

大豆粕立筒仓与机械化房式仓的对比分析

蒋守业¹, 刘海荣², 王武晨¹, 梁旭³, 陈定刚⁴

(1. 国粮武汉科学研究设计院有限公司, 武汉 430079; 2. 中国储备粮管理集团有限公司 浙江分公司, 杭州 310013; 3. 益海嘉里(重庆)粮油有限公司, 重庆 402284; 4. 天津象屿进出口贸易有限公司, 天津 300450)

摘要:旨在为大豆加工厂仓型选择提供参考,以仓容 1.5 万 t 的 3 000 t/d 的大豆加工厂为研究案例,对比分析了大豆粕混凝土立筒仓与机械化房式仓的进出仓工艺和设备,结合国内部分工厂的实际建设和运营数据,总结分析了两种仓型的占地面积、仓容利用率及投资运营费用等。结果表明,相较于混凝土立筒仓结合出仓机方案,机械化房式仓结合强力出仓机方案在控制大豆粕水分含量和存储风险方面具有一定优势,且每年能够节约 26.56% 的用电成本。以 10 年的运营期为计算基准,机械化房式仓结合强力出仓机的方案可降低 46.2% (对应 2 430 万元) 的费用现值。综上,机械化房式仓结合强力出仓机方案具有投资低、仓容利用率高、运行成本低、维修费用少、维修便利等优点,且物料分级少,品质有保障,可作为投资者的选项。

关键词:大豆粕;立筒仓;机械化房式仓;大豆加工厂;强力出仓机

中图分类号:TS203; TS228 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-7969(2024)08-0144-05

Comparative analysis of soybean meal vertical silo and mechanized warehouse

JIANG Shouye¹, LIU Hairong², WANG Wuchen¹, LIANG Xu³, CHEN Dinggang⁴

(1. China Grain Wuhan Science Research and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430079, China; 2. Zhejiang Branch of China Grain Reserve Management Group Co., Ltd., Hangzhou 310013, China; 3. Yihai Kerry (Chongqing) Oils & Grains Co., Ltd., Chongqing 402284, China; 4. Tianjin Xiangyu Import and Export Trade Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: In order to provide reference for the selection of warehouse types for soybean oil processing plants, taking a 3 000 t/d soybean processing plant with a storage capacity of 15 000 t as a case study, the process and equipment of soybean meal concrete vertical silo and mechanized warehouse were compared and analyzed, the floor area, warehouse capacity utilization rate and investment and operation expenses of the two warehouse types were summarized and analyzed based on the actual construction and operation data of some plants in China. The results showed that compared with the concrete vertical silo combined with reclaimer, the mechanized warehouse combined with powerful reclaimer had certain advantages in controlling the moisture content and storage risk of soybean meal, and could save 26.56% of the electricity cost per year. Based on the 10-year operation period, the solution of mechanized warehouse combined with powerful reclaimer could reduce the present value of expenses by 46.2% (corresponding to 24.3 million yuan). To sum up, the solution of mechanized warehouse combined with the powerful reclaimer has the advantages of low investment, high warehouse capacity utilization rate, low operating cost, less maintenance cost, convenient maintenance, etc., and less material classification,

quality assurance, and it can be used as an option for investors.

Key words: soybean meal; vertical silo; mechanized warehouse; soybean processing plant; powerful reclaimer

收稿日期:2023-11-11;修回日期:2024-04-18

作者简介:蒋守业(1982),男,高级工程师,主要从事粮油食品(油料油脂、油脂化工、油料蛋白)加工厂建设项目咨询、工程设计,工艺设备研究开发等系统性技术管理和项目管理工作(E-mail)cofco307@163.com。

大豆加工厂中入仓大豆粕多为颗粒状,蛋白质含量高,水分含量通常在 12.5%~13.4% (发放的成品大豆粕依据 GB/T 19541—2017《饲料原料 豆粕》通过回填豆皮等作业控制水分含量不高于 12.5% 或者满足供货双方合同约定),属于不易燃烧物质,但大豆粕中残留有少量的溶剂(正己烷),在高粉尘环境下仍有粉尘爆炸的风险,如果采用简易平房仓结合装载机出仓的传统存储模式,不仅作业效率低,劳动强度大,作业环境恶劣,且作业时装载机尾气带火星,扬尘大,存在较大的安全隐患。因此,大豆粕存储普遍采用混凝土立筒仓结合出仓机的方案。混凝土立筒仓结合出仓机的方案虽然极大地解决了上述安全隐患,提高了大豆粕出仓的自动化程度,但同样存在一些问题:在长期使用中,由于上游大豆粕水分偏高、出仓倒仓工艺操作不当等原因,易出现物料板结、搭桥甚至闷仓的情况,一旦发生闷仓事故,只能人工掏仓,闷仓严重时掏仓将持续数月,严重影响生产;炎热的夏季,为减少闷仓事故

的发生,一些厂家会选择少存大豆粕或者增加倒仓频率,使得仓容利用率降低,运行和维护成本增加。

近几年,随着房式仓出仓设备的不断创新,市面上出现了可以在仓内地坪上行走的散料强力出仓机装置。相比混凝土立筒仓而言,机械化房式仓结合强力出仓机方案不仅具有投资低、仓容利用率高、运行成本低、维修费用少、维修便利等优点,并且物料分级小,物料品质有保障,可以避免立筒仓带来的物料板结、闷仓等问题,减少相应的风险。因此,本文从进出仓工艺和设备、对大豆粕水分影响、存储风险、占地面积、仓容利用率及投资运营费用等方面对混凝土立筒仓和机械化房式仓进行了对比分析,以期为新建和改扩建大豆加工厂项目仓型选择、工艺优化、设备选型、运行成本控制和特征指标优化等方面提供参考。

1 大豆粕主要的存储及出仓方式

大豆粕的存储方式主要有房式仓与混凝土立筒仓两种,两种仓型配置不同的出仓方式,如表 1 所示。

表 1 大豆粕主要的存储及出仓方式

存储方式	物料形式	出仓形式	特点
传统房式仓	包装粕	叉车	占用空间大,成本高,无法实现自动化
传统房式仓	散粕	装载机	仓内操作环境差,易导致安全问题
机械化房式仓	散粕	刮平机	先进后出,厂房投资较大
混凝土立筒仓	散粕	出仓机	物料容易分级、结块,需要倒仓,自动化程度高
机械化房式仓	散粕	强力出仓机	先进先出,物料不易分级,投资低

传统房式仓结合叉车的方案:将大豆粕打包成 50~70 kg 的袋装,然后堆放在大型房式仓中,分区域存储不同种类(不同蛋白质含量、不同原料来源或不同水分含量)的大豆粕。该方案的优点是方便运输和袋装粕的快速出货,减少大豆粕的水分变化,但缺点是占用空间大,需要人工或机械码垛、拆垛和装车,运营成本高。这种方案已基本被市场淘汰。

传统房式仓结合装载机的方案:将散状大豆粕输送到平房仓中,利用装载机将大豆粕从多个方向推入或铲入落料口,再通过地下通廊的输送机将大豆粕送到打包线或装车口。该方案的优点是取样方便,容易掌握大豆粕品质变化,缺点是作业效率低、粉尘大、室内能见度低、操作环境恶劣,且存在极大安全隐患。这种模式目前在新建项目中鲜有设计。

机械化房式仓结合刮平机的方案:将大豆粕输送到四周为承重墙和平房仓中,利用刮平机将大豆粕强制刮平,使物料达到无法靠自流而进入的空间,继而增加仓容利用率。当需要出仓时,利用刮平机将大豆粕刮入落料口,再通过地下通廊的输送机将大豆粕送到打包线或装车口。该方案的优点是容易

掌握大豆粕品质变化,同时能实现自动化作业,减少人工清仓量,提高生产效率。但由于先进后出的作业模式,以及出仓设备需吊挂在屋顶上,厂房投资大等客观条件,其只被部分客户所接受。

混凝土立筒仓结合出仓机的方案:将大豆粕直接输送到混凝土立筒仓中,利用机械出仓机从仓底出仓。该方案的优点是占地面积小,物料存储高度在 32 m 左右,储存量大,可以实现自动化控制,缺点是出仓机械部件位于仓内,大豆粕容易分级和结块,需要定期检修和清理^[1]。

机械化房式仓结合强力出仓机的方案:将大豆粕输送到四周为承重墙的平房仓中,利用强力出仓机从料堆底部将物料输送出仓,不仅解决了刮平机模式下物料先进后出的问题,而且屋顶不承载,大大降低了厂房的投资,是目前最新的房式仓出仓设备,在国内外已被一些大型油脂加工企业所选用

本文将大豆粕机械化房式仓结合强力出仓机与混凝土立筒仓结合出仓机的方案进行综合比较。

2 两种仓型的进出仓工艺和设备介绍

以 3 000 t/d 大豆加工厂为例,分别介绍混凝土

立筒仓结合出仓机方案与机械化房式仓结合强力出仓机方案的进出仓工艺。

2.1 混凝土立筒仓结合出仓机方案

生产车间来料 120 t/h,通过入仓斗提机和仓顶入仓刮板将大豆粕输送到 3 个仓容 5 000 t 的散粕立筒仓中。大豆粕的出仓采用 Laidig1098 出仓机,出仓能力为 300 t/h,出仓后经 300 t/h 的出仓斗提机送到打包车间发货。为了实现不同种类大豆粕的安全储存,还设置了一条 200 t/h 的倒仓线,由仓底 200 t/h 倒仓刮板、200 t/h 倒仓斗提机和 200 t/h 仓顶倒仓刮板组成,根据大豆粕水分、环境温度等因素,1~2 h 倒仓一次,大豆粕入仓水分通常控制在 13.2% 以下。由于这种存储和出仓方式相较于平房仓节省空间,同时能够实现部分自动化功能,故大规模的大豆加工企业较多采用此方案。

2.2 机械化房式仓结合强力出仓机方案

生产车间来料 120 t/h,通过入仓刮板机和行车布料刮板将大豆粕输送到仓容 15 000 t 的机械化平房仓中。车间来的大豆粕也可以不进仓,直接送到打包车间打包。为了控制落料粉尘,落料处设置了移动式抑尘斗或固定式抑尘斗。大豆粕的出仓采用散料强力出仓机,出仓能力为 300 t/h,地坑上方设置有钢格栅,钢格栅下方设置有独立的下料斗、手动闸阀门和气动闸阀门。为解决下料斗内物料堵料,在斗外侧配有空气炮。大豆粕经散料强力出仓机出仓后送到地坑内出料刮板机,经斗提机送到打包车间发货。这种存储和出仓方式无须倒仓,可实现先进先出,一个房式仓可以存两种不同的物料,且可以实现出仓机的自动化控制,必要时工人可直接进入仓内维修维护出仓装置,装载机也可以直接进出仓内实施紧急作业。

目前国内具有代表性的散料强力出仓机有两种形式,一类是江苏通惠机电设备有限公司制造的“地刮板”形式,另一类是秦皇岛市鸿瑞科技开发有限公司“斗轮”形式。该装置可沿仓房纵向轨道运行,将仓内的物料沿着出仓机方向输送至位于中部地沟内的输送机内,由输送机转运至装车楼进行散料装车。

房式仓采用散料强力出仓系统作业具有如下优势:①出仓机系统配备有高性能的破板结装置和自动化控制系统,能够实现板结物料的自动化出仓,确保设备可以沿仓房前后运行。通过控制系统设备实现全自动化运行,无须人员进仓作业。②强力散料出仓系统的作业效率高,根据物料的不同产量从 50 t/h 到 500 t/h 不等,作业过程几乎无扬尘,环保、安全、高效。③散料强力出仓机对仓房结构要求简单,对于采

用装载机作业或采用袋包存储模式的厂房,经过简单的改造即可升级为自动化机械化房式仓,散料强力出仓机是装载机作业的较为理想的替代方案。

3 两种仓型对大豆粕水分的影响

大豆粕水分的波动直接影响企业的效益,如果大豆粕水分降低,会使企业利润降低,反之则会增加企业的利润,这对于目前行业背景下的大进大出物流型油脂加工企业至关重要。当然,大豆粕水分需要满足客户的要求。可见,在生产管理过程中,能够灵活定制符合客户水分要求的成品大豆粕,是保证利润以及提升客户满意度的关键。

在一定温度和湿度的环境下,影响大豆粕水分波动的主要因素是大豆粕与空气的交换时间和接触面积,主要受以下几种因素的影响:①大豆粕落料时的落差,落差越大,与空气交换时间越长,水分波动越大;②大豆粕落料的次数,次数越多,水分波动越大;③仓内是否设置通风系统,通风系统会加速空气流通,从而影响大豆粕水分;④堆放面积,堆得越散,与空气接触的面积越大,水分波动越大。

采用立筒仓存储大豆粕时,大豆粕在进仓或者倒仓时,由于仓内处于正压状态,需开启仓顶除尘风机(1 个 5 000 t 的立筒仓通常配置 2 台 5 000 m³/h 的风机)以制造负压,频繁倒仓带来的空气交换会引起水分散失/吸湿。采用机械化房式仓存储大豆粕时,由于机械化房式仓的落料高度小,且不需要频繁倒仓,因此大豆粕落料时落差和落料次数对大豆粕水分波动的影响很小,机械化房式仓内大豆粕堆放的面积比立筒仓大,这是影响大豆粕水分散失/吸湿的主要因素,但由于大豆粕进仓后基本处于静止状态,不需要倒仓,因此水分的散失/吸湿主要发生在与空气接触的表层大豆粕。另外,机械化房式仓可不设置通风系统,设计成保温密闭的形式,因此基本不存在通风系统对大豆粕水分的影响。

有些客户可以接受水分含量相对较高(如 13.5%)的大豆粕,此时机械化房式仓存储比混凝土立筒仓有优势,因为高水分含量的大豆粕进机械化房式仓既不会带来闷仓风险,又能降低 DC 蒸汽消耗,确保企业利益最大化。

4 两种仓型的大豆粕存储风险比较

4.1 大豆粕板结

物料板结的程度与物料堆放高度、蛋白质含量、水分含量、温度等有关,蛋白质含量、堆放高度、水分含量越高物料就越容易板结。大豆粕密度为 0.55 t/m³,蛋白质含量为 43%/46%,水分含量为 13% 左右,属于极易板结的物料,尤其是在炎热的夏季,高

蛋白质高水分含量的大豆粕,板结情况尤为严重^[2]。

混凝土立筒仓存储大豆粕时,考虑其易板结的特性,通常会在底部开设一排应急洞口,目的是在物料板结严重或者设备出现故障、停电等情况时,工人可以从掏料口掏料,由于人工掏仓时,大豆粕也在坍塌,因此掏仓的时间无法估算,根据目前行业中一些工厂的反馈,闷仓的情况时有发生,闷仓后掏仓的时间基本在1~3个月,如果掏仓不及时,几千吨的大豆粕将面临变质的风险。鉴于此,在仓容允许的情况下,有些企业选择降低大豆粕的水分含量后入库,或者控制仓内只堆放70%~80%的物料,以减少闷仓事故,但也降低了仓容利用率。

机械化房式仓存储大豆粕超过1个月时,也会出现严重板结的情况,但由于房式仓内大豆粕的堆放高度通常在12~20 m,因此板结程度、风险较混凝土立筒仓低,同时机械化房式仓在设计时有装载机通道,当房式仓内设备出现故障时,大型设备(装载机)可进仓辅助作业,物料存储的安全性较混凝土立筒仓更高。

4.2 大豆粕分级

分级是影响大豆粕品质的关键因素之一,而影响大豆粕分级的主要因素及解决办法有以下几种:①空气介入,减少空气介入,即在真空环境下不会分级;②卸料方式,多点卸料,即分散卸料点可以减少分级;③落料高度,落料高差越大分级越严重,降低落料高度可减少分级^[3]。因此,要减少大豆粕分级,可选择多点卸料或降低落料高度,另外,虽然不可能制造真空环境,但根据调研,落料时配备抑尘斗可有效降低分级。抑尘斗的原理是根据流体力学的伯努利原理,利用流体的气压差,制造流动物料内部的真空环境以形成料柱,这种局部减少空气介入的方式,也可以很大程度减少分级。

调研国内多家大型油脂加工厂的情况得到如下结论:采用机械化房式仓存储大豆粕,落料高差在10 m以下时,几乎没有分级,采用设备混合出料,不考虑分级;落料高差在10~21 m时,会存在分级(不采取任何抑制分级的措施,在落料高度18~19 m时,堆芯和边缘大豆粕的蛋白质含量差值在1.5百分点,甚至2百分点),但在加装抑尘斗配合强力出仓机出料后,分级的情况基本消除,直接发货,不会影响物料品质,也无须再采用其他办法,无额外成本。采用混凝土立筒仓存储大豆粕时,由于落料高差达到32 m,分级比较严重,可以采用五点卸料器/抑尘斗。但是通常情况下,一个仓容5 000 t的立筒

仓在出仓过程结束时会有300~500 t的物料由于分级导致品质不合格,这部分物料通过在线打包时控制比例进行混料或者倒仓混料或者出料至房式仓经过混料后才能转为合格料发货,可能会增加额外成本。因此,相比混凝土立筒仓,机械化房式仓存储大豆粕,分级更小,品质均匀有保障,无须额外的处理不合格料的费用,运行成本更低。

5 两种仓型的特性对比

5.1 占地面积

1.5万t仓容的混凝土立筒仓由3个5 000 t的立筒仓及配套工作塔组成,占地面积约 $22\text{ m} \times 67\text{ m} = 1\,474\text{ m}^2$;而1.5万t仓容的机械化房式仓根据计算机模拟真实堆料状态可得出占地面积约 $36\text{ m} \times 83\text{ m} = 2\,988\text{ m}^2$ 。由于混凝土立筒仓的堆料高度更高,所以占地面积更小。

5.2 仓容利用率及倒仓情况

为了规避大豆粕板结风险,采用混凝土立筒仓存储大豆粕时,通常情况下每2 h倒仓一次,否则容易闷仓,但在炎热的夏季(7—9月份),倒仓也不能完全解决物料板结问题,很多生产企业的立筒仓内只堆放70%~80%的物料,极限仓容利用率为90%。而采用机械化房式仓存储大豆粕时,不需要倒仓,仓容利用率可达到95%。

5.3 投资费用

混凝土立筒仓结合出仓机方案与机械化房式仓结合强力出仓机方案的建设投资比较见表2。

表2 两种仓型的建设投资比较

项目	费用/万元		备注
	混凝土立筒仓	机械化房式仓	
建筑投资	1 837	762	土建、钢结构
设备投资	2 468	1 232	不同设备档次,投资会有差别
电控投资	145	141	
土地投资	77.4	156.9	按照525元/m ² 计算
总计	4 527.4	2 291.9	

5.4 年耗电成本

混凝土立筒仓结合出仓机方案与机械化房式仓结合强力出仓机方案的运行功率比较见表3。

表3 两种仓型的运行功率比较

类型	工作能 力/(t/h)	混凝土立筒仓		机械化房式仓	
		功率/ kW	单位电耗/ (kW·h/t)	功率/ kW	单位电耗/ (kW·h/t)
进仓	120	60.00	0.50	56.00	0.47
出仓	300	187.75	0.63	188.70	0.63
倒仓	-	220.75	-	-	-

由于大豆粕不是时刻都在进出仓,故根据设备输送能力将电力消耗折算到单位物料中,便于计算运行成本,以3 000 t/d大豆加工厂为参照,其大豆粕产量为2 400 t/d。

混凝土立筒仓结合出仓机方案需要倒仓,按照

表4 两种仓型年耗电费用比较

类型	工作能力	年工作日/d	混凝土立筒仓			机械化房式仓	
			功率/ kW	单位电耗/ (kW·h/t)	年电费/ 万元	单位电耗/ (kW·h/t)	年电费/ 万元
进仓	2 400 t/d	330		0.50	31.68	0.47	29.78
出仓	2 400 t/d	330		0.63	39.92	0.63	39.92
倒仓	4 h/d	330	220.75		23.31		
总计					94.91		69.70

由表4可知,按照全部物料均需进出仓计算,机械化房式仓结合强力出仓机方案相较于混凝土立筒仓结合出仓机方案每年能够节约26.56%的用电成本。

6 两种仓型的经济学分析

费用现值是将资金以基准收益率换算成设备投产初始时现值来分析比较的方法,机械化房式仓与混凝土立筒仓的设计使用年限为50年,但其中设备的使用寿命多为8~12年,本文以10年为基准,假设基准收益率为5%,按式(1)计算费用现值,结果见表5。

$$P = \sum_{t=0}^{10} E_t \times \frac{1}{(1+i_c)^t} \quad (1)$$

式中: P 为费用现值,万元; E_t 为现金流出量,万元; i_c 为基准收益率。

表5 两种仓型的费用现值比较

时间/ 年	机械化房式仓		混凝土立筒仓	
	E_t /万元	P /万元	E_t /万元	P /万元
0	2 291.9	2 291.9	4 527.4	4 527.4
1	69.7	66.4	94.9	90.4
2	69.7	63.2	94.9	86.1
3	69.7	60.2	94.9	82.0
4	69.7	57.3	94.9	78.1
5	69.7	54.6	94.9	74.4
6	69.7	52.0	94.9	70.8
7	69.7	49.5	94.9	67.5
8	69.7	47.2	94.9	64.2
9	69.7	44.9	94.9	61.2
10	69.7	42.8	94.9	58.3
总计		2 830.1		5 260.2

2 h倒仓一次,一次约20 min,故在计算倒仓所耗电费时,按照每天运行4 h计算;而机械化房式仓结合强力出仓机方案不需要倒仓。电费按照0.8元/(kW·h)计算,年耗电费用计算结果见表4。

由表5可知,以10年的运营期为基准,机械化房式仓结合强力出仓机方案相较于混凝土立筒仓结合出仓机方案可降低46.2%(对应2 430万元)的费用现值。

7 结束语

长期以来,由于没有可靠的房式仓出仓系统,造成了绝大部分油脂加工企业选择传统的简易房式仓结合装载机或者选择运营成本昂贵的袋包房式仓作为主要物流解决方案,而一些加工规模较大的油脂加工企业,选择投资较大的混凝土立筒仓结合出仓机方案作为其物流解决方案。近几年,随着房式仓出仓设备的不断推陈出新和实际使用,使得传统普通的房式仓升级为高效、环保、可靠的机械化房式仓。相比混凝土立筒仓结合出仓机的方案,机械化房式仓结合强力出仓机方案不仅具有投资低、仓容利用率高、运行成本低、维修费用少、维修便利等优点,并且物料分级小,物料品质有保障。随着机械化房式仓结合强力出仓机方案的进一步创新和实践,机械化房式仓已经重新回归到投资者的选项中。

参考文献:

- [1] 左青,叶春生,严云修. 豆粕储存仓及附属设施[J]. 中国油脂,2010,35(6):59-62.
- [2] 于海华,刘国清,张福钊,等. 立筒仓内豆粕板结的防范措施[J]. 粮食与食品工业,2020,27(4):5-6.
- [3] 张铎,张福钊,褚阳阳. 散粕平房仓储运中的常见问题及对策[J]. 粮食与食品工业,2019,26(3):46-47.