

粮食仓储建筑防虫与防火兼顾的围护体系设计

丁秀丽

皇冠亚细亚工程技术（武汉）有限公司，湖北 武汉 430073

[摘 要] 粮食仓储建筑围护体系既要限制储粮害虫、鼠类及外界污染物进入，又要满足粮堆降温、通风、熏蒸气密和建筑防火要求。传统设计往往分别配置防虫网、密封层、保温层和防火构造，容易出现节点叠加、材料相容性不足以及检修后性能衰减等问题。本文从害虫侵入路径、火灾荷载特征和围护层功能耦合关系出发，构建“基层承载—连续气密—复合保温—不燃防护—可维护封堵”的多层围护体系，重点分析墙体、屋面、门窗洞口、通风口及管线穿墙节点的构造方法，并提出分区设防、材料分级、熏蒸适配和运行巡检的协同管控机制。研究表明，只有将防虫、防火、气密、防潮和热工性能纳入统一的节点设计与验收体系，才能降低围护缝隙扩展、保温材料阴燃、熏蒸泄漏和害虫反复侵入风险，提升粮食仓储建筑的长期安全性与储粮稳定性。

[关键词] 粮食仓储建筑；防虫设计；建筑防火；围护体系；气密构造；节点封堵

DOI：10. 64635/ja. 2026. 1444 中图分类号：TU249. 2 文献标识码：A

Design of an Envelope System Balancing Pest Prevention and Fire Protection for Grain Storage Buildings

Ding Xiuli

Crown Asia Engineering Technology (Wuhan) Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430073, China

Abstract: The envelope system of grain storage buildings must not only restrict the entry of stored-grain pests, rodents, and external pollutants, but also meet the requirements for grain pile cooling, ventilation, fumigation airtightness, and building fire protection. Traditional design often separately configures insect-proof screens, sealing layers, insulation layers, and fire protection structures, which can easily lead to problems such as node overlapping, insufficient material compatibility, and performance degradation after maintenance. Starting from pest intrusion paths, fire load characteristics, and the functional coupling relationship of envelope layers, this paper constructs a multilayer envelope system consisting of base bearing, continuous airtightness, composite insulation, non-combustible protection, and maintainable sealing. It focuses on the structural methods for walls, roofs, door and window openings, vents, and pipeline wall-penetration nodes, and proposes a collaborative management and control mechanism involving zoned protection, material classification, fumigation adaptation, and operational inspection. The study shows that only by integrating pest prevention, fire protection, airtightness, moisture resistance, and thermal performance into a unified node design and acceptance system can the risks of envelope gap expansion, smoldering of insulation materials, fumigation leakage, and repeated pest intrusion be reduced, thereby improving the long-term safety of grain storage buildings and the stability of grain storage.

Keywords: grain storage building; pest prevention design; building fire protection; envelope system; airtight structure; node sealing

引言

粮食仓储建筑内部长期存放大量可燃粮食、包装物及粉尘，仓内又具有空间高、开口多、通风与熏蒸工况交替等特点，围护体系一旦出现裂缝、孔洞或材料失效，既可能形成害虫和鼠类迁移通道，也可能成为火焰、烟气和高温向相邻区域蔓延的薄弱环节。防虫通常强调缝隙控制、表面平整和熏蒸气密，防火则强调构件耐火、材料不燃和防火分隔，两者在材料选择和节点处理上具有高度关联，但在工程实践中常被

分散到建筑、消防、工艺和设备专业分别处理，导致设计边界不清。基于此，本文以平房仓、浅圆仓附属建筑及成品粮库常见围护构造为对象，从风险识别、体系构造和运维评价三个层面提出兼顾防虫与防火的设计方法。

1 粮食仓储围护体系的风险耦合特征

1.1 害虫侵入路径与围护薄弱部位

仓储害虫并非仅从大面积墙面进入，其主要通道集中在墙脚与地坪交接缝、屋面檐口、门框背衬空腔、

通风口、采光窗、排水孔以及电缆桥架和管道穿墙处。粮仓在昼夜温差、粮堆侧压力和基础微变形作用下,砌体或板缝容易产生 0.5 ~ 2.0mm 的微裂隙,足以成为谷蠹、米象等小型害虫藏匿和迁移空间;门窗密封条老化、金属防虫网变形及封堵材料脱落,则会形成更直接的侵入路径。设计时应以“连续界面”代替“单点封堵”思路,将内表面找平层、墙脚圆弧、门框密封、通风口网罩和穿墙套管统一纳入气密边界,并通过减少空腔、避免倒缝、控制可拆构件接缝宽度来压缩害虫栖息条件。对于需周期性开启的通风窗和机械通风口,应设置耐腐蚀金属网、可清洁框体及双道压紧密封,既阻断成虫进入,也便于熏蒸前快速检查。同时应建立由外向内的三道防线:场区清洁带减少虫源,建筑开口设置物理阻隔,仓内表面消除藏虫缝隙。对门窗和通风口不宜只规定网孔尺寸,还要校核框体抗变形能力及拆装后的重复密封性能。

1.2 火灾荷载与围护材料燃烧风险

粮食仓储火灾具有阴燃持续时间长、粮尘受扰后可能快速燃烧、屋面高温烟气聚集明显等特点。围护体系中的有机保温板、密封胶、发泡填充剂和塑料防虫网虽然用量有限,但若连续布置或暴露于仓内,一旦受热熔滴或阴燃,会削弱防火分隔并释放烟气。因此,外墙和屋面保温层应优先采用不燃或低燃烧贡献材料,保温层两侧设置完整保护层,严禁在防火分隔部位形成贯通空腔;门窗周边、檐口、变形缝和管线密集区需设置不燃隔断带,使保温层在局部受火时不发生横向蔓延。对于必须使用弹性密封胶的气密节点,应控制其截面尺寸并置于金属压条或防火封板之后,形成“内侧气密、外侧防火”的复合节点,避免单一密封材料同时承担耐火与气密功能。仓内高处还应减少裸露线缆和可燃吊顶,保温板连接件、密封压条及收边件宜采用金属构件连续固定。设计文件中应明确每类封堵材料的适用缝宽、填塞深度和保护层厚度,防止现场以同一种材料替代所有节点。

1.3 防虫与防火目标的协同约束

防虫要求围护体系尽量封闭,防火疏散和排烟又要求部分开口在火灾状态下可靠启闭;熏蒸要求仓体具备较高气密性,日常储粮则需要通风排湿。由此可见,设计重点不是把建筑永久封死,而是建立可转换、可检验的功能边界。具体可将围护界面划分为永久封闭区、工艺启闭区和设备穿越区:永久封闭区依靠结构基层、找平层和防火保护层形成连续屏障;工艺启闭区通过防火门窗、密闭闸板和防虫网实现不同工况

切换;设备穿越区则采用套管、柔性防火封堵和可拆压板,保证维修后能够恢复。综合性能可用气密完整性、耐火完整性、热桥控制、耐久性和可维护性五类指标评价,任何节点均不得以牺牲另一项关键性能换取局部便利,从而形成围护材料、构造层次与运行制度相互约束的设计逻辑。工况转换应写入建筑使用说明,例如通风结束后关闭密闭闸板、熏蒸前拆除影响压紧的临时构件、火灾状态下切断不必要的机械通风。通过把启闭顺序、检查项目和责任岗位固化,可避免良好构造因错误操作而失效。

2 防虫防火复合围护体系构造设计

2.1 墙体与墙脚连续密闭构造

墙体宜采用钢筋混凝土、烧结砌体复合抹灰或装配式夹芯板等基层,其中仓内侧表面应平整、坚硬、少缝并便于清扫。砌体墙内侧可设置聚合物水泥砂浆找平层和耐磨面层,阴阳角采用圆弧或钝角过渡,避免形成积尘和虫卵附着带;墙脚处将地坪防潮层、墙面气密层和踢脚防护层连续搭接,必要时在沉降敏感部位设置金属止裂网和弹性密封槽。采用夹芯板时,芯材应满足防火要求,板缝内设置耐高温密封条,外侧以金属盖缝板机械固定,板端及墙脚用不燃封闭件截断芯材。墙体变形缝可设置双层盖板,内层柔性密封保持熏蒸气密,外层不燃金属构件限制火焰冲击;缝腔内不宜使用裸露可燃泡沫。通过基层承载、内侧连续气密和外侧防火保护的分层设计,可避免墙面裂缝既成为虫道又成为火灾烟气通道。墙面施工完成后宜用侧光检查平整度和细微裂缝,并在粮面线以下设置耐冲击防护区,以抵抗机械清仓和粮食装卸碰撞。墙脚密封层的上翻高度、搭接宽度和收头位置应在节点详图中标注,不得仅以文字笼统说明。

2.2 屋面保温及檐口防护设计

屋面是粮仓热湿交换和火灾烟气作用最集中的部位,其构造应同时控制夏季热辐射、冷凝水、虫害潜入和保温层燃烧传播。屋面保温宜采用不燃保温材料或经防火构造完整包覆的低燃烧贡献材料,并在采光带、天沟、屋脊、檐口和防火分隔线处设置不燃隔离带。压型金属屋面板的搭接缝应配置耐候密封条和机械锁边,内衬板接缝使用金属压条封闭,防止因负压风反复作用产生翘缝;混凝土屋面则应重点处理防水收头、设备基座和落水口周边裂缝。檐口与屋面通气构造不能直接敞开,可采用迷宫式通风路径、不锈钢防虫网和可拆清洁罩组合,网孔尺度根据目标害虫确定,同时保证有效通风面积。防虫网与防火封板之间应留检

修空间,避免积尘堵塞后人为拆除网罩,从源头维持屋面围护功能。屋面检修口、测温电缆出口和风机基座周边宜设置高出屋面的金属泛水及二次密封,避免渗水后保温层吸湿、变形并诱发缝隙。对大跨度轻型屋面,还应结合结构挠度预留密封变形量,防止温度伸缩把防虫网或盖缝板拉裂。

2.3 洞口与穿墙节点复合封堵

仓门、人员门、通风口和管线穿墙节点是复合围护体系的控制重点。仓门宜采用金属门扇和不燃芯材,门框与墙体间通过预埋连接件固定,缝隙以不燃填充材料填实,内侧设置连续弹性密封,门槛采用耐磨、易清扫且不积水的构造;双扇门中缝应设置企口或压紧条,避免仅靠毛刷条防虫。通风口应配置金属防虫网、密闭闸板及与消防联动相适应的启闭装置,网罩框与墙体之间采用螺栓压紧和耐候垫片,便于拆洗后复位。电缆、消防管道和测温线缆穿墙时,应优先使用预埋金属套管,套管与墙体之间以防火封堵材料填实,套管内部按“无机封堵层—柔性密封层—金属防护盖板”处理;新增线路不得随意钻孔后用普通发泡剂填充。对于多根线缆集中区域,可设置模块化防火密封组件,既满足耐火与烟密要求,又便于增减线缆后恢复完整性。仓门外侧可设置可清扫缓冲区,减少装卸车辆携带虫源直接进入;门框下部和轨道槽应避免形成积粮死角。消防水管、喷淋支管等穿越防火分隔时,应保证管道自身防腐、保温与防火封堵之间不留环形空隙。

3 围护体系实施与全寿命管控

3.1 材料选型与相容性控制

围护材料选型应以燃烧性能、气密耐久、耐熏蒸腐蚀和清洁维护为共同约束。金属构件宜采用镀锌钢板、不锈钢或经防腐处理的铝合金,防虫网应具有足够丝径和框体刚度,避免高压清扫或反复拆装后破损;密封条应具备压缩回弹、耐低温和耐磷化氢等熏蒸介质性能,密封胶则需与混凝土、金属和涂层基层相容。保温材料不能只依据导热系数选择,还应核查燃烧性能、吸水率、尺寸稳定性及与防水层的粘结条件。不同材料交界处应设置机械固定或过渡层,避免因热膨胀系数差异导致开裂。样板施工阶段可对典型墙板缝、门框、套管和檐口进行拉拔、淋水、烟密或负压检测,提前暴露密封胶开裂、压条变形和封堵空鼓等问题,使材料性能通过节点验证转化为整体围护性能。材料进场后除核验合格证明外,还应抽查密封条硬度、金属网孔径、保温板厚度和封堵材料固化状态。熏蒸频

繁的仓房可先进行小样暴露试验,观察密封材料是否出现软化、粉化或粘结力下降,再确定批量应用。

3.2 施工验收与性能检测方法

施工质量控制应围绕“看得见的构造”和“测得出的性能”同步开展。隐蔽前检查保温层隔离带、套管周边封堵深度、板缝密封条连续性和金属网固定点,禁止以表面抹灰掩盖内部空洞;面层完成后对仓门压紧、通风闸板闭合、檐口网罩和墙脚裂缝进行逐项核验。气密性能可采用仓内外压差衰减、烟雾示踪或局部负压法查找漏点,重点记录门缝、屋脊、风管法兰和电缆孔洞;防火验收则核对构件耐火要求、保温材料证明、封堵系统适用范围和防火分隔连续性。对于气密和防火共用的节点,应实行一处一档,保存材料批次、施工照片、检测结果和责任人员信息。验收不应仅以竣工时合格为终点,还应形成可复测基准,为后续熏蒸前检查和消防巡查提供量化依据。检测宜在门窗全部关闭、通风设备处于规定状态下进行,并记录室内外温度、风速和压差条件,以保证复测结果可比较。对发现的漏点应在图纸上编号定位,修复后进行同条件复测,避免只凭肉眼确认补胶是否完成。

3.3 运维巡检与分级维修机制

粮仓围护体系在长期温差、风荷载、设备振动和门窗启闭作用下会逐步退化,需建立按风险分级的巡检机制。高风险部位包括仓门下槛、墙脚变形缝、屋面板搭接、通风口、消防管线穿墙和曾发生渗水的节点,宜在入粮前、熏蒸前、雨季后和冬季结露期重点检查;一般墙面和屋面可结合年度维修巡检。发现防虫网破损、密封条失弹或表面裂缝时,应先判断其是否影响防火分隔和气密边界,禁止采用纸板、塑料布或普通泡沫临时填塞。维修材料原则上不得降低原节点燃烧性能,拆换后应重新进行压紧、烟密或局部负压复测。运维台账可设置裂缝宽度、门缝压缩量、网罩破损率、漏气点数量和封堵完好率等指标,依据变化趋势安排预防性维修。通过设计、施工、检测和运维数据闭环,可使围护体系从一次性建造转向全寿命安全管理。可将缺陷分为立即处置、限期维修和持续观察三级:影响防火分隔或形成明显虫道的缺陷立即封闭,密封性能下降但尚未贯通的节点限期更换,稳定的表面细裂缝纳入趋势监测。分级结果应与仓房使用计划联动。

4 结语

粮食仓储建筑防虫与防火并非两个相互独立的设计任务,其共同基础是围护界面的连续性、材料的稳

定性和节点的可恢复性。本文提出的复合围护体系以不燃承载基层为基础,以连续气密层限制害虫和熏蒸气体迁移,以保温防潮层稳定仓内热湿环境,以金属或无机保护层抑制火焰蔓延,并通过可拆压板、套管和模块化封堵保证设备检修后的性能恢复。工程应用中应重点控制墙脚、檐口、门窗、通风口和管线穿墙等薄弱位置,将材料燃烧性能、气密检测和防虫检查纳入同一验收清单,同时建立熏蒸前复核、季节性巡检和分级维修制度。只有实现构造设计与运行管理协同,才能在不影响通风、降温和工艺操作的前提下,持续降低虫害侵入、火灾蔓延及围护失效风险。

[参考文献]

- [1] 孙冰. 粮食仓储企业消防安全管理问题及应对措施研究[J]. 消防界(电子版),2024,10(23)4-6. DOI:10.16859/j.cnki.cn12-9204/tu.2024.23.006.
- [2] 王莺桦,李亚舒. 粮食住进好“房子”[N]. 贵州日报,2024-06-13(011). DOI:10.28255/n.cnki.ngerb.2024.003141.
- [3] 唐培安,吴学友. 储粮害虫综合治理技术研究[M]. 化学工业出版社:2024.
- [4] 建筑防火通用规范:GB 55037—2022[S].