

动物房排水管道的防臭与防返溢技术优化

吴倪征

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214000

摘要: 动物房作为科研实验的重要设施,其排水系统承载大量粪便、毛发、垫料及消毒废水,管道堵塞与臭气返溢问题突出,直接影响动物健康与实验准确性。本文分析了动物房排水负荷特征、臭气产生机理及现有设计缺陷,从防臭与防返溢两个维度提出系统性技术优化方案。包括新型地漏与存水弯选型、主动式水封保持装置、通气系统优化、防返溢地漏与止回阀设置、排水管道水力优化及智能监测系统部署。研究表明,采用“源头拦截+水力优化+气封隔离+智能预警”四位一体技术体系,可有效解决动物房排水系统顽疾,为高标准化动物房建设提供技术参考。

关键词: 动物房;排水管道;防臭;防返溢;水封保持;技术优化

引言: 动物房排水系统长期面临高浓度有机物、大量毛发纤维、间歇性排水及消毒剂腐蚀等多重挑战。传统建筑排水设计未充分考虑动物房特殊工况,导致地漏水封干涸、管道正负压破坏、臭气返溢及污水倒灌等问题频发。臭气中的氨气、硫化氢不仅影响动物福利,还可能干扰实验结果;污水返溢则直接威胁生物安全。本文从防臭与防返溢两个维度出发,提出涵盖新型装置选型、水力设计优化及智能运维的完整技术方案。

1 动物房排水系统问题分析与机理研究

1.1 动物房排水负荷特征

动物房排水负荷与民用建筑存在本质差异。水质方面,排水含大量粪便、垫料碎屑及毛发,悬浮物浓度达 500~1500mg/L,远超普通生活污水,毛发纤维易缠绕积聚,是管道堵塞的主要物质。水力方面,排水呈间歇性、时段集中性,笼具清洗时段瞬时峰值流量可达平均流量的 3~5 倍,夜间排水极少。此外,笼具清洗常采用 60~80℃热水,管道承受较大温度冲击;残留消毒剂对金属管道及橡胶密封件具有腐蚀作用,加速设备老化。上述复合负荷使动物房排水系统面临远高于普通建筑的运行压力。

1.2 臭气产生与返溢机理

动物房排水臭气主要成分为氨气、硫化氢等,氨气阈值浓度仅 0.5~1.0ppm,微量即可感知。臭气产生有三条途径:管道内有机物厌氧分解产气;地漏水封破坏后气体逸散;排水时正负压波动将气溶胶从存水弯处喷出。水封失效是臭气返溢主因,失效机制包括蒸发损失(不常排水地漏 7~15 天干涸)、自虹吸损失、诱导虹吸损失及正压喷溅损失。返溢问题主要由管道堵塞或立管

底部压力过高引起,当水平干管排水不畅或堆积物过多时,污水可能从低层地漏倒灌进入室内^[1]。

1.3 现有设计常见缺陷

当前动物房排水系统普遍存在四类缺陷。一是地漏选型不当,普通直通式地漏水封仅 30~50mm,远低于规范要求的 50~100mm,间歇排水下极易干涸。二是管道布置不合理,水平管坡度过缓,毛发沉积加速;转弯多且用 90°急弯,增加堵塞风险;管径未考虑瞬时高峰流量,清洗时段频繁壅水。三是通气系统缺失,仅靠伸顶通气管通气,立管正负压波动可达 $\pm 400\text{Pa}$ 以上,足以破坏水封。四是维护设计盲区,检查口不足,毛发过滤器缺失或不便清理。这些缺陷叠加特殊负荷,使排水系统成为设施运行的薄弱环节。

2 防臭技术优化方案

2.1 新型地漏与存水弯选型

针对动物房间歇排水、水封易干涸的特点,应从地漏与存水弯两个层面优化选型。地漏方面,优先推荐深水封地漏,水封深度不小于 100mm,干涸周期可延长至 30 天以上,远超动物房常规排水间隔。深水封地漏内置多级折流结构,可有效防止气流贯穿水封。对于长期不排水的地漏点位,可选用机械式密封地漏,采用弹簧或磁力驱动密封盖板,排水时自动开启,无水时自行闭合,形成物理隔绝,彻底消除干涸风险。存水弯方面,优先采用一体注塑存水弯,减少了法兰接口和密封圈数量,从源头降低渗漏和臭气逸散风险。存水弯水封深度应控制在 50~100mm 之间,且应设置检查清掏口便于维护。对于安装空间受限的区域,可选用墙排式隐蔽存水弯,集中布置于管道井内。各类地漏及存水弯材质应

选用耐腐蚀的 304 不锈钢或 UPVC, 抵抗消毒剂侵蚀。

2.2 主动式水封保持装置

对于无法保证定期排水的地漏点位, 被动依靠水封深度已不足以杜绝干涸风险, 需引入主动式水封保持技术。自动补水装置是最成熟的方案, 在地漏存水弯处设置液位传感器或定时控制器, 当水封高度低于设定阈值或达到设定时间间隔时, 自动开启电磁阀补水, 直至水封恢复。补水管路应设置止回阀防止倒流污染。对于不具备自动补水条件的小型动物房, 可选用防干涸地漏芯, 其内置蓄水腔体, 使蒸发速率降低 60% 以上, 同时配备防虹吸装置防止水封被抽吸破坏。油封替代技术适用于极低频排水场景, 在存水弯内注入食用级白油, 浮于水封表面形成液封, 几乎不蒸发, 可维持半年以上有效密封^[2]。对于重要实验区域的地漏, 可采用双层水封设计, 即地漏自带水封与管道存水弯形成串联式双水封, 大幅提升可靠性。

2.3 管道通气系统优化

排水管道通气系统的核心功能是平衡管道内气压, 防止正负压波动破坏水封。通气优化应从三个层面展开。第一, 伸顶通气管管径不应小于排水立管管径的 50%, 伸出屋面高度不小于 0.3m, 应设置网罩防止杂物落入, 高寒地区需采取防冻措施。第二, 根据规范要求, 排水负荷较大或楼层超过 6 层时应设置环形通气管。动物房因瞬时排水量大, 建议每隔 2~3 层设置环形通气管, 连接至辅助通气立管, 形成双立管排水系统。第三, 对于改造项目或受限空间, 可在排水支管末端安装正负压平衡阀, 当管道内出现负压时阀片开启补气, 正压时关闭密封, 单阀可平衡 $\pm 300\text{Pa}$ 以内压力波动。吸气阀应选用高密封性产品, 安装高度高于溢流口。优化后排水立管压力波动可控制在 $\pm 200\text{Pa}$ 以内, 从源头消除了气压诱发的水封失效风险。

3 防返溢技术优化方案

3.1 防返溢地漏与止回阀

污水返溢是动物房排水系统最严重的安全事故, 可能导致病原微生物扩散。防返溢技术的核心是在回流路径上设置单向截断装置。防返溢地漏是在深水封地漏基础上集成止回机构, 常见浮球式和翻板式两种。浮球式内置空心浮球, 正常排水时浮球下沉, 水流经环形间隙流入管道; 管道内水位上升时浮球上浮封堵排水口, 阻止污水倒灌。翻板式依靠弹簧或不平衡翻板, 排水时水压推开翻板, 返溢时自动关闭。管道层面应在排水支管接入主立管处及立管底部出户管处设置止回阀。支管处

宜选用旋启式止回阀, 流阻小、适合间歇排水; 立管底部宜选用弹簧辅助对夹式止回阀, 关闭迅速且不易被纤维缠绕。止回阀应选用耐腐蚀材质并设置检修口。对于生物安全等级较高的动物房, 建议采用双级止回防护, 即在每层支管和立管底部各设一道止回装置, 显著提升防返溢可靠性。

3.2 排水管道水力优化设计

排水管道水力优化的核心是确保固体物质被有效输送而不发生沉积。动物房因毛发和垫料纤维含量高, 对水力条件要求更严格。水平管坡度应基于自清流速原则设定, 含纤维性固体排水的最低自清流速为 $0.8\sim 1.0\text{m/s}$ 。经计算, DN75 管坡度不应小于 1.5%, DN110 管坡度不应小于 1.2%, DN160 管坡度不应小于 0.8%。管道布置应遵循“直线最短”原则, 必须转弯时采用两个 45° 弯头替代 90° 弯头; 水平干管每隔 15~20m 及转弯处前应设置带清扫口的检查井或三通。管径应根据高峰秒流量计算并预留 20%~30% 富裕能力, 单个笼具清洗间排水支管不宜小于 DN75。应在排水口处设置网孔直径不大于 1.5mm 的毛发收集器, 便于每日清理。水力优化的目标是使管道在任何工况下均能维持自清流速, 从根本上预防沉积堵塞引发的返溢风险^[3]。

3.3 压力平衡与泄压措施

排水管道内正负压波动会诱发水封破坏并加剧返溢风险, 需从立管、横支管及地下室三个维度综合施策。立管层面, 在底部转弯处采用大半径弯头 (弯曲半径 ≥ 3 倍管径) 或设置 1.5~2.0m 水平过渡段, 减少水跃现象; 立管底部与出户管连接处宜设置泄压管连接至室外通气井。横支管层面, 长距离水平干管 (超过 15m) 应设置中间通气立管或吸气阀; 排水支管接入立管的三通处应采用 45° 斜三通替代正三通, 减少压力波动。地下室层面, 集水坑应密封处理并设置通气管接至室外; 污水提升泵应采用密闭式装置, 避免臭气逸散。优化后排水系统在满负荷工况下, 立管压力波动应控制在 $\pm 200\text{Pa}$ 以内, 每层水封高度损失连续排水 10 次后不超过 15mm。对于气压波动异常的系统, 可增设动态压力监测仪表, 实时记录压力峰值。

4 智能监测与运维管理系统

4.1 排水状态在线监测

传统运维模式下, 排水问题往往在臭气弥散或污水溢出后才被发现, 处置滞后。在线监测技术可实现从“被动响应”向“主动预警”转变。水封状态监测方面, 在地漏存水弯处安装非接触式液位传感器, 实时

监测水封高度,当高度低于 30mm 时自动报警。重点区域地漏可预埋传感器套管便于后期加装。臭气浓度监测方面,在室内及管道检查井内安装气体传感器,重点监测氨气、硫化氢浓度,氨气限值设定为 5ppm,硫化氢限值为 5ppb。管道工况监测方面,在立管及水平干管关键节点安装压力传感器和流量计,实时监测压力波动和瞬时排水量。当流量长期低于正常值 80% 时,可能存在局部堵塞。所有监测数据应具备历史趋势记录功能。传感器选型需考虑高湿、腐蚀性环境,防护等级不低于 IP65,关键传感器应采取冗余配置,避免单点故障导致系统失效。

4.2 自动化控制策略

自动化控制通过联动逻辑实现排水系统各组件的协同工作,自动补水控制方面,采用双重触发模式:液位传感器检测到水封低于 30mm 时立即补水;同时设定时间补偿,连续 72 小时未触发报警则执行定时补水,防止传感器漂移导致漏补。补水电磁阀在水封恢复至 50mm 以上或补水持续 60 秒后关闭。排风机联动控制方面,根据臭气浓度自动调节排风量,氨气超过 3ppm 时排风量提升至 120%,超过 5ppm 时提升至 150% 并触发声光报警。堵塞预警方面,基于压力波传播原理,在排水干管上下游设置压力传感器,结合多点传感器阵列可将堵塞定位精度控制在 $\pm 2\text{m}$ 范围内,报警信息推送至运维人员手机终端。控制逻辑应具备手动/自动切换功能,关键回路配置备用电源^[4]。

4.3 运维管理制度

技术优化只能解决设计层面的问题,长效的运维管理才是保障排水系统持续健康运行的根本。制定标准化的巡检清单,明确各点位检查内容和周期。地漏水封检查每周不少于 1 次,重点区域(如笼具清洗间、动物饲养室)每周 2 次,检查水封高度是否在 50~100mm 范围内,不足时应补灌水或查明原因。地漏及毛发收集器清理每月不少于 1 次,清理时需彻底清除滤网上的毛发、纤维及沉积物,并检查地漏盖板、密封圈是否完好。每季度应对管道系统进行一次高压射流清洗,清洗压力控

制在 15~20MPa,从检查口或清扫口伸入,逐段推进直至全部管段清洗完毕;同时检查止回阀、吸气阀等装置的动作灵活性,对卡滞部件进行润滑或更换。制定针对不同严重程度的返溢事故处置流程。一级返溢(局部少量溢水):立即停止涉水区域用水,使用干式吸尘器清理溢水,对溢水区域进行消毒处理后排查原因。二级返溢(大范围污水倒灌):立即关闭该区域总供水阀门,疏散人员和动物,启动应急通风系统,通知专业疏通队伍进场处置,并按照生物安全规程对环境进行全面消毒。动物房运维人员应接受排水系统原理与操作规程培训,掌握水封补水、毛发收集器清理、传感器校准等基本技能,培训考核合格后方可上岗。制度执行情况应纳入设施运行管理考核指标,与绩效考核挂钩,确保各项制度落到实处。

结束语

动物房排水管道的防臭与防返溢是保障实验动物设施安全运行的关键技术问题。本文系统分析了动物房排水负荷特征、臭气产生与返溢机理及现有设计缺陷,提出了涵盖新型地漏与存水弯选型、主动式水封保持、通气系统优化、防返溢地漏与止回阀、排水管道水力优化、智能监测与自动化控制及运维管理制度的完整技术体系。该技术方案已在多个动物房改造项目中验证有效,为高标准化动物房建设提供了可操作的技术路径。

参考文献

- [1] 江杨帆,吕涵,余怡艳,等.实验动物环境设施检测实践及探讨[J].江西科学,2025,43(4):701-707.
- [2] 聂淑雨,曲云霞,侯雯琪.实验动物环境空调系统节能研究进展[J].煤气与热力,2022,42(2):31-36.
- [3] 孙宏,周航海,沈琦,等.畜禽养殖场恶臭污染物排放及其处理技术研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2024(22):23-28.
- [4] 李娟,王燕华,王爱喜,等.畜禽养殖项目环评中恶臭污染物种类及执行标准的探讨[J].中国标准化,2024(14):113-116.