

中東札格羅斯褶皺帶與台灣西部麓山帶探勘標的比較

賴光胤¹、莫慧偵¹、謝秉融¹、李珀儂²、黃旭燦¹

李瑋倫¹、簡至暉¹、胡植慶³

台灣中油股份有限公司探採研究所¹

台灣中油股份有限公司探採事業部²

國立臺灣大學地質科學系³

摘要

中東札格羅斯褶皺帶屬油氣豐富的超級盆地，伊拉克與伊朗的札格羅斯地區未來仍具有大油氣田的探勘潛力。本研究透過蒐集區域地質與探勘資料及區域石油系統資料，針對札格羅斯褶皺帶區域構造演化與石油系統進行綜合解釋分析。札格羅斯褶皺帶是由阿拉伯板塊和歐亞板塊聚合作用而成，沿著走向方向，由東南向西北，依序可分為法爾斯弧凸、迪茲富勒弧凹、洛雷斯坦弧凸和基爾庫克弧凹，共 4 個分區。依據區域主要斷層架構，札格羅斯褶皺帶由西南往東北，可分成前陸盆地、簡單褶皺帶與疊瓦帶等 3 個走向平行的構造分帶。

根據本研究蒐集之長地質剖面資料與回復過程，可得知區域構造型態之特性與差異，以及斷層與褶皺等構造在時序上的演化。札格羅斯褶皺帶的石油系統依照生油岩的年代，共包含了志留紀、侏羅紀、白堊紀以及新生代等 4 個主要的石油系統，根據整合的石油系統資料顯示，白堊系 Kazhdumi Fm. 為伊朗地區最重要的生油來源，伊拉克地區則是侏羅系 Sargelu Fm. 為最優；漸新統~下部中新統的 Asmari Fm. 是札格羅斯褶皺帶內大油氣田最重要的生產層，儲集層中的石油不單只有來自新生界的 Pabdeh 生油岩，亦包含來自白堊系 Kazhdumi 生油岩生成的油氣，而與 Asmari Fm. 相當的漸新統 Kirkuk Fm. 則是伊拉克地區最重要的儲層，不僅發育有原生孔隙，還發展有次生溶洞孔隙。

台灣西部麓山帶油氣構造可分為南北兩區，其中打鹿頁岩中的打鹿砂層為麓山帶北區最重要之產油氣層，而其最主要的生油岩為漸新統-中新統生油岩。利用油氣構造資料再依儲集岩類型與封閉型態，可彙整出 9 類探勘標的。札格羅斯褶皺帶已被證實的探勘標的的地層年代範圍很廣，從古生代到中新統都有，其中，最重要的是上白堊系、漸新統及中新統的探勘標的。根據石油系統的研究，依儲集岩類型與封閉型態，札格羅斯褶皺帶探勘標的類型主要以碳酸鹽岩為儲集層與以背斜構造為封閉型態。西部麓山帶與札格羅斯褶皺帶因兩地石油系統中的儲集岩特性不同，所以主要探勘標的類型亦不同。然而比較以碳酸鹽岩為主要探勘標的的儲集層，則麓山帶打鹿頁岩中之石灰岩，可為未來之可探目標。再比較札格羅斯褶皺帶探勘標的的分布狀況，以前陸盆地構造分帶最多，簡單褶皺帶次之，因此在西部麓山帶應可再往變形前緣方向尋找變形程度較小之背斜構造為探勘標的。

一、背景說明

油氣富饒的超級盆地存在於數種構造環境中，其中中東札格羅斯盆地為典型的褶皺逆衝帶。札格羅斯褶皺帶從土耳其南部經過敘利亞的東側及伊拉克一路延伸到伊朗的西部。開發成熟度在這沿著約 1,600 公里長造山帶的長軸變化非常的大，札格羅斯褶皺帶在敘利亞段有較大的已探勘構造，且擁有較高密度的震測及鑽井資料，此區有較高的探勘成熟度，以產油為主，氣的含量非常少(圖 1)。這和札格羅斯褶皺帶南段的伊拉克和伊朗是很不一樣的，此區的探勘程度是相對落後的。因區域陸續發生之軍事活動對探勘活動造成極大的損失，導致一些低探勘程度的高油氣潛能區被遺留下來。單單伊朗在札格羅斯褶皺帶地區就有數十個未鑽探的、潛在的含油構造好景區，至於天然氣潛力更大 (Bordenave, 2000)。因此，未來大油氣田的探勘潛力，札格羅斯褶皺帶北段的土耳其與敘利亞地區相較於札格羅斯褶皺帶南段的伊拉克與伊朗地區是來的低的，本研究即以伊拉克與伊朗地區之札格羅斯褶皺帶為主要研究區域。

札格羅斯褶皺帶之巨大油田的儲聚模式與台灣西部麓山帶的油氣田構造類似，為地層受褶皺作用後，油氣經由褶皺產生之裂隙往上運移儲聚，加上巨大油田以石灰岩為主要儲集岩之特性，對解決台灣麓山帶遭遇之探勘問題，包括褶皺裂隙發育與分布、逆衝斷層下盤之探勘標的與非碎屑岩探勘標的特性等，亦有所助益。本研究以中東札格羅斯褶皺帶為主要目標，進行構造演化、盆地分析與石油系統之資料蒐集，以及褶皺帶地區探勘技術研討。針對褶皺帶區域構造演化與石油系統進行綜合解釋，其結果將有助提供褶皺帶礦區評估業務，並可做為本公司未來進入國外礦區投標或讓入之依據。再藉由彙整中東札格羅斯褶皺帶與台灣西部麓山帶的主要探勘標的之生、儲、蓋、封閉構造與分布位置等資料，進行兩區域探勘標的之分析與比較，作為麓山帶構造相關問題解釋的參考，提出新觀念與建議可探目標之探勘方向。

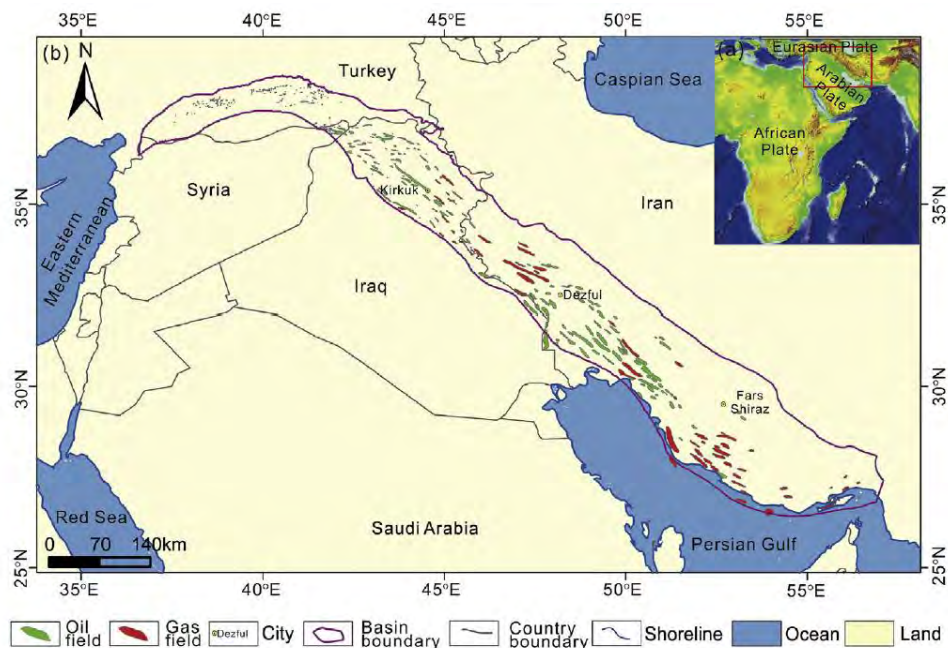


圖 1、札格羅斯褶皺帶油田及氣田分布圖(Liu et al., 2018)

二、研究技術說明

(一)盆地地層分析

蒐集文獻資料中有關井下岩性、生物地層，以及盆地內不同岩性分布的資料，建立盆地內地層年代和地層岩性的基本認識，對後續石油系統分析建立基礎。主要依據所蒐集之地層岩性報告解釋沉積環境，對比地層層位，呈現區域性之構造地貌、年代、不整合面以及岩性變化，以解釋不同儲集岩之沉積環境差異，並配合全球海水升變化循環建立其架構下地層岩相的變化和分布的分析。

(二)構造型態分析

蒐集文獻資料中目標盆地形成的區域大地構造位置和動力學環境，盆地內斷層的形成、演化及分布，盆地內斷層活動會影響沉積環境演變與容積空間變化，亦是油氣移棲和封閉的關鍵因素。本研究將利用蒐集之遙測資料、大地測量資料、地震資料與地表地質資料來比照中東地區的大地構造，探討地質構造歷史，以及針對札格羅斯褶皺帶不同構造區段的地下構造剖面進行分析，瞭解伊朗、伊拉克的地質構造、構造演化與沉積歷史。

(三)盆地演化分析

本研究由蒐集之區域地質、盆地地貌、沉積環境及大地演化等相關參考文獻，整理出各時期盆地沉積層序列，以及不同時期的構造活動。根據地表地質於札格羅斯褶皺帶不同構造區段，選擇平行構造運動方向以及垂直主要斷層與褶皺軸走向之地下構造剖面，利用這些已經過構造變形作用的地質剖面，藉由軟體的輔助回推其原始沉積的樣貌，透過一系列的構造回復，有助於了解在不同時期之下的構造形貌，得到每個構造所導致之地層縮短量，分辨構造活動的先後順序，用於油氣探勘時則可推知石油系統演化的情形。

(四)石油系統分析

石油系統包含蓋岩、儲集岩、封閉、生油岩與油氣移棲等五項要素，欲尋找油氣所在，各項要素缺一不可，故各項要素的存在條件為油氣潛能評估之要點。本研究以區域地質作為基礎研究的起點，探討區域性構造運動形成的機制、區域性的沉積中心等。

(五)成藏組合分析

成藏組合主要評估油氣在盆地中的縱向分布方式。具有單一石油系統和單一儲蓋組合的盆地，成藏組合也比較單一。如果具有多個石油系統，該具有多儲蓋組合的盆地因有油氣的縱向移棲而形成多個成藏組合，這種情況下，各個成藏組合都會具有各自的油氣聚集規律和特點，成藏組合的分析就具有重要意義。札格羅斯褶皺帶主要有四個時間段的石油系統，又有多種儲蓋組合，因此本研究將由成藏組合分析，瞭解各類成藏組合區帶分布。

(六)褶皺逆衝帶探勘標的分析

油氣探勘與評估，主要劃分為四個層次：沉積盆地→石油系統→探勘標的(Play)→好景區(Prospect)。石油系統和構造體系是油氣探勘的重點，各類沉積盆地的形成與大地構造有關。石油系統在不同大地構造環境下形成不同類型之石油系統。各類探勘標的與好景區也與大地構造環境有關。中東札格羅斯褶皺帶有多重石油系統和探勘標的。本研究經彙整台灣西部麓山帶與中東札格羅斯褶皺帶主要探勘標的之生、儲、蓋、封閉構造與分布位置等資料後，將兩區探勘標的分層分類進行分析比較。

三、研究成果

(一)札格羅斯褶皺帶地質架構

札格羅斯褶皺帶是由阿拉伯板塊和歐亞板塊聚合作用而成，沿著走向方向，由東南向西北，依序可分為法爾斯弧凸(Fars salient)、迪茲富勒弧凹(Dezful recess)、洛雷斯坦弧凸(Lorestan salient)和基爾庫克弧凹(Kirkuk recess)，共 4 個分區(圖 2)。而研究區域盆地地層依沉積環境與盆地演化，可分成早古生代：拉張盆地與陸緣地台沉積環境；二疊紀-三疊紀：泛海地台沉積環境；侏羅紀-晚白堊紀：陸棚沉積環境；晚白堊紀-近代：前陸盆地沉積環境，等共四群(圖 3)。每個群由多個以不整合面為界的序列組成，而序列則由多個岩性地層組成並分別代表一個不連續的沉積循環(Alavi, 2004)。

西北-東南走向的札格羅斯褶皺帶分別以札格羅斯變形前緣(ZDF)與主札格羅斯斷層(MZF)為西南與東北之邊界，整個褶皺帶自西南往東北可以山前斷層(MFF)與高札格羅斯斷層(HZF)分成前陸盆地(Foreland basin)、簡單褶皺帶(Folded belt)與疊瓦帶(Imbricated zone)等 3 個走向平行的構造分帶(圖 2 和圖 4)。構造型態以基爾庫克弧凹區與洛雷斯坦弧凸區為例(圖 4)，基爾庫克地區的基底滑脫面為早三疊紀的頁岩、泥質石灰岩與蒸發岩，而洛雷斯坦地區的基底滑脫面主要為早寒武紀與晚三疊紀的蒸發岩。基爾庫克地區的構造大致是往前陸方向依序形成，但有一基底脫序逆衝斷層，可能因中新世大陸碰撞被重新活化；在洛雷斯坦地區構造的形順序，大致上和基爾庫克地區的模式相同，也有一些脫序逆衝斷層的例外產生。雖然研究區域沉積了大量碳酸鹽岩層，但也因晚期盆地大規模的擠壓褶皺作用，使得岩層產生許多裂隙，有機會形成良好的儲集層。

(二)札格羅斯褶皺帶石油系統

札格羅斯褶皺帶的石油系統依照生油岩的年代，共包含了志留紀、侏羅紀、白堊紀以及新生代等 4 個主要的石油系統。

1. 志留紀石油系統

志留紀時期，海水面上升沉積了富含有機物的頁岩，是區域上古生代

重要的生油岩 Gahkum Fm.，儲集岩以二疊系與三疊系為主，主要分布於伊朗法爾斯弧凸區南部，包含：(1)二疊系/三疊系、(2)白堊系、(3)新生界共 3 個成藏組合，幾乎皆發育為氣田，其中最大的氣田為 North Dome-South Pars 氣田，延伸至伊朗與卡達海域，約蘊藏 436 Tcf 天然氣(Bordenave & Hegre, 2016)。

2. 侏羅紀石油系統

侏羅紀石油系統之生油岩為 Sargelu Fm.，由於上下層皆有厚蒸發岩層，阻隔了油氣進入儲集層的路徑，因而降低了此石油系統的油氣潛力，主要儲集岩為弧凹地區邊緣的 Surmeh Fm.，蓋岩為 Hith Fm. 的硬石膏。產自侏羅系生油岩之油氣聚集在侏羅系-新近系的多套儲集層之中，包含了 4 個成藏組合：(1)札格羅斯褶皺帶西北侏羅系成藏組合，主要分位在伊拉克地區；(2)札格羅斯褶皺帶東南侏羅系成藏組合；(3)札格羅斯褶皺帶東南下白堊系成藏組合，分布在伊朗迪茲富勒弧凹地區為主；(4)新生界成藏組合亦分布在伊拉克境內的背斜構造之中。

3. 白堊紀石油系統

地化資料顯示白堊系生油岩為伊朗大型油氣田最重要的油氣來源，提供了白堊系儲集層與新生界儲集層之油氣，油氣貢獻度最大，目前已發現 233 個油氣田，包含 3 個成藏組合(圖 5)：(1)東南白堊系成藏組合，大部分位於伊朗簡單褶皺構造分帶，裂隙發育能提高其孔隙率，但也破壞了蓋層的封阻效果，故油氣分布於多套儲集層之中；(2)西北白堊系成藏組合為伊拉克境內，以背斜圈閉為主；(3)新生界 Asmari Fm. 成藏組合分布以伊朗的迪茲富勒地區為主，岩層裂隙發育程度高，廣泛的裂隙使得油氣產率表現佳，是伊朗最重要的儲集層。

4. 新生代石油系統

此石油系統油氣主要分布於伊朗中部的迪茲富勒，而札格羅斯褶皺帶漸新統~下中新統儲層內的油多源自白堊系生油岩，而非新生界生油岩。新生代石油系統與白堊紀石油系統可視為一複合型成藏組合，受札格羅斯褶皺作用導致從 Asmari 石灰岩、Pebdeh 泥岩至白堊系 Sarvak 石灰岩成為連通的裂隙型網絡，經油岩對比，迪茲富勒地區的新生界儲集層和白堊系儲集層中的油主要來自白堊系 Kazhdumi Fm.

根據整合的石油系統資料顯示，白堊系 Kazhdumi Fm. 為伊朗地區最重要的生油來源，伊拉克地區則是侏羅系 Sargelu Fm. 為最優；漸新統~下部中新統的 Asmari Fm. 是札格羅斯褶皺帶內大油氣田最重要的生產層，儲集層中的石油不單只有新生界的 Pabdeh 生油岩，亦包含來自白堊系 Kazhdumi 生油岩的油氣，而與 Asmari Fm. 相當的漸新統 Kirkuk Fm. 則是伊拉克地區最重要的儲層，不僅發育有原生孔隙，還發展有次生溶洞孔隙，是 Kirkuk 大油田的主要儲集層。

(三)褶皺逆衝帶探勘標的

台灣西部麓山帶油氣構造依沉積盆地可分為南(台南盆地)北(台西盆地)兩區，其主要產油氣層(含對比地層)包括五指山層、木山層、石底層、打鹿頁岩、南莊層、桂竹林層、卓蘭層，其中打鹿頁岩中的打鹿砂層為麓山帶北區最重要之產油氣層，而最主要的生油岩為漸新統-中新統生油岩。利用油氣構造資料再依儲集岩類型與封閉型態，可彙整出 9 類探勘標的。

在札格羅斯褶皺帶已被證實的探勘標的的地層年代範圍很廣，從古生代到中新統都有，其中，最重要的是中上白堊系、漸新統及中新統的探勘標的。根據石油系統的研究，影響札格羅斯褶皺帶油氣田分布的控制因素主要為生油岩、背斜圈閉、斷層與裂隙發育、蓋層分布等等。其中背斜圈閉是札格羅斯盆地最重要的圈閉類型。新生代強烈的造山作用，形成眾多規模巨大的“鯨背”狀背斜構造，這些構造平行於札格羅斯褶皺帶呈帶狀分布，目前發現的油氣均在這些背斜構造中儲集。新生代大規模的擠壓褶皺作用，在碳酸鹽岩地層中形成大量裂隙，造就多套儲集層，控制了油氣生產層位的分布。依儲集岩類型與封閉型態，札格羅斯褶皺帶探勘標的類型主要以碳酸鹽岩為儲集層與背斜構造圈閉。

因西部麓山帶儲集岩以砂岩為主，而札格羅斯褶皺帶以碳酸鹽岩為主，雖然兩地主要探勘標的大都與斷層造成之背斜構造封閉有關，但石油系統中的儲集岩特性不同，所以依分層分類方式之主要探勘標的類型亦不同。然而比較以碳酸鹽岩為主要探勘標的而言，則西部麓山帶部分地區在主要儲集層打鹿頁岩中的打鹿砂層時期沉積之石灰岩，可做為未來之可探目標。再比較札格羅斯褶皺帶油氣田之分布狀況，以前陸盆地構造分帶最多，簡單褶皺帶次之(圖 1 和圖 6)，因此在西部麓山帶應可再往變形前緣方向尋找變形程度較小之背斜構造為探勘標的。

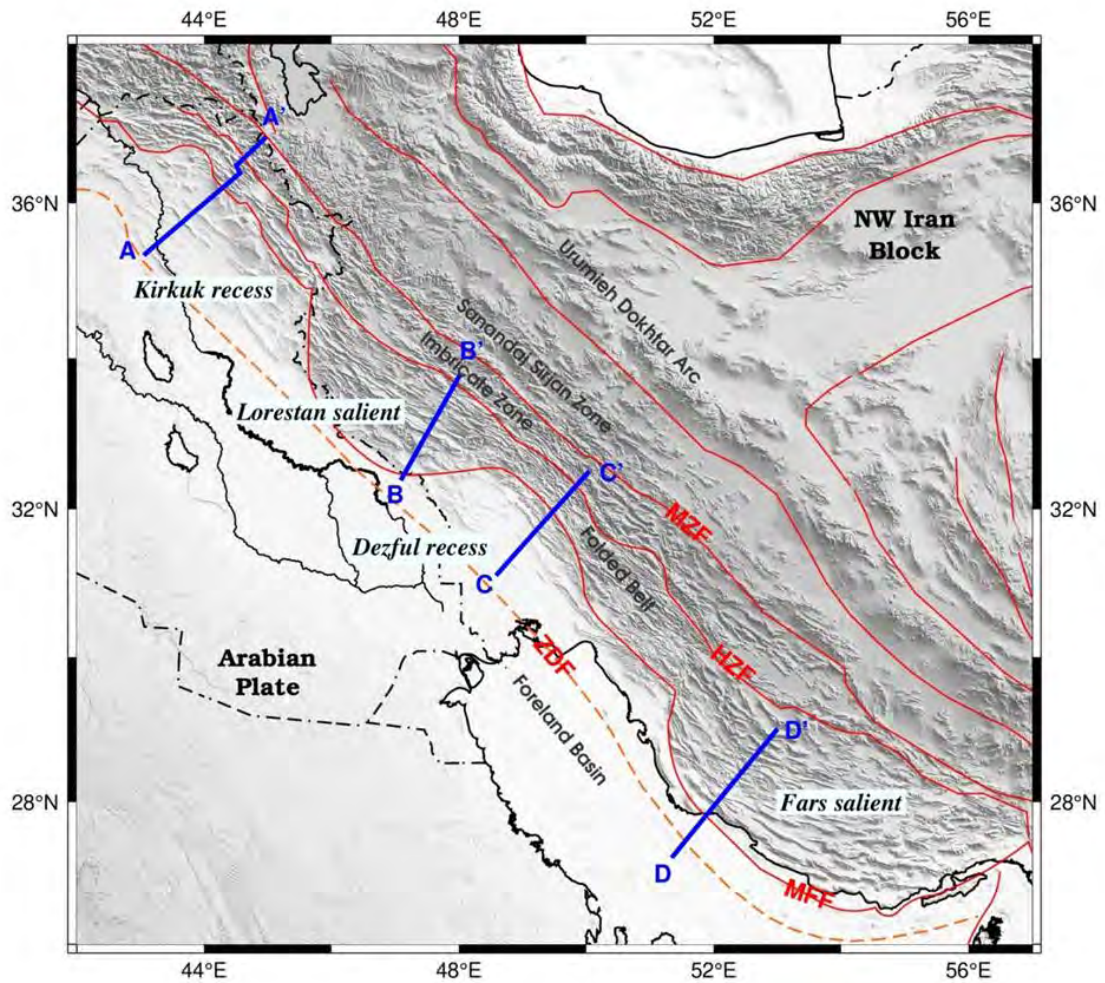


圖 2、法爾斯弧凸(Fars salient)、迪茲富勒弧凹(Dezful recess)、洛雷斯坦弧凸(Lorestan salient)和基爾庫克弧凹(Kirkuk recess)之位置圖。ZDF：札格羅斯變形前緣、MFF：山前斷層、HZF：高札格羅斯斷層、MZF：主札格羅斯斷層

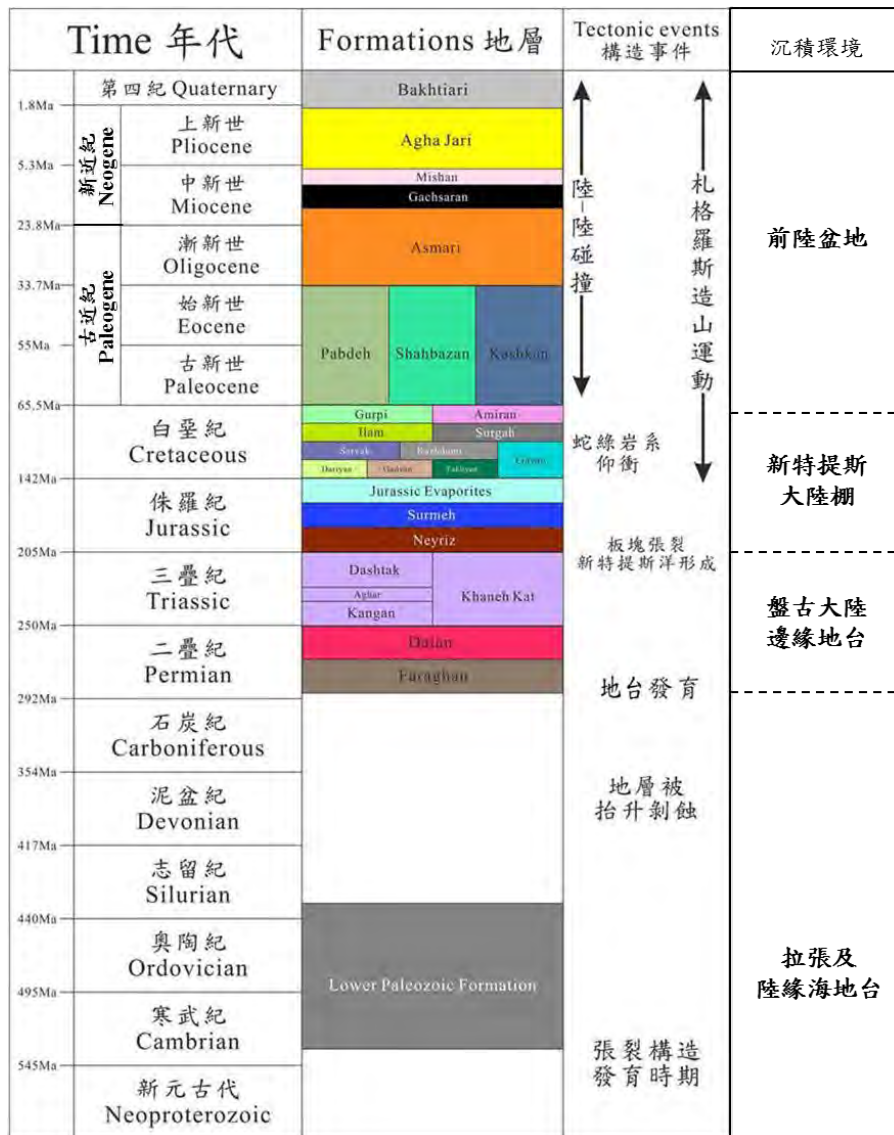


圖 3、主要構造活動、沉積環境與地層所對應之年代(修改自 Alavi, 2007; Vergés et al., 2011)

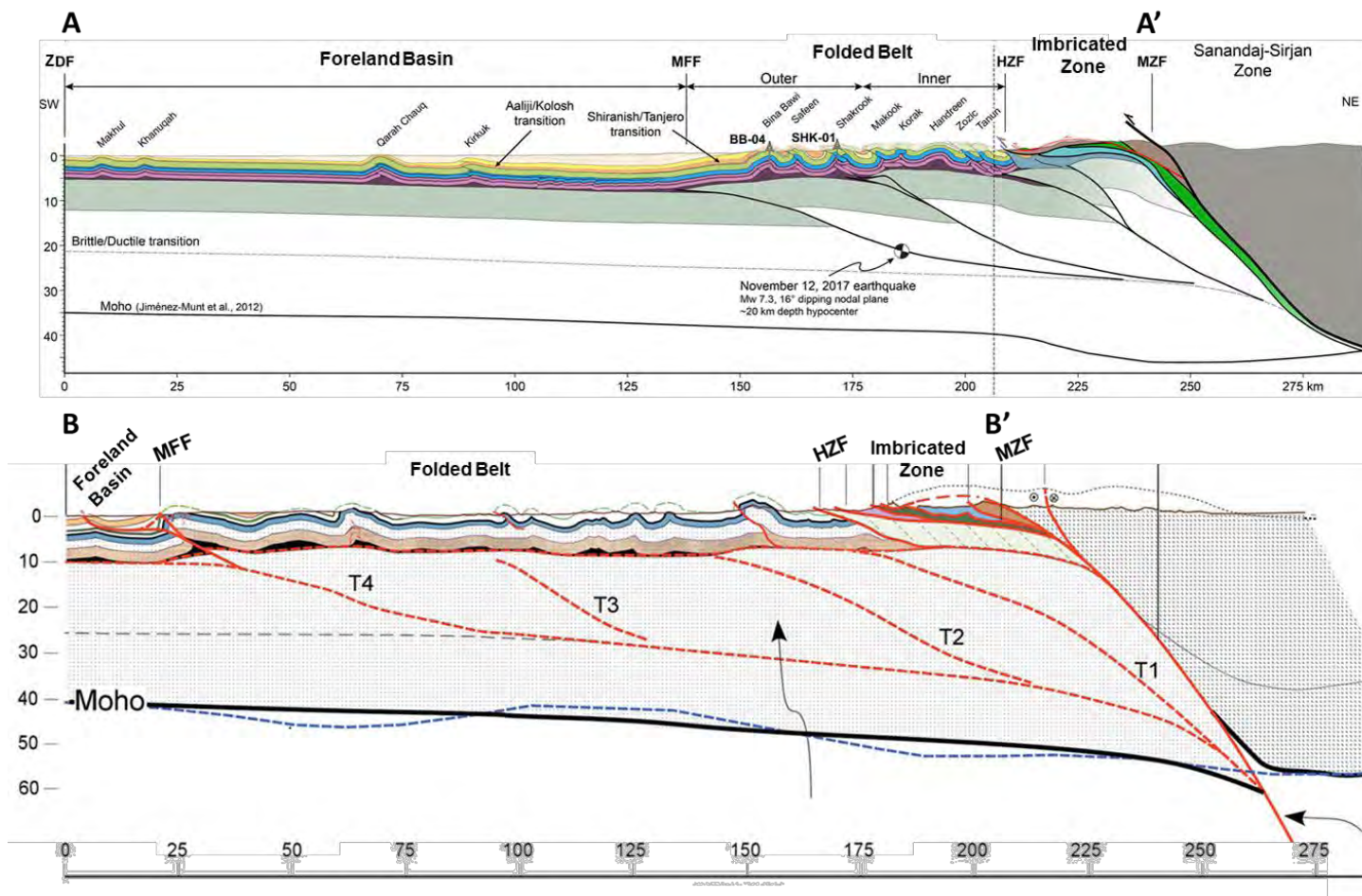


圖 4、通過基爾庫克弧凹區(A-A')與洛雷斯坦弧凸區(B-B')之地質剖面(修改自 Vergés et al., 2011; Le Garzic et al., 2019)。
剖面位置見圖 2

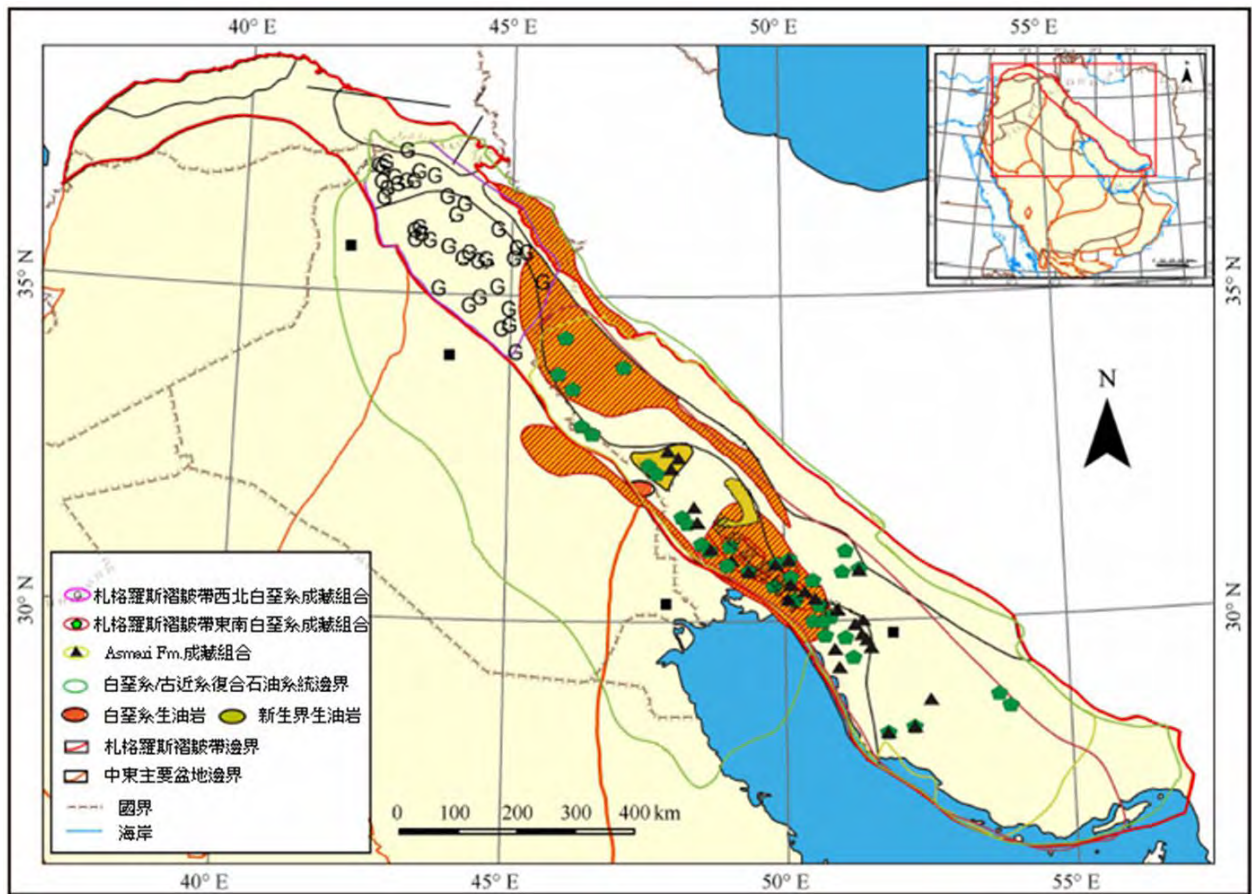


圖 5、白堊紀/古近紀石油系統成藏組合分布(修改自王大鵬等，2016)

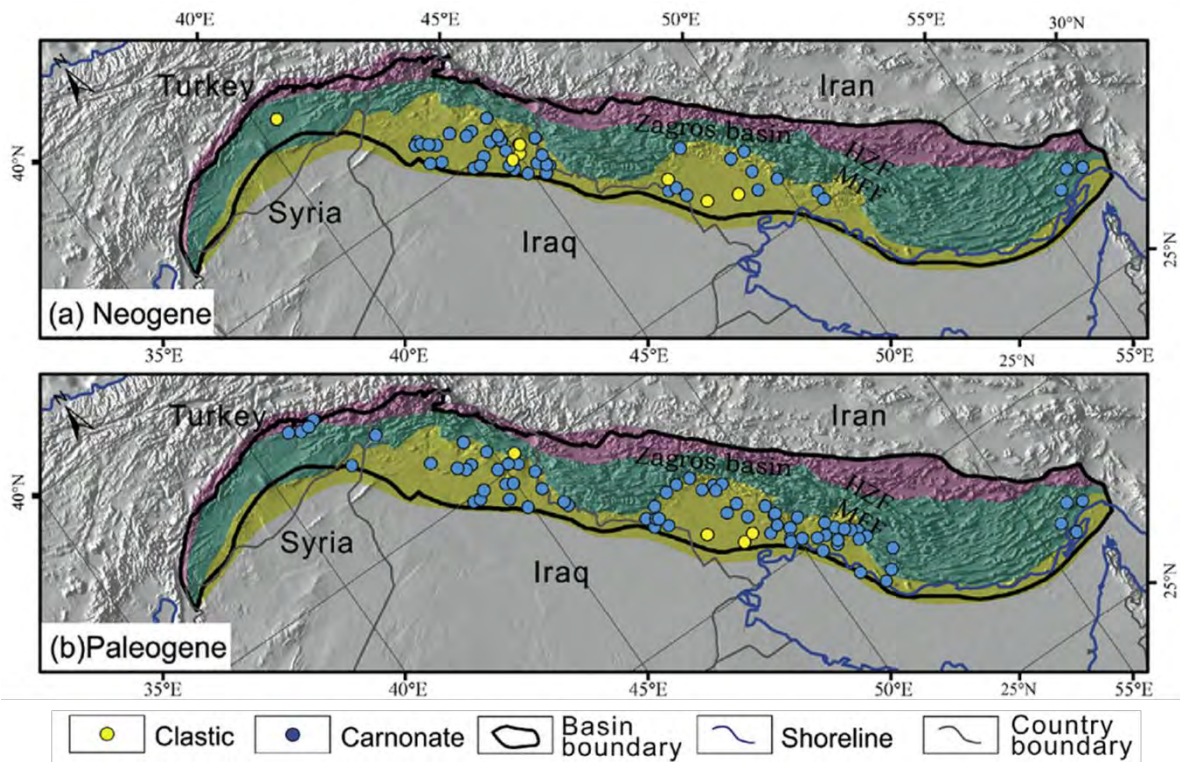


圖 6、(a)新近紀/(b)古近紀儲集層分布(Liu et al., 2018)

四、參考文獻

- 王大鵬、白國平、陸紅梅、陶崇智、王一帆、張明輝、王文庸、盧小新、高琳、郭棟 (2016) 札格羅斯盆地含油氣系統分析與資源潛力評價。現代地質，第30卷，第2期，第361~372頁。
- Alavi, M. (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its porforeland evolution. *Am. J. Sci.*, Vol. 304, No. 1, p. 1-20, doi: 10.2475/ajs.304.1.1.
- Bordenave, M.L. (2000) Zagros domain of Iran holds exploration, EOR opportunities. *Oil and Gas Journal*, 98, 19, p. 36~38.
- Bordenave, M.L. (2000) Zagros domain of Iran holds exploration, EOR opportunities. *Oil and Gas Journal*, 98, 19, p. 36~38.
- Bordenave, M. L. & Hegre, J. A. (2016) Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems. In: LETURMY, P. & ROBIN, C. (eds) *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic–Cenozoic*. Geological Society, London, Special Publications, 330, 291–353.
- Le Garzic, E., Vergés, J., Sapin, F., Saura, E., Meresse, F. & Ringenbach, J. C. (2019) Evolution of the NW Zagros Fold-and-Thrust Belt in Kurdistan Region of Iraq from balanced and restored crustal-scale sections and forward modeling. *Journal of Structural Geology*, 124, 51-69.
- Liu, X., Wen, Z., Wang, Z., Song, C., and He, Z. (2018) Structural characteristics and main controlling factors on petroleum accumulation in Zagros Basin, Middle East. *Journal of Natural Gas Geoscience*, Vol. 3, p. 273-281.
- Vergés, J., E. Saura, E. Casciello, M. Fernández, A. Villaseñor, I. Jiménez-Munt, and D. García-Castellanos (2011) Crustal-scale cross-sections across the NW Zagros belt: Implications for the Arabian margin reconstruction. *Geol. Mag.* 148 (5–6), p. 739-761 doi: 10.1017/S0016756811000331.