

doi: 10.7690/bgzdh.2022.12.023

## HAZOP 在黑索今热压煮洗工序中的应用

陈明磊, 尚凤琴, 闫波, 鲁志艳, 魏成龙, 秦亮  
(甘肃银光化学工业集团有限公司理化检测中心, 甘肃 白银 730900)

**摘要:** 为提高黑索今(1, 3, 5-trinitro-1, 3, 5-triazacyclohexane, RDX)生产中热压煮洗工序工艺及装置的安全性, 采用危险与可操作性分析法(hazard and operability analysis, HAZOP)对 RDX 的热压煮洗工序进行分析。通过划分节点、确定和分析偏差的方式, 查找事故发生的原因及可能发生的安全事故, 提出相应的安全对策和建议; 对此次 HAZOP 分析总结了优缺点, 明确了今后改进的方向。结果表明, 该方法为 RDX 热压煮洗工序的工艺和装置的安全运行提供了有力支撑。

**关键词:** RDX; HAZOP; 热压煮洗; 措施

**中图分类号:** TJ55 **文献标志码:** A

## Application of HAZOP in Hot-press Boiling and Cleaning Process of RDX

Chen Minglei, Shang Fengqin, Yan Bo, Lu Zhiyan, Wei Chenglong, Qin Liang  
(Physics and Chemistry Testing Center, Gansu Yinguang Chemical Industry Group Co., Ltd., Baiyin 730900, China)

**Abstract:** In order to improve the safety of the process and equipment in the process of 1, 3, 5-trinitro-1, 3, 5-triazacyclohexane (RDX) production, the hazard and operability analysis (HAZOP) was used to analyze the hot-press boiling and cleaning process of RDX. By dividing the nodes, determining and analyzing the deviation, the causes of the accident and possible accidents are found, and the corresponding safety countermeasures and suggestions are put forward. The advantages and disadvantages of this HAZOP analysis are summarized, and the direction of future improvement is defined. The results show that this method provides a strong support for the process of RDX hot-press boiling and cleaning process and the safe operation of the device.

**Keywords:** RDX; HAZOP; hot-press boiling and cleaning; measures

### 0 引言

黑索今(RDX)是高能优质的单质炸药, 具有安定性好、威力大和猛度高等优点, 且制备所需原材料易得、成本较低, 故广泛应用于军工领域和民爆行业<sup>[1-3]</sup>。

我厂生产 RDX 采用直接硝解法, 主要包括硝化、结晶、驱酸、热压煮洗、干燥和包装等工序, 其中热压煮洗作为重要的后处理工序, 是针对上一步驱酸工序的进一步处理, 即对 RDX 使用净水或软化水充分浸泡, 通过两三次的处理将 RDX 晶体表面未驱尽的硝酸洗净<sup>[4-5]</sup>。热压煮洗所使用的煮洗机为密闭容器, 内部物料温度高、压力大; 且此工序为间断操作, 劳动强度大, 存在一定危险性, 更是扩大生产能力的薄弱环节<sup>[6-8]</sup>。

评价 RDX 的热压煮洗工序中的危险有害因素及危害程度, 预先发现事故隐患, 并制定防护对策, 显得尤为重要。笔者运用危险与可操作性分析

法(HAZOP)对 RDX 的热压煮洗工序进行分析, 查找此工序运行中存在的各类安全问题, 提出相应的安全对策措施以保证此工序的平稳运行。

### 1 HAZOP 技术原理

HAZOP 方法具有系统性、创造性、结构性和前瞻性等优点, 并涵盖了集体智慧和引导词激发创新思维<sup>[9-10]</sup>。通过组建具有不同知识背景、理论和实际生产经验丰富的专业人员组成分析小组, 对每一个生产单元或操作步骤进行系统的研究, 在推理机制上采用了“溯因法”, 即演绎法和归纳法的联合, 辨识出具有潜在危险的偏差, 并对每一个偏差进行系统分析, 判别现有预防措施是否满足安全生产的要求, 并提出切实可行的改进措施, 从而实现全面排查生产运行系统或装置设计方案中潜在的事故隐患<sup>[11-12]</sup>。

HAZOP 分析的过程如图 1 所示。

收稿日期: 2022-08-20; 修回日期: 2022-09-20

基金项目: 基础产品创新计划火炸药专项

作者简介: 陈明磊(1986—), 男, 安徽人, 硕士, 从事含能材料工艺放大及性能测试研究。E-mail: chenml0611@163.com。

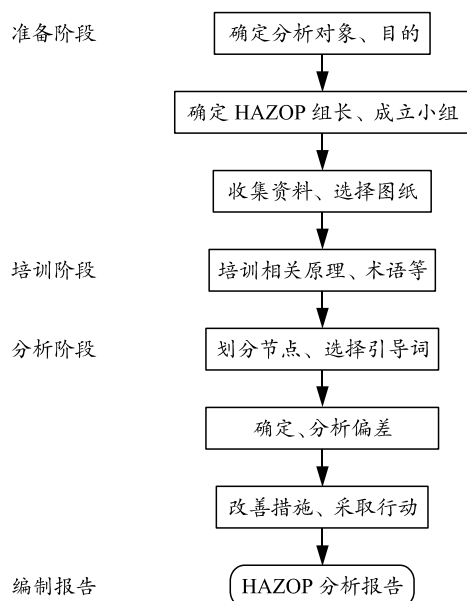


图 1 HAZOP 分析会议流程

## 2 RDX 热压煮洗 HAZOP 分析难点

### 2.1 RDX 热压煮洗简介

硝化制得 RDX 经过初步水洗后,晶体表面和晶体间依旧残留少部分的酸液和不溶于水的未分解副产物,如三硝基二氨基二甲胺等;因此,仍需进行热压煮洗工序来除杂和降低酸值。即将驱酸后的 RDX 置于有压空搅拌的积聚槽后,形成悬浮液,使用蒸汽以 0.2~0.4 MPa 的压力喷射输送到煮洗机。其中,蒸汽喷射可使 RDX 粒度减小,并进行洗涤除杂。随后调节煮洗机内物料温度为 90~98 ℃,加压进行煮洗,直至产品酸值测试合格,随后对物料进行冷却降温,经湿筛排入过滤器过滤,并使用冷水洗涤,随后进入下一工序进行干燥后处理。

### 2.2 RDX 热压煮洗分析难点

自 20 世纪中后期开始,世界各 RDX 主要生产国开始进行 RDX 间断操作工序连续化的研究,但由于其具有炸药的危险特性故研究少有进展。其中热压煮洗工序使用多个设备连续轮流操作需要不断进料、水洗、卸料等操作,劳动强度较大,且热压煮洗机为高温、高压的密闭容器,也较易出现事故。上述各类影响因素造成 HAZOP 分析时的严重等级难以确定,较难提出相应的安全对策和建议等。

## 3 RDX 热压煮洗 HAZOP 应用

### 3.1 准备阶段

有效的 HAZOP 分析准备阶段能够保证此次分析准确、全面且有深度,主要包含:1) 确定分析目

的和范围;2) 收集并筛选相关资料,如 RDX 热压煮洗工序所使用原辅材料的理化特性、平面布置图、工艺流程图、工艺说明、设计规范、历次事故记录、主要涉及的设备及其功能清单、制造手册和维修记录等各类资料;3) 组建 HAZOP 分析小组,包括组长、记录秘书、工艺工程师、设备工程师、仪表工程师以及实际生产和操作人员等;4) 制定详细的分析计划,包括会议次数和时间等;5) 深入了解 RDX 热压煮洗工序现场运行情况,对相关生产线尤其是存在重大安全隐患的区域进行实地调查。

### 3.2 培训阶段

由于分析不同的生产工序或设备需要临时组建分析小组,故每次分析前均由 HAZOP 组长负责对新参与分析的成员进行简要培训,主要包括 HAZOP 的相关原理、术语、具体步骤、会议过程及注意事项等,使各成员在此次 HAZOP 分析前做好准备。

### 3.3 分析阶段

HAZOP 分析会议由组长主持,记录员利用计算机软件将可能发生的事故、安全措施、发生概率、严重等级和建议措施进行记录。具体程序如下:

#### 1) 划分节点和工艺风险矩阵。

正确划分节点能够高效、准确地完成 HAZOP 分析。此工作通常由 HAZOP 组长决定,组长广泛听取小组成员的意见和讨论,并在意见达到统一后对节点进行划分。

划分节点可采用分析目的、工艺危险程度和工艺阶段来划分,也可按区域模块法、功能划分法和结构划分法来划分<sup>[13]</sup>,但对较为复杂的生产工艺需划分得更细致,避免出现遗漏或重复分析的情况。

此次 HAZOP 分析根据 P&ID 图纸所示的生产环节进行划分,着重分析 RDX 热压煮洗工序所使用的热压煮洗机、管线、反应器、储罐、电机等设备。不同风险级别对应采取不同的对策措施,采用的工艺风险矩阵如表 1 所示。

表 1 风险分级

后果严重性	可能性							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	L	L	L	L	L	L	M	M
B	L	L	L	L	L	M	M	H
C	L	L	L	L	M	M	H	H
D	L	L	M	M	H	H	S	S
E	L	M	M	H	H	S	S	S
F	M	M	H	H	S	S	S	S
G	M	H	H	S	S	S	S	S

#### 2) 确定偏差。

将上述划分所确定的节点逐一分析,采用引导

词法,即使用“温度、压力、流量”等参数和“无、过多、过少、逆向”等引导词相结合,如热压煮洗机压力过高导致 RDX 分解爆炸等。

3) 分析偏差。

分析节点所确定的偏差即对每一节点的每一工艺参数的偏差进行分析和讨论,找出偏差产生的原因、可能造成的后果、可采取的相应措施等。分析节点的所有偏差分析完毕后,再开始下一节点的分析,以防遗漏。对于不确定的结论,组长应提醒记

录员将其备注,最后进行重点讨论再确定。

最后,分析组长对记录员记录的 HAZOP 结果进行审查,保证分析结果的如实记录。

3.4 HAZOP 分析结果

笔者分析的 RDX 生产线中的热压煮洗工序,其节点功能是将 RDX 晶体表面未驱尽的硝酸洗净,控制参数主要包括压力、温度、流量、步骤执行不足、杂质等。此次 HAZOP 分析的部分结果如表 2 所示。

表 2 HAZOP 分析的部分结果

序号	偏差	偏差描述	可能原因	可能导致的后果	建议保护措施
1	压力过高	热压煮洗机压力过高	热压煮洗机蒸汽管线上手阀全开后未及时关闭	热压煮洗机温度过高, RDX 可能分解爆炸	蒸汽进界区设置压力调节回路,控制蒸汽压力及温度
2			上游装置来蒸汽温度过高	热压煮洗机温度过高, RDX 可能分解爆炸	蒸汽进界区设置压力调节回路,控制蒸汽压力及温度
3			热压煮洗机保温保压步骤,排气管线上手阀关闭,但蒸汽管线上手阀未关闭	热压煮洗机温度过高, RDX 可能分解爆炸	设置温度联锁切断蒸汽进料
4	温度过高	热压煮洗机温度过高	热压煮洗机蒸汽管线上手阀全开后未及时关闭	热压煮洗机温度过高, RDX 可能分解爆炸	蒸汽进界区设置压力调节回路,控制蒸汽压力及温度
5			上游装置来蒸汽温度过高	热压煮洗机温度过高, RDX 可能分解爆炸	设置温度联锁切断蒸汽进料
6	步骤执行不足	步骤执行不足	热压煮洗机脱盐水补水量过大	热压煮洗机液位升高,可能冒料,环境污染,人员灼伤;热压煮洗机升温过程中,可能超压损坏,物料泄漏,人员灼伤	热压煮洗机设有远传温度计;热压煮洗机设有爆破片并泄放至安全设施;操作规程:人工对加水量检测
			热压煮洗机脱盐水补水量过小	热压煮洗机液位降低,无法淹没蛇管,升温过程中,蛇管附着的 RDX 可能分解爆炸	热压煮洗机设有爆破片并泄放至安全设施;操作规程:人工对加水量检测
7	其他	公用工程故障	电力供应中断,热压煮洗机搅拌器停	热压煮洗机反应局部温度过高,存在爆炸风险,人员伤亡	物料进料管线上增设独立切断阀

4 HAZOP 技术优缺点分析

将 HAZOP 技术应用于 RDX 热压煮洗工序的风险评价后可发现其存在的优缺点如下:

优点: 1) 分析结果全面, HAZOP 分析根据工艺流程中的偏差,逐一找出可导致系统出现偏差的原因及后果,遗漏分析可能性小; 2) 评价结果准确性高, HAZOP 分析比依靠单个专业或多方向探索的分析方法系统性强,且更加准确; 3) 方法易于掌握、可操作性较强,通过将工艺流程划分为节点后再对装置详细分析,可有效发现存在的潜在危险和事故隐患。

缺点: 1) HAZOP 分析为定性风险评价方法,只能对生产系统或设备定性分析,即通过对事故发生概率和后果的严重程度进行划分得到事故风险等级,但不能具体量化事故严重程度;因此,仍需采用 QRA 技术或 HYSYS 软件等进行定量分析和高风险管理,以防重大事故发生。2) HAZOP 分析的准

确程度主要受到 HAZOP 小组各成员的水平、能力和经验的影响,尤其是起到总领作用的组长,其对分析的工序或设备的理解程度和对会议的组织能力直接影响到此次分析的准确性和全面性。

5 结论

针对 RDX 的热压煮洗工序事故时有发生的现象,笔者采用 HAZOP 分析对此工序进行安全评价,找出此工序中的中高风险并提出详实建议措施。此次分析结果对 RDX 热压煮洗管理的规范化、工艺改进、设备操作等具有重要指导意义。HAZOP 分析技术在本行业仍处于探索阶段,需进行更深入的研究。

参考文献:

[1] 混合炸药编写组. 猛炸药的化学与工艺学: 下册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 25-27.