

# 大型钢板仓储粮和油料应用实践

左青<sup>1</sup>, 李新刚<sup>1</sup>, 左晖<sup>2</sup>

(1. 江苏丰尚仓储钢板仓工程有限公司, 江苏扬州 225127; 2. 广州星坤机械有限公司, 广州 510890)

**摘要:**针对大型钢板仓储粮和油料安全,防止储粮和油料变质及仓体倒仓,我们设计并承建了1.5万~1.65万t钢板仓,在设计中考虑了内抗仓体非均等侧压力、外抗17级飓风因素,并进行仓体保温和仓内通风,保证钢板仓储粮和油料质量安全。钢板仓比混凝土仓节省投资成本50%左右,建设工期缩短50%。

**关键词:**保温钢板仓;储粮和油料;投资成本

中图分类号:TS228;TS208

文献标识码:B

文章编号:1003-7969(2021)01-0100-05

## Practice of grain and oilseeds storing in large scale steel silo

ZUO Qing<sup>1</sup>, LI Xingang<sup>1</sup>, ZUO Hui<sup>2</sup>

(1. Jiangsu FAMSUN Steel Silo Engineering Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu, China;

2. Guangzhou Xinmas Co., Ltd., Guangzhou 510890, China)

**Abstract:** In order to safely store grain and oilseeds in large scale steel silo, prevent the grain and oilseeds deteriorate and the silo collapse, 15 000 – 16 500 t of steel silo was designed and constructed, and internal non – equal side pressure against silo and anti – 17 grade hurricane outside were considered in the design. The silo was insulated and ventilated in order to ensure the quality safety of grain and oilseeds stored in the steel silo. Comparing with the concrete silo, about 50% investement cost of the steel silo was saved and 50% construction period was shorten.

**Key words:** insulate steel silo; grain and oilseeds storage; investement cost

在港口和大豆加工厂建仓,因钢板仓建设周期短、成本低于混凝土仓,多用钢板筒仓群储藏大豆等农产品,用于短期(60 d)的周转。随着加工企业集团化、大型化,对于国际农产品期货市场和国内现货市场的价格波动,一些营销人员考虑在价格低谷采购大量的大豆、玉米等农产品,在市场价格走高时抛出套现盈利。目前现有的小仓群不能满足需求,需要新建1.5万t或以上的大型筒仓,储存期为1~1.5年。钢板仓因受外热储粮温度变化大,被业内人士认为其只合适作油料短期周转仓,混凝土仓因隔热好可以长期储粮,另外担心钢板仓仓体刚度比混凝土仓偏弱。以前建设1.5万t以上的大型钢板仓都是国外公司承建,我公司在2009年设计、新建了1.5万t钢板仓,在取得经验后,又建设20多个

1.5万~1.65万t钢板仓,能抗17级飓风,用于储存大豆、玉米、饲料等农产品。设计的钢板仓解决了仓壁抗非均等压力、钢板仓保温的储粮安全问题。相同储量的仓群,钢板仓比混凝土仓节省投资成本50%左右,建设工期缩短50%。

### 1 大型钢板仓受力分析及结构设计

#### 1.1 钢板仓受力分析

立筒仓结构设计的关键在于其工况载荷——储粮压力及确定,各国都是基于Janssen理论。Janssen理论是分析在静止状态下的压力,该理论建的仓不适合物料产生动载荷的实际工况。

立筒仓内壁随着进料和出料产生压力和摩擦力。筒仓在流动卸料情况下受到非均等压力,在较小的面积上会出现很大的荷载,因风力、单边荷载造成筒仓的不稳定,当筒仓内卸料时,仓壁储粮内部压力变化并传递给仓壁,如果遇到仓内物料结团,仓壁局部受压更大,仓壁上的压力会增加1~2倍。我们在设计时依据欧标偏心受力分析,发现立筒仓在顶

收稿日期:2019-11-18;修回日期:2019-12-01

作者简介:左青(1958),男,高级工程师,主要从事企业的生产技术管理工作(E-mail)zuoqing\_bj@163.com。

部进粮时的压力比理论值小,最小压力是理论值的50%,出料时在筒仓上部1/3处最大压力比理论值要小,而在中部1/3处达到理论压力的1.3倍,在下部1/3处,则超过理论压力的2~2.5倍。动压力考虑荷载如仓内摩擦角、出料斗宽度、出料速度、起拱、拱塌、仓壁冷却或风动卸粮等负荷。

钢板仓内存在不同流向的流动压力和摩擦力,在仓壁每个高度受力不一样。

根据储粮在仓内的实际情况进行全三维模拟加载,测试筒仓整体的变形及应力情况,根据计算结果对筒仓本体结构薄弱位置进行重新设计及构造加强,确保筒仓结构整体安全。

在工程应用中我们考虑储粮荷载偏心作用,对筒仓环向刚度增加环向构件,增加筒仓整体失圆的刚度。筒仓本体外周上间隔箍有紧固环<sup>[1]</sup>,紧固环包括若干段弧形圆管,相邻弧形圆管经连接件相连接形成封闭的紧固环。紧固环可以将仓内偏载储粮作用在筒仓本体侧壁的局部集中力分散到筒仓本体外周上,从而避免筒仓本体失圆变形,确保筒仓安全。在仓内壁安装减速专用挡板<sup>[1]</sup>,减轻筒仓内储粮对筒仓偏心的压力。

1.5万~1.65万t钢板仓下5m为双层板,板厚4.5~5.5mm,板与板之间连接在按4排凹部双螺栓连接外,在凸部加一个防锈螺栓。对于1.5万t或以上的装配仓,选材的强度和仓体钢构骨架强度要设计好,在正常满仓情况下,仓壁受压和应力稳定,在倾斜装料和进料时,仓壁受压和应力不稳定,一般从下向上6块板为双层(即筒仓下1/3部位),每块板的螺栓要紧固,如果出现受力不等,最弱的部分受到各处力的集中冲击,容易击破。如在筒仓下1/3处出现弱点,在外界有规律性振动(如火车)下,仓内所有的力集中压向弱点,导致倒仓。

## 1.2 仓壁设计

采用外柱,墙体主要由压型钢板和Z型钢立筋组成,大仓和高仓设置双筋且立筋壁要逐渐加厚。仓壁为小波纹钢板,在装配时,相邻上下层壁板的竖向接缝应错开布置。小波纹钢板仓壁的搭接缝须设密封条,螺栓孔须加装密封圈。筒仓仓壁设计除满足结构计算要求外,外置抗风圈,按抗17级飓风计。立柱(立筋)的接头应采用等强度连接,相邻两立柱的接头不宜在同一水平高度,小波纹钢板仓采用高强度镀锌螺栓连接,螺栓直径与数量应经计算确定,垫片螺栓密封、板缝硅胶填缝剂密封仓壁下部与仓底(或基础)可靠锚固点之间的距离应不大于2m。

## 2 钢板仓的储粮安全措施

### 2.1 油料在仓内储藏中的变化

大豆表面光滑、堆积密度空隙度小,散落性好,料堆积热和积湿不易散发,大豆内部油脂在酶、微生物的作用下容易发生氧化、水解酸败<sup>[2]</sup>。大豆水分超过13%,在大豆温度超过25℃会发生赤变。在仓体的局部可能会发生储藏条件的恶化,在少量大豆吸水产生放热反应后,局部粮堆大量滋长霉菌并会迅速蔓延和扩展,导致储粮大量霉变发热。据我们在深圳赤湾港监测发出粮情通告汇总:大豆温度高于46℃后,温度会迅速上升,出现焦化和炭化<sup>[3]</sup>。如果储粮温度高于气温2~3℃,储粮内气流稳定向上运动,仓内冷空气自仓壁下移,移向粮堆中心,上升到粮堆表面。如果粮堆温度低于环境温度2~3℃,则粮堆内气流运动方向相反。热损率高达20%~40%的大豆,对通风换气起阻力作用。

钢板仓的导热性强使钢板隔热性能差,仓内储粮温度随着环境温度变化很快,在夏季高温季节仓内温度高于环境温度。秋冬季气温下降,储粮温度下降速度比环境温度下降的速度慢,上层300mm长期处在高温状态,距离仓壁300mm粮温变化快,容易结露,这样仓内储粮产生上下两层、外圈与内心形成温差,储粮结露。

在原粮入仓后,仓内外易形成温差,在距仓壁300mm以内的粮温有变化,同时吸热、散热也快。在晴天时,下午3点粮温最高,晚上7点粮温基本恢复原样。

储粮温度升高的时间和幅度与环境温度变化相一致时,是正常行为;如果环境湿度下降储粮温度降不下来,或环境湿度上升储粮温度升高幅度超过正常情况,就是储粮发热现象。对比正常储粮,明显高于正常粮温变化,视为发热。需要监测粮温,并根据发热情况及时倒仓,避免发烧。

从在线测温检查比较各仓的粮温,如果是同一品种,水分杂质情况和储存条件基本相同,但温度相差3~5℃以上,就可以判定是发热现象。

### 2.2 仓壁保温

仓壁保温要求导热系数越小,隔热性能越好;热阻系数越大,隔热保温性能越好。用于钢板仓的保温材料有两种:岩棉和发泡聚氨酯。

我们进行仓壁保温时发现,采用80mm厚岩棉,外层彩钢板,在空仓时,外观整齐,当仓内装料超过50%时,仓壁出现下坠,岩棉随着下坠,外层彩钢板变形,外面雨水进入,岩棉在充水后质量增加更下沉,外层彩钢板进一步变形甚至破裂。在仓料卸空

后,仓体外保温层恢复原状。

当仓壁保温采用喷涂 100 ~ 200 mm 发泡聚氨酯时,外涂乳胶漆。保温层密度不小于 55 kg/m<sup>3</sup>,抗拉强度不小于 500 kPa,黏结强度不小于 40 kPa,闭孔率不小于 95%,吸水率不大于 0.1%,最大喷涂波纹不大于 5 mm。在钢板仓内装粮下沉时,聚氨酯有一定的伸缩量,随着装粮在径向伸长,在仓料卸空时恢复原状,不会破裂。储存农产品如大麦、水稻等一年没有发生变质。

将钢板仓的保温参数与混凝土仓进行对比,检测了钢板仓的储粮温度变化,结果见表 1、表 2。

表 1 钢板仓与混凝土仓保温参数对比

项目	钢板仓	混凝土仓
容量/t	12 000	10 000
保温材料	发泡聚氨酯	无
导热系数/(W/(m·K))	0.024	1.48
保温层厚度/mm	100	无
仓体热阻系数/(°C/W)	2.38	0.195 (壁厚 250 mm)

表 2 钢板仓测试温度

仓内温度(平均温度)/°C	室外温度/°C	检测时间
22.8	27	9:30
23.3	29	11:30
24.2	30	14:30
24.0	30	15:00
24.0	29	16:00

注:1.检测时间为 2017 年 6 月 28 日、29 日;2.平均仓内外温差 5 °C;3.仓内储存大豆。

### 2.3 钢板仓通风换气

钢板仓储粮层深,仓内水分、温度呈梯度变化,因而不易散热散湿、通风气流阻力大。通风系统可促进粮层气体交换,平衡储粮水分,防止储粮发热霉变。仓顶轴流风机能及时排出仓内粮面的湿热气体,加速仓内空气定向流动,防止仓内因温差大结露。排除粮堆内积热,可缩小筒仓内外温差,防止粮堆中由于湿热扩散造成水分转移,提高储粮的稳定性。

通风效果取决仓温和外界环境温度的差别,保湿效果取决于较大的环境相对湿度,保湿降温一般控制在大气相对湿度 70% ~ 80%,最高不能超过 90%,仓内粮温降至 10 °C 左右可结束通风。采用环流风机环流平衡水分,达到均衡增湿,确保达到安全水分。在降温通风后,气温回升前及时进行粮面密闭,阻断气温对仓温和粮温的影响。夏季注意“冷心热皮”现象。

在钢板仓底配置通风机,将外界干燥的空气(或冷却的气体)导入仓内的通风地槽,扩散的气体不断与仓内粮堆间湿热空气进行热交换,在仓顶设置的轴流风机(或自然透气孔)协同下,及时排出仓内粮面的湿热空气,加速仓内空气定向流动,防止由于仓体内外温差大而引起的结露现象;同时,调节仓顶空间温度,散去上层和表层湿热,防止上层和表层粮食受高温的影响,达到降低粮温、平衡湿度的目的。

#### 2.3.1 仓顶通风

保温仓顶有 4 台机械通风轴流风机,并设置 6 个自然通风口,通风系统的排风能力不小于进风能力,并配置防雨、防雀、防空气回流装置。

#### 2.3.2 仓底通风

仓底为平底,风道形状有两种形式(见图 1),按设计风量配置风机,在表面安装斜折叠栅板和孔板。仓底平整,高低差不大于 20 mm。

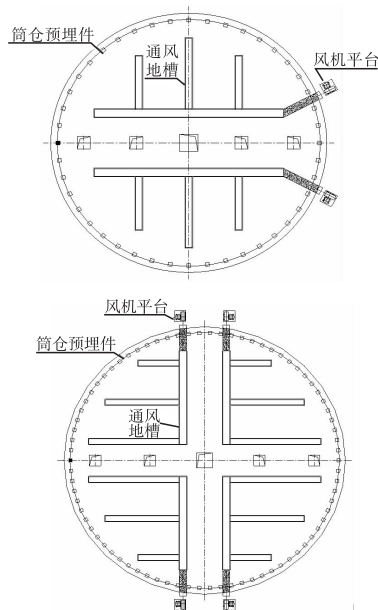


图 1 仓底风道形状

钢板仓的底部设置 6 个仓内通风道(风管),每 3 个为一组,风管弯头的曲率半径宜为风管直径的 1 ~ 2 倍,大管径取小值,小管径取大值,风管采用机械加工制品,风管连接处应加密封垫,直径大于 200 mm 的风管采用法兰连接;风压为 1 733 ~ 2 734 Pa;仓内通风道配置的空气分配器孔板开孔率取 25% ~ 35%,孔形状及尺寸应防止油料漏入风道,仓内通风道(空气分配器)等要能承受粮食荷载。钢板仓采用混合式通风,一般选择中低压离心风机,一般通风有以下几种地槽方式:

(1) 地沟通风:地沟通常采用放射形、梳形、“二”字形、“Y”形、“工”字形、“F”形。按地沟结构,有等截面地沟和变截面地沟两种。

(2)孔板类:孔板通风系统、通风栅板系统、地板通风系统。

(3)多环型风道均匀性好,土建施工及通风筛板安装难,不常使用。

(4)全底板通风方式:在仓底部铺满通风筛板,进行仓底全截面上通风,用于对粮食储存要求高的钢板仓,适合油菜籽。

(5)配置移动式冷却通风装置使储粮处在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,如苏尔寿公司移动冷却通风装置,冷却耗电量为 $46\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 。

### 3 钢板仓筒仓体可能发生的事故及预防

#### 3.1 可能发生事故的原因

非中心(偏心)装粮或卸粮;非自由流动的粮食(变质,冷冻,腐蚀,含水量过高等);仓内门与内门框没有关严;侧壁出料装置不正确的安装;侧板和加强筋的腐蚀;在筒仓作业中同时进料、出料容易导致筒仓结构受损;筒仓地基的不均匀沉降;基础土建预埋件平整度有问题导致加强筋底部与基础之间存在缝隙;在组装或使用筒仓中随意对原结构进行变更、修改(开洞口等);侧板或加强筋安装不正确;筒仓物料装载超过设计仓容阻塞仓顶通风口而引起的超压;筒仓底部卸料辅助机械设备受到仓顶测温电缆干扰,导致设备运行过程中拖拽测温电缆产生额外附加荷载损坏仓顶;在进料时排风不顺,积尘过大。

#### 3.2 作业中的预防措施

正常情况下钢板仓筒仓采用中心进料及中心卸料使用规程,在卸料过程中储粮因其自身物料的差异,仓内储粮可能存在流动不均的情况,但不会对筒仓本体造成危害。为了钢板仓筒仓安全,操作时应注意如下问题:

(1)进料:从筒仓顶部中心下料孔进料,保证物料垂直进入仓内,不得采用任何形式的偏心卸料形式,否则可能会引起筒仓偏载,并可能将筒仓壁磨穿,影响钢板仓筒仓结构安全。进料时排风孔全开。

(2)卸料:在仓底采取多点出料要在仓中心卸料口完全卸空的前提下,才能开启其他卸料口,而且必须先开启最外侧相对称的两个卸料口,逐渐向仓中心处开启,基本保证这两个辅助卸料口的流量相同。如果下料口堵塞造成不对称出料,必须停止出料,采取措施防止偏心出料使仓壁偏心受载。

(3)不允许同时进料和卸料:同时进料和卸料会导致仓内粮食流动异常复杂且产生超载现象,筒仓侧板及加强筋的荷载会突然增大。

(4)严禁通过仓门或在仓侧板上开洞卸粮,这

将导致仓内储粮荷载分布不均匀,从而导致粮仓的损坏。

(5)确保筒仓仓顶通风口的畅通,防止在卸粮时筒仓内上部形成真空。如果形成真空则仓外大气压会造成仓顶瞬间压力荷载,可能导致粮仓仓顶结构的损坏。在进料口加装集尘斗会更安全。

#### 3.3 配置检测装置

配置原粮品质快速检化验、测温、料位装置等的监测装置,监测装置含设备安全运行监测装置等,保证钢板仓筒仓安全运行。

#### 3.4 配置自动清仓机

采用自动清仓机,在我国 $1.5\text{万 t}$ 或以上吨位的立筒仓使用两种清仓机——GSS型轨道式清仓机和CLSS型小车式清仓机<sup>[4]</sup>。 $1.5\text{万}\sim 1.65\text{万 t}$ 仓可配用的清仓机处理量在 $200\text{ t/h}$ 左右,作业后余粮高度不大于 $30\text{ mm}$ 。

#### 3.5 防止粉尘爆炸

立筒仓本体设置排气孔、泄爆口、检查孔等安全装置,保持仓内常压。落料落差大,造成大量的扬尘,空气中含尘量高,一般在仓顶设计通风排气口,在进料时开启通风排气,在进料口加装集尘斗能更有效地减少粉尘。在落料口装集尘斗,根据中粮东莞粮油工业有限公司检测,使用集尘斗前,豆粕落地的周边灰尘浓度为 $174.3\text{ mg}/\text{m}^3$ ,使用集尘斗后周边灰尘浓度为 $17.2\text{ mg}/\text{m}^3$ 。现在有10种规格DSH抑尘系统,处理量从 $20\sim 75\text{ t/h}$ 到 $1\ 550\sim 1\ 900\text{ t/h}$ ,彻底解决了粉尘爆炸的风险。

### 4 钢板仓投资分析

从2009年建 $1.5\text{万 t}$ 钢板仓后,后面建设了20多个 $1.5\text{万}\sim 1.65\text{万 t}$ 钢板仓,到现在运行近10年,承受非均等侧压力和抗自然风。仓体采用发泡聚氨酯保温后,储存大豆、玉米、饲料等农产品一年多,储粮没有发生变质。从表1和表2可以看出,保温钢板仓内的储粮温度比混凝土仓变化小。配置良好的通风系统,加装集尘斗,降低粉尘浓度。筒仓在自流卸料后,采取清仓机清料,一般在 $24\text{ h}$ 内清理完。公司所承建的大型钢板仓在农产品物流中一直零事故使用。

钢板仓和混凝土仓投资对比见表3和表4。

从表3可以看出,单位储粮造价保温钢板仓为 $294\text{元}$ ,混凝土仓为 $486\text{元}$ ,保温钢板仓造价约为混凝土仓造价的 $60\%$ 。

从表4可以看出,单位储粮造价钢板仓为 $453\text{元}$ ,混凝土仓为 $936\text{元}$ 。两种筒仓的造价差 $50\%$ 左右,建设周期差也在 $50\%$ 。

表3 30万t仓群(大豆、玉米)投资对比

项目	钢板仓	混凝土仓
规格	Φ27.3 m × 25.68 m	Φ15 m × 36 m
单仓容量/t	12 000	4 660
筒仓数量(座)	25	64
总仓容/万t	30	30
土建费用/万元	180	
仓体费用/万元	138	228
保温费用/万元	35	0
单仓费用/万元	353	228
仓群费用/万元	8 825	14 592
均价/(元/t)	294	486
施工周期	7个月	>13个月

表4 泰州益海筒仓(水稻)投资对比

项目	钢板仓	混凝土仓
规格	Φ20 m × 25 m	Φ21.4 m × 40 m
单仓容量/t	4 300	7 000
筒仓数量(座)	56	24
总仓容/万t	24	16.8
土建费用/万元	90	
仓体费用/万元	80	655
保温费用/万元	24	0
单仓费用/万元	194	655
仓群费用/万元	10 864	15 720
均价/(元/t)	453	936
施工周期	7个月	14个月

钢板仓仓体为镀锌板制作,螺栓拼装,在使用寿命终了后可整体拆除回收利用,钢板仓和混凝土仓的回收价值对比见表5。与混凝土仓对比,钢板仓可拆卸异地重新组装仓,符合我国倡导的绿色环保经济。混凝土仓为整体浇筑,寿命终了无法拆除,无回收再利用的价值。

(上接第64页)

- [9] NAGAOKA S, AWANO T, NAGATA N, et al. Serum cholesterol reduction and cholesterol absorption inhibition in caco-2 cells by a soyprotein peptic hydrolysate[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 1997, 61(2):354-356.
- [10] MAJUMDER K, WU J. Purification and characterisation of angiotensin I converting enzyme (ACE) inhibitory peptides derived from enzymatic hydrolysate of ovotransferrin[J]. *Food Chem*, 2011, 126(4):1614-1619.
- [11] PAN D D, CAO J X, GUO H Q, et al. Studies on purification and the molecular mechanism of a novel ACE inhibitory peptide from whey protein hydrolysate[J]. *Food Chem*, 2012, 130(1):121-126.

表5 钢板仓和混凝土仓回收价值对比

项目	钢板仓	混凝土仓
单仓容量/t	12 000	4 660
筒仓数量(座)	25	64
总仓容/万t	30	30
仓体材料	镀锌板	混凝土
单仓质量/t	170	约3 000
单仓期末回收价格/万元	28	0
仓群总计/万元	700	0

## 5 结束语

从2009年建设1.5万t钢板仓使用后,在仓壁承受非均等压力和抗台风方面很成功,继续建设20多个1.5万~1.65万t钢板仓,按照市场需求,两年前做大型保温仓,储粮的效果比混凝土仓好,把小型的清仓机同步放大应用。为了更好地防爆,提出在筒仓加装集尘斗,降低了粉尘浓度,更加安全。相比混凝土仓,钢板仓投资低,属于绿色工程。储存了大豆、玉米、饲料、糖渣、红薯片等农产品,需要说明的是大型钢板仓不适合储存豆粕。我们不断学习国外先进经验,按照市场大物流大容量储存农产品的需求,向2万t大仓进军。

**致谢:**感谢捷赛机械(苏州)有限公司刘枫先生和广州星坤机械有限公司王东云先生的技术支持!

## 参考文献:

- [1] 高恒,李新刚,王丹.一种侧壁发放装配式钢板筒仓:CN 207513281U[P]. 2018-06-19.
- [2] 刘玉兰.油脂制取与加工工艺学[M].北京:科学出版社,2003.
- [3] 左青,汪传玉,闻永贤,等.在南方建仓设计中若干问题的讨论[J].*中国油脂*,2007,32(3):71-73.
- [4] 左青,左晖.立筒仓出仓机械技术应用实践[J].*中国油脂*,2016,41(4):108-110.
- [12] 周慧江,朱振宝,易建华.核桃蛋白ACE抑制肽分离纯化研究[J].*粮食与油脂*,2013,26(2):16-18.
- [13] 胡二坤,郭兴凤,刘洁.凝胶过滤色谱分离纯化玉米蛋白酶解产物研究[J].*粮食与油脂*,2017,30(7):94-98.
- [14] 马丽媛,李晓东,庄建鹏,等.凝胶过滤色谱纯化乳清蛋白降胆固醇肽的研究[J].*中国乳品工业*,2014,42(5):17-20.
- [15] 舒一梅,李诚,付刚,等.凝胶层析法分离猪股骨降血压肽及其体外稳定性[J].*食品科学*,2014,35(24):100-104.
- [16] 钟芳,张晓梅,麻建国.大豆肽的大孔吸附树脂以及凝胶过滤色谱分离[J].*食品与机械*,2006,22(4):25-28,45.