

CSB 经典案例分析—NDK 公司晶体工厂高压容器破裂爆炸事故

唐彬 天津市居安企业管理咨询有限公司

网站：www.justsafety.com.cn

电话：13802084672

邮箱：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 NDK 公司晶体工厂高压容器破裂爆炸事故的调查，详细介绍了高压容器破裂爆炸事故的背景、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：高压容器、内腐蚀、热处理、美国化学品安全与危害调查委员会(CSB)

1. 概述

2009 年 12 月 7 日，位于伊利诺伊州贝尔维迪尔镇的 NDK 公司晶体工厂内一个用于生产合成晶体的 50 英尺的压力容器发生严重破裂，爆炸过程中产生的碎片造成工厂内 1 人死亡，1 人受伤，工厂和周边企业遭受严重的财产损坏（如图 1）。



图 1 事故现场

2. 事故背景

2.1 NDK 公司

NDK 公司，即 Nihon Dempa Kogyo 公司，于 1984 年在日本东京成立，主要生产合成晶体产品，并逐渐将业务范围扩展到了美国、欧洲和亚洲。NDK 公司生产和销售的晶体产品，例如振荡器、超声换能器和合成石英，通常用于手机和无线互联网设备。

2.2 事故工厂

NDK 公司此次事故中涉及的伊利诺伊州贝尔维迪尔工厂建立于 2002 年，并在 2003 年开始投入使用。工厂选址毗邻 90 号州际公路，位于轻工业园内，主生产设施是一栋 5 层楼高的建筑，内有 8 个称为高压釜的立式压力容器，高 50 英尺，制作钢材厚 8 英寸。该工厂是 NDK 公司在美国境内的唯一的一家生产工厂。



图 2 NDK 公司工厂的俯瞰图

事故中的压力容器的柱体高 48 英尺，罐顶盖高 2 英尺，罐顶需要由操作人员固定在顶部。圆柱壁厚 8.1 英寸，容器的顶部和底部的壁厚分别为 18- $\frac{1}{4}$ 英寸和 16- $\frac{1}{4}$ 英寸，远远大于容器壁的厚度。美国工程压力系统（EPSI 公司）负责设计和施工，英国供应商 Sheffield Forgemasters 公司负责锻造，依据的标准是美国机械工程师协会（ASME）锅炉和压力容器标准 SA-723 2 级钢 3 的材料规格。每个罐的重量为 140,000 磅，最大操作压力（MAWP）约为 30000 磅/平方英寸表压（psig），最高操作温度为 750°F。由于操作压力较高，操作人员要在每个晶体生产周期结束后更换泄压设备，每个容器每年大约有三个晶体生产周期。

因所采用的材质“合金钢”不符合此类钢材的机械性能要求，Sheffield 公司无法证明前三个生产的容器符合 ASME 锅炉和压力容器标准 (BPVC) 的要求，于是，NDK 公司向伊利诺伊州锅炉和压力容器安全司提出了特别授权，以允许使用使用这些容器。2002 年 6 月，DNK 公司在一次内部会议上，其技术代表声称，尽管夏比 (Charpy) 测试的结果无法全部达到 ASME 规范对于材质在较低温度下的所有要求，但在操作温度为 700°F 时，容器材质的韧性是可以接受的。为满足规范要求的替代解决方案，Sheffield 公司宣称容器材质的韧性足够，并且在 212°F 的条件下，可通过了夏比测试。伊利诺伊州让第三方对容器的设计包进行了审查。2003 年 9 月，伊利诺伊州同意 NDK 公司使用 1、2 和 3 号容器，并将这些容器划入“伊利诺伊州特种”特许压力容器。Sheffield 公司又用机械性能不同的材质制作了 4~8 号容器，这些容器都通过了夏比测试 (70°F)。

2.3 工艺描述

NDK 公司石英生产容器运用的是水热合成法，通过热和高压模拟自然地质中的晶体生长方式。在石英生长的过程中，首先在容器顶部用吊车把未经加工的石英矿或拉斯卡吊装到容器底部的篮子中 (图 3)。然后，操作员向容器中注入 800 加仑的氢氧化钠水溶液和少量的硝酸锂，之后再吧“种子水晶”吊到容器的顶部。“种子水晶”是晶粒结构极佳的纯石英水晶薄片，用于新水晶的生长。最后，操作员要把重达 10000 磅的顶盖固定到容器的顶部。容器外部的加热炉慢慢地把容器加热到 700°F，随着碱溶液的沸腾，容器内的压力升至 2900psig 左右。



图 3 经加工的石英矿或拉斯卡吊装到容器底部的篮子中

天然的石英水晶或拉斯卡溶解在碱溶液中。自然循环使过饱和溶液升到塔顶，此处的温度要比其他部分稍微低几度。100到150天以后，高纯度的石英水晶就会在“种子水晶”上长出，生成高纯度的合成石英产品。

当容器运行结束恢复到室温后，操作人员会将石英产品和挂架取出。在实验室技术人员对水晶的质量检查完毕后，这些产品将被运到NDK 日本公司，进行进一步的加工。



图 4 合成石英产品

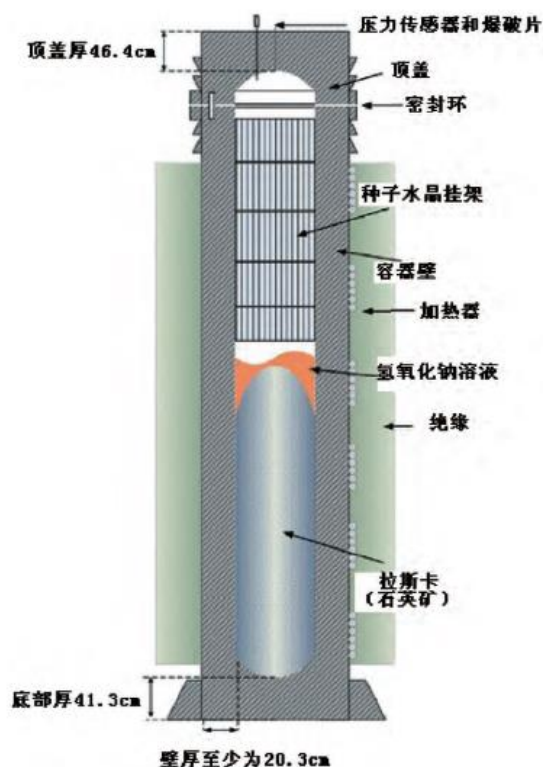


图 5 高压釜横截面（未按比例绘制）

之后，操作人员用压力洗涤器对取出水晶后的容器要进行了清洗，并把所有的水分吹干，使容器保持干燥。所有剩余的碱和水溶液都输送到收集罐，经过处置和中和后再进行最后的处理。

除了 NDK 公司外，美国俄亥俄州的东湖还有一家晶体生产厂。该厂已经成立了 50 多年，采用的是碳酸钠工艺，使用的容器比 NDK 公司的容器小且壁薄，操作温度和压力也较低。

2.4 锥辉石涂层

碱性氢氧化钠溶液和二氧化硅与容器壁钢材中的铁发生反应，会生成一种名为锥辉石（Acmite）的涂层。在合成水晶的生产过程中，会生成大量的锥辉石（或钠铁硅酸盐）。1954 年就曾有关于锥辉石对于低强度钢的用途记载。在水晶生产过程中，锥辉石可以保护容器内表面不受腐蚀和避免铁对最终产品造成污染。容器运到水晶工厂后，NDK 公司要先进行一次涂层处理，在液体和容器壁间添加一层保护层。

在容器运行过程中，锥辉石涂层迅速地在容器内表面上形成，将这个容器壁包住。合金钢容器材料由于强度很高，因此很容易受到腐蚀。NDK 公司依赖于锥辉石层防止碱性工艺环境使容器壁发生腐蚀和减薄。

3. 事故描述

2009 年 12 月 7 日下午 2:30 左右，NDK 公司伊利诺伊州贝尔维迪尔工厂的 2 号特种容器在以 29000psig 的压力运行时，突然发生爆裂，当时该容器在 150 天的运行周期中刚刚运行了 120 天。一团白色的蒸气云夹杂着碎屑迅速向容器外扩散，飘到州际公路后很快消散了（见图 6）。



图 6 安保视频显示事故现场腾出的蒸汽云和碎片

突然泄漏的过热液体导致一个高 8 英尺，宽 4 英尺，重约 8600 磅的容器碎片从 2 层混凝土墙壁中飞出，落在距厂房约 435 英尺外（图 7）。该碎片飞过附近的一个停车场后砸到附近的一个办公楼。碎片的冲击力使办公楼的墙壁内陷，家具发生摇晃，天花板的瓷砖也被震落，导致在墙壁附近工作的一名工作人员受伤。



图 7 容器碎片从墙体飞出

泄漏出来的液体的推力使容器底座猛地从地基上拔起，炸飞的多块钢结构飞落到附近加油站休息厅（伊利诺伊州（I-90）绿洲收费公路）的停车场。从地基上拔起的容器冲出厂房，落到外部空地上。

事故发生时，1 名从 I-90 绿洲收费公路返回到其卡车的司机被一片炸飞的容器碎片击中。这块长 4 英尺，重 100 磅的钢梁被炸飞后，在飞出了 650 英尺之后，将这名卡车司机砸死。附近的安托林集团汽车供应公司的一名员工，被一块 8600 磅重的碎片击中了其所在办公室的墙壁而受轻伤。事发时，6 名 NDK 公司的员工正在生产区域作业，但无人受伤。

NDK 生产工厂严重受损。厂房外保温板全部被炸掉。爆炸的威力和炸飞的容器将钢结构和 2 号容器附近的楼梯井和地板格栅全部损毁。办公和实验室区域受损程度不一，大部分的最终产品被毁掉。产品储存区、实验室和生产办公室也严重受损。与 NDK 公司在同一区域办公的 NDK 美国公司也受到很大破坏，并且在之后 3 个月的维修期间，这些美国雇员不得不另寻办公地点。

一个 38600 磅重的容器碎片落到附近的安托林集团，导致一面墙被毁，多块顶棚瓷砖和灯等损坏。强大的爆炸力和爆炸碎片使停车场内的多辆汽车被损毁。一个 2 英尺见方的窗户被炸落在 950 英尺开外的绿洲停车场。



图 8 爆炸碎片位置和距离的俯视图

当地消防局于下午 2:41 到达现场，局长亲任事故应急指挥官，指导员工撤离出厂区，并用热像仪对附近的区域进行了检查，发现事故容器的部分温度达到 325°F，爆炸地点附近没有持续的火灾或烟雾，直升机将被钢梁击中的受伤人员送至医院，但还是在下午 3:15 分宣告死亡。

4. 事故原因分析

4.1 失效机理

美国化学品安全与危险调查委员会（CSB）对事发前 120 多天的工艺数据进行审查后，未发现任何可能会引起容器发生问题的工艺偏差。因此，CSB 会同 OSHA、NDK 及保险公司一道对容器进行金相检查和测试，以找到引起容器出现故障的原因，并确定该故障是因晶体生产过程的特点引起还是因设计和建造问题而造成。

CSB 的调查者们跟踪观测了对 8600 磅的容器碎片的无损评价及破坏性试验情况。在向各个机构的工程师和冶金师进行咨询后，金相实验室从容器碎片的内径、壁厚、外径、破裂面上取下多个样品进行显微镜检验和测试。对容器碎片进行检查的金相实验室给所有参与调查的机构都提供了检验数据及检验期间收到的照片。CSB 组织冶金专家在美国国家标准和技术研究院（NIST）的材料可靠性研究所对这些检验数据进行了独立的审查，以找到真正的失效机理。



图 9 容器碎片进行冶金测试和除去隔绝层

4.1.1 应力腐蚀开裂

在对金相检测数据进行审查后，CSB 发现了在容器碎片内径附近出现开裂的有利证据。这些开裂点降低了容器材质的强度，最终导致引起容器发生故障的大开裂的出现。应力腐蚀开裂（SCC）很可能就是引起容器开裂的原因。应力腐蚀开裂是在应力和腐蚀同时的作用下形成的开裂。对钢材进行显微镜检测的结果显示，容器碎片上有很多地方都存在着应力腐蚀开裂（图 4）。众所周知，NDK 公司工厂容器内的碱液，或氢氧化钠水溶液会对钢材造成破坏。碱液会在容器内，尤其是在小的表面划痕内建立一个降解环境，从而导致应力腐蚀开裂的发生。断裂处起源于容器底部附近内径中的一个表面破损的小开裂处。

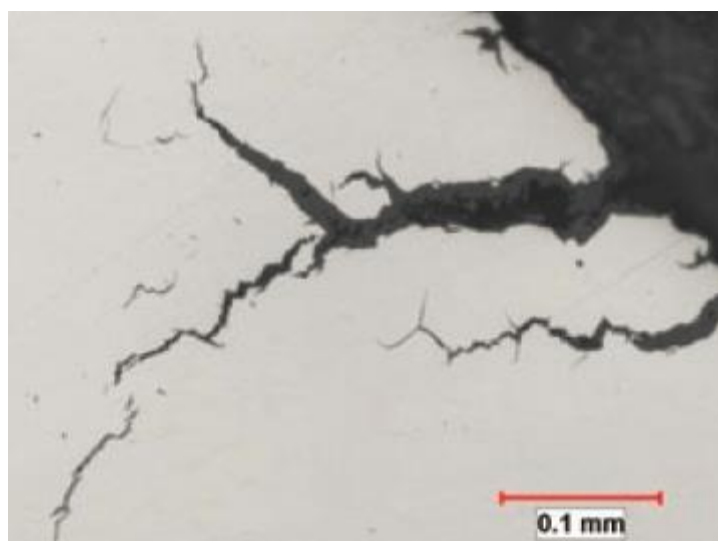


图 10 距容器碎片内径表面的断裂面 0.75 英寸处发现的裂缝显微照片

EPSI 设计容器时使用的材质是 NDK 公司选择的，NDK 公司认为容器内形成的锥辉石层会防止应力腐蚀开裂在容器壁上形成。但在容器碎片上出现的应力腐蚀开裂说明锥辉石并无法

对容器进行适当的保护，或者因某些机械过程如擦或磨等把部分锥辉石去掉了，如在产品取出作业时或各个生产周期间的容器清洗作业都可能会除去锥辉石。

在对碎片进行检测的过程中，冶金师进行了能谱分析以确定容器内表面上的涂层性质。检测结果表明涂层上含有大量的硅、钛和铝，还有少量的硫和氯。这些都是拉斯卡（晶体生长原料）中的杂质。这些证据表明，过程流体有可能会穿透容器内表面的开裂处，说明锥辉石涂层并未起到应有的作用。

4.1.2 回火脆化

回火脆化是可能引起重大开裂发生或加速应力腐蚀开裂的失效机理。回火脆化是经过热处理的钢材本身具有的一种现象。热处理是通过材料的微观结构改变其硬度和延展性的过程。为了确保材质达到最佳的机械性能，热处理过程中的时间和温度控制非常关键。回火是降低钢的硬度和增加其延展性（减少脆性）的热处理技术，经过回火的材料可以在失效前吸收更多的能量。

在对夏比冲击试验的数据进行审查后，冶金师在容器取样中发现了可能的回火脆化证据。CSB 对制造证书和失效后测试的结果进行了对比，发现在容器不同位置的强度有很大不同。这种韧性损失不仅仅存在于焊缝周围，而且是多方位的，根据 NIST 的结论，这表明容器不仅受到应力腐蚀开裂的影响，而且还受到回火脆化的损害。夏比能量下降表明容器失效前吸收能量的能力下降，这很可能是因应力腐蚀开裂造成的。

4.1.3 锻造过程和热处理

NDK 公司晶体工厂的容器是锻造的，由一个钢棒锻造成长的圆柱体，底部是椭圆或圆盘形的，容器的顶盖由同一块铸块制造而成。容器部分通过机加工成型后，再进行锻造、热处理和淬火。用水进行淬火使钢材更硬或更脆，然后再经过回火减少硬度增加延展度。

ASME 锅炉与压力容器规范对这种特殊的合金钢要求是，封闭容器淬火的厚度为 7 英寸。NDK 公司晶体工厂容器在顶部和底部的最大厚度是规范中列出的“标准值”的 2 倍多。为了确定热处理是否对容器的失效有影响，NIST 对容器碎片整个壁厚的晶粒结构都进行了检查，得出的结论是，容器整个壁厚的晶粒结构变化情况是一致的，对于被检测的部分，没有证据显示容器的壁厚导致热处理过程出现异常。对容器碎片显微照片的检查也显示其结构与这种类型的钢材相符。

尽管 NIST 没能在容器碎片上找到热处理不当的证据，但在容器较厚的区域很可能存在着韧性下降的情况。由于容器的顶部和底部较厚，为了使容器壁的中心部位能获得预期的韧度，Sheffield Forgemasters 公司进行了两次淬火作业。容器建造初期，在进行淬火作业的过程中，有两个容器因冷却不均，底部发生了开裂。为此，Sheffield Forgemasters 公司将这 2 个容器废弃，并要求 ND 公司将锻造容器的材料规范更改为 3 级 3 类钢，提高钢材内的镍含量以满足 ASME 法规对韧性的要求。

4.2 NDK 公司

4.2.1 NDK 公司以往的事故

2007 年 1 月，NDK 公司晶体工厂 6 号容器的顶盖发生过一起泄漏事故。400°F 的氢氧化钠碱液从正在工作的压力传感器与容器顶部间的螺纹连接处喷出。热碱液喷到顶棚和水晶厂房的第五层地板上。没有人员在此次事故中受伤。事发后 NDK 公司晶体工厂暂停生产并对所有容器的顶盖进行调查和检查。NDK 公司晶体工厂的一名顾问对容器顶盖进行无损检查后发现，在其中的 4 个顶盖上（1、4、6、8 号容器）都有很小的裂纹，并且注意到 2 号容器的顶盖也有出现裂纹的可能性。裂纹都出现在容器顶盖上的传感器留孔的加工表面附近。该顾问确定泄漏是因应力腐蚀开裂引起，并且在 4 个容器的顶盖上都存在这种裂缝，他把应力腐蚀开裂的原因归结于容器及容器顶盖的设计、选材及热处理问题。

2007 年 7 月，在对容器顶盖事故调查完毕后，由 NDK 公司的承保公司雇佣的顾问通知该保险商，对于再次将这些容器（尤其是 3 号和 5 容器）投入运行，持“严肃的保留态度”，并且再次运行这些容器的决定“存在着重大的缺陷且没有任何合理的工程分析依据支持”。该顾问还警告说：“这些容器还可能会导致更具灾难性的情况发生”，给 NDK 公司和公众（包括位于收费公路西北部贝尔维迪尔绿洲地区的人员）带来危险。最后，该保险公司将其顾问的调查结果告知了 NDK 公司，并对容器损坏或其引发的后果保留拒绝索赔的权利。尽管被告知会有危险，NDK 公司根本未予理会，在对容器的顶盖未做任何维修的情况下继续运行剩余的 7 个容器，也没有请权威的专业容器检查机构对容器进行全面的检查。到目前为止，该保险公司仍没有对 2009 年爆炸造成的损失索赔进行赔付。

尽管 2007 年发生事故的容器顶盖的确切失效机理与 2009 年 12 月的爆裂事故不同，但前一个事故及其金相检查的结果应该促使该公司对容器的内部进行进一步检查。顶盖上的应力腐

蚀开裂处首先说明锥辉石涂层的保护能力不足且不适当，并且有可能整个容器都存在该问题。因为容器生产商生产容器和顶盖时使用的是同一个铸块，因此类似的失效机理很有可能也作用于容器内部。调查顶盖问题的顾问认为，容器的内径很易出现裂纹，因为圆柱形容器桶径向的周向拉应力较高，碱液会在缺口或裂纹表面积聚。CSB 委托的金相师发现，如果 NDK 公司对容器进行了无损检测，将会很容易发现容器样品中的开裂处。

4.2.2 检查

当 NDK 公司晶体工厂向伊利诺伊州的锅炉与压力容器安全管理委员会就 1~3 号容器的运行权提出申请时，EPSI 的容器设计商就建议其每年对容器内部进行一次无损检查。在 2 号容器投入使用的 6 年间，NDK 公司晶体工厂没有任何关于对该容器进行过检查的记录。除了在运行间歇期对容器顶盖部分进行表面检查外，NDK 公司晶体工厂从未制定过对容器内部的检查计划。

对 2007 年发生事故容器的顶盖调查结束之后，保险公司的顾问建议 NDK 公司在继续进行作业前对容器内部进行全面检查，以确定是否有开裂情况，同时还要按照 ASME 和 API 的 579 号推荐做法对容器是否适合运行进行评价。NDK 公司雇佣的一名冶金顾问仅仅对 1 号容器的顶盖部分进行了超声波检查，而且还未发现任何缺陷。虽然受到很多警告且得到许多关于对所有容器进行检查的建议，NDK 公司晶体工厂却只关注对顶盖的重新设计及重新运行，而没有对原始的应力腐蚀开裂处进行检查。NDK 公司晶体工厂对顶盖上压力传感器连接处附近的开裂进行了焊接维修，而 ASME 规范严格禁止对 SA-723 锻造钢进行焊接。

在 2009 年的事故发生时，除了未对容器进行全面检查外，保险公司在 2008 年提出的一些其他建议也未得到采纳。NDK 公司晶体工厂的安全管理很不正规，缺乏正常的工作培训、标准操作规程，也没有事故和伤害通知和调查计划。

4.3 规范和标准

4.3.1 ASME

美国机械工程师协会（ASME）锅炉和压力容器标准（BPVC）对于锅炉和压力容器的设计、制造、检查和认证提供了相关要求，伊利诺伊州在 1976 年通过了该标准。

BPVC 第二部分的 A 部分 ASTM SA-723 标准涵盖了用于锻造和热处理高强度容器（如

NDK 公司的晶体生长容器)的材料要求。它包括了对于增加抗拉强度的三种主要钢材种类和六个子类的化学要求。而通过对 2 号容器开展的采样金相分析发现, NDK 公司的三种特殊容器不能满足 ASME 要求的 70°F 下的夏奈强度等级, 但满足 212°F 的夏奈测试要求。

NDK 公司所选用的容器厚度超过了 ASME 标准中规定的典型壁厚限制(密闭容器的常规最大截面厚度为 7 英寸), 就无法保证得到合理的热处理。NDK 公司容器的整体均在 8 英寸以上, 且没有进行有效的热处理, 而且在 2007 年进行的检测中还发现, 壁厚较厚的底部和顶盖还可能存在错误的热处理。

另外, NDK 公司在容器设计时没有考虑碱液对容器内部的影响, 也没有采用适当的材料或其他方法进行防腐处理。而 ASME 标准的第八部分第三节 KG311.7 中就针对适用于 NDK 公司所采用的容器有规定: “使用合适的抗腐蚀(包括环境腐蚀开裂)材料”

4.3.2 NACE 国际

国家腐蚀工程师协会(NACE)标准“防范碳钢精炼设备的碱性应力腐蚀开裂和管道”(SP0403-2008)建立了用于防止碱液腐蚀的指南, 尽管该指南主要用于炼油厂, 但其中针对碳钢部件的准则和注意事项也可以用于 NDK 公司容器的材质, 低合金钢容器在设计强度提高后, 其更容易受到碱液的腐蚀。NDK 公司的容器中有 4%的苛性碱。根据该标准的规定, 除非使用镍合金, 否则碳钢不适合在高于 215°F 的温度下使用。

根据 NACE 的标准, 可以使用有机或无机的涂层, 但应确保涂层在工艺操作、开停、清理过程中不被破坏。而 NDK 公司依靠锥辉石层作为碱液月容器内表面的防腐屏障, NDK 公司没有对容器内部进行定期检查, 以确保涂层可以提供有效的防腐保护。

5. 制度分析

5.1 IOSHA

美国职业安全与健康管理局(IOSHA)的伊利诺伊州地区办公室对此次事故进行了调查, 发现了几个非常严重的问题。尽管 NDK 公司的员工没有在此次事故中受伤, 但因没有接受系统的安全培训、化学品危害及紧急撤离程序, 使其面临着重大的潜在风险, 另外, 就是没有对个人防护设备的安全场所危害进行评估。根据, IOSHA 第 5 (a) (1) 条“一般职责条款”规定, NDK 公司存在严重的违规行为, 一则没有按照行业惯例对厂区内建筑进行爆炸危险评估, 二则在明知存在重大缺陷的情况下仍重新投入使用。

伊利诺伊州环境保护局（IEPA）在此次事故发生后，针对 NDK 公司采取了执法行动，包括可能的氢氧化钠溶液以及石英晶体对土壤、空气和地下水的污染进行评估。爆炸发生后，州检察长对 NDK 公司提出诉讼，指控其涉嫌违反《伊利诺伊州环境保护法》，要求 NDK 公司收集样本，并对样本进行分析，以评估爆炸时泄放到空气中化学品的数量和品种，并将报告提交至 IEPA，并达成赔偿协议（39000 美元的民事罚款）。经过评估得出结论，爆炸过程中释放的物料不会对环境或周边居民的健康造成不利影响。

5.3 州级锅炉和压力容器安全司

伊利诺伊州消防队办公室内的锅炉和压力容器安全司负责管理伊利诺伊州锅炉和压力容器的建造、安装、操作、检查和维修。伊利诺伊州拥有 10 万多台锅炉和压力容器，并由授权的专职检查员进行例行检查和常规检查。1976 年，该州颁布了《锅炉和压力容器安全法》，适用于蒸汽锅炉、热水锅炉和压力容器，并对检查员能力、容器检查间隔和规定特殊压力容器等提出了要求。根据该法案，锅炉和压力容器安全司采用了 ASME 规范和国家委员会检查规范（NBIC）。NBIC 是美国国家标准协会（ANSI）的锅炉和压力容器检查员代码，为锅炉，压力容器和泄压装置的安装，检查和维修提供标准。

《锅炉和压力容器安全法》规定，存在内腐蚀的压力容器需每三年进行一次检验，并获得检验证书。但是，NDK 公司的容器在获得州级的认证时，锅炉和压力容器安全司批准了这些容器没有进行防腐的情况。该司在 2003 年、2006 年以及 2009 年 9 月 16 日对 2 号容器进行了检查。根据《锅炉和压力容器安全法》，对于不存在腐蚀性材料的压力容器，不需要进行内部检查，无论是从材料的化学成分还是从经过充分处理的材料中获得的证据腐蚀抑制剂。而 NDK 公司使用的碱液对碳钢具有腐蚀性。锅炉和压力容器安全司在对 NDK 公司容器进行独立审查时，没有彻底检查溶液对容器的影响。当 NDK 公司要求该司授权“特殊使用权”时，EPSI 的设计人员建议对容器每年都进行内部检测，如磁粉检测和超声波检测，以确保容器内部不会发生腐蚀，但 NDK 公司却没有照此执行。

6. 结论

1. 应力腐蚀开裂很可能是引起 NDK 公司晶体工厂的高压晶体生产容器发生灾难性爆裂的原因。

2. NDK 公司晶体工厂依赖于在生产过程中形成的椎灰石涂层来保护容器内部的低合金、高强度钢材不受使用的氢氧化钠碱液的腐蚀。但在实际生产过程中，NDK 水晶工厂却没有确认这种椎灰石涂层的完整性或有效性，反而使碱液加剧了应力腐蚀开裂的发生，给容器造成了损害。

3. 伊利诺伊州锅炉与压力容器安全委员会没有按州法律的规定，对可能会发生内部腐蚀的压力容器进行内部检查，而是依赖制造单位自己进行内部检查，也未对检查工作进行确认。伊利诺伊州对 2003 年、2006 年和 2009 年发生问题的容器进行了 3 次认证检查，但仅仅局限于外表面检查。

4. 2007 年，NDK 公司晶体工厂得知其 8 个压力容器的顶盖中有 4 个都发生了应力腐蚀开裂。NDK 公司的承保公司的一名顾问在发现问题后，对将容器再次投入运行持严肃的保留态度，并特别说到如果发生灾难性容器失效事故，很可能对附近收费公路休息区的公众造成危险。

5. 尽管保险公司提出了相关警告，但 NDK 公司晶体工厂在恢复容器运行之前也未按建议对所有容器实施无损检测。

6. NDK 公司晶体工厂的容器最初建造完成之后，未按容器设计商的建议每年对容器内部进行检查。

7. 除了应力腐蚀开裂之外，回火脆化或其他类型的热处理脆化也是导致容器失效的促成原因。由于容器的厚度超过了 ASME 对于密闭锻造容器的壁厚建议，在制造的过程中可能受到不当的热处理。

8. ASME 锅炉与压力容器规范对带压元件的壁厚没有特定的限制。