

# 國內氣田地層水資料庫建立及增產可行性研究

林殷田<sup>1</sup>、沈俊卿<sup>1</sup>、傅式齊<sup>1</sup>、陳冠志<sup>1</sup>、吳偉智<sup>1</sup>、蕭良堅<sup>1</sup>

徐敬閔<sup>1</sup>、王俊鈞<sup>2</sup>、許峻嘉<sup>1</sup>、張錦澤<sup>1</sup>、張光宇<sup>2</sup>、沈望陸<sup>2</sup>

葉世國<sup>1</sup>、黃建雄<sup>1</sup>

台灣中油公司探採研究所<sup>1</sup>

台灣中油公司探採事業部<sup>2</sup>

## 摘要

本公司國內陸上之油氣田大多已進入生產末期，如出磺坑、錦水、永和山、青草湖等生產井，均面臨因出水或氣層壓力降低而停產，導致產量逐年下降。這些停產的生產井部分是因出水而停產，如經處理，應仍具再生產之潛能。因此，為增加舊氣田之產氣量、提高整體油氣田之採收率，本研究在油氣增產技術上進行相關研究，試圖延長國內現有油氣田之生產年限。中油公司陸上氣田礦區部分氣井採共串(Commingle)生產，以致無法釐清出水層位，最終導致關井停產，間接喪失非出水層位之產能，若能釐清其出水層位，阻止地層水流入井內，則可使此井再行復產。

本研究首先蒐集研究區域各井之井下地質資料、生產資料、穿孔資料、井況、修井資料及近年來生產報表，挑選不同層位之生產中氣井，採集其伴產水進行分析。但由於從礦區生產井拿到的地層水樣品，往往是在產油的層位所取得，故水體中會溶有大量油品所含有機物。因此本研究成功建立了固相萃取油水分離技術，不但使地層水之水相部分分析時不受有機物干擾外，同時其分離出之有機相部分亦可進行氣相層析質譜分析。地層水的水相部分，建立了水之氫、氧同位素及元素分析方法，利用這些水文化學資料建立不同生產層位之地層水文特性資料，協助建置國內氣田地層水之氫氧同位素、主要離子及微量元素資料庫。

依據出磺坑礦區之氫、氧同位素組成及元素分析結果，可將出磺坑礦區之地層水分為四層。利用地層水不同分層之端成分參數，建立二維典型地質模型，用以模擬地層水之出水混合情形，並針對共串生產井進行堵水增產效益敏感度分析。最後採取共串生產井之地層水樣，進行共串生產氣田之地層水來源辨識，嘗試釐清國內氣田，因出水停產之共串生產井之出水層位。並配合生產電測資料，協助探採事業部釐清國內氣田，因出水停產之共串生產井其出水層位，提供現場工程單位針對國內氣田進行後續修井規劃，作為提升國內氣田產能增產執行上之依據與方向。

本研究亦利用此次建立地層水資料庫的機會，在採集地層水的同時，同步

採集氣井中的凝結油及天然氣樣品。並蒐集礦區中前人所分析研究的油、氣地化資料，進行不同時期樣品之分析比對。分析之比對結果顯示，生產壯年時期之氣田(20年前)，與接近生產耗竭時期之氣田(現今)，其油樣地化特性並不會改變，此結果暗示日後若在其他未知之氣田探勘(例如國外礦區)，所取得之油樣，無論其氣田之狀態，即無論是生產初期或末期，所得樣品之分析結果均具代表性。最後，將油、氣、水、岩之地化資料整合，作為未來研究所需。

## 一、背景說明

國內之油氣構造，大多分布於台灣西北方(約在苗栗地區與新竹地區附近)，南部亦有數個較小之構造，其構造分布如圖 1 所示。台灣西北方之氣田，其中永和山及寶山氣田現已停產中，取樣不易；而鐵砧山多數轉為儲氣窖，因此不列入此次研究對象(圖 2)。因此本研究針對國內目前較可能於未來規劃修井增產之氣田，進行氣井及地層資料蒐集。依序為出磺坑氣田、錦水氣田及青草湖氣田。

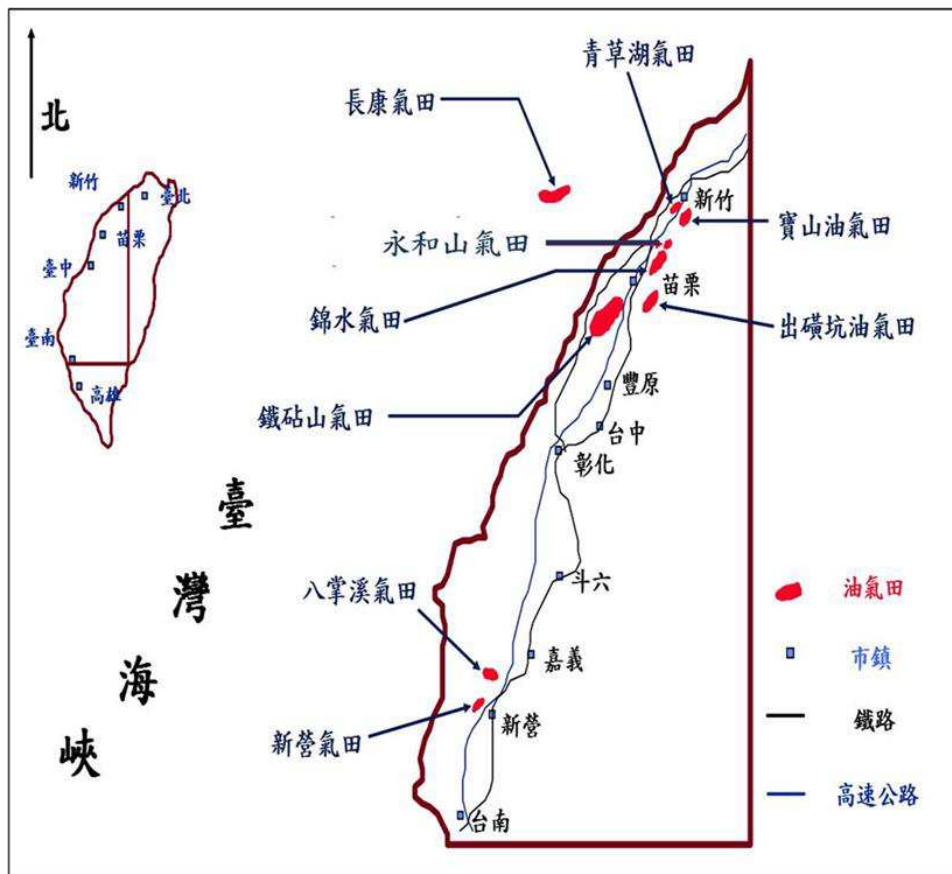


圖 1、台灣氣田相關位置圖

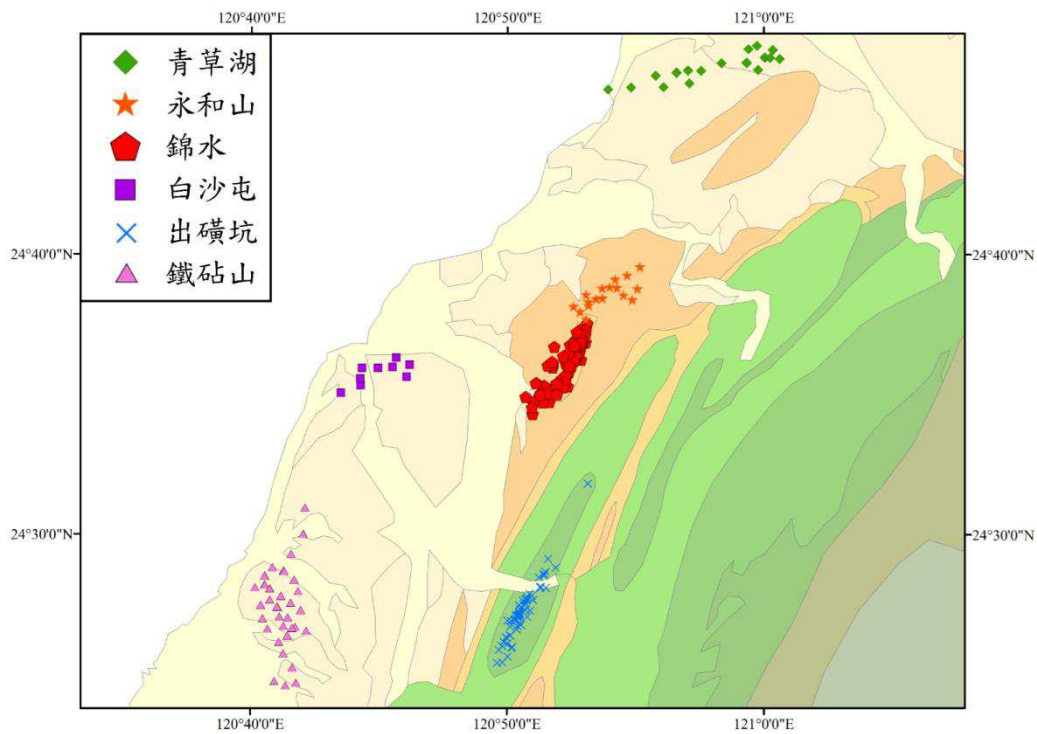


圖 2、台灣竹苗地區氣井分布圖

出磺坑氣田位於苗栗市東南方約 14 公里，為台灣最早發現之油氣田，日據時代在出磺坑構造軸部斷層以西共鑽 104 口井，開發淺層出磺坑層(出磺坑第一層、第二層、第二 A 層及第三層)之油氣，1971 年後陸續在背斜構造高區鑽探深部之地層，在碧靈頁岩(出磺坑第五層)、木山層(出磺坑第六層、第七層、第八層、第九層及第十層)與五指山層(出磺坑第十一層、第十二層及第十三層)均獲豐富油氣，隨即積極開發深層油氣。

錦水油氣田位於苗栗縣造橋鄉與頭屋鄉，約介於苗栗市東北方 8 公里處。錦水氣田主要以錦水背斜為主要構造，由北到南被兩條略呈東西向且傾角向北的高角度正斷層分隔成 A、B、C 三個地塊。本油氣田因具有緻密及低滲透性的錦水頁岩作為蓋岩層，而其下方之桂竹林層亦有頁岩及砂頁岩互層夾層，故地層封閉性良好。錦水油氣構造的生產層從桂竹林層以下到五指山層共分成 32 層，背斜之產生促使鄰近地區生油岩之油氣往本區集中，並儲存在淺層之構造封閉內，形成多層生產之揮發性凝結油氣田。

青草湖氣田位於新竹市南方約 3 公里處，為一不對稱之背斜構造，軸線呈東北東—西南西方向，全長約 15 公里，寬約 8 公里，南翼地層傾斜較緩，約為 10 度，北翼較陡，約 30~50 度，由地面所露佈地層顯示本背斜由三個構造高區所組成，其間以二個構造鞍部相連，本背斜北翼為新竹逆斷層所截切，南翼經一向斜後為新城逆斷層截切而與寶山背斜構造並列。青草湖崎頂背斜兩翼出露約 600 公尺厚之頭嵙山層，最老之地層相當於頭嵙山層之底部，青草湖背斜之東北東方及崎頂背斜之南端傾沒部分則為紅土堆積層，以不整合覆蓋於頭嵙山層之上。自 1974 年初開始正式生產，迄今生產已超過四十年，許多井串已因出

水或涸竭停產，尚在生產中之生產井串井口流壓亦持續下降中。依據目前生產資料顯示，僅剩 CTH-9 及 CTH-21，且產層均在青草湖構造的淺層。因此此氣田在本研究中，分析結束後，僅能做為日後之背景資料庫。

## 二、研究技術說明

### (一) 水樣分析

由礦區生產井拿到的地層水樣品，往往是在產油的層位所取得，故水體中會溶有大量油品所含有機物，其溶解度與有機分子的極性有關，如：苯環類芳香族分子(甲苯、二甲苯及乙基苯)之極性較高，分布於水相的比例也就越大。為配合水文化學分析實驗，依固相萃取步驟(Oscar et al., 2015)，進行改良，將水樣不經活化進樣，可避免析實驗受外來水氣影響，最後提取分離出之水樣進行分析(圖 3)。

水樣之穩定氫氧同位素利用 Picarro 氫氧同位素分析儀分析，而主要離子及微量元素則是利用感應耦合電漿質譜儀進行分析。

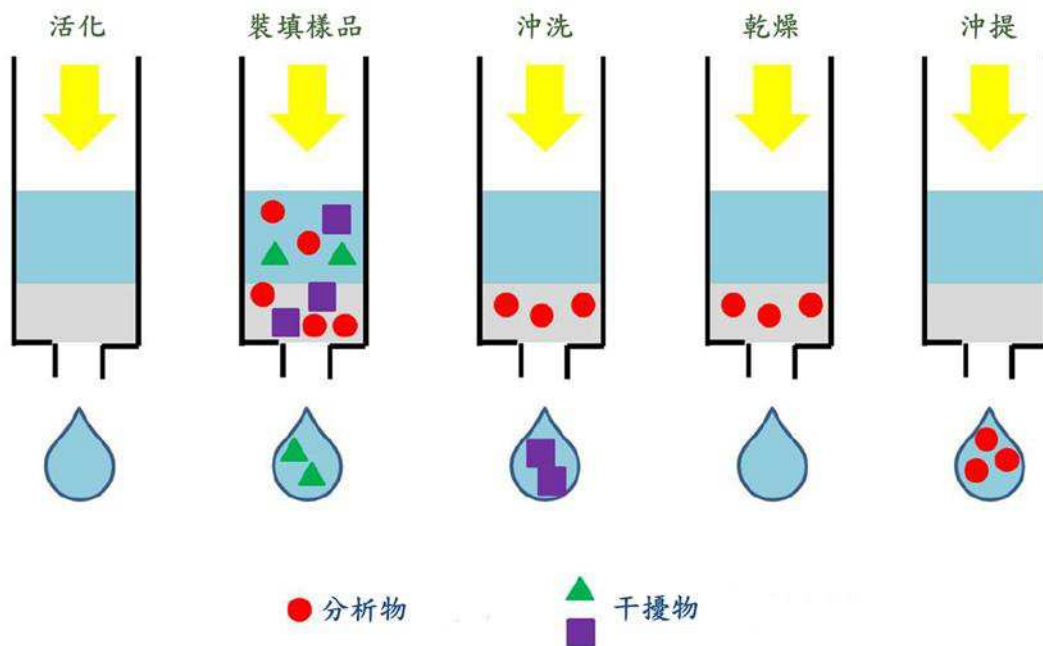


圖 3、固相萃取操作程序圖

### (二) 油、氣地化分析

本研究之凝結油及天然氣樣品進行油樣則利用氣相層析儀進行碳氫化合物成分分析及輕碳氫化合物分析；生物指標化合物則利用二維氣相層析儀或氣相層析質譜串聯質譜儀進行分析；穩定碳同位素則進入比值質譜儀測定其碳同位素組成。

### (三) 氣田增產可行性評估

根據伴產水端成分參數，進行儲集層特性參數之敏感度分析，以期建立出相對應之典型地質模型，了解何種地質模型能符合各層出水量比例以及最

終混合後造成地層水之同位素組成或元素濃度。在不同典型地質模型案例之下，針對多層次生產之氣井，根據生產層數或出水層位之差異，建立出可能之典型地質模型案例，進行堵水增產模擬分析，評估不同修井方式對於增產之效益，提供現場單位作為修井效益評估參考。

### 三、研究成果

#### (一) 地層水資料庫建立

##### 1. 地層水樣品固相萃取

此部分之處理除了讓水樣進行水文地化分析儀時能維持低有機物含量外，被萃尿管柱吸附之有機物進行脫附與濃縮後，亦可進行氣相層析質譜分析。將所採取之地層水樣一部分以 0.45 $\mu$ m 濾膜過濾，另一部分則經固相萃取法後取其水相部分，進行氫、氧同位素分析。分析兩者之氫、氧同位素組成，圖 4 可以看出其相對數據斜率均在 1 左右，顯示即使經過固相萃取法處理後，無論氫或氧同位素組成，兩者所得之數據幾無差異。而氧同位素截距為 0.02；氫同位素截距為 0.2，均在分析的誤差範圍之內。根據實驗結果，本研究取得之地層水樣品均經固相萃取技術作為前處理後再上機分析。

##### 2. 研究區地層資料對比

根據取得之地層水分析所得資料，先以水氫、氧同位素做分層。需要強調的是此水同位素分層顯示的是地下水中因氧同位素組成之差異而所做的分層，此差異代表著因不同來源水體有不同之同位素組成，與一般利用沉積物質的粗細為基礎所做的水文地質分層不盡相同。依據出磺坑礦區之氫、氧同位素組成及元素分析結果，可將出磺坑地區之地層水分為 A、B、C、D 四層(圖 5)。而錦水及青草湖礦區，各層次均只有一個水樣做為代表，雖不完整，但在過去並無資料的情況下，仍可慶幸在不同層次仍有數據可供參考，但日後在使用這些數據時須小心謹慎，並需配合其他資料，如孔隙率、井下資料以及綜檢其他地化資料等等相互比較，才能對油氣水間的相互關係作一闡述。

出磺坑地區許多深部地層水顯示的氧同位素組成偏輕，這類地層水可能與深源的二氧化碳氣體進入地層水中有關。高濃度的二氧化碳上升進入地層水中，並與水中的氧同位素交換，造成地層水氧同位素組成偏輕(Ferrara et al., 1965)。這類地層水與大氣滲入水不同之處在於其礦化度較高，而大氣滲入水礦化度低。而出磺坑一帶深部氣層二氧化碳濃度高，其所產生的天然氣中，含有 40% 以上的二氧化碳，推測是造成此區域地層水氧同位素偏輕的原因。

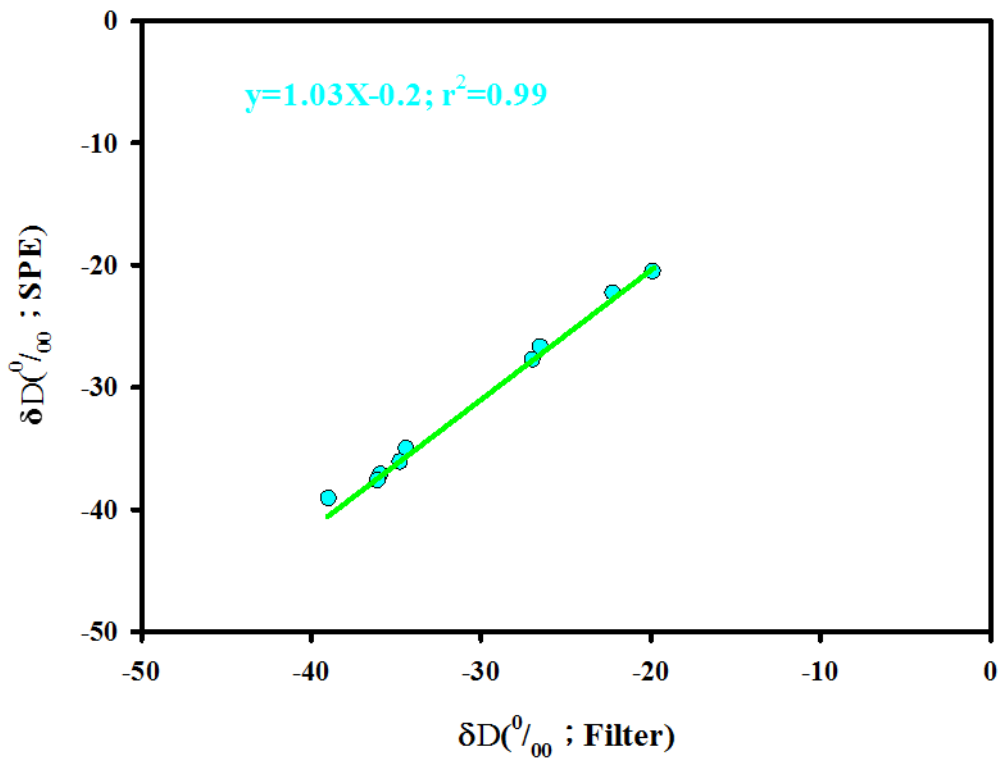
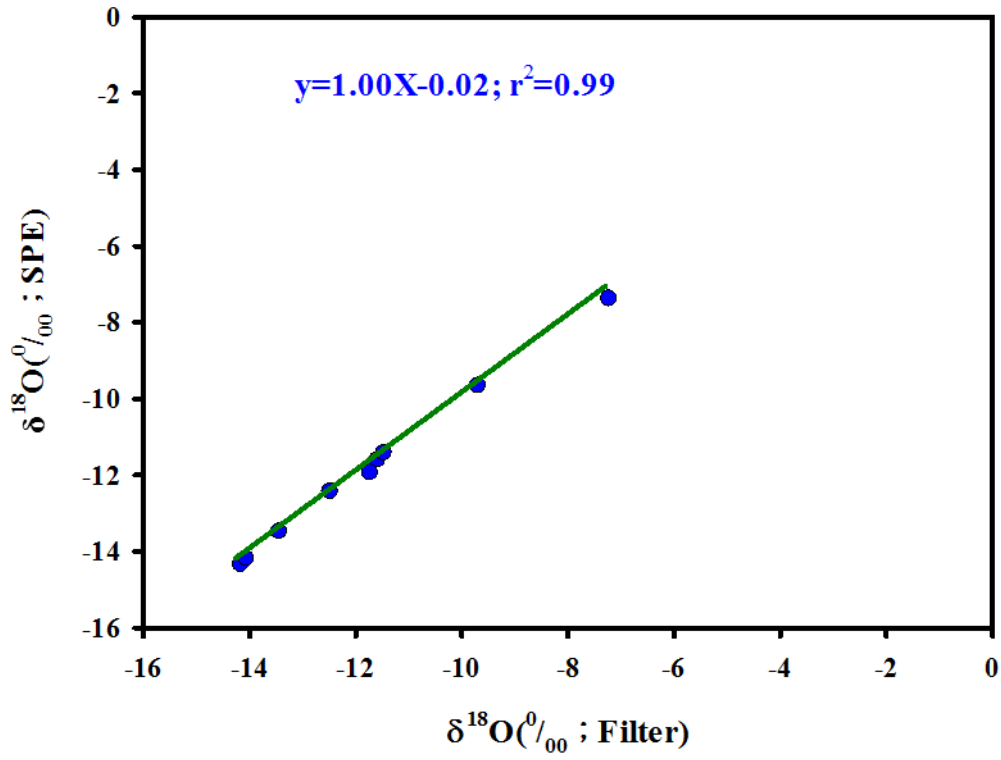


圖 4、直接過濾法與固相萃取法之氫、氧同位素組成比較圖

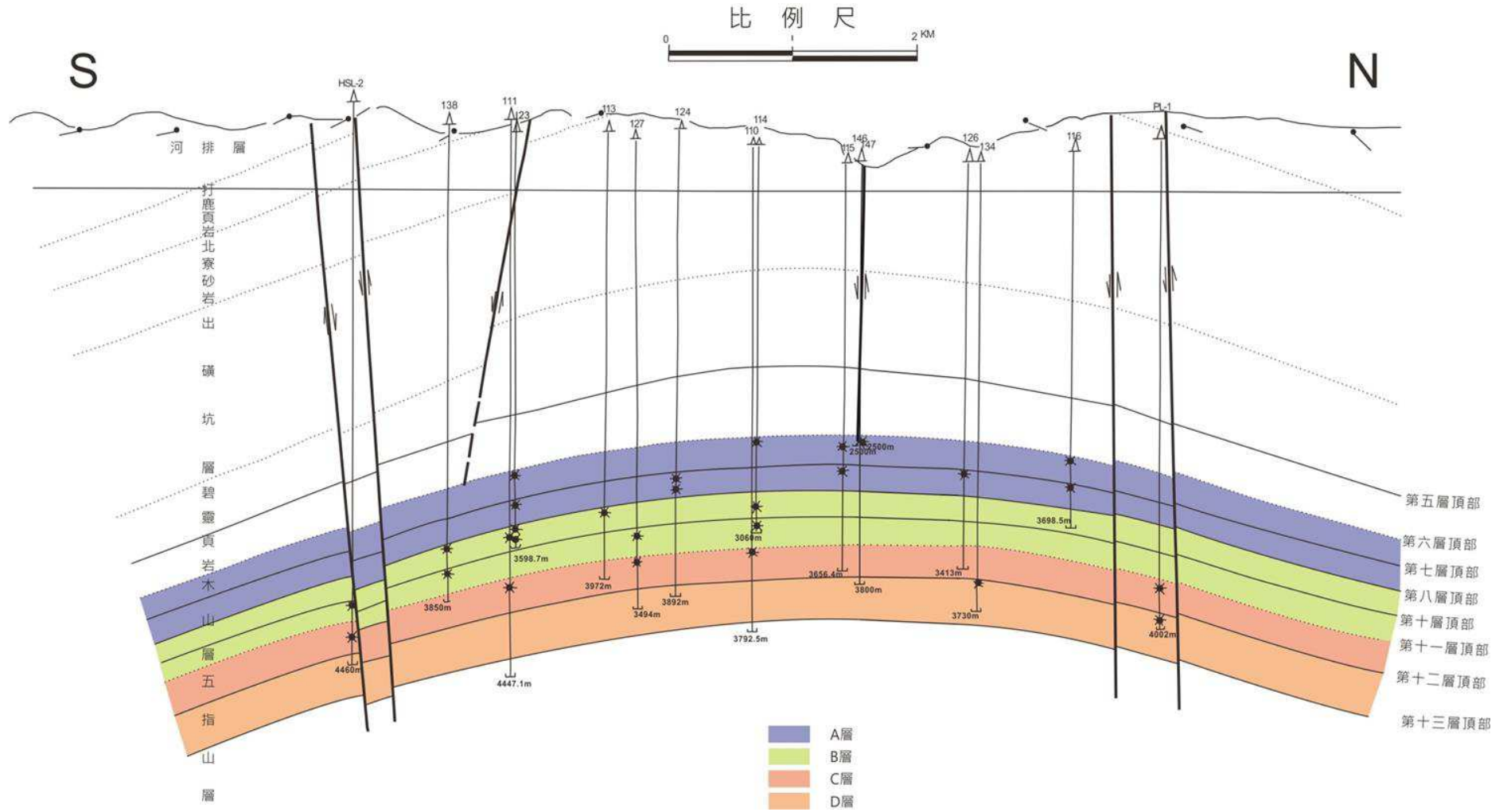


圖 5、出磺坑地質構造剖面及地層水分層圖

在建立了地層水分層資料後，本研究採集了共串生產井 CHK-127 及 CHK-111 井的水樣進行分析。就分析所得數據嘗試利用前述地層水分層參考值計算不同層次出水所佔的比例，瞭解各生產層的出水狀況，並利用 CHK-127 生產電測的資料相互對比。利用氫同位素地層水之代表值進行計算，可得 CHK-127 井 B 層所佔出水的比例為 10%，C 層所佔出水的比例為 90%。以 CHK-127 井之生產電測做為佐證，其生產電測資料顯示此井主要為下層出水與本研究計算結果相似。CHK-111 水樣，亦為一共串生產井，生產層貫穿本研究分層的 B 和 C 層，利用氫及氧同位素地層水之代表值進行計算，依簡單之二元混合計算，可求得 B 層所佔出水的比例為 35%，C 層各所佔所佔出水的比例為 65%。

利用分析所得水同位素或主要離子進行出水層位之判定，應該是一個可行的方法。然而，現階段並無足夠之佐證資料證明此方法之正確性。因為，可供分析之單層生產井數量不多，對於不同層位之地層水代表值的訂定上代表性也許不足，且無與採水層位完全相符之生產電測資料作為驗證方法之有效性。因此，在利用這些資料做計算分析出水層位時，須小心謹慎。無論如何，在共串生產井出水時，若沒有生產電測或其他輔助資料可以佐證出水層在哪時，為了避免封堵錯層，而喪失產能，本研究方法不失為一可以提供修井時參考的方向。

## (二) 氣田之油、氣地化分析

針對凝結油，依不同時間點對 CHK-114、CHK-126 及 CHK-147 礦區取樣，並分析 14 種輕碳氫化合物，對比先前取樣之樣品與近期採集之樣品成分差異(圖 6)，分析結果得知 CHK-114、CHK-126 及 CHK-147 礦區之油樣經多年後取樣分析，新舊樣品內成分比例趨勢大致相同，無大差異。意指此油樣分析結果不因時間更迭地球化學特性有所不同。實驗結果得知 CHK-114 號井油樣與 CHK-126、CHK-147 油樣，其地球化學特性顯示這些油樣皆為成熟陸相有機物來源之油氣且幾乎未受菌蝕作用。雖經多年後取樣再分析，油樣地球化學特性結果相似。

另外亦將地層水中萃取出之有機相部分之分析結果與凝結油做一比較。所分析的樣品之中，BTEX 系列化合物的含量均相當高，將這些樣本繪於苯、甲苯與二甲苯之相對含量三元圖(圖 7)上可以看到至少分成兩個大群，第 I 群的樣本其特性為二甲苯含量高，甲苯次之，苯的含量相較少；而第 II 群全為水樣，其二甲苯含量相對較低，以甲苯含量較高。這些在輕烴分析中可能受生物降解的樣本，其正烷烴分佈也與輕烴有些不同，其正烷烴尚未受到生物作用，且可解析出這些油基本上都產自於腐植型的油母質(Van Grass, 1990;圖 8)。上述結果顯示，浮油的生物降解情形，可能是由輕烴開始，之後才是碳鍊較長的烷烴。因此輕烴會比其他長碳鍊的化合物更有助於鑑別油氣井伴產水中浮油的特性。而長碳鍊的化合物仍保存原來凝結油的成分，可做為油的來源、沉積環境、成熟度等的判斷依據。

### (三) 氣田增產可行性評估及規劃

依據現場生產氣井完井現況顯示，生產井最多為單一產層，其次為兩層共串生產，三層共串生產較少。為同時了解單一產層及共串生產之氣井地層水同位素混合情形，本研究建立二維典型地質模型。單層示蹤劑模擬分析，主要針對單層生產之氣井，探討套管水泥封固不佳，導致鄰近含水層或氣層地層水發生井壁垂向滲漏時，對伴產水組成之影響。結果顯示不論上方或下方存在氣層垂向滲漏，滲漏氣層之地層水對原產氣層伴產水組成影響極小。二層示蹤劑模擬分析，主要針對二層共串生產之氣井，探討套管水泥封固不佳發生井壁垂向滲漏情況下，針對上下層進行修井堵水後，對伴產水組成之影響。結果顯示針對其一產氣層堵水後，混合伴產水組成即應呈現另一產氣層之地層水背景值。另，當二產氣層地質條件相近時，井壁垂向滲漏對修井堵水不僅對產水量影響不大，且產氣量將優於二層獨立生產。三層示蹤劑模擬分析，主要探討三層共串生產之氣井發生井壁垂向滲漏時，針對上、中、下層進行修井堵水後，對伴產水組成之影響。此外，為了解伴產水混合後及三層各自之伴產水組成變化。本研究另於三層設置獨立之地層水組成，作為監測之用。本研究針對三層共串生產之案例，進行出水後之修井堵水工作，結果顯示上、中、下層個別堵水後，產水量均有顯著下降，但隨即又回復到所設定之產水量上限；此現象也反應在產氣量之變化趨勢上(圖 9)。

最後，氣井生產層一但出水後，欲提高產氣量及延長生產年限，修井與換層生產為常用之兩種工程手段。故本研究對 CHK-115 號井進行修井規劃建議，並提出新氣井完井可行性評估，供未來現場單位新井完井工程規劃之參考。

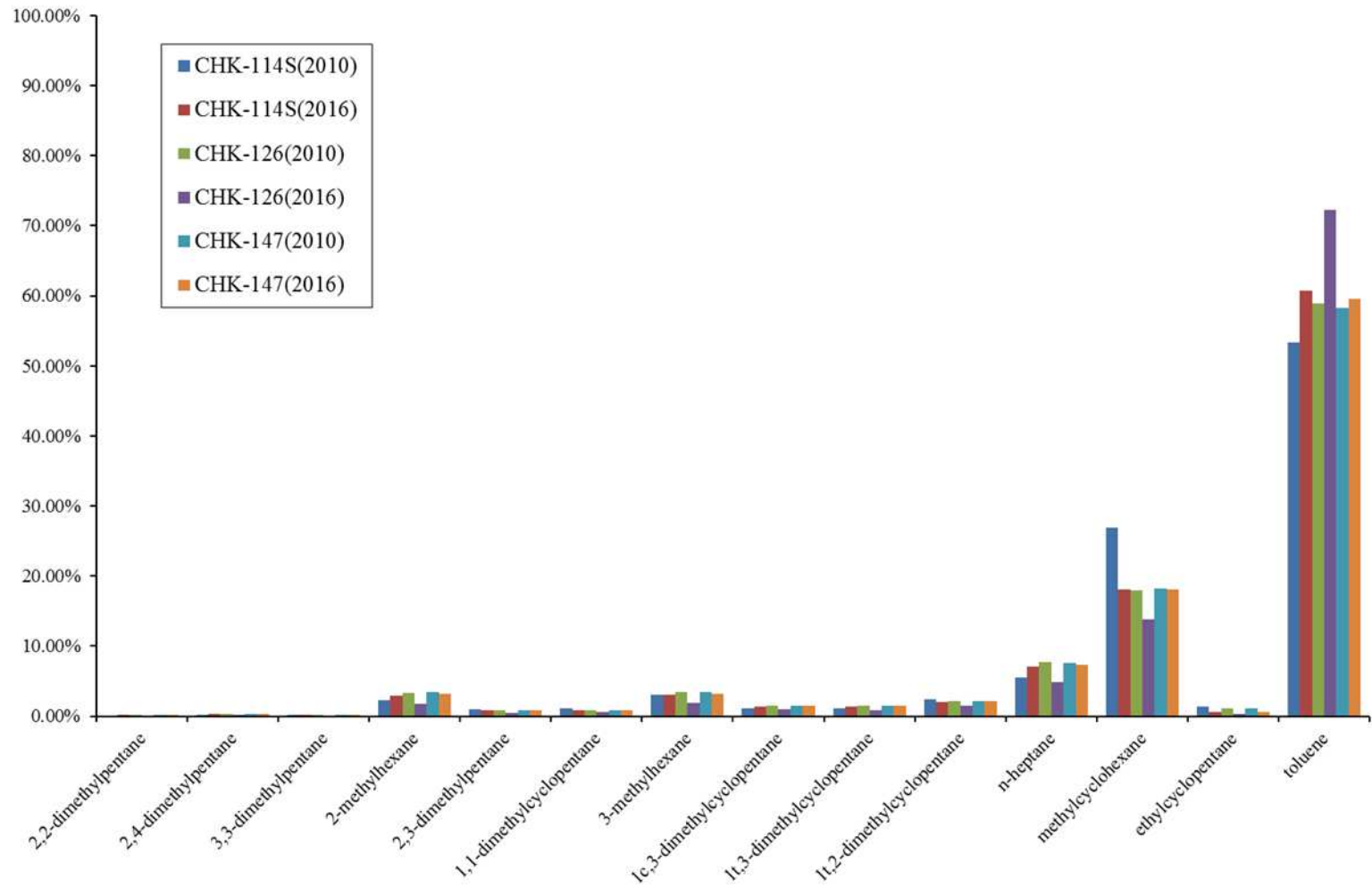


圖 6、CHK-114、CHK-126 及 CHK-147 號井 2010 年與 2016 年 14 種油樣組成分析對比關係圖

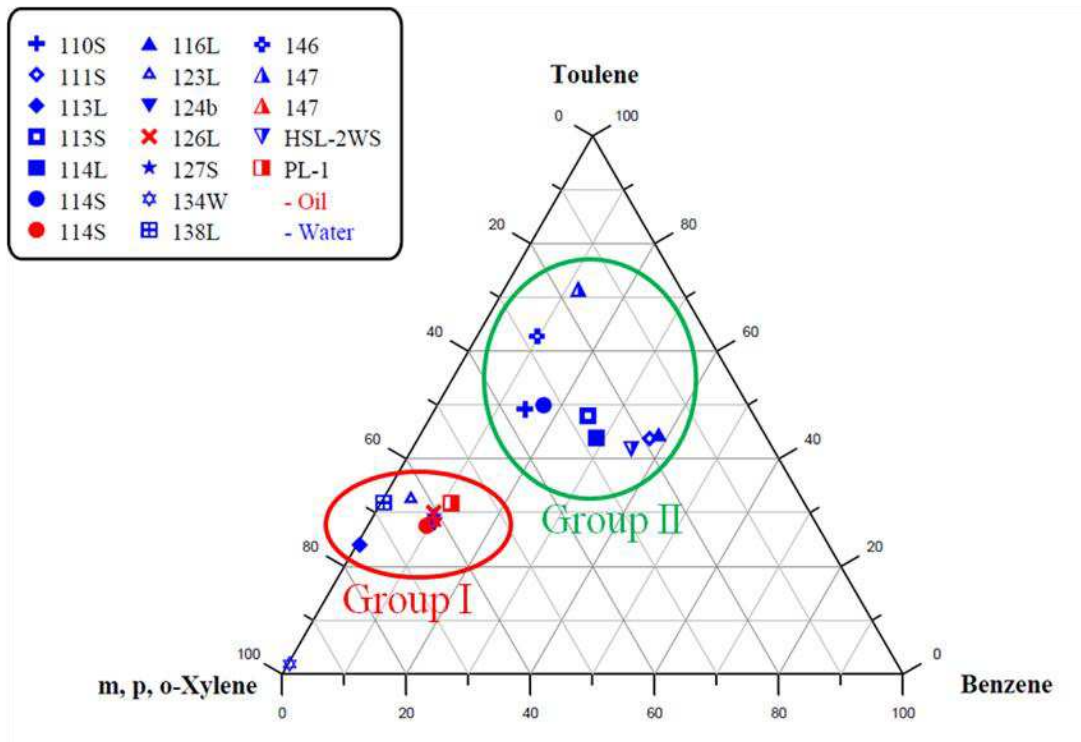


圖 7、BTEX 的相對含量三元圖；可觀察到樣本主要分成兩群

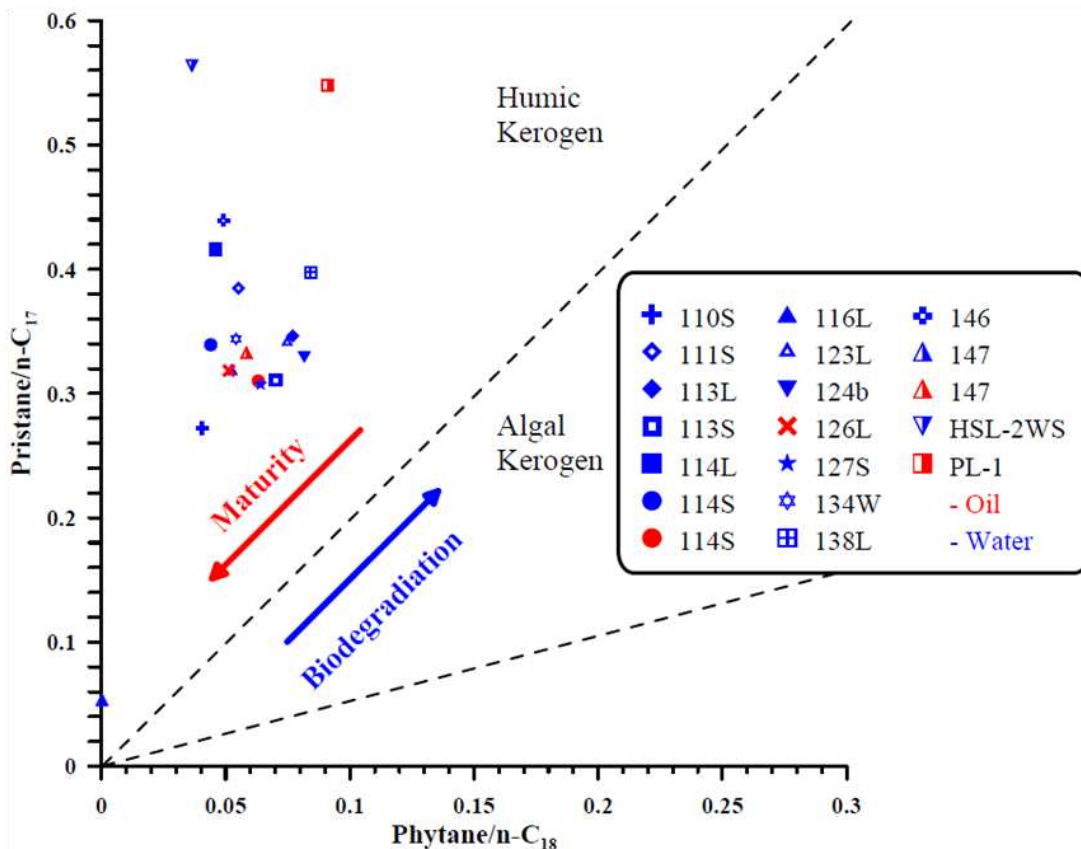


圖 8、Pristane/n-C<sub>17</sub> 對 Phytane/n-C<sub>18</sub> 作圖。結果顯示所有油樣均來自於腐植型油母質，有相近的成熟度，但不像輕烴組成可明顯分為兩群

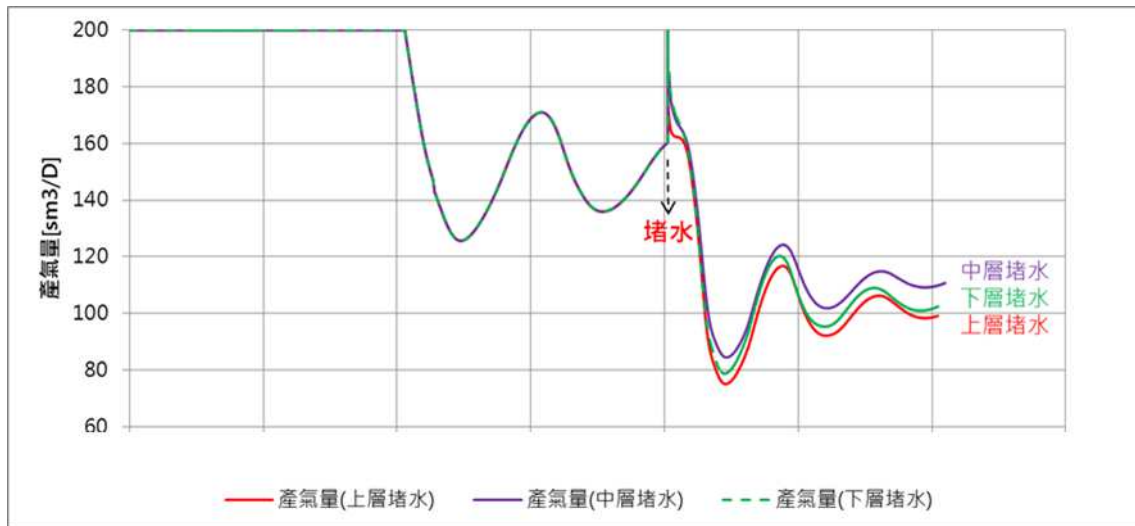


圖 9、三層共串生產—修井堵水對產氣量之影響

#### 四、參考文獻

- Ferrara, G., Gonfiantini, R., and Panichi, C., 1965. "La composizione isotopica del vapore di alcuni soffioni di Larderello e dell'acqua di alcuni sorgenti mofete della Toscana." *Atti Soc. Toscana Sci. Nat. A* 72, p. 570~588.
- Oscar Pindado Jimenez, Posa M Perez Pastor, Olga Escolano Segovia, and Susana del Reino Querencia, 2015. "Exploring petroleum hydrocarbons in groundwater by double solid phase extraction coupled to gas chromatography–flame ionization detector." *Talanta*, Vol. 131, p. 315~324.
- Van Graas, G.W., 1990. "Biomarker maturity parameters for high maturities: calibration of the working range up to the oil/condensate threshold." *Organic Geochemistry*, Vol. 16, p. 1025~1032.