

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.01.013

# 高大平房仓磷化氢熏蒸及散气作业 过程安全防护距离研究

张 涛<sup>1</sup>, 刘帅冰<sup>2</sup>, 李 娜<sup>1</sup>, 陈 鑫<sup>1</sup>, 曹 阳<sup>1</sup>, 高玉树<sup>2</sup>

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 2. 北京粮食集团有限责任公司 北京 100022)

**摘 要:** 近年来由于熏蒸散气而产生的仓内安全事故引起了行业乃至社会各方的高度关注, 但熏蒸散气阶段的作业安全研究较少, 相关隐患尚未被深入研究以及重视。在实仓实验中, 对高大平房仓磷化氢熏蒸和散气过程仓房内外环境空气中磷化氢浓度进行现场检测, 探讨熏蒸、散气作业过程的有效安全防护距离以及防护措施, 研究结果为防范熏蒸作业安全事故、减少或避免发生人身伤害和经济损失提供依据。研究表明, 安全防护距离与仓内(粮堆内)磷化氢气体浓度大小有关, 不能完全以固定的安全防护距离作为判定是否安全的依据, 接近熏蒸散气区域前必须检测磷化氢浓度。

**关键词:** 高大平房仓; 熏蒸; 散气; 安全防护距离

中图分类号: TS205.9; S379.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)01-0069-05

## Study on safety protection distance of phosphine fumigation and exhausting operation in high & large warehouse

ZHANG Tao<sup>1</sup>, LIU Shuai-bing<sup>2</sup>, LI Na<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>1</sup>, CAO Yang<sup>1</sup>, GAO Yu-shu<sup>2\*</sup>

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

2. Beijing grain group Co., Ltd., Beijing 100022)

**Abstract:** In recent years, the safety accidents in warehouses caused by fumigation and exhaust have attracted great attention by people from grain industry and society. But there are few literature reports on safety during fumigation and exhaust operation, which needs to be further researched and pay more attention. The concentration of phosphine both inside and outside of the warehouse were detected in real warehouse experiment during fumigation and exhaust operation to explore the effective safety protection distance and protective measures, in order to provide reference for strengthening safety precautions against the safety accidents, reducing or avoiding personal injury and economic loss. The results show that the safety protection distance is related to the concentration of phosphine gas in the warehouse (in the grain pile), and the fixed safety protection distance can not be used as the basis to judge whether it is safe or not. The concentration of phosphine must be detected before approaching the fumigation area.

**Key words:** large size horizontal warehouse; fumigation; diffusion; safe protection distance

上世纪 90 年代以来,我国储粮设施水平不断提高和改善,高大平房仓、浅圆仓等成为广泛使

用的储粮设施,其中,高大平房仓仓容约占国内总仓容的 80%<sup>[1]</sup>。为确保储存粮食的安全,预防虫霉侵染的损失,熏蒸杀虫技术被广泛普及和推广<sup>[2]</sup>,因磷化氢气体对储粮虫霉具有广谱高效特性,成为粮食储存期间杀虫、抑霉最经济最有效

收稿日期: 2018-07-17

基金项目: 十三五国家重点研发计划项目(2017YFC0805903)

作者简介: 张涛, 1982 年出生, 男, 副研究员。

通讯作者: 高玉树, 1965 年出生, 男, 副高级。

的熏蒸气体。

目前熏蒸作业人员普遍对磷化氢的毒性了解不够深入,因此在熏蒸和散气作业过程中对磷化氢安全防护有一定的盲目性,以致近年来多次发生磷化氢熏蒸作业致人伤亡的事故。综合分析发现,磷化氢中毒慢性中毒临床表现为嗅觉减退、头晕、胸闷气短、嗜睡、掉发等。急性中毒部分有一定的潜伏期,一般在 24 h 以内,有的长达 2~3 d,空气中磷化氢气体浓度达  $10 \text{ mg/m}^3$  时接触 6 h 即可出现中毒症状,如在浓度  $409\sim 846 \text{ mg/m}^3$  环境中 0.5~1 h 即可死亡<sup>[4]</sup>。磷化氢气体被吸入体内后,会刺激呼吸道,致黏膜充血、水肿以及肺泡充血,毒害严重时会有出血症状,经血液分布至脑、肝、肾、心等重要器官,1 h 后可遍布全身,出现多系统、多器官的功能损害,中枢神经系统受损出现最早,具体症状表现为头痛、失眠、乏力、记忆力减退、呕吐、食欲下降、嗅觉不灵、咳嗽等<sup>[5]</sup>。磷化氢气体的中毒机理为抑制细胞色素氧化酶系的活性使细胞发生内窒息,从而产生细胞代谢障碍<sup>[6]</sup>。因此,磷化氢气体中毒救治难度较大。

随着人口迁徙及城市的扩张,许多本来处于偏僻之地的粮食储备库逐渐被居民住宅区以及人来人往的商业区所包围<sup>[8]</sup>;加上仓房增高、粮堆增大、熏蒸用药量增加,国家对生态环境的重视以及人民群众健康意识的日益增强,储粮熏蒸作业安全受到人们的普遍关注和质疑<sup>[9-10]</sup>。以往熏蒸杀虫作业结束后,直接开仓进行散气的作业已不能适应当前绿色、环保、健康、节能、减排的发展趋势,探究当前条件下熏蒸作业的有效安全防护距离是一个亟待解决的问题。本实验通过对熏蒸期间仓房内外磷化氢浓度以及自然散气过程仓外下风口方向磷化氢气体浓度进行测定,对飘散距离进行分析,研究高大平房仓熏蒸散气过程中磷化氢的分布和消散规律,为科学设定有效安全防护距离及指导采取有效的防护措施提供实验研究依据<sup>[11]</sup>。通过对熏蒸作业安全防护距离进行验证,为划定熏蒸作业安全防护距离提供了较为可信的技术支持,为规范粮食仓储设施建设、粮库周边环境内基础设施、民用设施规划提供数据

参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 供试仓房

实验仓型为高大平房仓,仓房面积  $972 \text{ m}^2$ ,仓房长 36.0 m,宽 27.0 m,粮堆高度 6 m。

#### 1.1.2 使用药剂

56%磷化铝片剂:山东龙口市化工厂。

#### 1.1.3 实验仪器

CQM-2 仓房气密性检测装置:河南金明自动化设备有限公司;X-am 5000 磷化氢检测仪、Pac 7000 磷化氢报警仪:德国德尔格公司;BOKM-01 数字压力计、TP4/8 毕托管:北京百奥凯密科技有限公司;TES-1340 智能热线风速仪:泰仕电子工业股份有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 密闭方法

用 0.18 mm 聚氯乙烯塑料薄膜对仓房门窗、进出风口、自然通风口、轴流风机口及粮情检查门等进行密封,同时在内墙框沿上增设槽管密封框,门框与墙体的结合处均涂抹密封胶以增强仓房的气密性,同时采用塑料薄膜密封粮面的“膜下环流熏蒸系统”等提高粮堆的密闭效果。采用毕托管和 U 型压力计及风机对仓房的气密性进行检测,仓内压力由 500 Pa 降至 250 Pa 的时间长于 40 s,证明仓房的密封性良好<sup>[12]</sup>。

#### 1.2.2 施药方法

采用粮面药盘施药结合环流熏蒸机环流方式投药,按照  $4 \text{ g/m}^3$  进行粮面药盘施药,7 天后按  $2 \text{ g/m}^3$  进行仓外投药,保证粮堆内磷化氢浓度达到最低用药剂量且分布均匀。

#### 1.2.3 采样点设置

按 GBZ159 采样规范<sup>[13]</sup>,采用与熏蒸和散气过程同步等时采样方法检测磷化氢浓度,仓房内外及粮堆内磷化氢监测点布置如图 1 所示。

(1) 仓内布点:粮堆内水平分三层,每层 5 个测点,共 15 个测点。第一层位于粮面下 0.5 m,第二层位于粮面下 2.5 m,第三层距粮堆底部 1.5 m。粮堆空间中间位置和窗口分别设置 1 个测点,共 17 个测点。

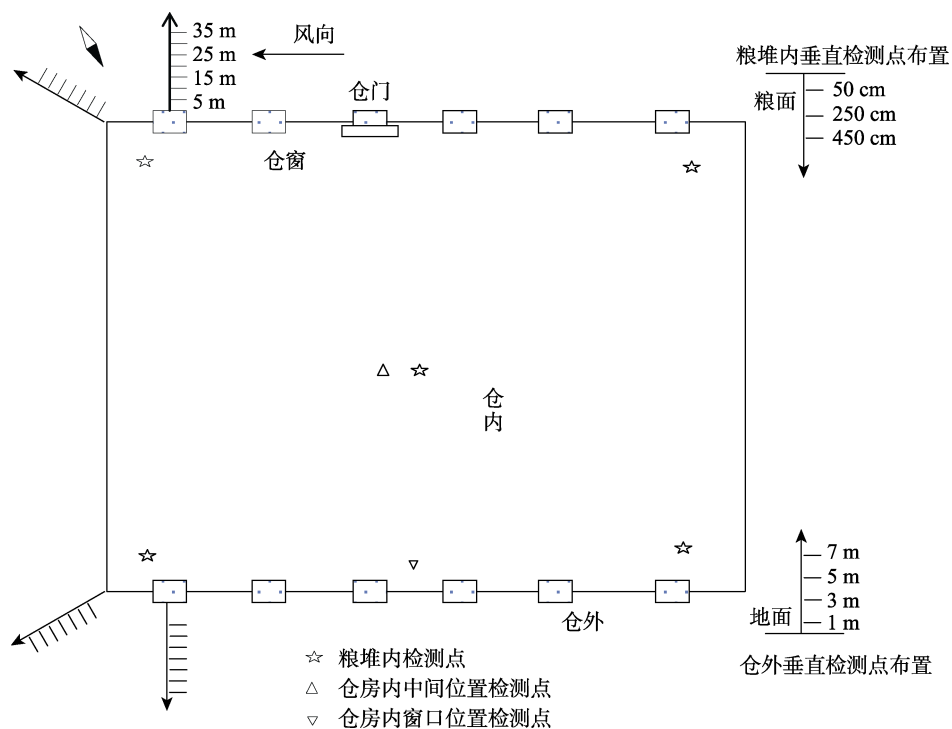


图 1 磷化氢各检测点布置示意图

(2) 仓外布点：根据开仓散气过程中窗口位置及风向确定检测点初始位置和检测方向，其中水平方向以高大平房仓为圆心，按扇形布点原则布点，携带磷化氢报警仪器沿仓房外围 0、5、10、15、20、25、30、35 m 进行磷化氢浓度测试；垂直方向根据仓窗及排风扇的位置和高度，在仓外每个水平检测点上按图 1 所示，设置垂直检测点。

(3) 仓门外侧布点：在仓门保持紧闭状态下，沿四周外沿上、下、左、右中央位置及 4 个边角，共设置 8 个检测点。

(4) 通风口外侧布点：在通风口保持紧闭状态下，沿四周外沿上、下、左、右中央位置，共设置 4 个检测点。

(5) 通风窗外侧布点：在通风窗保持紧闭状态下，沿四周外沿上、下、左、右中央位置，共设置 4 个检测点。

#### 1.2.4 采样时段

每天上午 8:30 和下午 16:30 分别检测仓内外环境磷化氢浓度，直至仓房内空气中磷化氢低于最高容许浓度，以反映不同时段仓内浓度变化和安全散气所需时间。开仓散气过程为重点采样时段，仓房内外各采样点采用同步等时方法采样，记录磷化氢浓度数据。

#### 1.2.5 检测方法

充分考虑现场采样安全，采用可伸缩杆手动调节采样点高度、人工变换采样点位置，辅助手持磷化氢检测仪进行现场检测。

#### 1.2.6 判断标准

引用 GBZ 2.1—2007 工作场所有害因素职业接触限值最高容许浓度(MAC)0.3 mg/m<sup>3</sup>，并参考美国职业卫生安全管理局(OSHA)8 h 工作时间平均暴露允许限值(PEL)0.3 mg/L 和短时间(15 min 暴露)接触的限值(STEL)1 mg/L、美国国家职业安全与卫生研究所(NIOSH)对生命和健康立刻有危险的限值(IDLH)200 mg/L 作为评价标准<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 熏蒸过程仓外磷化氢浓度

从图 2 中可以看出，仓房气密性满足熏蒸标准的高大平房仓进行熏蒸作业时，仓外不同距离磷化氢的平均浓度均为 0 mL/m<sup>3</sup>。但是，在紧邻仓门外侧、通风口外侧、仓房自然通风的窗户外侧，可以检测到较高浓度磷化氢，测试结果见图 3。结合实验结果和现有的行业规范，符合气密性要求的高大平房仓，在进行磷化铝常规熏蒸或磷化氢环流熏蒸时，应在距离仓房 10~20 m 处设置警戒线和警示标志；不符合气密性要求的高大平房

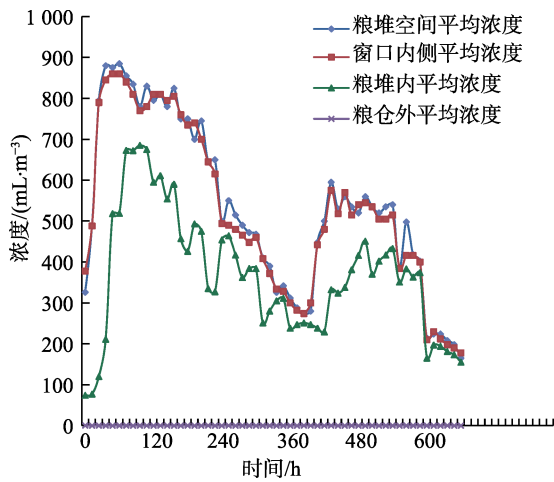


图 2 熏蒸过程中仓房内外磷化氢浓度

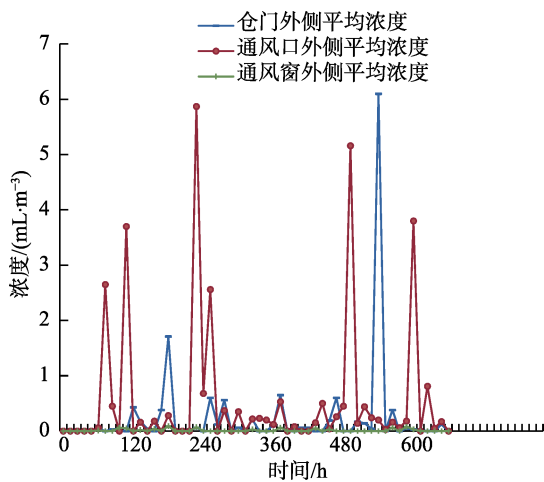


图 3 熏蒸过程仓门外侧、通风口外侧、通风窗外侧磷化氢浓度

仓应进行气密性改造,且达标后再进行熏蒸作业。

### 2.2 自然散气过程中仓外下风口方向磷化氢飘散距离

施药后密闭 28 d 后经检查杀虫效果理想,符合《粮油储藏技术规范》要求,散气 6.5 h 后从图 2 及表 1 可以看出,高大平房仓内磷化氢平均浓度为  $155 \text{ mL/m}^3$  时,采用自然通风散气,下风口 25 m 处,检测到的磷化氢气体浓度为  $0.03 \text{ mL/m}^3$ 。

### 2.3 结果分析

实验结果表明,利用门窗自然通风散气,随着距离增大,检测到的磷化氢气体浓度逐渐降低。熏蒸后开仓散气时距离多远才能达到安全浓度,受仓房内存储量、磷化铝熏蒸投药量、仓内熏蒸浓度以及通风条件等因素的直接影响,同时库区周边自然环境以及气压、气温、风速等微小气候也是十分重要的影响因素。本结果只能说明在本实验条件下磷化氢排放规律,并不能完全以固定

表 1 自然散气过程中仓外下风口方向不同飘散距离的磷化氢浓度  $\text{mL/m}^3$

水平方向不同 飘散距离/m	垂直方向不同飘散距离/m			
	1.0	3.0	5.0	7.0
0 (窗口)	1.45	1.45	1.79	133.00
5.0	1.60	0.43	0.19	4.12
10.0	0.05	0.06	0.1	0.03
15.0	0.04	0.03	0.03	0.05
20.0	0	0	0	0.04
25.0	0	0	0	0.03
30.0	0	0	0	0
35.0	0	0	0	0

的安全防护距离作为判定是否安全的依据,因此接近熏蒸散气区域前必须检测磷化氢浓度。

## 3 结论

### 3.1 熏蒸散气过程中的安全防护距离设置

按照现有技术规范和操作规程,进行磷化铝常规熏蒸或磷化氢环流熏蒸时,应在距离仓房 10~20 m 处设置警戒线和警示标志。根据本实验实地检测结果,建议如下:

当仓内(粮堆内)磷化氢气体浓度在  $150 \text{ mL/m}^3$  左右时,熏蒸散气时的警戒线设置距离应适当增加至 30~40 m;仓内(粮堆内)磷化氢气体浓度大于  $150 \text{ mL/m}^3$  时,不建议进行熏蒸散气操作。如必须进行散气操作,应适当增加安全防护距离并做好必要的检测及防护措施<sup>[15]</sup>。

### 3.2 熏蒸散气过程中的防护措施

从源头进行管控,降低熏蒸散气过程中排向大气中的磷化氢气体浓度,例如有序安排熏蒸作业顺序,避免集中开仓散气以降低污染物排放浓度,或者通过臭氧(化学吸收与分解)、紫外线(光降解)或两种处理技术相结合的降解装置等对排出的磷化氢进行预处理,以减少对仓外环境的危害,降低中毒等相关安全风险<sup>[16]</sup>。

倡导有效剂量熏蒸,熏蒸作业前,应当测定储粮害虫的抗性程度,根据储粮害虫的抗性程度设定磷化氢气体有效灭杀浓度及一次性杀死仓内害虫所需的最低密闭时间(杀死害虫幼虫和成虫的时间、害虫成虫被杀死前所产卵的孵化时间(或存在的蛹的发育时间)及杀死新出现的幼虫和成虫时间的总和)<sup>[17]</sup>;综合考虑粮堆温度、害虫抗

药性等方面的因素合理控制施药量，不仅能够减少磷化铝的使用量，降低所产生的磷化氢浓度，还能控制“三 R”（害虫的抗性、药剂残留、害虫再发生）效应的出现，有效防治害虫，达到有害生物综合治理的目的。

加强熏蒸作业流程细节管控，在日常工作中应加强对作业负责人及相关人员进行熏蒸散气作业的安全教育和培训<sup>[18]</sup>，使所有可能接触的人员真正掌握产生磷化氢中毒的原因、磷化氢中毒后可能的症状表现、磷化氢中毒后的急救知识、作业场所中磷化氢的测定方法、呼吸防护器具的使用方法和所制订的事故应急措施及应急预案的各项细节<sup>[19]</sup>。具体包括：

（1）严格执行仓储单位储粮熏蒸作业备案管理办法，制定详细的工作方案，明确作业目的、作业基本情况、作业仓房状况、粮情虫情状况、药剂情况、作业人员及其分工、熏蒸效果预测及安全无害化处置药剂残留措施、熏蒸散气办法、安全防护措施及应急处置预案情况等。

（2）设置合理有效的安全防护距离、隔离设施及警示标识。

（3）熏蒸散气前要安排好作业人员和安全防护人员，准备防护用品及检测仪器，做好安全防护工作。

（4）熏蒸时应安排专人负责安全防护，操作人员必须经过专门培训，严格遵守操作规程。

（5）熏蒸施药、库内巡检和开仓散气时应穿防护服，佩戴手套和佩带供气或供氧式呼吸防护器、磷化氢报警仪等必要的个人防护用具<sup>[20]</sup>。

（6）与毒气接触的人员在作业前后禁止饮酒，接触磷化氢气体后应及时用肥皂（或洗涤剂）洗净面部和手部，清洗干净所使用的防护用具，用清水漱口，一天内不应食用高蛋白、高脂肪食物。

（7）发现急性中毒症状应立即远离中毒现场，送医院救治，保持安静与休息。对于同样吸入但尚未典型临床表现者应至少在医院观察 24~48 h<sup>[21]</sup>。

## 参考文献：

- [1] 谢维治. 对高大平房仓安全储粮的思考[J]. 粮油仓储科技通讯, 2006(5): 55-56.
- [2] 周天智, 吴秋蓉, 许建华, 等. 高大平房仓储粮磷化氢熏蒸散气后残留量变化研究[J]. 华中昆虫研究, 2012, 41: 7-9.
- [3] 徐永安. 环流熏蒸施药与安全探讨[J]. 粮食储藏, 2015, 44(4): 51-53.
- [4] 栾涛, 刘华水, 苏振荣. 磷化氢吸入中毒临床分析[J]. 中国工业医学杂志, 2005, 18(2): 94-95.
- [5] 王淑惠, 毛爱玲. 吸入磷化铝中毒 5 例报告[J]. 河北医学, 1998(9): 40-41.
- [6] 陈新焕, 罗丽容, 易征璇, 等. 工作场所空气中磷化氢测定方法的改进[J]. 光谱实验室, 2012, 29(5): 2743-2745.
- [7] 张涛, 汪中明, 贺培欢, 等. 急性缺氧和高浓度磷化氢对小白鼠行为及器官的影响[J]. 粮油食品科技, 2015(6): 111-114.
- [8] 金路, 辛培防, 陈永根, 等. 磷化氢熏蒸尾气净化实验[J]. 粮食储藏, 2017, 46(3): 26-29.
- [9] 焦洁, 刘涛, 曾东, 等. 浅谈粮食仓储作业中职业病危害因素分析与控制[J]. 河南预防医学杂志, 2016, 27(4): 307-309.
- [10] 金路, 张思根, 陈永根, 等. 平房仓磷化氢熏蒸尾气处理与气体成分分析[J]. 粮食储藏, 2018(2): 19-22.
- [11] 陈曦, 岳龙飞, 崔晨星. 高大平房仓内小麦熏蒸过程中磷化氢浓度的动态检测分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(9): 144-148.
- [12] 温生山. 浅圆仓磷化氢环流熏蒸实验[J]. 粮油仓储科技通讯, 2010, 26(6): 33-35.
- [13] 李旭, 车望军, 邱泓, 等. 《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》若干问题探讨[J]. 中国职业医学, 2012, 39(1): 60-61.
- [14] 张建中, 陈发明, 叶青, 等. 烟草熏蒸过程中仓库内外环境磷化氢浓度检测[J]. 中国预防医学杂志, 2011(6): 528-531.
- [15] 张涛, 郝立群, 彭扬, 等. 粮食仓库有限空间作业有害因素辨识及预警防范[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(s1): 82-84.
- [16] 马梦苹, 尹绍东, 张来林, 等. 不同条件对臭氧紫外灯降解粮库磷化氢熏蒸尾气速率的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015, 12(9): 17-20.
- [17] 郑天阳, 冯靖夷, 宫庆, 等. 磷化氢环流熏蒸杀虫最低密闭时间的研究[J]. 粮食流通技术, 2008(1): 44-46.
- [18] 张涛, 曹阳, 赵会义. 缺氧对粮库进仓人员危害的探讨[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(1): 130-132.
- [19] 沙黎明. 密闭空间作业事故预防措施分析与应急救援方法[J]. 化学工程与装备, 2012(8): 189-191.
- [20] 庞文录. 磷化氢熏蒸的安全防护[J]. 粮食流通技术, 2002(2): 34-36.
- [21] 刘喜房, 任保印, 扬昭. 预防磷化氢中毒[J]. 劳动保护, 2008(5): 90-91. ☉