

核生化污染消除作業物資之研究

作者簡介

林泱蔚少尉，畢業於國立台北工業專科學校化學工程科，國立中興大學化學系，國立台灣大學化學研究所博士。陸軍化學兵學校義務役預官班 95-1 期，現任職本校防護組教官。

提要

- 一、消除之目的在將核生化及毒性化學物質污染之危害降至輕度或幾近完全清除。依消除對象分為：人員、裝備及地面消除技術。
- 二、分別介紹目前國軍制式消除劑及民間可替代之消除物資。
- 三、研討核生化戰劑及毒性化學物質污染下，人員、車輛、裝備、地區（道路）及建築物污染消除之方法及所需物資。

壹、前言

在平時或戰時，無論部隊或民眾皆可能遭遇核生化戰劑或毒性化學物質之攻擊及污染，當遭遇攻擊或污染，除初期採適當防護及人員疏散外，後續之處理主要著重於受污染地區之初步偵檢與後續除污處置。消除之目的在將核生化及毒性化學物質污染之危害降至輕度或幾近完全清除，依消除對象分為：人員、裝備及地面消除技術。即時、正確應用消除技術及器材可以避免或減輕人員、裝備的損害，消除器材包括針對人員、裝備、地區及建築物等進行消毒或消除的各種器材，按用途可分為：人員消除器、裝備消除器及地區消除器。常用的消毒劑有次氯酸鹽類、氯胺類、鹼性消毒劑、配方消毒劑及吸附性消毒劑等，消毒劑與毒劑產生化學反應，使其失去毒性，或吸附毒劑，由受污染表面上除去；消除劑用於移除受感染表面上的放射性污染，包括洗滌劑、綜合劑、可剝性塑料等，消除時，用洗滌劑、綜合劑與水按比例調製成的消除液沖洗或刷拭受污染表面，除去放射性污染，而使用可剝性塑料法，則是直接將塑料噴灑在受染表層上，固化黏除放射性污染物後，從受污染表面上剝去；在對生物戰劑實施消毒時，通常採用漂白粉類、過氧化物、酚類消毒劑和甲醛、環氧乙烷等烷基類消毒劑。溶劑用於將消除劑調製成消除液，常用的溶劑有水、酒精、二氯乙烷、三氯乙烷、汽油、煤油等；針對工業毒化物事故，以用水消除的機率最高。

因此，在核生化及毒化物污染狀況下，各項消除作業所需消除物資及用量均有所不同，本次研究的目的，將針對消除物質特性及用量，依不同消除作業程序加以分類及整理，作為化學兵部隊執行核生化及毒化物消除任務的參考。

貳、消除物資分類

一、天然消除物資

消除可分為天然消除和人為消除，天然消除係指靠各種天然因素（風吹、日曬、雨淋等）消除毒劑沾染，主要是針對血液性毒劑、光氣等暫時性毒劑染毒消除，因為此類毒劑污染並不須要專門執行消除作業。以下就天然消除物資（天

候、土、水)之效能述敘如后：

- (一) 天候：氣溫、風、日照陽光、降雨量等均可使生化戰劑揮發、破壞；但無法使放射性物質漸趨衰變而減弱其傷害。
- (二) 土：對戰劑的作用是吸收及掩蓋，使戰劑不至揮發而減低殺傷效果。
- (三) 水：對戰劑之作用是溶解、稀釋或是藉機械沖洗而將戰劑移除。

二、人為消除之所需物資

當我們面臨持久性毒劑之污染時則須進行人為消除，人為消除即是透過機具剷除染毒層（機械法），或噴灑消除藥劑，利用吸附性消除劑吸附毒劑，降低毒效（物理法）或以消除藥劑中和毒性（化學法）。消除藥劑可區分為標準消除藥劑及非制式消除劑：

(一) 標準消除藥劑：

我國國軍使用之消除藥劑主要有 82 式消除劑、超熱漂白粉（STB）及 DS2 消除劑，其保存年限約 1~3 年。

1. 82 式消除劑：主要成分為清除劑（由抗腐蝕劑、pH 值調節劑、介面活性劑及水所組成）及消除劑（二氯異氰尿酸鈉與安定劑混合而成），其混合溶液噴灑於染毒物表面僅需靜置反應約 1 分鐘，即可快速消除化學戰劑。
2. 超熱漂白粉（STB）：亦稱「含氯石灰」、「氯化石灰」，屬次氯酸鹽類消毒劑，易受潮結塊而失去有效氯。漂白粉可運用於糜爛性或神經性毒劑消除，能以懸浮液、澄清液、藥漿或乾粉四種狀態使用，懸浮液調製比率：漂白粉/水為 1：4；澄清液為 1：5，用於對皮膚消毒；藥漿則按 1：1 體積比調製，用於對木質、橡膠、金屬粗糙表面消毒；乾粉、藥漿用於對染有糜爛性毒劑的地面、道路消毒。漂白粉漿、液與化學戰劑反應時間約為 30 分鐘。
3. DS2 消除劑：為一種以鹼、醇、胺為主要成分之消毒劑。消毒液無色透明，略有胺味，能溶於乙醇、丙酮等有機溶劑；性能穩定，貯存期 3-5 年，在 -25℃ 以下仍能使用，遇水易失效，對皮膚有刺激性。主要用於對染有芥氣或沙林、VX 毒劑的武器、裝備之消毒，靜置反應時間約為 30 分鐘。

(二) 非制式消除藥劑：

現階段部隊消除物資均具效期，若建立之存量過多，則效期一過即形成龐大的資源浪費；但若存量建立太少，則遇大規模毀滅性武器攻擊時，將無法因應緊急狀況之大量需求。有鑑於此，除平時廣儲戰備物資外，並應對民間可代用之消除物資進行研究，使戰時能迅速整合民間資源，以為緊急備用物資之來源。

1. 次氯酸鹽類消毒劑（市售漂白水、漂白粉）：化學結構中含有次氯酸根的消毒劑，該類消毒劑溶於水時，生成一定量的次氯酸，次氯酸不穩定，分解釋放出初生態氧及氯氣，水溶液呈鹼性，其水溶性具有強烈的氧化、氯化能力和鹼催化水解能力。市售漂白水其主要成份為過氧化氫、介面活性劑及次氯酸鈉，其有效氯含量約在 4.56%~6.05% 之間，可直接使用或加 10~11 倍水稀釋使用。對於 G 類毒劑在短暫時間即可輕易消除，在 3

～10 分鐘後可完全消除H類毒劑。就其來源、效能、調製時間、效期及價格而言，適合作為化學戰劑消除劑使用（註①）。

2. 氯胺類消毒劑（一氯胺、二氯胺及六氯胺）：有機胺上的氫被氯取代後之衍生物，具有較強氧化及氯化能力，其氧化能力大小取決於該類消毒劑溶於水後所形成的次氯酸的多寡，次氯酸愈多，其氧化能力愈強。主要針對芥氣、路易氏劑及氮芥氣毒劑消除作業。通常以腐蝕性較小的一氯胺對皮膚、服裝和精密儀器消毒，以二氯胺、六氯胺對武器裝備消毒。氯胺類消毒劑價格較高，不宜大量用於地面消毒。
3. 鹼性消毒劑（氫氧化鈉、氫氧化鈣、碳酸鈉、碳酸氫鈉、石灰）：在水溶液中能產生氫氧基離子（OH⁻）的消毒劑。氫氧化鈉、氫氧化鈣為強鹼類消毒劑，其效能在於鹼能催化水解作用，生成無毒產物。10%鹼性消毒劑（體積比）為G類毒劑的有效消毒劑，成本低，來源豐富（化工原料行、台鹽及台鹼製鹼業），亦能加速路易氏劑之水解，唯一缺點為具強腐蝕性及刺激性，使用時須注意；碳酸鈉、碳酸氫鈉乃為一弱鹼性消毒劑，對糜爛性毒劑之破壞作用，不如氫氧化鈉及次氯酸鈉，對V系戰劑破壞作用亦不如次氯酸鈉迅速，若以 10%水溶液（體積比）對催淚性毒劑之苯氯乙酮之消除最為有效，可適用於G系神經毒劑、糜爛性毒劑及刺激性毒劑；另外，以石灰粉混合砂土（比例為 1：3），可使用於地區消毒，將其溶於水製成溶液可作為消除藥劑，其功效對持久性戰劑消除效果甚佳，對生物戰劑消除亦具效果。
4. 高氧化能力消毒劑（過氧化氫、高錳酸鉀、二氧化氯）：此類消毒劑具備強氧化能力，能將污染物氧化成無毒性的二氧化碳及水。過氧化氫、高錳酸鉀乃為高氧化性之消毒劑，其效能在於氧化糜爛性毒劑使其失去毒性。然而此類氧化劑一般均有腐蝕作用，不宜用來消毒金屬器械或直接對人員實施消除。但若將消毒活性成分製成乳液、微乳液或微乳膠，可降低消毒劑的腐蝕性，美國現有之此類消除劑DF-100（Sandia泡沫）及L-gel（lawrance凝膠），改進後氧化消毒劑腐蝕性顯著降低，且其黏度增加，可在消除表面滯留較長時間，從而減少了消毒劑用量，提高了消除效率。此類消毒劑除可破壞化學戰劑（V系、芥氣和GD）及生物戰劑（炭疽孢子），若加入陽離子界面活性劑，可將有機相之戰劑帶至水相，並與水相中之氧化劑作用；二氧化氯乃是具揮發性與高能量的分子，即使在水溶液中仍具有一個自由基，它能和還原物做劇烈反應，在密閉不受光的容器中卻相當安定，由於二氧化氯可進行多電子的轉移系統，因此可謂是一種相當有效率的氧化劑。其滅菌作用，主要是以強氧化力來穿透單細胞或病毒表面，再奪取代謝系統中的電子，使細胞酵素失去活性而自然死亡，包括病毒、細菌、孢子、芽胞及原生物都能被殺滅，故可用於消除遭受生物戰劑污染

註①：王振龍，「以漂白水實施化學戰劑消除相關問題探討」，<<陸軍化學兵學校心得報告>>，5，2001，pp1-21。

之裝備、建築物與地面。以 10 ppm 濃度作用 20 分鐘後，包括大腸桿菌、金黃色葡萄球菌、枯草桿菌等，可達到百分之百的消除（註②），比較二氧化氯、漂白水（粉）、臭氧及酚等消毒劑滅菌效率如表一。

表一 常用非制式消毒劑比較表

消毒劑種類	二氧化氯	次氯酸鈉 次氯酸鈣	臭氧	酚
滅菌效率	高	中等	高	高
滅殺微生物種類	所有細菌、病毒、黴菌、真菌和水藻皆有效（包括芽孢菌）。	大部分病毒、黴菌、真菌和芽孢菌有效。	所有的微生物種類皆有效（包括芽孢菌）。	除芽孢菌外，大部份微生物有效。
接觸時間	數秒～數分鐘。	依滅殺菌種而異，數分鐘～數小時。	數秒。	依滅殺菌種而異，數分鐘～數小時。
腐蝕性	使用濃度(500 ppm)以下腐蝕性可忽略。	對鐵、鋁有腐蝕性。	高濃度（數百 ppm）對鐵、不透鋼有腐蝕性。	高濃度（數百 ppm）對鐵、不透鋼有腐蝕性。
毒性	使用濃度 500 ppm 以下毒性可忽略。高濃度（數千 ppm）會刺激皮膚及呼吸道。	對組織細胞有侵蝕性，形成三鹵甲烷。	一般消毒使用濃度，其毒性可忽略。	毒性強，長期暴露會導致腎、肺和神經損害。
生物分解性	分解性高，且副產物無害。	分解性差。	分解性高。	分解性相當低。
特性	不會形成三鹵甲烷類及氯酚等。	儲存期限短、穩定性差、有味道及具漂白性質。	強氧化劑和殺菌劑，穩定性差。	危險廢棄物，需焚化處理。

（資料來源：註③）

5. 新式消除劑（奈米金屬氧化物、生物酵素催化）：大部分金屬離子都有氧化淨菌作用，奈米銀滅菌機制，主要是和細菌體內酵素形成銀硫鍵，使其酵素失去活性導致細菌死亡。此外，奈米銀又會從死去的細菌中游離出

註②：劉明哲，「二氧化氯生物除污滅菌效能研究」，<<核生化防護>>，77，2004，pp78-93。

註③：<http://www.clo2.com.tw>。

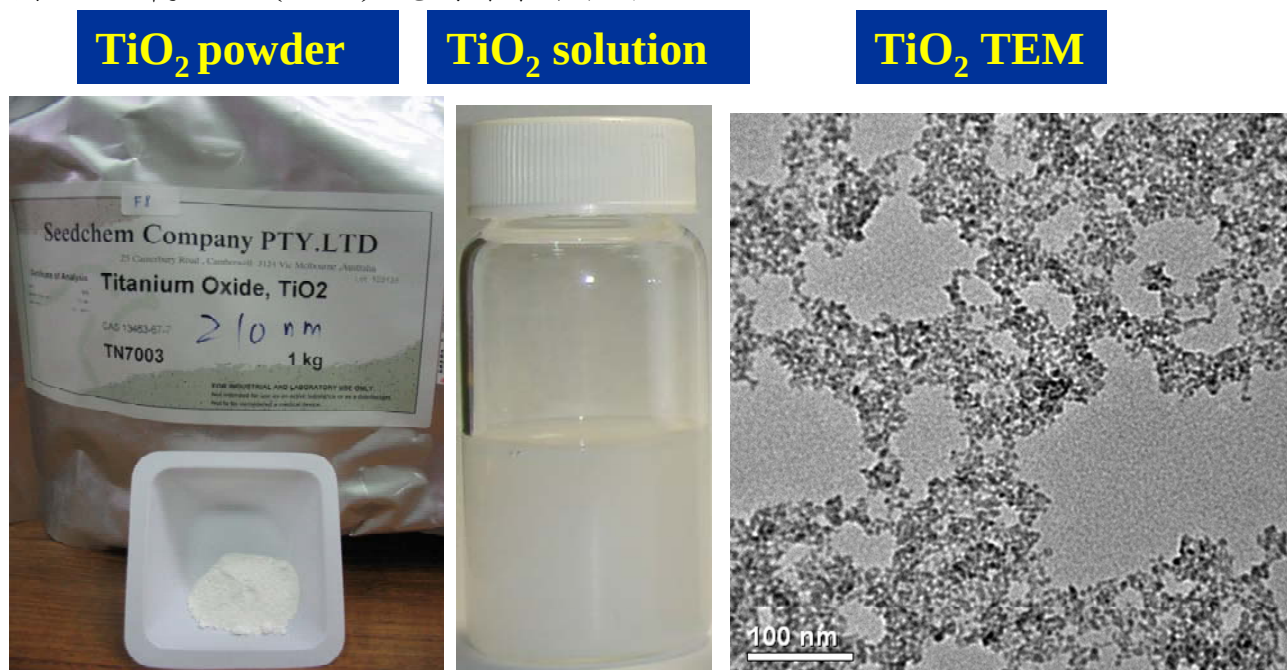
來，再持續對活細菌做重複的動作，直到所有細菌都被消滅。因此，表二表示出奈米銀只要在很低的濃度下就能針對細菌與病毒發揮消滅的效果；另外，近年來倍受注意之二氧化鈦 (TiO_2) 光觸媒奈米粒子(圖一)，其受光變照射後會產生活性極大的氫氧自由基及超氧離子，可將 NO_x 、 SO_x 、細菌及病毒等有機化合物分解成無害物質，其優勢包括：氧化能力強、化學穩定性高、耐光腐蝕、催化活性較好、成本較低，加上對人體無毒無害，不會造成二次污染等（註④）。

表二 奈米銀對致病菌之殺菌濃度

細菌種類	殺菌濃度 (ppb)
E coli (原生種大腸桿菌)	30.6
E coli 25922 (大腸桿菌)	244.9
E coli 0157:H7 (致病性大腸桿菌)	244.9
P. ceruginosa (綠膿桿菌)	122.4
S Choleraesuls (沙門氏桿菌)	478.5
Bacillus cereus (仙人掌菌)	<10

(資料來源：註⑤)

圖一 二氧化鈦 (TiO_2) 光觸媒奈米粒子



(資料來源：註⑥)

生物酵素催化消除劑生產自美國 U.S. Army Edgewood Chemical Biological Center (ECBC) 研究機構，其作用原理：主要是針對有機

註④：張誠榮，「二氧化鈦光觸媒應用之探討」，<<核生化防護>>，78，2004，pp90-102。

註⑤：全球奈米科技公司。

註⑥：國立台灣大學化學研究所張煥宗實驗室提供。

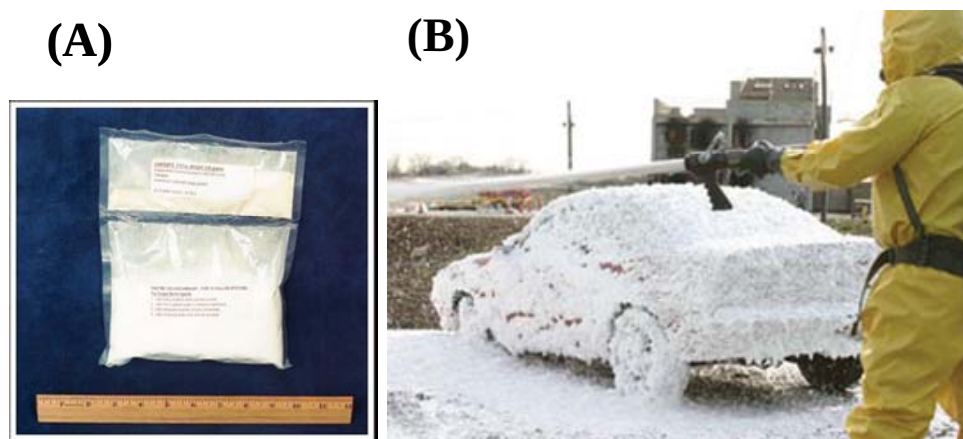
磷神經戰劑（G和V系）及殺蟲劑（圖二）。在化學毒劑擴散前，利用酵素反應快速中和毒性，屬於化學反應消毒。其特性如下：無毒性、無腐蝕性、無環境污染之虞，故反應後之物質，不會對環境造成二次危害，不需再清除，可直接排入水溝，縮短消毒作業時間，容易使用，適用於染毒部隊快速消毒作業。其相容於泡沫滅火劑，水相容性亦高，適用於任何水源。ECBC已將此產品授權給Genencor International, Inc.，此公司將之命名為DEFENZ™，其效能如表三所示。

表三 生物酵素消除能力

中和毒劑 (g) / 10 min / 1 g 酵素 (pH 8.5)						
Enzyme	VX	Russian-VX	DFP	GB	GD	Paraoxon
DEFENZ™120BG	—	—	4900	1680	8525	—
DEFENZ™130BG	1.5	5.7	4120	4650	27	13750

（資料來源：註⑦）

圖二 （A）酵素催化消毒包，（B）調和成泡沫狀，使用於車輛消毒工作



（資料來源：註⑦）

6. 其它類（肥皂、洗衣粉、硼酸、可剝式高分子塗料）：肥皂及洗衣粉具備界面活性劑功能，將大賣場取得之肥皂及洗衣粉以水或熱水調製成肥皂水，其功效可減低水的表面張力，增加水的去污能力，有效去除油脂或稠狀毒劑，可用來除去表面感染之毒劑及沖洗表面落塵，且熱肥皂水具有中和或破壞化學、生物戰劑功能；3%硼酸水溶液可用於裝備滅菌與環境消毒，而 0.3%硼酸水溶液可用於人員皮膚或眼睛消毒；可剝式高分子塗料常用於輻射線污染移除，為類似油漆的塗料，將之噴灑或塗刷在待消除組件或設備表面，待它乾涸之後，變成薄層膜，便可將其和污染物一起撕下。

註⑦： U.S. Army Edgewood Chemical Biological Center (ECBC) 研究機構提供。

它能適用於各材質表面，對附著性污染，尤其是粉末、粒塵等，較具消除效果，然而，剝除薄膜時，必須考慮操作人員可能會接觸到輻射污染，故作業時應戴上防護手套。

參、消除物資在核生化及化學品除污作業之應用

一、核輻射除污

一旦遭受核子武器攻擊或核電廠發生意外時，廣大地區內的建築物、設施（備）及物資皆有可能遭受輻射的污染乃至破壞，當輻射污染發生時，對於沾染輻射落塵地區或建築物，須迅速實施大規模的消（移）除，使其能儘速降低污染危害，恢復原有功能。

輻射污染消除係一項具有高度危險之工作，目前國內大規模之輻射污染消除仍須仰賴化學兵部隊，已有許多消除技術被廣泛應用，包括酸洗、乾冰沖洗、人工擦拭、沖砂清洗、電解除除、超音波清洗、高壓水槍噴洗、高壓二氯二氟代甲烷噴洗、真空掃除法、可剝塗料消除及化學消除劑消除方法等。基本上物件表面與污染劑造成的污染機制大致可分為兩大類：鬆散污染（如機械性附著及物理性吸附）及固著污染（如離子交換、溶劑萃取及化學反應結合），故不同的污染機制須使用不同的消除劑。

（一）常用來做為輻射除污之消除劑（註⑧）

- 1、氧化劑：過錳酸鉀、重鉻酸鉀、硝酸及雙氧水
- 2、螯合劑：檸檬酸、酒石酸、酒石酸鈉、煤油及檸檬酸鈉
- 3、酸類：硫酸、鹽酸及醋酸

（二）人體輻射污染消除

- 1、人體消除如用熱水，易使污染經由毛細孔滲入體內，如用冷水，將使毛細孔收縮，不易消除，因此，宜用 30-40 °C 溫水。
- 2、如採沐浴方式，需閉上眼睛，可防止因消除而造成眼睛污染。皮膚污染消除，儘可能避免使用刷子刷洗。
- 3、傷口部位污染消除，應交由醫院專業人員進行。
- 4、如疑有體內污染時，應配合醫院措施，儘速進行全身計測，收集大量的尿液，口鼻塗抹取樣，以測定吸入的核種，必要時須做多次定期測定。如確定體內有核污染物存在，當立即用適量藥物以減少組織器官內的積存，而加速核污染物的排出。

（三）裝備（車輛）消除方法：可分為濕洗及乾洗兩種。濕洗係以水為媒體，再添加適當的消除劑，調整溫度（60-70°C），以增加消除效果，消除劑可選用洗衣粉、界面活性劑及碳酸鈉等；乾洗是以 Freon-113 或三氯乙烷等高揮發性溶劑擦拭裝備（車輛）。

（四）道路（建築物）除污方法：主要是以除污效率、除污成本及廢料產生量為考量因素，初期落塵只是沾附於道路（建築物）表層，並未滲入地下，

註⑧：資料來源自參考資料四、五及六。

屬於地表鬆散污染物，應先採乾式除污方式進行，當乾式除污無法達到預期的效果時，再以濕式除污法配合。針對大地區消除原則宜把握由高處向低處，由內向外，由高污染區向低污染區的方向進行。

表四 表示出各項消除作業所需之消除物資及方式。

消 除 物 資 類 作 業 區 分		核污染除污
人員消除站		一、用真空吸塵器清潔。 二、用溫水（35-40℃）及肥皂水對暴露皮膚沖洗 3 分鐘。 三、嚴重者，可用 4% 高錳酸鉀溶液敷於污染部位（等此溶液乾涸）重覆二次，最後再以 4% 亞硫酸氫鈉溶液擦拭。 四、體內消除：口服碘化鉀片；用祛痰劑減少呼吸器官對核污染物的吸收；口服瀉劑減少胃腸的吸收。
車輛消除站		一、用真空吸塵器清潔。 二、使用移動式空壓機將可剝式高分子均勻噴灑於污染部位，再小心剝除，收集於廢料收集袋中。 三、使用有機溶劑、腐蝕劑、複合劑及磨蝕物質。 四、水添加適當的消除劑（洗衣粉、界面活性劑、碳酸鈉、EDTA 等），調整溫度（60-70℃），增加消除效果。
裝備消除站		一、用真空吸塵器清潔。 二、水添加適當的消除劑（洗衣粉、界面活性劑、碳酸鈉、EDTA 等），調整溫度（60-70℃），增加消除效果。 三、濾毒罐表面以酒精或丙酮擦拭。 四、面罩利用超音波洗淨機配合清潔劑、草酸清洗 30-60 分鐘。
地區（道路）消除		一、用真空吸塵器清潔。 二、剝蝕法（噴砂）或刮除表層土（1-3 公分）。 三、使用可剝式高分子均勻噴灑於污染區上，再小心剝除，收集於廢料收集袋中。 四、以大量清水（20-70 MPa）沖洗。
建築物消除	內部消除	一、用真空吸塵器清潔。 二、水添加適當的消除劑（洗衣粉、界面活性劑、碳酸鈉、EDTA 等），調整溫度（60-70℃），增加消除效果。 三、使用有機溶劑、腐蝕劑、複合劑及磨蝕物質。

	外部消 除	同地區（道路）消除。
--	----------	------------

（資料來源：作者整理自參考資料四、五和六）

二、生物戰劑消毒

美國在 911 事件發生後，繼之遭炭疽桿菌攻擊，而此次炭疽信件內的芽孢純度高、大小一致、低靜電負荷及不易凝集的特性都符合理想生物武器的要件，其所造成的傷害亦遠比化學戰劑更為廣泛。「生物戰劑消除作業」在於對受污染物作消毒或殺菌的工作，使它們可以再適當的使用（即降低微生物量至可接受的程度）。本段乃對目前研判最有可能使用之生物戰劑及其消除方法，茲介紹如下，將各項消除作業所需之消除物資歸納如表五。

（一）細菌類：體積約 1-300 μm ，分布範圍極廣，若有適宜之溫（溼）度與養份即可培養，當遇惡劣環境時，細胞質會內縮而形成內孢子。

1、炭疽病：炭疽桿菌乃為一種桿狀，革蘭氏陽性，需氧性，產芽胞之細菌，芽胞為傳染體。人體所顯現之炭疽病有三種：分別是皮膚型，肺型與腸型，其治療可用青黴素、金黴素、土黴素與氯黴素等。消毒方法為將芽胞破壞，然而其極為穩定，在土壤與水中可維持生存達數年之久，必須以高壓蒸氣或使之暴露於 140°C 以上之乾熱歷 1 小時方可將之殺死。將已污染物件在水中煮沸 30 分鐘或使用某些常用之消毒劑即可有效消毒，氯乃為殺滅芽胞與生長型細菌之最有效藥劑。

2、鼠疫：為一種不活動、不產生芽胞的革蘭氏陰性需氧菌，臨床上分腺鼠疫與肺鼠疫，染毒後立即給予鏈黴素為有效之治療方法。消毒方法為暴露於日光下至少 5 小時，則可將之殺死，以煮沸法 55°C 以上之乾熱、高壓蒸氣或以漂白粉均可有效消毒。

（二）病毒類：體積約 1-100 $\text{\AA}$ ，僅含核酸遺傳物質，外面包覆蛋白質及醣類之外鞘，行絕對寄生，一旦離開寄主細胞，即呈休眠狀態無法繁殖，因此不易培養，因體積甚小僅能以電子顯微鏡觀察。

1、登革熱病毒：此種病毒極為細小，約 11-25 μm 。它並非由人與人之間的直接傳染，而是藉由大量病蚊以為媒介，如此傳染率極高，嚴密實施蚊蟲防治措施則可預防本病之擴散。其消除方法，先針對環境與個人衛生，清潔週遭污穢且易積水之病媒為先，以紫外線或 0.5% 乙醛處理均可使此病毒失去活力。

2、SARS 病毒：嚴重急性呼吸道症候群（Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS）是危險性極高的核糖核酸冠狀病毒，據悉目前並沒有根治 RNA 病毒的方法，其傳播途徑以飛沫傳染為主，一般對抗 SARS 之消毒藥劑不外乎是利用稀釋過之漂白水、酒精及雙氧水。0.01-0.05% 漂白水適合清洗手部及一般器物、1% 漂白水則可清洗大型客車車箱及其它公共場合；使用酒精來做消毒滅菌的方法，多是用 70-75% 的酒精，擦拭皮膚表面或物體表面來達到消毒作用；0.01% 的過醋酸溶液可殺死各種細

菌、0.2%溶液可殺滅各種病毒、1-2%溶液可殺死黴菌與芽孢，故超過 2%即可用於消除生物戰劑（註⑨）。

（三）毒素類：由活菌所分泌，為可溶性，性質近似蛋白質，高溫不安定。攝氏 60℃ 以上毒性將破壞，又稱不穩定毒素，由於類型繁多，為目前軍事上最富有發展潛力的毒性物質。

1、肉毒桿菌毒素：乃由肉毒桿菌所產生之類似蛋白質之外毒素，在不活動之水中，此毒素可穩定達一週之久。在食物中以 80℃ 煮炊 30 分鐘或煮沸 15 分鐘，即可破壞此種毒素，其芽胞可抵抗煮沸法達 6 小時之久，但加以高壓蒸氣壓炊時，則可破壞芽胞。

2、葡萄球菌毒素：乃為某種葡萄球菌在食物中所產生，此毒素可耐冰凍及存活於低劑量之氣，產生此類毒素之細菌則在冰凍 67 天後仍可維持生存，一般以煮沸法（30 分鐘）消毒。

表五 各項消除作業所需之消除物資及方式。

消 除 物 資 類 作 業 區 分	生物戰劑消毒
人員消除站	一、肥皂及熱水淋浴。 二、75%酒精搓揉暴露皮膚 1-3 分鐘。 三、0.01~0.05%次氯酸鈉水溶液清洗暴露皮膚 10~15 分鐘。 四、0.3%硼酸水溶液清洗暴露皮膚 5 分鐘。 五、登革熱病毒：0.5%乙醛。 六、SARS 病毒：0.01%過醋酸。
車輛消除站	一、10%甲醛，噴灑靜置 2 小時。 二、大量熱水（100℃）徹底沖刷。 三、0.2%過醋酸或 500 mg/L 二氧化氯，噴灑靜置 1 小時。 四、有效氯含量 1000 mg/L 之含氯消毒劑，噴灑靜置 1 小時。 五、鼠疫及登革熱病毒：日光曝曬 5 小時。 六、登革熱病毒：0.5%乙醛。
裝備消除站	一、5%次氯酸鈉水溶液（STB 超級漂白粉稀釋或市售漂白水），浸泡 30 分鐘後再用水沖洗。 二、250-500 mg/L 二氧化氯，噴灑靜置 1 小時。 三、4%甲醛水溶液充份浸透，12 小時。 四、3%硼酸水溶液擦拭。 五、炭疽病、鼠疫及肉毒桿菌毒素：高壓蒸氣滅菌

註⑨：何政恩，「新式消除藥劑運用於 SARS 之探討」，<<核生化防護>>，77，2004，pp94-103。

		(140°C)，噴灑 30 分鐘。污染物件在水中煮沸 (80°C) 30 分鐘。
地區 (道路) 消除		一、乾燥及太陽光中的紫外線輻射 3-6 小時。 二、可噴灑灰塵接著劑去降低生物戰劑的氣霧化。 三、3% 硼酸水溶液噴灑。 四、以石灰粉混合砂土覆蓋地面，比例為 1：3。 五、250-500 mg/L 二氧化氯噴灑。 六、有效氯含量 500-1000 mg/L 消毒劑噴灑。
建築物消除	內部消除	一、37% 甲醛燻蒸，至少 12 小時。 二、以市售漂白水 1：10 或以雙氧水進行消毒。 三、通風換氣，保持室內空氣流通。
	外部消除	同地區 (道路) 消除。

(資料來源：作者整理自參考資料九、十、十一和十二及註⑨)

三、化學戰劑消除

在軍事作戰中所使用之化學物質，以固體、微粒、液滴、氣態及蒸氣以利散播，透過人體生理效應，使人致命、重傷、殘廢或無行為能力。以下分別介紹神經性、血液性及糜爛性戰劑消除方法及所需物資，並整理於表六中。

(一) 神經性戰劑

包含 G 系毒劑、V 系毒劑及二元性神經毒劑。G 系毒劑具有極高毒性，除形成蒸氣迅速進入呼吸道外，亦可以液體狀態由皮膚滲入體內，微量即能致死，其作用為破壞副交感神經系統，阻止神經刺激傳遞到肌肉的功能。常用消毒劑為次氯酸鹽類消毒劑 (次氯酸鈣及次氯酸鈉等) 及鹼性消毒劑 (氫氧化鈉、氫氧化鈣、氨水、碳酸鈉及碳酸氫鈉等)。通常用次氯酸鹽類消毒劑之懸浮液對地面消毒，澄清液對武器裝備消毒，藥漿對工事或建築物垂直表面消毒。利用酸水解是破壞神經毒劑的有效方法，但可能生成新的毒劑，如氫氰酸、氫氟酸，故多不採用酸水解而用鹼水解或漂白粉處理。

(二) 血液性戰劑

血液毒劑主要由呼吸道進入肺部後，進行氣體交換而藉循環系統擴散至全身的組織細胞，導致細胞無法獲得氧氣，造成所謂「內部窒息」，人體因而癱瘓、死亡。此類毒劑主要有氫氰酸、氯化氰及砷化氫等，但由於其揮發性大，屬暫時性毒劑。它可溶於水並且水解後生成甲酸及氨而喪失毒性，因此針對此類戰劑之消除，就必須仰賴大量水源。

(三) 糜爛性戰劑

糜爛毒劑又名起泡劑，為持久性之威脅性傷害劑，能使人及動物身體表皮與內部發生紅腫糜爛，且更能引起眼睛、呼吸系統等部位的毒害效能。包括芥氣、氯芥氣、光氣污及路易氏劑。常用之消除劑包括次氯酸鹽類消毒劑，主要消除芥氣、路易氏劑毒劑；氯胺類消毒劑，主要消除芥氣、路易氏劑及

氮芥氣毒劑。

表六 表示出各項消除作業所需之消除物資及方式。

消 除 物 資 類 作 業 區 分		化學戰劑消除
人員消除站		一、市售漂白水稀釋 10-11 倍可供人員消毒。 二、熱肥皂水（60-70℃）可中和或破壞化學戰劑。 三、0.3%硼酸水溶液可用於人員皮膚或眼睛消毒。 四、8~20%一氯胺對皮膚消毒 五、持久性傷害毒劑消除：0.3%硫化鈉水溶液。 六、催淚性毒劑消除：亞硫酸鈉：95%酒精：水之調配液，比例為 1:4:9。 七、G 系神經毒劑、糜爛性毒劑及刺激性毒劑消除：10~15%碳酸鈉水溶液。
車輛消除站		一、市售漂白水直接噴於污染表面。 二、G 系神經性毒劑及路易氏劑消除：10%氫氧化鈉噴於污染表面。 三、減低持久性毒劑毒性：5~15%次氯酸鈉水溶液。
裝備消除站		一、市售漂白水直接噴於污染表面。 二、3%硼酸水溶液用於裝備消毒。 三、5%二氯胺及六氯胺對武器裝備消毒。 四、G 系神經性毒劑及路易氏劑消除：10%氫氧化鈉噴於污染表面。 五、減低持久性毒劑毒性：5~15%次氯酸鈉水溶液。
地區（道路）消除		一、市售漂白水直接噴於污染表面。 二、石灰混合砂土比例為 2：3 噴於污染地面。 三、次氯酸鹽類固體粉末噴灑於污染地面。 四、減低持久性毒劑毒性：5~15%次氯酸鈉水溶液。 五、消除神經戰劑（H 系、V 系）：30~35%硫化鈉水溶液。
建築物消除	內部消除	一、市售漂白水直接噴於污染表面。 二、減低持久性毒劑毒性：5~15%次氯酸鈉水溶液。
	外部消除	同地區（道路）消除。

（資料來源：作者整理自參考資料一、二和七）

四、工業化學品消除

工業化學事故是指化學危險品在生產、儲存、運輸及使用過程中因某些意外原因，產生洩露或伴隨火災及爆炸等，而產生大量有毒化學物質，造成人員急性中毒或嚴重的環境污染。造成工業化學事故原因包括自然災害（突然停水、停電、爆炸及倒塌等意外）、反應器設計缺陷、設備老化、操作不當、保管不良及敵對分子破壞或戰爭因素。工業化學事故發生後，依化學事故應急救援（Chemical Accident Emergency Rescue, CAER）（註⑩）即時控制危險源，避免化學事故對人民生命財產造成危害。

（一）化學事故應急救援（Chemical Accident Emergency Rescue, CAER）

- 1、切斷事故源：搶救人員切斷事故源及電源，如關閉閥門、使用通用型吸收棉封堵漏洞、撒佈吸附劑（如活性炭、木屑）等。
- 2、控制污染區：透過檢測確定污染區邊界，限制人員及車輛進入。
- 3、搶救中毒人員：將中毒人員撤離安全區，進行搶救。
- 4、檢測確定毒化學物質之性質及危害程度，掌握毒物擴散狀況。
- 5、受污染區居民防護或撤離：指導受污染區居民進行自我防護，必要時實施緊急撤離。
- 6、對受污染區實施消除：依據毒化學物質理化性質及受污染情況實施消除，通常使用大量清水及砂土沖洗覆蓋，並將廢水或污染物封裝儲存。
- 7、尋找並處理動物屍體，防止腐爛危害環境。
- 8、通信、物資、氣象交通、防護等支援。

（二）代表性工業毒化物外洩（人員）消除方式

1、腐蝕性之酸

- （1）除去污染衣物，以清水沖洗污染部位。
- （2）如食入，不可催吐及洗胃，給患者飲水，不可使用中和劑。
- （3）立即送醫。

2、腐蝕性之鹼

- （1）脫去污染衣物，以清水沖洗污染部位。
- （2）用水漱口，減少黏膜刺激。
- （3）不可催吐、洗胃及用酸中和。
- （4）立即送醫。

3、氫氟酸

- （1）立即用清水清洗受暴露部位，並除去受污染之衣物。
- （2）暴露部位塗抹葡萄糖酸鈣軟膏，使氟變成不溶之氟化鈣，因而減少進入體內的機會。
- （3）立即送醫。

註⑩：防災教育，中部環境毒災應變隊，「毒化災常用術語介紹」，4，2004，1。

4、四氯化碳

- (1) 除去受污染衣物，以水、肥皂清洗受污染部位。
- (2) 如吞入且病人清醒，則催吐。

5、甲醇

- (1) 如在口服暴露 2 小時內，且病人清醒，則催吐。
- (2) 立即送醫。

6、石油製劑及環狀碳氫化合物

- (1) 除去污染衣物，以水及肥皂清洗受污染之皮膚。
- (2) 立即送醫。

(三) 固（液、氣）體毒化物外洩之環境消除方式及所需物資

本段除敘述固體、液體及氣體危險毒化物消除方式及所需物資，並將各種消除作業整理如表七及表八。

1、固體毒化物

(1) 一般固體毒化物

- A、若能在無風險下處理洩漏，即刻止漏。
- B、洩漏區域需進行通風換氣，再將其氣體導入氣體吸收塔。
- C、撒水霧可降低蒸氣量，但不要直接將水噴在洩漏區域或容器內。
- D、使用蒸氣抑制泡沫噴灑覆蓋於洩漏固體上，以減少洩漏固體之蒸發。
- E、以活性碳進行吸附處理，需求量為洩漏物量的>10 倍以上。
- F、以清潔劑和水，徹底清洗災區，產生之廢水應導入廢水處理場。
- G、殘存液以細沙、土或類似物質吸收，吸收後之廢棄物，剷入合適之密封桶中。
- H、若大量外洩，可固體溶解於可燃性溶劑內(例如酒精)，置於配有氣體清潔裝置的適當焚化箱內處理。

(2) 特定固體毒化物

針對地特靈等 23 種特定固體毒化物歸納出 7 種消除方法，並將之列於表八。

2、液體毒化物

(1) 一般液體毒化物

- A、防洩類：使用物件或接著劑（例如外洩止流閘、管線護套、裂縫封蠟沖填劑、環氧樹脂修補劑）防洩。
- B、圍堵類：使用圍牆防止擴散，同時配合吸收劑。可選用之吸收劑包括泥土，火山灰，矽酸鹽，天然物質（破布、穀殼及纖維）、並排的木材及人工合成體（高分子吸收棉）等。
- C、除毒劑：進行中和或膠凝作用，後者的目的在於協助固化，針對酸鹼或有機溶劑，已經發展出許多對應的中和劑。
- D、清除設備：可利用幫浦、吸塵器、挖泥機或鏟子及杓子等工具進行。

(2) 特定液體毒化物

針對甲基汞等 35 種特定液體毒化物歸納出 13 種消除方法，並將之列於表八。

3、氣體毒化物

(1) 一般氣體毒化物

同一般固體毒化物之 A、B、C、F、G 等五個步驟。

(2) 特定氣體毒化物

針對氯氣等 4 種特定氣體毒化物歸納出 4 種消除方法，並將之列於表八。

表七 表示出各項消除作業所需之消除物資及方式。

消 除 物 資 類 作 業 區 分		一般工業毒化物消除
人員消除站		一、以軟毛刷儘可能刷除污染之固體物。 二、以 30℃ 之溫水作徹底清洗身體。 三、以溫肥皂水清洗口鼻部位。
車輛消除站		一、以清潔劑和水，徹底清洗車輛，產生之廢水應導入廢水處理場。 二、車輛外表以通用型吸收棉除污，吸收後置於合適密閉容器內。
裝備消除站		一、以清潔劑和水，徹底清洗裝備，產生之廢水應導入廢水處理場。 二、裝備表面以通用型吸收棉除污，吸收後置於合適密閉容器內。 三、使用過之吸收棉、細砂、砂袋及 A 級防護服進行焚化處理。
地區（道路）消除		一、噴灑大量吸附劑（活性炭、乾砂、泥土和木屑等）於污染地區。 二、以清潔劑和水，徹底清洗災區。 三、污染物儘可能用真空吸引回收或收集於適當密閉容器內以廢棄物處理。 四、污染物亦可用通用型吸收棉除污救漏，吸收後置於合適密閉容器內。 五、具溶解性之毒化物以可燃性溶劑內（例如酒精）溶解後，再置於配有氣體清潔裝置的適當焚化箱內處理。
建築物消除	內部消	一、維持內部通風良好。 二、針對固體或溶液，可以非燃性分散劑灑在洩漏處，以適當水及毛刷清洗，並將污物剷入密閉桶中，待進一步處理。

	除	三、外洩液儘可能用真空吸引回收或收集於適當密閉容器內以廢棄物處理。
	外部消除	同地區（道路）消除。

（資料來源：作者整理自註①）

表八 車輛、裝備、地區及建築物消除作業所需之消除物資。

消 除 物 資 類 作 業 區 分	特定毒化物消除
固體毒化物	一、地特靈、滴滴涕、二苯駢呋喃、六氯萘、六氯內-甲烯基-四氫苯二甲酸、二乙醇胺、4,4'-二胺基二苯甲烷、三乙酸基氨、1,3-丙烷磺內酯、α-苯氯乙酮、蔥、六氯芬、硝苯、八氯萘、N-亞硝-正-甲脲：洩漏或溢出時，用醇類作抑制處理，然後將其放置適當的容器中，再將剩下洩漏部分以無可燃性吸附劑吸收，以水和肥皂清洗地面，最後將所有廢棄物放置密封的塑膠袋中。 二、五氯酚鈉：可先利用活性碳吸附，再使用氯氣、過氧化氫或臭氧進行氧化。 三、α-氰溴甲苯、氰化鉀、氰化鈉：以硫酸亞鐵作用成氰化亞鐵後，以衛生掩埋處理。事後應以鹼金屬(如碳酸鈉)之水，徹底清洗災區，產生之廢水應導入廢水處理場。 四、三氧化二砷：溶於最小量之濃度鹽酸中，然後加水直到白色沈澱出現，再加 6M 濃度的鹽酸，將之再次地溶解，用硫化氫使之飽和。 五、鉻(Cr^{6+})化物：可用氧化鈣、碳酸氫鈉及碳酸鈣中和。 六、氰胺化鈣：為禁水性之固體，不要使用水，不要進行清理或處置作業，除非由專家的監督。 七、二苯胺：以 9:1 之沙和蘇打粉混合物覆蓋於洩漏物上，混和後再置於適當加蓋且有標示的容器，用水沖洗溢漏區，聯絡消防、緊急處理單位及供應商協助。

註①：中部環境毒災應變中心之防災急救卡、物質安全資料表及災害應變卡。

液體毒化物

- 一、甲基汞或汞：可用氯將汞氧化成離子狀態，再利用吸附劑(硫化物表面有活性碳)吸附。
- 二、苯胺：以一品脫鹽酸加 10 加侖水或清潔劑和水，徹底清洗災區，產生之廢水應導入廢水處理場。
- 三、丙烯腈：使用 5%碳酸鈉與 5%磷酸鈉水溶液當作人員或污染處之除污，產生之廢水應導入廢水處理場。
- 四、環氧乙烷：可使用有機溶劑，如苯、丁醇溶解此物質，再焚化之。
- 五、1,3-二氯苯、鄰-二氯苯、異丙苯、1,4-二氧陸圈、碘甲烷、 β -丙內酯、乙醛、乙腈、苯甲氯、丙烯酸丁酯、氯丁二烯、間-甲酚、乙苯、甲基異丁酮、三乙胺、三溴甲烷、硫酸乙酯、六甲基磷酸三胺、三(2,3-二溴丙基)-磷酸脂等毒化物，先將其溶解於可燃性溶劑內(例如酒精)，再置於配有氣體清潔裝置的適當焚化箱內處理。
- 六、硫酸二甲酯：可使用水霧或 5% 氫氧化鈉水溶液噴灑洩漏區，以降低或分解蒸發之蒸氣。
- 七、次乙亞胺：溶入可燃溶劑中(如酒精、苯)，再注入焚化爐中，與沙及蘇打灰(9:1)混合物混合後，放入塞滿紙張作為燃料的紙板盒中，再放入焚化爐燒毀。
- 八、丙烯亞胺：噴水稀釋成不可燃物後，加入 4%醋酸水溶液中中和，直至有酸味出現，再用水沖洗外洩區。
- 九、聯胺：其濃度低於 2 % 時，可緩慢加入 10 % 過氧化氫、次氯酸鈣或漂白水氧化。
- 十、吡啶、二甲基甲醯胺：用泥土、砂或其他不可燃的物質吸收或覆蓋洩漏物，再將它送進容器內。事後應以清潔劑和水，徹底清洗災區，產生之廢水應導入廢水處理場。
- 十一、四羧化鎳：防漏圍堵所產生之廢棄物，可以用水稀釋，接著用石灰，使其產生氫氧化鎳沈澱。
- 十二、丙烯醛、丙烯醇：大量溢漏時，用亞硫酸氫鈉(NaHSO_3)覆蓋處理，不得排入下水道或密閉空間內，儘可能回收再生或於配備有氣體清潔裝置的適當燃燒爐中噴霧焚化。
- 十三、氰化氫：少量洩漏溶液以惰性物質吸收，吸收

	後之廢棄物，小心得移入合適之密封桶中，再用硫酸亞鐵作用成氰化亞鐵後，以衛生掩埋處理。事後應以鹼金屬(如碳酸鈉)之水，徹底清洗災區，產生之廢水應導入廢水處理場。
氣體毒化物	一、氯氣：可以使用氫氧化鈉或消石灰的水溶液來中和洩漏液。 二、甲醛：可用尿素中和反應處理之，亦可用氨水或亞硫酸鈉中和洩漏液，中和後的甲醛可以掩埋處理。 三、磷化氫：可使用硫酸亞鐵作用成氰化亞鐵後，或以過量的次亞氯酸鈣溶液反應，以掩埋處理之，最後以鹼金屬（碳酸鈉）之水，徹底清洗災區。 四、氯乙烷：大量外洩時，可噴灑有機溶液（醇類），使之作用掉落地面，到將之吸取噴入適當的燃燒爐內焚毀。

(資料來源：作者整理自註①)

肆、結語

消除是一種複雜、需要技術訓練的工作，因為任何一種消除方法，並不能解決所有的污染問題。需要有專業知識、有經驗、訓練有素的人員依據各種狀況，選用適當的消除方法及消除物資，才能安全、有效、快速及節約的達成消除任務，降低危害。

伍、參考資料

- 一、賴政國，「生化消毒劑之淺談比較」，<<核生化防護>>，76，2003，pp51-62。
- 二、王陽仁，「先進生化戰劑消除技術與裝備」，<<核生化防護>>，78，2004，pp57-65。
- 三、劉逸群，陳保惠，「奈米科技在核生化防護上之運用」，<<核生化防護>>，80，2005，pp95-108。
- 四、黃嘉慶，「輻射污染偵消作業民間代用物資裝備之研究」，<<核生化防護>>，79，2005，pp58-65。
- 五、王陽仁，「輻射污染消除方法之探討」，<<陸軍化學兵學校心得報告>>，3，2000，pp1-22。
- 六、林志強，「現行輻射污染消除方法之探討」，<<陸軍化學兵學校心得報告>>，12，2000，pp1-27。
- 七、顏家煌，「化學戰劑偵消作業民間代用物資裝備之研究」，<<核生化防護>>，79，2005，pp66-81。

- 八、王陽仁，「新型生化消除劑之發展」，<<核生化防護>>，75，2003，pp87-91。
- 九、洪三文，「淺談生物戰防護」，<<核生化防護>>，73，2002，pp12-22。
- 十、曹君範，「國軍化學兵部隊執行抗 SARS 紀實」，<<核生化防護>>，76，2003，pp30-36。
- 十一、何振輝，「生物戰劑取樣與消除教學心得」，<<陸軍化學兵學校心得報告>>，6，2000，pp1-13。
- 十二、何振輝，「生物戰劑消除之研究」，<<陸軍化學兵學校心得報告>>，10，2000，pp1-9。
- 十三、許景翔，「奈米銀的製備與其應用於生物戰劑消除之研究」，<<核生化防護>>，78，2004，pp115-122。2、
- 十四、洪東榮，「毒化災病患之緊急醫療處理」，<<94 年度中區毒毒性化學物質災害動員講習會議>>，10，2003。
- 十五、防災教育，中部環境毒災應變隊，「核生化武器攻擊之消除技術」，6，2004，4。
- 十六、防災教育，中部環境毒災應變隊，「消毒劑介紹」，6，2004，4。
- 十七、防災教育，中部環境毒災應變隊，「化學武器攻擊之消毒方法介紹」，4，2004，3。
- 十八、防災教育，中部環境毒災應變隊，「化學事故、種類、事故危險源及危險源分級」，3，2004，4。
- 十九、徐光藝，台灣陶氏化學公司，「工廠事故與緊急應變清除處理機制」，<<中區第二期毒性化學物質災害聯合防救小組訓練會議>>，3，2005。
- 二十、盧立華，台中童綜合醫院，「常見毒化災中毒狀況及緊急搶救方式」，<<毒性化學物質災害動員研討會議>>，3，2005。
- 二十一、中區毒災應變諮詢中心應變隊教材，「危害物質特性、洩漏處理介紹」。