

27 m 跨度平房仓稻谷横向通风系统试验研究

马春云¹, 曹 阳²

(沈阳师范大学, 辽宁 沈阳 110034; 国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

摘要:为了研究横向通风技术在27 m跨度高大平房仓应用可行性,利用仓房安装的横向通风系统和粮堆内部静压测试管,测试了晚粳稻平房仓横向通风系统的流体特性参数,获得了横向通风晚粳稻粮堆的粮层阻力和设施阻力计算公式,试验表明稻谷仓横向通风具有良好的通风均匀性,在适用的单位通风量范围,系统总阻力在1 400 Pa以内,因此横向通风系统应用于27 m跨度的稻谷仓是可行的,为完善横向通风系统设计和应用技术奠定了基础。

关键词:平房仓;横向通风;粮层阻力;设施阻力;稻谷粮堆

中图分类号:TS 210.1 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2017)01-0080-05

Study on transverse ventilation system in 27 meters wide warehouse for paddy

MA Chun-yun¹, CAO Yang²

(1. Shenyang Normal University, Shenyang Liaoning 110034;

2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: In order to research the feasibility of the application of transverse ventilation in 27 meters wide paddy warehouse, the fluid characteristic parameters were measured by a set of transverse ventilation system installed in the paddy warehouse and some static pressure tubes in the paddy heap. The calculating formula of unit profile resistance and facilities resistance was acquired. The result indicated that transverse ventilation was of good uniformity, in the applicable range of unit ventilation quantity the total systemic resistance was within 1 400 Pa, which indicated that the scheme of transverse ventilation was feasible to 27 meters wide paddy warehouse, which laid a foundation for improving the design and application of transverse ventilation system technology.

Key words: warehouse; transverse ventilation; profile resistance; facilities resistance; paddy heap

我国对机械通风储粮技术的研究始于20世纪50年代,历经数十年研究,在粮仓机械通风技术和装备方面取得很大成就和进展,使储粮机械通风系统成为粮仓必配的技术装备,但目前普遍采用的竖向通风系统依然存在诸多弊端,因此改进粮仓通风系统,提高装备能源利用率,仍然是储粮工作面临的主要问题^[1]。

平房仓储粮横向通风技术是针对现有储粮竖向通风系统不足研发出的一种全新的通风方式^[2],与竖向通风技术相比具有气流途径比小、通风效率高、

均匀性好等优势,同时能显著提高平房仓进出粮机械化程度和效率,它不但是储粮通风方式的一次变革,也将对房式仓粮食进出仓和收储工艺技术带来革命性的影响^[3],正在全国逐步推广和应用。

目前18 m跨度的平房仓稻谷横向通风系统测试数据表明,粮堆的单位粮层阻力小于竖向通风系统^[4],在实用单位通风量时,横向通风阻力不大于1 000 Pa,证明了粮堆横向通风均匀性好的特点。但是目前尚缺乏大跨度的稻谷平房仓实仓测试数据,因此,在2015年11月4日至6日,本课题组在安徽现代粮食物流中心库开展了27 m跨度平房仓储存稻谷横向通风流体性能试验,取得了理想的结果。

收稿日期:2016-05-23

作者简介:马春云,1991年生,女,硕士生。

通讯作者:曹阳,1958年出生,男,教授。

1 材料与方 法

1.1 试验仓房

安徽现代粮食物流中心库37号高大平房仓,仓房内部净尺寸为长41.54 m,宽27 m,粮堆高5.78 m。仓房内安装一套横向通风系统,粮堆表面用PA/PE五层共挤尼龙薄膜做单面密封。

1.2 供试粮食

试验粮种为晚籼稻,基本情况如表1。

表1 供试粮食基本情况

品种	数量 /t	水分 /%	杂质 /%	整精米率 /%	谷外糙米率 /%
晚籼稻	4050	12.9	0.9	65.2	0.8

1.3 试验设施和设备

1.3.1 横向通风道布置形式

南北两侧檐墙内壁上各设置一组风道,横向通风系统风道布置如图1所示。

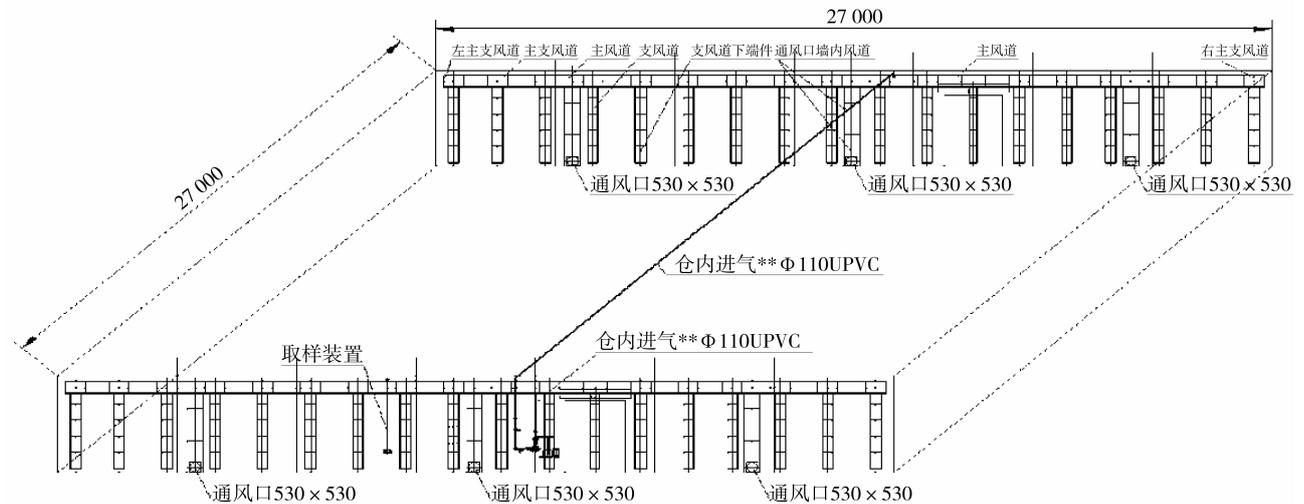


图1 通风道结构形式示意图

仓房两侧檐墙底部各3个风口,直径为500 mm;主风道分置于仓房两侧檐墙上部粮面薄膜下30 cm处;支风道固定于檐墙两侧内壁布置位置如图1所示,仓门两侧支风道间距为2.4 m,均匀分布,跨仓门支风道间隔为4.6 m,两端支风道离山墙约1 m,通风途径比为1.09。

1.3.2 试验通风设备

采用3台上海兴益风机电器有限公司生产的离心风机,风机型号为I4-72-6C,功率7.5 kW,额定风压1 760~1 116 Pa,额定风量8 288~16 578 m³/h,转速:1 800 r/min。

每台风机通过直径400 mm PVC硬管与仓房檐墙底部通风口连接,每台风机连接一台河南未来机电工程有限公司生产的7.5 kW变频器。

1.4 测试仪器

为获得准确的通风系统参数,采用表2所列测试仪器,其中静压检测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

序号	仪表	数量	测试项目
1	静压检测管(埋入粮堆)	33根	压力
2	手持式毕托管	5根	
3	手持式压力测定仪	5台	
4	热球式风速计	1台	风速、风量
5	手持式叶轮风速仪	1台	
6	变频器显示	4台	风机频率
7	集风罩	1个	表观风速

1.5 试验方法

1.5.1 测点布置

1.5.1.1 通风口处测试点

风机与仓房连接示意图如图2所示,直径为400 mm标准测试管在离进风口一端2.5 m截面的水平和垂直方向各开1个φ12 mm(A1、A2)的测孔,在该截面处采用等面积分环法共设12个测点。

1.5.1.2 粮堆内部测试点

仓内静压测试点布置方式及编号顺序如图3所示,将27 m跨度从南到北分为3个截面,南北截面距南北檐墙1 m,中间截面位于粮堆27 m跨度正中

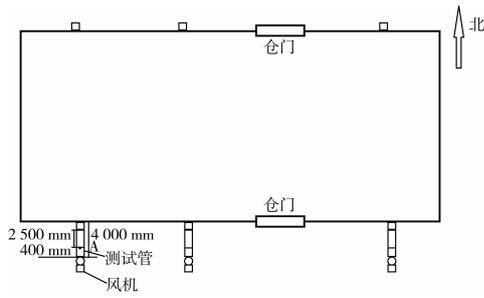


图2 横向通风仓房风机连接示意图

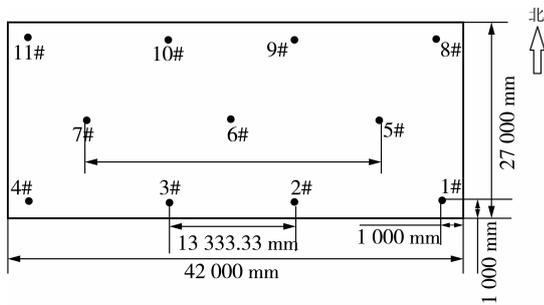


图3 粮堆测压点平面布置示意图

间。每个截面从上到下分3层,分别距离粮面0.3 m、3 m和5 m。每层各设11个测点,南北两侧

4个测点,两端距东西檐墙1 m,其余各点间距13.33 m;中间3个测点,两端距东西檐墙7.67 m,测点间距13.33 m。

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,连接到针型截止阀上。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44 s。

1.5.2 测试内容及方法

测试内容及方法同稻谷平房仓储藏的横向通风技术工艺研究中横向通风系统参数的测定^[3]。

2 结果与分析

2.1 27 m 跨度稻谷仓横向通风的风机测试

在横向通风过程中,三台离心风机所获得的测试数据见表3。

表3 不同工况下离心风机的测试数据及结果

频率 (Hz)	风机风量/(m ³ /h)			风机总风量/ (m ³ /h)	风机全压/Pa		
	1#风机	2#风机	3#风机		1#风机	2#风机	3#风机
50	6 760.09	6 393.03	5 934.64	1 9087.76	1 431.83	1 345.90	1 365.62
45	6 024.24	5 722.47	5 400.22	17 146.93	1 186.70	948.70	1 139.38
40	5 121.37	4 919.96	4 725.50	14 766.82	962.36	910.66	926.16
35	4 404.62	3 936.87	3 925.07	12 266.56	762.62	717.03	731.08
30	3 580.93	3 379.17	3 106.57	10 066.68	580.79	560.71	561.50
25	2 769.74	2 475.60	2 470.40	7 715.74	415.52	403.33	403.70
20	2 107.86	2 036.32	1 663.02	5 807.20	277.01	270.49	261.20

三台风机最大风量的相对偏差为12%。三台风机最大全压的相对偏差为6%。

三台风机频率为50 Hz时输出功率分别为:

$$N_{y1} = 2.69 \text{ kW}, N_{y2} = 2.39 \text{ kW}, N_{y3} = 2.25 \text{ kW}$$

如果风机效率按照70%,传动效率按照95%,电机储备系数按照1.2计算,风机应配电机为: $N_1 = 4.8 \text{ kW}, N_2 = 4.3 \text{ kW}, N_3 = 4.1 \text{ kW}$ 。

因此,27米横向通风系统的平房仓,风机配备5.5 kW的电机即可满足需要。

2.2 27 m 跨度稻谷仓横向通风系统流体测试

为了消除三台风机风量的差异对系统风量的影响,把风机的平均风量作为通风口风量,系统总风量采用各通风口平均风量之和,对应的系统流体性能

参数测试处理结果见表4。

表4 不同工况下的阻力数据

平均 风量 /(m ³ /s)	系统 总风量/ (m ³ /h)	单位 通风量/ (m ³ /t·h)	粮堆表 观风速 (m/s)	单位粮 层阻力 /(Pa/m)	粮堆 总阻力 /Pa	设施 总阻力 /Pa	系统 总阻力 /Pa
1.74	18 845	4.65	0.021	27.8	751	628	1379
1.49	16 076	3.97	0.018	25.0	676	405	1081
1.27	13 757	3.40	0.015	21.2	571	353	925
1.06	11 474	2.83	0.013	17.8	480	251	731
0.89	9 572	2.36	0.011	15.0	404	161	565
0.69	7 431	1.84	0.008	11.2	304	103	406
0.51	5 541	1.37	0.006	7.8	210	59	269

从表4可知,27米跨度晚籼稻平房仓横向通风单位通风量 $4.65 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ 时,系统总阻力为 1379 Pa ,通风单位通风量 $4 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ 时,系统总阻力小于 1100 Pa ,即在常用横向通风单位通风量 $5 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ 左右时,系统阻力不大于 1400 Pa 。

2.3 27 m 跨度稻谷仓横向通风系统各项阻力特性曲线

根据表4数据做出的平均风量与系统阻力、粮堆阻力和设施阻力的特性曲线如图4所示。

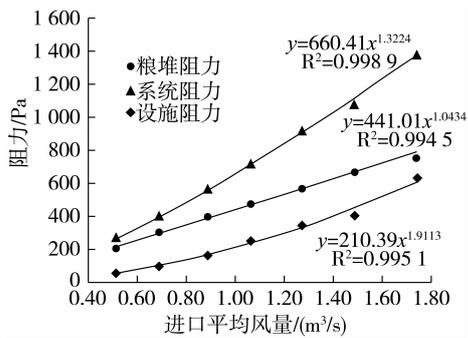


图4 进口平均风量与各项阻力特性曲线

通过图4可以得出:稻谷实仓横向通风的系统阻力、粮堆阻力和设施阻力均随风机的平均通风量增加而增加,其中设施总阻力为系统总阻力的23%~45%,粮堆总阻力为系统总阻力的55%~77%,粮堆阻力、设施阻力和系统总阻力都可以采用幂函数准确描述,其曲线拟合的决定系数均大于0.995。通风口平均风量与各阻力幂函数关系为:

$$H_{\text{系统}} = 660.41 \times Q^{1.3224},$$

$$H_{\text{粮堆}} = 441.01 \times Q^{1.0434},$$

$$H_{\text{设施}} = 210.39 \times Q^{1.9113},$$

式中: $H_{\text{系统}}$ —横向通风系统总阻力,Pa; $H_{\text{粮堆}}$ —横向通风系统粮堆总阻力,Pa; $H_{\text{设施}}$ —横向通风系统设施总阻力,Pa; Q —通风口平均风量, m^3/s 。

2.4 粮堆表观风速与单位粮层阻力的关系

根据表4中的数据做出粮堆表观风速与单位粮层阻力的关系如图5所示。

由图5看出27米跨度稻谷仓横向通风时,单位粮层阻力随着粮堆表观风速的增加而增大,其幂函数关系为:

$$H_{\text{单位粮层}} = 1662.9 \times V^{1.0434},$$

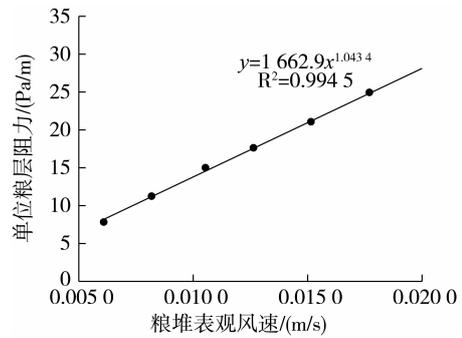


图5 27 m 跨稻谷仓横向通风粮堆表观风速与单位粮层阻力的关系式中:

$H_{\text{单位粮层}}$ —单位粮层阻力,Pa; V —表观风速, m/s 。

2.5 粮堆内部静压分布

风机在50 Hz通风工况下,粮堆内部各测点的静压测试数据见表5。

表5 50 Hz 粮堆内部静压测试数据 Pa

测试编号	30 cm 粮层静压	3 m 粮层静压	5 m 粮层静压
南-1	-1060	-1062	-1088
南-2	-1050	-1040	-1050
南-3	-1040	-1050	-1050
南-4	-1056	-1080	-1090
中-5	-680	-700	-720
中-6	-710	-720	-690
中-7	-690	-700	-690
北-8	-373	-361	-353
北-9	-367	-353	-352
北-10	-373	-370	-379
北-11	-382	-354	-357

根据表5的测试数据做出静压分布如图6。

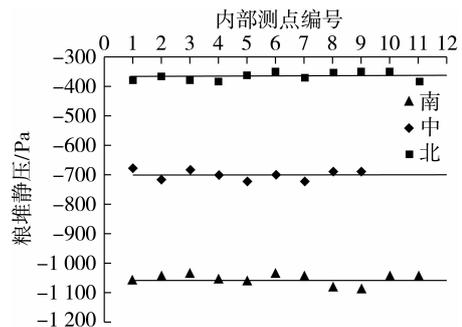


图6 27 m 跨稻谷仓横向通风在50 Hz通风工况下的静压分布可见,各截面上中下的静压基本位于一条水平线上,表面同一截面静压分布基本均匀,其三个截面

的通风均匀度分别为:

$$J_{p南} = 100\% - C_p = 100\% - \frac{s_p}{\bar{p}} \times 100\% = 100\% - \frac{17.3275}{1059.67} \times 100\% = 98.36\%$$

$$J_{p中} = 100\% - C_p = 100\% - \frac{s_p}{\bar{p}} \times 100\% = 100\% - \frac{14.1421}{700} \times 100\% = 97.98\%$$

$$J_{p北} = 100\% - C_p = 100\% - \frac{s_p}{\bar{p}} \times 100\% = 100\% - \frac{10.8586}{364.5} \times 100\% = 98.98\%$$

式中: J_p 为粮堆通风均匀度(%),其值越接近与100%均匀度越好。

C_p 为粮堆静压的变异系数,即测压点的压力标准差与平均压力的比值,反映了各检测点压力与平均压力的离散程度的相对大小,值越小均匀性越好。

S_p 为样本标准差,与样本均值量纲相同。反映了样本离散程度的相对大小,在此为所有检测点静压的标准差:

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}$$

式中: p_p 为任一检测点的静压实测值(Pa),

i 为检测点的序号, $i=1,2,3,\dots,n$,

\bar{p} 为所有测点静压的平均值(℃),

n 为检测点总数量(个)。

由计算可知三个截面的通风均匀度均在98%~99%之间。说明通风均匀性良好。

3 结论

对27 m跨度稻谷仓横向通风三台离心风机的

测试数据表明:风机的输出功率均在2.5 kW左右,而该试验所用风机的额定功率为7.5 kW,输出功率与配备功率之比为33%,说明风机不在高效区工作,会造成能耗增大的问题。按照实际测试结果,27m跨度横向通风系统只需配备5.5 kW的电机即可,因此建议选用配套的横向通风专用风机,达到减损降耗得目的。

晚籼稻的单位粮层阻力可采用幂函数公式 $H_{\text{单位粮层}} = 1662.9 \times V^{1.0434}$ 进行计算,主风道布置于粮面下的横向通风装置的设施阻力可以采用幂函数公式 $H_{\text{设施}} = 210.39 \times Q^{1.9113}$ 计算。

27 m 跨度稻谷仓三个横向通风截面的通风均匀度在98%~99%之间,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,可以保证良好的通风效果,并且在常用单位通风量范围,系统总阻力在1400 Pa以内,因此横向通风系统应用于27 m跨度的稻谷仓是可行的。

参考文献:

[1] 吴子丹. 绿色生态低碳储粮新技术[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2011:269-270.

[2] 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.

[3] 赵会义,张宏宇,李福君,曹阳,等. 我国储粮机械通风技术发展[J]. 北京:粮油食品科技, 2015,23(06):4-10.

[4] 祝祥坤,石天玉,马春云,等. 稻谷平房仓储藏的横向通风技术工艺研究[J]. 粮油食品科技,2015,23(06):33-37.

[5] 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.

[6] 曹阳,魏雷,赵会义,等. 我国绿色储粮技术现状与展望[J]. 粮油食品科技,2015,23(06):11-14. 