

不同运行参数下平房仓粮堆表层控温系统的隔热性能试验

陈雁*, 王昱博, 丁永刚, 崔伟华

(河南工业大学土木工程学院, 河南郑州 450001)

摘要: 该研究以粮食平房仓为研究对象, 建立了粮堆控温试验系统, 进行了不同工况下的隔热试验, 研究在炎热气候下影响系统隔热效果的因素。结果表明: 粮堆由外界传入热量引起的温升集中在装粮线以下 10 cm 的表层粮堆, 粮堆表层控温系统可以有效减少外界突发高温对于表层粮温的影响, 最优工况下, 表层粮堆温度降低 1.67 °C。在送风温度、风速和层间高度诸因素中, 系统送风温度对粮堆表层温升影响较大, 而系统送风风速与层间高度影响较小。工程中可采取低风速、低风温的送风形式, 使吨粮单位成本降低至 5.6 元, 同时可减少能源消耗。由特征长度定义的努谢尔特数 ($Nu=hl/\lambda$) 表示了系统换热的强弱, 无量纲过余温度 θ 位于 0.4~1 时, Nu 随 θ 的增加而增加, 变化范围为 45~85。 Nu 受无量纲高度 H 影响不大, 当 H 位于 0.05~0.09 之间时, Nu 的变化范围仅为 82~89。试验期间送风温度 22 °C, 靠近系统上表面的仓内空气湿度与初始值相比下降 13%, 高于外界湿度 5%, 粮堆内部未发生结露情况。

关键词: 平房仓; 隔热改造; 控温系统; 相对湿度

文章编号: 1673-9078(2021)09-155-161

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.9.0010

Thermal Insulation Performance Test of the Temperature Control System above Grain Bulk in a Single-storey Warehouse under Different Operating Conditions

CHEN Yan*, WANG Yu-bo, DING Yong-gang, CUI Wei-hua

(College of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: A single-storey grain bulk warehouse was used as the research object, and a temperature control test system above the grain bulk was set up for a variety of thermal insulation experiments under different working conditions, to investigate the factors affecting the insulating effect of the system in hot climates. The results showed that the temperature rise of the grain bulk caused by external heat mainly occurred to the grains on the grain bulk surface 10 cm below the grain loading line. The surface temperature control system of grain bulk reduced effectively the impact of sudden high external temperature on the surface grain temperature. Under the optimal conditions, the surface temperature of the grain bulk was reduced by 1.67 °C. Among the influencing factors such as inlet air temperature, inlet air speed, and interlayer height, the inlet air temperature exhibited a greater impact on the surface temperature rise of grain bulk, compared with inlet air speed and interlayer height. In the actual projects, low air speed and temperature were used to decrease the unit cost to 5.6 yuan/ton grain while reducing energy consumption. The Nusselt number ($Nu=hl/\lambda$) Nu was used to define the heat transfer performance of the system, with the dimensionless temperature θ in the range of 0.4~1. Nu increased (between 45 and 85) with θ , but was not affected greatly by H (Nu in the range of 82~89 when H increased from 0.05 to 0.09). During the tests with an inlet air temperature of 22 °C, the air humidity close to the upper surface of the system inside the warehouse was reduced by 13% compared to the initial value, which was 5% higher than the humidity outside, with no condensation

引文格式:

陈雁,王昱博,丁永刚,等.不同运行参数下平房仓粮堆表层控温系统的隔热性能试验[J].现代食品科技,2021,37(9):155-161,+206

CHEN Yan, WANG Yu-bo, DING Yong-gang, et al. Thermal insulation performance test of the temperature control system above grain bulk in a single-storey warehouse under different operating conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 155-161, +206

收稿日期: 2021-01-05

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0401601); 河南省科技攻关项目 (212102310291)

作者简介: 陈雁 (1977-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 仓储建筑节能, E-mail: chenyan@haut.edu.cn

occurring in the grain bulk.

Key words: single-storey warehouse; improved insulation performance; temperature control system; relative humidity

储粮温度是影响粮食品质的一个重要指标，将粮食置于低温状态储藏，可以抑制虫霉生长、繁育，延缓粮食品质变化^[1]。仓房屋面是热量进入储粮仓房的主要途径，占围护结构总传热量的70%以上，屋面隔热改造是储粮仓房改造的重要措施^[2]。目前国内屋顶隔热改造的常见做法有水膜屋面、屋顶绿化和增设吊顶等^[3]。夏季环境中水的温度远低于空气的温度，水膜屋面利用水较大的比热容对室内空气隔热，水的蒸发也会使屋面维持在较低的温度，实验表明在水膜之上设置遮阳物，最高可以使室内温度低于环境温度10℃^[4-9]。屋顶绿化即在屋顶种植各种树木花卉，利用植物的遮蔽和蒸腾作用减少屋面上方热量的传入。绿化后的屋面夏季最高温度36℃，而相同条件下的传统屋顶最高温度可达54.5℃^[10-13]。室内屋面处的隔热措施通常有增设支撑结构和隔热板，减少自屋顶传入的热量，铝箔板吊顶的有效性经过了试验验证^[14,15]。粮食平房仓是我国现役粮仓的主要仓型，该类仓房设计建造较早，随着社会的发展，已不能满足节能储粮和“绿色储粮”的储粮需求。夏季随着外界气温的升高，平房仓的仓温、粮温也随之升高，从而危及粮食品质和储藏安全^[16]。粮仓建筑在气密性方面有特殊要求，上述屋顶隔热改造技术需要对仓顶进行施工，难以保证不对仓顶原有防水、气密性等产生破坏。平房仓仓顶的承重能力有限，不宜安装水膜、土壤层等过重的隔热装置^[17,18]。实践中，我国南方部分国家粮食储备库通过在粮堆表层铺设双膜冷气囊、包膜泡沫板和散装稻壳等隔热材料以减缓来自屋面上方的热量，实测数据显示其隔热性能良好^[19-21]。有学者利用CFD模拟了粮堆表层控温系统不同工况下的粮堆温度状态，但该模拟缺少试验验证^[22]。已有的实仓试验也仅测量了冷气囊系统单一工况下的粮堆温度状态，没有针对影响系统隔热性能参数设计变量试验与规律总结。本文针对平房仓，建立粮堆表层控温试验台，针对影响系统隔热性能的工况参数如送风风温、送风风速、层间高度等分组设计试验，探讨适用于粮食平房仓粮堆表层控温系统的工况参数。

1 材料与方法

1.1 试验系统组成

试验台由模拟试验粮仓本体和数据采集系统两部分组成，如图1所示。模拟试验仓主体材料是8mm

厚的有机玻璃板(1m×1m×1.2m)。仓顶与水平面夹角21.8°，与实际仓房屋面坡度一致，试验仓整体尺寸与工程平房仓构成几何相似。试验仓四周贴覆2cm厚橡塑保温棉，模拟仓顶辐射为主要热量来源的工况条件。仓底安装有调整粮堆初始温度的井字形地笼，采用外径50mm的PVC圆管制做。装粮高度0.6m，紧贴粮堆表面布置表层控温系统，系统上下壁面由2mm厚PVC硬塑料板构成，侧壁以0.08mm厚聚乙烯塑料布密封。系统两边紧贴仓壁处设置PVC材质开孔布风管，并通过送、回风主管与制冷装置连接，回风管连接引风机。布风管沿气流方向采用疏密变化的开孔，以达到均匀出风的目的。试验仓上方架有可调型辐射板，模拟室外太阳辐射条件。

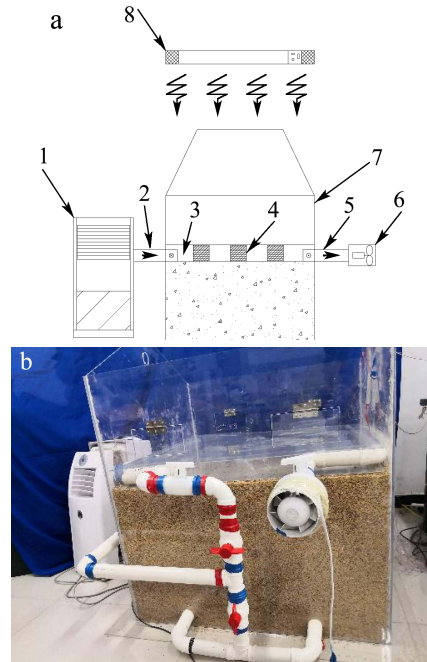


图1 系统原理与组成

Fig.1 Experimental schematic and system

注：a：粮堆表层控温系统试验原理；b：控温系统。1、制冷装置；2、送风管；3、布风管；4、塑料垫块；5、回风管；6、引风机；7、试验仓；8、辐射板。



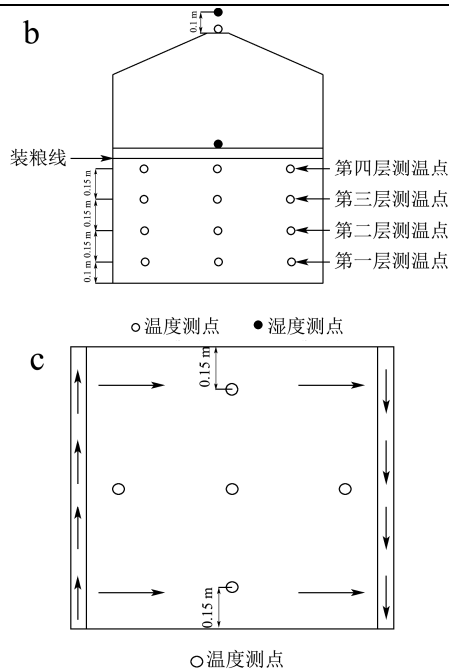


图2 数据采集系统

Fig.2 Data acquisition system

注: a: 测点布置架; b: 纵截面测点位置; c: 横截面测点位置。

为了准确掌握粮堆温度变化, 工程用粮食平房仓中粮堆测温点布置间距需小于 3 m, 距离仓房围护结构距离在 0.3 m~0.5 m 之间。测量周期控制在一天一次以上, 测量仪器精度为: 温度 $\leq\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$; 湿度 $\leq\pm 3\%$ ^[23]。模拟仓由工程仓等比例缩小而来, 应提高对测量装置、测点布置和测量周期的要求。试验数据采集装置包括 KEYSIGHT (原 Agilent) 34970A 型温度采集记录仪、Rotronic Rotronic HygroLogNT 型湿度采集记录仪、手持式风速测量仪。粮堆内温度测点沿深度方向分 4 层布置, 最上层位于粮面之下 5 cm, 最下层距仓底 10 cm, 相邻层间隔 15 cm; 每层 5 个测点呈十字分布, 如图 2b、c 所示。隔热系统和仓顶分别设置壁面温度测点 1 个。距仓顶上方 5 cm 处设置 1 个环境测点, 监测实验过程中外界温、湿度变化。标定后温、湿度仪表精度分别为 $\pm 0.003\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $\pm 0.8\%$, 数据采集间隔为 2 min。

1.2 试验方法与步骤

试验所用材料为 2019 年度生产的籼米, 入仓时质量等级为半成品粮。在送风温度、送风风速和层间高度等参数变化的工况下进行八组对比试验; 同时, 在

粮堆表层不设隔热系统的条件下进行一组参照试验, 共九组, 研究不同系统参数对隔热效果的影响。试验步骤如下: (1) 各组试验开始前, 开启地笼通风系统, 使粮堆表层均温为初始值 $21.5\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$, 表层以下的粮堆温度处于 $19\sim 21\text{ }^\circ\text{C}$ 范围; (2) 开启试验装置的仓顶辐射板, 进行外界热加载; (3) 开启粮堆表层控温系统; (4) 持续进行 6 h 隔热运行, 采集和记录实验数据; (5) 关闭仓顶辐射板和粮堆表层控温系统, 开启仓内地笼通风系统进行复温。各工况参数设置如表 1。

表 1 各试验组工况参数

Table 1 System default parameters in experiment

工况	送风风速	送风风温/ $^\circ\text{C}$	系统高度/m
1	1	22	0.05
2	1.5	22	0.05
3	2	22	0.05
4	2	24	0.05
5	2	25	0.05
6	2	27	0.05
7	2	22	0.07
8	2	22	0.09
9 (参照组)	/	/	/

2 试验结果与分析

2.1 参照组结果分析

参照组试验结果如图 3c 所示。试验初始阶段仓顶表面随环境温度迅速上升, 约 1 h 后稳定在 $55\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 由于辐射的存在, 仓顶温度远高于环境气温, 符合工程仓屋面受热的实际状况。同时, 在外覆保温棉作用下, 靠近两侧仓壁的粮堆温度无明显变化, 表明实验过程中外界热量主要通过仓顶进入仓内。根据实验数据利用插值法得到粮堆温度分布云图 3a 与 3b, 粮堆表面至装粮线以下约 10 cm 处属于表层粮堆, 其温度由初始时的 $21\sim 22\text{ }^\circ\text{C}$ 上升至 $23\sim 26\text{ }^\circ\text{C}$, 最高温度 $26.3\text{ }^\circ\text{C}$ 位于粮堆表面。表层粮堆以下, 试验前后温度均为 $18\sim 22\text{ }^\circ\text{C}$, 表明内部温度较为均匀, 上方传热的影响主要集中在表层粮堆。试验过程中, 粮堆整体平均温度升至 $21.6\text{ }^\circ\text{C}$ (准低温储粮为 $20\text{ }^\circ\text{C}$)。整体温度标准差由 0.79 上升至 1.69, 最大温差达 $7.5\text{ }^\circ\text{C}$, 上、下层温差明显, 难以满足储粮安全的需求^[24]。

表 2 粮堆测温点标准差数据分析表

Table 2 The grain pile temperature of standard deviation analysis

工况	第一层/ $^\circ\text{C}$	第二层/ $^\circ\text{C}$	第三层/ $^\circ\text{C}$	第四层/ $^\circ\text{C}$	均温/ $^\circ\text{C}$	方差	标准差
试验前	21.48	20.86	20.54	19.08	20.49	0.62	0.79
试验后	24.55	21.52	20.81	19.39	21.57	2.84	1.69

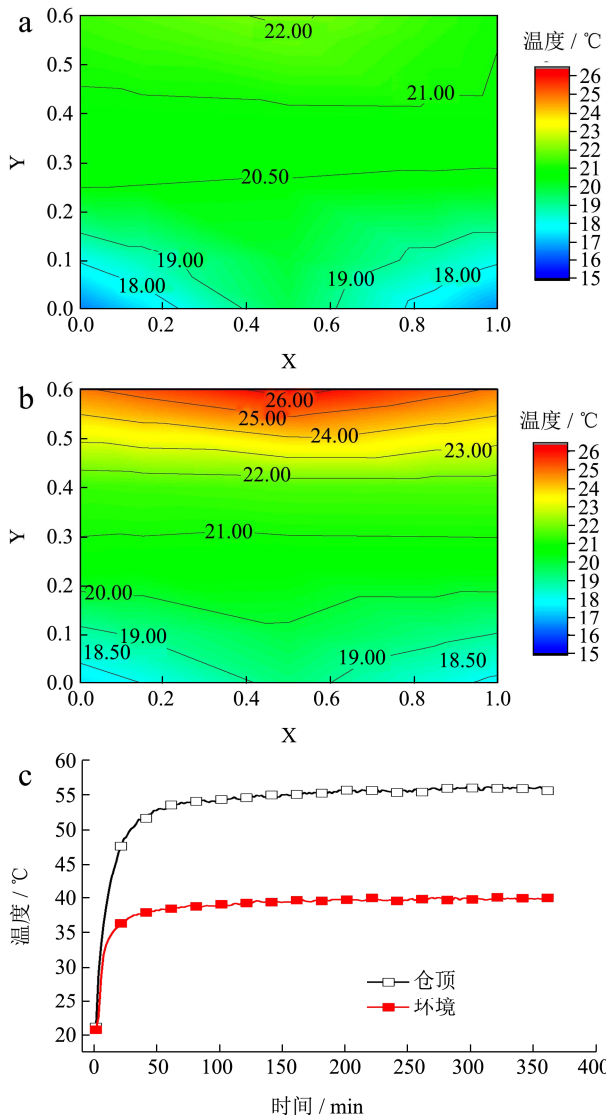


图3 参照组粮堆温度图

Fig.3 Temperature of bulk at control group

注: a: 试验开始时粮堆温度; b: 试验结束时粮堆温度; c: 仓顶与环境温度。

2.2 送风温度对系统隔热效果的影响

不同送风温度工况下粮堆温度变化趋势如图4所示。无隔热层参照组、送风温度 T_1 为 22 °C、24 °C、25 °C 和 27 °C 时各工况实验终了粮堆表层升温幅度 ΔT 分别为 3.06 °C、1.39 °C、1.78 °C、1.86 °C 和 2.05 °C，参照组温度增量最大。随着送风温度的降低，粮堆表层温度增量逐渐减小。温差是传热过程的驱动因素，送风温度越低，在其它条件不变时，隔热层内平均温度也随之降低，更接近粮堆表层的温度，从而获得更好的隔热效果。出于防止结露的考虑，采用接近粮堆初温 22 °C 作为送风温度时，隔热层抑制表层升温的作用明显优于其它各工况。比较本组实验的 5 种工况，粮堆底层的温度波动很小，均在 0.18 °C~0.38 °C 之间，

表明外界传入热量引起的升温集中在粮堆表层内。

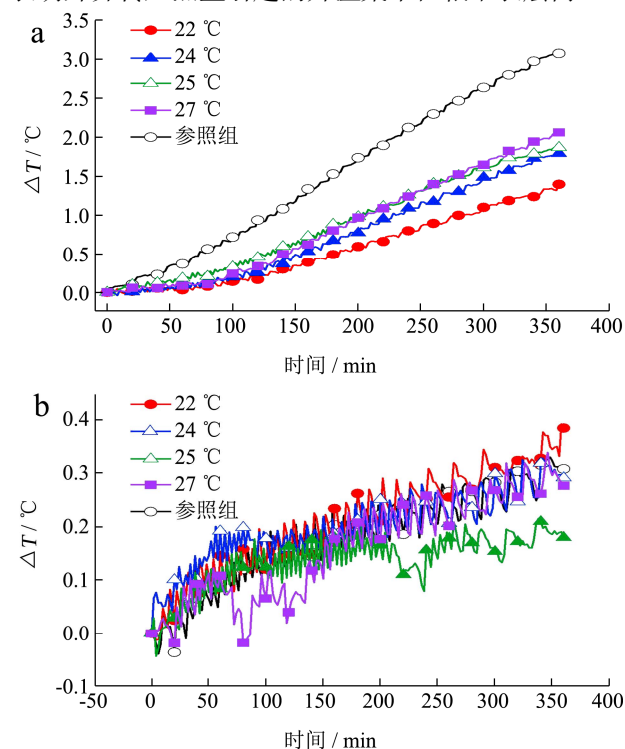


图4 风温工况组粮堆温度图

Fig.4 Temperature of bulk under different inlet temperature

注: a: 不同送风温度粮堆表层温度增量曲线; b: 不同风温度粮堆底层温度增量曲线。

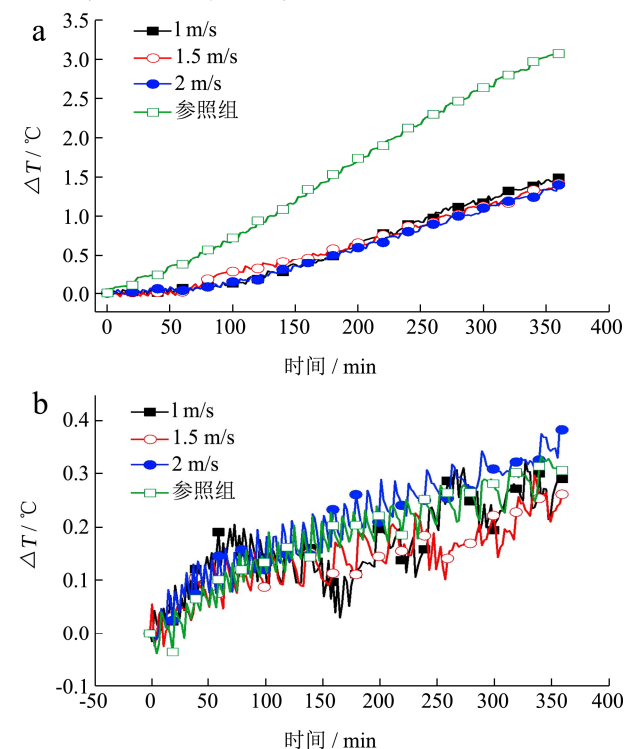


图5 风速工况组粮堆温度

Fig.5 Temperature of bulk under different inlet wind

注: a: 不同送风风速粮堆表层温度增量曲线; b: 不同送风风速粮堆底层温度增量曲线。

2.3 送风速度对系统隔热效果的影响

隔热层采用不同送风速度时的粮堆温度变化情况如图 5 所示。当送风速度分别设置为 1、1.5 和 2 m/s 时, 实验终了表层粮堆温度增量 ΔT 分别为: 1.48 °C、1.40 °C、1.39 °C。风速是影响层间对流传热的因素之一, 其它条件相同时, 提高层间空气流速可以带走仓内更多的热量。实验结果表明, 随着风速的升高, 粮堆表层升温幅度逐渐减少, 但整体相差并不明显, 仅 0.1 °C 左右, 各工况隔热效果相近。说明以隔热为目标的系统运行参数中, 风速并不是决定性因素, 这一点与以降温为目的的粮堆内部通风是不同的。本组对比实验各工况粮堆底层温度变化处于 0.26 °C~0.38 °C 之间, 波动较小。

2.4 隔热系统层间高度对隔热效果的影响

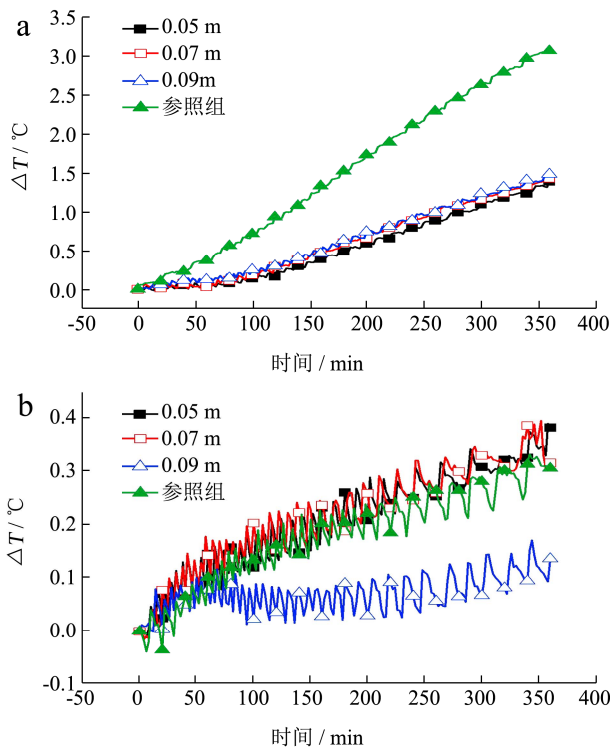


图 6 隔热系统高度工况组粮堆温度图

Fig.6 Temperature of bulk under different system height

注: a: 不同系统高度粮堆表层温度增量曲线; b: 不同系统高度粮堆底层温度增量曲线。

隔热系统采用不同层间高度对粮堆温度变化的影响如图 6 所示, 当层间高度 h_1 分别为 0.05 m、0.07 m、0.09 m 时, 实验过程中粮堆表层平均温度增量 ΔT 分别为: 1.39 °C、1.43 °C 和 1.48 °C, 较参照组降低了 1.58~1.67 °C。本组实验数据显示, 较低的系统层间高度 h_1 更有利于隔热, 而在 0.05~0.09 m 范围内各工况粮堆表层温度增量相差很小。表明系统层间高度达到

一定值后, 其变化对整体隔热效果的影响不大。各工况下底层粮堆温度增量处于 0.14 °C~0.38 °C 范围, 基本未受外界影响。

2.5 实验过程中相对湿度的变化

空气中的水蒸气含量达到饱和时, 若再降低环境温度, 将有水分析出, 即结露。控温系统层间通风时上、下表面温度较低, 需要考虑仓内结露风险。系统运行时, 层间高度 $h_1=0.05$ m、送风风速 $v_1=2$ m/s、送风温度 $T_1=22$ °C 工况是最易结露工况, 该工况下仓外和隔热系统上表面的空气湿度变化如图 7 所示。试验开始时, 这两处的相对湿度分别为 24% 和 28%, 随后迅速降低; 试验进行到大约 35 min 时, 仓外相对湿度降至 10% 左右, 之后保持稳定; 而系统上表面相对湿度在 120 min 时稳定在 15%, 两者均远低于饱和状态。由此可知, 实验过程中隔热系统上表面湿度较仓外环境下降缓慢, 到达稳定状态后略高于仓外环境 (约 5%), 但整个试验过程中粮堆是安全的, 隔热系统的运行未造成结露风险。

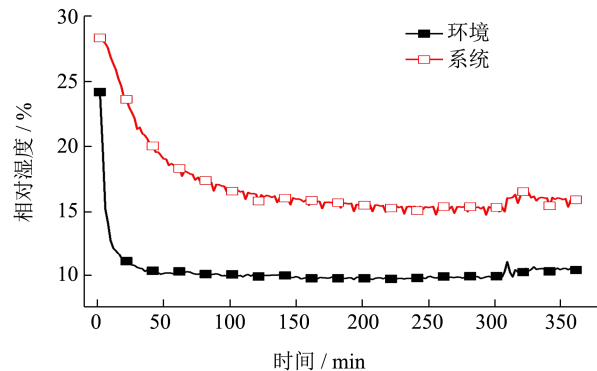


图 7 试验过程湿度点变化情况

Fig.7 Humidity of bulk

2.6 隔热系统热性能分析

为了定量地说明层间高度、送风速度和送风温度对隔热系统性能的影响, 综合考虑对比实验的各组工况, 分别以隔热系统送风深度 x 和实验过程最大温差为基准, 定义系统无量纲高度和无量纲温度。

$$H = \frac{h_1}{x} \tag{1}$$

式中 x 为送风端系统长度, m。

$$\Theta = \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_3} \tag{2}$$

式中 T_1 为系统送风温度, °C; T_2 为仓内空气平均温度, °C; T_3 为粮堆表层初始温度, °C

不同无量纲数下 Nu 数的变化趋势如图 8 所示。 Nu 数随 H 呈先增后减的趋势, H 由 0.05 增加至 0.07

时, Nu 数由 83 增加至 89, 达到实验中的最大值; Nu 数随 θ 的增长分为两个阶段, 由 0.4 变化至 0.6 时, Nu 数迅速增加至 79, 随后增势趋缓, 当 $\theta=0.95$ 时, Nu 数逐渐增加至 83。对比 H 和 θ 的影响, 在正相关增长阶段, 当 H 由 0.05 增加至 0.07, 增幅 50%, Nu 数增幅 7.23%; 当 θ 由 0.42 增加至 0.63, 增幅约 50%, Nu 数增幅 64.58%。可知, θ 较于 H 对热性能的影响更为显著。从提升隔热性能角度考虑, 降低送风温度比增大层间高度更为有效。

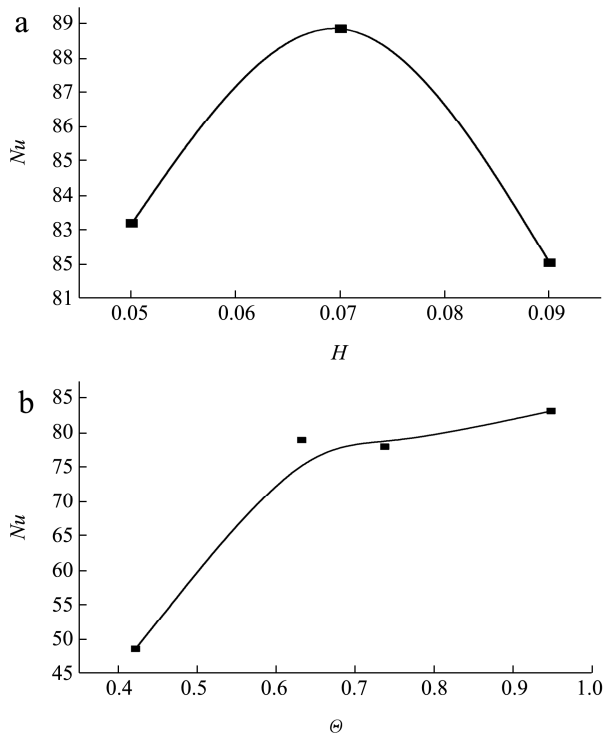


图8 Nu 数变化趋势

Fig.8 System of Nu

注: a: Nu 数与 H ; b: Nu 数与 θ 。

3 系统经济效益分析

与粮食机械通风降温相比, 隔热系统的热交换同样依赖于冷空气的流动来完成, 因而也需要消耗一定能量来做功。实验中不同工况产生的能耗也是不同的, 系统年运行能耗可按照式 (1) 计算

$$E = \frac{V_1 \pi r^2 \rho \Delta T_2 t_1}{APF} \quad (3)$$

式中 E 为系统年运行能耗, kJ; r 为风管半径, m; ρ 为空气密度, kg/m^3 ; ΔT_2 为制冷机进出口空气温差, $^{\circ}\text{C}$; t_1 为制冷机年运行时长, s; APF 为空调器制冷量与有效输入功率之比, 取规范规定值 3.2^[25]。

吨粮单位隔热成本可利用式 (2) 计算确定

$$e = \frac{BE}{3600 \Delta T_3 M} \quad (4)$$

式中 e 为吨粮单位隔热成本, 元; B 为工业电价, 取 0.61 元/(kW·h); ΔT_3 为表层粮堆降温值, $^{\circ}\text{C}$; M 为试验仓装粮重量, t ^[26]。

以表 1 所述各工况参数, 做吨粮单位隔热成本如图 9 所示。工况 1~3 的系统送风风速分别为: 1 m/s, 1.5 m/s 和 2 m/s, 对应的单位隔热成本分别为: 5.6 元、8.04 元和 10.62 元, 单位隔热成本随送风风速的增加近似等比例增加。由试验可知, 送风风速并非影响系统隔热效果的关键因素, 而风机能耗随风速的增加呈倍增关系, 因此低风速能耗优势明显。工况 3~6 中送风温度分别为 22 $^{\circ}\text{C}$ 、24 $^{\circ}\text{C}$ 、25 $^{\circ}\text{C}$ 和 27 $^{\circ}\text{C}$, 单位隔热成本由 10.62 元变化至 10.83 元, 整体略有波动, 低风温单位隔热成本最低。工况 3、7 和 8 对应的层间高度分别为 0.05 m、0.07 m 和 0.09 m, 其隔热成本由 10.83 元上升至 11.2 元, 系统高度的降低会改善隔热效果, 单位隔热成本随之降低。综上可知, 系统采用低风速、低风温和低层间高度的工况最为节能, 其吨粮单位成本可降至 5.6 元。

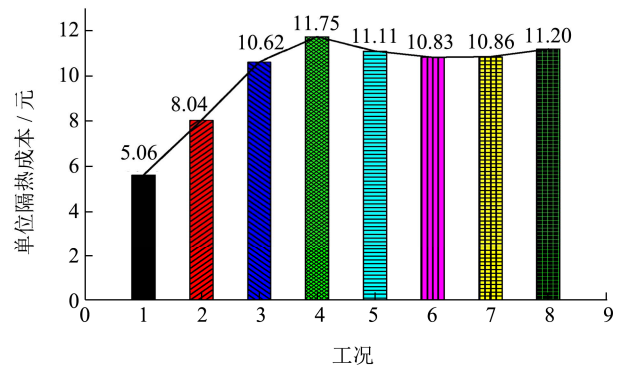


图9 单位隔热成本

Fig.9 Cost of unit weight

4 结论

4.1 粮堆热导率低, 炎热气候下粮堆温度的升高主要集中在装粮线以下约 10 cm 的表层粮堆处。整个试验过程中, 粮堆隔热系统对于表层粮堆温度控制效果明显, 最高可使粮堆表层均温下降 1.67 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 系统以低风温、低风速和低系统高度的形式运行可使吨粮单位成本降至 5.6 元。最易结露试验工况下系统上表面空气相对湿度下降 13%, 达到稳定后高于外界湿度 5%, 粮堆内未发生结露情况。

4.3 无量纲过余温度 θ 对 Nu 影响明显, θ 位于 0.4~1 时, Nu 的变化范围为 45~85, Nu 随 θ 的增大而增大。 Nu 数受无量纲高度 H 影响不大, 当 H 位于 0.05~0.09 之间时, Nu 的变化范围仅为 82~89。

4.4 因为实际试验条件的限制, 未能找出系统送风风速和系统层间高度对于系统隔热效果影响的拐点, 可

以成为后续研究的方向。

参考文献

- [1] 王若兰.粮油储藏学[M].北京:中国轻工业出版社,2016
WANG Ruo-lan. Grain and Oil Storage Science [M]. China Light Industry Press, 2016
- [2] Nandapala K, Chandra M S, Halwatura R U. A study on the feasibility of a new roof slab insulation system in tropical climatic conditions [J]. Energy and Buildings, 2020, 208: 109653
- [3] 孙振北.高大平仓仓顶控温技术应用比较研究[D].郑州:河南工业大学,2018
SUN Zhen-bei. A comparative study on the application of temperature control technology in the top of large warehouses [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018
- [4] Pearlmutter D, Berliner P. Experiments with a 'psychrometric' roof pond system for passive cooling in hot-arid regions [J]. Energy and Buildings, 2017, 144: 295-302
- [5] Sharifi A, Yamagata Y. Roof ponds as passive heating and cooling systems: a systematic review [J]. Applied Energy, 2015, 160: 336-357
- [6] Almodovar J M, La Roche P. Roof ponds combined with a water-to-air heat exchanger as a passive cooling system: experimental comparison of two system variants [J]. Renewable Energy, 2019, 141: 195-208
- [7] La Roche P, Yeom D J, Ponce A. Passive cooling with a hybrid green roof for extreme climates [J]. Energy and Buildings, 2020, 224: 110243
- [8] García-Solórzano L A, Esparza-López C J, Al-Obaidi K M. Environmental design solutions for existing concrete flat roofs in low-cost housing to improve passive cooling in western Mexico [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 277: 123992
- [9] Krüger E, Fernandes L, Lange S. Thermal performance of different configurations of a roof pond-based system for subtropical conditions [J]. Building and Environment, 2016, 107: 90-98
- [10] Arghavani S, Malakooti H, Ali Akbari Bidokhti A. Numerical assessment of the urban green space scenarios on urban heat island and thermal comfort level in Tehran Metropolis [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 261: 121183
- [11] Gagliano A, Nocera F, Detommaso M, et al. Thermal behavior of an extensive green roof: numerical simulations and experimental investigations [J]. International Journal of Heat and Technology, 2016, 34(S2): S226-S234
- [12] Coma J, de Gracia A, Chàfer M, et al. Thermal characterization of different substrates under dried conditions for extensive green roofs [J]. Energy and Buildings, 2017, 144: 175-180
- [13] Porcaro M, Ruiz De Adana M, Comino F, et al. Long term experimental analysis of thermal performance of extensive green roofs with different substrates in Mediterranean climate [J]. Energy and Buildings, 2019, 197: 18-33
- [14] 刘文磊,王军,张宏伟.吊顶隔热对高大平房仓粮堆温度影响研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2020,41(2):120-125
LIU Wen-lei, WANG Jun, ZHANG Hong-wei. Influence of ceiling thermal insulation on the temperature of grain pile in large ware-house [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(2): 120-125
- [15] Fantucci S, Serra V. Investigating the performance of reflective insulation and low emissivity paints for the energy retrofit of roof attics [J]. Energy and Buildings, 2019, 182: 300-310
- [16] 王振清.粮仓建筑基本理论与设计[M].郑州:河南科学技术出版社,2015
WANG Zhen-qing. The Basic Theory and Design of Granary Building [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2015
- [17] GB/T 50320-2014,粮食平房仓设计规范[S]
GB/T 50320-2014, Code for Design of Grain Storehouses [S]
- [18] 国家粮食局.国帑兴仓固本宁邦:国家储备粮库建设纪实.技术篇[M].北京:中国财政经济出版社,2004:35-66
National Grain Administration. National Grain Rejuvenation Cangguben Ningbang: Documentary on the Construction of National Reserve Grain Depot. Technology [M]. Beijing: China Finance and Economic Publishing House, 2004: 35-66
- [19] 张富胜,胡汉华,王平等.双膜冷气囊在高大平房仓的应用[J].粮食储藏,2018,47(1):10-12
ZHANG Fu-sheng, HU Han-hua, WANG Ping, et al. Application test of double layer film cold air bag in large warehouse [J]. Grain Storage, 2018, 47(1): 10-12
- [20] 喻梅,周天智,刘士强,等.粮面压盖材料的控温保水效果及应用成本分析[J].粮食流通技术,2011,4:34-36
YU Mei, ZHOU Tian-zhi, LIU Shi-qiang, et al. The water-retention effect of grain surface covering materials and analysis of the usage cost [J]. Grain Distribution Technology, 2011, 4: 34-36

(下转第206页)