

地熱井抽注影響範圍研究：以臺灣清水地熱礦區為例

謝秉志^{1*} 曾紹宇² 魏柏丞³ 李伯亨⁴ 劉力維⁵ 蔣立為⁶ 韓吟龍⁷

摘 要

本研究的主要目的是利用數值模擬法，在所建立的地熱礦區儲集層模型上，進行參數與情境模擬分析，以評估地熱案場的抽注影響範圍特性。本研究以地熱礦區的現場地質及工程資料為基礎，利用儲集層模擬軟體建立數值模型，先進行長時間模擬以得礦區的自然狀態，再進行地熱操作井的生產工程設計而完成數值模擬模式。本研究設計不同的參數與情境模擬分析，了解不同案例與情境對礦區之影響。以清水地熱礦區為案例，本研究發現無回注井設置情境之壓力影響範圍最大，壓力影響半徑約為300公尺。而由不同回注情境可知，生產井與回注井距離越近，對於壓力維持效果越佳，但是兩井太過接近或是回注水溫過低將會造成冷鋒突破，對於生產井之產能造成影響。在回注水溫度為攝氏60度、回注率為生產率70%的條件下，回注井與生產井距離達到250公尺時，尾水回注對生產井的水溫影響最小。對於礦區的長時間開發效益來說，建議回注井與生產井之距離大於250公尺。

關鍵詞：地熱井抽注，數值模擬，地熱儲集層開發

1. 前 言

臺灣位於板塊交界位置與環太平洋火山帶，具有豐富的地熱資源。為了減少對於化石能源的依賴，增加能源供應的多樣性與自給性，臺灣在1980年於宜蘭清水地區建立了一座先行的3 MW示範發電廠，在很早就擁有傳統地熱資源發電的開發經驗(陳正和，2006)。但可惜的是當初發電尾水沒有回注，缺乏儲集層管理以及產生管線結垢問題，導致產水量下降而最終進行關井。

傳統地熱資源開發主要是利用生產井從地

熱儲集層將熱水(或熱蒸氣)產出，發電後的尾水經過適當處理可以供民生使用，也可以藉由注入井將其注回地層中。尾水回注能提供地層壓力支撐的效果，也可以減少因地熱開發所造成的地層下陷問題，能夠增加地熱資源的永續性(Kaya *et al.*, 2011)。

在地熱儲集層的管理中，使用尾水回注時需要注意冷鋒突破(Cold-water front breakthrough)問題。相較於地熱儲集層內的熱水來說，所回注的尾水溫度較低，而形成儲集層內的冷水型態。當尾水注入時間持續增加，地層內的冷水擴張的區域逐漸增大，若導致冷

¹ 國立成功大學資源工程學系 副教授

² 國立成功大學資源工程學系 碩士研究生

³ 國立成功大學資源工程學系 大學生

⁴ 工業技術研究院綠能與環境研究所 經理

⁵ 工研院綠能所 研究員

⁶ 工研院綠能所 資深工程師

⁷ 工研院綠能所 副組長

*通訊作者電話: 06-2757575#62829, E-mail: bzhsieh@mail.ncku.edu.tw

收到日期: 2020年10月12日

修正日期: 2021年01月12日

接受日期: 2021年02月18日

鋒(Cold-water front)到達生產井而發生冷鋒突破(Breakthrough)，生產井產出的水溫將會受到影響，造成產出的熱焓值下降(Morgan *et al.*, 2018)，這樣的結果會使熱能開發效益降低，嚴重的話會導致開發終止。

除了注/產井之間的冷鋒突破現象之外，對於地熱開發商在進行儲集層管理時，也要注意鄰近的其他生產井所造成的干擾問題。尤其是同一個地熱儲集層內有不同的地熱開發商時，若生產井隸屬於不同開發商，可能會引起開發權益受損爭議。生產井的干擾問題可以用壓力影響範圍的估算進行釐清(Kaya *et al.*, 2011)。

若要維持生產井的成效以及維護開發權益，注/產井之間的冷鋒擴散現象、生產所造成的壓力影響範圍、以及各井之間合適的距離都需要注意。因此，本研究的主要目的是透過地熱井抽注影響範圍研究，瞭解注/產井之間的冷鋒擴散與壓力影響，並定義合適的井間隔距離。本研究以臺灣清水地熱案場作為研究案例，研究地熱水生產及注入時對地層壓力、地層內尾水流動與地層溫度之影響。針對不同生產井與注入井之間的距離、回注率、回注溫度等情境進行模擬研究，以了解礦區合適之井距限制。

2. 研究方法

地熱儲集層開發是一個需要考慮地熱儲集層的複雜地質條件、地層內的流體流動現象、地熱儲集層開發過程中造成的動態變化的複雜工程。由於此複雜性，從1970年即開始應用地熱數值模擬法來綜合考慮地熱系統中的各項物性、化性、熱性及流動性之綜合影響，以設計或評估出最適的開發及生產方式。數值模擬(Numerical simulation)或是儲集層模擬(Reservoir simulation)已經成為地熱資源開發評估以及地熱資源管理的有效評估工具(Chierici, 1995)。

地熱數值模擬主要包含兩個部分：數學模式以及求解模式(或稱數值模式)。在數學模

式中，主要利用質量守恆、能量守恆、運動方程(達西定律)、狀態方程以及相關的輔助方程而建立一組描述儲集層內流體流動及能量傳遞狀態的偏微分方程組，並加以合適的定解條件(包含特定的邊界條件及初始條件)。在求解模式(或數值模式)中，主要先將描述儲集層內流體流動狀態的偏微分方程進行時間與空間的離散化。空間離散係將研究的空間範圍分割成網格，時間離散則將研究的時間範圍分割為時間段。網格的大小以及時間的步長主要依據研究目標進行合適的設定。本研究在此階段主要使用有限差分法，建立網格節點間的壓力與溫度的有限差分方程式代替原本的偏微分方程式，並將有限差分方程式進行線性化。透過定解條件(各項邊界條件及初始條件)代入線性代數方程組，以迭代方法求出方程式解，而獲得不同網格在不同時間下的壓力以及溫度的分布及變化。

在模擬器的使用部分，本研究使用CMG (Computer Modelling Group Ltd.)公司所開發之熱採收模擬器STARS (Steam Thermal Adaptive Reservoir Simulator, STARS)進行模擬研究。STARS模擬器可用於模擬地熱儲集層內的多相流體流動、熱流傳導、地球化學及岩石力學反應，可完整評估地熱儲集層的質傳與熱傳行為，也可配合不同的注產工程設計而進行模擬設計。

本研究蒐集目標地熱礦區的各項地質、地物、水文、鑽井及工程等資料，以作為地熱儲集層數值模擬模式建立之基礎。在建立數值模擬模式的過程中，主要分為三個程序。第一，在礦區的地質條件下先完成網格設計，並依序在每個網格內輸入各項地層岩石參數、地層流體相態特性、岩石與流體之間的流動特性、地層初始條件資訊，而完成儲集層地質模型。第二，使用礦區內各鑽井之井溫剖面資料進行初始溫度場設計以及進行初始壓力設計，並執行溫/壓的長時間模擬以獲得礦區的自然狀態(Natural state)。第三，考慮地熱生產井與尾水

回注井之井位配置、鑽井型態、設定穿孔區間的深度及長度、設計生產井的產水量及注入井的注水量，透過注產工程設計而完成本研究使用之數值模擬模式。

透過本研究所建立之數值模擬模式進行計算，可以調查生產井生產時所造成的壓力影響範圍以及注水井注入的尾水在地層內的溫度影響範圍。本研究也進行地層與流體參數敏感度分析，並考慮地層與流體的不確定性，研究不同參數對於抽注影響範圍之影響性。

3. 數值模式建立

在清水地熱的三維地質模型建立中，先利用內政部20公尺網格數值地形模型資料-政府資料開放平台內的公開資訊進行地表等高線資訊的蒐集並設計模型。本研究主要參考李柏亨等人(2013)對於清水溪斷層為主的地熱儲集層調查，以及彙整中央地調所之地質報告、中油鑽井報告及Fan等人的文獻(林啟文與林偉雄，1995；中油鑽井報告，1976~1987；Fan *et al.*, 2005)作為清水地熱區域之地質構造設計之參考。透過參考Tong *et al.* (2008)提出清水地熱儲集層概念模式，將儲集層主要設定為清水溪斷層構造控制，並在斷層帶的設計上，參考Caine *et al.* (1996)所提出之假設，將斷層構造帶分為核心區、高滲區、過渡帶等三個區域，並設定不同之帶寬。本研究所建立之地質模型主要研究區域為3公里寬、5公里長，厚度從地表延伸至海平面底下2.5公里，總共劃分成 $120 \times 200 \times 100$ 共240萬格(圖1)。

完成地質模型之後，透過輸入地層初始壓力與溫度於各網格內後，即可進行長時間的自然狀態模擬。本研究也將所蒐集之各生產井井溫隨深度變化匯入模型以作為溫度自然狀態模擬之參考。在自然狀態模擬之後，本研究得出之溫度結果與鑽井量測記錄有很好的比對(圖2)。自然狀態模擬後所得之地層壓力梯度(約為8,712 kPa/km)也與文獻結果相符(李清瑞等，

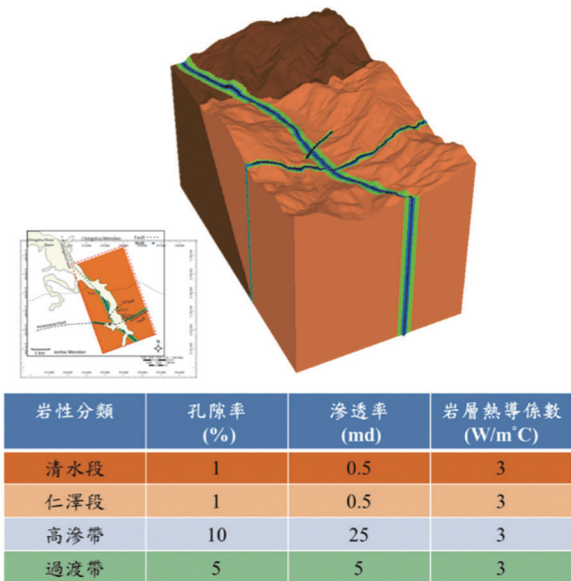


圖1 清水地熱三維模型地質岩性分類圖及參數設計(本研究繪製)

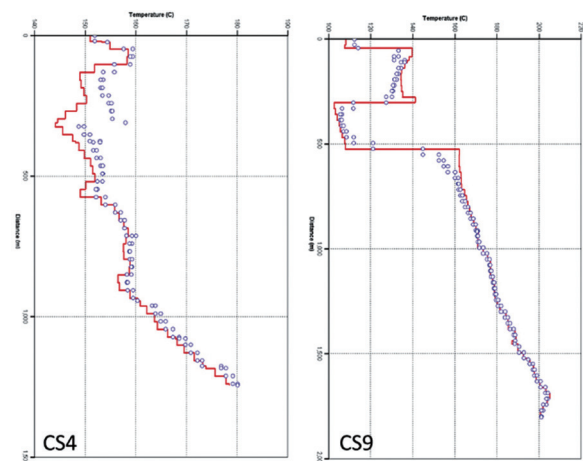


圖2 CS-4與CS-9號井溫度自然狀態模擬結果比對(本研究繪製)

2012)。

完成自然狀態模擬後，即可設計注產工程參數，以完成最終的數值模式設計。注產工程參數考慮生產操作條件(Well operation)、井孔條件(Wellbore condition)以及膚表因子(skin factor)等。以CS-19號井的設計為例(圖3)，本研究遵照該井的井孔軌跡(井程)、穿孔區間、通過構造及溫度進行設計及確認。本研究也利用工研院的產能測試資料進行模式的驗證，並依此決定膚表因子等工程參數。透過STARS模擬器對本研究所設計的數值模擬模式進行計算，即可

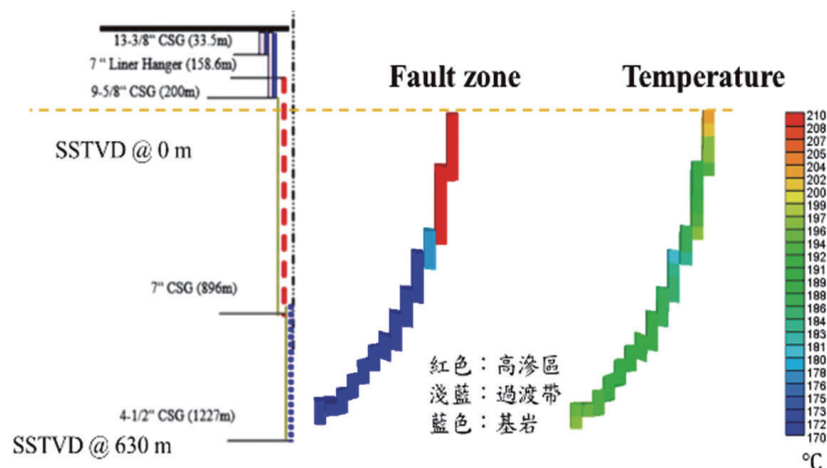


圖3 CS-19號井穿孔區間資訊與溫度隨井軸之變化(本研究繪製)

進行分析注產影響範圍(包含壓力影響及溫度影響)之分析。

4. 結果與討論

4.1 影響範圍之參數敏感性分析

「壓力影響範圍」係指在生產井進行生產時，在周遭地層內產生的壓力變化範圍。而「取水範圍(流體流率影響範圍)」則是指生產井產出水量的供應範圍。本研究分別使用原始地層壓力5%以及產水率1%作為評估影響性之門檻值。

在流體流率影響範圍模擬結果(圖4)可看出抽水生產對於地層流體流動的影響性，其中，流體流率越大代表網格中流動的流體越多，亦即此單位時間下此範圍中的流體流動量越大。

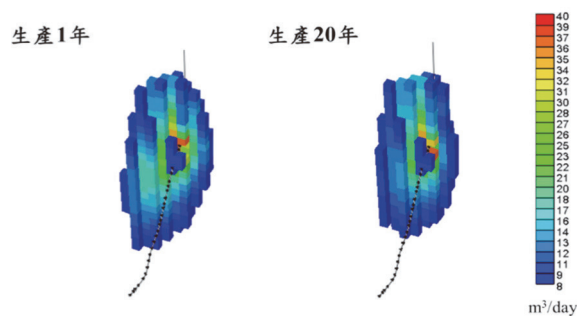


圖4 流體流率影響範圍(取水範圍)(本研究繪製)

壓力影響範圍模擬結果(圖5)則表示地層壓力受到生產井影響的程度(以比率方式展示)，當比率越大代表網格的原始壓力受到生產導致的壓力降(Pressure drop，或水頭降)越嚴重。由模擬結果可發現流體流率與壓力影響範圍在模擬生產20年間的變化漸趨於穩定，因此在後續參數分析與情境分析中將以生產20年的最終結果進行比較。

在進行模擬計算時，模型參數的率定對結果影響性有所不同。在設計生產模型參數時，主要分為模型網格特性的地質參數(如孔隙率、滲透率)以及生產井條件的工程參數(如膚表因子、生產率)。本研究在敏感度分析中，主要係針對上述參數進行變化以觀察不同案例下的模擬結果。

為了方便觀察參數影響性，本研究以礦區某生產井(19號井)所處之斷層軸向(圖6中之A-A')作為剖面，並將觀察的剖面深度設定在海

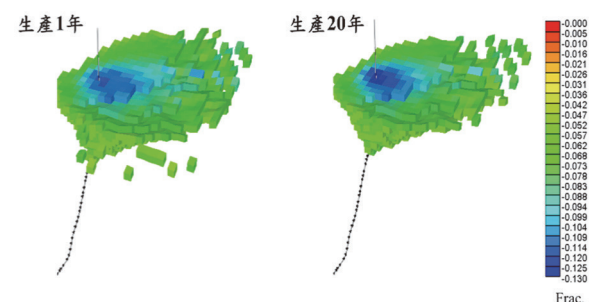


圖5 壓力影響範圍(本研究繪製)

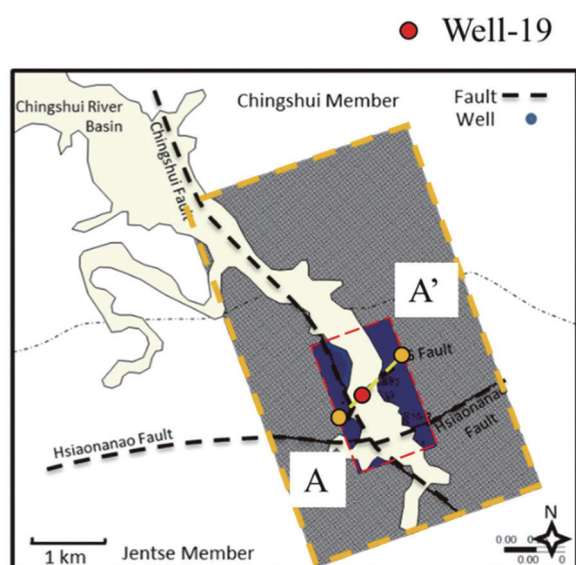


圖6 進行影響範圍觀察之軸線位置，紅點為19號井之位置，黃點為A及A'軸線控制點(本研究繪製)

平面垂深200公尺之位置，以瞭解其空間變化。

孔隙率係為重要的地質參數，在地層之中，流體存在於孔隙內，因此其與地熱水蘊藏

量有關。本研究基礎案例的孔隙率設定為0.1 (高滲帶)、0.05 (過渡帶)、0.01 (低滲帶)，並對孔隙率進行 $\pm 50\%$ 的變化，以得具有較高孔隙率之案例與較低孔隙率之案例，並分別進行模擬計算及案例比較。

由孔隙率敏感度分析可以發現(圖7)，壓力影響範圍變動幅度有限，隨著孔隙率的增加，壓力影響範圍隨之減少。而在流體流率影響範圍(取水範圍)上，孔隙率的變化幾乎不影響其結果，取水影響範圍對於孔隙率不敏感。

滲透率為影響流體流動的重要地質參數，地層滲透率越高，流體的流動能力越佳。本研究基礎案例之水平滲透率設計為25 (高滲帶)、5 (過渡帶)、0.5 (低滲帶) mD，斷層帶中垂直滲透率與水平滲透率比值為2，並對基礎案例之水平滲透率進行 $\pm 50\%$ 的變化以得到高滲透率與低滲透率之案例進行比較。

從滲透率敏感度分析結果可發現(圖8)，壓

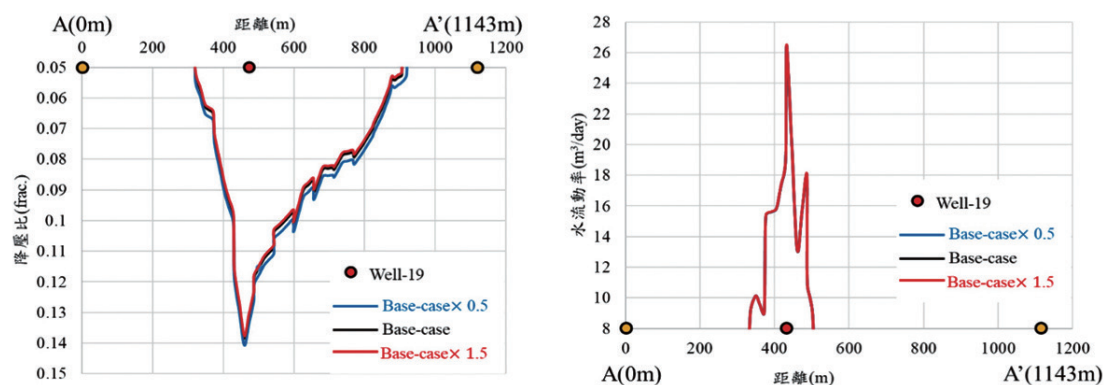


圖7 孔隙率敏感度分析結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

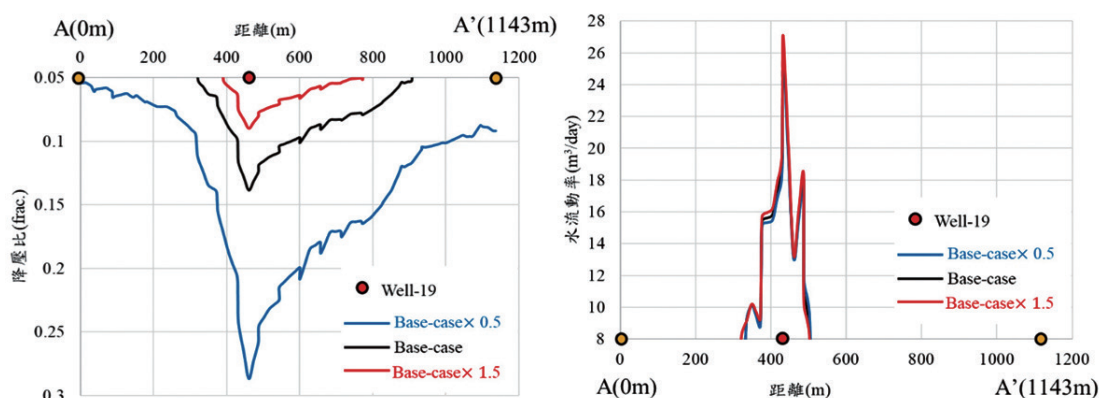


圖8 滲透率敏感度分析結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

力影響範圍受到滲透率的改動有很大的影響。滲透率上升，壓力影響範圍顯著的下降(如圖8左圖之紅線反應)；而抽水範圍則是僅受到一些影響。

生產井抽水量為直接影響地熱產能之重要工程參數。在生產井抽水量之敏感度研究中，本研究基礎案例之抽水量設定為30 ton/hr，而從本礦區之產能測試資料可知，測試階段的總流率的變動值約為5 ton/hr的變動，因此，本研究針對抽水量進行 ± 5 ton/hr的變化，以得較高之抽水量案例(35 ton/hr)與較低抽水量的案例(25 ton/hr)之比較。

從抽水量敏感度分析中的結果可知，當抽水量上升，壓力影響範圍也隨之增加(圖9左圖)。由流體流動影響範圍結果中也可發現，流體流動之範圍並沒有因為抽水量的變動而有太明顯之差異，但是在地層內的流體流動量則有較顯著的影响，抽水量上升，地層流體流動量

也增加(圖9右圖)。

膚表因子係鑽井過程中對於地層所造成之損傷，為影響生產井產出流體能力的重要參數。本研究基礎案例設定生產井之膚表因子為0，並設計膚表因子為10及20而進行敏感度分析。

在膚表因子敏感度分析結果中，當膚表因子上升，壓力影響範圍隨之增加，而相同位置的壓力降低幅度也跟著增大(圖10左圖)。流體流動影響範圍則幾乎不受到膚表因子影響，地層內的流體流動則是在生產井周圍有較明顯的增加(圖10右圖)。

由以上各項參數敏感度分析之結果可知，壓力影響範圍對滲透率參數相當敏感，不論是範圍或是降壓比例的改變都非常明顯。生產井之抽水量對壓力影響範圍也具有影響，因此在評估壓力影響範圍時，應對地層滲透率以及生產井抽水量進行通盤考量。

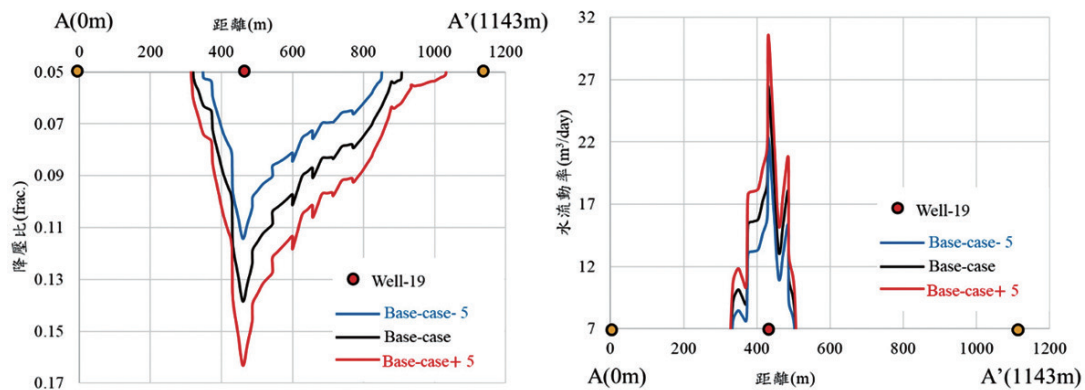


圖9 抽水量敏感度分析結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

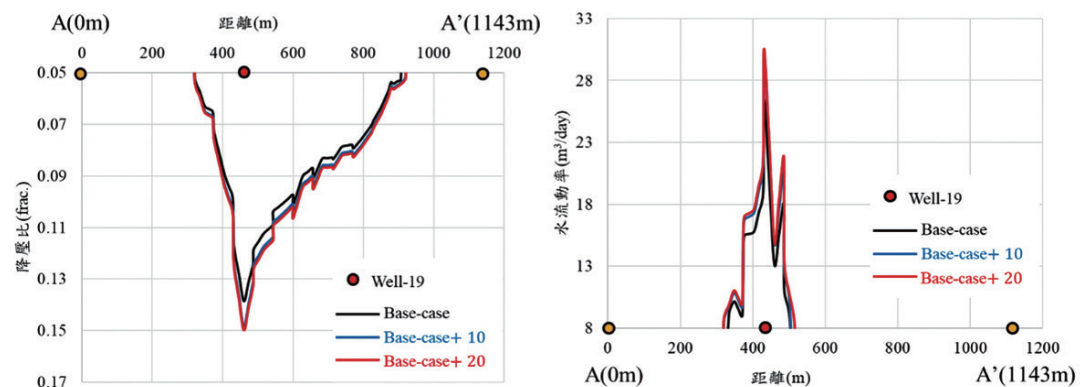


圖10 膚表因子敏感度分析結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

4.2 地熱礦區之注產情境分析

在地熱發電過程中，將利用完之地熱水回注至地層中，能降低生產稅務成本，也能進行儲集層內壓力的管理，對於開發生產具有效益。本研究係以單井生產20年之模型加入回注井進行情境分析，觀察在不同回注井設置條件對於壓力影響範圍與流體流動影響範圍之影響性。回注井設置的情境分析中主要包含：回注井與生產井間的距離、回注率大小以及注入溫度高低。每個情境皆與無回注井之基礎案例(base case)進行比較。回注井是以垂直井之方式進行設計，穿孔區間為經過斷層帶之位置。由於生產井並非為完全垂直井，因此在設定回注井與生產井之距離時，以兩者在斷層帶中的最近距離作為基準。

在生產井與回注井距離的案例分析中，主

要比較注產井距為50、100、150、200、250公尺時，對影響範圍之影響。從注產井距案例分析結果(圖11)可知，50公尺井距之案例對生產地熱水的溫度影響最大。當注產井距到達250公尺時，生產井之生產溫度幾乎不受影響。生產井井底壓力較無回注案例高，說明回注井之設置有利於維持地層壓力。在影響範圍分析結果中(圖12)可知，注產井距對壓力影響範圍影響高。將回注井設置於距離生產井50公尺處，能有效將壓力影響範圍降低至小於半徑200公尺。隨著注產井距增加，壓力影響範圍跟著擴大，在無回注的基礎案例中，生產井的壓力影響範圍為最大值，約為半徑300公尺。

回注井設置後，回注之尾水會對原始地層內的溫度產生影響，另外，注入流體之流向也是影響回注效益的因素。由溫度變化結果(圖13)可以發現，注產井距在50公尺時，對地層溫

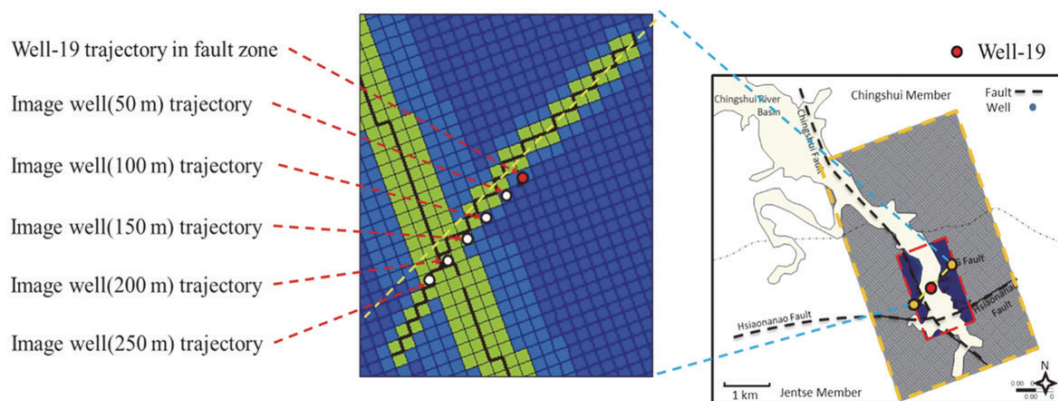


圖11 回注井位分布與19號井井程對比圖
(圓點標示部分為各井案例於海平面下300公尺處之位置)(本研究繪製)

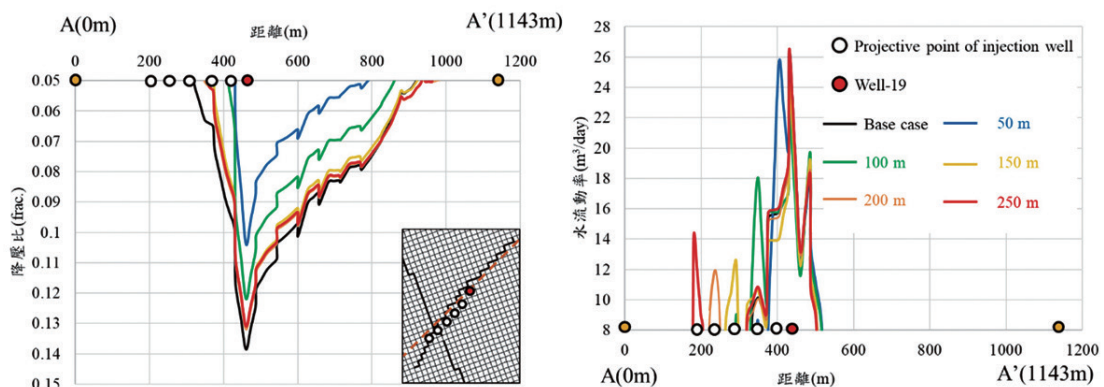


圖12 不同井距案例結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

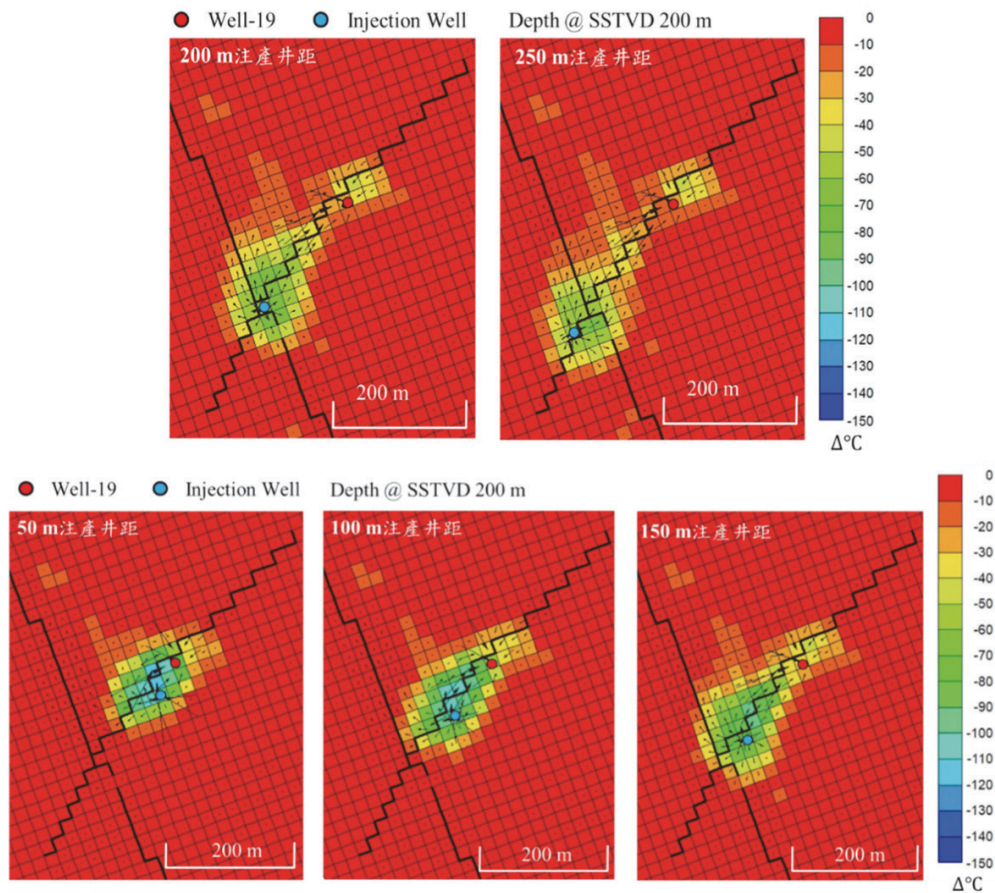


圖13 不同井距案例溫度影響範圍結果(本研究繪製)

度影響最為集中，但同時受影響之區域溫度降幅也最大。隨著產注井距增加，地層溫度受到影響的範圍跟著擴大，不過影響幅度會越來越小。結果圖中的箭頭則代表著流體流動之方向性。

在回注率大小的案例分析中，本研究設計的回注率分別為50%、70%、90%、100%，其

中，100%回注主要是設計以觀察回注率最大時的影響性。在壓力影響範圍結果中(圖14)，50%回注率案例之壓力影響範圍較100%回注率的結果大，表示若生產量固定，回注越多比例之地熱水能降低生產造成壓力下降的數值。在回注率100%的案例中，壓力影響半徑約為200公尺，50%回注率案例的壓力影響半徑約為220公

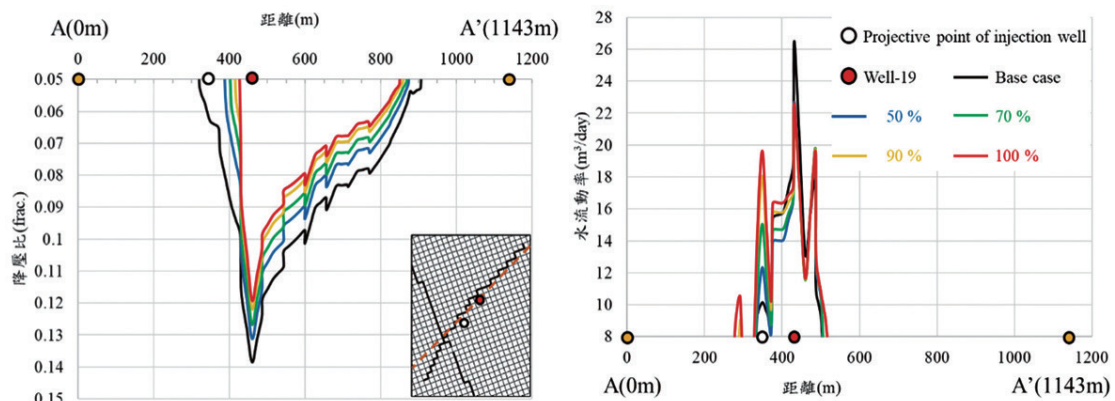


圖14 回注率變化案例結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

尺，兩者皆較無回注案例的壓力影響範圍來得小。回注率之變化對流體流動影響範圍則是影響有限。

隨著回注率增加，地層溫度受到影響的範圍會逐漸擴大(圖15)。回注率50%的案例中，溫度影響範圍集中在生產井與回注井周遭。地層溫度影響幅度也會隨著回注率的增加而上升。

在回注水的回注溫度案例研究中，考慮到回注前還有其他的熱水應用，因此設計了40、50、70、90°C等回注溫度進行案例分析。在影響範圍的結果中(圖16)，溫度對流體之黏滯度與密度產生影響，進而也對壓力影響範圍產生影響。回注溫度越高，地層流體越能快速流動至生產井周遭，壓力影響範圍也較小。而所有

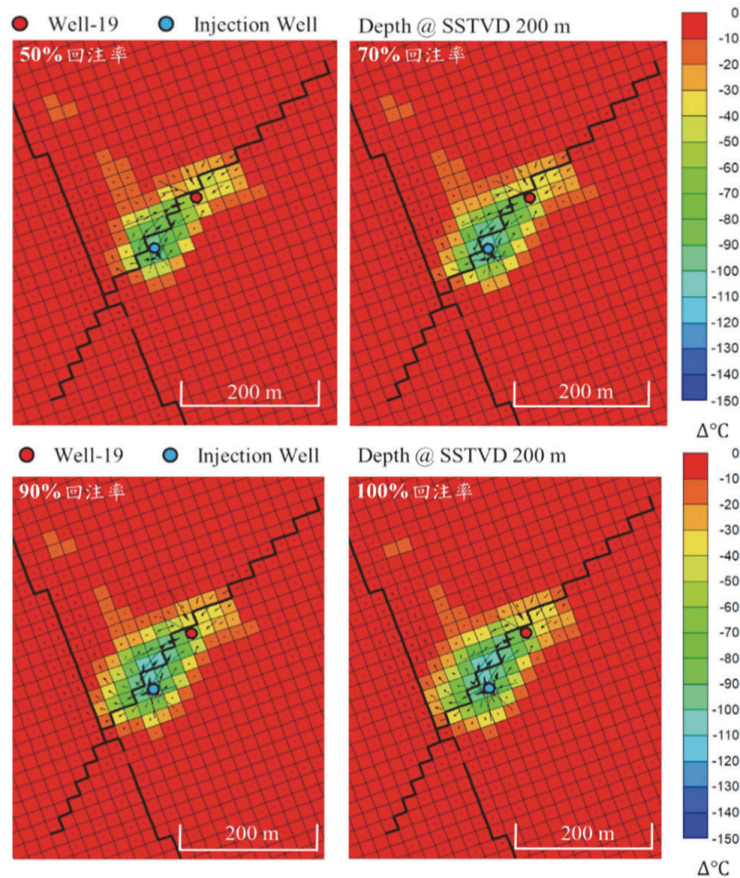


圖15 不同回注率案例溫度影響範圍結果(本研究繪製)

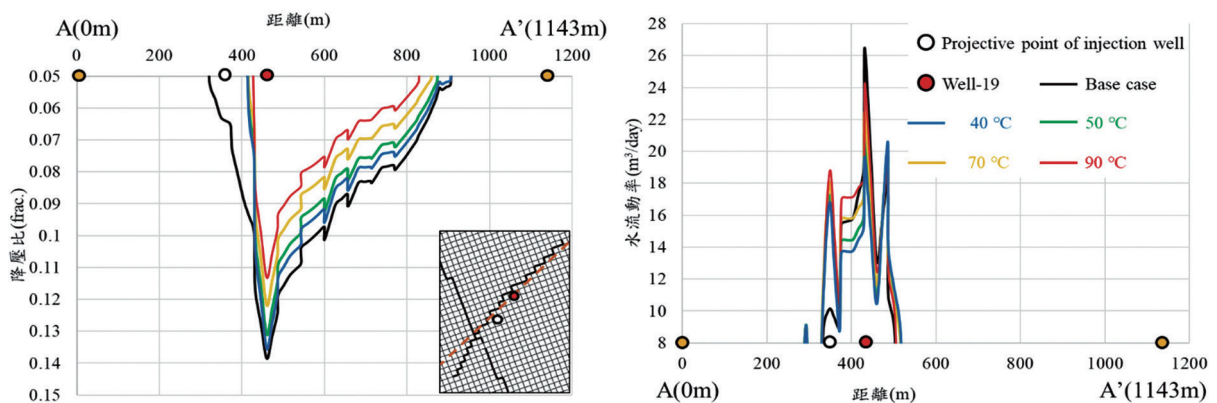


圖16 回注溫度變化案例結果(左：壓力影響範圍，右：流體流率影響範圍)(本研究繪製)

案例的壓力影響範圍都比未安排回注之基礎案例來得小。另外，回注溫度則對流體流動範圍影響有限。

在地層溫度影響範圍上(圖17)，溫度降幅的改變十分明顯。在50°C回注溫度的案例中，回注井中心的地層溫度變化大，影響之範圍也大於70°C回注案例之結果。回注溫度的提升可以降低溫度影響的範圍。

由注產井距的案例分析結果中可知，回注井距離生產井250公尺時對生產溫度影響最小。若要在較近之距離進行回注井之設置，需考慮降低回注率或者提高回注溫度以減輕生產溫度受到的影響。

在多個情境分析後發現，流體流動影響範圍在各個案例中的結果皆比壓力影響範圍的結果來得小。若是以壓力影響半徑作為評估井距的參考依據，在沒有設置回注井的案例分析結果顯示其壓力影響半徑在300公尺以內。亦即，

若兩生產井距離達600公尺時可讓生產干擾情形降至最低。

5. 結 論

在本研究地熱案例礦區的抽注影響範圍模擬的參數敏感度分析的結果中可以發現，抽注影響範圍對於生產率與滲透率具有高敏感度，意味著地熱水之流動與壓力影響範圍受到裂隙場影響甚大，不同的裂隙分布所造成的溫度、壓力以及流體流動影響皆會有所差異，因此詳盡之地質資料的調查並建立數值模擬研究是在進行開發與影響性評估時不可或缺的一部分。唯有正確的掌握區域特性，才能對礦區進行合適的安排。

情境分析的研究結果顯示，壓力影響半徑最大的案例為無回注井設置的基礎案例，其壓力影響半徑約為300公尺，由於對井之間距離應

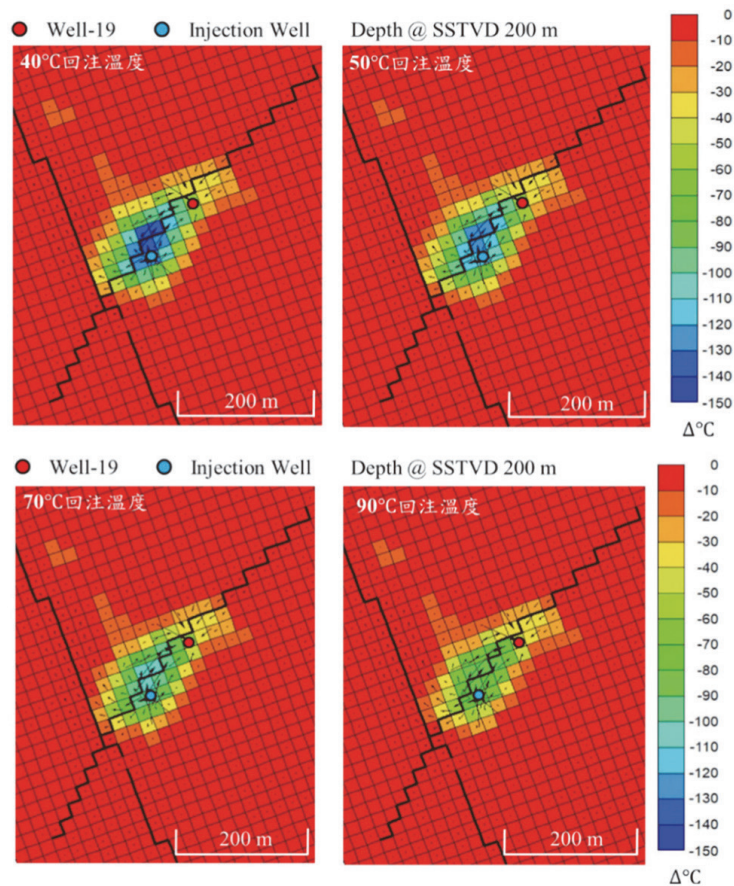


圖17 不同回注溫度案例溫度影響範圍結果(本研究繪製)

至少為兩倍之影響半徑，因此建議兩生產井距離至少600公尺。此外，由不同回注案例中觀察到，生產井與回注井距離越近，對於壓力維持效果越佳，然而當回注井過近或是回注水溫過低將會造成冷鋒突破現象發生，對於生產井之產能將會造成影響，在回注水溫度為攝氏60度、回注率為生產率70%的條件下，回注井與生產井距離達到250公尺時，回注行為對生產井的水溫影響最小，因此回注井與生產井之距離大於250公尺對於此研究礦區長時間地熱開發效益最大。

參考文獻

- 中油鑽井報告，1976。宜蘭縣清水地熱區中油清水4號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1977。宜蘭縣清水地熱區中油清水5號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1977。宜蘭縣清水地熱區中油清水9號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1977。宜蘭縣清水地熱區中油清水12號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1978。宜蘭縣清水地熱區中油清水13號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1978。宜蘭縣清水地熱區中油清水15號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1979。宜蘭縣清水地熱區中油清水14號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1979。宜蘭縣清水地熱區中油清水16號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1981。宜蘭縣清水地熱區中油清水17號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1982。宜蘭縣清水地熱區中油清水18號地熱井地下地質報告。
- 中油鑽井報告，1987。宜蘭縣清水地熱區中油清水19號地熱井地下地質報告。
- 李伯亨，凌璐璐，張可寬，王洋，郭泰融，柳志錫與歐陽湘，2013。宜蘭清水地熱儲集層數值模型與生產模擬研究。臺灣礦業，第65卷第4期，第1-12頁。
- 李清瑞，韓吟龍與江道義，2012。清水地熱區儲集層參數研究及發電潛能評估。臺灣礦業，第64卷第1期，第9-17頁。
- 林啟文與林偉雄，1995。三星圖幅，五萬分之一臺灣地質圖及說明書(第十五號)。經濟部中央地質調查所，共56頁。
- 陳正和，2006。清水地熱發電廠，等待來茲仍具潛力，瓦斯季刊。
- Caine, J. S., J. P. Evans and C. B. Foster, 1996. Fault zone architecture and permeability structure, *Geology*, 24, 1025-1028.
- Chierici G. L., 1995. The Simulation of Reservoir Behaviour Using Numerical Modelling. In: Principles of Petroleum Reservoir Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fan K. C., M. C. Kuo, K. F. Liang and S. C. Chiang, 2005. Interpretation of a well interference test at the Chingshui geothermal field, Taiwan, *Geothermics*, 34, 99-118.
- Kaya, E., S. J. Zarrouk and M. J. O'Sullivan, 2011. Reinjection in geothermal fields: a review of worldwide experience. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15.1: 47-68.
- Morgan, J., N. Nuwal and J. Williams, 2018. Prediction of flight measurements of high-enthalpy nonequilibrium flow from a cubesat-class atmospheric probe
- Tong, L. T., S. Ouyang, T. T. Guo, C. R. Lee, K. H. Hu, C. L. Lee and C. J. Wang, 2008. Insight into the Geothermal Structure in Chingshui, Ilan, Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 19, No. 4, 413-424.

Study on the Influence Area of Geothermal Injection/Production Wells: Case Study of Cingshui Geothermal Field

Bieng-Zih Hsieh^{1*} Shao-Yu Zeng² Bo-Cheng Wei³ Bo-Heng Lee⁴
Li-Wei Liu⁵ Li-Wei Chiang⁶ Yin-Lung Han⁷

ABSTRACT

The purpose of this study is to use the numerical simulation method to conduct parameters analysis and scenario simulation on the established geothermal reservoir model to evaluate the characteristics of the influence area of the geothermal injection/production wells. Based on the on-site geological and engineering data of the geothermal field, we build a 3-D reservoir model and first perform a long-term simulation to obtain the natural state of the geothermal field. Then, the production engineering of the geothermal operation well is designed to complete the numerical simulation model. This study designs the analysis of parameters and scenarios to understand the impacts of different parameters and scenarios on the geothermal reservoir. Based on the case study of Cingshui geothermal field, we found that the scenario of non-reinjection has the largest pressure influence area with a pressure influence radius of about 300 meters. Our different reinjection scenarios showed that the closer the production and the reinjection wells, the better the reservoir pressure maintenance; however, if the two wells are too close or the temperature of the reinjection water is too low, the cold-water front will breakthrough, which will affect the productivity of the production well. Under the condition that the reinjection water temperature is 60 degrees Celsius and the reinjection rate is 70% of the production rate, the reinjection has the least impact on the temperature of the production well when the distance between the reinjection and the production wells reaches 250 meters. For the long-term development benefits of this studied field, the distance between the reinjection and the production wells greater than 250 meters is recommended.

Keywords: production/injection of geothermal wells, numerical simulation, geothermal reservoir development.

¹Associate Professor, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University.

²Graduate student, Department of Resources Engineering, NCKU.

³Undergraduate, Department of Resources Engineering, NCKU.

⁴Manager, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

⁵Researcher, GEL, ITRI.

⁶Senior Engineer, GEL, ITRI.

⁷Deputy Division Director, GEL, ITRI.

* Corresponding Author, Phone: +886-6-2757575#62829, E-mail: bzhsieh@mail.ncku.edu.tw

Received Date: October 12, 2020

Revised Date: January 12, 2021

Accepted Date: February 18, 2021