

鑑識科學在反恐任務之運用

——以顯微紅外光譜法分析火炸藥



提要

近年來有關恐怖組織發起攻擊事件不斷的發生，爆炸攻擊事件仍為恐怖組織之首選，所造成的影響，不僅是人員死傷或巨大的財產損失，背後更造成人們心理恐慌與害怕。防制恐怖活動除倚靠嚴密之情報蒐集來預警及防範外，更可藉鑑識科學之技術手段，將各種恐怖活動所遺留之證據進行鑑定、個化、評估，研判所使用之火炸藥成份或特殊之犯罪手法，以防範恐怖爆炸攻擊發生。

本文中主要應用顯微紅外光譜儀，分析三硝基甲苯(TNT)、澎梯兒(PETN)等國內軍用制式火炸藥；硝酸鉀(KNO_3)、氯酸鉀(KClO_3)等無機化合物以及三丙酮

三過氧化物(TATP)等物質；建立共計27種紅外線光譜資料。雖然台灣尚未發生恐怖攻擊事件，身為憲兵的专业鑑識單位，不僅要將鑑驗技術運用於反恐任務上，維護國家安全及社會治安，更需要與國內相關鑑識單位建立交流與合作，共同面對未來的挑戰。

關鍵詞：恐怖主義，鑑識科學，顯微紅外光譜分析，反恐任務

壹、前言

火炸藥伴隨人類的歷史可謂非常久遠，可追溯至九世紀初期(公元808年)，我國正式文獻可考有使用黑火藥紀錄算起，火炸藥已有一千多年的歷史，最重要的是近代火炸藥的興起和發展時期(1833～1940年)，硝化甘油、三硝基甲苯(TNT)、工礦炸藥代那邁(Dynamite)、雙基發射藥、苦味酸、特出兒(Tetryl)、澎梯兒(PETN)等等，都是該時期研發的火炸藥，至今仍繼續被廣泛用於各國的軍事武器上。火炸藥的發明與改良，加速了人類文明進化的腳步，為人類帶來嶄新的時代，卻也因受到有心人士之誤用，為人類社會帶來一顆不定時炸彈。

近年來，恐怖組織發起攻擊事件不斷的發生，根據各種資料統計，在1960年至2002年的四十多年之間，全球共發生各種恐怖事件一萬六千餘起，爆炸攻擊事件約佔百分之八十，在恐怖活動方式中佔最大的比例；除此之外，武裝襲擊、劫持人質、劫機等恐怖活動約佔百分之十一；涉嫌使用化學毒物的恐怖事件約佔百分之六等等。¹重大爆炸案件如1995年4月19日美國俄克拉荷馬城商業區的獨立銀行爆炸案，造成168人死亡；經過調查鑑定後，係由一量輛載有四

千磅的硝銨燃油(ANFO)炸藥被置於租來的廂型車引爆造成。ANFO是由柴油與硝酸銨混合而成，雖然ANFO被法律嚴格管制，但其原料卻未受到管制，而是一般常見的硝酸銨肥料以及家中常用於暖爐的燃油。另一件世人矚目的恐怖攻擊事件，2002年10月的印尼巴峇島連續三起爆炸案中至少206死亡，100多人受傷，經鑑定後，發現了三硝基甲苯(TNT)與澎梯兒(PETN)兩種軍用火炸藥以及大量的氯酸鉀、硫、鋁等物質所混合而成的非制式炸藥。²2005年7月「倫敦地鐵攻擊事件」造成50人死亡、700多人受傷，警方調查後，是由三個蓋達恐怖組織的成員，攜帶著裝有三丙酮三過氧化物(TATP)的背包，進行自殺式的方式，引爆炸彈來攻擊地鐵設施。由於軍用制式火炸藥取得不易，製造過程較為困難，但恐怖組織卻使用較廉價之化學原料製作急造爆炸裝置(IED)，例如硝酸鉀、氯酸鉀、過氯酸鉀、硫黃、鋁金屬等物質以不同比例混合而成土製炸藥；雖然爆炸威力比不上軍用制式炸藥強大，但隨火炸藥量增多所造成的爆炸效應及殺傷力卻不容忽視。隨著科技的進步，恐怖組織可能改變炸彈中的炸藥成份、炸彈外觀型態和引爆的手段，像是書信炸彈和郵包炸彈的都仍將繼續

1 陳冀勝，化學恐怖對策與技術，科學出版社，北京，2005年，p.3。

2 Royds, D., Lewis S.W., Taylor, A. M., A case study in forensic chemistry: The Bali bombings ,Talanta, 2005, 67 (2):262-268.

存在，並有可能更加先進、威力更大。由於爆炸具有殺傷力大、簡單易行等特點，炸彈攻擊仍是恐怖分子首選方式。而這些恐怖活動除了倚靠嚴密的情報蒐集來做預警及防範，另外可以利用鑑識科學技術，將各種恐怖行動所留下的證據予以鑑定、個化、評估、和解釋，彙整相關證據及犯案手法做有系統的評估，研判可能的恐怖攻擊方式，提供國安單位預警情資，以及法院審判依據之證據，或作為國家法律條文制定之參考。³

貳、火炸藥之鑑識技術與方法

在爆炸案件發生後，除對案件關係人或相關證物所殘留之火炸藥化合物外，需要做微量成分分析，還要對爆炸後的現場殘跡進行分析。一般而言，火炸藥在經過爆炸之後，絕大部分的產物多為氣態氧化物，如二氧化碳(CO₂)、水氣(H₂O)等，在鑑定分析實務上並不適用且較為困難；因此，在火炸藥成分的檢測與確認，往往限制於原火炸藥尚未反應的部分，抑或是有可能已凝結的產物。⁴而對於爆炸後遺留的火炸藥固體殘量甚微，又要多方儀器分析比對，才能精確地分析出火炸藥成分與種類，因此，兼具樣品分析量需求少，不破壞火炸藥本身結構，又

能精確與快速檢驗的儀器分析方法是重要的選項。

目前世界各國的實驗室，有多種方法用於分析未爆炸的火炸藥或爆炸後殘跡的鑑定，主要包括呈色試驗法、薄層層析法、氣相層析法、高效能液相層析法、離子層析法、核磁共振法、掃描式電子顯微鏡-X射線能譜分析法、紅外光譜法等等。結合紅外光分析技術及顯微鏡技術的顯微紅外光譜法，不但可以精確、快速的檢驗，不會造成火炸藥結構的破壞與改變⁵，維持紅外光譜非破壞性及高選擇性的優點，同時顯微紅外光譜法的操作比需要加入溴化鉀(KBr)稀釋、研磨、打片等繁瑣的前處理步驟的傳統穿透式紅外光譜分析來的簡便，更可以利用高光通量的干涉紅外光束，精確地聚焦在樣品上的微小區域，可提高檢測靈敏度及限量，⁶國外研究文獻中就指出，在分析的樣品僅有奈克(10⁻⁹克)之極微量的情況下，仍有不錯的分析結果。

參、實驗方法

(一)火炸藥樣品

三硝基甲苯(2,4,6-Trinitrotoluene，TNT)、硝化纖維(Nitrocellulose，NC)、海

3 柳如宗，憲兵鑑識科學於反恐怖任務之運用與展望，憲兵半年刊，第62期，第102-117頁，94年3月。

4 李茂榮，質譜於爆炸物之偵測與鑑定，化學，第63卷，第1期，第55-62頁，94年3月。

5 Beauchaine, J. P., Peterman, J. W., Rosenthal, R. J., Applications of FT-IR/Microscopy in Forensic Analysis, *Mikrochim. Acta*[Wien], I, pp. 133-138, 1988.

6 Cournoyer, R., Shearer, J. C., Anderson, D. H., Fourier transform infrared analysis below the one-nanogram level, *Analytical Chemistry*, vol. 49, no. 14., pp. 2275-2277, December, 1977.

掃更(Cyclotetramethylene Tetranitramine, Hexogen, RDX)、奧托更(1,3,5,7-Tetranitro-1,3,5,7-Tetraazacyclooctane, Octogen, HMX)、雙基發射藥、澎梯兒(Pentaerythritol Tetranitrate, PETN)來自於軍備局生產製造中心第二〇三廠。特出兒(2,4,6-N-Tetranitro-N-Methylaniline, Tetryl)、硝基胍(Nitroguanidine, NQ)、尿素硝酸(Urea Nitrate)、六亞甲基三過氧二胺(Hexamethylene Triperoxide Diamine, HMTD)、三丙酮三過氧化物(Triacetone Triperoxide, TATP)為憲兵司令部刑事鑑識中心檔案標本。

三硝基氯苯(Picryl Chloride)、2,6-二硝基苯(2,6-DNT)、三硝基苯(TNB)、三硝基間苯二酚(Styphnic Acid)標準品購自東京化成公司。苦味酸(Picric Acid)藥品購自德國默克(Merk)公司。

硝酸鉀(KNO_3)、亞硝酸鉀(KNO_2)、氯酸鉀(KClO_3)、過氯酸鉀(KClO_4)、氧氰化鉀(KOCN)、硫氰化鉀(KSCN)、硝酸鈉(NaNO_3)、疊氮化鈉(NaN_3)、過氯酸銨(AP)購自Acros公司。

(二)儀器

Perkin Elmer Spectrum-One FTIR /Autoimage 全自動顯微紅外光譜分析儀。儀器分析模式(Analysis Mode)：顯微紅外光反射式及穿透式，掃描範圍： 4000 cm^{-1} 至 700 cm^{-1} ，掃描次數(Scan Number)：32次，

單位(Unit)：T%，解析度(Resolution)： 4 cm^{-1} 。

肆、結果與討論

針對本研究中的火炸藥樣品，包含了有機火炸藥、無機火炸藥及其他等三類物質。有機火炸藥包含硝基芳香族化合物、硝基酯化合物、硝基胺化合物等含高能物質(硝基)之火炸藥；無機火炸藥則為爆炸過程中擔任提供氧氣幫助燃燒的氧化劑，像硝酸鹽類的鉀鹽(KNO_3)、鈉鹽(NaNO_3)及銨鹽(NH_4NO_3)等。另外，其他類中有三個較特殊的火炸藥，三丙酮三過氧化物(TATP)與六亞甲基三過氧二胺(HMTD)屬於有機過氧化物，以及尿素硝酸(Urea Nitrate)。以下針對顯微紅外光譜法分析出來的結果做出探討。

一、有機火炸藥(Organic Explosives)

在紅外光分析應用的觀點上，有機分子的振動可區分為兩個部份：一個是與全部分子有關的振動，其紅外光吸收帶範圍低於 1300 cm^{-1} ，這區域的吸收峰可視為該化合物的特徵型態，常被稱之為指紋區；另一個是與特定官能基有關的振動，其紅外光吸收帶範圍高於 1300 cm^{-1} ，這範圍的吸收峰特徵為該化合物的特定官能基，對於未知有機化合物結構研判，具有很高的解析價值。

在顯微紅外光譜分析結果中，含硝基官能基之火炸藥於紅外光波長約 1530 cm^{-1} 及 $1350\text{ cm}^{-1} \pm 30\text{ cm}^{-1}$ 的範圍中，有對稱

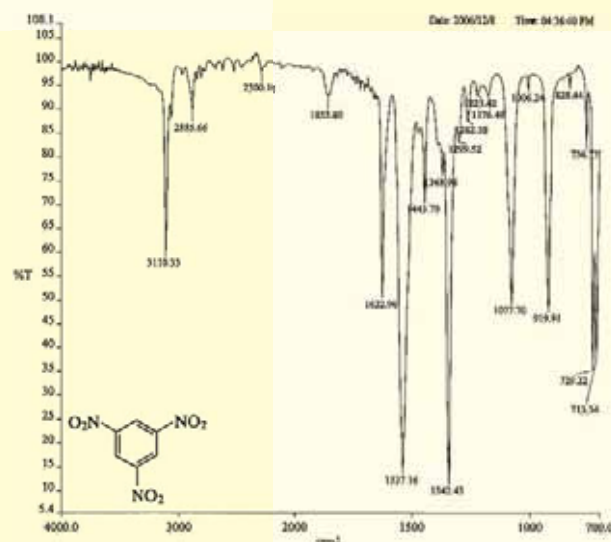
(Symmetric, ν_s)與反對稱(Asymmetric, ν_{as})伸縮(Stretching)振動之兩個強烈吸收峰，雖然會有部份的位移現象，但這是對於未知樣品中判斷是否含硝基物質之火炸藥最重要的判斷價值。⁷

(一)硝基芳香族火炸藥(Nitroaromatic Explosives)

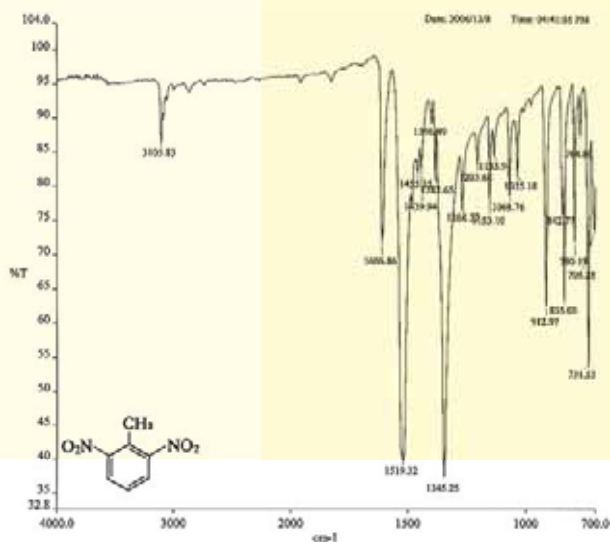
三硝基苯(圖一)、2,6-二硝基甲苯(圖二)、三硝基甲苯(圖三)、三硝基間苯二酚(圖四)、三硝基氯苯(圖五)、苦味酸(圖六)、特出兒(圖七)等七個硝基芳香族火炸藥具有共同的特性，就是含有硝基苯化合物的主體，而不同的地方，是在硝基苯中苯環結構與硝基鍵結數量及位置的差異，而要辨別這些硝基芳香族火炸藥的差異性，就須針對其他不同鍵結在苯基上的官能基吸收峰來判讀。

像三硝基甲苯、2,6-二硝基甲苯、特出兒，這三個火炸藥與三硝基苯相比較，多了一個甲基(CH_3)官能基，發現在 $1450 \pm 15 \text{ cm}^{-1}$ 範圍有甲基的吸收峰， $1025 \pm 15 \text{ cm}^{-1}$ 有甲基的變形吸收峰，以及在 $790 \pm 2 \text{ cm}^{-1}$ 有 $\text{C}-\text{CH}_3$ 在苯環平面上的伸縮震動；⁸另外，特出兒多了一個硝基胺($\text{N}-\text{NO}_2$)接在苯環上，在 1281 cm^{-1} 有吸收峰可以明顯的發現。苦味

酸與三硝基苯相比較在結構上多了一個OH官能基，除了在紅外光波長 $3500-3200 \text{ cm}^{-1}$ 附近有較寬的吸收峰，顯示有OH鍵的振



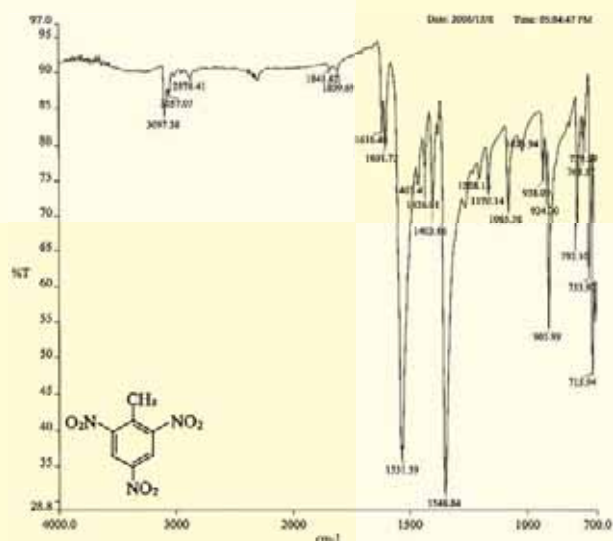
圖一 三硝基苯(TNB)之顯微紅外光譜圖



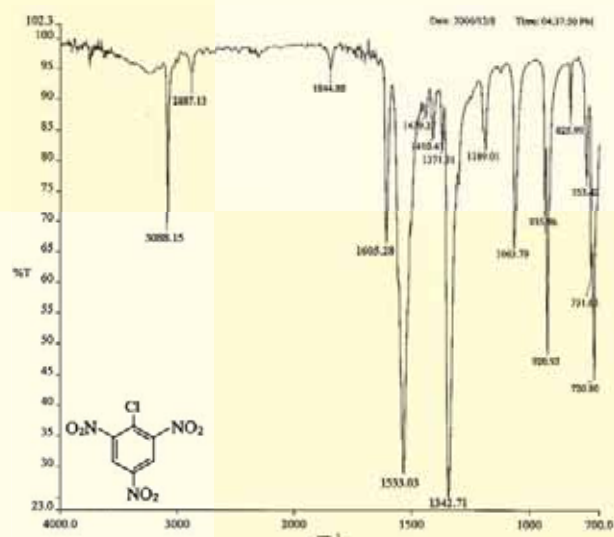
圖二 2,6-二硝基甲苯之顯微紅外光譜圖

⁷ Beveridge, A., *Forensic Investigation of Explosion*, Taylor & Francis, PP.267-277, 1998.

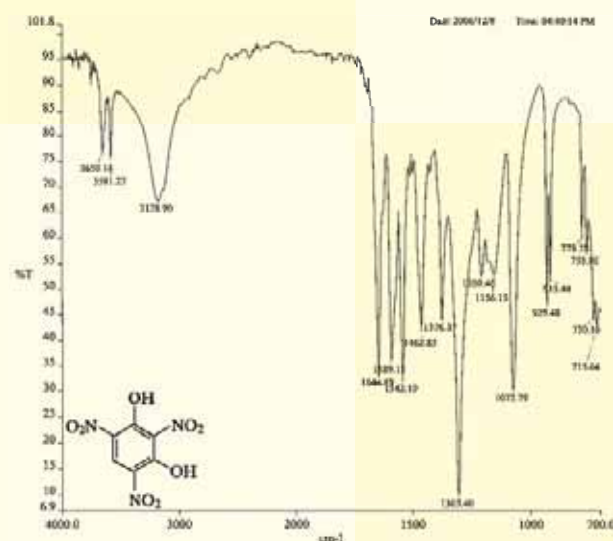
⁸ Gloria, M. H., "Vibrational signatures of 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) in soil particles," Master Degree, Chemistry, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus, pp. 56-57, 2006.



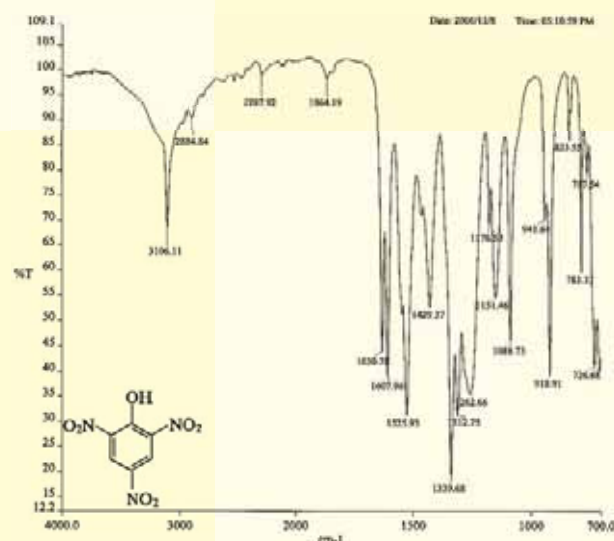
圖三 三硝基甲苯之顯微紅外光譜圖



圖五 三硝基氯苯之顯微紅外光譜圖



圖四 三硝基間苯二酚之顯微紅外光譜圖



圖六 苦味酸之顯微紅外光譜圖

動；在 1429 cm^{-1} 有CO的振動光譜；在 1262 cm^{-1} 有苯基接上OH鍵的中吸收峰。三硝基間苯二酚與三硝基苯結構相比較多了二個OH官能基，在紅外光波長 3605 、 3581 cm^{-1} 的有OH的吸收峰；在 1462 cm^{-1} 有CO的吸收振動；在硝基的對稱伸縮振動與苯基的振動

吸收峰，相較其他芳香族火炸藥化合物有明顯的位移情形，主要因為OH鍵為較強拉電子基的影響關係。另外，因苯環上連接不同的官能基，而有相互間推拉效應，在官能基吸收峰有位移現象，振動原子質量的增加，會使質量中心(Reduce Mass)增加，使振動頻

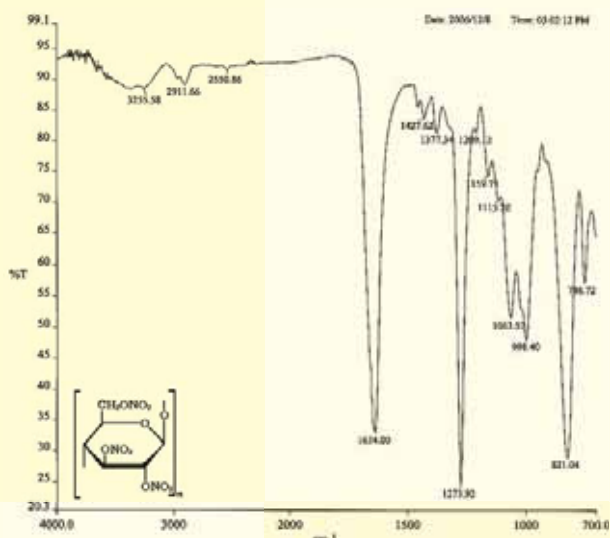
率減小，在光譜上的官能基吸收峰會有向右(低階)位移情形。⁹

上述七個硝基芳香族火炸藥都具有苯環與硝基的共同特徵，在紅外光波長 1600 cm^{-1} 附近有苯基中C-C鍵結的中-弱吸收峰，硝基反對稱(ν_{as})及對稱(ν_s)伸縮振動頻率在 $1550\text{--}1510\text{ cm}^{-1}$ 及 $1350\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ 有兩個強烈的吸收峰；而不同差異部分是在連接苯基上的特殊官能基吸收峰，如 CH_3 、 OH 、 Cl 、 N-NO_2 等等；在其他的吸收峰部份包含了苯基中C-C鍵、C-H鍵、C-N鍵的伸縮或彎曲等振動。對未知物進行紅外光譜分析，可以先找出苯基、硝基對稱與反對稱、C-N鍵等吸收峰，進而在找出是否具有其他特殊官能基的吸收峰位置，就可以判斷是否為硝

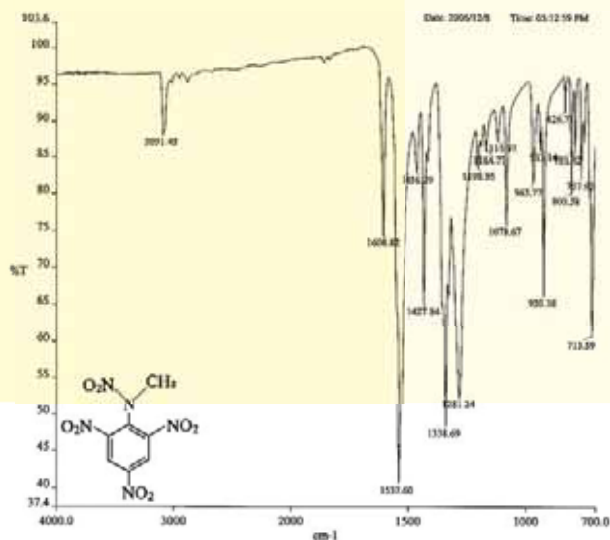
基芳香族火炸藥化合物。

(二)硝基酯火炸藥(Nitroesters Explosives)

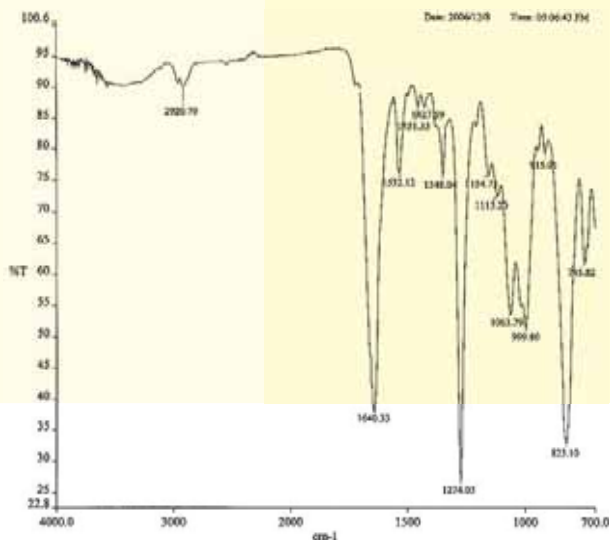
硝化纖維(圖八)、雙基發射藥(圖九)、澎梯兒(圖十)等均含有硝基與 O-NO_2



圖八 硝化纖維之顯微紅外光譜圖



圖七 特出兒之顯微紅外光譜圖



圖九 雙基發射藥之顯微紅外光譜圖

9 王正熙，紅外特徵基團頻率與分子結構的關聯，近代傅里葉變換紅外譜技術及應用，科學技術文獻出版社，1994。

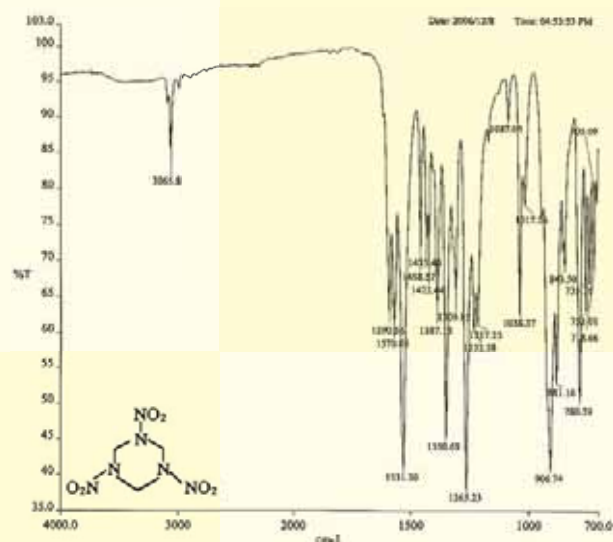
物質的火炸藥。硝化纖維中的硝基對稱及反對稱伸縮振動在 1634 及 1273 cm^{-1} ， $\text{O}-\text{NO}_2$ 的基本振動在 821 及 746 cm^{-1} 。雙基發射藥與硝化纖維相比較，硝基與 $\text{O}-\text{NO}_2$ 的吸收峰相近，因為雙基發射藥為硝化纖維與硝化甘油(Nitroglycerin)混合而成的緣故。澎梯兒之硝基吸收峰在 1641 、 1283 、 1269 cm^{-1} 。

在硝基酯火炸藥中含有 $\text{O}-\text{NO}_2$ 化學鍵，硝基連接到氧原子的兩個伸縮吸收帶範圍在 1645 - 1630 cm^{-1} 及 1285 - 1270 cm^{-1} ；另外在 855 - 820 cm^{-1} 以及在 765 - 702 cm^{-1} 有 $\text{O}-\text{NO}_2$ 的中-強度吸收峰，這特徵吸收峰可作為區分火炸藥中硝基酯化合物。

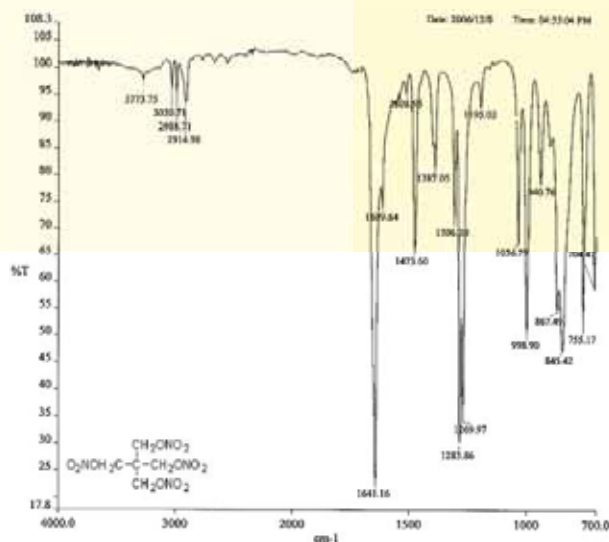
(三)硝基胺化合物(Nitramines)

海掃更(圖十一)是一個雜環硝基胺火炸藥，由三個碳(C)與三個氮(N)連結成的六角環狀結構並在氮連結硝基，其硝基對稱

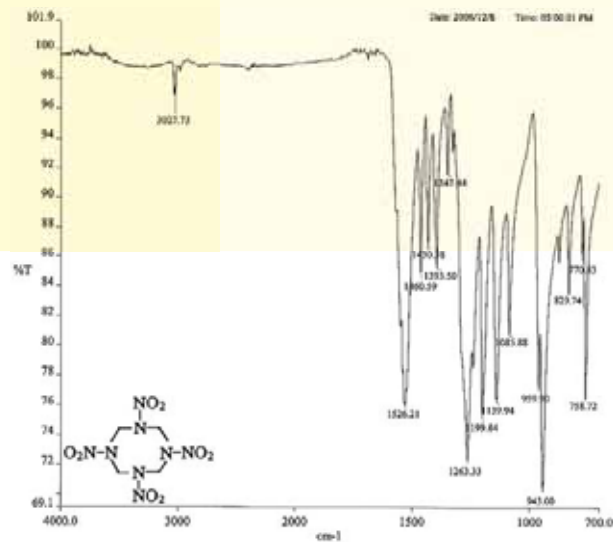
與反對稱吸收峰在 1531 及 1265 cm^{-1} ，在 1458 cm^{-1} 有 CH_2 的吸收峰， 1350 、 1038 、 906 cm^{-1} 有C-N的吸收峰。奧托更(圖十二)比海掃更多了一個硝基胺($\text{N}-\text{NO}_2$)與 CH_2 ，分子結構為八角環狀結構，其硝基對稱與反對稱吸收峰在 1526 、 1263 cm^{-1} ，在 1460 cm^{-1} 有 CH_2



圖十一 海掃更之顯微紅外光譜圖



圖十 澎梯兒之顯微紅外光譜圖



圖十二 奧托更之顯微紅外光譜圖

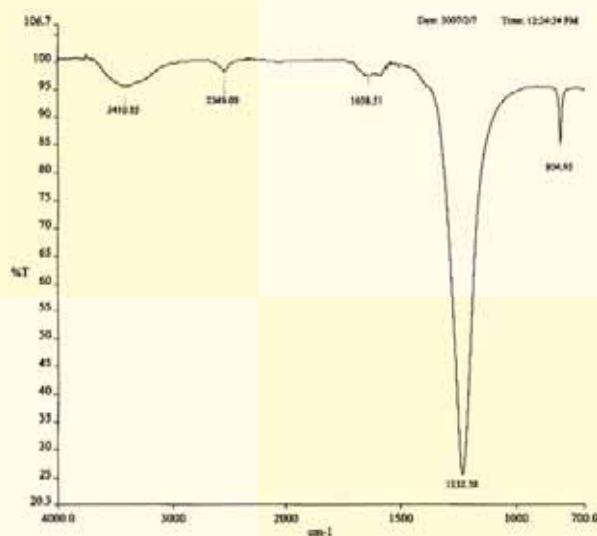
的吸收峰，1199、1139、1085、943 cm^{-1} 有C-N的吸收峰。硝基胍(圖十三)之硝基對稱與反對稱吸收峰在1514、1275 cm^{-1} ，在3100-3500 cm^{-1} 範圍有N-H鍵的伸縮振動，1659 cm^{-1} 有C=N鍵的吸收峰，1631 cm^{-1} 有NH₂官能基的振動吸收峰，1152、1035、942 cm^{-1} 有C-N鍵的吸收峰。

硝基胺火炸藥含有N-NO₂化學鍵，硝基連接到氮原子的兩個伸縮吸收帶範圍在1565-1510 cm^{-1} 及1285-1260 cm^{-1} ，對C-N鍵的吸收峰範圍在1350-1000 cm^{-1} 之間，與硝基芳香族化合物的吸收峰有不同範圍，區別上應特別注意。

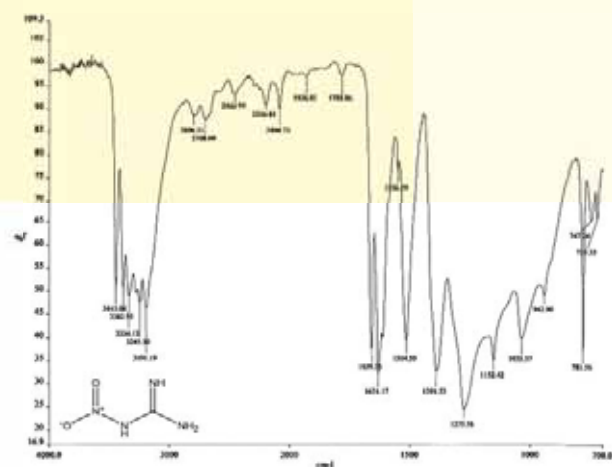
二、無機火炸藥(Inorganic Explosives)

無機火炸藥出現在爆炸混合物中作為氧化劑，常見的硝酸鹽類有鉀鹽(KNO₃)、鈉鹽(NaNO₃)及銨鹽(NH₄NO₃)。亞硝酸鉀(圖十四)之顯微紅外光譜圖，在1232 cm^{-1} 有一

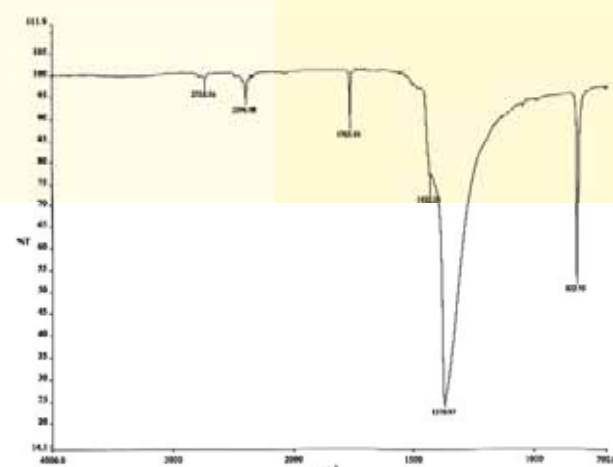
個強吸收峰，804 cm^{-1} 有一個中至弱的吸收峰。硝酸鉀(圖十五)之顯微紅外光譜圖，在1370 cm^{-1} 有一個強吸收峰，2396、1763、823 cm^{-1} 有中至弱的吸收峰。硝酸鈉(圖十六)之顯微紅外光譜圖，在1344 cm^{-1} 有一個強吸收峰，在2428、1789、833 cm^{-1} 有中至弱的吸收峰。硝酸銨(圖十七)之顯微紅外光



圖十四 亞硝酸鉀之顯微紅外光譜圖



圖十三 硝基胍之顯微紅外光譜圖

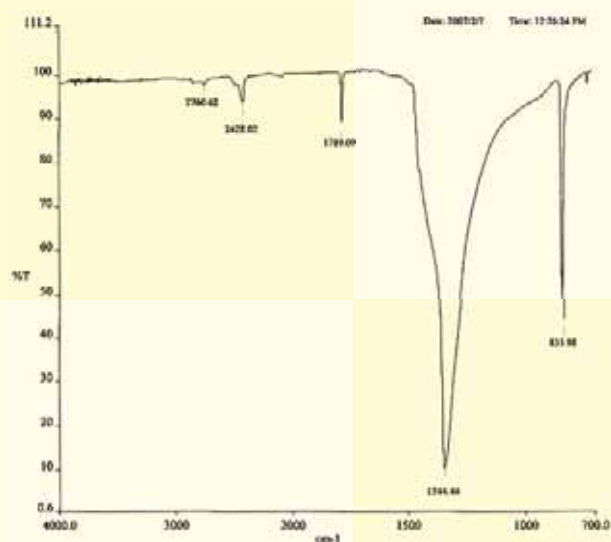


圖十五 硝酸鉀之顯微紅外光譜圖

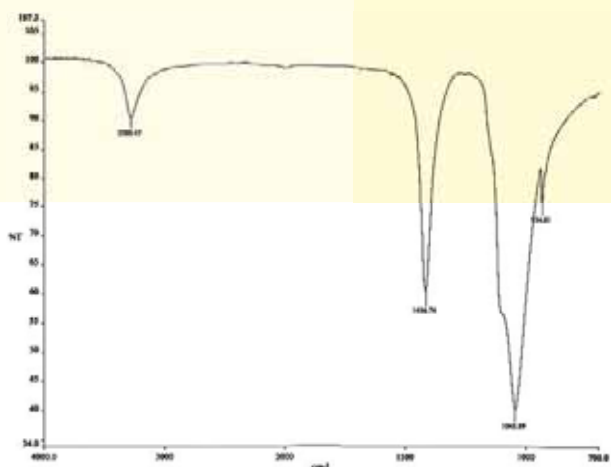
譜圖， 1045 cm^{-1} 有一個強吸收峰， 1416 cm^{-1} 有一個強至中的吸收峰， 3280 cm^{-1} 有一個中的吸收峰。

氯酸鉀(圖十八)之顯微紅外光譜圖，在 952 cm^{-1} 及 936 cm^{-1} 有一個強的分裂吸收峰， 1898 cm^{-1} 有弱的吸收峰。過氯酸鉀(圖十九)之顯微紅外光譜圖，在 1065 cm^{-1} 有一個強

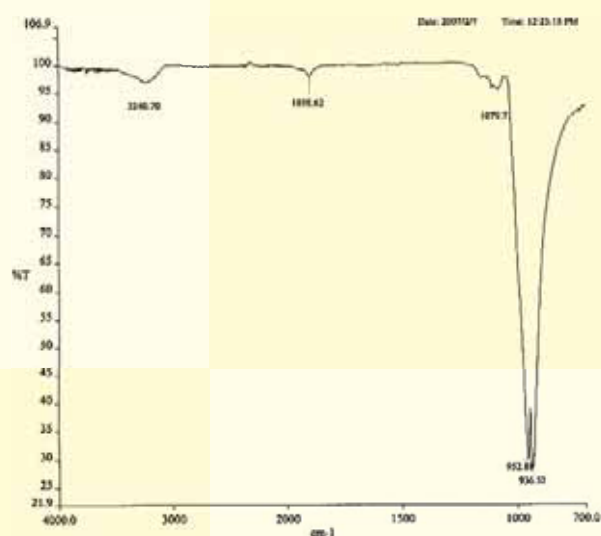
吸收峰。疊氮化鈉(圖二十)之顯微紅外光譜圖，在 2106 cm^{-1} 有一個強吸收峰， 3397 cm^{-1} 有弱的吸收峰。氰酸鉀(圖二一)之顯微紅外光譜圖，在 2154 cm^{-1} 有一個強吸收峰， 1299 及 1206 cm^{-1} 有中的吸收峰。硫氰化鉀(圖二二)之顯微紅外光譜圖，在 2058 cm^{-1} 有一個



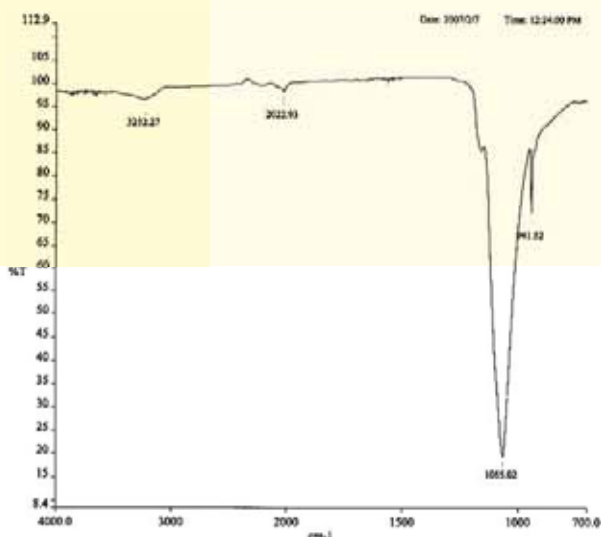
圖十六 硝酸鈉之顯微紅外光譜圖



圖十七 硝酸銨之顯微紅外光譜圖



圖十八 氯酸鉀之顯微紅外光譜圖



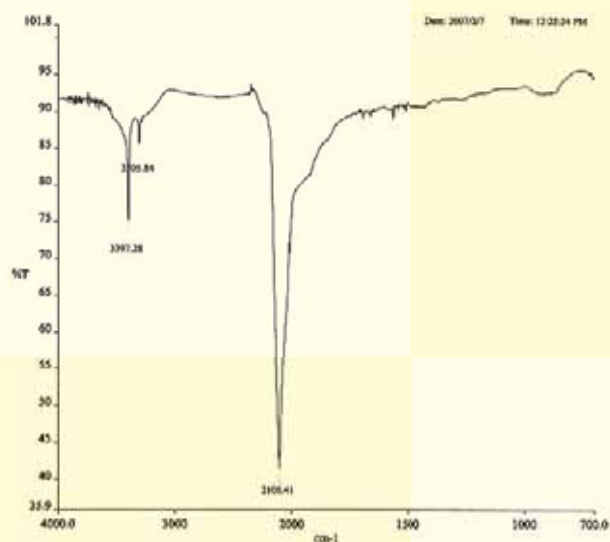
圖十九 過氯酸鉀之顯微紅外光譜圖

強吸收峰， 3425 cm^{-1} 及 1620 cm^{-1} 有強至中的吸收峰， 939 cm^{-1} 及 742 cm^{-1} 有中至弱的吸收峰。

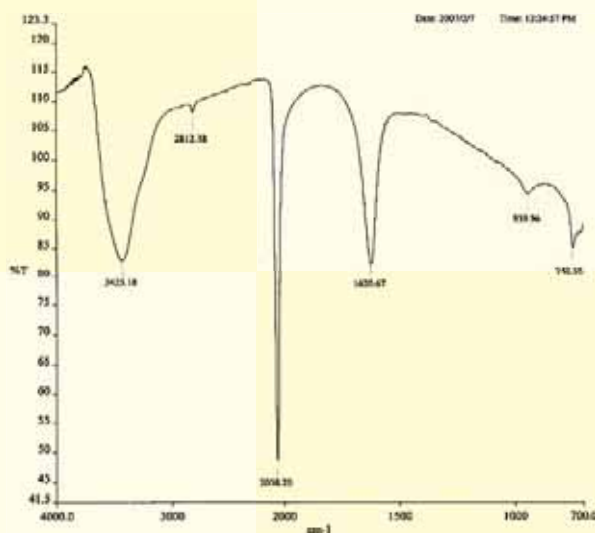
經實驗結果與有機類火炸藥光譜比較，發現每一個無機火炸藥化合物之紅外光吸收峰具有特異性，吸收峰數量少，強度由

強至中等吸收峰，不會像有機類火炸藥化合物有許多官能基的吸收峰難以區別；也不會因數種化合物混合後特定官能基吸收峰會有不同，像圖二三所示為硝酸鉀、氯酸鉀及過氯酸鉀三種等比例混合之顯微紅外光譜分析圖，硝酸根、氯酸根及過氯酸根的特徵吸收峰在圖上均表現出來。

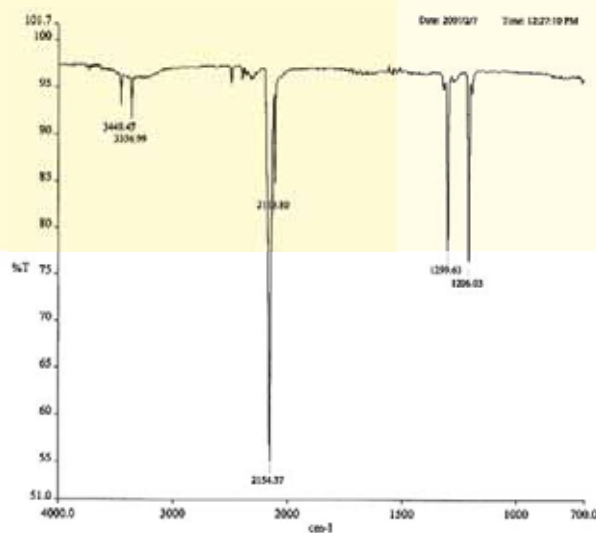
三、急造炸藥(Improved Explosive)



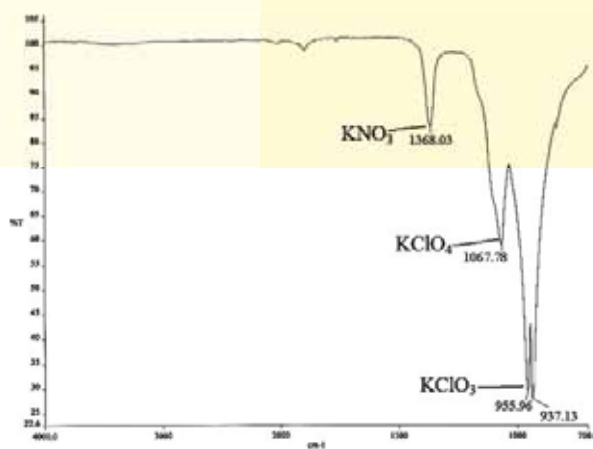
圖二十 疊氮化鈉之顯微紅外光譜圖



圖二二 硫氰化鉀之顯微紅外光譜圖



圖二一 氰化鉀之顯微紅外光譜圖



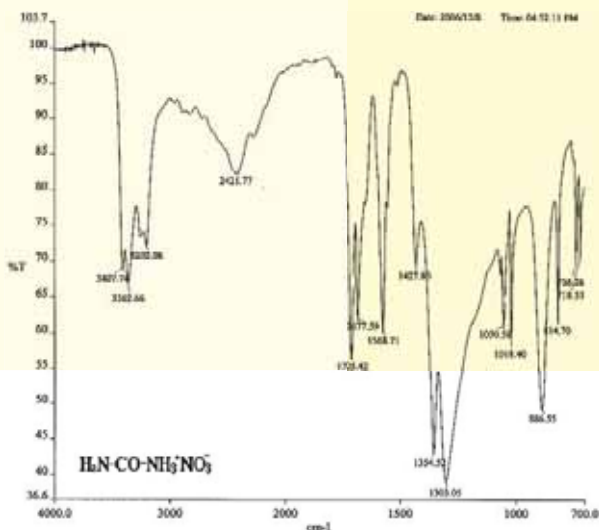
圖二三 硝酸鉀、氯酸鉀及過氯酸鉀之顯微紅

(一) 尿素硝酸(Urea Nitrate)

尿素硝酸(圖二四)，分子式為 $\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}_4$ ，分子量123.07 g/mol，外觀為白色結晶狀粉末，爆速為7165公尺/秒。顯微紅外光譜主要吸收帶在 1303 cm^{-1} 顯示硝酸根陰離子(NO_3^-)的存在， 1354 cm^{-1} 顯示碳-氮(C-N)的伸縮振動， 1705 cm^{-1} 顯示碳-氧(C=O)雙鍵的吸收峰， $3100\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ 有氮-氫(N-H)鍵伸縮及 1568 cm^{-1} 有氮-氫(N-H)鍵彎曲的吸收峰。

(二) 三丙酮三過氧化物(TATP)

三丙酮三過氧化物(圖二五)屬有機過氧化物，其分子量為222.24 g/mol，分子式為 $\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_6$ ，外觀為白色晶體，在1895年由德國化學家Wolffenstein所合成。其顯微紅外光譜圖在 1180 cm^{-1} 有碳-氧(C-O)鍵的強吸

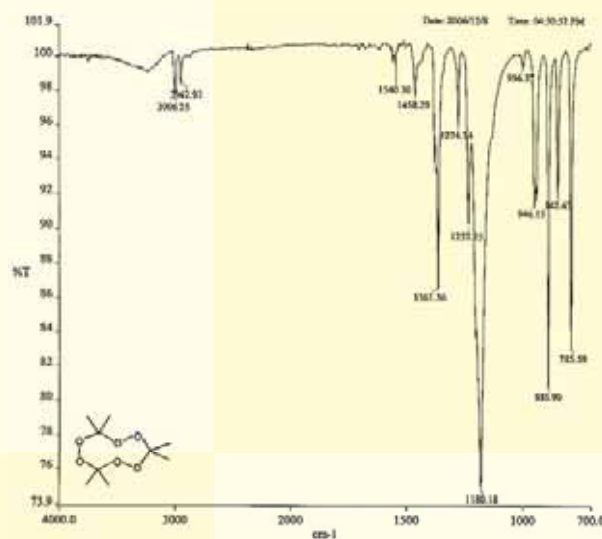


圖二四 尿素硝酸炸藥之顯微紅外光譜圖

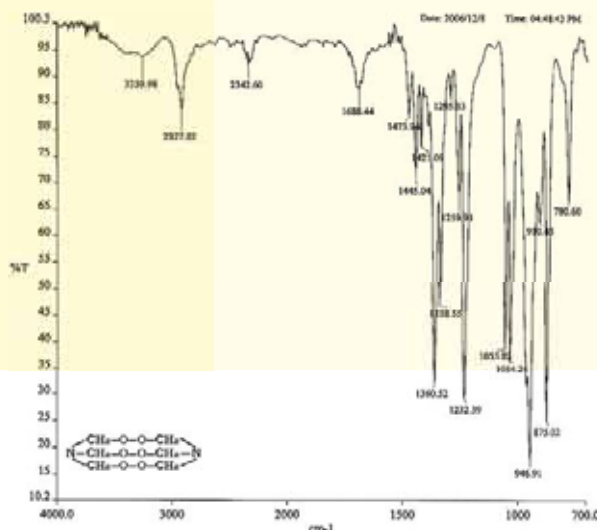
收峰，氧-氧(O-O)鍵伸縮振動吸收峰在 885 cm^{-1} 。¹⁰

(三) 六亞甲基三過氧二胺(HMTD)

另一種有機過氧化物為六亞甲基三過氧二胺(圖二六)，分子量為208.16 g/mol，



圖二五 三丙酮三過氧化物之顯微紅外光譜圖



圖二六 六亞甲基三過氧二胺之顯微紅外光譜圖

¹⁰ 位於下頁。

分子式為 $C_6H_{12}N_2O_6$ ，爆速為4511公尺/秒，其顯微紅外光譜圖在 875 cm^{-1} 有氧-氧(O-O)鍵伸縮振動，在 946 cm^{-1} 、 1360 cm^{-1} 有顯示有碳-氮(C-N)鍵的中-強吸收峰， 1232 、 1055 、 1034 cm^{-1} 顯示有碳-氧(C-O)鍵的中-強吸收峰。

伍、結語

本次研究建立了TNT、PETN等軍用制式及非制式火炸藥共計27種顯微紅外光譜，除了目前持續蒐集各式火炸藥樣品，並建立紅外光譜資料之外，未來將研究重點置於液相層析質譜儀分析技術上的應用，例如爆炸後殘餘物樣品的前處理方法之開發、爆炸殘跡受基質之影響、火炸藥樣品個化鑑定等，建立起一系列火炸藥相關儀器分析條件，以提升火炸藥研究鑑驗能量。

軍用制式火炸藥較不易取得，製作流程也較為繁瑣，被恐怖組織運用頻率也較少，但也不排除被使用。但是尿素是做化學肥料中最廣範被運用且容易取得，假若被恐怖組織及或有心人士利用，經過簡單的「硝化反應」過程，就成了尿素硝酸，其危害程度相當大。三丙酮三過氧化物在國外幾起爆炸案件中發現有它的蹤跡，其合成甚為簡單，對撞擊、摩擦或熱具高度的不穩定性並具有強大的爆炸威力。與三丙酮三過氧化物同為

過氧化物的六亞甲基三過氧二胺，這類型的化合物因具有過氧性質，合成與儲存非常危險，在X光機的檢測下無法被輕易的檢測出來，才會被恐怖分子當作火炸藥來進行爆炸首選的物質。

恐怖主義畢竟是全球性的問題，恐怖組織成員的素質越來越高，犯案手法也越來越精明，鑑識科學不可能永遠停滯不前，雖然台灣尚未發生恐怖攻擊事件，卻也是被恐怖組織攻擊的對象之一。身為憲兵的專業鑑識單位，不僅要將鑑驗技術運用於反恐任務上，早期建立火炸藥分析能量，提供國內檢警及國安單位相關資訊，維護國家安全及社會治安，更需要與國內相關鑑識單位建立交流與合作，共同面對未來的挑戰。

作者簡介

李文祥

憲兵學校情報軍官班12期

後勤學校綜合正規班8期

國防大學中正理工學院應用化學所碩士

現任憲兵司令部刑事鑑識中心少校組長

作者簡介

卓擁信

指職軍官班2期

憲兵學校正規班92期

中央警察大學鑑識科學研究所碩士生

現任憲兵司令部刑事鑑識中心少校參謀

10 Vacque, V., Sombret, B., Huvenne, J. P., Legrand, P., Sue, S., "Characterisation of the O-O peroxide bond by vibrational spectroscopy", Elsevier, Spectrochimica Acta Part A, vol 53, pp. 55-66, 1997.