

應用科學叢書

地下水之研究

宋希尙編著

國立編譯館 自然科學委員會 主編
正中書局 印行

應 用 科 學 叢 書

地 下 水 之 研 究

宋 希 尚 編 著

國立編譯館 自然科學主編
編輯委員會
正中書局 印 行



版權所有

翻印必究

中華民國五十一年九月臺初版
中華民國五十九年八月臺三版

應用科
學叢書

地下水之研究

全一冊 基本定價九角五分

(外埠酌加運費滙費)

主編者 國立編譯館自然科學
編審委員會

編著者 宋 希 尙

發行人 李 潔

發行印刷 正中書局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍亞皆老街——號)

海風書店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號 (4400) 申

自 序

溯自世界第二次大戰結束以後，歐美各國，對地表水之應用，如農業用水，工業用水，給水用水等，無不深感竭蹶與匱乏。於是地下水之利用，應運而生，加以開發較易，水質較優，水源蓄集在地下亦較廣泛，蔚成爲今日世界一新生工業而爲各國所追求探討。鑒於近二十年來美國鑿井工業之日趨發達，可見一斑。

我國幅員遼濶，氣候變化甚大，華北與華南，雨量之差幾達一千公厘以上。長期抗戰期中，有識之士，倡導在西北發掘地下水開鑿十萬井以增農產，設立訓練班以培養人才，相呼籲號召，惜未獲付諸實施。臺灣現存耕地面積達八七三、二六三公頃，但因缺乏地表水源，致未能達到地盡其利，深爲憾事，而地下水之豐富，大可補救地表水之不足。據國聯專家最近之估計，全省地下水源之年出水量，約爲二、六三四、〇〇〇、〇〇〇立方公尺，除已利用者外，尚有百分之六五·五，正待開發與利用。爲應付今後人口增加率年百分之三·五計，則藉地下水之運用以增進農業生產，誠爲當務之急也。

本書研究地下水與鑿井工程，爲作者多年在臺大講授之課，近又搜集歐美及本省最近有關資料，對最複雜之水權登記問題，尤多引證，並參酌美人白納遜氏 E. W. Bennison 所著之「地下水」一書，可備大專各校教材之採擇，同時亦可供從事地下水工作者之參考，敬請指正，無任感禱！

民國五十一年夏宋希尙謹識於國立臺灣大學

目 次

自序

第一章 概 論.....	1
第一節 水之循環.....	1
第二節 地下水之利用.....	6
第二章 地下水與地質	9
第一節 一般地質.....	9
第二節 一般土壤.....	13
第三節 地層含水性能.....	17
第四節 冲積層.....	19
第三章 地下水水文	23
第一節 地下水源與存在.....	23
第二節 地下水流動.....	28
第三節 地下水流速與流量.....	30
第四節 實地測驗方法.....	33
第五節 地下水量勘估.....	43
第四章 地下水水理	47
第一節 地下水面.....	47
第二節 地下水面升降之因素.....	49
第三節 自流水與自流井.....	51
第四節 井水水量之推算.....	55
第五章 地下水水質	62
第六章 臺灣省之地下水	68

地下水之研究

第一節 臺灣地質與地下水估計.....	68
第二節 地下水開發經過與現狀.....	73
第三節 現階段勘測計劃.....	76
第七章 鑿井與地下水	78
第一節 鑿井歷史.....	78
第二節 臺灣深井.....	79
第三節 地下水水權.....	81
第四節 美國水權登記概況.....	84
第八章 鑿井工程	105
第一節 工地勘查及試探井.....	105
第二節 鑿井分類.....	108
第三節 深井鑿法.....	109
第四節 井圈、洗井及試井.....	124
第五節 施工困難與補救方法.....	131
第六節 契約與記錄.....	133
第九章 抽水機.....	145
第一節 種類.....	145
第二節 深井透平機之構造及使用.....	146
第三節 選擇標準.....	147
第四節 管理及修理.....	149
附表 實際用表格六種.....	153

第一章 概 論

第一節 水之循環

水在自然界中含量極豐，一般言之，生物體內百分之八十以上均屬水分。大氣中的水汽，若均凝結成水，覆被於全地球表面，其水深可達一吋，若僅覆被於陸地地面，則水深可達四吋；如果以海洋的水覆被於全地球球面，其深度可達二哩，若在地球上陸地地面則深達八哩，而世界最高的西藏埃佛勒斯山峯（海拔八八六〇公尺），尚在水面以下二哩半之處。

水在自然界中，其形態有時為氣體、或液體或固體，隨境遇而不同。若以其存在地位而言，則又可分為：①大氣中的水汽。②地表水（海洋河湖水。③地下水（地下水庫、結晶水等）。總之，水之存在及形態，雖隨遇而殊，但其在自然界中是相互消長，彼此循環的，且其總量億千萬年來而不變，茲將其循環途徑分述如下：

一、大氣中水汽，遇冷凝結成雨、雪、霧、露等，但在未降達地面之前即又重新氣化了。

二、大氣中水汽，凝結成雨，降至地面後，即再氣化了。

三、雨雪降落地面，成為逕流，流入河川，滙入海洋中，一部份因蒸發氣化，昇入空中。

四、地面上之雨水，滲入地下，成為土壤中的毛管水，直接經由地面的蒸發作用，及植物根部吸收後的葉面蒸發散入空中；或成為重力水，滲至不

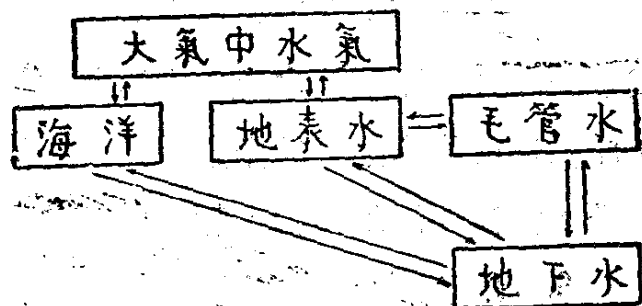


圖 1

透水層之上，此飽和層的水，可在地層空隙中流動，在適當條件下，一部份變成毛管水上升，由地面蒸發，或與地表面相交時，成為泉水流出，圖一為水循環概圖。

大氣中水分凝結成雨，降落地面後，計其出路，為逕流、蒸發及滲透，故從理論上言，可以下列公式表示之：

$$R = I + S + E$$

R —— 降雨 Rainfall

I —— 滲透 Influent seepage

S —— 逕流 Surface flow (Run off)

E —— 各項蒸發 Evaporation

關於降雨，類別甚多，分述如下：

一、降雨：凡自空中降落地面的雨、雪、雹、霜、露等，統以「降水」包括之。但在熱帶及亞熱帶地區，除降雨外，餘均少見，降雨的類別依其成因可分為：

1. 對流雨：地面受太陽熱的幅射，水分蒸發過多，使空氣過濕過熱，向上昇騰而發生對流運動，此項氣體升至高空，遇冷凝結成雨，復又下降，每在溫熱帶地區，夏季午後發現，我國華南一帶夏日的雷雨多屬之。

2. 氣旋雨：在溫帶地方，南方暖的氣流與北方冷氣流相遇時，暖氣流爬升於冷氣流之上，或冷氣流潛迫暖氣流上升，遇冷凝結成雨，此種形成的降雨，範圍且較為長期性者，氣旋雨為我國雨量之主要部份，黃梅時節雨紛紛，即屬此類。

3. 地形雨：海洋上濕熱的氣流吹向陸地，達到高山受阻，被迫上升而凝結成雨，此項降雨多在近海向南方面的山坡地帶，隔山背風之另一方向，則幾不見滴雨。臺灣中央山脈的東北面，因受冬季東北

風之吹臨，故多雨，如火燒寮地方，年雨量竟達七、〇〇〇公厘以上，東北角基隆港亦因之而有「雨港」之稱，然在背風的南部臺南一帶。冬季十分乾燥，甚至三個月無雨。

4. 颱風雨：由於熱帶海洋上低氣壓旋轉波動，致使濕熱氣流上升，而成急性降雨，一日之間可達二〇〇——三〇〇公厘，臺灣，海南島及東南沿海一帶多有發生。

統計各地區降雨量之多少，為水文學中重要課題，亦為水利建設上必須研究的資料。普通紀錄分為：

1. 日雨量：一日二十四小時中之紀錄，即自某日上午九時起至次日上午八時止，此二十四小時內的降雨量。

2. 月雨量與平均月雨量：一月內各日雨量的總和為月雨量，一年內各月雨量的平均，數稱平均月雨量。

3. 年雨量與平均年雨量：一年內各月雨量的總和為年雨量，平均年雨量為積若干年的平均數。

4. 最大日雨量：在所有紀錄中，某廿四小時內的最大雨量，為工程設計時的重要資料。

5. 最大時雨量：在所有紀錄中一小時內雨量的最大者，亦為設計時重要的資料。

二、逕流：降落在地面的雨水，在地表上由高地向低處流至江河入海，稱為逕流，在一定時間內逕流的水量，即稱逕流量，測定逕流量的方法，在小溪中可用流量堰求得，若在河流，則可由河水比降，或流速等法計算得之。影響逕流的各項因素為：

1. 降雨量：在同一地區內，降雨量愈多，其逕流量亦愈大，此乃普通常態，惟在單位時間內降雨量的多少，即降雨強度，對逕流關係甚大，短時間內的暴雨，其下降強度大於土壤「滲透能時」，即發

生強大逕流；反之若降雨強度較小，可能全部雨水為土壤所吸收，致無逕流可言。

2. 土壤地質：充分風化的深厚土壤，以及多裂隙岩石，均能吸收大量雨水，甚至小雨時幾無逕流可言，若為不透水性岩層，及重性粘土層位於地表或地面下層者，吸水力與滲透能均小，雖為較小的降雨，亦可發生較大之逕流。

3. 地勢：平坦地區，岩土有充分時間吸收雨水，逕流遂小，坡度若大，逕流自亦增加。

4. 地面覆蓋物：植物生長茂盛地區，其對雨水的截流性，比裸露地者為大，故逕流較少；森林地帶，亦能保蓄大量雨水，在長時間內緩慢漸漸溢出，此種情形，對防止最高洪水峯及地表侵蝕的效益甚大。

5. 流域內蓄水能力：在流域內的雨水，有時因地勢凹陷低窪而停滯地面上，形成湖沼及低濕地，即所謂地面蓄水。如有此類廣大積水區域，自可使洪枯水位差為之減少。我國長江流域，上游有四川盆地，中游有洞庭湖，下游有鄱陽湖及其他湖泊，調節水量具有蓄洪澹洪功用，故歷年洪水災患次數較無湖泊之黃河為少。

三、蒸發：地表上水分化成水汽昇入空中，稱為蒸發。蒸發量的大小，因氣溫高低、氣壓、相對濕度，風力等而異，蒸發依其產生情形可分為三類：

1. 水面蒸發：水面蒸發量的大小，除上述各項因素變化外，與水溫，水面形狀及深淺，水質等均有關係。一般觀測水面蒸發，大多在陸地上，用小型的蒸發皿測定之，此與實際者常不甚符合，日人武田繁後氏在白島森林測候所內，用同樣大小的蒸皿二個，一設在陸地，一設在面積為五〇平方公尺，深約半公尺的小池內，長期觀察結果如

下：

 E_p = 水面蒸發 E_s = 地面蒸發

1 9 4 3 年						1 9 4 4 年								
月	6,	7,	8,	9,	10	月	4.	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,
$\frac{E_p}{E_s} \%$	50,	44,	52,	50,	49	$\frac{E_p}{E_s} \%$	51,	51.	50,	57,	58,	57,	65,	78,

平均 $\frac{E_p}{E_s} = 53 \circ$

由此可知，水面蒸發僅為陸地上的一半而已。同樣據美國農部積卅年之觀察結果，算出各地水面蒸發量與規定蒸發皿間的相關百分數：考羅那佗州平均為70%，但佛則為67%。

2. 地面蒸發：土壤含水時，其表面不斷地蒸發，表層水分不足時，則自地下水依毛細管作用上升而補充之，此種地面蒸發，欲作直接的實地觀測，頗為困難，以往多採取土壤標本裝入圓筒或盤內，注入適當水分，若干時日後，測定其減少水量而求得之。

據 Montchen 氏在 Munchen 地方調查結果得：土壤蒸發量，約等於水面蒸發量之半；蒸發量大小，依次為赤土、埴土、砂土，另據美國 Veihmeger 氏將三種土壤試驗結果，地面蒸發量與地下水面深的關係，如下表：

土壤番號 地面蒸發時/日 地下水面深呎	1	2	3
0	0,328	0,317	0,216
0.5	0,215	0,270	0,180
1.0	0,209	0,194	0,160
1.5	0,093	0,085	0,076
2.0	0,079	0,055	0,051
3.0	—	—	0,021
4.8	—	—	0,016

由上表可知三號土壤當地下水面深在〇·五呎時，其蒸發量與四·八呎時恰成十倍之差。至蒸發量與土壤色澤的關係為：

土 色	白	黃	褐	灰	黑
蒸 發 比	1	1.07	1.19	1.27	1.32

3. 葉面蒸發：土壤中水分被植物根部吸收後，通過植物幹莖小枝上升而達葉內，再由氣孔化成汽，排入大氣中，此即所謂葉面蒸發，地下水由葉面蒸發而耗損者，為量頗大，尤其在乾燥地區為甚。

單獨測定葉面蒸發量頗不容易，以往大都與地面蒸發合併計算，（由植物體的葉面蒸發與地面蒸發，合計稱消費水量 Consumptive use），如能精確地扣去地面蒸發量，即可求得葉面蒸發量。日本西原農事試驗場依據：

$$\text{葉面蒸發} = \text{雨量} + \text{灌溉量} - \text{田面蒸發} - \text{滲漏量}$$

求得三種稻作葉面蒸發量，單位為公厘。

	早 稻 90 天	中 稻 120 天	晚 稻 140 天
第 一 年	172.3	307.4	299.4
第 二 年	193.7	208.7	256.8
第 三 年	502.5	407.1	527.5

第二節 地下水之利用

存在於陸地上的水，可以分為兩大部份：

一、地表水 Surface water：分佈於地面之上，如河川水，湖泊水及蓄水庫所儲的水量等。

二、地下水 Subsurface water or ground water：存在於地表

之下，與岩層及土層空隙之間，不易直接見到，僅由自然形態溢出或以人爲方法汲引應用者，如泉水及井水等。地下水又因壓力能含有與否，而分爲自由地下水及限止地下水兩種：

上述兩類水源，有時亦可變相出現，如河湖水可滲漏而入地下，即爲地下水，泉水由地下溢流至地表上，而成地表水。

近世科學日進，農業工業需水量亦增加，凡可利用之地表水量已日見不敷應用，不得不重視地下水的開發，故已成爲世界上共所研究的問題；尤其在沙漠及乾旱地帶，藉以救旱救災，農田灌溉，都市給水，工業用水，及軍事補給等深覺重要，計其優點：

一、管理便：利用鑿井，汲引地下水，於需要水時隨時可以取用，井的位置設備既簡，管理亦便，尤適用於分散的灌溉地區，小市鎮及工廠之用。

二、費用廉：鑿井需費不大，一勞永逸，較築壩集取地表水建造蓄水庫者大爲經濟，且工程進行迅速，鑿一三百公尺之井，需時半月而已。

三、水質佳：地下水經過地下岩土，層層的滲濾，大都水質優良，水色澄清，供給灌溉及飲水之用，均無問題。

四、水量多：水蓄地下，既無蒸發消耗，不受乾旱影響，故在旱荒時節，尤能發揮其效用。

至地下水之利用，世界各國均各有其悠久的歷史，古埃及與羅馬皆有輝煌之成就。我國利用地下水，早見於數千年以前。

茲將各國利用情形，列舉如次：

一、農田灌溉：我國夏周時代，即厲行井田制度，利用井水，地下水以資灌溉，明代農田水利學家徐文定公光啓曾著農政全書，對地下地質，測探地下水源，水質鑒別，鑿井技術，均有詳盡之研究，

「旱田用水疏」一文，力陳井水灌溉之利，尤為精闢不朽之論。民國以來，華北及西北等高旱地區，利用地下水鑿井灌田，功效卓著。環顧美國，如德克薩斯州，原係一乾旱地區，自提創抽取地下水墾荒，大告成功以還，使該州米穀產量名揚各地。蓋該處一帶，地層結構含蓄，地下鬆水量豐富，加以農業工程發達，益使利用灌溉，成績顯著，今日加利福尼亞州約有五分之三的農田，即仰賴於深井抽水灌溉，可見利益之溥。

二、都市給水：地下水經地下砂石層的天然滲濾，水質清潔，為極佳之飲用水料。北平自來水廠，即以地下水為其水源，漢口及其他若干都市，亦多利用井水。紐約市自來水廠，利用地下水量達全廠消耗水量之半，倫敦市亦佔四分之一強，奧京維也納更捨去附近多瑙河水量，而向百哩外引用井水入市供應，日本自鑿泉合資會社在佐賀地方初次打井成功後，全國各地蜂起開發，德國因地理環境關係，地表水存量有限，不得不特別注重於地下水的利用，計每日耗用量如平鋪全境，可達五公厘厚的水層。

三、工業用水，地下水含有若干硬度，如利用以釀酒，可以促進發酵的作用，故德國之啤酒業因此而著名全球。日本東京市將地下水軟化後，則大量供給蒸汽機之用。

第二章 地下水與地質

第一節 一般地質

岩石為組成地殼的主要物質，或呈疏鬆塊體，如砂、砂礫、粘土及火山灰；或呈堅硬塊體，如花崗岩、砂岩及石灰岩等。通常為一種或數種礦物的集合體，有時全為玻璃質，或玻璃質與礦物的混合物。岩石亦有全為礦物所組成，且僅含一種礦物者，如純粹大理石，係由方解石所組成；純粹石英，係由石英所組成。有時包含數種礦物，如普通花崗石，由長石、石英及雲母所組成。

岩石的構造及其硬度，與地下水利用，關係至為密切，依其產狀及在地殼中的位置，可分為三大類：

一、火成岩 Igneous rock：地球內溫度極高，所有物質均屬氣體或液體，稱為岩漿，此岩漿由地殼較薄處噴出地面或侵入地殼以內，因冷凝結而成火成岩。此岩石之特性為完全不含化石，岩石全部或一部為玻璃質所組成，其結構並呈一致的現象，即岩石表面狀態在各方向均相同。火成岩且無層狀、帶狀或葉片狀構造；因其成分不同，又可分為：

1. 酸性岩：含氧化矽 SiO_2 較多，如花崗岩、正長岩及浮石等。
2. 鹽基性岩：含鈣、鎂、鐵等鹽基性物較多者，如輝長岩、玄武岩等。

3. 中性岩：介於前二者之間者，如安山岩等。

4. 超鹽基性岩：含鐵質甚多而無矽質者，如橄欖岩、輝石等。

二、水成岩 Sedimentary rock：又稱為成層岩，係次生岩石，乃先由火成岩及變質岩，經水流、風力及冰河等作用沉積而成。水成

岩呈層次，其組織乃依據顆粒的粗細形狀，及膠結物性質而定。較粗物質如漂礫及砂礫等，固結後成礫岩，砂粒膠結後成砂岩，極細物質如粘土則成密緻的頁岩，其顏色礦物粒的種類及包含的色素物質而異。普通膠結物如氧化矽具灰白色，碳酸鈣亦為灰白色，氧化鐵成黃、紅、褐等色。水成岩中所含礦物，其化學成分多甚簡單，性質較為穩固，最普通者如石英、高嶺土、長石、雲母及氧化鐵等，尚有自溶液中沉澱而成的碳酸鹽類及硫酸鹽類等。

水成岩因組成方法不同，可分為下列兩類：

1. 機械沉積岩：

- a. 水沉積：礫岩、砂岩、頁岩等。
- b. 風沉積：黃土、沙漠。

2. 化學沉澱岩：硅石、石灰岩、鹽岩等。

三、變質岩 Metamorphic rock：火成岩或水成岩經溫度及壓力作用，岩質重行組織，成為一種特異岩石，即稱變質岩。此種岩石因其原岩的種類甚多，故其化學成分差異甚大。礦物種類以化學成分為依據，故差異亦甚大。其構造有三種：

- 1. 片麻狀：呈平行排列，黑白相間，如片麻岩。
- 2. 片狀：呈薄葉片狀易剝開，如結晶片岩。
- 3. 板狀：構造細密，亦易分成薄片，如板岩。

岩石之風化：地面岩石受各種因素的作用，使表面形成疏鬆的混合物，包含砂、礫及粘土等，即所謂土壤。因其含有腐殖質，故呈深色。風化所及之深度，每自地面向下至地下水層止；一般風化情形可分下述兩種：

一、物理性：如溫度，風，水，及植物根壓等力，使岩石由大變小，但仍保存其本質，此種情形，多發生於寒帶、高山及河岸等處。

二、化學性：因空氣，水及植物中所含化學物質而起分解作用，造成新化合物，此在熱帶及潮濕處較為顯著。

各種岩石由於在地面上的狀態不一，影響地下水的分佈，茲分述於下：

1. 走向 Strike 斜向 Dip direction 及傾角 Dip angle：地層沉積時每在水底，故其層次近乎水平，及後受地殼壓力作用掀起成陸，層次乃見凌亂斷裂，故吾人所見的水成岩層多成斜面。此種斜面與水平的最大角，名曰傾角，斜面之方向 c d 稱斜向，斜面與水平面之交線 a b 稱走向，見圖二。

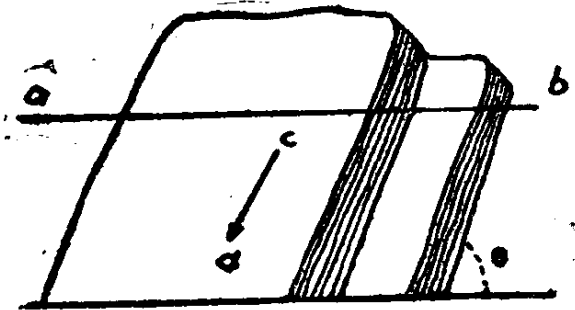


圖 2

2. 露頭 Outcrop：地層因受剝蝕或他種原因而露出表面吾人能直接觀察者，稱為露頭；露頭線之分佈情形，乃視地層傾角及地形而異，如果地層為水平，且地面亦為平原，則露頭與走向相合，惟常被浮土掩蓋而不顯見，如果地層欹斜，則硬層受剝蝕較難，因而突出之露頭亦較為顯著。

3. 褶曲 Folds：水成岩的岩層沉積時多呈水平位置，但如受到橫壓力之推擠，即掀起而成為波狀，稱為褶曲。褶曲之形成，可分為對稱褶曲 Symmetrical fold，不對稱褶曲 Asymmetrical fold，倒轉褶曲 Overturned fold，密接褶曲 Closed fold，等斜褶曲 Isoclinal fold 等，惟此等褶曲在自然界中，因常受外力剝削而致改變其形狀，致原形者並不多見。褶曲對於隧道工程及採礦工程等影響甚大。

4. 節理 Joints：地面岩石如為硬脆性，不論其屬於任何種類，常具有長短不一之裂隙，因其互相平行或交錯，致將岩石分成為方