

电炉法黄磷生产火灾危险性分析

秦立鹏

神农架武山矿业有限责任公司 湖北 神农架 442411

摘要: 本文围绕电炉法黄磷生产工艺展开, 概述了生产原理、流程及物料特性, 分析了原料储存与输送、电炉反应、产品精制与储存等环节的火灾危险性。提出工艺优化、设备管理维护、安全管理培训等防控策略, 并探讨了智能化监测预警、新型防火防爆材料研发、绿色化生产工艺革新等火灾防控技术发展趋势, 以保障生产安全。

关键词: 电炉法黄磷生产; 火灾危险性; 风险分析; 防控策略

引言: 电炉法黄磷生产作为化工领域关键工艺, 在推动产业发展同时, 其火灾危险性不容忽视。生产过程中涉及磷矿石、焦炭、黄磷等多种危险物料, 且在原料储存输送、电炉反应、产品精制储存等环节均存在火灾隐患。为保障生产安全, 深入分析其火灾危险性并制定有效防控策略至关重要。本文将系统阐述电炉法黄磷生产工艺, 剖析各环节火灾危险性, 提出防控策略, 并展望火灾防控技术发展趋势, 以期为行业安全生产提供参考。

1 电炉法黄磷生产工艺概述

1.1 生产基本原理

电炉法黄磷生产是化工领域中一项重要的生产工艺, 其核心在于依靠高温还原反应来实现目标产物的制备。该生产过程的主要原料为磷矿石、硅石和焦炭(或无烟煤), 这三种原料在生产中各自发挥着不可或缺的作用。在温度高达 1400 - 1500℃ 的电炉内, 磷矿石作为含磷的关键原料, 在焦炭的还原作用下发生一系列复杂的化学反应。焦炭在此过程中充当还原剂, 将磷矿石中的磷元素还原出来, 生成气态黄磷。与此同时, 该反应还会产生炉渣和一氧化碳等副产物。而硅石在反应中起到助熔的关键作用。它能够降低炉渣的熔点, 使得炉渣在高温下能够保持良好的流动性, 从而保障反应能够顺利进行。若没有硅石的助熔作用, 炉渣可能会因熔点过高而结块, 影响反应的进行和气态黄磷的逸出。通过这三种原料的协同作用, 电炉法黄磷生产得以高效、稳定地开展。

1.2 主要生产流程

在电炉法黄磷生产中, 涉及的主要物料特性对生产安全影响重大。磷矿石在常温下性质稳定, 但在电炉高温(1400 - 1500℃)反应环境中, 其化学结构与性质会发生改变, 参与还原反应生成所需产物。焦炭是易燃固体, 燃点低, 粉状焦炭与空气混合易形成粉尘云。这种粉尘云在特定条件下, 如遇到明火、静电火花等, 可能

引发粉尘爆炸, 威胁生产安全。黄磷常温下为蜡状固体, 有强烈刺激性气味, 燃点仅 40℃, 暴露在空气中会迅速自燃并释放大量热量。一氧化碳是无色无味可燃气体, 与空气混合达一定比例遇明火或高温会燃烧爆炸, 这些都显著增加了生产火灾风险。

1.3 涉及的主要物料特性

在电炉法黄磷生产里, 涉及的主要物料特性对生产安全构成重大挑战。磷矿石于常温下性质稳定, 但在电炉内 1400 - 1500℃ 的高温反应环境中, 其内部化学键会断裂重组, 发生一系列复杂的化学反应, 从而参与生成黄磷等产物。焦炭是易燃固体, 燃点较低, 粉状焦炭与空气充分混合后, 极易形成粉尘云。一旦粉尘云浓度达到爆炸极限, 遇到明火、静电等点火源, 就会引发爆炸。黄磷常温下呈蜡状固体, 有强烈刺激性气味, 燃点仅 40℃, 暴露在空气中会迅速自燃并释放大量热, 可能引发火灾。一氧化碳无色无味, 与空气混合达一定比例遇明火或高温即燃烧爆炸, 显著增加了火灾风险^[1]。

2 电炉法黄磷生产火灾危险性分析

2.1 原料储存与输送环节的火灾危险性

在原料储存与输送环节, 存在着显著的火灾危险性。在原料储存阶段, 以焦炭为例, 若其堆积高度过高, 且储存区域的通风条件不佳, 焦炭会持续与空气中的氧气发生氧化反应, 此过程会不断产生热量。由于通风不畅, 热量无法及时散发, 会在焦炭堆内部逐渐积聚。当热量达到一定程度时, 便可能引发焦炭自燃, 进而造成火灾事故, 给企业带来严重损失。在原料输送过程中, 粉状原料在管道内输送时, 管道内壁与原料颗粒之间会产生摩擦, 从而产生静电。若静电未能及时导除而不断积累, 一旦形成火花, 且此时管道内可燃粉尘的浓度处于爆炸极限范围内, 就会引发粉尘爆炸。此外, 输送设备如皮带输送机出现卡死、螺旋输送机发生堵塞等情况时, 会导致物料在设备内堆积。堆积的物料会因

内部摩擦、挤压等产生热量，且热量难以散发，容易引发火灾，威胁生产安全。

2.2 电炉反应环节的火灾危险性

在电炉反应环节，火灾危险性不容忽视。电炉内部维持着极高的温度，这一高温环境本身就是极为突出的火灾隐患。电极夹持器的密封状况至关重要，若其密封不严，高温气体便会从缝隙中泄漏至周围空气中。一旦这些泄漏的高温气体接触到火源，如明火、电气设备产生的电火花等，便会迅速燃烧，引发火灾，严重威胁周边人员与设备安全。此外，电极在运行过程中若出现折断或短路情况，会产生强烈的电弧火花。此时，若电炉内一氧化碳等可燃气体发生泄漏，电弧火花极有可能将其点燃，导致爆炸和火灾。同时，炉内物料配比不合理或反应过程异常，可能引发喷炉事故。高温物料从电炉中喷出，与空气接触后迅速氧化燃烧，火势蔓延迅速，极易造成大面积火灾。而且，电炉设备长时间连续运行，其绝缘层会因老化而性能下降，导致电气线路短路，进而引发火灾，影响生产的正常进行^[2]。

2.3 产品精制与储存环节的火灾危险性

在黄磷生产的产品精制与储存环节，火灾危险性极高。在黄磷精制过程中，液态黄磷性质活泼，若操作人员操作不当，如阀门开启过快、管道连接松动等导致液态黄磷泄漏，其与空气接触会立即发生剧烈的氧化反应而自燃，瞬间释放大量热能，可能引发局部火灾。精制设备的管道、阀门若密封失效，黄磷蒸汽会逸散至周围环境，在特定空间内形成可燃蒸汽云。一旦遇到明火、电气火花等火源，蒸汽云会迅速燃烧爆炸，造成严重破坏。成品黄磷储存时，储存容器若出现破损，或者冷却水供应因设备故障、停电等原因中断，黄磷无法得到有效冷却保护，暴露在空气中会迅速自燃，引发火灾。此外，若储存区域未安装可燃气体报警装置，不能及时察觉黄磷蒸汽泄漏；未设置防火堤等防火防爆设施，火灾发生时火势将难以控制，极易蔓延扩散，给企业带来巨大损失。

3 电炉法黄磷生产火灾危险性防控策略

3.1 工艺优化与技术改进

优化原料配比和反应条件至关重要。磷矿石、焦炭、硅石等原料的混合比例需精确控制，借助先进的配比计算模型和实验数据，确保反应在充分且稳定的状态下进行。如此一来，能有效减少喷炉等异常情况的发生，避免高温物料喷出引发火灾。（1）引入先进的自动化控制技术，对电炉运行的关键参数进行实时监测。通过在电炉关键部位安装高精度传感器，实时获取温度、

压力、电流等数据，并传输至控制系统。一旦参数出现异常波动，系统能迅速做出判断并自动调整，防止反应失控，降低火灾隐患。（2）研发新型密封材料和设备，提升电极夹持器、管道阀门等部位的密封性，从源头上减少可燃气体泄漏。同时，积极探索新的除尘、净化技术，降低生产环境中的粉尘浓度和可燃气体含量，营造安全的生产环境，从根本上降低火灾发生的风险。

3.2 设备管理与维护

在黄磷生产中，设备管理与维护是保障生产安全、防范火灾风险的重要环节。（1）应建立健全科学完善的设备管理制度，明确设备检查、维护、保养的流程和标准。定期对电炉、输送设备、储存容器等关键设备进行全面细致的检查和维护，运用专业检测工具和技术手段，及时发现老化、磨损、损坏的部件，并迅速进行更换，确保设备处于良好的运行状态。（2）加强电气设备管理同样关键，定期对电气线路的绝缘性能进行检测，采用先进的绝缘电阻测试仪等设备，保障电气线路绝缘良好。同时，安装漏电保护装置，一旦发生漏电情况能及时切断电源，防止电气火灾发生。（3）对于高温设备和管道，采取有效的隔热措施，如包裹隔热材料、设置隔热屏障等，避免设备表面高温引燃周边可燃物质。此外，组建专业的设备维护团队，团队成员需具备丰富的专业知识和实践经验，确保设备出现故障时能够快速响应、精准处理，保障生产设备安全稳定运行。

3.3 安全管理与人员培训

在黄磷生产过程中，安全管理与人员培训是保障生产安全、防范火灾事故的核心环节。（1）企业需制定严格且全面的安全生产规章制度，详细明确各岗位的安全操作规程，从原料投放到产品储存，每个环节都要有清晰的规范。同时，加强对员工的安全监督管理，通过日常巡查、视频监控等方式，确保员工严格遵守安全规定。（2）制定完善的火灾应急预案，涵盖火灾报警、人员疏散、灭火救援等各个环节，并定期组织应急演练，模拟不同场景下的火灾事故，让员工熟悉应急流程，提高应对火灾事故的能力。（3）加强员工安全教育培训，通过专题讲座、案例分析等形式，普及黄磷生产过程中的火灾危险性知识、防火防爆技术以及应急处置方法，切实提高员工的安全意识和操作技能。此外，在生产区域设置醒目的安全警示标识，配备充足的消防器材和应急救援设备，确保在火灾发生时能够迅速响应，为安全生产筑牢坚实防线。

4 电炉法黄磷生产火灾防控技术发展趋势

4.1 智能化监测与预警技术应用

在未来电炉法黄磷生产的火灾防控领域，智能化监测与预警技术将成为关键力量。随着科技的飞速发展，物联网、大数据、人工智能等前沿技术为火灾防控带来了新的契机。（1）通过在生产设备和关键部位广泛安装智能传感器，能够实时、精准地采集温度、压力、气体浓度、设备振动等多维度数据。这些传感器如同敏锐的“触角”，全方位感知生产过程中的细微变化。（2）借助先进的数据分析模型和算法，对采集到的海量数据进行深度挖掘和分析。系统能够敏锐捕捉到数据中的异常波动，提前精准识别潜在的火灾隐患，并及时发出预警。这一转变实现了从传统被动应对火灾到主动防控的跨越。例如，当监测系统发现某区域可燃气体浓度异常升高时，会迅速自动报警，并联动控制相关设备，自动关闭相关阀门以切断气源，同时启动通风设备降低可燃气体浓度，将火灾风险在萌芽阶段就予以消除，大幅提升黄磷生产的安全性和可靠性^[3]。

4.2 新型防火防爆材料研发

在黄磷生产领域，随着材料科学的持续进步，新型防火防爆材料的研发与应用正成为保障生产安全的重要方向。（1）针对黄磷生产中设备密封性要求高、易泄漏可燃物质的问题，应着力研发具有耐高温、抗腐蚀且阻燃性能优异的新型密封材料。这类材料能在高温、腐蚀性环境下保持稳定的密封性能，有效减少可燃气体或液体的泄漏风险，从源头上降低火灾和爆炸隐患。（2）开发新型防火涂料和阻燃涂层也至关重要。将其应用于设备表面和建筑结构，能在火灾发生时形成一层隔热、阻燃的保护层，延缓火势蔓延，增强整体防火能力。（3）探索新型防爆膜、泄爆装置等安全防护设备也必不可少。这些装置在爆炸发生瞬间能够及时释放压力，避免爆炸冲击波对设备和人员造成严重伤害，将爆炸带来的危害降至最低，为黄磷生产安全提供更为可靠的保障。

4.3 绿色化生产工艺革新

在黄磷生产领域，绿色化生产工艺革新是降低火灾

危险性、推动行业可持续发展的关键举措。（1）应加大力度研究开发低能耗、低污染的黄磷生产新工艺。通过优化反应路径、改进催化剂等手段，减少可燃原料的使用量，从源头上降低火灾风险。同时，严格控制反应条件，减少可燃副产物的生成，避免其在生产过程中积聚引发火灾。（2）积极探索黄磷生产过程中余热、可燃气体的回收利用技术。利用余热回收装置将高温废气中的热量进行回收，用于预热原料或产生蒸汽等，提高能源利用效率。对可燃气体进行净化处理后，可作为燃料回用于生产系统，减少能源消耗的同时，也降低了可燃物质向环境的排放。（3）通过绿色化生产工艺革新，不仅能够从根本上降低黄磷生产过程中的火灾危险性，还能实现生产安全与环保的协同发展，推动黄磷产业向绿色、低碳、安全的方向迈进。

结束语

综上所述，电炉法黄磷生产因物料特性及工艺环节等因素，火灾危险性显著。为保障生产安全，需从多方面着手防控。通过工艺优化与技术改进，提升生产稳定性；强化设备管理与维护，确保设备可靠运行；加强安全管理与人员培训，提高员工安全意识与应急能力。同时，要关注火灾防控技术发展趋势，积极应用智能化监测与预警技术，研发新型防火防爆材料，推进绿色化生产工艺革新。唯有如此，才能有效降低火灾风险，实现电炉法黄磷生产安全与环保的协同共进，推动黄磷产业在安全、绿色、可持续的轨道上稳健发展。

参考文献

- [1]武汉河,任育杰,杨立新,等.黄磷尾气深度净化发电技术实验研究[J].能源研究与信息,2023,(4):207-213.
- [2]周明灿.黄磷尾气净化处理工艺探讨[J].化工设计,2021,(3):10-12.
- [3]王诗瀚,张红,胡国涛,等.黄磷生产副产物泥磷酸制备肥料级磷酸二氢钾工艺研究[J].磷肥与复肥,2022,(1):12-14.