地下水文及地質判識概論練習題

第二章、土壤及地下水之物理、化學及生物特性

2.1 土壤特性

1. 請描述土壤的定義。
   解答：土壤為破碎與風化的最外層地殼，為無機與有機固體、空氣、水及微生物的混合物。

2. 岩石不同的生成原因大致上可分為3類，請問為哪三類？
   解答：火成岩、沉積岩、變質岩。

3. 岩石風化作用力主要有哪些？
   解答：風化的作用力包括溫度、水分、植物根部的施壓、風力或水力的摩擦、溶解及沉澱等化學作用、動、植物與微生物的生化作用等，使岩石由大變小、由小變碎，而形成土壤。

4. 請描述土壤剖面由上至下的分層。
   解答：1. A層（洗出層）。
   2. B層（洗入層）。
   3. C層（母質土壤層）。

5. 土壤固體組成有哪兩類？
   解答：無機礦物、土壤有機質。

6. 砂礫和黏土的土壤粒徑分別為多少？
   解答：土壤粒徑介於50 μm至2 mm間歸類為砂粒 (Sand)，小於2 μm則稱為黏土 (Clay)。

7. 請解釋孔隙率與有效孔隙率的差異。
   解答：有效空孔隙率代表地下水可順利通過的土壤孔隙比率。孔隙率代表單位土壤體積中孔隙所占的比率，因此有效孔隙率會小於孔隙率。

8. 含水率常有的定義有兩種，請寫出兩種定義並回答哪種定義為國家環境研究院所採用的。

解答：水分重對乾土重 $\theta_{dw}=\frac{W_W}{W_S}$ ，國家環境研究院所採用。

水分體積對土壤體積 $\theta_V=\frac{V_W}{V_t}$ 。

9. 請寫出水飽和度 S_w 和空氣飽和度 S_a 之定義。請問在飽和含水層中，飽和度為何？

解答：$S_W=\frac{V_W}{V_v}$，$S_a=\frac{V_a}{V_v}$；飽和含水層中 S_a=0%，S_w=100%。

10. 為何有些土壤具有陽離子交換容量？哪些官能基可吸附陽離子？

解答：黏土礦物表面帶負電荷及土壤有機質的弱酸性官能基，使土壤具有吸附陽離子的特性，其可交換的當量稱為陽離子交換容量。可吸附陽離子的官能基主要為-COO-及酚基。

11. 有機質占土壤乾重的比值 (f_{OM}) 一般約為多少？其中大約有多少百分比為有機碳 (f_{OC})？

解答：有機質占土壤乾重的比值 (f_{OM}) 一般約為0.5-3%，其中大約58%為有機碳 (f_{OC})。

2.2 地下水特性

12. 寫出達西定律 (Darcy's Law) 公式並解釋所用各項參數？

解答：達西定律 (Darcy's Law) 用以描述地下水流率Q (m^3/s) 與水力梯度$\Delta h/\Delta l$之關係。$Q=-K\times(\frac{\Delta h}{\Delta l})\times A$，其中K (m/s) 為水力傳導係數，代表地下水流經土壤通透的難易程度；$\Delta h/\Delta l$稱為水力梯度或水力坡降；A為地下水流經砂柱的與水流方向是垂直向的截面積。

13. 請解釋達西流速與滲流速度的差異性，並討論何者較大？

解答：達西流速，q (m/s) 代表地下水通過單位截面積的平均流速，而滲流速度，v (m/s)，則指地下水通過單位截面積中孔隙的平均流速。兩者關係為$v=q/n_e$；n_e為有效孔隙率；故v恆大於q。

14. 溶解在地下水中的污染物質（溶質），伴隨動地下水在土壤空隙中，其穿梭流動的過程稱之為何？
解答：移流傳輸 (Advection Transport)。

15. 移流傳輸的溶質通量 (F) (g/m^2-s) 與該污染物在地下水中的濃度 (C) (g/m^3) 及地下水流速的有關係為何？
解答：$F=v\times n_e\times C=q\times C$。

16. 實際含水層中有哪3種狀況會導致流速變化？
解答：1. 單一空隙中，空隙中心的流速略高於空隙兩側（受土壤表面摩擦力影響）。
2. 流徑長短不一造成溶質到達快慢不一，越長的流徑較慢到達，反之流徑越短則較快到達。
3. 空隙大小不均造成空隙間之摩擦作用不一，空隙越大越容易通過，反之則不易。

17. 請解釋何謂動力延散作用 (Hydrodynamic Dispersion)？
解答：污染團在含水層中的移動過程隨著不同的地質狀況會有不同的流速變化，以及因濃度變化而產生了動力延散作用 (Hydrodynamic Dispersion)，其包含在其流動路徑上會持續地與乾淨的地下水產生混合作用，此種混合作用稱為機械延散 (Mechanical Dispersion)，以及污染物在含水層中因濃度梯度的變化所導致的分子擴散作用 (Molecular Diffusion)。

18. 污染物沿著平行地下水流方向之混合作用稱之為何？
解答：縱向延散 (Longitudinal Dispersion)。

19. 橫向延散 (Transverse Dispersion) 如何產生？
解答：在垂直地下水流的方向，會因流徑的分枝與濃度梯度而產生橫向的混合作用，稱為橫向延散。

20. 請解釋延滯作用與土壤的有機質含量之間關係？

解答：土壤的有機質含量或有機碳含量越高，土壤顆粒的吸附量越高，地下水污染物在含水層中受土壤吸附所造成的遲滯作用將越大，亦即污染物之實際移動速度會比地下水滲流速度慢。

2.3 微生物特性與生物復育

21. 微生物在地下環境中的生長條件有哪些？

解答：微生物在地下環境中的生長條件包括化學性因子（基質的分子結構、毒性等）、環境因子（氧氣及電子接受者、酸鹼值、營養素等）及生物性因子（酵素的特性、族群個體數量等），有機化合物的生物性分解途徑便受上述眾多因子所影響。

22. 若考量生物生長的限制因子為氧氣時，試以地下水位較淺的含水層為例，說明在飽和含水層下方的厭氧區域和通氣層及飽和含水層上方好氧區域會生成哪些產物？

解答：在飽和含水層下方的厭氧區域中，有機物進行發酵、甲烷生成反應；在通氣層及飽和含水層上方好氧區域中，則進行氫氣氧化、甲烷及其他有機物的氧化反應。

23. 何謂現地生物復育技術，簡述之。

解答：現地生物復育技術是應用工程化的方法以強化生物分解的效應，其基本條件是場址只需有能符合生物分解進行的條件。一般可採行一種或數種的方式，包括：(1)添加微生物、(2)添加營養鹽、(3)添加電子供給者及(4)添加電子接受者。

第三章、水文地質環境介紹

3.1 未飽和層說明

24. 未飽和層中，依水之飽和度與深度變化的關係可將未飽和分層哪三帶？

解答：環水帶 (Pendular)、絡水帶 (Funicular) 及毛細帶 (Capillary Fringe)。

25. 何謂「乾排曲線」(Drying Curve)？

解答：當土壤孔隙中的水被空氣取代時，其水飽和度隨毛細壓力降低（或毛細吸力上升）而減少之曲線變化稱之為「乾排曲線」。

26. 何謂「潤溼曲線」(Wetting Curve)？
解答：當土壤孔隙再次被水入侵時，其水飽和度隨毛細壓力上升（或毛細吸力降低）而增加之曲線變化稱之為「潤溼曲線」。

27. 何謂「延滯效應」？
解答：水的飽和度受毛細壓力之變化關係在乾排與潤溼過程並不會一致，此種現像稱之「延滯效應」。

3.2 飽和含水層說明

28. 飽和含水層可分為哪三類？
解答：受壓含水層、非受壓含水層、滲漏含水層。

29. 受壓含水層其出水現象與土壤的彈性（或壓實性）及水的壓縮性（或膨脹性）有關，以何種係數代表受壓含水層之儲水效應？該係數的範圍值？
解答：儲水係數S (Storage Coefficient)；S值約5×10^{-5}至5×10^{-3}。

30. 受壓含水層與非受壓含水層因地下水壓力改變所形成排水的機制有何差異？
解答：受壓含水層：土壤彈性與水的壓縮性（彈性釋水）。
非受壓含水層：重力排水。

3.3 水文地質邊界

31. 一般水文地質邊界分為哪種型態？
解答：定水頭邊界與不透水邊界。

32. 處理水文地質邊界時，可使用什麼方法來取代水文地質邊界？
解答：映像井理論。

第四章、場址水文地質特徵

4.1 水力傳導係數與流通係數

33. 何謂水力傳導係數 K？並寫出與其相關內涵因子。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy

解答：水力傳導係數K值表示流體（如地下水）流經土壤孔隙的難易程度，其與流體的黏滯度、密度、比重及土壤的內在滲透性 (Intrinsic Permeability) 有關，其關係式如下：

$$K=\frac{\rho g k}{\mu}$$

其中k (cm^2) 與土壤介質本身具有之特性有關（與粒徑大小、淘選過程、膠結程度、填充排列、沉積結構及粒徑形式等有關），與流體性質無關；μ代表動力黏滯度 (g/cm-s)；ρ代表流體密度 (g/cm^3)；g代表重力加速度 (cm/s^2)。

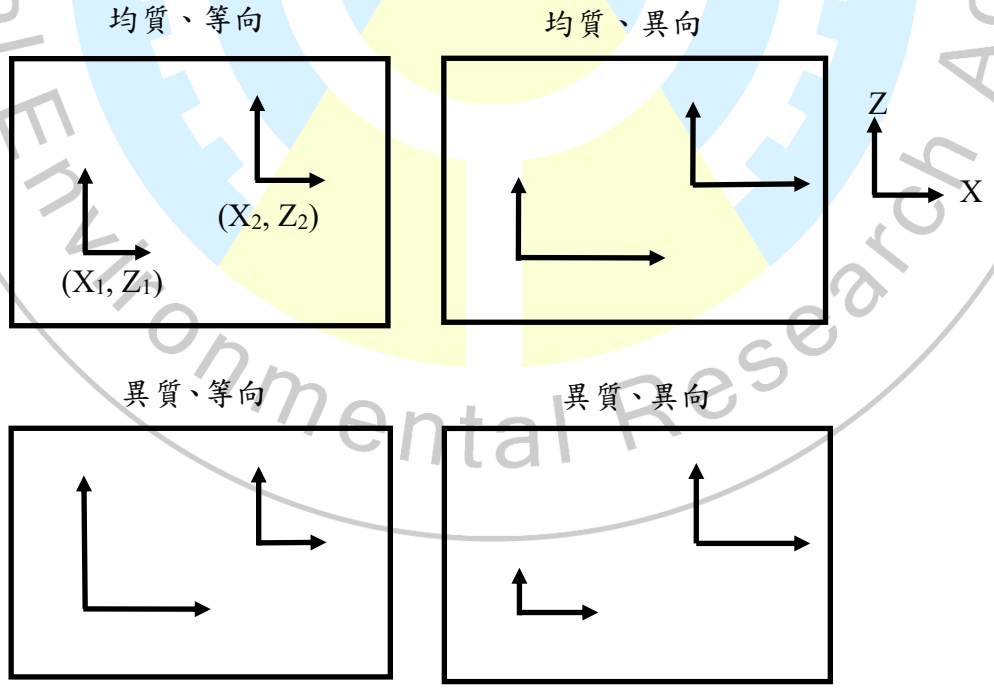
34. 何謂流通係數 T？與水力傳導係數 K 的關係為何？

解答：流通係數T值表示流體（如地下水）流經整個含水層厚度的難易程度。通常含水層之T值可視為含水層平均K值與含水層厚度 (D) (m) 的乘積 (T=K×D)。

4.2 地質異質性與異向性特徵說明

35. 以水力傳導係數 K 值來繪製均質等向；均質異向；異質等向；異質異向 4 種的示意圖。

解答：



4.3 地質優勢流徑特徵說明

36. 在何種地層環境中會產生地質優勢流徑？

解答：地質優勢流徑是指地質沉積環境中存在高度異質性，或存在局部渠道流或高滲透性夾層等造成有利地下水或污染物傳輸之優勢流徑。一般未飽和層之土壤蒸汽多沿著高滲透性層或有利傳輸之地層優勢流徑流布。

37. 說明 LNAPL 洩漏在未飽和層，經過粗細互層各空間的流動情形。

解答：LNAPL堆積在毛細帶頂部並往粗砂層方向流布。當較細顆粒地質材料或細砂層中，夾雜一層粗砂層或滲透性較佳的傾斜地層，此傾斜夾層如同漏斗般會收集污染物再以垂直流入滲至底下地層，地下水位與毛細帶下降致LNAPL往下層較粗地質材料流布。若污染物由粗顆粒地質材料到達細顆粒或異質性互層，由於土壤滲透性的突然改變，會產生不穩定的指狀流往優勢流徑流布，LNAPL到達較細粒的混合層產生指狀流往優勢流徑流布。

4.4 地質調查重點與方法

38. 於地下水領域，地質調查一般常用方法有哪四種？哪種可達到即時且不擾動的調查目的？哪種設備簡單，執行容易？

解答：地質調查一般常用方法有4種：鑽探物性分析、直接灌入技術即時調查、微水試驗、地球物理探勘。
直接灌入技術即時調查可達到即時且不擾動的調查目的。
微水試驗設備簡單，執行容易。

39. 鑽探取樣進行物性分析，可得到何種物理性質？

解答：土壤分類、粒徑分析、孔隙比、單位重、比重、自然含水量、液性限度及塑性指數等。

40. 何謂傳統微水試驗 (Slug Test)，簡述之。

解答：微水試驗 (Slug Test) 是在一個試驗井中，瞬間抽取/灌入一定體積（少量水）的水或注入氣體而造成水位上升/下降的變化，因井內外壓力差使得地下水流出/流進井篩段，逐一記錄井中水位壓力變化及對應的時間，直至水位變回原有水位，即完成微水試驗，目的是推估井篩周邊含水層地質材料的K值。

41. 何謂多深度微水試驗 (MLST)，簡述之。

解答：MLST是將特定深度的井篩上下方各利用封塞封住，只保留兩個封塞之間的距離，讓地下水可以自由進出，於測試段進行微水試驗，即算完成一次特定深度之微水實驗。於不同深度重複此步驟，即完成多深度微水試驗。

42. 地層中影響電阻率的因素有哪些？

解答：含水量、細粒含量、孔隙、緻密程度等。

4.5 含水層特徵描述及水文地質參數推估方法概述

43. 何謂「抽水試驗」，簡述之。

解答：抽水試驗一般是在1口抽水井內以定量或定抽水率抽水 (Constant-Rate Test)，在鄰近的觀測井內量測水位洩降隨抽水時間變化的關係。每1口觀測井的洩降對抽水時間的變化組成了1組洩降歷線。不同的水文地質特徵與水力因素對洩降歷線會造成特定的曲線變化，分析這些曲線變化則可判識相關之含水層特徵。

44. 何謂「洩降微分」，簡述之。

解答：降微分是表現洩降變化率的一種方法，可解讀洩降變化所代表不同水文地質情況，其定義為洩降（縱軸）對於對數時間（橫軸）的一階微分。洩降微分的決定不須任何假說性的模式，也無須利用抽水量、井距等情況，僅需要觀測井內的洩降隨時間的變化歷線。將洩降微分值對時間繪於對數紙上，則影響洩降變化的水文地質情況依抽水時段的不同會造成不同的曲線特徵。

45. 一般抽水試驗的洩降歷線以水井水力學分析模式分析，可得到何種資訊？

解答：含水層水文地質參數，如流通係數 (T)、水力傳導係數 (K)、比出水量 (S_y)、儲水係數 (S) 等。

46. 抽水試驗的洩降歷線進行「洩降微分」可判識何種資訊？

解答：含水層型態（受壓、受壓或滲漏含水層）與水文地質邊界型態（定水頭或不透水邊界）。

47. 在滲透性較差的含水層，往往因為含水層的出水量太小，而不利於執行一般抽水試驗。有何其他抽水替代方案？並簡述之。

解答：「定水頭試驗」(Constant-Head Test) 可作為可行的替代方案。定水頭試驗是在1口井中提高（降低）其水位至固定深度，藉此引致地下水向井外（井內）流動現象。因其流動機制為1口井所提高或降低所造成的水頭或水位差，故在影響範圍內的地下水流量隨距離或時間均有變化。定水頭試驗可利用定水頭井中之流量變化來推估水文地質參數，特別適用低滲透性地層之參數推估。

第五章、地下水流場調查與實場案例說明

5.1 局部性流場、中尺度流場、區域性流場

48. 一般區分地下水流場之規模主要用於土壤及地下水鹽化之研究，簡述何謂局部性流場，並說明可來描述區域之水平範圍。

解答：局部流場一般係指水平範圍小於5公里，對地下水補注反應迅速。局部流場於鹽化之研究顯示，當範圍內地表植被移除後，30-50年之間即可發現局部流場之地下水水位上升及鹽化之現象，可提前審視並改進地下水鹽化管理政策。

49. 簡述何謂中尺度流場，並說明可來描述區域之水平範圍。

解答：中尺度流場一般指水平範圍介於5-50公里，深度比局部流場來得深，對地下水補注反應時間比局部性流場來得慢。中尺度流場因範圍較大，可能中尺度流場範圍內會包含數個局部流場。另於鹽化之研究顯示，地下水鹽化現象在地表植被移除50-100年後才可被觀察到，因此在地下水鹽化之管理上較為困難。

50. 簡述何謂區域性流場，並說明可來描述區域之水平範圍。

解答：區域性流場水平範圍可能超過50公里甚或上百公里，深度比局部性流場及中尺度流場均來得深，對地下水補注反應時間比局部流場及中尺度流場均來得慢。可能包含數個局部流場或中尺度流場，或溫泉、噴泉等。區域流場之地下水鹽化十分緩慢，移除地表植被後至少上百年後才能影響整個流場之地下水。

5.2 地下水位變化機制與調查重點

51. 有哪五種影響地下水位變化的機制？

解答：1. 地面水體滲漏對地下水位之影響。

2. 地表蒸發散作用對地下水位之影響。
3. 暴雨對地下水位之影響。
4. 突然/瞬間荷重。
5. 潮汐變化對地下水位之影響。

52. 簡述地面水體對地下水位之影響。

解答：陸域上之地面水體一般包括湖泊、河流、水庫、池塘、溼地等，而地面水體與含水層（非受壓含水層）之間的交互作用在地面水體之水量平衡分析以及含水層局部範圍之流向變化上扮演相當重要的角色。當監測井鄰近地面水體時，監測井之水位變化將深受地面水體與含水層間交互作用的影響。

53. 簡述地表蒸發散作用對地下水位之影響。

解答：地面水體與周遭含水層之水位變化主要受到季節性影響，如降雨的抬升，或非降雨時期的蒸發作用。另外，監測井附近若存在許多植物，則植物的蒸散作用（特別在乾季時期）亦將造成非受壓含水層地下水位之異常變化。

上述之蒸發散作用會造成局部性流場的變化，但整體之區域性流場仍不致受到影響。由於植物叢生區附近之流場可能會因蒸發散作用而有迥然不同的流向變化，當規劃調查井網之流向時，建議盡量不選取植物叢生區附近的監測井，或避開植物生長期間，抑或避開枯水期間，以免誤判整體之流向。但若植物叢生區附近屬於潛在污染區下游之調查範圍，則建議利用長期水位計記錄植物叢生區附近監測井之長期水位變化，以評估可能的流場變化。

54. 簡述暴雨對地下水位之影響。

解答：許多的現地經驗指出，突然的暴雨發生會造成非受壓含水層水位劇烈的攀升，但實際上水位的上升並非來自地表入滲的補注，而是因未飽和層中空氣的推擠壓迫所導致之水位上升。上述之地下水位攀升與地下水之補注無關，但因伴隨降雨事件的發生，因此常被誤解。基本上，若長時間且大範圍的降雨會造成區域性流場整體地下水位之抬升，整體之流場將不致有太大的改變或不會有影響。但突然的暴雨事件或局部範圍的降雨，則很可能造成上述誤判的情形，亦即監測井之水位很可能不具代表性，特別因地質異質性的變化，未飽和層入陷空氣多寡不一，以及地質材料的粗細變化，均將造成不同地區會有程度不一的水位上升變化。而這

些水位突升的變化會在幾小時或幾天之後恢復原始之水位面，因原本入陷的空氣會逐漸往四周擴散而恢復成一大氣壓。因此建議水位的調查工作至少在暴雨結束3-5天以後，再予以進行。

55. 簡述潮汐變化對地下水位之影響。

解答：濱海地區含水層因受到潮汐週期性波動的影響，會在距離海岸特定範圍內的含水層（包括非受壓與受壓含水層）造成地下水向海或背海的的雙向流動，此特定範圍稱為「感潮帶」。而感潮帶內的流場變化對濱海地區的地下水污染監測或水位觀測均會有直接的影響。濱海地區地下水受到潮汐波動之影響而呈現水位上下波動的變化，此波動會沿著含水層向內陸傳播，而波動的振幅會隨著距離海岸線越遠而越小，在超出感潮帶範圍後的振幅則可忽略。因此位於感潮帶範圍內的地下水污染濃度與流布會受到潮汐影響而產生變化。

56. 利用潮汐與含水層水波動位關係，說明何謂延遲時間？

解答：當潮汐所引起之波動在含水層中行進時，由岸邊到距離某特定點或觀測點所花費的時間；或定義為潮汐發生高潮或低潮時，經由含水層的傳播，在監測井所觀察到發生相對的高低波動起伏之時間差，則稱為「延遲時間」。

$$t_{lag}=\sqrt{\frac{S_y t_0}{4\pi T}}x$$

由式可看出滲透性越佳，潮汐波動速度將越快，因此延遲時間將越短。

5.3 流場調查分析方法

57. 如何從多口井來求得地下水水流方向，此做法多少需幾口以上才能做？

解答：以多口不在同一直線上的水位觀測井中的水位絕對高程，於圖面中繪製水位的等高線（或等勢能線），與等高線垂直的方向即為地下水的流向，此作法至少需要有3口井。

58. 說明在缺乏監測井水位資訊時，如何初步推估地下水流向的大趨勢。

解答：考量臺灣屬溫帶潮溼型氣候，因此缺乏監測井水位資訊時仍可經由詳實的地形圖以及現地現勘的結果，初步推估出大趨勢之流向。例如經由地形等高線圖確認各式地貌之地形起伏或地勢、水

界（各類水體之位置、界限及深度等）及地物（如人造或墾殖地形等），並經現場勘查確認各項圖面資訊與可能影響局部流場之區域（如民井或池塘等）。

59. 當地層之水力傳導係數 K 值達幾個差值以上，較易發生棲止地下水層？
解答：2個數量級。

60. 簡述棲止地下水層產生的原因。
解答：地下水位之上出現局部低滲透性層，且地表層為高滲透性層，則棲止水很容易形成；相對地，若地表層亦屬低滲透性層，則棲止水不易形成。

61. 說明存在棲止水層時。如何調查棲止水層流向。
解答：由於棲止層之水位與流向很可能迥異於實際含水層之流向，甚至產生與含水層流場相反之方向。必要時設置不同深度之群井或多深度監測井長期調查棲止層之地下水位與局部地下水流場。

62. 何謂示蹤劑試驗，簡述之。
解答：將示蹤劑投入監測井中，測定示蹤劑在監測井濃度變化，根據示蹤劑的濃度變化曲線，可求得地下水之流向及流速。

63. 何謂理想示蹤劑，簡述之。
解答：一般於現場試驗之理想示蹤劑為無毒、廉價、能隨水移動、化學性質穩定且不會被含水層吸附和濾出的物質，常使用之示蹤劑有碘131、NaCl和螢光素等。

64. 示蹤劑試驗可分為哪兩類規模進行？
解答：示蹤劑試驗可分為局部規模和整體規模兩類。

65. 試述示蹤劑試驗的局部規模之內容？
解答：局部規模通常採用單井脈衝注入，注入示蹤劑後，測定井中示蹤劑濃度隨時間變化的曲線，並推求地下水之流速。

66. 試述示蹤劑試驗的整體規模之內容？

解答：整體規模即在試驗場內設置一示蹤劑注入井和若干觀測井，藉由觀測示蹤劑之移動，可得知地下水之流向，並根據示蹤劑濃度變化曲線計算地下水流速。

67. 何謂單井流速流向測定，簡述之。

解答：單井流速流向測定係利用井中地下水流速流向儀量測單一定點之地下水流況，因測定範圍僅單一定點，故一般適用於局部流場之調查與模擬。

68. 單井流速流向測定有多種，那種流速流向儀為目前實際應用上主流？

解答：熱流式 (Heat-Pulse Flowmeter)。

5.4 地下水流場調查案例

69. 何謂場置性地下水流場？場置性流場之形態易受到哪些影響而致流場迥異於較大尺度地下水場？

解答：場置性地下水流場屬於較小尺度的流場，調查或監測對象主要針對已發生或曾有污染或具污染潛勢之特定場址。場置性流場之形態受到水位自然或非自因素變動、監測井設置分布、井篩位置、深度、地質條件、建物等影響，很可能迥異於較大尺度地下水場。

70. 不同含水層可能有各自獨立流場，該如何調查？

解答：不同含水層之地下水流場各自獨立，而污染分布亦直接受流場影響，因此欲掌握各含水層地下水流場，必須先瞭解各含水層可能分布，並於各含水層適當深度設置監測井調查水位。