

台中港商、漁港分道行駛可行性研究

---- 台中港海域遙測資料分析

委託單位：台灣省政府交通處台中港務局
承辦單位：台灣省政府交通處港灣技術研究所

中 華 民 國 八 十 五 年 六 月

目 錄

目 錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
摘 要.....	VII
一、前言.....	1
二、計畫目的.....	2
三、工作項目與實施方法.....	3
四、衛星數位影像資料.....	6
4.1 遙測衛星概論.....	6
4.2 衛星影像特性及其應用.....	10
4.3 衛星影像蒐集.....	29
五、台中港相關資料說明與分析.....	48
5.1 台中港背景.....	48
5.2 河川水文.....	48
5.3 氣象.....	52
5.4 潮汐.....	67
5.5 波浪.....	70
5.6 海流.....	70
5.7 漂沙.....	73
六、波浪分析.....	75
6.1 SAR波浪影像前置處理.....	75
6.2 空間傅氏轉換.....	76
6.3 波數能譜.....	77
6.4 實例分析.....	78
七、流況分析.....	94
7.1 流況遙測方法.....	94
7.2 實例分析.....	95

八、漂沙監測.....	104
8.1 漂沙遙感監測方法.....	104
8.2 實例分析.....	105
九、台中港港灣佈置影像圖幅製作.....	109
十、結論.....	111
參考文獻.....	115

表目錄

表 1	陸地資源衛星與SPOT衛星載台及感測器特性.....	13
表 2	陸地衛星影像之立體檢視幾何資料.....	14
表 3	ERS-1感測器量測參數及操作特性表.....	29
表 4	台中港海域航照及衛星影像資料蒐集一覽表.....	30
表 5	台中港鄰近主要河川特性與水文特性.....	50
表 6	大甲河流域平均逕流量月分配（民國38—68年）.....	50
表 7	大肚溪1971~1980年十年間每月總流量與平均流量.....	51
表 8	台中港每月平均風速統計表.....	53
表 9	台中港特定區風速紀錄表.....	65
表10	台中港特定區風向月平均百分率.....	66
表11	民國38年至民國81年颱風侵台各月次數.....	67
表12	梧棲測站歷年風力（風向／風速）（配合影像掃描日期）.....	96
表13	台中港之潮汐資料（配合影像掃描日期）.....	97
表14	台中港海域影響海流主要因子與判釋結果.....	103
附表	Beaufort風級（湯麟武等，1988）.....	118

圖目錄

圖 1	陸地衛星運轉軌道 (資料來源: CHI-CHUNG LAU, 1992)	12
圖 2(a)	第一代陸地衛星MSS掃描地面之影像資料記錄情形 (資料來源: NASA)	15
圖 2(b)	第一代陸地衛星MSS掃描地面示意圖 (資料來源: NASA)	15
圖 3	SPOT衛星攝取地面資料情形 (資料來源: 工研院能資所, 1995)	18
圖 4	Landsat及SPOT衛星之橫向式(a)與地毯式(b)掃描情形	18
圖 5(a)	第一代陸地衛星航行軌跡圖 (相鄰掃描帶間隔二天即可涵蓋; 資料來源: NASA)	19
圖 5(b)	第二代陸地衛星航行軌跡圖	19
圖 6	LANDSAT衛星影像涵蓋台灣地區之航線與航列位置圖	23
圖 7	SPOT衛星影像涵蓋台灣地區之航線與航列位置圖	24
圖 8	ERS-1衛星航行軌道特徵	27
圖 9	ERS-1衛星及感測器配置圖	27
圖10	台中港1976/Oct./27航空照片	32
圖11	台中港Landsat MSS 1972/Nov./12影像圖幅	33
圖12	台中港Landsat MSS 1981/Nov./07影像圖幅	34
圖13	台中港Landsat MSS 1983/Dec./09影像圖幅	35
圖14	台中港Landsat MSS 1984/May/09影像圖幅	36
圖15	台中港Landsat TM 1984/Aug./22影像圖幅	37
圖16	台中港Landsat TM 1988/Nov./28影像圖幅	38
圖17	台中港Landsat TM 1994/Nov./13影像圖幅	39
圖18	台中港SPOT XS 1986/Oct./03影像圖幅 (Copyright (c) CNES)	40
圖19	台中港SPOT XS 1992/Apr./04影像圖幅 (Copyright (c) CNES)	41
圖20	台中港SPOT XS 1994/Mar./04影像圖幅 (Copyright (c) CNES)	42
圖21	台中港SPOT XS 1995/Sep./02影像圖幅 (Copyright (c) CNES)	43
圖22	台中港ERS-1 SAR 1993/Nov./18影像圖幅	44
圖23	台中港ERS-1 SAR 1994/Oct./22影像圖幅	45
圖24	台中港ERS-1 SAR 1995/Nov./23影像圖幅	46
圖25	台中港ERS-1 SAR 1995/Dec./27影像圖幅	47
圖26	台中港十七年間全年玫瑰風圖 (49.5~65.4)	53
圖27	台中港風玫瑰圖 (1984~1990)	55

圖28	台中港1984年風玫瑰圖.....	55
圖29	台中港1985風玫瑰圖.....	56
圖30	台中港1986年風玫瑰圖.....	56
圖31	台中港1987年風玫瑰圖.....	57
圖32	台中港1988年風玫瑰圖.....	57
圖33	台中港1989年風玫瑰圖.....	58
圖34	台中港1990年風玫瑰圖.....	58
圖35	台中港1月份風玫瑰圖.....	59
圖36	台中港2月份風玫瑰圖.....	59
圖37	台中港3月份風玫瑰圖.....	60
圖38	台中港4月份風玫瑰圖.....	60
圖39	台中港5月份風玫瑰圖.....	61
圖40	台中港6月份風玫瑰圖.....	61
圖41	台中港7月份風玫瑰圖.....	62
圖42	台中港8月份風玫瑰圖.....	62
圖43	台中港9月份風玫瑰圖.....	63
圖44	台中港10月份風玫瑰圖.....	63
圖45	台中港11月份風玫瑰圖.....	64
圖46	台中港12月份風玫瑰圖.....	64
圖47	侵台颱風路徑分類圖.....	68
圖48	台中港潮差統計分佈圖.....	68
圖49	台中港潮位能譜圖.....	69
圖50	台中港各月份波高與週期平均值.....	71
圖51	台中港A區海域波數能譜等值圖（1993年ERS-1 SAR影像）.....	80
圖52	台中港B區海域波數能譜等值圖（1993年ERS-1 SAR影像）.....	81
圖53	台中港C區海域波數能譜等值圖（1993年ERS-1 SAR影像）.....	82
圖54	台中港口附近波場影像（1994年3月4日SPOT P影像）.....	85
圖55	台中港A區海域波數能譜等值圖（1994年SPOT影像）.....	86
圖56	台中港B區海域波數能譜等值圖（1994年SPOT影像）.....	87
圖57	台中港C區海域波數能譜等值圖（1994年SPOT影像）.....	88
圖58	台中港口附近波場影像（1995年9月2日SPOT P影像）.....	90
圖59	台中港A區海域波數能譜等值圖（1995年SPOT影像）.....	91
圖60	台中港B區海域波數能譜等值圖（1995年SPOT影像）.....	92

圖61	台中港C區海域波數能譜等值圖（1995年SPOT影像）.....	93
圖62	台中港港口附近波場影像（1994年3月4日SPOT XS局部影像）Copyright （c） CNES	113
圖63	台中港港口附近波場影像（1995年9月2日SPOT XS局部影像）Copyright （c） CNES	114

摘 要

衛星影像攝錄了不同時間及大範圍的地表現象，是最佳的歷史紀錄。以遙測技術所長，可高效率獲取廣域海況（如波浪、海流、漂沙等）資訊，委實彌補了傳統現場觀測的不足。它從另一個空間角度去觀測海況特性分佈，眼見為憑，這也是衛星影像最真實與寶貴之處。針對台中港之港灣佈置規劃的需求，除從現場資料蒐集與分析之外，本計畫著手蒐集過去二十四年的遙測影像資料，進行數化影像資料的解讀及基本校正，然後進行波浪、流況及漂沙之時空變化及分佈分析，以獲致波浪、海流及漂沙之不同時期的空間分佈資訊；除此之外，亦蒐集近年最新一幅影像資料，製作成大尺度圖幅，除立即展現台中港港灣佈置現況之外，概窺近岸海況訊息，對日後港灣工程規劃都有其實際參考價值。

波浪分析經由ERS-1 SAR及SPOT衛星影像分析結果顯現風場主宰波場，吹東北季風時，台中港海域波向大致為北或東北，在北防沙堤與北防波堤間受北防波堤反射及近岸淺化折射作用，此區域波場波向複雜，由多向性不同波浪系統組成；但吹西風時，則波向為東西走向，在近岸處仍有淺化折射現象。波長大致在50公尺至百公尺左右。

流況分析，藉由十二幅航照及衛星影像判釋，發現台中港海域海流主要受風驅流影響，尤其是冬季東北季風最為明顯，風強流急，惟在北防波堤北側海流有沿堤向西流的現象。西南季風時期（或東北季風微弱時）海流受風驅作用不大，黑潮恆流及潮汐作用效果增大，漲潮潮流向南（或西南），退潮潮流則向北（或東北），恆流及潮流（退潮）疊加作用往往大於風驅效應，使海流流跡顯現往北（或東北）現象。

漂沙分析，如同流況分析結果，東北季風期間含沙水團大致由東北向西南漂移，風勁流強時，擾動懸沙，由大甲溪口向北防波堤擴散，最寬範圍在堤頭有時可達三、四公里。西南季風期間（或東北季風微弱），風驅作用不大，黑潮恆流與潮流合成效應，常使含沙水團由南往北帶，惟擴散範圍不大。

一、前言

近岸海域有關之資訊，諸如波浪、海流及漂沙分佈等資訊是海岸資源之開發與經營的基礎。遙測技術最大特色是可快速提供廣大區域涵蓋的資料，對於海況不佳時或不易到達的海域，取得該地區相關海洋資料，相當有利。不僅可避免海上作業的困難與危險，又可免除海洋儀器流失的風險，遙測技術在海洋上的輔助應用，具極高之安全、經濟效益。

遙測技術應用於港灣工程規劃設計，對廣域資料的取得與監測，提供便捷有效的輔助工具。傳統方法大多是點的量測，儀器的佈放、回收及維護，耗時費力，對全面性資料的取得並不經濟；遙測從事的是面的監測，以其廣域涵蓋的特性，可在短時間內得到大面積的影像資料，據以分析並判釋波浪、海流及漂沙等海域相關資訊，不僅可作為港灣規劃設計參考，對行船安全、污染物追蹤及近海資源開發與經營，都具有很好的輔助應用價值。

台中港務局委託台中港灣技術研究所進行台中港商漁分道可行性研究中，針對進出港區船隻數量與交通狀況以及法令規章進行研究規劃之外，為求周詳並顧及海氣象條件對操船安全的考量，除以傳統觀測方法蒐集海氣象資料，進行波浪、海流及漂沙監測分析外，並期對不同時期，全面海域的波場、流況以及漂沙特性作通盤了解，藉由過往二十四年豐富而珍貴的航照與衛星影像資料，進行波浪、海流及漂沙遙感探測分析，配合傳統觀測之資料，以輔助台中港商漁分道可行性研究規劃。

二、計畫目的

海況資料在港灣工程之規劃、設計、施工與營運管理上，十分重要。藉由衛星影像數值資料的分析與判釋，預期獲致：

1. 波浪方向、波長或波高
2. 海流動態
3. 含沙水團的動向及擴散範圍
4. 台中港港灣佈置衛星影像全圖

等多方面之海況資訊的空間分佈與時間變化概況，作為港灣規劃設計之輔助分析與應用參考依據。

三、工作項目與實施方法

為達成計畫目的，本計畫將分成六大工作項目：

1. 遙測資料蒐集與解讀
2. 遙測資料基本校正
3. 波浪分析
4. 流況分析
5. 漂沙監測
6. 港灣佈置衛星影像製作

今將各工作實施方法分述如下。

1. 遙測資料蒐集與解讀

為了分析台中港海域波場、海流及漂沙之時間與空間的分佈與變化情形，擬蒐集不同時間，不同性質（如可見光、微波等）的衛星影像進行分析研究。各種數位影像資料格式各有不同，因應各種分析目的，設計撰寫不同程式以解讀各種影像資料。衛星影像資料蒐集與解讀步驟如后。

λ 季節、時間研選

為了解海洋波場、海流及漂沙等，在時間上的變化及分佈範圍，選取適當不同季節、時間而好品質的影像資料進行分析，是有其必要性。

λ 資料選購

波浪、流速、漂沙等不同性質海洋現象的觀測，宜選擇適當感測器及波段的影像資料進行分析。如SPOT、Landsat TM 或 ERS-1之SAR衛星影像的選定。

λ 衛星影像解讀

不同衛星影像資料具有不同的資料格式，規劃設計程式以解讀影像，有利後續資料處理分析。

2. 遙測資料基本校正

衛星影像資料因掃描系統進行掃描時，造成影像幾何位置的偏移、扭曲等變形，均需先行校正。同時，一些前置處理（preprocessing），如對比度的增

強、雜訊濾除以及紋理的分離等處理，主要功能在改善影像，以利後續處理，增加其分析的正確與可靠度。衛星影像之基本校正的前置處理原則為：

λ 幾何校正

衛星影像幾何位置的偏移、扭曲，藉由數學模式，由地面控制點作控制，進行座標轉移及格點插分之幾何校正。

λ 雜訊及信號主趨勢的消除

應用低通濾波 (Low pass filtering) 將高頻雜訊濾除。並採用二維一階線性最小平方法消除信號變化主趨勢，增揚影像對比及紋理的分離。

3. 波浪分析

波場在衛星影像上屬於二維空間取樣，因此，使用二維離散傅氏轉換，以獲得二維波數能譜。在能譜分析中，由能譜主峰位置顯示主要波浪系統之特性，可計算得波長和波向。此外，進一步轉換成頻率能譜，若有好的率定，將可作波高推估。波浪分析技巧如下：

λ 傅氏轉換

λ 波向、波長分析

λ 波譜分析或波高推算

至於其詳細分析方法，將於以下章節詳述之。

4. 流況分析

由不同時間、季節衛星影像之海流紋理分析，藉以觀察廣域性海流流況及其時空上的變化。

5. 漂沙監測

漂沙的分佈及擴散漂移現象，可藉由衛星影像上定性分析漂沙分佈範圍與變化及受海流或潮汐作用的影響情形。

6. 港灣佈置衛星影像製作

從大比例尺衛星影像製作圖幅，對港灣（防波堤、防沙堤及碼頭等）佈置前後之波場、海流、漂沙擴散的改變，得以一目了然，可作為後續港灣規劃參考依據。影像圖幅製作除上述幾何校正為必要工作之外，依原始資料形態選擇

進行以下處理：

- λ 影像融合 (fusion)
- λ 影像增揚 (enhancement)
- λ 影像鑲嵌 (mosaic)

四、衛星數位影像資料

4.1 遙測衛星概論

1960年以前的遙測技術尚未成熟，發展遙測的目的似乎只在影像的獲取；但在1960～1970年間，遙測技術在攝影測量及軍事偵察上異軍突起，並形成了完整的技術體系。較具代表性的是美國的“雙子星座”計畫、“阿波羅”及“地球資源航空遙測”計畫等，具有特殊意義的是在六〇年代末期確定了“地球資源衛星”的總體方案、技術設計及應用目標，為全球性的遙測科學技術系統奠定了基礎。

1970～1980年間是遙測技術發展效益最快的時代，特別是1972年地球資源衛星1號（ERIS-1）發射成功，並正常運轉攝取到地表的影像；因此，1972年以後遙測已有了專用的技術系統。此一時期較具有代表性的是三顆“陸地衛星”（Landsat Satellites）及“天空實驗室”（Skylab）的發射與應用。七〇年代末期，美國還發射了“熱容量制圖”衛星（HCMM, Heat Capacity Mapping Mission Satellite）和“海洋衛星”（Seasat），並發展專題性的紅外和微波遙測試驗。

1980～1990年間之重要發展領域是微波遙測的加強、多波段遙測技術有了更進一步的發展和應用。這個時期內有美國太空梭成像雷達的試驗、陸地衛星四號、五號的商業性經營及法國SPOT（System Probatoire de l'observation de la Terre）衛星的發射運轉等。雖然美國仍代表遙測技術的最高水準，但是八〇年代群雄崛起，其領先地位已面臨挑戰。如法國SPOT衛星的發射成功，具有高地面解像力、傾斜攝像及立體觀測能力；加以強大的宣傳攻勢，引發了美國遙測界強烈震撼與反思。而美國堅持多波段、充份利用電磁波各個不同領域，並不斷追求光譜高分辨率，亦兼顧空間解像力等，故陸地衛星TM的地位尚得以鞏固，而且新一代的成像光譜技術亦在發展中。另微波遙測在1978年海洋衛星發射100天即失去其功能之後，亦重新在太空梭（Space Shuttle）上實施了SIR-A（Shuttle Imaging Radae-A），SIR-B計畫，重振了微波遙測雄風。

歐洲太空局利用了歐洲國家組織的優勢，在八〇～九〇年代之間積極推展了微波遙測技術及海洋研究為主體的歐洲遙測衛星（ERS, European Remote-sensing Satellite）系統；其功能及效用較日本的地球觀測衛星（JERS）考慮上更加週全，只可惜發射日期較預定的時間晚了兩年，至1991年7月17日才在法屬圭亞那地區，利用亞利安四號火箭發射昇空。

中國大陸在遙測的基礎上急起直追，1994年六月以前已發射了十七顆回收型國土資源衛星及試驗型之繞極氣象衛星（前十六顆均成功收回，第十七顆則失去聯絡）；並在其“七五”計畫期間著重安排高空機載遙測實用系統的研究項目，發展機載遙測技術系統，並推廣遙測的實用化，為往後的新型航空遙測發展做準備。其遙測的應用，如黃土高原和三北防護林遙測調查為代表的實際工程應用計畫。另外如飛機與衛星遙測的結合、遙測應用分析與地理資訊系統（G.I.S.）的結合應用等方面均有重大發展[2]。

1990年以後的遙測技術發展將有更新的突破；美國、蘇聯、歐洲空間局、日本、印度、以色列及加拿大等國家或聯盟組織將繼續以高空或飛機為載台，實施對地球的高效能觀測計畫；其間各個國家之各個計畫中將要發射的觀測衛星，依估計要超過20顆以上，故九〇年代的遙測發展與競爭的局面將是另一番景象。其中較值得關注的是SPOT-3號衛星已在1993年9月正式昇空，並正常攝取資料，而陸地衛星六號在1993年發射後則失去聯絡；印度的IRS-P2衛星亦在1994年冬發射成功，並且印度當局正孕釀與EOSAT合作發展解像力高於10m資料的攝像能力衛星，以放置在IRS-IC的資源衛星中[3]。另外微波遙測技術的應用亦是重點之一，由於微波遙測有其獨特優勢，即具全天候觀測能力，可對海洋表面之風、浪及對冰、雪加以觀察，並可監測土壤中的水份，所以利用微波遙測資料已大為增加（國內的衛星接收站亦可接收ERS-1之微波遙測資料）。美國除了在九〇年代執行的地球觀測系統EOS計畫中安排了近1/5的微波探測儀器外，與EOS計畫併行的尚有SIR-C、SIR-D計畫，亦完全以主動式成像雷達探測和研究為主；歐洲太空局除了在ERS-1及ERS-2衛星上發展研究微波海洋資訊外，其後續的衛星計畫（AERS）及Columbus太空站計畫中均將先進的微波遙測儀器作為重要研

究工具之一；加拿大的雷達衛星利用微波遙測研究極冰，以進行導航工作；而日本的第一顆資源衛星（JERS-1）上亦裝載了解像力為18公尺的L波段合成口徑星載雷達。故依上述之微波遙測計畫，主動式之微波遙測，如側視雷達（SLAR）、風散射儀（Wind Scatterometer）……等將與被動式遙測感測器配合；另外的數值資料（digital data）與影像式資料（Analog data）相互結合，均將使遙測技術向前大為邁進。值得一提的是以色列在1995年4月6日成功的發射了解像力1m的影像式偵察衛星，另外亦積極發展解像力2m的偵察衛星，並預計在1995年底發射。

非軍事及通訊用途的遙測衛星中，約可粗分為氣象衛星及地球資源衛星兩種；其中之氣象衛星主要用途是在氣象的觀測與大氣現象的分析，用途較具專一性；由於目的是在大面積的觀測，因此，只要有較粗的解像力即可。而資源衛星的應用範圍逐年進展，觀測範圍亦遠比氣象衛星小，在空間的辨別能力上須有較佳的識別能力，故在感測器的設計上亦有新的突破。本文中之資源衛星將針對陸地資源衛星、SPOT衛星及ERS-1衛星做一概述。

地球資源科技衛星一號（ERTS-1，後改稱陸地衛星1號，Landsat-1），自1972年7月23日發射以迄七十年代之Landsat-2、Landsat-3發射昇空，所收集的地面資源及環境需求資料，舉凡如地質、農業、林業、土壤、海洋、氣象、水資源、空氣資源品質及各相關問題的研究，已廣被利用與討論。在此之前蘇俄的Sputnik一號衛星（於1957年10月4日發射成功），以至Landsat-3，通稱為第一代觀測衛星；第一代衛星所拍攝的高空影像，在資源探測與影像判釋上有見其全貌及整體性之優點，增加了發射衛星的興趣與信心，在系統及功能稍加研究改進後，於是有了第二代衛星的運轉。第二代資源衛星（Landsat-4、Landsat-5、SPOT-1、SPOT-2）的更新，在針對第一代衛星的缺失做改進後，已有長足的進步；其應用領域及波段的設計，以至於地面解像力的提高，均增加了判釋的能力與精確性。如Landsat衛星4號及5號保留了原來MSS（Multispectral Scanner）的4個波段，另外增加了主題儀（TM, Thematic Mapper）的七個波段（解像力由原來的79公尺提昇為30公尺，第六波段為120公尺）；其中主題儀影像中第六

波段屬熱紅外光段，可偵測出地表的热異常區及溫度變化，如溫排水、海面溫度、洋流.....等，增加其實用性。而法國在1986年2月及1990年2月亦發射了SPOT衛星1號及2號，雖然只有4個波段（XS有三個波段，全色態一個波段），但其解像力在彩色部份已具有 20×20 公尺的實力，而全色態的解像力更可高達 10×10 公尺；且衛星可傾斜拍攝，視實際需要可縮減攝像取得時間，更可藉著影像的傾斜拍攝而獲得立體對（Stereoscopic Couples），大為提昇其實用價值。

第二代衛星的運轉亦有其壽終正寢之時，鑑於此，美國的Landsat-6、Landsat-7號衛星的設計觀念有所突破[4]；代表多用途、壽命長、高變通性的總星觀念（OMNISTAR）被引用在新一代的衛星中。在感測器方面除了改進原來的主題儀影像，增加了具有 $13 \times 15 \text{m}^2$ 解像力的全光段（ $0.50 \sim 0.90 \mu\text{m}$ ）影像，並增加一個具有高解像力、寬視角及高重複照像週期的新感測器；而設計中的Landsat-7號衛星上更加攜帶新的5波段熱紅外線感測器，以增加未來的應用及研究需求。另外SPOT-3及SPOT-4號衛星的設計改良亦增加了一解像力20公尺的中紅外光段（MIR, $1.54 \sim 1.75 \mu\text{m}$ ），並取消原來解像力10公尺的全光段；而多光段之第二波段（XS2, $0.61 \sim 0.68 \mu\text{m}$ ）改以10公尺採樣，其感測器光譜段與SPOT-1相同，仍具有高解像力及寬視角特性，並可能涵蓋藍光段（XS0, $0.43 \sim 0.47 \mu\text{m}$ ），增加了海洋資源調查的應用領域。

歐洲太空總署亦不落人後，在1991年7月發射了ERS-1遙測衛星，由於特殊感測器的設計，使海洋方面的遙測應用更往前邁進。ERS-1是歐洲太空總署（ESA）統合歐洲各國科技能力所設計製造的新一代遙測衛星，其上攜帶之雷達感測器，包括合成口徑雷達（SAR, Synthetic Aperture Radar），風散射儀（Wind Scatterometer）與測高儀（ALT, Altimeter）等三個主動式遙測感測器，另外尚有一個被動式遙測感測器：沿徑掃描輻射儀（ATSR, Along-Track Scanning Radiometer）及一雷達測距系統PRARE（Precise Range and Range-Rate Equipment）。雷達感測器通常是主動式（Active），能夠自行發射微波，再行接收反射訊號，即使在晚上亦可操作；而微波之波長較長，可穿透雲層，下雨時亦不受影響；因此，雷達感

測器是全天候的感測器。ERS-1衛星主要攜帶的就是數個雷達感測器，也因此開啓了太空微波遙測的新紀元。

ERS-1主要之應用領域是在佔地表十分之七的海洋環境研究，包括波浪、海面風速、海洋、環流、海面起伏、海冰狀況及全天候的海洋、極區及陸地的攝像，這些都是既存的傳統遙測衛星無法達到的；其它可獲得之參數還包括海面溫度、淺海地形及大氣中水汽含量等，對海洋遙測應用上提供了更多用途的研究與應用。

4.2 衛星影像特性及其應用

第一代觀測衛星具有的特性有三，空間解像力（Spatial resolution），時間解像力（Temporal resolution），光譜解像力（Spectral resolution）。

1. 空間解像力

第一代陸地資源衛星多光譜段（MSS）之空間解像力為 $79 \times 57\text{m}^2$ ；此係指每一像元（PIXEL, picture element）於掃描方向的解像力，在影像上一個像元所代表的面積即為 $79 \times 57\text{m}^2$ ，。故地面上任何物體投影面積若大於成像單元，即可單獨表現出來；若地物變化太大，則此像元代表的地面物體可能為混合物，在影像判釋上殊感不便，於力求精細的要件下，已有不敷使用之感。

2. 時間解像力

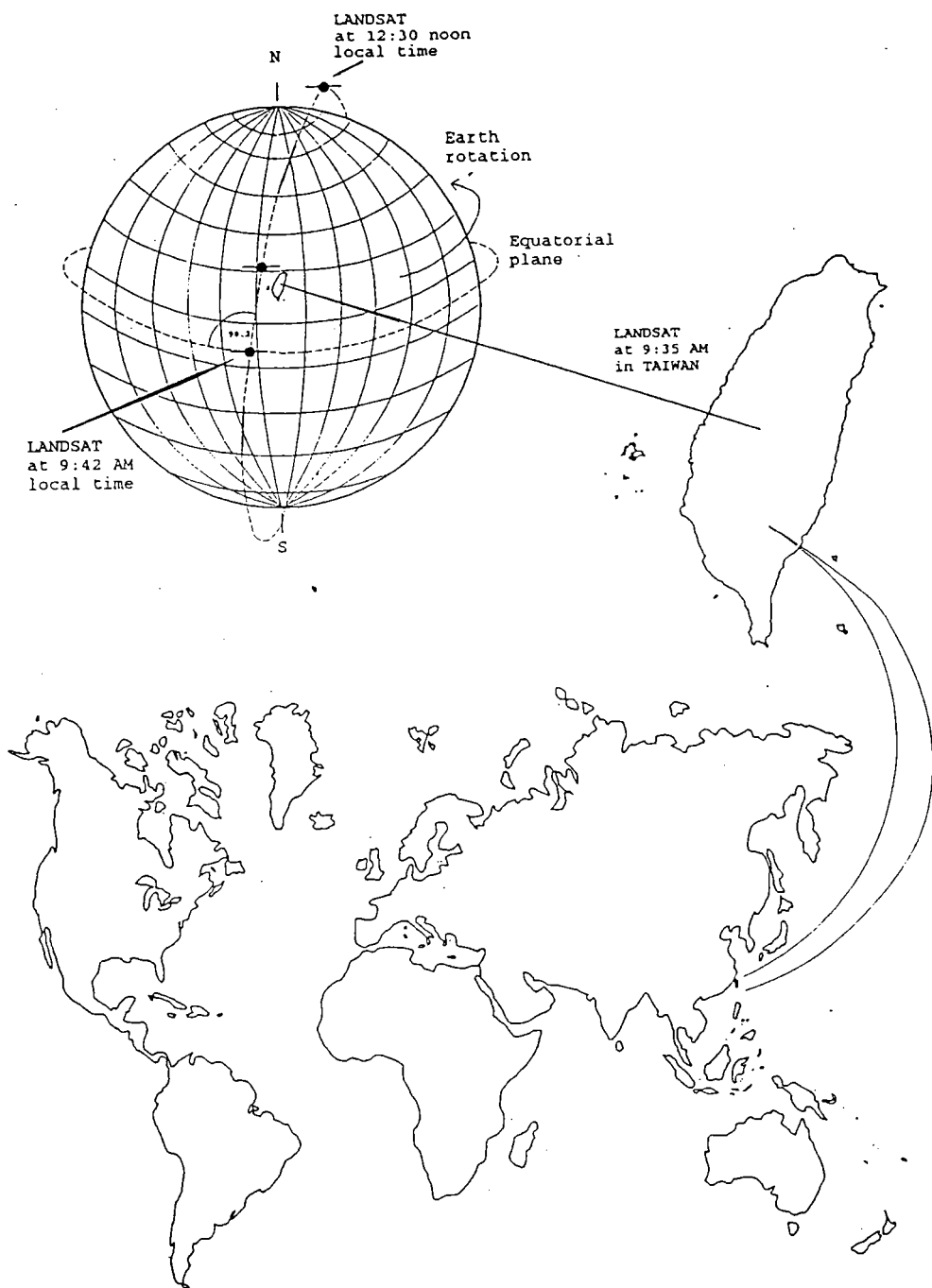
陸地衛星運轉的軌道與日照同步，即衛星皆於同一當地時間（local time）通過該地，一般約9:42AM通過赤道上空（台灣約在9:35AM通過），如圖一所示。衛星載台離地面918.6km，以近圓形軌道由北向南通過兩極地區；除極地外，衛星每18天繞完地球全程，每天繞行14圈，每圈103分。大地衛星二號發射後，代表地面同一地區之掃描因兩顆衛星的同時運轉，影像的獲得由18天減為9天；一號衛星於1978年墜毀後（繞行5年，比預定時間多2年），三號衛星的升高又彌補9天一次的重覆掃描（大地衛星二號、三號資訊已不傳回地面使用）。

地衛星二號、三號資訊已不傳回地面使用)。

3. 光譜解像力

陸地衛星具有二套感測系統，一為多光譜掃描系統MSS，另一為RBV (Return beam vidiconcamera) 照像系統，其中以MSS收集的資料及應用較多。RBV在Landsat-1及Landsat-2為三個重覆式照像系統，因發射後不久即故障，故Landsat-3改為兩個平行照像機。

Landsat-3在MSS多光譜系統多加了熱紅外光波段 (Band 8，波長範圍 $10.4\sim 12.6\mu\text{m}$ ；此波段發射不久後即故障)，可利用夜間攝取的地面溫度資訊，惟在空間解像析力較前幾個波段差。Landsat各波段波長範圍如表一。



圖一、陸地衛星運轉軌道（資料來源：CHI-CHUNG LAU, 1992）

表一、陸地資源衛星與 SPOT 衛星載台及感測器特性

	Thpe of Sensor	Band	Spectral Sensitivity Range	Spatial Resolution
Landsat 1,2	Return Beam Vidicon Camera (RBV)	Band1 Band2 Band 3	0.475~0.575 μm (Blue-green) 0.580~0.680 μm (yellow-red) 0.690~0.830 μm (red-IR)	7 9 m 7 9 m 7 9 m
	Multispectral Scannner (MSS)	Band 4 Band 5 Band 6 Band 7	0.5~0.6 μm (green) 0.6~0.7 μm (red) 0.7~0.8 μm (near IR) 0.8~1.1 μm (near IR)	7 9 m 7 9 m 7 9 m 7 9 m
Landsat 3	RBV	Two cameras 0.505 ~ 0.750 μm (Panchromatic)		4 0 m
	MSS	Band 4 Band 5 Band 6 Band 7 Band 8	0.5~0.6 μm (green) 0.6~0.7 μm (red) 0.7~0.8 μm (near IR) 0.8~1.1 μm (near IR) 10.4~12.6 μm (thermal IR)	7 9 m 7 9 m 7 9 m 7 9 m 2 3 4 m
Landsat 4,5	Thematic Mapper (TM)	Band 1 Band 2 Band 3 Band 4 Band 5 Band 6 Band 7	0.45~0.52 μm (blue) 0.53~0.61 μm (green) 0.62~0.69 μm (red) 0.78~0.91 μm (near-IR) 1.57~1.78 μm (intermediate IR) 10.42~11.66 μm (thermal IR) 2.08~2.35 μm (intermediate IR)	3 0 m 3 0 m 3 0 m 3 0 m 3 0 m 1 2 0 m 3 0 m
	MSS	Band 1 Band 2 Band 3 Band 4	0.5~0.6 μm (green) 0.6~0.7 μm (red) 0.7~0.8 μm (near IR) 0.8~1.1 μm (near IR)	7 9 m 7 9 m 7 9 m 7 9 m
SPOT 1,2	XS	Band 1 Band 2 Band 3	0.50~0.59 μm (green) 0.60~0.68 μm (red) 0.79~0.89 μm (near IR)	2 0 m 2 0 m 2 0 m
	P		0.51~0.73 μm	1 0 m
發射日期	Landsat 1 1/23/72 Landsat 2 1/22/75 Landsat 3 2/05/78 Landsat 4 7/16/82 Landsat 5 3/01/84 Landsat 6 10/04/94 (已失去聯絡) SPOT 1 2/22/86 SPOT 2 2/22/90 SPOT 3 9/26/93			
軌道特性	Landsat、SPOT均為近極軌道，與太陽同步之衛星			
衛星高度	Lansat-1,2,3：918.6公里；Landsat-4,5：705公里 SPOT-1,2,3：822公里			
重覆週期	Landsat-1,2,3：18天；Landsat-4,5：16天 SPOT-1,2,3：26天（最大可傾斜27拍攝）			

第一代陸地衛星MSS掃描方式為單向掃描，每個波段有六個感測器（Detectors），每次掃描484m，每單向掃描重覆（overlap）約10m，如圖二(a)；橫向掃描帶（swath）185km（MSS整個掃描形式如圖二(b)）。在赤道上空兩掃描帶重覆約26km（14%）愈往高緯度地區，側向重覆愈見明顯，如圖二(b)及表二所示。

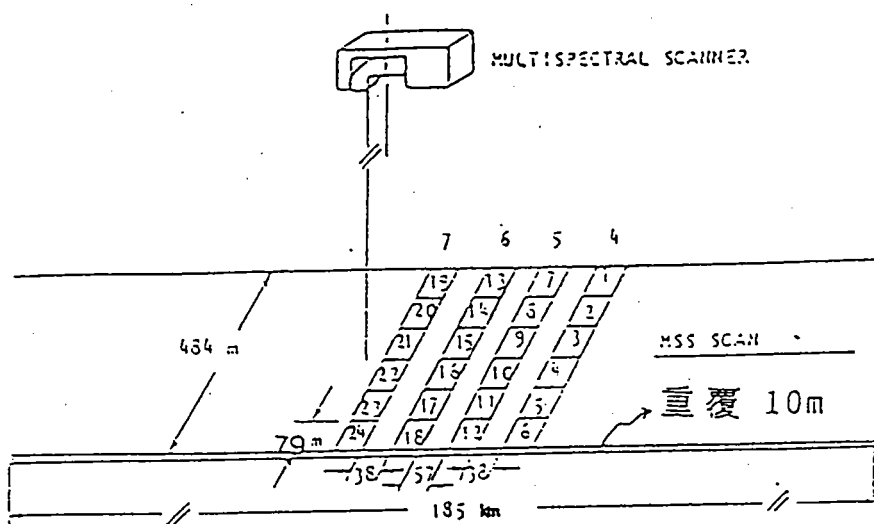
表二、陸地衛星影像之立體檢視幾何資料

緯度	側向重疊 (%)	影像基距 (公里) * (1)	基高比 * (2)	垂直跨大倍數
0	14.0	159	0.174	1.22
10	15.4	157	0.172	1.20
30	19.1	150	0.165	1.15
40	34.1	122	0.134	0.94
50	44.8	100	0.110	0.77
60	57.0	80	0.088	0.60
70	70.6	54	0.059	0.40
80	85.0	28	0.031	0.21

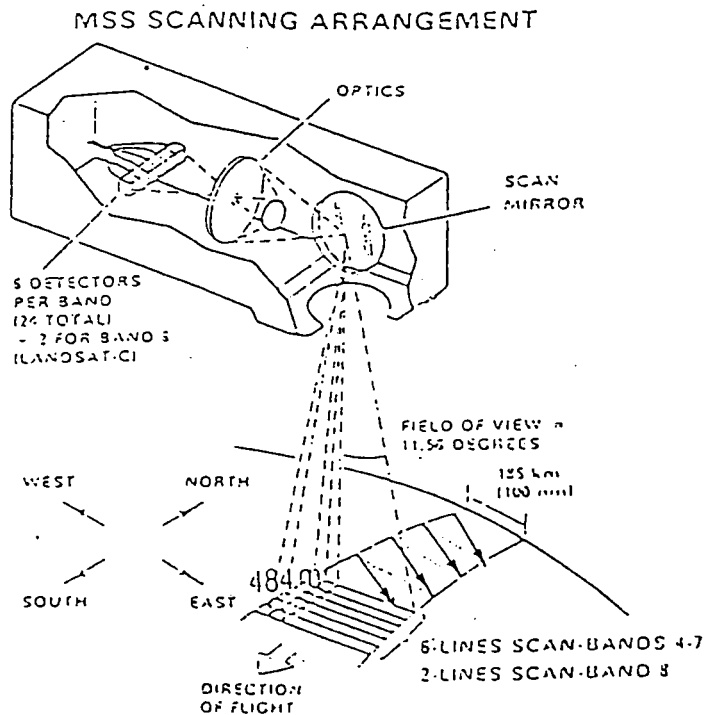
註：(1)影像基距（image basic）指攝取前後兩張影像時，衛星位置相距的距離

(2)基高比（base-height ratio）指衛星的影像基距與其航高之比

Landsat MSS波長範圍，其中BAND 4（ $0.5\sim 0.6\mu\text{m}$ ）落入綠光段，BAND 5（ $0.6\sim 0.7\mu\text{m}$ ）在紅光段，BAND 6（ $0.7\sim 0.8\mu\text{m}$ ）、BAND 7（ $0.8\sim 1.1\mu\text{m}$ ）在近紅外光段；Landsat 3之BAND 8（ $10.4\sim 12.6\mu\text{m}$ ）則在熱紅外光段內。



圖二(a)、第一代陸地衛星 MSS 掃描地面之影像資料記錄情形 (資料來源：NASA)



圖二(b)、第一代陸地衛星 MSS 掃描地面示意圖 (資料來源：NASA)

綠光段對大氣阻礙易生模糊不清之影像，其波長較短、漫射較強，易於鑑定陰影內之物體，對水體穿透力較其他波段強，可見淺水下的景物，如淺海地形、海埔新生地、沿岸砂流及水中所含沉積懸浮質子。判別影像明暗程度亦可指示水深及水淺的混濁狀況，如沼澤地在影像中較水體為淡，卻較周圍陸地暗。

紅光段具有較強的大氣穿透力，可清楚觀察出土壤及農作物之現象，對土地開發應用、植物分辨與人為建築物之判別甚為有用，原因為此乃植物能大量吸收紅光，但建築物卻大量反射紅光，故在影像上，暗亮分明，色調深者為植物及深水、色調較淡的為裸露地、工業用地、公路、都市用地及乾河床等。

紅外光段攝影可顯示肉眼不能見到的影像，亦可清楚分辨出水體界限，舉凡濕地、沼澤、河道、海岸、湖泊、池塘皆可分辨。在紅外光段黑白像片，植物因反射強度高，故特別明亮，相反的，都市建築用地及工業用地反射強度低，故顯示的顏色較暗。在此波段下，對水患區的測繪、海岸線變化及地面水體分佈情形甚為有用。

將三個不同波段的影像，經加色重疊後可得一個新彩色影像，一般Landsat取Band 5/6/7 or Band 4/5/7以B/G/R方式重疊。在假色影像中，綠色植物呈紅色，清澈水體為深藍色，混濁水體為淺藍色，裸露地或水泥地則呈灰白色。

由於衛星拍攝影像時，受到地球自轉效應，加上衛星本身之姿態（attitude），包括高度（height）、偏航（yaw）、顛簸（pitch）及滾動（roll）等因素影響，會產生幾何歪曲[5]，因此，在應用影像資料前需先經過幾何校正，才能與實際地理同位；再進一步利用不同時間的MSS資料經幾校正後所分析處理的土地利用／覆蓋變遷圖。

第一代觀測衛星所獲得的數據，經使用及分析後，有(1)每個波段的波譜範圍過大，如Landsat MSS之Band 4,5,6波長差值為 $0.1\mu\text{m}$ ，Band 7為 $0.3\mu\text{m}$ ；(2)像元太大，解像力的不足，像台灣地區土地利用複雜，且為小地區耕作方式，在農業應用之影像判釋似嫌不足；兩掃描寬帶重覆地區太少，缺乏立體觀察性質，在製圖及判釋上諸多不便。

經過第一代觀測衛星之改進，第二代衛星在實用性上更為廣泛。

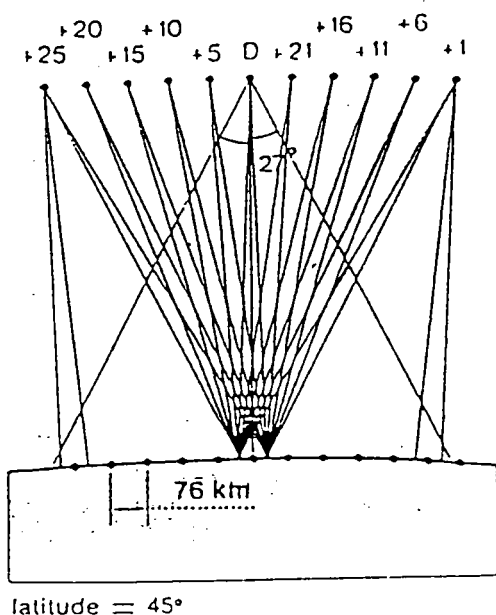
1. 所用光譜以可見光及近紅外光為主（Landsat TM系統之Band 6使用熱紅外光）。
2. 像元的縮小，增強了解像力。
3. 可做立體觀察，像法國SPOT衛星之感測系統能做27°旋轉，可重覆掃描該地區，以利實際之需要及立體觀察，如圖三。
4. 空中攝像以地氈式（pushbroom）掃描，替代MSS橫向掃描式，可提高影像品質，像SPOT之掃描方式即是，如圖四。

4. 第二代觀測衛星

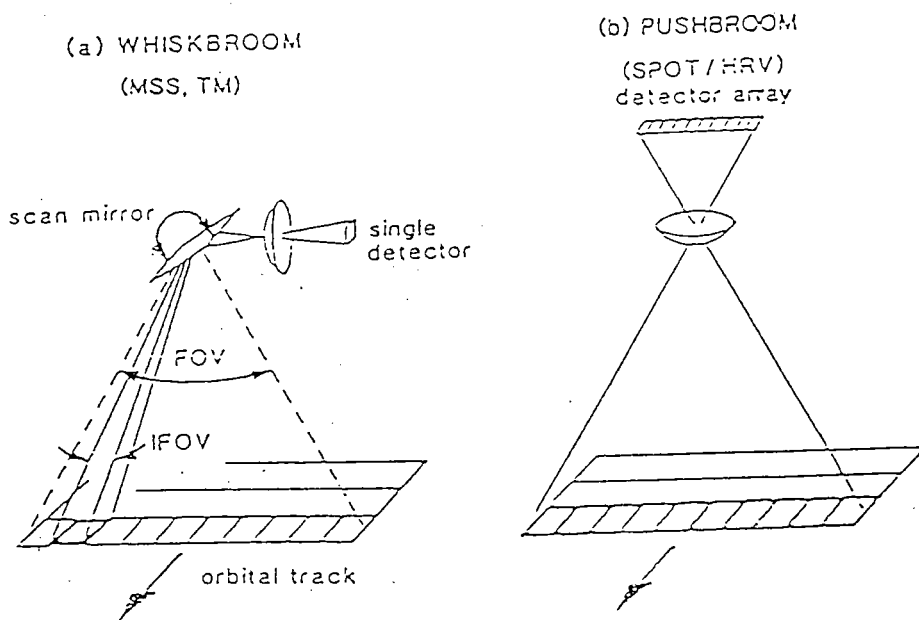
Landsat 4在1982年7月16日發射成功以後，進入了第二代衛星時期，其特點：

1. 延續提供MSS資料
2. 像元解像力的提高，增加地面判釋的解像能力
3. 增加主題製圖儀的效能，提供地球資源偵測更進一步資訊
4. 波段波譜範圍縮短，並增加熱紅外光波段

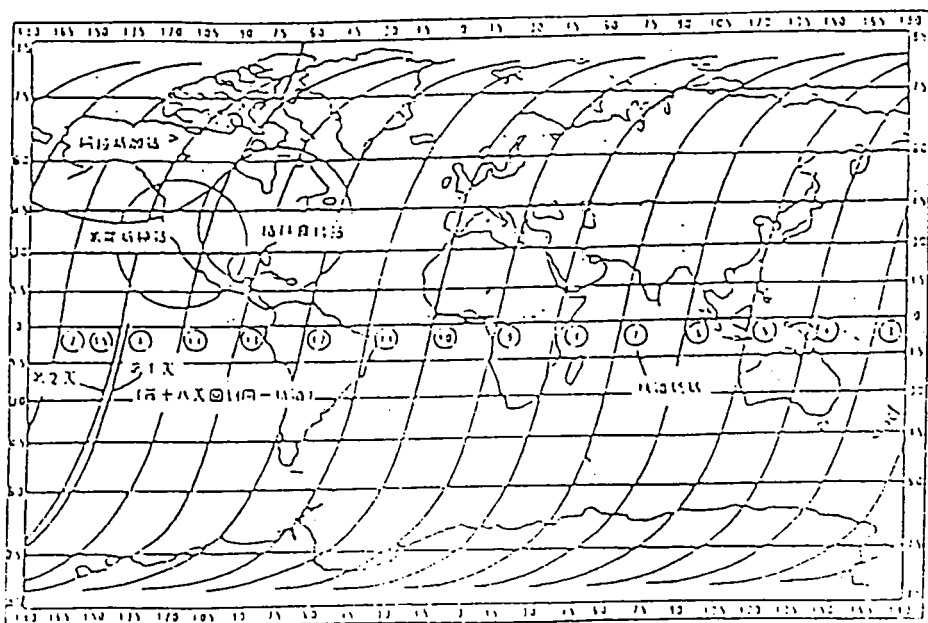
Landsat 4,5軌道運轉仍為重覆、圓形與太陽同步之近極區軌道，航高在赤道上空約為 705km，每次通過赤道當地時刻為9:45AM，每天繞地球 $14\frac{9}{16}$ 圈，每圈約99分，如圖一，16天即可繞完地球全程（較第一代少二天），此乃航高降低之故。其掃描帶寬相重疊的西側與第一代衛星最大的不同是要第七天才能涵蓋，但第一代衛星在第二天相鄰掃描帶即可銜接，如圖五(a)、圖五(b)。



圖三、SPOT 衛星攝取地面資料情形（資料來源：工研院能資所，1995）

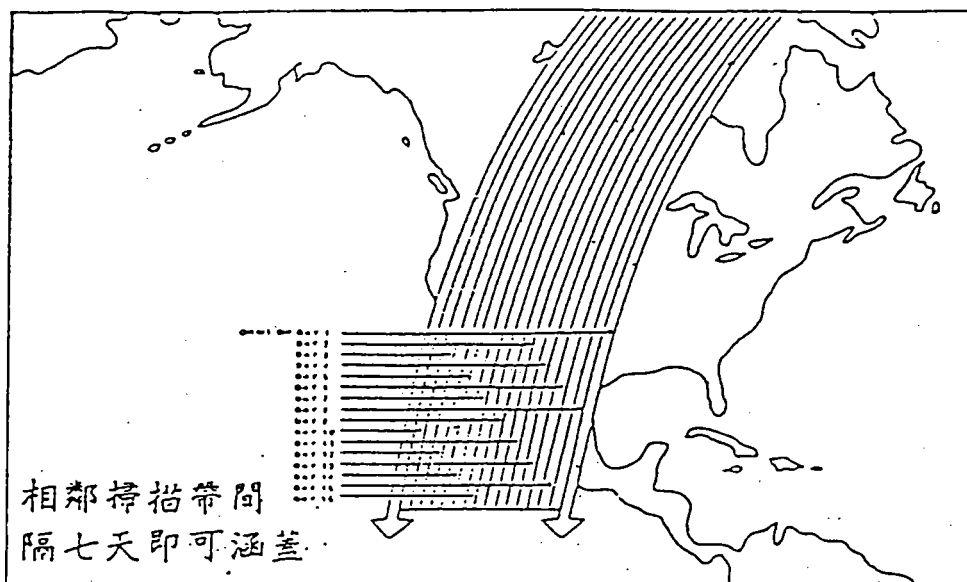


圖四、Landsat 及 SPOT 衛星之橫向式(a)與地毯式(b)掃描情形



圖五(a)、第一代陸地衛星航行軌跡圖

(相鄰掃描帶間隔二天即可涵蓋；資料來源：NASA)



圖五(b)、第二代陸地衛星航行軌跡圖

Landsat 4,5同時使用兩種感測器，一為多譜掃描儀MSS，另一為主題製圖儀TM。

TM為雙向掃描，降低了掃描速度與提供駐時（dwelltime），增加系統精確度，其感測器排列在基本焦面上，不像MSS以光纖傳送，可減少傳送過程所降低的強度。

TM系統精確度較MSS為高，其空間解像力也大為增強，除第六波段（熱紅外光）解像力為120m外，餘均為30m。其中Band 1-4的感測器位於基本焦面上，每波段有16個感測器，Band 5,7的16個感測器位於冷卻焦面上，Band 6則只有4個感測器，故掃描鏡每掃描一次，除Band 6有4條掃描線外，其餘均為16條。

由於TM空間解像力（ $30 \times 30\text{m}^2$ ）之提高，應用也日益增廣，TM主題製圖儀七個波段大致運用如下：

- Band 1：波長範圍 $0.45 \sim 0.52 \mu\text{m}$ ，此波段透水性良好，可用來繪製海岸水深圖，同時對土壤與植生、針葉樹與闊葉樹的分辨甚為有用。
- Band 2：波長範圍 $0.52 \sim 0.60 \mu\text{m}$ ，可測量植物在綠色光譜的反射率，以評估植物生長情形。
- Band 3：波長範圍 $0.63 \sim 0.69 \mu\text{m}$ ，此波長範圍為葉綠素吸收帶，用以分辨不同植物。
- Band 4：波長範圍 $0.76 \sim 0.90 \mu\text{m}$ ，可辨識各種生物體之內涵與水體。
- Band 5：波長範圍 $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$ ，可指示植物與土壤含水率，對雲及雪的分辨亦有用。
- Band 7：波長範圍 $2.08 \sim 2.35 \mu\text{m}$ ，可分辨岩性及繪製溫泉圖（地質方面用）
- Band 6：波長範圍 $10.40 \sim 12.5 \mu\text{m}$ ，為熱紅外光波段（Thermal Infrared Band），用於植物災害與土壤濕度之分析、水溫分佈及繪製地表溫度圖。

第二代衛星MSS感應系統及波長範圍與第一代完全相同，只是以第一代之Band 4,5,6,7改為Band1,2,3,4而已。

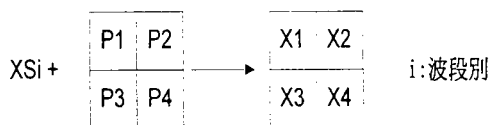
第二代TM系統空間解像力之提昇，使得以前無法解決的問題大為減少，增加了Landsat資料實用性。以製圖觀點而言，過去的MSS影像最好可做到1：

200,000比例尺之圖，而TM影像則可進步到1:100,000的比例尺[6]，這種由空間解像力的改進，使得用TM影像已可粗略判釋街道、鄉間道路，甚至田野的邊界。

法國的SPOT衛星在1986/02/22發射昇空，其繞行軌道亦與太陽同步，約在10:30AM通過赤道上空（通過台灣正上空約為10:45AM）；衛星載台離地面高度約822km，以近極軌道傾斜 98.7° 的角度由北向南通過兩極上空，衛星繞行週期26天，每天繞地球約14圈，每圈約101分鐘。衛星上有二架HRV，可以各自獨立運作，每一架攝像寬度60km，當操作至正向下方時，地面寬度為117km。而衛星可傾斜拍攝，即具有傾斜觀測能力（如圖三），其平面鏡頭傾斜可分成45個不同的斜度變化，從0度到27度，每次0.6度。且因為具有傾斜攝像能力，因此，可獲得同一地區不同時間的重疊影像，並藉以觀察立體對；增加時效性的研究資料，以監視快速變化地區；資料的獲得受天候影像的因素可因而減少。

SPOT衛星感測器的掃描方式與Landsat衛星最大的不同是陸地衛星採橫向掃描式，而SPOT衛星則是用線性列陣（Linear Array）之CCD（Charge Couple Detector）型感測器組，此感測器組是由數千個感測器組成，採地氈式方式向前推進，如圖四(b)。像SPOT之全色態感測器組有6000個感測器，每往前推一列即可得6000個像元，推進帶寬度為60km，即每個像元解像力為 $10\text{m} \times 10\text{m}$ ；而彩色態各波段則具有3000個感測器（XS1： $0.50 \sim 0.59 \mu\text{m}$ ，XS2： $0.61 \sim 0.68 \mu\text{m}$ ，XS3： $0.79 \sim 0.89 \mu\text{m}$ ），因此其地面解像力亦可高達 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 。

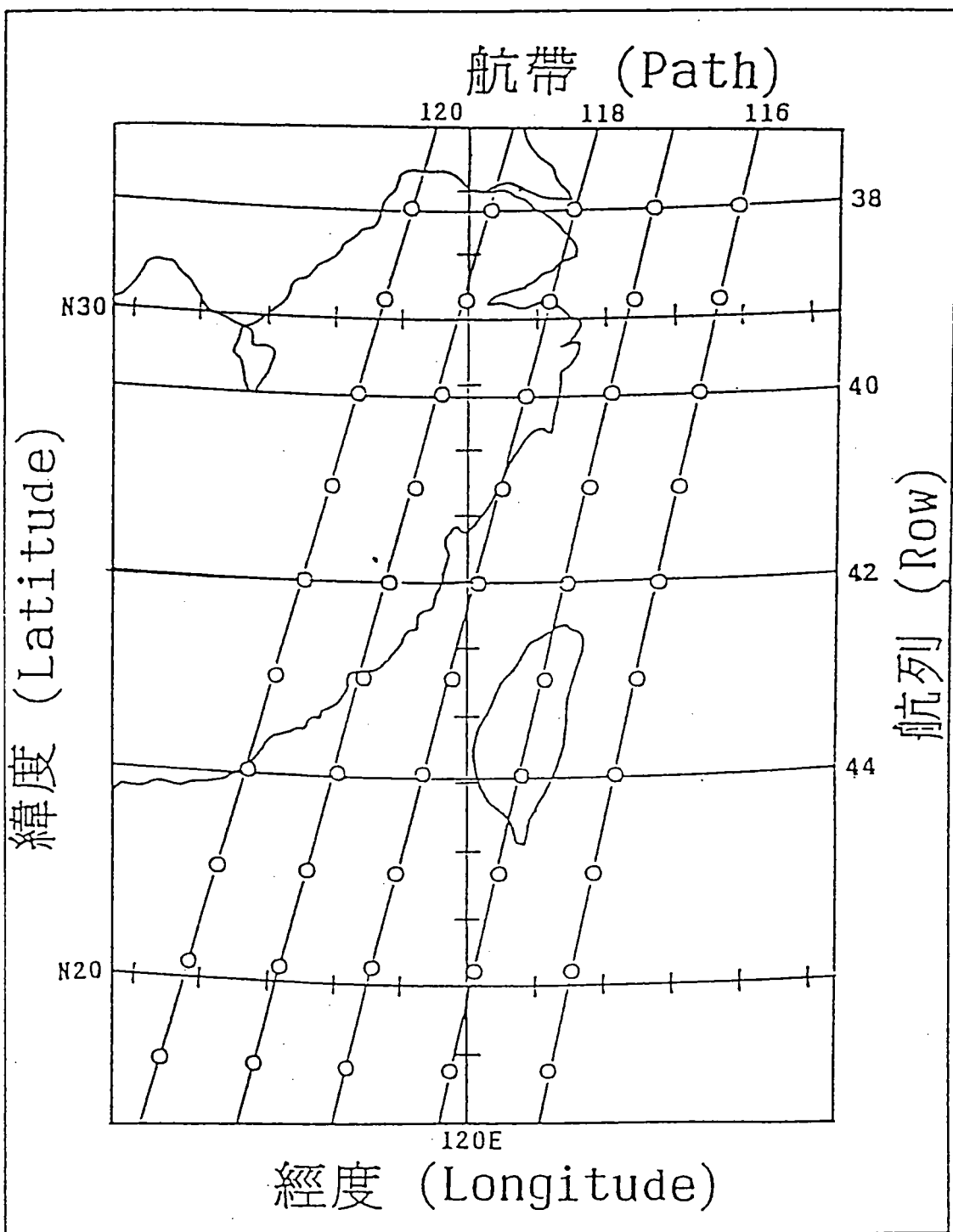
SPOT衛星20公尺解像力的影像，其地面清晰度又較陸地衛星TM影像為高。另外亦可利用彩色態（XS）及全色態（P）的組合，以顯示10公尺解像力的彩色影像，其組合原理是先將解像力為20公尺的彩色影像XS之三個波段取相同地區，然後第1、2波段經再取樣為解像力10公尺之影像，第三波段為全色態影像，最後再以B/G/R方式套合，其再取樣過程如下[7]。



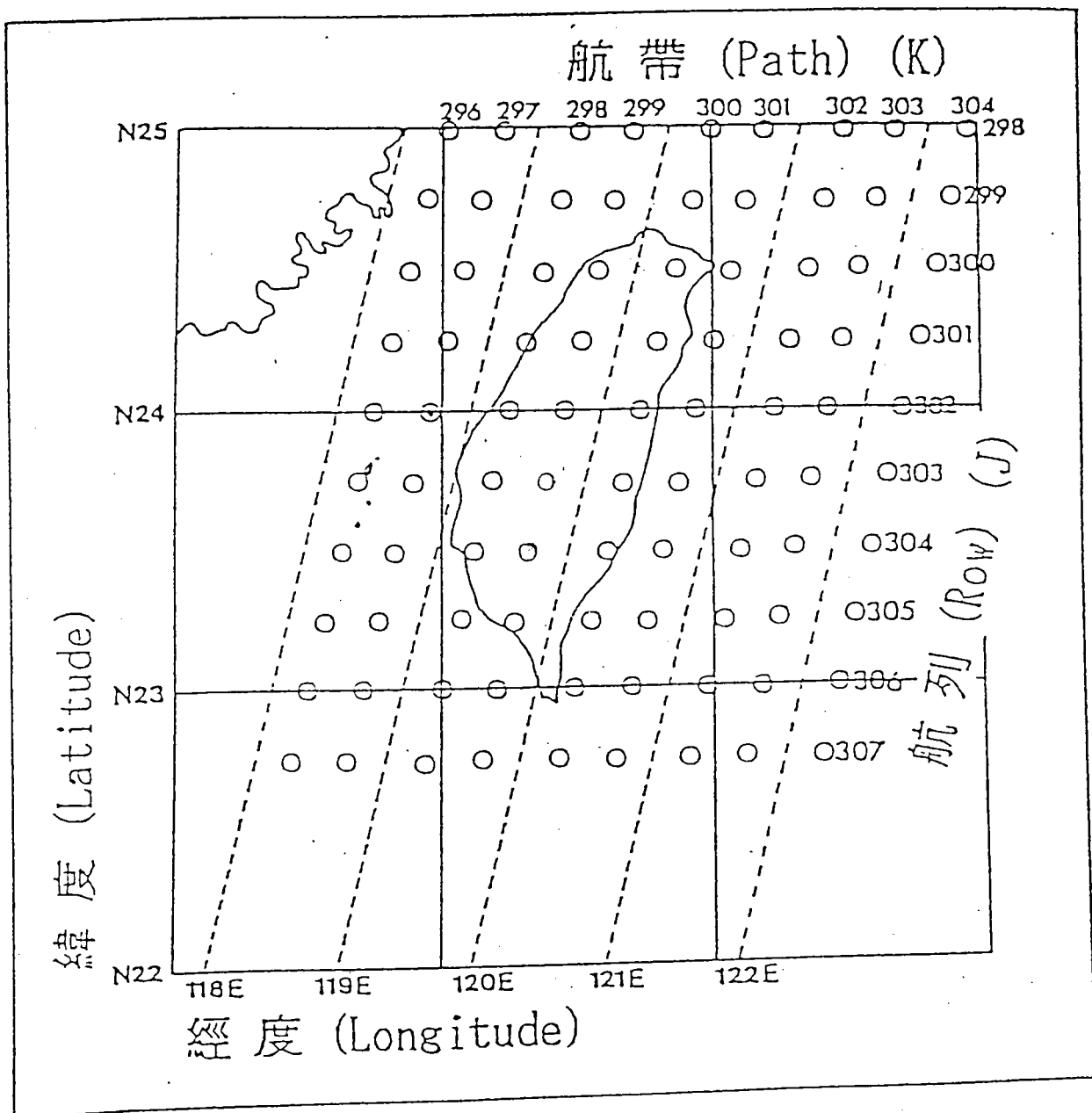
截至目前，雖然SPOT衛星較陸地衛星具有較佳的地面解像力及可傾斜拍攝，但相對的亦有其缺點，即（CCD感測器攝取之影像為一中心投影影像，其原理與航空照片相同，為產生一均勻正射影像，由線性陣列感測器拍攝的影像需個別作修正，增加電腦處理時間；SPOT衛星的感測器設計在SPOT-1及SPOT-2尚無法突破波長大於 $1.05 \mu m$ 的感測[6]；波段的選擇應用上比TM影像限制較多；缺乏熱紅外波段可資運用，海洋資源探勘上較TM為弱；每幅影像涵蓋範圍為60公里×60公里，遠較TM影像之涵蓋面積185公里×185公里為小。圖六及圖七為陸地衛星及SPOT衛星飛越台灣的航線圖。

5. 新一代衛星

自從法國SPOT衛星1號在1986年2月發射昇空後，其運轉情形頗為正常，挾其高解像力，可傾斜攝像以減短資料獲取時間及能產生立體對優勢，瓜分了美國獨佔鰲頭的市場；於是美國的地球觀測衛星機構（EOSAT）為了保持遙測技術之領先地位於不輟，期能力挽狂瀾、重振舊威，於是在Landsat-6及Landsat-7號的軟、硬體設計上有新的發展，其地面的接收、處理系統及行銷策略亦有所突破。茲就其衛星的運轉及感測器做一說明[8]。



圖六、LANDSAT 衛星影像涵蓋台灣地區之航線與航列位置圖



圖七、SPOT 衛星影像涵蓋台灣地區之航線與航列位置圖

陸地衛星6號在1993年發射後，雖然已無法追蹤，但其設計觀念為一總星計畫，打破傳統之單一任務，少用途、壽命短的新理念，而強調長壽命及其變通性，載台採套件組合，可由太空梭上的任務專家予以佈置、維修、換裝或攜回地面[4]，因此每一任務投資資金將大為降低。

原設計的衛星6號軌道參數與4號、5號相同，採圓形近極軌道，衛星高度705km，傾角98.2度，9:45AM通過赤道上空。感測器系統為ETM (Enhanced TM)，保留了原來TM的7個波段，再增加了一個解像力15公尺的全光段 ($0.5 \sim 0.9 \mu m$) [9]。另外6號衛星上新提供了兩套Odette寬帶磁帶機，此項功能是賦予美國亦能透過新墨西哥州白砂接收站的「追蹤及資料轉播衛星系統 (TDRSS, Tracking & Data Relay Satellite System)」接收美國以外地區的資料；每一磁帶可儲存最多30幅 (Scenes) 全光段或7波段TM資料；當然原來地面接收站亦可同時接收涵蓋範圍內的任何影像，以台灣地區為例，若中央大學遙測中心接收站操作正常，則中國大陸地區遠至蘭州半徑範圍內均可涵蓋在內，攝像面積囊括了中國大陸大半土地。

法國SPOT影像公司對遙測技術的評估眼光獨到，其前瞻性的規劃使得剛發射的SPOT 3及尚未發射的4號衛星有後來居上之趨勢，雖然衛星環繞地球之赤道下交時間、覆蓋、重照週期、地面採樣、像幅寬、光譜帶及太空地面間的介面維持不變。但是研究發現SPOT 1號的全光段與第二波段有高相關性 (High correlation)，於是擬取消全光段，將第二波段的地面解像力提昇到10m。而感測器中新增加了一個中紅外光段，光譜範圍約在 $1.54 \sim 1.74 \mu m$ 之間，仍具有20m之解像力；此波段對物體含水量特別敏感，對葉子含水狀況的偵測甚為有用。另外為了植生 (vegetation) 監視所需，擬再增加一個植生感測器，具有高重照週期 (1~2天)、寬視角、低解像力 (約1公里) 特性，初步決定為波長 $0.43 \sim 0.47 \mu m$ 的藍光段影像幅寬可達2000公里。

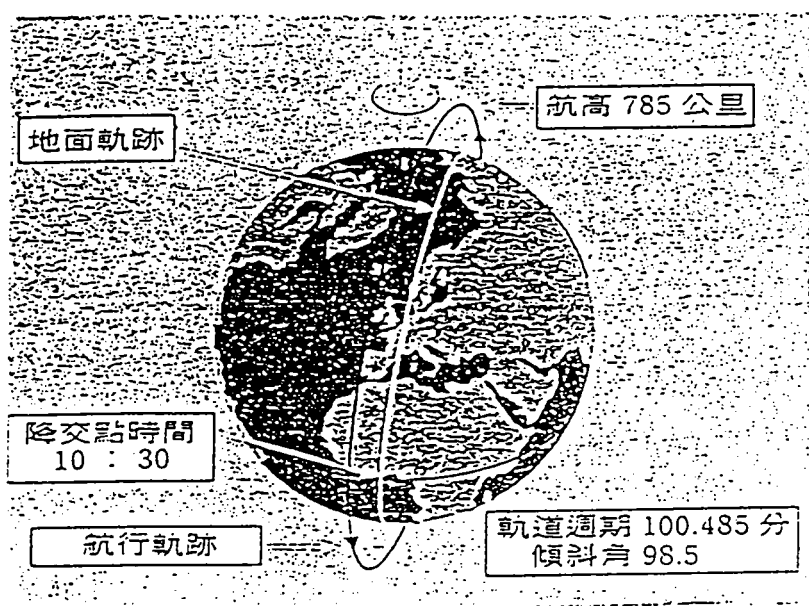
儘管美國及法國在遙測衛星的規劃設計上領先群倫，但是歐洲方面亦不示弱，歐洲太空總署於1991年7月亦發射了 ERS-1遙測資源衛星1號，衛星飛航軌道如圖八，感測器配件如圖九[10]；其特性為攜帶數個主動式雷達感測器，能自行發射、接收微波訊號，並能全天候獲取資料，不受雲蓋、天候及日夜影響。其主要感測器包括合成口徑雷達 (SAR)、測高儀 (Altimeter)

、風散射儀及沿徑掃描輻射儀（ATSR）等。重要的應用領域偏向海洋，包括波場、風場、海面高度、溫度與環流分析、海岸動態環境與變遷、海域污染監測.....等，此外其所獲得的局部性、區域性或全球性資料，亦可提供做為全球變遷之數值模擬輸入及驗證用[10]。

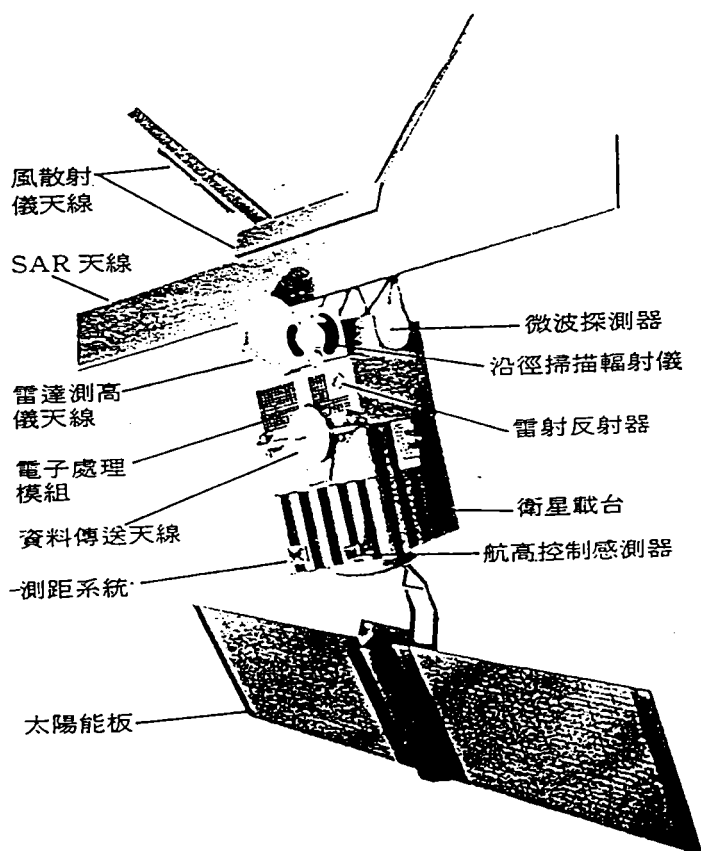
ERS-1衛星採用太陽同步（Sun-synchronous）近極軌道運行方式（圖八），軌道傾斜角98.5度。平均航高785公里時，軌道週期為100.465分鐘，衛星繞行由北往南通過赤道之時間，即降交點（Decending Node）位置時，當地時間為早上十點半。此時軌道重複週期（Repeat Cycle）為三天，即每隔三天衛星會通過同樣的軌跡。

衛星發射後三個月內的航高保持在785公里，如此每隔三天即能通過特定的地面站，以便於開始時衛星上各感測器的測試、調整與修正。隨後衛星高度將提高，使重複週期變為35天，以保證SAR及Altimeter感測器能涵蓋全球，在衛星設計生命三年的最後階段，重複週期將再調整為176天，此時重點在增加Altimeter的軌跡密度，以量測平均海面及等位面。

ERS-1衛星上的載台（Platform），各個酬載（Payload）之主要用途可歸納如下：



圖八、ERS-1 衛星航行軌道特徵



圖九、ERS-1 衛星及感測器配置圖

1. 主動式微波儀器 (AMI Active Microwave Instrument)。

此儀器採用C波段 (5.3GHZ) 雷達波，可在三種模式 (Mode) 下操作：

A. SAR影像模式 (Synthetic Aperture Radar Image Mode)

目的在獲取海洋，極冰及陸地之雷達影像。

B. SAR波浪模式 (SAR Wave Mode)

目的在導出海洋波浪的波長及波向。

C. 風散射儀 (Wind Scatterometer Mode)

目的在利用三個天線測量海面風速及風向。

2. 雷達測高儀 (Radar Altimeter)

用於精確測量海面的高度與波高、海面風速及各種海冰參數等。

3. 沿徑掃描輻射儀及微波探測器 (ATSR, Along Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder) 此為結合紅外光及微波接收能力的被動式感測器。

用於測量海溫度面、雲頂溫度、雲蓋量及大氣中水汽含量。

4. 微波測距系統 (PPARE, Precise Range and Range-Rate Equipment) 用於精密測定衛星位置及軌道特性，準確度10公分。

5. 雷達反射器 (LRR, Laser Retro-Reflector) 亦用於衛星位置及軌道之測距，以便於地面上雷射測距站之追蹤定位。

以上五者中前三者為主要之遙測感測器，獲取資料之應用即發射ERS-1的目的。各感測器研究應用之量測參數及操作特性均有可供參考的資料，表三即為ERS-1衛星之各感測器量測參數及操作特性表。

表三、ERS-1 感測器量測參數及操作特性表

量測參數	量測範圍	準確度	主要感測器
風場 —速率 —方向	4~24M/S 0~360°	±2M/S或10% ±20°	風散射儀及測高儀 風散射儀
波場 —有義波高 —波向 —波長	1~20m 0~360° 50~1000m	±0.5m或10% ±15° 20%	測高儀 SAR波浪模式 SAR波浪模式
地表成像 —海洋 —海岸 —海冰 —陸地	100Km	解像力30m	SAR影像模式
高度 —海洋 —海冰	745~825Km	±10cm <1m	測高儀
衛星測距		±10cm	PRARE
海面溫度	500Km	±0.5° K	ATSR紅外光段

另外ERS-2衛星原預定在1993年09月09日發射（已延期於1995年3月發射升空），若發射後其運行軌道正常，且衛星所設定的功能可完全發揮，則得資料之機會可與ERS-1配合而大為增加。

4.3 衛星影像蒐集

針對近二十四年間品質較佳的衛星影像進行台中港海域遙測資料之蒐集，總共蒐集到航空照片一幅；Landsat陸地衛星之MSS多波段影像四幅及TM主題圖影像三幅；SPOT衛星影像四幅；以及ERS-1衛星之SAR影像四幅，合計十六幅，如表四所列。

表四、台中港海域航照及衛星影像資料蒐集一覽表

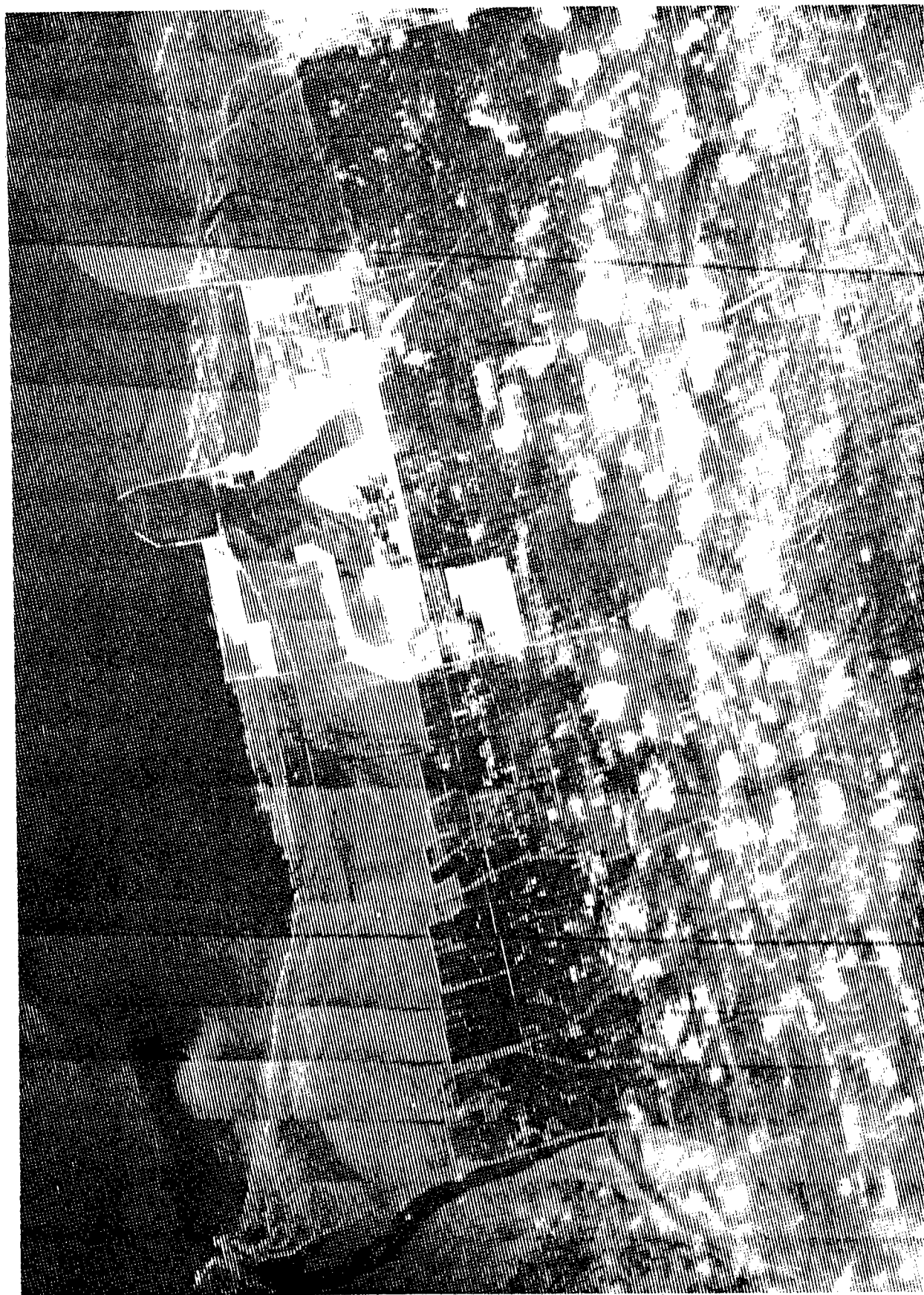
衛星及感測器	掃描日期 (年/月/日)
航空照片	1976/10/27
Landsat MSS	1972/11/12 1981/11/07 1983/12/09 1984/05/09
TM	1984/08/22 1988/11/28 1994/11/13
SPOT彩色態	1986/10/03 1992/04/04 1994/03/04 1995/09/02
ERS-1 SAR	1993/11/18 1994/10/22 1995/11/23 1995/12/27

Landsat衛星影像不論是MSS或TM資料，早期國內尚未有接收站接收衛星影像資料，資料主要購自泰國遙測中心及美國EOSAT地面接收站；SPOT衛星之彩色態(XS)影像資料，主要來源為中央大學太空及遙測中心；至於ERS-1 SAR資料，由於ERS-1衛星甫於1991年七月才升空運作，所有資料都是近三年內正式商業化產品，表四中所列四幅SAR影像資料全數購自中大太遙中心。

ERS-1為歐洲太空總署發射升空之太陽同步衛星，其主要任務乃以海洋觀測為主。衛星運行軌道高度約785公里，其上之SAR系統以斜視角(off-nadir) 23°，發射頻率5.3GHz (C band) 運作，掃描並接收雷達回波信號。每一全景影像(full scene) 涵蓋地面範圍約100公里×100公里，每一個像元(pixel) 大小為12.5公尺×12.5公尺，空間解析度約為25公尺。中央大學太空及遙測研究中心地面接收站直接接收SAR資料，初步處理產出四視相(4 looks) 平均影像資料。ERS-1 衛星飛行方式有兩種，一由北向南飛行掃描稱為下降模式(Descending

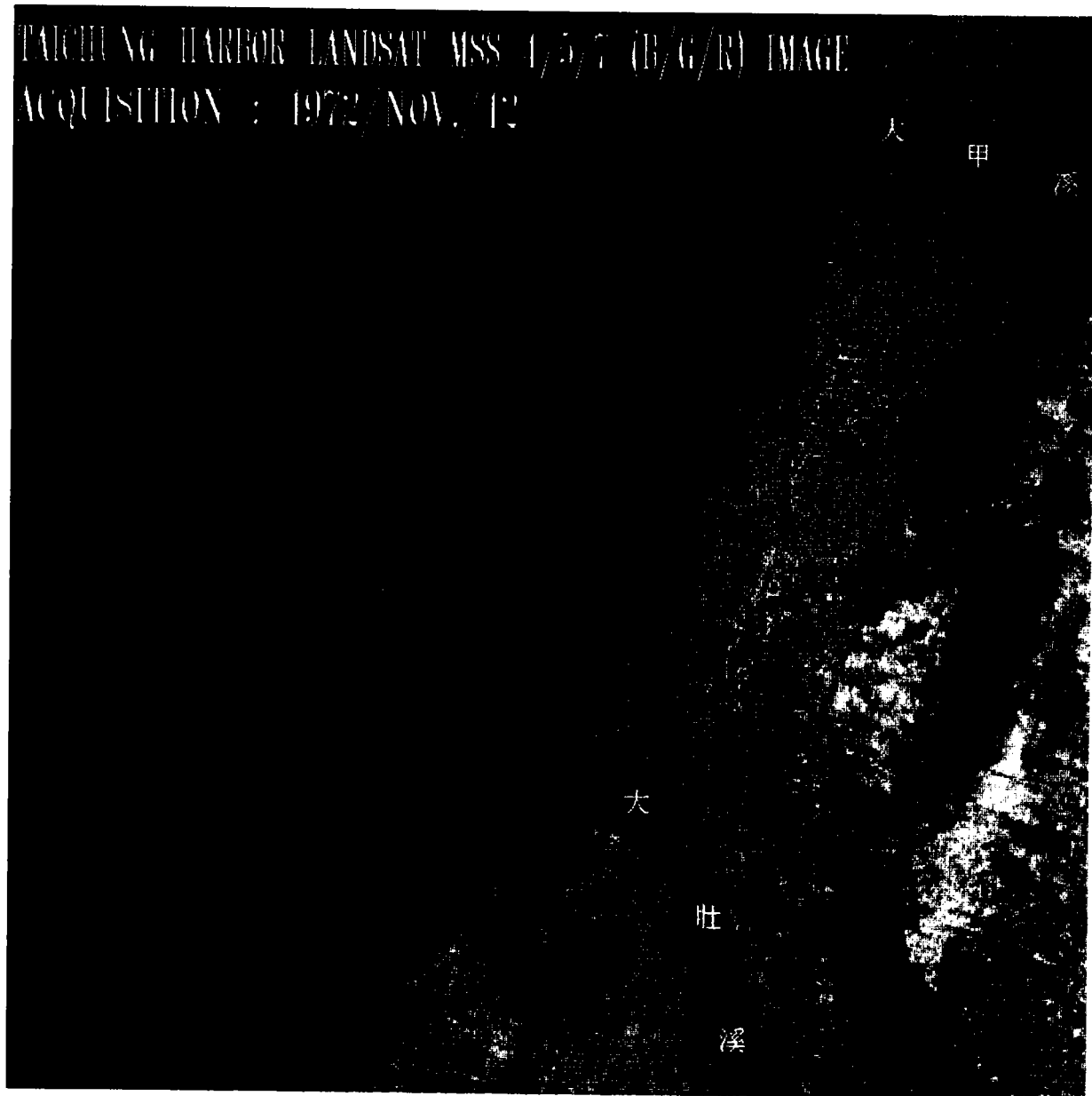
mode)，此模式SAR影像和實際地圖呈左右相反，衛星通過台灣地區約在上午十時三十分；另一方式由南向北飛行掃描稱為上升模式（Ascending mode），其SAR影像和實際地圖呈上下顛倒現象，ERS-1約在晚上十時三十分通過台灣上空。未依據地理座標作幾何校正稱為斜距（Slant range）或稱地理參考座標（georeference）之SAR資料，不論是下降或上升模式影像正上方和正北皆相差一小角度約 12.9° 。下降模式正北在影像正上方逆鐘向 12.9° 處，上升模式正北則在影像正上方順鐘向 12.9° 處，在分析SAR資料判斷波向時，需考慮此一方向偏差，才能決定真正波向（和正北夾角）。基於合成口徑雷達不受雲雨遮蔽影響，又可全天候觀測，對於取得天候不佳大風大浪時的波浪資料，尤適於海洋工程規劃設計之用，是以SAR衛星影像資料主要是作為分析波場資訊之用。

本計畫共計蒐集到的衛星影像資料，如圖十～圖二十五所示，（已完成前置處理：諸如基本校正、影像轉置處理等）。計畫執行期間陸續蒐集適於分析各種海況之衛星影像資料，並配合波浪、海況及漂沙分析所需，進行前置處理及後續資料判釋分析。



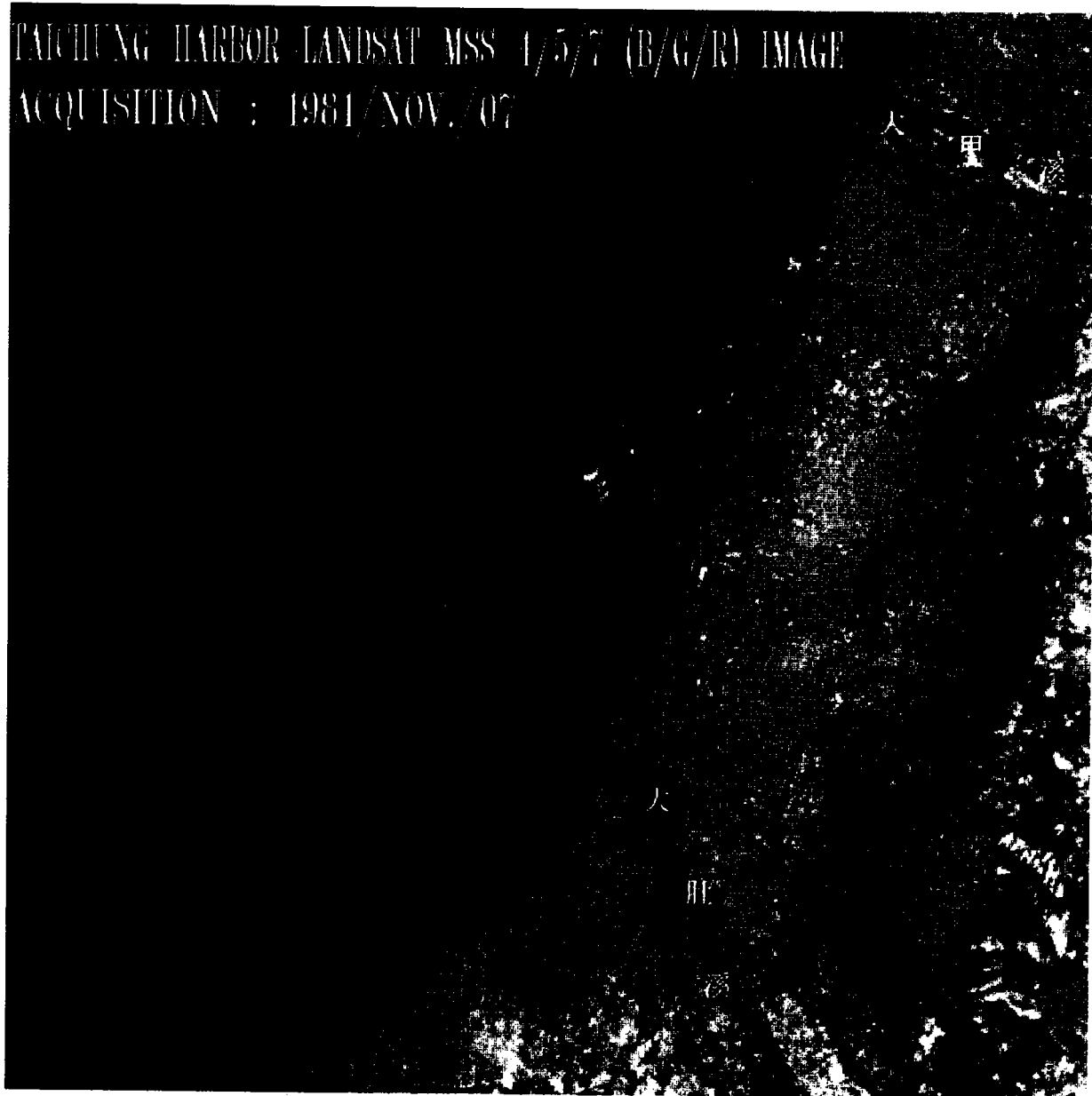
圖十、台中港 1976/Oct./27 航空照片

TAICHUNG HARBOR LANDSAT MSS 4/5/7 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1972/NOV./12



圖十一、台中港 Landsat MSS 1972/Nov./12 影像圖幅

TAICHUNG HARBOR LANDSAT MSS 1/5/7 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1981/NOV./07



圖十二、台中港 Landsat MSS 1981/Nov./07 影像圖幅

TAICHUNG HARBOR LANDSAT MSS 1/2/4 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1983/DEC./09

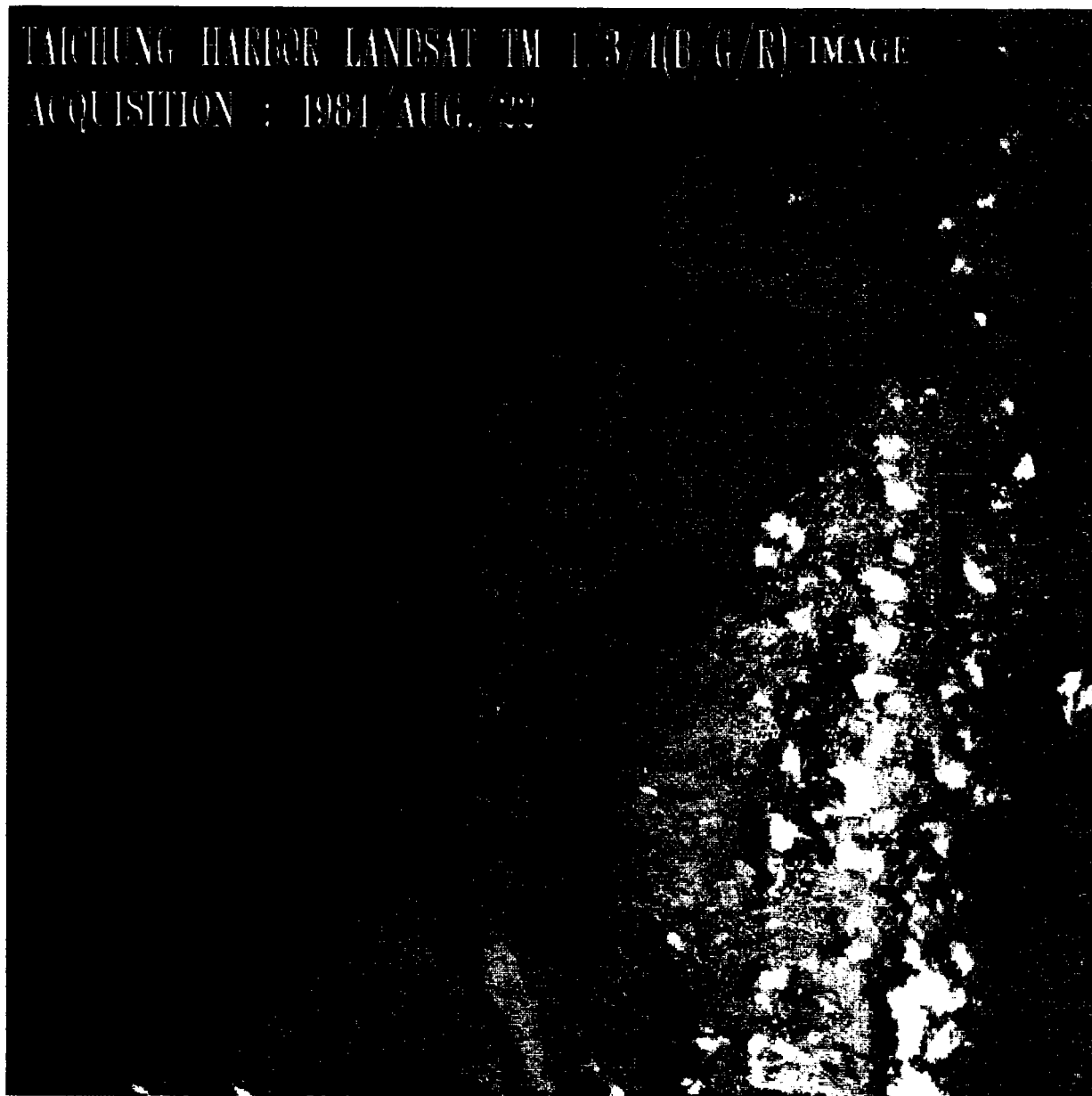


圖十三、台中港 Landsat MSS 1983/Dec./09 影像圖幅



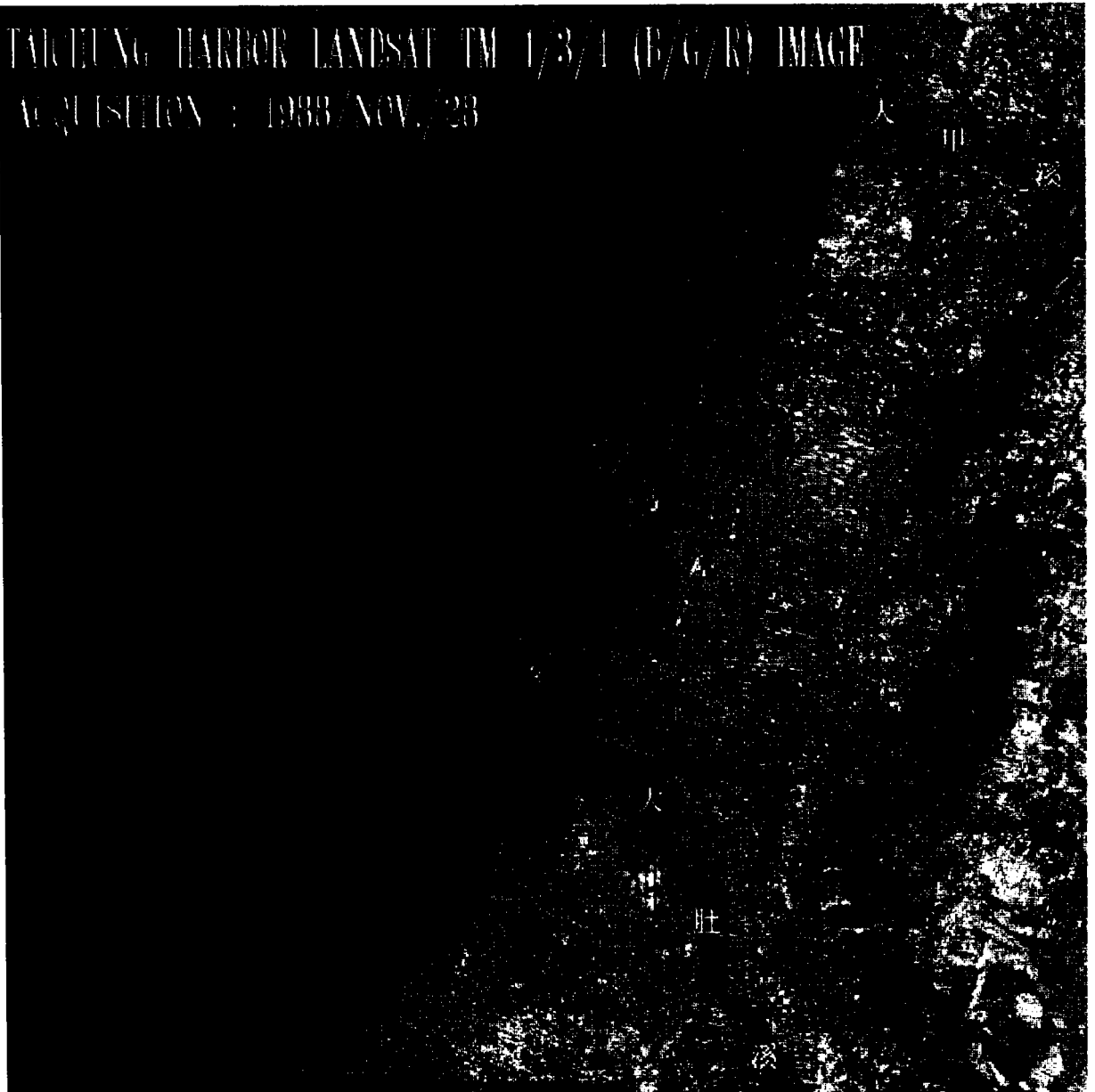
圖十四、台中港 Landsat MSS 1984/May/09 影像圖幅

TAICHUNG HARBOR LANDSAT TM 1 3/4(B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1984/AUG./22



圖十五、台中港 Landsat TM 1984/Aug./22 影像圖幅

TAICHUNG HARBOR LANDSAT TM 1/3/4 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1988/NOV./28

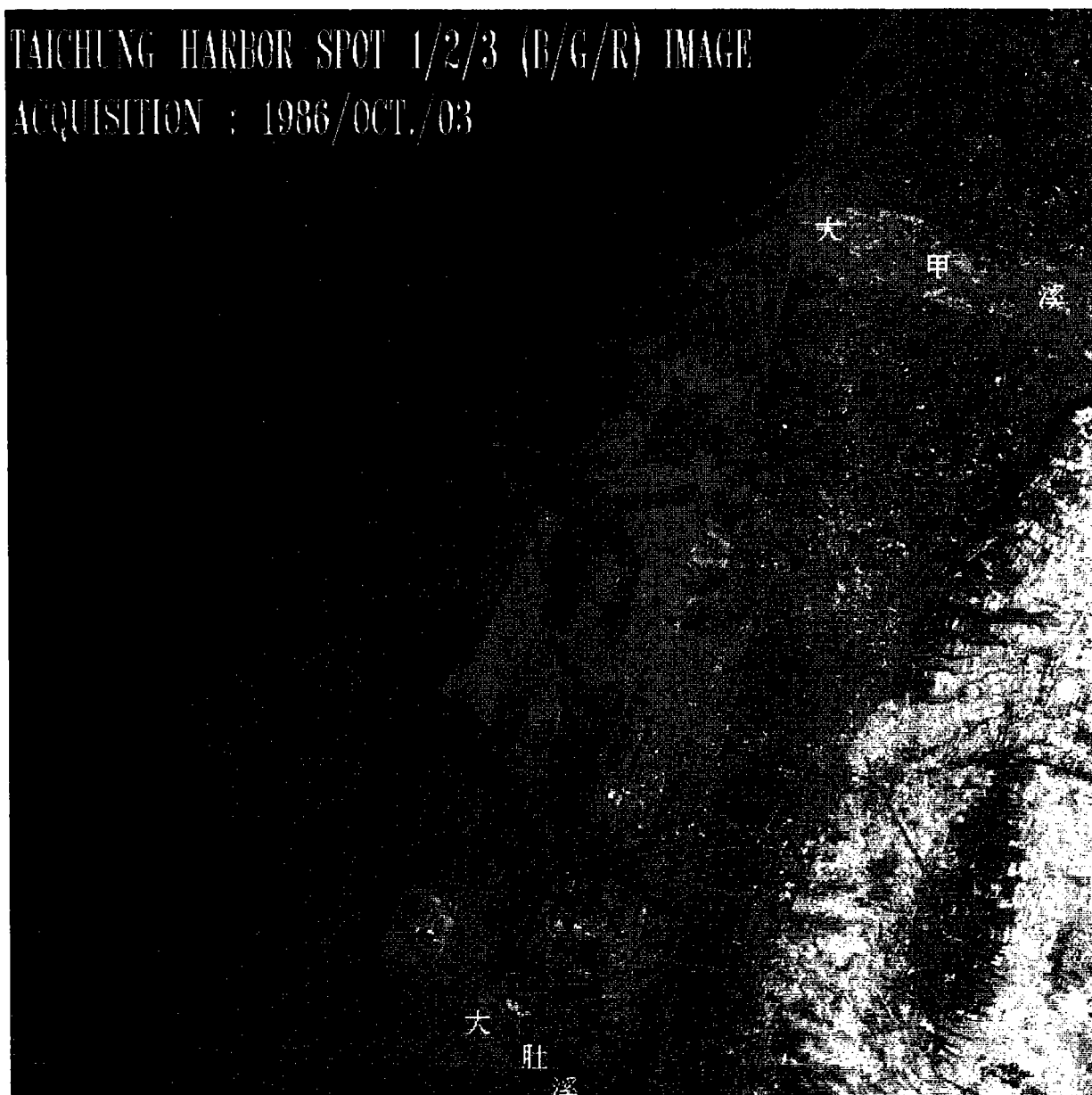


圖十六、台中港 Landsat TM 1988/Nov./28 影像圖幅



圖十七、台中港 Landsat TM 1994/Nov./13 影像圖幅

TAICHUNG HARBOR SPOT 1/2/3 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1986/OCT./03



圖十八、台中港 SPOT XS 1986/Oct./03 影像圖幅 (Copyright (c) CNES)

TAICHUNG HARBOR SPOT 1/2/3 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1992/APR./04



圖十九、台中港 SPOT XS 1992/Apr./04 影像圖幅 (Copyright (c) CNES)

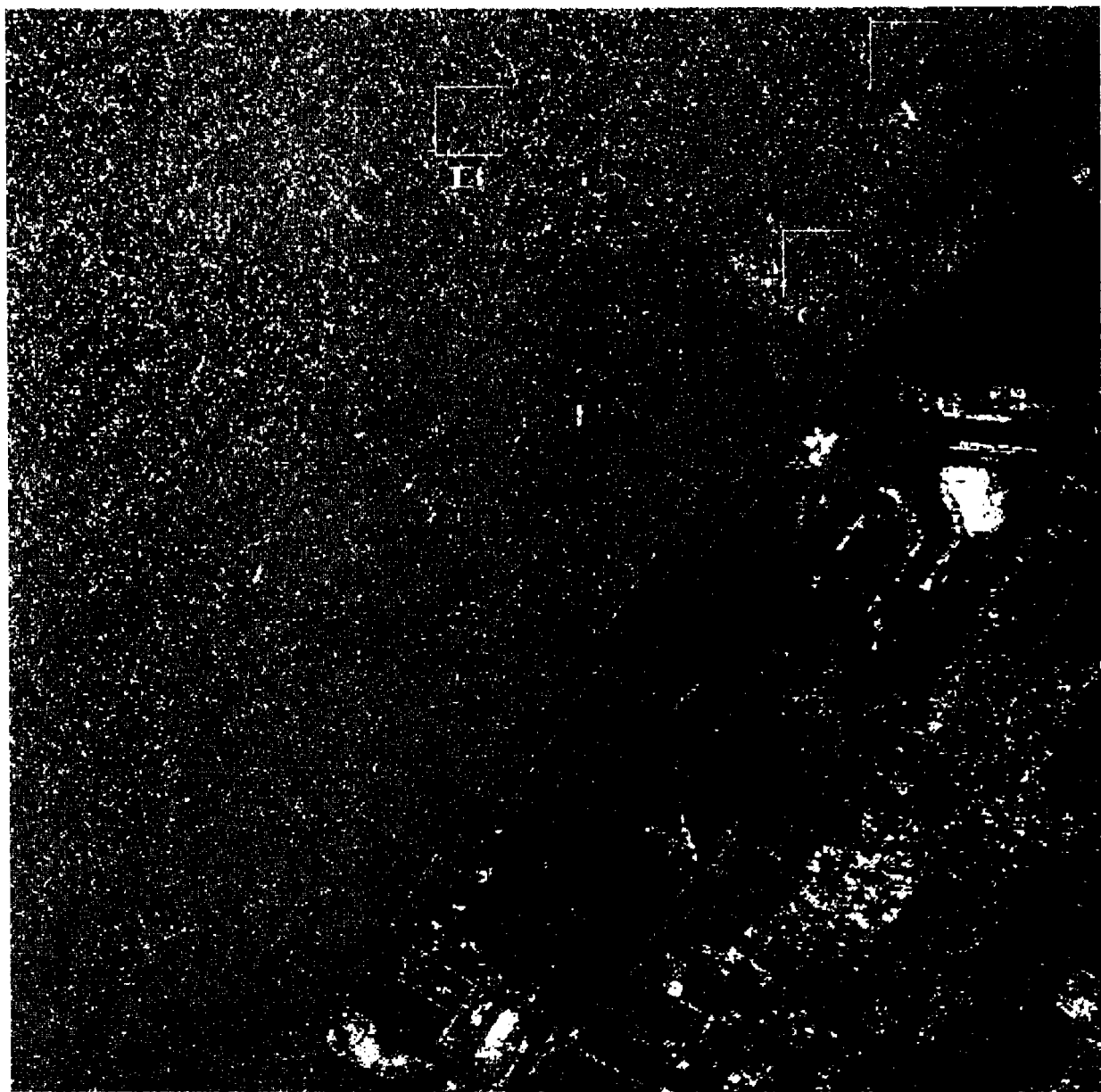
TAICHUNG HARBOR SPOT 1/2/3 (B/G/R) IMAGE
ACQUISITION : 1994/MAR./04



圖二十、台中港 SPOT XS 1994/Mar./04 影像圖幅 (Copyright (c) CNES)



圖二十一、台中港 SPOT XS 1995/Sep./02 影像圖幅 (Copyright (c) CNES)



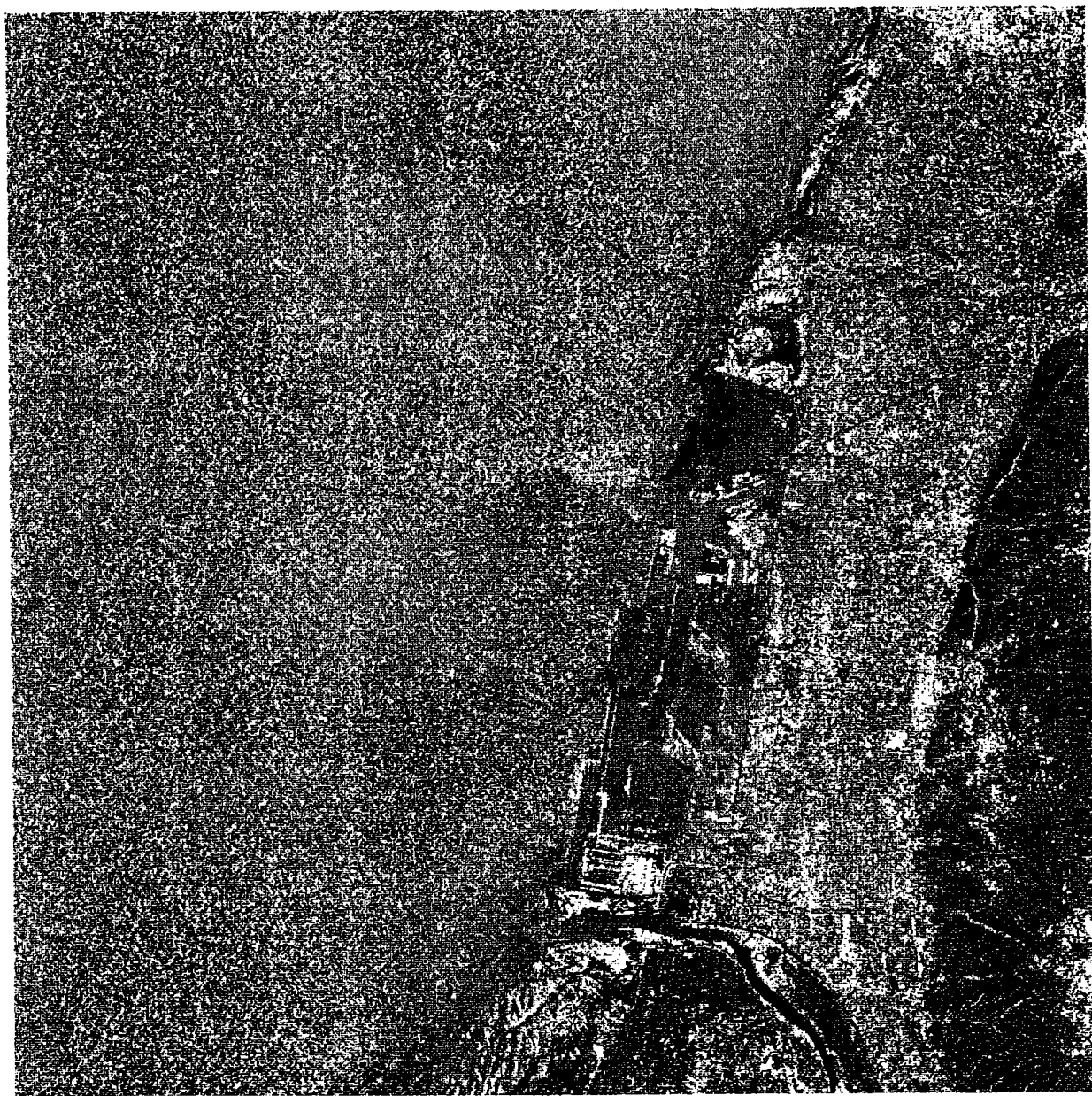
圖二十二、台中港 ERS-1 SAR 1993/Nov./18 影像圖幅



圖二十三、台中港 ERS-1 SAR 1994/Oct./22 影像圖幅



圖二十四、台中港 ERS-1 SAR 1995/Nov./23 影像圖幅



圖二十五、台中港 ERS-1 SAR 1995/Dec./27 影像圖幅

五、台中港相關資料說明與分析

衛星影像資料應用於台中港海域波浪分析、流況分析及漂沙監測上之判釋與分析對於台中港歷史背景，地理位置，地質狀況，附近河川水文諸如：輸砂，流量與污染等相關資料，應有全面性的初步了解。此外，對海域氣象資料，尤其是風力因素為影響浪、流與漂沙的主要因素；至於海域海象資料本身如波浪、海流與漂沙等現場資料，對其長期統計特性亦要有個通盤了解，以作為影像判釋與分析的有利參考依據與佐證。

5.1 台中港背景

台中港興建工程自民國六十年二月一日成立「台中港工程局」開始，先進行建港準備工作，六十二年十月三十一日全面動工開始第一期建港工程，六十五年十月三十一日完工開放營運。第二期工程繼續進行至六十八年十月底止，第三期由六十八年十一月開始，至七十二年六月全部竣工，台中港第一階段的建設終告完成[11]。

台中港址在北緯 $24^{\circ}17'40''$ ，東經 $120^{\circ}29'27''$ ，在台灣西海岸中央，與基隆距離約110哩，北距大甲溪口7.5公里，南距大肚溪口9公里，東方約5公里有大肚山台地，附近地形平坦，海上、陸上均無蔽障，港區面積約4,290公頃。本區地質為沿海平原，屬全新世現代沖積層，由砂岩、粘土及少量礫石組成，另有源自鄰近各河川帶來之岩屑及潮汐、季風自鄰近海岸帶來之漂沙[12]。海岸平原地勢低平，大部份高度在10公尺以下，向西傾斜，係沿岸堆積與侵蝕消長結果，台中港以南至大肚溪口以北海岸西進，台中港以北至大甲溪口則略見後退，大甲、大肚兩溪為海岸泥沙主要來源，沿岸積沙受季風吹襲，漂沙南移，故海埔地南寬而北窄[13][14][15]。

5.2 河川水文

台中港北臨大甲溪，南接大肚溪，大甲溪與大肚溪為海岸泥沙主要來源，此兩大河川水文概述如下。除大甲溪、大安溪水文外，大安溪的逕流量與輸沙量或多或少對台中港漂沙問題有某種程度影響，依據水資會最新資料[16]，摘錄台中港鄰

近主要河川之大安溪、大甲溪及大肚溪（烏溪在大度橋至河口河段俗稱大肚溪）的水文特性資料，如表五以供參考。

1. 大甲溪：大甲溪流域東以中央山脈與立霧溪分界，南、北分別與烏溪（即大肚溪）及大安溪毗鄰，面積約1,236平方公里；主流源出中央山脈之南湖東山，流貫台中縣境，在清水鎮入海。全流長約140公里，河床平均坡度為1/39。自民國38至68年資料統計[17]顯示本流域年平均降雨量約2,370公厘，年平均逕流量約25億餘立方公尺，合80.3秒立方公尺，或每百平方公里6.50秒立方公尺，其中5月至10月豐水季流量約佔全年78%。本流域平均逕流量月分配列如表六。依據水資會民國71年水文年報，本流域年平均輸砂量約為 3.565×10^6 公噸，合2,885公噸／平方公里，在台灣地區主要河川中，年平均輸砂量屬較低者。
2. 大肚溪：大肚溪之水文與台灣其他河川的特性大同小異。河流短急，坡降陡急，全長116.8公里，平均比降為1：45，雨季與枯水期水位相差很大，根據大肚橋測站的歷年統計資料，年平均流量為106.21CMS，最大平均流量為169.33CMS，最小年平均流量為55.04CMS，歷年來最大瞬時流量為13,100CMS。將民國六十年（1971）到六十九（1980）十年間大肚橋測站每月總流量與平均流量歸納如表七[18]。根據1973年經濟部水資源統一規劃委員會對台灣西海岸河川年輸沙量統計[19]，大肚溪為西海岸主要輸沙河川之一。從民國四十五年至五十九年15年間之統計，平均懸移質輸沙量有6.900百萬公噸，推移質輸沙量有1.035百萬公噸，總輸沙量共計7.593百萬公噸，若按估計有65%的沙輸入海中，則每年約有4.935百萬公噸的沙由大肚溪輸入海中。

表五、台中港鄰近主要河川特性與水文特性

河流	流域編號	起點		出海口	河流長度 (公里)	平均 比降	流域 面積 (平方公里)	歷年 平均雨量 (公厘)	歷年 年逕流量 (百萬立方公尺)	歷年年輸沙量	
		地點	標高 (公尺)							10 ⁶ MT	MT/KM ²
大安溪	1400	大壩尖山	3296	大安鄉	95.76	1:29	758.47	2551.5	1573.24	4.94	6513
大甲溪	1420	南湖東山	3639	清水鎮	140.21	1:239	1235.73	2526.5	2596.33	4.03	3261
烏溪	1430	合歡山	2596	龍井鄉	116.75	1:45	2025.60	2087.1	3726.93	6.79	3352

表六、大甲溪流域平均逕流量月分配 (民國 38—68 年)

集水面積 (平方公里)	單位	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年流量	11~4 月	5~10 月
		24.97	31.02	38.83	62.66	88.2	201.92	112.02	142.05	138.44	62.9	33.5	25.91	80.26	36.1	123.75
		66.89	75.72	103.99	162.43	236.23	523.35	300.03	380.47	358.83	168.46	86.84	69.41	2532.7	565.28	1967.4
		(%)	3	4.1	6.4	9.3	20.7	11.8	15	14.2	6.7	3.4	2.7	100	22.3	77.7

註：根據水資會之資料

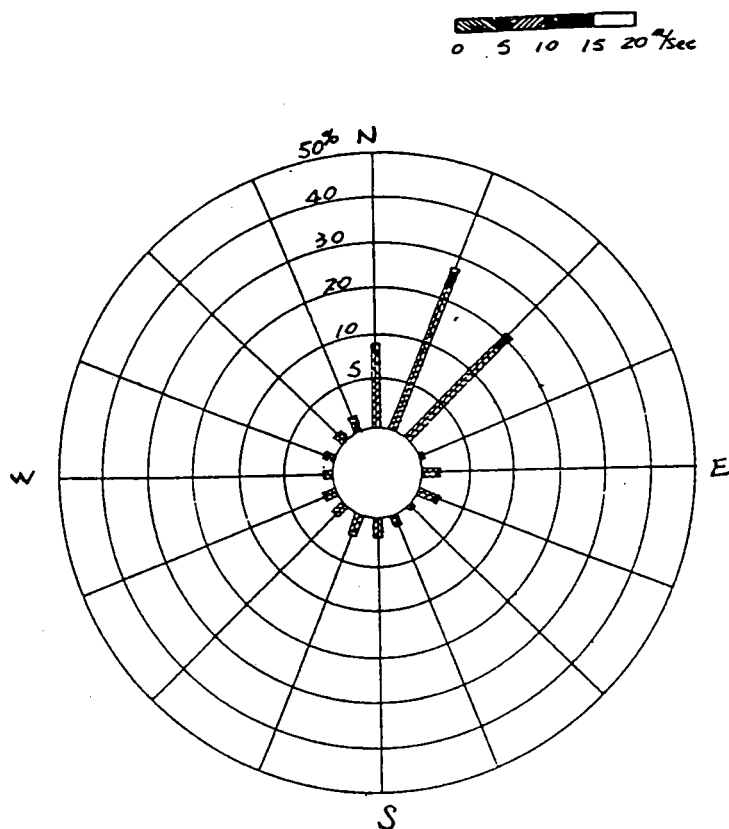
表七、大肚溪 1971 ~ 1980 年十年間每月總流量與平均流量

年	月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
60	總量	1,203.90	1,039.00	590.80	409.00	447.20	4,424.70	749.70	1,378.40	4,369.50	2,011.70	1,722.30	1,694.90
	平均	38.84	37.11	19.06	13.63	14.43	147.49	24.18	44.46	145.65	64.89	59.08	54.67
61	總量	2,305.20	1,009.00	575.70	765.50	8,505.60	17,384.00	10,611.00	13,525.00	2,642.10	1,493.90	1,533.80	1,573.00
	平均	74.36	34.79	18.57	25.52	274.37	579.47	343.90	436.29	88.07	48.19	51.13	50.74
62	總量	1,454.80	729.90	504.70	2,424.70	2,803.10	6,368.90	6,210.40	4,960.90	3,246.90	1,463.90	1,254.20	1,193.00
	平均	46.93	26.07	16.28	80.82	90.42	212.30	200.34	160.03	108.23	47.22	41.81	38.48
63	總量	1,045.30	1,288.70	1,002.90	1,673.70	3,607.40	16,610.00	4,214.20	8,470.20	4,634.60	3,611.90	2,421.70	1,902.10
	平均	33.72	43.88	32.35	55.79	116.37	553.67	135.94	273.23	154.49	116.51	80.72	61.36
64	總量	2,066.00	1,050.80	2,026.10	2,353.80	4,596.90	15,842.00	7,093.00	6,354.00	4,546.20	3,948.10	2,102.80	2,813.70
	平均	66.65	37.53	65.36	78.46	148.29	528.07	228.81	204.68	151.54	127.36	70.09	90.76
65	總量	2,163.90	676.40	1,014.70	1,078.40	5,192.80	5,603.70	17,635.00	11,351.00	5,683.00	4,748.00	2,982.70	2,393.80
	平均	69.80	23.30	32.73	35.85	167.51	186.79	568.87	366.16	183.43	153.16	99.42	77.22
66	總量	2,110.50	1,174.50	612.10	532.90	2,185.90	9,889.00	5,737.10	5,166.31	2,558.00	2,176.50	1,190.50	1,060.90
	平均	68.09	41.95	19.75	17.76	70.51	329.63	185.07	165.04	85.27	89.63	39.68	34.35
67	總量	808.70	459.60	2,147.50	3,183.10	6,793.00	3,276.50	2428.50	5,348.50	2,562.60	1,721.00	1,278.20	1,018.50
	平均	26.09	16.41	69.34	104.10	219.13	109.22	78.34	172.53	85.42	55.52	42.61	32.85
68	總量	672.20	664.50	964.90	1,560.30	1,808.30	3,022.20	788.10	11,047.90	4,733.90	240.30	4,821.10	4,374.00
	平均	21.68	23.73	31.13	52.01	58.33	100.07	25.42	356.38	157.80	77.43	160.70	141.10
69	總量	1,484.50	1,110.50	1,029.80	1,479.50	1,078.00	1,611.80	945.40	6,229.93	2,276.50	855.40	959.70	999.40
	平均	47.89	38.29	33.22	49.32	34.77	53.73	30.43	200.97	75.88	27.59	31.99	32.24

5.3 氣象

1. 風：空氣自高氣壓流向低氣壓產生風，氣壓梯度大小為決定季節風及颱風之強弱之主要因素。臺中港位於臺灣西海岸之中部，每年冬季，西伯利亞及蒙古附近發生之高氣壓氣團逐漸向東南緩慢伸展，到達臺灣附近時，氣壓梯度十分陡峻，而形成強勁的冬季季風，其風向以東北（NE）及北北東（NNE）為主。每年9月至翌年3月臺中港冬季季節風時期，風速有超過20m/sec者，惟歷時不長，但風速在10m/sec以上者，其歷時有長達70餘小時之久。夏季風向則多為S至SSW之間。本港十七年間全年之玫瑰風圖如圖二十六所示，每年平均風速資料如表八〔20〕。每年立夏以後，在西南太平洋常發生熱帶性低氣壓，因受地球自轉影響，西向移動形成熱帶性風暴，亦即颱風，經常會侵襲到臺灣。資料顯示，民國60年9月貝絲（BESS）颱風時，臺中港的風速最大曾達41.3m/sec。

台中港附近1971年以後風力資料主要來源有兩處〔21〕，一為中港局與港研所的台中港測站，另一為中央氣象局梧棲測站。中港局與港研所提供的風力資料時間從1971年1月開始至今，中間因儀器的問題缺1981年1月～1983年10月的資料；至於中央氣象局梧棲測站資料從1984年1月開始，至今仍正常觀測之中。



圖二十六、台中港十七年間全年玫瑰風圖 (49.5 ~ 65.4)

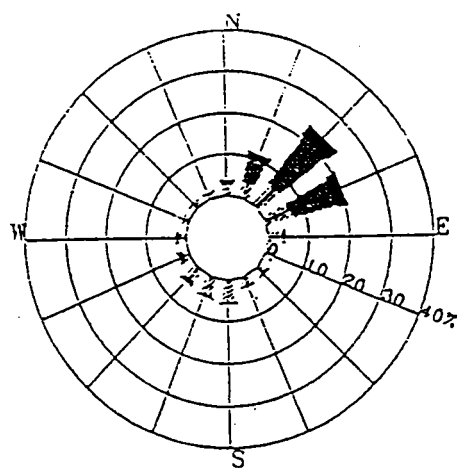
表八、台中港每月平均風速統計表

單位：m/sec

年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	13.3	12.1	10.3	6.0	4.7	4.1	5.1	3.7	8.0	14.4	12.2	10.5
61	11.2	11.8	7.9	8.0	5.1	5.3	4.5	5.7	5.4	6.7	9.4	10.5
62	11.2	8.1	7.5	5.6	5.4	5.5	5.1	3.4	4.3	9.9	12.4	12.5
63	10.3	11.6	8.8	6.3	5.1	5.0	4.5	4.8	5.5	11.4	11.1	11.7
64	10.4	8.8	8.1	4.8	5.2	4.8	4.9	5.2	3.9	9.0	10.9	11.7
65	10.9	9.5	8.8	8.3	5.9	5.5	4.7	3.9	-	-	-	-
年平均	10.9	10.3	8.6	6.5	5.2	5.0	4.8	4.5	5.4	10.3	11.2	11.4

台中港測1984~1990年資料經分析處理成風玫瑰圖[22]如圖二十七顯示本站主要風向為東北東(40%)。而個別年的結果如圖二十八至圖三十四；由這些圖比較可知本測站風場特性隨年稍有不同，如主要風向大致介於北北東及東北東之間，而此方向其風速的分佈也有所不同。可見本站風場特性，不是很穩定。個別月的風玫瑰圖如圖三十五至圖四十六，由圖中可知1、2、3、11、12等月的風向，風速分佈很相似，其風向主要集中於東北，且風速大部份也分佈於5.5~20.7公尺/秒之間，是屬冬季強勁穩定之季風型態。6、8等月份的風向分佈較散亂，但有較明顯的西南風向分佈，應屬夏季較不穩定之季風態。7月份的風向分佈呈現明顯的東北東向，而無西南向，此與夏季季風情況不符告，但其風速大部份不超過5.4公尺/秒。由圖中發現除了夏季外，風能主要分佈東北及東北東，而夏季則有較明顯的西南方向的風能存在。一般而言晝時的風能較夜時為大，尤其是夏季此情況更明顯。

本站各月的風速持續發生百分比以1、2、3、10、11、12等月份有較大比值，如1月份中之風速大於10公尺/秒，且持續發生18小時以上的百分比高達30%，可見本站冬季為穩定之強風盛吹期，至於屬於夏季的5、6、7、8等月份，若同上述的風速持續發生條件則其百分比近於零。有關台中港附近之風力狀況，根據中央氣象局梧棲測候站自民國66年至77年之風速紀錄整理如表九所示[23][24]，各月平均風速介於3.5~7.5m/sec間，其中4月至9月屬三級風(3.4~5.4m/s)，10月至翌年3月屬四級風(5.5~7.9m/s)，而各月出現之極大風速與平均最大風速，則多在20m/s以上。至於風速之季節性變化方面，以冬季之平均風速最高，依次為春季、秋季，而以夏季最低。另外，有關風向方面，則依據民國66年~78年之風向頻率資料，統計分析如表十所示。全年之盛行風向以東北(NE)風及北北東(NNE)風為主，分別佔25.8%及24.8%，共佔50.6%。



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

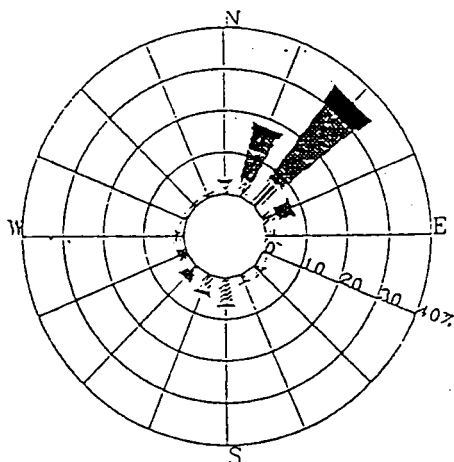
NNE	1.74	6.09	1.72	0.05
NE	1.33	5.07	1.16	0.05
ENE	2.93	7.40	1.88	0.35
E	1.09	0.71	0.12	0.03
ESE	0.47	0.36	0.02	0.00
SE	0.63	0.08	0.01	0.00
SSE	1.52	0.06	0.00	0.00
S	1.13	0.12	0.00	0.00
SSW	1.60	0.35	0.00	0.00
SW	1.67	0.59	0.00	0.00
WSW	0.84	0.30	0.01	0.00
W	0.53	0.68	0.00	0.00
WNW	0.27	0.19	0.00	0.00
NW	0.71	0.05	0.02	0.00
NNW	0.71	0.77	0.07	0.00
N	0.87	1.43	0.59	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1984-1990

DATA NAME : TCYETO.DAT

圖二十七、台中港風玫瑰圖 (1984 ~ 1990)



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

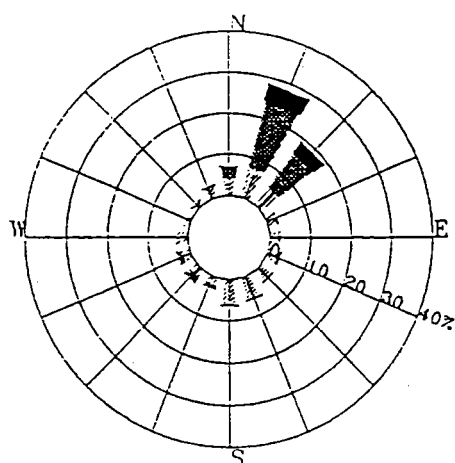
NNE	3.12	12.96	3.75	0.00
NE	4.69	17.66	6.37	0.12
ENE	3.15	6.60	1.55	0.27
E	1.38	0.05	0.00	0.00
ESE	1.29	0.00	0.00	0.00
SE	2.23	0.05	0.00	0.00
SSE	2.05	0.13	0.00	0.00
S	7.01	0.47	0.00	0.00
SSW	5.54	1.24	0.00	0.00
SW	2.12	3.12	0.00	0.00
WSW	0.63	3.84	0.04	0.00
W	1.77	1.55	0.00	0.00
WNW	1.24	0.22	0.00	0.00
NW	0.90	0.09	0.00	0.00
NNW	0.77	0.07	0.04	0.00
N	1.78	1.80	0.08	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1984

DATA NAME : TC84TO.DAT

圖二十八、台中港 1984 年風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - 24.7
NNE	5.51	14.16	7.69	0.12
NE	3.43	13.57	4.89	0.04
ENE	1.42	0.44	0.00	0.04
E	1.42	0.91	0.00	0.00
ESE	1.86	3.21	0.23	0.05
SE	2.99	0.29	0.00	0.00
SSE	5.99	0.32	0.00	0.00
S	8.15	0.35	0.00	0.00
SSW	2.71	1.77	0.00	0.00
SW	2.56	3.26	0.04	0.00
WSW	2.86	3.05	0.00	0.00
W	3.13	0.37	0.00	0.00
WNW	1.29	0.10	0.00	0.00
NW	1.41	0.17	0.00	0.00
NNW	2.64	0.38	0.20	0.00
N	2.39	3.00	0.08	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

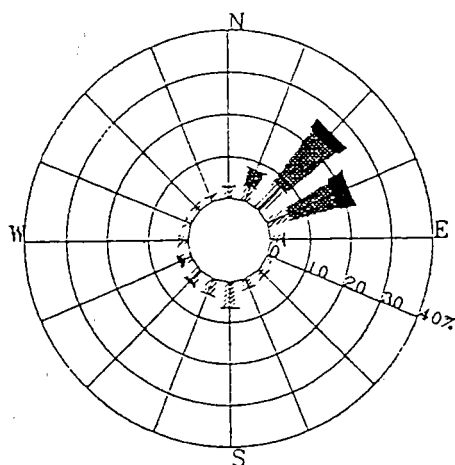
13.9 - 20.7 20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1985

DATA NAME : TC85TO.DAT

圖二十九、台中港 1985 風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

	0.0 - 5.4	5.5 - 13.8	13.9 - 20.7	20.8 - 24.7
NNE	2.21	5.58	0.32	0.00
NE	5.16	18.50	4.78	0.37
ENE	3.64	16.89	8.26	1.95
E	2.03	1.06	0.09	0.11
ESE	0.58	0.13	0.00	0.00
SE	0.99	0.06	0.04	0.00
SSE	1.81	0.09	0.00	0.00
S	7.16	0.48	0.00	0.00
SSW	4.47	0.09	0.00	0.00
SW	4.10	1.22	0.00	0.00
WSW	2.48	3.02	0.00	0.00
W	2.39	1.64	0.00	0.00
WNW	2.01	0.82	0.00	0.00
NW	2.12	0.16	0.00	0.00
NNW	1.48	0.14	0.00	0.00
N	1.71	0.55	0.09	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

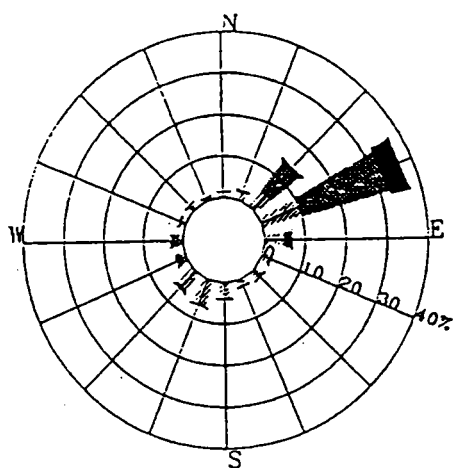
13.9 - 20.7 20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1986

DATA NAME : TC86TO.DAT

圖三十、台中港 1986 年風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

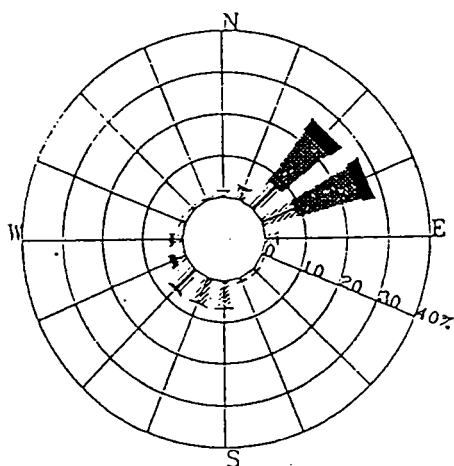
NNE	1.30	0.70	0.00	0.00
NE	1.76	5.96	1.13	0.00
ENE	4.99	13.19	6.89	1.76
E	3.55	2.90	0.16	0.31
ESE	2.87	0.93	0.00	0.00
SE	3.39	0.63	0.00	0.00
SSE	1.99	0.08	0.00	0.00
S	5.13	0.22	0.00	0.00
SSW	7.57	0.38	0.00	0.00
SW	5.09	0.82	0.00	0.00
WSW	1.38	2.44	0.00	0.00
W	1.28	3.49	0.00	0.00
WNW	1.55	1.16	0.00	0.00
NW	1.72	0.36	0.00	0.00
NNW	0.76	0.09	0.00	0.00
N	1.28	0.09	0.00	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1987

DATA NAME : TC87TO.DAT

圖三十一、台中港 1987 年風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

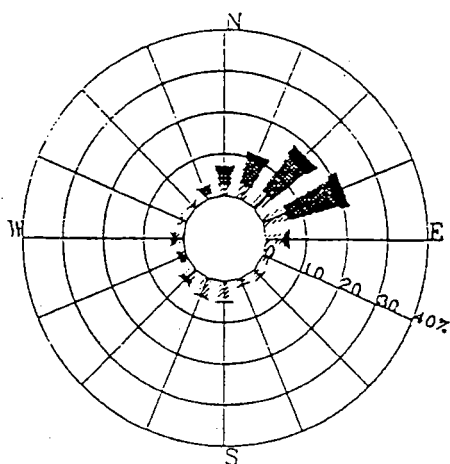
NNE	1.82	0.90	0.00	0.00
NE	8.93	11.10	5.87	0.11
ENE	6.53	17.41	4.70	0.00
E	2.40	0.23	0.09	0.00
ESE	0.70	0.00	0.00	0.00
SE	0.94	0.00	0.00	0.00
SSE	1.50	0.00	0.00	0.00
S	8.91	0.13	0.00	0.00
SSW	6.52	0.48	0.00	0.00
SW	6.71	1.33	0.00	0.00
WSW	3.15	2.72	0.00	0.00
W	2.16	3.99	0.00	0.00
WNW	1.51	0.09	0.00	0.00
NW	1.05	0.00	0.00	0.00
NNW	0.72	0.05	0.00	0.00
N	1.27	0.20	0.00	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 1988

DATA NAME : TC88TO.DAT

圖三十二、台中港 1988 年風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

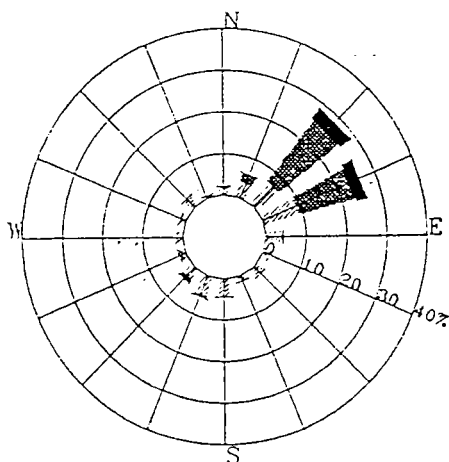
STANDARD DEVIATION

NNE	2.79	10.33	5.60	0.30
NE	2.30	10.28	4.87	0.21
ENE	3.83	13.54	6.69	0.00
E	4.16	2.01	0.90	0.00
ESE	1.66	0.06	0.00	0.00
SE	1.68	0.08	0.05	0.00
SSE	1.36	0.25	0.00	0.00
S	5.06	0.31	0.00	0.00
SSW	4.70	0.53	0.00	0.00
SW	3.10	1.59	0.00	0.00
WSW	0.79	2.12	0.00	0.00
W	2.30	1.90	0.00	0.00
WNW	2.45	0.26	0.00	0.00
NW	1.19	0.12	0.16	0.00
NNW	0.93	4.83	0.42	0.00
N	1.51	7.61	3.98	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR
 DATE : 1989

DATA NAME : TC89TO.DAT

圖三十三、台中港 1989 年風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

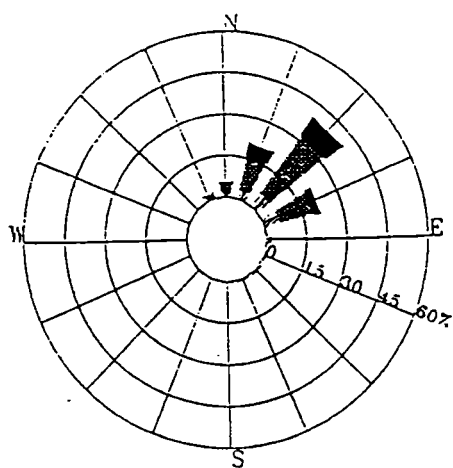
STANDARD DEVIATION

NNE	2.48	1.80	0.00	0.00
NE	3.14	12.22	4.64	0.00
ENE	3.34	11.11	5.04	0.05
E	2.05	0.26	0.00	0.00
ESE	1.19	0.04	0.00	0.00
SE	1.72	0.00	0.00	0.00
SSE	0.99	0.16	0.00	0.00
S	3.35	0.23	0.00	0.00
SSW	5.19	1.60	0.00	0.00
SW	2.35	1.52	0.00	0.00
WSW	0.87	1.62	0.06	0.00
W	1.01	1.03	0.04	0.00
WNW	2.08	0.29	0.04	0.00
NW	3.75	0.16	0.00	0.00
NNW	0.82	0.11	0.00	0.00
N	1.11	0.19	0.00	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR
 DATE : 1990

DATA NAME : TC90TO.DAT

圖三十四、台中港 1990 年風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

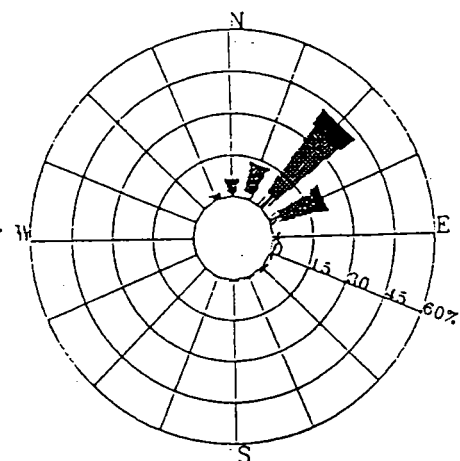
NNE	2.33	14.08	8.04	0.31
NE	4.32	19.88	7.80	0.00
ENE	5.01	18.52	4.63	0.00
E	1.24	0.13	0.00	0.00
ESE	0.80	0.00	0.00	0.00
SE	1.11	0.00	0.00	0.00
SSE	0.49	0.00	0.00	0.00
S	0.80	0.05	0.00	0.00
SSW	0.55	0.00	0.00	0.00
SW	0.73	0.00	0.00	0.00
WSW	0.23	0.05	0.00	0.00
W	0.36	0.11	0.00	0.00
WNW	0.20	0.00	0.00	0.00
NW	0.34	0.15	0.00	0.00
NNW	0.98	4.33	0.51	0.00
N	1.11	7.05	1.83	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 01

DATA NAME : TC01TO.DAT

圖三十五、台中港 1 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

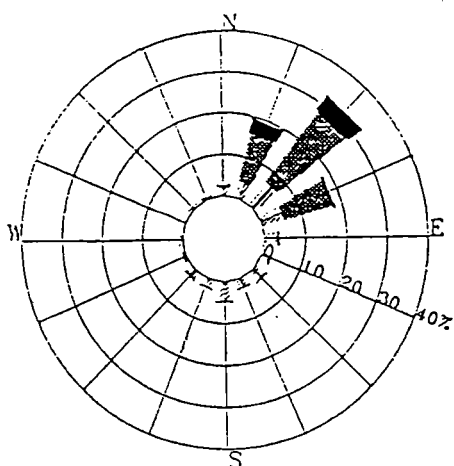
NNE	2.32	10.97	2.27	0.00
NE	4.29	16.74	5.67	0.00
ENE	4.12	15.23	5.36	0.36
E	2.57	2.84	0.00	0.00
ESE	0.98	0.75	0.00	0.00
SE	0.70	0.28	0.00	0.00
SSE	0.39	0.28	0.00	0.00
S	0.80	0.06	0.00	0.00
SSW	0.52	0.56	0.00	0.00
SW	0.42	0.17	0.00	0.00
WSW	0.28	0.06	0.00	0.00
W	0.40	0.06	0.00	0.00
WNW	0.34	0.11	0.00	0.00
NW	0.57	0.00	0.00	0.00
NNW	0.42	4.97	0.28	0.00
N	1.12	7.50	5.07	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 02

DATA NAME : TC02TO.DAT

圖三十六、台中港 2 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

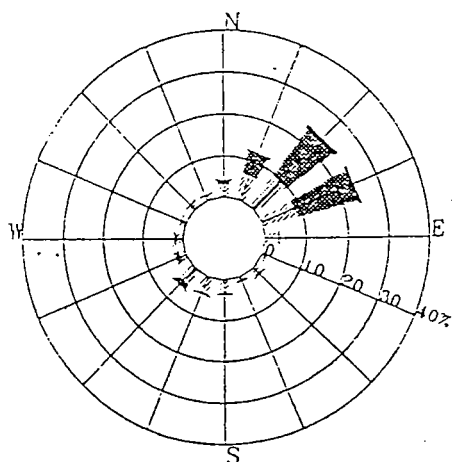
NNE	3.12	15.65	9.47	0.00
NE	4.38	12.23	3.50	0.00
ENE	2.75	15.17	1.73	0.00
E	3.72	1.58	0.00	0.00
ESE	3.78	1.04	0.00	0.00
SE	4.48	0.82	0.00	0.00
SSE	2.45	0.14	0.00	0.00
S	5.89	0.26	0.00	0.00
SSW	1.09	0.19	0.00	0.00
SW	1.39	0.63	0.00	0.00
WSW	0.38	0.62	0.00	0.00
W	0.72	0.25	0.00	0.00
WNW	0.42	0.00	0.00	0.00
NW	0.87	0.00	0.00	0.00
NNW	0.69	0.12	0.00	0.00
N	1.56	0.73	0.05	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 03

DATA NAME : TC03TO.DAT

圖三十七、台中港 3 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

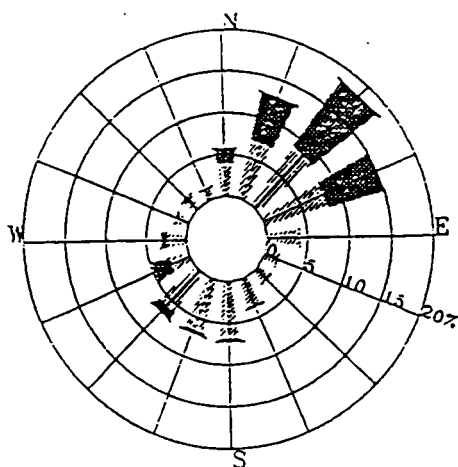
NNE	6.85	8.92	0.34	0.00
NE	3.57	7.71	0.89	0.00
ENE	4.00	11.79	1.46	0.00
E	1.81	0.27	0.00	0.00
ESE	0.32	0.00	0.00	0.00
SE	1.44	0.28	0.00	0.00
SSE	0.81	0.21	0.00	0.00
S	2.22	0.17	0.00	0.00
SSW	2.15	0.38	0.00	0.00
SW	2.88	1.17	0.00	0.00
WSW	1.09	1.05	0.00	0.00
W	1.04	1.07	0.00	0.00
WNW	0.72	0.16	0.00	0.00
NW	0.59	0.13	0.06	0.00
NNW	1.70	0.44	0.00	0.00
N	2.71	2.05	0.00	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 04

DATA NAME : TC04TO.DAT

圖三十八、台中港 4 月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

NNE	3.52	5.57	0.00	0.00
NE	2.89	6.39	0.46	0.05
ENE	5.43	6.83	0.10	0.00
E	1.09	0.31	0.00	0.00
ESE	0.98	0.00	0.00	0.00
SE	0.62	0.11	0.00	0.00
SSE	3.41	0.42	0.00	0.00
S	4.81	0.60	0.00	0.00
SSW	3.67	0.61	0.00	0.00
SW	3.00	1.04	0.00	0.00
WSW	1.24	1.52	0.00	0.00
W	1.02	0.99	0.00	0.00
WNW	1.07	0.27	0.00	0.00
NW	1.21	0.07	0.00	0.00
NNW	1.12	0.20	0.00	0.00
N	2.18	3.53	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

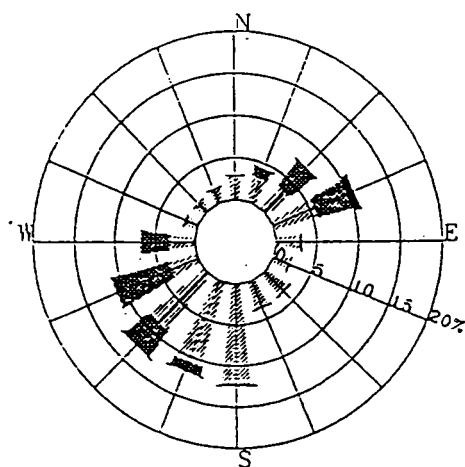
13.9 - 20.7 20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 05

DATA NAME : TC05TO.DAT

圖三十九、台中港 5 月份風玫瑰圖



STANDARD DEVIATION

NNE	1.25	1.03	0.00	0.00
NE	2.32	3.79	0.37	0.00
ENE	4.45	6.14	2.21	0.00
E	0.91	0.41	0.12	0.00
ESE	1.17	0.00	0.00	0.00
SE	2.19	0.00	0.00	0.00
SSE	1.95	0.05	0.00	0.00
S	9.11	0.50	0.00	0.00
SSW	1.89	1.82	0.00	0.00
SW	4.47	1.54	0.00	0.00
WSW	3.10	2.38	0.05	0.00
W	2.19	4.34	0.05	0.00
WNW	1.51	0.31	0.05	0.00
NW	1.21	0.11	0.00	0.00
NNW	0.80	0.11	0.00	0.00
N	1.06	0.05	0.00	0.00

WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

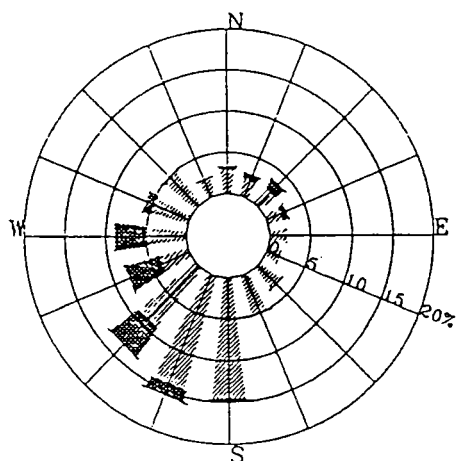
13.9 - 20.7 20.8 - INFI

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 06

DATA NAME : TC06TO.DAT

圖四十、台中港 6 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

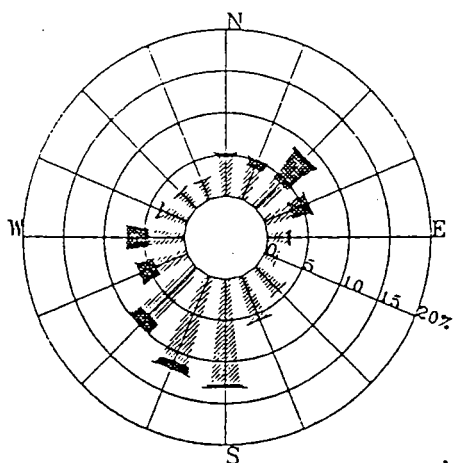
NNE	1.27	0.57	0.00	0.00
NE	1.52	1.74	0.13	0.00
ENE	1.16	0.94	0.06	0.00
E	1.03	0.06	0.00	0.00
ESE	0.85	0.00	0.00	0.00
SE	1.49	0.08	0.00	0.00
SSE	5.42	0.05	0.00	0.00
S	4.24	0.43	0.00	0.00
SSW	4.71	2.32	0.00	0.00
SW	4.14	4.17	0.05	0.00
WSW	2.38	3.82	0.00	0.00
W	1.62	2.98	0.00	0.00
WNW	2.34	1.58	0.00	0.00
NW	4.20	0.49	0.00	0.00
NNW	0.75	0.08	0.00	0.00
N	1.02	0.23	0.00	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 07

DATA NAME : TC07TO.DAT

圖四十一、台中港 7 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

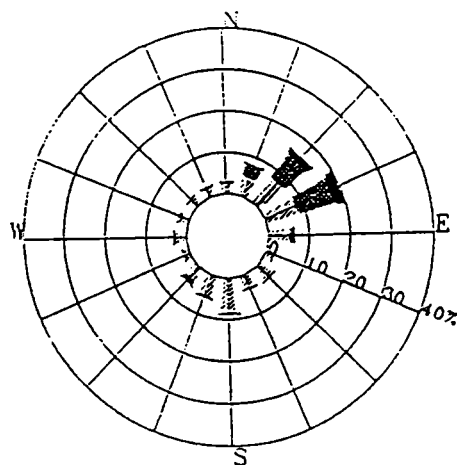
NNE	1.25	1.53	0.06	0.00
NE	2.01	4.11	0.79	0.06
ENE	2.42	4.37	0.56	0.13
E	1.17	0.74	0.13	0.00
ESE	0.95	0.18	0.00	0.00
SE	2.94	0.07	0.00	0.00
SSE	5.39	0.18	0.00	0.00
S	5.57	0.57	0.00	0.00
SSW	7.01	1.20	0.00	0.00
SW	4.83	1.41	0.00	0.00
WSW	3.33	2.19	0.06	0.00
W	3.35	3.86	0.00	0.00
WNW	0.94	0.33	0.00	0.00
NW	1.35	0.23	0.00	0.00
NNW	1.37	0.12	0.06	0.00
N	1.03	0.64	0.13	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 08

DATA NAME : TC08TO.DAT

圖四十二、台中港 8 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

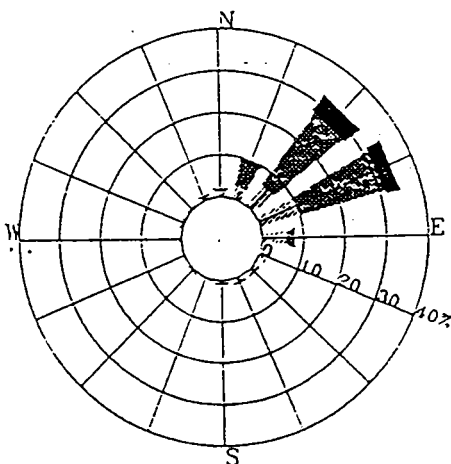
NNE	2.95	4.53	0.49	0.23
NE	4.90	4.46	3.07	0.52
ENE	3.21	12.82	2.99	2.58
E	1.18	2.82	0.14	0.14
ESE	1.40	0.06	0.00	0.00
SE	2.41	0.07	0.07	0.00
SSE	2.39	0.21	0.00	0.00
S	5.95	0.27	0.00	0.00
SSW	2.60	0.59	0.00	0.00
SW	1.67	1.66	0.00	0.00
WSW	0.94	0.93	0.06	0.00
W	1.77	0.86	0.00	0.00
WNW	1.37	0.35	0.00	0.00
NW	1.67	0.14	0.21	0.00
NNW	3.23	0.13	0.07	0.00
N	1.62	0.28	0.21	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 09

DATA NAME : TC09TO.DAT

圖四十三、台中港 9 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)

0.0 - 5.4 5.5 - 13.8

13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

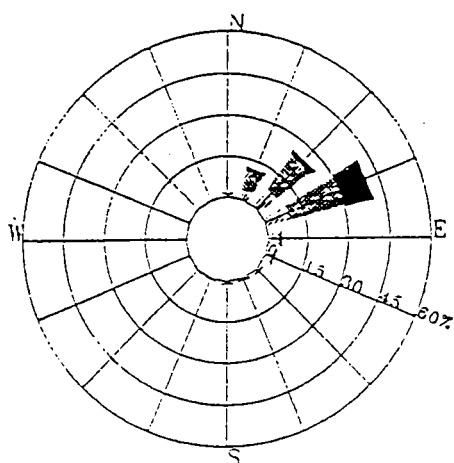
NNE	3.31	8.98	2.75	0.17
NE	4.58	12.35	5.30	0.16
ENE	5.98	17.96	3.29	1.72
E	3.54	1.88	1.28	0.00
ESE	0.77	0.08	0.00	0.00
SE	0.87	0.00	0.00	0.00
SSE	0.97	0.00	0.00	0.00
S	0.62	0.06	0.00	0.00
SSW	0.50	0.00	0.00	0.00
SW	0.64	0.00	0.00	0.00
WSW	0.40	0.00	0.00	0.00
W	0.85	0.00	0.00	0.00
WNW	0.85	0.00	0.00	0.00
NW	0.58	0.06	0.00	0.00
NNW	1.35	0.06	0.28	0.00
N	1.74	0.81	0.11	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR

DATE : 10

DATA NAME : TC10TO.DAT

圖四十四、台中港 10 月份風玫瑰圖



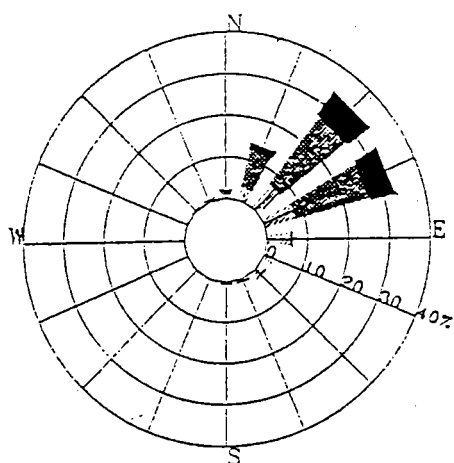
WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

NNE	2.91	12.80	3.49	0.00
NE	9.97	11.59	2.44	0.00
ENE	7.13	17.83	11.73	1.81
E	2.06	2.17	0.23	0.40
ESE	2.46	4.21	0.29	0.06
SE	1.16	0.00	0.05	0.00
SSE	0.95	0.00	0.00	0.00
S	1.19	0.06	0.00	0.00
SSW	0.60	0.00	0.00	0.00
SW	0.47	0.00	0.00	0.00
WSW	0.35	0.00	0.00	0.00
W	0.88	0.00	0.00	0.00
WNW	0.37	0.00	0.00	0.00
NW	1.10	0.06	0.00	0.00
NNW	0.43	0.00	0.00	0.00
N	0.60	0.52	0.00	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR
 DATE : 11
 DATA NAME : TC11TO.DAT

圖四十五、台中港 11 月份風玫瑰圖



WIND SPEED RANGE (M/SEC)
 0.0 - 5.4 5.5 - 13.8
 13.9 - 20.7 20.8 - INFI

STANDARD DEVIATION

NNE	3.29	16.53	4.16	0.00
NE	2.05	15.80	7.84	0.13
ENE	4.64	16.61	8.31	0.17
E	5.68	1.30	0.00	0.00
ESE	2.21	0.00	0.00	0.00
SE	2.06	0.00	0.00	0.00
SSE	0.75	0.00	0.00	0.00
S	0.75	0.00	0.00	0.00
SSW	0.29	0.00	0.00	0.00
SW	0.19	0.00	0.00	0.00
WSW	0.22	0.00	0.00	0.00
W	0.49	0.00	0.00	0.00
WNW	0.29	0.17	0.00	0.00
NW	0.32	0.09	0.00	0.00
NNW	0.40	0.06	0.00	0.00
N	0.68	2.59	0.11	0.00

POSITION : TAI-CHUNG HARBOUR
 DATE : 12
 DATA NAME : TC12TO.DAT

圖四十六、台中港 12 月份風玫瑰圖

表九、台中港特定區風速紀錄表

單位：m/sec

項目 \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
極大風速	33.0	36.4	32.8	33.0	23.2	33.1	33.7	45.9	49.7	47.9	41.4	37.2	—
平均風速	7.3	7.1	5.8	4.6	4.0	3.9	3.5	3.5	4.6	6.3	7.4	7.5	5.5
平均最大風速	20.5	22.2	22.3	22.6	18.0	24.9	22.0	32.0	33.0	28.0	24.8	24.0	—

註：本表乃根據民國66年～77年梧棲測候站觀測記錄統計而得，其中極大風速係由民國71年～77年之資料統計而得。

2. 颱風：台灣因地處太平洋西側，夏季常有颱風侵襲，據中央氣象局曾發佈颱風警報的資料統計自民國38年至民國81年間，計有189次颱風侵襲台灣地區，平均每年4.3次。其中以7、8及9月發生颱風侵台比率最高，三個月合計約佔73.6%，如表十一〔25〕雖然台灣常受颱風侵襲，但由於受台灣中央山脈的阻隔而破壞其環流系統使其威力減弱，因此位於中央山脈西側的台中港受颱風侵襲的程度較小。不過如圖四十七中所示第五類路徑對台中港則有較大的影響（例如75年的韋恩颱風），而此種路徑共計15次，佔侵台颱風之7.8%，平均每年發生頻率只有0.34次。

表十、台中港特定區風向月平均百分率

單位：％

風向 \ 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
CALM	1.6	1.5	2.7	4.1	4.1	3.6	3.8	5.6	5.9	5.5	2.3	2.0	3.55
N	10.4	7.6	9.2	9.7	8.3	5.2	3.3	5.5	7.0	6.5	6.0	5.9	7.04
NNE	39.9	43.1	29.8	22.7	16.7	7.3	1.9	5.8	18.1	32.1	38.8	41.6	24.83
NE	37.6	32.3	31.7	25.3	19.6	10.5	3.6	5.0	23.6	37.5	41.4	41.3	25.79
ENE	2.0	2.1	2.7	2.6	2.5	1.1	1.2	1.7	2.6	2.2	2.0	2.4	2.10
E	0.8	0.7	1.4	1.3	1.4	0.8	1.4	1.5	1.7	0.8	0.7	0.8	1.10
ESE	0.6	0.8	0.3	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	1.1	0.8	1.0	0.5	0.72
SE	1.1	1.7	3.3	3.6	4.1	6.5	6.4	6.0	4.8	1.8	0.8	0.9	3.42
SSE	1.2	1.6	4.1	6.5	13.5	20.7	24.1	22.8	12.1	2.5	1.5	0.8	9.27
S	0.6	1.9	2.8	5.6	6.9	13.4	14.2	12.9	4.5	1.0	0.8	0.5	5.42
SSW	0.4	0.5	1.2	2.3	3.6	4.9	5.4	4.2	2.1	0.5	0.4	0.2	2.14
SW	0.3	1.0	2.5	3.5	3.4	7.0	6.8	4.6	1.8	0.3	0.3	0.3	2.64
WSW	0.2	0.4	1.4	2.1	3.2	6.2	7.9	4.6	2.3	0.5	0.2	0.1	2.43
W	0.4	0.6	2.0	2.5	3.1	4.3	8.1	6.4	3.3	1.1	0.6	0.3	2.73
WNW	0.2	0.4	0.5	1.4	1.3	2.1	3.4	2.9	1.8	0.9	0.3	0.5	1.31
NW	1.1	1.2	1.6	2.5	2.5	2.6	4.2	4.0	3.1	1.7	1.0	0.5	2.16
NNW	1.6	2.5	2.7	3.9	4.9	3.5	3.3	5.5	4.3	3.9	2.3	1.6	3.35

註：1. CALM風速等於或低於0.3m/sec

2. 本表乃依據民國66年～78年梧棲測候站觀測紀錄統計而得

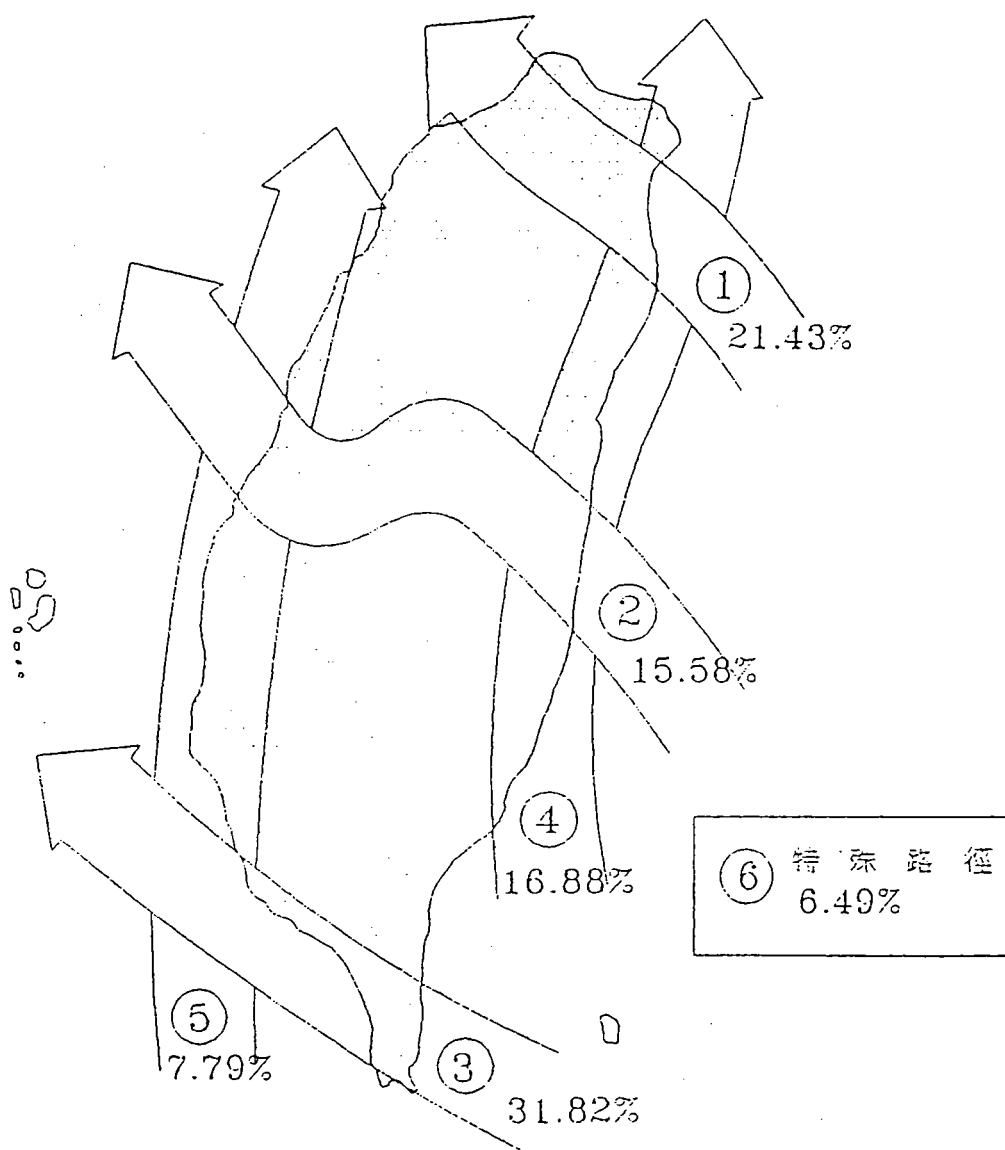
表十一、民國 38 年至民國 81 年颱風侵台各月次數

月份	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
次數	2	6	19	44	51	44	14	9	1	189
年平均次數	0.04	0.14	0.43	1.0	1.16	1.0	0.32	0.2	0.02	4.31
發生百分比 (%)	1.1	3.2	10.1	23.3	27.0	23.3	7.4	4.8	0.5	100.0

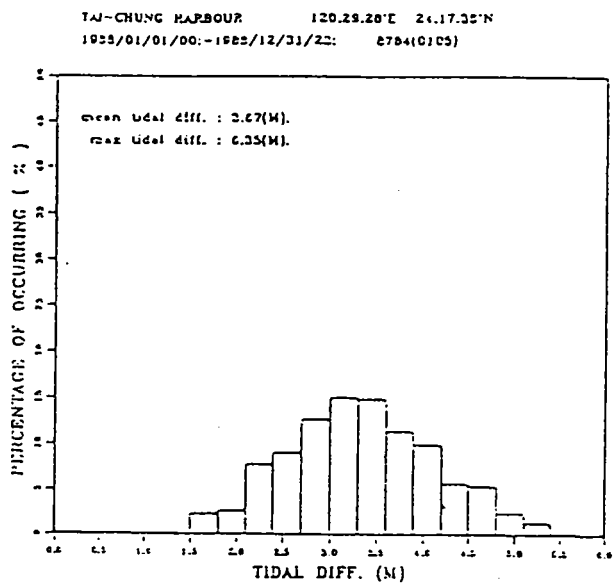
5.4 潮汐

依台中港務局民國60年至75年之觀測紀錄顯示，其平均潮位為2.77m，另因本港位於台灣海峽南、北部潮汐會合處，故其潮差較台灣其他地區為大，其平均潮差為3.74m。

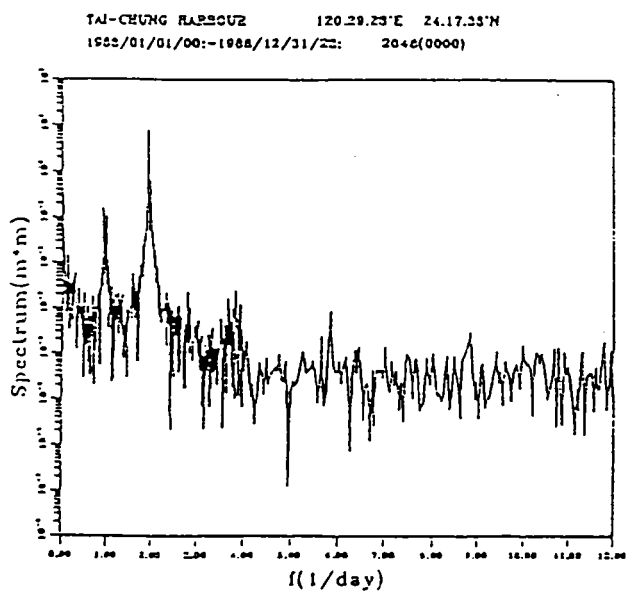
依港灣技術研究所於民國74年至76年研究台中港之潮位能譜分析顯示[26]，每月潮位統計方塊圖如附圖四十八顯示[25]，潮差圍多0至5.0m之間。潮位能譜分析結果如附圖四十九[25]，台中港潮汐主要成份為半日潮與全日潮位，而以半日潮為主。半日潮振幅為1.6至1.7m，全日潮振幅約為0.3至0.4m，因此半日潮能量約為全日潮能量之二十餘倍。台灣海域以台中港潮差最大，乃其地理位居台灣西岸中部，潮水因地理效應，南北兩側潮水在海峽造成推擠之故。



圖四十七、侵台颱風路徑分類圖



圖四十八、台中港潮差統計分佈圖



圖四十九、台中港潮位能譜圖

5.5 波浪

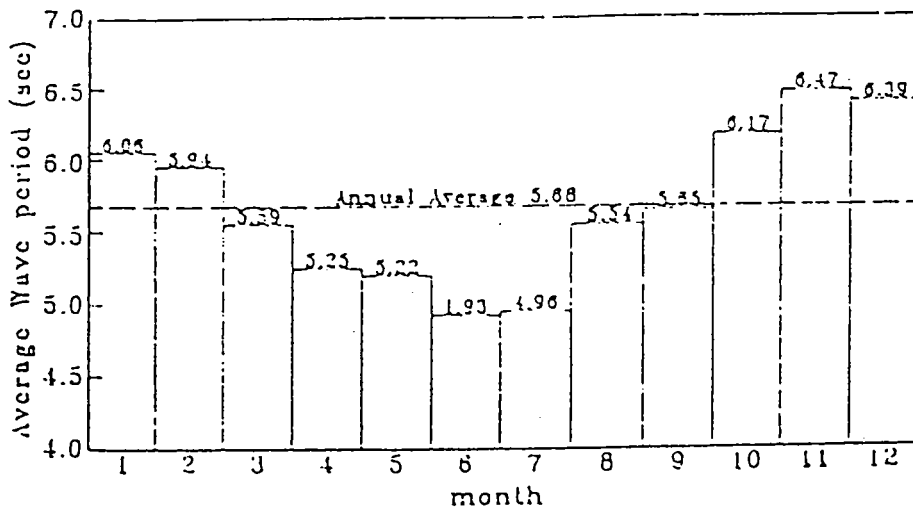
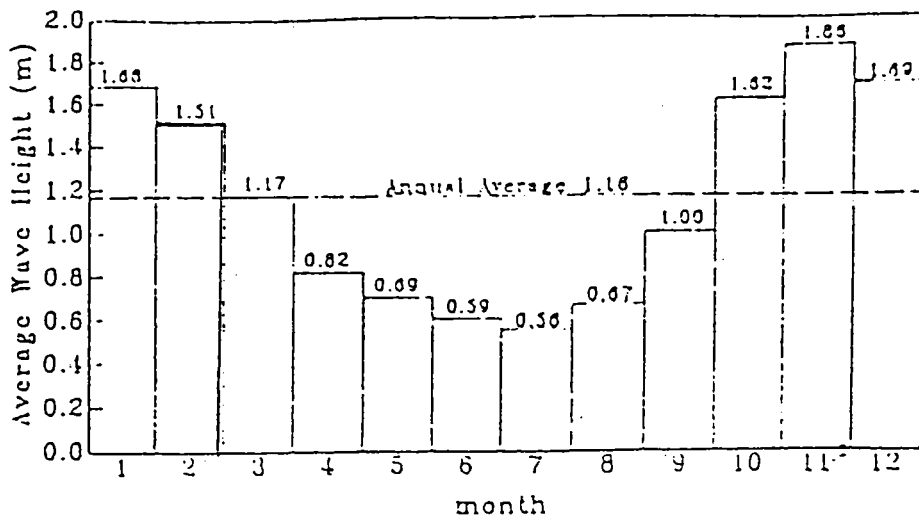
台中港測站資料時間涵蓋1971/07至1997/12及1989/08~1989/12全部資料數約1萬8仟餘筆。依全部資料分析其波高分別在示性波高及平均波高皆呈近似Rayleigh分佈[22]。

台中港各月份波高與週期平均值如圖五十[27]，冬季受強烈東北季風吹襲波高偏大，週期較長，夏季除颱風外，海面波浪平靜，全年平均波高 1.16° ，週期 5.68^{sec} ，按月其中以11月份波高 1.86° 最大，7月份波高只有 0.56° 最小。根據波高大小，將全年十二個月區分為冬季、轉型期及夏季。冬、夏兩季波高累積概率分佈及週期概率分佈分析顯示，冬季波高集中於 $1\text{m}\sim 3\text{m}$ 間，發生機率約佔77%，週期介於 5.0sec 至 7.5sec 約佔80%，波高大於 2m 佔15.1%，週期大於 6sec 佔59.2%；夏季波高在 1° 以下約佔86%，週期在 3.0sec 至 6.5sec 間佔89%，夏季波高大於 2m 只佔1.5%，週期大於 6sec 亦只有22.8%，顯示週期有伴隨波高成長趨勢。波高與週期聯合概率分佈分析結果，波浪尖銳度介於0.005與0.035間約佔88%。

經常發生之波高及週期與平均延時有良好線性相關，由迴歸計算波高超過 2° 平均連續發生時間分別為夏季0.16天，冬季1.27天及全年0.85天，顯示冬季海上持續發生惡劣波浪時間遠超過夏季。

5.6 海流

依港灣技術研究於民國74年至76年研究，台中港港口附近之海流現象顯示[26]，台中港港口海流可分為風驅流、潮流、恆流（如黑潮流）及沿岸流（含裂流）四個成份，而觀測其間（民國74.12~76.3）各測站所測得之海流平均流速約 25cm/s 至 35cm/s ，而最大流速超過 100cm/s ，流向都偏西南向。



圖五十、台中港各月份波高與週期平均值

冬季東北季風盛吹時，風驅流顯著增加，其流向為西南向，流速超過 100cm/s 以上，而沿岸因碎波產生沿岸流受北防堤阻擋，在港口附近造成較大之束流；當風速減弱時，流速隨之減小，流向隨潮汐漲落而改變；另流場落後風場，其延時約2小時。

夏季風力微弱，流況主要由恆流及潮流所控制，其最大流速介於 40cm/s 至 60cm/s 間，其中恆流流向為東北向，潮流流向漲潮約向南或西南向，退潮時則向北或東北向；依流速能譜分析顯示，潮流主要成份為半日潮流及全日潮流，其中半日潮流較全日潮流為大，而潮位與潮流延時約為1~2小時。一般而言，漲退潮六、七分流速最大；亦即高、低潮位前二小時左右，流速最大。

綜合分析[25]，以民國70年至76年間資料研究[28][29][30][31]結果顯示，夏季西南季風期，台中港附近海域測得海流流速平均值約25公分／秒至35公分／秒，最常發生流向為東北；冬季東北季風期流速平均值同樣是25至35公分／秒，但最常發生流向為西南，可見本區海流流向受季節影響。由於夏季海流流速與風速的相關關係不明顯，表示此季節較微弱的西南季風所引致的風驅流成份不大，因此研判此區域存在著一東北向的恆流，流速約半節左右，其原因可能與黑潮支流有關。冬季由於強勁的東北季風吹襲，造成本區流向與風向近似一致的明顯風驅流存在。此可由冬季海流流速與風速的交相關函數得知，其最大相關函數值於延時2小時可達0.8（風場領先流場）。

本區潮流主要成份為半日潮流及全日潮流，但半日潮流較全日潮流為大。依研究報告[30]半日潮流振幅約10至14公分／秒，全日潮流振幅約7至12公分／秒。潮流與台中港內潮位相差約1至2小時，漲潮時潮流流向西南；退潮時潮流流向東北。比較夏季與冬季流速與潮位的相關性分析，可發現夏季海流流速與潮位相關性高，最大相關函數值可達0.6，顯示夏季海流成份中潮流比例較大，而冬季由於海流與潮位相關性不高，因此研判冬季海流成份中潮流所佔比例不大。

沿岸流（裂流）主要發生碎波帶以內，當高潮位時（碎波線往海岸方向移動）沿岸流影響區域亦往海岸方向退縮，當低潮位時（碎波線往外海方向移動）沿岸流影響區域亦往外海擴伸。此種沿岸流影響區域由於高、低潮位改變而產生向

、離岸 (on-off shore) 方向變化的問題，在台中港具大潮差及平緩沙岸的情況下是不可忽視的，尤其是探討本區的海岸漂沙問題。

當沿岸流在受到海岸近似垂直的人工結構物（如防波堤、突堤等）阻擋時，則會產生強制裂流（此與一般由於波浪在碎波帶內碎波所造成水量堆積而向外海流出的自然裂流不同）。此情況在台中港北防波堤堤頭常發生，根據以往的觀測資料，曾測得3節的流速，而當東北季風強勁時，在堤頭100公尺內推算可能發生4節以上的流速。由於堤端附近強勁的裂流流速會造成堤端附近的環流現象，此可能為台中港北防波堤堤頭附近海床發生凹洞的原因。目前北防波堤已延伸850公尺，新堤頭附近的海床目前為平坦，至於將來是否會發生凹洞，而危及新堤頭的安全則待進一步觀察。

5.7 漂沙

台中海岸漂沙之來源為北部之大甲溪及南部之大肚溪，依據水資會民國76年水文年報，大甲溪之歷年平均輸沙量約 3.82×10^6 噸（約 $1.78 \times 10^6 m^3$ ），大肚溪則為 6.85×10^6 噸（約 $3.19 \times 10^6 m^3$ ），故知該海域之漂沙活動極活躍。另由歷年實測資料統計，該海域漂沙方向，夏季由南向北，冬季由北向南，而以後者為優勢方向[17]。依據民國68年台中港漂沙評估報告，台中港沿岸地區每年漂沙量在 $1.0 \times 10^6 m^3$ 及 $1.5 \times 10^6 m^3$ ，洪水季則高達 $2.0 \times 10^6 m^3$ 。

台中港區飛沙來源係由台中港港口以北至大甲溪口間之淤沙區於退潮後裸露之沙灘，在冬季東北季風時因風吹沙揚起，致飛沙越過護岸而堆積於漁港等處，為此台中港務局歷年曾設置各種防沙設施，惟於一、二年後，因飛沙堆積致該等設施不敷使用，而依台中港務局歷年之調查，由於沙區每年之高程變化估算得年平均飛沙量約 $83,000 m^3$ ，而每年在漁港區所清除之飛沙量約 $10,000 m^3$ 至 $15,000 m^3$ 。

此外，港研所[25]採用民國65年到民國82年間之地形圖做為探討台中港北方波堤與北防沙堤間地形變化趨勢的基礎。將此時間分成四個變化較明顯的時段比較說明，民國65年到民國69年間之地形比較，在此區域內從-5m到-20m等深線皆

有緩慢向外移動之趨勢，而北防沙堤外側0m以及-5m深線即呈大量外移之現象，而於北防波堤與北防沙堤間之0m等深線，靠近北防波堤呈堆積，靠近北沙堤成侵蝕，此即表示北防沙堤阻擋沙源之功效僅在0m到-5m之間，而對-5m以上之等深線似乎影響很小。民國69年到民國75年間之地形變化，在北防波堤及北防沙堤皆延長後，在此時段內北防波堤及北防沙堤間之-5m到-20m等深線很明顯的有外移現象。而北防沙堤對-5m到-0m之附近仍具有阻擋沙源移動之效果。民國75年到民國79年間之地形變化，北防波堤的阻擋沙源的能力逐漸消失，-15m之等深線已移到堤頭附近，-20m等線深已超越堤頭，而在北防波堤附近仍有明顯的堆積現象，已經有沙源進入航道或下游的趨勢出現，同時北防沙堤內側在0m到-5m間有較大量的堆積，顯示沙源已超過此防沙堤而進入兩堤之間。民國79年到民國82年間之地形比較，在此期北防沙堤已延長並且在兩堤之間+3m以上築堤填沙，顯示-5m到-20m等深線皆有外移的現象，亦即延長又開始發揮阻擋沙源之功效，但-20m等深亦有越過堤頭之趨勢。經由以上之分析，得知在近18年來，在北防波堤與北防沙堤頭之區域內，隨著時間而地形逐漸堆積而外移，北防波堤具有阻擋沙源之能力，但是無法達到永續之效果，北防沙堤僅能影響到-5m水深附近的地形變化，同時如無適當的方法來防止沙源南移，台中港之航道受淤應是時間之問題。

從北防波堤到北防沙堤間之區域內，從民國65年到民國82年共17年間，沙之堆積厚度為494公分，平均每年約以30公分的厚度在增加，因此；此區內推估每年不包括飛沙量在內，每年約有110萬立方公尺的沙堆積在此區域內。靠近北防沙堤在民國65年到69年間成侵蝕狀態，70年以後逐漸堆積。

六、波浪分析

6.1 SAR 波浪影像前置處理

波浪能譜分析之前，必要先去除影像上因亮光斑點（speckle）所造成的雜訊（noise）及信號變化主趨勢的消除（detrend）處理。在此前置處理中，除了將雜訊先行去除，以免干擾主要波浪信號的分析外；做信號變化主趨勢的消除，以加強信號對比及凸顯微小信號變化，都有利於增揚波紋訊息，可獲得較佳之波浪能譜分析結果。

波浪影像資料中，若將雜訊視為一種隨機誤差，則以利用平均操作方法可消除此誤差。因為分析近岸波場，選取較小範圍波浪影像資料，故以 3×3 陣列遮罩（mask）去作移動平均以平滑波浪影像[32]，如此可將雜訊從波場中濾除，以獲得較佳之波浪影像資料。

接著進行信號變化主趨勢的消除，用以銳化或增強波浪影像中的微細變化部份，或者增顯已模糊了的細節。此過程採用空間二維一階線性最小平方方法[33]，經電算處理計算得波浪信號變化主趨勢方程式為

$$Xd(m1, m2) = a + b \cdot m1 + c \cdot m2 \quad (1)$$

其中 a, b, c 為此方程式之參數，SAR影像以數位值（digital count）大小來表示輻射強度之強弱， $X_d(m1, m2)$ 表示在 $N \times N$ 個像元波浪影像中，位置在 $(m1, m2)$ 之像元的輻射強度， $m1, m2$ 均為 $0 \sim N-1$ 之整數參數。

從主信號變化趨勢消除前之波浪影像陣列扣除此主信號變化趨勢之波浪影像陣列，可得去除主信號變化趨勢後之波浪影像陣列。假設，波浪信號主趨勢消除前之數位影像陣列為 $X_0(m1, m2)$ ，經波浪信號主變化趨勢的消除處理後，得到數位影像陣列則為 $X(m1, m2)$ ，亦即

$$X(m1, m2) = X_0(m1, m2) - X_d[m1, m2] \quad (2)$$

主信號變化趨勢的消除，波紋信號對比得以加強，將有助於後續資料處理，以獲致較佳波浪能譜。

6.2 空間傅氏轉換

波場在衛星影像上屬於二維空間取樣，因此使用二維離散式傅氏轉換（two-dimensional Discrete Fourier Transform, DFT）處理資料，選取N像元×N像元之波浪影像，假設等區間之像元的周邊長為 ΔX ， $X(m_1, m_2)$ 表示位置在 m_1, m_2 之像元的輻射強度之數位值（主信號變化趨勢消除後），依二維DFT之定義

$$F(n_1 \cdot K_0, n_2 \cdot K_0) = \frac{1}{N^2} \sum_{m_2=0}^{N-1} \left[\sum_{m_1=0}^{N-1} X(m_1, m_2) \cdot e^{-i n_1 \cdot K_0 \cdot m_1 \cdot \Delta x} \right] \cdot e^{-i n_2 \cdot K_0 \cdot m_2 \cdot \Delta x} \quad (3)$$

其中

$$K_0 = 2\pi / D, \quad D = N \cdot \Delta x$$

（對ERS-1 SAR而言，像元邊長 $\Delta x = 12.5$ 公尺；對SPOT全光態本研究中， $\Delta x = 6.25$ 公尺。實例研究中 $N = 64$ pixels）

$$n_1 = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$n_2 = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$n_1 \cdot K_0 = k_x = \text{卡氏座標 } X \text{ 方向之波數}$$

$$n_2 \cdot K_0 = k_y = \text{卡氏座標 } Y \text{ 方向之波數}$$

選擇 $N = 2^p$ （ p 為自然數）經快速傅氏轉換（FFT）電算處理，求得各個傅氏係數絕對值（振幅大小）的平方，即為得到二維波數能譜 $\phi(k_x, k_y)$ 乃對應於座標系統 X, Y 方向之波數能量密度，座標軸上之解析面格，其單位間距 $\Delta k_x = \Delta k_y = 2\pi / D = 2\pi / (N \cdot \Delta X)$ 。

6.3 波數能譜

在二維波數能譜分析中，由能譜的主峰位置 (n_x, n_y) 顯示主要波浪系統之特性。波長和波向在二維波數能譜中有如下關係：

$$\frac{2\pi}{L} = K = \sqrt{K_x^2 + K_y^2} \quad (4)$$

$$\tan \theta = \frac{K_y}{K_x} = \frac{n_y}{n_x} \quad (5)$$

其中

L：波長

K：波數

$K_x = n_x \cdot K_0$ = 能譜主峰對應於X方向之波數

$K_y = n_y \cdot K_0$ = 能譜主峰對應於Y方向之波數

θ ：波向線和 K_x 軸之夾角

由(4)(5)式中可計算波長，波向分別為：

$$L = \frac{D}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{n_y}{n_x} \right) \quad (7)$$

此外，從波浪影像上之明暗條紋中，可粗略估算波長大小及波浪來向，以作為參考驗證之依據。

至於波高的求算，現場資料的處理，不論由零上切法或頻譜分析都可求得示性波高；但波浪影像資料僅為灰度等級變化數值，表示海面坡度變化，並非絕對波高之值，因此，本研究目前為止只能作定性比較，無法進行波高定量求算。

6.4 實例分析

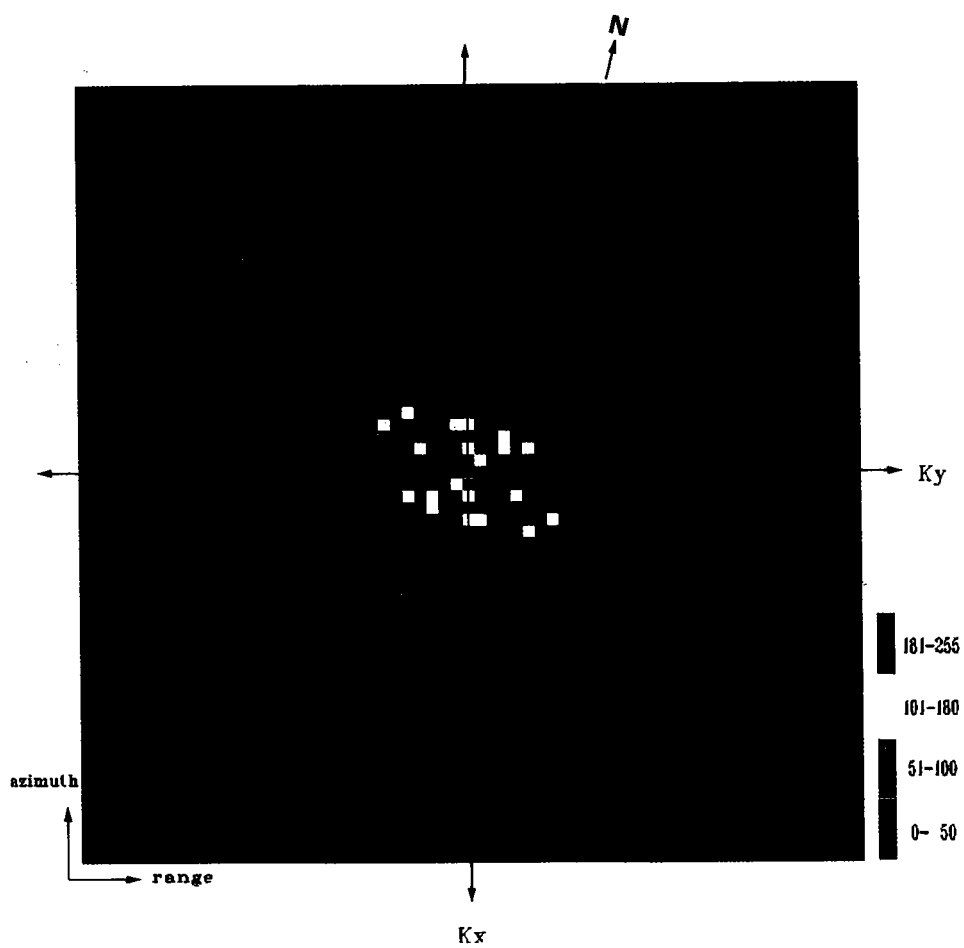
(1) 1993 年 11 月 18 日 ERS-1 SAR 衛星影像（圖二十二）

以一幅1993年11月18日上升（Ascending）模式台中港海域ERS-1 SAR影像圖幅進行波浪分析。依據前述處理方法與程序，原始數位影像資料不經幾何校正，直接切取A,B,C三區波浪影像資料，在雜訊及信號主趨勢消除處理後，經空間傅氏轉換，獲得二維波數能譜。從波數能譜分析中可以得到主要波浪系統的波向、波長等波場資訊。

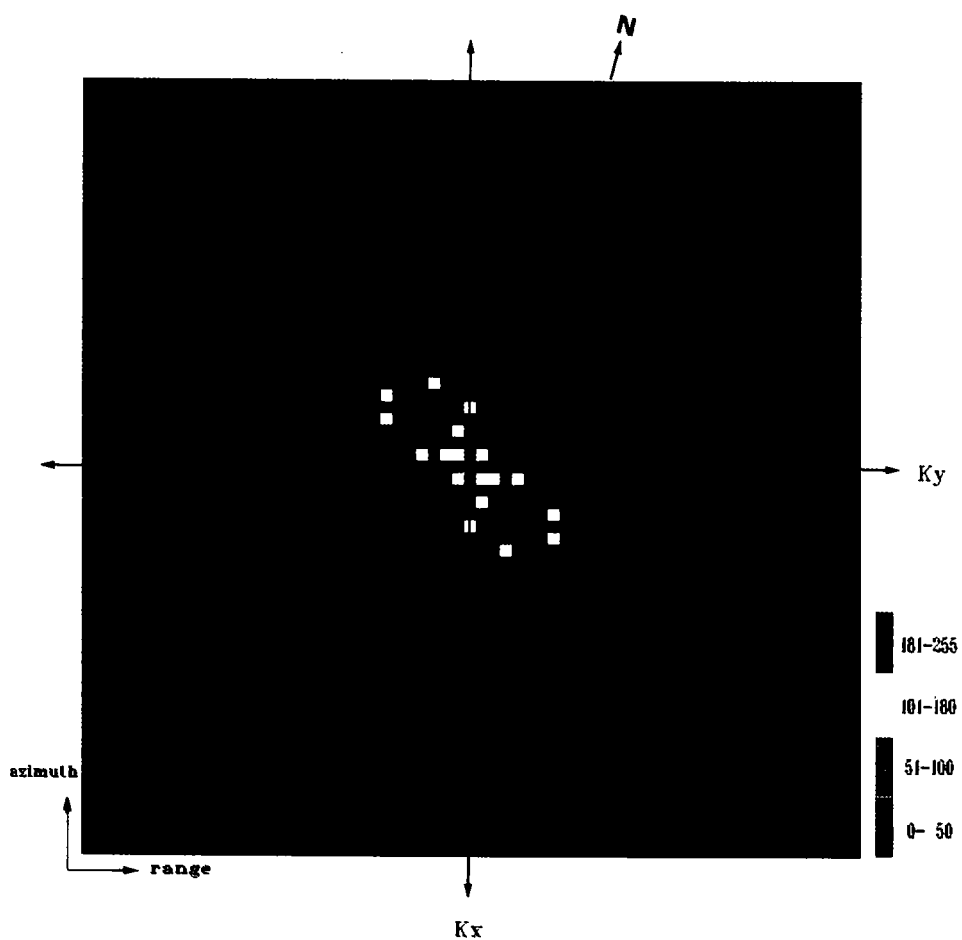
此幅影像分析三處代表性海域，A區為北防沙堤堤頭海域，B區為北防波堤堤頭海域，C區則為北防沙堤與北防波堤間的海域，此三區海域影像，波浪特性分析結果如下：

1. A區—主要波浪區系統位於 $(n_x, n_y) = (-3, -7)$ 如圖五十一所示，計算出波長為105公尺，波浪來向和紙面正上方夾角約 293° ，由於此幅影像屬於上升模式，正北和紙面正上方順鐘向差 12.9° ，故波向(和正北夾角)為 280° 。此外，尚有一波長較長之次要波浪系統位於 $(-2, 3)$ 的位置，信號較為微弱，無其他現場海象資料可輔助判斷，故僅供參考。
2. B區—主要波浪系統位於 $(-1, -6) - (-2, -7)$ 附近如圖五十二所示，波長約為110~132公尺，波向大致為 $267^\circ \sim 273^\circ$ 。由兩個波長及波向極為接近的系統組合而成，很難加以區隔。是以以波長、波向僅能以其混成系統決定，僅為大概之值，無法很明確計算其波長、波向。

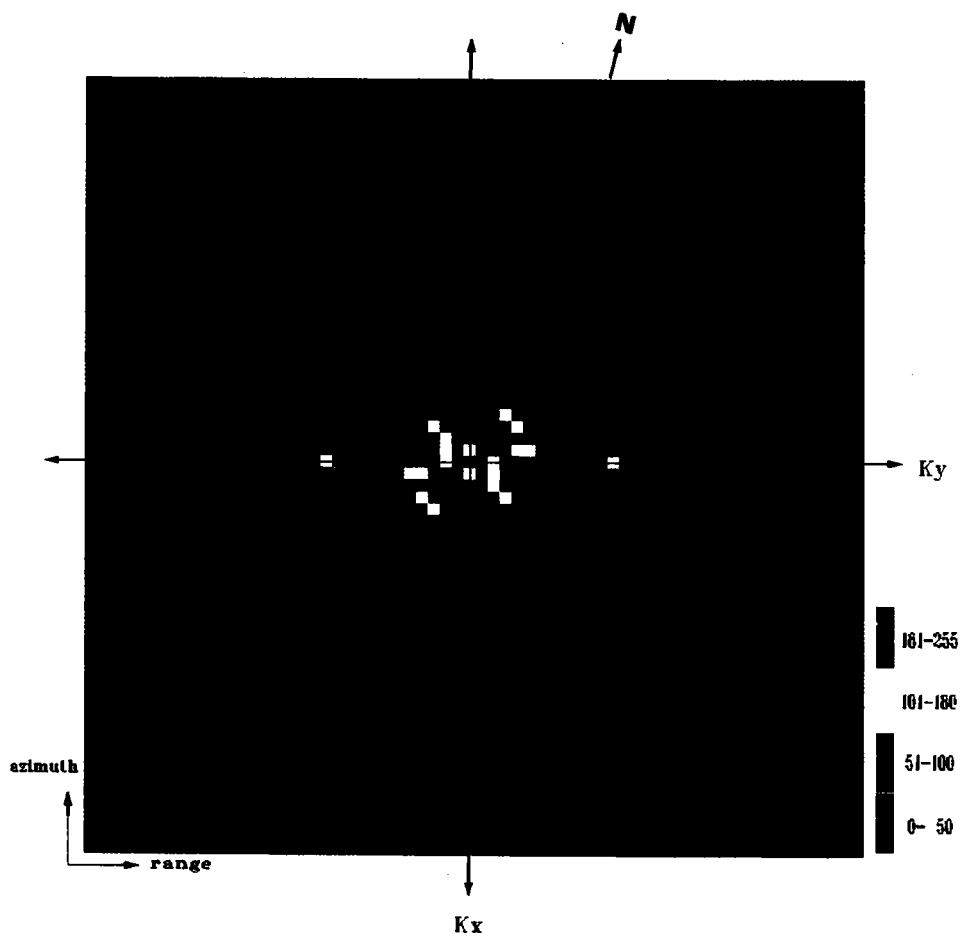
3. C區—主要波浪系統位於(0,11)如圖五十三所示，波長為73公尺，波浪之波向為 77° 向北防波堤或 257° 向岸傳遞，因其波向具有 180° 的不定性，在SAR影像上無法完全決定，只能借助於海氣象條件資料作判斷，以波浪傳遞方向是順風向或向岸方向判斷真正波浪方向，解決波向的不確定性。當天衛星影像攝像時間22:30，吹北北東風，該區水深甚淺，波浪受淺化折射作用，可判斷以 257° 向岸傳遞。



圖五十一、台中港 A 區海域波數能譜等值圖（1993 年 ERS-1 SAR 影像）



圖五十二、台中港B區海域波數能譜等值圖（1993年ERS-1 SAR影像）



圖五十三、台中港 C 區海域波數能譜等值圖（1993 年 ERS-1 SAR 影像）

(2) 1994 年 3 月 4 日 SPOT 衛星影像 (圖二十)

採用 SPOT level 10 全光譜 (P) 態影像 (圖五十四)，已經過幾何校正，影像正上方為正北。如同 ERS-1 SAR 影像資料波浪分析方法與步驟。惟不同點在於兩者資料格式不同。信號特性不同，SPOT 靠可見光源反射強度信號表現不同之波峰波谷波浪條紋；ERS-1 SAR 則主動發射電磁波，再接收波浪高低起伏強弱的回波信號，其波紋成像機制甚為複雜，但因雷達波不受水汽雲層干擾，又可不分晝夜進行觀測，對不良天候海況有其觀測上的優勢。如同實例分析(1)，仍分成 A, B, C 三區海域，各別分析波場特性如下：

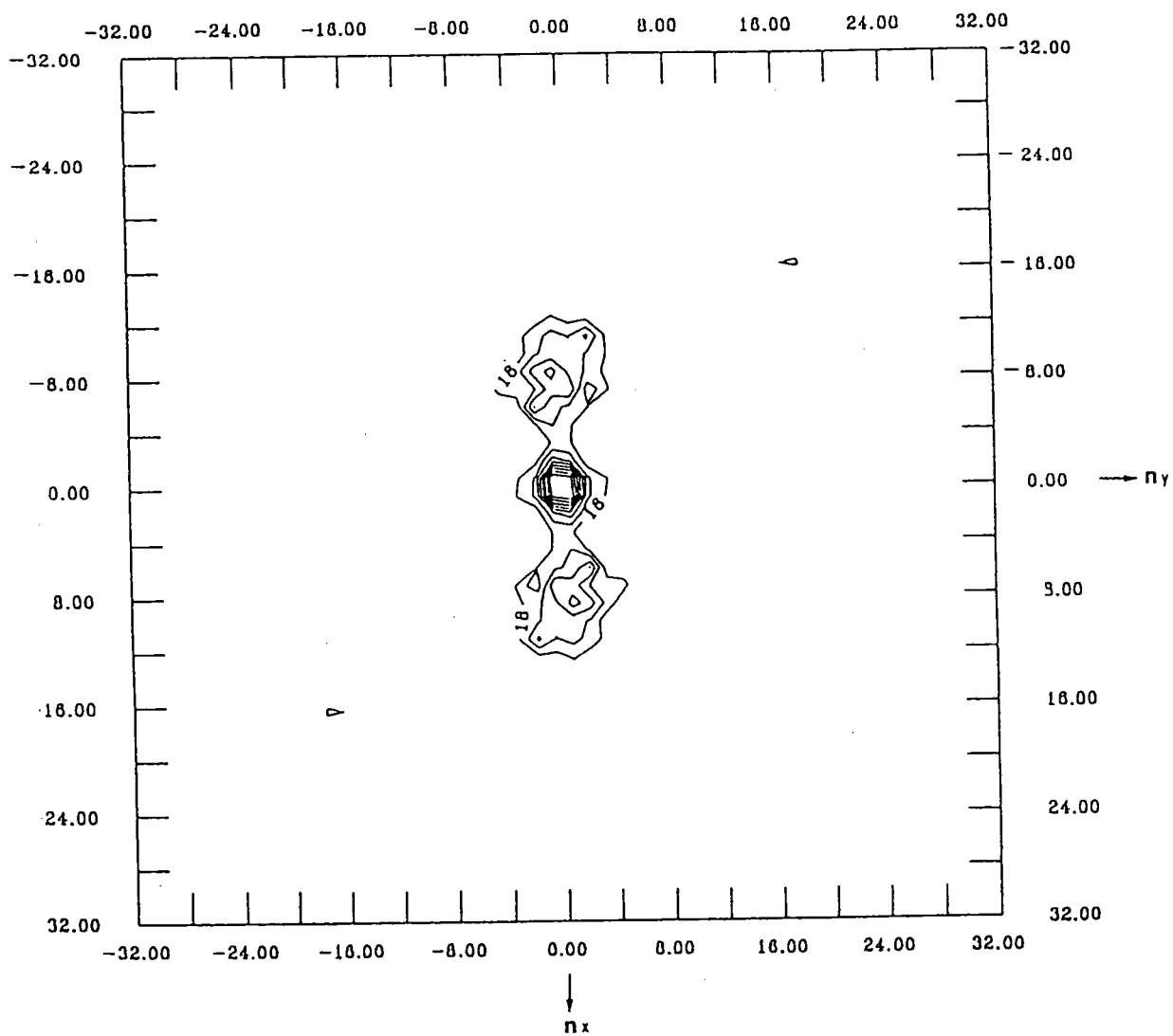
1. A 區一波紋影像經傅氏轉換分析，獲得二維波數能譜 (圖五十五)，由能譜中可發現主要波浪系統位於 $n_x, n_y = (-7, 0)$ ，SPOT level 10 的影像資料已作幾何校正處理，紙面正上方為正北；影像經重新取樣(resampling)處理，每一像元大小為 6.25 公尺。計算得知其波長為 57 公尺，波向為 0° (正北)。
2. B 區—北防波堤頭海域波場特性，經傅氏分析，從二維波數能譜 (圖五十六) 獲知主要波浪系統位處 $(-6, 1)$ 的位置，計算而得波長 66 公尺，波向 10° 。北防波堤頭波長較北防沙堤頭波長長，波向亦較北防沙堤頭偏東 10° ，此與當地地形水深造成淺化折射效應有關。
3. C 區—北防沙堤與北防坡堤之間波場特性經分析結果，由二維波數能譜 (圖五十七) 明顯出現兩個波浪系統，主要波浪系統位於 $(-7, 1)$ 的位置，計算其波長為 57 公尺，波向則為 8° ；另外，次要波浪系統位於 $(-4, 5)$ ，其波長、波向分別計算得 62 公尺及 51° 。

1994 年 3 月 4 日 SPOT 衛星影像上資料分析 A, B, C 三區海域波浪特性各有所不同，尤其是 C 區北防沙堤與北防波堤之間海域波場，受地形淺化折射及防波堤反射作用，波向複雜。數值分析結果亦發現有兩個不同波向的主要波

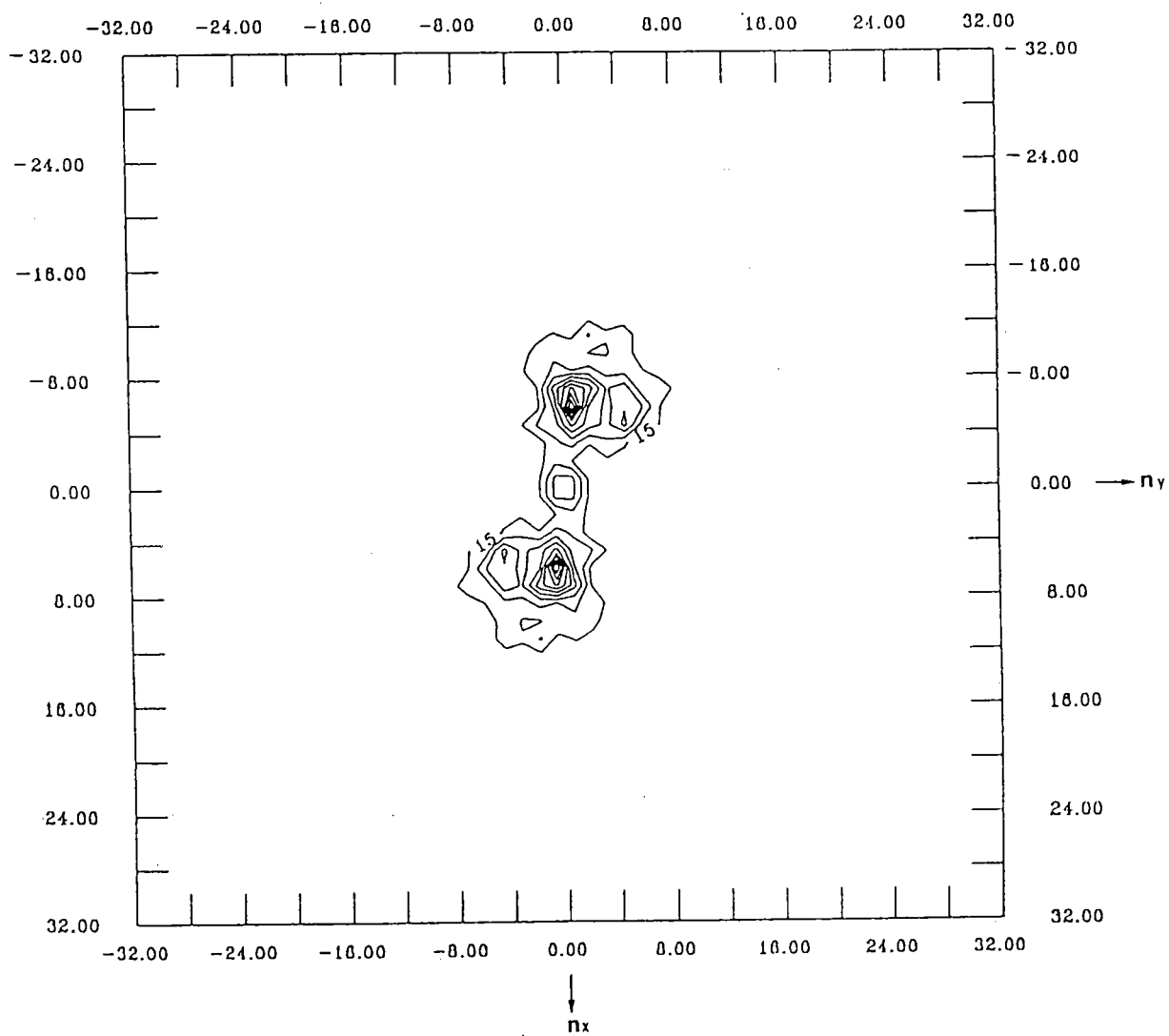
浪系統存在。眼見為憑，我們從影像上亦發現整體海域波浪來向由北向南，影像攝像時間為10:45，當天9:00風向北北東，風速4.4公尺／秒，11:00風向北北西，風速4.1公尺／秒，受風作用，波向以北向為主。除在C區有較複雜的不同波向之外，大致是以北向南的走向，北防波堤以南的港區波浪大多阻截於堤外，港內十分平靜。北防波堤頭繞射過來的波浪，其波向逐漸折而與海岸平行，影像上也驗證了波浪傳遞不變的法則，此現象在影像上表現得清清楚楚一覽無遺。



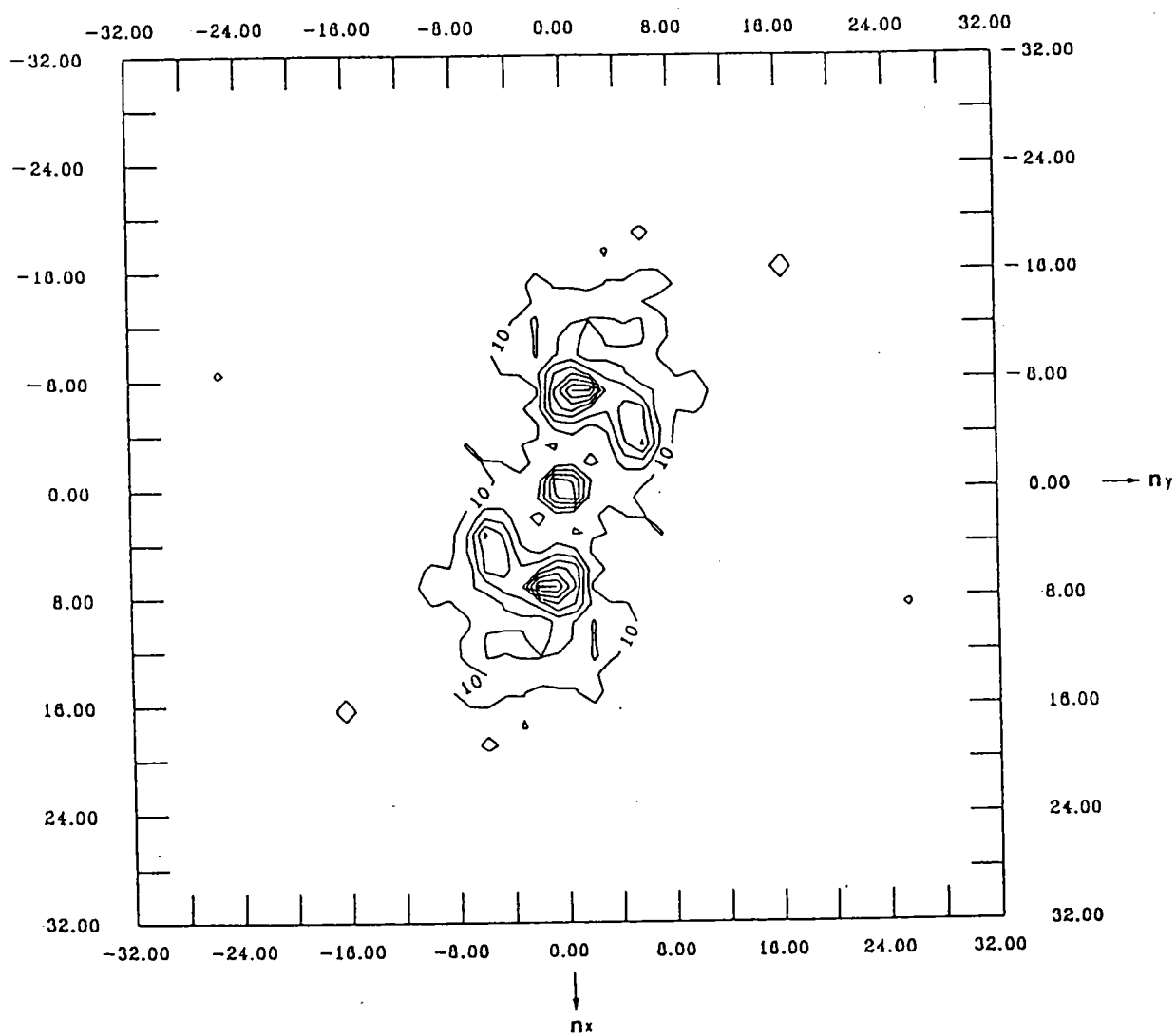
圖五十四、台中港口附近波場影像（1994年3月4日 SPOT P 影像）



圖五十五、台中港 A 區海域波數能譜等值圖（1994 年 SPOT 影像）



圖五十六、台中港B區海域波數能譜等值圖（1994年SPOT影像）



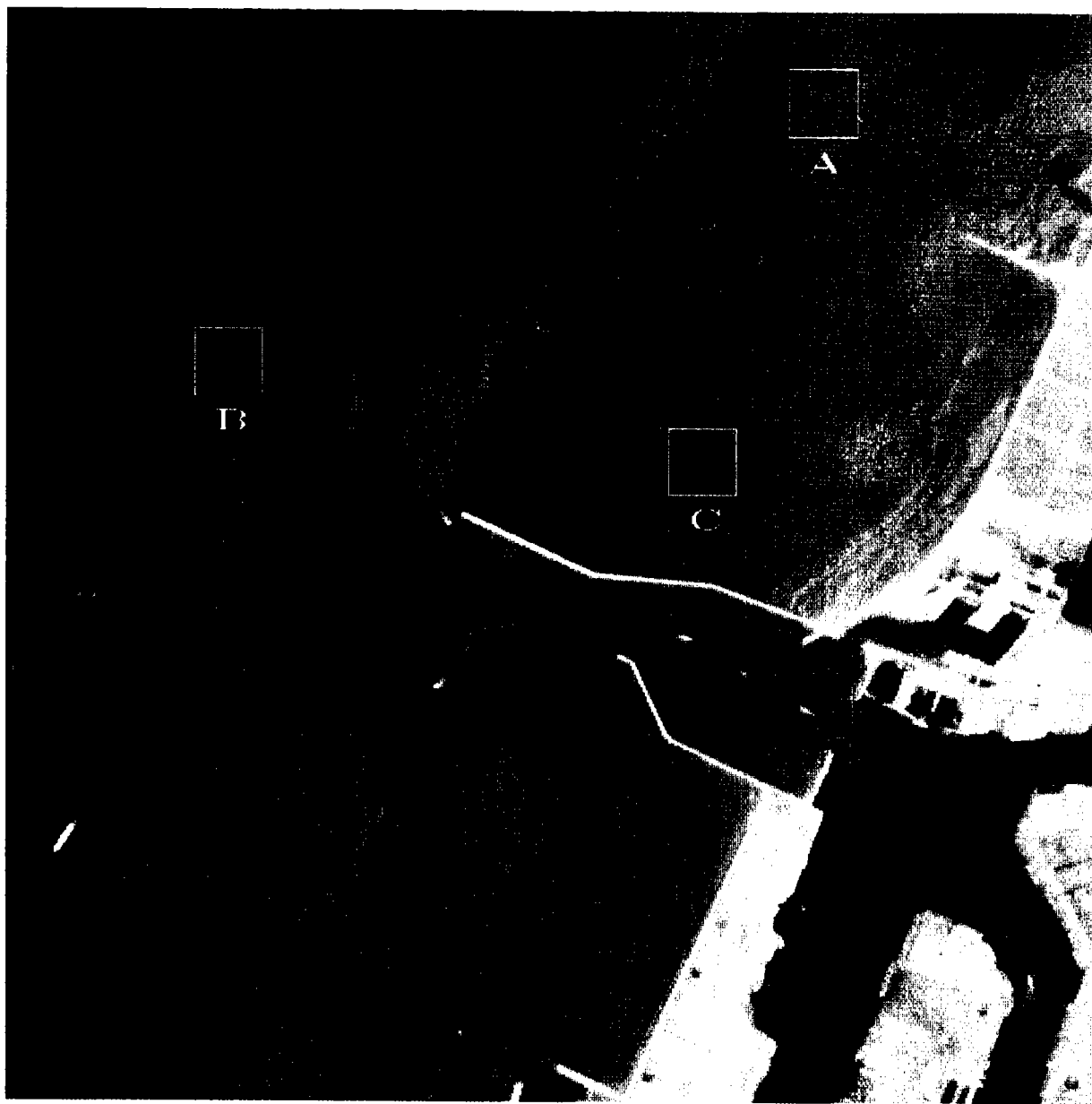
圖五十七、台中港 C 區海域波數能譜等值圖（1994 年 SPOT 影像）

(3) 1995 年 9 月 2 日 SPOT 衛星影像 (圖二十一)

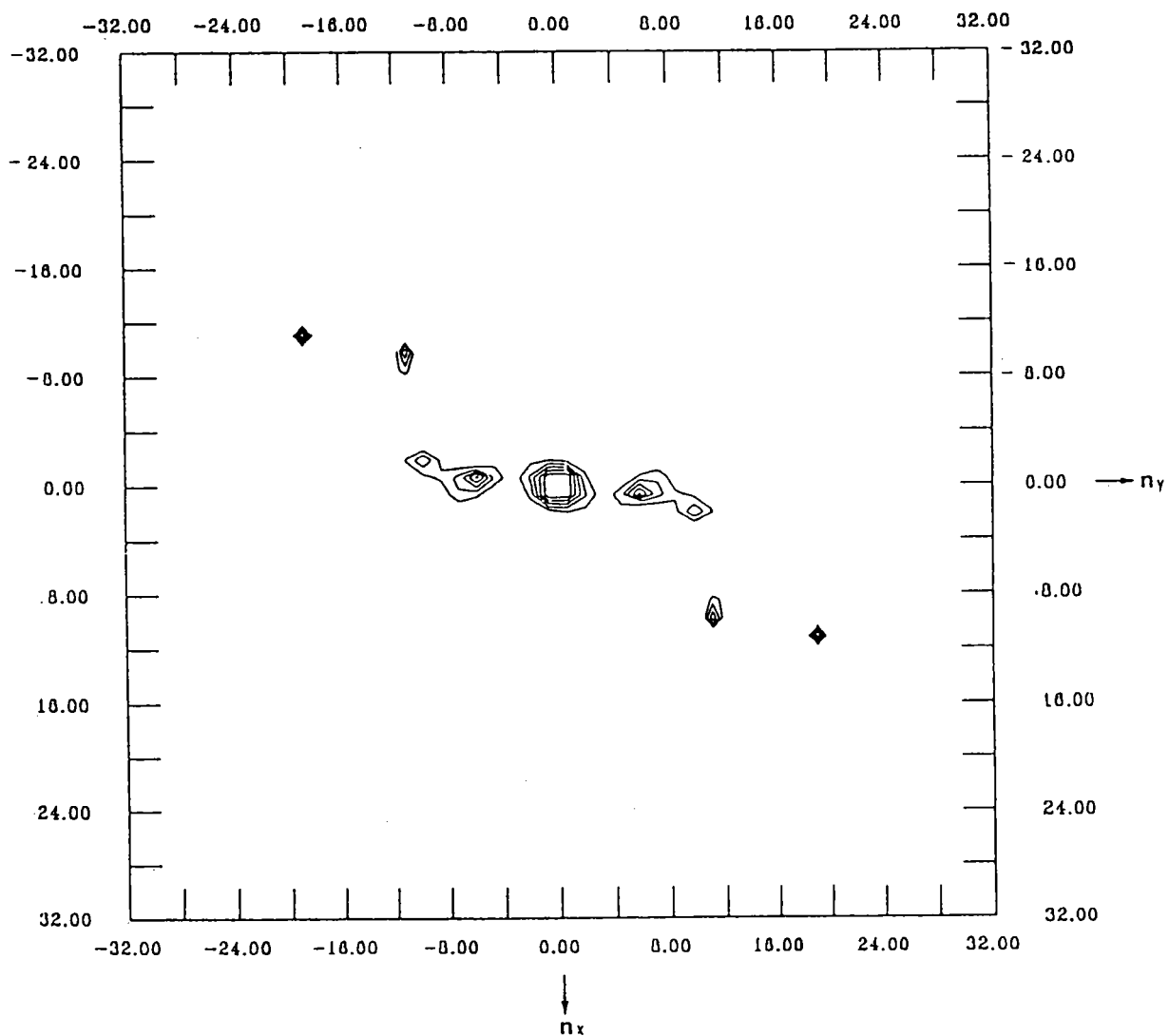
如同實例(2)，選用一幅 level 10 全光譜態 SPOT 衛星影像 (圖五十八)，攝像時為 10:45，當天梧棲測站實測風力資料，10:00 吹西北風，風速 4.2 公尺／秒；11:00 則轉吹西風，風速 4.6 公尺／秒。影像上所見波向大體上由西向東，A, B, C 三區海域分析其波場特性如下：

1. A 區—北防沙堤頭波場分析結果，由波數能譜 (圖五十九) 可知主要波浪系統位於 $(-1, -6)$ ，波長、波向經計算結果分別為 66 公尺及 279° 。
2. B 區—北防波堤頭波浪特性，經由海域波浪影像分析結果如圖六十之波數能譜，顯示有一主要波浪系統位於 $(1, -6)$ ，計算得知波長為 66 公尺，波向則為 261° 。
3. C 區—北防沙堤與北防波堤間之波場特性，經波浪影像數值分析結果如圖六十一之波數能譜顯示，主要波浪系統位於 $(-3, -10)$ ，即波長 38 公尺，波向則為 287° 。

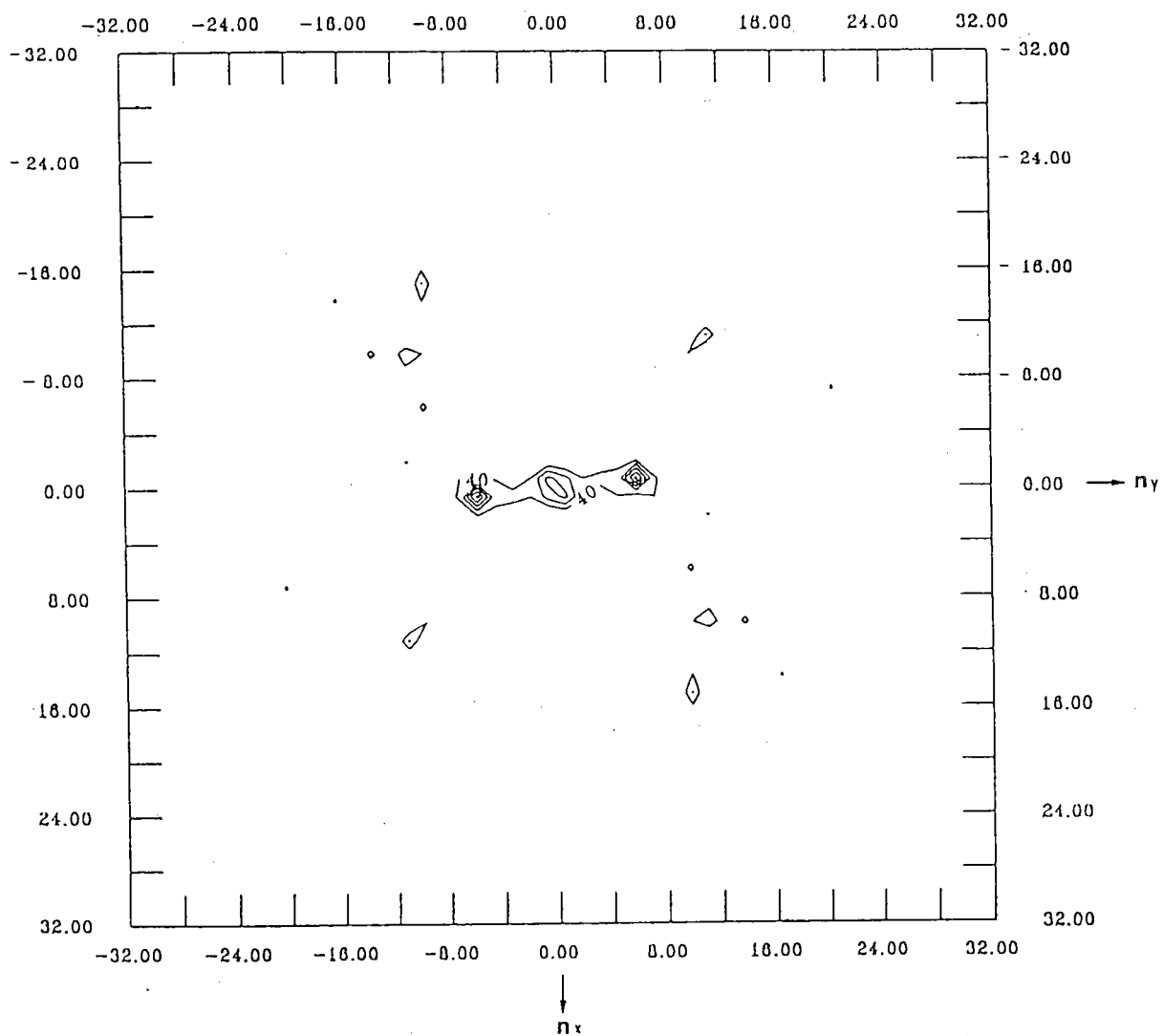
9月2日10:45受西北轉西風作用下，波浪傳遞由西向東，波向大致為西或西北向。C區波向和北防波堤幾近平行，絕少有反射效應，近岸處波峰線和海岸平行，波紋緊密，波長變短，此與波浪傳遞理論相同。



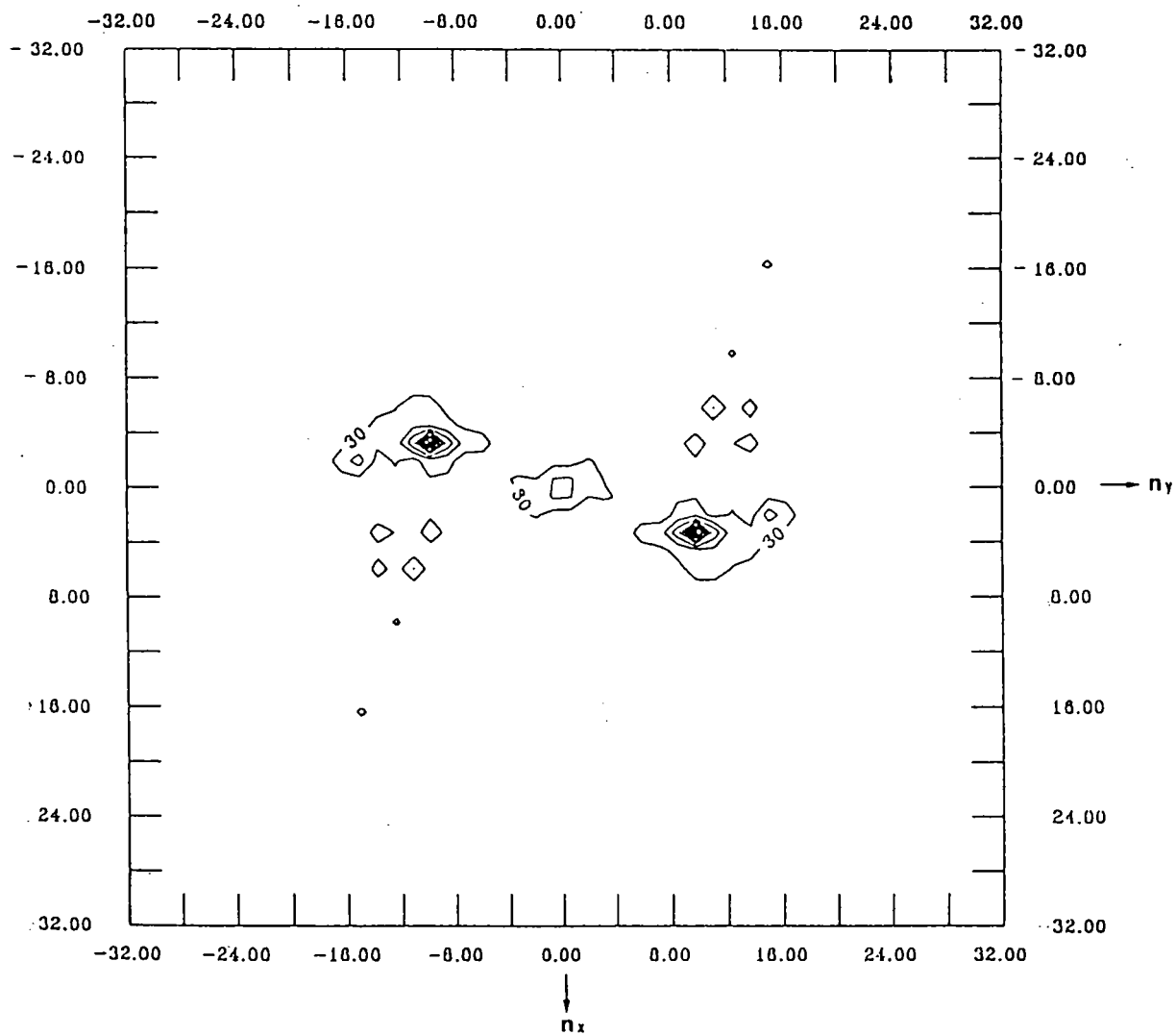
圖五十八、台中港口附近波場影像（1995年9月2日 SPOT P 影像）



圖五十九、台中港 A 區海域波數能譜等值圖 (1995 年 SPOT 影像)



圖六十、台中港B區海域波數能譜等值圖（1995年SPOT影像）



圖六十一、台中港C區海域波數能譜等值圖（1995年SPOT影像）

七、流況分析

遙測技術應用於海面流場觀測，乃透過不同流系和水團以其水色、溫度、流速、海面高度等方面的差異，偵測得知海面流場，一般採用可見光波段、紅外波段及合成口徑雷達遙測近岸海面流場。本研究實例中，採用可見光波段進行流況分析。以下將各種流況遙測方法一併分述如下。

7.1 流況遙測方法

1. 可見光遙測

在可見光區，因透明度、濕度、葉綠素含量等方面存在差異，流系、水團往往表現出不同的水色。空載和星載感測器可以測定這些水色的差異，並由此來識別和監測海面流場和水團。總而言之，由於大洋流系水色差異較小，因此，可見光遙感海面流場和水團，主要應用於近海和河口區[34]。

利用衛星假彩色合成影像，根據影像中海面濁度的差異，可判別海面流場。由於紊流攪起的懸浮物質，使流場濁度發生變化所致。一般而言，流場邊界由於帶狀雲系的存在而更明顯地標示出來，。這種帶狀雲帶的存在，是由於紊流場邊界上冷暖鋒交匯的蒸發－凝聚作用產生的。水中懸浮泥沙在可見光遙感影像中能得到很好的反映。近岸河口海域，往往存在著懸沙含量（濁度）相差很大的流系水團。利用懸沙遙感影像能很好反映出河口和近岸區海面的流場。

利用海面葉綠素水色遙感，其影像可用以判別水團和流場。不同水團由於溫度、營養鹽等諸因素的差異，浮游生物含量有很大差異。浮游植物豐度有關的葉綠素分布與海面溫度顯示的流場和水團有很好的相關。近岸或海島附近流場的擾動，往往使海底沉積物再懸浮，在海面形成高營養物水團，導致浮游植物大量在此類水團中繁殖。這類浮游生物大量繁殖，使得海面葉綠素含量在水團中大大升高，在水色遙感測影像中能很好地示蹤和再現淺海海面的水團和流場結構。

由於海面水系水團的流動，造成海面高度和粗糙度差異，這種差異利用海面反

射光的遙感測攝影像片能直觀地反映出來。利用海面反光攝影恰到好處的表現了海灣內的水面狀況。由於表面流場而導致的高差不平的粗糙海面，以不同的色調和複雜的海面紋理直觀地反映了出來。

2. 紅外遙測

海面不同的流系和水團，其水溫往往是不同的。利用紅外或微波波段感測器，可以監測這些水溫的差異。衛星的紅外和微波輻射計可以對海面水溫進行監測，由此觀測海面不同流系，水團及其冷暖鋒面。與海面葉綠素遙感影像一樣，海面溫度場很直觀地顯示了由沿岸流、“噴射”流和中小尺度渦旋等組成的流場。由於衛星能直觀地反映海面溫度圖像，因此，衛星紅外遙感已成為目前進行大尺度海面水團、流場流勢、冷暖鋒面位置和變化狀況觀測和研究最重要的方法之一。

3. 雷達遙測

合成孔徑雷達（SAR）系統有較高的地面分辨率，由探測海面雷達回波現象。不同的海面流系水團在海面形成不同的粗糙度和流隔區，因此，合成孔徑雷達也可能用於中小尺度（如沿岸流與河口區）流場和水團流動圖像的繪制。

7.2 實例分析

台中港海域蒐集到多幅衛星影像其掃描日期如表四所列。各幅衛星影像掃描當日中央氣象局提供梧棲測站之風力資料如表十二所示；此外，對應之台中港潮汐資料如表十三所示（資料彙自海測局，中央氣象局，港研所）。

表十二、梧棲測站歷年風力（風向／風速）（配合影像掃描日期）

時間 (小時) 日期 (年/月/日)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1976/10/27	2/38	2/42	1/44	2/48	1/37	2/36	0	16/20	15/24	16/32	16/21	14/26	15/46	15/51	16/51	1/47	16/62	2/30	16/40	1/34	1/33	3/21	3/30	8/17
1972/11/01	1/33	1/43	3/37	3/40	3/27	3/23	3/17	3/23	3/17	3/20	4/30	4/57	13/50	13/63	14/70	15/67	15/63	16/50	16/37	16/27	16/20	16/20	16/20	16/30
1981/11/07	-	2/106	-	-	2/113	-	-	2/132	2/127	-	2/163	-	-	2/147	-	-	2/162	-	-	2/172	2/141	-	2/147	-
1983/12/09	-	2/36	-	-	2/61	-	-	2/61	2/66	-	1/71	-	-	1/121	-	-	1/100	-	-	2/36	2/42	-	2/32	-
1984/05/09	-	6/10	-	-	2/30	-	-	1/41	1/41	-	15/66	-	-	16/50	-	-	16/40	-	-	2/35	2/37	-	7/6	-
1984/08/22	9/42	9/44	9/40	9/39	9/37	9/40	8/41	8/49	9/59	9/60	9/72	10/72	11/111	11/114	10/104	10/105	10/118	10/112	10/93	10/90	9/45	8/40	9/45	9/43
1988/11/28	-	2/97	-	-	2/87	-	-	2/90	2/119	-	1/114	-	-	1/148	-	-	1/122	-	-	2/91	2/80	-	2/135	-
1994/11/13	-	2/26	-	-	3/16	-	-	1/15	2/17	-	14/30	-	-	14/47	-	-	13/20	-	-	1/11	3/17	-	16/16	-
1986/10/03	-	2/34	-	-	2/35	-	-	2/46	2/40	-	1/38	-	-	1/97	-	-	1/106	-	-	2/50	2/50	-	2/53	-
1992/04/04	1/63	3/44	5/20	1/20	4/25	14/15	8/24	15/24	16/29	1/37	3/34	2/34	2/44	2/52	3/43	3/49	2/47	3/49	3/41	3/50	3/37	3/46	3/37	3/26
1994/03/04	-	1/71	-	-	1/53	-	-	1/54	1/44	-	15/41	-	-	15/61	-	-	15/58	-	-	15/52	15/53	-	13/10	-
1995/09/02	15/40	16/25	2/18	1/21	2/22	1/25	1/21	1/18	14/31	14/42	12/46	12/41	13/30	12/40	12/34	12/32	12/33	12/29	14/21	11/25	16/51	11/5	11/8	12/6
1993/11/18	-	1/72	-	-	1/79	-	-	1/104	1/102	-	1/98	-	-	1/120	-	-	1/98	-	-	1/83	1/73	-	1/63	-
1994/10/22	-	1/128	-	-	1/95	-	-	1/96	1/93	-	16/118	-	-	16/127	-	-	1/98	-	-	1/91	1/86	-	1/65	-
1995/11/23	1/65	1/69	1/54	1/51	1/46	16/61	1/69	1/91	1/97	1/86	16/107	1/105	16/137	16/133	16/132	1/110	1/110	16/99	1/83	1/77	1/76	1/70	16/71	16/73
1995/12/27	16/63	16/64	1/62	1/61	1/63	1/56	16/48	1/63	16/66	16/79	16/113	16/109	16/122	16/113	16/113	16/106	16/89	16/91	16/78	16/77	1/86	1/92	16/86	1/78

註：風向依順鐘向劃分為1~16方位，正北為16；風速單位為0.1公尺／秒，0表無風。

表十三、台中港之潮汐資料（配合影像掃描日期）

潮汐 (公尺) 日期 (年/月/日)	第 一 次 潮						第 二 次 潮					
	時間	潮高		時間	潮高		時間	潮高		時間	潮高	
1972/11/01	01:30	1.22	L	07:35	4.26	H	13:50	0.98	L	21:00	4.52	H
1981/11/07	00:17	2.10	L	06:14	3.30	H	12:43	1.60	L	19:23	3.90	H
1983/12/09	01:18	4.70	H	07:31	0.80	L	14:09	4.90	H	20:12	2.00	L
1984/05/09	05:46	4.20	H	12:08	1.34	L	18:07	4.12	H	—	—	—
1984/08/22	0:30	1.75	L	6:40	3.91	H	13:30	0.88	L	20:00	3.88	H
1988/11/28	01:14	4.06	H	07:52	0.63	L	14:15	4.02	H	20:23	1.62	L
1994/11/13	01:30	1.03	L	07:37	4.07	H	13:57	1.01	L	20:11	4.31	H
1986/10/03	05:00	0.60	L	10:30	5.05	H	17:00	0.25	L	23:00	5.00	H
1992/04/04	06:00	0.62	L	11:50	4.74	H	18:00	0.31	L	—	—	—
1994/03/04	03:20	4.36	H	09:33	1.11	L	15:31	4.34	H	22:05	0.61	L
1995/09/02	02:57	4.45	H	09:19	0.63	L	15:44	4.33	H	21:53	1.32	L
1993/11/18	01:19	4.79	H	07:51	-0.02	L	14:11	4.61	H	20:21	0.97	L
1994/10/22	00:18	4.74	H	06:36	0.36	L	12:44	4.76	H	18:53	0.96	L
1995/11/23	04:37	-0.16	L	11:05	4.92	H	17:03	0.69	L	23:03	4.91	H
1995/12/27	02:04	4.69	H	08:23	0.31	L	14:50	4.75	H	20:59	0.83	L

註：H代表高潮；L代表低潮。

1976/10/27 第一次低潮發生於8:50，

第二次高潮則發生於15:25〔18〕。

(1) 1976 年 10 月 27 日航空照片 (圖十) [18]

10 月份東北季風期才剛開始，東北季風影響不顯著。當天吹北風，風速 3.2 公尺/秒，風力微弱，主要受恆流（黑潮支流）作用，致使海流流跡明顯向北；當天第一次低潮發生於 8:50，第二次高潮則在 15:25，攝像時間為 10:00，值低潮過後 70 分鐘，潮汐作用產生的潮流對海流的流向、流速貢獻不大。影像上海流流跡向北趨移，在大肚溪口河川排水受海流作用向北偏折，而在北防波北側流跡微微向岸，到北防沙堤再折而向西北。

(2) 1972 年 11 月 01 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十一)

依據台中港 1972 年 11 月份統計資料，平均風速為 9.4m/sec，此時屬於冬季東北季風型態，風向以東北向為主。依台中港測站波浪特性統計分析，全年平均該月波高 1.86 公尺最大，冬季波高 77% 集中 1m 至 3m 間，週期則有 80% 介於 5.0sec 至 7.5sec。台中港附近海流資料研究顯示，冬季東北季風期間流速約在 25 公分/秒至 35 公分/秒，通常為西南流向，冬季東北季風強勁，黑潮支流存在東北向的恆流不顯著，倒是流向與風向近似一致的風驅流宰制本區流況；本區潮流以半日潮流為主，振幅約 10 至 14 公分/秒，潮流與台中港內潮位相差約 1 至 2 小時，冬季海流與潮位相關性不高，海流成份中潮流所佔比例不大，僅在大潮落潮轉流約近 1 小時左右時段內流向才會偏向東北方向。一般而言，接近高潮位前流速最大，轉潮過後，接近低潮位前流速最大；高、低潮位前約二小時左右，亦即漲、退至六、七分時，流速最大。此外，沿岸流（裂流）主要發生在破碎帶內，高潮位時碎波線向岸退縮，沿岸流影響亦隨之向岸退縮，低潮位時則反之。

1972 年在台中港興建前，影像上尚未見台中港，為國內蒐集到最早衛星影像之一。此幅衛星影像掃描時間約在 9:55，綜合上述歷年海、氣象資料統計特性，並參考台中測站潮汐資料（表十三），第一次高潮發生於 7:35，第二次低潮時間則為 13:50，影像掃描時間居於二次低、高潮位中間，已過高潮，接近低潮，潮流逐漸轉強中。當天吹東北東風，風力一、二級（表十二、附表），風勢甚小，風力對海流作用不大，主要受退潮作用

及黑潮北向恆流作用，使海流流跡有往北跡象，藉由衛星影像分析可見台中港近岸整體海流流跡由西南沿海岸流向東北，尤其在大肚溪口此現象最為明顯；大肚溪口流跡往北，部份向外海擴散，主流流跡在台中港興建場址附近先向岸偏折，再向外轉折流向東北，主流方向沿岸由西南流向東北。

(3) 1981 年 11 月 7 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十二)

1981年台中港第一階段建港工程大致已竣工，由衛星影像可見其概廓。11月份仍屬冬季東北季風型態，攝像時間約在10:35，當天潮汐如表十三，6:14第一次高潮已過，12:43將屆第二次低潮，轉潮後退潮至六、七分，潮流轉強，但當時風力情況，由11:00風向、風速資料（表十二）顯示，風向為東北風，風速16.3m/s，當時風力甚強，海流仍以西南向之風驅流為主。

海流流跡沿岸向西南走向，碎波線大致和台中港南北海堤一致，在大甲溪口及大肚溪口沖積淺灘處碎波線向外側偏離，並受河川排水影響碎波線較不連續；受風驅流作用大肚溪排水向西南屈折，影像上可顯示此風驅流作用效果。

(4) 1983 年 12 月 9 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十三)

衛星影像掃描時為10:35，十二月仍為冬季東北季風天氣型態。當天潮汐狀況第一次低潮在7:31；第二次高潮則在14:09，攝像時間已過低潮，並離下次高潮尚有三個半小時之久。當時風力狀況吹北北東風，風速7.1m/sec，風力不強，推測海流雖以風驅流為主。影像上可見碎波線順大甲溪口而下，大致仍與海岸線在大甲溪及大肚溪口受河口沖積淺灘擴張影響，碎波線有外曲向海的現象。

(5) 1984 年 5 月 9 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十四)

根據梧棲測站民國66年至77年風力統計資料顯示，五月份平均風速4.0m/sec，風向因處春夏之際，較無定性，季風轉型期風速較弱，風向變

化較大。台中港附近海域海流受西南季風引致風驅流及黑潮支流影響，本區域存在一東北向恆流流速約半節。

衛星影像掃描時間為10:00，當天8:00風向北北西，風速4.1m/sec，另外11:00風向北北西，風速6.6m/sec，風力不強，當天第一次高潮在5:46，第一次低潮則在12:08。影像攝像約在低潮前二小時，潮流轉強，海流流跡主要仍受風力作用，在大甲溪口流跡向南擴散，海流受北防沙堤及北防波堤阻截作用，流跡外緣向外呈拋物線狀。另外，在大安溪口及稍北處有兩微弱流跡，向西北擴散，現象特殊，推測可能與退潮及黑潮恆流有關，有待蒐集當時海流資料分析以資驗證。

(6) 1984 年 8 月 22 日 Landsat TM 衛星影像 (圖十五)

東北季風尚未開始，仍受西南季風作用，加上恆流作用，海流流向為東北走向。此外，影像攝像時間在10:00，當天第一次高潮約在6:40，第二次低潮在13:30，攝像時間在高潮後之退潮時段，退潮六、七分潮流流速轉強。10:00吹南南西風，風速6.0公尺/秒。恆流、退潮及風驅作用，使海流流跡往北(或東北)。

影像上在大肚溪口河川排水明顯受海流作用有向東北折傾趨勢。整體海流大致由西南向東北移動。

(7) 1988 年 11 月 28 日 Landsat TM 衛星影像 (圖十六)

11月份東北季風天氣型態，以風驅流為主，流向為西南向，風勁流強，潮汐及東北向恆流微弱，影響不大。

影像攝像時間在10:00，當天潮汐狀況，第一次低潮時間7:52，第二次高潮時間則為14:15，潮流不大。當天11:00風向東北北，風速則為14.4m/sec，影像上海流流跡西南走向，碎波線沿淺灘出現，碎波帶有加寬現象，可能與強力風勢有關。

(8) 1994 年 11 月 13 日 Landsat TM 衛星影像 (圖十七)

屬冬季東北季風天氣型態，唯當天9:00風向東北，風速1.7m/sec極為

微弱，到11:00風向轉為西北風，風速3.0m/sec，當時風力微弱，風驅流作用不大，當天第一次高潮在7:37，第二次低潮在13:57，影像掃描時間9:30已過高潮，正居退潮時段，影像上海流流跡並不明顯。

(9) 1986 年 10 月 3 日 SPOT 衛星影像 (圖十八)

東北季風天氣型態，主要仍是風驅流為主。當天風力不強，9:00吹東北風，風速4.0m/sec；11:00吹北北東風，風速3.8m/sec。攝像時間為10:45正值高潮，當天第一次高潮位時間為10:30。台中港南北兩處淺灘區在漲潮時刻已為海水所淹沒，影像上很難辨識淺灘分佈範圍。漲潮及風驅效應不大，影像上流跡不明顯，僅能藉助風、潮汐及恆流資料，由經驗加以定性判釋。

(10) 1992 年 4 月 4 日 SPOT 衛星影像 (圖十九)

四月份東北季風逐漸緩和。第一次低潮時間6:00，第一次高潮時間11:50，攝像時間在10:45已過低潮，將漲滿期之時。當天仍吹東北季風，10:00吹北北東風，11:00吹東北東風，風力不強。海流受漲潮及風驅作用，流向由東北向西南。

整體而言，台中港海域海流流跡由東北往西南，在大甲溪口流跡偏移向外海逐漸擴散開來。此時，台中港北防坡堤尚未延伸（850公尺），流跡在距岸四、五公里外仍可見向西南漂移，惟過北防波堤後流勢減緩。在大肚溪口亦有明顯流跡向外海擴張，沿著海岸向西南方向漂移。

(11) 1994 年 3 月 4 日 SPOT 衛星影像 (圖二十)

3月份屬冬季東北季風天氣型態，當天9:00風向北北東，風速4.4m/sec；11:00風向轉為北北西，風速維持在4.1m/sec。3月4日第一次低潮時間為9:33，攝像時間在10:45，剛過低潮，正值轉潮流速甚強，海流流況除受風驅流影響外，亦受潮流影響，疊加效應，在影像上清晰可見海流流跡有旺盛西南走向，同時，因北防波堤已加建延伸850公尺，已可見防波堤遮蔽效應，海流流跡受延伸北防波堤阻截作用，流跡西衝，可能受強制渦流影響

盛西南走向，同時，因北防波堤已加建延伸850公尺，已可見防波堤遮蔽效應，海流流跡受延伸北防波堤阻截作用，流跡西衝，可能受強制渦流影響，過北防波堤後，流跡減弱且蜿蜒向內岸，在大肚溪口受河川排水作用，流跡再向外海舌伸。低潮過後正值轉潮，台中港南北兩處淺灘分佈範圍明顯可見，碎波線亦清晰緊挨淺灘外緣。

(12) 1995 年 9 月 2 日 SPOT 衛星影像 (圖二十一)

9月份將進入東北季風天氣型態，當天10:00吹西北風，風速4.2m/seec；11:00轉為西風，風速4.6m/sec。9月2日第一次低潮在9:19，攝像時間為10:45，已過低潮近一個半小時，第二次高潮在15:44，轉潮逐漸漲潮中，此時海流受潮汐作用不大。海流可能受黑潮恆流及西風用，影像上微見不明顯流跡向東北移動。

從1972年至1995年蒐集到不同年份、季節十二幅航空照片及衛星影像進行台中港海域流況判釋分析，十二個實例分析影響海流主要因素為風、潮汐及黑潮流，由航照及影像定性判釋結果綜合歸納如表十四。遙測判釋分析海流流跡有其先天性的限制，在所難免，除經驗技巧之外，海氣象資料的輔助判釋，皆有助益。

表十四、台中港海域影響海流主要因子與判釋結果

實例	攝像時間	風	潮汐	黑潮 (恆流)	海流判釋
(1)	1976/10/27 10:00	16/20 (8:00) ↓ 16/32 (10:00)	漲 ↓ (高潮前5.5hr)	↑ (✓)	↑
(2)	1972/11/01 9:55	3/23 (8:00) ↓ 3/20 (10:00)	退 ↓ (✓) (低潮前4hr)	↑ (✓)	↑
(3)	1981/11/07 10:35	1/32 (8:00) ↓ (✓) 2/127 (9:00)	退 ↑ (低潮前2hr)	↑	↓
(4)	1983/12/09 10:35	2/61 (8:00) ↓ (✓) 2/66 (9:00)	漲 ↓ (高潮前3.5hr)	↑	↓
(5)	1984/05/09 10:00	1/41 (8:00) ↓ (✓) 1/41 (9:00)	退 ↑ (✓) (低潮前2hr)	↑ (✓)	↑ ↓
(6)	1984/08/22 10:00	8/49 (8:00) ↑ (✓) 9/60 (9:00)	退 ↑ (✓) (低潮前3.5hr)	↑ (✓)	↑
(7)	1988/11/28 10:00	2/90 (8:00) ↓ (✓) 2/119 (9:00)	漲 ↓ (高潮前4hr)	↑	↓
(8)	1994/11/13 9:30	1/15 (8:00) ↓ 2/17 (9:00)	退 ↑ (低潮前.5hr)	↑	↑ ↓
(9)	1986/10/03 10:45	2/46 (8:00) ↓ (✓) 2/40 (9:00)	滿 (高潮0:30hr)	↑	↓
(10)	1992/04/04 10:45	15/24 (8:00) ↓ 1/37 (9:00)	漲 (✓) (高潮前1hr)	↑	↓
(11)	1994/03/04 10:45	1/54 (8:00) ↓ (✓) 1/44 (9:00)	漲 ↓ (✓) (高潮前5hr)	↑	↓
(12)	1995/09/02 10:45	1/18 (8:00) 14/42 (10:00)	漲 ↓ (高潮前5hr)	↑ (✓)	↓

註：(✓)為主要決定海流流向因素

八、漂沙監測

8.1 漂沙遙感監測方法

大洋水中懸浮泥沙含量很少，其後向散射信息微弱，在一般衛星影像中不易顯示出來。因此，利用水色進行的海面水體懸浮漂沙遙測，主要在懸沙含量較高的近海海域和河口區水域進行。由於近岸河口海域懸沙含量較高，水體後向散射信息較強，在遙感影像中能得到很好的反映。

近岸海域，由於沿岸流、上升流、潮汐流等水動力的擾動影響，以及近岸懸沙來源豐富，特別在河口地區，河流攜帶大量懸浮泥沙入海，使其水體懸沙濁度較高。水中懸沙在重力和鹽析沉降等作用下，懸沙在水體能量降低時沉降迅速，使表層水體含沙量變化顯著。反映在遙感影像特徵上是灰度梯度（黑白片）或色階梯度（彩色或假色片）較大。不同含沙量、不同流速流向渾濁水流水團構成了複雜的近岸河水流場。水面懸沙流沉成了近岸河口水體運動良好的示蹤劑。特別在河口海域，由於河口淡水的比重小於高鹽度的海水，含沙水體呈浮托層飄浮於海面。這層水體在（大於4級風力）的風吹流作用下，運動方向易於隨風向而變。其前緣常呈羽狀流態，形成頗具特色的海面懸沙羽狀流。這種羽狀流用一般傳統船測方法難於發現，只有用遙測感方法才能觀察到。

近岸河口海域水體，在近海沿岸流場、河口徑流和潮汐流場複雜水動力的交互作用下，其流速流向不斷變化，處在連續動態變化之中。遙測具有大尺度快速同步的特點，所獲得的水體懸浮流態影像，都是在幾秒至幾十秒，或更短的時間內瞬間同步掃描或攝像的。這種瞬間同步影像，對於研究海面懸沙的輸移和沉降，是非常直觀和有用的資料。當然，用其他感測器，比如合成孔徑雷達也能對近岸與河口懸沙進行遙感探測，由於微波可以穿透雲層，整幅影像毫無雲的干擾，不分晝夜可進行水體漂沙監測，獲取清晰的水體懸浮漂沙流態影像。但這種SAR影像少且難於得到。因此，可見光波段仍是當前海面懸浮沙遙感最重要和使用最廣泛的信息源。“陸地衛星”的MSS 4,5,6波段、TM 2,3,4波段、NOAA衛星、

AVHRR的CH1衛星波段，以及航空航天的黑白、彩色和彩紅外影像，不僅廣泛地應用於海面懸沙流態的定性和半定量判讀解譯，而且還能根據各種理論的和經驗的模式，用計算機計算處理，以獲得水體含沙量的定量信息，並已逐步投入海面濁度場遙感調查研究和近岸工程、港口航道等實際應用中。定性遙測分析水體漂沙技術較為成熟可行，但定量分析經由理論或經驗模式，需要大量現場漂沙實測數據的率定，再由於觀測時間（太陽入射角）掃描角度不同以及背景環境溫度的不同，造成幅射強度的差異，不定性需先考慮濾除，才能有效準確定量分析水體漂沙含量。本實例中僅以可見光波段影像進行定性上之初步分析，可作為後續定量分析研究的參考。

8.2 實例分析

(1) 1976 年 10 月 27 日航空照片（圖十）

東北季風剛開始，可能仍受西南季風影響，同時，受恆流作用，海流由南向北。攝像時間10:00已過低潮發生時間8:50後70分鐘，潮汐影響不大，潮流不強。

影像上可見含沙水團在大肚溪口，隨河川排水之後，由南向北漂移，在台中港北防波堤以北，漂沙推擠向岸，越過北防沙堤後，大甲溪排水輸沙作用，含沙水團範圍擴大並向西北呈羽狀擴散。

(2) 1972 年 11 月 12 日 Landsat MSS 衛星影像（圖十一）

台中港海域漂沙主要來源為大甲溪及大肚溪之輸沙，由歷年統計資料顯示該海域漂沙方向冬季以由北向南佔優勢。當天第一次高潮於7:35，第二次低潮則發生於13:50，本影像攝像在9:55，已過高潮，逐漸轉潮，退潮過半，潮流漸強。當天風力微弱，主要受退潮及恆流影響，可見漂沙隨海流北上，在大肚溪口逐漸擴散北移，漂沙帶更為寬闊，該溪帶出排水，伸向漂沙帶中，向北偏折，退潮時期淺裸亦清晰可見。

(3) 1981 年 11 月 7 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十二)

11 月份屬冬季東北季風天氣型態，當天風力甚強，屬典型東北季風，風速 16.3m/sec ，風驅流掌控流勢，流向為西南。第一次高潮在 $6:14$ ，第二次低潮在 $12:43$ ，攝像時間為 $10:35$ ，在大甲溪口有漂沙流跡，在北防沙阻截作用下，漂沙隨海流在堤口向外海推移，過防沙堤後滯留在北防沙堤與北防波堤間。

(4) 1983 年 12 月 9 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十三)

冬季東北季風型態，當時風力 4 級 (7.1m/sec)，風向北北東，風力不強，海流仍以風驅流為主，流速可能不強。當天第一次低潮時間 $7:31$ ，第二次高潮於 $14:09$ ，攝像時間在漲潮時段，故沿岸淺灘清晰可見，尤以大甲溪及大肚溪口有廣大而明顯的灘地裸露，北沙堤附近仍可見漂沙分佈。

(5) 1984 年 5 月 9 日 Landsat MSS 衛星影像 (圖十四)

五月份東北季風轉弱，當時吹北北西風，風力 4 級 ($5.5\sim 7.9\text{m/sec}$)，風力不強。當天第一次高潮時間為 $5:46$ ，第一次低潮則在 $12:08$ ，本影像攝像時間為 $10:00$ ，高潮已過，值轉潮時段逐漸漲潮中。惟影像所見，風驅流效果使台中港海域含沙水團南移，另外，在大安溪口及稍北近岸海域。

(6) 1984 年 8 月 22 日 Landsat TM 衛星影像 (圖十五)

東北季風尚未開始，可能仍受西南季風影響，加上由南向北的恆流作用；此外，影像攝像時間正值退潮時段，潮汐附加作用，海流流跡向東北傾移。

影像上可見含沙水團在大肚溪出口隨河川排水，同受海流作用，一致向北漂移。整體含沙水團皆有北移趨勢，惟在其他海域漂沙流跡並不明顯。

(7) 1988 年 11 月 28 日 Landsat TM 衛星影像 (圖十六)

冬季東北風天氣型態，風勢強勁，吹北北東風，風力 7 級 ($13.9\sim$

17.1m/sec)。當天第一次低潮在7:52，第二次高潮則在14:15，影像攝像時間為10:00，退潮時段，淺灘裸露，潮流不大，仍以風驅流為主，漂沙沿碎波帶附近南移，在北防沙堤與北防波堤間亦有漂沙分佈，惟範圍不大。

(8) 1994 年 11 月 13 日 Landsat TM 衛星影像 (圖十七)

當天風力微弱，風力2級(1.6~3.3m/sec)，東北季風型態，風向為東北轉西北。當天第一次高潮發生於7:37，第二次低潮則於13:57，影像攝像時間為9:30，已過高潮，時為退潮時段，近岸海流流向微向東北，外海則有向南流跡，漂沙分佈不顯著。

(9) 1986 年 10 月 3 日 SPOT 衛星影像 (圖十八)

東北季風天氣型態，風力3級(3.4~5.4m/sec)，影像攝像時間為10:45正值當天漲潮之時。當天第一次高潮位時間為10:30，有不甚明顯流跡微向西南，漂沙由大甲溪口延伸南移，北防沙堤及北防波堤間有明顯漂沙分佈，分佈範圍較廣。

(10) 1992 年 4 月 4 日 SPOT 衛星影像 (圖十九)

影像攝像時間為10:45，第一次高潮時間在11:50，此時將屆高潮，潮流流速甚強，在大甲溪口隨河川排水，該海域含沙水團順排水流勢向外擴散，由東北向西南漂移，到北防波堤擴散寬度最廣，約有四、五公里寬，此時，北防波堤尚未延伸，漂沙仍穿越北防波堤外海向西南漂移，惟含沙水團含沙量逐漸減少。漂沙蹤跡到大肚溪再度因河川排水的擾動影響，含沙水團向外海擴散並向西南漂移。

(11) 1994 年 3 月 4 日 SPOT 衛星影像 (圖二十)

三月份東北季風持續，當時風力3級(3.4~5.4m/sec)，流勢仍以風驅流為主。當天第一次低潮9:33，攝像時間在10:45，正值轉潮，風驅流再受漲潮影響，海域流況整體有向西南趨勢，大甲溪口漂沙沿碎波線外約維持一公里寬度向西南飄移，在北防沙堤過後折而向岸，到北防波堤間呈圓弧形內凹向兩堤頭分佈，同系水團(可能含沙量較少)則擴散分佈到外海

四、五公里處，過北防波堤口折而向內，到大肚溪口受河川排水作用再轉而向外海擴散漂移。

(12) 1995 年 9 月 2 日 SPOT 衛星影像 (圖二十一)

九月份進入東北季風天氣型態，當天吹西北風轉西風，風力3級。攝像時間在10:45，過當天第一次低潮時間9:19，正值轉潮，逐漸漲潮中，潮流影響不大。風驅作用波浪向東北東傳遞，漂沙分佈並不與碎波線成條帶狀，反而成羽作輻射，尤其在大肚溪口最為明顯擴散範圍最廣，在大甲溪口則呈稀疏團狀向東北擴散。

九、台中港港灣佈置影像圖幅製作

台中港港灣佈置衛星影像圖幅的製作，主要目的在提供大視野的高空鳥瞰圖，立即通盤了解台中港港灣佈置的情況，同時也可概略獲取近岸海域浪波傳遞的情況，海流流況及漂沙方向與分佈等資訊，有助後續不同目的之港灣佈置規劃與決策分析的參考。

計畫中選取了一幅最近的SPOT衛星影像（時間為1994年3月4日）進行影像圖幅處理製作。製作過程除經過前述一些基本校正，從資料格式的重整、雜訊的消除，到影像接合與顯揚以及幾何校正等，處理程序瑣碎，最後獲得一張大尺度高解析度的港灣佈置影像圖幅（如圖十七所示為其小尺度圖幅）。

港灣佈置影像圖幅製作幾個主要步驟如下：

1. 影像接合

台中港海域影像來自兩幅不同衛星影像資料的接合或稱鑲嵌（mosaic）而成，其航帶（Path）K值及航列（Row）J值分別為（298,301）及（298,302），先行找尋影像上幾點控制點再進行鑲嵌，接合成所需連續一體的台中港海域影像。

2. 幾何校正

由於地球自轉造成衛星飛行掃描時產生影像的扭轉、偏移，需經幾何校正才能獲得正確和地圖正北吻合的真正影像圖幅。此步驟先行找尋一些地面控制點，在幾何校正前先獲取幾何校正轉換方程參數，再進行轉換校正，多經一次查核以確定幾何校正的誤差在可允許的一個pixel範圍之內，此即完成幾何校正。

3. 影像增場（Enhancement）

衛星影像原始資料一般而言，亮度值普遍偏低，造成影像灰暗不夠明顯，為使影像明晰易於識別地物地貌或海域海況現象，經影像增場（或稱顯揚）步驟，可使影像清晰滿足視覺效果。

4. 出圖

針對台中港海域截取所需要海域範圍，除可展示台中港港灣佈置現況全貌之外，同時也可展現近岸海域海況概觀。所需影像圖幅範圍決定後，再決定圖幅比例尺，以滿足大尺度高清晰度影像圖幅的製作目的。

十、結論

本計畫依工作時程已完成衛星影像資料蒐集與解讀，共蒐集到航空照片一幅、Landsat MSS影像四幅及TM三幅，SPOT彩色態影像四幅，ERS-1 SAR影像四幅，共計有影像圖幅十六幅。除Landsat TM 1994年一幅為正射投影像，無須再作幾何校正外，其他Landsat MSS及另外二幅TM影像以及SPOT影像資料已完成幾何校正及影像增揚等基本校正。此外，一幅1994年SPOT影像資料並進行細部基本校正及影像處理，已完成大尺度高畫質的台中港港灣佈置衛星影像圖幅製作，提供了解台中港港灣佈置全景現況，並可藉以獲得附近海域海況概略資訊，作為後續台中港港灣佈置規劃之參考依據。

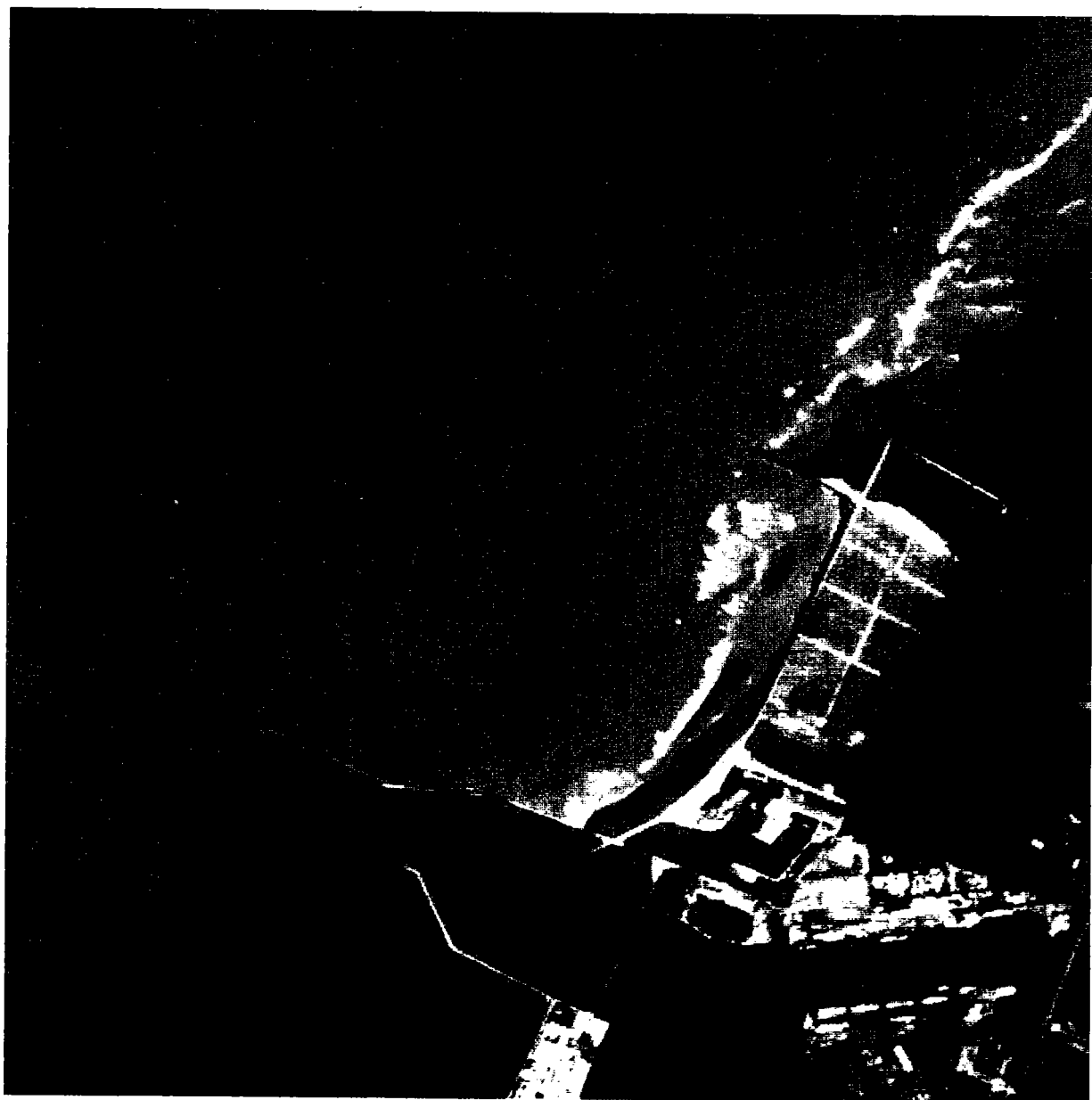
至於波浪、流況及漂沙分析，從已蒐集到的衛星影像著手，航空照片Landsat MSS及TM影像和SPOT資料用來作為流況及漂沙分析。一般而言，目前，SPOT影像解析度較佳，但不如SAR影像分析波場特性具有全天候觀測能力，不受水汽雲層干擾，較適於分析大風浪波場，提供較具設計意義波浪資訊。惟目前台中港海域波紋清晰之好品質SAR及SPOT影像不多，僅以東北季風時期，波浪影響台中港海域較大之時，較具代表性的三幅影像資料進行波浪分析。選取1993年11月18日ERS-1 SAR夜間上升（Ascending mode）掃描影像及1994年3月4日與1995年9月2日兩幅SPOT衛星影進行波場分析，由北防沙堤頭、北防波堤頭及其間海域A、B及C三區波場分析結果顯示，台中港近岸海域波長大約在五十公尺到百公尺左右，波向主要取決於風向，東北季風時期波向大致為北或東北，接近海岸波峰線折而與海岸幾近平行，惟在北防沙堤與北防波堤之間，受北防波堤的反射與地形淺化、折射作用，造成紊亂波場，波向呈現多向性組合（如圖六十二，1994年3月放大影像所見）。至於吹西北或西風風向時（如圖六十三，1995年9月放大影像），波向主要由西向東，波浪傳遞與北防波堤近似平行，幾乎不受其反射作用，僅在近岸處可見地形效應，波浪受淺化折射作用，波峰線與等深線近乎平行。1993年11月SAR影像所見波紋並不清晰，經分析結果波向與風向大約一致，波浪傳遞由西向東，尤其是在C區海域，亦即北防沙堤與北防波堤之間海域，波向明顯為東西走向。

流況分析中，以十二幅不同年代不同季節的航空照片及衛星影像進行探討判釋，

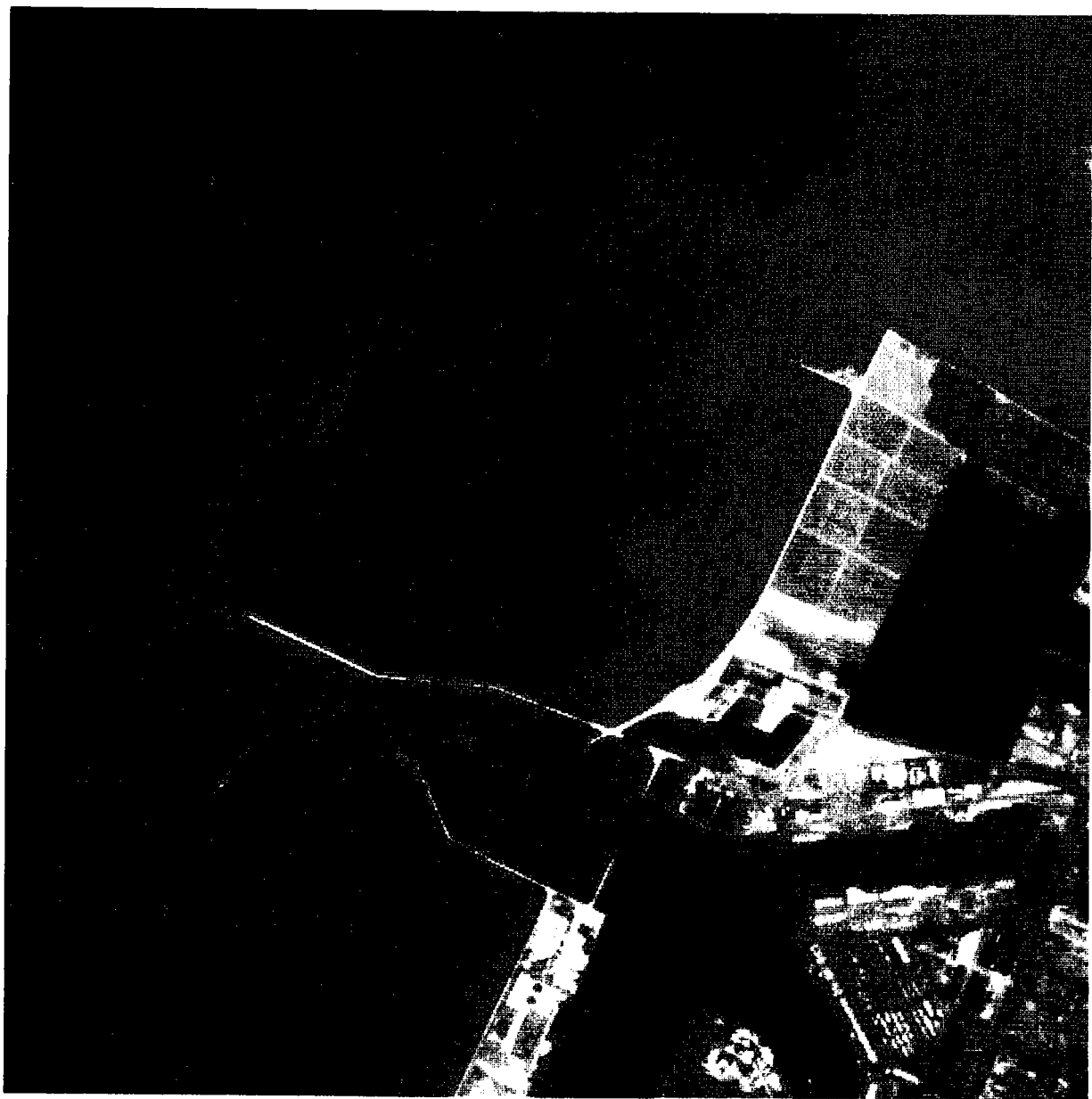
結果顯示，台中港海域之海流主要受東北季風影響，冬季吹東北季風時，流向大致由東北向西南，在大甲溪及大肚溪口受河川排水影響尤有明顯西南向海流流跡，而在北防波堤北側海流受堤防阻截作用，海流流跡先向西流出，至堤口再折向西南。在東北季風微弱時則潮汐現象影響海流，漲潮時台中港海域海浪流跡向西南，退潮時則有向東北走勢，惟潮流流跡不顯著，流速微弱。至於夏季西南季風時期，海流受風驅作用外，黑潮支流的恆流作用，以及漲退潮效應，都會影響海流，由南向北的恆流與潮汐（退潮）的疊加作用常使海流由西南流向東北，惟就已蒐集影像觀察，流跡不顯著。

漂沙分析上，亦以二十四年間十二幅影像進行探討判釋，台中港海域漂沙沙源主要仍以大甲溪及大肚溪為主。冬季東北季風盛行期間，風強流急，擾動底床海沙，含沙水團漂移方向為東北向西南，一般分佈範圍主要在北防沙堤及北防波堤之間以及大肚溪口，大甲溪口到北防波堤間含沙水團分佈成掃帚狀，寬度最大延伸到北防波堤口約三、四公里範圍，東北季風減弱時，漂沙受擾動少，含沙水團移動緩慢，分佈範圍也不大。至於西南季風時期，風力作用微弱，黑潮恆流及漲汐影響反而較強，惟含沙水團分佈範圍不大，漂沙現象較明顯。

遙測判釋分析上，漂沙（含沙水團）是海流海跡最佳追蹤指標，從影像或航空照片上判釋漂沙及海流，有其天生性限制，不可避免。實例分析中，以(1)、(2)、(5)、(10)、(11)及(12)等六幅照片及影像，可明顯分析出台中港海域流跡動向，其餘影像資料並不易直接分析判釋。受限於衛星影像解析度不高，影像攝像品質不佳，並非每幅影像皆可用來分析出海流、漂沙動向與範圍，有時尚得藉助於影像增揚技巧，顯現廣域或細部大尺度的漂沙流跡，於電腦螢幕上靈活顯像分析判釋，其結果都優於書面影像圖幅判釋。此外，不易判釋之影像，藉由風、潮汐及黑潮恆流資料輔助判釋，皆可提高遙測海流與漂沙分析的可靠度與正確性。



圖六十二、台中港港口附近波場影像（1994年3月4日SPOT XS局部影像）Copyright
(c) CNES



圖六十三、台中港港口附近波場影像（1995年9月2日SPOT XS局部影像）Copyright
(c) CNES

參考文獻

1. EOSAT (1994年) : EOSAT NOTES, VOL.9 NO.1. PP7
2. 童慶禧 (民國79年) : 遙感的某些新發展及我們的對策, 環境遙感, 第5卷第1期, 第11~16頁。
3. EOSAT (1994年) : EOSAT NOTES, VOL.9 NO.4. PP2
4. 吳啓南 (民國77年) : 未來的 LANDSAT及SPOT衛星計畫, 礦業技術, 第26卷第4期, 第246~252頁。
5. 吳啓南、宋國城 (民國73年) : 地形圖與衛星影像之套合, 遙感探測第三期, 第54~69頁。
6. 陳哲俊、林俊中 (民國73年) : 遙測技術之展望, 遙感探測第四期, 第19~27頁。
7. 梁隆鑫、陳繼藩 (民國81年) : 製作SPOT 10 公尺假色合成影像方法之探討, 太空及遙測研究中心通訊第31期, 第2~9頁。
8. 廖大牛 (民國78年) : 陸地衛星系列計畫, 航空測量與遙感探測, 第17期, 第1~12頁。
9. EOSAT (1992年) : LANDSAT DATA USERS NOTES, VOL.7 NO.2. PP4~5
10. 吳啓南 (民國81年) : 新一代遙測衛星 ERS-1的海洋應用, 能源、資源與環境季刊第5卷第1期, 第33~42頁。
11. 戴寶村 (1987) : 台中港開發史, 台中縣立文化中心, 共129頁。
12. 交通部交通研究所 (1975) : 交通年鑑, 港務篇, 第436~439頁。
13. 交通部交通研究所 (1976) : 交通年鑑, 港務篇, 第532頁。
14. 交通部交通研究所 (1979) : 交通年鑑, 港務篇, 第646頁。
15. 交通部交通研究所 (1984) : 交通年鑑, 港務篇, 第710頁。
16. 經濟部水資源統一規劃委員會 (1995) : 中華民國臺灣水文概況, 共26頁。
17. 財團法人中興工程顧問社 (1990) : 高雄港、台中港港灣污染整治規劃第二次期中報告 (台中港部份)。
18. 工業技術研究院能源與礦業研究所 (1983) : 遙測技術應用於台灣近海環境調查—大肚溪口流況研究, 共60頁。

19. 經濟部水資源統一規劃委員會 (1973)：台灣各河川輸沙量初步估算。
20. 臺灣省交通處臺中港務局 (1976)：臺中港第一期工程完工報告 (上冊)，共231頁。
21. 港灣技術研究所 (1995)：台灣海域海氣象特性之研究，84-研(二)。
22. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 (1993)：台灣四周海象氣象調查研究 (八)，82研(四)。
23. 中央氣象局 (1971~1980)：氣象報告彙編。
24. 中央氣象局 (1981~1988)：氣候資料年報。
25. 張金機、邱永芳、簡仲璟、何良勝 (1994)：台中港漂沙防治與新生地開發，台灣省政府交通處港灣技術研究所，專刊第096號，共136頁。
26. 臺灣省交通處港灣技術研究所 (1988)：台中港港口流況調查研究 (第一部份流況調查)，專刊第50號，共229頁。
27. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 (1994)：台灣四周海象氣象調查研究，83研(四)，第2-1~2-15頁。
28. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 (1983)：台中海岸流況調查研究，基本研究 (二)。
29. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 (1982)：台中港港口流況調查報告，專刊第6號。
30. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 (1986)：台灣四周海象、氣象調查研究 (一)，基本研究 (二)。
31. 臺灣省政府交通處港灣技術研究所 (1992)：沉箱式防波堤施工中海床沖刷防治研究 (流況調查)，專刊第76號。
32. 呂黎光、郭一羽、劉倬騰、曾相茂 (民國84年)：微波遙測應用於海洋波場觀測，遙感探測第22期，第17~38頁。
33. 陳世熾、劉倬騰 (民國75年)：應用船舶雷達觀測海面波浪碩士論文，國立台灣大學海洋研究所，台北，共44頁。
34. 林敏基 (1991)：海洋與海岸帶遙感應用，海洋出版社，北京，共537頁。
35. Lau, C.C. (1992)：The Use of Remotely Sensed Data in Delineation of Hydrologic Response units and Estimation of Their Rainfall-Runoff Model Parameters, Dissertation, USA, pp.224.

36. 工研院能資所（1995）：遙測技術應用講習講義。
37. 劉進金（民國72年）：陸地衛星四號，航空測量與遙感探測第七期，第81～95頁。
38. 黃鎮臺、蕭國鑫（1993）：遙測土地利用影像處理作業，共72頁。
39. 湯麟武、徐忠獻、黃正欣（1988）：港灣及海域工程（上），中國土木水利工程學會，第11～62頁。

附表、Beaufort 風級（湯麟武等，1988）

風 級	名 稱	海 面 現 象	陸 地 現 象	風 速	
				m/s	knots
0	平靜 calm	海面平滑如鏡	炊煙直上	0~0.2	0~1
1	微風 light air	海面有漣漪	炊煙擺動，但風速計未動。	0.3~1.5	1~3
2	輕風 light breeze	漣漪加大略有碎波，可發現白浪。	樹葉微動，顏面感覺有風吹拂。	1.6~3.3	4~6
3	軟風 gentle breeze	波浪雖小但波長加長，白浪甚多。	樹葉及小枝不斷搖擺，旗幟飄揚。	3.4~5.4	7~10
4	和風 moderate breeze	波長更長海面到處白浪，有飛沫。	塵沙飛揚，小樹枝動搖甚烈。	5.5~7.9	11~16
5	清風 fresh breeze	海面全為白浪飛沫所掩，大波浪發生。	湖、河水中有波浪枝葉繁茂之樹動搖。	8~10.7	17~21
6	強風 strong breeze	風浪重疊加高，白浪上飛沫隨風而下。	大樹枝動搖，傘下能撐開，電線發嘯聲。	10.8~13.8	22~27
7	雄風 high wind	波浪更長更高，波峰破碎飛沫吹成長條。	樹木全動，步行困難。	13.9~17.1	28~33
8	疾風 gale	波浪頗大，碎波白泡所成之線條濃密，視界不清。	小樹枝折斷，步行不可能。	17.2~20.7	34~40
9	烈風 strong gale	浪甚高而大，海面全為白浪泡沫，視界模糊。	建築物略有損害。	20.8~24.7	41~47
10	狂風 whole gale	有甚大波浪，小型船舶翻覆。	部份樹木連根拔起，建築物頗有損害。	24.8~28.4	48~55
11	暴風 storm	海面白浪滔天。	建築物損害頗大。	28.5~33.4	56~63
12	颶風 hurricane	大船亦被波浪所掩，有翻覆沉沒之虞。	不堅固房屋全倒，災害甚大。	33.5以上	64以上