

浅圆仓中心管径向通风与常规通风 对进口大豆的应用效果研究

方 浩,孙敬洋,陆 峰,刘新涛,王健刚,陈 曦,庄 俊,陈勋童,朱 旭,陈进宇

(中央储备粮镇江直属库,江苏 镇江 212006)

摘要:为探索降温减损、提质增效的储粮新技术,采用设计仓容 10 000 t 浅圆仓,研究浅圆仓中心管径向通风对进口大豆的应用效果,并与常规通风(地槽吸出式下行通风和压入式上行通风)进行对比,综合分析通风方式对同一产地进口大豆的通风作业效果、水分损耗、作业能耗等的影响,验证中心管径向通风的可行性和实用性。结果表明:中心管径向通风对粮堆中圈区域降温效果不明显,在通风作业 136 h 后关闭径向风机,仅通过地槽风机进行吸出式通风,降温效果得到改善;中心管径向通风时间为 272 ~ 403 h,平均粮温降幅为 1.9 ~ 4.0 °C,平均水分降幅约 0.2 百分点,常规通风通风时间为 151 ~ 189 h,平均粮温降幅为 1.0 ~ 2.7 °C,压入式上行通风平均水分降幅为 0.05 百分点,吸出式下行通风平均水分降幅为 0.10 百分点;中心管径向通风能耗为 5 062.5 ~ 6 615 kW · h,仅 1 个仓产生人工费用;常规通风能耗为 2 265 ~ 2 835.0 kW · h,人工费用为 1 250 ~ 1 500 元。综上,与常规通风相比,中心管径向通风解决了中心杂质聚集区通风效果不佳的问题,且节省人工费用,但对粮堆中圈区域降温效果不明显,另外中心管径向通风通风时间相对较长,能耗较高。

关键词:浅圆仓;进口大豆;中心管径向通风;通风作业效果;水分损耗;作业能耗

中图分类号:TS222+.1;TS203 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-7969(2025)09-0139-06

Application effect of radial ventilation with central pipe and conventional ventilation of squat silo on imported soybean

FANG Hao, SUN Jingyang, LU Feng, LIU Xintao, WANG Jiangang,
CHEN Xi, ZHUANG Jun, CHEN Xuntong, ZHU Xu, CHEN Jinyu

(Central Reserve Grain Zhenjiang Direct Warehouse, Zhenjiang 212006, Jiangsu, China)

Abstract: To explore new grain storage technologies for cooling, reducing losses, improving quality, and increasing efficiency, using the squat silos with designed capacity of 10 000 t, the application effect of radial ventilation with central pipe on imported soybean was studied, and it was compared with the conventional ventilation (suction downward ventilation and press-in upward ventilation). The effect of ventilation methods on the ventilation operation effects, moisture loss, and work energy consumption of imported soybeans from the same origin was comprehensively analyzed, and the feasibility and practicality of radial ventilation with central pipe were verified. The results showed that the radial ventilation with central pipe had no significant cooling effect on the central area of the grain pile. After 136 h of ventilation operation, the radial fan was turned off and only the suction ventilation through ground gutter was carried out, which improved the cooling effect. The ventilation time, average decrease in grain temperature and average decrease in moisture content of radial ventilation with central pipe were 272 -

403 h, 1.9 - 4.0 °C and about 0.2 percentage points, respectively, while those of conventional ventilation were 151 - 189 h, 1.0 - 2.7 °C and 0.05 percentage points (press-in upward ventilation) and 0.10 percentage points (suction downward

收稿日期:2024-06-14;修回日期:2025-05-08

作者简介:方 浩(1998),男,中级粮油保管员,主要从事进口大豆储藏方面的工作(E-mail)303735745@qq.com。

通信作者:刘新涛,工程师,粮油保管技师,硕士(E-mail)956738915@qq.com。

ventilation), respectively. The energy consumption of radial ventilation with central pipe was 5 062.5 – 6 615 kW · h, and only one silo incurred labor costs, while the energy consumption of conventional ventilation was 2 265 – 2 835.0 kW · h, and the labor cost was 1 250 – 1 500 yuan. In conclusion, compared with the conventional ventilation, the radial ventilation with central pipe solves the problem of poor ventilation effect in the central impurity accumulation area and saves labor costs, but the cooling effect on the circular area of the grain pile is not significant. In addition, the radial ventilation time with central pipe is relatively long and the energy consumption is high.

Key words: squat silo; imported soybeans; radial ventilation with central pipe; ventilation operation effect; moisture loss; work energy consumption

受自动分级影响,浅圆仓储存进口大豆时仓房中心杂质聚集现象明显,采用常规地槽通风工艺时,粮堆内部通风死角多、通风效率低、降温效果差,需要人工在中心高杂区打管引风,通风作业人员劳动强度大,作业持续时间长,不利于储粮保水减损^[1-2]。

目前,有关浅圆仓通风技术的研究报道较少^[3],其中中央储备粮山东日照直属库在2019年6—8月开展了谷冷径向通风实仓试验,结果发现,与浅圆仓常规地槽通风系统相比,径向通风系统的均匀性和通风效果明显提升,通风期间投入的人力、物力得到有效控制,研究结果可为进口大豆的安全保管提供强有力的保障,也为后期浅圆仓通风技术的推广应用提供了宝贵经验^[4]。

为进一步研究不同通风季节与通风方式对进口大豆的通风效果,获得更全面的参数,中央储备粮镇江直属库在2023年2—4月对进口大豆开展浅圆仓中心管径向通风与常规通风对比试验。考虑到新入粮仓房具有良好的散落性和通透性,易于进行通风作业和观察效果,本文选取8个新入粮仓房,分别采用中心管径向通风、地槽压入式上行通风和地槽吸出式下行通风对进口大豆进行通风作业,考察通风过程中通风作业效果、水分损耗和作业能耗,以期提质增效,进一步推动安全储粮技术发展,促进浅圆仓通风工艺的提升。

1 仓房条件与试验方法

1.1 仓房条件

选取8个中央储备粮镇江直属库新建浅圆仓,设计仓容10 000 t,仓房直径30 m,设计装粮线20 m;配套设施主要有粮情测控系统、7.5 kW地槽风机、3 kW轴流风机、7.5 kW径向风机。

1.2 试验方法

1.2.1 仓房设备准备

检查仓顶自然通风口、轴流风机口和地槽通风口的设施,调试径向通风系统、地槽通风系统、电动

杆样设备等,确保试验设备完好,运行正常。

1.2.2 通风试验

试验组:浅圆仓86、87、88、89号仓进行中心管径向通风,即同时开启1台径向风机正压、2台地槽风机负压的方式进行通风,并开启4个自然通风口。

对照组:浅圆仓81、82号仓进行压入式上行通风,即同时开启2台轴流风机负压和2台地槽风机正压的方式进行通风,并开启4个自然通风口;浅圆仓85、90号仓进行吸出式下行通风,即同时开启2台轴流风机正压、2台地槽风机负压进行通风,并开启4个自然通风口。

试验仓与对照仓进口大豆入满后设定目标温度和风机开启条件,具体情况如表1所示。

表1 各仓设定的通风参数

Table 1 Ventilation parameters set for each silo

仓号	最高粮温/℃	平均粮温/℃	目标温度		风机开启条件	
			最高粮温/℃	平均粮温/℃	环境温度/℃	环境湿度/%
86	20.5	10.8	≤19	≤9	≤8	≤85
87	21.1	14.0	≤21	≤10	≤11	≤85
88	21.3	12.8	≤19	≤11	≤9	≤85
89	21.5	14.1	≤20	≤10	≤11	≤85
81	20.3	15.0	≤20	≤14	≤12	≤85
82	21.3	14.9	≤20	≤14	≤12	≤85
85	21.5	14.6	≤20	≤12	≤12	≤85
90	20.6	15.3	≤20	≤13	≤12	≤85

1.2.3 水分含量测定

按GB/T 5491—1985进行取样,按照GB 5009.3—2016测定进口大豆的水分。

1.2.4 粮温测定

对浅圆仓内进口大豆设置4圈、10层测温点,其中:1~3号电缆为内圈,4~18号电缆为中圈,19~34号电缆为外圈,具体见图1;由下至上依次为1~10层,1~3层为下层,4~7层为中层,8~10层为上层,具体见图2。

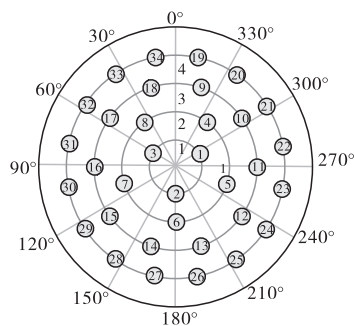


图 1 浅圆仓圈级分布图

Fig. 1 Circle – level distribution of squat silos

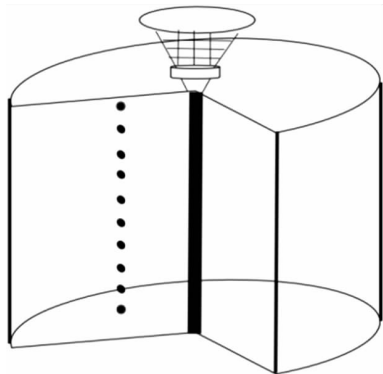


图 2 浅圆仓层级分布图

Fig. 2 Layer – level distribution of squat silos

每日记录 1 次平均粮温,记录最高粮温及位置,绘制各仓粮温的变化曲线;记录储粮异常粮情,如局

部发热的点位,发生虫害的虫种、害虫密度等。

1.2.5 管理成本统计

统计并记录好各试验仓和对照仓的入粮最大流量、平仓人工成本情况;统计好试验仓和对照仓通风作业的设备选型(一致),作业时长,人工辅助工作量(打管的量和投入的人工,使用多少单管风机,单管通风时长),作业能耗,粮温降幅等,分析计算通风作业单位能耗;详细记录各试验仓和对照仓在异常粮情处理方面的人工投入工作量,如打单管量、投入的人工,单管通风作业时长和能耗等。

2 结果与讨论

2.1 入仓粮情

各仓大豆指标见表 2。因仓房均为新仓,首次压仓装粮经历过两阶段入粮,其中:86 号仓两次入仓时间分别为 2022 年 12 月 23 日和 2023 年 1 月 29 日,87 号仓为 2022 年 12 月 22 日和 2023 年 1 月 25 日,88 号仓为 2022 年 12 月 21 日和 2023 年 1 月 23 日,89 号仓为 2022 年 12 月 22 日和 2023 年 1 月 26 日,81 号仓为 2023 年 1 月 19 日和 2023 年 2 月 24 日,82 号仓为 2023 年 1 月 19 日和 2023 年 2 月 22 日,以上 6 个仓为两条外轮粮源;85 号仓两次入仓时间分别为 2023 年 1 月 11 日和 2023 年 3 月 6 日,90 号仓为 2023 年 1 月 11 日和 2023 年 3 月 5 日,以上 2 个仓是同一批次粮倒仓入库,粮源为同一条外轮。

表 2 各仓大豆指标

Table 2 Soybean index in each silo

仓号	数量/t	水分/%	杂质/%	平均粮温/℃	最高粮温/℃	第一阶段(下半部)		第二阶段(上半部)	
						平均粮温/℃	最高粮温/℃	平均粮温/℃	最高粮温/℃
86	9 509.880	10.50	1.3	10.8	20.5	9.4	11.2	13.3	20.5
87	9 493.452	9.95	1.2	14.0	21.1	9.8	11.6	16.7	21.1
88	9 497.920	10.00	1.0	12.8	21.3	9.7	11.8	16.4	21.3
89	9 498.842	9.99	1.5	14.1	21.5	9.6	13.2	19.8	21.5
81	9 496.924	10.30	1.8	15.0	20.3	14.3	17.1	18.6	20.3
82	9 498.934	10.30	1.2	14.9	21.3	14.2	17.7	19.2	21.3
85	9 505.408	10.40	1.0	14.6	21.1	13.9	18.5	19.1	21.1
90	9 495.844	10.60	1.0	15.3	20.6	15.6	18.7	19.3	20.6

由表 2 可知,81、82、86、87、88、89 号仓下半部粮堆粮温低,上半部粮堆粮温高,这可能是因为这 6 个仓经历过两阶段入粮,两条外轮粮源粮温、杂质、热损伤粒率等情况相差较大,二阶段入粮完成后,粮堆交界面温差十分明显。85、90 号仓交界面粮温差相对较小,但仍存在一定程度温度分布不均的现象,因为这 2 个仓是同一批次粮倒仓入库,粮源为同

一条外轮。

2.2 各仓空气途径比

空气途径比是指空气穿过粮层到达粮面的最长路径与最短路径之比。根据储粮机械通风技术规程,降温通风的空气途径比应保持在 1.5 ~ 1.8 之间,降水通风的空气途径比应保持在 1.2 ~ 1.5 之间。各仓的空气途径比如表 3 所示。

表3 各仓的空气途径比

Table 3 Ratio of ventilation channels in each silo

仓号	粮高/m	最长途径/m	最短途径/m	空气途径比
86	18.07	17.55	10.47	1.68
87	18.10	17.58	10.50	1.67
88	18.09	17.57	10.49	1.67
89	18.11	17.58	10.51	1.67
81	17.91	22.11	17.91	1.23
82	18.01	22.21	18.01	1.23
85	17.80	22.00	17.80	1.24
90	16.81	21.01	16.81	1.25

2.3 粮温变化情况

2.3.1 整体粮温变化情况

通风前后各仓粮温基本情况见表4。

表4 通风前后各仓粮温基本情况

Table 4 Basic situation of grain temperature in each silo before and after ventilation

仓号	通风前		通风后		降幅		通风时间/h
	最高粮温/℃	平均粮温/℃	最高粮温/℃	平均粮温/℃	最高粮温/℃	平均粮温/℃	
86	20.5	10.8	19.1	8.7	1.4	2.1	272
87	21.1	14.0	21.0	10.1	0.1	3.9	398
88	21.3	12.8	19.6	10.9	1.7	1.9	360
89	21.5	14.1	20.6	10.1	0.9	4.0	403
81	20.3	15.0	19.8	14.0	0.5	1.0	151
82	21.3	14.9	20.0	13.9	1.3	1.0	165
85	21.1	14.6	19.8	12.4	1.3	2.2	166
90	20.6	15.3	19.5	12.6	1.1	2.7	189

由表4可知,通风前各仓最高粮温为20.3~21.5℃,平均粮温为10.8~15.3℃,通风后各仓最高粮温降至19.1~21.0℃,降幅为0.1~1.7℃,平均粮温降至8.7~14.0℃,降幅为1.0~4.0℃,其中中心管径向通风降幅为1.9~4.0℃,常规通风降幅为1.0~2.7℃。

2.3.2 试验仓粮温变化情况

试验仓(中心管径向通风)通风期间平均粮温变化情况见图3。

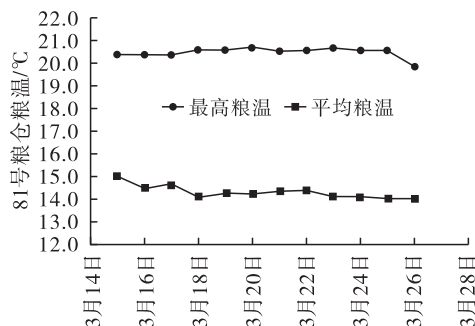


图4 压入式上行通风粮温变化情况

Fig. 4 Changes in grain temperature of press-in upward ventilation

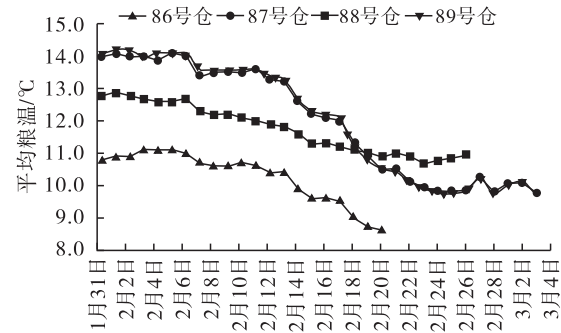


图3 试验仓平均粮温变化情况

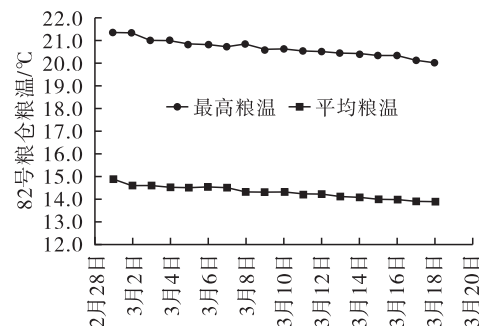
Fig. 3 Changes in the average grain temperature of the test silo

中心管径向通风试验过程中发现,中心管从杂质聚集区出风,解决了中心杂质聚集区通风效果不佳的问题,中心粮堆降温速率较快,中心区域降温效果较好。通风72~128 h期间,前后两次进粮界面上方高温层面出现逐层向下转移,转移速率为每通风48 h约下降一层,但进一步分析发现第2~3圈电缆第4~9层粮温始终变化不明显。为有效降低第2~3圈电缆第4~9层粮温,确定修改作业方式,具体为:通风136 h后,86和89号仓仅关闭径向风机;87号仓通风方式不变,以距离中心7.5 m为半径,均匀布设8个深度8 m的通风单管;88号仓仅开启中心管径向风机和地槽通风口进行通风作业。试验发现,通风至310 h后,第2~3圈电缆第6~9层粮温明显下降,粮温以约48 h下降1层的速度向下转移,3种作业方式粮温变化规律无明显的差异。

2.3.3 对照仓粮温变化情况

2.3.3.1 压入式上行通风

81、82号仓为压入式上行通风,其中81号仓通风时间为151 h,82号仓通风时间为165 h,通风期间布管约10个点位,深度10~12 m,其粮温变化情况见图4。由图4可知,压入式上行通风期间,降温效果较好,通风过程中粮堆无明显积热。



2.3.3.2 吸出式下行通风

85、90 号仓为吸出式下行通风,其中 85 号仓通风时间为 166 h,90 号仓通风时间为 189 h,通风期间在高杂区布管 8 个点位,深度 10 m,其粮温变化

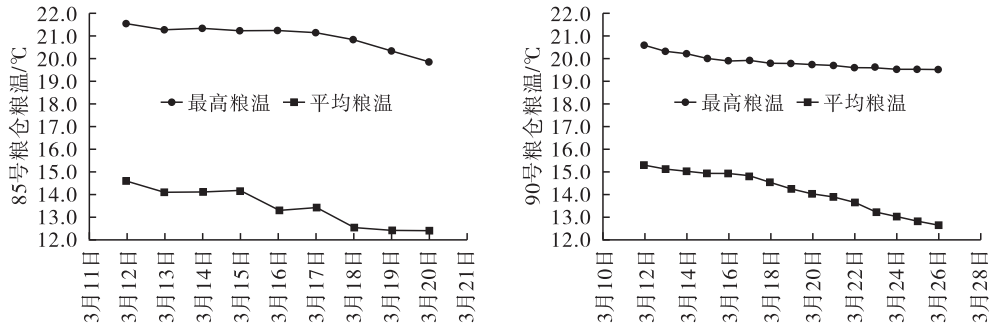


图 5 吸出式下行通风粮温变化情况

Fig. 5 Changes in grain temperature of suction downward ventilation

2.4 水分变化情况

通风试验期间,各仓大豆水分变化情况见表 5。

表 5 各仓大豆水分变化情况

Table 5 Changes in soybean moisture in each silo

仓号	通风时间/h	水分/%		水分降幅/百分点
		通风前	通风后	
86	272	10.50	10.30	0.20
87	398	9.95	9.75	0.20
88	360	10.00	9.77	0.23
89	403	9.99	10.00	-0.01
81	151	10.30	10.20	0.10
82	165	10.30	10.30	0
85	166	10.40	10.30	0.10
90	189	10.60	10.50	0.10

由表 5 可知,中心管径向通风仓平均通风时间在 300 h 以上,平均水分降幅约 0.2 百分点。因中心管径向通风仓相对其他仓通风时间长,所以水分降幅偏高。压入式上行通风仓大豆平均水分降幅为 0.05 百分点,吸出式下行通风仓大豆平均水分降幅为 0.10 百分点,这两种通风方式较中心管径向通风仓通风时间短,水分降幅偏低。

2.5 通风能耗与费用对比分析

各仓通风能耗与费用情况见表 6。

由表 6 可知,4 个中心管径向通风仓通风时间为 272~403 h,能耗为 5 062.5~6 615 kW·h,单吨费用为 0.53~0.79 元,仅 87 号仓有人工费用 1 000 元,其他仓均没有产生人工费用。压入式上行通风仓 81、82 号仓通风时间分别为 151、165 h,单吨费用分别为 0.37 元和 0.40 元,通风期间对高温点进行单管辅助通风,人工费用分别为 1 250 元和 1 340 元。吸出式下行通风仓 85、90 号仓通风时间分别为 166、189 h,单吨费用分别为 0.42 元和 0.44 元。通

情况见图 5。

由图 5 可知,85、90 号仓整体粮温推进情况较好,通风过程中扦样检查粮堆内部无明显积热情况。

风能耗处于正常范围,但中心杂质聚集区通风效果不明显,需人工进行打单管辅助通风,人工费用为 1 300~1 500 元。经分析可知,中心管径向通风较传统通风方式通风时间偏长,能耗偏高,但基本未进行布管,节省了人工费用。

表 6 各仓通风能耗与费用情况

Table 6 Energy consumption of ventilation and cost of each silo

仓号	通风时间/h	能耗/(kW·h)	人工费用/元	总费用/元	单吨费用/元
86	272	5 062.5	0	5 062.5	0.53
87	398	6 510	1 000	7 510	0.79
88	360	6 615	0	6 615	0.70
89	403	6 615	0	6 615	0.70
81	151	2 265	1 250	3 515	0.37
82	165	2 475	1 340	3 815	0.40
85	166	2 490.0	1 500	3 990	0.42
90	189	2 835.0	1 300	4 135	0.44

注:能耗费用按 1.0 元/(kW·h) 计算

Note: Energy consumption is charged at 1 yuan per kW·h

2.6 中心管径向通风与常规通风优缺点

2.6.1 中心管径向通风

优点:一是中心管从杂质聚集区出风,解决了中心杂质聚集区通风效果不佳的问题,中心粮堆降温速率较快,中心区域降温效果较好;二是通风期间不易出现粮面结露的情况,通风后表层粮堆湿热聚集少,后期保管过程中不易滋生虫害;三是通风过程中基本不需要人工布管,节省了人工费用。

缺点:整个通风过程中圈(2~3 圈)粮温变化不明显,说明浅圆仓中心管径向通风技术对于整个粮堆的中圈区域降温效果不佳,通风时间、能耗较常规通风工艺偏高。

(下转第 152 页)

- [9] HUSSAIN S Z, AMMATULLAH B, KANOJIA V, et al. Design and development of technology for walnut cracking [J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(12): 4973–4983.
- [10] WANG Y, WANG Z, LIU M, et al. Design and evaluation of pneumatic impact – twisting combined walnut fixed posture shell – breaking mechanism[J/OL]. J Food Process Eng, 2024, 47(2): e14553 [2024 – 11 – 30]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14553>.
- [11] GHAFARI A, CHEGINI G, KHAZAEI J, et al. Design, construction and performance evaluation of the walnut cracking machine[J]. Int J Nuts Relat Sci, 2011, 2(1): 11–16.
- [12] 闫茹, 赵奎鹏, 王亚雄, 等. 四点挤压式核桃破壳机的设计与试验[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 87–90.
- [13] 张恩铭, 郑霞, 丑维新, 等. 基于划口预处理的不同品种核桃破壳分析研究[J]. 农机化研究, 2019, 41(12): 22–29, 36.
- [14] 郑霞, 张恩铭, 坎杂, 等. 适宜核桃壳划口位置改善其破壳特性提高整仁率[J]. 农业工程学报, 2018, 34(19): 300–308.
- [15] 周军, 史建新. 气爆式核桃破壳试验研究[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 116–20.
- [16] 周军, 史建新. 影响气爆式核桃破壳取仁的因素探究[J]. 农机化研究, 2015, 37(6): 201–203.
- [17] 张东兴, 于天成, 杨丽, 等. 基于振动排序的玉米种子胚面定向装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(7): 122–131.
- [18] RAMALINGAM M, SAMUEL G L. Investigation on the conveying velocity of a linear vibratory feeder while handling bulk – sized small parts[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2009, 44(3): 372–382.
- [19] KLEMIATO M, CZUBAK P. Control of the transport direction and velocity of the two – way reversible vibratory conveyor[J]. Arch Appl Mech, 2019, 89(7): 1359–1373.
- [20] 李玉环, 杨丽, 韩英, 等. 勺夹式蚕豆精量排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 108–116.
- [21] 刘明政, 李长河, 张彦彬, 等. 柔性带剪切挤压核桃破壳机理分析与性能试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 266–273.
- [22] 刘彩玲, 王超, 宋建农, 等. 振动供种型孔轮式非圆种子精密排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 108–115.
- [23] 周丹, 王应彪, 张兆顺, 等. 漾濞核桃物理特性测定及分析[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(3): 111–116.
- [24] 臧英, 黄子顺, 秦伟, 等. 气吸式杂交稻单粒排种器研制[J]. 农业工程学报, 2024, 40(6): 181–191.

(上接第 143 页)

2.6.2 吸出式下行通风

优点:在通风期间不易出现粮面结露的情况,通风后表层粮堆湿热聚集少,后期保管过程中不易滋生虫害;与压入式上行通风相比更适合底层粮温偏高的仓房。

缺点:一是负压通风会导致粮堆更加密实,增加了后期粮情处理时打管、扦样的难度;二是粮堆底层地槽风道之间的通风死角高温点降温速度慢,处理难度较大。

2.6.3 压入式上行通风

优点:整体粮温推进较为稳定均衡,粮仓温度整体从底层向上层逐层降低,通风过程中布管难度小。

缺点:一是粮堆中心杂质聚集区降温速度较为缓慢,需要人工布设通风单管辅助;二是在通风期间会出现粮面结露情况,需要配合人工粮面翻动,通风后表层粮堆水分相对偏高,导致表层粮堆粮温不稳定,易出现虫害或表层发热的异常粮情。

3 结 论

研究浅圆仓中心管径向通风与常规通风(吸出式下行通风和压入式上行通风)对同一产地进口大豆的应用效果,发现与常规通风相比,中心管径向通风解决了中心杂质聚集区通风效果不佳的问题,且节省了人工费用,但中心管径向通风对粮堆中圈区域降温效果不明显,通过在通风中后期关闭径向风机,仅开启地槽风机进行吸出式通风,降温效果得到改善。另外,中心管径向通风方式通风时间较长,水分降幅较大,能耗较高。

参考文献:

- [1] 杨文生. 进口大豆入仓自动分级特性研究[J]. 粮食储藏, 2014(6): 23–26.
- [2] 杨文生, 王健刚, 陈勋童, 等. 浅圆仓智能通风系统在冬季通风中的应用分析[J]. 现代食品, 2016(1): 122–126.
- [3] 田书普, 王若兰, 谭叶, 等. 浅圆仓通风储粮技术研究[J]. 粮食流通技术, 2001(4): 32–37.
- [4] 武传森, 张军领, 邱辉, 等. 浅圆仓径向通风技术研究[J]. 粮食储藏, 2020(2): 8–14.