

钢结构简易囤通风效果评价

欧阳毅¹, 唐芳¹, 祁智慧¹, 纪晓军², 李春元²

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037; 2. 中央储备粮通辽东郊直属库, 内蒙古 通辽 028012)

摘要:介绍了钢结构千吨囤的建设情况和降温通风工艺应用情况,通过检测千吨囤风机压力和表观风速等通风参数,对千吨囤的通风降温效果及效能进行评价。千吨囤的通风方式为竖向上行压入式通风,采用数字风压和风速测定仪对千吨囤进行竖向通风参数测试研究。结果显示:千吨囤玉米粮堆竖向通风的表观风速和单位通风量增加,粮堆的单位粮层阻力也增加,两者呈正相关;通风阻力中设施阻力占比较大,中心主风道与出粮通道共用管道设计,便于出粮作业,但增加了通风设施阻力,导致通风能耗增加,且受风道设计影响,囤体东北角区域粮面表观风速较低,局部通风效果不佳,建议优化风道设计,可将主通风道与支风道呈放射状均匀布置。千吨囤通风后,粮堆整体温度降低11.3℃,每层平均温度降至-6℃左右,除局部位置温度下降不明显,其余通风降温效果良好。

关键词:千吨囤;绞龙;通风;表观风速;粮堆阻力

中图分类号:S 379.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2018)03-0075-05

Evaluation of ventilation effect of steel structure silo

OU YANG - Yi¹, TANG Fang¹, QI Zhi - hui¹, JI Xiao - jun², LI Chun - yuan²

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

2. Tongliao Dongjiao Grain Depot of State Administration of Grain Reserve, Tongliao Neimenggu 028012)

Abstract: The construction and the application of cooling and ventilation technology of steel structure silo was introduced. The effect and efficiency of ventilation and cooling of the silo was evaluated by detecting the ventilation parameters such as the fan pressure and superficial gas velocity of the silo. The ventilation mode of the silo was vertical upward press-in ventilation, and the vertical ventilation parameters were measured by digital air pressure and speed meter. The results showed that the unit grain resistance of grain heap increased with the increase of the superficial gas velocity and unit ventilation volume, with positive correlation; in the ventilation resistance, the resistance of the facilities accounted for a larger rate. The central main air duct and the grain delivery channel are designed to share the same pipeline, which was convenient for discharge, but increased the resistance of ventilation facilities and energy consumption. Influenced by the air duct design, the superficial gas velocity of the grain surface in the north-east corner of the silo was low with poor ventilation effect. It is suggested that the main air duct and the branch duct should be arranged radially in the radial direction. After ventilation, the overall temperature of grain heap decreased by 11.3 degrees, and the average temperature of each layer decreased to about -6 centigrade. The effect of aeration-cooling on the grain heap was good except a little part without obvious decrease of the temperature.

Key words: silo; screw conveyer; ventilation; superficial gas velocity; grain resistance

近些年东北地区执行了国家临储玉米收购政策,仓储企业为形成快速收储能力、弥补仓容不足,

东北三省一区出现了大量的简易储粮仓囤作为粮食短期或临时存储的重要方式。简易仓囤具有结构简单、造价低廉、搭建周期短等优点,但与简易仓囤相关的结构安全、风道设计、保粮措施和作业安全等方面也存在风险和隐患,需进一步摸索研究。

收稿日期:2017-11-07

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0401003-2)

作者简介:欧阳毅,1987年出生,女,硕士,助理研究员。

通讯作者:唐芳,1978年出生,女,硕士,副研究员。

简易仓囤主要分为简易仓、罩棚仓和简易囤3种类型,简易仓和罩棚仓储粮几千至上万吨,储量大,一般为囤包散存的堆垛。简易囤俗称千吨囤,为圆柱体散存仓型,存粮量1 000 t以下。与标准仓房相比,简易仓囤的安全储粮设施较为简单,保温隔热性能较差,粮堆易出现结露、挂壁及虫霉危害等问题。许多粮食工作者就简易仓、罩棚仓的通风干燥^[1-3]、气调杀虫^[4]以及密闭控温^[5]进行了研究,对简易仓囤的综合安全储存技术^[6-11]进行了探讨,对稻谷^[12]和玉米^[13]进行了实仓储存实验,但对千吨囤的研究报道较少。一般认为千吨囤是作为替代蓆茭囤出现的,其钢结构材质相对蓆茭囤的防火能力大大提高,但千吨囤的通风效果、防虫防霉以及安全防护技术等方面还未见报道。本实验介绍了内蒙通辽地区千吨囤基础结构及密闭措施,通过检测千吨囤的通风参数,对其通风效果进行评价,为千吨囤的通风管网设计及通风工艺应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验仓

选择内蒙通辽东郊直属库钢结构千吨囤作为通风实验囤,实验囤直径15 m,装粮高度为6.5 m,设计仓容为1 000 t,实际玉米装载量为810 t。2016年10月入仓,入仓水分为13.3%。

1.2 实验囤囤壁结构设计及密闭措施

实验囤顶盖中间留有人粮口,囤顶边沿与侧壁之间留有20 cm空隙起到自然通风降温的作用;囤体侧壁由槽钢做结构支架,由外侧彩钢板、中层岩棉、内侧铁丝网组成囤壁围挡。为对囤体进行防潮密闭处理,铁丝网内侧挂2层彩条布,囤内地面为24 cm高的两层砖,其上加一层毡布和两层彩条布,彩条布向上围挡1 m左右,与侧壁彩条布用铁丝连接,将粮食包裹在内,构成密闭空间,防止急风骤雨天气集中降水导致的雨水聚集倒灌入仓;如需要,粮面可覆膜,加强仓房密闭性,减少表层粮食失水,也可进行局部熏蒸操作。囤壁留有四个两两对称的出粮口和一个通风口。

1.3 通风道设计

实验囤通风道设计如图1所示。主风道设计为不开孔的密闭管道,长约8 m,距离地面高50 cm,从通风口布置到囤体中心位置。主风道末端对底部

开口,连接到地面的空气分配器,再由空气分配器时呈“十”字形分配给四条支风道,每个分支外延顶端再横向铺设6节地上笼。主风道末端向上也留有30×30 cm的开口,平时用隔板覆盖密封,隔板由8 m长的通往仓外的拉杆牵引控制。需要出粮时,主风道内插入定制的绞龙,打开中心位置的隔板,绞龙可借助主风道开口,实现中心位置将粮食输送到仓外。

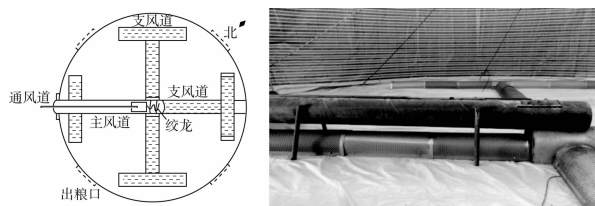


图1 出粮绞龙通道与主风道共用管道设计及支风道分布图

1.4 实验仪器

IS0075S 智能变频器:河南未来机电工程有限公司;4-72-4.5A 风机:通辽市兴通鼓引风机制造有限责任公司;自制通风测试管道:直径40 cm,长400 cm;自制集风罩:上直径10 cm,下直径40 cm;testo 410-1 叶轮式风速测量仪:德国德图仪器;Aut2000 智能压力风速仪:北京鑫鼎腾达仪器设备有限公司;TES 1340 热线式风速仪:台湾泰仕电子工业有限公司;L型标准毕托管($\phi 8 \times 800$ mm)。

1.5 通风参数测试方法

实验囤采用上行压入式通风方法进行竖向通风,采用以下方法对通风均匀性和通风阻力进行评价。

1.5.1 分环法检测管道风速与压力

将风机、变频器、通风测试管道和实验囤通风口连接好,通过变频器调节风机风速。将自制通风测试管道一端连接风机出风口,另一端连接囤体通风口,测试管道直径40 cm。在通风管距离通风口连接处1.5 m位置打垂直和水平测孔,测控直径约为1.2 cm。采用截面分环法,测试通风管道的风速和压力。按照通风管道直径大小,将管道分为3环,按照公式 $y_n = R[(2n-1)/2m]^{1/2}$ (R :风管半径; m :划分环数; n :从圆心算起同心环的序号)计算环内测点至测试管道中心的距离,通过毕托管与热线风速仪探入测孔至管道内测点位置,可测得通风测试管道截面横向与纵向测点的气流压力与风速。

1.5.2 粮堆静压值测点布置及测试

通风管道垂直面上,设置 5 个位点,每点设 2 层,分别距离粮面 1.0 m 和 5.0 m 高度,共计 10 个检测点。静压管与智能压力风速仪连接,可检测粮堆静压。布点位置见图 2。

1.5.3 粮堆表面表观风速测点布置及测试

每段通风道上方粮面布置 2 点,风道之间粮面布置 2 点,加上中心点共计 17 点。使用集风罩和叶轮式风速测定仪粮堆表面风速。布点位置见图 2。

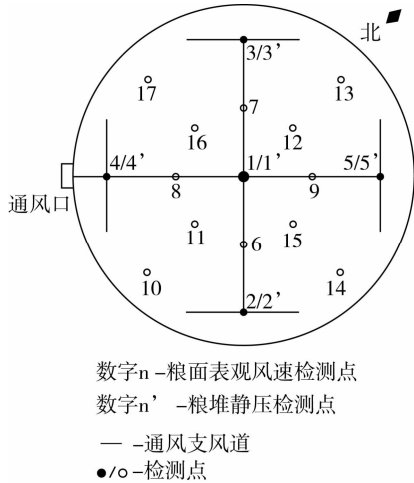


图 2 粮堆静压与表观风速检测点分布图

2 结果与分析

2.1 粮面表观风速

采用方法 1.5.3,检测实验囤玉米粮堆在不同

风量条件下粮堆表面表观风速,测定结果如表 1 所示。

检测点	表 1 实验囤玉米粮堆粮面表观风速测定结果 m/s				
	风机频率/Hz				
	50	45	40	35	30
1	0.012	0.010	0.008	0.008	0.000
2	0.018	0.016	0.014	0.010	0.010
3	0.020	0.014	0.014	0.010	0.008
4	0.010	0.008	0.008	0.008	0.000
5	0.014	0.016	0.014	0.012	0.010
6	0.014	0.012	0.010	0.008	0.008
7	0.016	0.016	0.014	0.012	0.008
8	0.012	0.012	0.010	0.008	0.008
9	0.014	0.012	0.012	0.012	0.010
10	0.016	0.016	0.010	0.012	0.008
11	0.014	0.016	0.010	0.010	0.010
12	0.016	0.016	0.012	0.010	0.008
13	0.016	0.016	0.016	0.012	0.012
14	0.018	0.012	0.014	0.014	0.010
15	0.014	0.012	0.012	0.010	0.008
16	0.012	0.010	0.008	0.010	0.008
17	0.012	0.012	0.010	0.008	0.000

表 1 给出不同风机频率条件下,粮堆表面各点风速测试情况。1、4、8、16、17 五点表观风速相对较低。特别是位于主风道上方的第 1、4、8 三点粮堆的表观风速最低,由图 1、图 2 可看出,受主风道布置影响,上述 5 点构成一个通风薄弱区域,表层可能存在通风通不透的现象。

2.2 粮堆粮层阻力

在不同风量条件下,玉米粮堆竖向上行压入式通风测试中,各项参数检测计算结果见表 2。

表 2 实验囤玉米粮层阻力等参数实验结果

频率/Hz	风机风量 /(m ³ /h)	表观风速 /(m/s)	单位通风量 /(m ³ /ht)	单位粮层阻力 /(Pa/m)	5 m 高粮层 平均静压/Pa	1 m 高粮层 平均静压/Pa
50	7 426.0	0.011 7	9.2	9.6	54.4	11.0
45	6 402.1	0.010 1	7.9	8.5	48.2	10.0
40	5 912.8	0.009 3	7.3	7.2	39.0	6.6
35	5 172.5	0.008 1	6.4	6.2	33.2	5.2
30	4 199.4	0.006 6	5.2	5.2	28.4	5.0

粮堆表观风速由 0.006 6 m/s 增加到 0.011 7 m/s,对应的单位通风量由 5.2 m³/(ht) 增加到 9.2 m³/(ht),玉米粮堆单位粮层阻力由 5.2 Pa/m 增加到 9.6 Pa/m。实验囤玉米粮堆竖向通风的表观风速和单位通风量增加,粮堆的单位粮层阻力也增加,两者呈正相关。

2.3 粮堆表观风速与单位粮层阻力

实验囤储存玉米不同粮堆表观风速下竖向通

风单位粮层阻力曲线见图 3。

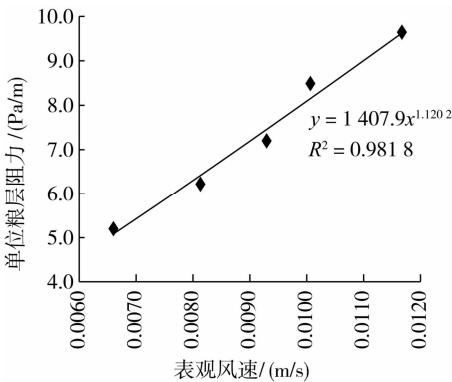


图 3 实验囤玉米储存单位粮层阻力与表观风速的关系曲线

由图3可知,实验囤玉米储存竖向通风单位粮层阻力与粮堆表观风速的关系可以用幂函数公式表示,简化成工程用经验公式为:

$$Z_m = 9.81 \times 143.5 \mu^{1.1200} \quad (R^2 = 0.9818)$$

式中: Z_m 为单位粮层阻力,Pa/m; μ 为粮堆表观风速,m/s。

2.4 玉米粮堆系统阻力

对实验囤玉米储存的粮堆系统总阻力、设施总阻力和粮堆阻力进行对比,结果如图4所示。

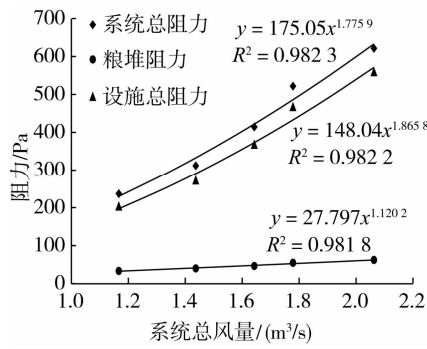


图4 实验囤玉米单位通风量与粮堆阻力的关系曲线

由图4曲线可以看出,实验囤系统通风阻力中,设施阻力占80%左右,而粮堆阻力较小,占系统总阻力20%。通风设施阻力主要包括风机、通风道和空气分配器阻力。实验囤设施阻力占比较大的主要原因,一是通风口、主风道和支风道截面积偏小,造成设施阻力较大。相同风量下,通风管道截面积与风速成反比,截面积越小,风速越大,管道阻力与风速平方呈正比,因此造成管道阻力大幅提高。建

议通风管道截面积直径增加至500mm。二是风道设计不合理,主风道处于东北方向支风道正上方,通风时空气需转向180°进入此支风道,气体回流导致气流变小,同时主风道在支风道正上方形成障碍,加大通风阻力。建议可将主风道与支风道呈放射状均匀布置,可消除对支风道的遮挡阻碍,降低支风道通风气流上行阻力。

2.5 粮堆通风降温效果评价

通风前后对实验囤粮堆温度进行测定。温度检测点分为五层,分别距离粮堆表面0.3、1.7、3.2、4.7和6.2m,每层设置12个检测点,分内外两圈设置,内圈4点,外圈8点。内圈以西南角为1点,顺时针方向均匀分布4个测温点,测温点距离囤中心约3m;外圈以1点南向延伸线为5点,顺时针方向分布8个测温点,测温点距离囤壁约1.5m,如图5所示。粮堆通风前后各层温度以及各测温点温度变化情况见表3、表4。

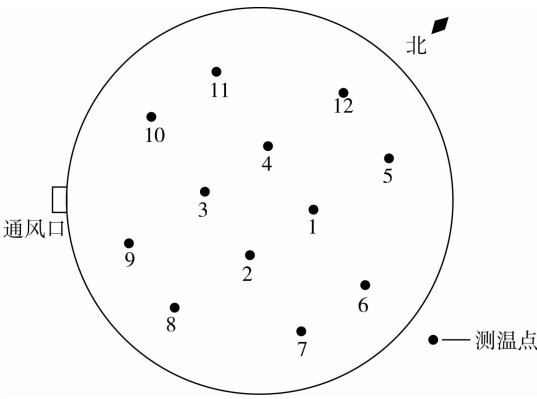


图5 实验囤玉米粮堆测温点分布图

表3 通风前后温度变化情况 ℃

粮堆测温点	粮堆温度/℃					
	通风前(11月24日)			通风后(12月5日)		
	最高/最低	温差	均温	最高/最低	温差	均温
第一层(0.3 m)	4.0 -5.7	9.7	1.2	-1.0 -7.6	6.6	-5.3
第二层(1.7 m)	9.6 7.0	2.6	8.4	0.0 -8.3	8.3	-6.0
第三层(3.2 m)	11.8 8.5	3.3	9.8	-4.4 -8.0	3.6	-7.1
第四层(4.7 m)	11.9 7.8	4.1	10.2	-4.9 -8.0	3.1	-5.9
第五层(6.2 m)	10.1 -0.4	16.5	-1.7	-2.8 -5.2	2.4	-4.6

由表3可知实验囤各层温度变化情况。11月中下旬,外界环境急剧降温,夜间最低温度已降至-10℃左右。从通风前一周粮温数据可以看出,表层和底层受环境及地表温度影响大,平均温度已降至0℃左右,但存在温度不均匀的情况,同层最大温差达到9.7、16.5℃,而中间三层平均温度还保持在10℃左

右,同层最大温差低于5℃。由均温可看出,第一、二层之间及第四、五层之间,层间温差偏大,若不及时处理,易发生结露现象,因此于11月27日开始进行压入上行式通风。经过105h的间歇式通风,12月5日通风结束。通风后,五层粮堆平均温度在-6℃左右,粮堆整体温度下降11.3℃。沿着通风方向,底部三

层温差小于4℃,距离粮面2 m以上,第一层(0.3 m) 与第二层(1.7 m)温差仍在6℃以上。

表4 粮堆各测温点通风前后温度变化情况

℃

测温点	第一层(0.3 m)		第二层(1.7 m)		第三层(3.2 m)		第四层(4.7 m)		第五层(6.2 m)	
	通风前	通风后	通风前	通风后	通风前	通风后	通风前	通风后	通风前	通风后
1	2.3	-5.8	8.6	-8.3	11.0	-7.7	11.8	-5.3	-4.3	-4.9
2	-2.4	-5.1	9.5	-5.7	11.1	-7.6	11.0	-4.9	-5.8	-4.9
3	4.0	-4.7	9.3	-4.8	11.0	-7.7	11.9	-8.0	10.1	-4.1
4	2.5	-6.5	9.6	-7.9	11.8	-7.2	11.5	-6.1	-3.3	-4.5
5	2.5	-7.2	9.3	-6.9	9.3	-6.0	10.2	-6.3	-6.4	-4.9
6	3.4	-6.0	7.8	-6.7	8.5	-8.0	10.8	-5.4	3.9	-5.1
7	2.8	-4.6	8.5	-7.3	9.6	-7.8	9.2	-5.3	-4.9	-4.8
8	2.1	-6.7	7.5	-7.8	8.9	-7.8	8.6	-5.3	-5.0	-4.8
9	2.2	1.0	7.5	0.0	8.9	-4.4	8.6	-5.7	-5.0	-4.6
10	-5.7	-4.1	7.8	-1.5	8.9	-6.8	7.8	-7.1	4.8	-2.8
11	3.1	-5.9	8.0	-7.2	9.2	-7.0	10.4	-5.6	-6.4	-5.1
12	-2.0	-7.6	7.0	-7.6	9.0	-7.4	10.8	-5.5	1.5	-5.2

表4中列出各测温点通风前后温度变化。分析第一、二层各点温度变化情况,除第9、10点外,其余各点温度均降至-6℃左右,而第9、10点刚好位于主风道入风口上端,处于粮面表观风速最低的区域范围,经过105 h通风后,温度只降至0℃左右。温度变化进一步证实了主风道上方上行风量由于设施阻力较大,随着粮层升高,风量已大幅衰减,不足以把该位置第一、二层粮温降至平均-6℃左右。从粮堆整体温度变化情况来看,通风前五层粮堆温度较高的点集中于1、2、3、4测温点上,即内圈测温点的温度较高,粮堆热量囤积于粮堆中心处。通风结束后,五层粮堆温度整体分布均匀,只有位于通风口上方粮堆上层的第9、10点处温度难以降至平均温度。

2.6 通风能耗评价

千吨囤通风作业时长一般为80~90 h。通风过程中,根据各层温度的变化情况,实验囤粮堆实际通风时间延长至105 h,所使用的风机功率为7.5 kW,实验囤储存玉米810 t,通风后整仓平均温度降低11.3℃,使用电费567.0元,计算可得,实验囤通风单位能耗为0.086 kW h/℃t,单位电费为0.062元/℃t。单位通风能耗偏高,主要有2个原因,一是单位通风量较大,风机配备不合理,导致能耗偏高,建议配备3~4 kW轴流风机;二是通风管网布置不合理,局部点通风不均匀,延长通风时间,导致能耗偏高。

3 结论

实验囤玉米粮堆竖向通风的表观风速和单位通风量增加,粮堆的单位粮层阻力也增加,两者呈正相关。

实验囤系统通风阻力中,设施阻力占80%左右,而粮堆阻力较小,占系统总阻力20%。通风设施阻力主要包括风机、通风道和空气分配器阻力。实验囤设施阻力占比较大的主要原因,一是通风

口、主风道和支风道截面积偏小,造成设施阻力较大;二是风道设计不合理。建议通风管道截面直径增加至500 mm,并将主通风道与支风道呈放射状均匀布置。

由实验囤的表观风速及粮温测定结果可看出,局部上行风量受主风道阻碍,粮堆表面存在表观风速相对较低的三角形区域,2 m以上粮堆温度降温效果不佳,需延长通风时间才能达到降温效果。实验囤通风前后,粮堆整体平均温度降低11.3℃,通风单位能耗为0.086 kW h/℃t,单位通风能耗偏高,与风机功率偏高及通风管网设计不合理有关。

参考文献:

- [1]王波,张从选,冯涛,等. 囤包散装玉米组合式通风干燥试验[J]. 粮油仓储科技通讯,2009(5):17-18.
- [2]史钢强. 罩棚仓通风设计探索[J]. 粮食加工,2015,40(2):70-73.
- [3]周景慧,王喜云,马继承,等. 机械通风在露天散存周转玉米中的应用[J]. 粮食科技与经济,2006,31(6):40-41.
- [4]李颖,覃新峰,李明革. 简易仓氮气气调储存小麦试验[J]. 粮食储藏,2012,41(1):23-25.
- [5]朱国军. 简易仓六面密闭储藏效果的研究[J]. 粮油仓储科技通讯,2006(4):35-36.
- [6]王希仁. 辽北地区罩棚仓安全储粮技术[J]. 粮油仓储科技通讯,2016(4):54-56.
- [7]蔡旭升. 简易仓粮堆气体取样装置及应用[J]. 粮食科技与经济,2015,40(6):52-53.
- [8]郑男,李莉平,王福友. 简易仓散装储粮技术钢管架钢丝斜拉索挂PVC涂塑篷布实验工艺[J]. 粮食储藏,2011(5):28-29.
- [9]仇素平,游海洋. 简易露囤制作及其储粮性能探讨[J]. 粮油仓储科技通讯,2007,23(5):53-54.
- [10]石春光,辛玉红,石磊. 南方地区简易棚仓的储粮探讨[J]. 粮食流通技术,2002(6):27-28.
- [11]于伟,于成泉,孙淑静. 东北地区罩棚仓安全储粮的技术探讨[J]. 粮食与饲料工业,2011(2):22-24.
- [12]刘长生,高树成,曹毅,等. 罩棚仓安全储藏稻谷实仓试验[J]. 粮油仓储科技通讯,2007(3):29-30.
- [14]安西友,刘长荣,曹存清,等. 罩棚内囤包堆垛玉米散存试验研究[J]. 粮油食品科技,2012,20(2):46-49.