

硫磺储运过程中的环境保护与污染防治

赵鹏翔

中国石化达州天然气净化有限公司天然气净化厂 四川 达州 635000

摘要: 本文分析硫磺储运中的物理化学性质及环境风险,探讨储存、运输、装卸环节的污染风险,介绍粉尘控制、挥发性气体治理等环保技术及管理措施,结合数据图表展现技术效果,为硫磺储运的环境保护与污染防治提供参考。

关键词: 硫磺储运; 环境保护; 污染防治; 粉尘控制

引言: 硫磺储运涉及储存、运输、装卸等环节,因硫磺自身特性及操作不当,易引发粉尘污染、气体挥发、泄漏等问题,威胁大气、土壤、水体环境。了解硫磺物理化学性质,识别各环节环境风险,采取针对性防治技术与管理措施,对降低环境污染、保障生态安全具有重要意义。

1 硫磺的物理化学性质与环境影响

1.1 硫磺的基本特性

硫磺常温下为淡黄色固态,质地脆硬,破碎后呈不规则颗粒,密度略大于水,堆积时易形成空隙。受热至特定温度熔化为深黄色液态,流动性随温度升高而增强,冷却后重新凝固,体积随温度变化有轻微收缩或膨胀^[1]。其溶解性特殊,难溶于水,易溶于二硫化碳等有机溶剂,在常见液体中溶解能力较弱。化学稳定性方面,常温下硫磺性质相对稳定,不易与多数物质发生反应。高温条件下反应活性显著提升,与强氧化剂接触可能引发剧烈反应并释放热量。与金属接触时,若存在水分,长期放置可能发生缓慢反应生成金属硫化物,影响金属材料稳定性。固态硫磺在摩擦或撞击时不易发生化学反应,但粉末状硫磺与空气混合达到一定比例,可能改变化学反应触发条件。

1.2 储运中的环境风险因子

粉尘污染主要源于固体硫磺的装卸与运输环节。装卸过程中,硫磺颗粒相互摩擦、碰撞产生细小粉尘漂浮于空气中;运输时车辆振动导致包装内硫磺晃动,粉尘从缝隙逸出。这些粉尘会扩散至周边环境,可能被吸入造成不良影响,积累到一定浓度还会增加其他风险发生的可能性。挥发性物质释放常见于液态硫磺储运。液态硫磺需在一定温度下保持状态,高温环境会促使其挥发,产生硫化氢和二氧化硫等气体。这些气体具有刺激性气味,扩散到空气中会污染周边大气环境,影响空气质量。泄漏与扩散多因储运设施缺陷引发。固体硫磺包

装破损会导致颗粒直接散落;液态硫磺输送管道密封不严或出现裂缝会引发泄漏。泄漏的硫磺会污染土壤和水体,改变土壤性质影响植被生长,进入水体后可能形成漂浮层,阻碍水体与空气的物质交换。火灾与爆炸风险主要与硫磺粉尘相关。空气中硫磺粉尘达到一定浓度,遇到明火或高温热源时可能发生燃烧甚至爆炸。这种风险在密闭空间内更为突出,爆炸产生的冲击力会破坏周边设施,伴随有害气体释放,扩大环境影响范围。

2 硫磺储运各环节的环境污染风险分析

2.1 储存环节

仓库设计缺陷直接影响硫磺储存安全性。通风不足导致空气流通不畅,固体硫磺产生的粉尘在仓库内积聚形成高浓度环境,液态硫磺挥发的气体也无法及时排出,浓度逐渐升高既加剧对仓库结构的腐蚀,又可能扩散至周边区域^[2]。仓库布局不合理将硫磺与其他物质混存,可能因意外接触引发反应扩大污染范围。温度控制不当对液态硫磺影响显著。环境温度过高加速液态硫磺挥发,增加硫化氢和二氧化硫等气体的释放量,这些气体通过仓库缝隙扩散到大气中造成周边空气质量下降。温度波动过大导致储存容器内压力变化,密封性能受影响进一步加剧挥发性物质泄漏风险,形成持续性大气污染。储存容器腐蚀是长期存在的隐患。金属容器与硫磺长期接触表面逐渐生成硫化物,这些物质可能渗透容器壁或随容器破损进入土壤。容器放置在露天或地势较低区域,雨雪冲刷会将硫化物带入水体污染土壤和水源,影响周边生态环境,这种污染具有隐蔽性和累积性治理难度较大。

2.2 运输环节

运输方式选择对硫磺安全运输至关重要。公路运输中车辆行驶的持续振动和路面颠簸使包装内的硫磺不断冲击包装壁增加破损概率;铁路运输虽相对平稳但列车启停时的惯性力仍可能导致包装松动;水路运输受风

浪影响船舶摇晃可能使硫磺在舱内移位挤压包装造成泄漏。不同运输方式的振动频率和强度差异对包装完整性的影响程度各不相同。包装材料失效是运输环节泄漏的常见原因。编织袋在长期使用或存储过程中纤维逐渐老化失去韧性，受到外力挤压或摩擦时容易破损；塑料桶可能因低温变脆或高温软化出现裂纹或变形。包装接口处的密封材料随时间老化失去密封作用，导致硫磺从缝隙漏出污染运输工具和沿途环境。运输工具清洁度不足易引发交叉污染。运输工具未彻底清洁残留的硫磺与新装货物接触，尤其是性质活泼的货物可能发生化学反应产生有害物质。残留硫磺附着在运输工具内壁随行驶过程掉落，污染道路或运输线路周边环境同时影响后续货物质量形成连锁污染效应。

2.3 装卸环节

机械作业扬尘是装卸过程的主要污染风险。抓斗抓取固体硫磺时物料之间的碰撞和分离产生大量粉尘在空气中迅速扩散；输送带传输过程中硫磺颗粒因振动从边缘掉落，或在转运点因落差产生扬尘。作业区域未采取防护措施粉尘会随风飘散扩大污染范围影响周边空气质量。人为操作失误加剧装卸环节的污染。操作人员未按规范佩戴防护装备可能在接触硫磺时造成自身携带污染；违规操作如野蛮装卸过度倾倒等导致硫磺大量洒

落。洒落的硫磺未及时清理会随水流渗入土壤或被风吹散形成二次污染，增加环境治理的工作量和难度。

3 硫磺储运过程中的环境保护技术

3.1 粉尘控制技术

密闭装卸系统采用全封闭输送带传输硫磺，输送带外侧加装密封罩体，与地面接触部位用弹性材料密封，防止粉尘外溢。气力输送装置通过管道内气流推动硫磺颗粒移动，全程无外露环节，减少颗粒摩擦产生的粉尘扩散，保持作业环境清洁^[3]。局部排风除尘在装卸口设置可调节角度的集气罩，贴近粉尘产生点形成负压区，将扬起的粉尘吸入。仓库顶部安装的集气罩覆盖整体储存区域，收集悬浮于空中的粉尘，两类集气罩均连接布袋除尘器，粉尘被滤袋截留后，净化空气可直接排放，降低粉尘对大气的污染。湿法抑尘通过自动化喷雾设备对固体硫磺喷洒水雾，水雾与粉尘结合增加颗粒重量，使其快速沉降。对长期堆放的硫磺，可喷洒抑尘剂形成保护膜，减少搬运时的粉尘飞扬，两种方式结合能有效控制粉尘扩散范围。为更直观展现不同粉尘控制技术的效果，以下对相关数据进行整理分析。根据某大型硫磺储运企业实际运行监测数据，不同粉尘控制技术在降低粉尘浓度方面成效显著，具体数据如表1所示。

表1 (粉尘监测数据)

粉尘控制技术	实施前平均粉尘浓度 (mg/m ³)	实施后平均粉尘浓度 (mg/m ³)	粉尘浓度降低率 (%)
密闭装卸系统	50	10	80
局部排风除尘 (装卸口集气罩)	45	15	66.7
局部排风除尘 (仓库顶部集气罩)	40	12	70
湿法抑尘 (自动化喷雾设备)	48	18	62.5
湿法抑尘 (抑尘剂喷洒)	46	16	65.2

从表中数据可知，密闭装卸系统在减少粉尘产生和外溢方面效果最佳，粉尘浓度降低率高达80%，有效阻断了粉尘向作业环境及周边大气扩散的途径。局部排风除尘在装卸口和仓库顶部设置集气罩，分别将粉尘浓度降低66.7%和70%，通过负压收集和布袋除尘，对作业区域内悬浮粉尘进行高效捕集。湿法抑尘无论是采用自动化喷雾设备还是喷洒抑尘剂，都能使粉尘浓度降低60%以上，利用物理和化学手段，显著减少了粉尘在空气中的悬浮量。这些技术的综合应用，为硫磺储运过程中的粉尘污染治理提供了有力支撑。

3.2 挥发性气体治理技术

低温储存针对液态硫磺设置恒温控制系统，将温度稳定控制在挥发点以下，减缓硫磺挥发速度。储存罐外

层包裹保温材料减少热量交换，配合温度监测装置实时调控，确保挥发性气体产生量处于较低水平。气体回收系统中，冷凝装置将挥发气体冷却至凝结温度，使其转化为液态回收；吸附塔内的吸附剂吸附气体分子，饱和后经处理可重复使用；吸收塔内的吸收液与气体充分接触，通过化学反应去除有害成分，三种工艺可单独或组合使用，提升气体回收效率。负压通风设计通过抽风设备使仓库内形成微负压环境，外部空气经过滤后进入仓库，携带挥发性气体从专用通道排出，经处理后再排放。这种定向气流组织能防止气体向周边环境扩散，确保气体集中处理达标。

3.3 泄漏应急与阻断技术

双层包装设计中，内层采用耐硫磺腐蚀的材料制

作,直接接触硫磺防止渗漏;外层选用高强度缓冲材料,抵御运输和装卸中的碰撞冲击。两层之间预留空间,即使内层破损,外层也能暂时容纳泄漏物,延缓扩散速度。泄漏检测传感器安装在仓库地面、墙角及运输车辆的储罐底部,能快速感知硫磺气体浓度变化或液体渗漏。传感器与报警装置连接,一旦检测到异常立即发出信号,便于及时定位泄漏点并处理。快速封堵工具包括适用于不同管径的堵漏夹具,可快速卡紧管道裂缝阻止泄漏;吸附棉具有强吸附性,能迅速吸收泄漏的液态硫磺,减少对土壤和水体的污染。这些工具需定期检查确保性能完好,以便应急时高效使用。

3.4 防火防爆技术

防爆电气设备在储存区域全面应用,防爆灯具采用隔爆外壳防止电弧引燃粉尘;防爆开关和通风设备的运行部件经过特殊处理,避免产生火花。这类设备能在存在硫磺粉尘的环境中安全运行,降低点火风险。静电消除措施中,运输车辆的静电接地链始终与地面接触,将行驶中产生的静电持续导入大地;装卸区域的离子风机释放正负离子,中和空气中的静电荷,防止硫磺粉尘因静电吸附积聚,减少爆炸隐患。惰性气体保护通过管道向液态硫磺储罐内充入氮气,氮气填充储罐上部空间,降低氧气浓度。氮气层覆盖在硫磺表面,阻隔硫磺与氧气接触,同时抑制挥发性气体与空气混合,从源头防范燃烧和爆炸事故。

4 硫磺储运过程中的环境保护与污染防治的管理措施

4.1 建立环境管理体系

制定环境管理方针和目标需结合硫磺储运特点,明确减少粉尘排放、控制气体挥发、防范泄漏的具体方向。这些方针和目标贯穿储运全过程,为环境管理工作提供清晰指引,确保每一项操作都有章可循^[4]。建立环境管理组织机构可根据企业规模设置专门部门,或在现有部门中指定专人负责。明确各部门和人员职责权限,仓储部门落实储存环节环保措施,运输部门承担运输过程污染防控责任,避免职责不清或推诿。编制环境管理手册和程序文件需详细规定储存、运输、装卸等环节操作标准,包括设备维护周期、污染防治技术应用规范、应急处理流程等。手册和文件通俗易懂,便于员工查阅执行,使环境管理活动按统一标准开展。

4.2 人员培训与教育

开展环境保护知识培训可通过案例分析、现场讲解,让员工了解硫磺储运对环境的影响,以及保护周边

土壤、水体、空气的重要性。培训内容结合实际工作场景,增强员工环保意识和责任感,促使主动参与环保工作。进行污染防治技术培训针对不同岗位,教授操作密闭装卸系统、使用泄漏检测设备、处理挥发性气体的方法。通过实操训练,让员工熟练掌握操作技能和应急处理步骤,确保突发情况能及时采取措施。加强安全意识教育需结合硫磺易燃、易爆特性,分析储运可能出现的安全风险,强调遵守安全规定的必要性。通过定期提醒和案例警示,让员工操作时保持警惕,严格按安全规程作业,避免操作不当引发安全事故和环境污染。

4.3 环境监测与监督

定期进行环境监测选择靠近储存区域、运输路线周边及可能受影响的土壤、水体、空气点位,按固定时间和频率采集样本分析。监测结果如实记录,反映硫磺储运对环境的实际影响,为调整环保措施提供依据。加强内部监督检查由环境管理部门牵头,定期检查环境保护措施执行情况,查看粉尘控制设备是否正常运行、泄漏检测传感器是否灵敏、员工是否按规程操作等。对发现的问题及时指出并要求整改,确保污染防治技术有效发挥作用。接受外部监督与审计主动配合环保部门现场检查和资料审计,对发现的问题认真对待,制定整改计划并落实。通过外部监督反馈意见,查找自身环境管理不足,不断完善管理体系和防治措施,提高企业环境管理水平。

结束语

硫磺储运环境保护与污染防治需技术与管理结合。粉尘控制、气体治理等技术可有效降低污染风险,环境管理体系与人员培训能保障措施落地。实际操作中,需依据具体情况选择技术,强化监测监督,持续优化方案,实现硫磺储运与生态环境协调发展,减少对周边环境的不利影响。

参考文献

- [1]武麒麟,徐政雄,潘涛,等.特大型硫磺储运系统粉尘防控技术应用总结[J].炼油技术与工程,2024,54(1):60-64.
- [2]童金燕.液态硫磺长距离管道输送工艺设计[J].广东化工,2022,49(15):201-203.
- [3]魏林松,余波,王世松,等.大倾角皮带在硫磺输送中的安全运行问题分析[J].设备管理与维修,2021,(21):79-81.
- [4]张晓旭.硫磺制酸装置运行中产生的废气治理措施探讨[J].全面腐蚀控制,2024,38(10):100-102.