

# 精细化工工艺的安全设计

梁振荣 魏鑫 杨智星

内蒙古大全新能源有限公司 内蒙古 包头 014010

**摘要:**精细化工在医药、农药等领域应用广泛,但生产复杂且危险,原料、反应条件、设备与操作等均存在安全风险。安全设计可预防控制风险,保障人员安全、减少污染、提高企业效益。本文从风险分析、设备安全设计、操作流程安全设计等方面探讨精细化工工艺安全设计要点,以形成完整安全保障体系,确保生产安全高效。

**关键词:**精细化工;化工工艺;安全设计;分析

引言:精细化工在医药、农药、染料等众多领域应用广泛,但生产过程复杂且危险,原料与产品特性、反应条件、设备与操作等方面均潜藏安全风险。安全事故不仅危及人员生命、破坏环境,还会影响企业效益与声誉。因此,深入剖析精细化工工艺安全设计要点,从风险分析到设备、流程安全设计,对保障其安全生产至关重要。

## 1 精细化工工艺安全设计的重要性

精细化工作为化工行业的重要分支,在医药、农药、染料等众多领域发挥着关键作用。然而,其生产过程具有高度的复杂性和危险性,原料和产品的易燃、易爆、有毒、有害特性,以及高温、高压、强腐蚀等反应条件,使得安全事故隐患如影随形。因此,精细化工工艺安全设计的重要性不言而喻。(1)从原料和产品特性来看,精细化工生产中使用的诸多物质本身就是重大危险源。以医药中间体生产为例,苯、甲苯等有机溶剂是常见的原料,它们具有极低的闪点,在空气中达到一定浓度时,遇到火源便会迅速燃烧甚至爆炸。而且,这些物质一旦泄漏,会对人体造成严重的毒害,长期接触还可能引发各种慢性疾病。此外,一些精细化工产品本身也具有较高危险性,如某些强氧化剂、剧毒物质等,在储存和运输过程中都需要特别小心。(2)精细化工反应的条件苛刻,进一步增加了安全风险。硝化反应、氧化反应等是精细化工中常见的反应类型,这些反应通常伴随着大量的热量释放和压力的升高。如果反应过程中的温度、压力等参数控制不当,或者反应设备的材质、结构存在缺陷,就极有可能引发火灾、爆炸等严重事故。而且,强腐蚀性的反应介质会对设备造成腐蚀,缩短设备的使用寿命,增加设备故障的概率,从而间接导致安全事故的发生。(3)安全设计在精细化工工艺中起着至关重要的预防和控制作用。在工艺规划阶段,通过全面的风险识别和评估,可以准确地找出潜在的危险因

素。例如,对原料和产品的危险性进行分析,确定其储存、运输和使用过程中的安全要求;对反应过程进行热力学和动力学分析,预测可能出现的异常情况。然后,根据评估结果采取针对性的措施,如选用合适的反应设备和材质、设置安全联锁装置、优化工艺参数等,将风险控制可在接受的范围内。(4)精细化工工艺安全设计是保障人员生命安全、减少环境污染、提高企业经济效益和社会声誉的关键。一旦发生安全事故,不仅会造成人员伤亡和财产损失,还会对环境造成严重的破坏,影响企业的正常生产和社会形象。因此,企业必须高度重视精细化工工艺安全设计,从源头上消除安全隐患,确保生产过程的安全稳定<sup>[1]</sup>。

## 2 精细化工工艺风险分析

### 2.1 原料与产品风险

精细化工所使用的原料种类繁多,且部分原料化学性质活泼,这为生产过程带来了潜在的危险。(1)氢气是众多精细化工反应中常用的原料,它具有易燃易爆的特性,与空气混合能形成爆炸性混合物,遇明火、高热极易引发燃烧爆炸。这种特性使得氢气的储存、输送和使用过程都需要严格的安全措施,稍有不慎就可能引发严重的安全事故。(2)氰化物等剧毒化学品也是精细化工中常见的原料。一旦这些剧毒化学品发生泄漏,会对周围环境和人员造成致命威胁。泄漏的氰化物可能会污染土壤、水源,导致生态系统破坏,同时,人员吸入或接触后会出现中毒症状,严重时甚至会导致死亡。(3)精细化工产品产品在储存、运输和使用过程中也存在安全风险。某些有机过氧化物产品稳定性差,在高温、摩擦等条件下容易发生分解爆炸。这就要求在产品的储存和运输过程中,必须严格控制温度和环境条件,避免产品受到外界因素的影响而发生危险。

### 2.2 工艺过程风险

精细化工工艺过程中的反应类型多样,每种反应都

有其独特的风险。硝化反应是精细化工中常见的反应类型之一，它是强放热反应，反应速率快。若反应温度控制不当，极易引发反应失控，导致温度急剧上升，进而引发爆炸。在硝化反应中，反应物料的配比、加料顺序、反应时间等参数都需要精确控制，任何一个参数的偏差都可能影响反应的安全性。除了硝化反应，其他反应如氧化反应、还原反应等也都存在一定的风险。在连续化生产工艺中，管道堵塞、设备故障等问题可能导致物料积聚，压力升高，增加安全风险。例如，管道堵塞会使物料在管道内积聚，压力不断升高，一旦超过管道的承受能力，就可能发生破裂，导致物料泄漏和爆炸事故的发生<sup>[2]</sup>。

### 2.3 设备与操作风险

精细化工生产设备的质量和性能直接关系到工艺安全。设备的密封性能不佳，会导致危险化学品泄漏，不仅会造成原料和产品的损失，还会对环境和人员造成危害。反应釜、换热器等设备的耐压、耐温性能不达标，在高温高压条件下可能发生破裂，引发严重的安全事故。操作人员的操作技能和安全意识也是重要的风险因素。操作人员未严格按照操作规程进行操作，误操作阀门、仪表等，可能引发事故。例如，在加料过程中，如果操作人员没有按照规定的顺序和速度加料，可能会导致反应异常，甚至引发爆炸。同时，操作人员对设备的维护保养不到位，未能及时发现设备存在的隐患，也会增加安全事故发生的概率。设备在长期运行过程中，会出现磨损、老化等问题，如果不及时进行维护和检修，就可能导致设备故障，引发安全事故。

## 3 精细化工工艺设备安全设计

### 3.1 设备选型与材质选择

设备选型是精细化工工艺设备安全设计的基础。在选型时，必须充分考虑工艺要求和物料特性。不同的化学反应对设备的温度、压力、耐腐蚀性等性能有不同的要求。对于高温高压反应，应选用耐压、耐高温的反应釜。不锈钢反应釜具有良好的耐腐蚀性和机械性能，能够承受较高的压力和温度，适用于多种精细化工反应。搪玻璃反应釜则在耐腐蚀性方面具有独特的优势，其表面的搪玻璃层可以有效防止物料对设备的腐蚀，特别适用于强酸、强碱等腐蚀性物料的反应。设备材质的选择直接关系到设备的使用寿命和安全性。在选择材质时，要全面考虑物料的腐蚀性、化学反应特性等因素。对于强腐蚀性物料，如盐酸、硫酸等，可选用钛材、哈氏合金等耐腐蚀材料制造设备。钛材具有优异的耐腐蚀性，能够在大多数腐蚀性介质中保持稳定，延长设备的使用

寿命，防止设备因腐蚀而泄漏，避免物料泄漏引发的安全事故和环境污染。哈氏合金则具有良好的耐高温和耐腐蚀性能，适用于一些特殊的化工反应条件<sup>[3]</sup>。

### 3.2 安全附件配置

安全附件是确保设备安全运行的重要保障。(1) 反应釜等设备必须配置完善的安全附件。安全阀是反应釜的重要安全装置之一，它能够在设备内压力超过设定值时自动开启，释放压力，防止设备超压爆炸。在精细化工生产中，由于化学反应的复杂性和不确定性，设备内压力可能会出现异常升高的情况，安全阀的存在可以有效避免设备因超压而发生爆炸事故。(2) 压力表和温度计也是不可或缺的安全附件。压力表可以实时监测设备内的压力，为操作人员提供准确的数据，使操作人员能够及时了解设备内的压力变化情况，以便及时调整工艺参数，确保设备在安全压力下运行。温度计则可以实时监测设备内的温度，对于一些对温度敏感的化学反应，温度的控制至关重要，温度计的使用可以帮助操作人员精确控制反应温度，提高反应的安全性和产品质量。(3) 还应设置紧急切断阀。在发生紧急情况时，如设备故障、物料泄漏等，紧急切断阀能够迅速切断物料供应，防止事故扩大。紧急切断阀的响应速度快，能够在短时间内切断物料流动，为事故的处理和救援争取宝贵的时间。

### 3.3 设备布局与管道设计

合理的设备布局和管道设计有助于提高生产安全性和操作便利性。(1) 设备之间应保持足够的安全间距，这不仅便于操作人员进行操作和维护，也有利于事故发生时人员疏散和救援。如果设备之间间距过小，在发生事故时，可能会导致事故的连锁反应，扩大事故的影响范围。同时，足够的安全间距也为设备的检修和更换提供了空间，方便设备的维护和管理。(2) 管道设计应避免出现死角和盲管，防止物料积聚。物料在死角和盲管中积聚可能会导致物料变质、结块，甚至引发化学反应失控，造成安全事故。管道的走向应合理规划，减少不必要的弯头和阀门，降低流体阻力，提高物料输送的稳定性。过多的弯头和阀门会增加流体阻力，降低物料输送效率，同时也增加了管道堵塞和泄漏的风险。(3) 管道应设置防静电、防雷击等设施。在精细化工生产中，物料在管道中流动时可能会产生静电，静电积累到一定程度可能会引发火灾、爆炸事故。设置防静电设施可以有效消除静电，防止静电引发的事故。防雷击设施则可以保护管道和设备免受雷击的破坏，确保设备的安全运行。

## 4 精细化工工艺操作流程安全设计

### 4.1 操作规程制定

制定科学、详细的操作规程是保障精细化工工艺安全的基础。操作规程需全面覆盖从原料投入、反应过程控制到产品产出的整个流程,明确每个操作步骤的具体要求和注意事项。(1)在加料操作中,加料顺序、速度和数量的规定至关重要。不同的原料具有不同的化学性质和反应活性,加料顺序不当可能导致反应失控,加料速度过快或过慢也会影响反应进程和安全性。例如,在一些放热反应中,若加料速度过快,反应热无法及时散发,会使温度急剧升高,引发爆炸等危险。(2)反应过程中,对温度、压力、搅拌速度等参数的控制范围和调节方法的明确是操作规程的核心。这些参数直接影响反应的速率和结果,必须严格控制。例如,温度的控制对于许多化学反应至关重要,过高或过低的温度都可能导致反应速率下降、副反应增加甚至引发安全事故。同时,操作规程还应包含异常情况的处理措施,如反应温度异常升高、设备泄漏等情况下的应急操作流程,确保在突发情况下能够迅速、有效地采取措施,防止事故扩大<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 人员培训与管理

操作人员是精细化工生产的直接参与者,其操作技能和安全意识对工艺安全起着决定性作用。企业应加强对操作人员的培训,培训内容涵盖工艺知识、设备操作、安全法规等方面。(1)通过系统的理论培训和实际操作演练,使操作人员熟练掌握操作规程,能够准确判断和处理生产过程中的各种问题。工艺知识培训让操作人员了解化学反应的原理、物料的性质和危险性,有助于他们更好地理解操作规程的要求;设备操作培训使操作人员熟悉各种设备的性能、操作方法和维护保养要点,确保设备的正常运行;安全法规培训能够提高操作人员的安全意识和法律意识,使他们认识到安全生产的重要性。(2)企业还应建立完善的人员管理制度,加强对操作人员的绩效考核和监督。通过绩效考核,激励操作人员严格遵守操作规程,提高工作质量和效率。同时,加强对操作人员的日常监督,及时发现和纠正他们的违规行为,确保生产过程的安全。

#### 4.3 自动化控制与监测

随着科技的发展,自动化控制和监测技术在精细化工工艺中的应用越来越广泛。采用自动化控制系统,可以实现对反应过程的精准控制,减少人为因素的影响。(1)通过可编程逻辑控制器(PLC)和分布式控制系统(DCS),可以实时监测和调节反应温度、压力、流量等参数,一旦参数超出设定范围,系统能够自动采取相应的控制措施,确保反应过程的安全稳定。同时,利用在线监测技术,如气体检测仪、液位传感器等,可以及时发现设备泄漏、物料泄漏等安全隐患,为事故预警和应急处理提供支持。(2)精细化工工艺操作流程的安全设计需要从操作规程制定、人员培训与管理、自动化控制与监测等多个方面入手,形成一套完整的安全保障体系,确保精细化工生产的安全、稳定、高效进行。

#### 结束语

精细化工工艺安全设计是保障生产安全、人员安全及环境安全的关键。通过深入分析原料与产品特性、工艺过程及设备与操作中的风险,我们能够精准识别潜在安全隐患。在此基础上,从设备选型与材质、安全附件配置、设备布局与管道设计等方面优化设备安全设计,同时制定科学操作规程、加强人员培训与管理、引入自动化控制与监测技术,构建全方位的安全保障体系。这不仅能够有效预防和控制安全事故,还能提升企业的经济效益和社会声誉,推动精细化工行业的可持续发展。

#### 参考文献

- [1]胡轶哲.化工工艺安全设计中危险识别和控制[J].当代化工研究,2022(01):138-140.
- [2]方敏.浅谈精细化工企业防火安全设计[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(19):109-110.
- [3]武天赐.精细化工工艺设计中的安全风险管控措施[J].鞋类工艺与设计,2021(18):92-95.
- [4]陈高奏.精细化工工艺设计中的安全风险管控措施[J].化工管理,2021(26):160-161.