

M256 化學戰劑偵檢片及比色技術簡介

作者簡介



作者邱妤婷上士，畢業於陸軍專科學校 5 期(化工科)、化生放核訓練中心士官分科 100 年班、士官高級班 103-2 期、陸軍專科學校士官長正規班 54 期、中原大學化學系研究所碩士，曾任作戰訓練士、助教、副班長、班長，現職為化學課程組教官。

提要

- 一、在戰爭情況下，每個人都有責任觀察其周圍是否有化學戰劑。警告標誌會因使用的化學戰劑和運輸方法而異。警告信號包括低空飛行的敵機或不明飛機噴灑毒劑、沒有出現明顯死亡特徵之動物及昆蟲、接觸化學戰劑後表現出症狀的個人。
- 二、M256 化學戰劑偵檢包用於偵檢神經性、糜爛性及血液性化學戰劑，其組成為 M256 化學戰劑偵檢片及 ABC-M8 偵檢紙。使用 M256 化學戰劑偵檢包實施偵檢時，需要 15 至 20 分鐘，並依據其偵檢結果以判斷是否能安全卸除防護裝備。
- 三、M256 化學戰劑偵檢包偵檢原理為利用偵檢片內的藥劑與毒劑產生化學反應，經染料呈色反映出毒劑的種類，藉顏色的呈現來判定毒劑存在與否，但針對偵檢結果之呈色反映可能會因環境中不同光照的條件下，無法準確判斷偵檢片顏色之變化，易造成錯誤判斷，因此我們可以藉由比色讀取器之運用來降低毒劑判斷錯誤之可能性，以發揮裝備運用之最大效益，順利遂行任務。

關鍵詞：化學戰劑、化學戰劑偵檢包、比色技術

前言

在 1980 年代，美國成功開發及應用 M18 毒劑偵檢包(如圖 1)¹，這些工具包大大提高了士兵偵檢化學戰劑存在的能力，但其套組都包含易碎的組件，戴著防護面具很難完成各種測試所需的程序，在戰場中較難使用，為克服此問題，

1 Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:9-10, 1979.

美國開發了 M256 化學戰劑偵檢片(如圖 2)，大幅改善操作困難之問題，但偵檢片易因光照等外界環境因素，造成呈色判斷錯誤，影響偵檢結果。因此本文研究目的，主要針對化學戰劑偵檢片作簡介並期望結合比色讀取器運用，以提昇裝備判讀之精準度，進而解決上述問題。

圖 1 M18 毒劑偵檢包



資料來源：Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:9-10, 1979.

圖 2 M256 化學戰劑偵檢包



資料來源：作者拍繪製。

M256 化學戰劑偵檢片簡介

一、發展沿革

1970 年代美軍為重整舊有龐大操作不便的化學戰劑檢驗盒，及研改 ABC-M8 偵檢紙僅能偵檢液態戰劑之缺點，並針對當時極具威脅性的神經性、糜爛性以及血液性戰劑而開發出 M256 毒劑偵檢片，其呈色作用原理極為簡易，價格低廉，可於操作後拋棄。

1978 年美軍開始使用 M256 化學戰劑偵檢片，然而 M256 偵檢片無法偵測戰

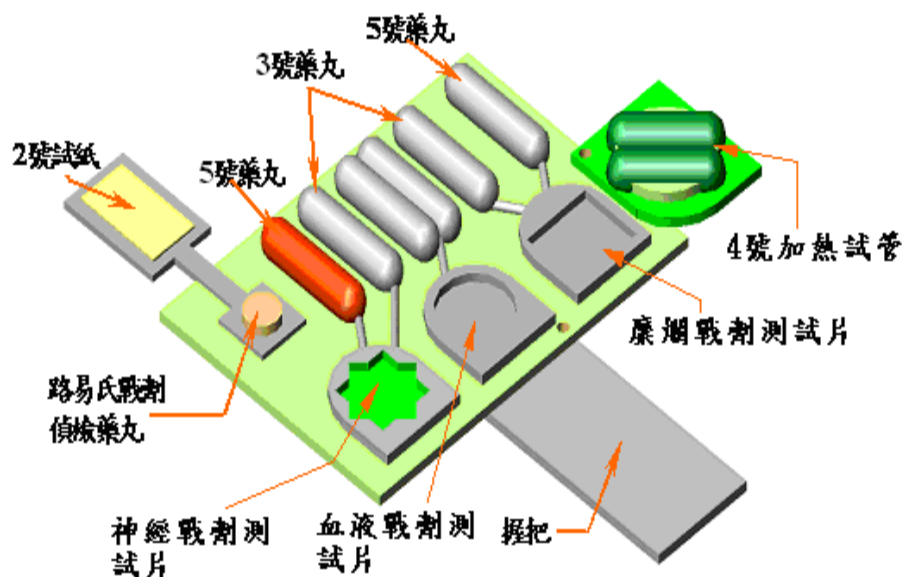
劑低於可能引起或傷亡的危害濃度。為改善此一缺陷，進而研究和開發出第二代M256偵檢片，其外觀上和原始M256偵檢片相同，並且具有相同的操作手冊，唯一區別在於偵測神經性毒劑的靈敏度，第二代M256偵檢片之靈敏度是第一代M256偵檢片的十倍。²

第一代的M256化學戰劑偵檢片對於神經戰劑中的VX戰劑相當不靈敏，因VX戰劑揮發度過低，其可偵檢的臨界濃度已超過致命的濃度。鑑於此，美國將原本M256化學戰劑偵檢片中偵檢神經戰劑的酵素作研改。原本酵素是自馬萃取，改成鰻魚萃取的酵素，開發出第二代M256偵檢片，大大提升神經戰劑的偵測敏感度，隨後中科院亦仿製第二代M256偵檢片，配賦於國軍連級單位。

二、作用原理

M256化學戰劑偵檢片(如圖3)利用偵檢片內的藥劑與毒劑產生化學反應，經染料呈色反映出偵測毒劑的種類，藉顏色深淺變化，判定毒劑存在與否，此方法所偵檢之結果只能初步判斷。

圖 3 M256 化學戰劑偵檢片



資料來源：作者繪製。

神經戰劑是星形且由過濾紙(filter paper)組成，血液戰劑測試點是圓形且由一個玻璃纖維過濾材料組成(glass fiber filter)，糜爛戰劑測試點為方形且由色層

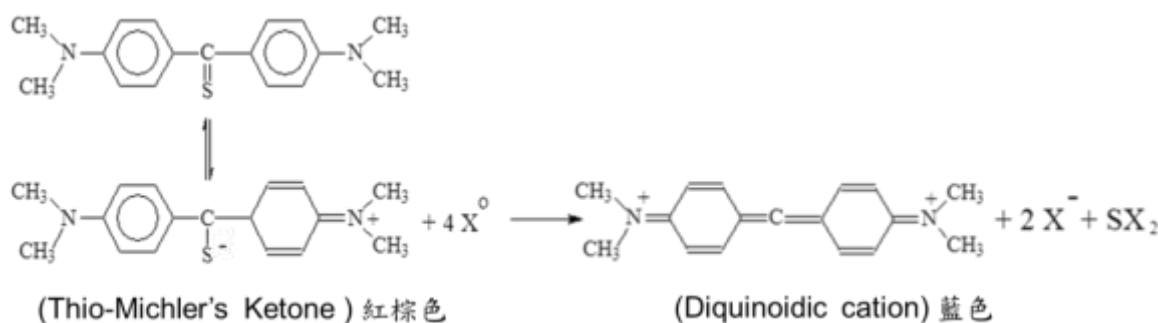
² Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:9-10, 1979.

分析介質(chromatographic media)構成。M256偵檢片各測試點之作用原理分述如下：

(一)路易氏劑偵檢³：

利用硫代米氏酮(Thio-Michler's ketone)試劑偵檢液態路易氏戰劑。在 M256 偵檢片上一號路易氏偵檢藥粒內含紅棕色，4'-Bis-dimethyl-lamino-thio-benzophenone 化合物，當液態路易氏劑滴於其上時，由於戰劑內具有自由態鹵素(含氯基團)經 2 號偵檢試片壓變搓揉反應後，會氧化成藍色的 Diquinoidic 離子化合物，據此判別戰劑之有無，反應方程式(如圖 4)。

圖 4 路易氏劑反應原理



資料來源：作者繪製。

(二)神經戰劑偵檢⁴：

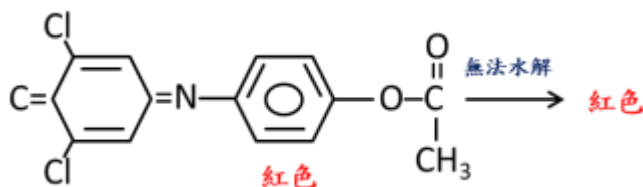
星形神經戰劑試片係以乙醯膽鹼酵素偵檢神經戰劑，由於神經戰劑在侵入人體後會與神經末梢組織的乙醯膽鹼酵素結合，因而抑制乙醯膽鹼酵素分解乙醯膽鹼的作用，造成末梢組織乙醯膽鹼堆積的神經中毒徵狀，M256 偵檢片偵測神經戰劑的原理即利用此一方法。先在神經戰劑測試點上塗佈(coating)自鰻魚萃取的膽鹼酵素(eel enzyme choline)，選擇此膽鹼酵素是由於非常類似人體的乙醯膽鹼酵素，再以體積 0.5 mL，濃度 50 mM 的 Tris 緩衝溶液將酸鹼值調整至 pH 8.0 裝填至 3 號試管，再以體積 0.3 mL，濃度 2 mM 的 2,6-Dichloroindophenyl acetate 裝填至 5 號試管，水解後

3 Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:15-16, 1979.

4 Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:16-17, 1979.

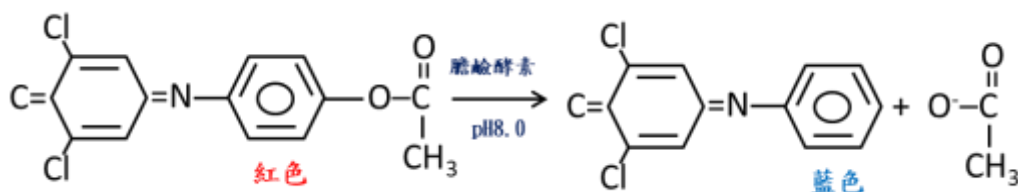
產生藍色反應作為酵素活性研判之基質，若有神經戰劑時，由於乙醯膽鹼酵素活性遭到抑制，因此無法進行水解反應，故試片上產生紅色反應，偵檢反應機制(如圖 5)。反之，當無神經戰劑時試紙應為藍色(如圖 6)。

圖 5 有神經戰劑反應原理



資料來源：作者繪製。

圖 6 無神經戰劑反應原理



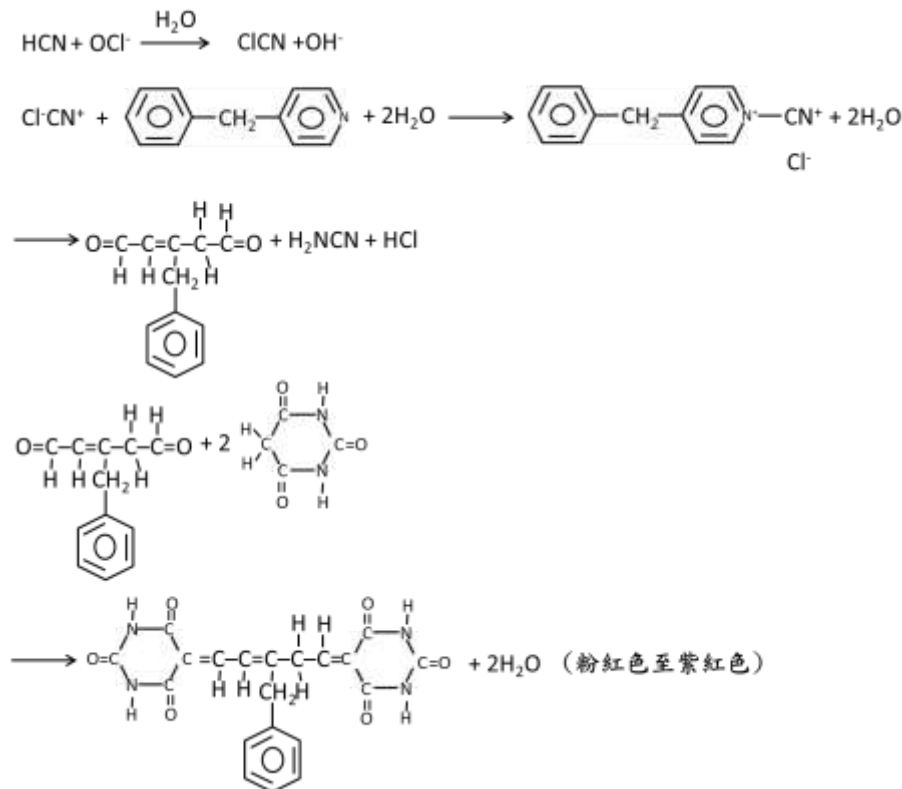
資料來源：作者繪製

(三)血液戰劑5：

利用次氯酸鹽(NaOCl)作為氧化劑，使與血液戰劑中的氰基(CN-)反應生成Cl-CN⁺，並與吡啶類(4-benzyl pyridine)化合物反應，經耦合劑巴比妥酸(barbituric acid)參與反應後生成粉紅色至紫紅色化合物，以判別含氰基之血液性戰劑。於偵檢片中，圓形血液戰劑測試點上塗佈有巴比妥酸，3號試管則是填充溶於乙醇中的過氯酸鈉與4-benzyl pyridine試劑。若是氰化氫戰劑(AC)則先與過氯酸鈉反應變成氯化氫(CK)，而後CK戰劑再與過氯酸鈉與4-benzyl pyridine反應生成紅到紫色的生成物(如圖7)。

5 Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:14-15, 1979.

圖 7 血液性戰劑檢驗原理



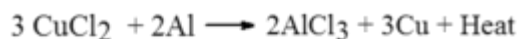
資料來源：作者繪製。

(四) 糜爛性戰劑偵檢：

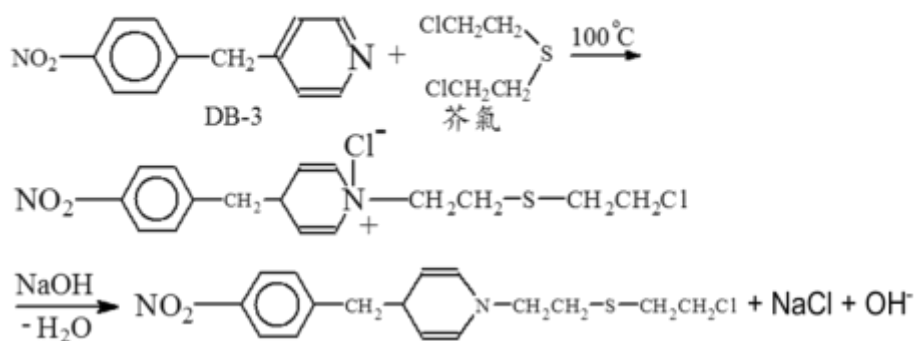
其作用原理係利用氯化亞銅與鋁粉作用產生之熱源，將 3 號試管之甲醇溶液揮發烘乾，使 4-(4-Nitrobenzyl) Pyridine (DB-3) 化合物與氰化汞吸附於糜爛性方形偵檢試片之矽膠上，經加熱兩分鐘後，使甲醇溶液揮發完全後，暴露於空氣中 10 分鐘，使糜爛性戰劑與 DB-3 試劑反應附著於試片上，再行壓破另外 1 支加熱管使 H 系戰劑與 DB-3 經加熱反應 1 分鐘，而產生「藍色」的芥氣(HD)或氮芥氣(HN)等糜爛性戰劑液體；或產生「紅色」光氣(CX)戰劑，若無糜爛性戰劑存在時，則無反應物生成，即無顏色變化發生(如圖 8)。

圖 8 糜爛性戰劑檢驗原理

硫酸銅溶液與鋁箔反應：



DB-3 與糜爛性毒劑反應：



資料來源：作者繪製。

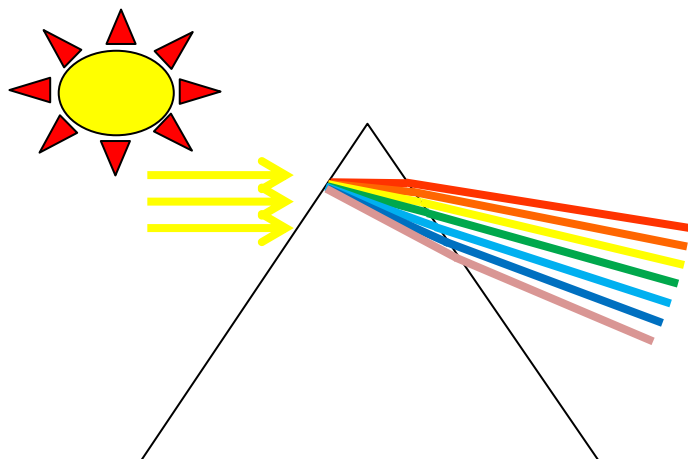
(五)上述四種戰劑偵檢結果之濃度判讀，會因光照或個人對顯色感應度而有所誤差，若要獲得較精準判讀，仍需依賴儀器。

比色技術概述

比色技術的理論依據是物質的顏色與光的關係，光是一種電磁波，由不同波長(400~700nm)按一定比例組成的混合光，通過稜鏡可分解成紅、橙、黃、綠、青、藍、紫等各種顏色的可見光譜(如圖 9)。如把兩種光以適當比例混合而產生白光感覺時，則這兩種光的顏色互為補色。當白光通過溶液時，如果溶液對各種波長的光都不吸收，溶液就沒有顏色。如果溶液吸收了其中一部分波長的光，則溶液就呈現透過溶液後剩餘部分光的顏色。例如，我們看到過錳酸鉀溶液在白光下呈紫色，就是因為白光透過溶液時，綠色光大部分被吸收，而紫色光透過溶液。同理，硫酸銅溶液能吸收黃色光，所以溶液呈藍色。由此可見，有色溶液的顏色是被吸收光顏色的補色(如圖 10 互補色圖譜)⁶，吸收越多，則補色的顏色越深。比較溶液顏色的深度，實質上就是比較溶液對它所吸收光的吸收程度，常見比色法有目視比色法及光電比色法，分述如後：

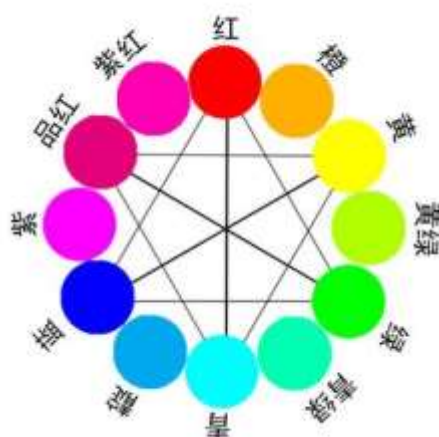
6 weibo 網址，<https://itw01.com/YD3KFE6.html>，瀏覽日期:109 年 9 月 10 日

圖 9 可見光譜



資料來源：作者自行繪製。

圖10 互補色圖譜



資料來源：<https://itw01.com/YD3KFE6.html>，瀏覽日期:109年9月10日。

一、目視比色法⁷

常用的目視比色法是標準系列法，該法採用一組由質料完全相同的玻璃製成的直徑相等、體積相同的比色管，按順序加入不同量的待測組標準溶液，再分別加入等量的顯色劑及其他輔助試劑，然後稀釋至一定體積，使之成為顏色逐漸遞變的標準色階(如圖 11)，再取一定量的待測組分溶液於一支比色管中，

⁷ 華人百科網站，

<https://www.itsfun.com.tw/%E7%9B%AE%E8%A6%96%E6%AF%94%E8%89%B2%E6%B3%95/wiki-87443001-6228869>，瀏覽日期:109 年 9 月 8 日

用同樣方法顯色，再稀釋至相同體積，將此樣品顯色溶液與標準色階的各比色管進行比較，找出顏色深度最接近於樣品顯色溶液的那支標準比色管，如果樣品溶液的顏色介於兩支相鄰標準比色管顏色之間，則樣品溶液濃度應為兩標準比色管溶液濃度的平均值。標準系列法的主要優點是設備簡單和操作簡便，但眼睛觀察存在主觀誤差，準確度較低。

圖 11 目視比色法



資料來源：華人百科網站，<https://www.itsfun.com.tw/%E7%9B%AE%E8%A6%96%E6%AF%94%E8%89%B2%E6%B3%95/wiki-87443001-6228869>，瀏覽日期:109 年 9 月 8 日。

二、光電比色法

光電比色法是在光電比色讀取計上測量一系列標準溶液的吸光度，將吸光度對濃度作圖，繪製工作曲線，然後根據待測組溶液的吸光度在工作曲線上查得其濃度或含量。與目視比色法相比，光電比色法消除了主觀誤差，提高了測量準確度，而且可以通過選擇濾光片和參比溶液來消除干擾，從而提高了選擇性，市面上曾有假酒事件，不肖商人在酒內（酒精，即乙醇）加入廉價的甲醇，甲醇雖然無毒，但進入人體內會轉成有毒的甲醛，甚至轉成對人體傷害更大的甲酸。此外也有商人在食用橄欖油摻雜廉價的食用油，再以高價販售。這些方式或是有害身體，或是低價高售，也都會造成原品的濃度改變，通常這類情況是不容易從外觀辨識，唯有實驗室內的檢驗才能分辨⁸。對於溶液濃度的檢驗方式有很多種，不外乎透過物理或化學方式進行，例如酸鹼滴定法、氧化還原滴定

⁸ 物理教育學刊，曾耀寰〈智慧手機在比色法濃度檢驗的應用〉，19(1), 59-72, 2018.

法、色層分析法和光譜光度法等等，其中的光譜光度法是利用不同濃度溶液與光的反應，屬於物理反應。當光在穿過介質時，會和介質有各種交互作用，介質可以吸收光 (absorption)，也可以將光偏折，產生散射 (scattering) 現象，此外由於多色光有各種不同波長，不同波長的光在介質內的傳播速度不同，有不同的折射率，當入射角不為零的狀況下，不同波長的光會有不同的折射角，產生色散(dispersion)現象，最後穿透介質後剩下部分的透射光(transmission)，比色讀取器則是利用此原理來判定物質濃度。

運用結合分析

一、液態樣品

市售比色讀取器主要是測試液態樣品，藉由比色技術判讀物質濃度，因此只能知道濃度高低，無法判別物質種類，較不適用於毒劑判讀。

二、氣態樣品

目前美軍委由日本團隊代為研發可判讀 M256 化學戰劑偵檢片之比色讀取器，可藉由比色技術判讀毒劑呈色變化及濃度高低(如圖 12)⁹，以提高判讀之精準度；另偵檢片利用呈色反應，已具判讀毒劑種類之功能，所以再加入濃度高低之判讀技術，即可滿足一般部隊毒劑判讀需求，故此研究值得我軍借鏡。

圖 12 比色讀取技術



資料來源：Chemical agent detector trial conducted in South Carolina. Capt. William Duvall., 2019.

9 Chemical agent detector trial conducted in South Carolina. Capt. William Duvall., 2019.

結語

一般部隊在遭受化學戰劑攻擊狀況下，使用 M256 化學戰劑偵檢片可迅速判讀毒劑種類，進而妥善採取汙染迴避或提昇防護等級措施，降低人員遭受毒劑危害，但針對偵檢結果之呈色反應可能會因環境中不同光照的條件下，無法準確判斷偵檢片顏色之變化，易造成錯誤判斷，因此我們可以藉由結合比色讀取器之運用來降低毒劑判斷錯誤之可能性，以提昇裝備判讀之精準度。

參考文獻

一、報刊

- (一)Development of the M256 Chemical Agent Detector Kit. US Army Chemical Systems Laboratory (CSL) Technical Report., 1:9-10, 1979.
- (二)曾耀寰，〈智慧手機在比色法濃度檢驗的應用〉《物理教育學刊》，19(1), 59-72, 2018.
- (三)Chemical agent detector trial conducted in South Carolina. Capt. William Duvall., 2019.

二、網路

- (一)網址，<https://itw01.com/YD3KFE6.html>，瀏覽日期:109年9月10日。
- (二)華人百科網站，<https://www.itsfun.com.tw/%E7%9B%AE%E8%A6%96%E6%AF%94%E8%89%B2%E6%B3%95/wiki-87443001-6228869>，瀏覽日期:109年9月8日。