



由黎巴嫩贝鲁特港口爆炸事故说起

浅谈硝酸铵安全

黎巴嫩贝鲁特港口区 8 月 4 日发生的剧烈爆炸事件，已造成至少 158 人死亡，超过 6000 人受伤。事故引起世界范围的关注，针对此次爆炸原因，黎巴嫩内政部长法赫米说，爆炸可能由数年前存放在港口一个仓库内的化学品硝酸铵引起。

事故视频



黎巴嫩贝鲁特港口爆炸事故前后对比图

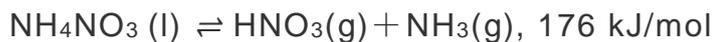
那么造成这么严重事故后果的硝酸铵到底为何物，又有哪些特性呢？



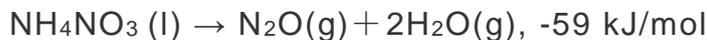


硝酸铵（ NH_4NO_3 ）是一种无色无臭的透明晶体或呈白色的晶体，主要用作肥料和军用炸药，也可用于生产杀虫剂、冷冻剂、氧化氮吸收剂、笑气、烟火等。硝酸铵极易溶于水，易吸湿结块。纯硝酸铵在常温下是稳定的，对打击、碰撞或摩擦均不敏感。但在高温、高压、杂质存在、受到撞击及电火花条件下会发生爆炸。它可以氧化其他物质产生火灾，发生分解并导致爆炸。

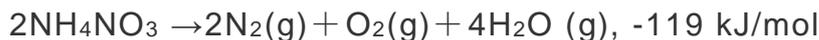
在 170°C 左右时，硝酸铵发生低温吸热分解反应：



在 $170^\circ\text{C} \sim 280^\circ\text{C}$ 左右时，硝酸铵发生高温放热分解反应：



当硝酸铵突然受热或猛烈撞击时会发生爆炸性分解：



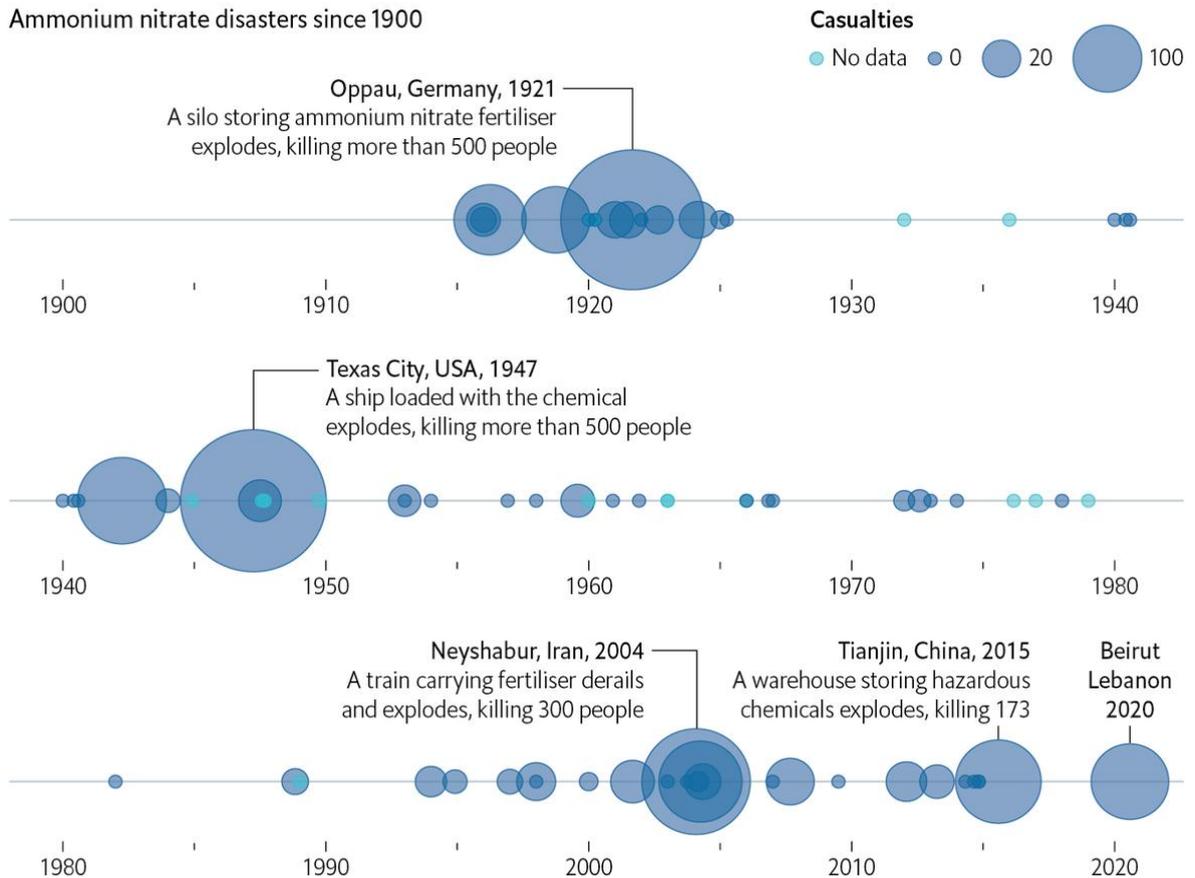
硝酸铵的污染也会造成爆炸，

- 硝酸铵被金属粉末污染时会发生爆炸（铝、镉、锌、铜等），铝粉可以使反应热从 1,592 增加到 6,712 kJ/kg；
- 硝酸铵被可燃物污染时会发生爆炸，例如乙炔、柴油、润滑油、燃油、面粉和糖；
- 当硝酸铵和燃油结合时， $3(\text{NH}_4\text{NO}_3) + \text{CH}_2 \rightarrow 3\text{N}_2 + 7 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \Delta H = 4017 \text{ kJ/kg}$ 。

消防水不足也会造成硝酸铵爆炸；即使在水源充足的情况下，如果消防员未能及时灭火也可能产生爆炸。

历史上发生过多起与硝酸铵相关的事故，自 1916 年以来报道的事故多达 79 起，事故后果极为严重，美国德克萨斯州化肥运输船爆炸事故就造成了近 600 人死亡。近十年内的主要事故为美国德克萨斯州韦科市化肥厂爆炸事故、天津港“8·12”瑞海公司危险品仓库特别重大火灾爆炸事故和这次黎巴嫩贝鲁特港口爆炸事故。





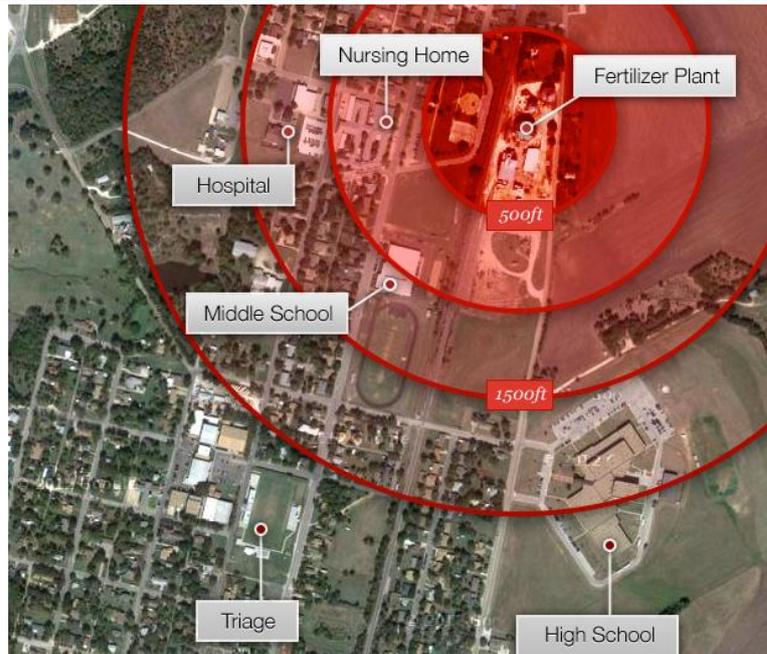
自 1900 年硝酸铵的事故统计 (来源: The Economist)

鉴于美国德克萨斯州韦科市化肥厂爆炸事故影响广泛，事故调查已完成并公开，并且笔者亲历了事故的相关事件，本文通过该事故的回顾，谈谈对安全的一点想法。

那是美国中部时间 2013 年 4 月 17 日的晚上，我在睡前翻阅手机，一条突发新闻成功获取我的兴趣：美国德克萨斯州的韦科市当晚发生了爆炸事故。韦科市位于德克萨斯州 A&M 大学所在的大学城西北部，开车前往只有一个半小时的车程。当时我正在该大学做过程安全的相关研究，由于事故与专业相关且发生地点距离不远，我就随手转发给了我们 Mary Kay O'Connor 过程安全中心的全体成员，没想到这次事故后来在安全领域产生了极为深远的影响。

事故发生在西部化肥公司，公司仓库中存储了 50 吨的硝酸铵，其中 28 吨硝酸铵在该事故中发生了爆炸，公司的 12 名员工在爆炸发生时都不在场。事故造成 15 人死亡，其中 12 人是消防员，超过 160 人受伤，冲击波相当于 2.1 级地震，影响范围达 450 米。





韦科市化肥厂爆炸影响范围（来源：CBS NEWS）

美国政府是如何监管硝酸铵的安全的呢？

- 美国国土安全部依照化工设施反恐标准负责监管硝酸铵的销售和运输，主要关注恐怖袭击的安全方面，然而并不了解西部化肥公司存有超过 2,000 磅（约 900 千克）的硝酸铵；
- 美国职业安全与健康管理局的过程安全管理条例未将硝酸铵列为高度危险化学品，而用炸药和爆破剂的标准管理硝酸铵的储存、使用和运输；
- 美国环境保护署未将硝酸铵包含在其指定的 356 种极度危险化学品中，并且面向最终用户的化肥零售商对相关法规具有豁免权；
- 政府监管不足，一些法规实施依靠自愿上报。

时任 Mary Kay O'Connor 过程安全中心主任的 Mannan 教授在美国参议院委员会听证会上做了相关证词。

美国参议院委员会听证会视频

其中 Mannan 教授证词中提出的建议总结如下：

- 建立化学事故监视系统





- 建立事故数据库并分享事故的经验教训
- 国会授权开展基于风险的研究
- 国家安全标准制定部门确定监管对象
- 制定计划确保监管对象依法执行
- 建立第三方的审查系统
- 建立联邦和地方部门良好的沟通机制
- 开展基于风险的土地使用分区和规划
- 确保现有规范的良好执行，再考虑制定新的规范

由于事故的严重后果，美国总统发布行政令 13650，要求提高化工设施安全保障水平。在总统行政令的影响下，美国职业安全与健康管理局对过程安全管理条例进行了修订。

韦科市化肥厂爆炸事故中，下面几方面安全问题尤其突出：

- 15 名遇难人员当中有 12 名为消防人员，原因是火灾发生后，赶赴现场的消防员尝试冷却液氨储罐，并不了解附近 50 吨的硝酸铵及其危害，未能及时采取合理措施，所以在火灾开始 20 分钟后发生了大规模爆炸。由于经费等原因，这些志愿消防员未能接受硝酸铵危害的相关培训，应对措施不合理。
- 土地使用规划存在缺陷。西部化肥公司建立之初周边区域很空旷。随着当地发展，爆炸影响范围内的区域建有养老院、学校、医院和居民社区，使得受影响的人员增加。
- 硝酸铵的危害未能得到政府的有效监管，相关部门甚至不知道西部化肥公司存放有硝酸铵。
- 各方对硝酸铵的危害认识不足，对硝酸铵火灾和爆炸的考虑不足，没有安装喷淋系统，和使用防火建筑材料等，仍需进一步开展科学研究来促进其安全使用。

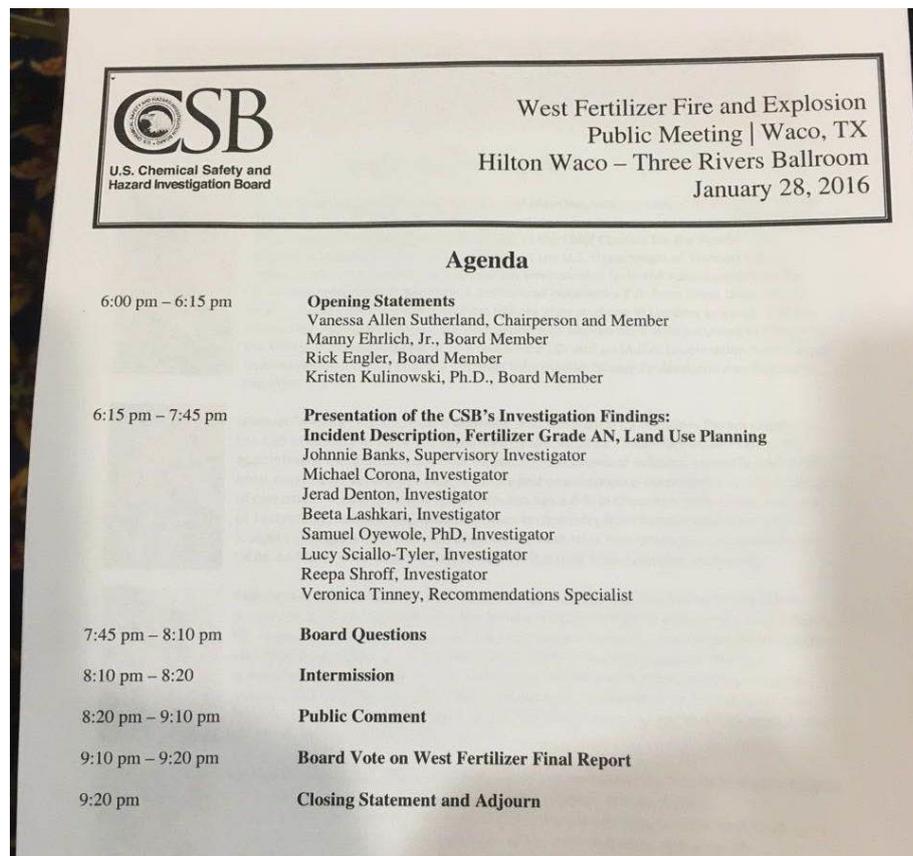
那么我国在避免类似事故面临哪些挑战呢？





- 对硝酸铵的监管仍存在不足。违规存储危害品的现象还无法杜绝，同时，笔者团队简单尝试搜索硝酸铵生产、经营和使用单位的信息，并未发现权威数据库和平台能够提供全面信息；
- 国内人口密集，港口等存放硝酸铵的仓库与周边设施易出现安全距离不够的问题，土地使用分区和规划面临挑战；
- 杂质和湿度等环境条件对硝酸铵稳定性的影响仍需进一步研究，并将成果应用到安全生产当中；
- 用水对硝酸铵火灾消防是一个复杂的问题，在安全设计和火灾后的应急响应方面需要小心论证。

最后附上笔者亲身在韦科市参加美国化学安全与危害调查委员会事故调查报告公开会议的议程。四年多过去了，还清晰记得当时遇难者家属悲痛的神情，而如今我们仍要为相似事故的后果悲痛。安全的工作仍要继续，不能停歇。



作者：张彬 南京工业大学教授

