

第八、九章、地下水

第一節、地下水的相關名詞定義

第二節、地下水調查

第三節、水文地質

第四節、地下水的蘊藏量與流動量

第一節、地下水的相關名詞定義

- 一、地下水的定義
- 地層中飽和帶的水稱為地下水(Groundwater)
- 二、地下水的分類
- 1.孔隙水(Pore water)
- (1)棲留水(Perched water)
- (2)自由水(Free face groundwater & Free water & Unconfined water)
- (3)受壓水(Confined groundwater & Confined water) : 位於不(難)水層之下，其底部
- 2.裂隙水(Fissure water)
- 3.洞穴水
- 4.伏流水(Underflow water & riverbed water)
- 5.原生水 (初生水)
- 6.化石水(Fossil water) :

三、地下水諸元

- 1.地下水面(Water table)
- 2.水含層(Unconfined aquifer)
- 3.水頭(Water head)
- 4.受壓水面(Piezometric surface & Potentiometric surface)
- 5.自流井(Flowing well & Artesian)

四、受壓含水層所承受之壓力

- 1.壓力單位： $F/A = m g/A$
- 2.含水層體積
- (含水層體積) = (含水層厚度) × (含水層所佔面積)
- 3. 含水層密度
- (含水層密度) = {(含水層固態密度) × [1 - (孔隙率)] + [1 × (孔隙率)]}.....(6)
- 4.水份所承受的壓力
- 5.趺泉(khia-cuann)與倒泉

第二節、地下水調查

一、地下水位與流向

- 1.地下水位的觀測：為繪製地下水等高線的基礎。
 - (1)測井口到地面的距離。
 - (2)測井口水面的距離。
 - (3)找出地面標高（海拔高度）。
 - (4)計算水面標高。
 - (5)繪製地下水水面標高的等高線(Water table map)。
- 2.水頭(Water head)觀測：受壓水位標高的等高線圖為受壓水面圖(Piezometric or Potentiometric surface map)
- 3.地下水流網圖(Ground water flow net map)
 - (1)地下水流由水位高者流向水位低處。
 - (2)地下水流線與水位等高線約略垂直，所以在地下水位等高線加上地下水流，成為地下水流網圖。
 - (3)三口位即可推測地下水位等高線和地下水流向。

- 4.由地下水流網圖可推知：
 - (1)地下水補注區(Recharge area)和流出區(Discharge area)，即地下水來自何處，流向哪裡？
 - (2)水力坡降，用以計算地下水量。
 - (3)地下水源分布的區域概況。
 - (4)地面水與地下水交流情形。
 - (5)大規模抽水的影響。

- 5.地下水位的變化
 - (1)地下水面（自由水水位高）的昇降受雨水，地面水的影響很大。
 - (2)受壓含水層水頭高低與含水層中水分所承受壓力有關；也受當時大氣壓力有關（若氣壓升高1百帕，水位降低約1cm）。

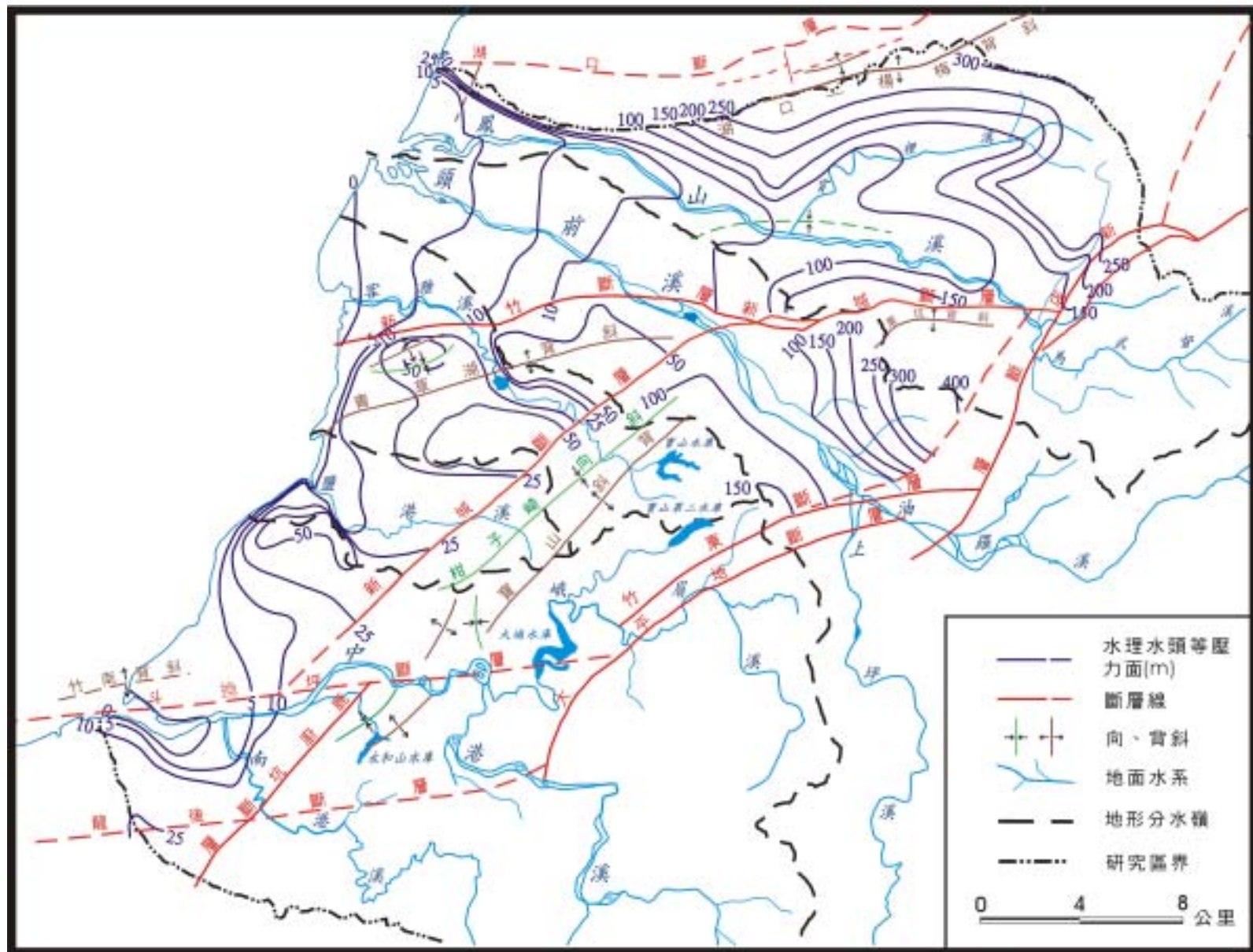


圖4-2、地下水研究區多層採水水井之夏半年水理水頭等水頭線分布圖

五、水力坡降(Hydraulic gradient)

- 水力坡降寫成 dh/dl ，為單位水平距離的水位高度(水頭差)，是計算地下水量的基礎。
- 水力坡降的意義：「經過孔隙性介質的流量與水頭損失(Head loss)成線性正比；與流經過的長度成線性反比」，亦即「流速與水力坡降成線性正比例，即流速與水位差成正比；與水流距離成反比」
- 水力坡降之計算公式推導：定水頭試驗及動水頭試驗
- $V \propto dh/dl$
- $dh/dl=I$ ：水力坡降(無單位)；h：水頭或水位
- K：滲透係數(cm/sec,m/day)
- $Q = VA = KA(dh/dl) = KIA$
- Q：流量(m^3/day) A：橫剖面積(m^2)
- 達西定律(Darcy's law)： $V \propto dh/dl$

六、地下水量的調查

- 1.地層係數的取得
- (1)滲透係數 (K值)
- (2)導水係數(Transmissivity or Transmissibility coefficient, T值)：單位水力坡降下，經由單位寬度的含水層，在單位時間內所傳送的水量 (cm^2/sec or m^2/min)
- 導水係數為滲透係數飽和含水層厚度之積 ($T=KM$)。
- (3)儲水係數(Storativity or storage coefficient, S值)：含水層單位垂直柱的儲水中，地下水為下降（上升）單位距離時，所能排出（加入）水的比例。
- (4)抵抗係數(Hydraulic resistance)與滲漏係數(Leakance)：

臺灣之地下水區劃分



圖 8-3 臺灣地下水分區

- 2.水文地質（地下地質）資料分析
- (1)利用鑿井時取樣的地層剖面
- (2)用大地電阻探測方法
- 3.抽水試驗(Pumping test)與回復試驗(Recovery test)
- 抽水試驗通常用定量抽水，同時觀測其水位洩降的時間變化；回復試驗是指停止抽水後水位回昇的時間變化，藉以計算T值與S值

五、地下水質的觀測

- 1.pH
- 2. (比)電導度(Electrical conductance)值
- 3.Piper's diagrams
- 4.TDS(Total dissolved solids)：總溶解固體量

第三節、水文地質

一、滲透係數

- 1.定義
- 2.各種地層之K值
- (1)一般未固結地層：未乾的混凝土，土、礫石混和在一起的情況。
- (2)固結地層之K值：如已乾的混凝土中水，水多半只能藏在裂縫中。

二、地形、地質、水文與地下水

- 1.海島與海岸沙丘的地下水
- (1)吉本 - 海茲培格理論(Ghyben-Herzberg theory)：島嶼與海岸砂丘等，淡水浮在海水之上成凸鏡狀；在海岸附近鑿井時，井底雖然在海平面下，井水仍為淡水，淡水的厚度約為地下水位標高的40倍。



抽水試驗

- 靜壓平衡：

- $(H+h)\rho = H\rho'$

- $\Rightarrow H/h = \rho/(\rho' - \rho)$

- $= 1/(1.025-1) = 40$

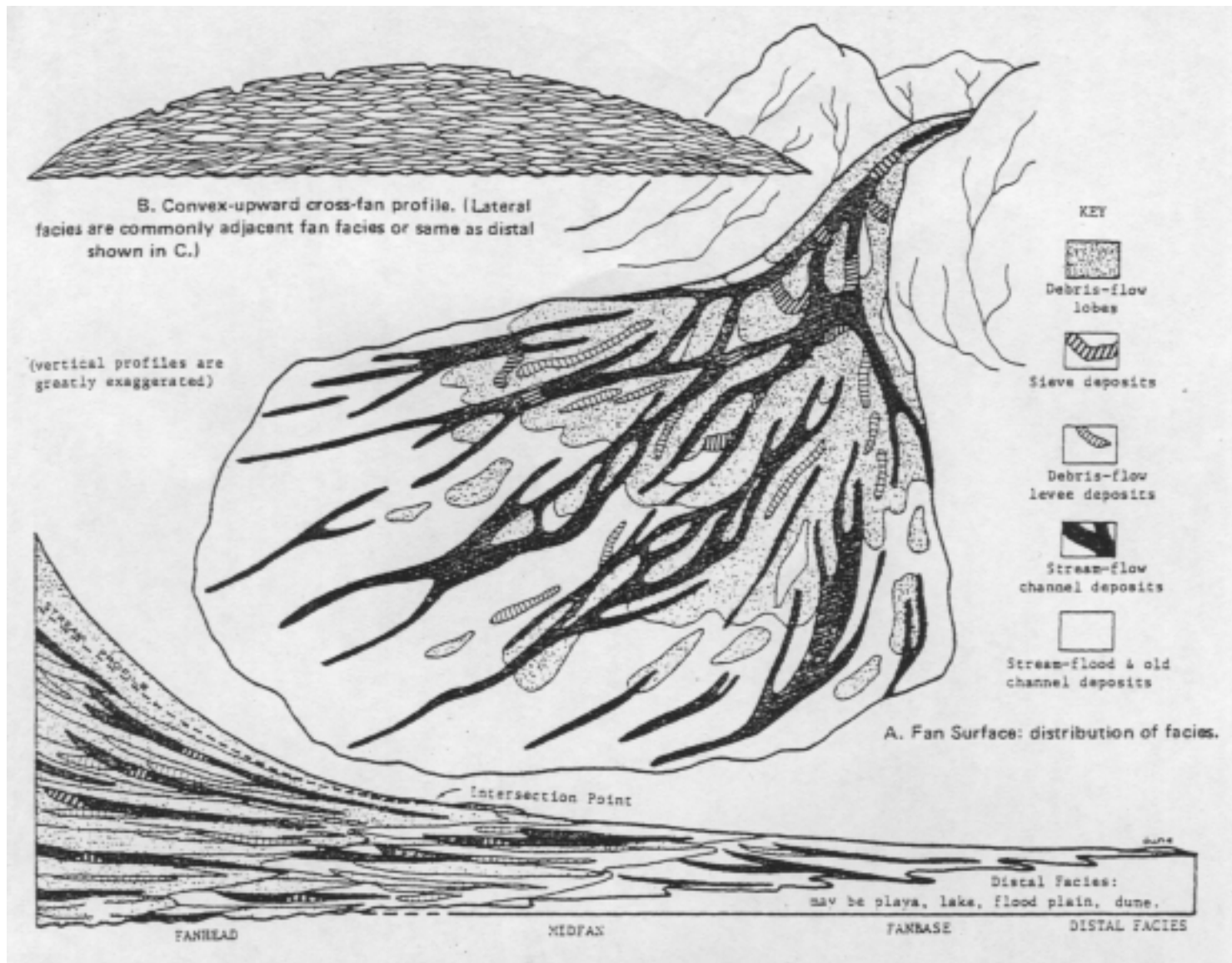
- H：海水厚度

- H+h：淡水厚度

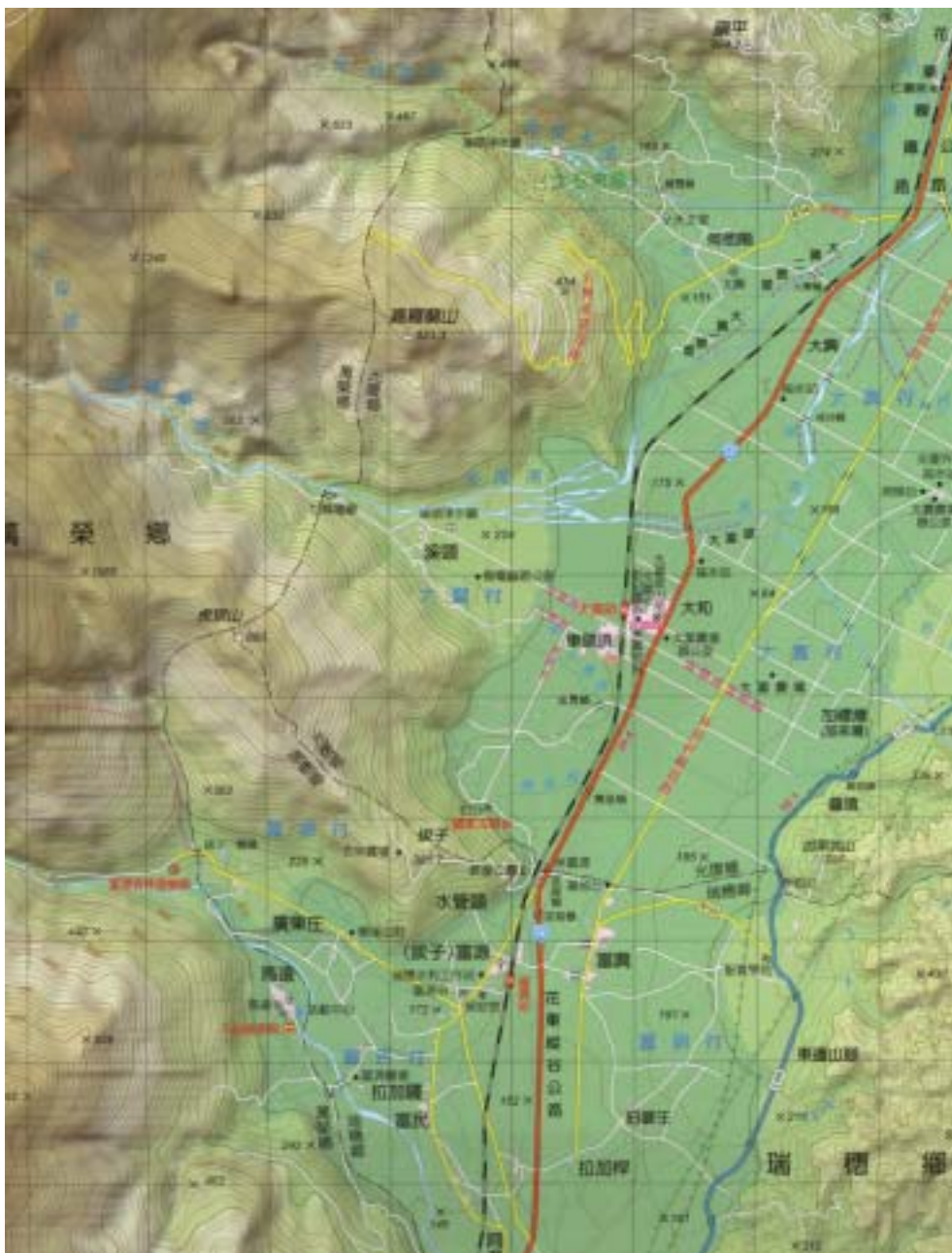
- ρ ：淡水比重 = 1（假設值）

- ρ' ：海水比重 = 1.025（假設值）

- 2.三角洲(指第四紀全新世晚期--現代的陸濱相沈積)地下水
- 典型大河河口三角洲的水文地質，包括：頂部層(Topset bed)、前緣層(Foreset bed)、基底層(Bottomset bed)及岩盤(在臺灣多半為第三紀岩層)。頂部層和前緣層為含水層，前者蘊藏自由水；後者蘊藏受壓水。
- 3.沖積扇(指第四紀全新世晚期陸相沈積)的地下水
- 典型的沖積扇在地下水學上可分為：
 - (1)扇頂補注區：水位淺而變化大，地層透水性大。
 - (2)扇央自由水區：水位深，地層透水性佳，土粒粗，種稻需客土。
 - (3)扇央受壓水區：水位深，地層透水性佳，土粒粗，受壓地下水可能自噴。
 - (4)扇端湧泉帶：表層土粒較細，有自由水所成之湧泉湧出，水位淺；受壓水能自噴，是水稻最佳種植區，水源最豐富地區。



冲積扇示意圖



花東縱谷沖積扇群



花蓮溪支流—木瓜溪沖積扇

4. 隆起海岸平原（指第四紀全新世晚期的海相沈積物）的地下水

- 隆起海岸平原沈積顆粒，理論上較三角洲與沖積扇為細。
- (1) 反覆海退所形成的海岸平原：以自由水為主
 - 垂直剖面（由下而上）：細→粗
 - 水平剖面（由陸而海）：礫→砂→土（泥）→黏土
- (2) 反覆海進所形成的海岸平原：以受壓水為主。
 - 垂直剖面（由下而上）：粗→細
 - 水平剖面（由陸而海）：礫→砂→土（泥）→黏土

- 5.盆地（指第四紀全新世）的地下水
- 盆地的地下水源頗受流經該盆地之水系所影響，且一般盆地的沖積層較厚，又為水源匯集之處，入滲量較大，所以盆地地下水源豐富。
- 6.河谷（平原）與階地（指第四紀全新世—沖積世早期）的地下水
- 河道附近是地下水良好的通道，谷底常形成氾濫原，氾濫原是良好的含水層（主要為沖積層），且谷的規模愈大堆積物愈厚地下水愈多。氾濫原上的舊河床（古河道）為重要的地下水源開發地點。通常河谷的地下水是自由水或不完全受壓（半受壓）水。
- 階地指狹義的河階或海階，一般均有礫石形成含水層。堆積階地地下水位深；侵蝕階地地下水位淺。階地分好幾段時，上位階地的階崖下水位淺，離階崖愈遠水位愈深。

7. 臺地（第四紀更新世）的地下水

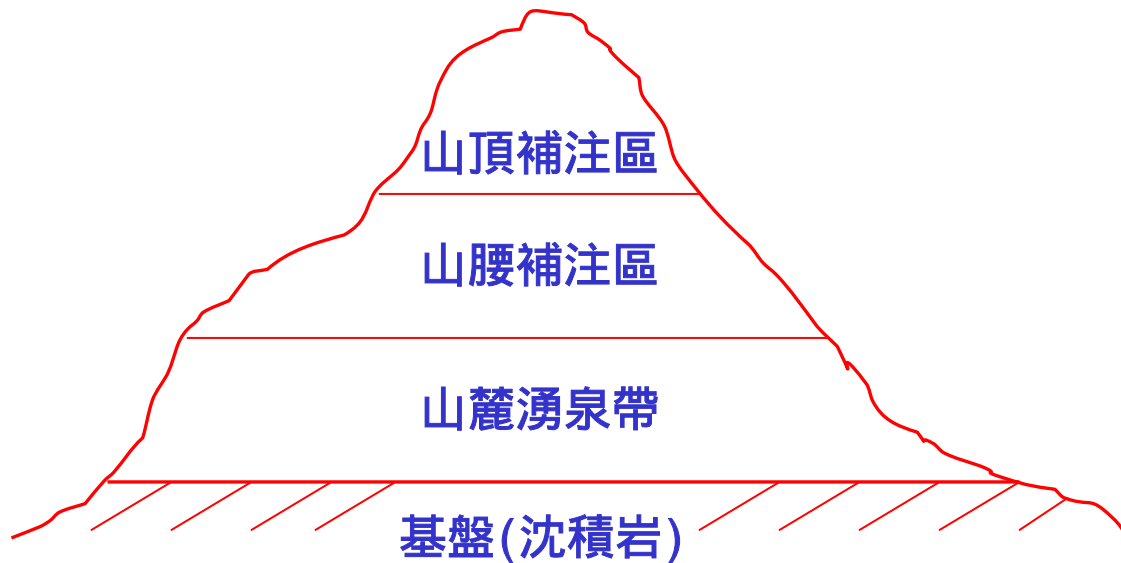
- 臺地係由三角洲、沖積扇、海岸平原等所隆起的洪積臺地。臺地有自由水也有受壓水，形成自由水的含水層是洪積層或臺地礫石層的礫石和砂層。臺地的自由水中有連續性的本水和斷續性不安定的棲留水，本水有時又被粘土分為數層。
- 臺地的地下水位深，地層透水性差，約與細砂層相當，地下水可抽取量與臺地的位置有關，一般而言：谷地 > 臺地面 > 臺地分水嶺。

8.山地、丘陵地、坡地（第三紀岩層）的地下水

- 山地雨水雖多，但少有良好含水層(砂礫層)，故地下水不多，僅小山谷底沖積物發達時有較多地下水。
- 丘陵地的地下水含水層是砂岩，但僅限於上新世(七百萬年前)以後。若砂岩為頁岩(難透水層)所夾，且成單斜或向斜構造時，可得受壓水，有時有自噴井。盆地構造發達可得自噴井水的地區，稱為「**自流井盆地**」。

9.火山的地下水

- 火山確實能利用的地下水只有地下湧泉，優良的湧泉在坡度變換點即「**遷急點**」附近可見。火山山麓的火山碎屑岩和熔岩形成含水層，而其下鋪泥岩、集塊岩等不透水層的基盤。



火山地下水分布與特性模式圖

- 10.泉水
- 泉水發生之條件為下列五種：
- (1) **侵蝕**：侵蝕谷壁、侵蝕下切露出兩透水性不同的地層之接觸面。
- (2) **堆積**：落石堆(talus)或小沖積扇、地滑面、階地等。
- (3) **斷層**：正斷層的斷層線附近、斷層崖堆積物下。
- (4) **褶曲**：向斜含水層、背斜不透水層附近、不整合面等。
- (5) **侵入岩**：侵入岩的岩脈阻擋水流，故易於上游側形成泉水。
- 可歸納為：
- (1) 位於兩個透水性差異大的地層交界面上；
- (2) 位於地形之遷急點或下坡處；
- (3) 在下游處水流受岩盤阻擋，地下水位抬高

第四節、地下水的蘊藏量與流動量

一、地下水庫(Groundwater reservoir)

- 將地面水或降水以地下水形式儲存起來，而這個種形式的地下水集水區，稱之為地下水庫。成為地下水庫的條件多半是具有廣大透水性好的地層的地區，通常在地下水出口的位置建築**地下壩**。

二、地下水蘊藏量(Groundwater storage)

- **1. 孔隙蘊藏量(Interstitial storage)**：孔隙蘊藏量為地下水庫容量，一地區的孔隙蘊藏量等於該地區的地下水庫大小。
- (1)指飽和含水層中貯留的地下水，不同於地下流動量。
- (2)此孔隙蘊藏量以**含水層總體積乘以其平均有效孔隙率**即可得。
- (3)某一地下水層長期繼續抽水時，該層地下水孔隙蘊藏量將逐漸減少，影響地下資源的永續利用。

- **2.補注蘊藏量(Recharge storage)**
- 補注蘊藏量為地下水天然補注量。地下水尤其是區域性地下水流，自補注區流向流出區。
- 劉聰桂等以1963年地下水含氡濃度的高峰值移動的速度，推算濁水溪沖積扇的地下水流速，得到平均地下水流速為**300 m/yr(自由水) - 3(受壓水)m/yr**間。
- **3.滲透蘊藏量(Seepage and Leakage storage)**
- 滲透蘊藏量又稱為**誘發性補注量**。當地下水含水層抽取地下水量超過天然補注量時，而該含水層以地面水的河、湖為補注水源時，會引起河、湖水**增加滲流量**以補足超抽水量，此為滲透性補注蘊藏量。
- **4.脫水或滲漏蘊藏量(Squeeze or Leakage storage)**
- 從受壓含水層抽水時，因該含水層壓力降低，失去原有的平衡狀態，引起**加壓層中水分脫水流出或滲漏**。

5. 受壓水的蘊藏量

- 受壓水的蘊藏量大致等於孔隙蘊藏量，在無人為的開發時，大致停滯著，甚少流動，因此流出量與補注量均甚少。人為開發後，因補注速度甚慢，蘊藏量很容易耗盡。

第五節、地下水開發與環境變化

一、安全出水量(Safe yield)

二、永續性的出水量(Perennial yield)

- 永續性的出水量係以地下水域的總出水量為永續性的出水量的概念，故地下水域的劃分成為基礎的工作。
- 1.少於永續性的出水量(Less than perennial yield)
(天然補注量) > (開發利用量)。
- 2.最少永續性的出水量(Minimum perennial yield)
(天然補注量) = (開發利用量)。
- 3.延長或增加性永續性的出水量(Deferred or increased perennial yield)
- 透過降低區域的地下水位，增加水力坡降以增加滲透補注量和地下水流動量，但又不致引起海水入侵的出水量。

- **4.最大永續性的出水量(Minimum perennial yield)**
- 以區域地下水孔隙蘊藏量為調節用地下水庫，在天然補注外，用地下水**人工補注量(Artificial recharge)**將地面上雨季時的剩餘水量灌入地下水庫，於乾季需水時抽用，以增加可用水量。此種出水量的成本甚高，且人工補注對地下水環境的影響，無法切確掌空。目前僅以色列確實實施。

三 三、採礦性出水量(Mining yield)(持續性消耗性出水量)

- 採礦性出水量係指開發量長期大於天然補注量，即長期超抽，無適當的人工補注。而量大長期消耗孔隙蘊藏量，如同採礦一樣，有一天會出現無水可抽的情形。

四、Hill的地下水域安全出水量求法

- Hill氏的地下水域安全出水量求法係以簡單回歸方程式，求**歷年平均水位差與年抽水量**之相關係數與回歸方程式。

四、地下水開發引起的環境問題

- 地下水抽水的影響：正常的情況下，地下水井抽水一定會導致水位下降，稱為「洩降錐」，停止抽水後水位會很快回復到原來高度，此種水位變化部不會產生環境問題。過度開發所可能引發的災害如：井乾涸、地盤下陷、水質惡化、海水入侵、缺氧層的形成等。

五、地盤下陷(Land subsidence)

- 1.地盤下陷之力學特徵
- 通常指地面的下降運動。地下水超抽使地下水位下降，引發地中應力的變化，把原來由地下水支撐的應力，轉由地層來承擔，因「軟弱地層」承受不了增加的壓力而壓縮，引起地面下降。
- 2.地盤下陷的條件
- (1)直接因素：具有透水性不佳的軟弱地層(如黏土)地下水位下降、有充分的時間來消解過剩孔隙水壓。
- (2)長期因素：不透水面積漸增，地面入滲量漸減，地下水補注不如過去迅速。

- 2.Terzaghi一維壓密理論

- $P_t = P_h + P_i \dots \dots \dots (1)$

- P_t ：總應力，即地層向下的靜壓力

- P_h ：中立應力，即水與土層向各方產生之壓力

- P_i ：有效應力，即僅對固體產生之壓力

- 4.幾種地盤下陷的形式

- (1)自由水位下降：自由地下水抽取後地下水位下降， P_t 近乎不變， P_h 減少，所以 P_i 必須增加。於是因重力關係由上而下產生重壓而使土層壓密，致地盤下陷。因重力關係由上而下產生重壓而使土層壓密，致地盤下陷。若含水層屬粗砂層或礫石層，自由地下水位下降使地層中有效應力增加，通常不會引起地盤下陷。
- (2)受壓水頭下降：受壓地下水抽取後引起水頭下降，（自由水）地下水位不受影響。
- ●加壓層為連續水平方向開展，因其下方的受壓含水層向上的 P_h 減少，產生脫水現象而壓密。
- ●若在受壓含水層中夾有連續性不好的、且壓縮性大的地層時，則地層會經由不連續的部份傳遞壓力，則此連續性不好的軟弱地層兩面受壓，壓密情況更為嚴重。

- (3)自由水水位與受壓水頭均下降： P_t 減少量極為有限(所減少的水重佔總地層重微不足道)自由水因重力關係由上而下產生重壓而使土層壓密。受壓含水層上部之加壓層兩面排水(脫水)，其壓密下陷量為上述之兩倍。

六、海水入侵

- 海水入侵指沿海地區地下水含水層遭海水入侵之現象；或因地層下陷使地表接近或低於海平面。海水入侵通常導源於沿海地區地下水含水層過度抽取。

