

# 平房仓横向与竖向通风系统 降温效果研究

刘益云, 赵文莉, 王春雷, 赵建华

(浙江省粮食局直属粮油储备库, 浙江 杭州 310006)

**摘要:**利用两栋18 m跨度平房仓,分别安装横向通风系统和竖向通风系统,在相同环境气候条件下,全面测试了2栋仓房的通风降温效果、能耗、风量均匀性、粮温的均匀性。结果表明,安装有横向通风系统的稻谷仓完全能够满足降温通风的需要。因此,以风道上墙、全程覆膜、气流由竖变横为特点的横向通风模式,可以满足实仓通风降温的技术要求,具有良好的推广应用价值。

**关键词:**横向通风;竖向通风;均匀性;降温效果;能耗

**中图分类号:**TU 267<sup>+</sup>.1

**文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)S-0047-04

机械通风作为一种操作方便且成本较低的降温技术,已在我国80%以上的粮库中得到推广应用,为安全储粮发挥了巨大的作用。但传统的平房仓通风技术基本都采用地上笼或地槽等竖向通风模式,因通风途径比的限制,在开展通风、熏蒸、气调作业时不同程度地存在均匀性问题;铺在地坪上的通风笼严重影响粮食出入库机械化作业的顺利开展;地槽通风相对增加了能耗,且每个轮换周期后还需进行维护。为了解决上述存在的问题和为今后新库建设和老库改造探寻更加先进合理的通风方法,浙江省粮食局直属粮油储备库在国家粮食局科学研究院的指导下,将传统东西向的竖向通风系统改成基于风道上墙、全程覆膜、气流由竖变横为特点的南北向的横向通风系统,陆续开展了横向通风成套新技术的试验研究。经过一个储粮周期的应用试验,结果表明该技术在第五储粮生态区有足够的通风降温机会,并具有以下优点:一是通风死角少,通风路径长,均匀性好,降低了能耗;二是实现粮食保水通风,减少水分损耗;三是出入库作业时机械化程度高;四是作业时无需装拆地上笼,降低保管员劳动强度;五是无需在粮食出库时将地上笼拉回器材库,节省存放空间;六是由于地上笼固定安装在檐墙上,有利于消

除人和机械同时作业的安全隐患;七是在冬季通风时,无需揭膜,降低工作强度,减少薄膜损耗;八是由于膜套保护较好,能提高仓房气密性,提高熏蒸和气调能效。因此,该技术深受基层保管员的欢迎。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 仓房

选取两栋平房仓P21、P22作为本次试验的仓房,仓房基本情况详见表1。

表1 仓房基本情况

仓房	长 /m	宽 /m	檐高 /m	粮堆高度 /m	设计仓容 /t	通风系统
P21	49.5	18.0	7.0	5.0	3 350.0	横向通风
P22	54.0	18.0	7.0	5.0	3 650.0	竖向通风

#### 1.1.2 风道

P21号仓安装横向风网系统,仓房檐墙(南北两侧)各开四个通风孔,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,在主风道口自下而上安装铺设支风道,并紧贴、固定在檐墙上,支风道长为4 m,整仓共铺设支风道36条,开成通风时冷风北进南出的横向路径体系。详见图1~图2。

P22号仓安装竖向风网系统,东、西各两个通风口,为一机三道地上笼通风道,支风道开孔率30%,长25 m,粮堆高度4.65 m,风道间距2.4 m,途径比1.25。

收稿日期:2015-01-23

基金项目:国家粮食公益性行业科研专项(201313001-06, 201313004);十二五国家科技支撑计划项目(2013BAD17B00)

作者简介:刘益云,1971年出生,高级技师。

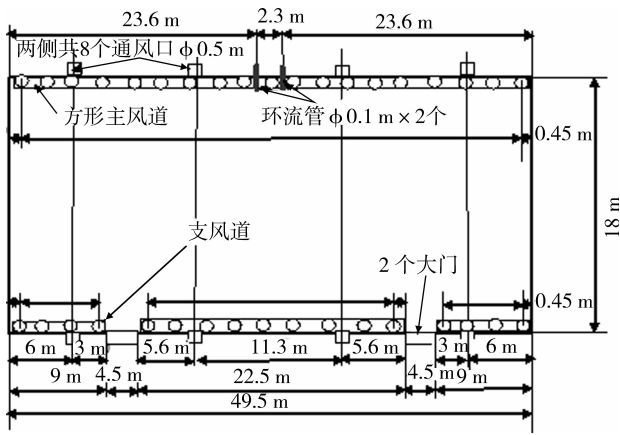


图1 P21号仓横向风网系统平面图

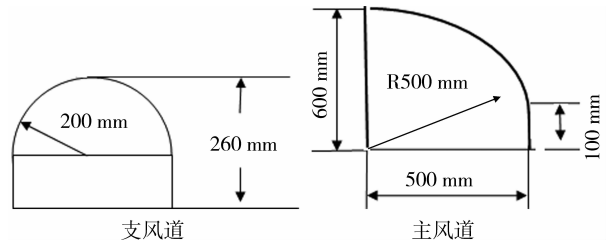


图2 横向风网系统支风道和主风道截面图

1.1.3 储粮基本情况

P21、P22号仓分别储存2014年入库的早籼谷2 210 t、小麦3 558 t,详见表2。

表2 储粮情况

仓号	品种	数量 /t	入库时间	水分 /%	杂质 /%	出糙 /%	容重 /(g/L)	脂肪酸值 /(KOH mg/100 g)	不完善粒 /%	面筋吸水量 /%
P21(横向)	早籼谷	2 210	2014.3	11.5	0.8	76	-	20.8	-	-
P22(竖向)	小麦	3 558	2014.3	9.6	0.6	-	806	-	3.8	219

1.1.4 风机

P21 檐墙南侧上端安装5台1.1 kW的轴流风机;隔热层山墙东侧安装1台1.1 kW轴流风机,风量2 900 m<sup>3</sup>;南侧檐墙4个风道口用直径0.5 m、长4 m的波纹管连接4台3 kW的混流风机,风压486~670 Pa,风量11 993~7 136 m<sup>3</sup>/h。

P22 檐墙南侧上端安装6台0.25 kW的轴流风机;隔热层山墙西侧安装2台1.1 kW的轴流风机,风量2 900 m<sup>3</sup>;东、西山墙两个风道口各安装2台2.2 kW轴流风机,共4台风机,风压460 Pa,风量6 600 m<sup>3</sup>/h。

1.1.5 粮情检测系统

每仓各安装一套符合LS/1203—2002的温度检测系统和温湿水一体化检测系统。

1.1.5.1 温度检测系统

按LS/T1203—2002粮情测控系统布点要求进行布置,上下、四周传感器距粮面、仓壁、仓底均0.3 m。其中P21东西向布置12排,南北向布置5排,分4层布置,粮堆内共计布置传感器240个;P22东西向布置13排,南北向布置5排,分4层布置,粮堆内共计布置传感器260个。

1.1.5.2 温湿水一体化检测系统

在粮面取13个点,每点深度方向分4层,共52个检测点。P21号仓布点见图3,P22号仓布点见图4。

1.1.6 器材和仪器

智能热线风速计2台,毕托管2根,手持式压力

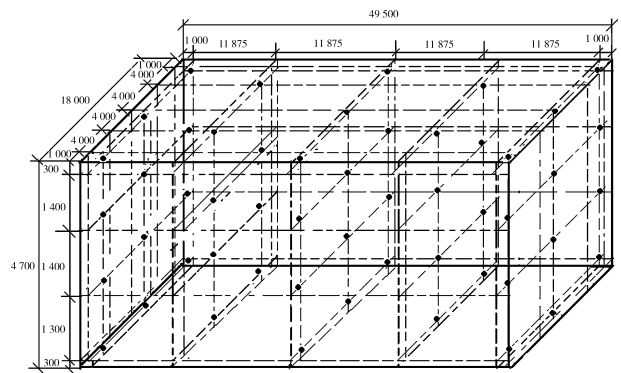


图3 P21仓温湿水一体化检测系统检测点分布立体图

注:图中●为检测点;所有数据单位均为mm。

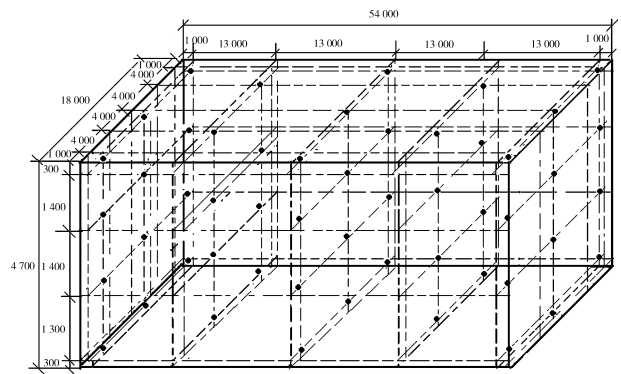


图4 P22仓温湿水一体化检测系统检测点分布立体图

注:图中●为检测点;所有数据单位均为mm。

仪2台,U型压力计2个,手持温湿度测定仪1台,锥形集风筒2个,标准测试管4根,电表2个。

1.1.7 系统通风参数的实仓测试

用直径为0.5 m的波纹圆管将风机与仓房主风道通风孔连接,在通风圆管距离风机口1.5 m处正

上方和侧方水平位置各打一直径为 12 mm 的圆孔,用毕托管与电子压力仪测试各仓房通风系统参数,见表 3。

表 3 通风系统实仓测试参数

仓号	系统总阻力 /Pa	单位粮层阻力/Pa	总风量 /( $m^3/h$ )	单位风量 /( $m^3/(h \cdot t)$ )
P21(横向)	464.5	25.8	22 382	10.1
P22(竖向)	256.6	51.3	44 876	12.6

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 通风条件的选择

按照储粮机械通风技术规程 (LS/T1202—2002) 中 7.1 条款的规范性要求执行。

每次通风开始时:  $t_2 - t_1 \geq 8 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 每次通风进行时:  $t_2 - t_1 > 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 每次通风结束时:  $t_2 - t_1 \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ; P21 仓最终结束通风时要求  $t_{\text{出口}} \leq t_{\text{粮}} + 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ; P22 仓最终结束通风时要求粮堆粮温梯度  $\leq 1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$  粮层厚度, 粮堆上层与下层的温度差  $\leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$  (其中  $t_2$  为粮堆平均粮温,  $t_1$  为仓外大气温度)。因本实验所用粮食水分均在安全水分以内, 因此不再考虑湿度条件。

### 1.2.2 开机时间

为达到绿色生态储粮, 节约成本, 充分利用谷电

资源, 开机时间为晚上十点, 关机时间为第二天早上八点。

### 1.2.3 相关数据的检测

当粮堆和外界环境符合上述通风条件时, 对两个试验仓进行通风作业, 并且记录通风开始和结束的时间、粮温和外界温度、湿度、能耗情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 通风试验过程中平均粮温变化情况

通风过程中 P21、P22 号仓平均粮温和气温变化情况见图 5。

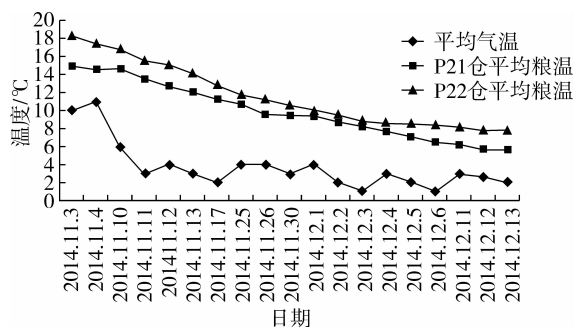


图 5 通风过程粮温和气温变化

### 2.2 通风降温效果和能效情况

P21、P22 号仓累计通风时间、单位通风量、降温效果和能效情况见表 4。

表 4 通风结束后相关参数

仓号	通风时间/d	通风总时长/h	单位通风量 /( $m^3/(h \cdot t)$ )	风量均匀性/%	起始平均粮温/ $^\circ\text{C}$	结束平均粮温/ $^\circ\text{C}$	降温幅度 / $^\circ\text{C}$	总耗电量 /( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )	单位能耗 /( $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{t})$ )	降温速率 /( $^\circ\text{C}/(\text{h} \cdot \text{t})$ )	单位空气降温速率 /( $^\circ\text{C} \cdot \text{t}/\text{m}^3$ )	粮温均匀性 /%
P21(横向)	15	250	10.1	77.45	18.3	5.7	12.6	1 425.9	0.051 0	$2.2 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-6}$	77.45
P22(竖向)	8	140	12.61	55.57	18.4	7.8	10.6	1 800.6	0.049 6	$2.1 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-6}$	55.57

### 2.3 降温均匀性统计与对比

P21、P22 号仓水平层面、垂直层面通风前后的平均粮温详见图 6 ~ 图 9。

通风结束 24 h 后, 用粮堆温度检测点的均匀度来评价本次通风降温的均匀程度, 计算公式:

$$J_1 = 100\% - \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} / \bar{t}, \text{ 式中: } t_i \text{—任一}$$

一检测点的温度实测值,  $^\circ\text{C}$ ;  $i$ —检测点的序号,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $\bar{t}$ —所有检测点的粮温平均值,  $^\circ\text{C}$ ;  $n$ —检测点总数量, 个。

P21 仓粮温均匀度:

$$J_1 = 100\% - \sqrt{\frac{1}{260-1} \sum_{i=1}^{260} (t_i - 5.7)^2} / 5.7 = 77.45\%$$

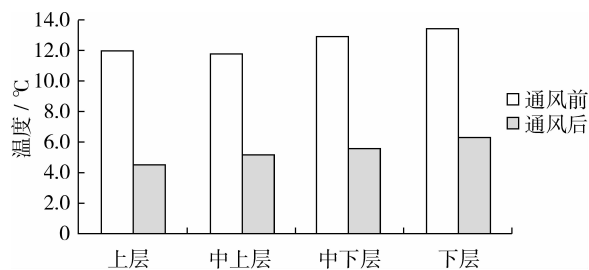


图 6 P21 仓水平各层面通风前后平均粮温对比

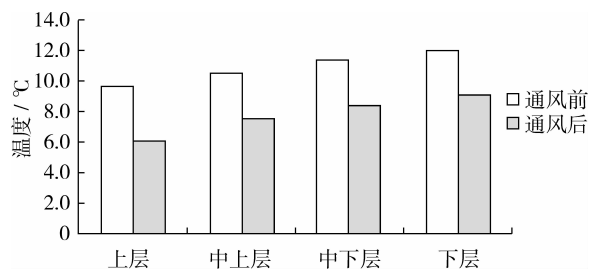


图 7 P22 仓水平各层面通风前后平均粮温对比

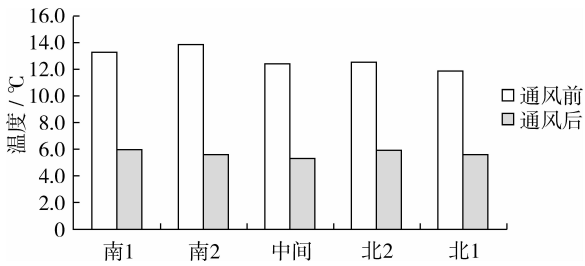


图8 P21 仓垂直各层面通风前后平均粮温对比

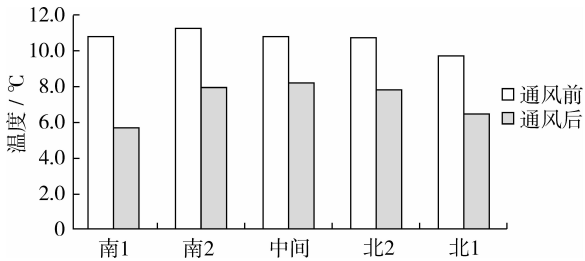


图9 P22 仓垂直各层面通风前后平均粮温对比  
P22 仓粮温均匀度:

$$J_i = 100\% - \sqrt{\frac{1}{260 - 1} \sum_{i=1}^{260} (t_i - 7.8)^2} \div 7.8 = 55.57\%$$

## 2.4 分析

### 2.4.1 不同通风模式的降温效果及能耗

从表4可以看出, P21、P22 单位能耗和降温速率基本相同,但储存早籼稻的 P21 号仓的单位空气降温速率是储存小麦的 P22 号仓的 1.3 倍。

由于 2014 年冬季是暖冬,通风作业时气温和粮温之差在 3.1~10.6 °C 之间,P21 号仓作为横向通风仓是首次进行降温作业,膜套和风机连接处存在漏气情况,影响作业效果,前期为防止膜内结

露进行一段时期的通风作业,整个作业时长为 250 h。P22 号仓是首次在仓底按装轴流风机对 5 m 高小麦进行压入式上行通风,通风时长为 140 h。以上表明两种通风方式在第五生态储粮区均有足够的通风机会。

### 2.4.2 横向通风与竖向通风降温的通风均匀性

通风结束后 24 h,P21 的粮温均匀性为 77.45%, P22 的为 55.57%,横向通风明显优于竖向通风。

## 3 结论

试验表明,在第五生态储粮区,横向通风和竖向通风两种通风模式均能较好地实现冬季通风降温目的,但横向通风的单位空气通风量、通风均匀性等指标明显优于竖向通风。

横向通风系统在整个储藏周期无需揭膜,风道上墙后解放了地面,减少了仓储人员的劳动强度,提高了出入库效率,对平房仓的粮食储藏和物流技术的现代化起到革命性的作用。

由于本次试验采用的是粮库现有的通风机,其 3 kW 斜流风机虽能满足通风要求,但能耗偏高,不在经济使用范围内。2.2 kW 的轴流风机噪音大,与要求不符。建议通过测试,选出能满足横向通风系统下不同通风阻力的最佳风机型号。P21 号仓通风结束后底层粮温较高,与主风道没有开口有关,但其受外温影响小,需跟踪其变化,解决主风道开孔率的问题。由于横向通风采取负压吸出式的通风方式,管理应更加精细,才能充分发挥其优势。☉