

植被及國土變遷觀測儀

Vegetation and Change Detection Imager

郭慧君、黃鼎名、蔡和霖、陳至堅、蘇方旋

Hui-Jean Kuo, Ting-Ming Huang, Ho-Lin Tsay, Jyh-Jian Chen, Fang-Hsuan Su

植被及國土變遷觀測儀 (VCDi) 是國科會精密儀器發展中心 (以下簡稱精儀中心) 自行發展的一套機載多光譜遙測取像系統。自設計、製造、組裝、系統整合、功能測試，到最後完成機載取像，共歷時三年，充分展現精儀中心發展機載遙測儀器的能力。

VCDi, abbreviation of Vegetation and Change Detection imager, is an airborne multispectral remote sensing instrument developed by PIDC. This three years project has gone through design, manufacture, assembly, system integration, functional test, and the last, on-board function test. The ability of PIDC in developing airborne remote sensing instrument is showed.

一、前言

遙測技術可以迅速的偵測大區域面積，並針對難以接近的目標進行遠距監測，應用非常廣泛，包括農林漁業、氣象、環保監測、災害防治、國土規劃、水資源應用與國防軍事用途等，為一多重領域科技整合、對國計民生影響深遠的重要科技。九二一集集大地震及颱風土石流不僅造成台灣人民生命與財產的重大損失，台灣的中部山區地形地貌也有很大的改變。藉由飛機或衛星遙測所拍攝到的影像可以看見地震後雲林草嶺地區崩塌、車龍埔斷層與雙冬斷層沿線地貌破裂的嚴重情形，或者颱風過後土石流肆虐破壞台灣山區地表。

遙測除了可評估自然災害，更可應用於都會區交通規劃、台灣西海岸海埔新生地變遷及外傘頂洲之變化監測、熱污染及海洋生態污染監視與調查、周邊海域資源調查探測、作物分類及地質研判等用途。

國科會精密儀器發展中心 (以下簡稱精儀中心) 以累積多年之光、機、電及儀器整合技術為基礎，配合產官學研各界的需求，支援國內學術單位及高科技產業各項研究及系統開發，並於五年前開始投入光電遙測儀器開發。先期積極參加中華衛星一號海洋水色照相儀技術輔導研討、中華衛星二號計畫之高解析度遙測酬載及科學酬載設計分析與組測工作，並利用由實際工作中獲得的經驗技術，制定年度計畫開發多項遙測儀器。植被及國土變遷觀測儀 (vegetation and change detection imager, VCDi) 為一多光譜數位遙測系統，是國內第一套自行研發之機載數位遙測系統，可應用於植被調查及國土變遷監測，例如精緻農業資訊提供及土石流發生地區調查。

植被及國土變遷觀測儀發展計畫時程自 90 年起為期三年，第一年為系統設計及製造階段，第二年為組裝及測試階段，第三年為飛行取像測試階

段。計畫執行方式仿效國外衛星計畫發展模式，歷經系統概念審查會議 (system concept review, SCR)、初步設計審查會議 (preliminary design review, PDR)、細部設計審查會議 (critical design review, CDR)，逐步制定系統規格、次系統規格、元件規格，及進行相關之分析測試，本文即介紹 VCDi 系統研發、機載測試過程與影像成果。

二、植被及國土變遷觀測儀

植被及國土變遷觀測儀 (VCDi) 係由四個鏡頭組成，所選取的波段範圍與美國大地衛星 (Landsat) 遙測酬載主題攝影儀 (TM) 中 B1、B2、B3 與 B4 之波段相同，應用範圍類似。一個波段使用一組光學鏡頭及一組面型 $2\text{ k} \times 2\text{ k}$ CCD 感測器。四鏡頭後接二組影像擷取卡，利用 PC 控制影像擷取及資料儲存；鏡筒外貼有溫度感測器，利用資料擷取器抓取系統溫度，以判讀溫度變化影響；機載測試時抓取飛機遙測系統現有的 GPS 信號，作為自動取像觸發及 VCDi 姿態調整參考。VCDi 系統架構如圖 1，其規格如表 1⁽¹⁾。

三、研發過程

VCDi 研發過程^(2,3) 自 SCR 開始至進行機載取

表 1. VCDi 規格。

瞬間視角 IFOV	0.25 mrad
視角 FOV	$\pm 14^\circ \times \pm 14^\circ$ (橫向)， $\pm 20^\circ$ (對角)
光學有效焦長	36 mm
波段範圍	B (450–520 nm)，中心波長 485 nm G (530–610 nm)，中心波長 570 nm R (630–690 nm)，中心波長 660 nm NIR (780–900 nm)，中心波長 840 nm
CCD	$2\text{ k} \times 2\text{ k}$ ， $9\ \mu\text{m}$
光輻射度校正準確度	96%
幾何精度	RMS: 0.56 pixel
系統 MTF	0.15 (光學 MTF: 0.4) @ 56 lp/mm
系統 SNR	$20 @ 85\ \text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$
極化光敏感性	< 3%
影像畸變定義	< 2%
雜光去除率	< 2%
系統重量	< 12 kg
系統消耗功率	< 15 W (不計 PC)
數位化	8 bits
取像模式	航道模式、連拍模式、單幅取像
影像處理	提供幾何校正及光輻射度修正參數及軟體

像前，可區分成四個重要階段，分別為設計分析、組裝測試、控制系統發展以及全系統整合測試等四個階段。

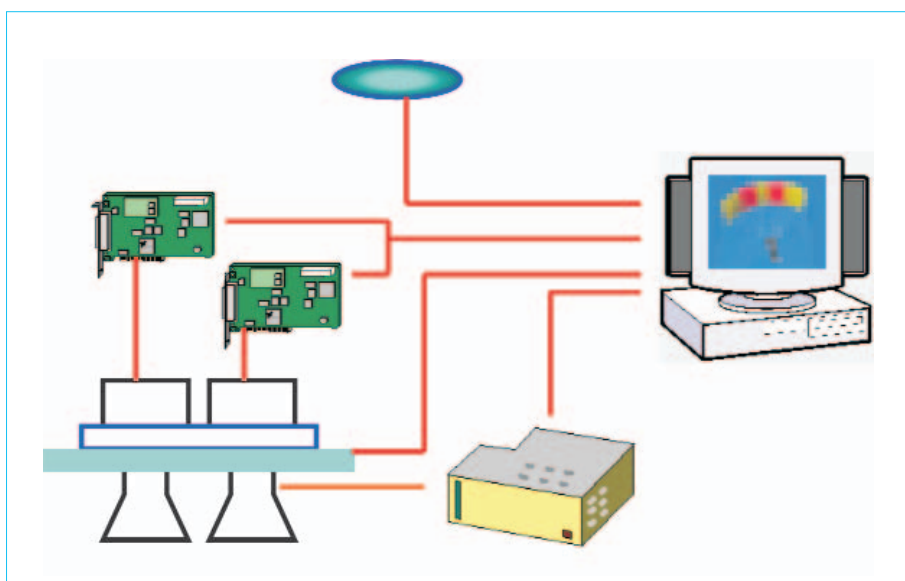


圖 1. VCDi 系統架構示意圖。

1. 設計分析階段

此階段共進行了光學設計、容差分析、光學鍍膜設計、光機設計、溫度分析、鏡頭穿透率分析、極化光敏感度分析及雜光分析等八個項目。

(1) 光學設計

VCDi 每一組光學鏡頭均由九個鏡片及一窄波濾光片所組成，共四組光學鏡頭，光學設計長達六個月，主要困難點在於涵蓋波段範圍太廣 (450–900 nm)，無法以一個鏡頭涵蓋所有波段；要進行航空量測，為避免地物高低起伏造成影像倍率變化，及避免不同視角波段形狀變化，盡量要求遠心設計，考慮鏡頭複雜程度與成像品質要求，最後在 Telecentricity < 5° 要求下，分成四個鏡頭搭配四個不同濾光片加以區別；各鏡組相似，相對應之鏡片材質相同，厚度略有不同。為減少新製磨碗時間，儘量設計使曲率半徑一致，設計結果如圖 2 所示。VCDi 鏡片由精儀中心光學工廠進行製作。

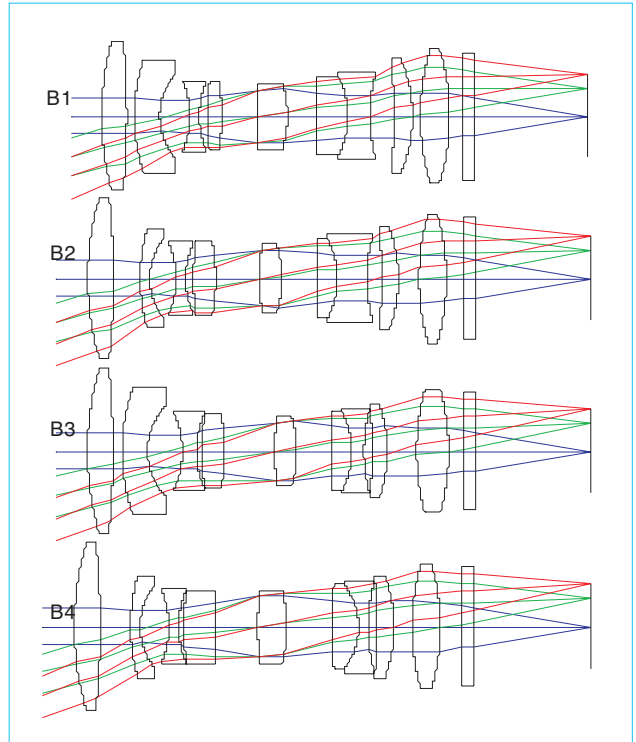


圖 2. VCDi 光學設計。

(2) 容差分析

根據光學設計結果，進行各個參數誤差 (如曲率半徑、厚度等等) 對 MTF 影響的敏感度分析及蒙地卡羅模擬分析。考慮光學鏡片製造、鏡筒製造與鏡頭組裝誤差，要求 MTF (全部視角在子午方向與弧矢方向平均值) 需大於 0.4。最後根據各參數其敏感度、製造與組裝能力進行容差分配，分析結果如表 2。

表 2.
容差分析結果。

Typical Tolerance Data			
Type	Unit	Typical	Tightest
Radius of Curvature	± %	0.2–0.5	0.1
Irregularity	Fringe @632.8nm	0.5	0.5
Thickness	± mm	0.02–0.05	0.01
Refractive Index	±	0.001	0.0005
Abbe Number	±	0.5	0.1
Surface Decenter	± mm	0.02–0.05	0.01
Surface Tilt	± arc minute	2–3	1
Element/Group Decenter	± mm	0.02–0.05	0.01
Element/Group Tilt	± arc minute	2–3	1

(3) 光學鍍膜設計

鍍膜設計分為鏡片的抗反射膜設計與濾光片的波段設計，分述如下。

① 鏡片抗反射膜設計

利用高低折射率交疊設計四層之抗反射薄膜，B1、B2、B3、B4 之波域穿透率皆可達 99.5% 以上，偏角分析 P-偏振光與 S-偏振光穿透率也皆可

達 99.5% 以上。鏡片之抗反射膜由精儀中心真空技術研究室鍍製。

② 濾光片設計

VCDi 的觀測頻譜波段是參考 Landsat 7 的前四個波段來做植物變遷研究，其觀測波段如表 1 所述。由於所欲濾除之波域甚廣，因此欲兼顧寬廣波域之濾除與通帶之高穿透率 ($> 70\%$)，必須於膜層之堆疊上做特殊之處理，必要時將以電腦優化處理輔助，務求達到通帶之高穿透率與截止帶之低穿透率，濾光片之製作採發包委外辦理。

(4) 光機設計

光機結構設計的考量在於提供光學鏡片適當的定位與挾持、保護光學系統免於外在環境的影響如氣流、污染源、光線等干擾。提供光學系統機構與主體結構適當的连接介面、鏡片組裝與調整、適當的調焦機構與 CCD 的結合介面、雜光分析 (straylight analysis) 所需的擋板結構、調校與檢測時的夾治具挾持、機械加工製造能力等。

VCDi 機構設計大致分成三部分：

① 遮光罩

顧名思義，為了遮擋不必要的光線進入光學系統內，遮光罩在折射式系統中的用途較小，在反射式系統中較常見。VCDi 之遮光罩主要用於阻擋太陽光直接入射造成的雜光 (參見雜光分析部分)，此情況於地面測試時有可能發生，在飛航取像時則用於阻擋水面直接反射太陽光，除此之外，作用不

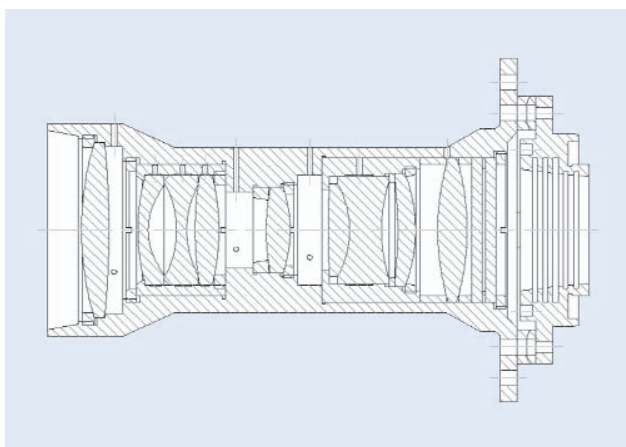


圖 3. VCDi 鏡筒設計。

高，因此機構設計將其與鏡筒一併加工，長度也縮短。

② 鏡筒

鏡筒設計除了考量鏡片精準的定位與支撐外，尤須考慮機械加工能力，因為其誤差會嚴重影響組裝的精確度。機構設計採取一體成型的鏡筒結構，鏡筒中有二組鏡片先以小鏡筒對心組裝完後再裝入整組鏡筒中，以確保鏡片對心。機構設計如圖 3。

③ CCD 模組調焦機構

此調焦機構提供 CCD 模組連接介面及焦平面調整機構。VCDi 採用 MegaPlus Camera M4.2i 的 CCD 模組，採用 C-mount 的組裝介面，但 VCDi 之光路會被 C-mount 機構阻擋，因此 CCD 上的 C-mount 介面必須去除，設計上利用 CCD 上之固定機構加以配合做為連接介面。

由於光機加工與組裝時可能造成的誤差，以及溫度變化的影響，CCD 模組必須具備有微調的機構，以獲得光學系統最佳成像位置。焦平面調整機構設計採用墊片及螺牙鎖緊方式做為調焦機構，墊片為二片曲率互相配合之金屬構成，當墊片需調整 tilt 時，此曲面可提供緊密穩定配合及螺孔以固定機構。調焦時配合準直儀及 pattern 條紋取像品質判斷墊片厚度，改變墊片厚度可委請機械工廠 (銑) 或光學工廠 (磨) 代為加工。

(5) 溫度分析

建立 VCDi 熱控系統的目的是為了讓所有的元件暴露在熱環境，在任何模式下運作時，都能保持在允許的工作溫度範圍內。這樣不但能夠確保元件不受環境影響而破壞，更能避免熱環境對成像品質有負面的影響。設計 VCDi 熱控系統的首要工作是

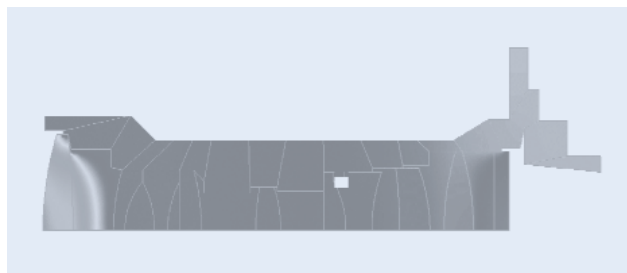
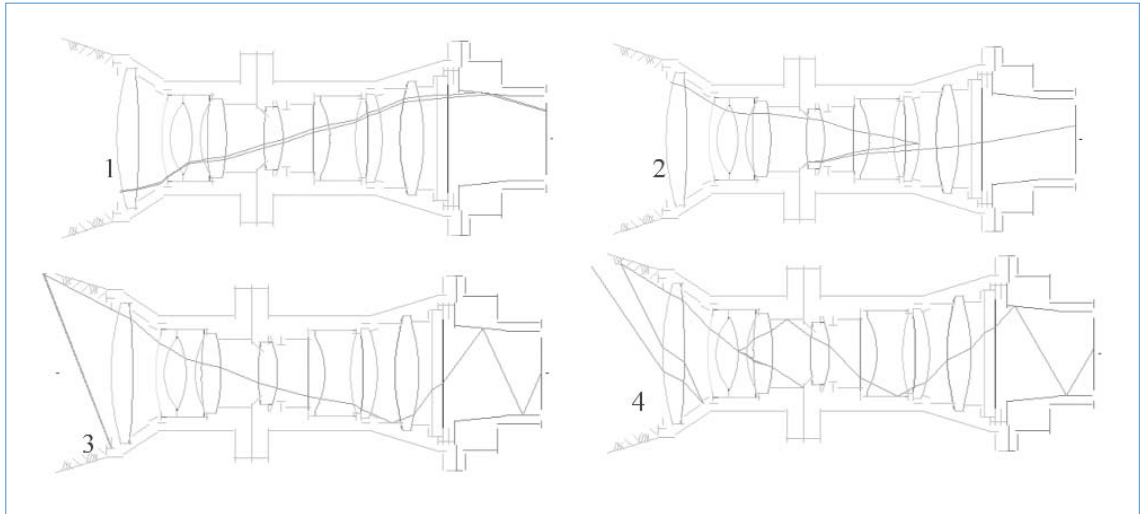


圖 4. 外界環境對鏡頭部分 (二維) 熱場的影響。

圖 5.
不同雜光路徑。



先分析 VCDi 在熱環境變化下，各元件的熱場分布情形，以提供熱控系統設計前的參考。接著在最佳位置加裝加熱片或散熱器，配合溫度感測器和回授電路的運用，便可建立成一 VCDi 熱控系統。

(6) 鏡頭穿透率分析

利用每個鏡面的抗反射膜在不同入射角的穿透率設計值，可以檢查不同入射光波長在各個場角的情況下，各偏極化方向對應的鏡頭穿透率。

分析結果為，入射場角為零時，各個波段平均穿透率分別為 B1：98.804%，B2：98.897%，B3：98.914%，B4：98.845%。而最大入射場角 14 度時，各波段平均穿透率分別為 B1：98.185%，B2：98.016%，B3：98.053%，B4：98.021%。總結而論，考慮抗反射膜的情況下，所有鏡頭的波段穿透率在 98% 以上。

(7) 極化光敏感度分析

觀測地面的遙測系統由於地面反射性質的關係，入射光會有不同程度的偏極化，不同極化方向的光，在取像鏡頭每個鏡面的穿透率不同，造成相同強度的光因為偏極方向不同而在焦平面聚焦能量不同。利用每個鏡面的抗反射膜在不同入射角的穿透率設計值及濾光片在不同角度入射的穿透率設計值，可以檢查在不同入射光波長時，各偏極化方向對應的系統穿透率，並計算其差異，此差異即為極化光敏感性。極化光敏感度是經由計算各個極化方

向的系統穿透率得出最大與最小穿透率，兩者相減所得之差再除以平均穿透率而得。

計算結果顯示極化光敏感度隨場角增大而增大。最大入射場角 (14°, 14°) 時各波長對應極化光敏感度大小分別為 B1：0.529%，B2：0.667%，B3：0.685%，B4：0.774%。由於入射角不同，濾光片的穿透形狀會飄移，由於 P 極化與 S 極化的飄移量不同，造成濾光片對極化效應有增強的作用。根據設計值算出的系統極化光敏感度在 1% 之內，遠在系統規格 (3%) 之下。

(8) 雜光分析

光學系統雜光來源有：(1) 由於直接入射光造成，(2) 由於主次鏡間二次或多次反射造成，(3) 由於機械結構或鏡片之散射造成，(4) 由於透鏡間多重反射造成，(5) 由於 CCD 感測器鏡面反射造成，及 (6) 由於孔徑造成之繞射現象等因素。VCDi 目前尚無需考慮如此仔細，本次分析僅就 (3) 及 (4) 項討論。

考慮各情況下之雜光路徑，如圖 5 所示，路徑 1 可視為視角內由於機構反(散)射造成的雜光，路徑 2 可視為視角內由於鏡片反射造成的雜光，路徑 3 可視為視角外由於機構反(散)射造成的雜光，路徑 4 可視為視角外由於鏡片反射造成的雜光。

根據雜光分析改善機構減少雜光產生，VCDi 採用兩種作法，一為保留鏡頭前方遮光罩，另一為利用表面處理方法降低機構表面之反射。

2. 組裝測試階段

(1) 光機組裝⁽⁴⁾

光機組裝採用調整組裝方法，以對心機作為輔助設備。組裝程序上，先進行小鏡組之組裝，依次放入鏡片，各自調整鏡片偏心，務使鏡組偏心量達到最小。再逐漸將各元組件裝入大鏡筒中，並灌膠以固定位置。其工作情形如圖 6 所示。

(2) 鏡頭品質量測⁽⁵⁾

在進行焦平面組裝之前，需先進行鏡頭品質量測，以確定組裝後各鏡頭符合當初設計規格。VCDi 四個波段鏡頭均在大口徑 MTF 量測系統進行量測，實驗系統架構如圖 7，鏡頭架設在大口徑

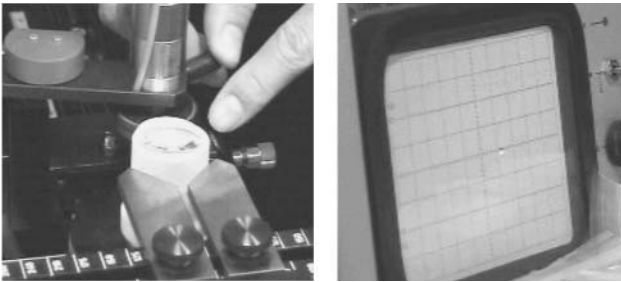


圖 6. 二片膠合鏡片對心及對心機螢幕顯示情形。

表 3. VCDi 四波段光學鏡頭有效焦長量測結果。

鏡頭	波段	有效焦長		誤差量
		設計值	量測結果	
B1	450nm~520nm	36mm	36.04mm	+0.04mm
B2	530nm~610nm	36mm	35.88mm	-0.12mm
B3	630nm~690nm	36mm	35.88mm	-0.12mm
B4	780nm~900 nm	36mm	35.98mm	-0.02mm

MTF 系統的旋轉平台上，利用平台旋轉使準直儀提供不同入射光角度。量測項目為有效焦長、MTF 及場曲。

① 有效焦長量測

VCDi 四鏡頭之有效焦長量測結果與設計值比較如表 3。VCDi 四鏡頭的有效焦長組裝後與原設計值相差在 (+0.04 mm, -0.12 mm)，相當於 (+0.11%, -0.33%) 的誤差量，顯示各鏡片以及鏡片的間隔片的中心厚度符合製造公差要求，對心機進行光機組裝可有效提高鏡頭光學品質。

② MTF 量測

MTF 量測結果如圖 8 所示，VCDi B1-B4 四鏡頭的 MTF 大多在 ± 14 度內，符合當初 PDR 鏡頭規格要求 > 0.4@56 lp/mm。

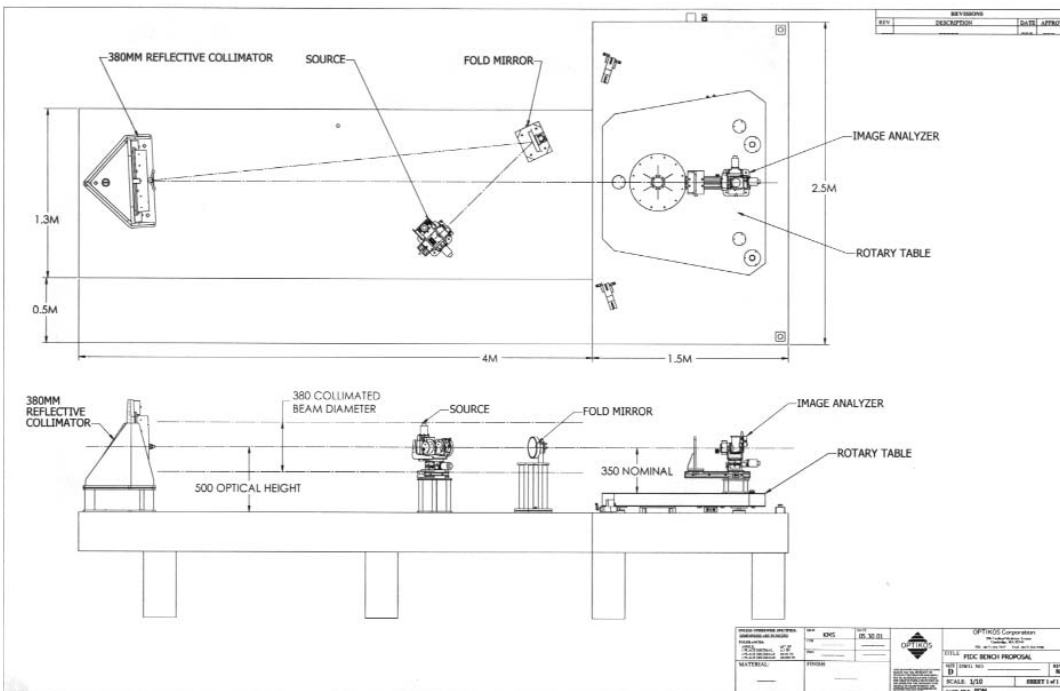


圖 7. VCDi 測試架構示意圖。

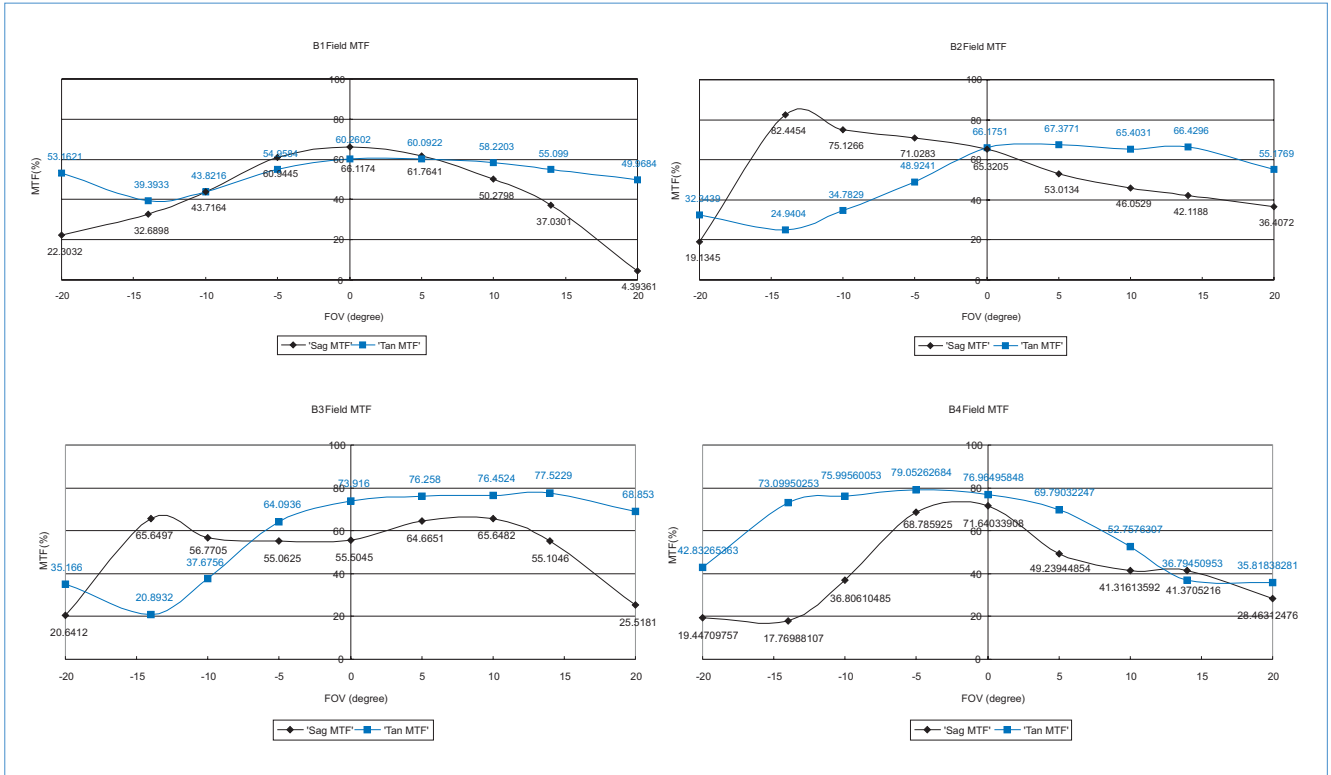


圖 8. VCDi 四波段光學鏡頭 MTF 量測結果。

③ 場曲

量測鏡頭的場曲，以作為鏡頭與 CCD 組裝參考，其結果如圖 9 所示。

3. 控制系統發展階段

(1) 控制軟體⁽⁶⁾

VCDi 取像控制軟體命名為「EZGrab」，為控制機載遙測系統 VCDi 取像用，並在個人電腦上發展的應用程式，用於連接 CCD 鏡頭與影像擷取卡，使用者可在取像控制軟體的環境中設定取像參數，並對影像進行擷取、儲存。

EZGrab 使用 Microsoft Visual C++ 6.0 來發展，並架構在 Microsoft Windows 2000 作業系統，此外，也相容於 Microsoft Windows 平臺之其他作業系統。EZGrab 可進行三種取像模式，分別為航道、連拍及單幅取像使用航道模式時是利用 Windows 提供的系統時間函數，每一秒鐘讀取一次 GPS 訊號，以得知目前飛機所在位置，並判斷是否已達事先規劃之拍攝地點。

EZGrab 可提供 CCD 積分時間設定及取像資訊設定，觸發單顆或 4 顆 CCD 鏡頭取像，並可根據輸入的取像時間間隔連續取像，顯示影像輻射照度分布，用以調整 CCD 的積分時間，以及啟動及設定 GPS 連接介面等功能。

(2) EZGrab 取像測試

取像控制軟體之測試分為實驗室及戶外兩部分，其中實驗室主要用來測試取像及存檔功能是否正常，以及調整 CCD 到鏡頭焦點位置；戶外部分則用汽車來模擬飛機上的情況，測試程式是否能接收到 GPS 資料，並判斷是否到達航點區自動取像。以下就這兩部分來說明。

① 實驗室測試

圖 10 為 VCDi B2 鏡頭調整 CCD 至焦點位置後 slit 影像的相對響應曲線 (line profile)，圖中橫軸為像元 (pixel number)，縱軸為 pixel readout。此鏡頭在實驗室中已無法調出更細的寬度，故判定 CCD 已達到最佳鏡頭焦點處。

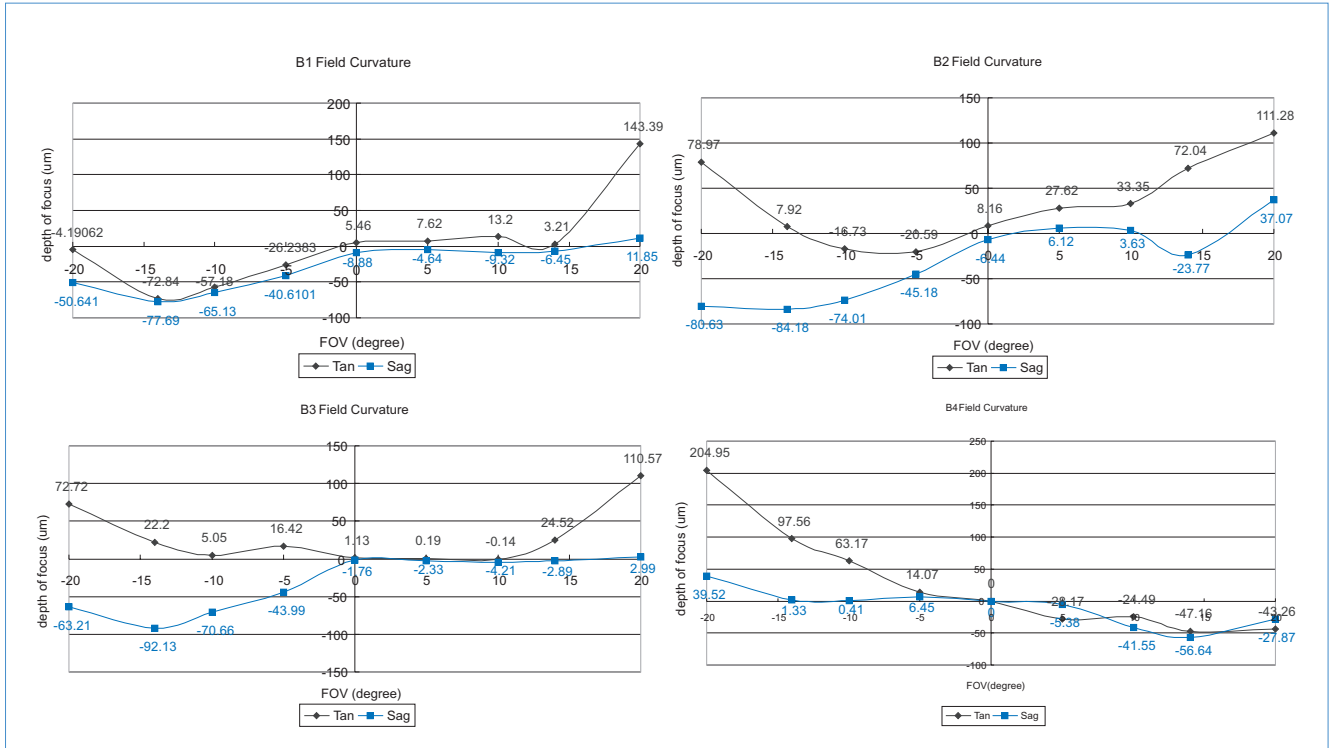


圖 9. VCDi 四波段光學鏡頭場曲量測結果。

EZGrab 於實驗室中實際拍得並儲存成無失真壓縮的 BMP 影像，影像大小為 2028 × 2044 pixel。影像中燈光處可看見少許 blooming 現象，此為 CCD 本身特性，與取像程式無關。

② 戶外測試

實際機載測試前，必須先於地面進行取像控制軟體之航道模式功能之戶外測試，總共規劃六個測試點。由測試結果可知，六個航點均成功的被程式偵測到並取像。

4. 全系統整合測試階段

對於光學遙測取像系統而言，在系統層級測試上，分為輻射度校正與幾何校正兩項。輻射度校正主要是要把系統各場角的對應響應差異修正回來。鏡頭成像無可避免的會有中間亮而週邊較暗的情形。此乃因鏡頭造成的輻射度誤差，可以利用事先量測事後修正的方式加以消除。經由輻射度修正之後，影像上的讀值與對應的地面輻射度變成簡單的正比關係，從影像上的讀值就得出地面輻射度。這樣 VCDi 影像就可以成為科學分析的工具，藉由

影像得到的地面輻射度的分布，可以判斷地表的特性與植被生長情形。透過多光譜影像比較，可以分辨土壤的性質、植被的生長情形及種類等。

取像系統使用的鏡頭無法避免像扭曲的問題，這會使不同場角成像位置產生相對偏移，這些扭曲造成的成像位置偏移要靠幾何校正修回來。幾何校

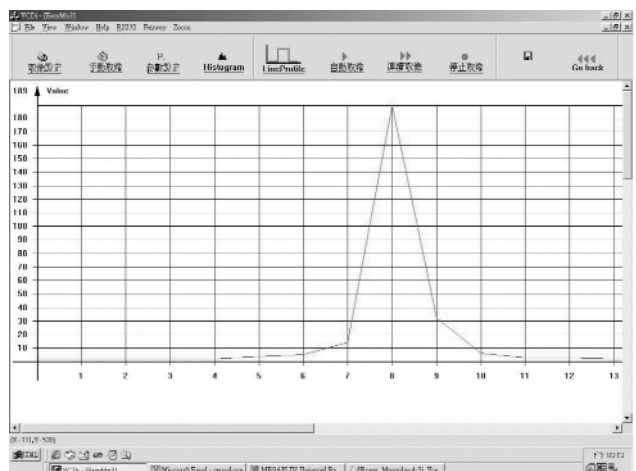


圖 10. 實驗室調焦。

正就是將鏡頭的有效焦長、像扭曲及系統像主點的位置進行先前量測；經由遙測系統取得的影像先做鏡頭扭曲修正 (scale) 與像主點平移 (shift) 等步驟之後，可以進一步進行影像與影像之間的套疊、DTM 模型建立等影像處理。幾何校正是光學遙測取像系統以量測為考量中最重要的測試。

以下介紹 VCDi 遙測取像系統的幾何校正與輻射度校正兩項檢測，包括實驗室測試及野外測試的方法與結果。

(1) 實驗室測試

① 輻射度校正⁽⁷⁾

輻射度量測以積分球為均勻光源進行測試，光源於光學系統入瞳均勻度在 99% 以上，其穩定度及分光輻射度由校正過之分光輻射度計監控。量測結果可分為四個部分來說明。

暗訊號：VCDi 考慮 CCD 暗訊號的不均勻性，而對每個像元的暗訊號進行修正。CCD 暗訊號隨積分時間長短而變化，變化積分時間量測以取得不同積分時間的暗訊號。量測結果顯示 VCDi 系統暗訊號不隨積分時間而變，可以當作一個定值，如此簡化了輻射度修正的程式。

響應線性度：利用校正後的光源 (積分球) 產生均勻場 (flat field)，調整輻射強度進行取像，量測取得每一個像元在各輻射度的讀值，建立每個像元的輻射度修正轉換關係式。利用這些關係式對取得影像進行輻射度修正，VCDi 每一個像元的讀數與輻射度可以用線性關係來表示：

$$L = A_{i,j}X_{i,j} + B_{i,j} \quad (1)$$

其中， L 為輻射度， $X_{i,j}$ 為像元讀值，以像元 (0,0) 為例，其輻射度線性度量測結果為 $A_{0,0} = 0.0046$ ， $B_{0,0} = 0.011$ ，非線性度為 1.50%。

響應均勻性：利用校正後的光源 (積分球) 產生均勻場，取均勻場下的六個代表性相對響應曲線 (line profiles)，顯示系統相對響應趨勢。由於響應不均勻，每個像元有自己的 $A_{i,j}$ 與 $B_{i,j}$ ，量測時建立所有像元的關係式，利用這個關係式可以求出每一個讀值代表的輻射度大小，並進行讀值修正。

經由這些關係式建立影像輻射度轉換程式，對於每幅取得影像進行輻射修正。經過輻射校正後的儀器，其修正後影像輻射度相對誤差小於 1%，取得影像的殘存輻射度誤差可由影像處理加以消除。

訊噪比：訊噪比的量測方式是在均勻場下連續取 100 讀數，各個像元讀值平均值為 $Y(i,j)$ ，讀值標準差為 $\sigma(i,j)$ 。讀值平均值除以讀值標準差即為像元訊噪比。實際取得影像可利用此關係式定出影像訊噪比。

利用上述量測結果進行影像輻射度修正轉換，圖 11 為修正前與修正後均勻場影像。運用此轉換式可將實際機載測試取得影像進行修正。圖 12 為修正前與修正後機載測試取得影像。

② 幾何參數量測⁽⁸⁾

幾何參數量測目的為確定調焦後之像主點位置及量測鏡頭影像扭曲 (distortion) 參數，作為建立影像處理鏡頭扭曲修正轉換的參數。像扭曲量測於大口徑 MTF 量測設備上進行，實驗配置同圖 7 所示。

VCDi 取像系統調整以鏡筒與儀器板的接觸面為基準面，將鏡筒與儀器板接觸面調整至與準直光束光軸垂直。量測成像位置，此點即為入射場角為零時的成像位置。量測不同入射場角的成像位置，並與其預期位置比較，其差值即為影像扭曲參數量，入射場角轉動精度為 2"。圖 13 為量測結果。

用偶次多項式去最適化像扭曲量測結果，其對稱中心即為像主點所在位置。VCDi-B2 的像主點所在位置為 (927,1095)。焦長、像主點位置與像扭曲稱為取像系統內方位參數。利用這些參數建立影像幾何轉換式，以進行影像幾何修正。



圖 11. 修正前與修正後均勻場影像。



圖 12.
修正前與修正後機載測
試影像，圈圈內可看見
地面反射板及十字標。

(2) 野外測試

① 反射板—輻射度量測

進行機載測試時，於地面鋪設地面反射板，此地面反射板分為黑色與白色二區塊，各為 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ (見圖 14)。取像同時於地面進行反射板輻射度量測，並與實際影像讀值進行比對。

② 十字標靶—幾何測試

根據系統地面解析力，製作地面十字標靶 (見圖 14)，於測試區共設置了二十三個標靶，這些標靶位置事前先經過 GPS 測量。透過分析各標靶成像位置，可以回推取像系統的姿態參數 (外方位參數)，以便進行進一步影像正射化與影像套疊等處理。

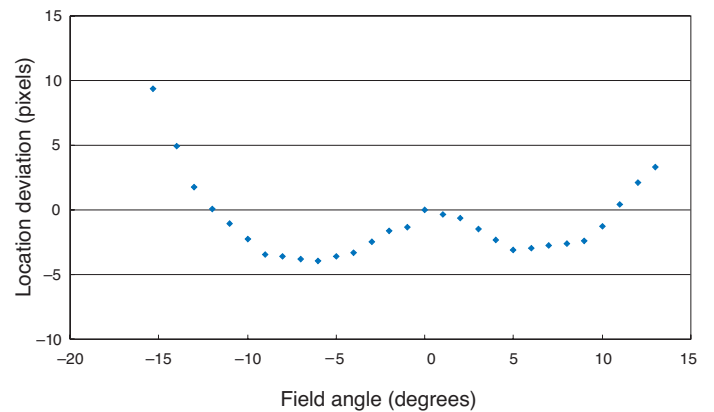


圖 13. 徑向像扭曲量測實驗結果。



圖 14.
地面反射板與地面輻射
度量測與地面十字標
靶。

四、機載測試

VCDi 機載測試⁽⁹⁾ 分成兩階段來進行。第一階段於九十一年四月以 VCDi-B2 進行飛航測試，目的為瞭解航測取像流程、量取機艙參數 (三軸振動頻譜、溫度、防霧情形)、測試鏡頭性能 (MTF、幾何扭曲、取像軟體功能、光機穩定性)、測試機械介面穩定性、測試影像處理軟體功能、測試影像修正及處理能力。第二階段於九十二年三月以 VCDi 四波段鏡頭進行飛航測試，目的為：(1) 測試全模組鏡頭性能，如像幾何扭曲、取像控制軟體功能及鏡頭光機穩定性，(2) 測試取像控制電腦資料儲存能力，(3) 測試光輻射度修正及幾何參數修正結果，(4) 測試波段影像套疊能力，(5) 測試影像最後影像正射化結果。

1. 第一階段機載測試

為瞭解 VCDi 之光機組裝品質穩定性，安排於九十一年四月利用農委會林務局農航所之航照專用機進行 B2 波段實際機載取像測試，以瞭解飛航遙測取像流程，選定測試區域為台中市軍功寮重劃區。航高為二公里，地面解析度 50 公分。

在此之前進行取像控制程式、機載機械介面、儀器架、地面取像測試、地面佈標、GPS 量測、航道規劃及影像處理程式等事前作業，最後進行取像測試，取得之影像進行光輻射度修正 (幾何修正

因故未及進行) 後送至影像處理。VCDi-B2 飛航測試結果⁽¹⁰⁾ 如表 4。

2. 第二階段機載測試

第二階段機載測試於九十二年三月進行，選定測試區域除原先台中軍功寮重劃區外，另選定中興新村、台中測區、東勢、日月潭、集集地區影像，計飛行 16 航道，取得約 250 幅影像。機載前置作業與第一階段相同，VCDi 四波段機載取像測試結果⁽¹¹⁾ 如表 5 所示。

五、影像成果

1. 影像套合

VCDi 四波段拍攝影像如圖 15 所示。取得之影像經過輻射度校正及幾何修正即可進行影像套合。一般套合的影像有二種，一為將 B1、B2、B3 影像分別套上藍色、綠色、紅色，得出 RGB 彩色影像，另一為將 B2、B3、B4 影像分別套上藍色、綠色、紅色，得出 CIR (color infrared) 影像。圖 16 左邊為中台禪寺彩色影像，右邊為 CIR 假色影像。

2. 遙測影像判識

由 CIR 影像可清楚看出屬於植物的部分，此乃因植物在近紅外波段 (即 B4 波段) 有很強的反

表 4.
VCDi-B2 飛航測試結果。

	目的	達成情形
1	瞭解航測取像流程	Ok
2	量取機艙參數	
	機艙溫度	Ok, 24-25 度
	振動頻譜	Ok
	防霧情形	Ok, 未曾發生鏡頭起霧情形。
3	測試 B2 鏡頭性能	
	影像 MTF	計算之影像 MTF 為 0.15, 符合規格
	像幾何扭曲	
	取像控制軟體功能	Ok
4	鏡頭光機穩定性	Ok
	測試機載機介面穩定性	Ok, 振動總量小, 介面穩定性足夠應用於機載遙測。
5	測試影像處理軟體功能	本中心目前建立之影像處理能力僅止於四波段單幅影像處理, 未及於航道間像幅及航道與航道間套合。

	目的	達成情形
1	測試全模組鏡頭性能	
	像幾何扭曲	Ok
	取像控制軟體功能	Ok
	鏡頭光機穩定性	Ok
2	測試取像控制電腦資料儲存能力	四波段 1.6 Mbytes 影像平均花費約 1 秒鐘儲存，符合所需
3	測試光輻射度修正及幾何參數修正結果	利用自行撰寫程式平均修正一幅影像 (四個波段) 約花費 5 分鐘。
4	測試波段影像套疊能力	利用 ENVI 程式及 IDL 語言，波段影像套疊可以批次方式進行，平均套疊一張影像約花費 0.5 分鐘。
5	測試影像最後影像正射化結果	由標區正射化影像及控制點 GPS 資料求得 VCDi 之幾何精度 rms 值為 0.56 pixels

表 5.
VCDi 四波段機載取像
測試結果

射。植物在 B2 及 B4 有較強的反射率，故彩色影像及 CIR 影像可清楚地分辨出植物的分布情形；而在彩色影像中較難以綠色深淺分辨出植物的生長情形，CIR 影像則可以看出植物在近紅外波段的輻射度有所不同，可依此判定植物生長好壞。而裸露的表土由於反射率不高，在圖 15 中顯露無遺。

3. 國土變遷

VCDi-B2 分別於九十一年四月及九十二年三月拍攝台中市軍功寮重劃區，此區域為都市重劃區，比較第一階段及第二階段拍攝影像，可清楚地分辨出該區域的變化，圖 17 左邊為第一階段拍攝影像，右邊為第二階段拍攝影像，紅色框線為有變化的區域。

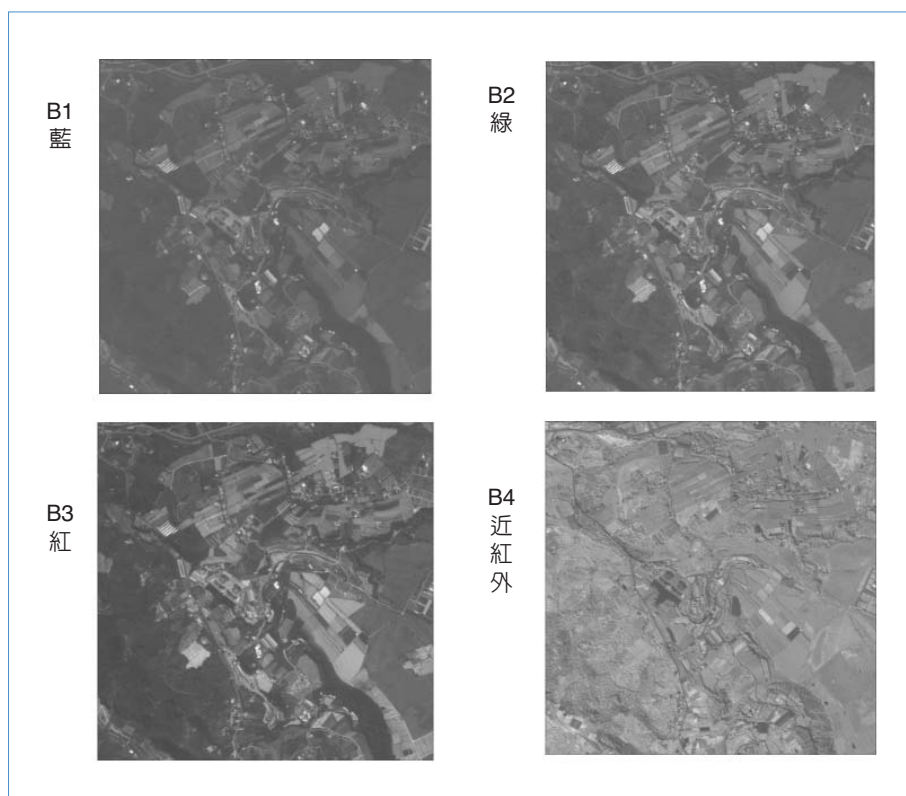


圖 15.
VCDi 攝得中台禪寺四波段影像。



圖 16.
中台禪寺彩色影像及
CIR 影像。



圖 17.
VCDi-B2 拍
攝同一地區
前後期影
像。

六、結語

精儀中心累積多年光、機、電及儀器整合技術，制定 VCDi 計畫，歷經三年成功地開發完成國內第一套機載多光譜數位遙測系統。經過 VCDi 的研發過程及實際機載取像測試，已驗證國人自行設計及組裝機載遙測儀器的能力。將來自製儀器功能亦可變更或再強化，例如更換濾光片即可觀測海藻分布、洋面與河流湖泊污染或其他應用。VCDi 研發的成功說明精儀中心已建構國內遙測技術中所欠缺的儀器研製的環節，使儀器技術在國內生根。

誌謝

感謝精儀中心光學、機械工廠及真空技術研究室在鏡片製造、機械加工與鏡片抗反射鍍膜上的協助，亦感謝農委會林務局農林航空測量所及交通部民用航空局航空隊支援航測專用飛機進行取像測試，使本計畫得以完成植被調查及國土變遷監測之目標。

參考文獻

1. Remote Sensing Lab, VCDi SCR Report (2001).

2. Remote Sensing Lab, VCDi PDR Report (2001).
3. Remote Sensing Lab, VCDi CDR Report (2001).
4. Ting-Ming Huang, VCDi B2 光機組裝報告 (2002).
5. Hui-Jean Kuo, VCDi 四波段鏡頭光學品質量測 (2003).
6. Fang-Hsuan Su, VCDi 取像控制程式 (2003).
7. Ho-Lin Tsay, VCDi 四波段光輻射度參數量測及影像光輻射度修正 (2003).
8. Ho-Lin Tsay, VCDi 四波段幾何修正量測及影像幾何修正 (2003).
9. 委託農委會林務局農林航空測量所與交通部民航局航空隊支援光電影像儀飛航測試合作計畫書 (2002).
10. Remote Sensing Lab, VCDi B2 波段模組機載測試及檢討報告 (2002).
11. Remote Sensing Lab, VCDi 四波段機載取像測試 (2003).

-
- 郭慧君小姐為國立中央大學天文碩士，現任國科會精密儀器發展中心助理研究員。
 - 黃鼎名先生為國立成功大學航空太空工程博士，現任國科會精密儀器發展中心研究員。
 - 蔡和霖先生為國立中山大學電機工程博士，現任國科會精密儀器發展中心副研究員。
 - 陳至堅先生為國立交通大學機械工程博士，現任國科會精密儀器發展中心副研究員。

- 蘇方旋先生為中華大學電機工程碩士，現任國科會精密儀器發展中心助理研究員。
- Hui-Jean Kuo received her M.S. in astronomy from National Central University. She is currently an assistant researcher at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
- Ting-Ming Huang received his Ph.D. in aeronaut and astronautics from National Cheng Kung University. He is currently a researcher at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
- Ho-Lin Tsay received his Ph.D. in electrical engineering from National Sun Yat-Sen University. He is currently an associate researcher at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
- Jyh-Jian Chen received his Ph.D. in mechanical engineering from National Chiao-Tung University. He is currently an associate researcher at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
- Fang-Hsuan Su received his M.S. in electrical engineering from Chung-Hua University. He is currently an assistant researcher at Precision Instrument Development Center, National Science Council.