

反应釜超压风险与安全泄放策略研究

左春生

广东金泰达安全科技有限公司, 广东 广州 510220

[摘要] 反应釜作为化工生产中的关键设备, 其安全泄放系统对于防止超压事故至关重要。文章针对精细化工反应釜的泄放装置设置现状, 系统地探讨了反应釜泄放装置的常见隐患、历史超压事故案例、超压危险因素、泄放装置类型, 并提出了一系列超压泄放对策建议。

[关键词] 反应釜; 超压泄放; 安全隐患; 事故案例; 泄放装置; 安全管理

DOI: 10.33142/ec.v7i6.12111

中图分类号: TM6

文献标识码: A

Research on the Risk of Overpressure in Reactor and Safe Release Strategies

ZUO Chunsheng

Guangdong Jintaida Safety Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510220, China

Abstract: As a key equipment in chemical production, the safety relief system of the reactor is crucial for preventing overpressure accidents. This article systematically explores the common hidden dangers, historical overpressure accident cases, overpressure risk factors, and types of relief devices of the relief devices in fine chemical reaction reactors, and proposes a series of overpressure relief countermeasures and suggestions.

Keywords: reactor; overpressure release; safety hazards; accident cases; release device; safety management

引言

反应釜安全泄放是化工生产中一个重要的安全措施, 旨在防止因操作不当或设备故障导致的超压事故。面对精细化工反应釜泄放装置设置现状和特点, 本文探讨和分析反应釜泄放装置的常见隐患、事故案例、反应釜超压泄放装置类型、反应釜超压泄放对策建议, 对于精细化工企业具有一定的现实意义和现实价值。

1 反应釜超压泄放设备常见隐患

反应釜没有设置泄放装置。若反应釜内压力升高, 依靠截断阀手动或远程自动打开泄放。

泄放能力不足: 泄放面积过小可能导致在紧急情况下无法及时释放过量压力, 而泄放面积过大则可能削弱容器的强度和整体性。

泄放装置维护不足: 安全阀、爆破片等泄放装置需要定期检查和维修, 以确保其在需要时能够正常工作。缺乏维护可能导致泄放装置失效。

泄放收集问题: 泄放管道应接至合适的处理设施, 如焚烧、吸收、收集装置等。有部分精细化工企业将反应釜泄放收集罐设置在车间内, 收集罐通气管道没有引至室外安全地点, 起不到安全泄放的作用。管道堵塞、泄漏或未正确安装都可能导致泄放失败。

泄放装置与反应釜之间的截止阀门问题: 安全阀与反应釜之间不宜装设截止阀门, 除非是为了在线校验安全阀或在特殊情况下。错误地安装和使用截止阀门可能会阻碍泄放。

泄放装置的选用不当: 不同类型的泄放装置适用于不同的工况, 如蒸汽泄放、气体泄放和混合泄放。选用不当

可能导致泄放效果不理想。

泄放装置的检测和校验问题: 安全阀、泄爆片等泄放装置需要定期进行检测和校验, 确保其开启压力符合要求。未进行或未正确进行检测和校验可能导致泄放装置在关键时刻无法正常工作。

安全泄放装置的出口管道问题: 出口管道应有足够的强度承受泄放反力, 且应考虑液化气等低沸点液体降压闪蒸时产生的骤冷对管道材料的低温脆裂影响。

泄放装置设计不当: 安全泄放装置的设计应符合相关标准和规范, 如 GB51283、GB/T20801.6 等。设计不当可能导致泄放效果不佳或设备损坏。

2 反应釜超压事故案例

案例 1: 2016 年 4 月 9 日 21 时 15 分左右, 兴县天利海香精香料有限公司化二车间 4# 水解反应釜生产过程中发生火灾事故, 造成 4 人死亡、3 人烧伤, 直接经济损失约人民币 500 万元。事故直接原因为水解岗位工对 4# 水解釜加热过快, 釜内物料暴沸, 大量的甲醇、氯甲烷、氯化氢、水蒸气等气体产生, 造成釜内压力急剧升高, 导致釜内物料全部喷出, 将水解釜上封头及附带的电机、减速机冲起, 撞击车间三层钢筋砼构件产生火花, 甲醇、氯甲烷等被引燃, 造成现场人员伤亡并引发次生火灾。

案例 2: 2017 年 2 月 21 日位于内蒙古阿拉善盟腾格里经济技术开发区某化工有限公司发生反应釜爆炸事故, 造成 2 人死亡、4 人受伤。事故原因是企业在应急电源不完备的情况下, 于 2 月 17 日擅自复产, 2 月 20 日由于大雪天气, 企业所在工业园区全面停电, 企业未能按照规定

启动应急电源,致使对硝基苯胺车间反应釜无法冷却降温,其中一个反应釜超温超压发生爆炸。

案例 3: 2018 年 7 月,四川省宜宾恒达科技有限公司发生重大爆炸事故,造成 19 人死亡,12 人受伤,直接经济损失 4142 余万元。直接原因是恒达科技公司在咪草烟生产过程中,操作人员将无包装标识的氯酸钠当作丁酰胺,补充投入到 R301 釜中进行脱水操作。在搅拌状态下,丁酰胺-氯酸钠混合物形成具有迅速爆燃能力的爆炸体系,开启蒸汽加热后,丁酰胺-氯酸钠混合物的 BAM 摩擦及撞击感度随着釜内温度升高而升高,在物料之间、物料与釜内附件和内壁相互撞击、摩擦下,引起釜内的丁酰胺-氯酸钠混合物发生化学爆炸,爆炸导致釜体解体;随釜体解体过程冲出的高温甲苯蒸气,迅速与外部空气形成爆炸性混合物并产生二次爆炸,同时引起车间现场存放的氯酸钠、甲苯与甲醇等物料殉爆殉燃和二车间、三车间着火燃烧,进一步扩大了事故后果,造成重大人员伤亡和财产损失。

案例 4: 2021 年 7 月 4 日 14 时 38 分许,位于清远英德市东华镇清远华侨工业园的广东依柯化工有限公司(以下简称“依柯公司”)发生反应釜爆炸事故,造成 1 人死亡、4 人受伤。依柯公司生产对氯苯酚钾盐的同时还伴随生成“2,7-二氯二苯并-对-二恶英”的副反应,操作人员在氯苯酚与氢氧化钾溶液反应生产对氯苯酚钾盐的反应完成后存在以下一系列的操作失误:一是没有按照工艺规程的要求将反应温度控制在 135~140℃;二是现场无温度报警及连锁装置(①温度报警;②温度连锁蒸汽进气阀切断,冷却水全开;③向醚化釜加水;④连锁卸料阀或设置爆破片、安全阀);三是现场操作人员没有及时报告及处置(工艺规程要求是“第一次脱水时,不能脱干,约 80%,否则补水”),造成温度较长时间偏离工艺指标,达到 170℃~180℃。导致醚化釜内生成“2,7-二氯二苯并-对-二恶英”的反应速度加快(放热),导致对氯苯酚钾盐爆聚,放出大量热,反应温度急剧上升,反应釜内物料瞬间蒸发超压爆炸,醚化釜解体。

3 反应釜超压的主要危险因素

3.1 加热速度过快与冷却速率低

当釜内物料由于加热速度过快,而冷却速率低,导致冷凝效果差时,物料可能会沸腾,形成汽液相混合体,从而产生压力。这种情况下,如果没有设置安全阀或爆破片等安全泄放装置,就可能超压,引发事故,如案例 1。

3.2 反应产物急剧分解放热

在某些情况下,反应釜内的反应产物可能会急剧分解放热,导致体系压力和温度迅速上升。这种情况下,如果操作不当或设备维护不足,最终可能导致反应釜超压发生物理爆炸。如前述案例 3。

3.3 误操作

员工的误操作也是导致反应釜超压的一个重要因素。例如,加料速度过快、开关阀门不及时或顺序错误等,都可能导致反应釜内温度和压力急剧上升,进而引发超压事故。如前述案例 4。

3.4 设备缺陷

反应釜制造质量不符合物料反应的要求、焊接质量不符合要求,安装不符合规范要求,反应釜密封面垫圈老化等设备缺陷,运行过程中引起爆炸。

3.5 环境因素

特定的环境条件,如高温天气、台风、暴雨、极端恶劣天气停电等,也可能间接影响反应釜的安全运行。在这些不利条件下,反应釜可能因为无法有效降温而超温超压,最终导致爆炸。如案例 2。

4 反应釜超压泄放装置

4.1 标准、规范要求

《精细化工企业工程设计防火标准》(GB 51283-2020) 5.7.1 节明确冷却或搅拌失效、有催化作用的杂质进入、反应抑制剂中断,导致放热反应失控的反应器或其出口处切断阀上游的管道系统,应设置安全泄放装置。

《安全阀 一般要求》(GB/T 12241-2021)规定了安全阀的术语和定义、设计、出厂试验、型式试验、安全阀排量性能的确、安全阀尺寸的确定、标志和铅封等要求。

《爆破片装置安全技术监察规程》第 1 号修改单(TSG ZF003-2011/XG1-2017)规定了爆破片装置的材料、设计、制造、安装、使用、检验等过程以及制造许可、型式试验工作的基本安全要求。

《石化工业用压力释放阀的尺寸确定,选型和安装第 1 部分:尺寸的确定和选型》(GB/T 24921.1-2010)提供了压力释放阀的尺寸确定和选型的方法,适用于石化工业中的压力泄放装置。

4.2 泄放装置类型

4.2.1 安全阀类型

普通弹簧直接载荷式安全阀,这种安全阀的最大优点就是结构简单,在不发生锈蚀的条件下,能在规定压力下开启。但它也有以下缺点,一是在临界开启时,弹簧力与介质压力近似相等,密封比压近似为 0,泄漏难免。二是为了达到规定的起跳高度,通常装有反冲盘,从而导致回座压力很低。压力自紧先导式安全阀,与普通弹簧直接载荷式安全阀相比,其动作可靠性降低了一半,即先导阀和主阀之一出现故障,就达不到保护容器的目的。

双作用先导式安全阀,这种安全阀的显著优点是:密封性好、启闭压差小、动作可靠性高。

4.2.2 爆破片类型

化工设备使用的爆破片按工作状态分为正拱型、平板型和反拱型。

按结构型式,正拱型爆破片又可分为普通正拱(LP)型、正拱带槽(LC)型和正拱开缝(LF)型。LP型爆破片是结构最简单、问世最早的爆破片,适用范围较宽,缺点是爆破后有碎片飞出,抗疲劳能力较差。LC型爆破片是性能最好的正拱型爆破片,适合于中小直径及中低压力情况。正拱开缝型爆破片适合中大直径及低压场合,缺点是密封膜容易损坏,使用寿命低。

平板型爆破片有平板带槽型和平板开缝型2种,这种爆破片综合性能较差,主要用于压力很低的情况。

反拱型爆破片工作时凸面受到介质压力的作用,其壁内为压应力,当压应力达到爆破片的临界失稳应力时,爆破片失稳翻转。如果爆破片下游侧有刀称为反拱带刀(YD)型爆破片,有腭齿称为反拱腭齿(YE)型爆破片,有减弱槽称为反拱带槽(YC)型爆破片,翻转后爆破片被刀、腭齿刺破或沿减弱槽自动破裂。

爆破片的爆破压力通常随爆破温度的升高而降低。反拱型爆破片比正拱型的变化幅度低,镍制比不锈钢制爆破片的变化幅度低,铝制爆破片随温度的变化幅度最大。

4.2.3 安全阀与爆破片的组合装置

安全阀与爆破片的组合装置分为安全阀与爆破片的串联组合装置和并联组合装置两种,串联组合装置是将爆破片安装在安全阀的入口端,这样既使得爆破片动作后介质不被完全排放,又克服了安全阀在特殊工况下难以正常工作的缺点,常用于正常工作下安全阀难适用的场合。并联组合装置常用于正常工况下适用安全阀,但有可能产生安全阀不适用的特殊工况。

5 反应釜超压泄放对策建议

反应釜超压泄放是一个重要的安全问题,需要采取一系列对策和建议来确保化工过程的安全。以下是一些建议:

5.1 风险评估:

对反应釜的操作条件进行全面的风险评估,包括热稳定性测试和反应热分析,以确定可能的最大压力和温度。

对于反应工艺危险度为1级的工艺过程,应配置常规的自动化控制系统,对主要反应参数进行集中监控及自动调节(分布式控制系统DCS或可编程逻辑控制器PLC。),同时结合化工企业作业安全分析(JSA)、危险与可操作性分析(HAZOP),对于可能发物理性超压的反应釜应按规范设置泄压装置,现实中有部分企业认为反应为常压反应,工艺危险度为1级,没有认真开展作业安全分析,作业人员在升温过程中开启加热蒸汽,没有及时关闭或阀门内漏造成冲料事故常有发生。

5.2 泄放系统设计

根据评估结果,设计合适的泄放系统,包括安全阀、爆破片、紧急放空系统等。泄放系统的设计应符合国家和国际标准,如GB/T 20801.6、API STD 520-I等。

笔者在工作过程中,有些企业安全阀整定压力超过反应釜设计压力、爆破片爆破压力大于反应釜的设计压力,反应釜超压装置应当委托具备资质的设计单位、安装单位设计、安装,做好日常维护、使用,禁止反应釜按通用设备购买,泄放装置自行安装,生产过程中发生超压泄放后,调高泄放压力,起不到安全泄放作用。

5.3 泄放能力计算

确保泄放系统的容量足以处理最糟糕情况下的泄放

量。可以参考DIERS方法或其他相关标准进行计算。

5.4 泄放管道设计

泄放管道应设计得尽可能短且直,避免使用焊接连接的阀门,以减少泄放阻力。管道应有足够的强度和刚度来承受泄放时产生的反力。

5.5 泄放接收设施

泄放的气体或液体应被引导至安全的接收设施,如火炬、洗涤塔、焚烧炉、收集罐,以防止环境污染和二次事故。

精细化工企业一般设置泄放收集罐,在工作中发现有的企业收集罐放在室内,收集罐的通气管没有引至室外,高出建筑物3m以上,当反应釜超压泄放时,仍然泄放到室内,易燃、有毒物质聚积,很可能发生二次事故。

5.6 定期检查与维护

定期对泄放系统进行检查和维护,确保其在紧急情况下能够可靠地工作。包括对安全阀、爆破片等进行定期校验。

5.7 应急预案

制定详细的应急预案,包括泄放操作的步骤、应急响应程序和人员疏散计划。

5.8 操作培训

对操作人员进行充分的培训,确保他们了解泄放系统的工作原理和操作方法,以及在紧急情况下的应急响应程序。

5.9 监控系统

安装压力和温度监控系统,以及声光报警装置,确保在压力或温度超过预设值时能够及时发出警报。

5.10 泄放后的分析与改进

对每次泄放事件进行彻底地分析,找出原因并采取措施防止未来的重复事件,持续改进安全管理体系。

精细化工反应釜超压可能导致反应釜的壳体、密封件、接口等部件损坏,甚至造成反应釜整体破裂,在含有易燃易爆物质的反应过程中,超压可能导致剧烈的化学反应,产生大量热量和气体,从而引发爆炸,对操作人员和周围人员的健康安全构成严重威胁,还可能导致人员伤亡、污染环境。安全泄放系统的设计和选型需要根据反应釜的具体工艺条件、物料特性、操作参数等因素综合考虑,完备的安全泄放系统能够迅速、安全地释放过量的压力和热量,防止反应釜因压力过大而破裂,从而避免可能发生的爆炸、泄漏等危险事件,保障人员安全和环境保护。

[参考文献]

- [1] 精细化工反应安全风险评估规范[S]. GB/T42300-2022,
 - [2] 王薇. 化工设计中常用的安全泄放装置[J]. 化工管理,2020(4):5.
 - [3] 崔保林,任晓珍. 化工设计中常用安全泄放装置探析[J]. 中国石油和化工标准与质量,2017(16):25.
- 作者简介:左春生,目前就职于广东金泰达安全科技有限公司。