

# 横向通风技术 在高大平房仓小麦储藏上的应用

石天玉<sup>1</sup>,赵会义<sup>1</sup>,祝祥坤<sup>1</sup>,张文龙<sup>2</sup>

沈邦灶<sup>3</sup>,曹 阳<sup>1</sup>,魏 雷<sup>1</sup>

(1. 国家粮食局科学研究院,北京 100037;2. 清苑国家粮食储备库,河北 保定 071100;

3. 浙江中穗省级粮食储备库,浙江 杭州 311201)

**摘要:**探讨了横向通风技术在60 m×21 m高大平房仓小麦储藏上的应用,设计了横向通风系统方案。对实仓横向通风管网风速、风量、压力和粮堆内部静压等参数的研究测试结果表明,21 m跨度小麦高大平房仓横向通风系统中系统总阻力和单位粮层阻力随着单位通风量增大而增加,在实际降温通风作业过程中,单位通风量选取不应大于7 m<sup>3</sup>/h·t;横向通风系统中,通风途径比小,通风过程中粮堆内静压分布均匀,粮堆内气流分布比较均匀。

**关键词:**高大平房仓;小麦;横向通风;单位通风量

**中图分类号:**S 379.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)S-0028-05

## Application of transverse ventilation in wheat warehouse

SHI Tian-yu<sup>1</sup>, ZHAO Hui-yi<sup>1</sup>, ZHU Xiang-kun<sup>1</sup>, ZHANG Wen-long<sup>2</sup>,

SHEN Bang-zao<sup>3</sup>, CAO Yang<sup>1</sup>, WEI Lei<sup>1</sup>

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;

2. Qingyuan State Grain Reserve Depot, Baoding Hebei 071100;

3. Zhejiang Zhongsui Provincial Grain Reserve Depot, Hangzhou Zhejiang 311201)

**Abstract:** The application of transverse ventilation system in large warehouse (60×21) for wheat storage was studied, and the system was designed. The air velocity, volume, pressure and resistance of the ventilation system and the static pressure in the grain bulk were detected. The results showed that both the total resistance of ventilation system and the unit profile resistance of grain bulk increased along with the increase of the unit aeration volume, which should be no more than 7 m<sup>3</sup>/h·t during the aeration application. The coefficient of variation of static pressure in the grain bulk was small, which reflected high uniformity of airflow distribution.

**Key words:** high & large warehouse; wheat; transverse ventilation; unit aeration volume

小麦是我国仅次于稻谷的第二大农作物。根据国际谷物理事会(IGC)2014年的报告,2013年我国小麦产量为1.219亿t,供应总量为1.824亿t,用量为1.233亿t,期末库存为5870万t。我国小麦储藏数量巨大,小麦的安全储藏和供给对我国粮食安全和国计民生意义重大。

目前,我国小麦储藏的主要仓型是高大平房仓。高大平房仓从1998年第三批建库以来,以地上笼、地槽竖向机械通风作为储粮温、湿度控制的主要技术手段。但是竖向机械通风均匀性较差,存在通风死角和无效通风的现象,容易诱发粮食发热、霉变、生虫的现象;另外竖向通风系统的地上笼布置严重制约了粮食进出仓机械化作业,使得平房仓进出仓效率较低<sup>[1]</sup>。

本实验提出的横向通风技术<sup>[3]</sup>是一种新研发的适用于高大平房仓储粮的通风系统。横向通风系

收稿日期:2015-02-15

基金项目:粮食公益性行业科研专项经费项目(201313001-06)

作者简介:石天玉,1980年出生,男,副研究员,博士。

通讯作者:魏雷,1959年出生,男,教授级高工。

统中主风道、竖向支风道和通风口固定于平房仓檐墙两侧,仓房内粮堆表面薄膜密闭。通风作业时,风机安装在仓房檐墙阳面通风口,采用吸出式通风方式,密闭粮堆内部处于负压状态,牵引气流从仓房对侧通风口进入通风道,并横向水平穿过粮堆,从而对粮堆进行冷却降温、均温均湿等各类横向通风作业。

本实验研究横向通风技术在60 m×21 m×6 m高大平房仓小麦储藏上的应用工艺;测试21 m跨度高大平房仓储藏小麦时横向通风风网风速、风量、压力等参数,研究小麦仓横向通风系统阻力特性及其与风量的变化关系;测试21 m跨度高大平房仓储藏小麦时粮堆内部压力变化规律,研究小麦仓横向通风的均匀性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

小麦5 700 t,容重为780 kg/m<sup>3</sup>,水分含量为11.2%,杂质含量为0.6%。

### 1.2 试验仓

#### 1.2.1 试验仓

河北清苑国家粮食储备库9号高大平房仓,仓房长60 m,宽21 m,装粮堆高5.8 m。

#### 1.2.2 仓房横向通风系统

高大平房仓横向通风系统布置如图1所示:

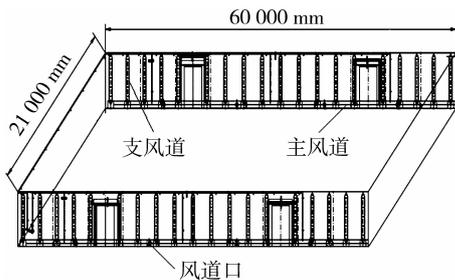


图1 横向通风系统布置示意图

风道口:双侧各4个风口,设置在仓房双侧檐墙底部,直径500 mm。

主风道:分置于仓房双侧檐墙内壁底部。横截面为直角梯形,宽400 mm,如图2所示。

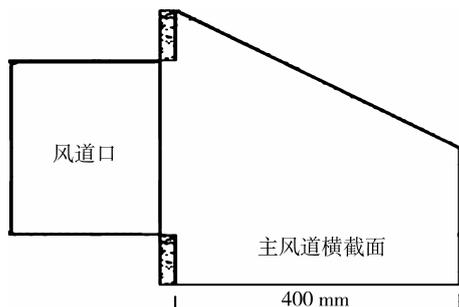


图2 横向通风系统主风道横截面示意图

支风道:固定于双侧檐墙内壁,布置位置如图1所示,仓门两侧支风道间距为2.9 m,仓门中间支风道间距为3.15 m,均匀分布,两端支风道离墙1 m左右,通风途径比1.14~1.15。支风道开竖向桥式孔,开孔率不大于25%。

### 1.3 试验仪器

4-72-NO.6C型离心风机(7.5 kW):河北省高碑店市鼓风机厂;变频器(7.5 kW):河南未来机电工程有限公司;BOKM-01型数字压力计、TP4/8型毕托管:北京百奥凯密科技有限公司;TES-1340型智能热线风速仪:泰仕电子工业股份有限公司;DT-83型温湿度检测仪:深圳华盛昌机械实业有限公司;温湿水一体化检测系统:深圳东光科技有限公司;粮情测温系统:天津明仑电子科技有限公司。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 试验步骤

仓体单侧四个通风口处连接风机,连接风机与变频器。

开启风机和变频器,分别调节变频器使风机工作频率处于50、45、40、35、30、25、20、15 Hz,在每个功率下,运行稳定后(5~10 min),共测定7个频率下仓内静压、系统阻力和风量(仓房进出口、风机通风测试管道)数据。

通风作业时,开启粮情测控系统或温湿度水分一体化检测系统,检测通风前后的粮情变化数据。

#### 1.4.2 测试方法

##### 1.4.2.1 横向通风系统通风参数测定及计算方法

###### (1) 横向通风系统的通风参数测定方法

在仓房4个通风口设置长4 m,直径500 mm标准测试管。标准测试管一端与通风口连接,一端与风机连接。

在标准测试管离风道口一端2.5 m截面(测试截面)处上方和水平方向(相差90°)各开一个直径12 mm的圆形测试孔;测试截面垂直和水平方向各设8个测试点,测点位置参考分环法测量规定<sup>[3]</sup>。

通过测试孔,通过智能风速仪、毕托管和数字压力计在测试截面采用分环法测量通风系统的风速、静压、全压。

###### (2) 横向通风系统的通风参数计算方法

$$\text{截面平均静压: } P = \frac{P_1 + P_2 \cdots + P_{16}}{16}$$

式中:P—所测量截面平均静压,Pa;p<sub>1</sub>~p<sub>16</sub>—分别为所测量截面上各点静压值,Pa。

$$H = P + \frac{V^2}{2\rho}$$

式中： $H$ —所测量截面平均全压，Pa； $P$ —所测量截面平均静压，Pa； $V$ —所测量截面平均风速，m/s； $\rho$ —空气密度，kg/m<sup>3</sup>。

$$V = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_{16}}{16}$$

式中： $V$ —所测量截面平均风速，m/s； $v_1 \sim v_{16}$ —分别为所测量截面上各点风速值，m/s。

$$Q = 3600 \times V \times S$$

式中： $Q$ —所测量截面平均风量，m<sup>3</sup>/h； $V$ —所测量截面平均风速，m/s； $S$ —测试所取截面面积，m<sup>2</sup>。

仓房通风系统总风量： $Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$  (m<sup>3</sup>/h)

仓房通风系统总阻力：

$$H_{\text{总}} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n}$$

$$q = \frac{Q_{\text{总}}}{G} \quad (\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{t})$$

式中： $Q_{\text{总}}$ —仓房通风系统总风量，m<sup>3</sup>/h； $Q_1 \sim Q_n$ —分别为各风道口风量，m<sup>3</sup>/h；

$H_{\text{总}}$ —所测量截面平均静压，Pa； $H_1 \sim H_n$ —分别为各风道口平均全压，Pa；

$q_{\text{总}}$ —仓房通风系统单位风量，m<sup>3</sup>/h · t； $G$ —仓房内粮堆总质量，t。

横向通风的粮层阻力测定：

每米粮层阻力 = 粮堆内北1侧和南1侧两截面平均静压差除以截面间距

粮堆总阻力 = 每米粮层阻力 × 粮堆横向距离

单位通风量测定：

单位通风量 = 系统总风量除以粮堆总重量

#### 1.4.2.2 横向通风系统的仓内粮堆静压测试方法

(1) 仓房粮堆内部静压检测点设置

房式仓粮堆内共设置200个静压检测点，检测

表1 21 m 跨度小麦仓横向通风系统的通风参数测试数据

风机工作频率/Hz	风机平均风量/(m <sup>3</sup> /s)	系统总风量/(m <sup>3</sup> /h)	表观风速/(m/s)	单位通风量(m <sup>3</sup> /h · t)	粮堆平均静压/Pa					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
					北1截面	北2截面	中截面	南2截面	南1截面				
50	1.96	28 279	0.02	4.96	-225	-475	-782	-1052	-1 286	53	1 115	481	1 595
45	1.82	26 173	0.02	4.59	-180	-399	-645	-889	-1 097	46	962	376	1 338
40	1.67	23 985	0.02	4.21	-143	-316	-526	-717	-890	37	785	296	1 081
35	1.43	20 581	0.02	3.61	-105	-242	-407	-568	-711	30	635	219	855
30	1.22	17 580	0.01	3.08	-62	-190	-302	-425	-544	24	506	141	646
25	1.08	15 587	0.01	2.73	-37	-124	-191	-293	-380	17	360	95	455
20	0.82	11 786	0.01	2.07	-24	-83	-140	-199	-249	11	236	52	288
15	0.55	7 970	0.01	1.4	-10	-42	-76	-109	-142	7	138	26	164

点按图3布置。根据取样点深度插入不同长度不锈钢气体取样杆，取样杆尾部连接耐压软管用于气体压力检测。

21 m 跨度上从南到北分5个截面。南1、北1截面距南北檐墙50 cm，南2、北2截面距南北檐墙5.2 m，中间截面位于粮堆21 m 跨度正中间，如图3所示。

每个截面从上到下分4层，依次为30 cm、1 m、3 m、5 m 粮层，每层设10个测点，两端测点距东西墙50 cm，其余各点间距6.52 m，如图3南1截面所示。

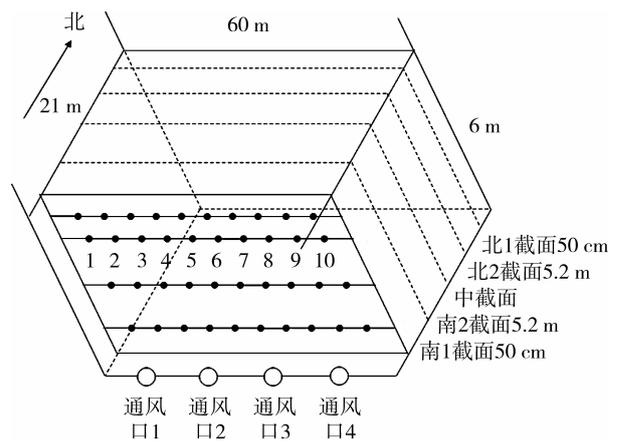


图3 粮堆静压测点布置图

#### (2) 粮堆静压测点方法

在风机稳定运行20 min后，用数字压力测定仪直接测定仓内200个测点每个工况下静压值，记录测量数据。

### 2 结果与分析

#### 2.1 21 m 跨度小麦仓横向通风系统阻力测试

##### 2.1.1 21 m 跨度小麦仓横向通风系统设施阻力

21米跨度小麦高大平方仓安装横向通风系统，装粮后进行了系统通风阻力性能研究。在设定的7个工况下，测试数据如表1所示。

根据表1数据对实验风机的平均风量与横向通风系统总阻力、粮堆阻力和设施阻力的关系进行分析,拟合的函数关系图如图4所示。

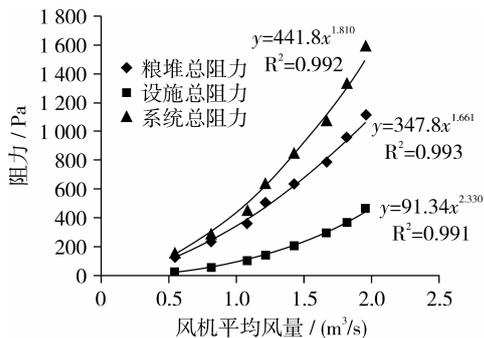


图4 21 m 跨度小麦平房仓横向通风系阻力特性曲线

通过图4可以得出:小麦实仓横向通风的系统阻力、粮堆阻力和设施阻力均随风机平均通风量增加而增加,且符合幂函数关系。其中,设施阻力为系统总阻力的15.8%~30.15%,粮堆总阻力为系统阻力的69.91%~84.15%。风机的平均风量越大,设施阻力占系统总阻力的比列越大。

通过幂函数分析,可以得到小麦横向通风的系统阻力、粮堆阻力和设施阻力计算试验公式:(Q为风机的平均风量)

$$H_{\text{系统}} = 441.8 \times Q^{1.810}, R^2 = 0.992$$

$$H_{\text{粮堆}} = 347.8 \times Q^{1.661}, R^2 = 0.993$$

$$H_{\text{设施}} = 91.34 \times Q^{2.330}, R^2 = 0.991$$

### 2.1.2 21 m 跨度小麦仓横向通风系统总阻力与单位通风量的关系

对表1中的数据进行函数拟合分析,可以得到21 m 跨度小麦试验仓横向通风时,系统总阻力随着单位通风量的增加而增大,呈幂函数关系,如5所示。

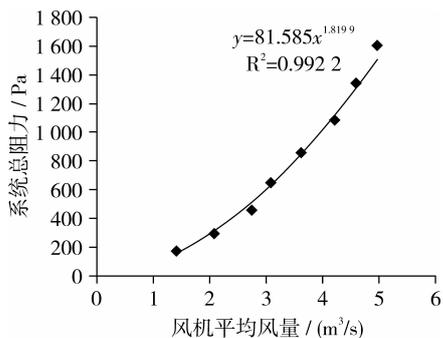


图5 21 m 跨度小麦平房仓横向通风系统总阻力

由图5可以看出,在利用横向通风系统储藏小麦时,单位通风量选取应不大于7 m³/h·t。以60 m×21 m 平房仓,5.8 m 装粮线为例,与传统地上笼

竖向通风相比,在相同的单位通风量下,在通风方向上,横向通风截面积为竖向通风截面积的27.6%,所以在粮堆内部,单位面积通风量,横向通风是竖向通风的3.62倍。

由此可知,横向通风系统中,选取较小的单位通风量,在粮堆内部即可实现在通风降温过程中湿热交换所需的有效风量。

在实际降温通风应用过程中,选取7 m³/h·t以下的单位通风量,现有的吸出式风机能够满足横向通风系统总阻力的要求。

### 2.1.3 单位粮层阻力与单位通风量的关系

对表1中的数据进行分析,可以得到该21 m 跨度小麦实验仓横向通风时,实验仓单位粮层阻力随着单位通风量的增加而增大,呈幂函数关系,如6所示。

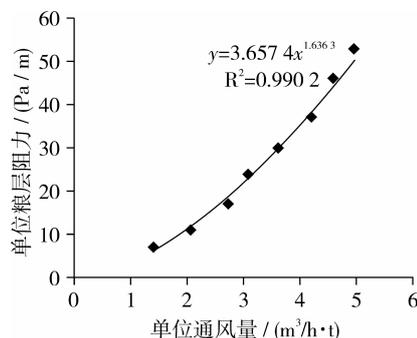


图6 21 m 跨度小麦平房仓横向通风单位粮层阻力

### 2.1.4 粮堆内部静压分布测试

吸出式风机设置在仓房南侧。21 m 跨度上从南到北分5个截面。南1、北1截面距南北檐墙50 cm,南2、北2截面距南北檐墙5.2 m,中间截面位于粮堆21 m 跨度正中间。从50 Hz到15 Hz共7个工况下,粮堆各截面平均静压测试数据如表1所示,可以看出,粮堆各截面平均静压逐渐下降。

风机在50 Hz 通风工况下,粮堆5个截面共200个测点静压数据分布如7所示。

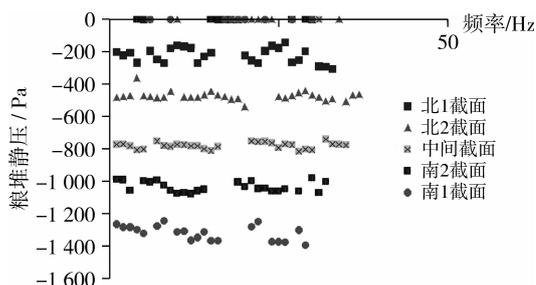


图7 21 m 跨度小麦平房仓在50 Hz 工况下横向通风的粮堆静压分布

对通风方向上5个截面的静压数据进行分析,

可以得到北1、北2、中间、南2、南1各个截面静压数据的变异系数(CV%)依次为0.195%、0.071%、0.024%、0.031%、0.034%。可以看出在进风口北1截面(距北檐墙0.5m)的静压分布的变异性较大,气流在粮堆内处于开展组织阶段,还未分布均匀,但是从图7可以看出,北1截面的静压基本在-200Pa上下波动。其余4个截面的静压数据如图7所示,其变异系数也较少,说明静压分布均匀。因为粮堆内部的气流主要依靠气压差进行分布,所有横向通风系统粮堆内气流分布比较均匀。

### 2.2 21 m 跨度小麦仓横向通风系统降温试验

从2014年12月1日到12月5日,本试验仓开展了横向通风系统降温试验,降温数据如图8所示。

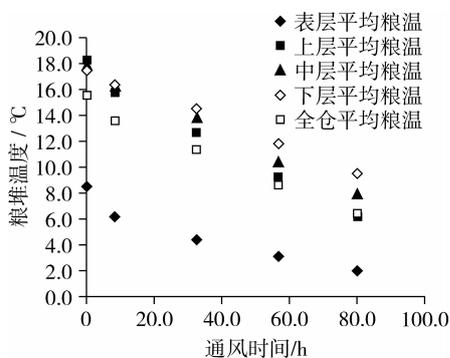


图8 21 m 跨度小麦平方仓横向通风降温数据图

如图8所示,经过80h的降温通风,实验仓粮仓平均温度从15.5℃降低到了6.4℃。

### 2.3 21 m 跨度小麦仓横向通风系统通风工艺

横向通风系统中主风道、竖向支风道和通风口固定于平房仓檐墙两侧,风道布置方案如1.2所示。仓房内粮堆表面薄膜密闭,通风作业时,风机安装在仓房一侧(阳面)檐墙通风口,采用吸出式通风方式,使密闭粮堆内部处于负压状态,牵引气流从仓房对侧(阴面)通风口进入通风道,并横向水平穿过粮堆,从而对粮堆进行冷却降温、均温均湿等各类横向通风作业。

通过对21m跨度的小麦实仓的通风阻力测试(2.1部分)和实仓降温试验(2.2部分)可以看出,竖直风道、粮面覆膜、负压吸出式通风工艺,可以使气流水平均匀通过粮堆,并实现粮堆内部湿热有效交换,达到冷却降温、均温均湿的通风目的。

### 3 结论

横向通风系统设计方案和降温通风工艺应用于21m跨度小麦高大平房仓是可行的。

21m跨度小麦高大平房仓横向通风的系统设施阻力为系统总阻力的15.8%~30.15%,设施阻力占比较大。横向通风管网设计时,可增加通风口面积、主风道横截面面积和支风道开孔率能够降低横向通风系统的设施阻力。

21m跨度小麦高大平房仓横向通风系统中系统总阻力和单位粮层阻力随着单位通风量增大而增加,在实际降温通风作业过程中,单位通风量选取应不大于7m<sup>3</sup>/h·t。

横向通风系统在21m跨度小麦高大平房仓中应用,在相同的单位通风量下,横向通风粮堆内部单位面积通风量是竖向通风的3.62倍左右。因此选取较小的单位通风量,在粮堆内部即可实现在通风降温过程中湿热交换所需的有效风量。

21m跨度小麦高大平房仓横向通风系统中,通风途径比小,通风过程中粮堆内静压分布均匀,粮堆内气流分布比较均匀。

### 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, 2011:269-273.

[2] 国家粮食局人事司. 粮油保管员[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2008:325-333.

[3] 曹阳,魏雷,赵小津,等. 粮仓横向通风方法及其系统[P]. 中国专利号:200910085093,2009.

[4] 王平,周焰,曹阳,等. 平房仓横向通风降温技术研究[J]. 粮油仓储科技通讯,2011(2):19-23.

[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.