

玉米横向和竖向通风粮层阻力对比研究

赵会义,尹君,魏雷,曹阳

(国家粮食局科学研究院,北京 100037)

摘要:为掌握粮堆在横向通风和竖向通风不同工况下的粮层阻力变化规律和计算方法,以180 t方仓为试验仓,以玉米为试验研究对象。在试验仓中先后设计安装了横向和竖向通风系统,测试并比较分析了不同通风方式玉米粮堆的粮层阻力。研究表明:横向通风玉米粮层阻力比竖向通风低1倍左右,揭示出玉米粮堆具有明显的各向异性;首次得到了横向通风粮堆的各项阻力试验公式,并得到了竖向通风粮堆的各项阻力试验公式,发现玉米粮堆的阻力特征完全符合多孔介质的力学规律,既可采用多孔介质的Hunter二项式公式准确计算粮层阻力,也可采用Shedd幂函数公式近似计算粮层阻力。

关键词:横向通风;竖向通风;粮层阻力;玉米

中图分类号:TS 205 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)S-0043-04

Comparative study on grain resistance between transverse and vertical ventilation in bulk corn

ZHAO Hui-yi, YIN Jun, WEI Lei, CAO Yang

(Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: The variation and calculation method of grain resistance under different conditions of transverse and vertical ventilation was researched with the square-bin stored 180t corn as test-bin. The transverse and vertical ventilation equipment was designed and installed in the test-bin respectively. The grain resistance was got under different ventilation modes by experiments. The results showed that the unit grain resistance of transverse ventilation was 1 time lower than that of vertical ventilation and the anisotropy in stored corn was significant. The formula of grain resistance under the transverse ventilation was firstly obtained by experiments. Likewise, one under the vertical ventilation was also got. The formulas indicated that the character of stored corn resistance was accord with the mechanics laws of porous media. Thus the grain resistance was calculated either accurately by Hunter binomial formula of porous media or approximately by Shedd power function formula.

Key words: transverse ventilation; vertical ventilation; grain resistance; corn

目前,竖向通风技术在确保粮食仓储安全方面发挥了巨大的作用^[1]。许多学者也已对竖向通风技术展开了深入研究,但就竖向通风方式粮层阻力测试研究甚少。张来林等^[2]测试了上行压入式竖向通风7个不同粮种的粮层阻力,并得出了相应的幂函数试验公式和拟合系数。杨进等^[3]测试了上行压入式竖向通风3个不同粮种不同高度的粮层阻力,得出粮层阻力与粮层高度线性关系的结论。杨英强等^[4]测试了上行压入式竖向通风3个不同粮

种的粮层阻力,得出对于"孔隙率趋于稳定的粮食在堆载较高时采用储粮机械通风技术规程^[5]所推荐的幂函数公式计算粮层阻力会引起较大偏差"的结论。李其弢等^[6]研究了三种不同的粮食颗粒在较低雷诺数气流竖向通风下的粮堆阻力特性。上述研究均是在小型试验模拟仓展开的上行压入式竖向通风试验研究,缺乏下行吸出式竖向通风试验研究。

粮堆横向通风是一种全新的储粮通风技术^[7-9]。它是利用直接安装并固定在平房仓内相对两侧墙壁上且高度低于装粮线的通风道,粮面实施薄膜密封,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,实现了粮堆的无需揭膜通风的一种新型储粮通风技术。但目前有关横向

收稿日期:2014-10-20

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

作者简介:赵会义,1974年出生,男,副研究员。

通讯作者:曹阳,1958年出生,男,研究员。

通风粮层阻力测试研究的文献鲜见报道。

为了对比分析竖向和横向通风方式的粮堆阻力特性,掌握不同通风方式粮层阻力的变化规律,本研究在粮食储运国家工程实验室的中试平台模拟仓中展开了玉米不同通风方式粮堆阻力的变化规律测试研究,为发展我国独有的储粮双向通风技术提供理论支撑。

1 材料与方

1.1 试验仓

采用国家粮食局科学研究所的粮食储运国家工程实验室中试平台,室内双层全钢结构、180 t 仓容的模拟方仓为试验仓。结构为长×宽×高=8.8 m×4.2 m×7.7 m,粮堆高度 6.0 m。

1.2 试验系统

1.2.1 竖向通风系统

试验仓仓底是桥式冲孔板,冲孔板下设有一夹层空间,与风道口连通,通风气流可以从该风道口流入或流出夹层空间,利用底部风道口与风机进口或出口连接,实现竖向通风(见图1)。

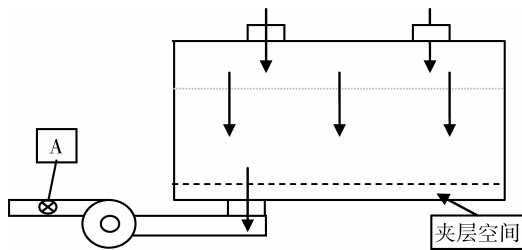


图1 竖向通风系统示意图

1.2.2 横向通风系统

试验仓东侧安装了一组3根垂直支风道与一根水平的主风道相连通的通风装置,其主风道的进风口位于仓底部;西侧墙也安装了一组4根水平垂直支风道与一根水平的主风道相连通的通风装置,其主风道的进风口位于仓顶部。主风道均不开孔,而每条支风道冲有桥式孔且开孔率为30%,以使支风道内的气流均匀通入粮堆(见图2)。

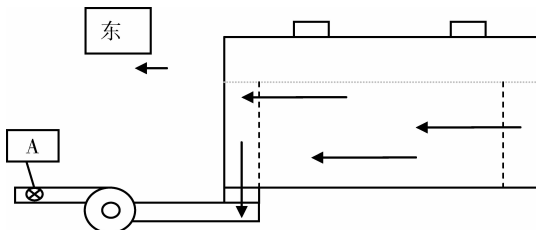


图2 横向通风系统示意图

1.2.3 通风设备

Y160M2-2 变频调速风机:河南未来机电有限公司生产。其额定风量 16000 m³/h,额定风压 2940 Pa,额定功率 15 kW。风机进出口与内径为 0.48 m 的管相连。

1.3 供试粮食

以玉米为试验用粮,其数据见表1。

表1 供试粮食的基本情况

品种	数量 /t	容重 /(kg/m ³)	水分 /%	平均粮温/°C	杂质 /%	脂肪酸值 /(mgKOH/100g)
玉米	170	723	13.3	11.4	0.9	36.8

1.4 试验方法

1.4.1 测点布置

1.4.1.1 总风量和总阻力测试点

风管水平段 A 处(见图1和图2)沿水平和垂直方向各开1个测孔,在该截面采用等面积分环法共设14个测点,测量各点的风速、全压和静压,可得到总风量和总阻力。

1.4.1.2 不同通风方式粮堆测点布置

(1) 竖向通风粮堆测点布置

在粮堆高度分别为 1.0 m 和 4.0 m 水平截面上安装两层毕托管,每层 4 行 9 列共 36 个测点,两层共 72 个测点(见图3)。

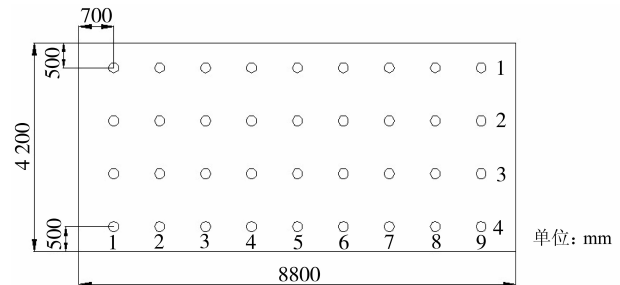


图3 竖向通风粮堆高度分别为1.0m和4.0m毕托管安装示意图

(2) 横向通风粮堆测点布置

粮堆水平面共布置东侧1列5行(Ad、Bd、Cd、Dd、Ed)×5层(Ad1~Ad5、Bd1~Bd5、Cd1~Cd5、Dd1~Dd5、Ed1~Ed5)共25个测点,西侧1列5行(Ax、Bx、Cx、Dx、Ex)×5层(Ax1~Ax5、Bx1~Bx5、Cx1~Cx5、Dx1~Dx5、Ex1~Ex5)共25个测点(见图4),各测点埋入固定式毕托管。垂直方向分布5层,从底部到顶部依次为1层~5层,第1层距底部0.4m,其余4层间距均为1.2m,共计50个测点。

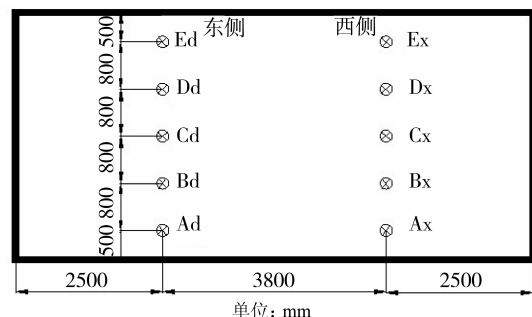


图4 横向通风粮堆测点平面布置示意图

(3) 竖向通风方式粮堆底部和粮堆表面测点布置
 分别在距离粮堆底部和表面 0.5 m 处布置 5 个测点, 共计 10 个测点(见图 5)。

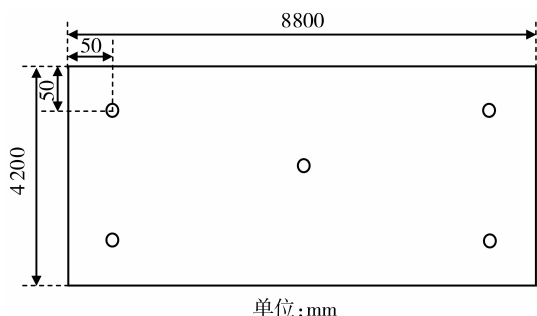


图 5 竖向通风粮堆底部和表面测点布置示意图

1.4.2 测试方法与计算

1.4.2.1 不同方式通风测试

开启风机, 使环境空气进入仓内粮堆, 再排出。其中, 环境空气经风机压入仓底通风口并垂直向上穿过粮堆从顶部排出, 则称为上行压入式竖向通风; 环境空气从仓顶通风口吸入并垂直向下穿过粮堆从底部风道排出, 则称为下行吸出式竖向通风; 环境空气从模拟仓的西侧内壁主风道吸入并横向穿过粮堆从东侧内壁风道排出, 则称为横向通风。且横向通风前, 粮面覆膜后进行气密性检测, 半衰期(从 -300 Pa 到 -150 Pa) 达到了 180 s。

调换变频调速风机的频率, 每个工况下待风机运行稳定后, 测量系统总风量和粮层阻力。

1.4.2.2 总风量的计算

利用分环法, 测定风机出口 A 截面各点的风速, 可得该截面的风速平均值:

$$A \text{ 截面平均风速 } V = \frac{v_1 + v_2 \cdots + v_n}{n} \quad (1)$$

$$A \text{ 截面平均风量(系统总风量) } Q = 3600 \times V \times S \quad (2)$$

式中: v_i —所测截面上各测点的风速 ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), m/s;

V —所测截面平均风速, m/s;

S —测试截面的流通面积, m^2 ;

Q —所测截面的平均风量, 即系统总风量, m^3/h 。

1.4.2.3 不同通风方式的粮层阻力计算

(1) 竖向通风的粮层阻力计算

测定粮堆距底部 1 m 和 4 m 两截面各点的平均静压 Z_1 和 Z_4 , 可计算得到参数为:

$$Z_m = |Z_4 - Z_1|/3 \quad (3)$$

式中: Z_m —单位粮层阻力, Pa/m。

(2) 横向通风的粮层阻力计算

测定粮堆内东侧和西侧两截面各点静压值 P_i , 可得到平均静压 P :

$$P = \frac{P_1 + P_2 \cdots + P_n}{n} \quad (4)$$

式中: P_i —所测截面各点的静压值 ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), Pa;

P —所测截面上平均静压值, Pa;

$$\text{则: } Z_a = |P_d - P_x|/l \quad (5)$$

式中: Z_a —单位粮层阻力, Pa/m;

P_d, P_x —粮堆内东侧、西侧两截面平均静压值, Pa;

l —两截面间距离, m。

2 结果与分析

2.1 吸出与压入式竖向通风玉米粮堆表观风速与粮层阻力的关系

由表 2 可得, 吸出式竖向通风方式, 粮堆内表观风速由 0.0049 m/s 增加到 0.0895 m/s, 相应的单位通风量由 3.8 $m^3/h \cdot t$ 增加到 70 $m^3/h \cdot t$, 单位粮层阻力由 4.0 Pa/m 增加到 85.0 Pa/m。说明表观风速(单位通风量)增大时, 单位粮层阻力也相应地增加, 两者呈正相关。

由表 3 可得, 压入式竖向通风方式, 粮堆内表观风速由 0.0045 m/s 增加到 0.0919 m/s, 相应的单位通风量由 3.5 $m^3/h \cdot t$ 增加到 71.9 $m^3/h \cdot t$, 玉米单位粮层阻力由 3.8 Pa/m 增加到 81.0 Pa/m。说明压入式竖向通风时, 单位粮层阻力随粮堆表观风速(单位通风量)增加而增加, 两者呈正相关。

表 2 吸出式竖向通风玉米粮层阻力测定

频率 /Hz	风机风量 /(m^3/h)	粮堆表观风速 /(m/s)	单位通风量 /($m^3/h \cdot t$)	Z_4/Pa	Z_1/Pa	$Z_m/(Pa/m)$
50	11902	0.0895	70.0	-306	-561	85.0
40	9342	0.0702	55.0	-212	-390	59.3
30	6638	0.0499	39.0	-136	-249	37.7
20	4421	0.0332	26.0	-73	-135	20.7
10	1767	0.0133	10.4	-24	-46	7.3
5	651	0.0049	3.8	-1	-13	4.0

表 3 压入式竖向通风玉米粮层阻力测定

频率 /Hz	风机风量 /(m^3/h)	粮堆表观风速 /(m/s)	单位通风量 /($m^3/h \cdot t$)	Z_4/Pa	Z_1/Pa	$Z_m/(Pa/m)$
50	12225	0.0919	71.9	290	533	81.0
40	9713	0.0730	57.1	209	381	57.3
30	7117	0.0535	41.9	133	206	24.3
20	4340	0.0326	25.5	72	131	19.7
10	1741	0.0131	10.2	25	45	6.7
5	600	0.0045	3.5	0.5	12	3.8

2.2 横向通风时预埋粮堆表观风速与粮层阻力的关系

由表 4 和图 6 可知, 玉米横向通风单位粮层阻力与粮堆表观风速的关系在试验测试范围内基本呈线性关系。试验所得公式既可以用 Shedd 的幂函数

模型1 ($R^2=0.9982$)描述,也可以用 Hunter 的二项式模型2 ($R^2=0.9992$)表述,且二项式模型精度稍优于幂函数模型。

幂函数公式: $H_{\text{玉米横向}}/L = 528 \cdot u^{1.0322}$
 ($R^2 = 0.9982$) (6)

二项式公式: $H_{\text{玉米横向}}/L = -1.648 + 561.78u - 954.15u^2$ ($R^2 = 0.9992$) (7)

为了便于工程应用,采用幂函数公式以及忽略掉常数项的标准二项式公式:

幂函数公式: $H_{\text{玉米横向}}/L = 9.81 \times au^b$ (8)

式中: $a = 53.82, b = 1.0322$

二项式公式: $H_{\text{玉米横向}}/L = 9.81 \times (au + bu^2)$ (9)

式中: $a = 57.27, b = -97.26$ 。

其中: $H_{\text{玉米横向}}$ —玉米横向通风时粮层阻力, Pa;

L —气流穿过的粮层厚度, m;

u —横向通风时粮堆表观风速, m/s;

a, b —拟合系数。

表4 横向通风玉米粮层阻力测定

频率 /Hz	风机风量 /(m^3/h)	粮堆表观风速 /(m/s)	单位通风量 /($m^3/h \cdot t$)	P_x /Pa	P_d/P_a	l/m	Z_a /(Pa/m)
50	5482	0.060	32.2	-751	-861	3.8	29
40	4572	0.050	26.9	-493	-584	3.8	24
30	3178	0.035	18.7	-274	-339	3.8	17
20	1921	0.021	11.3	-118	-155	3.8	10

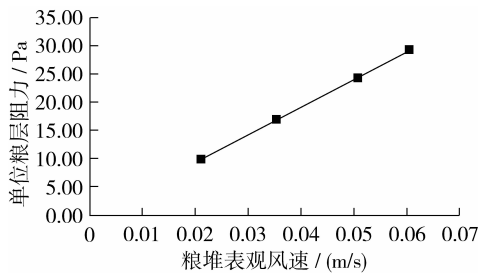


图6 玉米横向通风单位粮层阻力与粮堆表观风速的关系

2.3 不同通风方式玉米粮层阻力对比

由表5可见,横向通风内部粮层阻力幂函数公式的拟合系数 a 和 b 小于垂直通风,图7是根据表5中幂函数做出的不同通风方向内部粮层阻力比较曲线,可见横向通风粮层阻力最小,比竖向通风小近1倍,下行吸出竖向式通风的粮层阻力略大于上行压入式通风的粮层阻力,但二者非常接近。

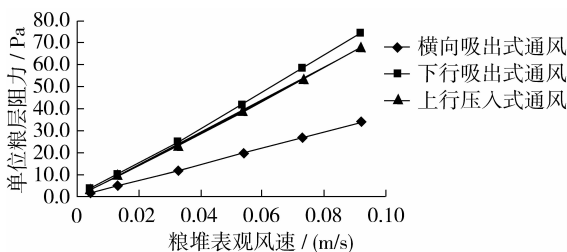


图7 不同通风方式粮层阻力的对比

表5 玉米粮堆不同通风方式粮层阻力试验公式及拟合系数

通风方式	幂函数			二项式		
	$H = 9.81au^b$			$H = 9.81 \times (au + bu^2)$		
	a	b	R^2	a	b	R^2
横向吸出式	53.82	1.0322	0.9982	57.27	-97.26	0.9992
下行吸出竖向式	97.5	1.0712	0.9757	43.09	588.2	0.9995
上行压入竖向式	82.4	1.0372	0.9706	40.23	523.5	0.9997

2.4 玉米粮堆各向异性的特性

试验表明横向通风时粮层阻力远小于竖向通风,由此可见玉米籽粒所构成是一种多孔介质粮堆,此粮堆呈现出各向异性的特性。因此在研究粮堆的流体力学和传热传质问题时,应充分考虑粮堆的各向异性。

3 结论

(1)玉米粮堆下行吸出式竖向通风时粮层阻力略大于上行压入式竖向通风时的粮层阻力,但二者非常接近,对实际应用中无显著影响。

(2)玉米粮堆横向通风时粮层阻力最小,比竖向通风小近1倍。由此可得出粮堆具有各向异性的特性,实际应用中,玉米横向通风比竖向通风具有明显的节能潜力。

(3)通过试验首次得到了玉米横向通风粮层阻力的计算公式,该公式与描述多孔介质的动量方程 Hunter(1983)二项式公式完全吻合,也与 Shedd 幂函数公式相吻合。且与竖向通风的粮堆阻力计算公式表达形式相同,对储粮工艺通风系统的设计具有重要的参考意义。

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.
 [2] 张来林,赵思孟. 机械通风粮层阻力测定[J]. 粮食储藏,1993,(5):6-10.
 [3] 杨进,杨国锋,黄祖申. 粮层深度与粮层阻力关系的试验分析[J]. 中国粮油学报,2001,16(2):47-49.
 [4] 杨英强,俞忠. 粮食物性和粮层阻力试验研究[J]. 试验室研究与探索,2008,27(8):32-34.
 [5] LS/T 1202-2002 储粮机械通风技术规程[S]. 北京,中国标准局,2002.
 [6] 李其波,胡天群,俞忠,等. 颗粒物(粮食)的通风阻力试验研究[J]. 水动力学研究与进展,2006,21(4):473-478.
 [7] 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.
 [8] 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.
 [9] 沈波,黄志军,金建德,等. 平房仓创新通风技术方式探析[J]. 粮油仓储科技通讯,2014,30(3):51-53.