



用水对硝酸铵灭火需要注意什么？

浅谈硝酸铵安全 2

上一篇谈到用水对硝酸铵火灾消防来说是一个复杂的问题，安全设计和火灾后的应急响应方面都需要小心论证。一位资深专家对此发表意见：“硝酸铵的吸湿性强，硝酸铵类炸药的最好消爆措施就是水，这点毋庸置疑”。那么这位专家的观点与上一篇文章的说法是否背道而驰呢？其实不然，水的确是目前硝酸铵消爆的最好选择，但是对这个观点理解不好可能会导致不合理的应急策略，造成更大的人员伤亡和财产损失。用水对硝酸铵灭火需要注意什么呢？针对这个问题，本文稍作展开，进行简单讨论。

消防灭火方法包括：用大量二氧化碳和沙子切断氧气来源、用卤代烃等自由基抑制剂终止氧化反应、用足够的水提供冷却效应。因为易于获得且价格低廉，消防水是最常用的方法。

消防水被广泛用于化工过程的火灾消防，并对大多数的火灾有效。对于大多数火灾而言，消防水是提供冷却效应来灭火的。然而，在硝酸铵火灾中，适量水可能会导致爆炸。

首先，选择水作为硝酸铵火灾的消防材料是一个正确的选择，窒息剂，如蒸气、泡沫、干粉、沙子或惰性气体，对硝酸铵火灾没有效果。但是，根据 Lee's Book 所述，消防喷淋系统对正在进行的硝酸铵火灾是无效的，主要的原因如下：

硝酸铵火灾有效扑救用水量大

当硝酸铵被点燃，意味着硝酸铵开始融化和分解，同时释放热量、产生气体和硝酸，并加速分解。如果没有充足的消防水抑制火灾，显著冷却物料和溶解并稀释硝酸铵，水会迅速蒸发，留下敏感硝酸铵晶体，同时水蒸气会增加局部的压力，而所有的风险都会随着压力加剧。所以，需要迅速冷却和稀释融化的硝酸铵来避免危险的状态。然而，由于硝酸铵的强吸水性，仍处于固体状态的硝酸铵会大量吸水，并阻碍融化硝酸铵的冷却和稀释过程。



扑灭硝酸铵火灾需要的水量需要科学计算，来确定避免爆炸有效灭火的用水量阈值，这对于指导消防员应对硝酸铵火灾至关重要。少量的水可以抑制硝酸铵爆燃，但是对热分解和爆轰无效。

以韦科市化肥厂爆炸事故为例，在有限资源的情况下火灾已经到了无法扑灭的阶段。消防水的需求差距很大。为了预防火灾和爆炸事故发生，硝酸铵的温度需要保持低温，至少要低于热失控的起始温度（200℃）。在 200℃，硝酸铵的分解反应仍然会发生，只不过速率很低。考虑 245 吨的硝酸铵，热容是 $1.7 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ，水的热容是 $4.2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。做一个粗略的保守估计，把硝酸铵从 200℃ 冷却到 20℃，消防水被加热 20℃，所需的水量约为 $1,000 \text{ m}^3$ 。这几乎是事故当地一天的供水量。即使有充足的水源，也不能确定消防员是否有足够的时间在爆炸之前扑灭火灾，因为爆炸仅发生在火灾发生后的 21 分钟。考虑到贝鲁特港口爆炸事故中有 2750 吨硝酸铵被引燃，及时用水灭火更是没有可能。



韦科市化肥厂爆炸事故

硝酸铵的水污染影响

硝酸铵吸水性极强，会吸收空气中水分聚集，具有很高的机械阻力。在一些情况下，水蒸气会造成硝酸铵粉末的部分溶解、结块、自压缩和自限制。根据英国 HSE，硝酸铵应该远离水污染来避免结块，因为结块会促进爆轰的发生。由于这个原因，建议不要在下雨和下雪天装载硝酸铵。能促使硝酸铵爆轰的空气湿度水平目前并没有文献报道，需要进一步研究。硝酸铵在 25℃ 的潮解湿度介于 61.5% 和 62%。硝酸铵/水珠的风化湿度



为 25%-32%。由于硝酸铵在热水中的高溶解度，在火灾时水蒸气会与部分未反应的硝酸铵形成泥浆，造成结块等问题。

将水用于受限空间内的硝酸铵火灾会加剧风险

水对于在受限空间内（如仓库）存储的硝酸铵有更严重的负面影响。受限空间在硝酸铵爆炸过程起到重要作用。欧洲化肥制造商协会导则表明硝酸铵不易发生爆轰，但是在强受限条件下加热会发生爆炸行为。根据 NFPA49，硝酸铵在受限条件下受到强冲击和加热影响会造成压力上升并升级为爆轰。水可以将硝酸铵冲进下水系统，由于下水系统具有很高的受限程度，进一步增加了硝酸铵的风险。

水蒸汽形成导致压力上升

纯硝酸铵在 170℃ 发生吸热分解，温度进一步上升后会发生放热分解，同时可能引发爆炸性反应。在这个温度范围内，水会蒸发产生大量水蒸汽，会增加硝酸铵堆底部的压力，这在受限空间内尤为明显。

简单讲，少量的消防水对硝酸铵火灾和爆炸是不利的，在这种情况下大部分水蒸发了。对于硝酸铵火灾，应该用大量的水快速喷淋。在温度迅速升高的情况下，少量的水会汽化产生高压，增加硝酸铵的爆炸风险。

对含有杂质的硝酸铵火灾施用水会促进分解和有害反应

由于杂质和催化作用，消防水也是有害的。在仓库区域发生火灾，消防水会和各种物质相互作用，发生反应或者溶解它们。这个过程会促进硝酸铵的分解，例如氯化物是促进分解的催化剂。研究表明在各种金属氧化物的催化作用下，在高酸度和高温条件下，95% 的硝酸铵溶液仍然可以爆炸。

文献报导，潮湿的硝酸铵和二氯异氰脲酸钠混合物可以产生三氯化氮，是一种高度不稳定的爆炸物，会在实验室规模导致混合物发生爆轰。所以当硝酸铵和二氯异氰脲酸钠混合物堆积存放且底部潮湿时会变得非常敏感和危险。





黎巴嫩贝鲁特港口爆炸事故

结论

为了满足工业和社区各种火灾的消防需求，喷淋消防系统也在不断发展和改进，并在大多数火灾场景中被证明有效。尽管如此，喷淋系统对于硝酸铵火灾的消防机理尚未得到深入研究。喷淋系统对于硝酸铵周边的火灾确定有效，但是对于硝酸铵本身火灾的有效性尚不明确。

不充分的消防水会导致硝酸铵污染，造成泥浆和结块的现象，当水蒸发时环境压力上升，并造成局部受限效应，水可以携带污染物催化促进硝酸铵分解，增加火灾和爆炸的风险。导致硝酸铵火灾和爆炸的因素，尤其是受限空间中水和湿度的影响仍有待进一步的研究。

单方面强调水是硝酸铵消爆的最好选择可能会造成误导，对于采取正确有效的应急措施不利。因此建议在消防水不足的情况下对硝酸铵火灾的应对需要谨慎，硝酸铵存储区域的喷淋系统需要小心设计。容器中的硝酸铵火灾可以用大量的水安全扑灭，但在实践中并不容易完成。充足消防水的阈值需要进一步研究。现实中的困境是，水对于仓储硝酸铵火灾唯一有效的方法，但是不足的消防水不但不会缓和事故，反而加剧事故，造成爆炸，但我们对消防水是否“不足”的确定方法却并不了解。

作者：张彬 南京工业大学教授

注：本文部分内容基于 Texas A&M University 博士论文 Thermal stability studies of ammonium nitrate 中的工作。

