

膜分离制氮设备在横向与竖向通风仓的应用研究

高彬彬¹, 金建德², 张云峰¹, 季雪根³, 王会杰¹, 沈波², 张飞豪³

(1. 浙江省储备粮管理有限公司技能拔尖人才工作室, 浙江 杭州 310006;

2. 浙江省粮食局直属粮油储备库, 浙江 杭州 310006;

3. 浙江衢州省级粮食储备库, 浙江 衢州 324000)

摘要:选择2栋分别配置有横向和竖向通风系统的平房仓,在相同的条件下运用膜分离式制氮设备进行气调杀虫与储藏作业,研究对比安装有竖向通风系统的和安装有横向通风系统的小麦仓房杀虫效果、浓度上升速率、单位能耗、气体分布均匀性等情况。实验证明安装有横向通风系统的仓房杀虫效果优于竖向系统仓,浓度上升速率为竖向系统仓的1.7倍,单位能耗比竖向系统仓低21%。气体分布均匀性和竖向系统仓基本相同。

关键词:横向通风;气调;膜分离制氮;能耗

中图分类号:S 379.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)06-0065-05

Comparison and analysis of application of mobile membrane separation nitrogen equipment in transverse and vertical ventilation

GAO Bin-bin¹, JIN Jian-de², ZHANG Yun-feng¹, JI Xue-gen³,

WANG Hui-jie¹, SHEN Bo², ZHANG Fei-hao³

(1. Top Skilled Talent Studio of Zhejiang Grain Reserve Management Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310006;

2. Grain and Oil Depot of Zhejiang Grain Bureau, Hangzhou Zhejiang 310006;

3. Zhejiang Quzhou Provincial Grain Reserve Depot, Quzhou Zhejiang 324000)

Abstract: The operations of air conditioning disinsection and storage were carried out by membrane separation nitrogen equipment within two warehouses equipped respectively with transverse and vertical ventilation system under the same conditions to compare the disinsection effect, concentration raising rate, unit energy consumption, uniformity of gas distribution, etc. The results showed that insecticide effect in the warehouse arranged with transverse ventilation is slightly better than that with vertical system, the concentration raising rate was 1.7 times higher, and the unit energy consumption was 21% lower, while the uniformity of gas distribution was basically the same.

Key words: transverse ventilation; air conditioning; producing nitrogen by membrane separation; energy consumption

横向通风技术是新“四合一”储藏技术内容之一,以其风道上墙、全程覆膜、高效冷却、负压通风、系统均匀等诸多优点,越来越受到粮食仓储行业的青睐,气调储粮作为绿色储粮的重要手段,已经成为科技储粮的必备技术,为将2项储粮新技术有机结合起来,达到提速增效,生态储粮、绿色

储粮的目的,在浙江省粮食局直属粮油储备库(下称直属库)开展了横向气调实验^[2]。通过对横向气调工艺与竖向气调工艺相对比,比较两者的优缺点,为气调作业在仓储行业中的选择应用提供了技术支持。

1 材料与方法

1.1 仓房

选用直属库 P22、P43 作为本次实验仓房,仓房

收稿日期:2017-06-14

作者简介:高彬彬,1967年出生,男,高级工程师。

通讯作者:张云峰,1972年出生,男,高级技师。

基本情况详见表1。

表1 仓房情况

仓号	长/m	宽/m	堆粮高/m	设计仓容/m ³	气密性等级	通风系统
P22	54	18	5	3 650	二级气调仓	竖向系统
P43	54	18	5	3 650	二级气调仓	横向系统

1.2 风道

P22号仓为竖向风网系统,东西各2个通风口,为一机三道地上笼通风道,支风道开孔率30%,支风道长25m,堆粮高度5m,风道间距2.4m,途径比1.2。

P43号仓为横向通风风网系统,在仓房檐墙(南北两侧)各开4个通风孔,在仓内沿墙(南北)地坪上各铺设一条四分之一圆主风道,并相隔一定尺寸开支风道口,在支风道口自下而上安装铺设支风道,并紧贴、固定在檐墙上。支风道长4m,整仓共铺设支风道36条。途径比为1.15,详见图1。

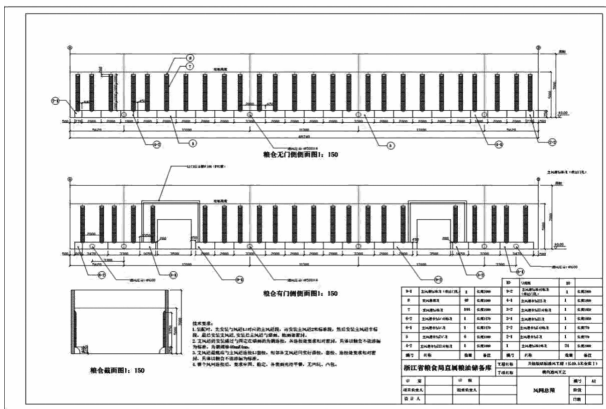


图1 横向通风风网布置图

1.3 粮情

表2 储粮基本情况

仓号	品种	产地	收获年份	数量/t	水分/%	杂质/%	容重/(g/L)	色泽	气味
P22	小麦	澳大利亚	2013	3 558	9.6	0.19	806	正常	正常
P43	小麦	河南	2014	3 650	12.2	0.8	786	正常	正常

1.4 仓内害虫检查情况与虫笼布置

P22、P43 按要求各筛检 16 个点,从筛检结果看,2个仓房粮食都属于基本无虫粮。分别在每个

仓房四角距墙 1 m 处与粮面中心各设置一个共 5 个虫笼,埋置于粮面下 20 cm 处。每个虫笼放入 100 g 该仓小麦,同时分别放入赤拟谷盗、锈赤扁谷盗、玉米象、谷蠹各 10 头。

1.5 检测点布置

2个仓房检测点布置相同,分别在粮堆南北方向分3个截面,南截面从东到西设A、B、C三个点,中截面为D、E、F,北截面为G、H、I,共9个点,每个点分3层(见图2)。粮面四角离墙0.5m处和粮面中间设5点。

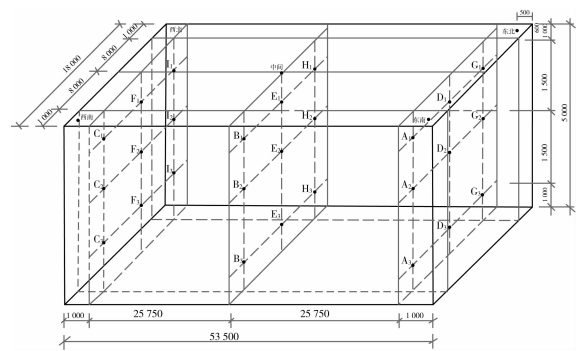


图2 检测点布置示意图

1.6 制氮机、环流机安装及粮面管道布置

P22号仓制氮机出气口粮面管为T字型,环流机进气口粮面管为圭字型。管道直径均为110mm,开孔率均为20%。

P43号仓制氮机与环流机安装见图3。

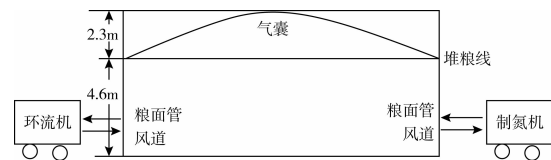


图3 环流机及制氮机安装示意图

1.7 选用设备

选用DM290-70的膜分离制氮机,浓度99%时产氮气量为70m³/h。其余设备为:C900正压空气呼吸器3套,测氧仪2台,报警仪2台,数字压力计,人工气候培养箱。

1.8 气调储粮工艺

1.8.1 竖向气调储粮工艺

整个实验过程分4个阶段进行。

第1阶段:制氮机大流量低浓度氮气循环置换阶段。将制氮机进口流量控制在130~140 m³/h,出口浓度设定为94%,产气量115~120 m³/h,将仓内氮气浓度均匀升高到91%~92%^[1];

第2阶段:制氮机小流量高浓度氮气循环纯化阶段。将制氮机进口流量控制在120~130 m³/h,出口浓度设定为98%,产气量设定为100~105 m³/h,将仓内氮气浓度均匀升高到94%~95%;

第3阶段:制氮机小流量高浓度氮气充膜保持阶段。将制氮机出口浓度设定在98%以上,产气量60 m³/h,将膜充起至顶到屋顶,仓内氮气浓度维持在96%以上;

第4阶段:静置与补气阶段。当气囊下瘪到一定程度时,开启制氮设备进行补气作业;

第1、第2循环阶段,氮气从粮面进入粮堆,经地上笼、风道回到制氮机;从粮面进入环流风机,经风道回到环流风机。第三阶段为鼓气囊阶段,充氮机只充不排,环流机保持环流状态。

1.8.2 横向气调储粮工艺

膜分离气调储粮工艺在整个实验过程中,分为5个阶段:

第1阶段:低浓度高流量充环阶段。将制氮机气体进出口与仓库南北两侧风道进出口相连接,形成闭合的回路,设定95%氮气纯度的环流充注。通过对回流气体的流量控制,始终维持仓内压力为-5~-10 Pa,保持粮堆内呈微负压状态,当检测到回流气体氮气浓度为93%时,第1阶段结束^[2]。

第2阶段:高浓度低流量充环阶段。达到氮气设定93%浓度后,制氮机自动进入第2个阶段,设定98%氮气浓度的环流充注。始终维持仓内压力为-5~-10 Pa,保持粮堆内呈微负压状态,当检测到回流气体纯度为97%时,第2阶段结束^[2]。

第3阶段:高浓度低流量充气阶段。该阶段主要目的是将粮堆上部的气囊充起,关闭回流阀,设定99%氮气纯度给气囊充气至6 Pa后,设备自动关闭进气阀,充氮完成。

第4阶段:气囊静置平衡阶段。结束上面3个阶段后,进入到静置平衡与杀虫阶段。在这个阶段内制氮机不运行,粮堆内部各点氮气浓度进一步平衡,并且由于粮食本身的呼吸作用,在这个阶段内氧气浓度进一步下降。

第5阶段:直充补气阶段。当检测到仓房内气囊瘪到一定程度时,开启制氮设备进行补气。

2 结果与分析

2.1 气调能耗统计

气调能耗统计结果如表3。

表3 气调能耗统计

仓号	有效气调时间/h	累计耗电量/(kW·h)
P22	124	3 595
P43	98	2 874.5

2.2 各截面气体浓度变化

P22号仓、P43号仓各阶段各截面平均气体浓度变化情况如表4、表5、图4、图5。

表4 P22号仓各截面平均气体浓度 %

阶段	检测时间	检测位置						
		上层	中层	下层	南截面	中截面	北截面	内平均
第1阶段	7-9 15:00	86.5	85.4	81.7	82.3	89.6	81.7	84.5
	7-9 21:00	89.3	87.4	86.7	86.2	95.1	82.1	87.8
	7-10 3:00	92.1	89.4	87.8	89.1	96.1	84.1	89.8
	7-10 9:00	91.1	90.2	88.6	89.3	93.9	86.7	90.0
	7-10 15:00	90.6	89.6	89.9	91.7	90.5	87.9	90.1
第2阶段	7-10 21:00	92.4	90.7	90.1	91.6	92.0	89.5	91.0
	7-11 3:00	91.6	90.1	89.2	91.2	91.4	88.3	90.3
	7-11 9:00	93.8	92.2	91.4	92.9	92.8	91.6	92.4
	7-11 15:00	94.3	94.6	93.0	94.1	95.6	92.4	94.0
	7-11 21:00	94.4	93.8	93.1	94.0	94.7	92.6	93.8
第3阶段	7-12 3:00	95.1	94.5	93.3	93.9	95.4	93.6	94.3
	7-12 9:00	95.2	94.8	93.9	93.7	96.1	94.1	94.6
	7-13 9:00	95.8	95.2	94.8	94.8	96.5	94.2	95.2
	7-14 9:00	96.0	95.8	95.8	96.4	96.7	94.6	95.9
	7-15 21:00	96.1	95.9	95.6	96.3	95.9	95.4	95.9
第4阶段	7-16 9:00	96.0	95.8	95.7	96.0	95.7	95.7	95.8
	7-17 9:00	96.2	96.2	96.1	96.3	96.5	95.7	96.1
	7-29 21:00	96.4	96.2	96.3	96.1	96.4	96.2	96.2
	7-30 9:00	96.5	96.3	96.5	96.0	96.5	96.8	96.4
	7-31 9:00	96.4	96.4	96.5	96.0	96.4	96.9	96.4
	8-5 9:00	96.5	96.5	96.6	96.3	96.5	96.8	96.5
	8-13 9:00	96.5	96.5	96.5	96.4	96.5	96.5	96.5
8-20 9:00	96.4	96.3	96.4	96.2	96.4	96.6	96.4	
8-26 9:00	96.1	96.1	96.1	96.0	96.1	96.3	96.1	

表5 P43号仓各截面平均气体浓度 %

阶段	检测时间		检测位置						
	时间		南截面	中截面	北截面	上层	中层	下层	内平均
第一阶段	7月20日 20:00		93.0	85.4	84.0	88.7	87.0	86.0	87.3
	7月20日 24:00		93.6	87.7	86.0	90.7	88.5	87.4	89.0
	7月21日 04:00		93.8	90.2	86.5	92.3	89.8	87.4	90.0
	7月21日 08:00		94.2	93.7	93.3	94.1	93.6	93.4	93.7
第二阶段	7月21日 12:00		96.3	94.7	93.9	95.6	94.8	94.2	94.9
	7月21日 16:00		96.5	95.0	94.3	96.1	95.2	94.3	95.2
	7月21日 20:00		97.0	95.6	94.9	96.7	95.8	94.8	95.8
	7月21日 24:00		97.3	96.1	95.3	97.0	96.2	95.1	96.2
	7月22日 04:00		97.3	96.2	95.6	97.1	96.4	95.3	96.3
	7月22日 08:00		97.6	97.2	97.0	97.4	97.2	97.1	97.3
	7月22日 12:00		98.0	96.8	95.5	96.8	96.8	96.5	96.7
第三阶段	7月22日 16:00		97.0	95.6	95.3	96.1	96.4	95.0	95.9
	7月22日 20:00		97.6	96.4	95.4	96.7	96.6	95.8	96.4
	7月22日 24:00		98.1	96.0	95.1	96.9	96.4	95.5	96.3
	7月23日 04:00		97.7	95.9	95.3	96.8	96.3	95.5	96.3
	7月23日 08:00		97.9	96.3	95.4	97.0	96.5	95.8	96.5
	7月23日 12:00		98.1	96.4	95.7	97.3	96.5	96.0	96.7
	7月23日 16:00		98.1	96.6	96.0	97.4	96.8	96.2	96.9
	7月23日 20:00		98.4	97.6	97.4	97.9	97.8	97.6	97.8
	7月24日		98.4	98.2	98.2	98.3	98.3	98.2	98.3
	7月26日		98.3	98.2	98.1	98.2	98.2	98.1	98.2
第四阶段	7月28日		98.3	98.2	98.1	98.2	98.2	98.1	98.2
	7月30日		98.3	98.1	98.1	98.2	98.1	98.1	98.1
	8月1日		98.2	98.1	98.1	98.1	98.1	98.1	98.1
	8月3日		98.2	98.1	98.0	98.1	98.1	98.1	98.1
	8月5日		98.2	98.1	98.0	98.1	98.1	98.1	98.1
	8月7日		98.1	98.0	98.1	98.1	98.1	98.1	98.1
	8月8日		98.1	98.1	98.0	98.0	98.0	98.1	98.1
	8月11日		98.1	98.0	98.0	98.0	98.0	98.1	98.0
	8月13日		98.4	98.3	98.3	98.4	98.3	98.2	98.3
	8月15日		98.3	98.3	98.2	98.4	98.2	98.2	98.3
	8月17日		98.3	98.2	98.2	98.3	98.2	98.2	98.2
	8月19日		98.2	98.2	98.1	98.3	98.1	98.1	98.2
	8月21日		98.2	98.2	98.1	98.2	98.1	98.1	98.2
	8月23日		98.1	98.1	98.1	98.2	98.1	98.1	98.1
8月25日		98.1	98.1	98.0	98.1	98.1	98.0	98.1	
8月27日		98.0	98.1	98.0	98.1	98.0	98.0	98.0	
8月29日		98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	
8月31日		98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	

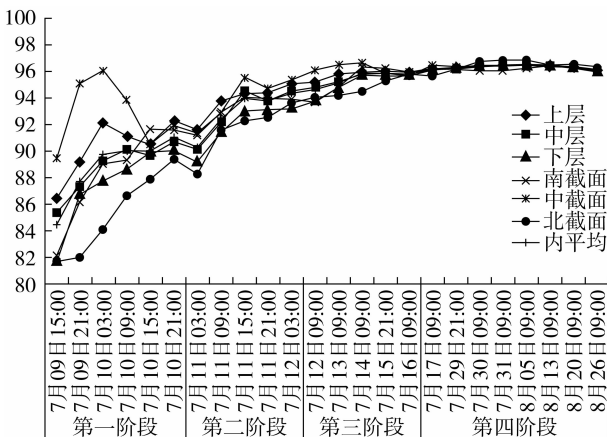


图4 P22号仓各截面平均浓度变化图

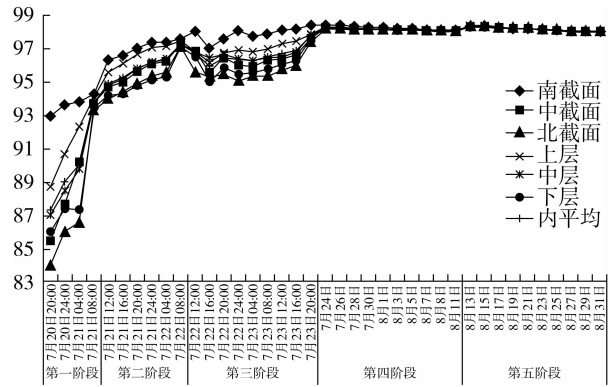


图5 P43号仓各截面平均浓度变化图

2.3 检查粮堆内害虫情况

8月26日与9月2日,分别对2个仓房虫笼和仓内进行检查,发现气调前布置的16个检查点中,P22号仓在北边第二灯下发现2头锯谷盗,害虫死亡率为99%;P43号仓未发现害虫,虫笼中害虫也全部死亡。同时将16个测点样品与虫笼内粮食置于25℃,75%湿度的人工气候箱内培养30d,观测2批样品均无活虫出现。

2.4 效能评价

2.4.1 能耗与成本评价

能耗与成本的计算公式如式(1)

$$Ec = F_c \times r = \frac{\sum W}{G} \times r \quad (1)$$

式中, Ec 为吨粮成本,元/t; F_c 为吨粮能耗,kW·h/t; $\sum W$ 为充氮气调实际累计耗电量,kW·h; G 为粮食质量,t; r 为按峰谷计算的综合电价,0.671元/kW·h。

P22号仓能耗与成本:

$$Ec = F_c \times r = \frac{\sum W}{G} \times r = \frac{3593}{3558} \times 0.671 = 1.01 \times 0.671 = 0.68 (\text{元/t})$$

P43号仓能耗与成本:

$$Ec = F_c \times r = \frac{\sum W}{G} \times r = \frac{2874.5}{3650} \times 0.671 = 0.79 \times 0.671 = 0.53 (\text{元/t})$$

2.4.2 气体浓度均匀性

气体浓度均匀计算公式如式(2)。

$$J_i = 100\% - \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}}{\bar{c}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, J_i 为粮堆气体浓度均匀度, % , 其值越接近 100% 均匀度越好; c_i 为任一检测点氧气浓度, $v/v \times 100\%$; \bar{c} 为所有检测点平均氧气浓度, $v/v \times 100\%$; n 为检测点总数量, 个; i 为检测点的序号, $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ 。

P22 号仓气体浓度均匀性:

$$J_i = 100\% - \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}}{\bar{c}} \times 100\% = 99.75\%$$

P43 号仓气体浓度均匀性:

$$J_i = 100\% - \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}}{\bar{c}} \times 100\% = 100\%$$

2.4.3 氮气浓度上升速率

氮气浓度上升速率的计算公式如式(3)。

$$v_c = \frac{\bar{c}_t - \bar{c}_0}{t} \quad (3)$$

式中, v_c 为氮气浓度上升速率, $v/v \times 100\%/h$; \bar{c}_t 为密闭粮堆提升后平均氮气浓度, $v/v \times 100\%$; \bar{c}_0 为密闭粮堆控制初始平均氮气浓度, $v/v \times 100\%$; t 为充氮所用时间, h。

P22 号仓氮气浓度上升速率:

$$v_c = \frac{\bar{c}_t - \bar{c}_0}{t} = \frac{96.53 - 78.0}{124} = 0.15\%/h$$

P43 号仓氮气浓度上升速率

$$v_c = \frac{\bar{c}_t - \bar{c}_0}{t} = \frac{96.1 - 78.0}{28} = 0.65\%/h$$

2.5 结果分析

2.5.1 杀虫效果

经过对仓内虫害检查与设置虫笼的杀虫效果测试表明, 竖向气调技术和横向通风模式下的智能

型膜分离气调技术均能有效杀死粮堆内的常见害虫种类。相比较而言, 横向气调技术杀虫更彻底, 效果更明显, 更能有效达到防治害虫、安全储粮的目的。

2.5.2 浓度均匀性

经分析检测数据、各截面浓度变化图与气体浓度均匀性计算, 在气调作业结束时, 横向气调与竖向气调各点浓度均匀性分别达到 100% 与 99.75%, 说明运用 2 项不同的气调技术, 气体均能在粮堆内均匀分布, 达到气调储粮的目的。

2.5.3 浓度上升速率

运用横向气调技术时, 氮气浓度在第 2 个阶段中即 28 h 内就能达到 96% 的要求浓度, 上升速率为 0.65%/h; 竖向气调在第 2 个阶段结束即 96 h 内浓度达到 96%, 上升速率为 0.15%/h。说明横向气调技术能更快的达到有效浓度。

2.5.4 单位能耗

通过计算, 运用智能型膜分离设备进行横向通风气调储粮, 吨粮耗电量为 0.79 kW·h, 吨粮成本为 0.53 元, 而运用竖向气调技术时, 吨粮耗电量为 1.01 kW·h, 吨粮成本为 0.68 元。相比较结果表明, 横向气调耗电量低, 大大节省了保管费用。

3 结论

通过对竖向和横向 2 种气调方式的对比, 横向气调技术有着杀虫效果明显、均匀度较好、浓度上升速率快、单位能耗低的优点, 可以与目前日益成熟的横向通风储粮新技术进行综合运用。

参考文献:

[1] 金建德, 沈波, 刘益云. 膜分离富氮低氧环流技术在横向通风系统中的应用试验[J]. 粮油仓储科技通讯, 2016(1): 19-21
 [2] 沈波, 应玲红, 余永红. 膜下富氮低氧环流工艺在横向通风系统中的应用[J]. 粮油仓储科技通讯, 2015(s1): 61-63