

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.01.027

李倩倩, 杨冬平, 黄呈兵, 等. 高温高湿地区平房仓横向分区谷冷技术应用研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(1): 214-219.

LI Q Q, YANG D P, HUANG C B, et al. Application of transverse grain-cooling ventilation for warehouse by subregion in high temperature and humidity area[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(1): 214-219.

高温高湿地区平房仓横向分区 谷冷技术应用研究

李倩倩¹, 杨冬平², 黄呈兵³, 石天玉¹, 刘惠标³✉

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037;

2. 北京东方孚德技术发展中心, 北京 100037;

3. 福建省储备粮管理有限公司漳州直属库, 福建 漳州 363000)

摘要: 研究横向谷冷通风技术在高温高湿地区 24 m 大跨度平房仓的应用, 采用分区域冷却通风方式, 评价横向谷冷通风工艺的应用效果。结果表明: 在大跨度平房仓采用分区域横向谷冷通风技术, 降温速率快、通风均匀性好、保水效果显著和能耗低, 冷风推进方向粮堆之间的温度梯度差不大于 0.23 °C/m, 通风失水率 0.1%, 单位能耗 0.1 kw·h/(t·°C), 为 GB/T 29374—2012《粮油储藏 谷物冷却机应用技术规程》标准中限定的最大能耗指标 0.5 kw·h/(t·°C) 的 20%。

关键词: 稻谷; 横向谷冷通风; 大跨度平房仓; 分区谷冷; 通风均匀性

中图分类号: TS205.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2022)01-0214-06

Application of Transverse Grain-Cooling Ventilation for Warehouse by Subregion in High Temperature and Humidity Area

LI Qian-qian¹, YANG Dong-ping², HUANG Cheng-bing³, SHI Tian-yu¹, LIU Hui-biao³✉

(1. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037;

2. Beijing Orient Food Technology & Development Center, Beijing 100037;

3. Zhangzhou Depot, Fujian Grain Reserve Management Co. Ltd., Zhangzhou Fujian 363000)

Abstract: This paper studies transverse grain-cooling ventilation technology applied to 24m long-span warehouse in high temperature and humidity area. Application effect of transverse grain-cooling ventilation technology was evaluated by adopting district cooling ventilation mode. The results showed that the transverse grain-cooling ventilation by sub region in large-span warehouse had the advantages of faster cooling rate, better ventilation uniformity, remarkable water retention effect and lower consuming power. The temperature gradient along the cool air direction was less than 0.22 °C/m. The ventilation water loss rate was 0.1% and consuming power rate was 0.10 kw·h/(t·°C). The consuming power rate is only 20% of the maximum consuming power rate index of 0.5 kw·h/(t·°C) which is defined in the “Grain and oil storage—Technology regulation of application of grain chiller”, (GB/T 29374—2012).

收稿日期: 2021-05-11

基金项目: “十三五”国家重点研发项目(2016YFD0401605-2)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 13th five-year plan, China (No.2016YFD0401605-2)

作者简介: 李倩倩, 女, 1989 年出生, 研究实习员, 研究方向为粮食储藏。E-mail: lqq@ags.ac.cn.

通讯作者: 刘惠标, 男, 1968 年出生, 经济师, 研究方向为粮食储藏。E-mail: liuhb007@sina.com.

Key words: paddy; transverse grain-cooling ventilation; large-span warehouse; subarea grain-cooling; uniformity of ventilation

低温储粮作为我国粮食储藏的有效技术手段,可以减少粮食颗粒的呼吸作用,延缓品质劣变的速度,减少储粮害虫的活动并抑制其繁殖,减少熏蒸气体的用量,减缓粮食的脂肪酸值增加速度,防止粮粒发霉^[1]。我国常用的低温储粮技术包括隔热保冷、谷物冷却、空调制冷和内循环等技术^[2]。为了绿色生态储粮保鲜技术发展,实现我国低温储粮,谷冷通风工艺已成为必要储粮手段。谷物冷却技术是指采用谷冷机对空气进行冷却降温 and 调湿,并将恒温恒湿的空气吹入粮堆,对粮堆进行冷却降温的一项先进适用的控温和低温储藏技术^[3]。

随着横向通风储粮技术开发应用,横向负压谷冷通风技术也被同步开发应用,环境适应性强,尤其在南方高温高湿地区,均可以对粮堆进行快速冷却通风降温,基本不受环境气候条件的影响,可实现粮堆长期保持在低温或准低温状态。

横向谷冷通风技术是在配置有横向通风系统的平房仓,采用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,冷风通过横向通风管道被吸风系统吸入,横向穿过粮面覆膜下的粮堆进行热交换,达到降低粮温的目的^[4]。横向谷物冷却技术可以减少能量损失,提高降温效率,降低储粮成本。

目前横向谷物冷却技术已在部分仓房应用,但是适用于大跨度平房仓粮堆横向制冷通风工艺研究薄弱和设备缺少。本文采用了新研制的专用横向谷冷设备,对高温高湿地区 24 m 大跨度平房仓的储藏稻谷进行了应用研究,采用分区域谷冷通风方式,探讨横向谷冷通风技术的应用效果,为我国低温储粮技术提供应用基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验粮种优质晚粳稻:安徽徐州。实验粮种基本信息见表 1。

1.2 实验仪器与设备

1.2.1 实验仓房

福建省储备粮管理有限公司漳州直属库的 P3

表 1 实验粮种基本粮情表

Table 1 Basic situation of experimental grains

入库时间	数量/t	水分/%	杂质/%	出糙率/%	整精米率/%
2020.11	3 400	13.6	0.3	76.8	63.5

号仓,实验仓东西向,规格 42 m*24 m,设计仓容 4 600 t、堆粮线高 6 m,实际散装稻谷 3 400 t、粮堆高度 5.82 m,仓房气密性 93 s。安装有粮情检测系统和横向通风系统,仓墙为混砖结构,厚度 0.49 m,粮面用 PE 五层共挤复合尼龙薄膜双槽管单面密封。

1.2.2 通风系统

采用横向通风系统,南北檐墙每侧布置主风道和 14 条呈梳形对称固定的支风道,通风系统示意图见图 1。主风道规格 2 200*580*420 mm,横截面为直角梯形,位于檐墙内壁底部。支风道规格 1 000*400*260 mm,开有竖向条形孔,位于檐墙内壁。支风道底部距地面高 5.7 m,距离山墙 1 m,仓门中间的支风道间距 3.2 m,其余支风道间距 2.4 m,通风途径比 1 : 1.06。檐墙南北侧各设置有 4 个通风口,直径 500 mm。

1.2.3 通风设备

2 台 GLA 55f 分体式谷冷机,标准工况制冷量 55 kW,标准工况风量 3 500 m³/h,制冷系统功率 20 kW,风机功率 15 kW:北京东方孚德技术发展中心生产。

1.2.4 粮情检测系统

嘉华粮情检测系统,分 4 层,每层 60 个点,共 240 个测点,检测精度为±0.2 °C,参照 GB/T 26882.1—2011^[5]、GBT29890—2013^[6]布点,布点方式见图 2。具体情况如下:分四层、六个垂直截面,布点表层距粮面 0.5 m,下层距仓底 0.3 m,层层之间 1.67 m。粮堆水平截面四周的温度检测点距墙 1.0 m,其余各点等距离设置,每行间距 4.40 m,每列间距 4.44 m。

1.3 实验方法

检测粮面和仓门气密性,记录仓外及粮堆温度粮情数据、风机电表读数,并进行通风前粮情分析。在粮仓东侧两通风口分别连接 2 台分体式

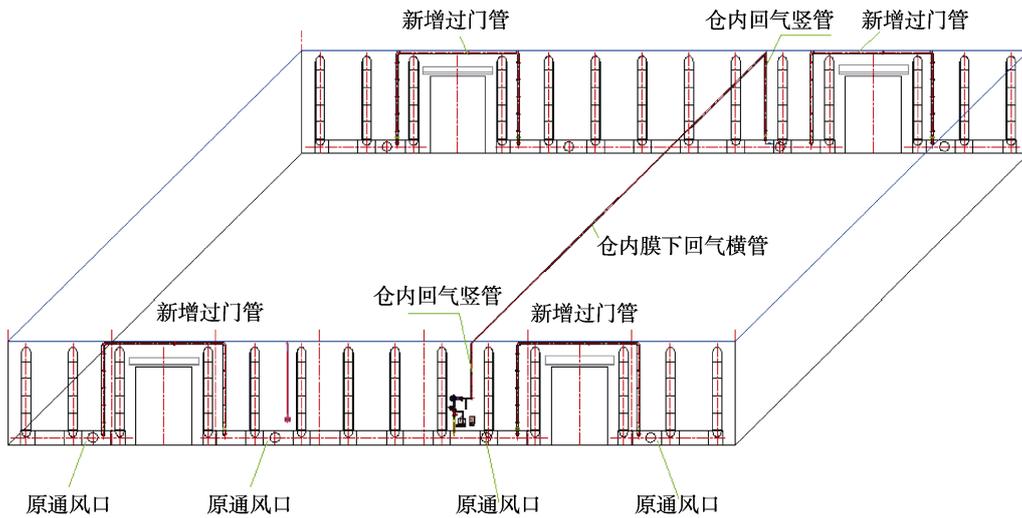


图 1 横向通风系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of transverse ventilation system

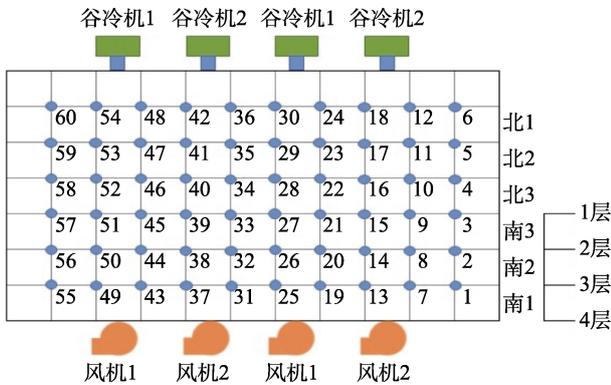


图 2 谷冷机和粮情测温系统检测点布置示意图

Fig. 2 Layout of detection points of grain cooler and grain condition temperature measurement system

谷冷机，对东侧粮堆进行通风。设置谷冷机出风湿度 85%。间隔 4 h 采集粮情数据，3 h 测试记录谷冷机进出风的温湿度等参数。当东侧区域粮堆的平均温度降到 15 °C 以下，冷却峰面已移出出风口，暂停冷却通风实验，记录电表读数。更换分体式谷冷机到仓房西侧两个通风口，重复上述步骤对西侧粮堆进行通风。通风前后分层取样，检测粮堆水分。

本次通风从 2020 年 12 月 16 日开始，期间检查粮面和仓门密封情况及环境温度过低等情况停机，其它时间保持通风，2020 年 12 月 23 日结束通风。谷冷机出风温度：谷冷通风前 40 h 设置为 14 °C、谷冷通风 41~51 h 设置为 11 °C、谷冷通风 52~85 h 设置为 10 °C。总计通风时长 85 h，总耗电量 3 068.5 kW·h。通风期间环境温度 13.3~23.7 °C，相对湿度 52.4%~95.5%。

1.4 数据分析

文章中数据采用 Microsoft Excel 软件进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 实验仓水平层及粮堆温度变化

通风前后整仓各水平层及粮堆温度如表 2 所示，通风期间整仓各水平层及粮堆温度变化情况如图 3 所示。本次谷冷通风，第一层温度平均降低 4.5 °C，第二层平均温度降低 9.9 °C，第三层温度平均降低 10.2 °C，第四层温度平均降低 10.9 °C，

表 2 通风前后整仓各水平截面及粮堆温度

Table 2 Temperature of each horizontal section and grain pile before and after ventilation °C

时间	1层粮面	2层粮面	3层粮面	4层粮面	粮堆平均
通风前	20.8	23.9	24.3	25.4	23.6
通风后	16.3	14.0	14.1	14.5	14.7

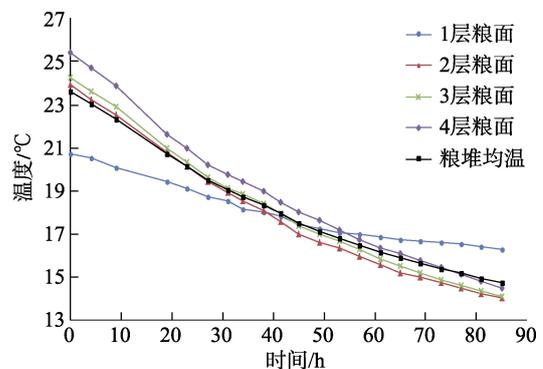


图 3 整仓各水平截面及粮堆温度变化图

Fig. 3 Temperature variation of each horizontal section and grain pile in the whole warehouse

全仓平均温度降低 8.9 °C。通风结束后水平截面之间的温度梯度差不大于 1.38 °C/m，符合 LS/T 1202—2002^[7]的规范要求。四层的粮温均随通风时间的增加而逐渐下降，1 层粮温降温速度较慢，2、3、4 层和整仓粮温降温速率变化基本一致。1 层粮温高于其他 3 层粮温，原因是 1 层粮面离粮堆表层较近，粮面只用塑料薄膜覆盖，没有采用其他保温隔热措施，受环境气候影响较大。

通风后东半仓和西半仓各水平层及粮堆温度如表 3 所示，通风期间东半仓各水平层及粮堆温度变化情况如图 4 所示，通风期间西半仓各水平层及粮堆温度变化情况如图 5 所示。本次谷冷是分区域进行通风，东半仓通风 51 h 后西半仓通风 34 h。从表 3、图 4 和图 5 分析可知，各层粮温及粮堆温度均随通风时间的延长而下降，通风前期 51 h 东半仓的降温速率 0.000 104 °C/(t·h)、西半仓的降温速率 0.000 050 °C/(t·h)，通风后期 34 h 东半仓的降温速率 0.000 017 °C/(t·h)、西半仓的降温速率 0.000 059 °C/(t·h)。通风前期东半仓粮温下降速率明显高于西半仓，通风后期东半仓粮温下降速率明显低于西半仓，这与谷冷机与仓房连接位置有直接关系。通风结束后，东半仓和西半仓的各水平截面和粮堆的温差并不大 0.5 °C，粮堆平均温度在 15 °C 以内，说明东西半仓水平层粮温相对均匀，分区域谷冷通风已达到降温目的。

表 3 通风后东半仓和西半仓各水平截面及粮堆温度
Table 3 Temperature of each horizontal section and grain pile in East and West silos after ventilation °C

位置	1 层粮面	2 层粮面	3 层粮面	4 层粮面	粮堆平均
东半仓	16.1	14.0	14.1	14.3	14.6
西半仓	16.5	14.1	14.1	14.8	14.9

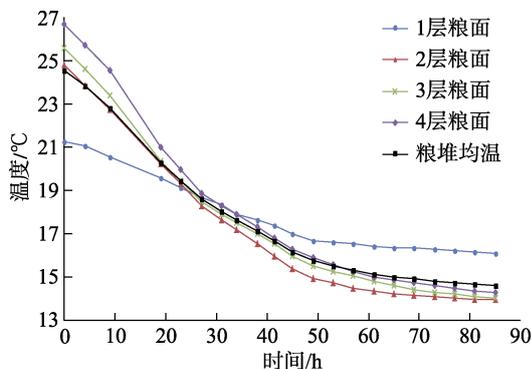


图 4 东半仓各水平截面及粮堆温度变化图
Fig. 4 Temperature change of each horizontal section and grain pile in east half warehouse

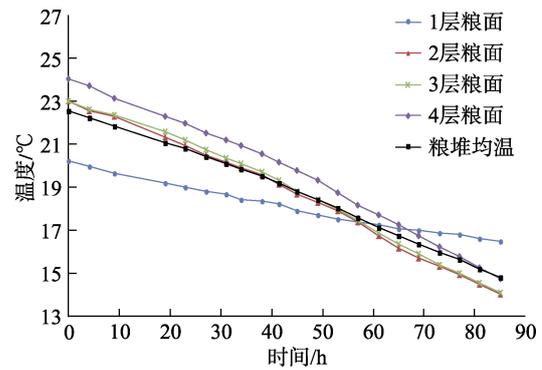


图 5 西半仓各水平截面及粮堆温度变化图
Fig. 5 Temperature change of each horizontal section and grain pile in west half warehouse

2.2 实验仓垂直面粮温变化

通风前后整仓各垂直截面粮温如表 4 所示，通风期间整仓各垂直截面粮温变化情况如图 6 所示。本次谷冷通风，冷风从北侧的谷冷机端向南侧的风机端逐渐推进。从表 4 和图 6 分析，各垂直截面的粮温均随通风时间的增加而逐渐下降，冷锋面从北向南逐渐推移，降温效果：北 1 截面 > 北 2 截面 > 北 3 截面 > 南 3 截面 > 南 2 截面 > 南 1 截面。北 1 截面温度平均降低 7.4 °C，北 2 截面温度平均降低 10.9 °C，北 3 截面温度平均降低 9.6 °C，南 3 截面温度平均降低 8.8 °C，南 2 截面温度平均降低 8.5 °C，南 1 截面温度平均降低 8.0 °C。通风目标温度设定(15±3) °C，当截面平均温度降到 18 °C 时，通风时间：北 1 截面 5 h、北 2 截面

表 4 通风前后整仓粮堆各垂直截面温度
Table 4 Temperature of each vertical section of whole grain pile before and after ventilation °C

时间	北 1 截面	北 2 截面	北 3 截面	南 3 截面	南 2 截面	南 1 截面
通风前	20.9	24.5	23.9	23.8	24.0	24.5
通风后	13.5	13.6	14.3	15.0	15.5	16.5

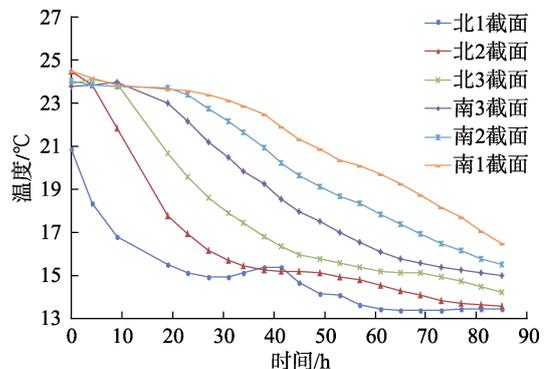


图 6 整仓粮堆各垂直截面及整仓平均温度变化图
Fig. 6 Vertical sections and average temperature variation of the whole warehouse

18.3 h、北 3 截面 30.5 h、南 3 截面 45 h、南 2 截面 60 h、南 1 截面 74.5 h。设定冷锋面的降温效果是 18 °C，冷锋面的迁移距离 L(m)与通风时间 T(h)的拟合方程为： $L = -0.000 5T^2 + 0.355 6T - 0.788 1$ ($R^2 = 0.999 7$)。通风后各垂直截面之间的温度梯度差不大于 0.23 °C/m，通风效果相对均匀。其中北 1 截面在通风 38~42 h 之间温度回升 0.2 °C，可能是受外界气温影响。

通风后东半仓和西半仓各垂直截面粮温如表 5 所示，通风期间东半仓各垂直截面粮温变化情况如图 7 所示，通风期间西半仓各垂直截面粮温变化情况如图 8 所示。从表 5、图 7 和图 8 分析可知，东半仓各垂直截面的降温速率高于西半仓各垂直截面的降温速率，冷锋面的推移方向均是

表 5 通风后东半仓和西半仓各垂直截面温度
Table 5 Temperature of each vertical section of East and West silos after ventilation °C

位置	北 1 截面	北 2 截面	北 3 截面	南 3 截面	南 2 截面	南 1 截面
东半仓	13.6	13.7	14.4	15.1	15.0	15.9
西半仓	13.3	13.5	14.1	14.9	16.0	17.2

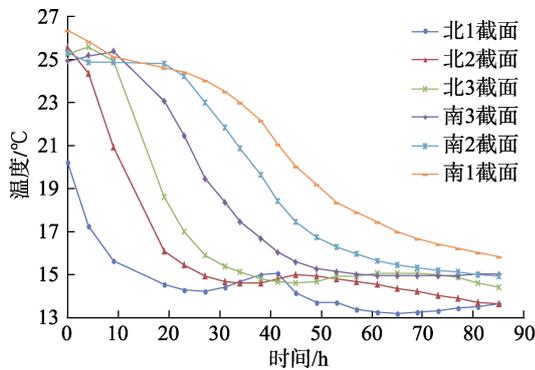


图 7 东半仓各垂直截面温度变化图
Fig. 7 Temperature variation of each vertical section in east half warehouse

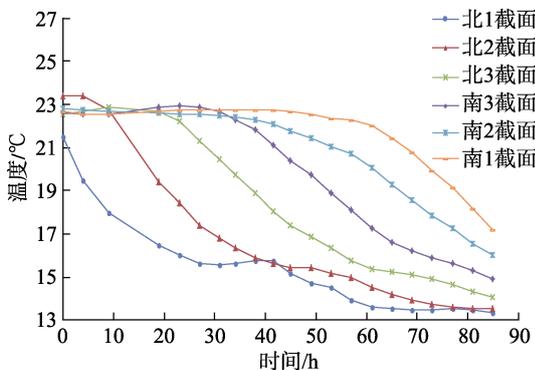


图 8 西半仓各垂直截面温度变化图
Fig. 8 Temperature variation of each vertical section in west half warehouse

由北向南推移。各垂直截面通风效果从北向南截面逐渐降低。通风结束后，东西半仓各截面温差 ≤ 1.3 °C，东半仓各截面温度梯度差最高为 0.20 °C/m，西半仓各截面温度梯度差最高为 0.26 °C/m，通风均匀性较好。

2.3 实验仓各监测点水分变化

水分取样布点按照距通风口处檐墙 2 m 及中间位置取点，每层取点 9 个；分上中下 3 层，上层距粮面 0.5 m，中层距粮面 2.9 m，下层距底层粮面 0.5 m；每点混样测水。通风前后的粮食水分数据如表 6 所示。

表 6 通风前后粮堆水分数据
Table 6 Moisture data of grain pile before and after ventilation %

取样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	均值	变异系数
通风前	13.3	13.6	13.8	13.3	14.0	14.1	13.3	13.5	13.9	13.6	2
通风后	13.5	13.3	13.8	13.5	13.8	13.8	13.5	13.5	13.2	13.5	2

从表 6 分析可知，通风前粮堆平均水分是 13.6%，通风后粮堆平均水分是 13.5%，通风后通风失水率为 0.1%，通风单位水耗为 0.011%/°C，通风失水速率为 0.001%/h，郭辉^[8]等竖向谷冷通风试验通风失水率不低于 0.16%，表明横向谷冷通风保水效果好。通风后整个粮堆水分的变异系数不大于 2%，说明粮堆水分非常均匀。

2.4 能耗评价

本次横向谷冷通风总计通风时长 85 h，总耗电量 3 068.5 kW·h。根据 GB/T 29374—2012^[9]规程公式，本次谷冷通风的单位能耗为 0.1 kW·h/(t·°C)，低于于素平^[10]、杨冬平^[11]、陈昌勇^[12]等横向整仓谷冷通风试验结果，仅为规程中限定的最大能耗指标 0.5 kW·h/(t·°C) 的 20%。通过对稻谷平房仓竖向谷冷通风研究，郭辉^[8]等试验结果表明谷冷通风能耗不低于 0.172 kW·h/(t·°C)，周又杰^[13]等试验结果表明谷冷通风能耗不低于 0.143 kW·h/(t·°C)，朱清峰^[14]等试验结果表明谷冷通风能耗不低于 1.790 kW·h/(t·°C)。通过以上对比，说明横向谷冷通风能耗低，新研制的横向通风专用谷冷设备的应用效果理想。

3 结论与讨论

通过本次横向谷冷通风，粮堆均温由 23.6 °C

下降到 14.7 °C, 下降幅度 8.9 °C, 冷风推进方向粮堆之间的温度梯度差不大于 0.23 °C/m, 通风失水率 0.1%, 单位能耗为 0.1 kw·h/(t·°C), 仅为规程中限定的最大能耗指标 0.5 kw·h/(t·°C)的 20%, 说明横向谷冷通风具有降温速率快、通风均匀性好、保水效果显著和能耗低等特点, 分区域横向谷冷通风工艺应用于 24 m 跨度稻谷高大平房仓是可行的。

横向谷冷通风是在负压状态下进行, 通风作业前应仔细检查风道、粮面和仓门密封情况, 保证仓房的气密性。通风期间粮面表层粮温较高, 建议通风初期粮面应采用保温隔热毯压盖或开启空调等措施。提高仓房的气密性和保温隔热效果, 可更好的保证降温效果、降低储粮成本, 使横向谷冷通风技术在绿色生态储粮发挥更大作用。

参考文献:

- [1] 韩越, 胡月英. 低温储粮技术的研究现状与思考[J]. 粮油仓储科技通讯, 2019, 35(6): 30-34.
HAN Y, HU Y Y. The research status and thinking of low temperature storage technology[J]. LIANGYOU CANGCHU KEJI TONGXUN, 2019, 35(6): 30-34.
- [2] 张兵, 刘博, 周涛, 等. 低温储粮关键技术研究现状及发展前景[J]. 食品工业, 2021, 42(1): 276-279.
ZHANG B, LIU B, ZHOU T, et al. Research and orientation of key technologies for low temperature grain storage[J]. The Food Industry, 2021, 42(1): 276-279.
- [3] 国家粮食储备局仓储司. 储粮新技术教程[M]. 北京: 中国商业出版社, 2001.
Storage Department of State Grain Reserve Bureau. New technology course of grain storage[M]. Beijing: China Business Press, 2001.
- [4] 李福君, 赵会义. 粮食储藏横向通风技术[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 128-149.
LI F J, ZHAO H Y. Transverse ventilation technology for grain storage[M]. Beijing: Science Press, 2016: 128-149.
- [5] 粮油储藏 粮情测控系统 第 1 部分: 通则: GB/T 26882.1—2011[S].
Grain and oil storage—Monitoring and control system of stored—
- grain condition—Part 1: General rule: GB/T 26882.1—2011[S].
- [6] 粮油储藏技术规范: GB/T 29890—2013[S].
Technical criterion for grain and oil-seeds storage: GB/T 29890—2013[S].
- [7] 储粮机械通风技术规程: LS/T 1202—2002[S].
Technical regulation of aeration for grain storage: LS/T 1202—2002[S].
- [8] 郭辉, 章坚, 邬俊, 等. 谷冷过程中早籼稻湿度平衡及通风均匀性研究[J]. 粮食储藏, 2020, 49(2): 23-29+39.
GUO H, ZHANG J, WU J, et al. Study on moisture balance and ventilation uniformity of early indica rice during grain cooling [J]. Grain Storage, 2020, 49(2): 23-29+39.
- [9] 粮油储藏 谷物冷却机应用技术规程: GB/T 29374—2012[S].
Grain and oil storage—Technology regulation of application of grain chiller: GB/T 29374—2012[S].
- [10] 于素平, 赵会义, 马显庆, 等. 横向谷冷通风技术在平房仓小麦储藏中的应用[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(S1): 56-60.
YU S P, ZHAO H Y, MA X Q, et al. Application of the technology of transverse ventilation for cooling grain in wheat warehouse[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015, 23(S1): 56-60.
- [11] 杨冬平, 于素平, 齐国忠, 等. 横向谷冷通风技术在大跨度平房仓稻谷储藏中的应用[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(3): 56-59.
YANG D P, YU S P, QI G Z, et al. Application of transverse grain-cooling ventilation technology in paddy storage in long-span warehouse[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(3): 56-59.
- [12] 陈昌勇, 莫韩御, 甘平洋, 等. 稻谷平房仓横向谷冷通风试验研究[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(5): 63-65.
CHEN C Y, MO H Y, GAN P Y, et al. Experimental study on horizontal grain cold ventilation in rice warehouse[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(5): 63-65.
- [13] 周又杰, 黄启迪. 南方冬季保水降温通风研究[J]. 粮油仓储科技通讯, 2020, 36(6): 11-13+16.
ZHOU Y J, HUANG Q D. Study on water retaining cooling ventilation in the southern winter[J]. LIANGYOU CANGCHU KEJI TONGXUN, 2020, 36(6): 11-13+16.
- [14] 朱清峰, 罗志宏, 童金喜, 等. 高大平房仓储粮技术应用浅谈[J]. 粮食加工, 2020, 45(4): 76-81.
ZHU Q F, LUO Z X, TONG J X, et al. Discussion on the application of grain storage technology in tall cottage[J]. Grain Processing, 2020, 45(4): 76-81. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。