

國科會專題計畫成果報告

台灣與南海北部間之海洋地質地球物理研究

計畫編號: NSC 89-2611-M-002-051-ODP

執行期限: 89 年 08 月 1 日 至 90 年 10 月 31 日

主持人: 俞何興 國立臺灣大學海洋研究所

Email: yuhs@ccms.ntu.edu.tw

一. 中文摘要

南海的成因是一個長久爭論的議題，也是西太平洋邊緣海動力學研究的重點，且與特提斯、環太平洋兩大超級聚合帶的相互作用有關。南海與日本海位於西太平洋邊緣海內帶，具有許多共同特徵如形成年代、海盆形狀、海底形貌、海底擴張的多軸、多階段及由東向西擴張等，隱含有一個共同成因。南海海盆的契形形狀、海底擴張及陸緣海盆的斷陷，由北向南發展和由東向西推進的特徵，可用尖端向西的剪刀模型來描述。即南海的張開是近南北向右行剪切力作用下東亞陸源裂解的結果。南海張裂的同時在海盆內及其西緣印支半島上發育大量近南北向右行走滑斷裂，說明當時存在區域性的近南北向剪切應力。而在其東緣現在看不到大型近南北向右行走滑斷裂，可能是在中中新世以後菲律賓群島侵位和延馬尼拉海溝仰衝所破壞的結果。晚中新代以來，在西太平洋、特提斯西段(印度)及東段(澳

洲)先後發生了朝歐亞大陸的不同方向和速度的會聚。此三大板塊在中生-新生代連續的相互作用，包括弧後擴張、大陸地塊的擠出與向東流動的地幔流，形成東亞大陸邊緣超級剪力的動力背景。南海的張開主要受控於新生代東亞大陸地殼的應變，交互的右行剪切張力與左行剪切壓力，造成南海海盆的張開與關閉。

Abstract

The origin of the South China Sea has been for long a hot subject, as it is related to the interaction of two super convergent zones of the Tethys and the Circum-Pacific, as well as to geodynamics of the marginal seas in the Western Pacific Ocean. The South China Sea and Japan Sea, as a part of the inner zone of the Western Pacific marginal seas, have many common features such as age, shape and topography of the basin, the multi-axial

and multi-stage sea floor spreading, westward prograding crustal extension and mantle geochemistry, implying a common origin.

The South China Sea Basin has a wedge shape with a diagonal side trending northeast. Sea floor spreading in the South China Sea Basin and rifting of neighboring continental crust were characterized by ways of southward jumping and westward propagation. Sea floor spreading in the South China Sea began in northeast and progressed to southwest like an easterly opening scissors with decreasing magnitude of tensile stress westwards. The South China Sea like the Japan Sea is a pull-apart basin. The opening of the South China Sea was caused by transtensional stress in the eastern Asian margin under N-S trending dextral shearing. Numerous N-S running dextral strike-slip faults developed in the Indochina Peninsula and in the South China Sea during Late Oligocene to Middle Miocene, indicative of existence of dextral shearing stress at that time period. The South China Sea is bordered to the east by a N-S trending subduction zone, not a large dextral strike-slip fault. This may be ascribed to the destruction of the existed faults by the docking and obduction of the Luzon Arc along the present Manila Trench. The evolution of the South China Sea has been influenced by relative motions between three plates of the Eurasia, India-Australia and Western Pacific since Late Mesozoic.

Successive or sequential interactions between back-arc spreading, extrusion of continental blocks and eastward mantle flow related to the motions of these three plates formed the geodynamic backgrounds for the mega-shearing in eastern Asian margin. The opening of the South China Sea is strongly controlled by the strain patterns of the crust in eastern Asia in Cenozoic. Alternations of dextral transtensional stress and sinistral transcompressional stress in the eastern Asian margin opened the South China Sea Basin and closed the basin, respectively.

二. 源由與目的

南海是西太平洋最大的邊緣海，它位於歐亞板塊，太平洋板塊與印澳板塊交匯處，其形成及發展過程經歷了中生代末期至新生代複雜的地體構造運動及地質作用。南海及其周邊地區的地質及地球物理研究，因此，可以瞭解此三大板塊在中生-新生代的相互作用，南海大陸邊緣的形成機制及演化及油氣成礦的背景等，深具學術意義及實用價值。

第一屆海峽兩岸地球科學研究推動研討會已於1998年7月17、18兩日在台北舉行，瞭解南海研究的優先及重要性，會後的結論如下：共同研究南海，合作研究計畫名稱為「兩岸海洋科學跨世紀聯合探測南海東北部研究計畫」。本研究計畫屬於第三個子題，針對台灣南部與南海北部海域間的地質與地物綜合研究。

利用我「海研一號」及大陸中國科學院南海海洋研究所之研究船「實驗二號」共同進行研究區域的地質及

地球物理資料收集(包括震測、重力、磁力、地熱等)。根據震測剖面、地熱流數據及重磁資料,可完成初步的南海東北部與台灣之間的區域構造解釋、重力場特徵與地殼構造的意義,磁力異常與地熱流剖面與地體構造及火成活動的關係,由此進而了解位於台灣與南海東北部海域之過渡帶(隱沒至碰撞)的真實意義。

三. 結果與討論

本研究計畫已完成了兩條多頻道震測剖面。一條為西北-東南走向,長約 380 公里,西北端在汕頭的東南方的大陸棚,東南方的另一端點位於東經 120 度與北緯 20 度交會處附近。另一條剖面為東北-西南走向,長約 450 公里,大約由紡索外海的大陸斜坡延伸至東經 115 度的東側。大陸中國科學院南海海洋研究所之研究船「實驗二號」進行多頻道震測作業。多頻道震測資料由我方進行資料處理。隨後沿著兩條多頻道震測剖面收集了接近 40 個海底地熱資料。目前多頻道震測與地熱資料還未處理完畢。

本研究成果可提供第一手地物資料對於南海東北部與台灣之間的區域構造可給予全新的解釋,將來可擴大至南海其他區域的解釋。對於南海的成因作了詳盡的回顧,並且提出新的看法,南海的張開主要受控於新生代東亞大陸地殼的應變,交互的右行剪切張力與左行剪切壓力,造成南海海盆的張開與關閉。較詳細的說明以摘要方式呈現。

四. 參考文獻

- Briaies, A. Tapponnier, P. and Pautot, G. (1989) Constraints of sea beam data on curstal fabrics and seafloor spreading in the South China Sea. *EPSL*, 95, 307-320.
- Charlton, T. R. (2000) Tertiary evolution of the Eastern Indoneesian collision complex. *J. Asian Earth Sci.*, 18, 603-631.
- England, Ph. And Molnar, P. (1990) Right-lateral shear and rotation as the explanation for stike-slip faulting in eastern Tibet. *Nature*, 344, 140-142.
- Fournier, M. Jolivet, L. and Huchen, P. (1994) Neogene strike-slip faulting in Sakhlín and the Japan Sea opening. *J. Geophys. Res.*, 99, 2701-2725.
- Holloway, N. H. (1982) The north Palawan block, Philippines: its relation to the Asian mainland and its role in the evolution of the South China Sea. *AAPG Bull.*, 66, 1355-1383.
- Houseman, G. England, Ph. (1993) Crustal thickening versus lateral expulsion in the Indian-Asian continental collision. *J. Geophys. Res.*, 98, 12233-12249.
- Jolivet, L., Davy, P. and Cobbld, P. R. (1990) Right lateral shear along the northwest Pacific margin and the India-Eurasian collision. *Tectonics*, 9, 1409-1419.
- Northrup, C. J., Royden, L. H. and Burchfiel, B. C. (1995) Motion of the Pacific plate relative to

Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. *Geology*, 13, 719-722.

Tamaki, K. and Honza, E. (1991) Global tectonics and formation of marginal basins: Role of the western Pacific. *Episodes*, 14, 224-230.

Tapponnier, P. G., Peltzer, Y. and Armijo, R. (1986) On the mechanics of collision between India and Asia. In: Coward, M. P. and Ries, A. C. (eds.), *Collision tectonics*. GSA Spec. Publ., 19, 115-157.

Zhang, Y. S. (1998) Three-dimensional upper mantle structure beneath East Asia and its tectonic implications. In: *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*, AGU Geodynamics Series, 27, 11-23.

國科會專題計畫成果報告

台灣與南海北部間之海洋地質地球物理研究

計畫編號: NSC 89-2611-M-002-051-ODP

執行期限: 89 年 08 月 1 日 至 90 年 10 月 31 日

主持人: 俞何興 國立臺灣大學海洋研究所

Email: yuhs@ccms.ntu.edu.tw

一. 中文摘要

南海的成因是一個長久爭論的議題，也是西太平洋邊緣海動力學研究的重點，且與特提斯、環太平洋兩大超級聚合帶的相互作用有關。南海與日本海位於西太平洋邊緣海內帶，具有許多共同特徵如形成年代、海盆形狀、海底形貌、海底擴張的多軸、多階段及由東向西擴張等，隱含有一個共同成因。南海海盆的契形形狀、海底擴張及陸緣海盆的斷陷，由北向南發展和由東向西推進的特徵，可用尖端向西的剪刀模型來描述。即南海的張開是近南北向右行剪切力作用下東亞陸源裂解的結果。南海張裂的同時在海盆內及其西緣印支半島上發育大量近南北向右行走滑斷裂，說明當時存在區域性的近南北向剪切應力。而在其東緣現在看不到大型近南北向右行走滑斷裂，可能是在中中新世以後菲律賓群島侵位和延馬尼拉海溝仰衝所破壞的結果。晚中新代以來，在西太平洋、特提斯西段(印度)及東段(澳

洲)先後發生了朝歐亞大陸的不同方向和速度的會聚。此三大板塊在中生-新生代連續的相互作用，包括弧後擴張、大陸地塊的擠出與向東流動的地幔流，形成東亞大陸邊緣超級剪力的動力背景。南海的張開主要受控於新生代東亞大陸地殼的應變，交互的右行剪切張力與左行剪切壓力，造成南海海盆的張開與關閉。

Abstract

The origin of the South China Sea has been for long a hot subject, as it is related to the interaction of two super convergent zones of the Tethys and the Circum-Pacific, as well as to geodynamics of the marginal seas in the Western Pacific Ocean. The South China Sea and Japan Sea, as a part of the inner zone of the Western Pacific marginal seas, have many common features such as age, shape and topography of the basin, the multi-axial

and multi-stage sea floor spreading, westward prograding crustal extension and mantle geochemistry, implying a common origin.

The South China Sea Basin has a wedge shape with a diagonal side trending northeast. Sea floor spreading in the South China Sea Basin and rifting of neighboring continental crust were characterized by ways of southward jumping and westward propagation. Sea floor spreading in the South China Sea began in northeast and progressed to southwest like an easterly opening scissors with decreasing magnitude of tensile stress westwards. The South China Sea like the Japan Sea is a pull-apart basin. The opening of the South China Sea was caused by transtensional stress in the eastern Asian margin under N-S trending dextral shearing. Numerous N-S running dextral strike-slip faults developed in the Indochina Peninsula and in the South China Sea during Late Oligocene to Middle Miocene, indicative of existence of dextral shearing stress at that time period. The South China Sea is bordered to the east by a N-S trending subduction zone, not a large dextral strike-slip fault. This may be ascribed to the destruction of the existed faults by the docking and obduction of the Luzon Arc along the present Manila Trench. The evolution of the South China Sea has been influenced by relative motions between three plates of the Eurasia, India-Australia and Western Pacific since Late Mesozoic.

Successive or sequential interactions between back-arc spreading, extrusion of continental blocks and eastward mantle flow related to the motions of these three plates formed the geodynamic backgrounds for the mega-shearing in eastern Asian margin. The opening of the South China Sea is strongly controlled by the strain patterns of the crust in eastern Asia in Cenozoic. Alternations of dextral transtensional stress and sinistral transcompressional stress in the eastern Asian margin opened the South China Sea Basin and closed the basin, respectively.

二. 源由與目的

南海是西太平洋最大的邊緣海，它位於歐亞板塊，太平洋板塊與印澳板塊交匯處，其形成及發展過程經歷了中生代末期至新生代複雜的地體構造運動及地質作用。南海及其周邊地區的地質及地球物理研究，因此，可以瞭解此三大板塊在中生-新生代的相互作用，南海大陸邊緣的形成機制及演化及油氣成礦的背景等，深具學術意義及實用價值。

第一屆海峽兩岸地球科學研究推動研討會已於1998年7月17、18兩日在台北舉行，瞭解南海研究的優先及重要性，會後的結論如下：共同研究南海，合作研究計畫名稱為「兩岸海洋科學跨世紀聯合探測南海東北部研究計畫」。本研究計畫屬於第三個子題，針對台灣南部與南海北部海域間的地質與地物綜合研究。

利用我「海研一號」及大陸中國科學院南海海洋研究所之研究船「實驗二號」共同進行研究區域的地質及

地球物理資料收集(包括震測、重力、磁力、地熱等)。根據震測剖面、地熱流數據及重磁資料,可完成初步的南海東北部與台灣之間的區域構造解釋、重力場特徵與地殼構造的意義,磁力異常與地熱流剖面與地體構造及火成活動的關係,由此進而了解位於台灣與南海東北部海域之過渡帶(隱沒至碰撞)的真實意義。

三. 結果與討論

本研究計畫已完成了兩條多頻道震測剖面。一條為西北-東南走向,長約 380 公里,西北端在汕頭的東南方的大陸棚,東南方的另一端點位於東經 120 度與北緯 20 度交會處附近。另一條剖面為東北-西南走向,長約 450 公里,大約由紡索外海的大陸斜坡延伸至東經 115 度的東側。大陸中國科學院南海海洋研究所之研究船「實驗二號」進行多頻道震測作業。多頻道震測資料由我方進行資料處理。隨後沿著兩條多頻道震測剖面收集了接近 40 個海底地熱資料。目前多頻道震測與地熱資料還未處理完畢。

本研究成果可提供第一手地物資料對於南海東北部與台灣之間的區域構造可給予全新的解釋,將來可擴大至南海其他區域的解釋。對於南海的成因作了詳盡的回顧,並且提出新的看法,南海的張開主要受控於新生代東亞大陸地殼的應變,交互的右行剪切張力與左行剪切壓力,造成南海海盆的張開與關閉。較詳細的說明以摘要方式呈現。

四. 參考文獻

- Briaais, A. Tapponnier, P. and Pautot, G. (1989) Constraints of sea beam data on curstal fabrics and seafloor spreading in the South China Sea. *EPSL*, 95, 307-320.
- Charlton, T. R. (2000) Tertiary evolution of the Eastern Indonesian collision complex. *J. Asian Earth Sci.*, 18, 603-631.
- England, Ph. And Molnar, P. (1990) Right-lateral shear and rotation as the explanation for stike-slip faulting in eastern Tibet. *Nature*, 344, 140-142.
- Fournier, M. Jolivet, L. and Huchen, P. (1994) Neogene strike-slip faulting in Sakhlín and the Japan Sea opening. *J. Geophys. Res.*, 99, 2701-2725.
- Holloway, N. H. (1982) The north Palawan block, Philippines: its relation to the Asian mainland and its role in the evolution of the South China Sea. *AAPG Bull.*, 66, 1355-1383.
- Houseman, G. England, Ph. (1993) Crustal thickening versus lateral expulsion in the Indian-Asian continental collision. *J. Geophys. Res.*, 98, 12233-12249.
- Jolivet, L., Davy, P. and Cobbold, P. R. (1990) Right lateral shear along the northwest Pacific margin and the India-Eurasian collision. *Tectonics*, 9, 1409-1419.
- Northrup, C. J., Royden, L. H. and Burchfiel, B. C. (1995) Motion of the Pacific plate relative to

Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. *Geology*, 13, 719-722.

Tamaki, K. and Honza, E. (1991) Global tectonics and formation of marginal basins: Role of the western Pacific. *Episodes*, 14, 224-230.

Tapponnier, P. G., Peltzer, Y. and Armijo, R. (1986) On the mechanics of collision between India and Asia. In: Coward, M. P. and Ries, A. C. (eds.), *Collision tectonics*. GSA Spec. Publ., 19, 115-157.

Zhang, Y. S. (1998) Three-dimensional upper mantle structure beneath East Asia and its tectonic implications. In: *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*, AGU Geodynamics Series, 27, 11-23.

出席 2000 年美國地質學學會年會心得報告

國立臺灣大學 海洋研究所

俞何興 教授

NSC89-2611-M-002-051-ODP

美國地質學學會成立至今已有 113 年，現已成為國際性的學術機構，會員遍及世界各國，其學會年會也成為國際性的會議。2000 年美國地質學學會年會於美國的 Reno, Nevada 舉行，為期 10 天 (Nov. 9-18)。大會主題強調近入廿世紀，岩石學、礦物學及古生物學等這些地質學中的支柱，逐漸地與其他基本科學結合成為地球化學(Geochemistry)，地球物理學(Geophysics)及數學地質學(Mathematical Geology)，面對複雜的地球知識，這種跨學門 (Transdisciplinary) 的趨勢無可避免，現今我們居住的環境因都市化快速擴張更趨複雜，於是工程地質學(Engineering Geology)及環境地質學(Environmental Geology)應運而生，更顯得重要。

進入廿世紀末，地質學的內涵，已與早期大不相同，地質學主要的研究還在於了解地球過去的歷史以及解釋現今的地質現象，但是強調這些地質知識必須為人類的福祉所用，人類與其生活環境的互動。地質學研究的時間尺度，也由強調過去及現在的狀況擴展至將來，預測(Prediction)未來的地質環境。人與居住的環境關係日益密切，自然資源的損耗日益增加，有鑑於此，大會強調『永續發展』(Sustainable Development)的主張，包括水源的品質及利用，地質災害的預測，與非再生資源（如石油）的開發。

實際上大會共有 236 Technical Sessions，議題包羅萬象由古生代地質到第四紀地質，由小規模的斷層到全球板塊構造，由地球深部的火成活動到地表的風化、侵蝕與沉積物堆積。但是重點還是在環境地質與生態系統之永續發展。其他較廣泛受到重視議題包括地質科學研究的新方法與技術，World Wide Web 在地質科學研究的應用與教育及地質科學在大眾社會上扮演的角色。上述重要的地質科學議題與平日教學較少有直接的關聯，經常被疏忽掉，在大會中獲得了許多重要訊息，等於再教育自己，充實自己，獲益良多。

個人參加這次會議的主要目的是發表國科會研究計畫的成果，說明台灣海峽區域晚上新世-第四紀的沉積物，堆積於前陸盆地，伴隨的正斷層由彎曲張裂所造成。發表論文題目為 Structural expressions of flexural extension in collisional western Taiwan foredeep. 共同作者為中油公司的周穎蔚博士。藉由發表論文介紹台灣前陸盆地研究現況，與國際學者交換研究心得，以期得到

建設性的批評，對台灣前陸盆地的後續研究有所幫助。Texas A & M University 的 Steven Dorobek 教授研究前陸盆地多年，專精前陸盆地碳酸岩地層研究，將台灣前陸盆地與德州西部的前陸盆地相比較，並建議一些將來可以合作的工作。Purdue University 的 Kenneth D. Ridgway 教授與台大地質系陳文山教授合作研究台灣前陸盆地（研究區域在西部麓山帶與濱海平原），也在個人發表論文時提出許多寶貴意見，個人研究的區域是海域（台灣海峽），Ridgway 教授研究的區域是陸地，同樣是研究台灣前陸盆地，但不同的研究區域，恰好有互補性，彼此交換研究心得，獲益良多。

有許多出版地質科學專書的書店也參加這次大會，展示了許多出版品，個人利用這個好機會，當場訂購有關研究教學的書籍，方便以後資訊的獲得。美國地質調查所與部份參加這次大會的大學展示了許多地質資訊的電子化，包括早期的地質圖，值得我們參考學習。

大會上遇見一些已在美國大學任教或服務於工業界(石油業為主)的前後期同學，閒話家常，談到國內外地質界的現況，得到一個結論：地質界的人才似乎有了斷層，在美國大學任教或服務於工業界的人士，極少數年齡在 45 歲之下，而大陸留學生取代台灣留學生的位置。這或許是個警訊，地質學界或許該關心一下。

總而言之，個人參加這次會議在研究教學上獲益良多，特別要感謝國科會的支持，同時也希望國科會繼續支持國內學界人士，參加國際性的學術會議。

出席 2000 年美國地質學學會年會心得報告

國立臺灣大學 海洋研究所

俞何興 教授

NSC89-2611-M-002-051-ODP

美國地質學學會成立至今已有 113 年，現已成為國際性的學術機構，會員遍及世界各國，其學會年會也成為國際性的會議。2000 年美國地質學學會年會於美國的 Reno, Nevada 舉行，為期 10 天 (Nov. 9-18)。大會主題強調近入廿世紀，岩石學、礦物學及古生物學等這些地質學中的支柱，逐漸地與其他基本科學結合成為地球化學(Geochemistry)，地球物理學(Geophysics)及數學地質學(Mathematical Geology)，面對複雜的地球知識，這種跨學門 (Transdisciplinary)的趨勢無可避免，現今我們居住的環境因都市化快速擴張更趨複雜，於是工程地質學(Engineering Geology)及環境地質學(Environmental Geology)應運而生，更顯得重要。

進入廿世紀末，地質學的內涵，已與早期大不相同，地質學主要的研究還在於了解地球過去的歷史以及解釋現今的地質現象，但是強調這些地質知識必須為人類的福祉所用，人類與其生活環境的互動。地質學研究的時間尺度，也由強調過去及現在的狀況擴展至將來，預測(Prediction)未來的地質環境。人與居住的環境關係日益密切，自然資源的損耗日益增加，有鑑於此，大會強調『永續發展』(Sustainable Development)的主張，包括水源的品質及利用，地質災害的預測，與非再生資源（如石油）的開發。

實際上大會共有 236 Technical Sessions，議題包羅萬象由古生代地質到第四紀地質，由小規模的斷層到全球板塊構造，由地球深部的火成活動到地表的風化、侵蝕與沉積物堆積。但是重點還是在環境地質與生態系統之永續發展。其他較廣泛受到重視議題包括地質科學研究的新方法與技術，World Wide Web 在地質科學研究的應用與教育及地質科學在大眾社會上扮演的角色。上述重要的地質科學議題與平日教學較少有直接的關聯，經常被疏忽掉，在大會中獲得了許多重要訊息，等於再教育自己，充實自己，獲益良多。

個人參加這次會議的主要目的是發表國科會研究計畫的成果，說明台灣海峽區域晚上新世-第四紀的沉積物，堆積於前陸盆地，伴隨的正斷層由彎曲張裂所造成。發表論文題目為 Structural expressions of flexural extension in collisional western Taiwan foredeep. 共同作者為中油公司的周穎蔚博士。藉由發表論文介紹台灣前陸盆地研究現況，與國際學者交換研究心得，以期得到

建設性的批評，對台灣前陸盆地的後續研究有所幫助。Texas A & M University 的 Steven Dorobek 教授研究前陸盆地多年，專精前陸盆地碳酸岩地層研究，將台灣前陸盆地與德州西部的前陸盆地相比較，並建議一些將來可以合作的工作。Purdue University 的 Kenneth D. Ridgway 教授與台大地質系陳文山教授合作研究台灣前陸盆地（研究區域在西部麓山帶與濱海平原），也在個人發表論文時提出許多寶貴意見，個人研究的區域是海域（台灣海峽），Ridgway 教授研究的區域是陸地，同樣是研究台灣前陸盆地，但不同的研究區域，恰好有互補性，彼此交換研究心得，獲益良多。

有許多出版地質科學專書的書店也參加這次大會，展示了許多出版品，個人利用這個好機會，當場訂購有關研究教學的書籍，方便以後資訊的獲得。美國地質調查所與部份參加這次大會的大學展示了許多地質資訊的電子化，包括早期的地質圖，值得我們參考學習。

大會上遇見一些已在美國大學任教或服務於工業界（石油業為主）的前後期同學，閒話家常，談到國內外地質界的現況，得到一個結論：地質界的人才似乎有了斷層，在美國大學任教或服務於工業界的人士，極少數年齡在 45 歲之下，而大陸留學生取代台灣留學生的位置。這或許是個警訊，地質學界或許該關心一下。

總而言之，個人參加這次會議在研究教學上獲益良多，特別要感謝國科會的支持，同時也希望國科會繼續支持國內學界人士，參加國際性的學術會議。