

稻谷平房仓储藏的横向通风技术工艺研究

祝祥坤¹,石天玉¹,沈波²,马春云³,魏雷¹,张云峰²,

刘益云²,张宏宇⁴,尹君¹,赵会义¹

(1. 国家粮食局科学研究院,北京 100037;2. 浙江省粮食局直属粮油储备库,浙江 杭州 310006;
3. 沈阳师范大学 粮食学院,辽宁 沈阳 110034;4. 山东费县鲁南国家粮食储备库,山东 临沂 273400)

摘要:利用在储藏稻谷的高大平房仓中设计安装的横向通风装置,以及在粮堆中预埋插入式毕托管,全面测试了横向通风系统的风速、风量、压力分布和系统各部分阻力。试验结果表明,在储藏稻谷的高大平房仓中应用横向通风系统,粮堆的单位粮层阻力小于目前所采用的竖向通风系统;在实用单位通风量时,横向通风系统总阻力不大于1 000 Pa;同时横向通风还具有风量分配均匀、粮堆通风均匀性好的突出特点。充分证明了横向通风系统可应用于储藏稻谷的高大平房仓,具有良好的降温通风效果。

关键词:平房仓;横向通风;通风均匀性;系统总阻力

中图分类号:S 379.5 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2015)S-0033-05

Application of transverse ventilation in paddy warehouse

ZHU Xiang-kun¹,SHI Tian-yu¹,SHEN Bo²,MA Chun-yun³,WEI Lei¹,ZHANG Yun-feng²,
LIU Yi-yun²,ZHANG Hong-yu⁴,YIN Jun¹,ZHAO Hui-yi¹

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;
2. Grain and Oil Depot of Zhejiang Grain Bureau, Hangzhou Zhejiang 310006;
3. College of Grain Science and Technology, Shenyang Normal University, Shenyang Liaoning 110034;
4. Shandong Feixian Lunan State Grain Reserve Depot, Linyi Shandong 273400)

Abstract: With a set of transverse ventilation system installed in a paddy warehouse, and some Pitot tubes embedded in the paddy heap in advance, the airspeed, airflow, pressure distribution and the resistance of each part of this transverse ventilation system were measured. The test indicated that compared with vertically ventilation, the unit resistance of paddy heap by transverse ventilation system was much lower. And in the range of economical airflow rate, the total resistance of transverse ventilation system was no more than 1000 Pa. Furthermore, the air was equally dispersed into the entire grain pile. In conclusion, it was feasible that transverse ventilation system was applied in paddy warehouse, and it was efficient to cool down the grain pile.

Key words: warehouse; transverse ventilation; uniformity of ventilation; total resistance of the system

储粮机械通风是安全储粮技术中最基本和最重要的组成部分。现代储粮仓房配置的储粮机械通风系统是用于对粮堆进行通风降温、通风降水、均衡粮温,实施谷物冷却降温、环流熏蒸杀虫和气调储粮等现代储粮技术作业的公用设备,是保证储粮安全和储粮品质的必不可少的设备和设施。因此,储粮机

械通风系统的结构形式和性能十分重要。

储粮横向通风系统是国家粮食局科学研究院针对现有储粮竖向通风系统的不足,研发出一种全新方式的通风系统^[1]。它利用固定在仓房两侧檐墙内壁上的通风道,替代竖向通风系统中水平布置于地面的地上笼或地槽通风道,在粮面实施薄膜密封后,通风时使气流从一侧风道吸入并横向穿过粮堆后从另一侧风道排出。由于该系统通风时使气流横向穿过粮堆,因此称之为储粮横向通风系统。

收稿日期:2015-02-06

基金项目:储粮机械通风工艺技术参数控制模型及效能评价研究(201313001-06)

作者简介:祝祥坤,1988年出生,男,本科毕业生。

通讯作者:赵会义,1974年出生,男,博士,副研究员。

为了深入了解横向通风系统应用于稻谷仓的阻力特性及通风均匀性,为横向通风系统理论提供实验验证,对横向通风系统的通风特性和技术可行性进行评估,进一步完善储粮横向通风技术理论;本实验对21号高大平房仓中的稻谷粮堆进行横向通风试验,通过测试横向通风系统的风速、风量、压力分布和系统各部分阻力,了解横向通风系统不同单位通风量时的阻力变化规律和粮堆内静压分布数据,掌握稻谷仓横向通风的粮堆通风均匀性特点。

1 材料与方 法

1.1 材料和设备

1.1.1 试验平台

浙江省粮食局直属粮油储备库21号高大平房仓,仓房内部净尺寸为长49.5 m,宽18 m,粮食堆高4.8 m。粮堆表面用PA/PE五层共挤尼龙薄膜做单面密封。

1.1.2 供试粮食

采用稻谷作为试验储粮,其质量数据见表1。

供试粮食的基本情况

品种	数量/t	容重/(kg/m ³)	水分/%	杂质/%
稻谷	2 210	517	10.8	0.6

1.1.3 横向通风系统

1.1.3.1 通风道布置形式

仓房南北两侧檐墙内壁上各设置一组通风道,风道尺寸、结构和形式如图1所示。

主风道分置于仓房双侧檐墙内壁底部。北侧主风道全联通,南侧主风道分隔成三段,在仓房大门处隔断。支风道竖直固定在仓房两侧的檐墙内壁上,下端与主风道联通。

主风道不开孔,相当于形成一个静压分配箱。从通风口进入主管路的气流,经由主风道均匀分配到各支风道。各支风道末端装有堵头,能够形成较为均匀的静压。支风道上开有一定数量的通风孔,气流进入各支风道后经通风孔均匀通入粮堆。

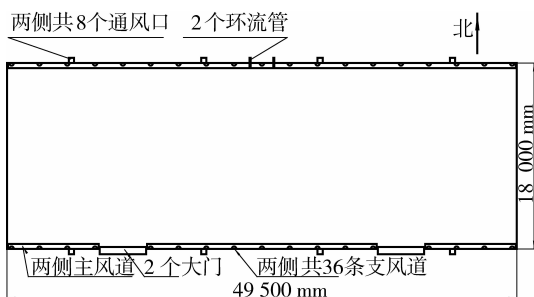


图1 通风道结构形式示意图

1.1.3.2 通风道材料及参数

通风道材料:厚度为2 mm的冷轧钢板制作。

主风道参数:北侧主风道全长49.5 m,南侧主风道分隔成三段,长度分别为9 m、22.5 m和9 m。主风道截面为四分之一圆形,尺寸为R500 × 600 mm,截面积为0.246 m²;主风道均不冲孔。

支风道参数:高4 m,间距为2.7 m,均匀分布,两端支风道离山墙1 m左右。截面为半圆形φ400 × 260 mm,截面积0.087 m²,支风道冲桥式孔,开孔率为30%。

1.1.3.3 试验通风设备

4-72-4.5离心风机(7.5 kW,额定风压2 554~1 673 Pa,额定风量5 712~10 562 m³/h):扬中灵平风机制造有限公司,通过PVC硬管与仓房檐墙底部的通风口连接,风机进出口连接管内径480 mm。变频器(7.5 kW):河南未来机电工程有限公司。

1.1.4 测试仪器

各种通风测试仪器如于表2,其中,埋入式毕托管事先预埋入粮堆和风道内的各个测试点位置。

表2 通风测试仪器

仪表	数量	测试项目
插入式毕托管(埋入粮堆)	30根	压力
手持式毕托管	4根	
手持式压力测定仪	6台	
热球式风速计	4台	风速、风量
手持式叶轮风速仪	2台	
钳形电流表	1台	电流、电压、
变频器显示	4台	风机频率

1.2 试验方法

1.2.1 横向通风装置的测点布置

1.2.1.1 通风口处测点

在风机进口的直管段距通风口2.5 m截面处(图2中的A处)沿水平和垂直方向各开1个φ12 mm的测孔,在该截面采用等面积分环法共设16个测点。

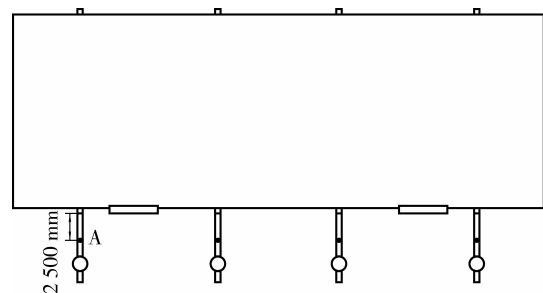


图2 通风系统总风量和总阻力测点

1.2.1.2 粮堆内部测试点

仓内静压测试点按图3所示进行布置:把18m跨度从南到北分3个截面,南、北截面距南北檐墙2m,中间截面位于粮堆18m跨度正中间。每个截面从上到下分2层,第一层距离粮面1m,第二层距离粮面4m。每层设5个测点,两端测点距东西山墙2m,其余各点间距11.38m。仓房共30个测点,每个截面10个测点(3个截面),每层共15个测点(2层)。

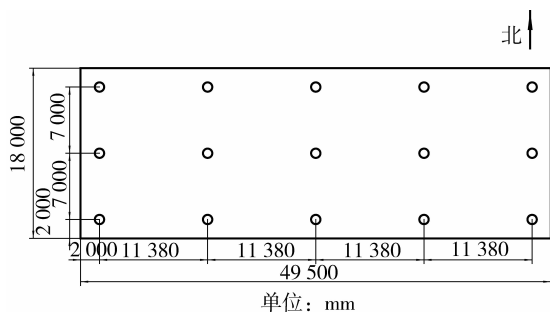


图3 粮堆测压点平面布置示意图

粮食入仓到预定装粮线高度后,按照图3所示,根据测试点深度布置不同长度的插入式毕托管,毕托管尾部与耐压软管相连,将耐压软管引到预定的检测位置,穿过粮堆表面的密封薄膜,连接到快速开关上。所有的毕托管布置好后,粮堆表面用PA/PE五层共挤尼龙薄膜压入气调专用槽管,形成单面密封。密封后检测气密性,-300 Pa到-150 Pa的半衰期为300 s。

1.2.2 测试方法

按照图2所示连接测试直管和风机。开启通风机,使环境大气从北侧的4个通风口吸入并横向穿过粮堆,进入南侧的风道后汇集到通风口,而后经风机排入大气。通风机电机的频率分别调到50、45、40、35、30、25、20 Hz,每个频率下风机运行稳定后,分别采用表2中的测仪器测量:4台风机进口A截面处16个点的静压、全压及风速,并换算成截面平均值;粮堆内各测点的静压值。

1.2.2.1 横向通风系统参数测定

$$A \text{ 截面平均风速: } V_i = \frac{v_1 + v_2 \dots + v_{16}}{16} \text{ (m/s);}$$

其中 i=1,2,3,4

$$A \text{ 截面平均静压: } P_i = \frac{p_1 + p_2 \dots + p_{16}}{16} \text{ (Pa); 其}$$

中 i=1,2,3,4

$$A \text{ 截面平均全压: } H_i = P_i + \frac{V_i^2}{2} \rho_{\text{空气}} \text{ (Pa); 其中}$$

i=1,2,3,4

$$\text{通风口风量: } Q_i = V \times S_{\text{截面}} \text{ (m}^3\text{/s); 其中 i=1,}$$

2,3,4

$$\text{风机平均风量: } Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{4} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$\text{系统总风量: } Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$\text{系统总阻力: } H_{\text{总}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}{4} \text{ (Pa)}$$

单位通风量 = 系统总风量 ÷ 粮堆总重量

单位面积通风量 = 系统总风量 ÷ 与气流方向垂直的粮堆横截面积

通风途径比 = (粮堆跨度 + 支风道间距) ÷ 粮堆跨度

1.2.2.2 粮堆内静压分布测定

用插入式毕托管和手持式测压仪测定粮堆东西两侧截面各测点静压,获得粮堆内静压分布变化数据。

1.2.2.3 粮堆的阻力测定

单位粮层阻力 = (粮堆内南侧平均静压 - 北侧平均静压) ÷ 截面间距

粮堆总阻力 = 单位粮层阻力 × 粮堆跨度

1.2.2.4 两侧通风道总阻力测定

两侧通风道总阻力 = 横向通风系统总阻力 - 粮堆总阻力。

2 结果与分析

2.1 横向通风系统的阻力特性

在7种风机频率工况下对应的风机和系统性能参数测定和计算见表3。经过数据处理得到了横向通风系统总风量与系统总阻力的关系曲线见图4。其函数关系为: $H_{\text{系统}} = 246.18 \times Q^{1.6916}$, $R^2 = 0.9806$ (1)

$$H_{\text{粮堆}} = 149.55 \times Q^{1.4351}, R^2 = 0.9823 \quad (2)$$

$$H_{\text{设施}} = 98.474 \times Q^{1.9827}, R^2 = 0.9745 \quad (3)$$

式中: $H_{\text{系统}}$ —横向通风系统总阻力; $H_{\text{粮堆}}$ —横向通风系统粮堆总阻力; $H_{\text{设施}}$ —横向通风系统设施总阻力; Q —风机平均风量。

公式(1)、(2)和(3)可用于稻谷仓的横向通风系统设计和验证。

表3 不同工况下的阻力数据

频率 /Hz	风机平均风量 /($\text{m}^3\text{/s}$)	单位通风量 /($\text{m}^3\text{/ht}$)	粮堆总阻力 /Pa	设施总阻力 /Pa	系统总阻力 /Pa
50	2.65	17.20	609.30	632.52	1 241.82
45	2.29	14.90	511.33	528.25	1 039.58
40	2.01	13.10	432.90	463.21	896.11
35	2.22	14.50	432.39	456.20	888.59
30	1.90	12.40	372.99	344.05	717.04
25	1.58	10.30	279.39	234.14	513.53
20	1.24	8.10	207.77	149.35	357.12

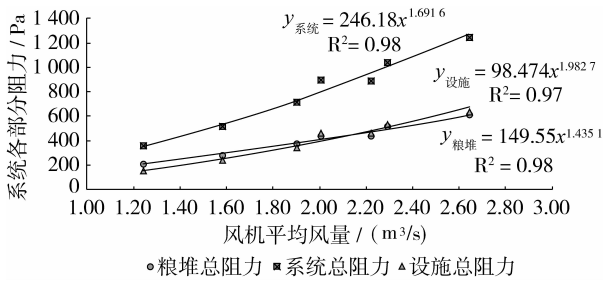


图4 横向通风系统阻力特性曲线

通风途径比为 1.15 时。结果表明稻谷实仓横向通风的系统总阻力、粮堆总阻力和设施总阻力均随通风量增加而增加,呈幂函数关系。设施总阻力为系统总阻力的 40% ~ 50%, 粮堆总阻力为系统总阻力的 50% ~ 60%, 设施阻力大小与粮堆阻力基本相当;随着单位通风量增加,设施阻力所占比例增加。

2.2 系统总阻力与单位通风量的关系

不同单位通风量与系统总阻力测定值见表 4。经过数据处理,不同单位通风量与系统总阻力曲线见图 5。

表4 不同工况下的系统总阻力

频率 /Hz	风机平均风量/(m³/s)	系统总风量/(m³/h)	单位通风量/(m³/h·t)	系统总阻力/Pa
50	2.65	38 112.35	17.20	1 241.82
45	2.29	32 991.20	14.90	1 039.58
40	2.01	28 902.04	13.10	896.11
35	2.22	31 997.83	14.50	888.59
30	1.90	27 366.13	12.40	717.04
25	1.58	22 803.44	10.30	513.53
20	1.24	17 910.68	8.10	357.12

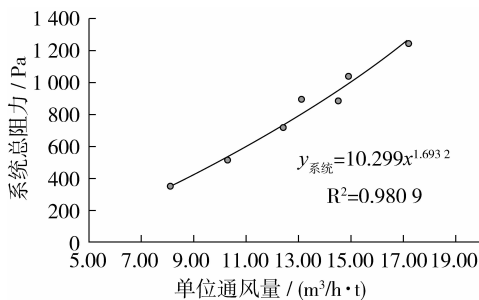


图5 系统总阻力与单位通风量的关系

由图 5 可知,在实用降温通风的单位通风量范围内,对于 18 m 跨稻谷仓,横向通风的系统总阻力不大于 1 000 Pa。

2.3 单位粮层阻力与单位面积通风量的关系

不同单位面积通风量下的单位粮层阻力值见表 5,二者之间的函数关系见图 6。

表5 不同工况下的单位粮层阻力

频率 /Hz	单位面积通风量/(m/s)	单位通风量/(m³/h·t)	北截面平均静压 /Pa	南截面平均静压 /Pa	单位粮层阻力/(Pa/m)
50	0.044 6	17.20	-233.80	-707.70	33.85
45	0.038 6	14.90	-188.50	-586.20	28.41
40	0.033 8	13.10	-160.90	-497.60	24.05
35	0.037 4	14.50	-142.80	-479.10	24.02
30	0.032 0	12.40	-118.40	-408.50	20.72
25	0.026 7	10.30	-76.70	-294.00	15.52
20	0.020 9	8.10	-48.40	-210.00	11.54

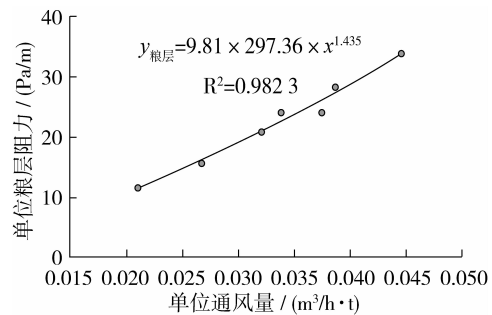


图6 单位粮层阻力与单位面积通风量的关系

由图 6 得到稻谷实仓的单位粮层阻力计算公式:

$$H_{\text{粮层}} = 9.81 \times 297.36 \times u^{1.435}, R^2 = 0.9823 \quad (4)$$

式中: $H_{\text{粮层}}$ — 横向通风时单位粮层阻力, Pa; u — 粮堆横向通风表观风速, m/s。

2.4 粮堆内静压分布均匀性

2.4.1 通风途径比

根据计算可得,通风途径比为 1.15。

2.4.2 垂直截面内的静压分布

表6 粮堆垂直方向测定静压平均值

测点编号	静压值/Pa			
	南侧	中间	北侧	
上层	1	-670	-490	-203
	2	-678	-495	-253
	3	-692	-492	-236
	4	-700	-494	-218
	5	-710	-500	-228
下层	1	-713	-490	-202
	2	-720	-480	-279
	3	-742	-475	-233
	4	-718	-447	-250
	5	-734	-	-236

通过测定粮堆内各测点的静压,可得南侧、中间和北侧三个垂直截面内各测点静压值非常接近,表明横向通风系统总风在垂直方向上的气流分布非常均匀。工况为 50 Hz 时测得的静压数据如表 6 所示,静压分布情况如图 7 所示。

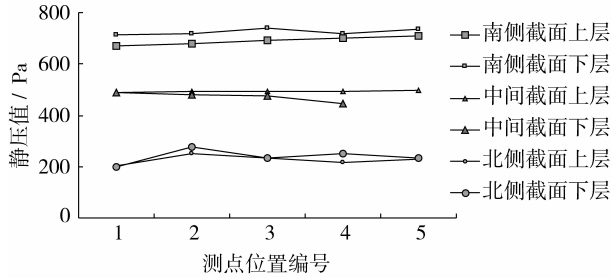


图7 垂直截面内的静压分布

2.4.3 粮堆静压分布均匀性

在 50 Hz 工况时,粮堆三个垂直截面内各测点的静压值比较接近,详细数据见表 7。南侧截面的 10 个测点静压平均值为 -707.7 Pa,均方差为23.0;中间截面 9 个测点的静压平均值为 -484.8 Pa,均方差为 16.1;北侧截面的 10 个测点静压平均值为 -155.3 Pa,均方差为 23.4;说明粮堆内部通风的均匀性较好。

表7 东侧粮堆静压测定值

测点编号	静压值/Pa			
	南侧	中间	北侧	
上层	1	-670	-490	-203
	2	-678	-495	-253
	3	-692	-492	-236
	4	-700	-494	-218
	5	-710	-500	-228
层平均	-690.0	-494.2	-227.6	
下层	1	-713	-490	-202
	2	-720	-480	-279
	3	-742	-475	-233
	4	-718	-447	-250
	5	-734	-	-236
层平均	-725.4	-473.0	-240.0	
总平均	-707.7	-484.8	-233.8	
均方差	23.0	16.1	23.4	

3 结论与讨论

横向通风的阻力特性和粮堆各截面静压分布均匀性的实仓测试结果表明,在储藏稻谷的高大平房仓中实施横向通风,可以保证较小的系统总阻力和良好的风量分配均匀性。

稻谷横向通风粮堆单位阻力小于稻谷竖直通风单位阻力,横向通风粮堆的总阻力较小,整个系统阻力在常用单位通风量范围内不超过 1 000 Pa;与竖直通风系统相比,单位粮层阻力约为 40%。

通风途径比为 1.15 时,粮堆内各垂直截面的测点静压值基本接近,粮堆静压分布均匀性非常理想,表明粮堆内气流风速或风量分布十分均匀,具有良好的通风均匀性,可以保证横向通风具有良好的通风效果。

在高大平房仓中应用储粮横向通风系统,与竖向通风系统相比,单位面积通风量将提高到 3 倍以上(本实验测试结果为 3.75 倍),通风过程中热质交换效率大大提高。因此在横向通风系统中,采用较小的单位通风量就可取得较好的通风降温效果。

在实仓测试中,横向通风系统的设施阻力较大,与稻谷粮堆的总阻力基本相当,约为系统总阻力的一半,应研究改进通风口、主风道、支风道形状、尺寸及开孔方式等结构,减小设施阻力。

根据散装粮食的粮层阻力计算方法,采用竖直通风系统的稻谷仓,单位粮层阻力为 $H_{\text{粮层}} = 9.81 \times 484.17 \times u^{1.334}$ [2]。与横向通风系统相比,结果如图 8 所示。

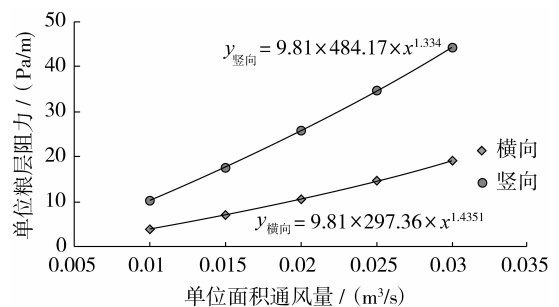


图8 横向通风与规程中竖直通风的单位粮层阻力比较

由图 8 可知,对于储藏稻谷的高大平房仓,横向通风的单位粮层阻力约为《储粮机械通风技术规程》中给出的竖直通风单位粮层阻力的 40%。

参考文献:

[1] 曹阳,魏雷,赵小津,等. 粮仓横向通风方法及其系统[P]. 中国专利:200910085093,2009.
 [2] LS/T 1202—2002,储粮机械通风技术规程[S]. 北京:中国标准出版社. 2002:17-23.