**CSB经典案例分析—美国概念科学公司高浓度羟胺分解爆炸事故**

唐彬 天津市居安企业管理咨询有限公司

网站：[www.justsafety.com.cn](http://www.justsafety.com.cn)

电话：13802084672

[邮箱：tangbin@justsafety.com.cn](mailto:邮件：tangbin@justsafety.com.cn)

**摘要**

本文结合美国化学品安全与危害调查委员会（CSB）对1999年2月19日美国概念科学公司羟胺生产装置因高浓度羟胺分解爆炸事故的调查，详细介绍该起事故的发生背景、发生过程与事故后果，并从技术和管理角度综合分析、总结导致此次事故的各方面原因，分享CSB调查组根据事故调查结果总结的经验教训和建议措施。

**关键词**：受限空间、氮气窒息、惰性气体、美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)

# 事故简介

1999年2月19日，下午约8:14，位于美国宾夕法尼亚州的概念科学公司（the Concept

Sciences, Inc.）羟胺生产装置的一个装有数百公斤羟胺（Hydroxylamine，HA）的工艺容器发生爆炸。事故发生时，概念科学公司新建装置操作人员正在对羟胺和硫酸钾的水溶液进行蒸馏处理，生产第一批的商业产品羟胺。蒸馏工序完成后，该部分工艺停止运行，由于高温和浓度过高，工艺储罐及附属管线内的羟胺发生了爆炸性分解，生产装置和邻近建筑物被严重损坏，如图1所示。爆炸事故造成概念科学公司的4名员工和附近公司的1名工作人员死亡，概念科学公司的2名员工因爆炸冲击波造成重伤，附近建筑物内的4人受伤，另有6名消防人员和2名安保人员在应急响应过程中受伤。



**图1：事故现场情况**

# 2. 事故背景

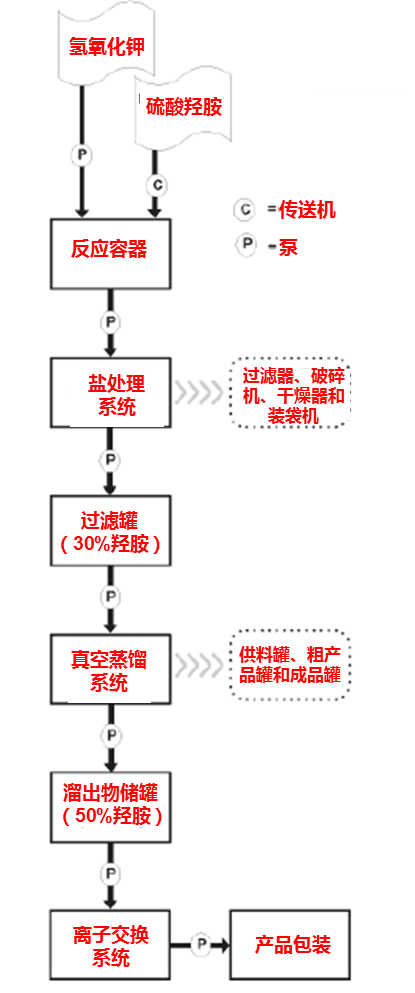
## 2.1 羟胺性质和应用

羟胺是氨的氧化衍生物，化学式为NH2OH。羟胺通常为不稳定的白色大片状或针状结晶，极易吸潮，极易溶于水、液氨和甲醇。在热水中分解，微溶于乙醚、苯、二硫化碳、氯仿。羟胺分子量为33.03，熔点34℃，沸点110℃，爆炸点265℃。羟胺通常作为水溶液或者盐类的形式存在，羟胺性质不稳定，室温下吸收水汽和二氧化碳时，迅速分解。羟胺暴露在热量、火焰和氧化剂条件下可能发生火灾，如果大面积暴露在空气中，可能立即点燃。羟胺在高浓度或高温情况下容易发生爆炸性分解，在空气中加热至70℃以上时可能发生爆炸。羟胺对呼吸系统、皮肤、眼部及黏膜具刺激性，吞食有害，为潜在的诱变剂。

## 2.2 羟胺生产工艺

概念科学公司自1997年开始发展自己的羟胺生产公司，到1999年2月，概念科学公司已拥有约20名全职员工，其中10人负责新建生产装置的运行。

事故发生当天，概念科学公司新建生产装置正在生产第一批的50%比重的羟胺溶液。羟胺生产工艺主要包括4个基本工序，即反应工序、过滤工序、蒸馏工序和离子交换净化工序，如图2所示。



**图2：羟胺生产工艺流程简图**

（1）硫酸羟胺和氢氧化钾反应，生成30%比重的羟胺和硫酸钾水溶液，化学反应方程式为：

HAS + 2 KOH2→HA + K2SO4 + 2 H2O

HAS = (NH2OH)2\*H2SO4

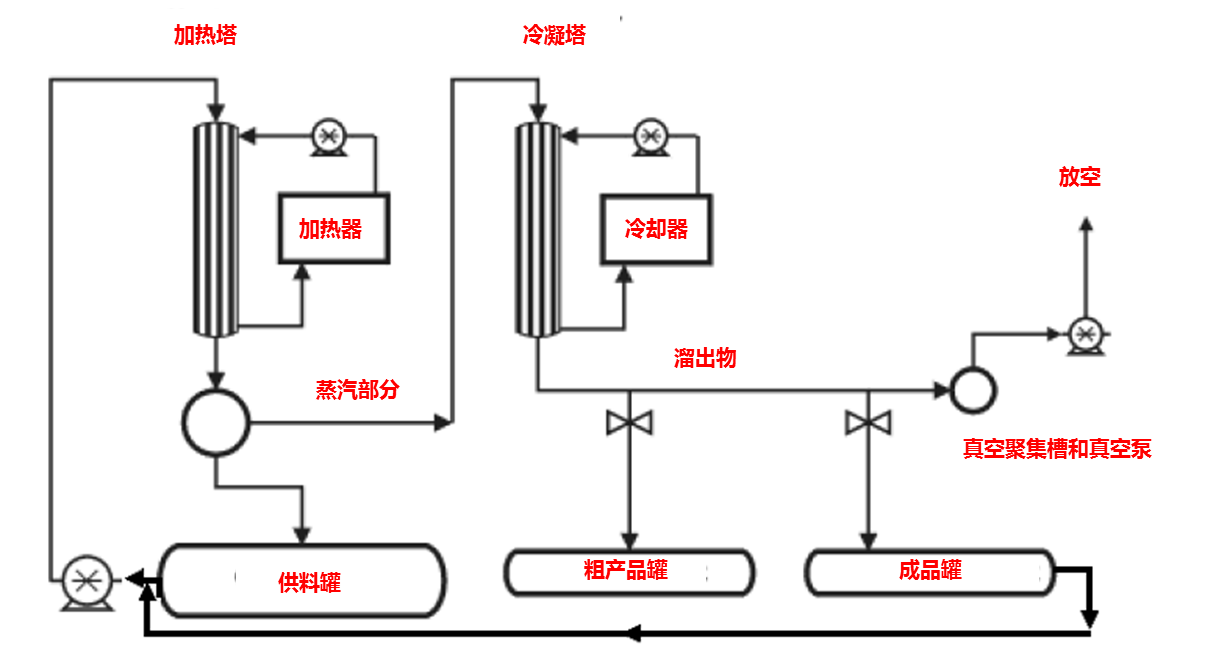
HA = (NH2OH)

（2）对上一步生成的反应产物溶液进行过滤，除去沉淀的硫酸钾固体。

（3）对30%比重的羟胺溶液进行真空蒸馏，把羟胺从溶解的硫酸钾中分离出来，生成50%比重的羟胺馏出物。

（4）通过离子交换器，对羟胺溜出物进行净化，生成合格羟胺产品。

如图3所示，概念科学公司羟胺蒸馏工艺包括一个容量约9m3的供料罐、一套真空蒸馏系统（包括一个加热塔和水加热器，一个冷凝塔和冷却器，一个真空泵）和两个产品接收罐（一个粗产品罐和一个成品罐，容积都是5m3）。



**图3：羟胺真空蒸馏工艺流程简图**

羟胺蒸馏工艺包括两个阶段。第一个阶段，通过泵加压使30%比重的羟胺溶液自供料罐至加热塔（管壳式玻璃换热器）进行循环，羟胺从加热塔顶部进入管程，自上而下返回至供料罐的过程中被49℃的蒸馏水加热。从加热塔出来的蒸汽进入冷却塔冷凝，而溜出物（初期主要成分是水，含有一部分羟胺）直接进入粗产品罐。当粗产品罐中的羟胺浓度达到10%比重时，溜出物进入成品罐，在成品罐中聚集，直至供料罐中羟胺浓度达到80~90%比重。此时，蒸馏工艺的第一阶段完成。

使用30%比重的羟胺溶液对供料罐、加热塔和冷凝塔进行清洗，然后，供料罐停止使用。第二阶段开始，通过再次蒸馏，使成品罐中45%比重的羟胺溶液进一步浓缩，然后送至加热塔顶部，流经管程，被60℃的水加热。溜出物被送回成品罐中。在这个过程中，水被从羟胺溶液中分离出去，直至成品罐中的羟胺浓度达到50%比重，此时，整个蒸馏工艺完成。

# 3. 事故发生过程

1999年2月15日星期一下午，概念科学公司新建装置开始生产第一批的50%比重的羟胺产品。供料罐中装有约4t的30%比重羟胺溶液，在正常条件下，完成一个批次的蒸馏工艺大概需要30小时。到了星期二晚上，供料罐中液体溶液的浓度达到约48%比重，产品在粗产品罐中收集。CSB调查组无法准确确定产品是在什么时候从粗产品罐转移到成品罐中的。

星期二晚上，加热塔内的管束发生泄漏，泄漏的水进入供料罐中，随后生产装置被关停，进行维修。必要的维修作业持续到星期四下午，蒸馏工艺重新启动。到了下午11:15，供料罐中的液体溶液浓度达到了56%比重，收集到的物料浓度为15%比重。蒸馏工艺持续至当晚的11:30。

2月19日，星期五，一条连接至加热塔的DN38供料管线被替换为DN50管线，耽误了开车时间。到了当天上午稍晚时候，供料罐中液体溶液浓度约为57%比重，随着生产的持续进行，浓度稳定上升。到了下午7:00~7:15，根据记录，供料罐中液体溶液浓度约为86%比重。

根据中试结果，概念科学公司管理层知道当羟胺浓度高于80%比重时会形成结晶，而且羟胺晶体很不稳定，可能发生爆炸性分解。管理层也清楚高浓度羟胺的危险性，如概念科学公司的物料安全数据表中描述的：随着羟胺溶液中的水被分离或者蒸发，羟胺浓度超过70%比重时，可能发生火灾和爆炸事故。

概念科学公司操作人员通过目视方法持续监控蒸馏系统的结晶情况，到了星期五下午7:45，蒸馏工艺被关停，然后用30%比重的羟胺溶液对形成的结晶进行了清洗。蒸馏工艺的第二阶段没有启动。概念科学公司的一名生产和工程经理接到电话，于晚上8:00从家赶回公司。爆炸发生在晚上8:14。

# 4. 事故分析

## 4.1 可能的初始事件场景

根据羟胺的物理和化学性质可知，当羟胺晶体和溶液达到较高浓度时（85%比重），可能发生爆炸性分解反应。加热和污染物的出现也会加速分解反应。根据概念科学公司的蒸馏工艺，物料从供料罐中被送至加热塔，由于大量水被蒸发掉，返回至供料罐的混合物中的羟胺浓度升高。

根据分析，有几种潜在的初始事件可能是导致此次事故的原因。例如，蒸馏系统加入了过多热量，工艺设备部分损坏或者整体坍塌导致的物理撞击，或者工作疏忽造成工艺系统引入了杂质。随着物料经泵加压送至加热塔的过程中，摩擦产生的热量可能加热了混合物。在高浓度羟胺环境中，这样的热源有可能导致在供料罐或者供料管线中发生爆炸。

## 4.2 工艺安全管理

概念科学公司蒸馏工艺发生的羟胺分解爆炸事故，充分地说明了在危险化学品生产工艺的规划、设计、建设和开工过程中实施有效的工艺安全管理的重要性。

根据美国化工过程安全中心（CCPS）出版的《化工过程安全技术管理指南（*Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety*）》一书中，描述了工艺安全管理系统包含的12个核心要素。此次事故暴露出概念科学公司在工艺安全信息和重大项目工艺安全审核方面的管理存在严重漏洞。

**（1）工艺安全信息和文件**

针对化学品生产企业的工艺安全管理系统，基本的工艺安全信息包括：

* 化学品名称、物理性质和反应特性；
* 反应物和产品的健康和毒性数据；
* 反应物和产品的热稳定性和化学稳定性数据；
* 工艺化学和技术信息；
* 工艺设备的设计温度和设计压力及相应的工艺条件；
* 工艺设备和物料的建造规格要求；
* 化学品工艺过程的物料和能量守恒；
* 安全系统（包括安全联锁、泄压系统、监测系统和控制系统等）；
* 装置操作规程和培训信息；
* 设计规范和管理标准。

为了达到预防工艺安全事故的目的，所有上述信息应在初始设计和建设之前进行正确编辑、分析和保持更新。而且应确保公司员工能够容易得到这些信息。

在概念科学公司，针对羟胺的爆炸性分解风险，在工艺设计过程中对工艺安全信息的建立、理解和应用存在不足。

在中试生产过程中，管理层已经意识到了当羟胺浓度超过70%比重时存在的火灾和爆炸风险。但是，在工艺设计、操作规程、风险削减措施和工艺操作人员的预防性指导等方面没有充分考虑到这一风险。

根据概念科学公司羟胺生产工艺的设计，液体溶液中的羟胺浓度将达到85%比重以上，远高于羟胺MSDS中提到的存在爆炸风险的危险浓度（70%比重）。

另外，针对概念科学公司羟胺生产装置，只有简单草图和基本的工艺流程图，没有标准的工艺设计图纸。装置的操作规程中也只提供了一些基本信息。工程设计图纸和详细的操作规程本应是装置操作和维护培训中的一项关键内容。

**（2）重大项目的工艺安全审核**

风险评估是一种系统的识别工艺和健康危害的方法。在建设项目全生命周期的各个阶段，需要进行许多种类型的风险评估和审核。

通过进行充分的化学品反应性危害评估和工艺危害分析（PHA），能够帮助概念科学公司全面评估的羟胺生产工艺中存在的风险，并通过采取针对性的风险削减措施使其得到有效控制，还可以让管理层认识到计划的建设项目是否会对员工和周边社区造成不可接受的潜在风险。

通常，反应性危害评估的第一步是进行文献调研。羟胺很早以来就被认为是一种不稳定的化学品，在高浓度和高温情况下可能发生快速放热分解，并引发爆炸，产生巨大的爆炸破坏力。根据实验室中试结果，概念科学公司的羟胺生产工艺存在羟胺结晶和放热分解的可能性。在生产工艺设计过程中，概念科学公司本应研究当羟胺浓度超过70%比重时发生爆炸性分解的风险，确定风险大小，全面评估羟胺生产工艺的反应性危害，并识别应采取的风险控制措施。潜在的反应性危害要素包括浓度峰值、温度变化、和杂质或污染物可能发生的反应、以及稳定剂要求。

概念科学公司在对生产工艺进行正式的工艺设计审查之前，已经购买了相关设备。考虑到高浓度羟胺的高风险性，概念科学公司的设计和安全审核存在不足。如果针对工艺物料、工艺条件、设备和设计过程进行了全面评估，就可能识别出发生灾难性的羟胺爆炸事故的可信场景，从而采取相应的风险控制措施。

根据工艺设计记录显示，概念科学公司已经认识到羟胺生产工艺中供料罐存在重大风险（即，浓度超过80%比重的羟胺和固体硫酸钾混合）。如果在工艺设计过程中进行了有效全面的工艺危害分析，概念科学公司就可能识别出潜在的羟胺爆炸性分解事故场景，从而采取正确的风险控制措施，或者修改生产工艺，避免产生高浓度的羟胺。

概念科学公司采用“What If”方法进行了一次工艺危害分析，形成一页的分析记录。但是，这次工艺危害分析没有全面识别可能导致高浓度羟胺爆炸分解的可信场景、后果及相应的预防措施，例如，供料罐中存在高浓度的硫酸钾、冷凝塔和供料罐中可能形成固体羟胺晶体、再沸器管束可能发生硫酸钾堵塞、工艺设备和控制措施失效和装置选址不合理（靠近公众区域）。

此次工艺危害分析识别出了工艺流程中潜在的风险和相应的安全保护措施，例如远程控制操作、防爆墙和保护员工的防护措施等。但是，概念科学公司没有执行上述安全保护措施。

## 4.3 危化品装置厂址选择

危化品装置厂址选择的评估通常包括工艺安全分析和政府法规、行业标准规范及当地应急计划要求方面的审核。概念科学公司位于一个郊区工业园区的多客户建筑内。幸运的是，概念科学公司爆炸事故发生在星期五晚上8:14，暴露区域内人员不多，限制了爆炸事故造成的人员伤亡数量。

遇难人员的其中1人是另一个公司的员工，该公司工作区域和概念科学公司仅有一堵混凝土墙隔离。一个包装运输公司位于概念科学公司正对面，该公司几名员工受伤，公司建筑也被严重破坏。另外，有一个日托中心距离爆炸区域约270m，附近的几个住宅也受到轻微破坏。

危化品生产装置的厂址选择应考虑到所有的可能对人员、财产和环境造成潜在危害的因素，例如火灾、爆炸和毒性物料泄漏等。厂址选择评估是工艺设计的一个不可缺少的关键要素。如果概念科学公司针对计划新建的羟胺生产装置进行了充分的工艺危害分析，就可能识别出那些对公众造成危害的潜在风险。企业管理层可以根据分析结果，重新选择合适的厂址，控制生产装置可能对周边企业造成的潜在风险。

# 5. 总结

根据上述分析，造成概念科学公司羟胺生产装置爆炸事故及相应后果的主要原因包括：

* 概念科学公司的工艺安全管理系统没有正确处理羟胺生产工艺本身存在的危险，不确定这些危险因素是否会造成严重风险；
* 概念科学公司没有充分收集和分析相关的工艺安全信息，没有认识到羟胺生产工艺存在的爆炸风险；
* 概念科学公司没有正确执行基本的工艺安全和化学品工程设计规范，例如工艺设计审查、危害分析、纠正措施和技术专家审核等。
* 概念科学公司羟胺生产装置存在较高的爆炸风险，经批准，厂区选址位于一个轻工业园区，暴露人员较多。

考虑到概念科学公司羟胺生产工艺的高风险性和复杂性，需要全面严格执行现行工程设计标准、指导规范和良好实践等。生产企业应采取必要的行动和措施，最大可能的降低或控制羟胺生产装置存在的潜在风险，并采取适当的安全防护措施。对于降低类似灾难性爆炸事故发生的可能性和严重后果，政府机构、当地管理部门、供应商和客户方均负有一致的责任和异物。

# 6. 参考文献

1. Case Study. THE EXPLOSION AT CONCEPT SCIENCES: HAZARDS OF HYDROXYLAMINE No. 1999-13-C-PA.
2. American Petroleum Institute (API), 1995. Management of Hazards Associated With Location of Process Plant Buildings, Recommended Practice 752, May 1995.
3. Center for Chemical Process Safety (CCPS), 1996. Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires, American Institute of Chemical Engineers (AIChE).
4. CCPS, 1995a. Guidelines for Chemical Reactivity Evaluation and Application to Process Design, AIChE.
5. CCPS, 1989. Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety, AIChE.
6. Hazards Research Corporation (HRC), 1999. Concept Sciences, Incorporated, Hydroxylamine Explosion, February 19, 1999, HRS Report 8034, prepared for U.S. Department of Labor, OSHA, July 2, 1999.

**居安咨询**于2015年7月成立微信公众平台，旨在提升化工各行业企业安全管理绩效为目标，以整合专业安全资源为途径，致力打造国内外具有实用性的安全理念、安全知识、安全技术以及安全良好实践发布、共享、传播、在线交流互动平台。在我们平台上有我们原创的安全相关的知识性文章发布，若您感兴趣也可以给我们投稿，我们会有相应的稿费哦，投稿邮箱：[tangbin@justsafety.com.cn](mailto:tangbin@justsafety.com.cn)。扫描下面的二维码加入我们吧！

****