

硝酸铵爆炸特性及其安全存储技术探讨

马静

国能乌海硝酸有限责任公司，内蒙古乌海市，016000；

摘要：硝酸铵作为一种常见的含氮化合物，广泛应用于农业、工业及采矿等领域，但其具有潜在爆炸风险，已引发多起重大安全事故。本文从硝酸铵的理化特性出发，系统分析其在高温、杂质引入、物理刺激等条件下的爆炸机制，深入剖析储存过程中的关键危险因素。通过对典型爆炸事故的物理演化特征进行归纳，明确其致灾机理。进一步探讨储存设施在选址、防护、通风与监控等方面的技术要求，并提出提升安全水平的措施，如改性稳定、信息化预警系统等。研究结果可为硝酸铵储存管理提供理论依据和技术支撑，降低其引发爆炸事故的概率，保障生产与社会公共安全。

关键词：硝酸铵；爆炸特性；热分解机制；安全存储；风险控制

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.041

引言

硝酸铵兼具氧化性与热不稳定性，是一种用途广泛而敏感性较高的化工原料，尤其在农业施肥和炸药制造领域占据重要地位。其在常规条件下相对稳定，但受热、冲击或与可燃物接触时极易发生剧烈分解反应，进而引发爆炸。近年频发的硝酸铵爆炸事故表明，单纯依赖传统仓储制度和操作规范难以应对其潜在的复合风险，急需从科学原理出发，重新审视其爆炸机制与诱发条件。本文拟在厘清硝酸铵爆炸特性基础上，聚焦其安全存储的工程控制策略和系统防护路径，旨在提升行业对硝酸铵储运全过程的风险防控能力。

1 硝酸的物理化学性质及爆炸机制

1.1 硝酸的基本理化特征及其危险性识别

硝酸铵为白色结晶性固体，易溶于水，具有较强的吸湿性和氧化性，常温下稳定，遇高温或强烈撞击时易发生剧烈分解反应。在加热条件下，硝酸铵可分解生成氧化氮、水蒸气等气体，释放大量和气体体积，造成压力骤增，从而导致爆炸。其分解过程无须外加可燃物，属于自催化型反应，在封闭或半封闭环境中更容易积聚热量并形成爆炸条件。该物质还易与多种有机物或可燃粉尘发生氧化还原反应，引发次生危险。由于其反应活性受外部条件影响显著，危险性具有潜伏性与突发性并存的特点，需通过严格控制环境参数和储运方式加以预防。

1.2 硝酸热分解过程中的能量释放机理

硝酸铵在受热条件下的热分解属于高度放热反应，初

期反应中会生成亚硝酸铵和一氧化氮，伴随体系温度升高反应速率迅速加快。高温诱导下，分解产物发生二次反应，进一步生成二氧化氮、水蒸气等高压气体，并释放出大量热量。该过程呈链式自加速特征，导致局部温度不断升高直至出现热爆。硝酸晶体结构内氮氧键能较低，是热激发裂解的主要通道。当粒子聚集致密或分散不均时，内部热传导受阻，将引发微区热聚集效应，使局部区域率先进入热失控状态。不同环境下其分解温度和速率存在显著差异，说明硝酸热分解具有条件依赖性和不稳定触发特征。

1.3 硝酸与杂质或助燃剂混合后的爆炸反应路径

硝酸本身虽为中等爆炸危险物，但与可燃性杂质混合后其危险等级急剧上升。常见有机物如柴油、糖类、木屑等可作为还原剂，与硝酸在高温或撞击下发生剧烈氧化还原反应，生成大量高温气体，形成爆炸波。硝酸与氯酸盐、铝粉等助燃剂共同作用下，反应活化能大幅下降，敏感性显著增强，反应路径从缓慢分解转向剧烈爆炸。杂质掺入不仅提供反应物成分，还改变硝酸粒子的表面活性与物理分布，引发热点形成和局部氧化链增长，从而诱发系统性失控。在堆积储存状态中，不均匀掺杂更容易造成能量集中效应，使爆炸起始点具有不可预测性和高破坏性。

2 影响硝酸爆炸风险的关键因素分析

2.1 温度、湿度及通风条件对稳定性的作用

环境温度对硝酸的热稳定性具有直接影响，随着气温升高，其自加速分解反应更容易被激发，特别是在封闭空间内温升不易扩散时，极易触发热失控。湿度增加

将加剧其吸湿趋势,形成结块或液化状态,使得晶体结构被破坏,形成不稳定的过饱和区域,在一定条件下可能形成液体喷发或小规模炸裂。通风条件不足会造成热量聚集和气体积压,使局部区域易形成高压腔,进而诱发剧烈爆炸。高湿环境还可能加速杂质腐蚀容器内壁,造成微裂纹等隐患,加重系统不稳定性。环境调控能力直接决定硝铵是否能维持在可控状态,是安全储存管理中必须严控的外部变量。

2.2 颗粒粒径、密度与成型方式对爆炸敏感性的影响

硝铵颗粒越细,单位体积表面积越大,其受热面积增大,反应活性提高,易形成大量热点区域诱发链式分解反应。低密度堆积状态下,空气夹杂增多,有利于氧化还原反应进行,爆炸传播速度加快。不同造粒工艺会影响其孔隙率、颗粒形貌和内部缺陷分布,形成不同的热传导通道与能量释放路径。压制成型硝铵因颗粒间空隙较小,在高温条件下不易释放反应气体,反而可能

形成内压失控的局部爆点。粉末状硝铵在机械震动、摩擦或静电作用下极易引发自燃或爆炸。粒径控制和成型工艺的优化是降低其敏感性和增强热稳定性的有效路径。

2.3 容器材质、堆码高度及外部刺激的诱爆可能性

储存容器的材质对硝铵的热传导和结构强度具有决定性作用,金属容器易在腐蚀或变形后形成局部高温区,成为爆炸的诱因。非金属材料如聚乙烯虽具绝缘性,但在高温条件下易熔化或释放可燃气体,形成新的风险点。堆码高度过大将导致下部区域热散不畅,气体不易逸散,形成隐蔽的高压反应层。长期高堆压缩还可能造成粒子物理形变和自加速热聚集现象。外部因素如静电积聚、摩擦火花、机械撞击、光照集中等均能触发硝铵反应起始点,特别是在与氧化还原组分混合后,该诱发性显著增强。合理设计储存结构与运输装置是抑制外部诱爆因素的关键环节,图1为基于安全生产建设的硝铵的生产工艺流程。

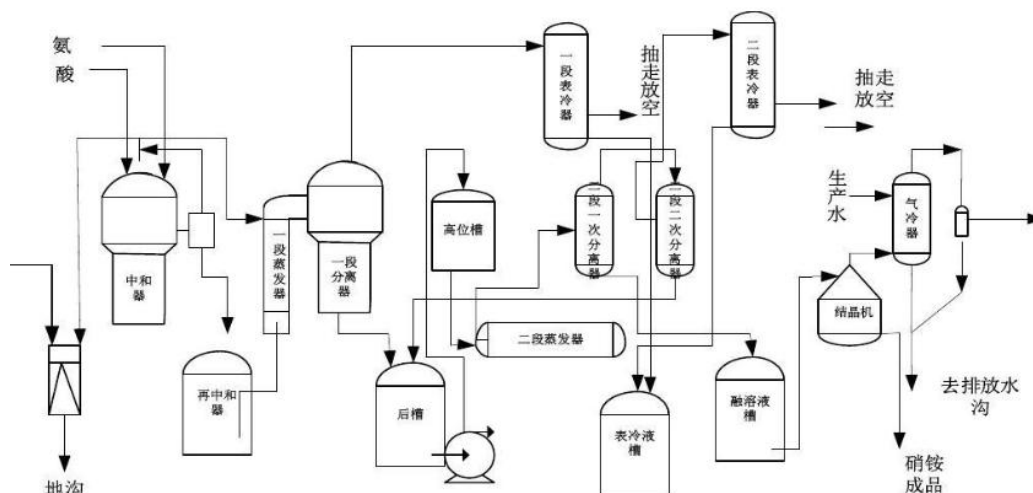


图1 基于安全生产建设的硝铵的生产工艺流程

3 硝铵爆炸事故的典型特征与演化规律

3.1 起爆源识别与初期反应模式解析

硝铵爆炸通常由局部过热、机械撞击、电火花或混杂质引发初始反应,起爆源常见于作业过程中的明火、焊接、高温设备或静电释放。爆炸前期表现为缓慢升温或轻微烟雾释放,伴随内部结构开始分解并逐步释放热量和气体。进入自催化阶段后,系统内温度迅速上升,压力增大,热解反应加速推进,最终突破临界稳定阈值形成爆燃或爆轰。初期未采取干预措施时,热量易在封闭环境中累积,促使反应链持续强化。起爆行为具有随

机性与突发性特征,反应区边界模糊,受杂质分布与物理状态影响显著,准确识别潜在诱因与响应路径是有效防控事故的关键。

3.2 事故冲击波、火球与热辐射的传播行为

硝铵爆炸形成的冲击波具有极强的压缩性和穿透力,其传播速度可达声速的数倍,导致大范围物理结构瞬间破坏。火球产生于分解释放的高温气体与氧化反应叠加区域,直径可扩展至数十米,辐射热量瞬间覆盖广泛区域,灼伤人员并引燃周边易燃物。爆炸中心温度可达2500℃以上,火球持续时间受周边可燃物和反应强度

影响,形成持续放热过程。高温气体的快速上升引发空气扰动,产生强烈上升气旋并可能夹带固体颗粒形成爆炸尘云,对环境造成二次冲击。辐射热能具有强穿透力,对封闭空间和远距离目标均可造成热破坏,需高度关注其热传播通道和反射效应。

3.3 次生灾害(毒气、火灾等)的关联机理

硝酸铵分解过程中释放出氮氧化物等有毒气体,易形成黄色烟团随风扩散,吸入后对呼吸系统造成强烈刺激与损伤。高温爆炸产生的大量火星与高热流引燃周边油品、木材等可燃物,形成大面积火灾蔓延,复杂火源交织加剧事故扩展。冲击波破坏化学品储罐或压力容器时会导致危险品泄漏,与空气、水体或其他反应物接触后可能引发化学反应甚至二次爆炸。有毒气体在无风或逆温条件下聚集于低洼地带,对救援人员构成隐蔽危害。地面结构破坏还可能引发电路短路、燃气泄漏、交通中断等次生系统性风险,对区域应急响应和后续处置提出极高要求。

4 硝酸铵安全存储的技术原则与管理要求

4.1 储存设施的选址规范与结构设计要点

硝酸铵储存设施应远离居民区、水源保护地及高压输电线路,确保周边具备有效隔离和紧急疏散通道。选址需评估区域气候条件与地质稳定性,避免建于易积水、易滑坡或高温暴晒区域。结构设计方面应采取阻燃、抗震、防爆标准,库房宜采用隔热防潮材料,墙体厚实、设有通风隔栅,屋顶具备自动排气与散热功能。储存区应按防火分区要求划定独立单元,设立防火墙与防爆间距,通道宽度满足装卸与逃生要求。地面采用抗腐蚀防渗材料,防止液态硝酸铵或冷凝液渗漏扩散。整体布局应便于监测系统布设和自动化管理设备的实施。

4.2 温控、防潮、防震等设施的配置要求

库区必须安装高精度温控系统,维持储存温度在 25℃ 以下,设置多点感温装置与自动报警系统,防止因热聚集引发反应启动。采用密封容器或设有控湿设备控制空气相对湿度低于 50%,防止吸湿结块导致热不稳定或堆积自热反应。地面应具备防震减振结构,防止地震或重物冲击造成结构震荡诱发爆炸。通风系统应保证空气对流顺畅,避免死角积热积气,采用防火防爆型风机与管道,配置防逆流装置防止外部火源回流。设施运维要求每日巡检,重点部位配备冗余系统与远程监控设备,确保在多重环境应力下维持系统稳定运行。

4.3 储运过程中应急响应与动态监测系统建设

建立覆盖运输、装卸、储存全过程的风险预警与动态监测体系,部署温湿度、气体浓度、结构应力等多维传感器,实现异常状态实时捕捉与数据同步上报。运输工具需配备防爆设施、温控设备与 GPS 定位系统,运输路线应避开人口密集与高温高压区域,制定应急绕行方案与事故应急预案。装卸作业必须依照专人操作、静电接地、严禁撞击的规范执行,作业现场设置应急喷淋、干粉灭火器与防护物资。建立多部门联动的事应急响应机制,预设火灾、爆炸、毒气泄漏等多场景应急演练流程,确保突发情况下快速决策、精准处置与高效协调。全过程信息化管理平台应具备数据可追溯、异常溯源与风险趋势分析功能。

5 结语

硝酸铵作为一种用途广泛但潜在风险极高的化学品,其爆炸特性与诱发机理需在科学层面持续深化研究。通过系统分析其物理化学属性、热分解反应路径及与杂质混合后的危险演化模式,可更准确识别其事故诱因和发展规律。从典型爆炸事件中提炼的冲击特征、热辐射传播行为和次生灾害联动效应,为构建科学的管理体系提供了重要借鉴。安全存储的工程对策应在选址、结构、设施与动态管控各环节实现闭环,构建起覆盖全生命周期的技术防线。提升应急响应能力、完善监测预警机制,将是遏制硝酸铵储运风险升级的有效手段。未来管理重心应聚焦风险源头识别、预警机制完善及制度体系执行力建设,确保硝酸铵在安全边界内高效应用,保障人民生命财产与环境安全。

参考文献

- [1] 李炎,崔晓荣,李瑞,汪泉,胡明航,孙瑞,陈雅静. 无机盐对硝酸铵溶解温度和膨化硝酸铵炸药爆炸性能的影响[J]. 高压物理学报,2025,39(04):70-78.
- [2] 高康,杨鹏. 硝酸类复合粒子的热分解特性及安全性能研究[J]. 山东化工,2024,53(18):233-236.
- [3] 赵宇. 基于 SPH 方法爆炸焊接板材的数值模拟研究[D]. 导师: 缪广红. 安徽理工大学,2024.
- [4] 张春燕. 工业炸药爆炸有毒气体及影响因素研究[J]. 煤矿爆破,2022,40(03):16-19.
- [5] 侯志明. 金属爆炸焊接专用炸药的配方研究[J]. 科技与创新,2022,(14):146-148.

作者简介: 马静,女,1988.08,汉,宁夏平罗人,本科,助理工程师,研究方向:化工生产。