

## CSB 经典案例分析—EEI 公司废水处理装置硫化氢泄漏事故

### 摘要

本文结合美国化学品安全与危害调查委员会（CSB）对 EEI 公司废水处理装置发生的硫化氢泄漏事故的调查，详细介绍了废水处理装置硫化氢泄漏事故的背景、过程与后果，并从过程安全管理和技术角度综合分析、总结导致事故的各方面原因，分享 CSB 调查组为预防类似事故发生提出的建议措施。

**关键词：**废水处理装置、操作规程、机械完整性、管理系统、美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)

### 1. 事故简介

2002 年 12 月 11 日下午 2 点左右，位于俄亥俄州辛辛那提市的 EEI 公司废水处理装置发生一起硫化氢泄漏事故，造成 1 人受伤。



图 1 事故现场

当时，一名维修员工进入废水处理间（WWT）拿取工具，途径一个圆锥形底沉积固体的敞口罐—废水处理净化器时，他闻到一股臭鸡蛋味，并随着他的靠近味道越来越浓重。他突然感到肺部受压无法呼吸，他挣扎想离开现场，但已中毒硫化氢气体并倒下。幸运的是，其他员工在不久后发现了她，并及时将他从现场救出，无其他人员受伤情况。

美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)与美国职业安全与健康管理局 (OSHA)、俄亥俄州环境保护署 (OEPA) 危险废物管理部联合开展事故调查, 另外, 辛辛那提市环境管理办公室、消防部门等也参与了调查。

## 2. 事故背景

### 2.1 EEI 公司简介

EEI 公司是一家拥有 30 年发展历史的私营企业, 位于辛辛那提市的春树林大道。根据该公司网站, 其每年要处理 35,000 桶的危险废物, 回收率超过 90%。公司的办公室和主要的检测实验室都在厂区附近, 有员工 80 人。

EEI 危险废物处理和储存厂主要接收来自实验室、轻工业和家庭废物 (如油漆、清洁剂、杀虫剂、各类溶剂等), 其中水溶液类的废物和废水材料在被排入下水道之前要经过处理和过滤。

EEI 公司可提供危险废物收集和运输、应急响应和现场危险废物修复服务。另外, 还可提供实验室废物总包服务, 包括分离、包装、运输实验室危险废物, 以满足联邦政府的处置要求。

### 2.2 硫化氢特性

硫化氢是一种无色、剧毒的可燃气体, 浓度非常低的情况下有一股臭鸡蛋味, 但在高浓度时则无法通过气味判定。暴露在 500ppm 浓度条件下时, 会造成人员失去意识, 700ppm 浓度下就会发生猝死。

硫化氢是一种在一些原油和未处理的原油产品中会产生的常见的工业气体, 在含硫化合物和酸中和也会生成。由于硫化氢比空气要重, 当发生泄漏时, 会从敞口的容器顶部沉积到低点位置。

### 2.3 废物处理工艺操作

EEI 公司是经美国环境保护协会 (EPA) 批准的危险废物处理、储存和处置 (TSD) 企业。这个厂区内有一系列储罐和过滤器, 可对水基废物进行接收、储存、化学处理、过

滤和沉积处理。

从外部运输到厂区的危险废物容器既有家用的罐子和瓶子，也有 55 加仑大的桶，然后汇入到一个储罐当中，通过取样化验来决定处理流程。而污水处理过程则是危险废物处理的最后提炼阶段，遵照 EPA 清洁水法案和辛辛那提城市下水道管理条例。

EI 公司处理废物的方式是在净化器中通过加入各种成分的化学试剂来调节 pH 值，并进行过滤处理。如果所有污染物含量在允许范围之内，液体将被导入一个储罐中，并进行再次过滤。在倒入下水道钱要进行最后的测试。图 2 是污水处理的工艺简图。

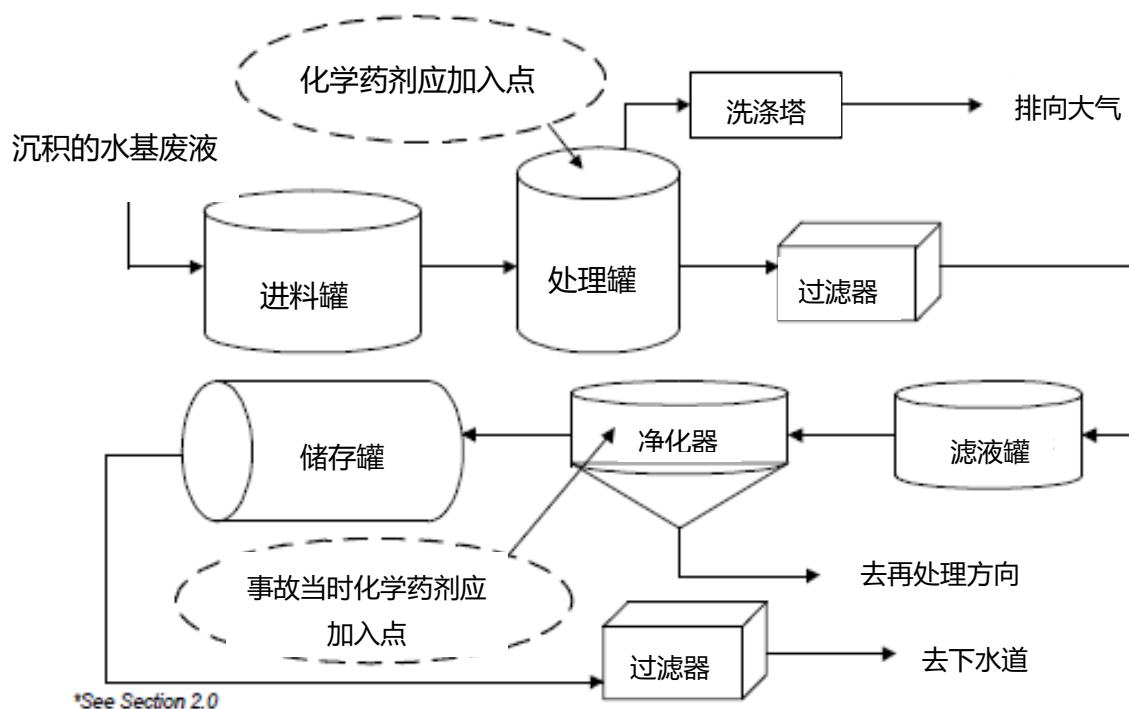


图 2 污水处理的工艺简图

### 3. 事故发生过程

12 月 10 日，事故发生的前一天，斯普林格罗夫工厂区内进行的是常规处理。水基废液当中含有各种各样的污染物，包括重金属等，被收入到废水处理区。经过取样分析，一名有经验的操作工判定该采取哪些处理，并开始准备处理材料。

第二天凌晨，操作人员对净化器中的待处理液体进行了再次取样，化验结果显示其中汞含量超过排放允许值（0.02ppm）。

水基废液中除去重金属的常规操作是加入化学试剂，使其与金属离子发生反应，反应产物为一种沉淀物，剩下的溶液可以被引出排放。

12 月 11 日，操作人员向净化器中的水基溶液加入 50 磅硫化钠片反应生成亚硫化汞沉淀物（见图 3）。由于该净化器没有配备搅拌器，该操作工就用空气软管连接到容器（通常称为空气搅拌）。经过处理后，化验结果显示，汞含量达标，但 pH 值由于硫化钠的碱性而偏高（11.4）。

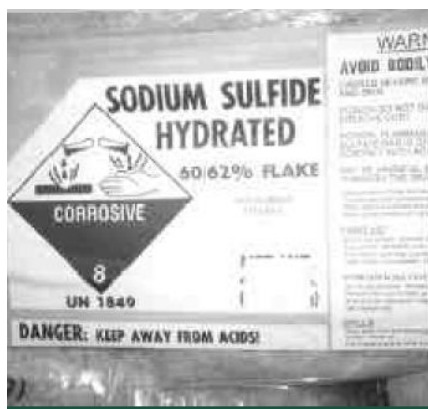


图 3 硫化钠片

接着操作人员向净化器中加入了一种酸性化学试剂-聚合氯化铝（PAC）（见图 4），以使汞盐聚集形成簇，并将溶液的 pH 值调解至中性（6-10）。55 加仑的聚合氯化铝加入时间超过几个小时。

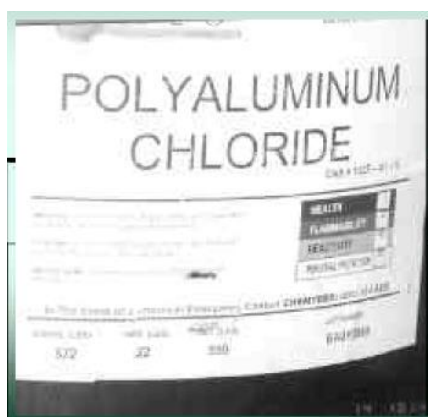


图 4 聚氯化铝

大约下午 2 点，厂区内的负责环保管理制度的协调员，在现场闻到一股硫化氢味，于是他进入废水处理区，发现了这种浓烈的味道，并迅速离开现场去拿便携式气体探测器。

几分钟后，一名维修工来到废水处理区去归还他之前借用的工具，工具箱靠近处理容器。当

其进入房间内，闻到了硫化氢味道，但没有引起重视。

尽管斯普林格罗夫工厂区的员工已经习惯了处理废物的味道，但并不是所有的人都对硫化氢的危险有所意识。该维修工前往工具箱区域时，他感受到空气要从肺内抽出来一样，感觉无法呼吸，胸腔内像是在燃烧，有压迫感。他爬向入口的方向，在距离净化器 20 英寸的地方倒下。

当协调员携带便携式气体探测器返回废水处理区时，他发现该名维修师躺在地上已经没有了意识和呼吸，此时，该气体探测器开始报警，现场生产监督查验现场仪表显示的硫化氢含量值为近 85ppm。

废水处理建筑中的通风扇用于降低作业区域内的毒气含量。EEI 公司另外一个部门的监督几乎在同一时间进入该区域查看气味来源。他和合规协调员一起将维修工拉出现场，之后，维修工开始可以自主呼吸。在救援人员来临之前，受伤人员一直在呗供氧，之后就被送往当地的医院接受治疗。

除此之外，没有其他受伤人员，主要原因是硫化氢高浓度的持续时间较短，其他员工尽管在进入事故现场时没有佩戴呼吸保护器，但也没有发生中毒情况。图 5 显示的此次事故的事故树。

EEI 公司经评估发现，约有 2 磅的硫化氢被泄放出来。根据规定，需要上报至联邦政府、州政府和当地政府的泄放量为 100 磅。

## 4. 事故原因分析

CSB 团队联合 OSHA、OEPA 和辛辛那提市环保局开展事故调查。CSB 调查员通过检查该企业的操作规程、操作记录等文件，对厂区进场检查，对员工和管理人员进行访谈，同时，还访问了在辛辛那提市内一个同类型的废物处理工厂。最终经过调查后发现事故发生的原因是废物处理的容器使用不当。下面就从操作规程、培训、风险意识、过往事故、机械完整性和管理回顾等方面来分析。

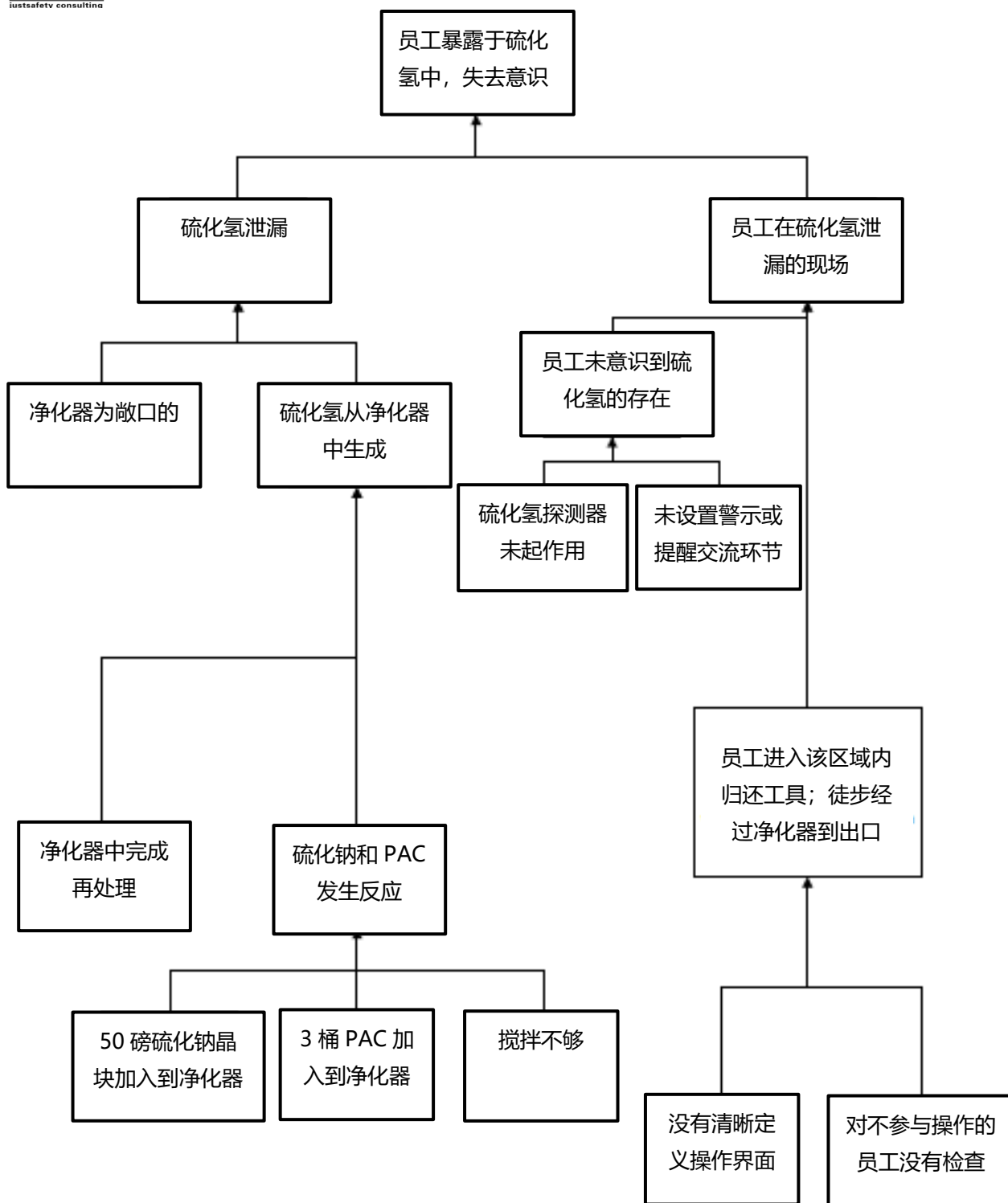


图 5 事故的事故树

## 4.1 规程

在事故发生之时，该厂区对于废物处理区没有书面的操作规程。尽管每一批处理的废物都不一样，需要设计专属的处理流程，但 EEI 公司更多是依赖工厂内有经验的员工。

此次事故中，操作人员用空气进行搅拌净化器中的待处理料。而空气对硫化钠的溶解以及 PAC 的分布没有起到很好的搅拌效果，导致两种化学物在局部条件下反应生成硫化氢，并从容器顶部泄放出来。而正确的操作应该是将待处理料回注到配备了充足的搅拌和放空设施的处理罐中。

由于没有书面的操作规程来提醒操作人员向净化器中添加化学物时可能发生的危险，也没有特定的规程告诉操作人员当废物处理后如果无法满足要求后该如何处理。事故发生后，EEI 公司针对废物处理操作制定了详细的书面操作规程。

## 4.2 培训

废水处理区的操作人员没有接收过正式的培训，他更多的是依赖他以往的工作经验来决定操作流程。虽然他清楚硫化氢的危险性，但却不知道可能发生反应生成有毒气体，理想条件下是 pH 值保存在一定范围内的情况下就不会产生硫化氢泄漏。

空气软管在净化器中是无法提供足够的搅拌，以使硫化钠晶体完全溶解，造成其与 PAC 反应生成硫化氢。幸运的是，能在净化器中能与强酸发生反应的硫化钠的含量有限。

如果整个反应器当中搅拌均匀且充分时，pH 值就不会低到大声硫化氢泄漏的程度。

## 4.3 风险传达

EEI 公司的领导层认为其有经验的操作人员会在他们遇到风险的和需要撤离的时候会提醒他们，他们没有硫化氢的危险意识，也没有意识到可能产生硫化氢的化学反应。

## 4.4 过往事故

刺激性的气味是 EEI 公司业务内的一部分。所有的员工都已经对强烈的气味和硫化氢的臭鸡蛋味很习惯了。不久之前，一名当地的警察在厂区外闻到强烈的硫化氢气味，对该事故调查后，仅是由环保部门出具了一份 2001 年 7 月的书面命令。为了降低硫化氢生成的风险，要



求硫化钠晶体必须在加入废液前完全溶解，同时要求在废液处理区域安装硫化氢气体探测器。

EEI 公司根据命令，在厂区内安装了挂墙式硫化氢探测器，但没有针对命令的相关要求制定规程或开展培训。另外，EEI 公司也没有正式的事故调查系统，也没有将调查结果与员工沟通。新的员工也不了解有该命令。

## 4.5 机械完整性

事故发生当天，新安装的硫化氢探测器并没有报警。经过访谈询问，CSB 了解到在事故发生前 2-3 个月都没有进行校验。事故后经过校验发现，该探测器是坏的因此没有起作用。

该企业没有制定校验、检查和维护硫化氢探测器的规程和安排专人负责。操作人员和维修人员开展校验步不规范，没有保存检验记录。（因此，没有员工知道何时该仪表需要被校验）事故发生后，EEI 公司完成了一次校验，并形成书面记录。

## 4.6 管理失责

该企业的员工，包括厂长、有经验的化学工程师、合规协调员、药剂师、现场操作人员等，在事故发生当天都没有询问质疑过处理规程，由于缺乏书面的操作规程和监管，废液处理区的操作人员仅仅依靠个人经验和判断来进行操作。该事故中的管理失责包括没有提供可供员工查看和借鉴的操作规程，也就无法保证采取了合理的处理方案，导致处理不当进而引发事故。

## 4.6 小结

综上所述，根据 CSB 所用的故障树分析方法对此次事故的分析结果来看，事故原因主要有以下 6 个方面，包括：

- 废水处理所使用的净化器不适当，其设计和目标无此功能。该容器没有配备洗涤塔等设备以使有害气体的泄漏可能降到最低，也没有配备搅拌器来使溶液得到充分混合。
- 操作规程和操作人员的培训不够，针对废物处置、设计合理的处理罐或敞口罐的废物处理等没有书面的指南或培训记录。
- 公司管理层没有把之前的事故调查情况与公司员工进行沟通，操作人员对相关要求不清楚。



- 公司管理层没有在废物处理区设置出入限制，员工也未被告知该区域内可能发生的危险。
- 公司员工对硫化氢的危险性认识不充分，当遇到泄漏情况时，该采取的响应措施不合理。另外，操作人员也未被提醒在处理操作过程中存在硫化氢泄漏的可能性，这一情况足可以通过此次事故中几名员工在没有配备呼吸保护器的情况下就进入事发现场就可以看出来。
- EEI 公司在机械完整性管理方面工作较为欠缺，没有对硫化氢气体探测器进行定期校验，导致事故发生当天，没有起到应有的作用。

究其原因，由于缺乏**有效的管理系统**，导致此次差点人员死亡的硫化氢泄漏事故的发生。

## 5. 事故发生后的补救措施

- 建立了相应的操作规程；
- 对操作人员就操作规程进行了培训；
- 对企业员工培训了硫化氢的危害；
- 安装了改良的通风设备；
- 对硫化氢探测器进行了校验；
- 在入口处安装了警示牌，以提醒员工潜在的危险。

## 6. 经验教训--管理系统

有效的管理系统可以预防事故的发生。这种管理系统可以是多功能的和复杂的，但对于像 EEI 公司这种小的企业来说，一个简单的管理系统就足够了。过程安全管理不到位经常是一些反应类事故的诱因（USCSB，2002）。此次 EEI 公司事故就是一起反应类事故，涉及两种化学品反应生成一种危险泄放物。

管理系统应包含制度、规程和工作指南，以明确和定义工作内容和范围，分配职责分工，提供必要的培训、监管和认证，以达到公司的生产经营目标。

EPA 对 TSD 工厂管理规定中的管理系统有重点要求（40 CFR 264.31）：工厂在设计、建设、维护和操作过程中，必须要将发生火灾、爆炸或其他突发性危险废物的泄漏的可

能性降到最低，以免对人员健康和环境构成威胁。

EEI 公司如果采用书面的完整的管理系统，废水处理系统就会收益良多。CSB 发现一些类似的工厂企业通过使用管理系统很好地保证了人员安全和环保。

以下的管理系统要素可以预防类似事故的发生：

- 定义了管理目标的书面政策；
- 废水处理项目的书面管理规程，包括职责分工，培训要求的定义和工作指南；
- 通过日常审查、审计开展的程序符合性和风险识别的管理监管；
- 书面的作业指导书（即操作规程）；
- 正式的培训，书面的培训大纲等，根据 EPA 对 TSD 工厂管理规定的要求（40 CFR 264.16），工厂职员必须完成一项课堂授课学习或在职培训，使其满足职责要求；
- 事故调查程序，找出安全、环保事故的根本原因，并将事故教训与员工分享；
- 书面的过程活动符合性和有效性验证；
- 常规检查和审计，以验证项目的完成度和有效性。