

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫七：利用雷達干涉法對赤道異常區散塊 E 層電子密度 不規則體之觀測及研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2111-M-034-003-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

執行單位：中國文化大學物理學系

計畫主持人：王建亞

計畫參與人員：溫健揚 黃絮詠

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

利用雷達干涉法對赤道異常區散塊 E 層 電子密度不規則體之觀測及研究

Radar interferometry observation and study of sporadic E irregularities in the equatorial anomaly crest zone

計畫編號：NSC 92 - 2111 - M - 034 - 003

執行期限：92 年 8 月 1 日 至 93 年 7 月 31 日

主持人：王 建 亞 中國文化大學物理系

計畫參與人員：溫健揚 中國文化大學物理系

黃絮詠 中國文化大學物理系

一、中英文摘要

本計畫首先統計兩年間(1993~1995)所有 Es 回波時間特性，從 17:00~06:00 除 4~5 時外，都可能有散塊 E 層(Es)回波出現，其中又以 21~24 時最可能發生，回波接收範圍從 123~156 公里都有可能，主要集中在 130~145 公里；另外分析 1997 年所有雷達干涉法重建回波三度空間結構，將回波分成四種形狀分別為：層狀、團狀、混合狀及鬆散狀結構，統計顯示團狀結構出現機率最大(48%)其次為混合結構(30%)、層狀結構為(14%)鬆散狀形態最小

(6.2%)，對照其頻譜特徵則層狀結構的頻寬，主要為窄頻寬的頻譜(3~60 m/s，占層狀結構中的比率為 70%)，團狀結構的頻寬則大約都在 10~170 m/s 之間。此外以雷達干涉法重建 Es 回波三度空間位置結合回波特徵的方式，可以更清楚的展現中壠地區電離層散塊 E 層電子密度不規則體，在通過回波區時回波功率、都卜勒速度及頻譜寬的多變化性，報告中將討論層狀與團狀兩類不規則體在回波區內靠近與遠離的特徵變化情形。

關鍵詞：中壠特高頻雷、散塊 E 層、雷達干涉法、電子密度不規則體、都卜勒速度

Abstract

In this report we used the data compiled during 1993~1995 to study statically the echo morphology of Chung-Li VHF radar probing

ionospheric electron density irregularities in the sporadic E layer. Statistics shows that the diurnal distribution of backscatter occurred from 5 PM to 6 AM except 4~5AM, and the most probable from 21~24 PM. The echo ranges were from 123 to 156 km and dominantly from 130 to 145 km. Interferometry investigations of backscatter from sporadic E in all the observing data of 1997, we classify the backscatter in four different configuration shapes, there are layer、blob、mixed and loose cluster, respectively. Statistics shows that the occurrence probabilities are blob (48%)、mixed (30%)、layer (14%) and loose cluster (6.2%). In contrast the spectral morphology with these configuration shapes indicate the narrow spectral width within 3~60 m/s is the major of layer shape, whereas the shape of blob is taking values mostly in the range from 10 to 170 m/s. The combination of interferometry three dimensional spatial structure with moment properties, that is echo power, mean Doppler velocity and spectral width, show the variable properties of field-aligned irregularities in passing the echo region of Chung-Li radar. Two examples of irregularities with layer and blob shapes moved approach and away from the boresight of the beam will be discussed in this report.

Keywords: Chung-Li VHF radar、sporadic E field-aligned irregularities、Doppler velocity

二、前言與研究目的

中壢雷達已經累積將近有十年散塊 E 層回波資料，並且發展出一套可以精確反推回波三度空間位置的雷達干涉法。本計畫是一系列有關中壢特高頻雷達利用干涉法技術，研究電離層赤道異常頂峰區散塊 E 層電子密度不規則體三維結構，以及探討不規則體在回波區移行與回波頻譜特徵之關連性。計畫的第一年將統計過去所蒐集到的場列不規則體回波特徵，包括干涉法重建之回波形態與頻譜寬及都卜勒速度間的統計，回波功率、都卜勒速度及頻譜寬，結合雷達干涉法的空間定位，以三度空間位置結合回波特徵的方式，探討中壢地區電離層散塊 E 層電子密度不規則體的空間結構。

三、研究方法

資料處理的流程將原始觀測資料解碼後的複數資料做 128 點的快速傅利葉轉換，再求得實部與虛部的平方和也就是接收功率，以 100 次的非同相積分得到功率頻譜圖 (power spectrum)，如此可得各陣列各自的頻譜，將做完快速傅利葉轉換後，所得每層 100 個頻譜，分別求得各頻譜的接收功率；另外再對強回波出現時段的資料作互相關頻譜分析，為了得到目標物較細部的特性，這裏做 25 次的非同相積分，也就是一個資料檔案又可分成四個時間序列段，每一段時間為 12.8 秒，可得三組接收機所接收到資料的互相關頻譜 (Cross-spectrum) (分別為陣列 1-2、2-3 及 1-3 之間的互相關頻譜)，再由互相關頻譜可得到相關值 (Coherence)、相位差 (Phase)。接下來的分析分成兩個部分，第一個部分是干涉法的定位技術，將三組互相關頻譜中峰值大於 0.6 以上頻譜所對應的平均相位分別求得，計算目標點位置的仰角及方位角，再求得真正回波高度、離軸東西方向水平位置、及投影在水平面的南北向距離；第二個部分是由三個陣列各自的頻譜中，選取其中訊號—雜訊比較大的陣列所得到的頻譜，利用 moment method 求得第零動差 m_0 、第一動差 m_1 以及第二動差 m_2 ，第零動差即為功率，平均

都卜勒速度則為第一動差除以第零動差 m_1/m_0 ，頻寬則為 $(2 \times \sqrt{(m_2/m_0) - (m_1/m_0)^2})$ ，再找出三度空間投影平面上每一點所對應的都卜勒速度、頻寬以及功率的值，分別依值由小到大以顏色 (藍、青、綠、紫、黃、紅、黑) 標示在各互相垂直的投影平面上。

四、結果與討論

首先統計 1993~1995 年之間所有 Es 回波時間特性，從 17:00~06:00 除 4~5 時外，都可能有 Es 回波出現，又以 21~24 時之間最可能發生 (如圖 1)。圖 2 為回波距離的統計，回波接收範圍從 123~156 公里都有可能，主要集中在 130~145 之間。根據 IGRF200 模型中壢雷達在高度 105 公里的天線正面與地磁場正交的高度角約 51.5° ，如果 Es 回波都來自天線正面主軸的方向，以此推算回波接收範圍則相對高度為 96.7~122 公里 (主要集中在 101.7~113.5 公里)，平均為 107.5 與一般認為 Es 主要集中在 105 ~ 110 公里大致符合。但若分析波束與地磁場正交的範圍就能了解上述討論是不正確的，Es 散塊可能散佈在一個厚度不是很大水平範圍，來自較大高度角的回波為較近距離，在回波功率等值圖上會出現在下方，反之來自較小高度角的回波就出現在回波功率等值圖的上方。對於高度 100~125 公里以中壢雷達而言，回波都來自波束與地磁場正交的高度角 (49° ~ 52°) 範圍。另外，統計 1997 年所有資料以雷達干涉法重建三度空間結構，並將回波分成四種形狀結構分別為：層狀、團狀、混合狀及鬆散狀結構，並且以人工比對方式估計個別所對應之頻寬與都卜勒頻移，結果發現四類形狀結構都具有相同的頻寬與都卜勒頻移分佈範圍，因此在各類別內又依照四個頻率範圍區間按出現佔全部有效統計之百分比率，以及每個類別出現的機率定為 1，以出現不同頻率區間佔各類別之百分比率，分別以直方條表示比率統計，圖 3 為統計四個類別，每個類別再分為四個不同區間的出現頻寬佔所有統計回波的百分比 (由左至右四種顏色代表不同區間的頻寬，(以下圖 4~6 顏色代表意義

相同)，圖 3 顯示團狀結構出現機率最大 (48%) 其次為混合結構 (30%)、層狀結構為 (14%) 鬆散狀形態最小 (6.2%)，圖 4 則為四種類別以及四個不同區間的出現頻寬占該類別回波的百分比，層狀結構的頻寬則主要為窄頻寬的頻譜 (1~20 Hz 或 3~60m/s)，比率為 70%)，但也少數機會的層狀結構具有大頻寬 (大於 60 Hz，比率為 1.5%)；團狀結構的頻寬則大約都在 3~60 Hz (10~170 m/s) 之間少數則具有大頻寬 (60~160 Hz)；混合結構的頻寬則以 0~20 Hz 的機會較大。圖 5 為統計四個類別以及四個不同區間的都卜勒頻移占有出現回波的百分比 (由左至右四種顏色)，顯示團狀結構出現機率最大 (47%) 其次為混合結構 (31.5%)、層狀結構為 (13%) 鬆散狀形態最小 (7.4%)，圖 6 則為四個類別以及四個不同區間的都卜勒頻移占該類別出現回波的百分比，層狀結構的都卜勒頻移則主要集中在 0~30 Hz，比率為 80%，另外 19% 比率則為 1~10 Hz 的低都卜勒頻移回波，但也有非常少的層狀回波的都卜勒頻移大於 30 Hz，比率為 0.5%；團狀結構的頻寬則大約都在 1~30 Hz 之間少數則具有大頻寬 (30Hz 以上)，混合結構的都卜勒頻移則主要介於 10~20 Hz (特別要提的是統計時都卜勒頻移都取絕對值)。圖 7 則為四類形狀結構的平均頻寬與平均都卜勒頻移量的統計圖，長條圖的藍色(左邊)表示平均頻寬，棕色(右邊)表示平均都卜勒頻移量，平均頻則以寬鬆散形及層狀回波較小 (約 25Hz) 團狀次小 (平均 35Hz) 而混合形最大 (平均 55Hz)；至於平均都卜勒頻移量則以層狀回波較大 (約 30Hz)，其他三種的平均則大約相同 (15~20Hz)。按照這個平均結果大至可知平均頻寬依層狀、團狀與混合回波的類別逐漸變大，而平均都卜勒頻移量除層狀稍大外其餘則不可區分。

此外，以三度空間位置結合回波特徵的方式，探討中壠地區電離層散塊 E 層電子密度不規則體的空間結構，可以更清楚的展現中壠地區電離層散塊 E 層電子密度不規則體通過回波區時回波功率、都卜勒速度及頻譜寬的多變化性。圖 8 為 1997 年 8 月 7 日 22:00-22:01 的一個回波例子，最上橫

列為高度-南北平面上的投影 (高度角平面)，中間橫列為高度-東西平面上的投影 (方位角平面)，最下列則為南北-東西平面上的投影 (水平面)，左直行標示的為功率單位為 dB (藉由散射回波理論可知回波功率的大小和距離的平方呈反比，因此在這裏已做距離校正，即 $P \times R^2$ ，也就是 dB 相加)，而中間直行標示為平均都卜勒速度單位為 m/s，右方直行標示的則為頻寬單位為 m/s，另外左邊功率及右邊頻寬標示的都是相對的大小，由最小到最大的代表顏色依序為 (藍、青、綠、紫、黃、紅、黑)，我們可以明顯地看到不規則體在三度空間結構分佈特性是呈層狀分佈的，且由左上、左中兩圖可以很清楚的看出回波功率和垂直高度呈正比，而在水平投影面上不規則體則是隨南北距離由小到大分佈，這表示回波功率大小的分佈在這段時間中越靠近雷達天線功率越小，越遠離則功率越大。且由右上、右中兩圖可以很清楚的看出回波頻寬，和垂直高度呈反比，也就是高度越低頻寬越寬，高度越高回波頻寬也越窄，而在水平投影面上不規則體則是隨南北距離由寬到窄分佈，這表示頻寬大小的分佈在這段時間中越靠近雷達天線頻寬越寬，越遠離則頻寬越窄。再和左邊直行標示功率的部分做比較，我們可以看出來在這段時間內功率和頻寬呈負相關。圖 9 則為 1997 年 1 月 24 日 20:45-20:49 連續約四分鐘的空間位置結合回波特徵的表示，只以方位角平面(高度-東西)上的投影為代表，可見層狀結構在進入雷達回波區後自西向東移動的變化，三個水平橫列由上至下的顏色分別代表回波功率、都卜勒頻移與頻寬的變化，其大小順序與圖 8 相同，最上列表示不規則體的回波功率在自西向東移行的過程逐漸降低，中間列的都卜勒速度則在前三個時間序列稍微增加但在最後一個時間變小，下列頻寬的變化則與回波功率類似即向東移行的過程逐漸降低。圖 10 則為同天 20:51-20:55 一團狀結構在進入雷達回波區後，自東向西移動連續四分鐘在方位角平面的變化，其大小順序、顏色也與圖 9 相同，最上列表示不規則體的回波功率在自東向西移行的過程先升高再逐漸降低，中間列的都卜勒速度

則明顯的隨時間序列增加，下列表示團狀結構在前三個時間頻寬逐漸變小，但是最底層約 105 公里高度卻一直存在沒有明顯移動頻譜較寬的層狀結構。

五、計畫成果自評

本計畫採用 1993-1995 年間全部 37 天，與 1997 年間全部 36 天中壢雷達對電離層的觀測資料，統計中壢地區散塊 E 不規則體的形態特徵，結果顯示散塊 Es 為夜間現象，從日落到日出間都可能出現，但以午夜前機率較高；回波範圍可以確定為在波束與地磁場正交的區域。回波資料經雷達干涉技術處理之後判別其回波形狀結構，再分析都卜勒速度、頻寬與回波形狀結構的關係。本計畫執行結果顯示約有七成比率為團狀與混合形回波（頻寬 10~170 m/s，都卜勒速度 0~90 m/s），只有約一成比率為層狀回波，而且四個類別形狀的回波都分可能具有相同的頻寬與都卜勒速度，另外層狀回波中有七成為窄頻寬與低都卜勒速度的回波，除此之外特別注意的是層狀與團狀都有很小的百分比率具有大頻寬與大都卜勒速度。比較 Haldoupis and Schlegel [1996] 對 SESCAT 在 1993 年 4 月到 1994 年底密集觀測，統計都卜勒速度大約都小於 100 m/s，而頻普寬則介於 50~150 m/s 的結果，兩個雷達統計的結果大至吻合，少數的差異可能是因為中壢雷達的波束東西向較寬南北向很窄的扇形而 SESCAT 則東西向窄南北向寬的不同所造成。

本計畫完成預定第一年之進度及執行成效。

六、參考文獻

1. Haldoupis C, and K. Schlegel, Characteristics of midlatitude coherent backscatter from the ionospheric E region obtained with sporadic E scatter experiment, *J. Geophys. Res.*, Vol.101, 13,387-13,397, 1996.
2. Haldoupis C., A.Bourdillon, J.Delloue, and G. Hussey, Wavelength dependence of Doppler spectrum broadening in midlatitude E region coherent backscatter, *J. Geophys. Res.*, 103, 11,605 -11,615,

1998.

3. Wang, C.Y. and Y.H.Chu, Investigations of Blob-like Sporadic E Plasma Irregularities Using the Chung-Li VHF Radar, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 63, 123-133, 2001
4. Chu, Y.H., and C.Y.Wang, Three-dimensional spatial structures of mid-latitude type 1 Es irregularities, *J. Geophys. Res.*, 107(A8), 1182, doi: 10.1029/2001JA000215, 2002.

七、圖表

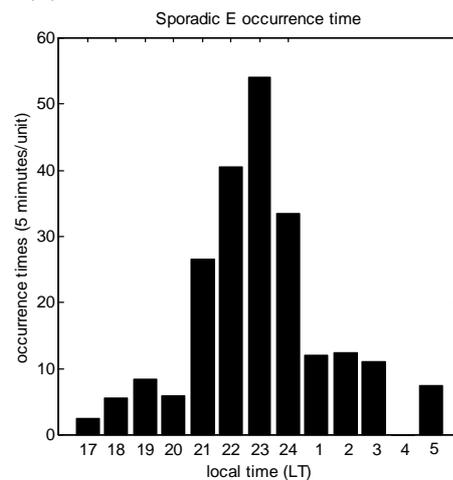


圖 1：統計 1993~1995 年之間所有 Es 回波時間特性，從 17:00~06:00 除 4~5 時外，都可能有 Es 回波出現，又以 21~24 時之間最可能發生。

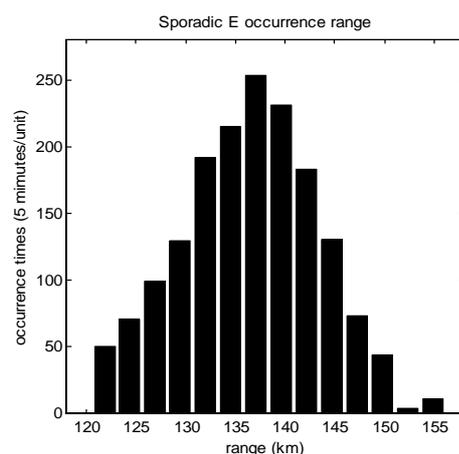


圖 2：回波距離的統計，回波接收範圍從 123~156 公里都有可能，主要集中在 130~145 之間。

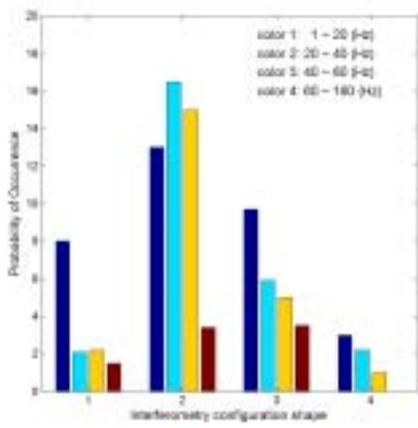


圖 3: 四個類別頻寬對全部有效資料的統計圖，每個類別再分為四個不同區間的出現頻寬占所有統計回波的百分比（由左至右四種顏色代表不同區間的頻寬）。

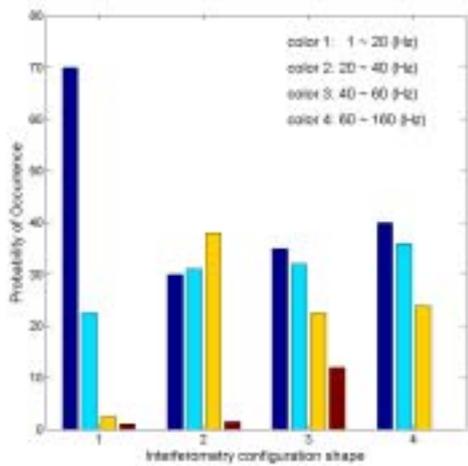


圖 4: 四個類別頻寬占該類別回波的百分比統計圖。

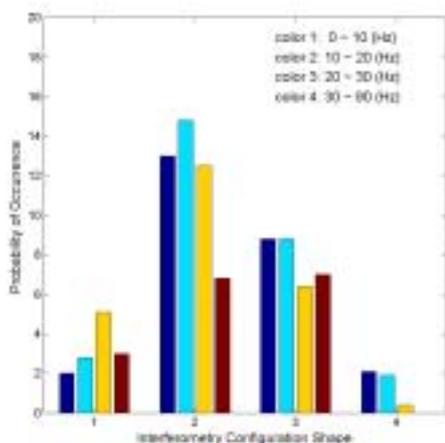


圖 5: 四個類別都卜勒頻移對全部有效資料的統計圖。

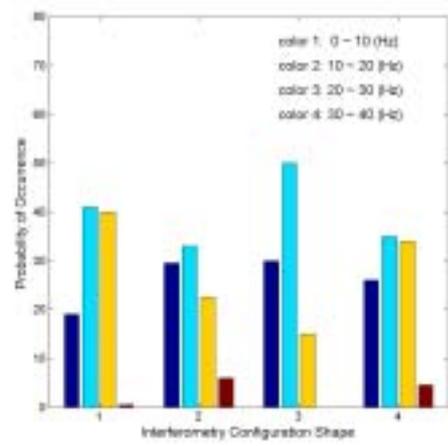


圖 6: 四個類別都卜勒頻移占該類別回波的百分比統計圖。

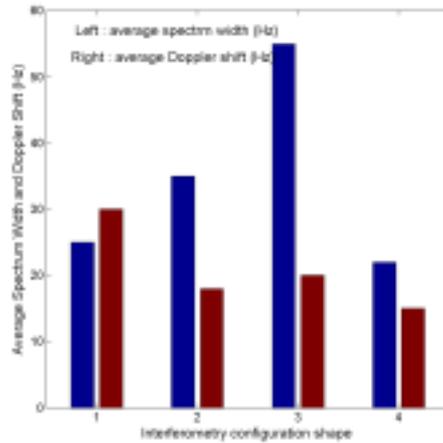


圖 7: 四類形狀結構的平均頻寬與平均都卜勒頻移量的統計圖，長條圖的藍色(左邊)表示平均頻寬，棕色(右邊)表示平均都卜勒頻移量。

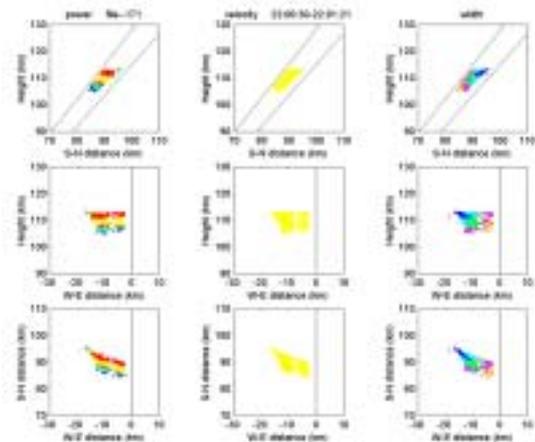


圖 8: 橫列由上至下分別為高度-南北平面、高度-東西平面及南北-東西平面上的投影，由最小到最大的代表顏色依序為(藍、青、綠、紫、黃、紅、黑)，左直行標示的為功率單位為 dB，而中間直行標示為平均都卜勒速度單位為 m/s，右方直行標示的則為頻寬單位為 m/s。

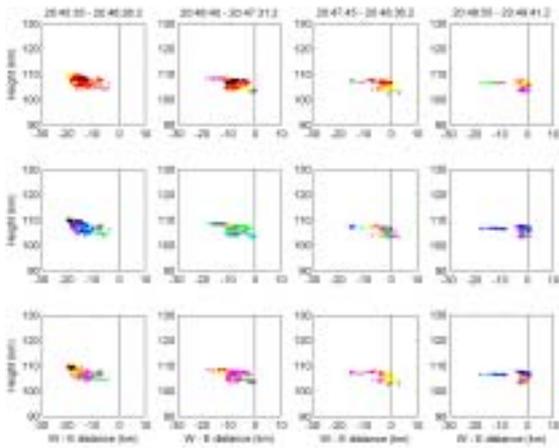


圖 9：1997 年 1 月 24 日 20:45-20:49 連續約四分鐘的空間位置結合回波特徵的表示，只以方位角平面(高度-東西)上的投影為代表，可見層狀結構在進入雷達回波區後自西向東移動的變化，三個水平列由上至下的顏色分別代表回波功率、都卜勒頻移與頻寬的變化，其大小順序與圖 8 相同。

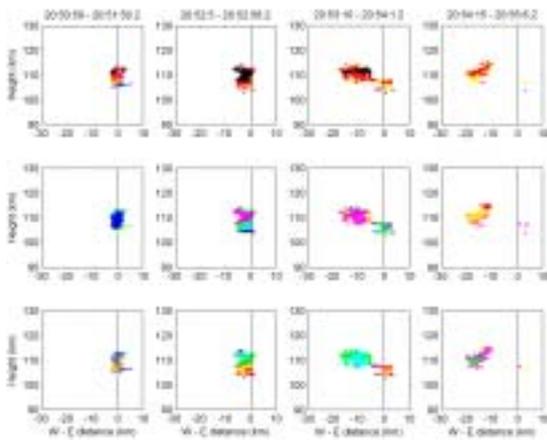


圖 10：1997 年 1 月 24 日 20:51-20:55 團狀結構在進入雷達回波區後，自東向西移動連續四分鐘在方位角平面的變化，其大小順序、顏色都與圖 9 相同

利用雷達干涉法對赤道異常區散塊 E 層
電子密度不規則體之觀測及研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號： NSC 92 - 2111 - M - 034 - 003

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人： 王建亞 中國文化大學物理系
計畫參與人員：溫健楊 中國文化大學物理系
黃絮詠 中國文化大學物理系

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中國文化大學物理系

中華民國 93 年 10 月 28 日