



圖片來源: U.S. Army

● 裝備維保

可調式 全像光學瞄準具之研究

提要

許民宗、江宗昇

- 一、本研究以離軸穿透式全像術製作多功能全像光學瞄準鏡，以取代內紅點瞄準具之分光鏡，改善射擊武器遠距離射擊精度不佳、易暴露射手位置等缺點。
- 二、運用體積全像之角度多工法，配合重複曝光方式紀錄多樣式瞄準標誌於單一全像瞄準鏡，同時結合輕兵器射擊武器表尺及歸零功能，提供射手依目標物狀況、距離遠近選擇適合之瞄準標誌，以改善現行全像光學瞄準具單一選擇瞄準標誌之缺點。
- 三、在紀錄全像底片時，於瞄準標誌與全像底片間放置傅氏轉換透鏡並結合散射玻片，運用其可限定物像關係之原理，以模擬增加機械式瞄準具照門凹口至準星間的距離，且距離可依需要自行調整，如此更可提升遠距離射擊之準確度。

關鍵詞：離軸穿透式全像術、體積全像、光學瞄準具、傅氏轉換透鏡

壹、前言

作戰為求超敵勝敵，先進科技戰具之使用，是戰爭必然的趨勢，“槍是軍人的第二生命”，說明了武器系統的重要性及必要性。科技的進步、突破與創新，必定加速推動戰略思想的改變，經常迫使調整戰略，以符合實際的作戰環境；目前世界各國為了適應現代戰爭的需要，紛紛研製新型的輕兵器武器，且隨著科學技術的發展，各種新概念、新原理之輕兵器武器亦不斷推陳出新，這些運用於輕兵器武器上的新技術，其主要目的不外乎增加武器射擊效能，另外配合良好之瞄準具予以輔助射擊，進而提升射擊武器瞄準之精度。

瞄準具的用途主要是協助射手精確瞄準目標物，提升射擊精度，發揮武器強大之火力，於戰場殲滅敵人，以達克敵、制敵之目的。然欲使瞄準具同時具備遠距離射擊與近接作戰之效能，目前現有之瞄準具均無法同時兼顧，因此本研究針對以離軸穿透式全像術製作多功能全像光學瞄準鏡，以取代內紅點瞄準具之分光鏡，改善其遠距離射擊因像差及視差導致精度不佳、瞄準光點於日間不易辨識與易暴露射手位置等缺點，另運用體積全像之角度多工法，以重複曝光方式紀錄多樣式瞄準標誌於單一全像瞄準鏡，提供射手依目標物狀況、距離遠近及個人喜好選擇

適合之瞄準標誌，進而提升全像光學瞄準具之使用效能。

貳、瞄準具種類簡介

一般較人們熟悉的瞄準具為機械式之架構，其瞄準方式是經由照門凹口（或覘孔）、準星及目標物所構成之瞄準基線實施瞄準，目前我國軍部隊使用之輕兵器武器，大部分還是以傳統機械式瞄準具為主。另一種常見的瞄準具則是望遠式瞄準具，此類瞄準具顧名思義可將遠距離的目標物成像放大，因此非常利於遠距離射擊之瞄準。

近來科技持續的發達且迅速，隨著設計技術的發展，槍械安裝光學瞄準具逐漸是一個發展趨勢，因此類瞄準具可以提高命中率，簡化訓練，提高夜戰能力，預計將來會有更多體積小、重量輕、成本低的光學瞄準具應用於各射擊武器上。尤其未來在夜間戰鬥中，光學瞄準具將會越來越顯得重要。光學瞄準具的種類有以雷射光束投射到目標上瞄準的「雷射指示瞄準具」、利用光反射原理將瞄準點投射至射手眼睛之「內紅點瞄準具」及運用光學繞射原理將瞄準標誌之三維影像投射至射手眼睛之「全像光學瞄準具」等¹，其易於瞄準及具全天候作戰之性能，爾後必將使光學瞄準具有效運用於戰場上。

1 《世界各國輕兵器文摘選粹-第四輯》（高雄：聯勤205廠，西元1990年），第182頁。

一、傳統式瞄準具

機械式瞄準具是以往槍械必備之瞄準裝置，由照門（或覘孔）、準星組成，構造簡單穩固，但不易瞄準；望遠式瞄準具則有放大遠方目標物，便於看清及辨識遠方目標，兼具有監視及遠距離精確瞄準之功能，因常用作狙擊之用途，因此又稱狙擊鏡，以下即就此兩種瞄準具分別說明。

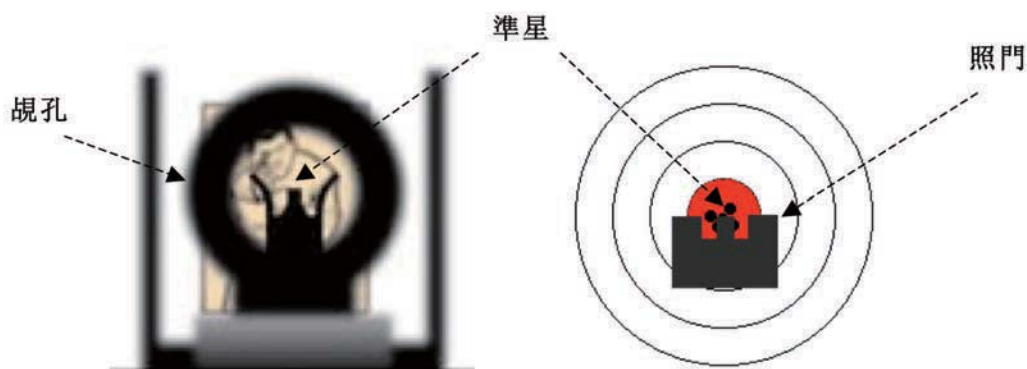
（一）機械式瞄準具

在輕兵器武器系統上廣泛採用較簡單的機械式瞄準具，如手槍、步槍上的準星和照門（或覘孔）。準星裝置於槍身前端槍口上，常採用之斷面形狀為正梯形、矩形及三角形者居多，照門則裝置於槍身後端上，多呈凹口或圓孔狀，準星和照門組成了瞄準具的瞄準裝置²。在瞄準時，射手眼睛視線經照門，通過準星尖，同時調整槍身使瞄準線直指目標，其中三者重疊之影像應使準星尖儘量位於

覘孔中心或照門上緣中心位置，始可完成瞄準射擊，機械式瞄準具瞄準示意圖如圖一所示。

為了要準確的命中目標，射擊時必須調整由照門、準星到達目標物所構成之瞄準基線。調整瞄準基線的方式，一般是改變覘孔之左右位置及準星之高低。準星之調整須在瞄準之前實施，射擊標準距離較遠目標時，需要賦予較大射角，則須將準星調整相對較低之位置；反之，射擊較近目標時，須將準星調整相對較高之位置。

戰場之環境是極為惡劣且瞬息萬變，單兵的戰場運動通常是快速且激烈，然機械式瞄準具因其簡單且牢固之構造，對此惡劣、須較粗曠之操作環境確是極為合適，較不易受惡劣之戰場環境所影響，而且其製造容易且成本低廉。但是機械式瞄準具最大的缺點就是瞄準不易且瞄準之精確性較差，欲精確瞄



圖一 機械式瞄準具瞄準示意圖³

2 王中民、蔡俊春、孫培家，〈瞄準儀器原理與設計〉（中國北京：北京理工大學出版社，西元1996年），頁18-60。

3 <http://www.vpress.com.hk/scope.html>.

準則會影響單兵反應時間，對活動目標之射擊是非常困難的⁴。

(二) 望遠式瞄準具

望遠式瞄準鏡的最主要功能是使用光學透鏡成像，將目標影像和瞄準線重疊在同一個聚焦平面上，即使眼睛稍有偏移也不會影響瞄準點。通常望遠式瞄準具可以放大影像倍數，又可分固定倍數或可調倍數兩類，如4x28指的是物鏡直徑28公釐，固定放大倍率4倍的瞄準鏡，3-9x40則是物鏡直徑40公釐，可調整放大倍率從3倍到9倍的瞄準鏡，望遠式瞄準具外觀如圖二所示。

望遠式瞄準具結構至少有三個光學透鏡組，內部結構示意圖如圖三所示，其中主要包含物鏡組 (Objective Lens)、校正鏡管組 (Erector Tube) 及目鏡組 (Ocular Lens)。物鏡組負責集光，所以當物鏡越大，瞄準鏡中的景物就應該更明亮，目鏡組負責將這些光線改換回平行光線，讓眼睛可以聚焦，造就最大的視野；而校正鏡管組則是將物鏡的影

像由上下顛倒、左右相反而修正成正確方向，並且負責調整倍率。瞄準線所在位置可以在校正鏡組前的第一聚焦平面，或是其後的第二聚焦平面，而風偏調整鈕、高低調整鈕，以及放大倍率環都是用來控制校正鏡管組的左右、高低、前後位置。

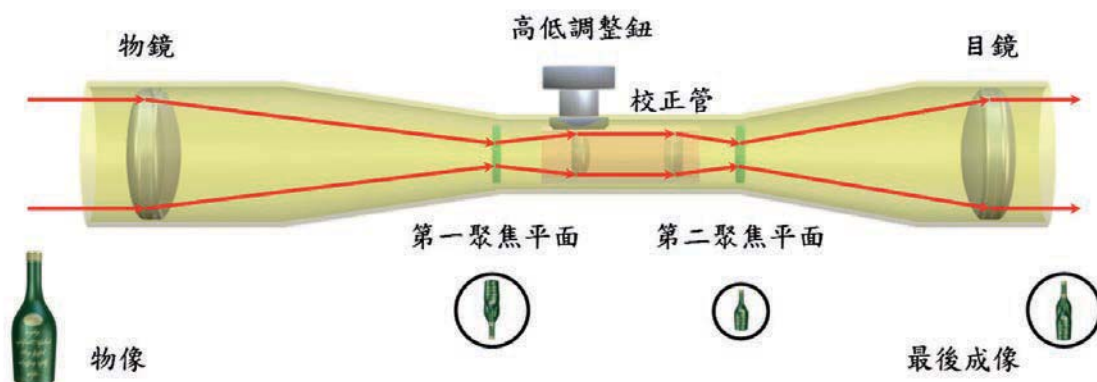
望遠式瞄準具的優點就是可以把遠距離的目標物拉近，也就是將遠距離的目標物成像放大，如此射手比較容易瞄準射擊，所以射擊的精度可以提升，並同時兼具對遠距離目標監視之優點。但是望遠式瞄準具亦因為將遠距離的目標物放大，相對的視場也就變小，因而容易失去目標，以致於有搜索目標不易的缺點。另外望遠式瞄準具因為要持續追蹤目標，長時間注視分劃板的標線會造成眼睛的疲倦，而且對於現今強調部隊機動力與打擊力的同時，望遠式瞄準具因為構造較複雜且光學元件較多，因此對於單兵個人攜行方面將會帶來許多的不便。



圖二 望遠式瞄準具外觀實品圖⁵

4 喻盛地，《輕兵器設計技術手冊》（高雄：聯勤205廠，西元1986年），頁233-234。

5 http://gunglossary.home.comcast.net/big5/eng_gun_dict_3.htm#optical_sight.



圖三 望遠式瞄準具內部結構示意圖 (資料來源: 作者提供)

二、光學式瞄準具

隨著戰術環境的改變，步槍的射擊距離由400米縮短至只有幾十米，對於近距離作戰，強調的是反應迅速、首發命中的有效打擊，傳統的瞄準具顯然已不能滿足新的戰術要求，因此針對中短距離，反應快速的各類型光學式瞄準具應運而生，例如主動紅外線瞄準具、雷射瞄準具、微光瞄準具、熱成像瞄

準具、光電瞄準具系統等，可謂新技術瞄準具層出不窮，使未來單兵作戰武器系統如虎添翼。本節將探討以雷射為光源之瞄準具及其基本工作原理、優缺點進行分析與比較。

(一) 雷射指示瞄準具

雷射瞄準具是裝配在步槍、衝鋒槍、手槍等輕兵器武器上，本身可以發射出雷射光束，在目標上形成一個光點來協助射手指示出目標瞄準點，使射手可以迅速、準確地射擊，雷射瞄準具外觀如圖四所示。

輕兵器武器發射的彈丸，雖然沿拋物線彈道飛行，但在100m左右近距離內，彈道基本上是平直的，因此平行槍管軸線的雷射光束，大致上可以代表實際彈道。換句話說，在近距離內，雷射瞄準具在目標上所



圖四 雷射指示瞄準具外觀實品圖⁶

6 同註5。

形成的光點，就是彈丸的命中位置，可以利用這個光點迅速、準確的進行瞄準。

用雷射瞄準具進行瞄準時，就如同用手電筒搜索、照明目標一樣，可以用任何舒適而穩定的姿勢控制、移動武器，用雙眼觀察雷射光點的位置。因此，採用雷射瞄準具瞄準時，射手視場寬，反應時間快，可以對運動中目標快速射擊。雷射瞄準具使用簡便，射手不需要進行專門的訓練即可使用。

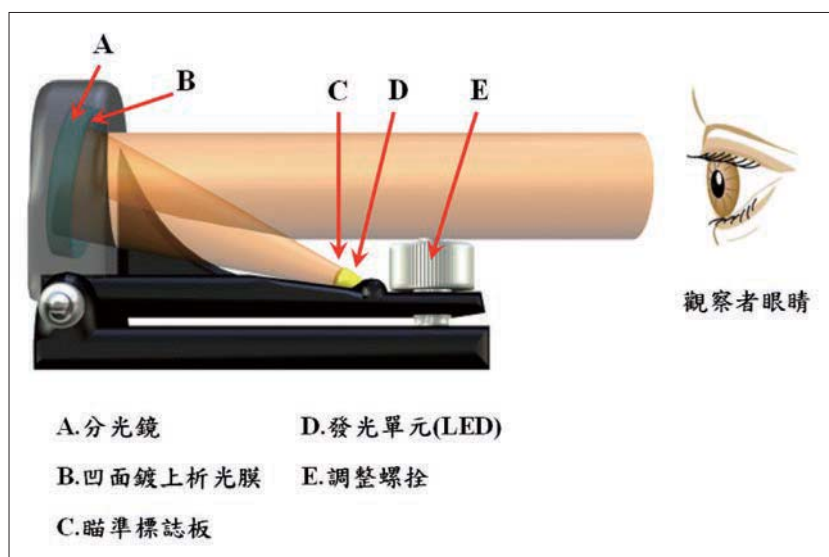
雖然雷射瞄準具有以上之優點，但仍有下列三項明顯的缺點：

1. 對遠距離目標射擊時，沿直線前進的雷射光束與拋物線彈道相差比較大，雷射瞄準具就無法準確射擊。
2. 瞄準具發出雷射光束之同時，敵人即可循著這條光束的另一端發現射手的位置，故容易暴露射手位置且讓敵人警覺而先行防制或反制。
3. 當多人使用雷射瞄準具時，容易造成瞄準點混亂，射手不容易辨識那個紅點是屬於自己的瞄準紅點。

(二) 內紅點(反射式) 瞄準具

內紅點光學瞄準具，簡稱內紅點瞄準

具，這種瞄準具的瞄準標誌通常是一個光點或光環，其內部結構如圖五所示。內紅點瞄準具的設計因不放大景物，即放大率為1倍，是針對中短距離射擊用途，因此取消了分劃，瞄準標誌為光點或光環。由圖五可說明其工作原理，瞄準具內置的LED光源(D)照射在一個小孔或圓環(C)，此小孔恰好位處於凹面分光鏡(簡稱分光鏡)(A)的焦距上，當光



圖五 內紅點光學瞄準具架構示意圖 (資料來源：作者提供)

源發出的光線透過小孔經分光鏡反射後，以平行光方式進入射手的眼睛瞳孔，射手於是看到一個位於無限遠處的光點，同樣地透過分光鏡亦可以瞄準目標，只要光點與目標重疊，即完成瞄準，內紅點瞄準具瞄準示意圖如圖六所示。而步槍掛上瞄準具後需要進行校正，此類型瞄準具之瞄準校正，係採用移動整個光學系統的方式，利用調節螺絲(E)

以帶動整個光學系統作水平、垂直面內的擺動，使瞄準點與目標重合，以達到校正目的。

內紅點式與望遠式瞄準具的原理不同，內紅點瞄準具的光學系統比較簡單，通常沒有放大及倒像系統。射手瞄準時，可用一眼進行瞄準，另一眼的餘光可同時對視覺範圍內的環境保持高度戒備，亦即雙眼可同時觀察與瞄準。因此視野很寬廣，有利於快速發現，捕捉隨機出現的目標，而且不改變日常生活中對運動目標提前量的習慣，利於準確擊中運動目標。此外，出瞳距離不受限制，射手的眼睛瞳孔只要位於分光鏡後一個直徑與分光鏡相同的圓柱形光束中任何一點，便可進行瞄準程序，無需如望遠式瞄準具一般，射手眼睛必須位於一個固定的出瞳位置上。

然此類型瞄準具亦有以下之缺點：



圖六 內紅點光學瞄準具瞄準示意圖⁷

1. 所使用之光源為非理想的點光源，且分光鏡的設計及加工必存在些許之誤差，因此光源離軸易產生像差及視差。
2. 經分光鏡反射後所形成之平行光束受限且固定無法調整，而影響視場大小，不同距離瞄準時易產生誤差。
3. 光源照射在分光鏡後，仍有部分光穿透分光鏡，從外界可見一光點，因而暴露射手位置，遭敵人反制。
4. 白天背景光較強時，瞄準光點在視覺上相對的不易辨識，影響射手瞄準。

由於全像術的發展及其光學繞射成像之方式不會暴露射擊者位置，具有良好之隱匿作用，並且可控制其繞射效率，不管在白天或是夜晚均能由眼睛看見清晰之成像而瞄準目標射擊。因此，為改進上述內紅點瞄準具之缺點，而逐漸發展出各類型全像光學瞄準具。

(三) 全像光學瞄準具

全像光學瞄準具，主要是以全像瞄準鏡（片）取代內紅點瞄準具之分光鏡，全像瞄準鏡其製作方式是以雷射全像攝影技術及拍攝全像片專用的感光底片，紀錄物光（瞄準標誌）和參考光兩道光束的干涉圖形，全像瞄準鏡拍攝（紀錄）基本架構示意圖如圖七所示。然後再運用光學的繞射效應以重建光

⁷ http://gunglossary.home.comcast.net/big5/eng_gun_dict_2.htm#electronic_sight.

(原參考光)照射全像片，可以重建出原紀錄之光波影像，全像瞄準具基本架構及瞄準標誌重建示意圖如圖八所示。

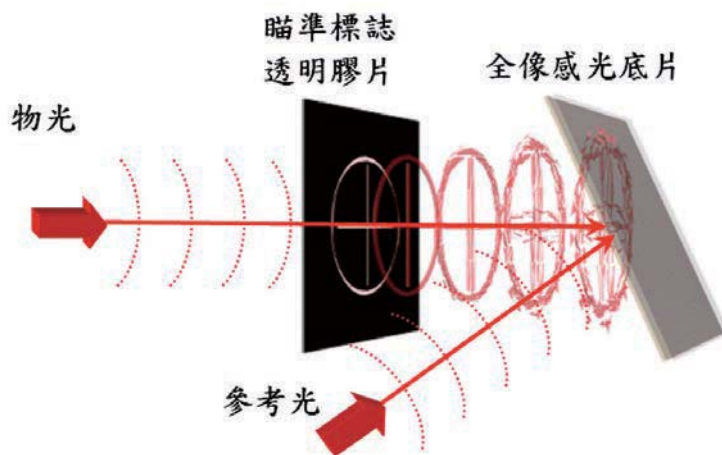
全像瞄準具與內紅點瞄準具架構設計上同樣是以產生平行光束之方式將瞄準標誌投射至射手眼睛，瞄準標誌與遠方目標重疊，即完成瞄準。所不同的是，內紅點瞄準具係利用光的反射原理，將瞄準光點反射至射手眼睛，全像瞄準具則利用光的繞射成像原

理，將全像片上紀錄之瞄準標誌重建繞射至射手眼睛。全像式瞄準鏡在紀錄時用的是雷射光，光源本身就具有很高的同調性，且在投射到全像片上之前又經過了一次平行校正，可以保證光線的平行性，因此在重建時被再顯現出來的影像可維持較佳之平行光路，自然也就比較不會發生視差問題。

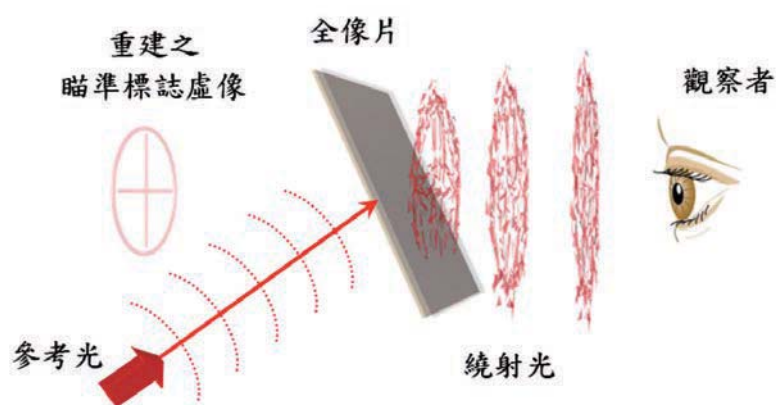
參、研究基礎理論及設計

一、全像術之簡介

本研究之基礎理論為全像術，其起源是在1948年，Dennis Gabor為了提高電子顯微鏡的解析度，首先提出了同軸全像片(In-Line Hologram)的概念，一種稱為波前重建(Wave-Front Reconstruction)的技術，直至1960年科學家T. H. Maiman發明第一臺紅寶石雷射，強度大及高度同調性光源問世後，全像攝影才開始發展起來，而在1962年Leith及Upatnieks以雷射光束實現Gabor的概念，提出離軸全像片(Off-Axis Hologram)，克服了同軸全像片中雙重影像及未繞射光干擾的困難，全像術的研究更進入一個新的階段，之後相繼出現了多種全像拍



圖七 全像瞄準鏡拍攝(紀錄)基本架構示意圖(資料來源:作者提供)



圖八 全像瞄準具基本架構及瞄準標誌重建示意圖(資料來源:作者提供)

攝方法與應用，使全像攝影的發展日趨廣泛，開闢了全像應用的新領域。有關全像術的產品及科技在我們的日常生活週遭時時可見，它帶給了人們多采多姿的視覺享受與生活、工作上的便利，當然此項科學技術也可運用於國防科技，在輕兵器射擊武器之瞄準具上亦可見到全像術之蹤跡。

一般的照像術（攝影術）只能紀錄物體光線的強弱訊號，相位的訊號則無法紀錄，所以照片上反射之光學訊號只是該平面影像之訊號，與原物體之訊號是截然不同的，也就是只能紀錄到某一特定角度的物體影像，所以照片上只能見到物體在某一角度下的平面影像，卻無法形成立體影像。全像術則不同，全像術是運用光的干涉與繞射原理，將物體發出的特定光波以干涉條紋的形式紀錄於全像底片，紀錄的是物體表面各處反射光的強度，亦即振幅的大小，同時紀錄物體散射光波的相位訊息。然後再運用光學之繞射效應可重建出原來物體的立體影像。

全像片拍攝基本的三大過程為干涉、紀錄與繞射，它是一種無須透過鏡頭，利用拍攝全像片專用的感光底片，紀錄物體立體影像的照像術。底片上所紀錄的是物光和參考光兩道光束的干涉條紋，在顯微鏡下可觀察出底片上佈滿細密的亮暗條紋光柵，這些條紋形狀與原紀錄之物體無任何相似性，但卻紀錄了物體上各點的全部訊息，即物光波的

振幅和相位。干涉條紋的形狀、間隔分佈與該兩道光波之相位訊號有關，而干涉條紋之亮暗對比度則與光波之強弱有關。重建時以原參考光照射全像片，運用光學的繞射效應可還原並顯現建出物體的立體影像。

二、全像術之數學理論

光波的傳遞具有獨立性，彼此在傳播時是不會相互影響，但當兩波交會時其重疊區域內會相互干涉，而過了干涉的區域後彼此便各自獨立地往前傳遞。全像拍攝是以光的干涉方式紀錄物體光波場（簡稱物光波），以一束參考光波R與物體光波O互相疊加，在全像底片上形成干涉條紋。假設全像片紀錄之物光波O之複數振幅為 $\tilde{U}_O = A_O e^{i\varphi_O}$ ，參考光波R之複數振幅為 $\tilde{U}_R = A_R e^{i\varphi_R}$ ，二者在底片上干涉，其中 A_O 、 A_R 分別為物光波O及參考光波R之振幅，紀錄干涉波動之光強度I為：

$$\begin{aligned} I &= \left| \tilde{U}_O + \tilde{U}_R \right|^2 \\ &= \left(\tilde{U}_O + \tilde{U}_R \right) \left(\tilde{U}_O + \tilde{U}_R \right)^* \\ &= \tilde{U}_O \tilde{U}_O^* + \tilde{U}_R \tilde{U}_R^* + \tilde{U}_O \tilde{U}_R^* + \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R \quad (1) \\ &= A_O^2 + A_R^2 + \tilde{U}_O \tilde{U}_R^* + \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R \end{aligned}$$

在(1)式中第三項與第四項說明了光強I中包含了物光波 $\tilde{U}_O$ 及其共軛光波 $\tilde{U}_O^*$ 的訊息。

感光底片經過曝光及顯影、定影後，此

時稱該底片為全像片。全像片所紀錄的是非常細密的干涉條紋，可使光繞射的光柵結構。設全像片的振幅穿透率為 t ，與拍攝時的受光強度 I 呈線性關係⁸，即為：

$$\begin{aligned} t &= t_0 + \beta I \\ &= t_0 + \beta I \left(A_O^2 + A_R^2 + \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R + \tilde{U}_O \tilde{U}_R^* \right) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 t_0 為底片未拍攝前之穿透率， β 為底片參數（穿透強度/曝光指數）， T 為曝光時間。

將拍攝處理完成之全像片，放回原拍攝位置上，假設以原參考光 R 做為重建光波，重建光以原參考光方向入射全像片重建。假設經過全像片後所得到的光波函數為 $\tilde{U}_T$ ，則：

$$\begin{aligned} \tilde{U}_T &= \tilde{U}_R t = \tilde{U}_R \left[t_0 + \beta I \left(A_O^2 + A_R^2 + \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R + \tilde{U}_O \tilde{U}_R^* \right) \right] \\ &= \underbrace{\left[t_0 + \beta I (A_O^2 + A_R^2) \right] \tilde{U}_R}_{(I)} + \underbrace{\beta I \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R \tilde{U}_R}_{(II)} + \underbrace{\beta I A_R^2 \tilde{U}_O}_{(III)} \end{aligned} \quad (3)$$

在(3)式中，第(I)項稱為零階光波 (Zero Order Wave)，代表穿過底片的光波；第(II)項稱為繞射之負第一階光波 (Minus First Order Wave)，係經繞射後所成的實像，為原物光波之共軛像；第(III)項稱為繞射之正第一階光波 (Plus First Order Wave)，係經繞射後所成的虛像，即為原物件光波。

如果重建光為原拍攝時參考光的共軛光 R^* （即波前方向與原參考光波完全相反），則全像片的透射光波函數 $\tilde{U}_T'$ 為：

$$\begin{aligned} \tilde{U}_T' &= \tilde{U}_R^* t \\ &= \tilde{U}_R^* \left[t_0 + \beta I \left(A_O^2 + A_R^2 + \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R + \tilde{U}_O \tilde{U}_R^* \right) \right] \\ &= \underbrace{\left[t_0 + \beta I (A_O^2 + A_R^2) \right] \tilde{U}_R^*}_{(I)} + \underbrace{\beta I \tilde{U}_O^* \tilde{U}_R^* \tilde{U}_R}_{(II)} + \underbrace{\beta I A_R^2 \tilde{U}_O^*}_{(III)} \end{aligned} \quad (4)$$

8 Hariharan, P., Optical Holography, Second Edition, Cambridge, United States of America, pp. 11-91, 1996.

在(4)式中，第(III)項為物波的共軛波 O^* ，重建出物體實像，但像的凹凸與原物相反。本研究全像瞄準鏡之製作即依此方式重建瞄準標誌實像，用以模擬機械式瞄準具照門至準星間的距離。

三、研究設計及實驗架構

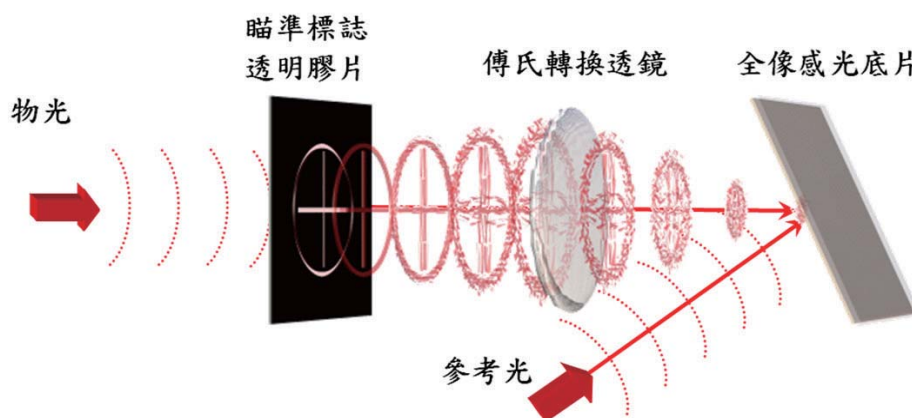
拍攝全像片的方法可依照物光、參考光 and 全像片之間的相關位置分為穿透式全像片(Transmission Hologram)與反射式全像片(Reflection Hologram)等兩類⁹。本研究是以穿透式全像片拍攝架構為概念調整實驗架構，於載入物體(瞄準標誌)後方置入一傅氏轉換透鏡，並將全像感光底片置於轉換透鏡後焦點上，拍攝所得即為傅立葉轉換全像片(Fourier Transform Hologram)，簡稱傅氏轉換全像片，傅氏轉換全像片拍攝架構示意圖如圖九所示。

因為物體影像的訊息可以在空間域中表

示，也可以在頻率域中表示，物體的訊息表現在它的物體光波中，亦蘊含在它的空間頻譜內。因此，用全像方法可以在空間域中紀錄物光波，可以在頻率域中紀錄物的頻譜。所以傅立葉轉換全像片不是紀錄物體光波本身，而是紀錄物體光波的傅立葉頻譜。原本物體光波是由物體反射至底片，在物體之後加入傅氏轉換透鏡之作用是利用透鏡的傅立葉轉換性質，將物體置換成二維的影像，並將載入的二維物體的影像在底片上形成傅氏頻譜，若將此頻譜與參考光在底片上形成干涉進而紀錄在底片上，干涉條紋中就紀錄了物光波傅立葉轉換光場的全部訊息，包括傅立葉轉換的振幅和相位，底片經暗房程序處理後即可得到一傅氏轉換全像片¹⁰。

本研究之實驗架構為多樣式瞄準標誌(重複曝光及角度多工)拍攝，使用之雷射光源為He-Cd雷射(波長441.6nm)，配合紀錄

之底片為永光化學EPL-320光阻劑，為使全像瞄準鏡具有多重選擇性之瞄準標誌及表尺歸零功能，瞄準鏡之製作則須輔以體積式全像原理，以重複曝光及角度多工法紀錄全



圖九 傅氏轉換全像片拍攝示意圖（資料來源：作者提供）

9 趙凱華、鍾錫華，《光學》（臺北市：儒林圖書公司，西元1997年），頁523-534。

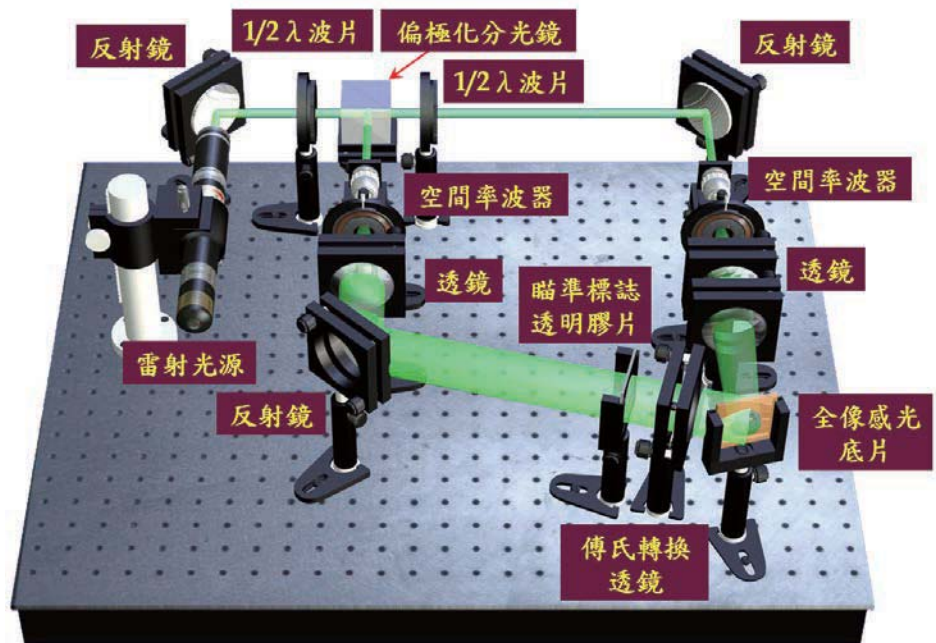
10 蘇顯渝、李繼陶，《信息光學》（中國北京：科學出版社，西元1999年），頁129。

像片，以達多功能全像瞄準具之效能，角度多工全像瞄準標誌拍攝架構如圖十所示。

實驗以雙光束拍攝穿透式全像片的方式為架構，在雷射光源後放置一 $1/2\lambda$ 波片，接著放置一偏極化分光鏡 (PBS)，此二者之組合除了可將雷射光束分成參考光及物光兩道光束，同時具有調制參考光及物光光強

之功能。雷射光經PBS分光後之物光其偏振方向為垂直桌面 (S-Polarization)，經PBS分光後之參考光其偏振方向則為平行桌面 (E-Polarization)，再經一 $1/2\lambda$ 波片轉為 S-Polarization，目的使參考光及物光偏振方向一致，以便能產生較佳之干涉及拍攝效果。

接著分別在參考光及物光之光路上各放置一空間濾波器 (Spatial Filter) 將雷射光束擴束，並通過透鏡產生準直平行光，在物光路徑上放置載入之物件 (瞄準標誌)，瞄準標誌前緊貼一散射玻片，並於瞄準標誌及底片間放一傅氏轉換透鏡，全像底片則置於該透鏡之焦點上，其中可調整瞄準標誌位置使瞄



圖十 穿透式角度多工全像瞄準標誌拍攝架構示意圖 (資料來源：作者提供)

準標誌成像於底片後方適當之距離。物光及參考光的夾角為 90° ，兩道光束於底片上產生干涉，該干涉條紋被紀錄於全像底片，另在全像底片位置放置一精密旋轉臺，以便重複曝光拍攝時旋轉全像底片。

肆、實驗結果與分析

因本研究是以傅氏轉換方式拍攝全像瞄準鏡，且參考光波為一平行光波，重建時僅需將全像片旋轉 180° ，再以同樣入射角度之參考光波，即可重建原物光之共軛影像。由於全像片之干涉條紋中就紀錄了物光波傅立葉轉換光場的全部訊息，包括傅立葉轉換後之

11 Goodman, J. W., Fourier Optics 3rd ed., (Colorad : Roberts & Company, 2005) , pp. 65- 66.

振福和相位，所以重建過程中亦還原瞄準標誌傅氏頻譜之訊息，最後經由自由空間中遠場繞射理論¹¹，於遠處繞射（傅氏轉換）還原清晰之標誌影像。

由於重建標誌影像之虛像位置落於遠處，因此射手瞄準時瞄準標誌影像有如直接落在目標物上，如此可以眼睛餘光實施瞄準射擊，發揮近接作戰迅速反應制敵之功能。以重建後之瞄準標誌影像試瞄高為180公分之立體人形標靶，此目標物之距離為6公尺，從圖十一可清楚看出瞄準時，即使眼睛未正視而稍有偏移瞄準標誌，偏移角度約 20° 以內仍可瞄準目標物於同一位置，故全像瞄準鏡符合瞄準具之精確瞄準、快速反應之要求。另外於白天室外陽光充足之情形下重建之瞄準標誌，並瞄準距離約為75公尺之目標物，經由測試仍清晰可見，瞄準標誌於白天室外重建實景圖如圖十二所示，由此可知全像瞄準具具有全天候作戰之能力。

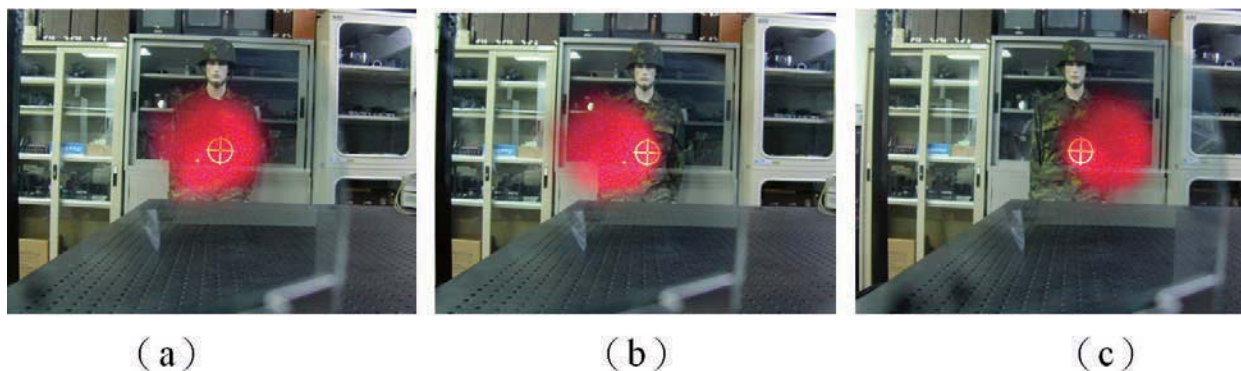
另外以重複曝光及角度多工方式拍攝多樣式瞄準標誌，過程中將全像底片置於一精



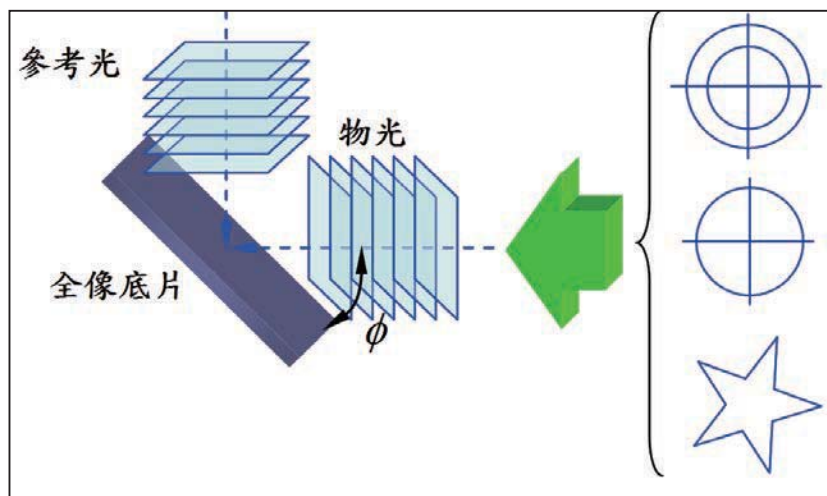
圖十二 瞄準標誌於白天室外重建實景照片

（資料來源：作者提供）

密旋轉臺上，固定物光與參考光條件，旋轉底片，改變物光與全像底片之夾角 ϕ ，以重複曝光方式分別在不同之 ϕ 角處各紀錄一不同樣式之瞄準標誌於單一全像底片上，單一全像片角度多工紀錄示意圖如圖十三所示。感光底片經顯影、定影、沖洗與烘乾等程序後，重建全像片紀錄之影像。



圖十一 重建瞄準標誌 (a) 正視 (b) 偏右 (c) 偏左試瞄實景照片 (資料來源：作者提供)



圖十三 單一全像片角度多工紀錄示意圖（資料來源：作者提供）

以光阻全像片拍攝後重建結果，於 $25^{\circ} < \phi < 65^{\circ}$ 時（即旋轉全像底片不超過 20° 時）仍有重疊影響產生，惟在底片與物光之夾角 $\phi \leq 25^{\circ}$ 或 $\phi \geq 65^{\circ}$ 時紀錄影像，重建時才不致

多功能全像片，重建出瞄準標誌像虛像。而射手可依狀況需要及目標物相對距離調整全像片角度，選取不同型式及規格之瞄準標誌，以符合戰場需要。

表一 單一全像片角度多工 ($\phi=25^{\circ}$ 、 45° 、 65°) 紀錄及重建結果表

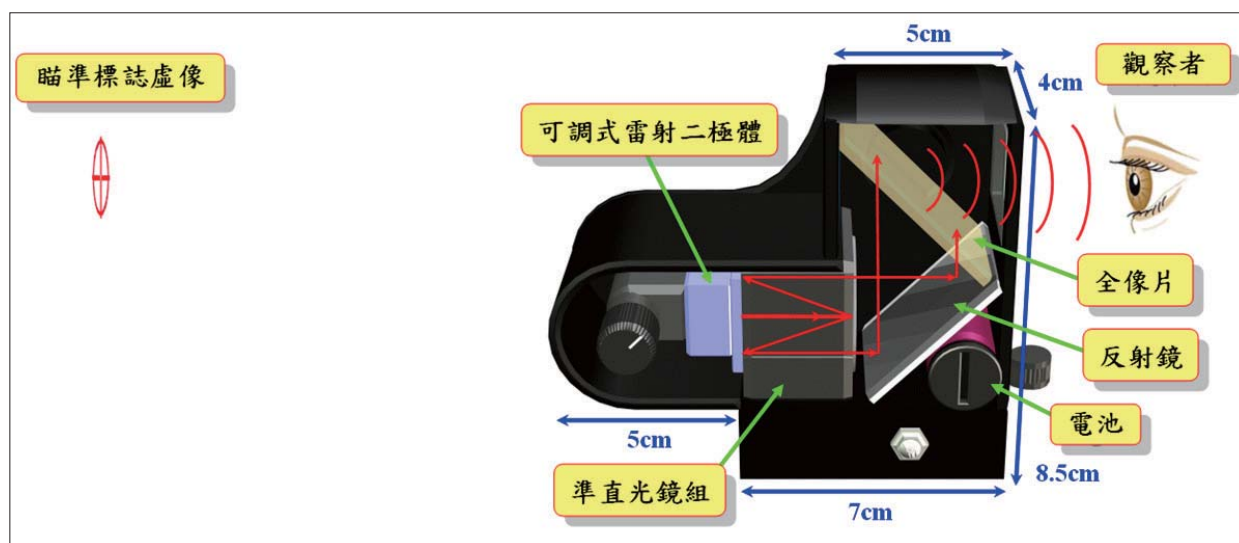
ϕ 角	輸入影像	重建影像
25°		
45°		
65°		

於形成影像重疊之現象，重建結果如表一所示。

本研究以反射式望遠鏡為設計理念，已完成瞄準具初步機構設計，基本外部規格及架構如圖十四所示。其中以一雷射二極體 (LD) 為光源，並經一特殊設計之準直鏡組產生平行光束，再由反射面鏡將準直光反射至紀錄有多種瞄準標誌之

伍、結論

本研究提出之全像瞄準鏡是以傅氏轉換方式進行拍攝，所以重建過程中還原瞄準標誌傅氏頻譜之振幅及相位訊息，再經由遠場繞射，可在瞄準具遠處還原清晰之標誌影像，同時在重建時的影像可維持較佳之平行光路，自然



圖十四 角度多工全像光學瞄準具設計機構示意圖（資料來源：作者提供）

比較不會有視差之問題產生。因此即使瞄準射擊時眼睛未正視而稍有偏移或以眼睛餘光，仍可瞄準目標物於同一位置，故可發揮近接作戰時精確瞄準與迅速反應制敵之功效。

另外以重複曝光及角度多工方式紀錄之多功能全像瞄準具，可將多樣性瞄準標誌紀錄於單一全像底片上，可提供射手依目標物狀況、距離遠近及個人喜好，以旋轉全像瞄準鏡方式選擇適合之瞄準標誌，無須更換全像瞄準鏡，如此可減少換裝時間，達多功能全像光學瞄準具之效能。

在未來展望方面，機構設計上雖已建立基本之雛型，但是還須再進一步完成瞄準具的構裝及歸零校正，並配附於各型輕兵器上實施實彈射擊驗證，期能讓多功能全像瞄準具能實際運用於國防戰備整備上，進一步提升整體部隊戰力。

作者簡介

許民宗中校，中正理工學院應用物理學系87年班，國立中央大學物理碩士92年班，國防大學國防科學研究所應物組博士101年班，現任陸軍後勤訓練中心實習工廠廠長。

江宗昇中校，中正理工學院機械工程系（一般組）82年班，國防大學理工學院應用物理研究所94年班，國防大學國防科學研究所應物組博士101年班，現任陸軍後勤訓練中心保修教官組組長。