纵向形成多个料层，相互错开层与层之间的杂质及破碎聚集区域，同时中间层（杂质、破碎含量低的粮食）又隔断了上下两层的破碎聚集区。

该设备的优点包括：①采用单点间断、多点循环的落料方式，使杂质由集中圆柱状分布变为小团状立体分布；②可采用 PLC 控制，具备自动进仓切换功能，可实现现场控制或远程控制；③单个点落料重量可控，保证每点进料量基本相同，确保整仓杂质仓内分布相对均匀；④无需动力，无转动部件，无安全隐患，运行能耗低；⑤安装不影响仓房原有的防水、气密、熏蒸、测温等功能。该装置与压力门式伞形多点布料器相比，可控性强，能通过阀门开启调节出粮口、出粮时间，使得杂质在平面上和立面上均实现均匀分布，但同样存在无法兼顾防破碎作用的问题，该装置具体形式如图 3 所示。

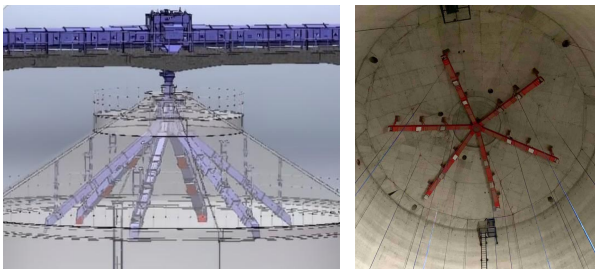


图 3 阀控式防分级装置示意图

Fig.3 Valve-controlled anti-grading device

3.4 数控式旋转布料器

数控式旋转布料器是采用变速控制技术，通过调整溜槽的旋转速度，将粮食以抛物线的形式精确的抛向仓内不同的位置，缓解筒仓入粮时仓

中心区域的杂质聚集现象的装置^[33-34]，如图 4 所示。数控式旋转布料器主要由动力系统、传动系统、转筒、溜槽，以及 PLC、变频器、电气控制设备等部分组成。粮食进入布料器的转筒后，从旋转的溜槽甩出，以抛物线的形式下落，通过控制溜槽的转速，形成不同的落料点，从而将不同杂质类型，不同粒型的粮食均匀分布。

该布料器的优点为设备简单、占用空间小、能有效的解决自动分级问题，同时极大的减少平仓量。但其缺点也较为突出，首先，包含动力装置和传动部件，运行时会增加能耗；其次，安装完成后拆卸不便，发生故障时不易检修，且日常维护保养需求较高；最后，粮食非自然落下，而是以抛物线的形式被甩出，粮食下落初速度大，会增加粮食破碎率。

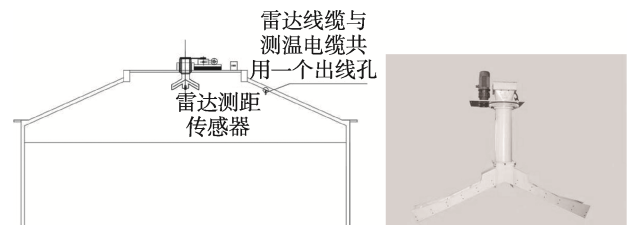


图 4 数控式旋转布料器示意图

Fig.4 CNC rotary grain distributor

3.5 多功能中心减压管

多功能中心减压管是一种集防分级、防破碎、通风降温、环流熏蒸等多功能于一体的装置，且近年来，技术不断优化，其防分级及破碎的效果明显提高，广泛应用于粮食仓储行业^[35]。多功能中心管主要由离心风机、粉杂分散器及减压管等部件组成，如图 5 所示。其工作原理^[36-37]为：粮食进入粉杂分散器内，使其在未分级时成圆环状均匀下落，随后通过风机的气流作用，吹散其中的轻浮杂质，使得粉尘和轻型杂质均匀布置在仓内，减轻仓中心区域杂质分级程度；接料斗将粮流集中至减压管内，通过减压管内的溢流缓冲器和导流缓冲器，自由落体的粮流改为在减压管内的有限流动，在接触底部粮食后由溜槽流出，沿锥体斜面呈下滑状态分布于仓内。这种进料方式既能减缓粮食的下降速度，又能有效减少入仓杂质的分级程度，是目前国内唯一能将防破碎及自动分级结合的装置。此外，该装置同时兼顾多种

储粮技术,包括机械通风、环流熏蒸、充氮气调等,将多种技术融合在一起,减少仓外管道的布置。

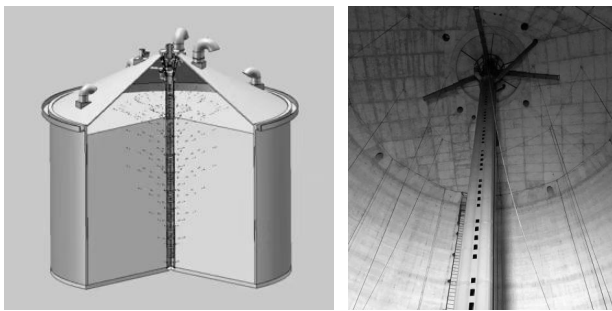


图5 多功能中心减压管示意图

Fig.5 Schematic diagram of pressure relief pipe in multifunctional center

但该装置也存在一定的缺陷,首先,多功能中心减压管从仓顶连接至仓底,贯穿整个筒仓内部,虽对仓容无太大影响,但该装置处于粮堆中央位置,当出现粮食板结问题时,会导致清理困难;其次,经实践论证,通过多功能中心管装置中的双漏斗导流器、粉质分散器和减压管内进料能使粮食的杂质分级及破碎现象得到较大改观,但在中心管内还是会聚集大量的破碎粮粒和较重杂质,需在入粮结束后,将此部分高杂粮食放出、经清理后再入仓才能进入正常储藏,且只有具有中心出粮口的筒仓才能顺利实现,否则将形成新的储粮隐患;最后,由于该装置长期处于粮堆中,易受粮食侧压力及温湿度变化的影响,如果安装不当或中心管强度不足,极易出现设备腐蚀、扭曲变形等问题,影响结构安全性,增加安全隐患。

4 小结

粮食破碎及自动分级是粮食入仓过程中不可避免的问题,尤其是近年来,随着机械化装备以及筒仓储粮技术在储粮行业的广泛应用,该问题尤为突显,严重影响储粮稳定性,亟需引起粮食仓储企业高度重视。除粮食自身性质外,干燥工艺、进出仓工艺及输送装置等是影响粮食破碎及自动分级的重要因素,因此,为降低粮食破碎及自动分级引起的粮食损失、质量降低以及安全隐患,仓储企业及粮食工作者需要综合考虑储粮品种、仓型特点、工程投资等诸多因素,合理调整粮食干燥工艺参数,选择合理的进出仓工艺以及输送设备,必要时可选择防破碎和自动分级的装

置。但目前还存在一些问题有待深入研究,如入仓前最优的烘干工艺参数的选择、降低损失的最优清理工艺的选择等。此外,目前国内出现的一系列防破碎及防自动分级的装置,虽然在一定程度上解决粮食的破碎及自动分级问题,但也存在一定缺陷,如效果不理想、无法兼顾防破碎和防自动分级,检修困难等,因此还需要诸多粮食工作者及设备制造企业不断实验及优化创新,进一步完善工艺及设备,实现粮食破碎及自动分级问题的同步改善。

参考文献:

- [1] 赵金辉,李玥,孙凤阳.独立塔架式浅圆仓防破碎装置设计[J].粮食储藏,2021,50(5):47-50.
ZHAO J H, LI Y, SUN F Y. Design of anti-breakage device for independent tower-frame shallow silo[J]. Grain Storage, 2021, 50(5): 47-50.
- [2] 张来林,蔡育池,许国川,等.浅谈浅圆仓的储粮特点[J].粮油食品科技,2019,27(5):97-100.
ZHANG L L, CAI Y C, XU G C, et al. Talk about the characteristics of grain storage in squat silo[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods. 2019, 27(5): 97-100.
- [3] 刘磊,杨迎亚,张泽禹.防自动分级装置在粮食筒仓中的应用[J].现代食品,2018(10):68-69+72.
LIU L, YANG Y Y, ZHANG Z Y. Talking about the application of anti-automatic classifier in grain silo[J]. Modern Food. 2018(10): 68-69+72.
- [4] 许高峰.我国粮食储藏技术现状、问题及对策研究[J].粮食储藏,2015,44(4):1-5.
XU D F. Current situation, problems and countermeasures of grain storage technology in China[J]. Grain Storage, 2015, 44(4): 1-5.
- [5] 汪海鹏,刘洋,金梅,等.浅圆仓安全储粮研究现状与发展趋势[J].粮食储藏,2008,37(6):27-31.
WANG H P, LIU Y, JIN M, et al. Research status and development trend of safe grain storage in shallow silo[J]. Grain Storage, 2008, 37(6): 27-31.
- [6] 周云,曹毅,郑刚,等.东北地区玉米破碎原因及解决措施[J].粮油食品科技,2007(6):20-22.
ZHOU Y, CAO Y, ZHENG G, et al. The plain analysis and solution on the fragmentation of corn in Northeast China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2007(6): 20-22.
- [7] 郝立群,董梅,白岩.影响玉米干燥系统破碎率的因素及解决方法[J].粮食储藏,2005(4):19-21.
HAO L Q, DONG M, BAI Y. Factors affecting the breakage rate of maize drying system and its solution[J]. Grain Storage,

- 2005(4): 19-21.
- [8] 张来林, 朱彦, 张爱强, 等. 玉米破碎的原因与解决措施[J]. 粮油食品科技, 2009, 17(1): 27-29.
ZHANG L L, ZHU Y, ZHANG A Q, et al. Analysis and solution on the broken corn[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2009, 17(1): 27-29.
- [9] 闫圣翰, 王建伟. 设备对粮食破碎的影响及改进方法[J]. 中国设备工程, 2018(6): 67-68.
YAN S H, WANG J W. Effects of equipment on grain crushing and improvement methods[J]. China Plant Engineering, 2018(6): 67-68.
- [10] 张来林, 张爱强, 朱彦, 等. 粮食自动分级的类型与预防措施[J]. 粮食流通技术, 2008(6): 28-30.
ZHANG L L, ZHANG A Q, ZHU Y, et al. Types and preventions of automatic grade[J]. Grain Distribution Technology, 2008(6): 28-30.
- [11] 王永昌, 姚文冠, 李军五. 浅圆仓粮食入仓自动分级原因分析及解决措施[J]. 粮食流通技术, 2010(3): 28-29.
WANG Y C, YAO W G, LI J W. Analysis of the reason of automatic grain gradation in squat silos and the resolution[J]. Grain Distribution Technology, 2010(3): 28-29.
- [12] 原方, 李佳伟, 崔秀琴, 等. 粮食入仓自动分级现象PFC模拟及定量分析[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(3): 96-99+111.
YUAN F, LI J W, CUI X Q, et al. PFC simulation and quantitative analysis of automatic grain classification[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(3): 96-99+111.
- [13] 欧文妍, 黎斌, 曾治亨, 等. 工业化粮食烘干机的排粮机构设计与试验[J]. 农机化研究, 2021, 43(12): 198-202.
OU W Y, LI B, ZENG Z H, et al. Design and experiment of grain discharging mechanism of industrial grain dryer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 43(12): 198-202.
- [14] 刁凤侯, 周玉凤. 浅析玉米籽粒破碎原因及解决办法[J]. 黑龙江粮食, 2011(4): 38-40.
DIAO F B, ZHOU Y F. Analysis on the causes and solutions of corn grain breakage[J]. Heilongjiang Grain, 2011(4): 38-40.
- [15] 徐永安. 粮食仓储物流技术领域发展中存在的问题与技术途径(一)[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(1): 5-13.
XU Y A. Problems and technology approaches on the development of grain storage and logistics[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(1): 5-13.
- [16] 胡智佑, 杨文生. 进口储备大豆的安全储存管理[J]. 现代食品, 2017(16): 49-52.
HU Z Y, YANG W S. Safe storage management of imported reserve soybeans[J]. Morden food, 2017(16): 49-52.
- [17] 杨文生. 进口大豆入仓自动分级特性研究[J]. 粮食储藏, 2014, 43(6): 23-26.
YANG W S. Study on automatic classification characteristics of imported soybean[J]. Grain Storage, 2014, 43(6): 23-26.
- [18] 张瑞. 粮食储存品质影响因素分析[J]. 黑龙江粮食, 2017(2): 49-50.
ZHANG R. Analysis of influencing factors of grain storage quality[J]. Heilongjiang Grain, 2017(2): 49-50.
- [19] 郝立群, 董梅, 白岩. 影响玉米干燥系统破碎率的因素及解决方法[J]. 粮食储藏, 2005(4): 19-21.
HAO L Q, DONG M, BAI Y. Factors affecting the breakage rate of maize drying system and its solution[J]. Grain Storage, 2005(4): 19-21.
- [20] 王彦超, 张来林, 乔占民, 等. 筒式仓减少玉米入仓破碎的技术措施[J]. 粮食流通技术, 2010(4): 17-20+24.
WANG Y C, ZHANG L L, QIAO Z M, et al. Technical measures for decreasing broken kernels of maize when loaded into silos[J]. Grain Distribution Technology, 2010(4): 17-20+24.
- [21] 张来林, 谢维治, 张爱强, 等. 浅谈浅圆仓配套的仓储工艺设备[J]. 粮食加工, 2020, 45(4): 62-66.
ZHANG L L, XIE W W, ZHANG A Q. Brief talk on storage technology equipment of shallow silo[J]. Grain Processing, 2020, 45(4): 62-66.
- [22] 欧阳峰. 斗式提升机物料输送过程的离散元仿真研究[D]. 太原科技大学, 2019.
OIYANG F. Discrete element simulation of bucket elevator material handling process[D]. Taiyuan University of Science and Technology, 2019.
- [23] 李小化, 陈莲. 斗式提升机提升玉米产生破碎的原因探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2004(1): 15-16.
LI X H, CHEN L. Delving maize kernel breakage in bucket elevating[J]. Cereal & Feed Industry, 2004(1): 15-16.
- [24] 闫汉书. 斗式提升机造成玉米烘干过程中破碎因素分析及改进探讨[J]. 现代食品, 2015(18): 36-39.
YAN H S. Analysis and improvement of corn breakage factors caused by bucket elevator in drying process[J]. Morden food, 2015(18): 36-39.
- [25] 任金祥, 徐辉, 赵常宏, 等. 降低斗式提升机玉米破碎率的实践[J]. 粮食与饲料工业, 2010(11): 14-15.
REN J X, XU H, ZHAO C H, et al. Praxis of reducing corn crashing ratio in bucket elevator[J]. Cereal & Feed Industry, 2010(11): 14-15.
- [26] 蔡育池, 陈金华, 魏谋开. 改造散粮输送系统降低粮食破碎率[J]. 中国粮食经济, 2007(2): 48-50.
CAI Y C, CHEN J H, WEI M K. Reform bulk grain transportation system to reduce grain breakage rate[J]. China Grain Economy, 2007(2): 48-50.
- [27] 王雷, 王远鹏, 王亚军. 刮板输送机在玉米输送中降低破碎率的有效方法[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(8): 23-24.
WANG L, WANG P Y, WANG Y J. Scraper conveyor is an effective method to reduce the crushing rate in corn transportation[J]. Grain and oil processing and food machinery, 2005(8): 23-24.
- [28] 刘国辉. 关于粮库筒仓降破碎装置的结构详解及其应用现状分析[J]. 粮食流通技术, 2013(6): 15-17.
LIU G H. Structure explanation and analysis on application status of decreasing cereals broken device in grain silo[J]. Grain

- Distribution Technology, 2013(6): 15-17.
- [29] 周亚男, 蔡育池, 张来林, 等. 浅圆仓四种布料器的应用与效果[J]. 粮食加工, 2020, 45(6): 66-70.
ZHOU Y N, CAI Y C, ZHANG L L, et al. Application and effect of four kinds of distributor in shallow silo[J]. Grain Processing, 2020, 45(6): 66-70.
- [30] 胡智佑, 杨海民, 刘玉东, 等. 浅圆仓压力门式伞形多点布料器应用[J]. 粮油仓储科技通讯, 2018, 34(1): 44-49.
HU Z Y, YANG H M, LIU Y D, et al. Application of pressure door umbrella multi - point distributor in shallow silo[J]. Grain and Oil Storage Technology Newsletter, 2018, 34(1): 44-49.
- [31] 庄泽敏, 施国伟, 向征, 等. 一种阀控式防分级装置研究应用试验[J]. 现代食品, 2019(4): 81-86.
ZHUANG Z M, SHI G W, XIANG Z, et al. Research and application test of a valve-controlled classification prevention device[J]. Morden food, 2019(4): 81-86.
- [32] 江列克, 庄泽敏, 向征, 等. 浅圆仓布料器防分级效果评价方法[J]. 粮油仓储科技通讯, 2014, 30(1): 42-44.
JIANG L K, ZHUANG Z M, XIANG Z, et al. Evaluation method for classification prevention effect of shallow silo distributor[J]. Grain and Oil Storage Technology Newslette, 2014, 30(1): 42-44.
- [33] 王晶磊, 肖雅斌, 陈艺, 等. 新型数控式浅圆仓布粮机应用效果研究[J]. 粮食流通技术, 2014(2): 17-20.
WANG J L, XIAO Y B, CHEN Y, et al. Study on application effect of new TYPE CNC Shallow Silo Grain Distributor[J]. Grain Distribution Technology, 2014(2): 17-20.
- [34] 郑超杰, 张明学, 赵东虎. 数控布粮器小麦入仓储粮试验[J]. 粮食流通技术, 2013(3): 20-21.
ZHENG C J, ZHANG M X, ZHAO D H. Experiment of wheat storage by nc grain distributor[J]. Grain Distribution Technology, 2013(3): 20-21.
- [35] 乔占民, 李国长, 王保祥, 等. 多功能减压管在立筒仓和浅圆仓中的应用[J]. 粮食储藏, 2007(4): 31-33.
QIAO Z M, LI G C, WANG B X, et al. Application of multifunctional pressure relief tube in vertical silo and shallow silo[J]. Grain Storage, 2007(4): 31-33.
- [36] 刘根平, 邱辉, 武传森, 等. 浅圆仓多功能中心系统的应用与研究[J]. 粮食储藏, 2015, 44(1): 11-15.
LIU G P, QIU H, WU C S, et al. Application and research of shallow silo multifunctional center system[J]. Grain Storage, 2015, 44(1): 11-15.
- [37] 郑毅, 邱辉, 武传森, 等. 多功能中心管与多点布料器实仓试验对比研究[J]. 粮油仓储科技通讯, 2018, 34(2): 40-45.
ZHENG Y, QIU H, WU C S, et al. Comparative study of multi-function central pipe and multi-point distributor in solid warehouse test[J]. Grain and Oil Storage Technology Newslette, 2018, 34(2): 40-45. 完