

# 横向谷冷通风技术在平房仓小麦储藏中的应用

于素平<sup>1</sup>,赵会义<sup>2</sup>,马显庆<sup>1</sup>,石天玉<sup>2</sup>,

祝祥坤<sup>2</sup>,魏雷<sup>2</sup>,曹阳<sup>2</sup>,李勇<sup>3</sup>

(1. 北京东方孚德技术发展中心,北京 100037;2. 国家粮食局科学研究院,北京 100037;

3. 河南未来机电工程有限公司,河南 郑州 450001)

**摘要:**研究横向谷冷通风技术在平房仓小麦储藏中的应用。实验结果表明:平房仓采用横向谷冷通风技术后,通风路径较传统通风系统增加3倍以上,热交换效率明显提高,冷风量基本不浪费,且谷冷通风降温耗能低,降温后粮堆温度均匀性好。粮堆高度方向粮温基本一致,沿谷冷通风的气流前进方向温度梯度差平均不大于0.5℃/m。在平房仓小麦储藏中应用横向谷冷通风技术可实现与传统竖向谷冷通风相同的降温效果,而且其冷却效率和降温均匀性更好。

**关键词:**横向谷冷通风;小麦仓降温实验;温度均匀性

**中图分类号:**TU 267<sup>+</sup>.1;S 512.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)S-0056-05

## Application of the technology of transverse ventilation for cooling grain in wheat warehouse

YU Su - ping<sup>1</sup>, ZHAO Hui - yi<sup>2</sup>, MA Xian - qing<sup>1</sup>, SHI Tian - yu<sup>2</sup>,

ZHU Xiang - kun<sup>2</sup>, WEI Lei<sup>2</sup>, CAO Yang<sup>2</sup>, LI Yong<sup>3</sup>

(1. Beijing Orient Food Technology & Development Center, Beijing 100037;

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

3. Henan Weilai Mechanical Electric Engineering Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450001)

**Abstract:** The application of the technology of transverse ventilation for cooling wheat in warehouse was studied. The result showed that the ventilation path of transverse ventilation was more than treble that of tradition ventilation; heat exchange efficiency was significantly improved; the amount of cold air was not wasted; the energy consumption was decreased; the temperature uniformity inside of the heap was much better. The temperature in the height direction of wheat pile was consistent. The average difference of temperature gradient along the cool air direction was less than 0.5℃/m. The application effect of transverse ventilation technology for cooling grain in the warehouse was similar to the traditional vertical cooling ventilation, and the cooling efficiency was higher and the temperature uniformity was much better.

**Key words:** transverse ventilation for cooling grain; wheat warehouse cooling experiment; temperature uniformity

谷物冷却技术从20世纪90年代引入我国,并在90年代末国产化以来推广很快,目前粮食行业保有的谷物冷却机已经达到1000多台。<sup>[1]</sup>该技术已成为高温高湿地区必要的储粮手段,在我国南

方高温高湿地区谷物冷却技术对安全、绿色储粮和粮食的保质保鲜等起到了重要作用。横向谷冷通风是采用负压分体式谷物冷却机(以下简称分体式谷冷机),将一定温湿度的冷空气吸入粮堆,以降低粮温的专用冷却技术,主要应用于安装有横向通风系统的储粮平房仓对粮堆进行冷却降温。

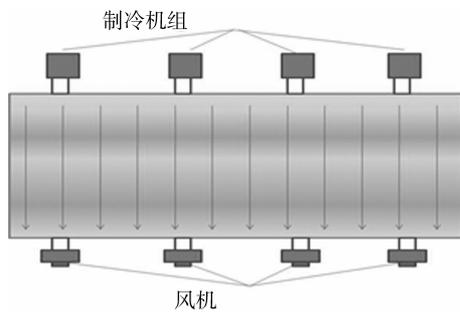
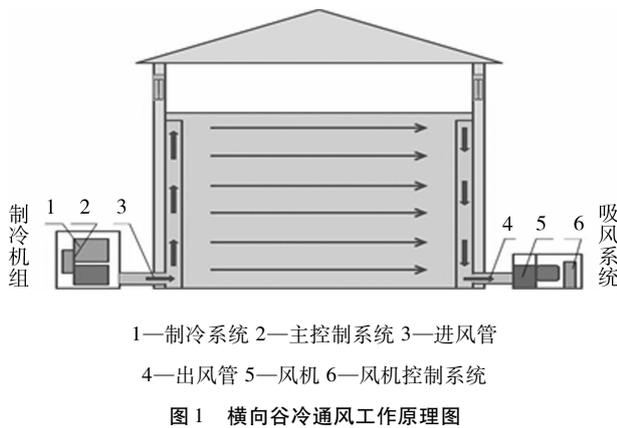
收稿日期:2015-02-06

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:于素平,1965年出生,女,教授级高工。

通讯作者:赵会义,1974年出生,男,博士,副研究员。

平房仓横向谷冷通风的工作原理是将分体式谷冷机的制冷机组与吸风系统分置在仓房两侧,分别连接仓房两侧对应的通风口,在制冷机组上设定进仓冷风的温湿度,吸风系统将经制冷机组产生的恒温恒湿空气通过横向通风管道吸入并横向穿过粮堆,与粮堆进行热交换,达到降低粮温的目的。作业时,粮面用塑料薄膜密封,粮堆始终处于负压状态。应用横向谷冷通风技术可以克服竖向谷冷通风在高大平房仓通风时通风路径短、能效利用率低的问题,减少通风过程的冷量损失,提高降温效率,减少耗能,在高大平房仓储粮方面的应用效果明显。横向谷冷通风工作原理和设备安装见图1~图2。



## 1 材料与方法

### 1.1 实验条件

#### 1.1.1 实验仓房

河北清苑国家粮食储备库9#仓房(平房仓),仓房跨度为21 m,长度为60 m,堆粮高度为5.8 m,安装有横向通风系统。覆膜密闭粮堆的气密性为:负压从-500 Pa上升到-250 Pa的时间为51.7 s。

#### 1.1.2 储粮情况

储粮品种为小麦,储粮总重5 700 t,水分为

12.2%,杂质含量为0.3%。

### 1.2 实验设备

#### 1.2.1 谷物冷却机

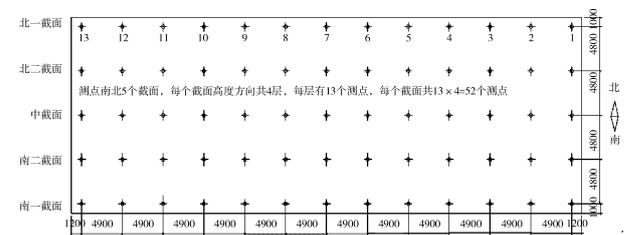
GLA85型分体谷物冷却机1台、GL60单机型谷物冷却机2台。设备的性能参数见表1。

表1 谷物冷却机主要性能参数

| 项目                        | 性能参数  |         |
|---------------------------|-------|---------|
|                           | GLA85 | GL60    |
| 标准工况制冷量/kW                | 85    | 60      |
| 最大吸风量/(m <sup>3</sup> /h) | 5 500 | 3 550   |
| 总配备功率/kW                  | 49.5  | 15      |
| 远程控制系统                    | 有     | 无       |
| 温/湿度控制系统                  | 有     | 温度有,湿度无 |

#### 1.2.2 测温系统

粮情检测系统一套。其测温点的布置符合《粮情测控系统》(LS/T 1200—2002)的要求,沿粮堆长度从东到西方向每层设13个测点,仓跨度方向从南到北分5个截面,粮堆高度方向分4层,传感器水平间距为4.8 m。垂直间距为1.7 m,距离四周墙体1 m,表层和底层传感器分别距离粮面和地坪0.5 m。全仓共铺设65根电缆,每根电缆设有4个传感器。南北方向每个截面52个测点,全仓共260个测点。粮情检测温度测点布置俯视图如图3所示。



注:图中尺寸单位均为mm。

### 1.3 实验方法

按图4所示,在北侧中间通风口连接GLA85型谷物冷却机和相应风机系统,两侧和其它中间的通风口密闭。

开启GLA85型谷冷机和相应风机,开启主风道的阀门,进行分区冷却通风,在谷物冷却机端设置冷风出风温湿度,一般设置谷物冷却机出口温度比环境温度低10℃,出风湿度为85%,记录通风前后粮仓的温度,观察分区冷却通风实验效果。

打开东西两侧4个通风口,按图5所示,在粮仓

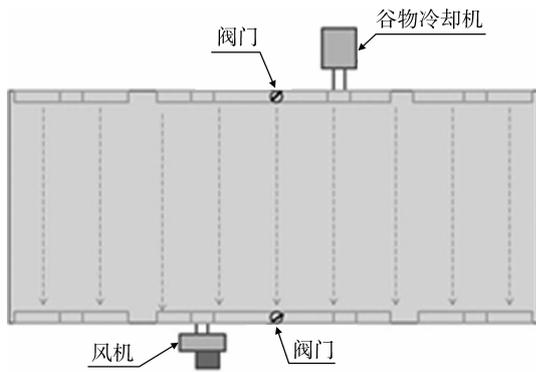


图4 分区冷却通风谷物冷却机的布置图

北侧东、西通风口各连接一台 GL60 型谷物冷却机和对应的风机, GLA85 型谷冷机和相应的风机位置不变, 进行全仓通风实验。3 台谷物冷却机端设置统一的冷风出风温度。

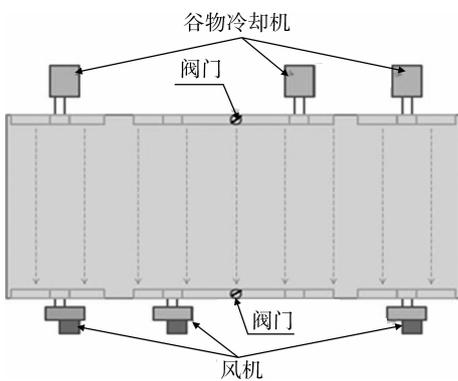


图5 全仓冷却通风谷物冷却机的布置图

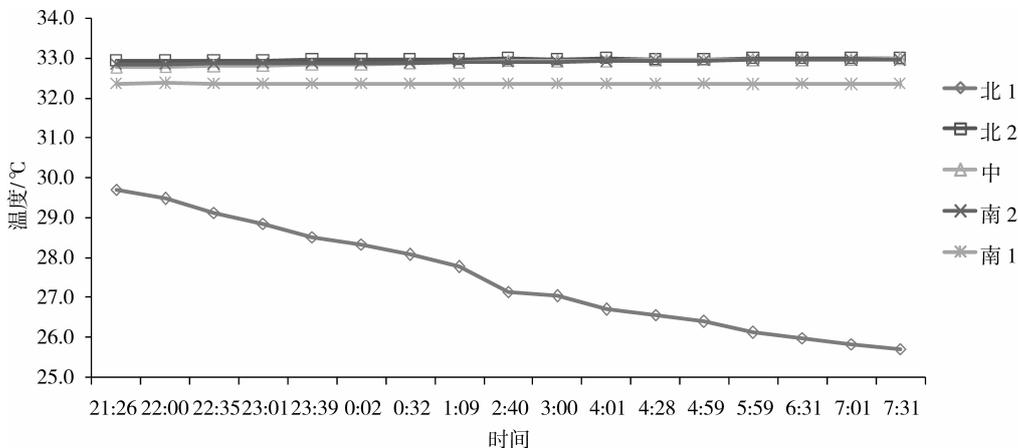


图6 分区冷却通风实验前后粮堆不同高度的平均温度

表2 降温起始北一截面通风区域各测点粮温 °C

| 粮层 | 测点4  | 测点5  | 测点6  | 测点7  | 测点8  | 测点9  | 测点10 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 34.0 | 27.3 | 33.3 | 28.0 | 32.0 | 28.5 | 32.8 |
| 2  | 27.8 | 24.0 | 31.3 | 24.3 | 30.0 | 24.5 | 28.8 |
| 3  | 28.3 | 24.5 | 33.8 | 24.8 | 29.8 | 24.8 | 32.3 |
| 4  | 28.5 | 26.5 | 31.8 | 22.8 | 27.5 | 24.8 | 31.8 |

表3 降温结束北一截面通风区域各测点粮温 °C

| 粮层 | 测点4  | 测点5  | 测点6  | 测点7  | 测点8  | 测点9  | 测点10 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 25.8 | 18.3 | 32.5 | 19.3 | 30.3 | 21.5 | 32.0 |
| 2  | 18.0 | 17.3 | 22.5 | 17.5 | 25.0 | 17.5 | 22.8 |
| 3  | 18.5 | 17.5 | 24.8 | 17.5 | 25.3 | 17.5 | 22.5 |
| 4  | 18.8 | 18.5 | 25.0 | 16.3 | 23.5 | 17.0 | 23.3 |

进行全负荷的谷冷通风实验, 每 1 h 观察整仓粮温变化, 记录各粮情检测点粮温。

每 30 min 检测进出粮仓冷风温、湿度, 当进仓冷风温度变化超过 2 °C 时, 及时调整单机型谷物冷却机风机的变频器频率, 使温度与设定值接近。稳定 15 min 后检测粮仓进出风管道流速和风压, 记录实验数据。

运行过程中, 开启粮情测控系统, 每 1 h 测定一次, 记录并计算水平和垂直侧面的平均温度及粮堆的平均温度。待冷风面移到南侧出口, 平均粮温达到目标温度后, 结束实验。

## 2 结果与分析

### 2.1 分区冷却通风实验结果

分区冷却通风自 2014 年 8 月 14 日 21:30 开始至 8 月 15 日早上 8 点结束, 共开机 10.5 h, 采用 GLA 85 型谷冷机在仓房中部进行了分区通风实验, 通风起始环境温度为 24 ~ 25 °C、相对湿度为 59% ~ 63%。设定制冷系统出风口温度 17 °C、出风口相对湿度 85%, 由于仓体有漏风, 实测该区域通风系统出风量为 13 432.33 m<sup>3</sup>/h, 进风量为 10 125.85 m<sup>3</sup>/h, 出风口静压 2 298 Pa, 谷冷机根据环境温湿度的变化, 远程控制风机的频率自动运行。分区冷却通风期间, 通风区域粮温的变化趋势见图 6, 通风开始和通风结束时, 北一截面通风区域各测点的温度见表 2 ~ 表 3。

分区谷冷通风实验结果表明：

(1)离进风口最近的北侧降温速度快,短时间内北侧区域粮堆第一截面中部测点4~10之间的均温由28.5℃降低到21.7℃,约降7℃。全仓的平均粮温从32.2℃降至31.4℃,降温0.8℃。

(2)在分区冷却区域内,沿主风道方向粮温下降基本一致,表明不对称的风道口进风不影响粮堆温度的均匀下降。

(3)受风道口的影响,接近支风道的位置温度低。

(4)实验前应检查粮仓,尽可能地排除仓房的局部漏风现象。

### 2.2 全仓冷却通风实验

冷却实验从2014年8月15日开始,于8月20日13点38分结束,总计125.5h。期间首先对GL60谷物冷却机在9#实验仓所用的风机进行了适用性实验,确定匹配的风机,然后开始全仓横向通风实验。期间由于设备维修等原因,有部分时段通风中断,实验中记录冷却降温的温度变化、电耗、通风

参数等。

实验期间的环境温度为20.8~32.5℃,湿度为40%~76%,粮堆平均温度为32.2℃,最高粮温37.3℃。实际全负荷工作时间约合72h。整体横向冷却通风的实验结果见表4。

表4 冷却通风各时段粮温变化情况

| 检测时间 | 2014/8/14 21:26 | 2014/8/15 8:06 | 2014/8/16 11:29 | 2014/8/17 14:07 | 2014/8/17 16:10 | 2014/8/20 13:30 |
|------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 仓高温  | 37.3            | 37.8           | 37.5            | 37.3            | 37.3            | 31.8            |
| 仓低温  | 22.8            | 16.3           | 22.5            | 19              | 19.3            | 15.0            |
| 仓平均  | 32.2            | 31.4           | 31.3            | 29.3            | 29.2            | 24.2            |

全仓谷冷通风降温结果表明:在环境温度为20.8~32.5℃、湿度为40%~76%的条件下,谷物冷却机满负荷全仓冷却通风约合72h期间,仓内粮堆温度从32.2℃降低到24.2℃,降温幅度为8℃。降温速度快,平均每3.4h冷风向前推进1m。图7是8月17日~8月20日期间粮堆各截面的温度变化趋势图。

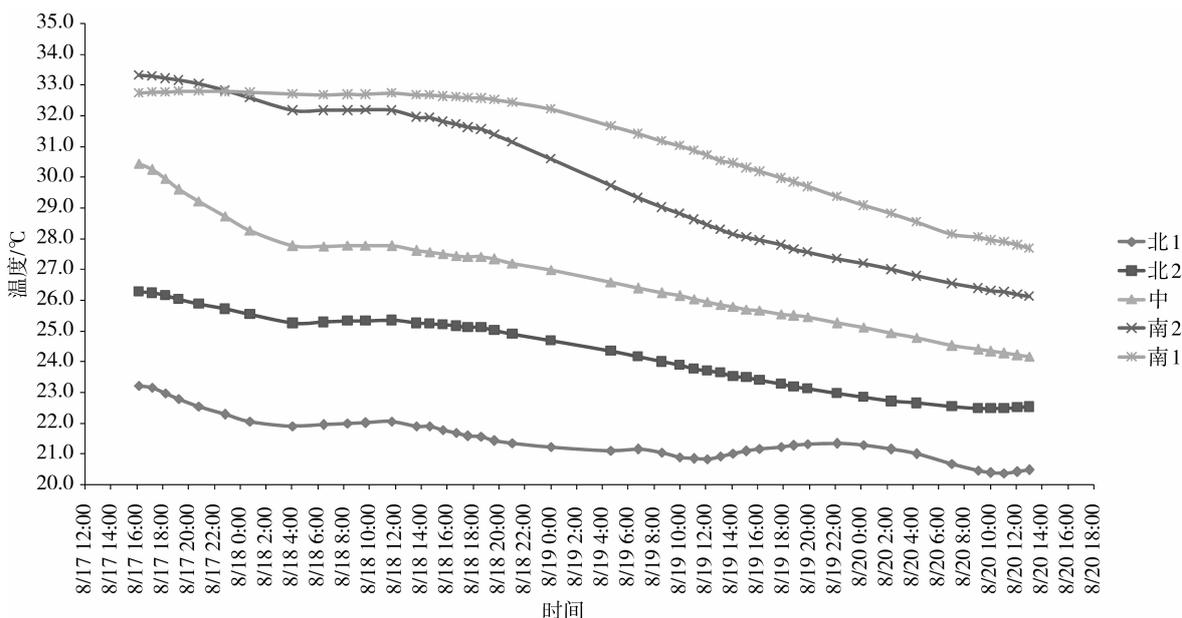


图7 全仓冷却通风过程各截面粮温变化趋势

### 2.3 仓内粮堆降温的均匀性分析

为了考核横向通风的粮堆内部各点的粮温是否均匀,通风降温过程中记录了冷风推进方向(粮堆宽度)各垂直截面冷却通风前后的粮食均温变化和粮堆高度方向各水平截面谷冷通风前后粮食均温变化,结果见表5~表6。

表5 粮堆宽度方向各垂直截面冷却通风开始和结束时粮食均温

| 状态 | 时间              | 北一截面 | 北二截面 | 中截面  | 南二截面 | 南一截面 |
|----|-----------------|------|------|------|------|------|
| 开始 | 2014/8/14 21:37 | 29.7 | 32.9 | 32.9 | 32.8 | 29.7 |
| 结束 | 2014/8/20 13:28 | 20.5 | 22.5 | 24.1 | 26.1 | 27.7 |

表6 粮堆高度方向各水平截面谷冷通风开始和结束时粮食均温  $^{\circ}\text{C}$

| 状态 | 时间              | 0.3 m<br>堆高 | 2.1 m<br>堆高 | 3.7 m<br>堆高 | 5.5 m<br>堆高 |
|----|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 开始 | 2014/8/14 21:37 | 31.5        | 32.9        | 32.9        | 31.1        |
| 结束 | 2014/8/20 13:28 | 23.4        | 22.9        | 22.9        | 27.6        |

实验结果表明:在粮堆宽度方向的垂直截面,冷风从进口粮堆的北一截面推进到冷风出口的南一截面,逐步推进降低粮温。在间距约为5 m的相邻两个截面之间的平均粮温变化不大于 $2^{\circ}\text{C}$ ,沿冷风推进方向单位粮层的粮食温度差不大于 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

在粮堆高度方向水平截面,自上到下的2~4层粮食均温基本一致,1层(顶层)粮温也有明显降低,较仓温约低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。1层(顶层)粮温与其它层粮温有一定的温差,其原因是由于测点布置比较接近于粮面,受到仓温的影响较大。如果采用仓内粮面覆盖或仓顶空间降温,冷却通风降温的效果会有明显改善。

#### 2.4 冷却通风降温能效分析

横向谷冷通风实验自8月14日晚开始到8月20日中午结束,总计136 h,期间断续通风折合谷物冷却机全负荷运行约72 h,实际能耗为6 355度,粮堆的降温幅度为 $8^{\circ}\text{C}$ 。

按照国家标准 GB/T 29374—2012《粮油储藏谷物冷却机应用技术规程》<sup>[2]</sup>,计算本次冷却通风的单位能耗:

$$E = W / [(T_1 - T_2) \times m] = 6\ 355 / (8 \times 5\ 700) = 0.14 \text{ kW} \cdot \text{h} / (\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

式中: $E$ 为冷却通风降温的单位能耗,单位为千瓦小时每吨摄氏度 $[\text{kW} \cdot \text{h} / (\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})]$ ;  $W$ 为冷却通风降温的累计耗电量,单位为千瓦小时 $(\text{kW} \cdot \text{h})$ ;

$T_1$ 为冷却通风前的平均粮温,单位为摄氏度 $(^{\circ}\text{C})$ ;  $T_2$ 为冷却通风后的平均粮温,单位为摄氏度 $(^{\circ}\text{C})$ ;  $m$ 为被冷却通风的粮食质量,单位为吨 $(\text{t})$ 。

横向谷冷通风降温能耗明显小于标准中限定的最大能耗指标 $0.5 \text{ kW} \cdot \text{h} / (\text{t} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

### 3 结论

河北清苑国家粮食储备库小麦仓横向通风的实仓实验验证结果表明,谷冷通风技术在具有横向通风系统的小麦粮仓中应用,可以实现降低粮温的目的,与传统谷物冷却通风技术相比,具有明显的降温效果,降温速度快,冷却效率高,降温的均匀性良好。在粮堆高度方向降温均匀一致,沿冷风推进方向粮堆温度差异平均不大于 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。通过多种通风方式实验,验证了横向谷冷通风作业,既可采用全仓冷却通风方式,也可以采用分区域冷却通风方式,均具有良好的通风效果。横向谷冷通风完全适用于21 m及以下高大平房仓储粮储存小麦应用。

由于横向通风是在负压状态下运行,通风作业状态与传统通风条件有较大不同,通风作业前应仔细检查仓体、仓门、粮面覆膜、风道口等的密闭情况,在有条件的情况下应尽可能提高仓内的气密性,作业时应注意检查粮堆的密闭性,以提高降温效率,降低储粮成本,使横向谷冷通风技术在保障粮食质量安全、降低储粮成本方面发挥更大作用。

#### 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] GB/T 29374-2012, 粮油储藏 谷物冷却机应用技术规程[S].

