

文章编号:1000-582X(2006)08-0127-05

## 生化战剂除剂方法\*

谭碧生<sup>1</sup>,彭汝芳<sup>1</sup>,陈晓明<sup>2</sup>,李海波<sup>3</sup>,郁卫飞<sup>3</sup>,楚士晋<sup>1,3</sup>

(西南科技大学 1. 材料学院; 2. 生命学院, 四川 绵阳 621010;  
3. 中国工程物理研究院 化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:**综述了生化战剂除剂的几种方法,常规方法包括焚烧、等离子体高温分解、氢解、超临界水氧化、超热漂白等高温除剂方法和水解、氨解、电化学氧化、溶剂化电子技术、非水溶剂取代、光化学氧化等低温除剂方法.从实战出发可以采用高温燃烧弹、微乳液等方法,若需有效摧毁地下深埋的生化武器,可采用核除剂的方法,即利用低当量核爆炸产生的高温、高压和强辐射等效应原位摧毁生化战剂,其附带毁伤效应要比常规除剂方法小得多.

**关键词:**生化战剂;除剂方法;高温除剂;低温除剂;核除剂

**中图分类号:**06-05;0643.12;Q691

**文献标识码:**A

和平与发展是世界人民共同追求的目标,但由于全球经济发展的失衡,霸权主义依然主宰着整个世界,与之伴生的恐怖主义也有愈演愈烈之势.东京地铁沙林事件、美国9·11事件、伦敦地铁爆炸事件等都严重违背和平与发展的潮流,当然会受到世界人民的谴责.生化武器是大规模杀伤性武器.据国际禁止化学武器组织的统计,截止于2004年底,国际上共拥有71 373.608 t化学武器,需要销毁的有10 731.037 t.而且由于成本和技术含量不很高,所以弱小国家也不排除拥有生化武器,生化武器被称作“穷国的原子弹”,一旦恐怖组织拥有和使用生化武器,后果不堪设想,因此,全世界人民都面临着如何消除生化武器的威胁,而且随着现代生化技术的发展,可能诞生新型的生化武器<sup>[1-4]</sup>.美国在2002年的《核态势评估》报告中提出了研制小型低当量核武器对付生化战剂的设想,尤其是对付地下深埋的生化武器,小型低当量核武器可能成为最理想的选择<sup>[5-6]</sup>.一些机构已开始理论研究.所谓“除剂”,即使生化制剂失效,失去毒性或使其毒性大大降低.根据生化制剂自身的特点,以及战略上的需要,采用不同的除剂方法,下面就这些典型方法进行评述.

### 1 高温除剂

#### 1.1 焚烧

焚烧化学战剂<sup>[7]</sup>是一个有机化学品热分解及其

高温氧化的过程.含有C、H、O的有机化学品焚烧会有CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O产生,另外化学战剂中也含有F、Cl、N、P和S,焚烧后产生HF、HCl、NO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、SO<sub>2</sub>,所有这些产物都应该净化除掉.

焚烧是一项成熟的技术,销毁化学战剂效率很高,除了含砷制剂如Lewisite气外,在很大的范围内都可以用此技术销毁化学战剂.美国从上世纪70年代就开始用此方法,并把它作为一种基本方法推广.

#### 1.2 等离子体高温分解<sup>[8]</sup>

电弧可以在两个导体之间产生,等离子体由分子、原子、离子和电子构成,温度在1 000~2 000℃之间.因为在两电极之间产生的等离子体电弧,化学键在2~10 eV之间都会断裂,暴露在等离子体下的材料将转变成原子、离子、电子,只有少量的分子残留.美国环保署的实验显示<sup>[6]</sup>,高温等离子体能够有效破坏神经毒剂、起泡剂的模拟物.

#### 1.3 氢解<sup>[9]</sup>

沙林(GB)和维埃克斯(VX)含有较高比例的杂原子,氢解反应产物中含有大量的无机物,如芥子气含45%(质量比)Cl,20%的S,30%的C.VX含12%的P,5%的N,12%的S,49%的C,并含有一定量的H和O.氢解产物中会有酸性气体(如HCl)和无机物(如H<sub>2</sub>S),氯化废物中HCl是主产物.

#### 1.4 超热漂白<sup>[10]</sup>

德国在1917年将此法用于中和芥子气.其组成为

\* 收稿日期:2006-03-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10576026)

作者简介:谭碧生(1968-),男,湖北省恩施市人,硕士,西南科技大学讲师,主要从事极端条件下的物理化学研究.

93%  $\text{Ca}(\text{ClO})_3$ 、7% 的  $\text{NaOH}$ . 与芥子气反应, 脱去  $\text{HCl}$ , 生成  $\text{O}_2\text{S}(\text{CH}_2\text{CH}_2)_2$ . G 类战剂以次氯酸盐为催化剂水解成为相应的磷酸盐, 在酸性溶液中, VX 的硫原子迅速氧化.

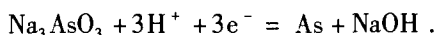
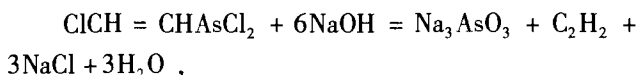
## 2 低温除剂

### 2.1 碱性水解

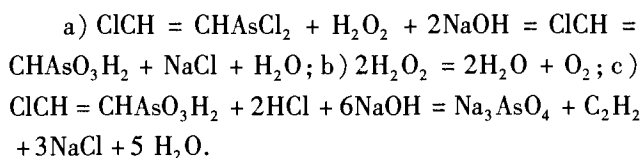
中和神经毒剂和芥子气反应可以在  $100\text{ }^\circ\text{C}$  以下、一标准大气压的温和条件下完成<sup>[11]</sup>. 用  $\text{NaOH}$  处理 VX, 反应生成无毒的乙基-甲基磷酸 (EMPA)、氨基硫醇.

含砷类战剂在水中可被破坏<sup>[12-13]</sup>. 二苯氯胂 (DA) 的水解产生二苯胂酸和盐酸, 有机砷化合物随后变为无机砷化合物. 二苯胺氯胂 (DM) 水解很慢, 且几乎不溶于水, 其产物是二苯胂酸和盐酸, 但它可被磷酸水解产生 As、二苯胺、盐酸和磷酸盐, 它也可以被浓盐酸水解生成  $\text{AsCl}_3$  和氢氯二苯胺. Lewisite 气微溶, 但一旦溶解就迅速分解为氧化 2-氯乙烯胂. 但问题是砷化合物的破坏产物依然是含砷的有毒物质, 还需进一步处理.

Lewisite 气目前还有大量贮存物, 有待销毁. 20 世纪 90 年代, 俄罗斯报道的方法是用热  $\text{NaOH}$  碱性水解, 然后电解, 反应如下<sup>[13]</sup>:



加拿大在 20 世纪 90 年代早期处理了 1.5 t Lewisite 气, 中和过程如下

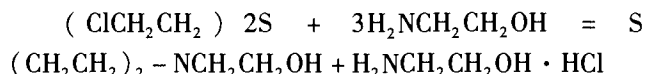


砷盐溶液与  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  和水泥混合产生混凝土稳定产物, 用聚乙烯桶盛放, 地下掩埋.

美国在 20 世纪 90 年代后期在 Tooele 处理了 13 t Lewisite 气.

### 2.2 芥子气和神经毒剂氨解<sup>[14]</sup>

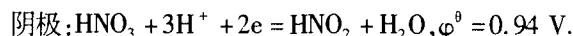
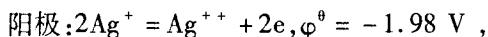
芥子气用单乙醇氨在  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , 1 atm 下反应:



反应后可用焚烧或  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和沥青在  $200\text{ }^\circ\text{C}$  减压下形成难溶的甲基磷酸钙和其他盐, 并放出异乙醇胺和异丙基甲醇等.

### 2.3 电化学氧化

$\text{Ag}(\text{II})$  在酸性条件下是一种很强的氧化剂, 在硝酸溶液中, 半反应如下:



$\text{Ag}(\text{I})$  在 Pt 电极上氧化为  $\text{Ag}(\text{II})$  是很快的, 超电势较低,  $\text{Ag}(\text{II})$  的主要存在形式为  $\text{AgNO}_3^+$ , 棕黑色, 有机物出现时, 立即将其氧化.  $\text{Ag}$  在此过程中没有消耗, 只是一个电子传递的中间体.

### 2.4 溶剂化电子技术 (SET)<sup>[15-16]</sup>

金属钠在液氨中形成深蓝色液体, 其中含有氨合电子. 蓝色溶液可以作为破坏战剂的指示剂.

一般情况下, 溶剂化电子被吸引在碳和电负性大的粒子如 Cl、F、P、S、O 的极性键上, 结果是极性键断裂, 电负性大的粒子形成阴离子. 在电负性较小的原子上 (通常为 C) 会捕获另一个电子, 因而也带负电; 或余下键的碳原子重排, 并放出气态烷或烯.

芥子气在 SET 过程所期望的反应是在溶剂电子作用下, C-Cl 键和 C-S 键断裂, 生成  $\text{NaCl}$  和  $\text{Na}_2\text{S}$ ; GB 在 SET 过程中所期望的反应是 P-F 键断裂, 生成  $\text{NaF}$ ; 维埃克斯与芥子气和沙林不同, 它没有强的极性键受到溶剂化电子的进攻, Teledyne Commodore 推测, 反应首先发生在 P-S 键或 C-S 键上, 或者两者同时发生.

### 2.6 非水溶剂中取代

此法于 1960 年提出, 为非水液体, 称为二号净化液 (DS2)<sup>[17-18]</sup>, 由 70% 的二乙烯基三胺、28% 的乙烯乙二醇单甲醚和 2% 的氢氧化钠组成. 在共轭碱参与反应的组分为  $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O}^-$ . DS2 对化学制剂的破坏非常有效, 芥子气与之反应脱出  $\text{HCl}$ , 神经毒剂与之反应生成二酯, 进一步水解生成应的磷酸. DS2 对孢子的杀灭不是很有效.

### 2.7 微乳液法

G 类和 V 类战剂中含 P-S 键, 在碱性条件下水解断裂 P-S 键而使其失去毒性, 反应机理为亲核取代. 芥子气中没有 P-S 键, 其 C-Cl 键也会水解, 但芥子气的水溶性较差. 要使芥子气解毒, 还要用氧化剂. 早期使用的氧化剂为  $\text{KMnO}_4$ , 后来开发过硫酸氢钾体系 ( $\text{KHSO}_5$ 、 $\text{KHSO}_4$  和  $\text{K}_2\text{SO}_4$  的混合物), 一些过氧化物也用来氧化化学战剂, 如过硼酸盐、过氧脂肪酸、间氯过氧苯甲酸、单过氧邻二甲酸镁和苯甲酰过氧化物. 近来草酸根离子与过氧化氢反应产生的过氧碳酸根离子, 对芥子气和 VX 的氧化可以在室温下进行, 但速率较慢.

美国圣地亚国家实验室研制了一种泡沫 (微乳液)<sup>[19]</sup>, 可以有效快速中和生化制剂, 而且操作安全, 无毒, 无腐蚀性, 对人和财产友好. 中和机理是使不易溶的制剂溶剂化, 吸引亲核催化剂溶于水溶性介质中, 使制剂易受亲核试剂的进攻. 它是通过带相反电荷的亲核试剂来识别的. SNL 泡沫含有带正电荷的胶束, 它可以是化学制剂溶剂化并吸引相反电荷的亲核试剂.

泡沫中还含有少量过氧化氢,可以有效氧化芥子气等化学战剂以及炭疽孢子。

### 3 其他技术

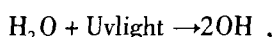
#### 3.1 超临界水氧化(SCWO)<sup>[20]</sup>

在临界温度和压力以上(TC = 374 °C, PC = 221 bar),水的性质显著改变。在超临界条件下,通常情况下不能溶解的有机物此时变得易溶,而易溶的盐却变得难溶了。因而在超临界水水中,用空气或者氧气使有机物氧化,生成完全的氧化产物,盐沉淀出来。

SCWO 技术破坏有机物的反应机理通常认为是氧化性自由基的链反应,主要是 OH 和 OOH。

#### 3.2 光化学氧化<sup>[21-22]</sup>

在紫外光作用下,产生高活性的 OH:



紫外光常常作为“激发剂”,将稳定的有机物分子变成不稳定的形式,从而易于氧化。OH 会导致一系列氧化-还原反应,将有机物转化为小分子。加入催化剂可使氧化过程加快,即增加了紫外光的效率。

#### 3.3 核除剂方法

##### 3.3.1 核除剂方法原理

核除剂武器的作用机理是建立在核爆效应基础上,这一效应又是综合性的,包括冲击波超压、瞬发辐射(强的核和电磁辐射)、火球热量、极超音速等离子体风以及由核蘑菇云放射出的缓发  $\gamma$  射线和中子辐射,所有这些效应都有破坏生化制剂的潜能。

核爆炸产生的核辐射主要包括瞬发辐射( $\gamma$  射线和中子辐射)以及由核爆蘑菇云放射出的延迟  $\gamma$  射线和中子辐射。 $\gamma$  射线是医疗产品辐射灭菌中常用的一种射线,它对生物制剂的作用效果和机理了解较深入,而中子的辐射灭菌作用研究很少。据称,高温和强辐射是核除剂的主要机理<sup>[22]</sup>。

##### 3.3.2 核除剂武器的特点

与常规除剂武器相比,核除剂武器具有以下特点:

1) 核除剂武器对生化制剂的中和作用为“原位”中和,在制剂逸散开之前就可以使其失能、失效,不会出现常规除剂武器那样因制剂逸散而引起严重失控性杀伤现象。核辐射的穿透力极强,而且瞬发核辐射的产生和传播速度极快,瞬发核辐射在生化制剂装存容器尚未裂开前,就可以穿透器壁对制剂进行“原位”中和,待容器裂开制剂逸散出来时其已失能失效,这样就避免了常规除剂武器攻击生化武器时易出现严重失控性杀伤。

2) 核除剂武器对生化制剂的中和具有致命性和彻底性。与常规除剂武器相比,核除剂武器产生的除剂因素最为综合,且强度更大,核除剂武器攻击生化武器时这些因素同时作用于生化制剂,因而产生的除剂效

果也最为有效彻底。

核除剂武器在除剂可靠性、除剂效果及实战性等方面具备常规除剂武器无可比拟的优势,但它同样具有自身的弱点:使用引起的附带毁伤效应大。其引起的附带毁伤主要来自于核爆的直接效应和间接效应:如核爆巨大的破坏力及放射性污染等。

美国从事核除剂武器研究的主要部门和人员有洛斯·阿拉莫斯研究所的 Hans Kruger<sup>[24-27]</sup>,美国海军研究生 Jeffrey<sup>[28]</sup>,斯坦福大学工程学院 Michael May<sup>[23]</sup>,美国军事放射生物研究所 GB. Knudson<sup>[29]</sup>,普林斯顿大学的罗伯特 W Nelson<sup>[30]</sup>,美国科学家联盟负责战略安全计划主任 Michael A. Levi<sup>[31]</sup>等。目前美国所进行的核除剂武器理论研究工作主要是用耦合中子-光子蒙特卡罗程序来计算核爆瞬发辐射(中子和  $\gamma$  射线)在各种形式的生化武器所含战剂内的能量沉积剂(即辐射剂量)情况,从而为核除剂武器对付生化武器的有效性提供理论依据。

核除剂的概念是美国在 2002 年的《核态势评估报告》中提出的,其可行性尚在理论研究阶段,由于受《核不扩散条约》的约束,美国也不敢冒天下之大不韪率先使用核武器。因此,一些常规武器依然是首选。

洛克希德·马丁公司正在开发它的 J-1000 弹头的高温燃烧剂(HTI)改进型。该动能穿透弹头能够穿透生产和储存生化战剂的容器和设施的坚硬表面,利用燃烧和热腐蚀快速消灭生化战剂,并摧毁目标。

电磁脉冲弹(E-炸弹)弹药爆炸后能通过释放高功率微波能量破坏电力设施和指挥控制系统。对付贮存生化武器的设施时,该弹药可以通过破坏冷却系统和计算机系统,使生化武器失能,进而避免因常规轰炸而造成的生化战剂和放射性物质扩散。

## 4 结 论

常规的除剂方法包括高温化学除剂和低温化学除剂,这些方法都是比较成熟的。然而这些方法比较繁琐,生化武器包括金属容器、生化制剂、推进剂和爆炸物等部分,要销毁生化制剂首先还必须将其分离出来,然后进行销毁,容器中的残留物也必须进行处理,过程复杂,如果受到生化武器的袭击,这些方法的不足是明显的。现在的除剂方法逐步进化到高效性、温和性,一些新技术如技术生物技术<sup>[32-37]</sup>、纳米技术<sup>[38]</sup>、大气压等离子体喷射技术<sup>[39,40]</sup>及美国利弗莫尔国家实验室开发的 L-凝胶法<sup>[41]</sup>也有采用。一些新型的除剂武器包括 HTI-J-1000 燃烧弹、战剂毁伤弹头以及美国圣地亚国家实验室开发的除剂泡沫,都可以用来对付生化武器的袭击或者主动打击恐怖组织贮存的生化战剂。可是,恐怖组织贮存的生化战剂一般也不会存放在一个地面的仓库中,很可能存放在很深的地下掩体中,

要有效摧毁这种形式的生化战剂,威力强大而附带毁伤小的低当量核武器当为首选.

#### 参考文献:

- [1] DANDO M R, PEARSON G S. Challenge of Biotechnology[J]. Def Sci J, 2001, 51(4):333-340.
- [2] CHANTAL B, STEPHEN W B, FREDERIC J B, et al. Chemical Weapons: Documented Use and Compounds on the Horizon[J]. Toxicology Letters, 2004, 149:11-18.
- [3] SZINICZ L. History of Chemical and Biological Warfare Agents[J]. Toxicology, 2005, 214:167-181.
- [4] MARK W. WILL the New Biology Lead to New Weapons? [EB/OL]. ARMS CONTROL TODAY 2004, 8.
- [5] Michael L. Complex Future for US Weapons[J]. Phys World, 2005, 18(8):17-19.
- [6] FRANK B. New Nuclear - Weapon Developments in the USA. June 2005 - 06 - 01.
- [7] CARL R P. Chemical Warfare Agents and Weapons Disposal Experience in the US[C]. NATO Conference Proceedings, 1996.
- [8] NEMA S K, GANESHPRASAD K S. Plasma Pyrolysis of Medical Waste[J]. CURRENT SCIENCE, 2002, 83(3):271-278.
- [9] NICOLAI Y, ADONIN, VLADIMIR F S. Hydrogenolysis of C - F Bonds in Fluorinated Aromatic Hydrocarbons Catalysed by nickel complexes[J]. Mendeleev Communications Electronic Version, 2000, 2:43-82.
- [10] Armed Forces Radiobiology Research Institute Bethesda, Maryland 20889 - 5603. MEDICAL MANAGEMENT OF RADIOLOGICAL CASUALTIES[10L]. 2003 - 04 - 01.
- [11] ROBERT A B. Review and Evaluation of Alternative Technologies for Demilitarization of Assembled Chemical Weapons[M]. Washington: National Academy Press, 2005.
- [12] LOHS K, STOCK T. Characteristics of Chemical Warfare Agents and Toxic Armament Wastes[C]. London: Oxford University Press, 1997.
- [13] WERTEJUK Z, KOCH M, MARCINIAK W. Recovered Old Arsenical and Mustard' munitions in Poland, in Arsenic and Old Mustard: Chemical Problems in the Destruction of Old Arsenical and 'Mustard' Munitions[Z]. NATO ASI Series 1, Disarmament Technologies, 1998. 19.
- [14] SUTHERLAND R G. The Destruction of Old and Obsolete Chemical Weapons: Past experience [C]. London: Oxford University Press, 1997.
- [15] PITTMAN J, CHARLES U, HE, J B SUN, G R. Solvated Electron (Na/NH<sub>3</sub>) Dechlorination of Model Compounds and Remediation of PCB - and CAH - contaminated Wet Soils[J]. ACS Symp Ser, 2002, 806: 419-433.
- [16] HASHISH M, MILLER P L. Cutting with High Pressure Ammonia Jets for Demilitarization of Chemical Weapons [J]. ASME Pressure Vessels Piping Div Publ PVP, 2000, 406: 121-127.
- [17] MICHAEL C F. The Future of Decontamination Operations - An Analysis of Decontamination Foam 200[EBOL]. <http://www.envirofoam.com/News/2005-12-05>.
- [18] Ferdinand G, Emile P, et al. New Microemulsions for Oxidative Decontamination of Mustard Gas Analogues and Polymer - thickened Half - mustard[J]. New J Chem, 2001, 25: 151-155.
- [19] PETROV S V, KHOLSTOV V I, et al. Practical Actions of Russia on Preparations for Destruction of Stockpiled Lewisite and mustard [C]. NATO ASI Series 1. Disarmament Technologies, 1998, 19. 79.
- [20] THOMAS J. H, ZHOU Y, LIU X. The Destruction of Selected Hazardous Compounds Using Supercritical Water[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 1996, 9:106-112.
- [21] ALEXANDRE V V, CHEN Y C, PANAGIOTIS G S. Photocatalytic Oxidation of VX Simulant 2 - (butylamino) Ethanethiol [J]. Journal of Hazardous Materials B, 2004, 113:89-95.
- [22] MICHAEL L, HITCHMAN R. ANTHONY S, et al. A Feasibility Study of the Destruction of Chemical Weapons by Photocatalytic Oxidation [J]. Science & Global Security, 1997, 6: 205-237.
- [23] MICHAEL M, ZACHARY H. Effectiveness of Nuclear Weapons against Buried Biological Agents [R]. CISAC Report. 2003, 3.
- [24] KRUGER H. Radiation - Neutralization of Stored Biological Warfare Agents with Low-Yield Nuclear Warheads [Z]. NTIS NO:de2002 - 793927/XAB.
- [25] KRUGER H. Defense Against Biological or Chemical Bomblet Warheads with Nuclear Interceptors[Z], UCRL - ID - 123815.
- [26] KRUGER H, MENDELSON E. Neutralization of Chemical/Biological Ballistic Waheads by Low - Yield Nuclear Interceptors[Z], UCRL - ID - 111403.
- [27] KRUGER H. Radiation Neutralization of Stored Biological Warfare Agents with Low - Yield Nuclear Warheads [Z], UCRL - ID - 140193.
- [28] JEFFREY R S. Biological Toxin Warfare: threat, proliferation, and the effects of neutron energy on BTW agents[N]. 1995, 9.
- [29] KNUDSON G B, LOWY R J. Effectiveness of Ionizing Radiation in Neutralizing Bacterial Cells and Viruses that Simulate BW Agents[R]. USAF Technical Report. Agent Defeat Weapon Program (official use only), 1998.
- [30] ROBERT W N. Nuclear Bunker Busters Would More Likely Disperse Than Destroy Buried Stockpiles of Biological and Chemical Agents[J]. Science and Global Security, 2004, 12:69-89.
- [31] MICHAEL A L. Nuclear and Non-Nuclear Options for Counter-proliferation[C]. FIRE IN THE HOLE Carnegie Endowment for International Peace, 2002.
- [32] ZHANG Y F, AUTENRIETH R L, BONNER J S, et al. Biodegradation of neutralized Sarin [J]. Biotechnol Bioeng, 1999, 64(2):221-231.

- [33] IRVINE R L, HARABURDA S S, GALBIS R C. Combining SBR Systems for Chemical and Biological Treatment The Destruction of the Nerve Agent VX [J]. *Water Sci. Technol*, 2004, 50(10): 11 - 18.
- [34] VIPIN K R, JOSEPH J. DEFRANK, CHENG T C, et al. Enzymatic Hydrolysis of Russian - VX by Organophosphorus Hydrolase [J]. *Biochem and Biophys Reseach Commun*, 1997, 241: 294 - 296.
- [35] EMAN G, FRANK M, RAUSHEL. Review: Detoxification of Organophosphate Nerve Agents by Bacterial Phosphotriesterase [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2005, 207: S459 - S470.
- [36] ONDREA B, DANIEL F. Decontamination of Surfaces by Lysozyme Encapsulated in Reverse Micelles [J]. *Journal of Chromatography B*, 2004, 807: 95 - 103.
- [37] MANFRED K, KLAUS H, FERNANDO V, et al. Bacterial Release of Arsenic Ions and Organoarsenic Compounds from Soil Contaminated by Chemical Warfare Agents [J]. *Chemosphere*, 2001, 42: 425 - 429.
- [38] ALFRED K, GEORGE W W, Harsha K, et al. Decontamination of 2 - chloroethyl Ethylsulfide Using Titanate Nanoscrolls [J]. *Chemical Physics Letters*, 2005, 411: 81 - 85.
- [39] HERRMANN H W, HENINS I, PARK J, et al Decontamination of Chemical and Biological Warfare (CBW) Agents Using an Atmospheric Pressure Plasma jet (APPJ) [J]. *Phys Plasmas (USA)*. 1995, (5): 2284 - 2293.
- [40] GARATE E, EVANS K, GORNOSTAEVA O, et al. Atmospheric Plasma Induced Sterilization and Chemical Neutralization [C]. *IEEE Int Conf Plasma Sci*, 1998, 3D02 - 03: 0730 - 9244.
- [41] ELLEN R, RAYMOND M G. Oxidative Decontamination of Chemical and Biological Warfare Agents Using L - Gel [J]. *Journal of Hazardous Materials B*, 2002, 93: 339 - 352.

## Evaluation of Chemical and Biological Warfare Agents Destruction

TAN Bi-sheng<sup>1</sup>, PENG Ru-fang<sup>1</sup>, CHEN Xiao-ming<sup>2</sup>,  
LI Hai-bo<sup>3</sup>, YU Wei-fei<sup>3</sup>, CHU Shi-jin<sup>1,3</sup>

(1. College of Material Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology  
Mianyang 621010, China;

2. College of Life Science, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, 621010, China;

3. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang, 621900, China)

**Abstract:** Several destruction methods of chemical and biological warfare agents are summarized, high-temperature destruction of Chemical Agent conventionally including incineration, plasma pyrolysis, hydrogenolysis, supercritical water oxidation, supertropical Bleach and Low-temperature decontamination of chemical agent involving hydrolysis, reaction using amines, electrochemical oxidation, solvated electron technology, photochemistry oxidation, non-aqueous substitution et al. In actual combat, high-temperature incendiary, SNL foam may be employed. To neutralize deep-buried chemical and biological weapon, nuclear agent-defeat method might be adopted, low-yield nuclear explosion will bring high-temperature, high pressure and strong radiation, with these effects chemical and biological warfare agents may be effectively destroyed in situ, the casualties from these effects would be fewer than those from the dispersal of large quantities of bio-agents.

**Key words:** chemical and biological warfare agents; agent-defeat method; high-temperature destruction; low-temperature decontamination; nuclear agent-defeat