廣告　行政院環境保護署毒物及化學物質局捐助
本印刷品使用環保標章驗證之紙張印製

實驗室化學安全彙輯

化學與環境委員會 化學安全小組

CSLT
Chemical Society Located in Taipei

序　言

化學安全是研究與工業生產的基石，過去有關化學意外的案例時有所聞，除了部分案例是因為人為因素外，有部分案例是因為工作人員對化學品的特性與運作不夠瞭解而引發意外。為增強國人與化學從業人員對化學品的認識，中國化學會推動一系列化學安全指南的編撰活動，期能引起化學界的重視，在過去數年內，獲得許多同仁的支持。唯因安全指南的編撰，從文稿收集、校對、編排與付印的時程漫長，為提升化學安全知識的交流速度，學會的化學季刊，開闢了化學安全的專欄，鼓勵同仁針對化學品安全獨立投稿，經過這幾年的努力，內容也漸漸充實。為方便大家閱覽回顧，學會將這些化學安全投稿整理出版《實驗室化學安全彙輯》第一集，作為安全指南編撰的中繼站，為未來化學安全累積更多的能量。

最後要在此感謝撰稿同仁，與審閱委員們的辛勞，以及行政院環境保護署毒物及化學物質局、築夢投資股份有限公司的支持。

目 錄

序 言 01

第 一 篇 痛定思痛－UCLA Sangji 事件之省思 04
第 二 篇 大學化學實驗室及大樓安全管理 08
第 三 篇 校園實驗室暨實習場所事故案例與預防 .. 52
第 四 篇 實驗室毒性化學物質管理 62
第 五 篇 規畫化學館的經驗談 66
第 六 篇 意外事故無所不在 70
第 七 篇 氫氧化物鹼性鹽意外初談 72
第 八 篇 貝魯特爆炸下的隱憂 78
第 九 篇 化學實驗室要注意的常見藥品 82
第 十 篇 化學意外案例：有機疊氮化物的爆炸性分解 90
第 十一 篇 化學意外案例：鈉金屬的火災 －德州大學奧斯汀分校 . 94
第 十二 篇 化學意外案例：鈉金屬的火災－芝加哥大學化學系 98
第 十三 篇 化學意外案例：一位研究助理之死 102
第 十四 篇 化學意外案例：實驗室氫氣爆炸 108
第 十五 篇 化學意外案例：二氯甲烷 112
第 十六 篇 鋰離子電池的危害與預防 116
第 十七 篇 化學品特性探討與衛生管理概略 122
第 十八 篇 濺灑汞的處理 150

化 學 中華民國一百零三年第七十二卷第一期
DOI: 10.6623/chem.2014001

痛定思痛 - UCLA Sangji 事件之省思

甘魯生
中央研究院化學研究所

本人以『實驗室意外和實驗室安全』為題敘述了美國加州大學洛衫磯分校 (LCLA) 化學系助理 Sheharbano Sangji 女士因實驗進行中發生燃燒意外致死的案件，藉以喚起化學界從業人員對實驗室安全的注意 [1]。

該事件發生 (2008 年 12 月 29 日) 後立即引起世人將焦點放在大學實驗室內學生及僱員的安全問題。這些人士在經常操作有毒、易燃以及易爆性物質前是否有足夠的訓練？ UCLA 及實驗室負責人首當其衝，對這次致命事件均以管理安全疏忽的理由被相關機構起訴。前者 (UCLA) 在 2009 年 5 月被加州職業安全暨健康部門以違反四項安全規定罰了 31,875 美元。由於同意嚴格遵守安全規定及措施，並捐出美金 50 萬元以 Shangji 之名成立獎學金。法院在 2012 年 7 月 27 日中止了冗長的刑事起訴，但後者 (實驗室負責人 Patrick Haran 博士) 就沒有這麼幸運了，對 Haran 博士及學校董事的刑事訴訟並未終止，於是 Haran 成了美國第一位被刑事訴訟求刑的教授，若罪名成立，將面臨四年半有期徒刑 [2]。

顯然的，Sangji 之死是個悲劇，不管事情如何發展都沒有贏家。亡羊補牢才是正途。UCLA 校長 (Chancellor) Gene Block 先生公開保証將盡力做到比現有安全規章制度還要好的全國模範大學 [3]。

如果仔細審視整個事件的始末，不難發現 Haran 博士是一位卓越的化學家，在同儕間有科學家中的科學家美譽。而 Sangji 女士是一位極優秀的年青人，在大學求學時代即有論文出版，還不止一篇。發生意外的實驗也不是 Sangji 第一次做，所以她絕對不是一位生手 [1]。那麼問題出在那兒？學校及實驗室未將安全訓練落實，執行安全規章不徹底是難辭其咎，當事人大意及疏忽也是關鍵。

但人是血肉之軀，不能一直保持精神高度集中，行事一絲不苟。既然是疏忽及意外，事件發生後即時的補救就顯得非常重要，有太多的例子可說明適當和適時的處理能將損失降低，甚至消彌於無形。但在 Sangji 這事件上，很可惜恰當的自救及人救都沒有發生。事件發生時另有一位博士後副研究員在同一間實驗室工作，他不假思索的用實驗衣想把火打滅。而二人都不記得一緊急淋浴龍頭就在實驗室內 [1] ！這是沒有經過訓練及演練的結果！

所以在第一線從事實驗研究的人士最要緊的事是要自保。做事要謹慎，牢記安全守則及勤勞的養成習慣。這樣才能趨吉避凶。以下幾點供參考：

善用自我保護的器具

- 規定對自身穿著無太大限制。自我保護是要穿長褲，褲管要長及鞋面，穿能包住腳面的鞋子。將長髮紮起，盤捲在頭上，儘量不戴隱形眼鏡。
- 規定是要穿實驗衣、手套、戴護目鏡。自我保護是要在使用前檢查是否可用，材質是否與各實驗內容相配合。若在實驗進行時被污染，立刻脫除。
- 不管規定如何，自我保護是儘量避免在實驗室中接待訪客。
- 裝備要定期檢查，自我保護是使用前即加以檢查。

化學藥品操作自我保護事項

- 有些化學藥品要用適當的通風（排煙）櫃，並非一櫃一體適用。
- 留心真空泵和蒸餾器將毒性物質送到通風系統中。
- 清楚標示所有用過的藥品並妥為保管。
- 化學廢料要棄置於有標示及適合的容器內。
- 若有化學藥品濺出或發生意外，要以緊急步驟處理。若危及眼：用水沖洗至少 15 分鐘。皮膚：受到波及處若有衣服，先除去，再以水沖洗。若狀況持續，送醫，之後善後要有適當保護，廢棄物丟棄於適當地方。

保存器具的操作

- 絕不將儀器移作他用。
- 妥善保管玻璃器皿，不光防止破碎，也要防止向內破裂（如真空絕熱瓶）。
- 排煙櫃要一直運轉防止有毒氣體及灰塵外洩及由其他實驗室排氣櫃排過來，櫃門要保持關閉。

實驗室操作

保持實驗室整潔及無障礙。做新實驗前要蒐集此實驗有關之災害，防護步驟，計劃器材如何置放，並考慮彼此間是否會連帶發生危險事件。從事人員需具基本訓練，要報告實驗室主持人，若主持人主動介入則更佳。

實驗室中要避免的不安全習慣

- 穿著實驗衣到處遊走。
- 在實驗室中吃喝。
- 儲藏食物及飲料在實驗室中。
- 在實驗室中嘻戲、開玩笑或分散他人注意力的行為。

以上是個人行為，很容易改正。

- 嗅及嚐化學藥品。
- 在封閉環境內（如冷房及溫房）開啟裝有毒物質容器。
- 以口吸吸管抽取化學藥品。
- 隨意將廢棄物沖進下水道。
- 圖方便而使用損壞的器具及玻璃皿，以器具或化學容器阻擋了排煙櫃通風。
- 單獨在實驗室中操作有害化學品，生物製劑及其他具危險的實驗。
- 擅自開始新實驗而未和實驗室主持人通報或討論。

以上皆為圖一時方便而養成的不良操作習慣，需特別注意。

請牢記 Sangji 女士悲慘的事件。希望驗室意外不再發生，要發生也不要造成嚴重的後果，熟記安全規則，去除不良習慣及多加演練是自保之道。

參考文獻

1. 化學 2010，68，313-319。
2. 化學 2012，70，199。
3. Office of Environment, Health and Safety, “UCLA Laboratory Safety Manual” 2011.

專題報導
化 學　中華民國一百零三年第七十二卷第一期
DOI: 10.6623/chem.2014002

大學化學實驗室及大樓安全管理

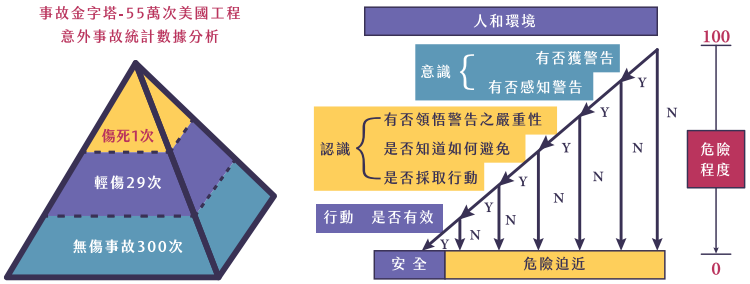
梁文傑
臺灣大學　化學系

注意風險，培養安全意識

大學化學實驗室使用的危險物、有害物或毒性化學物質為數眾多。且當從事嶄新研發時，未知風險卻無法預估，加上各式技術與設備密集、實驗室研究生流動率高。對以碩士班研究生為主力之研究團隊來說，平均有半數是經驗不足的一年級生，有經驗之二年級生卻將行畢業，難以成為實驗室研究人力之骨幹。加上研究大樓與部分儀器年齡較高，防火標準較低，電路維修更新率也低，於是化學與電器災害頻生。但現實環境卻往往無法短期內快速獲得改善，如何在侷限之條件下，提高實驗室之安全，極為重要。在實驗室意外中，化學意外的比率雖然不高，但倘若發生意外，其後果及傷害相對嚴重，容易導致身體創傷或財物損失。因此安全意識的培養是不可或缺，千萬不可輕忽大意。事實上，輕忽大意是導致化學意外的主要因數之一。此外有許多常見的藉口，如空間不足，儀器物品堆滿通道，阻礙逃生。或以經費不足為由，忽視維修保養，引發災害。或以不方便推託，輕忽安全裝備。此等言論，對意外災害來說，是於事無補。在法律前面更無法站得住腳，切勿讓藉口蒙蔽，帶來風險，本文試將一些大學化學實驗室安全管理經驗提出，與大家分享。

(一)認識風險與分析

風險是指『當某些事件一旦發生，而導致當事人受到損害的可能』。其中取決於許多不同的因子，包括:事件發生與蔓延擴展機率、事件殺傷力、暴險程度、解決或復原的可能性等。由於事件的發生及所引起的後果，是由眾多因子組合而決定，因此看起來相似的事件所引發的後果，往往有天淵之別。由美國 55 萬次工程意外事故統計發現，無傷事故、輕傷、嚴重傷害死亡的比例，約為 300:29:1。如能減低無傷事故的發生率，亦將可降低嚴重事故發生的可能。常見意外傷害事件狀況的發生，大致上歸納為以下幾種情形如：缺乏相關教育訓練、錯估身體狀態，以致無法應付、漠視規定及意外事故發生的可能、周邊環境失控(如儀器機械失靈)、或他人引發之意外事故而遭波及等。(圖一)



圖一　事故金字塔顯示：無傷事故，輕傷，與嚴重傷死的比例約為 300:29:1。嚴重傷死往往是由許多小事故湊合在一起所引致。因此降低無傷事故之頻率，亦同時可降低嚴重傷死的風險。而教育訓練瑟利理論與安德森工業系統分析說明，當事人若能意識到風險的存在，居安思危，是降低風險的第一步。

意外事件發生的機率，往往與當事人是否意識到風險的存在相關。當事人的處事心態，身體狀態等也有重大的關聯。舉例來說，大家也知道金屬鈉遇水反應放出氫氣而有可能引發燃燒，又或將水加入濃硫酸中，因放熱反應發生而有可能產生噴濺，或將被感染性微生物污染之手套，在未經消毒前便帶離實驗室，是有可能引起感染，但此等事件為何一再發生？金屬鈉遇水反應會放出氫氣，但不是每一次都引發燃燒，有些學生因而貪快，將金屬鈉顆粒丟進水中處理。在一次偶然的情況下，水槽中有可燃之懸浮有機物，火警便發生。另一次是同學

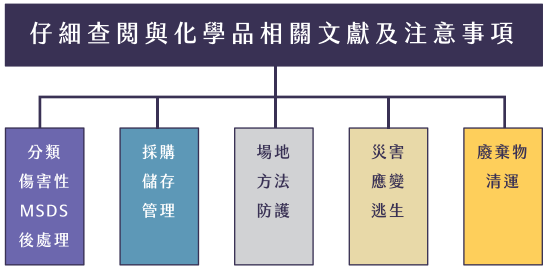
將乙醇倒進內有金屬鈉的瓶子中，本人雖曾加以勸阻，但同學回應說乙醇與金屬鈉反應慢，他有經驗，認為燃燒不會發生。結果呢？當說完了這句話的同時，由於散熱不良，瓶子中的乙醇著火了。仔細分析不難發現，若當事人摒棄冒險的行為，遵守實驗流程，或注意散熱冷卻，火警都可避免。實驗室的命運如何？當事人立即用筆記本蓋著瓶口，隔絕空氣，這一次火便熄滅。但是否每一次都能成功滅火呢？答案是各有天命：因為金屬鈉與乙醇在隔絕空氣下會繼續反應並釋放氫氣與熱量，是否會失控要看當時的用量，溫度，總體散熱等條件。是否意識到風險的存在與及意外發生後當下的判斷是否正確，決定了意外是否會發展為災害。若教育訓練、警告標語與不斷的相互提醒，都無法使當事人意識到風險的存在，危險便會發生。但這一次，在滅火判斷上算是正確，災難才能倖免。

（二）加強風險意識與有效降低風險

教育訓練

教育訓練的目的，在於增強當事人辨識及控制危險源的能力，以減低意外事件發生的機率。教育訓練是一種學理與技巧的訓練，對一般工業或企業而言，日常生產的流程明確且變化不大，只要透過專業人士講解，員工便能獲得所需的知識與技巧。但對學術型研究實驗室而言，情況較為複雜。由於研究方向與方法變動甚為頻密，單就透過專業人士講解，還是未必足夠應付其變化。因此，研究人員必需不斷進行新的自主訓練，始能達到目的。

舉例來說，進入研究實驗室前，所接受的教育訓練，包含「一般安全衛生教育訓練」、「用電安全訓練」、「消防訓練」外，及依從事實驗之性質接受相關之專業性教育訓練，包括：「危害通識教育訓練」、「輻射防護教育訓練」、「生物安全教育訓練」，是屬於基礎訓練。（圖二）



圖二　進行實驗研究前，針對所用的化學物品，必須收集的相關資訊。

清楚理解實驗規劃、內容、技巧、及注意事項

當進入研究實驗室後，對實驗團隊專門技巧須知，儀器使用，化學藥品與生物材料的運用等，均需要額外的自主訓練。進行實驗研究前，必須收集相關的參考資料，對實驗步驟有充分的討論理解，並將研究實驗流程規劃仔細寫下，及裝備檢查。有涉及化學藥品之使用，必須閱讀『物質安全資料表 (Material Safety Data Sheet, MSDS)』，充分認識化學藥品之危險性。若有涉及生物材料之使用，亦必須仔細查閱『生物安全資料表 (Biological Safety Data Sheet BSDS)』。若有使用毒性化學物質及危害物質，應依照相關規定管理。仔細查閱相關文獻是好的開始，並寫下所有工作規劃，使用設備前要接受訓練。這等事前準備，不僅只是為了個人安全，而且是為了公共安全，法律上，當事人與實驗場所負責人有責任盡力避免意外的發生，否則當意外發生時，便有觸犯公共危險罪之虞。

遵守規定

漠視工作守則是導致嚴重意外事故發生的原因之一，由於意外發生是機率性，違反工作守則不一定立即會導致嚴重後果，當事人會因貪圖方便而漠視工作守則。但當意外一旦發生，當事人便會失去應有的個人防護及法律保障，而導致嚴重後果。就如騎乘機車要帶安全帽，開車要綁上安全帶的道理一般。工作守則的內涵是多樣化的，因此每

一個實驗研究團隊都應有其工作守則。其中一些共通性的項目，亦應被納入在工作守則中，例如不要單獨進行實驗工作，要配戴及裝設適當之防護設備，要做好實驗流程規劃準備，及實驗前裝備最後檢查等，看起來平平無奇，但卻是最常見的失誤。

身體狀態

教育訓練是一種假想性訓練，在施行上是靠人為臨場運作，因此，在執行事務上往往因判斷上之落差而引發意外，錯估自己身體狀態是常見意外事件發生的原因之一。例如：生病、疲倦、服用藥物或喝酒後等情形，都可能使身體反應變慢、恍神、或判斷力變差。因此，在疲倦或睡眠不足、生病、過敏、服用藥物或喝酒後，不應進行實驗工作。體力上的錯估，常發生在搬運重物的時候。因此，搬運重物時，必須正確使用搬運工具。此外清楚理解身體狀況，進行檢查，是否有過敏、氣喘、心臟疾病、癲癇、肝炎、腎炎、肺炎等歷史，尤為重要。例如曾有因對動物或化學試劑過敏而引發意外之先例，不可不慎。

警覺性

不可將實驗室當作生活場所，要落實安全衛生管理檢查，切勿單獨進行實驗工作。在實驗場所工作時，應配戴安全防護。若非進行實驗之同仁，應減少在實驗區逗留的時間，儘速離開實驗場所，降低因意外而被波及的可能。研究實驗室是高風險區域，意外發生時，不只實驗操作人會暴露在危險中，周邊的同僚也可能被波及。輕則衣物受損，重則身體受永久傷害，甚至死亡。因此，進入研究實驗室時，任何人都必須配戴基本的個人防護如安全眼鏡及實驗衣等。(圖三)

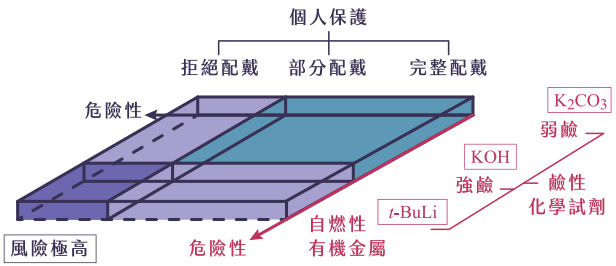
圖三　切勿將實驗室當作生活場所，大意輕忽會引致嚴重之傷害。在實驗室內穿短褲拖鞋與飲食，均為風險極高的行為。

量值觀念

意外事件的殺傷力與實驗所涉及的量值有關。例如運作 10 公升的乙醚，其風險程度將較使用 1 毫升的乙醚為高。濃硫酸的殺傷力度將較稀硫酸為高。1 公斤炸藥所輸出的能量，是 1 公克炸藥的千倍。任意把實驗規模擴大，所承受的風險便加大，其引起災害的潛在殺傷力也增加，解決或復原的機率也因此降低。因此在擴大實驗規模前，必須思考實驗室的安全設施是否能應付意外的發生。

暴險程度

一般而言，儲存在瓶中的化學藥品，對使用者的威脅是不大的。但當瓶子被打開，使用者便會暴露在藥品前，其潛在風險便增加。當使用者與藥品直接接觸時，藥品對使用者的威脅便大增。手套、實驗衣、安全眼罩、鞋子等，便成為自我保護的最後防線。由於實驗進行時，使用危險物品，有些時候是無法避免，因此與危險源保持適當的隔離，降低暴露在危險源前面的程度，為自我保護的最基本方法。因貪圖方便而冒險受傷害，是不值得的行為。綜合以上討論，不難猜想災害風險與發生機率、蔓延機率、殺傷力、暴險程度的正相關性。災害風險越高，解決或復原的可能越低。舉例來說，鹼性試劑依活性順序排列為 t-BuLi > KOH > K_2CO_3，其危險性亦然。在個人保護上，其風險順序為拒絕配戴 > 部分配戴 > 完整配戴。因此，當在使用 t-BuLi 實驗中拒絕配戴保護設備，其暴險程度最高，而意外發生後復原的可能性也低。(圖四)



圖四　配戴保護設備之齊全度與所使用之化學品危險性，決定了意外發生的風險。

警告標語

在高危險處張貼警告標語，可達到提醒作用。對高危險工作區域如輻射物使用區，高壓電源區，運動機械或滑車區，高壓系統區、鐳射區等，應清楚標示警戒區域，以利人員識別，非工作人員切勿進入以策安全。

（三）降低意外發生的策略

危害來源與防治

知彼知己，百戰百勝。主動發現潛在危險源並加以管控改善，消滅潛在威脅，以降低因環境、物理、化學、火災等所造成之傷害。勞工安全衛生法第六條規定（舊法第五條）：雇主對下列事項應有符合規定之必要安全衛生設備及措施。與化學研究實驗室有較密切關係的條文包括：防止機械、設備或器具等引起之危害；防止爆炸性或發火性等物質引起之危害；防止電、熱或其他之能引起之危害；防止高壓氣體引起之危害；防止原料、材料、氣體、蒸氣、粉塵、溶劑、化學品、含毒性物質或缺氧空氣等引起之危害；防止輻射、高溫、低溫、超音波、噪音、振動或異常氣壓等引起之危害；防止監視儀表或精密作業等引起之危害；防止廢氣、廢液或殘渣等廢棄物引起之危害；防止通道、地板或階梯等引起之危害；與防止未採取充足通風、採光、照明、保溫或防濕等引起之危害。

保持實驗室整潔

實驗室應常常清理，廢棄物、廢紙與不需要的化學試劑應儘速移走。廢紙與化學試劑容易燃燒，加速火災蔓延。切勿將物品推放在高處，尤其是在地震發生時，高處落物會帶來傷害。當物品存放於 1.5 公尺以上的高度，應加設護欄，以防物品墜落傷人。（圖五）

圖五　髒亂的工作環境，埋下災害的禍因。

仔細檢查裝備，期汰換老舊儀器

化學實驗以玻璃器皿為主，若玻璃器皿有裂縫，在實驗過程中可能龜裂而引發意外。大家可以想像一下，當反應物在油浴中加熱進行回流時，圓底燒瓶突然破裂所引發的後果。又或者是在加減壓過程中爆裂所帶來的風險。老舊的玻璃器皿同樣會帶來風險，應汰換更新，以免因小失大。

根據本校資料顯示，老舊的電熱板與烘箱是常見的意外源頭。烘箱常因溫控系統老舊失靈，致使烘箱溫度過高而引發火警。周邊環境之硬體因老舊，過度負載，或錯誤使用而引起意外事故。在過去的意外事故中，因電線、電器老舊而引發火災的次數最多。此等發生事故的儀器設備，由抽風機、照明設備，電烘箱、電冰箱、加熱板、吹風機、排風櫃、到貴重儀器如質譜儀等都有紀錄。為減低因硬體失控而引發災害的機率，定期檢查及汰換老舊設備是無可避免的手段。好比監理所規定，舊車必須進行定期檢查一般。汰換老舊設備也許導致一些浪費，但與意外的風險相比，當事者必須權衡比較。（圖六）

切勿使用壁櫃存放化學試藥，試藥櫃應固定在牆壁及地板上，以免傾倒

吊掛型壁櫃可能因負載過重，或錨丁脱落而翻倒，在地震時脱落風險也較高。在壁櫃設計時應加入落地支撐，以減低翻倒之風險。某大學曾因吊掛型化學藥櫃因脱落翻倒而引發火災的事例。試藥櫃層板，應設有承盤欄杆，以免地震時因搖擺致使試藥翻倒。(圖七)

圖六　烘箱常因溫控系統老舊失靈，致使烘箱溫度過高而引發意外。

圖七　因吊掛型化學藥櫃脱落翻倒而引發火災。

化學品的使用或儲存

基於不同之立法精神，化學試劑之分類有所不同。從消防安全角度出發，部分化學試劑被歸類為公共危險物品。公共危險物品為具有一定活性之化學試劑，有引發災害的潛在風險。從勞工安全觀點出發，有機溶劑中毒預防規則、特定化學物質危害預防標準、與危險物及有害物通識規則，列管物質有害物計 371 種化學物質。從輻射防護來看，有天然放射性物質管理辦法。此外因環保需求，訂有毒性化學物質管理法與毒性化學物質標示及物質安全資料表管理辦法等相關法規。另依全球調和制度 (GHS) 列有 27 種危害分類。化學品瓶上應依規定貼上危害圖示與加上說明。(表一、圖八)

依「公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法」規定，公共危險物品分 6 大類，包括氧化性固體、易燃固體、發火性液體、發火性固體及禁水性物質、易燃液體、自反應物質及有機過氧化物、與氧化性液體。GHS 系統多了氧化性氣體、加壓氣體及金屬腐蝕物等三類。另依消防法規定：公共危險物品達管制量時，應在製造、儲存或處理場所以安全方法進行儲存或處理。因此，公共危險物品場所製造、儲存或處理公共危險物品超過管制量時，該場所之位置、構造、設備及安全管理應依管理法規定辦理；而消防安全設備之設置，不論公共危險物品是否超過管制量，應依「各類場所消防安全設備設置標準」規定設置。

表一 全球調和制度危害分類

全球調和制度 (GHS) 列有 27 種危害分類	
爆炸物	有機過氧化物
易燃氣體	金屬腐蝕物
易燃氣膠	急毒性物質
氧化性氣體	腐蝕 / 刺激皮膚物質
高壓氣體 (加壓氣體)	嚴重損傷 / 刺激眼睛物質
易燃液體	呼吸道或皮膚過敏物質
易燃固體	生殖細胞致突變性物質
自反應物質	致癌物質
發火性液體	生殖毒性物質
發火性固體	特異標的器官系統毒性物質-單一暴露
自熱物質	特異標的器官系統毒性物質-重複暴露
禁水性物質	吸入性危害物質
氧化性液體	水環境之危害物質
氧化性固體	

楊秀宜『勞工安全衛生研究所中文版-出版中心-勞工安全衛生簡訊』期別：83，出版時間 96 年 6 月。專欄：技術資訊與問題討論；篇名：簡介化學品全球調和制度 (GHS)。

圖八　(左) 全球調和制度 (GHS) 危害分類圖示;(右) 常見問題發生在老舊化學品上。舊化學品未依規定貼上危害圖示與加註說明。

採購或使用化學藥品前應細閱相關之物質安全資料表 (MSDS)。勞工安全衛生研究所中文版資料庫之物質安全資料表提供了一千餘種化學藥品的資料，以供大眾調閱。

試劑的不相容性

當地震或意外發生時，瓶子可能翻倒破裂，各不相容之試藥因此混和並產生反應，導致不可收拾的嚴重後果，因此不相容的試藥如強酸、強鹼、強氧化劑、強還原劑與易燃有機物，應分開存放隔離，禁水性物質則應遠離水源。若要瞭解各試藥之互不相容特性，可翻閱國內外參考文獻。

化學試劑的存放

不可任意將化學試藥擺放在地上，以免試藥被踢翻倒，引發個人或公共危險。依勞工安全衛生相關規定，走廊通道要保持淨空，以確保逃生通道暢通。(圖九)

圖九　化學品任意擺放在地上，與阻塞走廊通道，是實驗室常見之弊病。

切勿將化學試藥存放排風櫃中

使用後之試藥應放回試藥儲存櫃中。若將過多之試藥堆放在排風櫃內，會導致亂流，致使揮發性化學試藥或氣體溢流到排風櫃外。又遇上排風櫃內火警意外時，便不可收拾。

受管制物質應上鎖管理

實驗室須確保有足夠空間，讓各類化學及生醫物質分類儲存。受管制物質，包括毒化物、甲類先驅物質、感染性生物材料，及輻射物質等儲存時必須受到管制，以防遺失。儲存間應有門禁，並可上鎖，或使用鎖櫃儲存，由專責人員管理，並定期清點所儲存的化學品。實驗室內應有廢棄物暫存空間，以便管控毒性或感染性廢棄物。

清楚理解廢棄物如何處置

實驗後的物質，尚可能具有毒性或活性。要先依文獻步驟處理，使其毒性或活性消失後再倒入廢液收集桶，收集桶外加盛盤保護，其體積應與廢液收集桶的大小相當，以備一旦廢液收集桶破裂時，不至洩漏。酸性、鹼性、有機廢液、無機廢液、重金屬廢液與固態廢棄物，應分開儲存。

化學物洩漏緊急處理

當一般液態化學物洩漏時，可用化學吸附劑或吸附棉先進行吸附，再收集到有蓋廢棄桶，並通知專人移除。市面上有多種化學吸附劑類型，包括專門處理酸性、鹼性有機物，或油酯類之吸附劑，可向代理查詢。

危急處理資訊

危急處理所需的通聯資訊，包括實驗室管理人，實驗室人員家屬緊急通聯，單位主管，環安衛人員或單位、危機處理單位 (消防局，毒災應變中心，原能會，疾管局等)、及醫院急診的報案電話或通聯號碼。此外應張貼緊急及後備逃難路線。應牢記急救箱、滅火器、洗眼器、淋浴裝置的位置與使用方法。

（四）意外發生時的損害管制

建立工作環境防衛圈

意外發生時，工作人員首當其衝。因此工作人員的個人保護裝置是不可或缺，此為防衛圈的內層。若意外有可能蔓延變成災害，便需要依靠實驗室之設備加以阻擋，以爭取時間與機會讓工作人員撤離實驗室，此為防衛圈的中層。實驗室以外的區域，可被稱為防衛圈的外層，包括通道，防火防煙設備，消防動線規劃的管理，都在災害發生時，決定了大家的命運。

實驗室安全及意外防制

為預防化學實驗室發生意外與災害，美國化學會（ACS）的委員及理事聯席會準備了一份『化學學術研究實驗室安全及意外防制教範』，以供教授與行政管理者作為參考。實驗室安全及意外防制負責人，可以依據此教範中的建議及詳細的安全說明為藍本，設計『實驗室化學衛生、安全及事故預防計畫書』，本文以此教範為基礎，整理出一些安全須知供大家作參考。

研究人員基本安全心態

化學研究人員應以安全的方式，執行與化學品有關工作，可以減少發生意外的可能，以及降低暴露在有毒物質污染下的程度。為了減少意外發生的機率，化學研究人員應盡力獲取事故預防的知識、演練的經驗、和預見的後果的能力。適當的化學流程，與相配合的設備、控制與防護工程，能有效遏制或降低實驗意外的殺傷力。正確使用個人防護裝備，減低實驗中的化學品用量，盡可能使用較安全的化學品或實驗流程，以替代高危險性化學品的使用。

在開始一項行動或執行一項實驗之前，應反問，“如果這…會怎樣？”為了回答這個問題，會迫使實驗人員去瞭解自己所使用的化學物質和設備所涉及的危害如反應性、易燃性、腐蝕性和毒性。這將決定您所採取的預防措施。

這種預防性的資訊，可寫成例行書面形式，供其他人員閱讀參考。

有效的事故預防需要上級的直接和熱衷支持，畢竟是負責設施安全支援，沒有上級及所有教職員工成員的積極參與，在意外防止上，很難有成果。要求人員安全與正確地進行實驗，是避免意外發生的最有效方法。了解事故的發生，是一個實驗室安全的起點。現有的規則或法規，是了解事故後為了預防意外再發生而編寫的。

依據勞工安全衛生法及環保法，學術機構有義務負責學生和在實驗室中的雇員的安全。因此各大學需建立和維持有效的事故預防方案，包括勞工安全衛生教育培訓計畫；建立化學衛生計畫；和將相關文件歸檔保存備查；特殊實驗室應符合相關標準及規定。

按分層管理原則，學系所應該負責管理該系之事故預防計畫，包括一般緊急應變，實驗安全，化學、生物感染、輻射防護之特殊實驗預防方案。除了對危險化學品的屬性進行一般審查，甚至防範措施，使雇員熟識物質安全資料表和標籤；及大樓內所有應急設施及其位置、並懂得正確使用應急設施。學系應該負責定期維護和監督檢修。各系安全官有權並落實採取行動，以預防意外發生，也是至關重要的一環。但是，最好的系所安全官也不能減輕高級管理機構、實驗室負責人、學院、工作人員和學生的責任。

事故預防計畫，應包括不斷培訓與不斷提醒實驗室工作人員注意常見的危害如可能出現的化學性、生物感染性、輻射性暴露；及設備和設施帶來的危害。新的資訊和快速的法規變化，使得對人員持續培訓，變得格外重要。甚至有經驗的實驗室工作人員，亦需依據法規每三年進行再培訓。為維護學生和其他實驗室工作人員的工作安全，防止意外的工作計畫，必須包括提供學生和其他實驗室工作人員工作安全手冊。未經訓練的學生、工作人員或訪客，不可觸碰或使用任何化學品。

未配戴個人防護設備者，禁止進入化學實驗室。定期的教育訓練，以確保人員都受過緊急應變訓練，和懂得恰當地使用緊急設備。定期的化學教育訓練，讓學生和工作人員熟識如何正確使用物質安全資料表和危害圖示。化學、生物感染及輻射物質品容器外應標示內容物的名稱、危害成分、警示標語、危害警告訊息、危害防範措施、與製造商或供應商之名稱、地址及電話。並製作清單及定期盤點，以確保妥善儲存。落實相關廢棄物清運，定期檢查實驗排煙設備，包括排煙櫃及藥品櫃排氣裝置。定期檢查安全設施，如消防設備、安全淋浴和洗眼水噴泉等，時間間隔不應超過三個月。定期監測通風系統如新鮮空氣送風系統，以確保正常運作。

擁有化學實驗室的相關系所，應盡力督導其教職員工生遵守化學衛生計畫與相關規則，配戴適當的防護設備，預防事故演練，檢討潛在的健康、安全和環境風險。再三提醒學生在執行任何實驗前，應查看 MSDS 和標籤，及各注意事項。

應定期稽查各實驗室，確保良好管理，提高紀律和執行規則，糾正並及時採取有效的改善措施，定期進行適當的安全疏散演習，留意化學實驗室事故的最新消息與報導，並提高警覺以防範同類型的事故再發生。並要求成員熟識求救電話號碼，或其他緊急通聯方式與求救管道。

(五)自身安全維護與個人防護

眼睛和臉部保護

一致公認，正確的眼睛和臉部保護裝置，能有效阻絕有毒或腐蝕性化學品噴濺入眼睛，亦能阻絕飛行粒子對眼睛和周邊臉部的傷害。進入化學工作區的人員都必須配戴的。

安全護目鏡的使用

安全護目鏡是一面盾牌，必須能防護來自眼睛頂部、底部、前方或兩側的化學噴濺襲擊。一般眼鏡、和只裝有側盾的眼鏡或護目鏡，對化學實驗人員來說，都無法提供足夠的保護。安全護目鏡應能緊貼臉部皮膚，以防化學試劑濺入眼睛。

依美國國家標準學會所定“Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection"(ANSI) z87.11989 (R1998)，保護器類型 G、H、或 K 為當前標準版本。其他眼睛保護裝置皆不適合在化學實驗室中使用。單獨使用面罩無法提供眼睛足夠保護。

配戴隱形眼鏡

在化學實驗室中，配戴隱形眼鏡是否恰當，是一個爭論性議題。據美國化學會指出，研究結果駁斥「配戴隱形眼鏡帶來額外風險」的結論，但一些危險化學品使用工作場所或處理場所，依然禁止配戴隱形眼鏡。

美國化學會認為這些禁令基是於謠言，另外有人認為，配戴隱形眼鏡能有助配戴合適及能緊貼臉部的安全護目鏡。ACS 化學品安全聯合委員會理事會委員會審議強調，在化學實驗室中，雖可配戴隱形眼鏡，但必須同時配戴合格的安全護目鏡。

但使用者必須注意，據 MSDS 資料顯示，某些化學試劑會與配戴隱形眼鏡的材質發生作用，使用該等化學試劑時，不應配戴隱形眼鏡。此外有些學校認為配戴隱形眼鏡會妨害急救，依然禁止配戴，或要家長簽署切結書，以確認責任歸屬。

面罩的使用

有些時候，除安全護目鏡外，面罩是必須的配備。包括當處理嚴重腐蝕性液體、在減少或加壓下使用玻璃器皿、燃燒或其它高溫下使用玻璃器皿、使用低溫液體，或及任何其他可能的爆炸或內爆的實驗時，應戴上面罩，面罩應有足夠寬和長來保護臉上、脖子上和佩戴者的耳朵。

紫外線 / 鐳射防護眼鏡

暴露於紫外線下，會導致眼睛產生不舒服的感覺及損害。吸收這種紫外線輻射使眼睛的外層（角膜和結膜）產生角膜炎、結膜炎。此時應戴吸收紫外線防護眼鏡。使用鐳射時，需要特別的眼鏡保護。

防護服裝

防護服圍裙、實驗衣、手套和其他防護衣物，最好是化學惰性物料製成，應該是容易獲得和使用。請注意，大多數實驗衣和圍裙可能是由可燃燒的物質製成，使用時不見得安全，需多加查證。

手套

手套必須提供足夠的手臂保護，防止溢出的化學物質接觸到手臂皮膚，使傷害機會減至最低的。手套由各式各樣的材料製成，最重要的是手套材質是否可防止藥品穿透。使用前應細細查閱製造商的說明，有關手套的設計，與滲透防護能力。嚴格來說，化學滲透是時間問題，只要時間夠長，化學藥品仍然可透過手套而接觸皮膚，因此當手套受污染應立即更換，亦不可戴著手套在大樓各處走蕩。美國 Karen Wetterhahn 教授因甲基汞中毒，神經系統受損而去世。事後發現，甲基汞能在 15 秒內穿透乳膠手套進入皮膚，不可不慎。

鞋子

腿和腳部，則應由實驗工作服、圍裙和鞋子提供保護。高跟鞋、開放腳趾的涼鞋和拖鞋、布面鞋，編織皮革帶，或其他編織的材料，均不能提供腿部適當的保護，在實驗室中不應穿著。

實驗室安全設備維護

單位有維護安全設備正常運作，與空間不被佔用之責任。實驗室個人保護設備，照明及緊急照明燈、排風櫃與各類排風設備、各類化學吸附劑（巾）、酸鹼中和劑、消防設備（滅火器，滅火砂，滅火毯等）、緊急沖眼器及緊急淋浴裝置要定期檢查修護。維修記錄與單據要保存，一旦意外發生時，各勞檢與消檢單位可能有需要調閱與進行調查，以釐清責任。

（六）周邊公共空間安全維護及大樓與公共空間管理、救災規劃與演練

事件蔓延擴展的機率

意外是否會發展成災害，取決於意外的特性與意外發生後的應變方法與速度。具擴展性的意外，往往帶來意想不到的嚴重後果，導致人命傷亡與財損。因此，在教育訓練時必須對災害的特性有深入的認識及充分的討論。例如火災是危險的，因為火警意外具有高度的發展性，應變時間短，有可能在兩三分鐘內，甚至數十秒內便失控。因此，在進行有可能引發火災的實驗時，必須同時準備恰當的滅火器具。此外水災也有蔓延的可能，由於大部分大樓的樓地板缺乏防滲漏功能，大量積水會滲透樓地板，波及下層的實驗室。因此，水管總開關的位置必須瞭解清楚。感染性物質外洩同樣具有發展性，視乎感染性物質的

傳染力與殺傷力。感染性物質的殺傷力，雖然可分為許多等級，但縱然傳染力與殺傷力較弱的種屬，對身體較虛弱或年紀較大的長者，仍然有強烈的傷害力，不可不慎。所有相關的實驗與感染性樣品的保存，應有恰當的管制與消毒機制。

公共空間管理

研究實驗大樓為風險程度較高的校舍建物，公共空間管理、救災規劃與演練，理應依規定嚴格執行，以保障公共安全。建築物公共空間，係指本校建築物內供公眾自由出入之處，包括走廊、直通樓梯、安全梯、屋頂避難平台、避難層出入口、避難層以外樓層出入口、緊急進口等，不可違建與佔用。並應依建築物公共安全檢查簽證項目定期進行建築物公共安全檢查。依建築物公共安全檢查簽證項目表分類規定：防火區劃、非防火區劃分間牆、內部裝修材料、避難層出入口、避難層以外樓層出入口、走廊（室內通路）、直通樓梯、安全梯、屋頂避難平臺、緊急進口，屬防火避難設施類。另昇降設備、避雷設備、緊急供電系統、特殊供電、空調風管、燃氣設備，屬設備安全類。建築物逃生避難之出入口、走廊、直通樓梯、安全梯、特別安全梯（排煙室）等類似空間，如堆置物品妨害通行或於防火門擅自增設拴鎖等情事者，專業檢查人應立即通知申報人改善，應立即改善，並不得以提列計畫而拖延改善。平常應有合格廠商定期維護，並留下檢修記錄以備查證，作為使用者的一員，則應盡力監督。

大樓維護

研究實驗大樓的使用者，對每天在使用的大樓之維護、保養及使用狀況，往往是一無所知。但大樓中許多設備，對使用者的安全有密切關係。例如大樓的避雷設備是否保持正常運作，與各教職員工生的安全有極大的關聯，在夏天，發生雷擊的可能性高，大學裡建築曾經發生因雷擊後造成屋突水泥崩落的情形。若大樓因老舊而發生滲漏水現象、天花板或牆壁、外牆有龜裂或剝落現象、天台有積水或滋生雜草等，應盡速報修處理，以免發生意外。此外大樓陰暗角落應加裝照明，若廁所設計不良，容易偷拍，隱私不佳，或被佔用作其他用途，或堆放雜物，或躲藏小偷。廁所求救鈴應定期維護測試，並保留檢修記錄備查，以維護安全。若實驗化學品、毒化物、輻射品遭竊盜，後果嚴重。應盡速通報改善。

又依中華民國刑法，阻塞公眾得出入之場所或公共場所之逃生通道，致生危險於他人生命、身體或健康者，處三年以下有期徒刑，大家必須注意落實管理。

切勿佔用或堵塞消防救災通道

大樓周邊應加強管理。大樓周邊停放之腳踏車、機車與雜物會妨害消防救災。因此，消防救災通道與空間應優先保留，並嚴格管理。通道應有迴旋空間，以備救護車進出，將傷患送醫急救。校園裡最常見的問題，是大樓周邊的腳踏車隨意停放，及樹木蔓生，確乏管理，造成救災困難。大樓各使用單位，應盡管理之責，確切宣導管理，或通知校方移走拖吊。（圖十）

圖十　大樓周邊停放之腳踏車管理失當，妨害救災。

切勿任意移動、挪用或堵塞防救災設備

防救災設備是依法設置，切勿任意移動、挪用。設備周邊應保持淨空，平常要落實保養。實驗室中所需要額外之防救災設備如滅火器，滅火沙，滅火毯等，應盡快添購並置放在當眼處。

(七)災害防救規劃

依災害防救法及教育部「各級學校校園災害管理要點」規定為健全災害防救體制，強化災害防救功能，以確保人民生命、身體、財產之安全及國土之保全，成立各級災害應變中心執行災害應變工作，並由災害應變中心指揮官負責指揮、協調與整合。各級災害應變中心應有固定之運作處所，人員應能熟記本校緊急聯絡電話，與接受基本消防訓練，並陳列緊急通報圖示及負責人資料，以方便緊急通聯。在實驗室門外應留有緊急通聯資訊、海報及其他警告標誌。

大樓應設有逃生疏散規劃動線圖。滅火器應安放在指定之當眼處，周邊應保持淨空，以便能快速取得。消防設備如偵煙 / 偵溫警報裝置、消防緊急照明裝置、逃生方向指示燈、消防警鈴、防火捲門及各級防火門、法定緊急逃生工具、消防緊急發電系統、緊急排煙系統、廣播系統及消防栓，應定期保養維護，並保存記錄，以利檢查確認。

防火捲門下方與常開型防火門周邊切勿堆放雜物，以免防火捲門與防火門無法在火災發生時完全放下或閉合。管道間的門應關閉上鎖，以防火災向上蔓延。常關型防火門平常應保持閉合，以防火災時火煙蔓延，但不可上鎖，以利逃生。

防災演練

學校成員的流動性大，部分系所每年的新進人員可能接近 30%。各院、系、所及中心應定期進行演練。與大學校園環境相關的常見災害有火災、爆炸、輸電線路災害、森林火災、毒性化學物質與危害物質災害，生物感染與輻射物外洩等。各單位每年應以不同的假想情境作演練與討論，以提升人員之應變能力。最近天然災害頻繁，各單位亦應以複合性災害作為演練的對象。(圖十一)

圖十一　各單位每年應作演練與討論，以提升人員之應變能力。

火警應變

消防演練為防災演練的一種。應依消防局公告之導引進行管理訓練，每半年演練一次。亦可參照網站上消防局公告，或請轄區消防局教授消防管理訓練。

求救

火警通報及請求緊急救護，請撥「119」電話、電信局轄內各公共電話「119」緊急通話不須投幣。行動通話亦可撥「112」緊急救難專線。或實驗室受騷擾威脅，可撥「110」報案台治安專線。若校內使用分機系統時、應加強宣導如何使用分機系統通報求救。

報告火警時，應將發生地點、如某大樓、某道(路)、及附近明顯標誌一併報出，以便消防人員易於尋找。通報前應確認自身安全，並通知校警衛。校警衛除能作臨時指揮外，亦能引領消防人員以最短時間到達災場。又通知系所辦、系所主管、實驗室負責教授、與研究人員到場。實驗室內環境複雜，負責教授與研究人員到場，說明實驗室化學藥品之種類分佈，以協助消防人員撲救。

發生火警時，應一面派人報警 (119 或 112)，一面撲救。切勿驚慌失措，僅顧逃生或搶救設備，而延誤報警，通報時應清楚說明火災地點，保持聯絡，不要隨便掛斷，直到待救災人員確認一切救災資料。

被困者應先尋找安全點避災，並設法求救，讓同仁瞭解被困之地點，以便營救。由於是否有人被困，會影響消防人員的救災方法，若發現有人被困，應第一時間向消防人員報告。

毒化物或輻射物運作場所救災流程

若實驗室為毒化物運作場所，或輻射物運作場所，必須依法立即通報該校環安衛單位聯絡各相關主管機關到場處理。

撲滅要領

救火最重要的時刻，是在剛剛起火時，因火源尚小，很容易撲滅，能把握這個時候將火勢壓制，就不致成為火災了。誰能在起火最初時刻把火勢撲滅？只有在起火現場裡面的人，除平時要注意防火，而且要接受滅火訓練，與進行裝備檢查。對所有教職員工生實施消防組訓，以便發生火警時，能自行迅速撲救，消弭災害於初萌。一般物質之初期火警，可用滅火器、滅火毯、滅火沙、土及水，或以浸濕的棉被浸濕覆蓋撲滅之。當火警無法撲滅，火災與煙害將蔓延，災場溫度會快速上升，引發其他物品燃燒，應立即疏散逃生。

疏散逃生要領

切斷電源，以免發生二次災害。人員疏散，撤離實驗室後將門關上。此兩步驟最為重要，能使煙害蔓延速度減緩，火警在缺氧情形下之燃燒與蔓延速度亦減緩。按警鈴，通知各樓層撤離。撤離時不可使用電梯。應注意的是，新系統的警鈴在按壓後，只有事故樓層與上下各一層，共三層之警鈴會響起。若火警無法撲滅，總機應立即按下警鈴全大樓撤離。撤離大樓後應儘速清點人數，有失蹤者應通知警消注意救援，實驗大樓中有各種設備及危險品，清點人數後應儘速遠離，切勿圍觀，妨礙救災。如果遭遇煙害，溫度較高的濃煙常聚集在靠近天花板等較高之處，應彎腰貼近地面，避免吸入濃煙，導致傷害。實驗室中之化學品燃燒，會散發各種有毒氣體，應保持警覺。

平時準備

在平時即要有危機意識，多利用機會瞭解消防安全常識及逃生避難方法，另外，認識辦公環境、消防設施及逃生避難設備，事前熟讀避難計畫動線，參加演練，於狀況發生時，便能從容應付，順利逃生。切勿自作聰明，逃避演練，於狀況發生時，便驚慌失措。進入陌生場所時，應先注意安全門、梯的位置，查看有無加鎖，熟悉逃生路徑，更應特別注意是否有兩個不同逃生方向出口，以策安全。

（八）電力安全

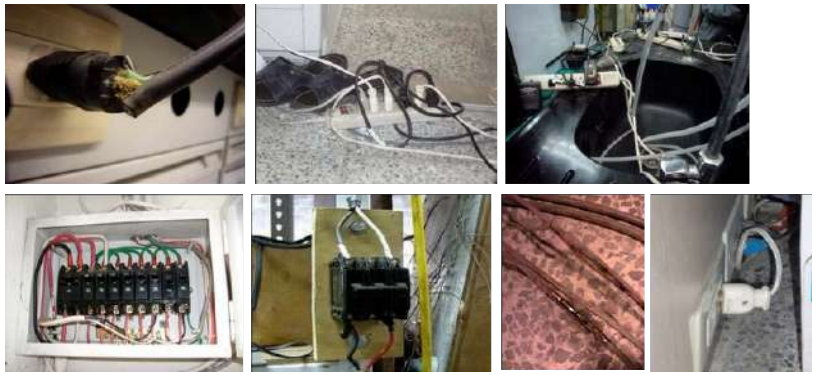
實驗室意外中以電力意外頻率最高。常見之意外包括觸電或短路引發火災。切勿阻擋配電盤（箱），若配電盤（箱）被阻擋無法開啟，緊急時便無法進行斷電，妨害營救工作進行。電線電路須由合格之技術人員依技術規範安裝。電線裸露、負載過高（如焦化、發熱等）、絕緣被覆老化破損、插座插頭與開關有破損、電線相接時未使用接線盒等，為常見意外之源頭。使用時插頭應完全插入插座中。插頭鬆脫或插座裝置於潮濕場所或環境中（如水槽周圍），容易發生觸電或漏電短路等意外。

減少使用延長線

實驗室中使用延長線極為普遍，但意外發生率也高。延長線為臨時使用而設，有許多缺點，但價錢並不便宜。經驗上，實驗室花在購買延長線之經費，與聘請合格技術人員安裝電力迴路之價格，相去不遠。常見問題包括延長線不合國家標準（CNS 等）、延長線超負荷使用、延長線缺乏過載保護裝置、延長線因過長而綑綁捲曲，致使散熱不良，引發火災、或為方便，讓延長線橫越通道地板上，因長期踩踏而磨損裸露等。

汰除老舊或不明規格之電器

電器過於老舊（如生鏽，破損）或使用未知或不明規格之電器，容易引發意外。切勿將雜物懸掛或放置於電線或電器上，容易因散熱不良，引發火災。某大學曾發生老舊收音機因短路引發實驗室火警之意外事故。（圖十二）



圖十二　電力安全管理中，以電線破損、濫用延長線、插座裝置於潮濕場所或環境如水槽周遭、未妥善安裝配電箱防護板、未使用接線 / 開關盒、電線橫越通道地板上長期踩踏而磨損、或插頭未完全插入插座中等問題最為常見。

（九）實驗室設計

卓越的研究型大學，需要不斷的演化，以更新其設施。研究大樓的建設，為滿足衛生健康及安全需求，需要有一些基本設計策略或原則，作為建設參考依據。實驗室環境衛生安全設計指南之訂定，能協助設計者能瞭解化學實驗室常見問題與設計共通準則。由於跨領域研究甚為普遍，化學大樓內也可能需要設置其他如放射性實驗室和生物安全實驗室。由於中央並未定有實驗室建設之相關專門法規。建築師往往只按照建築法規、消防法規、衛生法規與環保法規等規定作依據，有關實驗室專業設計部分，得有賴使用者提供意見。但使用者又並非建築與工程專業，而引發矛盾。由於這些策略原則可能會影響專案的決策，若各校能訂定環境衛生和安全實驗室設計指南，以為學校社區提供規劃諮詢，有效修正設計問題，及協助檢討建築規劃，提高設計效率，以達最優化之實驗環境，減少金錢、時間、與空間的浪費。

對於化學研究實驗室與研究大樓。除依照現行之建築、消防、環保及勞工法規而設立外，應遵守環境衛生之規範，以確保校園之安全。除化學設備外，也包括操作危險性機械 / 電力 / 光學 / 輻射 / 化學或化工 / 生技等設備、或使用及製造化學品 / 輻射源 / 感染性生物體 / 或塵粉等場所，會對實驗操作人員、周邊人員、鄰近民眾帶來潛在之威脅，意外發生時造成災害及環境傷害。因此設立前應就所在地進行環境安全衛生評估，並請建築師就評估項目提出對應之處理方案。若客觀環境因素，致使其災害威脅無法消除或降低時，應停止興建或運作，或重新規劃，直至災害威脅消除為止。當環安衛法規有所改進及修正，應依據新法規進行改善。

大樓之規範、細則、地理環境條件

大樓選址須儘量避免建築在順向坡地，山泥傾瀉潛勢區或土石流警戒區、或低窪地帶之水災風險潛勢區。大樓一樓之樓地板高度應高於地面，大樓停車場車道出入口應設置止水溝與防水閘門，以減少水災風險與損失。綜合教學研究大樓之教室應設在較低樓層，方便大量學生逃生疏散，減少災害發生時人命傷亡風險。化學實驗大樓應特別考慮加強建築防火設計。化學性研究實驗室應避免設立在地下室，以免救災困難，或因水災造成毒化物、危險品、輻射物、及感染物洩漏。「註：請參考危險品管理條例與八八水災有關防止毒化物外洩之通告。」危險性化學研究實驗室應設立在實驗專屬大樓，避免混雜於綜合教學之間。研究大樓則應遠離教學大樓、圖書館、活動中心、醫院、或宿舍等人口稠密處，以免因意外造成大量傷亡。對室外污染物排放與噪音管理問題亦較容易處理。將一般樓房改設為化學研究實驗室時，應經專業評估（結構、消防、電力、排水及通風空調）及申報變更，以合乎安全需求，並對周圍的環境可能帶來的不良影響進行審慎評估。

公共空間

化學大樓最好採用開放式走廊通道。若為室內走廊通道，除特殊需求外，應設窗戶接連戶外。另設自動緊急排煙設備。走廊不得封閉、阻塞或堆置雜物，地板面不得有高低差，並不得設置臺階。逃生通道上不能私設門禁，妨害逃生。若必須被門禁分割，則被分割之區域應視為獨立之防災區域，需各自規劃獨立之安全逃生動線。走道及逃生出口，應取雙向逃生原則設計，需要考慮在事故發生時，逃生途徑不至被封閉受困。若在單點事故情況下，出現無法逃生之死角，則建築師應重新規劃走道之逃生動線。設計疏散規劃時，走道之寬窄與安全梯之數目，應視大樓實際使用者之人數而定。如有需要，建請建築師以較高之安全規格審視。避免使用直長樓梯設計，以免在逃生時因推擠而發生意外。實驗大樓樓梯應有窗戶，避免火災發生時濃煙累積在樓梯間，妨害逃生。若安全梯之出口直接通往戶外，則出口位置與車道應最少距離 5 米以上，且必需視野良好，並有足夠空間，以利人群疏散。不論建築物之樓層高矮，校園建築物應採取雙樓梯（或以上）設計。大樓內各樓層應預留救災空間，以利消防人員進行救災。室內安全梯應設對外窗戶以利排煙，或設有自動排煙功能之機械設備。

管道間

隨著時代進步，許多研究大樓在更新時，便碰上管道間不足的難題。研究實驗大樓對管道間需求較一般教學辦公大樓為大。研究大樓對管道間設計時應注意：排煙管道、給排水管道、空調 / 冷卻循環水管道、新鮮空氣送風管道、特用壓縮氣體管線道、消防 / 消防排煙管道、廢水處理室 / 緊急發電室之排煙管道。管道間屬於指定用途，必須預留，不可挪作他用。管道間之位置應方便管道維修。需重度排風的實驗室，需要較多管道，由於排風管道是一直往上延伸到屋頂，佔用面積較多。因此排風管道間位置的安排極為重要。由於現代研究實驗大樓樓層高，管徑不宜過窄，影響排風能力及噪音的增加。各管線管道應進行編碼，與其進出口對應，以便維修檢查。

大樓外公共救災空間

化學大樓設計時應保留大樓外救災空間，以讓救護車與消防車輛進出及雲梯運作。(建議最少保留停放三輛消防車輛之空間，是否需要更多的空間，應隨大樓學生容量及危險性而作增加調整)。大樓與大樓間保持合理間距。救災道路寬度建議在 5.5 公尺以上，並預留雲梯車運作空間。存放大量易燃物 (如溶劑、木材、紙張等) 之大樓，應預先通報，請建築師列入計算，建議與相鄰大樓最少有 8 公尺以上的距離，否則火災發生時，其火苗及高溫可能波及相鄰的大樓。大樓周邊應減少腳踏車停放規劃，以免影響救災。應注意公共藝術品之擺放位置，以免妨害救災動線。綠色喬木之栽種與大樓應保持距離，以免火災發生時，喬木被點燃焚燒而引發更大災害及妨害噴水救災作業。遮陽板之設計不應妨害雲梯運作之救災之功能。大樓外其他設施之位置如變電站、路燈，液氮槽等，應一併列入考量中，以免妨害救災。

排水

天台雨水排水應為室外獨立管線，直接排出至雨水涵管。不可引入筏基再排出或與其他樓層之陽台雨水排水共用管線，以免因管線堵塞而致使大量雨水倒灌進大樓內。天台雨水排水管線不應繞道進入大樓內，以免因管線破裂而引發大樓淹水。實驗大樓應設有實驗廢水處理設備及廢水暫存槽。實驗室之排水 (含地排) 管線應先進入廢水暫存槽及廢水處理系統，所產生之廢水經監控及格後再行排放。除滿足環保要求外，更能防止化學品因意外打翻而進入排水系統而直接流入下水道，有效防制污染擴散。廢水處理設備室及廢水暫存槽應設有通風管 / 排風設備，將廢氣經過濾處理後排往高處，以免廢氣累積室內。廢水處理設備室及廢水暫存槽應設有緊急關閉 / 導流系統，以免因廢水處理設備故障而導致室內淹水。

配電室

大樓之電力供應，對大樓之安全極為重要。因此設計時應多加注意電力供應系統之保護。配電室應有良好之散熱環境，減少對機械散熱的依賴。人員最好能由室外進入，方便 24 小時搶修，大樓的配電室平常應鎖上，鑰匙由學校配電室職員管理。大樓配電室、變電站、電力匯流排，上方天花板不應有供排水線經過，以免因管線破裂引發水災而破壞供電，亦應避免任何滲漏水風險。大樓配電室與變電站不應設在有淹水潛勢之地方。若設在地下室，應注意潮濕及凝水之問題。最好四週有複壁，以防止濕氣進入。應額外預留空間 (最少 30%)，以利擴充維修。

地下室與筏基

在地下室設置化學性實驗室有一定之風險。地下室有通風條件較差與散熱不良，且火災時難以救援的缺點。依『公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法』，六類公共危險物品製造場所或一般處理場所之構造，不得設於建築物之地下層之觀點，化學性實驗室應避免設置在地下室。為增加使用率，許多儀器室會設在大樓地下室。除火災威脅外，淹水也極有可能發生。地下室的水流，會先被集中到筏基層再用機械排水設施排出。若排水主機故障，地下室有可能發生淹水。為確保貴重儀器安全，最好設有備用機械排水設施，以因應排水主機故障而淹水威脅。應設有筏基水位警告系統，隨時監視筏基水位。地下室應有良好之新鮮空氣循環換氣系統與緊急照明。一般地下室是沒有天然光源，對逃生來說，緊急照明尤為重要。設在地下室的緊急發電機應有排煙管，將廢氣排往高處，不可直接排至一樓戶外，除可避免影響鄰居，亦可避免廢氣倒灌到地下室，造成危險。緊急發電機房應有良好之散熱環境，以免因過熱而停機。緊急發電機房應有良好之通風環境，以免柴油或發電機廢氣累積在地下室。可燃性廢液，有毒與窒息性氣體，與危險性化學物品應避免在地下室存放或於地下室運作，以免火災與淹水時造成二次傷害。

裝潢規範

依『建築物室內裝修管理辦法』，室內裝修不得妨害或破壞消防安全設備，其申請審核之圖說涉及消防安全設備變更者，應依消防法規規定辦理，並應於施工前取得當地消防主管機關審核合格之文件。化學大樓之裝修，應採用不燃建材或耐燃材料。危險性研究實驗室之裝修，除依建築物室內裝修管理辦法外，應注意各類實驗室設計規範。裝潢期間，應避免用火或電焊工法，過去已有不少因裝潢引發火災的案例，並注意粉塵安全。若有在牆壁打洞貫穿，務必要廠商用防火填塞回填，火災時才可有效阻止火勢蔓延。

實驗室的門與隔間

實驗室為處理和貯存危險材料的地方，本質上帶有暴露和危害的風險，實驗室應與外間隔離，隔間牆與門窗應特別考慮加強建築防火設計，尤其是使用具爆炸性，可燃性，易燃化、或助燃性化學藥品的實驗室更應注意。為提高安全，依『公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法』有關六類公共危險物品製造場所或一般處理場所之構造規定標準，實驗室窗戶及出入口應設置三十分鐘以上防火時效之防火門窗；牆壁開口有延燒之虞者，應設置一小時以上防火時效之常時關閉式防火門。窗戶及出入口裝有玻璃時，應為鑲嵌鐵絲網玻璃或具有同等以上防護性能者。實驗室門之材質應合乎消防規定，不可擅自更換或拆除。實驗室門應裝有視窗，以防止開門時意外撞倒另一邊的人，讓進入實驗室者意外被撞受傷。大門應由內往外推向逃生通道。門廳有足夠空間，使大門推往外時不至阻擋通道。隔戶牆則應有一小時以上防火功能，如此火災發生時，可暫時阻擋火災蔓延，等待消防人員到場救援。

一般活動區應和實驗研究區分隔，為實驗室員工提供單獨的辦公室空間。當學生需要與實驗室工作人員、指導員和助理訪談討論時，其

互動空間應與實驗研究區分開，以獲更大的安全保障。一般非實驗室活動區，包括儲存食物、進食、化妝、會議等最好在不同樓層進行。在實驗區或危險化學品儲存區，應禁止儲存食物、進食、化妝或嚼口香糖。工作人員的辦公空間應有出入口與公眾走廊相通，如此當一般公眾人仕到訪時，可直接進入辦公空間，而無須取道實驗區。

通道及逃生動線

使用單位有保持通道淨空之責任。在建築設計時，實驗室應有二個或以上之出口。直接與逃生走廊相通。如無法全部通向走廊，應設緊急逃生門通向鄰室。使用者不可將緊急逃生門堵塞或上鎖。

防蟲設施

如果實驗室有可對外打開的窗戶，必須配備防蟲紗網。特別是會飛的昆蟲，被公認為疾病載體。此外任何突如其來的飛蟲，都會引起驚嚇而發生意外。當實驗進行時，實驗室門應關上或設防蟲紗網，以降低風險。

電力供應與分電盤

實驗室內的迴路，應安裝安全地線，並設有緊急斷電按鈕，在緊急時將實驗室電源切斷。潮濕的環境下，應裝設漏電斷路裝置。若有需要，應規劃配設緊急用電迴路。延長線只適合提供臨時用電需要，若要長期使用，應由合資格的電器技術人員（或技師）施工安裝固定電力迴路，其插座，電線，開關的規格，均較延長線可靠。任何電力迴路變更，應由合資格的電器技術人員（或技師）施工安裝，並應附上更新後的電力單線圖，送總務處歸檔。

樓地板

濕式化學實驗室，其地板最好是不透水且與牆壁需連成一體，或安裝耐溶劑的地板墊，以防止外漏的物質滲透到大樓結構中。一般地板磚，無法在化學溶液打翻時防止液體滲入大樓地板或結構中。不應隨意貫穿樓地板或在樓地板打洞，除有可能破壞結構外（如切斷鋼筋）污染物亦有擴散的可能，一旦發生火災時，會向上延燒。需注意實驗室樓地板的載荷量，以配合實驗設備重量的需求。若大樓的規格與需求有落差，應予補強或改變規劃。有高載荷重需求時，應向建築師提出。載荷重需求較大的實驗室，應安置在較低樓層。

天花板

天花板高度宜在 3 公尺以上。國內外火災實例的統計數字顯示，火災中引起傷亡的主因，乃高溫煙氣所導致。火災中死亡人數，受煙害致死的約佔三分之一到三分之二之間。火災時熱空氣與濃煙會往上升而聚集在天花板下，在天花板以下之空間，火災時正是熱空氣與濃煙聚集處，一般人體高 150-180 cm，從這一觀點可知，低矮的天花板高度，帶來較高的潛在風險，若天花板高度較高，逃生機會便增加。考慮實驗室內可能有較多的易燃物，火場溫度上升較快，濃煙量亦大，因此，天花板高度不宜過低，在建築與裝潢時應特別注意。

地震減災注意事項

若有使用天然瓦斯與易燃氣體，應設自動觸發的氣體閥，在地震發生自動關閉。此外須在研究和教學區域設置手動關閉閥。若使用大片玻璃窗戶作為內部隔間或櫃門時，應採用不碎防爆玻璃，在地震發生時，人員不致因玻璃爆裂飛濺而受損傷。各類藥品櫃、儲存櫃、儲物架或書架，排風櫃與實驗桌等應予固定，靠牆壁的各類櫃與架可鎖定在牆壁上。當物品存放於 1.5 公尺以上的高度，應加設護欄，以防物品墜落傷人。

室內工作場所環境與空間

室內工作場所主要通道寬度應大於 1 公尺。兩邊實驗桌、排煙櫃、生物安全櫃等實驗設備對向，工作通道寬度應大於 1.5 公尺（每一邊實驗桌的工作空間約為 0.7-0.75 公尺）。實驗室內的擺設，不可產生有逃生避災的死角。需要在事故發生時，均有途徑讓人員逃生。工作臺面應抗化學腐蝕、光滑，容易清理。工作臺面，包括電腦領域，應符合人體工學的功能，並應可調節。工作實驗桌下方應該留有空間，放置椅子及讓操作的人員膝部放置，使操作人員能靠近儀器設備進行操作，長時間工作亦不會造成人員傷害。為沖洗危險化學品、生物性或生化製劑的洗手盆，有可能需要安裝手肘或電子控制之開關。不要安裝過多的排水槽杯。不常用的排水槽杯，水槽下方的存水彎管容易乾涸，導致排水溝中的異味跑進室內。所有實驗室應該都有預留的儲存空間，以存放雜物用品。

空氣對流

負壓實驗室氣壓梯度原則：「環境氣壓」>「實驗室大樓走廊通道氣壓」>「實驗室內氣壓」>「排風 / 煙櫃內氣壓」。實驗室使用時通風率應確保每小時 8-10 次：實驗室需通風良好，建議一般實驗室換氣率需達每小時 8 次以上，化學性 / 生物性或有氣體排放的實驗室，建議採用換氣率達每小時 10 次以上標準。非使用時亦應保持每小時 6 次以上。無對外窗之實驗空間，必須有機械換氣及自動偵 / 排煙裝置。將一般樓房改設為需要良好通風的化學研究實驗室時，應注意以下問題：最低樑及天花板的高度是否足夠通風管道安裝；是否有預留管道間或室外風管安裝是否可行；通風管道是否要延伸至屋頂排放；屋頂是否有空間安裝抽風機及過濾裝置；通風管道安裝、排放與機械噪音會否影響周圍其他大樓；新增的通風管道與抽風機的安裝是否影響大樓的外觀。這些細節，其實與環境安全息息相關。

換氣及通風裝置

大部分化學實驗室為輕微負壓，為降低氣味閾值，可考慮設置通風化學品儲存櫃與實驗用排煙櫃。有害氣體如矽烷、氫氟、氯氣，一氧化碳等，必須放在通風的鋼瓶櫃中。排煙櫃的工作桌面應有凸邊圍繞，以防意外發生或化學試劑打翻時外洩到排煙櫃外。在實驗室中，水平層流氣流應與排煙櫃的正立面垂直。排煙櫃安放的位置應盡量避免不明氣流的干擾，最好遠離人流，出入口，對外窗戶，通風口（如冷氣，新鮮空氣送風口，排煙櫃補氣口等），以防氣流將櫃內的化學試劑帶出到實驗室內。排煙櫃首選採用單片垂直滑動門窗，較橫向水平滑動窗門，或多片門窗為佳。面對面擺放的排煙櫃，中間走道寬度應保持 1.5 公尺。除維護安全原因外，排煙櫃距離太近的話，排煙櫃的氣流會相互干擾，造成櫃內外壓差不足，面風速無法達最低要求。當窗扇打開時，依據美國化學界標準，排煙櫃的面風速應達每分鐘 100-125 英尺（每秒鐘 0.50-0.64 公尺）。使用有毒氣體鋼瓶時，排煙櫃的面風速應達每分鐘 200 英尺或更高規格。排煙櫃最好配有壓力錶，以連續監測空氣流速、面風速、或壓力差。當空氣流速不足時，會發出警報聲音。排煙櫃帶來的室內噪音（指風櫃前室內噪音值）不應超過 65 dBA。為防止污染物洩漏到工作區，排氣管道應使用硬式管。過氯酸排煙櫃，需為不銹鋼（如 316 型）結構，並設有清洗系統，和獨立的專用風扇。需安裝過濾器的特用排煙櫃，如放射性同位素專用櫃或生物安全櫃，其過濾器的位置，應放置在易於維修處。

安全衛生設備

實驗室應設有足夠照明，及緊急照明燈，損壞之照明設備必需儘速更換。化學性實驗室內應有空間擺放各類化學吸附劑（巾），酸鹼中和劑及消防設備（滅火器，滅火沙，滅火毯等）等。每層大樓應常設緊急沖眼器及緊急淋浴裝置，24 小時開放。使用單位有維護設備正常與潔淨，及空間不被佔用之責任。緊急沖眼器及緊急淋浴裝置與實驗室距

離應在 30 公尺以下。沖眼器、緊急淋浴旁不可有電器，以免沖眼器、緊急淋浴使用時發生漏電。有毒物或病原微生物能由手傳入口中，因此每一個實驗室必須裝有洗手水槽。水槽最好安放在實驗室靠近進出口處，當實驗人員離開實驗室前必須洗手。(圖十三)

圖十三　(左)使用單位有維護設備正常與潔淨，及空間不被佔用之責任。(右)沖眼器、緊急淋浴空間被用最為常見，一旁設置電器時，使用期間將發生漏電風險。

實驗室空間配置

恰當的實驗室空間配置，可有效降低意外發生時帶所來的風險。例如室內擺設不應產生逃生死角。排風櫃與易燃化學品儲存櫃，應遠離實驗室出入口，以降低火災發生在實驗室出入口的機率。易燃化學品儲存櫃，應遠離電熱設備如烘箱，以降低化學品被點燃之可能。由於在排風櫃內發生火警之可能性較高，因此應避免使用排風櫃下方之儲物空間，儲存易燃化學品。也應避免用來儲存腐蝕性化學品，以免排風櫃因鏽蝕帶來風險。洗手水槽需有凸起邊緣，以防止實驗桌上的實驗物質打翻時流入排水管中。化學藥品儲存櫃不可設在洗手水槽上方，以避免化學藥品不慎打翻時流入排水管中。水槽附近之電源插座必須是固定式，並安裝在距離水源較遠高處，以降低因水的潑濺引發漏電，並應安裝漏電斷路器，以防意外發生。不可使用電風扇，以免亂流將有毒物質從排風櫃內帶出。安裝任何設備時，要注意是否會阻擋電盤之開關，消防設備、偵煙器與緊急排煙之運作，與逃生動線。(圖十四)

圖十四　由於使用排風櫃，實驗室空調效率較差，較為悶熱。但不應使用電風扇，以免亂流將有毒物質從排風櫃內帶出，影響安全。

廢液暫存

廢液與化學品同樣具有危險性。大量危險物品應移至獨立建築之庫房中，而非在大樓內儲存。同樣的，實驗大樓內的廢液，亦應避免集中儲存，否則火災時將難以控制。廢棄物儲存空間只用作暫存，以待清運。若實驗室沒有足夠空間應付廢液的暫存，而需移置庫房，則建議應採分散儲存 (satellite storage)。移出之廢液應已去活，具活性之化學藥劑不可移出實驗室。室內庫房之廢液儲存量，不能超過『公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法』法定管制標準。庫房應有滅火、偵煙、防爆照明與空調，排風管道應裝有防火閘門，在火災發生時將庫房隔絕。廢液暫存庫房應為陰涼角落，避免曝曬。有良好通風，遠離火源、熱源，遠離逃生通道，不要靠近配電設備。廢液暫存庫房應加強建築防火設計並有隔火能力，庫房門應為防火門，可上鎖，並必須受到門禁管制，以利管理。備有防爆照明、防爆電器、空調，及消防滅火設備。庫房內須確保有足夠空間，安放合格之廢液櫃，以利清運與暫存。廢液櫃應為構造堅實的防火櫃規格。儲存室內溫度宜在 30 °C 以下，相對濕度不超過 85%。(圖十五)

圖十五　（左）廢液庫房內須確保有足夠空間，安放合格之廢液櫃，並設有不鏽鋼材質的盛載桶，以防止塑膠廢液桶因破裂而造成污染。（右）不良的廢液暫存庫房例子。塑膠廢液桶可能因重力壓迫而破裂造成污染，嚴重時可能引發中毒或火災。

腐蝕性化學品之儲存

用來儲存腐蝕性化學品之儲存櫃，應注意結構材料的抗腐蝕能力，以免櫃體結構因長期腐蝕，不堪負荷坍塌而引發意外災害。存儲櫃最好是落地櫃以加強支撐。腐蝕性化學品之儲存點應遠離電源或電力設備，台灣曾有因電力設備鏽蝕而引發火災記錄。

易燃液體之儲存

易燃液體儲存需求應有上限，不可超量。除非是使用金屬安全罐，否則易燃液體必須儲存在易燃品儲藏櫃，不要隨便將易燃液體儲存在櫃外。此外大量易燃液體不可儲存在逃生出口處。易燃品儲藏櫃，除非藥品會發出異味，最好盡量不要採取排風設計，以免火災發生時，火舌沿氣流引燃櫃內易燃液體。

壓縮氣體

高壓氣體設備及容器使用，包含可燃性氣體，毒性氣體、氧氣之高壓氣體容器，不論盛裝或空容器，搬運，貯存，運作場所應依『勞工安全衛生設施規則處理』及『高壓氣體勞工安全規則』。對於高壓氣體之貯存，應依規定辦理。使用壓縮氣體的實驗室應該保持通風良好，有專屬儲存區，並且應配置鋼瓶固定設備。非使用時應裝妥護蓋。貯存場所應有適當之警戒標示，禁止煙火接近。貯存周圍二公尺內不得放置有煙火及著火性、引火性物品。盛裝容器和空容器應分區放置。可燃性氣體、有毒性氣體及氧氣之鋼瓶，應分開貯存及安穩置放。容器應保持在 40 ˚C 以下。貯存處應考慮於緊急時便於搬出。通路面積以確保貯存處面積百分之二十以上為原則。貯存處附近，不得任意放置其他物品。貯存比空氣重之氣體，應注意低窪處之通風。

對於毒性高壓氣體之儲存，應依下列規定辦理：貯存處要置備吸收劑、中和劑及適用之防毒面罩或呼吸用防護具。對於毒性高壓氣體之使用，應依下列規定辦理：非對該氣體有實地瞭解之人員，不准進入。工作場所空氣中之毒性氣體濃度不得超過容許濃度，並置備充分及適用之防護具。對於具有腐蝕性之毒性氣體，應充分換氣，保持通風良好。不得貯藏在腐蝕化學藥品或煙囪附近，以免鋼瓶受到破壞而引發危險。（圖十六）

圖十六　常見的鋼瓶管理不當例子，鋼瓶未加固定、各類氣體（其中有氫氣，乙炔等高公共危險性氣體）混處、未與電器設備保持距離。

(十)法律與權益簡介

為加強維護作業安全及維護人員健康，政府部門與大學訂有相關法令，作為管理之依據。嚴格遵守各項法令，除了在實驗室安全上，能帶來一定程度的保障外，也是為了維護大眾公共安全，所必需付出的努力與承擔的責任。但更重要的是，若任意違反各項法令，當面對意外災害，可能還會帶來民、刑事上的責任。大家對法令背後之原因與依據，需有明確的理解，才能貫徹執行並達到維護安全目的。法律制訂的最終目標不是為了限制人行為上的自由，為避免法律過度干預國民之生活，法律限制往往是依據安全之最基本要求而訂定，因此，縱然完全滿足法律限制而訂定之制度，亦可能只是滿足安全規範之最基本要求。自身安全還是需要依賴安全衛生教育及專業訓練，以及預防及應付災變之發生。

在現行之法規中，有許多相關的法令，主管單位包括勞動部、環境資源部、原子能委員會、消防署、衛福部、經濟部、內政部、都發局建管課等，相關法規分列於(表二)中。各實驗室負責同仁及系、所、中心主管，務必多加注意相關法令的變更。也許在大學及專科學校從事研究工作的教授及同學們會認為，從事學術研究者並不納入在勞工範圍，但於 82.12.20. 公告的勞工安全衛生法，明定因職業訓練事業、顧問服務業、學術研究及服務業、大專院校等之實驗室、試驗室、實習工場或試驗工場(不包括電腦教室)而獲致薪資者，均納入勞工安全衛生法管轄。

雇主應負起安全衛生管理責任，應訂定現場相關安全衛生規定，宣導公告並實施相關規定，提供教育訓練，安全衛生設施，以及相關健康檢查，而雇員應配合及遵守相關規定，其責任與義務有：遵守工作守則，接受教育訓練，與接受健康檢查。勞工安全衛生法明定，雇主對勞工應施以從事工作及預防災變所必要之安全衛生教育、訓練。新進人員或在職人員於變更工作前，應使其接受適於該工作必要之安全衛生教育訓練。符合上述身份者，應接受 3 小時「一般安全衛生教育訓練」外，尚須依從事實驗之性質接受相關之專業性教育訓練，各項專業性教育訓練包括:「危害通識教育訓練」、「輻射防護教育訓練」、「生物安全教育訓練」。由於跨領域研究為學術研究之主流，學生有可能需要接受各類之教育訓練，而學生接受訓練是一種義務，是進入研究室前必須的過程。其他常見的相關法令，可參考表二中所列載之項目。

表二 常用化學實驗室相關法規與主管單位

主管單位	相關法規
勞動部	勞工安全衛生法(職業安全衛生法) 勞工安全衛生法施行細則 勞工安全衛生教育訓練規則 危險物與有害物標示及通識規則 有機溶劑中毒預防規則 勞工安全衛生設施規則
環境資源部	毒性化學物質管理法、學術機構運作毒性化學物質管理辦法 事業廢棄物清理法(實驗室) 水污染防治法及施行細則 空氣污染防制法及施行細則 噪音管制法，施行細則及管制標準
原子能委員會	游離輻射防護法 游離輻射防護安全標準 輻射防護管理組織及輻射防護人員設置標準
內政部消防署	消防法 公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨 安全管理辦法 各類場所消防安全設備設置標準
經濟部	先驅化學品工業原料之種類及申報檢查辦法
內政部/都發局	建築法
建管課	建築技術規則建築設備編
中華民國刑法	中華民國刑法：阻塞其他公眾得出入之場所逃生通道致傷亡者之罰則

(十一)化學安全漫談

實驗室是高風險的地方，每一年都有嚴重身體傷害的發生。其實許多傷害是可以避免的。實驗場所有許多常見的缺失，如將有機溶劑放在塑膠洗瓶中，夏天時，常因溫度上升致使瓶中壓力上升而噴出，加上將有機溶劑洗瓶隨便放置在加熱板旁，產生危險。有機溶劑蒸餾設

備也具有潛在風險，由於台灣濕度較高，水氣容易冷凝在冷卻管上，而流進電熱設備中。壓力系統缺乏保護網裝置，玻璃管容易因破裂而飛濺，或電線放在加熱板上加熱而未被發現。(圖十七)

接觸低溫可引起凍傷，因此當使用任何冷凍物質如乾冰，乾冰 / 丙酮，液氮，液氦，應配戴隔熱手套防護。低溫接觸傷害，可導致皮膚灼傷，壞死，截肢，甚至死亡。大家可能認為，氮氣無毒，但氮氣可是隱形殺手。液氮大量揮發時，會將氧氣排擠，可導致窒息死亡。液氮進入眼睛，可導致失明，因此當使用液氮時，必須戴上面罩。同樣的，若二氧化碳大量揮發，可導致中毒與窒息死亡。因此切勿與載有液氮、液氦、或乾冰之盛桶共乘電梯，且切勿在密閉空間中使用液氮、液氦、或乾冰。

接近沸騰與過熱的有機溶劑是非常危險的。千萬不要在此情況加入沸石或活性炭等。以免因有機溶劑急速氣化而讓災。

實驗室中的氧化劑也是非常危險的。大部分氧化劑與有機物混和，可產生燃燒或引發爆炸。氧化劑如濃硫酸，濃硝酸，$KMnO_4$，H_2O_2，MCPBA，ROOR，Oxone® 等都有相當威力。在 2011 年十月，馬利蘭大學 (University of Maryland) 有兩名學生，將濃硝酸倒進有機廢液桶引發爆炸與火災。濃硝酸與丙酮反應也會釀災、與乙腈、醇類作用會引發爆炸。濃硫酸，$KMnO_4$ 與甲苯作用而燃燒。在鹼性條件下，特別是有金屬離子催化下，H_2O_2 會急速分解，放出氧氣引發爆炸。

醯氯是常見的化學試劑。 RCOCl ， $SOCl_2$， ClCOCOCl 等醯氯均為劇毒化合物，吸入後引起化學性肺炎，與光氣類似，與醇類產生劇烈反應放出大量 HCl 外，尚有 SO_2、CO、與 CO_2 等，容易引發爆炸傷害。曾有學生因吸入過量醯氯而死亡的案例。

強酸與強鹼具有腐蝕性，對眼睛傷害甚深，會令視力減弱甚至失明。秀傳紀念醫院胸腔外科莊主任指出，若吞服硫酸、鹽酸、氫氧化鈉、氫氧化鉀等強酸、強鹼的成份，產生的傷害不同：強酸的傷害多在胃部，而強鹼的傷害多位於食道，傷害的程度視服食的酸鹼強度及量而定。

鋁是普遍生活中常見的金屬，但化學活性極高。日常用的鋁，有氧化鋁層保護，所以相當穩定，但氧化鋁無法防止鋁和強鹼如 KOH、NaOH 等作用，起化學反應產生氫氣，導致意外發生。東京地鐵曾因此驚傳爆炸，造成 16 名乘客灼傷。

由上面的討論可見，常見的化學品，不代表會比較安全。下圖為實驗意外之現場，左圖顯示，燒杯中乙醚被一旁的加熱板高溫引燃引起火警，火警被滅火器壓制而沒有擴大。中圖顯示，因電線短路而引起火災，實驗室被焚毀。右圖為化學品不明爆炸之現場，學生受傷。可見實驗意外之殺傷力。其實嚴重的化學實驗意外每一年都在發生，只是沒有被重視。表三整理並摘錄出一些化學實驗意外資料，以供參考。(圖十八)

圖十七　化學實驗室常見的缺失。

圖十八　化學實驗意外現場實況。

表三 化學實驗意外摘錄

事件	描 述
火災	當時在 917 實驗室做實驗的研二學生張同學回憶說，當時實驗室裡有六七名同學，她和一名大四學弟江同學在實驗室靠窗的裡面，其他人在門旁的水池邊。突然，靠近門的地方起火了，張同學看見有很大的煙霧，她被嗆得不行，拼命想打開窗戶，卻怎麼也打不開。幸好學弟過來幫忙打開窗戶，吸了幾口空氣之后，學弟讓她先衝出去。大約被困了兩分鐘，她和學弟一起衝出了火災現場，下到一樓。隨后，被送往校醫院。火災有可能由雜物引起。(北京)
爆炸	助理研究生，昨晨在校內實驗室，用試管進行「丙酮」與「雙氧水」的氧化反應後，再作加熱反應實驗時，疑清洗試管程序有問題，試管內遺有殘餘的「丙酮」及「雙氧水」，突然產生大量煙霧及發生輕微爆炸，事主首當其衝，左手、胸部、額及面部共有三十多處被濺飛的試管碎片割傷，需留院接受治療。(香港)
火災	研究助理使用三級丁烷鋰，將針筒塞子拔出了針筒。三級丁烷鋰接觸到空氣燃燒。抽風櫃中有一瓶和實驗無關的己烷，慌亂中被打翻，己烷立刻燃燒。研究助理的運動衫 (T-shirt) 及手套著火，數天後去世。(美國)
機械傷害致死	一名行將畢業之大學女學生，夜間獨自一人在實驗室工作，頭髮被機械纏繞而致窒息，直到隔天早上才被發現。(美國)
火災	某大學化學實驗室於八月六日發生正己烷溶劑四公升玻璃容器掉落破裂，溶劑散佈空氣當中。電流控制器之電氣火花引爆。(新竹)
火災	某大學化學實驗室因懸空木櫃倒塌，導致裝有化學藥品的玻璃容器破裂，使化學品溢出，且化學儲存容器外裝的鐵罐，於傾倒時，撞擊擺置於地面的有機溶劑儲存鐵桶，而導致火災發生。(台北公館)
火災	實驗後有同學將鈉粒帶出實驗室，隨後丟棄在廁所的垃圾桶內，沒多久鈉燃燒起來，整個塑膠材質的垃圾桶也快速燃燒，其他同學趕緊報告教官。大家一時沒想到是鈉起火燃燒，就用一般取水滅火，當然產生氫氣燃燒更劇烈。
噴濺	在硝酸性質的實驗中，當學生取用濃硝酸時，濃硝酸卻突然大量從取液器中噴出，使學生整個手部被濃硝酸淋到。
誤食中毒	深夜獨自在實驗室工作時不慎誤食溴化丙烯劇毒，兩天後不治。(2007 台北淡水)
噴濺	六名化學系一年級學生挑燈夜戰「化學週」趣味實驗活動，就在實驗結束，準備收拾現場時，學生將實驗留下的濃硫酸倒進水槽，這個動作沒有按照標準程序，引起反應，其中一名學生臉部遭灼傷，右眼角膜被硫酸噴濺，其他五名學生皮膚也有輕微灼傷。(彰化)
爆炸	爆炸意外，兩位研究生在實驗時不慎，有一只實驗燒杯突然爆裂，碎片傷及兩人的頭部及胸部等處。(台北南港)
爆炸噴濺	實驗室驚爆，兩博士班研究生炸傷，送醫院急救。其中一位的鼻口嚴重裂傷，另外一位對被硫酸噴到左眼，有失明之虞。(台北公館)
爆炸	一位二年級研究生，凌晨在化學所實驗室進行實驗時，疑似因實驗程序出問題發生爆炸。(高雄)
爆炸噴濺	某實驗室，因蒐集廢液時標示不清，將異丙醇倒入無機酸中造成氣爆，兩個塑膠桶被炸毀，噴出之強酸使技術員臉部及小腿灼傷。(台北公館)
火災	因六級地震震落瓶裝溶劑，因實驗室研究生已開始做實驗，附近熱源引發大火，因滅火器無法控制，4 間化學實驗室全毀，人員疏散避難警覺性高，無人受傷。(嘉義)
火災	某大學無機實驗室爆炸意外，化學系實驗室內疑似乙腈純化蒸餾設備蒸氣揮發遇熱產生氣爆，並波及附近化學實驗室引發火災。(桃園)
爆炸噴濺	在實驗室加熱固態鹽時，研究生打算讓試片降溫，便把溫度計放入固態鹽中，不料高溫 400 多度的固態鹽及液態鹽瞬間爆炸，爆炸的威力甚至還衝破實驗室的天花板。研究生雙眼則因高溫受損嚴重，臉部嚴重灼傷。(台北公館)
爆炸噴濺	某系學生於實驗時，進行例行性酸(硫酸與雙氧水)鹼(氫氧化鈉粉末)中和處理而發生液體噴濺，路過的同學亦遭到波及，導致二位同學遭噴濺後受傷。其中一名同學雙眼受損嚴重。(2009，台北公館)
火災	某大學材料及工程學系的實驗室，清晨發生火警，火勢延燒迅速並波及一旁的配電室，雖然消防隊及時趕到撲滅火勢，也沒有人員受傷，不過估計損失高達數百萬，而在電力還未恢復前，學生上課可能受到影響。(台南)
火災	化學研究室傳出爆炸的意外，現場的化學藥劑還因為高溫引燃火球。爆炸的威力把藥水瓶、儀器炸的亂七八糟，消防局表示必須先將危險的化學藥劑清除之後才能找出原因。有可能是因為電線走火，引燃了化學物質，因此發生爆炸。幸好晚上實驗室裡沒有人在做實驗，否則將不堪設想。(台北南港)
火災	某理學院大樓四樓分析化學實驗室正在上課，教室窗外通風管起火，引燃室內化學物品，並發生爆炸。師生因濃煙受困走廊中，幸得轄區員警用哨子指揮疏散逃生。(台北公館)
爆炸噴濺	某大學海洋環境及工程學系處理光平版印刷實驗廢液回收時，不慎將洗過化學藥劑的酒精倒進廢液桶，產生化學反應引發爆炸，竄出黃棕色濃煙，當時授課的教授緊急疏散同學，所幸未釀成傷亡，虛驚一場。(高雄)
爆炸噴濺	爆炸噴濺 2012 年 10 月 21 日東京地鐵凌晨驚傳爆炸，造成 16 名乘客灼傷，但傷勢並不嚴重。事發當時一名女乘客拿著裝有清潔劑的飲料鋁罐搖動，罐中強鹼和鋁起化學反應，產生氫氣，導致罐子爆炸破裂洗劑噴濺。(日本)

後 記

在過去的六年中，感謝臺灣大學環安衛中心同仁，與洪宏基總務長、鄭富書總務長、與王根樹總務長對臺灣大學環安衛工作的堅持。在最初出任臺灣大學化學系與環安衛中心行政工作時，洪宏基總務長曾詢問是否可以將環安衛工作的經驗化成文稿，與大家分享。在鄭富書總務長堅持下，環安衛中心完成了環安衛手冊網路版。經歷六年的時光，本人在此嘗試以行動回應，希望能對臺灣化學實驗安全，盡一點心力。

參考文獻

1. Pohanish, R. P.; Greene, S. A. *Wiley Guide to Chemical Incompatibilities*, 2nd edition, Hoboken, New Jersey: Wiley,**2003**.
2. Lenga, R. E.; Votoupal, K. L. Milwaukee, Wisconsin: Sigma-Aldrich, The Sigma-Aldrich library of regulatory and safety data, eds. **1993**.
3. The poison paradox: chemicals as friends and foes, John Timbrell, Oxford; New York: Oxford University Press,**2005.**
4. Explosive material, Wikipedia Encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Explosive_material
5. Furr, A. K.; Raton, B. CRC Handbook of Laboratory Safety, 5th edition, Floride: CRC Press, **2000.**
6. 甘魯生 實驗室意外和實驗室安全。*化學*，68，313-319。
7. Safety in Academic Chemistry Laboratories: Accident prevention for college and university students, 7th edition, American Chemical Society, Washington, DC, **2003**, *1*.
8. Safety in Academic Chemistry Laboratories: Accident prevention for faculty and administrators, 7th edition, American Chemical Society, Washington, DC, **2003**, *2*.
9. 楊秀宜 簡介化學品全球調和制度 (GHS)，『勞工安全衛生研究所- 勞工安全衛生簡訊』專欄：技術資訊與問題討論，**2007**，*83*.

專題報導
化 學 中華民國一百零三年第七十二卷第一期
DOI: 10.6623/chem.2014003

校園實驗室暨實習場所事故案例與預防

戴聿彤
長榮大學 職業安全與衛生學系

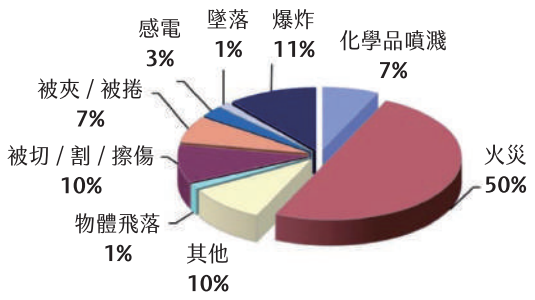
陳建嘉
社團法人 臺灣職業安全學會

壹、實驗室危害及管理

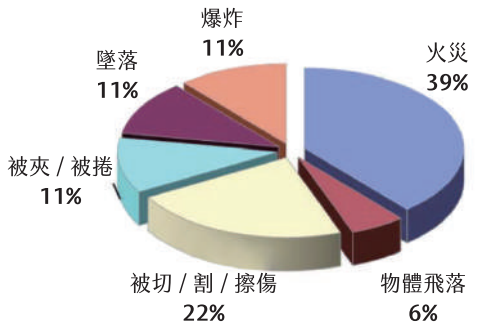
(一)國內實驗室常見危害分類及統計分析

學術研究機構人員因流動率高，研究計畫內容經常異動，所使用之儀器、設備、藥品種類繁多，再加上實驗或作業場所潛在的安全衛生問題未被重視，導致研究人員或學生於實驗室發生安全衛生事故的案例屢見不鮮，其後果從比較輕微之虛驚事件到最嚴重的死亡皆曾經發生過。而根據教育部統計，102 年我國臺灣地區計有 137 所大專院校，高中 336 校，高職 151 校。近 10 年災害通報總件數共 2,634 件，其中 94.4% 為人員傷害，另 5.5% 為財物損失。而人員傷害事件所造成損失工作日數大於一日者佔 3.8%，小或等於一日者為 96.2%。進一步分析 94 件損失日數大於一日者，以大專院校 58.5% 最多，高職 27.7% 次之，高中 13.8% 居末。經分析發現常見災害類型前五名依序為：(1) 被切、割、擦傷 (56.4%)，(2) 與高、低溫之接觸 (17.8%)，(3) 被夾、被捲 (3.9%)，(4) 不當動作 (3.7%)，(5) 衝撞 (2.3%)。其中造成「被切、割、擦傷」多為實習教室內遭機械或材料、工具觸碰所致，「與高、低溫之接觸」則以餐飲科系烹煮過程燙傷，與化學實驗烘箱灼傷及碰觸未降溫之機械、工具者較為常見。輕者至少造成財產上的損失，重者則造成人員傷亡，顯見校園實驗室安全衛生問題仍需加強。

前述災害類型前五名佔災害事件總數之 80% 以上，而造成以上五類災害之媒介主要為一般動力機械、熔接設備、人力機械設備、使用一般材料及一般動力機械等。綜合觀察，雖然以一般動力機械與材料、用具造成之切割、擦傷等之傷害為大宗，但如以災害情節重大、或受輿論關注者共八十件而言，近 10 年來大專院校或高中職實驗場所重大災害類型皆以火災爆炸居多，上述機械類物理性危害居次。(圖一、圖二) 由此可知，雖然實驗室中會因為人員操作機械設備不當而引起傷害之頻率雖高，但受傷情況卻不嚴重；反觀化學性之災害動輒引發災害、人員傷亡或輿論關注，其嚴重程度更甚於物理性危害，因此實在不可不重視。



圖一 近 10 年大專院校實驗場所重大災害類型。



圖二 近 10 年高中職校實驗場所重大災害類型。

(二)實驗室管理與教育部歷年來實驗室防災政策計劃

自民國 63 年 04 月 16 日，勞委會發布「勞工安全衛生法」，大專院校在民國 82 年 12 月 20 日開始適用，依序的高中職校也在 90 年 3 月 28 日開始適用，國民中學也在 101 年 1 月 3 日開始適用勞安法。在這段期間，教育部除了在 91 年 10 月 16 日發布「學校實驗室與實習場所安全衛生管理要點」以供各級學校依循外，也持續針對實驗室及實習場所推動訓練、講習、宣導、輔導、輔助等工作。重要工作有：

a) 配合勞委會公告推動政策。
b) 民國 90 年擬訂實驗場所安全衛生管理要點。
c) 成立校園安全衛生輔導團。
d) 建立安全衛生認證制度。
e) 將實驗場所安全衛生納入校務評鑑指標。
f) 籌措專款補助大專院校、高中職校更新實驗場所安全衛生設施。
g) 補助各大專院校開設安全衛生通識課程。
h) 成立 ERC 中心、大專院校實驗場所安全衛生考試中心。
i) 培訓安全衛生種子教師。
j) 培訓安全衛生管理人員。
k) 建立網路通報系統。

除上述工作外，歷年並籌措專款有計劃地供各大專院校高中職校申請改善與實驗室安全相關軟、硬體設施（如：通風排氣、機械防護、電氣安全、緊急沖淋…等裝置），成效良好。99 年時更將實驗室安全列為校務評鑑指標之一。教育部為使各校能夠落實安全衛生管理之工作，並進行自主管理，民國 99 年參考 OHSAS 18001:2007、ILO-OSH:2001 和臺灣職業安全衛生管理系統，訂定大專校院「校園安全衛生管理系統」驗證指導準則、驗證規範及指引，在 101 年則由勞委會、教育部透過辦理聯合記者會，公開表揚 10 所完成校園實驗室管理系統認證學校，以鼓勵各校參與。

貳、學校實驗室災害案例介紹

(一)使用化學藥品操作不當

事故發生經過為某老師利用排水集氣法進行操作氧氣製備之化學實驗，學生於配置藥品時，未依正確程序，徒手持玻璃試管劇烈搖動，導致玻璃試管突然爆破飛散，產生傷害。經災害分析發現直接原因為爆炸，而間接原因分別為 (1) 不安全狀況：配藥時，各種不可混存之藥品未分開置放，取用時未分開使用配藥匙，導致藥品污染，無法控制實驗流程並產生危險。(2) 不安全動作：未以不同方向摺疊紙張數次，使藥品混合。混合後未先取少量藥品，以小火加熱，測試是否有火花。配藥混合時且以搖晃方式進行。

為避免此類型災害之發生，其防災對策為 (1) 二氧化錳與其他金屬粉末應置於不同實驗桌，並採用不同天秤稱重。(2) 氯酸鉀和二氧化錳混合的過程，要把藥品放在紙上，以不同方向摺疊紙張數次，使藥品混合。(3) 不可以用研缽研磨，或搖晃方式混合，避免引起爆炸。(4) 為防止藥品中含有少量可燃物質，混合後須先取少量藥品，以小火加熱測試，如果有火花就需放棄此批藥品。

(二)烘箱周圍高溫導致殘留有機溶劑起火

事故發生經過為某化工系實驗室進行實驗時，學生將儲存於藥品櫃（以實驗桌改裝並具有抽氣裝置）內之有機溶劑（正己烷）以虹吸管分裝至 500 mL 玻璃瓶容器。取用分裝過程中不慎溢出容器流至地面，學生急忙停止分裝，將仍殘留溶劑之虹吸管掛於緊臨藥品櫃約 10 公分之烘箱旁。運作中之烘箱後方一具散熱排氣口，疑似造成烘箱周圍

高溫而導致與殘留溶劑起火，火由虹吸管殘留溶劑燒到地面（溢出）溶劑及 500 mL 容器內之分裝溶劑，波及到藥品櫃，造成左方門及藥品櫃內左方內側嚴重受損。經災害分析發現直接原因為高溫導致正己烷燃燒，而間接原因分別為 (1) 不安全狀況：未將藥品放置於標準有排氣的藥品櫃，而使用實驗桌改裝之藥品櫃儲存藥品。具散熱排氣口之烘箱未與改裝藥品櫃保持一定距離。該實驗室只有設置一道出入的門，不利於狀況排除與緊急逃生。(2) 不安全動作：未在化學排氣櫃中進行正己烷分裝作業，而直接於藥品櫃旁進行並充填過量導致溢出情形。

為避免此類型災害之發生，其防災對策為 (1) 建議使用標準具排氣功能的藥品櫃儲存藥品，甚至考慮採用防爆型藥品櫃。(2) 實驗室規劃宜考慮操作過程可能產生危害，相關設備配置建議重新考量進行改善。(3) 藥品取用分裝之方法或標準作業流程，建議重新加以檢討。(4) 人員進入實驗室從事實驗前，除參加由校方舉辦之一般安全衛生教育訓練外，該實驗室管理方面亦應針對實驗室內可能發生之危害與相關安全操作加強教育訓練，加強落實標準作業流程執行。

（三）實驗室廢棄物處置不當介紹

事故發生經過為某老師於操作手工皂製作之化學實驗時，將溢漏於桌面剩餘之酯類，以抹布與衛生紙擦拭後，逕行丟入一般廢棄物垃圾桶中。而三小時後因不明火源點燃該垃圾桶之物品，導致發生火災。經災害分析發現直接原因為火災，而間接原因分別為 (1) 不安全狀況：實驗室中一般生活廢棄物與事業廢棄物未依規定分別存放，且未定期清理。(2) 不安全動作：實驗室未妥善管理，進行人員管制。

為避免此類型災害之發生，其防災對策為 (1) 實驗室廢棄物應依規定存放且定時清理。(2) 人員非經許可不得擅自進入。

參、實驗室管理與災害預防建議

（一）安全衛生管理系統

為有效保障校園實驗場所人員安全衛生，管理危險物及有害物質、危險機械設備、及作業場所安全，可利用作業管制、自動檢查、教育宣導等多面向的方式，達到防止發生意外危險，維護教職員工生安全與健康。因此針對相關活動作業制定作業標準，建立實質且有效運作之校園安全衛生管理系統為最重要，而非單純設立管理單位。當確保校區之相關活動可能造成安全衛生危害的因素被有效管制後，進而對各項活動與作業建立書面化規範，藉以使從事該活動之相關人員據以遵循，使得影響安全衛生的風險因素皆能有效控制。管理系統內亦應具有如自動檢查等定期性查核機制，以有效追蹤與維護各項作業活動之安全。由於校園實驗場所為配合課程規劃與研究內容常有更動，應將變更項目適時執行危害鑑別、風險評估及決定控制措施，並主動告知與變更項目有關之教職員工與學員生，並使其接受相關之教育訓練。而當意外事件發生時，對於緊急事件的處理方式，亦需規定於作業管制相關之規定文件中，以提供必要時的處理方法。

（二）危害辨識與風險評估

為能有效達成校園安全衛生管理之需求，於制訂或實施安全衛生管理系統前，須針對校園目前各項安全衛生危害可能造成之風險進行全面審查。並對以往及現實安全衛生管理績效，加以檢討與評估，藉以制訂環境安全衛生政策與目標，作為規劃校園安全衛生管理系統的依據，以提升管理效率，符合安全衛生管理標準，並達到持續改善之目的。就危害辨識與風險評估方面，首先可由管理代表遴選環管人員及

單位代表成立「審查評估小組」，負責環境先期安衛審查、危害鑑別與風險評估。先期安衛審查包括範圍如下：

a) 確認現行法規符合性之要求。
b) 確認重大的風險評估要項及衝擊、作業環境潛在風險及社會責任。
c) 重大環境問題風險之評估與記錄。
d) 檢討現有之安衛管理措施與程序。
e) 過去違規事件之調查與檢討。
f) 檢討現行採購、發包之策略與步驟。
g) 利害相關者意見之反應。
h) 鑑別組織中其他可提升或會影響安衛績效之功能與活動。
i) 於實驗化學品取得、使用及處置過程中可能對環境考量及危害風險潛在衝擊。

而危害鑑別與風險評估範圍則包含：

a) 各項活動、作業可能造成之危害風險。
b) 正常和異常控制機械設備時所產生之危害風險。
c) 化學物品和其他廢棄物之毒性或危害物質等。
d) 土地、水源及其他環境如廢棄物等可能之污染或危害。
e) 土地、水、燃料、能源及其他自然資源使用。
f) 噪音、臭味、灰塵、振動和可見之衝擊。
g) 機械、設備、工具操作可能引起危害風險。
h) 高溫、低溫作業可能引起危害作業風險。

評估時應考量下列可能狀況之結果：

a) 正常操作條件下。
b) 非正常操作條件下。
c) 事故、意外事件和潛在緊急狀況。
d) 過去、現在和未來的作業活動。

因應相關安衛法規、社會環境、利害相關團體反應及活動之變化，每年應由「審查評估小組」針對前次評定之中、高風險項目進行一次先期安衛審查。若因重大安全衛生風險或法規之改變，管理代表得提前指派「審查評估小組」成員進行改變部分之先期環安衛審查。

即使危害辨識與風險評估已經完成，也可能需要隨時調整。如果在工作中發生工作計畫不可行，或操作條件不同時，或者是設備或資源不可用時，或是工作狀態有改變，危害辨識與風險評估將會不再正確，此時人員可能必須面對全新或更嚴重的風險。危害辨識與風險評估不定期鑑別增訂及修訂時機則有：

a) 單位之活動、教學、研究及服務等作業，足以對人員安全與健康危害造成重大風險之影響。
b) 對於安衛管理系統的稽核檢討的結果，確認有新的安全衛生風險危害並預測對安衛會造成重大影響。
c) 法令規章標準及學校重大政策有所變更時。
d) 安全衛生管理系統變更時。

危害辨識與風險評估之定期更新：

a) 定期檢討鑑別作業之維持更新應每年實施一次，更新作業程序應依風險評估鑑別作業流程圖辦理。
b) 更新時機訂在新學年度開學前，各單位針對舊學年度填寫之實驗場所風險評估表重新確認考量面及鑑別評分。
c) 定期更新考量面評分時，對已獲得改善的重大風險評估項目應重新評分，依實際情形降低其顯著性。
d) 單位進行鑑別作業時，須將規劃中、新設置、修正的活動、教學、研究及服務等因素考慮在內。
e) 管理權責單位應依參與單位重新鑑別評分結果，訂定出新學年度顯著性基分標準。

f) 應考量危害鑑別、風險評估結果設定查核頻率。

g) 管理權責單位執行決定風險控制措施時，應考量現階段之知識與技術，資料來源包括中央主管機關、勞動檢查機構、安全衛生服務機構及其他服務機構之資訊或報告。

(三)自動檢查

建立並維持校園環境與實驗場所監督量測紀錄，檢視環境安全衛生政策、目標、管理方案、法令規章之持續符合情形，以作為追蹤審查及後續管理之依據。各相關作業管制應依作業規範徹底執行，並留有各項作業管制之記錄或檢查表。而校園化學性實驗場所中常見之自動檢查表如下：

a) 攪拌機作業檢點紀錄表(每日/作業前)。

b) 高壓氣體鋼瓶及管路作業檢點紀錄表(每日/作業前)。

c) 緊急沖淋洗眼設備定期檢查紀錄表(每月)。

d) 第一種壓力容器定期檢查紀錄表(每月)。

e) 局部排氣/空氣清淨/吹吸型換氣裝置定期檢查表(每年)。

f) 小型壓力容器定期檢查紀錄表(每年)。

g) 高溫爐點檢表(每年)。

h) 第二種壓力容器(含壓縮機)定期檢查紀錄表(每年)。

(四)虛驚事件與意外事故回報

當校園實驗室於定常運轉作業時，欲評估其作業是否安全並非易事，此時能觀察到的只有操作程序，可依執行危害辨識與風險評估結果為基礎，藉由各項控制措施或行政管理來改善實驗場所安全衛生。但是依據統計意外災害最常發生的時機是在非平常運轉作業時，就是新建、拆除、維修、保養的時候，校園為了要消弭或降低意外災害發生，就必須要能掌握實驗場所的安全衛生狀態。雖然完整的安全衛生查核表(checklist)可以辨識出所有的安全衛生問題，但最重要的莫過於意外事件次數統計。目前我國職業安全衛生法也規定：中央主管機關指定之事業，雇主應依規定填載職業災害內容及統計，按月報請勞動檢查機構備查，並公布於工作場所。毫無疑問的，此數字應保持於最小值。不僅是為了符合法令要求，還能免於許多的哀痛和苦難。監督管理人員不只是來協助制定政策，更是要執行和更新政策。藉由調查、紀錄、提供回饋和分析意外事故。監督管理人員在營造實驗場所的安全健康工作氣候時，扮演了十分重要的角色，而完整的管理系統才能提供監督管理人員強固的後盾。

校園實驗室暨實習場所事故案例與預防(補充說明)

編者按：

本文係完成於職業安全衛生法修法(以下稱職安法)之前，目前校園範圍已因職安法擴大適用後全面納入管理，且部分法令略有增修，請校園工作者務必依職安法相關規定執行業務。

其中常見校園管理缺失部分為：

1. 化學品管理需依職安法第十一條第二項規定，應依其健康危害、散布狀況及使用量等情形，評估風險等級，並採取分級管理措施。並遵循「危害性化學品評估及分級管理辦法」與「優先管理化學品之指定及運作管理辦法」相關規定實施。
2. 機械設備器具等除原有規定外，另依職安法第 7 條規定，選用具符合安全標準且於明顯處張貼安全標示之產品。並依「機械設備器具安全標準」相關規定實施。

化 學 中華民國一百零三年第七十二卷第一期
DOI: 10.6623/chem.2014004

實驗室毒性化學物質管理

周宜成
臺灣中油股份有限公司 煉製研究所 / 環境資源組

何謂毒性化學物質？依照毒理學課本的定義，毒性化學物質為對生物體有不良影響之化學物質，可以是天然或人為之物（Casarett & Doull's Toxicology）。依照毒性化學物質之型態可分成粉塵和空氣污染物、溶劑、重金屬、天然毒物、人工添加劑、農藥、以及藥物等 7 類，不同型態代表性毒化物及可能產生疾病如（表一）所列（張漢昌）。

以法規而言，若以型態認定毒化物，在實務上有其困難。因此，環保署之毒性化學物質管理，主要是依「毒性化學物質管理法」(108 年公告改為「毒性及關注化學物質管理法」) 進行公告列管，依化學品特性進行禁用、限用、許可、核可、登記等方式分成四大類管理。目前有法規所列管化學物質，有多氯聯苯、可氯丹、石綿、地特靈、滴滴涕、毒殺芬、五氯酚、五氯酚鈉、甲基汞等已超過 300 種化學品。(表二)

依法規所規範內容，毒性化學物質之運作包含製造、輸入、輸出、販賣、運送、使用、貯存或廢棄等行為。一般在實驗室之研究，較常見之部分為輸入、使用、貯存及廢棄之部分。在大學等教育單位之毒性化學物質運作，環保署另訂定「學術機構運作毒性化學物質管理辦法」(於 109 年改為「學術機構運作毒性及關注化學物質管理辦法」)，規範各級公私立學校、教育部主管之社會教育機構及學術研究機構之毒性化學物質運作，將毒性化學物質運作管理規定之訂定及實施、毒性化學物質危害預防及應變計畫之訂定及實施、所屬單位運作毒性化學物質之監督管理、毒性化學物質運作紀錄之彙整及定期申報納入學術機構之管理權責。並規定管理委員會之設立、委員組成、及審核。以嘉義大學為例（如圖一），購買毒性化學物質前均需先提出申請，經管理委員會核可申請文件、毒性化學物質運作紀錄申報表與危害預防及應變計畫後，依規定送嘉義市環保局備查。自 103 年 3 月 31 日起，毒性化學物質購入後，運作單位應逐日填寫運作紀錄表，並將紀錄交由委員會彙整並審核後，每年一月、四月、七月、十月底前向所在地主管機關申報；毒性化學物質運作量無變動者，得以逐月記錄，並於每年一月底前申報。此外，毒性化學物質運作紀錄表應保存備查三年。109 年修法依「毒性及關注化學物質管理法」本法增加了運作第一類至第三類毒性化學物質及危害性關注化學物質者，應加入該物質所在地之直轄市、縣（市）內組設之毒性及關注化學物質聯防組織等規定，以符合本法的要求。

在「學術機構毒性化學物質管理辦法」剛實施時，環保單位至學校稽查常發現許多學校單位並沒有針對毒性化學物質進行管理，尤其是高級中等以下學校，偶有管理人員出缺的問題。近年來環保局至大學實驗室稽查常見缺失及問題彙整如（表三），主要需符合「學術機構運作毒性化學物質管理辦法」之規定要求資料外，如「運作場所應備妥足夠數量之應變器材，以利災害搶救之事項」以及「應變器材應製作定期檢核表，並定期清點器材數量及器材是否堪用」等確保法規相關事項及功能正常之要求，也為毒性化學物質實驗室管理稽查之重點。此外，各項資料需持續更新至最新版本資訊與標示，以符合法規要求。

實驗室所使用之毒性化學物質，由於對人體及環境可能存在嚴重潛在傷害，在管理上若因使用量少，而有所輕忽則可能造成操作人員及其他第三人之危害。尤其是當操作人員具有學生身份時，更應教導如何在進行實驗時以維護自身安全健康的觀念，以培養學生未來在職場接觸及使用毒化物的良好安全習慣。

表一 毒性化學物質型態

毒性化學物質型態	代表物質	可能產生疾病
粉塵和空氣污染物	石綿	矽肺症、肺癌
溶劑	氯仿	致癌
重金屬	砷	烏腳病
天然毒物	黃麴毒素	肝癌
人工添加劑	亞硝胺代謝物	致癌
農藥	滴滴涕	肝癌
藥物	Thalidomide（防妊娠嘔吐的鎮靜劑）	海報症

表二 毒性及關注化學物質管理法之毒性化學物質分類

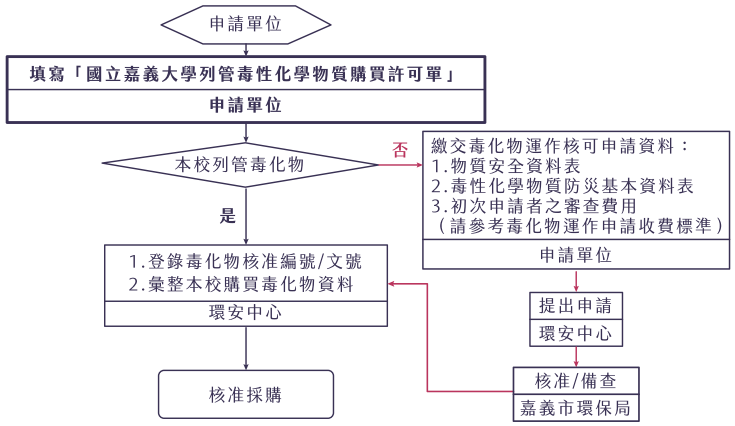
分類	毒化物特性	代表性毒化物
第一類	化學物質在環境中不易分解或因生物蓄積、生物濃縮、生物轉化等作用，致污染環境或危害人體健康者	多氯聯苯、五氯酚、甲基汞、四氯化碳
第二類	化學物質有致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變或其他慢性疾病等作用者	石綿、苯、六價鉻、滴滴涕、環氧乙烷、甲醛
第三類	化學物質經暴露，將立即危害人體健康或生物生命者	氯、苯胺、光氣、氰化鉀（氰離子含量 1% 以上）
第四類	化學物質具有內分泌干擾素特性或有污染環境或危害人體健康之虞者	二氯甲烷、環己烷、乙腈、乙苯、甲基第三丁基醚

（環境保護署毒物及化學物質局）

表三 環保局至大學實驗室稽查缺失案例彙整

稽查缺失	改善建議
各實驗室應備妥物質安全資料表、化學品清單、空間平面圖，並提供電子檔案供系辦與環安衛中心備用，系所單位另應備有樓層平面圖，以利救災人員瞭解相關配置	1. 物質安全資料表：請向供應商索取新版物質安全資料表 2. 化學品清單：請實驗場所製作一般化學品清單與毒化物清單，並提供電子檔案供系辦與環安衛中心備用，每年並定期實施盤點更新 3. 空間平面圖：請實驗場所製作空間平面圖，並標示相關危害性藥品機械設備等位置，並提供電子檔案供系辦與環安衛中心備用 4. 樓層平面圖：請系所單位製作樓層平面圖，並提供電子檔案供環安衛中心備用
運作場所應備妥足夠數量之應變器材，以利災害搶救	請視單位樓層實驗室性質，備置足夠數量之應變器材
應變器材應製作定期檢核表，並定期清點器材數量及器材是否堪用	定期檢查應變器材，維持數量與堪用狀態
毒化物包裝容器應依規定有危害標示（GHS 格式）	向供應商索取新版危害標示（GHS 格式）
應將毒化物儲存場所區隔開並確實上鎖，且需張貼清楚毒化物標示	毒化物應予以上鎖或由專人妥善管理
毒化物運作紀錄表應依環保署公告之格式，逐日詳實紀錄填寫（當日運作量無變動得不必填寫），運作紀錄需落實線上與紙本及現場吻合	應依規定填寫
物質安全資料表應依 GHS 相關規定格式製作，現場應具隨手可取得物質安全資料表，製表日期需於三年內	向供應商索取新版物質安全資料表

臺灣大學－臺北市政府環境保護局稽查本校毒性化學物質運作情形報告；中興大學－臺中市環保局到校進行毒化物稽查。



圖一 國立嘉義大學列管毒化物申請 / 採購流程圖。

參考文獻

1. Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, Seventh Edition, Mc Graw Hill.
2. 張漢昌，環境污染與防治。第 3 版，新文京出版社。
3. 林芳津，毒性化學物質管理稽查輔導重點說明。苗栗縣政府環境保護局。
4. 臺灣大學－臺北市政府環境保護局稽查本校毒性化學物質運作情形報告 http://homepage.ntu.edu.tw/~ntuphcdean/safefile/3/002.doc
5. 中興大學－臺中市環保局到校進行毒化物稽查 http://safety.nchu.edu.tw/newweb/tadnews.php?bar=6&action=list&ncsn=31&of_ncsn=22&nsn=659
6. 環境保護署毒物及化學物質局，毒性化學物質簡介 https://www.tcsb.gov.tw/cp-92-313-9da3e-1.html

化 學 中華民國一百零三年第七十二卷第一期
DOI: 10.6623/chem.2014005

規畫化學館的經驗談

王文竹
淡江大學 化學系

淡江大學化學系的獨立系館-鍾靈化學館於 1999 年落成，倏忽亦已十五年了。當年獲得授權，由老師們配合建築師，一起規畫這幢新館，機會實在難得，藉此短文，與諸位分享這個經驗，談談如何規畫符合公共及工業安全、衛生、環保需求的化學館。

緣　由

淡江大學化學系舊館興建於 1959 年，為紀念創辦淡江英專的張鐘先生，由于右任取其諧音命名為「鍾靈化學館」，且寓本校龍盤淡水河虎踞大屯山，鍾靈毓秀人傑地靈之意。雖經三次擴建，仍有空間不足之感，更因設備老舊，早已不符合安全、衛生、環保的標準，亟需改建。

1993 年本人接任系的行政職務，開學不久，恰好淡江大學創辦人張建邦博士突然抽空到化學系視察，在陪同到各處訪視時，趁此天賜良機，當面向他說明興建新館的需求，及願意負起規畫的責任，並交出一份書面報告，當天即獲指示可以由化學系老師主導，開始規畫新館。經過系務會議討論，提出新館的詳細需求書，再向校方主管及張創辦人簡報，來回做了六次修訂，才將一大本的詳細需求書定稿，已是 1995 年了。

因創辦人張建邦授權由化學系老師主導，化學館確實很複雜，校方的行政單位就配合著所有的行政工作，化學實驗的專業需求，就由全體老師共同擔起，本人亦不可逃避的任召集人，其後雖由王伯昌接主任工作，但營建小組仍由我負責，直到完工。其間先與建築師及水電總工程師討論全樓的各項設計及水電配置，前後工作了兩年才完成設計圖。請建照再發包，又與營建包商、實驗設備包商及校內總務人員工作了約兩年才大工告成。

這些寶貴經驗有不足與外人道也的一部分，但更有許多心得足可供別人參考，也就不自量力的野人獻曝一番。

地線與筏基

地基的工程部分我們不懂，自有專業的建築師、工程師負責，但是全棟大樓的地線就埋在其中，必須此時注意施工。原始設計時就要求全地基面積均舖滿銅網，以供接地線之用，但確切地線數目要等開挖，取得地質的導電度後，才能決定。淡江大學在山上，紅土地質比較乾燥，絕緣度高，所以有十多條地線，使得精密儀器室有多條專用地線，不受雜訊干擾，特別將兩條地線拉到四樓的老師研究實驗室，供電化學感測器及質譜儀使用。

現代大樓很多設計有筏式基礎，簡稱筏基，位於建築物最底層，是地下室最下層之下，大底之上，基本作用為支撐穩定建物，其中許多空間會被填實，像壓艙物般，其餘空間則被拿來利用，通常會作為自來水儲槽、消防水儲槽、化糞池、廢水處理槽等。我們在設計時就加設了一個水庫，供作實驗室冷凝管之用，冷卻後的水仍流回這水庫，就可讓餘空間冷卻水被拿來循環利用，大量節省水費。

樓梯與電梯

化學實驗室是一個特別注意安全的工作場所，當然要考慮通風良

好，也要顧慮到快速的疏散能力，以避開危險，所以建築師在這些考量下，設計了四個樓梯，就位在大樓的四個角落，極易記住和辨認，其中一個具有不鏽鋼防火門，另外三個都是有防風雨但對外開通的設計，既方便逃生，又有豎井風管效應，使全棟大樓隨時有新鮮空氣。

淡江大學化學館共有七層，位於山坡地上，大樓的正門在三樓，側門在一樓，教學區均在低樓層，所以只須要設置一座電梯，但為供搬運鋼瓶、儀器等重物，就裝置高載重的電梯，節省空間及能源。

配水與排水管線

化學系館的用水量非常大，而且產生的廢水亦須收集處理，所以我們對此特別用心規畫，分成兩個部分－配水與排水。

供水線有三條：自來水、冷卻水、去離子水。其中的自來水不必贅言，自有專業的建築師負責。但是我們另外要求一個冷卻水循環使用系統，在大樓的筏基地基就埋設有獨立水槽，將水用馬達抽到屋頂的水庫，再分配流到各實驗桌，為了循環使用，在出水口下配有回水口，將冷凝器的出水管接上回水口，打開上、下開關此時即可使用。另一個去離子水系統是在頂樓設立多管式離子交換樹脂及塑膠水槽，以高密度聚乙烯管配送到實驗室，大學部每個實驗室一個出水口，研究實驗室則為每一層樓設一取水口。

排水線有三條：雨水及生活廢水、冷卻水、實驗室廢水。冷卻水如前段所言，回收供循環使用。實驗室廢水則自成獨立系統，用高密度聚乙烯管收集排放到集水槽，集滿再送進由專業的工程師負責建立的全自動化廢水處理工廠。高密度聚乙烯 (HDPE) 排水管是必要的材質，它耐酸、鹼及有機溶劑，且因不可熱融接管，所以是用「O 環」及螺帽把管線接起來，萬一漏水或堵塞，可以自行一段一段取下，或換 O 環或可打通再接回去，好處多多，絕不可用聚氯乙烯 (PVC) 管或不鏽鋼管，不出幾年就不保了。

水平與垂直管線通道

化學館是一個特別的場所，除了教室外，其他場所實在更像個工廠，大量的水、電需求及大量的排煙櫃設置，當然要考慮到配置所須的水平與垂直管線間。與建築師討論時，即規畫出實驗室配置，大學部在低樓層，物化、儀分、材化、生化、普化、有機等實驗室依序往上排，研究實驗室在高樓層，也是以物化、分析、生化等「輕工業」在四樓，有機及無機合成等「重工業」在五、六樓。排煙櫃多往高樓層放，可節約樓層使用面積，節約電力，減少污染。建築師依此設計出實驗室位置圖，並預留出垂直的管道間，供風管及水、電配線用。

另需要預留水平的管道空間，其高度約 50 公分，可以用輕鋼架的天花板方式隔成，方便從不同位置的排煙櫃拉出管線匯流到垂直風管，所有的配水、排水、配電線路亦循此空間走遍全樓，方便維修。

冷氣系統

化學館常是全天運作，熬夜苦幹的地方，但因不是一起作息，時間不定，所以不宜有中央空調系統，精密儀器室場所特別，須要 24 小時的冷氣操作，而且不能暫停，所以我們設了兩座水冷式大型控溫控溼系統，輪流使用，萬一一台故障，另一台仍可應命起動支援，可保恒溫不斷。除了精密儀器室外，其他場所均使用分離式冷氣，隨時隨人員開關，節約能源。

以上粗略寫的是化學館興建的建築考量，可供您參考，細部的實驗室規畫所考慮的安全、衛生、環保設計，有待下次再談了。

專題報導
化 學 中華民國一百零三年第七十二卷第一期
DOI: 10.6623/chem.2014006

意外事故無所不在

謝木根 (Mu-Ken Hsieh) 國泰世紀產物保險（股）公司
Cathay Century Insurance, Taiwan

隨著時代科技日新月異，現代社會一切講求快速；無論是資訊獲得要快，傳輸速度亦要求快速；隨之人的移動工具亦要求快；不論是海陸空任何代步工具亦進步很快。但相對地在快速與擁擠中潛藏在你我週遭的意外事故就增加，且萬一發生，其造成之傷害更巨；可是意外事故之發生往往不被注意，因為人都有一種想法，那就是倒楣事不會發生於自身。然而當發生時就後悔莫及。

意外事故之發生尤以交通事故發生之頻率為最；如一般車禍事故（詳如附表一交通部統計）；意外發生損害最劇的應是天災（地震與洪災）譬如台灣 921 大地震與八八風災等。天災當然有時難以預料但可預防降低損害。至於交通意外事故應是人為居多；往往車禍之發生是二方彼此疏忽或單一方過錯鑄成。從交通部統計表可看出一年國人死於車禍人數之多，若再加上傷殘那數字更驚人。台灣屬地狹人稠汽機車普及率相當高，因而發生事故就在所難免。然而意外事故發生最怕是傷或殘，因為醫療費用會相當龐大，尤其是殘廢或植物人狀況。

那你我在人生旅程中該如何來規劃呢？首先最好的方法是儘量小心避免意外事故找上自己；但是不可能百分百能夠完全避免；就最常發生車禍而言，雖有汽機車強制第三人責任險可資補償；但其保障實屬不足；若依學生而言如何來補其不足呢？除了自己購買人壽保險與醫療險外應可考量傷害險。但現在人壽醫療險一般保險費均較高，而學生就學期間無經濟所得，故一般較

難負擔得起，因此就可選擇保費低廉而專保障意外事故發生之醫療保障。畢竟現今全民健保之醫療給付尚無法得到完全之照護。

表一 歷年一般車禍事故所導致之死亡人數（交通部統計）

	死亡人數							
	營業大客車	自用大客車	營業大貨車	自用大貨車	營業小客車	自用小客車	小貨車	機車
80 年	122	35	519	146	80	1,107	327	653
81 年	84	20	522	139	44	947	282	420
82 年	79	5	459	101	52	790	216	415
83 年	87	9	542	127	45	1,166	308	547
84 年	81	12	401	99	57	1,300	306	540
85 年	84	4	381	109	41	1,331	270	496
86 年	69	3	373	95	31	1,106	294	501
87 年	62	3	259	110	24	1,044	248	478
88 年	51	4	275	88	27	830	278	431
89 年	75	9	342	91	33	1,277	414	881
90 年	71	7	308	104	31	1,196	348	1,011
91 年	65	10	278	87	23	922	293	922
92 年	60	6	199	84	25	865	300	893
93 年	66	1	233	78	25	839	260	823
94 年	51	1	220	104	24	947	317	957
95 年	70	-	216	101	28	927	307	1,228
96 年	56	2	176	67	20	715	284	1,043
97 年	39	3	138	69	16	623	215	964
98 年	46	2	118	53	29	542	229	900
99 年	28	-	152	63	26	528	196	913
100 年	20	2	148	46	37	518	208	975
101 年	42	-	120	63	21	494	193	946
102 年	29	1	120	71	31	488	183	

化 學 中華民國一百零九年第七十八卷第三期
DOI: 10.6623/chem.202009_78(3).007

氫氧化物鹼性鹽意外初談

梁文傑
國立臺灣大學 化學系

摘要：有機或無機氫氧化物是化學實驗室中常見的鹼性物質，由於使用程度的普遍，會讓使用者忽略其風險的存在。在許多情況下，有機或無機氫氧化物的高度的危險性，造成意外受害者不可逆的傷害。本文介紹有機或無機氫氧化物如氫氧化鉀 (KOH)、氫氧化鈉 (NaOH)、氫氧化鈣 ($Ca(OH)_2$)、和有機氫氧四甲基銨 (Me_4NOH) 等的化學行為，如遇水放熱、腐蝕性及其毒性進行回顧，並舉出文獻中的一些案例與處理方法與大家討論。

關鍵詞：氫氧化鉀、氫氧化鈉、氫氧化鈣、氫氧四甲基銨、溶解放熱、腐蝕性、毒性。

有機或無機氫氧化物是化學實驗室中常見的鹼性鹽，在高中教學實驗室也經常使用。然而在許多情況下，有機或無機氫氧化物具高度之危險性。此類氫氧化物可導致眼睛和身體嚴重化學及熱灼傷，失明或死亡 [1-3]。許多常用的無機鹼金屬與鹼土金屬氫氧化物包括氫氧化鉀 (KOH)，氫氧化鈉 (NaOH)，氫氧化鋰 (LiOH) 和氫氧化鈣 ($Ca(OH)_2$)，或有機氫氧四甲基銨 (Me_4NOH) 等，均具極高之傷害性。氫氧化四甲基銨 (Me_4NOH) 是一種有機鹼性鹽，已廣泛應用於電子工業中，用於清洗電路板或用作光刻膠顯影劑。然而，有關這些化學品的不當使用或處理事故時常發生，造成嚴重傷害，甚至導致受害者失去寶貴的生命。

氫氧化鈉與氫氧化鉀是一種白色離子固體化合物，且具高度鹼性與腐蝕性，此外固態氫氧化鈉與氫氧化鉀溶解時，或與酸性物質混合，會放出大量熱量，可能導致熱灼傷或點燃易燃物品。氫氧化鈉與氫氧化鉀對玻璃也具有輕度腐蝕性，可對玻璃造成損害，或導致磨砂玻璃接頭黏合。鹼金屬與鹼土金屬氫氧化物對一些金屬具有特別腐蝕性，如鋁與鹼接觸後發生反應時，會產生易燃的氫氣。一些材料可與氫氧化鈉相容，且常用於氫氧化鈉儲存，此類材料包括：高密度聚乙烯、碳鋼、聚氯乙烯、不鏽鋼和玻璃纖維強化塑膠等。

在一般環境溫度下，鹼性鹽中的氫氧根，能與醯胺官能基和羧酸酯官能基作用，讓身體組織裡的蛋白質和脂質水解，導致嚴重的化學灼傷，若眼睛接觸到鹼性鹽時，可能引起永久失明。一般含氫氧根鹼性鹽類化合物擁有極高水溶性，容易吸收空氣中的水分，形成水合物或水解，因此固體鹼也具有腐蝕性，同時會吸收空氣中的二氧化碳，生成碳酸鹽，因此在儲存時應密封。市售的鹼性鹽，如氫氧化鈉與氫氧化鉀等通常是水合物，一般公佈的相關特性是其水化合物的數據，而不是無水化合物的數據。在高中教學實驗教材裡，常使用氫氧化鈉或氫氧化鉀，作為鹼之來源，與鹽酸進行滴定或中和反應，或用在皂化實驗中，並用以解釋 pH 尺度的概念，使用程度的普遍，或許會讓使用者忽視其風險。

在使用這些化學品或溶液時，應配戴橡膠手套、實驗衣和眼罩等防護設備。當粉末或鹼性液體潑濺到皮膚上或頭部時，應立即使用中和劑，如敵腐靈®溶液 (Diphoterine® Solution) 清洗，敵腐靈®溶液可用在眼部、口腔、耳朵、皮膚各部位，此類中和劑應安放在實驗研究區或工作區附近易於取得處，或放在員工隨身的工具箱內，眼部意外發生後應在一分鐘內進行清洗。中和後用大量的水灌洗，洗滌持續至少 10 至 15 分鐘。

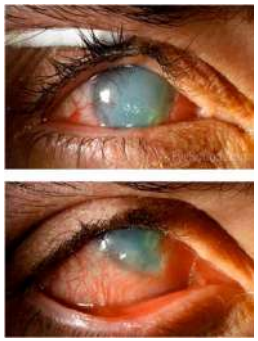
圖一　氫氧化鈉溶液引起的化學灼傷，照片顯示在暴露灼傷 44 小時後的情形[3]。

意外案例一[4,5]

2013 年台南市某高中，有人在清理水管時，倒入用以通水管的「片鹼」後，水管突然爆裂，熱氣及強鹼液體飛濺，當事人首當其衝，臉部灼傷，可能影響視力，一旁的女導師及行經的 6 名學生也被噴到，波及四肢或背部。氫氧化鈉與水混合，會放出大量熱量，有些市售產品中有添加鋁粒，與鹼接觸後發生反應時，易產生氫氣，雖可方便疏通水管，但使用時不可大意。

意外案例二[6]

氫氧化鈣是一個強鹼性物質，廣泛用於根管治療。氫氧化鈣接觸重要的組織時，可能會導致不可逆轉的傷害。其中有一個案例是牙醫不小心將根管治療用氫氧化鈣濺入自己的眼睛。事故發生後該牙醫雖用大量的水洗了幾分鐘，並在 30 分鐘內送往醫院接受治療。但由於鹼液引起的化學灼傷，最終失去視力，並引發角膜膿腫和角膜真菌感染，必須往返醫院，切除在眼球和眼瞼之間所形成的增生性疤。因氫氧化鈣與眼睛接觸時可導致失明，臨床醫生應採取充分的預防措施，以防止這種嚴重的併發症。如果發生事故，重要的是要有效地清洗受傷的眼部，避免感染。



圖二　某一患者眼睛被鹼性物質化學灼傷。這一位患者經歷了嚴重的鹼性化學損傷，導致角膜乳白化，角膜翳（是指纖維血管組織或肉芽組織的異常），和眼瞼結膜沾黏。這些照片是在受傷後 6 個月拍攝的[7]。

意外案例三[8,9]

氫氧化四甲基銨 (Tetramethylammonium hydroxide, TMAH) 為電子工業用顯影劑和清潔劑的主要成分之一，國內每年至少使用以百萬噸計的 TMAH，在台灣已導致三人死亡，皆是高科技從業人員，從接觸 TMAH 到死亡約半小時。TMAH 呈鹼性，醫學界指出 TMAH 可能是經過皮膚吸收，造成呼吸抑制而致死，雖然氫氧基離子為強鹼性，對皮膚、眼睛及呼吸道等組織會造成傷害，但在人類皮膚暴露致死個案中， TMAH 引起急性中毒被認為是主要的致死原因。風險很高且無解毒劑，醫學界卻束手無策，唯有使用時應提高警覺。早期的安全資料表 (SDS) 也未登錄與死亡個案相關的資料。

（表一）列出皮膚接觸 TMAH 案例急救處理分析[9]，吳政龍醫師指出，因 TMAH 中毒會抑制呼吸，毒性 30 分鐘內發作，且現實並無解毒劑可用，呼籲濺到時至少沖水 15 分鐘，使用支持性療法，送醫途中供給氧氣並提升血壓，避免呼吸衰竭，爭取到院前生存機會，以便讓醫師有機會用有一般解毒方式嘗試拯救患者，但因 TMAH 會經皮膚吸收，

急救時醫護要額外小心，避免因接觸患者而遭波及，因此受 TMAH 傷害的患者，最好告知醫師提高其警覺，小心應付。研究發現受鹼性傷害的皮膚，會使 TMA^+ 離子滲入身體組織加快，有建議使用如敵腐靈 ® 等具有兩性特性中和劑，快速中和 OH^- 離子的鹼性，減緩 TMA^+ 離子滲入組織液中 [10]。

此外在韓國及新加坡也有類似案例 [10]，韓國的受害人為 39 歲男性研究員，有 7 年表面活性劑生產公司工作經驗。事故發生時，他正在對一種新開發的清潔劑進行現場測試，該清潔劑含有 8.75% 的 TMAH 溶液，意外噴濺到工作服上，涵蓋手、胳膊和腿上。他被發現時已昏迷不醒。身體約 12% 的化學灼傷，以外沒有任何損傷或傷害，判斷死亡原因應是因吸收 TMAH 引發急性中毒 [11]。

表一 臺灣 TMAH 皮膚接觸案例急救處理分析

個案	TMAH 濃度 (%)	暴露體表面積 (%)	暴露至除污間隔時間 (分鐘)	化學性灼傷程度	臨床症狀及檢查發現	急救治療結果
1	25	7	<1	二至三度	昏迷、呼吸困難、休克、心室頻脈、高血糖、白血球增生、代謝性酸中毒 ACLS[c]	到院前心跳停止
2	25	7	<1	二至三度	昏迷、呼吸困難、休克高血糖、白血球增生 ACLS[c]	到院前心跳停止
3	25	29	<5[b]	二至三度	心搏緩慢、昏迷、縮瞳、休克、垂涎、虛弱高血糖、白血球增生、呼吸性酸中毒 ACLS[c]	到院前心跳停止
4	2.38	28	10	二至三度	呼吸困難、垂涎、呼吸衰竭、虛弱白血球增生、高血糖支持性治療、氣管內插管	存活 [a]
5	25	3	<30	二至三度 皮膚疼痛、皮膚紅斑		存活 [a]
6	2.38	5	<10	一至三度 皮膚疼痛、皮膚紅斑		存活 [a]
7	2.38	2	<1	一至二度 皮膚疼痛、皮膚紅斑		存活 [a]
8	2.38	18	不明	一至二度		存活 [a]
9	2.38	1(手指)	120	皮膚疼痛腫脹、皮膚紅斑		存活 [a]
10	2.38	5(臉部)	<1	皮膚紅斑	肢體無力	存活 [a]
11	2.38	<1	<10	無特殊異常		存活 [a]
12	2.38	<1	<10	無特殊異常		存活 [a]
13	2.38	眼睛	<1	結膜炎		存活 [a]

a：支持性治療，b：文獻訂正後數，c：ACLS: advanced cardiac life support (高級心肺復甦)。

參考文獻

1. 國家衛生研究院重點摘錄：氫氧化鈉 2013 年 3 月 8 日第 1.0 版 https://web.archive.org/web/20200926051438/ http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/toxfaq_detail.php?id=82。
2. https://web.archive.org/web/20200926035907/https://scien cestruck.com/sodium-hydroxide-hazards。
3. https://web.archive.org/web/20200926052135/https://en.wikipedia.org/wiki/Sodiumhydroxide 版權遵守：https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/ 協定。
4. 2013/09/05 自由時報吳俊鋒、林孟婷／台南報導 https://web.archive.org/web/20200926052520/https://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/711229。
5. 衛生署暨臺北榮總毒藥物防治諮詢中心 https://web.archive.org/web/20200926052916/http://www.pcc-vghtpe.tw/tc/ 預防中毒手冊 /page/P56-57%201127.pdf。
6. Lipski, M.; Buczkowska-Radli.ńska, J.; Góra, M. Loss of sight caused by calcium hydroxide Paste accidentally splashed into the eye during endodontic treatment: case report. *J Can Dent Assoc* **2012**,*78*,c57.
7. Vislisel, J. MD (Contributor); Chan, C.CRA (Photographer) Ophthalmic Atlas Images by EyeRounds.org, 版權遵守 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License.
8. 2007/07/23 蘋果日報許佳惠／台北報導資料來源：醫師吳政龍、何啟功； 苦勞網 https://web.archive.org/web/20200926053149/https://www.coolloud.org.tw/node/5510。
9. (a) 吳政龍 (醫師)，氫氧化四甲基銨引起之中毒及其續發症診斷認定參考指引 https://web.archive.org/web/20200926053812/https://www.osha.gov.tw/media/2818/94 0d93232a0239849a77c1813a51d5ab.pdf；(b) 勞工安全衛生研究所，工安警訊，“要命！勞工不慎遭氫氧化四甲基銨溶液噴濺中毒致死案例 ”(2007)。https://web.archive.org/web/20200926055719/https://www.ilosh.gov.tw/menu/1169/1172/ 要命 - 勞工不慎遭氫氧化四甲基銨溶液噴濺中毒致死案例 /。
10. (a) 王沁鎮，除污劑及解毒劑使用時機及功效說明，永百實業股份有限公司技術支援部；(b) 台北榮總鄧昭芳醫師簡報 https://web.archive.org/web/20200926060021/ http://yeric.yuntech.edu.tw/attachment/ppt/ppt_200806001. pdf。
11. Park, S.-H.; Park, J.; You, K.-H.; Shin, H.-C.; Kim, H.-O.Tetramethylammonium hydroxide poisoning during a pallet cleaning demonstration. *J Occup Health*. **2013**, *55(2)*, 120-124.

化 學 中華民國一百零九年第七十八卷第三期
DOI: 10.6623/chem.202009_78(3).008

貝魯特爆炸下的隱憂

陳秀慧、張芳瑀
國立臺北科技大學 分子科學暨有機高分子所

「幾乎整個城市都感受到衝擊波，玻璃甚至陽台都震碎了」[1]，目擊貝魯特港爆炸民眾這麼說。

今年 8 月 4 日，黎巴嫩首都貝魯特港口發生大爆炸事件，爆炸後的畫面使人怵目驚心，爆炸當時的震度相當於芮氏規模 3.3，產生了蕈狀雲及橘紅色煙幕，這場爆炸造成至少 220 人死亡，超過 7000 人受傷，60 人失蹤，導致 30 萬人無家可歸。而造成爆炸的主因黎巴嫩公共保安部聲稱與 2014 年開始存放於港內的 2700 噸硝酸銨有關。

（圖片來源：路透社 / 達志影像）[2]

因硝酸銨而起的爆炸不單是這次在貝魯特港發生的爆炸事件，從 2000 年以來，發生了五次重大因為硝酸銨引起的爆炸事件，貝魯特事件最為嚴重的。其餘四次爆炸分別發生於 2015 年的中國天津、2013 年的美國德州、2004 年朝鮮的龍川及 2001 年的法國圖魯茲。2015 年中國天津的事件，與貝魯特事件同樣都是發生在港口，造成 165 人死亡[3]。另外三場於朝鮮龍川、美國德州及法國圖魯茲的爆炸，雖然規模較小，但也分別造成 54 人、15 人及 31 人死亡[3,4]。以上皆再再顯示人們對於化學物質的存放及相關知識之匱乏。

近年因硝酸銨大量儲存導致的爆炸事件

	黎巴嫩 貝魯特	中國 天津	美國 德州	朝鮮 龍川	法國 圖魯茲
時間	2020	2015	2004	2004	2001
硝酸銨（噸）	2750	800	240	（未知）	300
爆炸地點	港口存放 倉庫爆炸	港口存放 倉庫爆炸	化肥工廠 爆炸	火車 爆炸	化工廠 爆炸
死亡人數	220	165	54	15	31

（近年因硝酸銨爆炸事件。製表：張芳瑀 資料來源：小檔案 > 硝酸銨大量儲存 多次釀爆炸慘劇。2020 年 8 月 6 日。取自：https://m.ltn.com.tw/news/world/paper/1391304）

「硝酸銨」是一種無機化合物，它的化學式是 NH_4NO_3，為一種白色結晶固體的合成化學品，由德國人於 17 世紀發明。20 世紀初，德國化學家佛列茲·哈伯 (Fritz Haber) 發明了大規模生產硝酸銨的技術，大幅提高農作物所需土壤含氮量，哈伯也因此獲得 1918 年度諾貝爾化學獎，其儲存條件須為密閉、乾燥且須避免陽光直射。硝酸銨原主要用於農業肥料，溶於水中能快速進入土壤利於農作物吸收，但後期發現如將硝酸銨和燃油混合，便能成為施工時爆破的炸藥，佔據北美炸藥之成分的 80%。也因硝酸銨歸類於農業原料，因此取得容易，被使用於多次恐怖攻擊包括 1995 年美國奧克拉荷馬爆炸案，兇嫌使用硝酸銨作為恐怖攻擊炸藥，有 168 人因此喪生，死喪人數僅次於 911 恐怖攻擊事件[5]。

在台灣，農業使用硝酸銨的比例不高，因為價格較高、具危險性且硝酸銨肥料台灣無法製成，廠商自由進口一年不到 100 公噸，僅占臺

灣肥料用量百分之零點零幾，農業使用肥料大多都改以硫酸銨作為原料之一，而硫酸銨只需注意腐蝕性，不會產生爆炸[6]。農委會表示，業者第一次進口硝酸銨肥料，須先向農委會申請肥料登記證，地方政府會進行品質查驗，往後進口數量就是跟海關申請報關進口。

基於安全疑慮，目前許多國家對硝酸銨實施了各種管制與安全規範，例如臺灣規定硝酸銨儲存需符合緊閉、乾燥、避免受到光的照射、遠離可燃物、火源與熱源，每年辦理危險物品應變處置演練及教育訓練。歐盟規定在硝酸銨中加入碳酸鈣，提高化學肥料的安全性。美國也在奧克拉荷馬爆炸案後，推出化工設施反恐標準，要求業者只要硝酸銨存量超過 900 公斤，就必須隨時接受查核[7]。

最後，筆者想提醒大家的是在新聞報導大幅的渲染下，並非只是視覺上衝擊後的遺忘，2014 年的高雄氣爆事件等，這些發生在我們周圍的切身之痛，可否留給我們一點省思及警覺。這才是這些新聞事件背後，真正的意義。

化學小常識

那硝酸銨在什麼情況下會爆炸呢？墨爾本大學化學工程講師達席爾瓦 (Gabriel da Silva) 表示，硝酸銨本身並沒有爆炸性，但是被石油或其他化學物質污染，就會變得極易揮發，並可能爆炸，就像貝魯特所發生的那樣。硝酸銨在正確處理和儲存時是安全的，它本身不易燃燒。而儲存硝酸銨的重點是不要大量堆放、溫度必須低，遠離火源[8]。硝酸銨一般會進行一個放熱反應如方程式 (1)，進而裂解為 1 當量的一氧化氮 (N_2O) 和 3 當量的水；但是當遇上更容易氧化的燃油 (oxidisable fuel)，將會產生更多的氣體，而進一步發生爆炸，產生的產物稱之為硝油炸彈 (Ammonium Nitrate and Fuel Oil，簡稱 ANFO)，又被稱為肥料炸彈，曾被用於恐攻。如方程式 (2)[9,10]。

$$NH_4NO_3(s) \rightarrow N_2O(g) + 2\ H_2O(g) \quad (1)$$

$$2\ NH_4NO_3(s) + C \rightarrow 2\ N_2(g) + 4\ H_2O(g) + CO_2(g) \quad (2)$$

參考文獻

1. 賴佩萱 (2020 年 8 月 5 日)。【黎巴嫩爆炸的背後】重新認識「硝酸銨」，一種能代來聲命也可導向死亡的化學物質。科技報橘。民 109 年 8 月 6 日。取自：https://buzzorange.com/techorange/2020/08/06/ammonium-nitrateexplosion/。
2. 楊明娟 (2020 年 8 月 6 日)。調查貝魯特大爆炸 指向附近倉庫失火引爆硝酸銨。中央廣播電台。民 109 年 8 月 6 日。取自：https://www.rti.org.tw/news/view/id/ 2074930。
3. 周虹汶 (2020 年 8 月 6 日)。小檔案》硝酸銨大量儲存 多次釀爆炸慘劇。自由時報。民 109 年 8 月 6 日。取自： https://m.ltn.com.tw/news/world/paper/1391304。
4. Et today 新聞雲 (2020 年 8 月 5 日)。自埋定時炸彈？貝魯特爆炸，2750 頓硝酸銨已存放 6 年。取自：https:// www.ettoday.net/news/20200805/1777611.htm。
5. 李忠謙 (2020 年 8 月 5 日)。焊接不慎引燃 2750 噸硝酸銨，在貝魯特炸出 3.3 級地震、約 25 萬人無家可歸:天津大爆炸、美國史上最嚴重本土恐攻，元兇都是它。風傳媒。民 109 年 8 月 5 日。取自：https://www.storm.mg/ article/2915457?page=1。
6. 陳怡文、許麗珍 (2020 年 8 月 12 日)。【黎巴嫩大爆炸】硝酸銨可製肥料 農委會：國內進口粒狀無爆炸風險。蘋果即時新聞。民 109 年 8 月 7 日，取自：https://tw.appledaily.com/international/20200807/T5TVDSTBHVLYA64ABNEGWJCZ7I/。
7. 徐家仁 (2020 年 8 月 5 日)。硝酸銨為肥料要角 亦可作為爆破炸藥。公視新聞網。民 109 年 8 月 12 日，取自：https://news.pts.org.tw/article/489647。
8. 張詠晴 (2020 年 8 月 5 日)。爆炸威力相當廣島原子彈的 1/5 但黎巴嫩的悲慘何止如此。天下雜誌。民 109 年 8 月 5 日。取自：https://www.cw.com.tw/article/ 5101413。
9. Djerdjev, A. M.; Priyananda, P.; Gore, J.; Beattie, J. K.; Neto, C.; Hawkett, B. S. The Mechanism of the Spontaneous Detonation of Ammonium Nitrate in Reactive Grounds. *J. Environ. Chem. Eng.* **2018**, *6,* 281-288.
10. Marshall, A. Explosibility of Ammonium Nitrate. *Nature* **1949**, *164*, 348-349.

專題報導
化 學 中華民國一百零九年第七十八卷第四期
DOI: 10.6623/chem.202012_78(4).003

化學實驗室要注意的常見藥品

蔡蘊明
國立臺灣大學 化學系

在化學研究實驗室常充斥著各種化學藥品，量或許不大但種類繁多。化工廠內的化學藥品與之相比，其特徵是量大但種類較少，反而在儲存與管理上較為容易。在這樣的前提下，於研究實驗室工作的人員更需要有全面性的化學品安全性認知，在此特別依據美國化學學會所製作的相關資訊[1]，提點一些在研究實驗室應該注意的藥品與相關操作事項。

一、酸與鹼

這類的物質通常具有腐蝕性，一般實驗室都常會用到如硫酸、鹽酸、硝酸、磷酸和醋酸等試劑，經常需要進行稀釋；常用的鹼則為氫氧化鈉或氫氧化鉀及氨水，其中前二者為固體，需要秤取後溶於水中以製備其溶液，濃氨水也常用來調製不同濃度的溶液。即便稀釋過，這些酸或鹼仍具腐蝕性，最忌諱噴入眼睛造成直接傷害。與皮膚接觸雖然傷害不是立即，但那也決定於濃度高低，不可輕忽。最簡單的保護就是護目鏡、手套和實驗衣，一樣都不可省。筆者在學校多年，酸或鹼液濺入眼睛偶有所聞，一旦發生必須掌握時間立即清洗至少二、三十分鐘再送醫。

硝酸因為具有氧化力，尤其需要特別注意，在實驗室常用丙酮潤洗玻璃器皿，若其中的丙酮尚有殘餘，貿然加入硝酸，取決於其濃度有可能產生劇烈反應，不得不慎。因此我們的教學實驗室若需使用硝酸，會要求助教特別提醒學生。

氫氟酸在使用時須要特別小心，一旦接觸皮膚將滲入骨骼造成嚴重傷害，新進人員若需使用，指導人員絕對需要說明注意事項。即便是實驗室老手，第一次需要使用時，實驗室主管人員亦應確認該員有正確認知。需要使用的實驗室，應該備有葡萄糖酸鈣軟膏或六氟靈這類的解毒劑以備不時之需。

二、壓縮氣體

大部分實驗室都會備有如氮氣、氦氣、壓縮空氣、氫氣或氧氣鋼瓶，除了應遵守存放及移動氣體鋼瓶的安全規範，對其上的控制閥器如何使用尤其需要訓練，實驗室的負責人有責任確認這方面的教導。不教而做為師之過，不可懈怠。

有些時候會用到較小型的鋼瓶，例如氨或乙炔，使用時的最重要指導原則就是將之固定。使用人員對欲使用的氣體一定要先查清楚其性質再用。具有腐蝕性的氣體鋼瓶，如氯化氫，尤其要注意。這類鋼瓶因為其腐蝕性，控制閥器使用後一定要拆下，避免長時間在其中積聚的氣體造成腐蝕以致無法再用。這類鋼瓶上的總活栓也常易鏽蝕，有時打開了卻關不上，造成危險。筆者在做研究生時就碰到過某實驗室的這種鋼瓶洩漏，全系疏散，找了消防隊員來處理，親眼看到一位消防隊員應該是不慎吸入，在系館外痛苦得在地上打滾，印象深刻。我的最佳建議是最好不要使用這種氣體鋼瓶，其實小量的鹽酸氣可以透過適當的玻璃裝置，將濃硫酸慢慢滴入氯化鈉而產生。

三、低溫物質

研究實驗室經常使用液態氮或是乾冰，其中固體的乾冰經常與丙酮混合製造 −78 °C 的冰浴，使用時都必須小心避免濺灑到人員身上，

將會造成低溫灼傷。筆者就曾經處理過某實驗室的此種意外，一位女研究生應該是著裙做實驗，操作不慎使得乾冰 / 丙酮混合液濺灑到腿部，可能也因著有貼身絲襪造成潤浸時間稍久，當時不以為意，但隔了不久接觸過的皮膚開始不適，進了醫院治療，所幸並無大礙。這個範例也提醒我們，在實驗室工作的穿著應遵守安全規範。

四、易燃物質

許多化學藥品易燃，但最值得注意的就是常用的溶劑，尤其是乙醚、正己烷、乙酸乙酯、丙酮或乙醇等類的揮發性有機溶劑，若不慎滴到加熱板或高溫油浴上極易著火。其中乙醚最常用於萃取，操作時一定要遠離那些加熱裝置以避免意外。筆者的研究室有位助理在八零年代末期於設備不是很好的實驗室中工作，有一回他在萃取的時候一不小心噴灑了一點出來，旁邊有一正在加熱的油浴，據他事後對筆者的描述，當時就看到一條細細的火線沿著噴灑的路線燃起，所幸曇花一現，筆者聽聞後不得不捏了一把冷汗，暗道一聲慚愧，畢生難忘。

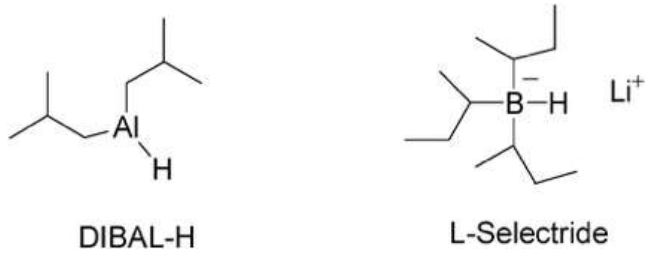
另一次是在國外做研究生助教時，指導學生做再結晶實驗，需要加熱有機溶劑，雖然叮嚀過不得直接用火加熱，而就是有位天兵未遵照助教解說，只見一個燒杯，杯口冒出熊熊火焰，所幸筆者當年在輔大的大二有機實驗學了幾招，先冷靜的要求學生退開，移開火源，同時手持一用水浸溼的抹布往杯口罩下，火雖因缺氧立即滅去，但需暫時維持該狀況讓杯內溶劑冷卻，若立即將抹布拿開，與空氣接觸加上仍存在的高溫將會重新點燃。現在想起這故事還是要叫聲好險，若是打翻或將不可收拾，筆者的處理方法絕非典範，只是用此故事提起諸君的注意。

萬一人員身上著火，必須立即倒地滾動壓熄火焰，一旁人員可立即以防火毯覆蓋並包裹著火人員以便滅火。最忌諱的就是一路向外奔逃，由於火焰是向上的，這將造成頭頸部的嚴重傷害。也因此，實驗室的走道不得放置雜物，也必須留置足夠的寬度，以備不時之需。

五、自燃性物質 (Pyrophoric materials)

這類的物質普遍的遇到空氣就會著火，有些是因為空氣中的氧氣而另一些是由於空氣中的水蒸氣造成。在實驗室中常見的這類藥品包括許多金屬氫化物如 DIBAL-H (diisobutylaluminum hydride)、L-Selectride (lithium tri-sec-butylborohydride) (圖一)、氫化鈉 (NaH) 或特別危險的氫化鉀 (KH)，有機鋰化物中第三丁基鋰 (*t*-BuLi) 活性最高也最危險。此外白磷是著名的自燃物，不少有機磷化物也要注意。粉末的金屬因表面積大，遇氧易自燃。鉀金屬活性極高，暴露於空氣亦會自燃。原則上盡可能用其它方法，儘量不要做大量製備。

實驗室工作人員要使用這些藥品時必須經過訓練，研究室的負責人有義務詳細教導。使用者尤其要注意瓶上的標示，詳細閱讀相關資料，做好操作時的防護，保護自己也保護別人。



圖一　兩種合成實驗室常用的高活性金屬氫化物結構。

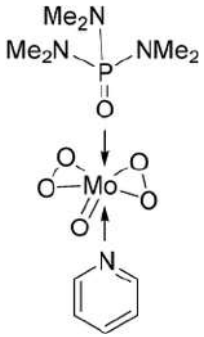
六、爆炸性物質

這類物質在實驗室最常見者就是過氧化物，其存放和使用都需要詳閱規定。另外如乙醚這類的醚類溶劑易與空氣中的氧慢慢反應生成過氧化物，一旦濃縮造成累積會產生爆炸危險。若在實驗室發現一瓶儲存很久的醚類溶劑，最好先檢查其中過氧化物含量。筆者個人經驗是一瓶有問題的乙醚，其氣味會有些不尋常，要小心。

另外著名的易爆物是重氮或疊氮類的化合物，重氮化合物最需注意也常被使用的是重氮甲烷 (CH_2N_2, diazomethane)，此物絕不能碰到磨砂玻璃或未用火潤過 (fire polished) 切口的滴管，否則會引發爆炸。疊氮鈉 (NaN_3) 是常用試劑，固態時具有對撞擊的敏感性，雖然要加熱到 270 °C 以上才會爆炸但仍應避免加熱。另要注意疊氮鈉易與金屬反應而爆炸，尤其不得倒入水管中，因為若碰到鉛或銅會產生很糟的後果。疊氮鈉遇酸會產生疊氮酸 (HN_3, hydrazoic acid)，那是一個揮發性 (bp 37 °C) 且具高爆性的液體，毒性也極高，要避免它的產生。製備有機疊氮物要謹慎，原則上都是具有潛在爆炸性的，應盡量避免加熱，例如在萃取後濃縮過程中的水浴溫度不要太高。

筆者的建議是進行這類反應最好不要做大量，能有別的合成路徑應盡量避開其使用，無法避免時安全裝備必須齊全。

易爆物當然不只這些，最重要原則是事先查清楚使用的試劑性質。這讓筆者想到在做研究生時，對面實驗室是做碳烯 (carbene) 的研究，可能因為常用到重氮化物，常會發生爆炸。筆者有一位朋友製備了一個稱為 MoOPH (圖二) 的鉬金屬過氧化物，英文全名為 oxodiperoxymolybdenum(pyridine)(hexamethylphosphoric triamide)，放在真空乾燥器中過夜，隔日再來時已經爆掉。此例就是要讓大家體認對這類平常不熟的試劑，若去查詢資料就會得知重要訊息，那將發現該化合物具爆炸性，應儲存於冷凍庫並避免照光。



圖二　氧化劑 MoOPH 的結構。

七、無知是最大的危險

在實驗室的安全意識最為重要，清楚的知道自己所為，平日多吸收化學安全資訊是自保良方，讓筆者舉一個親身的經歷來強調這個概念。許多實驗室會使用鈉金屬來乾燥乙醚或四氫呋喃 (THF)，並以二苯酮做指示劑。由於鈉金屬不溶於醚類溶劑，脫水除氧的作用只會發生在其表面，經長時間的反應會在其表面累積許多棕褐色的固體，常會使無經驗者誤判其中的鈉已經完全消耗。筆者是個勤勞的人，在做研究生時，實驗室的上述乾燥回流裝置都是由筆者一手包辦處理，從未想到傳承之事。這日一位學弟看到一個乙醚乾燥裝置不小心蒸乾了，由於筆者不在，學弟將裝置拆卸，那個瓶底黏附了大量棕褐色固體的一公升圓底瓶順手放置於水槽，打開水龍頭沖著水。此時筆者剛好回來，

一看就知大事不妙，立刻關掉水流，全副武裝，支退學弟。實驗室的水槽大約有五十公分的深度，我半蹲著身軀讓眼部略高於槽沿，伸出右手入槽，手指夾住向下依附在槽底的磨砂瓶口，就在往上提起的瞬間爆炸，我的手順勢鬆脫抽離，整個槽口同時冒出一滿團火焰後消失。我的手戴著新平長手套，奇蹟似的沒有損傷，就只有額頭一些毛髮有點燒焦。

事後檢討，筆者認為該瓶應仍充滿了乙醚蒸氣，由於瓶口朝下，水並未進入瓶底，但是當我將磨砂瓶口向上提起時，在口內附著的水珠滑落，立刻與瓶底被包覆的殘餘鈉金屬反應，接下來發生的事可以理解，夠深的水槽擋住了碎玻璃而未造成更大損傷。

這個故事不在顯示筆者的英勇，實際上我的行為或許過於魯莽，但我也真沒想到可危險至此，但是為何我幾乎全身而退？那就在於我深切地知道面對了危險，先將自己保護了起來；反觀學弟，由於對危險沒有認知，做出了更輕率的舉動，難以想像當初他若在毫無防範之下，直接拿著瓶子將水灌入會發生何事，每每想到這裡都會讓我不寒而慄。但此處仍要強調這是約四十年前的事故，現代的安全標準更高，我的處理方式絕不可當成標準，最好是不要讓這種狀況發生，若不幸發生則應立即向上級呈報找專業人員處理。

這個故事是我經常在化學安全訓練會議上會提到的，希望親身的經歷能闡述知識的無價。

八、總 結

化學安全人人有責。實驗室負責人或指導教師最重要的職責在於傳授知識，實驗室人員要進行的研究，主管者必須清楚掌握，對於有安全顧慮之藥品必須事先提點工作人員。實驗室的研究人員也必須對將使用的藥品有清楚的認識，不熟悉的藥品務必先查詢資料，並與有經驗者討教學習或與主管討論。本文中所提及的藥品只是通論，提醒大家的注意，增加個人的化學安全意識。**研究的態度，必須是有計畫的探索**。

參考文獻

1. *Common Laboratory Hazards* https://www.acs.org/content/acs/en/chemical-safety/basics/common-hazards.html. (AccessedDec. 6, 2020)

專題報導
化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第一期
DOI: 10.6623/chem.202103_79(1).004

化學意外案例：有機疊氮化物的爆炸性分解

邱秀貞
嘉義大學 應用化學系

一、前 言

一名有機合成組的研究生分離有機疊氮化合物（苄基三乙基疊氮化銨）作為中間體，以合成用於癌症治療的複雜有機分子。她試圖通過疊氮化合物取代 5 甲苯磺酰氧基衍生物來製備 5- 脱氧 -5- 疊氮基核苷。

她使用旋轉濃縮儀抽去溶劑以分離出少量的此類有機疊氮化合物中間體，最初分離出約 0.5 克物質，並用於進行分析測試，以證明分離出之中間體的純度；在證明了合成過程中的初始步驟成功之後，她將該過程放大了 20 倍，以便分離出足夠的有機疊氮化合物以繼續後續合成反應的進行。

二、事件發生概況

在一個周日晚上約 9:00，她與另外兩名研究生在實驗室工作，她完成了實驗並使用旋轉濃縮儀除去溶劑，得到約 7-8 克有機疊氮化合物，旋轉濃縮儀安裝在實驗室中間的開放式工作台上，在 Buchi 旋轉濃縮儀中將有機疊氮化物從丙酮和二氯甲烷的 1:1 溶液中分離出來後，她用左手提起把手柄，並用右手去拿裝有疊氮化合物的 250 毫升的圓底燒瓶，想將圓底燒瓶從水浴槽中拿出，瞬間，燒瓶在她的手中爆炸，粉碎了旋轉濃縮儀上連結的玻璃以及旁邊實驗桌上的所有玻璃容器，冷凝器的玻璃碎片甚至噴飛至約 15 英尺遠的走廊上。

從她對事件的回憶和受傷的情形說明她沒機會破真空或停止燒瓶的旋轉；僅從溫水浴中提起燒瓶即引起對震動敏感的有機疊氮化合物的分解，也許是由於移動了受污染的毛玻璃接頭。但是，在這種情況下，該研究生並不認為容器有“碰撞“的情形發生。

2.1 事件造成的傷害和財產損失

爆炸時，燒瓶上的玻璃碎片嚴重刺傷了研究生的右手，割傷了她的臉頰和額頭，爆炸的力量將她彈倒到地板上，她流血且嚇壞了；她戴著的安全眼鏡保護眼睛免受玻璃碎片的傷害，否則她可能已經失明；兩名與她在一起做實驗的學生立即向外求助，救護車將她運送到五分鐘車程的醫院，當天晚上，進行了四個小時的外科手術，從她的臉部和手上取下許多的碎玻璃，隨後的手術恢復了她大部分但不是全部的手部功能，她失去了移動拇指的能力，她還進行了多次整容手術，以改善自己因玻璃刺傷的外表。

2.2 救援應對與支援

當地消防部門做出回應，由於該事件涉及爆炸，國家消防馬歇爾辦公室也被召集，三名大學環安衛中心員工與三名州檢查員和兩名代表一起參加了為時六小時的調查；該建築被關閉，直到調查完成。在完成州消防執法官的調查後，環安衛中心員工才清理噴溢的物質和血液。

三、分析與討論

3.1 事故原因

爆炸是由有機疊氮化合物的快速分解引起的，據信有機疊氮化合物已經進入了圓底燒瓶和旋轉濃縮儀上玻璃柱之間的磨砂玻璃接縫中，但是，在採訪了該研究生之後，歸納導致該事件之原因如下：

(1) 研究生低估了她分離出的化合物存在的相關風險；儘管她了解疊氮化合物的分解可能性，但她不知道她所分離的有機疊氮化合物對震動的敏感程度，即使在相關的參考文獻中有載明此訊息。

(2) 由於低估了危險，她將疊氮化合物的分離在開放的工作台上執行，沒有適當的遮蔽防護，例如實驗室通風櫥和防護罩，個人防護設備或程序。

(3) 在反應量放大時，她沒有重新評估風險，如果有的話，她應該意識到所處理的化學物質具有強大的爆炸力，並且由於其固有的不穩定性，需要更多的遮蔽防護和處理時的安全距離。

四、建議彙整

為防止此類事故之發生，建議採取以下步驟：

1. 根據反應的類型和規模（材料的數量），確定適當的安全預防措施（包括流程控制和個人防護設備），並製作安全預防措施列表，尤其執行高風險型實驗，該安全預防措施列表應於實驗前及過程中分發並要求大家遵循。

2. 建立正式的同儕安全審查程序，要求在允許研究生開始做實驗之前必須完成以下步驟：
   (1) 必須進行全面的文獻探討（安全和化學面）
   (2) 完成載明危害和須採取之預防措施的協議安全性評估表。
   (3) 與同儕討論計劃中的研究，文獻綜述中發現的訊息以及安全性評估表。

3. 建立可以在其中執行高風險反應之共享使用設施，並建立執行這些反應的特殊程序。

重點說明：

1. 擴大反應時，審查風險評估。

2. 使用活性大之材料時，請使用專業防護措施進行防護和遠程處理。

參考文獻

1. https://zh.wikipedia.org/wiki/ 疊氮化合物。
2. Brase, S.; Gill, C.; Knepper, K.; Zimmermann, V. *Angew.Chem. Int. Ed.* **2005**, *44*, 5188-5240.

化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第一期
DOI: 10.6623/chem.202103_79(1).005

化學意外案例：鈉金屬的火災 - 德州大學奧斯汀分校

邱秀貞
嘉義大學 應用化學系

一、前 言

以下是德州大學奧斯汀分校報紙的節錄，內容涉及 1996 年 10 月 19 日星期六上午 9 點 30 分校園化學實驗室發生的大火。大火始於化學教授史蒂芬·馬丁 (Stephen Martin) 使用的有機合成化學實驗室，與他一起工作的三個研究生和兩個博士後研究員。火災發生在博士後研究員馬修·馬克思於實驗後試圖處理鈉金屬時，該金屬在與水接觸時會引起火花以及產生熱，嚴重時甚至會引起爆炸。

二、事件發生概況

馬丁形容馬克思是一個有能力且細心的研究員。馬克思遵循安全程序，將金屬置於酒精中進行處理。當馬克思開始將材料倒入水槽時，他並沒有注意到有少量殘留金屬的存在，當時他認為他正處理的是完全安全的物質，但當一些殘留金屬與水接觸時，隨即產生一個小火焰；當時馬克思試圖移走水槽中另一個裝有丙酮廢液的容器，然而該容器碰撞到水槽側面後破裂，導致火焰增長。

三、分析與討論

這完全是意外嗎？

有關火災和情況的更多詳細信息：

1. 大火發生在韋爾奇大樓 (Welch Hall) 五樓，該棟樓是擁有 150 個化學實驗室的化學大樓。

2. 研究人員離開了實驗室，關上門，立即撥打 911；另一名學生出電梯，看到火從實驗室的門竄出，立即按下火警警報器。

3. 即使在附近的其他實驗室中以及仍在建築物中的學生，在警報響起後仍然沒意識到發生了什麼事？
   該校化學大樓在過去 2 年半中共發生了 5 起火災，這次是最大的火災。

4. 韋爾奇大樓發生的五場火災中有三起是由「實驗事故」造成，另一起則是垃圾中化學物質的處置不當而造成。

5. 這是一場極大的火災：奧斯汀值班消防力的一半，90 名消防員和 25 輛消防車，花了 6 個小時來撲滅大火。

6. 火災沒有造成人員傷亡，但建築物的 40,000 平方英尺被損壞，估計費用為 300,000 美元。

7. 儘管實驗室的化學藥品清單是用電子檔保存，但參與救災的消防員卻沒有有關火災現場中所含化學藥品的訊息；火災期間同時發現未貼標籤的容器和不適當儲存的易燃化學品。

8. 除其他安全缺陷外，奧斯汀消防部門還將這場星期六的火災歸咎於化學品管理不善。

9. 德州大學奧斯汀分校是州立機構，不受奧斯汀市消防法規和檢查的限制。該校接受州消防檢查，但這些檢查可能不頻繁或不夠徹底，因為整個州只有 10 位消防檢查員負責該業務。

10. 韋爾奇大樓於 1959 及 1974 年增建 2 側翼樓，大樓的三個區域均有獨立的火災警報系統。然而當天火警警報被啟動時，僅在建築物的一個區域聽得到警報聲。

11. 每學期開始時，所有入學學生都必須接受安全教育訓練。化學系研究生必須參加為期一天的安全訓練，並接受其他部門安排之安全教育訓練，包括如何撲滅化學火災。

四、建議彙整

由德州大學奧斯汀分校與城市消防官員共同舉行的會議裡，消防部門提出了以下建議：

1. 安裝灑水系統。
2. 為各種危害品提供適當的滅火器。
3. 在每個樓層上安裝適合每種化學品存儲的化學品存儲櫃和房間。
4. 在每個實驗室外的牆上張貼化學品清單。
5. 成立專責之應急小組，該組成員可以在事故發生過程中控制化學品洩漏。
6. 隔離不相容的化學品。
7. 修改警報系統，使警報聲能在建築物的各處都能被聽到。

以下是一些有關是次火災的討論對話，最有趣的引言似乎來自學生，也許是因為他們往往比其他人更坦率但少了些謹慎：

（在火災中位於二樓的學生）「我們聽到了嗶嗶聲，但不是很在意；有人進來告訴我們起火了，每個人也都非常鎮定，因為我們不知道是那麼的嚴重。」

（曾在化學實驗室任教的化學研究生）「沒有發生什麼重大過失，只有很少的損失，作化學總是有風險的。」

（一位分子生物學資深人士）「這些化學物質非常安全。在化學反應持續進行時，你隨時要有發生火災的心理準備。」

（還有另一個學生）「考慮到化學反應無時不刻都在進行，在 2 年半內發生五場火災機率是很低的，。我很驚訝建築物到現在還沒有被燒毀。」

奧斯汀消防局局長羅賓•保羅斯格羅夫 (Robin Paulsgrove) 表示：「消防部門不能接受“該嚴重的事故記錄必須被刪除以支持高質量的學術研究。“的建議，他並嚴正申明，“我不希望整個過程退化為只是一系列的委員會會議。”」

馬丁教授表示：「在解決安全問題時，如果沒有實驗室翻新的額外資金就無法完全解決安全問題。」他說：「不幸的是，媒體報導往往將問題歸咎於學生而不是關注解決安全問題的資金短缺。“我知道外面有很多人不想聽這個，但是，學校被資金短缺所綑綁。為了解決安全問題，將錢投入到大學中是需要的。」馬丁說：「除了重建實驗室，清理煙霧和水線的損壞費用外，大火還造成了無法確定其貨幣價值的損失。」他說：「實驗室中保存的許多研究記錄以及當前研究的記錄都被損壞了。我仍在評估火災期間損壞了哪些設備和多少記錄。」馬丁說：「我可能會把實驗室描述為全部損害，許多檔案中的某些資料可以追溯到 15 到 20 年 – 全毀壞了。」但他補充說：「值得慶幸的是沒有人在大火中受傷。」他希望人們不要再指責這個因為意外而產生的事故。

參考文獻

1. *Chem. Eng. News* **1996**, *74*, 44, 10–11.
2. https://www.ehs.ucsb.edu/files/docs/ls/UT_fire.pdf.(Accessed 2021/2/1)
3. Rayner-Canham, G.; Overton, T. *Descriptive Inorganic Chemistry*; 4th ed., W. H. Freeman: New York, 2006.
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium. (Accessed 2021/2/1)

化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第一期
DOI: 10.6623/chem.202103_79(1).006

化學意外案例：鈉金屬的火災 - 芝加哥大學化學系

邱秀貞
嘉義大學 應用化學系

一、前 言

2017 年五月，芝加哥大學化學系，一位研究人員正在處理蒸餾完容量 1 升的庚烷蒸餾裝置內的鈉金屬，過程中不小心鈉金屬被點燃，火焰透過通道被傳送到實驗室工作台上。當時沒有人在實驗室裡，直到聽到爆炸聲後，兩名學生在未尋求經驗豐富的實驗室成員協助前即進入實驗室查看；經驗更豐富的實驗室成員趕到並即刻滅火，另一名實驗室成員通知芝加哥大學警察 (UCPD-123)；UCPD 亦立即通知了芝加哥市消防局，並確認了火災在將實驗室回歸給首席研究員之前被撲滅了。沒有人員受傷而且對實驗室的損害很小，然而其他機構也發生了類似的事件並導致嚴重的人身傷害和財產損失 [1]。

二、事件發生概況

該研究員表示，他將約 100 毫升的異丙醇以緩慢滴入蒸餾燒瓶中去處理未反應完之金屬鈉，這個動作一般會使用具有側頸的燒瓶將異丙醇由側頸添加到蒸餾燒瓶中，但是這次他想如漏斗一樣通過蒸餾裝置頭側進行添加，這樣他就可以離開實驗室並做一些分析工作。在添加異丙醇時，他無意間關閉了氮氣閥，產生一個封閉的系統，該研究員離開後，裝置突然釋放了積聚的壓力並著火，對面排氣櫃內之紙巾（櫃門半開）和著火的可燃物隨即一起燃燒。

用醇及水處理金屬鈉，會生成氫氧化鈉，氫氣和熱。研究人員通常會先使用異丙醇開始處理過程，然後再換成乙醇，甲醇和水，氣泡（氫氣）的產生與否可用於協助判定鈉是否充分反應？但是在鈉表面會形成一層包覆物質，讓研究人員誤以為鈉已完全反應，當包覆物質溶解，新鮮的鈉與任何酒精或水迅速反應，在封閉的系統中導致氫氣和熱量的加壓，此外，添加易燃液體、易燃氣體和熱量的產生也提升此操作之危險性。

三、分析與討論

1. 各校對於反應後殘留之鈉金屬處理均有相當經驗且已有標準之程序。
2. 實驗室成員對於意外的反應相當良好，迅速撲滅大火並即時打 123 通知芝加哥大學警察局。
3. 實驗室成員在事件發生前對於安全器材的位置與實驗室規則有得到良好的訓練 [2]。
4. 實驗室成員留在事故現場回答芝加哥大學警察局 (UCPD) 和消防隊的問題。
5. 實驗室備有預防危害之設備，包括耐火實驗室外套，護目鏡和丁腈手套。
6. 火災發生前，排氣櫃內並無任何助長火勢擴散的易燃溶劑。

四、建議彙整

1. 高度危險的操作絕不能無人看管，並且所進行的工作應清楚地傳達給實驗室中的其他人員[3]，勿擅自進入災害現場。

2. 購置易於使用並定期檢查及更新應急設備。

3. 應採用良好的內務管理，以盡量減少可燃物的數量並防止火勢蔓延。

4. 當使用 Schlenk 系列和帶有多個旋塞的玻璃器皿時，應注意下列事項：
   (1) 有確定何時打開 / 關閉的方法。
   (2) 有監測壓力和溫度的方法和 / 或設備。
   (3) 建立心理上可視化過程以防止封閉的增壓系統。
   (4) 考慮 " 如果發生 " 方案並規劃適當的應變反應。

5. 不相容化學物質（如鈉和酒精 / 水）的反應必須建立處理的標準程序[4]且列入實驗室教育訓練之項目中。

6. 制訂定期檢查程序清單。

7. 調整程序時，應特別注意與其他實驗室成員和 / 或主要研究人員的協商。

8. 不使用時，應將排氣櫃櫃門拉下。

9. 在處理蒸餾後殘存之鈉金屬可使用具玻璃塗層的攪拌石。

10. 在處理反應後殘存之鈉或鉀金屬，可以考慮使用花盆技術[5]。

參考文獻

1. UC Irvine Incident Investigation. http://www.ehs.ucsb.edu/ files/docs/ls/UCI_fire.pdf. (Accessed Feb. 1, 2021)
2. Research Personnel Orientation Checklist. https:// researchsafety.uchicago.edu/sites/researchsafety.uchicago. edu/files/uploads/Research%20Personnel%20Orientation% 20Checklist.docx. (Accessed Feb. 1, 2021)
3. Overnight or unattended reaction sheet. https://researchsafety.uchicago.edu/sites/researchsafety.uchicago.edu/files/uploads/Overnight%20Reaction%20Form.docx.(Accessed Feb. 1, 2021)
4. University of Chicago Standard Operating Procedure template. https://researchsafety.uchicago.edu/page/standardoperating-procedure-templates. (Accessed Feb. 1, 2021)
5. Roesky, H. W. *Inorg. Chem.* **2001**, *40,* 6855-6856.

專題報導
化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第二期
DOI: 10.6623/chem.202106_79(2).002

化學意外案例：一位研究助理之死

甘魯生
中央研究院 化學所 退休研究員

一、前 言

1.1 人物介紹

2008 年 12 月 29 日下午二時多，一位女性助理 Sheharbano（暱稱 Sheri）Sangji 在加州州立大學洛杉磯分校 (UCLA) 分子科學大樓四樓一間實驗室抽風櫃前做實驗，Sheri 時年二十三歲，七個月前月剛從 Pomona College 化學系得到化學學士學位，她是一位熱愛學習進取心強烈的學生，由二年級開始 Sheri 在系裡任教的 Daniel O'Leary 教授實驗室中做了三年有關胜肽化學研究和 O'Leary 教授聯名發表了二篇論文。畢業後 Sheri 應聘到 Norac Pharma 公司工作了短時間之後在 2008 年 10 月 13 日離職到加州大學化學暨生物化學系 Patrick Harran 教授實驗室擔任助理工作。雖然在 Harran 教授實驗室任助理僅二個多月，但 Sheri 不是生手，她具有相當程度的實驗室工作經驗。

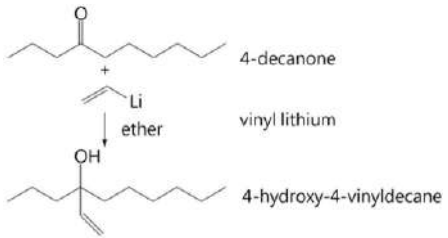
Sheri 也是個勤奮的人，在美國耶誕至新年的假期裡仍一如平日來實驗室工作。

Ms. Sheharbano (Sheri) Sangji

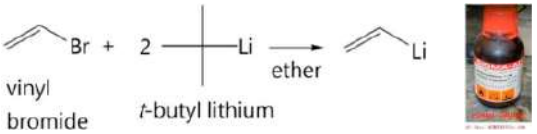
Dr. Patrick Harran

1.2 實驗目標

那天 Sheri 要做的實驗是利用 4-decanone 和 vinyl lithium 在乙醚中混合產生 4-hydroxy-4-vinyldecane，化學反應式示如下：



由於 vinyl lithium 在空氣中能自燃，所以 Sheri 做上述實驗之前置作業是準備 vinyl lithium，它是由乙烯溴 (vinyl bromide) 在乙醚中和三級丁烷鋰 (t-butyl lithium) 交換完成，反應如下圖。

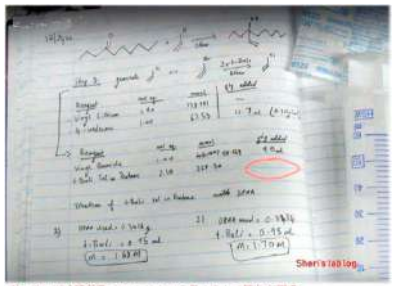


三級丁烷鋰也不安定，極易燃燒，所以上述二個實驗要一氣呵成。

二、事件發生概況

以上的實驗雖危險，但 Sheri 也是有備而來。據 Sheri 的實驗日誌的記載，她由同實驗室的博士後示範過三次，在十天前（十二月十九日）自己做過一次，成功。不過這次她將上次實驗的產量放到了三倍。Sheri 計算出需 160.1 毫升 (mL) 之三級丁烷鋰（濃度 1.68 M）和 9 mL 之乙烯溴作用。她用了一支配有 1.5 吋長的 20 號針頭之 60 mL 的塑膠針筒來吸取三級丁烷鋰，分三次進行將三級丁烷鋰吸出再注入乙烯溴溶液中，可能要取的量非常接近針筒的容量，Sheri 不慎將針筒

塞子拔出了針筒。三級丁烷鋰濺了出來之後立刻燃燒起來，抽風櫃中有一瓶和實驗無關的己烷，慌亂中 Sheri 將它碰倒，己烷也立刻燒了起來。



註：Sheri沒有將所需(1-butyl) lithium之量,160.1 mL標出(紅圈處)。

2.1 大禍鑄成

Sheri 穿了一件聚脂纖維 (polyester) 為材質的運動衫 (T-shirt) 及腈類 (nitrile) 為材質的手套，並未穿實驗衣。聚酯纖維有固體的汽油之稱，一著火就很難收拾，被打翻的己烷助長了火勢，悲劇就這樣發生了。

2.2 搶救無章

實驗室有位博士後聞聲趕來，他立刻用實驗衣將 Sheri 包起來試圖將火熄滅。但 Sheri 不斷的尖叫和劇烈扭動身體，所以不容易包緊最後連實驗衣下擺也燒起來了，不得不放棄。然後這位博士後由水糟中取水往 Sheri 身上潑，隔絕空氣和潑水來滅火固然正確，但他二人都忘了實驗室內有一個緊急淋浴龍頭！隔壁實驗室有另一博士後聞聲趕來看到此等景象（包括仍在抽風櫃中燃燒的己烷），立刻奔回自己實驗室撥打 119。之後再到上一層樓 Harran 教授辦公室報告，他的反應正確，但也忘了最有效的緊急淋浴龍頭，Harran 教授下來時看到 Sheri 的衣服從腰以上大部份燒掉了，上半身、手臂和脖子上有大片水泡，手的皮膚幾乎和肉分離。後來醫院鑑定 Sheri 的頭、手、手臂及上身約 40% 部位二至三級燒燙傷。

2.3 消防介入

消防員及醫護人員及一輛消防車在 12 分鐘內趕到並將火撲滅，醫護人員將 Sheri 放在一張有輪子的椅子上移到緊急淋浴龍頭下沖了之後送到該校雷根醫學中心。此時 Sheri 尚有意識，還交待醫護人員將她的筆電一起帶來，一位消防員在急診室中和她談及己烷之事，但以後就昏迷不醒，雖在一月初再轉往座落在加州 Sherman Oaks 的 Grossman 燒燙傷中心治療，不幸的是在 18 天之後（一月 16 日）不治身亡。

三、分析與討論

3.1 後見之明

事情發生時 Sheri 並未穿實驗衣（但沒有人記得她是否戴了護目鏡）是最大的缺失，穿著不當其次，未將不相干的化學藥品移開又次之，再者器械運用也有問題。依 Aldrich 安全公報推薦要用二倍量的針筒，因此 60 mL 的針筒一次最多只能吸取 30 mL，都顯出對安全的忽視。其他實驗室人員的表現也顯出平日不重視實驗室安全規則及平日缺乏訓練，沒有緊急應變能力，以上種種讓一位極有前途的有為女孩的生命定格在花樣年華。

3.2 亡羊補牢

UCLA 在這次事件後為所有使用可燃性試劑的研究人員購置了防火材質的實驗衣、大幅修改了健康及安全條規、安全檢查標準化及擴大舉行、實驗室不得存放過多的危險化學藥品、要訓練所有從事人員正確穿著實驗衣、新進人員在一個月內必須參加安全講習以及獎勵將安全程序做得好的實驗室，並雷厲風行。

四、建議彙整

4.1 自我保護

第一線從事實驗研究的人士最要緊的事是要自保，做事要謹慎，要牢記安全守則及勤勞的養成習慣，另外還要：

4.1.1 善用自我保護的器具

規定對自身穿著無限制，自我保護是要穿長褲，褲管要長及鞋面，穿能包住腳面的鞋子，將長髮紮起，盤捲在頭上，儘量不戴隱形眼鏡。

規定是要穿實驗衣、手套、戴護目鏡，自我保護是要在使用前檢查是否可用，材質是否與各實驗內容相配合。若在實驗進行時被污染，立刻脫除，不管規定如何，自我保護是儘量避免在實驗室中接待訪客。裝備要定期檢查，自我保護是使用前即加以檢查。

4.1.2 化學藥品操作自我保護事項

有些化學藥品要用適當的通風（排煙）櫃，並非一櫃一體適用，留心真空泵和蒸餾器將毒性物質送到通風系統中，清楚標示所有用過的藥品並妥為保管。化學廢料要棄置於有標示及適合的容器內，若有化學藥品濺出或發生意外，要以緊急步驟處理。若危及眼：用水沖洗至少 15 分鐘、皮膚：受到波及處若有衣服，先除去，再以水沖洗。

若狀況持續，送醫，之後善後要有適當保護，廢棄物丟棄於適當地方。

4.1.3 保存器具的操作

決不將儀器移作他用，妥善保管玻璃器皿，不光防止破碎，也要防止向內破裂（如真空絕熱瓶）。排煙櫃要一直運轉防止有毒氣體及灰塵外洩及進入，櫃門要保持關閉。

4.1.4 實驗室操作

保持實驗室整潔，做新實驗前要收集此實驗有關之災害，防護步驟，計劃器材如何置放，並考慮彼此間是否會連帶出危險事件。從事人員需具基本訓練，要報告實驗室主持人，若主持人主動介入則更佳。

4.1.5 實驗室中要避免的不安全習慣

穿著實驗衣到處遊走、在實驗室中吃喝、儲藏食物及飲料在實驗室中、在實驗室中嘻戲、開玩笑或分散他人注意力的行為、聞及嚐化學藥品、在封閉環境內（如冷房）開啟裝有毒物質容器、以口吸吸管抽取化學藥品、隨意將任何廢棄物沖進下水道、圖方便而使用損壞的器具及玻璃皿。以器具或化學容器阻擋了排煙櫃通風、單獨在實驗室中操作有害化學品，生物製劑及其他具危險的實驗、擅自開始新實驗而未和實驗室主持人通報或討論。

問題：請問您造成 Sheri 身亡的主要原因為何？

參考文獻

1. 甘魯生，實驗室意外和實驗室安全，*化學*，2010 年，第 68 卷 4 期，313-319 頁。
2. 甘魯生，加州大學洛杉磯分校化學系 Patrick Harran 教授因重罪入獄－『實驗室安全』事件後續，*化學*，2012 年，70 卷 2 期，193 頁。
3. 甘魯生，痛定思痛－ UCLA Sangji 事件之省思，*化學*，2014 年，72 卷 1 期，3-5 頁。
4. 本文所有圖片擷取自 YouTube 。上傳者為 Reveal https://www.youtube.com/watch?v=MS6XaKhzV3Q，上傳時間為 2012 年 8 月 1 日。圖片擷取時間為 2018 年 12 月 31 日。

化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第二期
DOI: 10.6623/chem.202106_79(2).003

化學意外案例：實驗室氫氣爆炸

賀孝雍
中央研究院 細胞與個體生物學研究所 退休副研究員

一、前 言

當實驗室裡儲備有氫氣時，無論是實驗室主持人或是學生，應該都會分外小心，因為與氫氣有關的實驗室爆炸案，有記載的至少有兩百件以上，而且一旦發生意外，通常都會造成生命的損失。2015 年 12 月 18 日北京清華大學化學系博士後研究人員 32 歲的孟祥見在做氫化反應時，氫氣鋼瓶爆炸，喪失了性命，該員原定下個月要到新機關去任職[1]。2018 年 12 月 6 日印度有名的印度理工學院 (Indian Institute of Science) 也發生了氣體鋼瓶爆炸，一位研究人員 (Manoj Kumar，32 歲，才結婚九個月，被炸飛六、七公尺外) 喪命，另有三個人站得比較遠，則受重傷[2]。

許多爆炸案的起因，並不是很清楚，像這兩件案子都推測可能是鋼瓶漏氣引起的，但是確切爆炸原因仍有待調查。以下舉一個經過詳細調查的事件來說明，使用高壓氣體時，需要特別注意的事項。

二、事件發生概況

2016 年 3 月 16 日，美國夏威夷大學天然能源研究中心的一間實驗室發生爆炸，爆裂的鋼製壓力容器導致博士後研究員炸斷右手前臂，並傷及眼睛、臉部及聽力。此外，也造成房舍及儀器設備之嚴重損壞[3]。

2.1 實驗室狀況

該實驗室從 2013 年開始利用細菌將氫氣，氧氣，還有二氧化碳，在大約 1-3 atm 加壓的環境下生產生質燃料和生質塑膠，發生事故的研究人員是在 2015 年 10 月加入該實驗室。

研究人員須將氣體由各自鋼瓶 (70% 氫氣、25% 氧氣及 5% 二氧化碳)，導入儲存混和氣體的鋼製容器中，該儲存槽從 2016 年開始已經重複充填 11 次。事故發生時，受害者正將混合氣體導入鋼製 49 升壓力容器中。

2.2 引起爆炸的可能原因

當地消防單位之事故鑑定認為事故是由壓力容器上之數位式壓力錶產生之火花所致。

2.3 其他調查論述

學校當局另請求加州大學實驗室安全中心 (The UC Center for Laboratory Safety, UCCLS) 進行外部第三方之調查與鑑定工作，UCCLS 並請一外部實驗室重建原實驗設定，最終排除其他可能原因，認為此爆炸事故，乃因靜電引起。

三、分析與討論

事故原因分析如下：

1. 沒有使用可以用在可燃氣體類的壓力計。

2. 事故發生前一日，事故受害者曾發現另一小型暫存容器發生異常之爆裂聲，且從系統壓力減少及氣味懷疑有燃燒反應發

生。即使該容器使用之氣體種類及壓力錶型式與本爆炸事件相同，實驗室工作人員也了解氫氣及氧氣之危害性，但並未引起重視，未採取停工檢視等必要作為。

3. 事故受害者也表示，當她碰觸此壓力容器時，偶而會發生靜電擊事件，但她的上司認為情況不嚴重而未處理。

4. 在操作這種可能會爆炸的實驗時，並沒有防爆隔板裝置，一些生物實驗室，通常不會有此類裝置。

5. 應該有接地裝置，避免產生火花。

6. 混和氣體的儲存鋼製裝置，並沒有定期檢查機制。

因為使用氫氣而發生意外的事件，常因為當事人死亡，而只能猜測可能的原因 . 像夏威夷大學的事件得以找出事故的原因，是當事人倖存，得以抽絲剝繭重建當時的狀況，因而破案。

四、建議彙整

進行有潛在爆炸風險的實驗時，事前防護準備，消去起爆因子猶為重要，實驗量體盡量降低。如氫氣與氧氣混合時，不可有靜電、火花、火源。應有防爆隔板裝置，工作人員需在防爆隔板保護下操作。有發現不尋常的現象時，應先進行分析評估，不可大意忽視。

參考文獻

1. 詳細事件報導，請參考 a) 中國新聞網，「警方：清華博士後系氫氣瓶意外爆炸導致腿傷身亡」，http://www.chinanews.com/sh/2015/12-24/7685047.shtml(Accessed 2015/12/24); b) 百度百科，「孟祥見」，https://baike.baidu.com/item/%E5%AD%9F%E7%A5%A 5%E8%A7%81/7221020 (Accessed 2021/3/9).
2. 詳細事件報導，請參考 a) CCTV 央視新聞，「印度一航天航空實驗室發生爆炸造成 1 死 3 傷」，http://m.news.cctv.com/2018/12/06/ARTIkj0b5dsY1XOCe uQEWSlB181206.shtml (Accessed 2018/12/6); b) Bagla, P. *One Dead, Three Severely Injured after Explosion at Indian Shock Wave Lab*; https://www.sciencemag.org/news/ 2018/12/one-dead-three-severely-injured-after-explosionindian-shock-wave-lab (Accessed 2021/3/9).
3. Kemsley, J. *Spark from Pressure Gauge Caused University of Hawaii Explosion, Fire Department Says*; https://cen. Acs.org/articles/94/web/2016/04/Spark-pressure-gaugecaused-University.html (Accessed 2021/3/9).

化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第三期
DOI: 10.6623/chem.202109_79(3).007

化學意外案例：二氯甲烷

高靖硯 高佳麟
淡江大學 化學系 高雄醫學大學 醫藥暨應用化學系

一、前 言

2018 年 2 月，一位學生在法國里昂第一大學 (Université Claude Bernard Lyon 1) 實驗室遭針頭意外刺傷，隨即送往醫院治療。針頭內殘留的二氯甲烷造成該學生的手神部經和肌肉受損。

二、概 況

一位藉由獎學金補助加入實驗室進行短期研究的學生。在開始工作兩週後的一個上午，該名學生和一位博士班學生衝進指導教授的辦公室，因為該名學生的手指被針戳到，手指傷勢看起來很詭異，不知如何處理。當指導教授看到紫紅色的手指有著相對大範圍的變色，立即發現傷口不對勁。

在前往醫院的路上指導教授問學生針筒裡有什麼時，當下的回答是：「沒有」。但後來他想起之前為了反應而抽取了二氯甲烷，但已確實把針筒全部排空，但事實上仍有微量的溶劑殘餘在針筒裡 (估計約兩滴或低於 100 μL)。

他們離開化學系大樓前往醫院，幸運的是在校園裡走一小段路就能到達專門治療手部外傷的部門。到達醫院後，該名學生的手指發紫而且周圍似乎組織開始壞死，而當時僅意外發生一個小時。在候診室等待時，學生的手指裡感到極度的灼熱，甚至完全不能動的地步。早上 10:30 分，經過外科醫師評估後，決定馬上進行急救手術。手術在下午 1:15 開始並維持將近 2 小時。手術中，為了避免後續感染和組織壞死，移除大量傷口附近的壞死組織，接著從取了手臂皮膚進行植皮修復手指。

醫師表示，在他急診工作的 25 年裡從未見過如此嚴重的傷勢，尤其是在徒步範圍內有化學、生物、物理系實驗室。他見過各種實驗意外與傷勢，但沒有一種能和這次的傷害相提並論，當下他看到手指如此大範圍的傷勢時，認為必須要截肢。但一想到學生只有 22 歲，他決定盡其所能地拯救他的手指。手術後 10 天疼痛開始和緩，手指開始恢復，最終傷口也復原了。因為在手術中並沒有完全切除神經，所以經過自然修復後手指的功能已大致恢復，但神經在組織壞死的影響下還是沒辦法恢復以往的力量。

三、分析與討論

1. 對二氯甲烷的毒性了解侷限於吸入及皮膚接觸，對針刺至皮下組織的影響及傷害所知不多，高壓氧治療可能有效。事實上，目前對有機溶劑的因針刺的皮下組織影響及瞭解有限，尚需要更多實驗結果證明極少量的二氯甲烷注射入人體是否真的會引如此嚴重的肌肉傷害，這個案例主要的目的是要跟實驗室的學生說明，實驗室裡的危機其實是一直存在的，需要時時刻刻提醒自己，注意保護自己的安全，特別是實驗室廣泛使用針頭，應注意相關資訊。

2. 實驗室成員能彼此注意，發生意外要能及時反應通報

3. 實驗室需詳細紀錄使用過的藥品及設備。

4. 實驗進行時使用合適的護具；此次的例子中應使用防穿刺手套。

5. 若有無法處理的意外傷勢，應立即求助專業醫療協助。

圖一　傷害針刺部位不同時間點的照片，分別為意外發生後 10 至 15 分鐘、2 小時、5 天及一年。(圖片來源：本圖為 4 張個別圖片組合，圖片原始出處為 Prof. Sébastien Vidal 所發表之論文，出處 *ACS Cent. Sci.* **2020**, *6*, 83-86)。

四、建議彙整

1. 在針刺的傷口周圍如果短時間內轉為粉紅或紫色，這可能是組織壞死的徵兆，須立刻就醫。

2. 發現問題立刻求助，實驗室同仁的救助在危急時會是救命的關鍵。

3. 在實驗室使用尖銳物品需遵守規則。

4. 未知的藥品傷害可能存在。

參考文獻

1. Vidal, S. *ACS Cent.Sci*. **2020**, *6*, 83-86
2. Goullé, J. et al. *J. Anal. Tox.* **1999**, *23*, 380.
3. Guo, X.; Lin, H.; Tse, M.-L.; He, J.; Guo, M.-Q. *Hong Kong J. Em. Med*. **2020**, *27*, 376-379
4. Sanprasert, K. *Asia Pac. J. Med. Toxicol*. **2018**, 7(3), 84-85
5. https://www.bendergritz.com/blog/2016/01/the-deadlyhazards-of-methylene-chloride-exposure/ (Accessed July 11, 2021).
6. http://www.shippai.org/fkd/en/cfen/CC1000080.html (Accessed July 11, 2021)
7. https://saferchemicals.org/us-deaths-from-methylenechloride/ (Accessed July 11, 2021)

專題報導
化 學 中華民國一百一十年第七十九卷第四期
DOI: 10.6623/chem.202112_79(4).005

鋰離子電池的危害與預防

江明錫
中央研究院 化學所

一、前 言

隨著社會、經濟的快速發展，能源使用的方式也隨著科技的進步大幅改變。最明顯的改變就是廣泛地使用由儲能裝置驅動的可攜式電子產品。甚至日常生活所需的交通運輸工具，也逐步淘汰原先燃油機組。在這趨勢下，最受矚目的焦點就是「鋰離子電池」。從 1970 年代開始，鋰離子可嵌入、脫出二維材料的可行性，及第一個鋰離子電池雛型在 1991 年被提出後，相關研究就蓬勃發展。最主要原因是，當原先插電式設備及儲能機組要被完全取代，儲能裝置首先需要具備有：輕薄、高能量密度、高充放循環壽命、高工作電壓、充放電速度快等特點。隨著鋰離子電池發展地愈來愈小、愈輕、續航時間愈長，慢慢地，各地也傳出多起因鋰離子電池所引起的災害。例如：

(1) 2013 年從日航事故飛機上移除的燒焦鋰離子電池

Credit: en.wikipedia.org/wiki/2013_Boeing_787_Dreamliner_grounding

(2) 因鋰離子電池燃燒所導致的燒焦手機

Credit: wk1003mike/Shutterstock.com

(3) 因鋰離子電池燃燒所導致的燒焦手提電腦

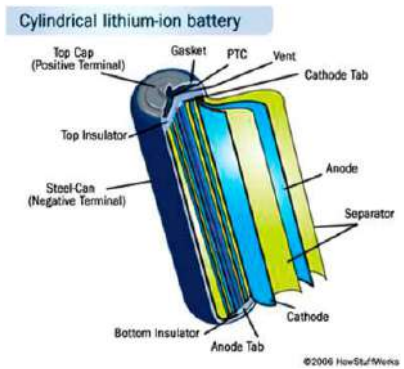
Credit: lancasteronline.com/news/local/what-caused-a-laptopbattery-to-explode-and-start-a-fire/article_7d5fdd10-b365-11e3-9a9d-0017a43b2370.html

在科技的變革下，現今社會大幅使用鋰離子電池已無法避免。因此了解鋰離子電池可能造成的危害，及找出預防的相應對策，讓鋰離子電池變成可控制的風險，為本篇的主要目標。

二、分析與討論

鋰離子電池的內部構造：

鋰離子電池的內部主要基本構造包含：正極、負極、電解液、隔離膜。



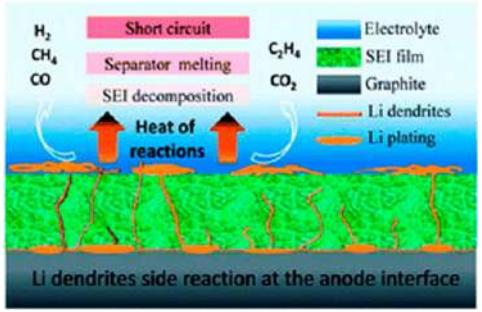
鋰離子電池的內部構造圖。(Credit: https://chinese.engadget.com/chinese-2009-10-30-on-li-ion-batteries.html)

正極材料包含常見的磷酸鐵鋰、能量密度大的鋰三元（鎳鈷錳酸鋰）等。負極材料一般為石墨、軟碳、硬碳等碳材。電解液為含鋰鹽之有機溶劑，隔離膜的功能為避免兩電極直接接觸並允許離子在兩極間移動。一般材質是高分子、不織布或含無機材料之複合薄膜。

2.1 引發鋰離子電池災害的可能原因

根據 FAA (Federal Aviation Administration) 的統計，鋰離子電池造成的危害，68% 是由於內部或外部短路造成，15% 是由於充放電造成，7% 由於設備意外啟動造成，10% 為其他原因造成 [1]。外部短路發生常因設計不良造成絕緣不佳，而導致外部正負極以低阻抗的情況下，接觸發生短路，造成放電電流過大、電池芯過熱而引發內部短路。除此，內部短路會因過度充放電、不當使用、溫度過高、結構不穩定等而發生。在鋰離子電池充放循環中，電解液易於碳負極材料表面形成固體電解質介面膜 (solid electrolyte interface, SEI)，造成不可逆的鋰離子容量損失。在後續的過程，穩定容量會小於初始容量，以及充放電的庫侖效率降低。

當電池過充時，若負極的嵌鋰能力不足，碳負極表面易析出金屬鋰，生成樹枝狀鋰金屬結晶。隨著電池老化，成長過大的鋰枝晶可能會刺穿隔離膜，接觸正極而導致微短路，進而導致溫升。溫升帶來的材料化學反應又擴大短路程度，引發了更大的短路電流，最後造成熱失控。若電壓過高，正極持續處於貧鋰狀態時，正極材料最終會分解放熱。鋰三元相較於磷酸鐵鋰的分解溫度較低，釋放出的氧分子在高溫下會與電解液快速反應，除釋放大量熱外，分解的產物也增大電池的內阻。這一系列不可逆反應都會使電池內壓和內溫大幅上升，造成電池劣化。另在外部環境溫度過高時，過充所造成的電池內部溫升就越大。



鋰離子電池的枝晶成長圖。(Credit: *Sustainable Energy Fuels* **2020**, *4*, 2342-2351)

上述提到溫控是造成鋰離子電池發生危害的主要原因，接下來，我們來談談失控的溫升對內部組成的損害，及導致的危險 [2]。

2.2 高溫對碳負極的影響

當溫度達 240 °C，嵌鋰碳開始與 PVDF 黏著劑反應，在 350 °C 時，達到完全反應，放熱量約 1500 J/g（式一）。另，嵌鋰碳也和溶劑產生反應，其起始溫度和放熱量受嵌鋰量、溶劑種類、電解質種類影響。這部份的放熱不可忽略，因其常是溫度失控的主因之一。

$$-CH_2-CF_2-+Li \rightarrow LiF + -CH=CF-+1/2H_2 \qquad (1)$$

2.3 高溫引發的電解液反應

在高溫下，電解液中的溶劑會與電解質（鋰鹽）發生反應。相較於 DMC (dimethyl carbonate)，DEC (diethyl carbonate) 更容易與 $LiPF_6$ 或 $LiClO_4$ 反應。反應溫度發生在 240-310 °C 間。鋰鹽中，$LiPF_6$ 熱穩定性最差，其在 220° C 會完全分解。然而，若電解液中存在少量水，這些分解反應溫度會降低。另，分解反應皆為放熱過程，當電解液分解發生時，會加速溫度失控。

2.4 高溫對正極的影響

根據 DSC (differential scanning calorimetry) 結果，正極材料從 175 °C 開始發生相變，雖然正常狀態時，溫度低於 650 °C 都還是穩定。但在脫、嵌鋰過程中，結構是處於亞穩定態。溫度過高會引發脫氧反應（式二）。所生成的氧氣會與溶劑反應，放熱及產生水與二氧化碳。這會加劇電池劣化、爆炸之可能。

$$Li_{0.5}CoO_2 \rightarrow 1/2LiCoO_2 + 1/6Co_3O_4 + 1/6O_2 \qquad (2)$$

2.5 高溫對充、放電過程中產生之副產物的影響

前面有提到，充、放電過程，SEI 會生成於碳負極表面。這鈍化層會避免碳負極與溶劑反應，然而，當溫度達 100 °C，SEI 會開始分解，此過程為放熱反應。另充、放電過程中所產生之鋰枝晶在達其熔點 (180 °C) 後，與溶劑反應速度加劇（式三、四、五），劣化電池。

$$2Li + C_3H_4O_3\ (EC) \rightarrow Li_2CO_3 + C_2H_4 \qquad (3)$$

$$2Li + C_3H_6O_3\ (DMC) \rightarrow Li_2CO_3 + C_2H_6 \qquad (4)$$

$$2Li + C_5H_{10}O_3\ (DEC) \rightarrow Li_2CO_3 + C_4H_{10} \qquad (5)$$

三、建議與彙整

總結來說，熱失控是引發鋰離子電池危害最主要原因[3]。要避免這發生，消費者在選購鋰離子電池產品時，應選擇有經認證之合格產品。應並用與其電壓、電流匹配的充電器。遵照原廠的使用規範，並避免在高溫環境下進行充、放電及儲存電池。也要避免任何劇烈外力衝擊造成電池結構扭曲變形，減少使用時之危險。

參考文獻

1. Resources of Lithium-ion Batteries Incidents, Federal Aviation Administration (FAA). https://www.faa.gov/hazmat/resources/lithium_batteries/media/Battery_incident _chart.pdf.
2. (a) Balakrishnan, P. G.; Ramesh, R.; Kumar, T. Prem *J. Power Sources* **2006**, *155*, 401-414. (b) Huang, W. S.; Feng, X. N.; Han, X. B.; Zhang, W. F.; Jiang, F. C. *Cell Rep. Phys. Sci*. **2021**, *2*, 100285. (c) Feng, X. N.; Ouyang, M. G.; Liu, X.; Lu, L. G.; Xia, Y.; He, X. M. *Energy Stor. Mater*. **2018**, *10*, 246-267. (d) Chen, Y. Q.; Kang, Y. Q.; Zhao, Y.; Wang, L.; Liu, J. L.; Li, Y. X.; Liang, Z.; He, X. M.; Li, X.; Tavajohi, N., Li, B. H. J. *Energy Chem*. **2021**,*59*, 83-99.
3. 內政部消防署，「淺談鋰離子電池」，消防月刊，110 年 3 月號，民國 110 年。http://monthly.nfa.gov.tw/article.php?id=403

化 學 中華民國一百一十一年第八十卷第一期
DOI: 10.6623/chem.202203_80(1).011

危害化學品使用及管理：化學品特性探討與衛生管理概略

中國化學會 化學安全編輯小組

說明：確保安全是每個化學工作者的責任。對於即將運作的化學品及流程，工作人員必須深入評析其中潛在的危害性與風險。重複使用相同化學品及執行相同流程的運作者，可能漸漸對安全性事項的前置作業慢慢鬆懈，嚴謹度隨之降低。這些評估過程，初看時或許被認為是防範過度，但工作人員必須切記化學安全與其他安全議題，例如實驗室操作流程、個人防護配備、電氣安全、消防安全和危害性廢棄物處置，絕對是息息相關的。我們可以用以下的一條公式，表示出現實世界中的化學安全：

化學安全 = 知識 + 常識 + 謹慎

本節的目標是提供運作人員足以建立化學安全知識的背景訊息及幫助運作人員了解物質的毒性及危害性，期能達到使用化學品時可確保安全的目的。

化學品衛生管理計畫

管理計畫：一個化學品衛生計畫，需能為工作者提供相對安全的工作環境，即便所屬為研究工作，仍需有標準程序可以確保工作的安全性。在台灣可能沒有相關要求，但在美國每個使用危險化學品的工作場所，需具有包括這些程序的書面化學品衛生計劃 (CHP) 的要求，以供工作人員使用。實驗室的 CHP 需要能夠保護工作人員，以免受到實驗室中化學物質的物理、化學、和健康危害。所有的實驗室工作人員都應該熟悉其中的規範。

化學品安全資料表：本國勞動部要求化學品製造商和供應商，應提供化學品安全資料表（Safety Data Sheets, SDS）給使用者，勞動部亦有提供部分相關資料[1]。此文件的設計用途是為提供使用者一些與化學品相關的物質危害資訊，以保護使用者。並要求實驗室必須留有所有化學品的 SDS，以供工作者查閱。

個人風險分析：做好個人風險分析，能幫助使用者操作危害性化學品時，對於潛在風險有更詳盡的理解。個人風險分析的第一個方向，是仔細閱讀各項需運作之化學品的安全資料表，期能先行了解一旦意外發生時所需的緊急處理，與可能發生的後續狀況。例如，確定欲操作之化學品是否具有腐蝕性、致癌性等等。第二個方向，需考量事故或危害暴露發生的可能性（取決於化學品的用量、特性與運用方式）。考量範圍例如：操作人員是否使用五加侖桶裝易燃溶劑？該物質的閃點為何？毒性粉末與揮發性化學品是否正確於通風櫥中操作，以及用量為多少？他們的毒性層級為何？第三個方向，諮詢有操作過相同化學品經驗的實驗室教授或資深人員，指導其他研究人員進行運作，以取得前車之鑑，了解可能面臨的事故或危害暴露風險。此分析雖可能無法精確評定所使用之化學品的風險，但它足以幫助操作者做相關的評估，令使用者了解各化學品使用時是否需要更加小心，以及所需的安全防護預備工作。

（一）認識化學品的物理性危害 — 燃燒

化學品的危害源自於其化學活性。因化學品處於相對不安定狀態，當與外在環境接觸作用時，會造成各種意外事故。物理性危害是常見的一種危害型態。化學品的物理性危害是化學品其本身之固有危害，通常是與大量能量釋放有關。常見化學品物理性危害種類如下：易燃性危害、可燃性危害、爆炸性危害、及發火性危害，均與化學品氧化有關。而空氣能提供助燃，若此等物質與氧化劑混和，反應風險將大增。壓縮氣體能透過膨脹輸出能量。有一些化合物本身並不安定，如

有機過氧化物會自身分解，或活性金屬會遇水會反應等物質，均有潛在殺傷力。

易燃性或可燃性化學品：易燃性 (Flammability) 或可燃性 (Combustibility) 係指化學品具燃燒傾向。易燃性或可燃性化學品在點 (引) 火源存在的情況下會快速蒸發並產生足夠蒸氣而點燃 (換言之，易於快速著火並燃燒)。易燃物質可以是固體、液體，或氣體，而在實驗室環境，最常遭遇的為易燃性液體或由之產生的蒸氣。易燃性化學品的歸類依據為他們的閃點、沸點和自燃點。

閃點 (Flash-point, FP)：係為足以使易燃液體揮發足夠蒸氣以致點火之最低溫度。

沸點 (Boiling-point, BP)：係為液體的蒸氣壓等於液面的大氣壓力時且液體劇烈產生汽化的溫度。具低沸點的易燃性液體普遍存在特殊的起火危害。

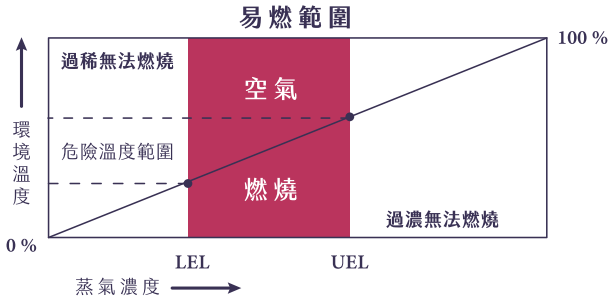
自燃點 (Auto-ignition temperature, AIT)：係為可燃性化學品於不存在高溫熱源或火源時自我點燃的最低溫度。自燃點愈低的可燃性化學品其起火的可能性愈高。當可燃蒸氣達到其自燃點時，在未有任何火花的情況下也會引發點火。

此外易燃性與可燃性化學品會與氧化劑反應造成起火燃燒或爆炸。換言之，空氣中的氧氣本身是一種氧化劑，易燃性與可燃性化合物可能因為燃燒過快導致爆炸。可燃性物料在高於 38 ˚C (100 ˚F) 時可能會產出充足的蒸氣，易燃性化學品在低於 38 ˚C (100 ˚F) 時即可能會產出充足的蒸氣。請見 (表一) 是美國消防協會 (NFPA) 對易燃性及可燃性特徵分類說明。

一般而言商業化學品之安全資料表 (SDS) 上會針對其易燃性及可燃性、閃點及自燃點有標籤標示，還有爆炸極限的特徵說明。爆炸下限 (LEL) 是當點火源或火花存在時，物質爆炸的最低蒸氣濃度。爆炸上限 (UEL) 是當點火源或火花存在時，物質爆炸的最高蒸氣濃度。該物質的易燃範圍為介於 LEL 和 UEL 之間的所有濃度，如 (圖一) 。

表一 易燃性與可燃性分類

	具易燃性			具可燃性		
分類	I-A	I-B	I-C	II	IIIA	IIIB
閃點	< 23 ˚C	< 23 ˚C	≥ 23 ˚C < 38 ˚C	≥ 38 ˚C < 60 ˚C	≥ 60 ˚C < 93 ˚C	≥ 93.3 ˚C
沸點	< 38 ˚C	≥ 38 ˚C	---	---	---	



圖一 環境溫度及蒸氣濃度與易燃範圍分類。

此易燃範圍可能取決於環境溫度及蒸氣濃度。若蒸氣濃度高於 UEL 時，該混合物將過濃而無法燃燒；當蒸氣濃度低於 LEL 時，該混合物將過稀而無法燃燒。請注意，對於同時具有毒性的易燃化學品而言，其易燃性危害的濃度點通常遠高於其毒性危害的濃度點。實驗室中最令人憂心的是具有低於室溫 (27 ˚C) 閃點的易燃性液體。以下是關於一些常見實驗室液體的閃點及易燃性的分級說明例子。有機溶劑是實驗室相當具危害性的化學品之一，例如從 (表二) 中可知，二甲苯的閃點為略高於室溫的 29 ˚C。相對於苯的閃點為 -11 ˚C 及甲苯的閃點為 4 ˚C 而言，二甲苯為毒性較低且較安全的替代品。

表二 物質閃點分級

物質	閃點 (° C)	分級
乙醛	-39	I-A
乙醇	13	I-B
乙酸乙酯	-4	I-B
乙基氯	-50	I-A
乙醚	-45	I-A
二硫化碳	-29	I-B
二甲苯	29	I-C
己烷	-18	I-B
戊烷	-40	I-A
丙酮	-18	I-B
石油醚	-40	I-A
甲醇	12	I-B
甲苯	4	I-B
冰醋酸	40	II
汽油	-46	I-A
庚烷	-4	I-B
苯	-11	I-B
苯乙烯	32	I-C
環己烷	-17	I-B
環己醇	68	III

烷類、乙醚、乙醇及甲苯等有機溶劑皆具高度的揮發性及易燃性。氯化溶劑如氯仿雖為非易燃物質，然而一旦接觸到熱源或火光，將產生一氧化碳、氯氣、光氣或其他劇毒氣體。必須留意一定要在通風良好的工作區域或通風櫥中，操作具揮發性及易燃性的溶劑。切記絕對不得在有明火或其他點火源存在的工作區域內，操作乙醚或其他高度易燃的溶劑。如要對有機溶劑加熱，必需要安裝冷凝裝置以防止有機溶劑的蒸氣四處散逸，引發火災。請記得，氫氣和甲醇的化學火焰和易燃性化學品的蒸氣都是肉眼無法看見的，且一點蒸氣尾流碰觸到點火源可能導致回火。不過，要引發起火，必須同時符合以下三個要素：(1) 點火源；(2) 特定濃度範圍內的易燃性氣體或蒸氣；(3) 具氧化性質的氣體環境（例如空氣）。減少起火風險的關鍵便是控制上述三個要素。首要控管點火源，第二是蒸氣的逸出，然後是氧氣的存在。

易燃液體有高危害性。當燃料濃度在空氣中到達一定範圍時，燃氣可讓火焰快速傳播。但具有過多或過少燃料時，均不利火焰傳播，這特定範圍上下界限叫做可燃極限。火焰雖然並非在任意燃氣中皆可傳播，並不表示在低於易燃極限時不能被點燃。同樣，易燃液體低於閃燃點下依然有可能被點燃。除了極少數例子如甲醇，其分子量 32 外，易燃液體的分子量明顯大於空氣的平均分子量（約 29)；因此密度較高，易燃液體的蒸氣可以沿著樓層地板或地面作長距離飄移而抵達火源，其飄移距離有時甚至超過 100 英尺（約 30 餘公尺）。從源頭流出的蒸氣是看不見的；因此難以發現，直到他們從遙遠的點火源讓火焰回閃時，局面已經不可收拾。因此在操作易燃液體時，用惰性氣體覆蓋，並稀釋其蒸氣較為安全。切勿用火將易燃化學品直接加熱，應使用水浴、油浴、加熱包、熱風浴等。要在通風良好的環境下操作，以免易燃品蒸氣濃度累積。倘若一瓶可燃液體在冰箱的附近掉落和破裂，可以很容易地被火花點燃。常規冰箱並不安全，切勿用作存放易燃品，必須標明“無易燃物”。防爆冰箱是非常昂貴的，能隔絕火花源，較為安全。一般冰箱用作化學品儲存時，必須是內部為無火花設計，以降低風險。常見點火源有火焰，磨損或損壞的電線，電機的刷子和換向器的火花，靜電火花。高溫熱源雖沒有火花或火源，但其表面溫度可能超過許多易燃液體和固體的自燃溫度。常見高溫熱源如加熱板，高溫的白熾燈泡與鹵素燈管，有軸承缺陷的無刷馬達。損壞而能讓易燃蒸氣漫入的電熱包等，都能引燃而發生火災。此外不良加熱板常帶來三重危機：(1) 灼熱的表面、(2) 老舊溫控器或 (3) 磁力攪拌器馬達的火花，均為火災的源頭。

靜電危害：靜電危害常出現在冬季空氣乾燥季節。靜電火星可以點燃易燃氣體或蒸氣，在輸送易燃液體或氣體前，先要將金屬容器與金屬接收器（如漏斗），及安全地線連接在一起，使之成為等電位，可免靜電火星產生。如果靜電老是一個問題，用抗靜電劑噴灑來降低靜電風險。有些儀器如液相層析儀 (HPLC) 使用時，涉及容器與儀器間的易燃液體輸送時，容易因液體與管線磨擦而產生靜電累積，儀器與周邊所使用的非導電材料（包括地板，墊子，易燃液體回收瓶等）均應用接地帶接地，以降低產生靜電火花的風險[2]。

易燃化學品或可燃化學品之儲存：易燃液體貯存要求取決於液體的易燃程度。臺灣規定是依公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法 (106/05/08 修正)，公共危險物品之範圍及分類之第四類易燃液體及可燃液體來進行管理。若希望多方瞭解易燃液體的威脅，可另外參考美國消防協會 (NFPA) 訂有的防火法定標準 (表一)，與美國勞動法 (OSHA) 的標準 (表三)。NFPA 與 OSHA 兩者都使用液體的閃點和沸點作為關鍵的分類因素，然而兩者略有不同。NFPA 分類：消防協會分類中使用兩個術語：易燃和可燃。如 (表一) 所示，易燃液體是指閃燃點在攝氏 37.8 度以下的液體，在 37.8 ˚C 其蒸氣壓力不超過 40 磅；可燃液體是指閃燃點在 37.8 ˚C 以上的液體。NFPA 分類表中第 I 類液體是易燃液體，第 II、III 類液體是可燃液體。

OSHA 分類：美國在 2012 年，OSHA 已停止使用可燃液一詞。依 GHS，所有具有 93 ˚C 或更低閃點的液體被歸類為易燃液體，進一步細分如下：

表三 美國 OSHA 易燃溶劑分類

OSHA 分類	閃燃點	沸點
1	< 23 ˚C	≤ 35 ˚C
2	< 23 ˚C	> 35 ˚C
3	≥ 23˚C – ≤ 60 ˚C	
4	> 60 ˚C – ≤ 93 ˚C	

應仔細閱讀化學品上的化學標籤、安全資料表和說明。不適當的儲存將引起風險，讓易燃化學品在火警時演變成災難—易燃化學品將成為實驗室火災中的燃料，帶來巨大的破壞。應儘量減少實驗室中易燃液體的數量。只購買近期所需的數量，並盡量購買小包裝。過量的易燃品 (溶劑) 會造成洩漏與火災風險。身體暴露在過量揮發性溶劑中也有礙健康，也要花費預算去清運過期而未使用的化學品。如果建築物內有消防滅火系統的儲存室，可用作易燃品暫存空間，直到需要使用時再提領。實驗室中應使用符合規格 (如美國 UL 規格) 的儲存櫃，專門用來存放易燃品，並標記為可燃液體的貯存櫃。請勿將易燃液體貯存在通風櫃或水槽下面的櫥櫃中。易燃品和可燃品，更應與強氧化劑 (如過氯酸和硝酸) 分開儲存。有關氧化劑的清單，請參閱 (表四) 。

什麼時候需要易燃液體儲存櫃：臺灣消防署對公共危險物品有種類、分級及管制量如附 (表四) ，並對儲存液體的環境設計有一定的標準[3]。美國 OSHA 標準是根據易燃化學品的可燃分類設置容積限制，亦可做為參考。例如單獨儲存在認證的容器中 (而非在安全櫃中) 第 1 類易燃液體的儲存量，應低於 25 加侖。類別為 1，2 或 3 易燃液體的單個存儲櫃的限制是 60 加侖 (類別 4 易燃液體 120 加侖)。並且，在一個儲藏區允許多達三個安全櫃 (180 加侖)。放置在安全罐和儲藏櫃外的易燃液體數量應有限制，美國標準為實驗室面積每 100 平方英尺限制儲存量為少於 10 加侖 (38 公升)。如果含收藏在安全罐中或放置在易燃儲藏櫃內易燃物，限制儲存量為每 100 平方英尺 20 加侖。因此一般標準實驗室防火區塊的易燃液體的最大數量取決於存儲配置：

- 玻璃，金屬或塑膠瓶裝 10 加侖 (38 公升)
- 安全罐 25 加侖 (95 公升)
- 易燃液體儲藏櫃 180 加侖 (684 公升)

除立即使用的藥品外，實驗桌面上切勿擺放過多可燃液體。處理易燃化學品時遠離火源。易燃液體應儲存在盛盤中以防溢出。在冷藏庫中儲存化學品時應使用塑膠托盤，這可以防止瓶子被埋在冰櫃的霜凍中。

表四 公共危險物品之種類、分級及管制量

分類	名稱	種類	分級	管制量
第一類	氧化性固體	一、氯酸鹽類	第一級	五十公斤
		二、過氯酸鹽類	第二級	三百公斤
		三、無機過氧化物 四、次氯酸鹽類 五、溴酸鹽類 六、硝酸鹽類 七、碘酸鹽類 八、過錳酸鹽類 九、重鉻酸鹽類 十、過碘酸鹽類 十一、過碘酸 十二、三氧化鉻 十三、二氧化鉛 十四、亞硝酸鹽類 十五、亞氯酸鹽類 十六、三氯異三聚氰酸 十七、過硫酸鹽類 十八、過硼酸鹽類 十九、其他經中央主管機關公告者 二十、含有任一種成分之物品者	第三級	一千公斤
第二類	易燃固體	一、硫化磷 二、赤磷 三、硫磺		一百公斤
		四、鐵粉：指鐵的粉末。但以孔徑五十三微米 (μm) 篩網進行篩選，通過比率未達百分之五十者，不屬之。		五百公斤
		五、金屬粉：指鹼金屬、鹼土金屬、鐵、鎂、銅、鎳以外之金屬粉。但以孔徑一百五十微米 (μm) 篩網進行篩選，通過比率未達百分之五十者，不屬之。	第一級	一百公斤
		六、鎂：指其塊狀物或棒狀物能通過孔徑二公釐篩網者。 七、三聚甲醛 八、其他經中央主管機關公告者。 九、含有任一種成分之物品者。	第二級	五百公斤
		十、易燃性固體：指固態酒精或一大氣壓下閃火點未達攝氏四十度之固體。		一千公斤
第三類	發火性液體、發火性固體及禁水性物質	一、鉀 二、鈉 三、烷基鋁 四、烷基鋰		十公斤
		五、黃磷		二十公斤
		六、鹼金屬（鉀和鈉除外）及鹼土金屬	第一級	十公斤
		七、有機金屬化合物（烷基鋁、烷基鋰除外）	第二級	五十公斤
		八、金屬氫化物 九、金屬磷化物 十、鈣或鋁的碳化物 十一、三氯矽甲烷 十二、其他經中央主管機關公告者 十三、含有任一種成分之物品者	第三級	三百公斤

分類	名稱	種類		分級	管制量
第四類	易燃液體及可燃液體	易燃液體：指在一大氣壓時，閃火點在攝氏九十三度以下之液體。	一、特殊易燃物：指在一大氣壓時，自燃溫度在攝氏一百度以下之物品，或閃火點低於攝氏零下二十度，且沸點在攝氏四十度以下之物品。		五十公升
			二、第一石油類：指在一大氣壓時，閃火點未達攝氏二十一度者。	非水溶性液體	二百公升
				水溶性液體	四百公升
			三、酒精類：指一個分子的碳原子數在一到三之間，並含有一個飽和的羥基（含變性酒精）。但下列物品不在此限： （一）酒精含量未達百分之六十之水溶液。 （二）易燃液體及可燃液體含量未達百分之六十，其閃火點與燃燒點超過酒精含量百分之六十水溶液之閃火點及燃燒點。		四百公升
			四、第二石油類：指在一大氣壓時，閃火點在攝氏二十一度以上，未達七十度者。但易燃液體及可燃液體含量在百分之四十以下，閃火點在攝氏四十度以上，燃燒點在攝氏六十度以上，不在此限。	非水溶性液體	一千公升
				水溶性液體	二千公升
		可燃液體：指在一大氣壓時，閃火點超過攝氏九十三度未滿攝氏二百五十度之液體。	五、第三石油類：指在一大氣壓時，閃火點在攝氏七十度以上，未達二百度者。但易燃液體及可燃液體含量在百分之四十以下者，不在此限	非水溶性液體	二千公升
				水溶性液體	四千公升
			六、第四石油類：指在一大氣壓時，閃火點在攝氏二百度以上，未滿二百五十度者。但易燃液體及可燃液體含量在百分之四十以下者，不在此限。		六千公升
			七、動植物油類：從動物的脂肪、植物的種子或果肉抽取之油脂，一大氣壓時，閃火點未滿攝氏二百五十度者。但依中央主管機關指定之方式儲存保管者，不在此限。		一萬公升
第五類	自反應物質及有機過氧化物	一、有機過氧化物 二、硝酸酯類 三、硝基化合物 四、亞硝基化合物 五、偶氮化合物 六、重氮化合物 七、聯胺的衍生物 八、金屬疊氮化合物 九、硝酸胍 十、丙烯基縮水甘油醚 十一、倍半烯 十二、其他經中央主管機關公告者 十三、含有任一種成分之物品者		A 型	十公斤
				B 型	
				C 型	一百公斤
				D 型	

分類	名稱	種類	分級	管制量
第六類	氧化性液體	一、過氯酸	第一級	三百公斤
		二、過氧化氫 三、硝酸 四、鹵素間化合物 五、其他經中央主管機關公告者。 六、含有任一種成分之物品者 五、黃磷	第二級	

一、 本表所稱之「第一級」、「第二級」、「第三級」、「A 型」、「B 型」、「C 型」及「D 型」指區分同類物品之危險程度，應依中華民國國家標準 CNS15030 進行分類。未完成分類前，基於安全考量，其危險分級程度，得認定為第一級或 A 型。

二、 儲存公共危險物品種類在二種以上時，計算其是否達管制量之方法，應以各該公共危險物品數量除以其管制量，所得商數之和如大於一時，則儲存總量即達管制量以上。例如過氧化鈉數量二十公斤，其管制量為五十公斤；二硫化碳數量四十公升，其管制量為五十公升，計算式如下：

$$\frac{\text{過氧化鈉現有量 } 20\text{公斤}}{\text{過氧化鈉管制量 } 50\text{公斤}}+\frac{\text{二硫化碳現有量 } 40\text{公升}}{\text{二硫化碳管制量 } 50\text{公升}}=\frac{2}{5}+\frac{4}{5}=\frac{6}{5}>1$$

三、 本表第四類易燃液體及可燃液體之酒精類、第二石油類、第三石油類及第四石油類所列但書規定之酒精含量、易燃液體及可燃液體含量，均指重量百分比。

四、 本表所稱之水溶性液體，指在一大氣壓下攝氏二十度時與同容量之純水一起緩慢攪拌，當該混合液停止轉動後，呈現顏色均一無分層現象者；非水溶性液體，指水溶性液體以外者。

（二）氧化性物質

在化學定義上，氧化劑是電子接收體，常帶有高電負性元素，為高電負性元素組成的化合物如 HNO_3，Cl_2 和 O_3 或某些化合價數高 (high valence state) 的元素如 OsO_4 和 $KMnO_4$。而與氧化劑進行氧化反應的化學物質，也就是還原劑，可以是帶電正性元素或某些化合價數低 (low valence state) 的元素。電子由還原劑轉移到氧化劑，遵守能量守恆定律而放出熱能。若反應過後產生的能量被留在產物當中，便會轉換成高溫，造成破壞。舉例來說，當汽油與氧氣產生反應的時候，便會帶來高達 2000 °C 的高溫。如果運用得宜的話，此現象所產生的高溫是可以被好好利用的。反之，一旦失控的話，便會造成火災與爆炸。又如 $KMnO_4$ 為強氧化劑，與濃硫酸 (H_2SO_4) 混合後生成極高活性之 Mn_2O_7，與有機物（如丁烷，丙酮，甲苯，紙張等）接觸會引發燃燒。簡而言之，氧化劑會與如燃料或還原劑等其他物質反應。根據燃料的特性，氧化還原反應可能造成火災或爆炸。然而不僅僅只有含氧之氧化劑會造成火災，其帶電負性的元素產物如氟氣和氯氣也可能造成火災。含氯的漂白劑若外溢到紙張或木質品上也可能發生燃燒。後方列舉一些常見的氧化劑：氟氣、無水過氧化二苯甲醯、過氧化氫（雙氧水）、臭氧、過氯酸 / 過氯酸鹽、過錳酸鉀、無機過氧化物等。

氟氣

- 對暴露的組織 (包括上呼吸道和下呼吸道、眼睛、鼻子和任何其他暴露的粘膜) 具有腐蝕性
- 水解產生氫氟酸
- 與幾乎所有無機和有機物質發生反應
- 與氨、陶瓷材料、磷、硫、銅絲、丙酮和許多其他有機和無機化合物接觸燃燒

無水過氧化二苯甲醯

- 易點燃 , 對震動或撞擊均甚敏感
- 攝氏 50 度以上的溫度即會自然分解 , 可加入 20% 的水緩和其敏感性

過氧化氫 (雙氧水)

- 高於 3% 時便有危險性
- 與皮膚接觸時會引起嚴重灼傷
- 達 30% 時 , 若摻雜有鐵、銅、鋁等金屬或其鹽類時 , 會引起劇烈的分解反應
- 更高濃度者是極度危險的 , 使用時需要完備的防護措施

臭氧

- 高毒性與高反應性的氣體
- 紫外光照射空氣中的氧氣時 , 即會形成
- 紫外光源應附有抽氣、排除臭氧的裝置
- 液態與固態臭氧可做為炸藥

過氯酸

- 高溫下是一種非常強的氧化劑
- 與有機化合物和其它還原劑發生爆炸性反應
- 消化時 , 需要有特殊的設備和訓練
- 絕不可讓過氯酸與還原劑、金屬、油料 , 與酸酐接觸 , 其他如凡士林、橡皮塞等亦不相容
- 處理冒煙的過氯酸時 , 不可使用橡皮手套 , 必須用燒杯夾
- 過氯酸的蒸發必須在良好的排風機中執行 , 如常使用過氯酸 , 排風機內部應常用水清洗

過氯酸鹽

- 若以過氯酸鹽做乾燥劑 , 應避免其與有機化合物接觸
- 若被乾燥物所含水份很高 , 可使過氯酸鹽產生濃度高於 70% 的過氯酸時 , 不可用過氯酸鹽做為乾燥劑
- 濃度 70% 的過氯酸雖然可以安全的在攝氏 200 度下加熱、沸騰 , 但是 , 若酸液或其蒸氣與有機物或無機物 (例如 As (III)) 接觸時 , 會導致劇烈爆炸

過錳酸鉀

- 與硫酸反應時有爆炸性
- 當過錳酸鹽與硫酸用於同一個吸附系統時 , 二者之間必須放置一空的捕捉阱

無機過氧化物

- 當可燃物與過氧化銀、過氧化鈉及過氧化鉀相混時會生成易點燃的爆炸物

圖二　常見的氧化劑與危險性說明

- **氟氣**：對所有暴露的組織 (包括上呼吸道和下呼吸道、眼睛、鼻子和任何其他暴露的粘膜) 具有腐蝕性。氟深入人體組織，除非能用藥物中和，否則將會持續產生毒性作用。在與皮膚接觸時，氟迅速水解產生氫氟酸，使皮膚燒傷，情況與暴露於 HF 一般。在開始使用氟之前，使用人應預先準備 2.5% 的葡萄糖酸鈣凝膠，以備緊急處理時中和氟之毒性。氟與許多材料在室溫下可發生劇烈反應，甚至燃燒，在與水分接觸時分解生成氫氟酸。它是已知的最強大的氧化劑。它與幾乎所有無機和有機物質發生反應。氟與氨、陶瓷材料、磷、硫、銅絲、丙酮和許多其他有機和無機化合物接觸燃燒。

- **無水過氧化二苯甲醯** (Dry dibenzoyl peroxide)：此化合物易點燃，對震動或撞擊均甚敏感，甚至在攝氏 50 度以上的溫度即會自然分解，可加入 20% 的水緩和其敏感性。

- **過氧化氫**：濃度高於 3% 時便有危險性。與皮膚接觸時會引起嚴重灼傷。濃度達 30% 時，若摻雜有鐵、銅、鉻等金屬或其鹽類時，會引起劇烈的分解反應。更高濃度者是極度危險的，使用時需要完備的防護措施。

- **臭氧**：臭氧是高毒性與高反應性的氣體，當紫外光照射空氣中的氧氣時，即會形成臭氧，因此紫外光源應附有抽氣、排除臭氧的裝置。液態與固態臭氧可做為炸藥。

- **過氯酸**：在高溫下是一種非常強的氧化劑，可以與有機化合物和其它還原劑發生爆炸性反應。使用過氯酸進行樣品消化時，需要有特殊的設備和訓練。絕不可讓過氯酸與還原劑、金屬、油料，與酸酐接觸。其他如凡士林、橡皮塞等亦不相

容。在處理冒煙的過氯酸時，不可使用橡皮手套，必須用燒杯夾。過氯酸的蒸發必須在良好的排風櫃中執行，如果常使用過氯酸時，排風櫃內部應常用水清洗[4]。

- **過氯酸鹽**：若以過氯酸鹽做乾燥劑，應避免其與有機化合物接觸，若被乾燥物所含水份很高，可使過氯酸鹽產生濃度高於 70% 的過氯酸時，不可用過氯酸鹽做為乾燥劑。濃度 70% 的過氯酸雖然可以安全的在攝氏 200 度下加熱、沸騰，但是，若酸液或其蒸氣與有機物或無機物 (例如 As(III)) 接觸時，會導致劇烈爆炸。

- **過錳酸鹽**：當與硫酸反應時有爆炸性，當過錳酸鹽與硫酸用於同一個吸附系統時，二者之間必須放置一空的捕捉阱。

- **無機過氧化物**：當可燃物與過氧化銀、過氧化鈉及過氧化鉀相混時會生成易點燃的爆炸物。

(三) 高活性化學品 (Reactive Chemicals)

除了氦氣與氖氣等惰性氣體外，任何的化學品混合都可能產生反應。日常世界中，可見的化學品如空氣、水、纖維素、蛋白質、鐵等相對安定，視為一般低活性的化學品，而與低活性化學品混合會產生快速且劇烈反應者，則被歸類為高活性化學品。我們必須學習去區分一個化學品在甚麼狀態下具有高活性或是高穩定性。例如大部分氟化物如鐵氟龍相對穩定，但六氟化鉑卻會分解出四氟化物及氟氣，HF 會對人體有高毒性，吸入的 SF_4 在肺部內會分解生成 SO_2 與 HF，但 SF_6 則是電子工業用的穩定氣體。

一些稱為具有自反應活性的化學品，甚至在沒有任何其他反應物的投入下也會自我反應。自我反應活性有三種形式分別為：(1) 於分子內或分子間的鍵結斷裂、(2) 聚合、或 (3) 重排。為確保工作安全，當處理那些可瞬間自反應且高活性的物質時，我們必須對該類化合物有一定程度的了解。他們是否對於如熱、光、撞擊、摩擦，或化學接觸等刺激相當敏感，隨之會造成快速釋放大量能量的問題。他們的反應速率會隨著高溫、高壓或高濃度而增加。藉由分子結構的深入探討、思考自反應會產生高熱的可能性。尤其是具潛在可聚性的雙鍵、三鍵和具環張力 (strained rings) 的環狀分子，可分解放出如氮氣、氧氣或二氧化碳等氣體分子，都應該警惕。處理高活性化學物質時 (例如具爆炸性、酸敏感性氧化劑、還原劑、遇水易燃性、發火性物質等) 對於每莫爾可能引發的反應及隨之可能的能量釋放應有所了解。

(四) 禁水性物質與化學品 (Water-reactive Chemicals)

化學品的遇水易燃性是相當重要的安全考量。以下列舉一些遇水易燃化學品意外遇水可能造成的危險：例如遇水自發燃燒的物質會引起容器內形成高壓，與水進行劇烈氧化或還原反應會產生熱，因水解或水合作用導致毒氣的釋出。遇水放出可能自燃的氣體或易燃氣體是非常危險的物質。當此類化學品遇水、水蒸氣或潮濕空氣時會劇烈反應，並產生熱和易燃氣體如氫氣，具有可能造成點燃起火的風險。或者可能因反應產出毒性氣體或使操作者陷入其他具危害性的狀況。濕氣攝入的快慢及接觸形式不同 (如以水接觸物質或以物質接觸水)，將引起大大不同的後果。通常水濺到或潑到遇水易燃的物質上，容易發生起火或爆炸，極其危險。遇水引燃的物質如以下幾個例子：鹼金屬 (例如鋰、鈉和鉀)、氫化鈣、氫化鈉和氫化鉀，三級丁機鋰，濕氣與碳化鈣緩慢反應生成乙炔，同時釋出足夠的熱，容易在空氣中點燃乙炔。

另外三氧化硫 (SO_3)、四氯化矽 ($SiCl_4$)、無水氯化鋁 ($AlCl_3$)、五氧

化二磷 (P_2O_5)、三氟甲磺酸酐 ($(CF_3SO_2)_2O$) 和氯磺酸 ($ClSO_2OH$) 等遇水會產生腐蝕性物質。水分不一定需要以液態參與反應。空氣中的水氣很容易入侵非密閉容器（例如未鎖緊）中與化學品反應，並在容器中累積壓力。其他常見較高風險的遇水反應：(1) 水與強鹼或強酸（如氫氧化鈉或硫酸）作用發生放熱反應；(2) 水與酸酐作用（如三氧化硫，五氧化二硫，醋酸酐）作用發生放熱反應；(3) 水置換化合物中較弱的配位基（例如：與醯氯進行水解）；(4) 水與金屬或價態較低的過渡金屬化合物進行氧化反應，並在過程中產生氫氣；(5) 水與強氧化性化合物（如氟化鈷 (III)) 進行還原反應，並在過程中產生氧氣。(6) 水與有機金屬化合物作用，釋放出易燃氣體。

濕氣可能作為毒氣生成反應的質子予體：鋁和氧化砷的反應時，若有水等質子予體存在並參與反應，會在密閉空間中產生劇毒砷化氫氣體。日常生活中亦可能發生，例如：將鋁製梯子放在含有砷的坑內，附帶周遭的濕氣，極可能造成致命危險。

（五）發火性化學品 (Pyrophoric chemicals)

在低於 54 °C 的狀況下可能自行點火燃燒甚至引發爆炸的物質，將被視為具發火性的物質。這些化學品可以是氣體，或是揮發性或非揮發性的固體或液體，如（圖三）。

反應發生時，氧氣與化學品在其氣相或其固液相表面上反應，並且只有要氧氣存在，就會導致持續燃燒。反應必須夠快且能提供足夠能量讓化學品在氣相時產生火焰，或讓化學品釋放凝相表面的原子 / 分子，以使之與空氣接觸而持續燃燒。

實驗室中常見的發火物質[5]，如高活性有機金屬化合物（有機鋰、有機鎂、有機鋅）是非常活潑的試劑，即使是少量也是危險的，因為它們與空氣和水氣接觸後，易在 5 分鐘或更短時間內，自行瞬間點燃，尤其是，許多此類試劑購入的形式是溶於極易燃的溶劑中，例如乙醚、四氫呋喃 (THF)、正己烷和戊烷，呈溶液狀態，一旦著火更加不可收拾，由於其危險性，其儲存應避開與易燃之物質共同存放。在使用這些化合物前，必須要經過專門訓練，只能由擁有進階培訓記錄的人員操作，並受到指導者的監督。這些化合物的全球化學品統一分類和標籤制度 (GHS)[6] 危險代碼為 H250。

以下列出一些其它常用的液態（或溶液態）發火物質，這些化合物的例子包括有機鋰化合物（例如三級丁基鋰溶液），和某些磷化合物如：

- 有機鋰化物：三級丁基鋰溶液，烷基、烯基、炔基及芳香基鋰
- 有機鋅化物：二乙基鋅
- 有機鎂化物：格任亞試劑 (Grignard reagents)
- 有機鋁化物：三甲基鋁、二乙基氫化鋁
- 有機磷化物：烷基磷
- 有機硼化物：如三烷基硼

常見發火性固體有四類：

1. **金屬氫化物**：例如氫化鈉、氫化鉀、鋁氫化鋰 (Lithium aluminum hydride) 以及一些氫硼化物。

    - **鋁氫化鋰** (Lithium aluminum hydride)：使用乾燥乙醚或四氫呋喃 (THF) 為溶劑時，必須在無氧的氣壓下進行，若操作不慎，易引發火燄。與二氧化碳反應具有爆炸性，因此鋁氫化鋰引起的火災不可以用二氧化碳或碳酸氫鹽滅火器，而宜用細砂或其它不可燃物將之覆蓋來滅火。

- **氫化鈉**：與水會劇烈作用，產生氫氣而燃燒，因此暴露於空氣中易與其中水氣反應而點燃，使用時必須極度小心，盡可能使用有礦物油包覆的氫化鈉，避免使用純的氫化鈉粉末。若無法避免使用氫化鈉粉末（亦包括鋁氫化鋰和氫化鉀），所有的操作必須在無氧無水的氣壓下進行。萬一引發火災，應使用消防砂覆蓋以熄滅之，切勿使用任何 ABC 級的滅火器，除了內含物可能與之反應外，氣體噴出的力道將會使氫化鈉粉末噴灑開來，更加速和擴大其蔓延。

2. **活性金屬**：例如鋁、鋰、鎂、鈉和鉀與銫，鈫是非常容易發生自燃，也會與鹵化物發生劇烈作用，活性高的金屬與水結合將產生氧化或氫氧化金屬以及氫氣，伴隨著熱的產出，氫氣會有點火燃燒的風險。

- **鈉**：不可與水接觸，宜儲存在裝有甲苯或礦物油類的密閉容器中，與水接觸會產生劇烈反應產生氫氣，並放出高熱造成自燃。欲清除鈉的殘餘物，可用正（或三級）丁醇與之反應。因鹼金屬而引起的火災，不可用二氧化碳，碳酸氫鹽及四氯化碳來滅火。

- **鉀**：鉀比鈉更具反應性，曝露在潮濕的空氣中會很快的自燃，因此必須貯存於碳氫化合物溶劑，例如礦物油 (mineral oil) 或甲苯裡。切割鉀金屬之前，宜先小心刮除附著在表面的氧化物，否則易引起爆炸。欲清除鉀的殘餘物，可用三級丁醇與之反應攪拌，為確保鉀被完全消耗，當與三級丁醇反應漸漸慢下來時，在攪拌下可再依序慢慢加入活性較高的異丙醇，待反應慢下來時再用乙醇、甲醇等。

3. **粉末狀金屬**：如鐵、鈷、錳、鈀、鉑、鎳、錫、鋅、鈣、鈦、鉍、鋯等是具有發火性的。他們的反應程度主要與顆粒大小有關。當固體呈細碎狀或有些揮發性時，更容易發生自燃等。特別是有氫氣吸附的金屬催化劑如 Raney-Ni、Pd-C 等。

- **氫化反應**：氫化反應後，有氫氣吸附的鈀 / 碳觸媒、鉑 / 碳觸媒、氧化鉑觸媒、Raney 鎳觸媒以及其他的觸媒，於過濾此類觸媒時應小心進行。濾得的觸媒，因吸附有氫氣而活性很高，並可在空氣中自燃。當過濾氫化反應的混合物時（尤其是大量的反應），固態濾餅應保持溼潤，過濾完後立刻將濾餅置於水浴中。直接將此類觸媒加入含有氫氣的容器內，亦有爆炸的危險。用於氫化反應的壓力反應瓶 (Parr－bombs)，有爆炸的危險，使用時應有完善的遮蔽，並戴護目鏡保護眼睛。

4. 其他非金屬有金屬硫化物如硫化銅、硫化鐵 (FeS, FeS_2, Fe_3S_4)、硫化鉀、羰基金屬 $Ni(CO)_4$， $Fe(CO)_5$， $Co_2(CO)_8$ 等。非金屬發火性氣體如 PH_3、AsH_3、 SiH_4、B_2H_6 等同時亦具有高毒性。其他發火性物質如低化合價的過渡金屬化合物（如氯化鈦 (II)) 等。

液態（或溶液態）發火物質	• 有機鋰化物：三級丁基鋰溶液，烷基、烯基、炔基及芳香基鋰 • 有機鋅化物：二乙基鋅 • 有機鎂化物：格任亞試劑 • 有機鋁化物：三甲基鋁、二乙基氫化鋁 • 有機磷化物：烷基磷
發火性固體	• 金屬氫化物：氫化鈉、氫化鉀、鋁氫化鋰 (Lithium aluminum hydride) 以及一些氫硼化物 • 活性金屬：鋁、鋰、鎂、鈉和鉀與銫，鈫 • 粉末狀金屬：鐵、鈷、錳、鈀、鉑、鎳、錫、鋅、鈣、鈦、鉍、鋯等 • 其他非金屬有金屬硫化物：硫化銅、硫化鐵 (FeS、FeS_2、 Fe_3S_4)、硫化鉀、羰基金屬 $Ni(CO)_4$，$Fe(CO)_5$，$Co_2(CO)_8$ 等
非金屬發火性氣體	• 如 PH_3、AsH_3、SiH_4、B_2H_6 等亦具有高毒性
其他發火性物質	• 低化合價的過渡金屬化合物（如氯化鈦 (II)）

圖三　常見發火性化學品

過氧化物生成化學品
(Peroxide Forming Chemicals)

在環境溫度及氣壓下，有的過氧化物具有爆炸危害性，而有的相對安全。有些化學品因操作時或貯存時接觸到空氣而與之反應生成過氧化物。市售的過氧化物試劑，皆須在得以確保其操作及貯存的安全性為原則下進行製備與充填。然而，不穩定的有機過氧化物往往在無意中生成而引發意外，有鑑於他們的不可預期性、爆炸性，且常造成相當嚴重的後果，因此值得我們高度重視。過氧化物常生成於液體中，但同樣可能生成於固體或氣體之中。過氧化物中的氧－氧鍵是不穩定的源頭。過氧化物在進行反應時，一開始會傾向將自身結構進行重排，改變原本的氧－氧鍵、碳－碳（或氫）鍵排列結構，並於過程中形成碳－氧鍵（是為相對穩定的鍵結）。一些不當的操作行為很容易使過氧化物啟動劇烈的反應或爆炸。比如說，機械力的衝擊、過度或快速加熱，或物體表面受到摩擦（例如使用化學品時，蓋子與容器間的摩擦）。例如異戊二烯 (isoprene) 在空氣中氧化會生成過氧化物而引起爆炸。存放過久的乙醚可能生成乙醚過氧化合物 (Diethyl ether peroxide)，摩擦時會引起爆炸 [7]。當易導致過氧化物生成的化學品緩慢與大氣中的氧氣反應時（也就是所謂的自氧化反應），也可能引發許多不同的化學反應。許多過氧化物生成劑會緩慢地重排成非過氧化物氧化形式，雖然化學品會失去使用性，但不會造成危害麻煩。例如：苯甲醛和其它醛、胺、硫醇、硫化物、*N*- 烷基醯胺和烷基碘。其他過氧化物生成劑將緩慢地導致聚合並且最終變成固體塑料。例如：苯乙烯、乙酸乙烯酯和丙烯酸乙酯，即使容器未被打開，過氧化物也會形成並最終發生聚合，因此在商業產品中通常會添加自由基聚合抑制劑（通常是對苯二酚）。該注意的是當化合物擁有官能團如二級醇，酮、醚類、三級碳（如十氫化萘）、烯丙基（如烯烴），和苄基碳（如烷基苯）等結構時，都有發生自氧化的可能。

有機過氧化物是化學實驗室中常需處理的危險物質之一。一般來說，此類化合物的爆炸威力雖不大，但因為它們對撞擊、火花、光熱、摩擦、強氧化劑或還原劑皆很敏感，故屬於危險物質，有些實驗室常用的過氧化物甚至比 TNT 等炸藥對撞擊更靈敏。再者，全部的有機過氧化物極易燃，故須特別注意。當遇到機械撞擊、溫度升高、或特殊化學反應，造成大量的氣體和熱量放出的物質，稱為爆炸物，這些物質的使用需要特別小心，通常需要有特殊的保護裝置來輔助，如面罩、手套、實驗衣等。除過氧化物外，一些眾所周知的此類化學品包括金屬疊氮化物，和過氯酸鹽也會產生爆炸。有些過氧化物如 MCPBA (*m*-chloroperoxybenzoic acid)、benzoyl peroxide、過氧化氫 (H_2O_2)、可由市面購買得到，但許多常見的溶劑當暴露在空氣中會自行生成過氧化物，此類過氧化物先驅物包括：

- 醛類：甲醛、苯甲醛
- 醚類：包括環醚、非環醚、縮醛、縮酮的一級和二級醚：乙醚、異丙醚、二口咢烷 (dioxane)、DME、THF、乙基乙烯基醚 (ethyl vinyl ether) 等。異丙醇通常保存一段時間後也會產生過氧化物。
- 具烯丙基 (allylic) 、苄基 (benzylic) 、丙炔基 (propargylic) 位置的氫之碳氫化合物：環己烯、環辛烯、丙炔、異丙苯 (cumene)、和四氫萘 (tetralin)。
- 共軛雙烯、烯炔、雙炔：其中二乙烯炔 (divinylacetylene) 最危險。
- 含有三級氫的飽和碳氫類：十氫化萘 (decalin) 和 2,5 雙甲基己烷 (2,5-dimethylhexane)

須強調的是上述化合物皆須在氧的存在下才會形成過氧化物，故保存這些藥品須在封瓶前先充滿惰性氣體（如氮氣或氬氣）；若是屬於非揮發性化合物，建議以抽氣裝置趕出氣體。若可能，可以加入一些如對苯二酚、BHT 的抗氧化劑。**注意，當發現液態醚瓶內有結晶物時，千萬不要打開罐子，以免發生意外。**

對可能是過氧化物先驅物進行蒸餾時，可採用下列測試是否有過氧化物的生成：

1. 取 1-3 mL 的待測液至同體積的醋酸內，加幾滴的 5% KI 水溶液後搖晃，若顯出黃色或棕色表示有過氧化物存在。

2. 加入 0.5 mL 的待測液至剛加入幾滴澱粉溶液的 1 mL 10% KI 和 0.5 mL 稀鹽酸混合溶液，若一分鐘內顯出藍或藍黑色的話，表示有過氧化物存在。

若被低濃度過氧化物污染的溶液可用層析級的鹼性氧化鋁層析過濾。另外有其他方法請參照 Burfield, D. R. *J. Org. Chem*. 1982, *47*, 3821。欲分解少於 25 g 的過氧化物，先用水稀釋至濃度低於 2%，再與適合的還原劑（如硫酸亞鐵或亞硫酸氫鈉）反應。

（六）衝擊及摩擦敏感性爆炸物 (Shock-Sensitive and Friction-Sensitive Explosives)

衝擊敏感性爆炸物，不僅在受到撞擊、震動、掉落、加熱或受到其他方式攪動或磨擦時會發生反應，就算在一般環境狀態下，也可能會自發性引爆，並釋放大量能量。有些化學品在存放經年累月後，其衝擊敏感性也隨之增加。此種風險如溶液中的過氧化物之生成，往往難以預料，令人擔憂，更增加了實驗室操作上的風險。常見高風險物質或反應如下：

- **疊氮化物**：包括金屬、非金屬和有機疊氮化物，如氫、銨、鹼土金屬、銅、銀、汞、鉈和鉛的疊氮化物、混合在 DMSO/CH_2Cl_2 中的疊氮化鈉，在酸性條件下生成 HN_3 高爆炸性的液體也非常危險。
- **炔類化合物**：尤其是聚乙炔，鹵代乙炔和乙炔的重金屬鹽（銅，銀和汞鹽特別敏感）。
- **含氧酸根的胺類金屬錯合物** (Ammine metal oxo salts)：這種鹽類的化合物中，其金屬錯合物部分具有氨、肼或類似的含氮配位子的陽離子，其陰離子部分則為過氯酸根、硝酸根、過錳酸根或其它氧化性基團。

- **醯基硝酸酯** (acylnitrates)：特別是多元醇硝酸酯，如硝酸纖維素和硝化甘油、烷基或醯基亞硝酸酯、烷基過氯酸酯。
- 硫、硒、碲、銅、銀、金和汞的氮化物。常見有銅的氮化物如 Cu_3N 與汞的氮化物如 Millon 鹼[8]。

- 異氰酸鹽又稱作雷酸鹽。由於雷酸根離子 (CNO^-) 的不穩定性，許多雷酸鹽是對摩擦敏感的炸藥。其中雷酸汞被廣泛用於雷管的起爆藥。HgN-Hg-OH，銀的氮化物，有時通稱雷酸銀 (fulminating silver)，不管是 AgN_3、Ag_3N 或是氫、銨、金屬的雷酸鹽化物，都可能引爆。多倫試劑 (Tollen's 試劑）與氨銀溶液分解殘餘物，如在醛的銀鏡測試反應混合物中，若經一段時間靜置，可能產生雷酸銀，AgCNO；要避免其生成，可以在測試完成後立即加入一些稀硝酸。

- 雷酸鹽可由溶解在硝酸中的金屬（如銀和汞）與乙醇反應製得。或將銀、汞、鉈和鉛的硝酸鹽在乙醇中溶解並加熱，亦可形成爆裂性鹽類。

- 氧化汞、氰化汞、氰酸銀、氰酸汞 (II)、(光敏性）銀氰胺 ($Ag_2N=C=N$)、(光敏性）汞 (I) 氰胺。
- 草酸銀和草酸汞，與酒石酸鹽。

- 鋁的異次磷酸鹽 ($H_2PO_2^-$)、汞的異次磷酸鹽（經加熱歧化生成磷化氫而具可點火燃燒性）、次磷酸二鉀 (K_2HPO_2)（潮濕狀態下可在空氣中點火燃燒）等。

- 此外對衝擊及溫度具敏感性的有銅 (II)、銀、鐵 (III)、錳 (II)、鉛 (II) 的氧化還原鹽類如硝酸亞錫、過氯酸亞鐵鹽、鹽酸胍、鉀。

- 羥胺的游離鹼於加熱時 (> 100 ˚C) 會歧化產生 NH_3、N_2、與 N_2O，如羥胺的碘化物、羥胺的次膦酸鹽、硝酸羥胺鹽、過氯酸羥胺鹽、及鉻酸羥胺鹽。

- **重氮化合物**：如重氮甲烷 (CH_2N_2)。

- **重氮鹽**：尤其是在乾燥狀態的重氮鹽特別危險。

- ***N*- 硝基化合物**：例如 *N*- 硝基甲基胺，硝基脲，硝基胍和硝酸醯胺等。

- 過氧化氫，過氧化物和過氧化氫化合物，有機過氧化物。過氧化氫隨著濃度超過 30% 會變得越來越危險，易與有機物質形成爆炸性混合物，並會在微量過渡金屬存在下劇烈分解。

- ***N*- 鹵素化合物**：如二氟氨基化合物和鹵素疊氮化物。

- 含氮鹼的過氯酸鹽，重鉻酸鹽，硝酸鹽，碘酸鹽，亞氯酸鹽，氯酸鹽，和氨、胺、羥胺、胍等的過錳酸鹽。常見例子有：硝酸銨鹽、氯酸銨鹽、溴酸銨鹽、過錳酸銨。銨鹽與其他硝酸鹽、氯酸鹽、溴酸鹽、過錳酸鹽類的混合物亦有同樣風險。

- 常見的亞氯酸鹽如金屬的亞氯酸鹽 $AgClO_2$ 和 $Hg(ClO_2)_2$，有類似爆炸風險，此外下列的鋰鹽 (熱敏感性)、鎳鹽 (衝擊／熱敏感性)、銅鹽 (衝擊敏感性)、鈉鹽 (衝擊／熱敏感性)、鉛鹽 (熱敏感性)、銀鹽 (衝擊／熱敏感性)、銀鹽 (熱敏感性)、鉈 (I) 鹽 (衝擊敏感性)、汞 (I)&(II) 鹽等亦同樣不穩定。

- **過氯酸鹽**：大多數金屬、非金屬和胺的過氯酸鹽都可以被引爆，並且可能在與可燃材料接觸時發生劇烈反應。通風櫥管道中的過氯酸鹽及排水管道中的疊氮化物，是實驗室中可能時常碰到的衝擊敏感性物質。因此，當使用過氯酸時，為避免過氯酸沉積在排風管裡，與排風管金屬作用產生危險，運作過氯酸的排風櫃，其材質需能抵抗過氯酸 [9]，常見的材質如 316 不鏽鋼，未增塑的聚氯乙烯、或玻璃纖維等不會與過氯酸或其衍生物作用，並有清洗裝置。

- 具有區辨衝擊敏感性物質或摩擦敏感性物質的能力相當重要。如苦味酸和醚過氧化物，雖不具衝擊敏感性，然而當開啟緊密的容器上蓋時，可能同時提供了足以造成爆炸的摩擦力。苦味酸 (picric acid)：是一種固體酸，其化學結構類似於三硝基甲苯 (TNT)。此外苦味酸金屬鹽，二硝基苯酚，二硝基間苯二酚和硝基甲烷 (丙烯腈陰離子) 同樣呈現衝擊及溫度敏感性。乾燥的苦味酸是具有爆炸性的，但對衝擊或摩擦不若其金屬鹽那般的敏感，當苦味酸為含水的潮濕狀態時是相當安全的，因此這種酸必須始終保持濕潤。如果學生遇到一瓶這種危險的固體，並且無法確認，其狀態或存放時間，應立即尋求指導人員或顧問的幫助，這一個化學品不應該由未經訓練的學生處理。苦味酸鹽：尤其是過渡金屬和重金屬如 Ni、Pb、Hg、Cu 和 Zn 的鹽。如果苦味酸外溢到水泥地面上而未做適當清理，可能會反應生成苦味酸鈣，於乾燥的狀況下可能會因腳步行走時的摩擦力引發爆炸。

- **聚硝基烷基化合物**：如四硝基甲烷和二硝基乙腈；多硝基芳族化合物，尤其是多硝基烴，酚類和胺類的芳族化合物。

以上並未包含所有高活性或具爆炸性的化學品，若你對於手邊的化學品處理上有疑慮，可參考 Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards[10]。針對於美國化工爆炸意外事件，美國有相關的調查報告 [11]。

（七）壓縮氣體（Compressed Gases）

實驗室中的壓縮氣體可能具有化學性及物理性危害。一旦壓縮氣體意外外洩，可能會造成大氣中的氧氣銳減、火災、有害健康或毒害。一旦汽缸洩氣造成易爆環境，有些有毒氣體如胂、膦、光氣、一氧化氮、氯氣、四氟化硫等將引發致命危險。在實驗室中，當任何氣體汽缸內壓升高，均可能導致汽缸破裂。例如 2016 年夏威夷大學氫氣 / 氧氣 / 二氧化碳混合氣體汽缸發生意外爆炸，導致工作人員手臂嚴重傷害。此外在臺灣曾發生氣體鋼瓶傾倒撞破，猶如一顆不受控的飛彈般，對一旁的工人造成嚴重傷害，也有滅火器因破裂飛撞牆壁造成建物損害。

（八）低溫液體（Cryogenic Liquids）

低溫液體係為一大氣壓下其沸點低於或等於 -90 ° C 的液體。低溫流體如液態氣體、液態氮和液態氧往往溫度極低。大部分的低溫液體無色無味。如（表 5） 所示低溫液體因其極度低溫狀態下所擁有的物理化學特性，而具有危害性。

液態氣體比他們的蒸氣狀態更加濃縮，可能快速蒸發。液態氮從冷凝階段到蒸汽階段的體積增加將 700 倍。5 加侖的液態氮可以在 15 英呎 × 15 英呎的房間內置換一半的空氣，只留下 10% 的氧氣（有如喜馬拉雅山頂部般稀薄）。低溫液化氣體（例如液態氧或液態氮）可能造成起火或爆炸、物力結構脆化、窒息和組織毀壞。一般狀況下不可燃的材料（例如碳鋼）一旦塗有富含氧的冷凝物則可能會起火燃燒。液態惰性氣體（例如液態氮和液態氦）會使大氣中的氧氣冷凝並導致氧氣滯留或濃縮在意想不到的地方。極凍的金屬表面也可能滯留大氣中的氧氣。在液化氣體溶液內的各氣體成分可能以不同的速率蒸發，留下一定濃度的易燃氣體。低溫液體（如液態氮）外溢至人身上可能造成立即傷害，與噴濺到未受保護的皮膚相比，噴濺到衣料上可能造成更嚴重的後果，因衣料會留滯更大量的低溫液體。鑒於氣壓在密閉系統將快速升高，必須有足夠的通氣措施。

表 5 常見低溫危害風險

常見之低溫危害風險之來源	危害風險
氫氣，甲烷，乙炔	屬於易燃氣體
氧氣	提高可燃物的可燃性
液態惰性氣體（液氦、液氮）	使空氣中的氧氣凝結和濃縮
極凍表面	使物料變得易碎

參考文獻

1. 勞動部職業安全衛生署安全衛生技術中心『化學品全球調和制度』網頁 https://ghs.osha.gov.tw/CHT/intro/search.aspx
2. Beware of Static Electricity Generated by Flowing Liquids, Shimadzu Company. https://www.shimadzu.com/an/hplc/ support/lib/lctalk/14/14lab.html
3. 公共危險物品及可燃性高壓氣體製造儲存處理場所設置標準暨安全管理辦法。
4. Guidelines for Using Perchloric Acid, Environmental Health & Safety – Carnegie Mellon University. https://www.cmu.edu/ehs/Laboratory-Safety/chemicalsafety/documents/Guidelines%20for%20Using%20Perchloric%20Acid.pdf
5. Schwindeman, J. A.; Woltermann, C. J.; Letchford, R. J. Safe handling of organolithium compounds in the laboratory.*Chemical Health & Safety* **2002**, 6-8.
6. 參見化學品分類及標示全球調和制度 (GHS 是依勞動部職業安全衛生署網頁之名詞)。
7. (a) EHS University of Alaska Fairbanks at https://www.uaf.edu/safety/industrial-hygiene/laboratorysafety/chem-gas/chemical-hazards/peroxides-ethers.php. (b) Furr, A. Keith. Peroxides and Ethers, from CRC Handbook of Laboratory Safety, 5th Edition.
8. Lipscomb, W. N. The structure of Millon's base and its salts. *Acta Cryst*. **1951**, *4*, 156-158. https://doi.org/10.1107/S0365110X51000453
9. Office of the Chief Inspector of Mines, British Columbia, Canada, "A Guideline for the Use of Perchloric Acid and Perchloric Acid Fume Hoods", 2016.
10. Peter Urben, Ed, Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards 8th Edition, Elsevier 2017.
11. CSB: US Chemical Safety and Hazard Investigation Board at: https://www.csb.gov/

專題報導
化 學 中華民國一百一十一年第八十卷第三期
DOI: 10.6623/chem.202206_80(3).004

常用化學實驗技術及應注意事項：濺灑汞的處理

朱忠瀚
國立臺灣大學 化學系

一、前 言

在實驗室中，潛藏著一些危險的物品，我們平時和它們和平共處，但「意外」發生的時間總是在「意料之外」，這種潛藏的危險品中，汞（水銀）即屬一例[1]。

汞的毒性極高，且容易揮發而產生蒸氣，增加人體接觸的機會。汞蒸氣經人體吸入後，會累積於體內，嚴重損害中樞神經系統和腎臟等器官[2]，所以我們需要小心操作。對於這樣的毒化物，我們應該盡量尋找替代品，並適度減少使用。

過去，居家配備水銀溫度計、水銀血壓計，是常見的事；因為現今有許多更好更安全的替代品，水銀相關產品已漸漸地遠離我們的生活。儘管如此，在學術和研發機構中，汞在特定情況下有其不可替代性，有時是因為其測溫範圍較廣、有時是因為汞試劑的獨特活性、有時研究本身是想要探討汞化合物的物理化學性質，因此，仍然有部分實驗室會使用操作汞及其化合物。如果必須使用汞，那我們也應該事先瞭解意外事件的處理方法。

儘管汞毒性高，但是遇到汞濺灑意外時，我們務必按照適當程序冷靜處理，以期將傷害降至最低。

二、事故初期應變

汞濺灑意外發生時，首先須通知實驗室管理人，迅速轉知意外發生的訊息給所有可能進入同一場所之人士，並且張貼告示暫停該場所的運作。同時亦須由環安衛負責人通報主管機關，以提供完整資訊即時指引，並避免可能的遺漏。

如操作人員在濺灑時接觸到汞，則需於第一時間將接觸之皮膚以清水沖洗，亦可使用清潔劑進一步清洗；如身上衣物不慎沾染，因汞容易吸附於粗糙表面，需立即脫除污染衣物，換上乾淨之衣物，並將污染衣物集中回收處理。

濺灑意外發生時首先要判斷濺灑量，以評估污染程度、確認是否需請求支援：如果濺灑量小於 5 毫升（約 67 克），盡快打開室內與室外連通之窗戶，保持與外界通風[3,4]，減少人員暴露之量，再行後續處理。然而，如果是大量濺灑（大於 5 毫升），則應通知環安衛人員請求協助[3]。開始處理前，務必穿戴完善的個人護具，包括：手套、護目鏡、防毒面罩、實驗衣、長褲、包鞋等，減少體表皮膚的外露，以降低暴露風險。處理濺灑前必須利用沖身洗眼器或其他水源預做除汙準備，區隔污染區（紅區）、除汙區（黃區）及安全區（綠區），避免區域間移動時發生污染擴大之情形。

處理濺灑意外的第一步是疏散在同一空間的其餘人員，防止污染擴散及傷害擴大。並將汞濺灑區域往外部擴大五至十公分處，用紅色膠帶貼於邊界劃分清楚，以避免遺漏污染區域，也能減少誤觸污染區域的機會，並且於四周貼上警告標示。

汞滴在平滑表面可滾動相當遠的距離，需查看更大區域，將污染區域劃分確實，有利於污染環境的全面清潔，並能達到以最少量的清潔耗材進行清潔，且降低需回收之廢棄物的效果；一方面降低資源的浪

費，另一方面也可以減少清潔人員與污染物質之間的暴露，進一步減輕清潔人員身心的負擔。

三、濺灑處理

3.1 無法即時取得濺灑應變套件 (spill kit) 時 [5,6]

1. **清除玻璃碎片**：如有破碎之玻璃，務必以鑷子先行移除並妥善收集。

2. **移除肉眼可見之汞滴**：接著以塑膠吸瓶、空針筒或滴管，移除肉眼可見大顆汞滴；稍小之汞滴，可使用刮刀或卡紙，以緩慢的速度將其集中回收。使用手電筒以小角度打光，可幫助看到更多汞滴，盡量將可看見之汞滴回收。將回收之汞液滴裝至可密封之塑膠瓶，加少量水蓋過汞液，封緊，同時於塑膠瓶外部標示「汞廢棄物」，以待後續回收處理。此一步驟主要目的是先將體積較大的汞液滴吸除，以減少蒸氣持續擴散，也讓後續汞吸附步驟能進行得更順利。若無法吸除，亦不需刻意為之，以免過度擾動汞液滴，使污染範圍擴大。

   警告：絕不可使用一般掃把、吸塵器進行掃除、移除，以免將大顆的汞珠打散，加速其汽化，造成更大的污染及擴散！

3. **使用汞吸附劑**：以下列任一選項作為汞吸附劑，避免汞蒸氣持續產生。

   (1) 以鋅粉吸附形成鋅汞齊，此一物質穩定，形成後加以移除 [7]。
   (2) 以硫磺粉吸附，形成穩定不易揮發的硫化汞，再行移除 [8]。
   (3) 以硫代硫酸鈉加上 EDTA（乙二胺四乙酸）的混合粉末吸附、螯合汞金屬 [9]。詳細步驟如下：

      a. 將 85 克之硫代硫酸鈉與 15 克之 EDTA 均勻混合。
      b. 將此混和後的粉末撒在污染區域上，並用水將其噴濕（使用噴霧瓶即可達到很好的效果）。
      c. 靜置過夜（至少十六小時）。清除時可使用沾水之海綿抹除，並將汙水收集於含汞廢液瓶中，亦可使用掃把掃除。
      d. 所有過程中接觸汞及其化合物之物品（如擦拭污染表面之紙巾、海綿等），務必按照含汞廢棄物的回收規範進行後續處理。大型掃具可依照註二清潔，待至無明顯可見之污染物沾附時，即可於水槽中以大量清水沖洗，以期將汞污染降至最低，並也同時控制含汞廢棄物之量。

      註一：此處建議使用桌上型掃具，因其體積較一般掃具小，使用後可直接以含汞廢棄物丟棄，方便之餘亦可減少相關廢棄物之體積，達到降低污染的效果。

      註二：假如無法即時取得桌上型掃具，則用來掃除汞污染物的掃把及畚箕，務必於使用後以紙巾等物品將表面污染物擦除，再使用洗瓶，以最少量的水將污染物沖洗掉。此處產生之汙水亦需以含汞廢棄物之規範回收，可先使用一容器，盛裝紙張、吸附棉等物吸附汙水，再行回收。

      註三：按照註二清潔完畢之掃把和畚箕，以大量清水沖洗後，亦不可留作日常用途使用，應按照一般廢棄物進行丟棄，以免後續使用時造成環境污染。

4. 離開現場並於周遭貼上警告標示，避免有人誤闖，同時等待環安衛人員的進一步指示。待工作環境已確認無任何殘存的污染後，再繼續實驗工作之進行。

3.2 備有 Spill Kit 時：以 Spilfyter®-Mercury Spill Kit 為例 [10]

1. Spilfyter 是市售的汞濺灑清除成套工具，其內容物包含：

   (1) 汞液滴吸除瓶 (aspirator bottle)
   (2) 汞蒸氣抑制劑 (vapor suppressor shaker bottle)
   (3) 汞濺灑吸附粉 (amalgamation powder)
   (4) 汞廢棄物棄置瓶 (waste collection bottle)
   (5) 清潔海綿 (chemical sponge)
   (6) 垃圾袋及封條 (disposal bag & twist tie)
   (7) 汞污染指示粉 (indicator powder)
   (8) 塑膠盆及木製攪拌棒 (mixing tub with spatula)
   (9) 丁腈手套 (nitrile gloves)
   (10) 桌上型掃把及畚箕 (whisk on pan)
   (11) 護目鏡 (splash goggles)

2. 使用步驟

   (1) 開始處理前務必穿戴好所有的個人防護裝備。
   (2) 將明顯可見之汞液滴以吸瓶一一吸除，並置於汞廢棄物棄置瓶中 (圖一)。

圖一　使用吸瓶吸除汞液滴。

(3) 大的汞液滴吸除後，將污染區域撒上「汞蒸氣抑制劑」；此抑制劑外觀為黑色顆粒，可抑制汞蒸氣持續產生，並沾附汞液滴，使其較易移除。

警告：此汞蒸氣抑制劑不可接觸鋁粉、強氧化劑，以免起火燃燒；亦不可接觸酮類、含氨（銨）類物質，以免產生大量氣體。

(4) 以產品所附之桌上型掃把及畚箕，掃除汞蒸氣抑制劑及其所吸附之小型汞液滴，並集中丟棄於汞廢棄物棄置瓶中；假如顆粒較多，亦可丟棄於所附垃圾袋中，但需確實以封條封起袋口，避免洩漏。

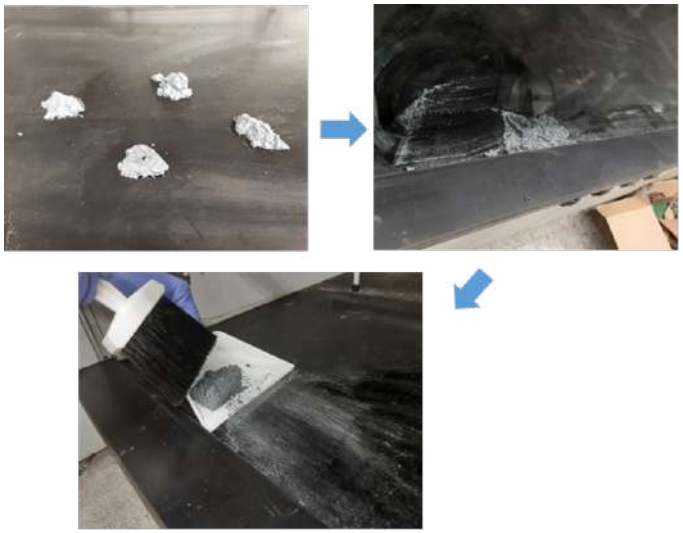
   A. 註：建議在產品所附之垃圾袋外再套上一層塑膠袋，以防止任何可能的污染物洩漏。

(5) 接著，以所附塑膠盆裝取些許「汞濺灑吸附粉」，再加入少許的水，以木製攪拌棒調和成泥狀 (圖二)。

圖二　調製完成之汞吸附泥。

   A. 註一：粉末及水的重量比約為二比一，再視濃稠度添加水或吸附粉。
   B. 註二：不可將吸附粉直接灑於污染處！

(6) 取少許調製完成之吸附泥，置於污染區之周圍，並使用攪拌棒由外而內抹平、逐漸推向污染區中心，使其充分接觸污染區域；肉眼不可見之汞液滴可因此被吸附泥所吸附，形成性質穩定之汞齊，以利後續全面性的清除（圖三）。



圖三　汞吸附泥的施用及清潔。

(7) 集中吸附泥，以桌上型掃把、畚箕掃除，並丟棄於垃圾袋內（如圖三）。

(8) 為確保汞液滴皆被吸附，可再次使用吸附泥，重複步驟 (6)、(7) 進行清除。

(9) 掃除大部分之吸附泥後，使用所附之海綿，沾濕後清潔污染區。

A. 註：為確保污染物不外洩，使用海綿之清潔方法如下：

a. 用水沾濕海綿，以此海綿先作第一次之清潔。

b. 準備一容器，內置少許紙張、吸附棉等，作為汙水收集器。

c. 用洗瓶以最少量的水將污染之海綿表面沖洗乾淨；再擠乾汙水。

d. 收集汙水於步驟 (b) 準備之容器內。

e. 以洗瓶潤濕海綿，即可進行下一次清潔，直至污染區表面乾淨。

(10) 以海綿清潔後，將污染區表面撒上「汞污染指示粉」，靜置 24 小時。指示劑外觀為淡黃色粉末，假如有少量殘餘的汞，會使指示劑顯示為「粉紅色」（圖四）；大量污染則顯示為「黑色」。若指示劑顯示尚有污染，則掃除指示劑，並重複步驟 (5)~(10)，直至撒上指示劑後無殘餘污染反應為止。掃除指示劑後，再以沾濕海綿，或沾濕紙巾，將污染處擦拭乾淨。

圖四　撒上指示粉後，殘餘污染處呈淡粉紅色反應（紅圈標示處）。

註：此處的指示劑、海綿、紙巾亦需收集丟棄於含汞廢棄物之垃圾袋。

(11) 將過程中使用之清潔用具、塑膠盆等用具，以及先前的汞廢棄物棄置瓶，一併丟棄至垃圾袋內，最後再將手套脫下，置入同一垃圾袋內。

(12) 以封條將垃圾袋嚴密封起，並於其外貼上「含汞廢棄物」之指示（圖五）。

註：建議將此垃圾袋放入不容易破裂的加蓋硬質桶中，可進一步防止可能之汞污染外洩。

(13) 聯繫環安衛中心，確認含汞廢棄物之回收時間，再行回收處置；回收時間前，將此廢棄物儲藏於通風良好處，避免可能的汞蒸氣累積。

註：汞廢棄物不得併入一般重金屬廢棄物或廢液。

四、結 語

進入實驗室前，做好一切安全訓練，以及完成良好的個人防護具配備，是最基本且有效的安全計畫。然而操作時難免發生失誤，這時就需要以冷靜的心態、嚴謹的手法，確實將污染處清潔乾淨，還給大家一個安全且安心的工作環境。建議時常操作汞的工作場所備用汞洩漏清潔組，可以較完善地進行污染清除、妥善應對；相較於未妥善準備所導致的手忙腳亂，以適當的經費購置工作場所相應的配備是值得的。

因為汞易汽化的特性，對環境的潛在傷害大，故汞污染之清潔較為繁雜，步驟較多，所耗費之人力及物力的成本也較高。除了實驗成本與研究成果之外，在科技進步、資源豐沛的今天，我們更應該審慎考慮環保、綠色化學等議題。除了不可替代的實驗外，盡量減少汞的使用，尋求其他較安全的替代品；「預防勝於治療」，在實驗室裡也同樣適用。

圖五 封好且貼上指示之垃圾袋

參考文獻

1. Mercury; MSDS No. M141-1LB; Fisher Scientific: Fair Lawn, NJ, Jan 17, 2018.
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ToxFAQs™ for Metallic Mercury. https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsDetails.aspx?faqid=1195&toxid=24 (Accessed Jul 2, 2021)
3. Chemical Safety Manual for Small Businesses: Guides for Managers, Administrators, and Employees, 3rd ed.; American Chemical Society: Washington, D.C., 2007.
4. Laboratory Safety Guide, 4th ed.; University of Wisconsin, Health Sciences Printing Office: Madison, WI, 2004.
5. United States Environmental Protection Agency. What to Do if a Mercury Thermometer Breaks. https://www.epa.gov/mercury/what-do-if-mercury-thermometer-breaks#mercurydonts (Accessed, Jul 2, 2021)
6. New York State Department of Health. Cleaning Up a Small Mercury Spill. https://www.health.ny.gov/environmental/chemicals/mercury/docs/cleaning_up_a_small_mercury_spill.htm (Accessed Jul 2, 2021)
7. Occupational Health & Safety. Mercury Spill Control &Cleanup. https://ohsonline.com/Articles/2003/07/Mercury-Spill-Control--Cleanup.aspx?Page=4# (Accessed Jul 2,2021)
8. 環保署生活廢棄物管理宣導網，〈水銀體溫計打破該怎麼辦〉。https://hwms.epa.gov.tw/dispPageBox/publicity/PublicityCp.aspx?ddsPageID=EPATWG141&&dbid=3470363189 (Ac-cessed Aug 14, 2021)
9. Ullah, M. B. Mercury stabilization using thiosulfate and thioselenate. Master Thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, 2012.
10. NPS Corporation. Spilfyter Grab & Go Mercury Spill Kit#520250 (汞濺灑示範清除影片)。https://www.youtube.com/watch?v=8jY_sKyPT9k (Accessed Jul 2, 2021)

《實驗室化學安全彙輯》轉載自
《化學》，第 72 卷，第 1 期，第 3–5 頁，2014
《化學》，第 72 卷，第 1 期，第 7–29 頁，2014
《化學》，第 72 卷，第 1 期，第 31–35 頁，2014
《化學》，第 72 卷，第 1 期，第 37–39 頁，2014
《化學》，第 72 卷，第 1 期，第 41–42 頁，2014
《化學》，第 72 卷，第 1 期，第 43–44 頁，2014
《化學》，第 78 卷，第 3 期，第 227–230 頁，2020
《化學》，第 78 卷，第 3 期，第 231–233 頁，2020
《化學》，第 78 卷，第 4 期，第 343–346 頁，2020
《化學》，第 79 卷，第 1 期，第 87–88 頁，2021
《化學》，第 79 卷，第 1 期，第 89–90 頁，2021
《化學》，第 79 卷，第 1 期，第 91–92 頁，2021
《化學》，第 79 卷，第 2 期，第 191–193 頁，2021
《化學》，第 79 卷，第 2 期，第 195–196 頁，2021
《化學》，第 79 卷，第 3 期，第 281–282 頁，2021
《化學》，第 79 卷，第 4 期，第 393–395 頁，2021
《化學》，第 80 卷，第 1 期，第 111–125 頁，2022
《化學》，第 80 卷，第 3 期，第 325 – 329 頁，2022

出版機關：社團法人中國化學會（內政部台內社字第 491401 號）

發 行 人 ： 李芳全

撰 稿 人 ：

王文竹 甘魯生 朱忠瀚 江明錫 周宜成 邱秀貞 高佳麟

高靖硯 張芳瑀 梁文傑 陳秀慧 陳建嘉 賀孝雍 黃國棟

蔡蘊明 戴聿彤 謝木根

發行單位：社團法人中國化學會（內政部台內社字第 491401 號）

地　　址：11529 台北市南港區研究院路二段 128 號
化學所 A409

電　　話： (02)55728573~5

製作單位： 化學與環境委員會

編　　輯：化學安全小組

美術編輯：腦袋開花設計有限公司

出版年月：2022 年 11 月 版

刷　　次：初版第 1 刷