

137941



地下水

王秉忱 王修之編著



63

29

新 知 識 出 版 社



统一书号: 12070·148

定 价: 0.22 元

地 下 水

王 秉 忱
王 仰 之 編 著

新 知 識 出 版 社

一 九 五 七 年 · 上 海

內 容 提 要

本書敘述了有关地下水的基本知識，深入浅出地介紹了地下水的起源、运动、性質、类型和調查等等，可供中学地理教师、大学地理和地質系學生參考，也可作为有志从事水文地質事業者的初步讀物。

地 下 水

王 秉 忱 編 著
王 仰 之

新 知 識 出 版 社 出 版

(上 海 湖 南 路 9 号)

上海市書刊出版業營業許可証出 015 号

大东集成联合厂印刷 新華書店上海發行所总經售

开本：787×1092 1/32 印張：2 1/16 插頁：1 字數：41,000

1957 年 12 月第 1 版 1957 年 12 月第 1 次印刷

印數：1 — 500 本

統一書号：12036·148

定 价：(7) 0.22 元

前 言

隨著祖國社会主义建設事業的蓬勃發展，水文地質学已經引起了很多人的注意和兴趣。为了普及這門科学，使更多人具有这方面的基本知識，我們試寫了这本小冊子。

在这里，讓我們向敬爱的導師、苏联水文地質学專家П.П.克利門托夫博士表示深切的感謝，因为在我們寫作这本小冊子的时候，他曾經給我們很多鼓励和指導。

寧有义、林美云、周克昌和馮怀讓以及新知識出版社編輯部的同志們，都曾經为这个小冊子花过劳动，因此也讓我們在这里向他們表示感謝。

我們竭誠欢迎來自各方面的意見和批評。

作 者 1957 年春于長春地質学院

目 錄

一	地下水——最貴重的寶藏和最危險的敵人·····	1
二	地下水是從哪里來的·····	5
三	岩石和地下水的關係·····	9
四	地下水的活動·····	14
五	地下水的性質·····	17
六	地下水的分類和地下水面以上的水·····	21
七	不承受壓力的地下水——潛水·····	27
八	承受壓力的地下水——自流水·····	33
九	地下水的天然露頭——泉·····	38
十	和地下水活動有關的自然地質現象·····	43
十一	我國古代利用地下水的成就·····	50
十二	地下水的調查·····	55

一 地下水——最貴重的宝藏 和最危險的敌人

什么是地下水？簡單地說，就是存在于地底下土層和岩石里面的水。我們通常所見的井水和泉水，就是地下水。

也許有人会問：地下水和我們人類生活以及生產建設有什么关系呢？地下水和我們的关系很大。

大家都不應該否認水和我們的密切关系吧！水不但是我們日常生活中必不可少的東西，而且是組成人體的重要成分。它占了人體重量的三分之二。一個體重 60 公斤的人，他全身的水量就有 40 公斤。一個身體正常的人，每天至少要喝 1.5 公升到 2 公升水；沒有水喝的人，過不了幾天就沒命了。

城市是人口集中的地方。一個城市，每天要用很多水。按照社会主义城市設計标准，平均每個人每天需要 400 公升水。一個 100 萬人口的城市，每天就需要水 40 萬噸。如果城市一旦沒有水，影响多么嚴重啊！

除了城市，鄉村用水問題在某些地區同樣迫切地需要解決。有些山區里的人由于常年喝硬度很大的硬水，因而害了大骨節病；有些沿海地方多為咸水，人們只好挖坑積聚雨水來用，到了冬季，就得去很遠的地方運水。

不光是日常生活需要用水，工礦企業、農業、畜牧業等也

都需要用水。

在工礦企業方面，無論燒鍋爐、漂染紡織品，還是選礦，都需要大量的水。約略估計一下：生產1噸紡織品，需要用水100—610噸；生產1噸紙需要用水200噸；生產1噸生鐵，需要用水130噸；生產1噸石油，需要用水8.5噸。

在農業方面，如果建設一個大農場，首先要解決灌溉水源的問題。各個農業生產合作社，也都需要充分的水來灌溉土地，才能增加生產。我國北方水澆地的收成一般比旱地的收成多1倍以上，至於水田的收成，常常可以高過旱地5倍甚至10倍。

此外，牧場的灌溉，牲畜羣的飲水等也都需要水。

沙漠里缺少水。沙漠地區的情況，蘇聯地理學家伊林在他的著作“沙漠的改造”中，曾經有過這樣的描寫：

“……那裏有太陽和肥沃的土壤，那裏很可以開辟棉田和果園，就是缺少灌溉用的水。

“在一望無邊的牧場上，缺少井。

“我們眼看着沙漠里一所所建立起來的礦坑、工廠和石油井，都需要水。

“如果人們不得不看重每一桶水，那在沙漠里居住和工作，就實在太苦了。

“連蛇、甲蟲和蜥蜴等，到了夏天，也都白天鑽到沙里去避暑，晚上才爬出來。但是人是不能整天躲在蔭地里乘涼的，因為人一定要工作。

“熱得喘不上氣來，喉嚨干渴得難過，唯一的救星，是水。”

水，從哪裏來呢？

地球上的水是很多的。在河边的，可以大量地用河水；在湖边的，可以大量地用湖水。河水、湖水，还有海水等等，都是地表水。

有些地区，离河太远，湖也没有，没有地表水可以利用；或者虽然有地表水，但地表水的水质不好（如咸水、受到强烈污染或者含有大量泥沙的水），水温太高，不能应用。同时地表水主要靠雨水补给，在干旱时期，河水干涸，冬季北方的河水封冻起来，就不能保证我们供水的需要。这时候，地下水便成为非常重要的水源了。

把地下水作为水源，有许多有利条件。因为它埋藏在地下含水岩石和土壤中，不容易被外界污染，而且它不直接受到太阳的炙晒，不容易蒸发，含水岩层的面积也常常分布较广，补给条件良好，所以它不但水质好、水温低，而且水量也非常丰富。有人估计，地球上的水，差不多有四分之一埋藏在地下，可见地下水是相当丰富的水源。

有些地区的地下水含有很多矿物成分，这种水叫做矿水。矿水可以用来治疗某些疾病，因此很多疗养院往往就建筑在有矿水流过的地方。如辽宁汤岗子就建有疗养院，利用当地矿泉治疗关节炎患者，获得很好的效果。

还有些地区的地下水，水里面含有大量盐类或稀有元素，这种水叫做盐水或矿化水。盐水和矿化水在工业上有很重大意义，因为我们可以从这类水中提取食盐、钾盐或锂、溴、碘等贵重的金属元素。

由于地下水能给人们许多好处，因此，苏联地质学家卡尔宾斯基曾把地下水称做“最贵重的宝藏”。

但是應該指出，在某些時候，地下水却是人類非常危險的敵人，需要我們嚴加防范。例如礦坑里面，往往在開采過程中涌出大量的地下水，為了排除涌入坑道的地下水，以便進行正常開采，常常需要耗費相當大的人力物力，好多台水泵在礦井深处夜以繼日地排水，這樣就必然提高了采礦的成本。有時礦坑中還會產生災害性的涌水，使大批礦工喪失生命，甚至無法繼續開礦。例如解放前，山東淄川煤礦就發生過這樣的事故：在采煤過程中突然涌出大量地下水，在短時間內就將容積巨大的礦井全部淹沒，坑內全部設備與數百名井下工人都未得救。其他如正豐、焦作、開灤等煤礦的某些礦井，解放前也都發生過類似的事。

不了解建築場地的地下水情況，也常常會使某些工程建築的安全受到影響。地下水的活動可以引起斜坡坍塌和地基不均勻沉陷等事故，嚴重的甚至可以使建築物遭到破壞。

在進行水利建設如水壩水庫的地區，必須了解壩下地下水對建壩的影響和水庫滲漏的問題。如果壩下地下水流速很大，便會沖刷壩基，使壩基變形或遭到破壞；如果水庫大量滲漏，就蓄不起水來。如西班牙的蒙特牙克水庫，它的水壩高達72公尺；但是它高而乾燥地聳立在河谷中，所有的水從水庫底下數不盡的裂縫和空洞里滲漏光了。

地下水還可以使廣大的農田變成一片貧瘠蕭索的鹽鹼地。在鹽鹼地上，枯萎的禾苗長得非常矮小，抬不起頭來；嚴重一些的干脆就是光禿禿地，一棵作物也沒有。在那上面所生長的鹽草呈紅色，是咸味的。

沼澤，就是我們所說的泥塘地，是不能為人類服務的。我

們要想利用这样的土地，首先就得想办法把地下水赶走，讓地下水水面下降，才能使湿泥塘重新变为良田沃野。

要想在需要水的地方找到水，在討厭水的地方防止水，使地下水乖乖地为人类生活和生產建設服务，滿足人們的需要，这就要求我們很好地去研究地下水。

二 地下水是从哪里來的

人們会問：地下水是从哪里來的？

在很早以前，人們从泉和井的現象中，就知道地下有水，但是却沒有人知道它是从哪里來的。

我國古代的人以为泥土可以变出水來，是“五行相生”^①的結果；由于地下水有时略帶咸味，也有人以为它是从遙远的海洋里流來的。

地下水到底是从哪里來的呢？

要想清楚地了解地下水的來源，我們有必要先了解水在自然界里的情况。

水在自然界的分布非常广泛，翻开世界地圖，可以看到大部分面積是淡藍色的，大陸和島嶼只占地球总面積的 29%，其余的 71% 都是海洋、湖泊和河流。

水不僅存在于地球表面上，它还以水汽、雪片和雨滴状态漂浮在大气中。在大气的最底層，距地面 10—15 公里的对流

① 所謂“五行”指金、木、水、火、土。五行相生即五行可以互变，土也可以变成水。

層中，是經常有水汽存在的。

此外，還有大量的水埋藏在地下。據估計，地下水能夠存在的最大深度，一般約為 13—14 公里；在更深的地層中，還可能有氣體狀態的水存在；到 55—60 公里深处，水才不再存在。

自然界究竟有多少水呢？

要正確地回答這個問題是困難的。蘇聯科學院院士維爾納德斯基曾經估計過，他提出了下面的數據：

地表水	1,390,751,200 立方公里
地下水	400,000,000 立方公里
大氣水	12,300 立方公里

整個地球上的水量約為 18 億立方公里。

這麼些水，如果聚成一個大的水球，它的直徑將有 1,700 公里；如果平鋪在地球表面，那麼遮蓋在地球表面上的水，將有 3,500 公尺深。

地表水、大氣水和地下水，它們並不是孤立存在、彼此無關的；除去極小部分的水（如深藏在海底的冷水層）以外，它們都在無休止地運動着、變化着：地表水受熱蒸發，變為水汽，水汽被上升的氣流帶到空中，因溫度降低，凝結為極細的水滴——云，云再變成雨、雪、冰雹，降落地面。

雨水降落地面以後，大概有三種歸宿：一部分從地面、水面或其他承接雨水的表面，重行蒸發，回到空中；一部分順着地面流動，匯集到江河里，送回海洋；還有一部分則通過土層孔隙和細小裂縫，滲透到地下，成為地下水。

雨水能夠滲透到地下，這事實我們在生活中也能體驗

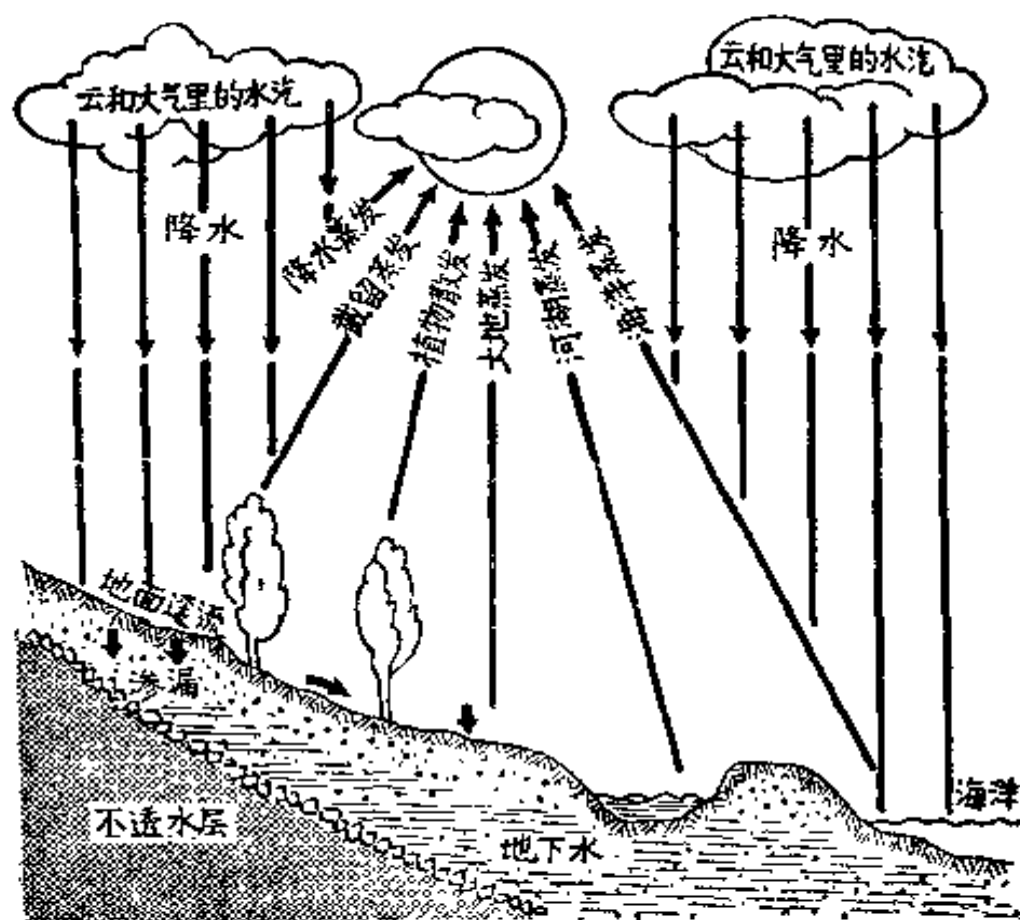


圖 1 自然界水的循环。

到。一場大雨之後，地面上積了很多水，但這些水很快就消失了，它的一部分就是滲透到地下去了。至於滲透量的多少，跟降雨的緩急、地面坡度的大小以及岩石的性質、植物被復的情況等都有關係。如果是急雨降在傾斜度大的堅硬地面上，而當地又沒有植物被復的話，滲透量就少，反過來，滲透量就大。

雨水渗透到地下,可以形成地下水,但不是地下水的全部来源,因为有相当数量的地下水没有任何资料可以表明它是由雨水渗入地下而成的,如苏联克拉斯诺沃得斯克附近的情况,就是这样。

克拉斯諾沃得斯克位于里海沿岸的沙漠地帶，那里气候

干旱，雨水稀少，特别是在夏季；可是那里却有相当丰富的地下水。我們試想：这里的地下水是哪里來的呢？要說是雨水滲透而成的，决不可能那样丰富，因为当地几乎整个夏季都不下一滴雨；要說是里海的水滲透而成的，那么水里多少應該帶有一点咸味，但事实上，当地水井里的水都是淡水。

这到底是什么原因呢？

苏联学者列別捷夫所進行的实验和野外实际观测証明：水汽在土壤層里直接凝結也能形成地下水。

当土壤冷于空气的时候，進入土壤中的比較温暖的空气里的水汽，就在土壤的微粒上凝結起來。这种现象，特別广泛地分布于草原、半沙漠和沙漠地区。在这些地区經過这种方式而獲得的水，比大气降水还多 10—25%。

列別捷夫的学說，回答了我們前面所提出的問題，并使我們明白了为什么在大气降水量很小而蒸發量很大的沙漠地区，还能有地下水。

此外，还有一部分地下水，它既不是大气降水滲透到地下而成的，也不是水汽在土壤層里凝結而成的，而是直接由岩漿中分离出來的氣體化合而成的。

在地壳深处，由于溫度高，以致岩石呈一种熔化的、流动的漿液状态，叫做岩漿。由岩漿中分离出來的氫，一碰到氧就化合成水汽，当岩漿冷却后，水汽就凝結成水。这种水常常含有大量礦物質和气体，并且可以找到某些稀有元素的痕迹。人們認為礦泉就是这种水流出地面而形成的。

三 岩石和地下水的关系

地下水主要儲藏在岩石中。

在野外，我們到处都可以見到許多不同形狀、不同顏色的岩石：有的兀然独立成为山峯，有的平鋪在溪流谷底；有的是堅實硬塊，有的則成層堆疊。它們的形狀不同，性質不同，出身也不同。

根据岩石生成的原因，我們可以把地球上所有的岩石分成三大类：火成岩、沉積岩、變質岩。

火成岩是由岩漿冷凝而成的。在地壳深处，溫度很高，岩石都熔融成为岩漿。那里的压力也很大，岩漿被擠得緊緊地，不可能是液体状态，而是一种可塑的近乎固体的状态。这时只要压力一松，就馬上变成液体。所以如果地壳有了裂縫，过热的岩漿便会沿裂縫上升，同时迅速变为液体，体积也大大地增加，發生很大的力量，把地表挤裂，岩漿便噴發出來，形成了火山。火山噴發出來的熔岩，冷却后成了致密狀或泡沫狀結構的岩石，这种岩石叫做噴出岩。

有的时候，岩漿沒有到达地球表面，就在地球表面下比較深的地層里冷却了。在深处，岩漿的冷却進行得非常緩慢，并且往往是在高压下進行的。在这些条件下，由岩漿游离出來的礦物就形成晶体，使岩石具有粒狀或結晶狀構造，这种岩石叫做侵入岩。

此外，还可能有这样的情形：就是当岩漿在地壳的上層部

分裂縫里冷却时，形成岩脈。在裂縫里岩漿的冷却虽然比地球表面要慢些，但是比在深处冷却还是快的。裂縫里的压力又比深处压力小，結果生成的岩石既象侵入岩，又象噴出岩，它們一般都有斑狀結構。这种岩石叫做岩脈岩。

常見的火成岩中，如玄武岩、流紋岩、安山岩等都是噴出岩；花崗岩、閃長岩、輝長岩等都是侵入岩；石英斑岩、輝綠岩等都是岩脈岩。

岩石暴露在空气中，因为溫度变化剧烈，尤其是大陸性的

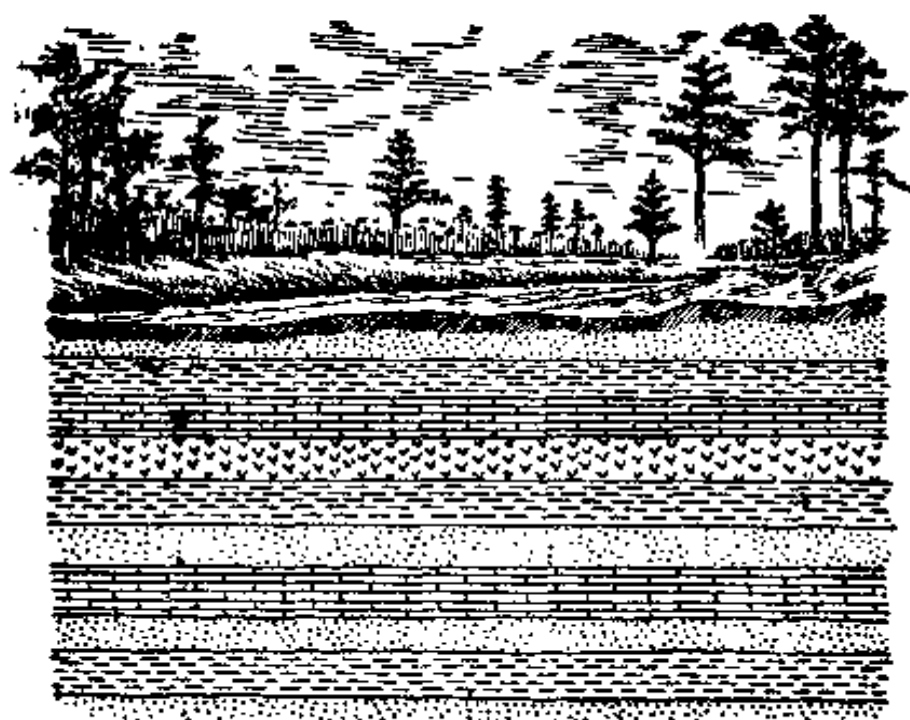


圖 2 成層堆積的沉積岩。

气候，白天和黑夜溫度相差几十度，加上風雨侵蝕，以及其他种种复雜的化学作用、机械作用和生物作用，使岩石逐漸發生風化。風化后岩石的碎塊和泥沙，經過雨水的冲刷，被帶到山麓、河边、湖濱，最后到海灘。这些石塊、細砂和泥土，沿路沉積下來，成为層狀的沉積物。一方面从高山往下搬，另一方面在

低窪的地方沉積，沉積下來的物質，經過長期的壓力和膠結作用，就變成了岩石。這種岩石叫做沉積岩。

常見的沉積岩有礫岩、砂岩、頁岩、石灰岩，還有那些沒有膠結的礫石、砂和粘土，也屬於沉積岩。

火成岩和沉積岩，在高溫高壓的作用下，改變了它原來的結構，生成一種新的岩石，叫做變質岩。

常見的變質岩有片麻岩、片岩、石英岩、大理岩等。

火成岩和變質岩，雖然並不是絕對乾燥，但一般含水不多，只有在受了風化作用或其他原因而分解或破裂，產生很多裂隙時，才含有較多的水。花崗岩分解之後，可以含有豐富的水。英國康瓦爾有幾個城市，就靠開在花崗岩中的水井取得用水的；石英岩、大理岩、板岩及玄武岩，因為常有比較發育的節理，也常含有相當的水量；片麻岩和片岩，除非經過非常劇烈的分解作用，否則含水是不會多的。

一般說來，沉積岩是含水最豐富的岩石。在石灰岩、礫岩、砂岩和礫石、砂子中都含有大量的水。但也並不是所有的沉積岩中都有許多水，在頁岩和粘土中，含水就很少。

為什麼有的岩石中含水多，有的岩石中含水少呢？這是因為各種岩石的孔隙度不一的緣故。

所謂孔隙度，就是一定體積的干岩石中孔隙體積和岩石總體積的比。它的值通常都用百分數表示。

我們舉一個例子來說吧：把 1 公升（1,000 立方公分）的干砂裝在一個容器里，然後用量杯慢慢加水，一直加到所有的砂子都呈現浸水狀態為止。假如到這時候我們倒進去的水是 300 立方公分，那麼砂的孔隙度就是 300%，也就是 30%。

經過測定，幾種主要岩石的孔隙度大致如下：

岩石種類	孔隙度 %
花崗岩、片麻岩、石英岩、輝長岩、輝綠岩等	<1
石灰岩、大理岩	1—8
砂岩	10—15
礫石	27
粗砂	40
細砂	42
亞粘土	47
粘土	50
泥炭	80

岩石的孔隙度和岩石的組織有密切關係。凡是組織疏松的岩石，孔隙度就大，組織緊密的岩石，孔隙度就小；顆粒粗而均勻的岩石，孔隙度就大，顆粒細而不均勻的岩石，孔隙度就

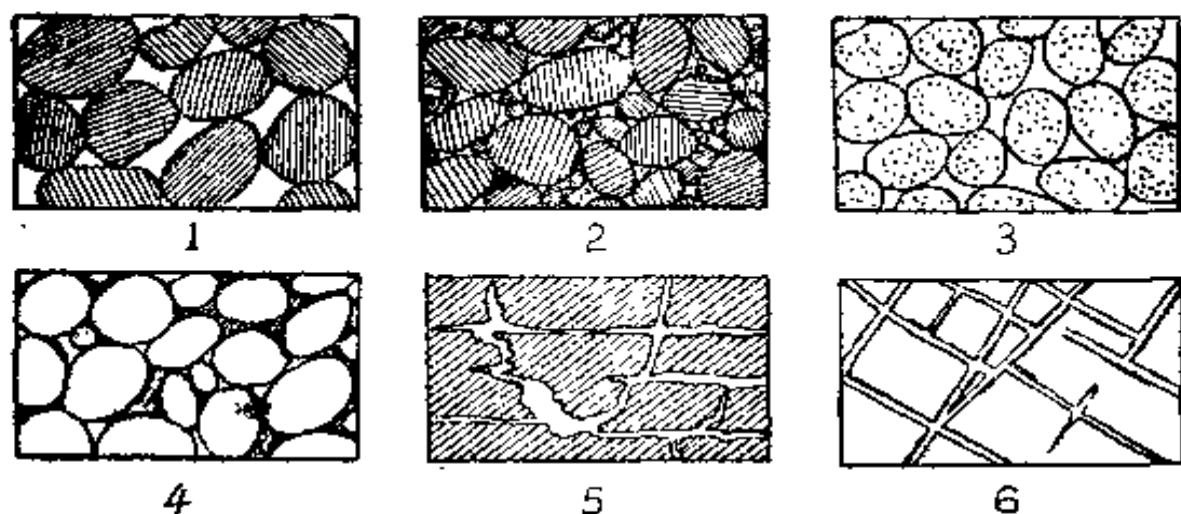


圖3 岩石的孔隙度。

- | | |
|----------------|----------------|
| 1 顆粒粗而均勻的孔隙度大 | 2 顆粒細而不均勻的孔隙度小 |
| 3 顆粒均勻而疏松的孔隙度大 | 4 已經被膠結的顆粒孔隙度小 |
| 5 由于岩石溶解所成的孔隙 | 6 由于節理或裂隙所成的孔隙 |

小。如果顆粒已經被膠結，孔隙度就更小。

岩石愈近地表，因受風化作用較深，孔隙度也就較大；愈到深处，受風化作用愈輕，所受压力則愈大，因此孔隙度就逐漸減小。在深礦井中，上部多水，而下部却很干燥，就是这个道理。

大雨之后，地面上的水所以能够滲透到地下，也是因为地表岩石存在着孔隙。

由于各种岩石的孔隙度不一样，因此它的透水性也就不一样。一般說來，孔隙度大的岩石，透水性也强；孔隙度小的岩石，透水性也弱。

根据透水性的强弱，人們把岩石分做透水的、不透水的和半透水的三类。凡地下水能够比較暢通地流过的岩層，叫做透水層，如礫石、砂和有裂縫的岩石是；地下水难于通过的岩層，叫做不透水層（也叫隔水層），如粘土和無裂隙的岩石是；介于透水和不透水兩者之間的，叫做半透水層，如黃土和一些多孔性的砂岩、石灰岩是。

在这里，大家会產生一个問題：粘土的孔隙度很大，为什么不是透水層，反而成了不透水層了呢？原來透水性的大小，不光决定于孔隙度的大小，还和每个孔隙直徑的大小有关。有时候，孔隙度虽然很大，但是它的每个孔隙直徑都只有針尖那么大，那还是透不了水的。粘土所以不透水，就是因为它的孔隙过小，水分充滿着粘土的毛細孔隙，很难透过去，所以就成了不透水層。

四 地下水的活动

我們俯身看一看水井，水面映出自己的身影，似乎是平靜不動的；把耳朵貼近鑽孔口留神听一听，也听不清水流动的声音。可是泉水却日夜不息地往外淌，自流井也一刻不停地往外噴。人們会問：地下水究竟是象地面江河那样在流动，还是靜悄悄躺在地下的呢？

事实上，地下水在大多数情况下是流动着的，僅僅在少有的情况下才停着不动。不过地下水流动的速度不一样，有快有慢。我們从含水層中取出水时，水在含水層中的运动就要加速，而原來靜止的水也要开始奔流起來。

地面江河的水都是流动的，象長江黄河直瀉千里，小的溪川也还是無拘束地流向前方；然而地下水却不能如此“豪放”。因为地下水不見天日，是在土壤岩石的孔隙，也就是在土壤岩石各顆粒間的空隙以及裂隙或洞穴里面流，所以地下水的流动特性就要受土壤岩石性質的控制。而土壤岩石中孔隙的大小和形狀却是各种各样的。根据岩石的孔隙度可以看到兩種地下水流：一种是小孔隙中的水，它和在相互平行的細管中的水一样，流动得很平穩，不打渦漩，这种速度不大的水流叫做“層流”；另一种是在顆粒和裂隙粗大的岩層中所產生的，它的流速比較大，并且有渦漩，叫做“紊流”。

在討論地下水的活动时常常提出“滲透系数”（一般用“K”來表示）这个概念。滲透系数是个相当重要的常数，用來

表示岩石土壤的透水能力。我們說某一种岩石的滲透系数大，就是說这种岩石容易透过水。以往曾經認為滲透系数只决定于岩石的特性，后来經研究証明，滲透系数还决定于液体本身的特性：液体的濃度和粘性越大，滲透系数就越小，例如石油的滲透系数在其他条件都相同时，始終比水小。

在討論地下水活动时也提到“滲流速度”（用“ V ”來表示）。滲流速度是把水看作通过整个水的断面，即通过岩石顆粒間的透水孔隙，也通过不透水的岩石顆粒，象在水管里那样流动。实际上，水只能鑽空子，怎能通过不透水的岩石顆粒呢？由此可見，“滲流速度”顯然不是地下水在孔隙中的实际流速，而是理論上的假想数值。

地下水实际流速（ u ）和滲流速度（ v ）之間的关系，可用 $v = u \cdot n$ 这样的式子來表明。我們根据試驗和公式算出滲流速度以后，除以孔隙度（ n ），便可求得实际流速是多少。反过來，也能由实际流速求得滲流速度。例如根据在野外实际測定結果，知道地下水在砂中的实际流速是每晝夜 10 公尺，而砂的孔隙度已知为 0.3，水的滲流速度就是：

$$v = 10 \times 0.3 = 3 \text{ 公尺/晝夜}$$

在自然条件下流量用立方公尺/晝夜、立方公尺/时和升/秒表示，滲透系数用公尺/晝夜、公尺/时和公分/秒表示。

当水的滲流速度很大时，不能应用層流运动的公式——达尔西公式①。根据苏联学者的資料，在地下水实际流速約小

① 达尔西公式是当地下水呈層流状态运动时所用的公式，这个公式指出：地下水的滲流速度和它的水力坡度一次方成正比；如果水力坡度等于 1，則滲透系数就和滲流速度相等。

于1,000公尺/晝夜时,都可采用达尔西公式來計算。从現代科学知識所了解到的,在砂中和碎屑岩石中的地下水实际流速,远远不能达到这个数值。所以达尔西公式在大多数情况下都适用。一般在沉積岩層中水的流速要小得多,例如在砂岩中为每晝夜几公尺或几十公尺,很少能达到几百公尺;而地面的水流,一分鐘內就可以流出几十或几百公尺。地下水在自然界超过1,000公尺/晝夜的速度極少見,僅在喀斯特化岩層發育的地区,在粗粒碎屑岩石和礫石層中才能遇到。在这样的岩石中的水流就屬於紊流了。

在紊流狀態下,我們采用另外一种叫做哲才公式^①來計算。

滲透系数这个值既然很重要,我們怎样來測定它呢?方法是很多的。我們可以利用从野外地段取來的岩样或砂样在實驗室測定。例如我們讓砂样通过篩眼直徑大小不同的一套篩子,过完篩后就能知道直徑多大的砂子占多少,这种方法叫顆粒分析。根据顆粒分析的資料,能求得滲透系数的近似值。通常是在野外采取土样,把它送到實驗室里,用奇姆仪、卡明斯基仪等專門的仪器來測定的。

在水文地質实际工作中,常常要在天然条件下測定滲透系数。方法是由大井和鑽孔中抽水,往鑽井里注水和把水注入試坑等。这样測得的結果要精确一些,因为岩石和土壤的天然結構沒有遭到破坏,自然能反映出岩石的真實透水性。

① 哲才公式是当地下水呈紊流狀態运动时所用的公式,这个公式指出:在地下水呈紊流狀態运动时,滲流速度和水力坡度的平方根成正比。

在既沒有篩子、也沒有現成儀器、又缺乏在野外進行抽水
和注水的一套工具時，可以根據下面的經驗數字大致了解各
種岩石和土壤的滲透系數：

良透水岩石(礫、砂、具有大溶洞的岩石)	>10 公尺/晝夜
透水岩石(砂、具有裂隙的岩石)	10—1 公尺/晝夜
半透水岩石(泥灰岩、砂岩)	1—0.01 公尺/晝夜
劣透水岩石(亞砂土、亞粘土)	0.01—0.001 公尺/晝夜
不透水岩石(粘土等)	<0.001 公尺/晝夜

總之，研究地下水的運動是很有趣的。掌握了地下水的運
動規律，就可以利用和控制地下水，使它造福於人類。

五 地下水的性質

地下水的性質隨着它的形成條件和所處環境的不同而有
差別。

地下水的性質決定於它的物理性質和化學成分。在研究
地下水的時候，必須充分注意地下水的物理性質和化學成分。

地下水的物理性質，如顏色、氣味、味道、透明度和溫度，
都是比較容易測定的。

純淨的水，一般是無色的。有時候我們見到的地下水帶有
某種顏色，是由于含了某些雜質的緣故，比如含有鐵質的地下
水帶黃褐色；地下水本來是沒有氣味的，有時候發出一股特殊
的氣味，是由于某些植物枝葉腐朽或者某種化合物滲入的緣
故，比如含有硫化氫的地下水具有臭蛋的氣味；地下水本來

是沒有味道的，有時候帶有某種味道，是由于有某種一定含量的化合物而產生的，比如含氯化物在 0.3 克/公升時，就會帶些咸味；地下水本來是透明的，有時候呈渾濁狀態，是由于其中存在着懸浮顆粒的緣故。地下水的這些性質，憑我們的感官或其他簡單的方法就可以辨別出來。至于地下水的溫度，它常常影響地下水中鹽類和氣體的含量。在測定地下水溫度的時候，也只要有一個溫度計就可以了。

難于測定的是地下水的化學成分。

地下水有着很複雜的化學成分。這些化學成分或者以氣體狀態存在，或者溶于地下水中。在地下水中最常見而且對水的性質意義最大的有氫離子 (H^+)、鈉離子 (Na^+)、鉀離子 (K^+)、銨離子 (NH_4^+)、鎂離子 (Mg^{++})、鈣離子 (Ca^{++})、鐵離子 (Fe^{++} 或 Fe^{+++})、氫氧離子 (OH^-)、氯離子 (Cl^-)、硫酸離子 (SO_4^{--})、重碳酸離子 (HCO_3^-)、亞硝酸離子 (NO_2^-)、碳酸離子 (CO_3^{--}) 以及未分解或極少分解的化合物如三氧化二鐵 (Fe_2O_3)、三氧化二鋁 (Al_2O_3) 和氣體氮 (N_2)、氧 (O_2)、二氧化碳 (CO_2)、硫化氫 (H_2S)、甲烷 (CH_4) 等。

當需要我們確定某一個地方的地下水能否作為某種工業用水或飲用水時，我們怎麼辦呢？

沒有簡單的方法可以正確地測定地下水的化學成分。最好的辦法就是取幾個水樣，送到化驗室，請化驗員作化學分析。

地下水化學分析的項目，應該根據具體需要來決定。在一般情況下，常需要分析鈉離子 (Na^+)、鉀離子 (K^+)、鈣離子 (Ca^{++})、鎂離子 (Mg^{++})、重碳酸離子 (HCO_3^-)、氯離子 (Cl^-)、

硫酸离子 (SO_4^{2-}) 的含量, 并确定水的酸碱性反应 (pH)、硬度以及有机物、干固残渣的含量。

应该特别注意的是取水样的方法。如果水样取得不好, 分析所得的结果也就不可能是正确的。一般取水样应该用洗得很乾淨的硬質玻璃瓶, 取好之后馬上就加蜡密封瓶口, 并在短時間內送到化驗室。至于水样的分量, 应根据分析的項目而定。通常情况有 2—4 公升就足够了。

不同用途的水, 对水質要求也不同。

对于飲用水來說, 一般應該是透明沒有臭味的淡水, 水溫不宜超过当地的平均气温, 沒有被有机質污染, 而且不含銅、鉛、鋅、砷、氟等对人体健康有害的物質。此外, 含鹽量也应有一定限度。

被有机質污染的地下水, 有的呈黄綠色, 有的呈淡褐色。根据化学分析的结果, 我們可以正确地判定地下水是否已被有机質污染。一般說來, 如果地下水中含有氨、亞硝酸、硫化氢等, 就証明已經被污染, 不宜作为飲用水。

飲用水的含鹽量, 一般不应大于 1 克/公升, 硬度不应超过 40° 德國度 (14.3 毫克当量)。水中氯化物的含量不应超过 0.3 克/公升, 否則就有咸味; 如含有硫酸鹽或鉄的化合物, 將會發出一种令人討厭的气味。

评价飲用水的标准, 各地不尽相同。在干旱地帶, 常常使用含鹽量超过以上标准的水。如在非洲的撒哈拉大沙漠, 含鹽量达 0.9 克/公升的水, 居民还隨便飲用; 至于馬匹、駱駝和驢所賴以活命的飲水, 含鹽量甚至在 2.6 克/公升以上。

用來灌溉農田的水, 也有一定要求; 如果不加選擇, 用了

不好的水灌溉，不但妨礙植物的生長，而且往往把好地變成無法耕種的鹽鹼地。

根據蘇聯學者的實驗，灌溉水的含鹽量最好在 1.1—1.7 克/公升範圍內。如果含鹽量達到 1.7—3 克/公升，就應該詳細地進行化學分析，以檢驗水中各種鹽類的含量。一般說，灌溉水碳酸鈉的含量應小於 0.1 克/公升，氯化鈉的含量應小於 2 克/公升，硫酸鈉的含量應小於 5 克/公升。鈉鹽和氯化物是最有害的鹽類，而石膏、碳酸鈣、碳酸鎂等則是為害不大甚至無害的鹽類。如水中含鹽量超過 3 克/公升，就不宜灌溉田地。

至於工業用水，幾乎各種類型的工業都有它自己對水質的特殊要求。如造紙工業用水不宜含鐵質，否則會使產品呈現黃色的斑點；毛織工業用水不宜含鈣質和鎂質，否則會使產品變脆變硬；制糖用水含鹽量不宜過大，否則就不易結晶；制酒用水要求不含有機質及有害礦鹽，否則就會影響酒味；鍋爐用水不宜含氯化物和硫酸鹽，因為這些物質能促使鍋爐壁生鏽；……不管什麼工業用水，有一點要求幾乎是共同的，那就是它們都要求用硬度小的水。因為如果採用硬水，在蒸氣鍋爐內壁就會形成硬的水垢——鍋垢，這將降低鍋爐壁的傳熱性，並過多地消耗燃料；在制革生產中，硬水會過多地消耗鞣革材料；在紡織生產中，硬水會降低織物的質量，並使織物難以染色。

來自不同岩性的含水層中的地下水，它的水質也常有明顯的差別。一般含於礫石中的水可能很硬，並帶有微量的硫化氫；含於砂層中的水往往是非常純潔的，偶而也含少量鐵質；含於石灰岩、白云岩中的水，幾乎總是硬水，而含於花崗岩、石英砂岩中的水，則常常是非常純潔的軟水。

六 地下水的分类和地下水面 以上的水

美丽的大自然以绝妙的景色吸引着游人。山间小溪，水声潺潺，清澈透底；奔腾的江河，水势滔滔，掀起浊浪；瀑布由山巅直泻而下，响彻山谷；湖水沉睡在大地，水面平静如镜，而辽阔的海洋则碧波万顷，水天一色……地表水的形式是如此的多种多样。地下水也不例外，所不同的只是它埋藏在地下土壤岩石中而已。

我們能看到地下河，急湍的水流打着渦漩由石灰岩洞口涌流出來。有时正在一个地方打鑽，突然从鑽孔里面噴出水來，而且噴得好高，水花翻騰。一般挖井挖不多深，就看到土層越來越湿，終于見到了水。在屏巒疊翠的高山上，水沿着岩石裂縫淌了出來。礦工們在地下坑道掌子面上發現了溶洞以后，似乎有無窮無尽的水从黑黝黝的洞內涌出，轉眼之間水淹沒了坑道。人們对泥塘地發生疑問，为甚么泥塘的水就滲不下去呢？植物生根、發芽、結实要吸收大量的水分，它吸收的是甚么水？

地下水儲聚流动在土壤、岩石中。土壤、岩石本身的埋藏情况極不一致，因而也賦予了地下水以不同的特性。僅僅得到一个籠統的“地下水”的概念还是不够的。我們必須辨認和掌握各种类型地下水存在和活动的特点，否則就不能很好地解决國民經濟各部門所提出來的实际問題。

地下水有哪些种类,学者們各有一套分类方法。有人根据埋藏条件把地下水分为疏松的孔隙沉积物中的水和坚硬岩石裂隙、喀斯特溶洞中的水。有人根据地下水受不受压力把它分为無压水和承压水。或者是根据温度分为低于 20°C 的冷水、 $20^{\circ}-50^{\circ}\text{C}$ 的溫水和高于 50°C 的热水。也有人按水的化学成分划分出淡水、微咸水、咸水和鹽水这四种水。

比較通用的是苏联学者欧維奇尼柯夫和克利門托夫的地下水分类。他們所考慮的因素就多了。地下水埋藏在哪里?是不是在它分布的地方得到补給? 受不受压力? 地下水的水位、水溫、水質、水量随時間發生变化的規律如何? 地下水是怎样形成的? 这种水对人类的生活与建設有什么关系? 他們根据这些标准把地下水基本上划分为三种类型: 包气帶水(即地下水面以上的水)、潛水和自流水(見“地下水分类一覽表”)。

圖 4 清楚地表明了这几种水的分布情况。靠地表最近、在

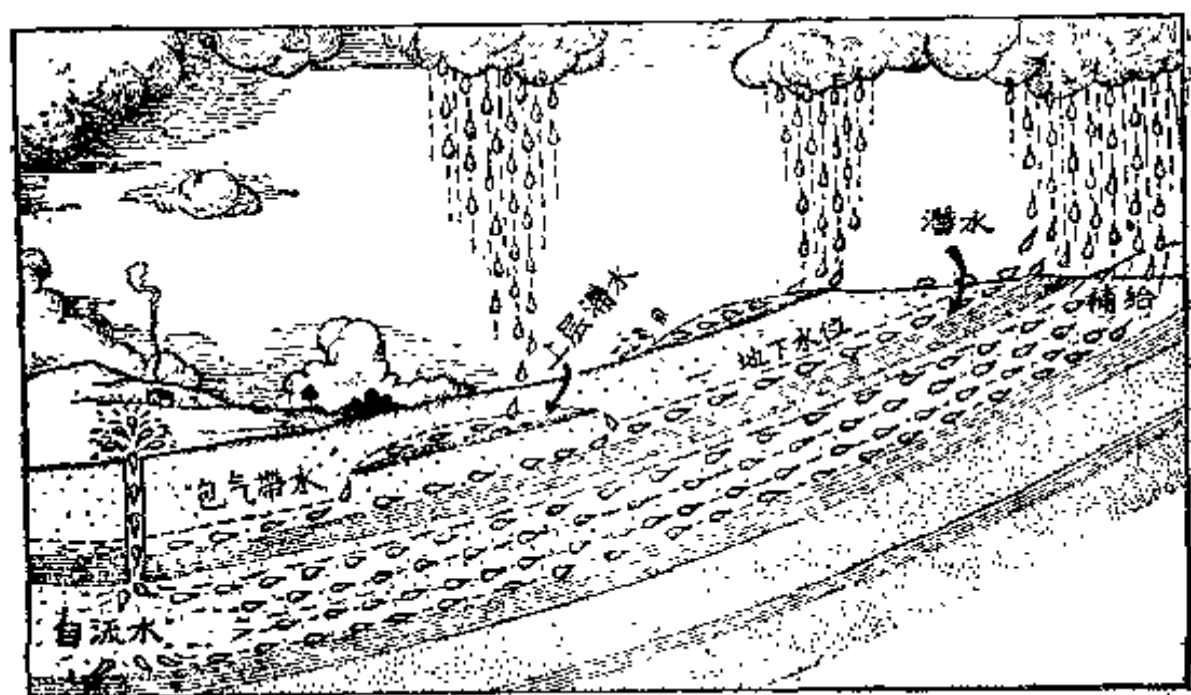


圖 4 几种类型地下水的分布情况。

地下水分类一覽表

地下水的基类型	水压的性质	地下水的类型	補給区和分布区的关系	动态的特点	成因	在國民經濟中的应用
地下水面以上的水	無压水	沼澤水 土壤水 上层滯水 鹽鹼土水 多年冻結区活 动层水	補給区和分布区一致	一般为暂时性水。	基本上是渗透的，局部可能是凝結的。	对農業的意义最大，但有时也用于小型企業的季节性供水。
潛水	通常是無压水	现代和古代河谷冲積潛水 冰川沉積潛水 坡積層、洪積層和其他复盖層水 草原沙漠和半沙漠水 砂質海岸水 山区水		水位升降决定于地表水分的滲入，地下蒸發，并在某些地方决定于水压的傳遞。		用于供水，有时也用来灌溉。
自流水	承压水	層間承压水 (其中包括油田水、冻結層水、礦水)	補給区和分布区不一致	水位升降决定于水压的傳遞。	渗透的和海成的。	淡水可用于供水，高礦化水可采取鹽类及一些其他的元素，礦水可作医疗用。

土壤未被水飽和的地帶，就是包氣帶里面的水，叫做“包氣帶水”。“潛水”是埋藏在地下第一層不透水層上面的無壓水。我們挖坑時在不深地方所見到的水常常就是這種潛水。潛水水面以上土層發濕或者水淋淋的，就是由於含有包氣帶水的緣故。“自流水”是上下受不透水層限制的完全充滿水的含水層的水。顧名思義，自流水之所以“自流”，一定得受壓力。噴水的形成就是由於鑽孔打到自流水層。不過自流水只是表示承压水的一個名稱，並不見得所有自流水都能流出地面。如果埋藏在不透水層中間的含水層沒有被水充滿，就叫做“無壓層間水”。

地下水存在和活動於含水層中。究竟什麼樣的岩層算是含水層呢？看起來很簡單。水從地面往下滲，遇到不透水層就再也滲不下去，只得在不透水層上面積聚起來，充滿了不透水層上面岩土顆粒與顆粒間的空隙，因而產生了飽含水的一層岩石。我們似乎就可以把這一層岩石叫做含水層了。事實上，含水層不但充滿水，而且能把水排出去，能出能入。我們不能把那種排不掉所含的水，以及能阻礙水向各個方向流動的岩層也叫做含水層，因為從含水不含水這方面來說，它和裂隙不發育的致密岩石和其他非含水層是沒有多大區別的。

有人把裂隙水和喀斯特水單獨劃分出來。其實，地下水不論存在於裂隙中也好，存在於喀斯特洞穴中也好，凡承受壓力的就列入自流水，不承受壓力的就列入潛水。

包氣帶水包括沼澤水、鹽鹼土水、多年凍結區活動層水、土壤水和上層滯水這幾種水。

沼澤水見於沼澤地帶。有沼澤水的地方說明地下水面已

高过了地表。水中常常含有大量有机物。这种水是渗不下去的,因为土层已经完全被水饱和了。我们要用人工的方法才能把沼泽水排干。

鹽鹼土水見于土壤鹽鹼化区域,水的礦化度很高。在夏天烈日炙晒之下,这种水就沿毛细管上升至地面。水分蒸發掉了,水中的鹽分就聚存在土壤表層。

在冰天雪地、气候酷寒的多年冻结区,埋藏着冬天冻结夏天融解的活动層中的水。它和冬季土壤的变形有很大关系。居住在北方的人,常常可以看到冬天地皮会鼓起来。这种鼓起是由于这層水结冰,产生压力造成的。如果这層水距地表很近,就会冲破地表流到地面上,冻成大馒头状的丘形冰堆。

存在于包气带土壤中的土壤水,不能用打井的方法把它取出来。因为其中的重力水都在重力作用支配下移动到下方了。但是这种水能影响农作物的生长,在农业上意义很大。如果在作物生长期土壤水量丰富,便可能有好收成;如果土壤水量不足,便可能歉收。不过土壤中的水分过多也不好,因为这会使植物得不到足够的空气。

土壤水靠大气降水和凝结水来补给。在大气降水向地内渗透过程中,有一部分水保留在潜水面以上的土壤層中,一部分则成为“过路的客人”,一直往深处渗透,达到潜水面,补给了潜水。

在土壤層中有吸着水和薄膜水^①。这两种水紧紧地包着

① 吸着水是以單分子層包圍着土壤微粒,与土粒緊密地結合在一起。它不能补給植物,因为植物的根沒有力量使它离开土壤微粒。只有高温(105°C)才能將吸着水排出土壤。薄膜水是以薄膜的形态圍繞着土壤顆粒,只有厚的薄膜水的外層,水才能补給植物。

土壤顆粒。此外還有毛細管水^①。把毛細管水保持在土壤中的毛細管力不大。所以當植物的根系達到毛細管水時，毛細管水便會讓植物自由吸收。

有時我們打井，打不多深就見到了水，可是沒有用多久，或是只把井壁圍砌起來正等着用時，井水就干了，於是不得不去尋找另外水源。過了一個時期，再來看這口井，却又有水了。這是甚麼道理呢？

這種埋藏離地面很近、分布面積不大並隨着季節時隱時現的水，就是上層滯水。被上層滯水所飽和的土壤層並不厚，一般還不到1公尺。圖4中已表示出上層滯水。

上層滯水可以在不同條件下形成。如果在大气降水由地表向下滲透的道路上，遇到了兩頭薄中間厚的粘土質透鏡體時，水就被阻擋在透鏡體的表面，形成暫時的不大的含水層。上層滯水也可以因水在透水性較上部岩層小的岩層上聚集而形成。由於一部分水逐漸下滲，一部分水被蒸發，這一層暫時聚集起來的水會逐漸消失掉。

有時在河流兩旁的階地上，城市里面被廢石堆所填平的低地，以及旧基坑等地，都能見到上層滯水。

我們根據地形很容易判斷甚麼地方能形成上層滯水，因而也就能大致知道在甚麼地方可以找到它。例如在陡坡上，由於存不住水，不利於滲透，不能形成上層滯水。即使能形成很薄的一層，不久，也會流失。另外，在容易透水而不容易存水的岩石（如粗粒砂）和粘土層中，不易形成上層滯水。

① 毛細管水是土壤或土層很細的縫隙和管道中的液體水分。

毛細管水的移動是由毛細管作用力所引起。

上層滯水不一定都宜于飲用。一般在過度潮濕地區的上層滯水，水質比較好，是淡水。在干旱區域，則成為礦化程度很高的水。在有居民居住的地方，由于上層滯水距地面很近，會遭到強烈污染。

正由于上層滯水是暫時性的水，所以它沒有多大的開采價值，只能供鄉村居民應用。有時可用作小企業的季節性供水。在緯度較高的地方，春季融雪以後，上層滯水地區的水井中可以出現最大的水量。

總的來說，包氣帶水在水平和垂直方向移動的能力不大，沒有地下洪流，也不會直噴而出，然而却不能小看它。我們要使枯萎的庄稼抬頭，要在那汨汨作響的濕泥塘中疏干地下水時，就不得不衡量一下包氣帶水所起的作用。在缺水的地區，上層滯水更是可貴的臨時水源。

七 不承受壓力的地下水——潛水

在自然界，潛水是很常見的。我們平時口頭上所談的地下水，常常就是指這種潛水。

重力水在向下滲透過程中遇到不透水層——隔水層時，就形成了潛水。區別潛水有個很簡便的方法。在打鑽孔或挖井時見到水以後，用鉛鐘等測水位的器具把見水的深度測出來。如果過了一些時候潛水面並不升高，仍然保持原測深度，就可以初步証實這是潛水。這是由于潛水不承受壓力，具有自由水面的緣故。

潛水的表面叫做“潛水面”。平時我們把地表水的水面當作平面來看，其實潛水面卻是一個起伏不平的曲面。它通常起伏不大，并常常向附近的低窪地段，象河溝之類的一些地方傾斜。只有在平原區，潛

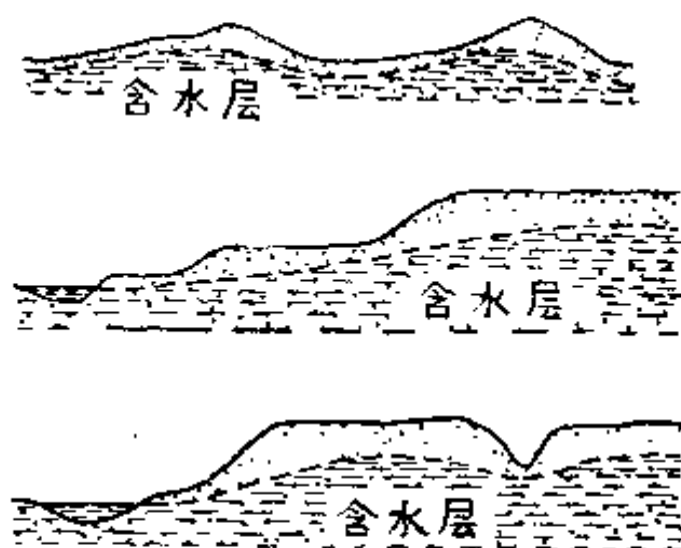


圖5 潛水面和地形的關係。

水面才近似平面。潛水面和地形的關係很密切。地形高起的地方潛水面凸起；地形低窪的地方潛水面凹入，只是潛水面比地形起伏要平緩些（見圖5）。一般在山頂上潛水面距地表的深度要比平原或低窪地段大些，因為高處的潛水總是要向四周低處流動的。

只有當潛水充滿在不透水層凹地中時，它的水面才可能是水平的。聚集的地下水并不運動，形成地下湖泊，我們稱之為潛水盆地（圖6）。如果不透水層是傾斜的，潛水必然要沿着不透水層向下坡流動，這就形成了潛水流（圖7）。



圖6 潛水盆地。

1—1'——地表面 2—2'——潛水面
3—3'——不透水層的表面

地（圖6）。如果不透水層是傾斜的，潛水必然要沿着不透水層向下坡流動，這就形成了潛水流（圖7）。

潛水在自然界分布最為廣泛，長期存在於各種地區。潛水也很容易利用，在農村中常開鑿一些淺井來吸取潛水；但埋藏

較淺的潛水易受污染，例如潛水井旁有糞坑，井里的水一定不好喝，不是苦就是咸。



圖7 潛水流。

潛水的主要補給水源是滲透的大氣降水。連綿細雨最有利于補給潛水。包氣帶土壤和岩層的透水性越好，補給的水量就越多。在寒冷的北方，冬季大雪紛飛，可是潛水得不到補給，因為只有在大地融凍及雪化成水以後才能滲入地內。

在山区，露水、霜和其他形式的降水也可能補給潛水；而在沙漠地區還靠凝結水來補給，例如蒸發度遠遠超過大氣降水量的蘇聯卡拉庫姆沙漠中，仍能見到濕的砂子，這種潛水就是由空氣中的水汽圍繞着冷砂粒凝結而成的。

有時候自流水也可以補給潛水。如圖8表示出自流水流入河谷沖積層。

潛水面的高度對海平面或某一個相對基準面來說，就得到潛水位的概念。常常看到從事地下水調查工作的人拿

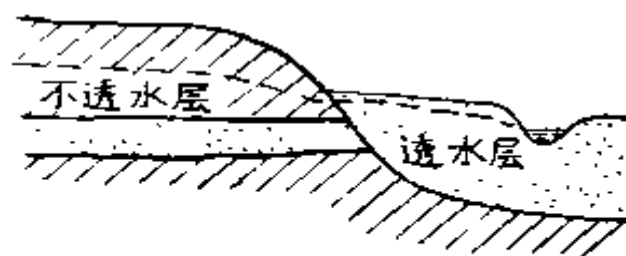


圖8 自流水流入河谷沖積層。

出一張叫做潛水等水位綫的平面圖。所謂等水位綫就是連接潛水位相等各點所得的綫。根據同時在很多鑽孔、試坑、水井和泉中所測出的潛水位資料，象畫地形圖那樣，可以畫出潛水等水位綫圖。這張圖在實際工作當中起的作用很大。因為看到這張圖，就能知道潛水的流向和坡度的大小。如果圖上畫有地

形等高線，還能知道圖上任何一個地方的潛水埋藏有多深，潛水面的形狀和地形有甚麼關係。這些資料都是很有用的。

和潛水等水位線垂直的方向，即為潛水的流向，因為地下水總是沿坡度最大的方向流動。圖9上的箭頭就表示出潛水運動方向。

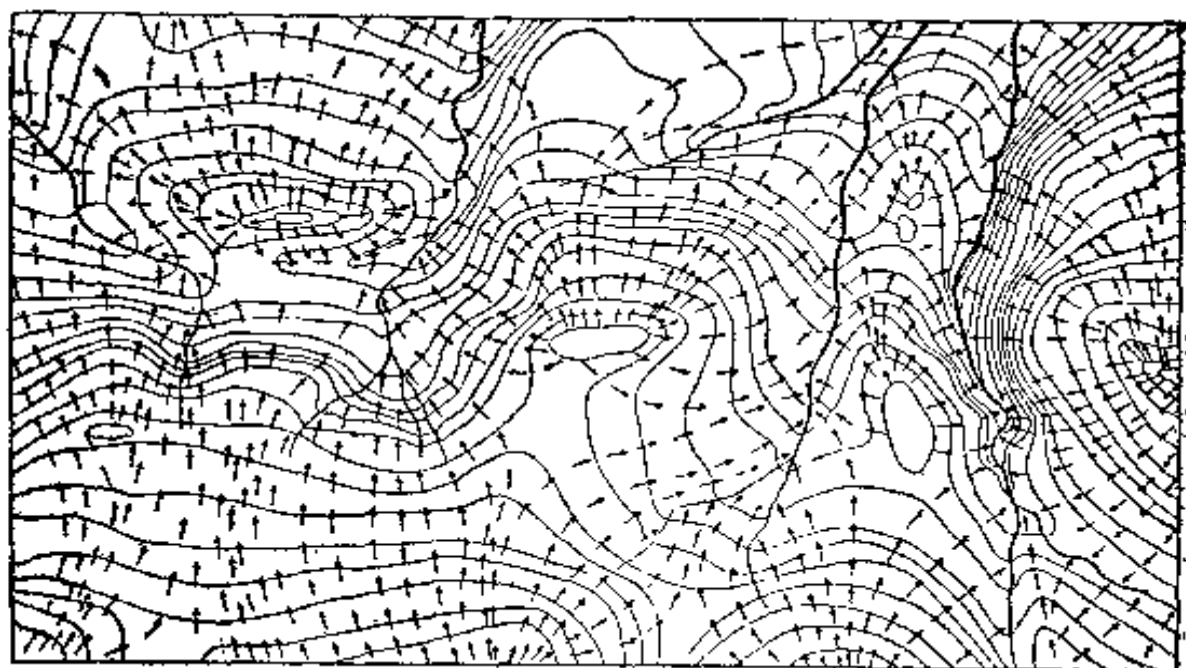


圖9 表示出潛水流向的潛水等水位線圖。

根據圖上的數值，很容易確定潛水面坡度和潛水埋藏深度。最高和最低兩根等水位線標高差被間距一除，就是坡度。而某一地點地形等高線和潛水等水位線標高的差數，就是潛水埋藏深度。

潛水面不是固定不動的，而總是升降不已。到了雨水充沛的夏季，如果岩層透水性良好，一陣暴雨過後，要不了多少時間，井中的水面便會上升。有時甚至蹲在井沿上就能舀上水來。到了干旱季節或冬季水面下降，得把轆轤搖一陣才能打上水。在氣候潮濕、雨量很多時，潛水面就能露出地表，造成濕泥

塘。

細心觀察河流附近的水井，會發現河水面上升時潛水面跟着上升，河水面下降時潛水面跟着下降。如果河岸附近的岩層透水性很弱而且厚度很大，那末河水面劇烈抬高了好几个月以後，潛水面才有明顯的上升。無論這個相應的變化是否遲鈍，我們可以得出結論說，河水與潛水之間是有關係的。

潛水與河流、湖泊、池沼等地表水流及蓄水池中的水是通常有聯繫的。可以看到這樣的規律，即在氣候濕潤的地區，潛水補給河水，而在氣候乾燥地區則剛好相反。在山區，情況就複雜一些。那里，河谷的一岸可以得到潛水的補給，可是另一岸河水却被排洩掉。也有的地方潛水和地表水不發生關係，例如在某些河谷，特別是靠近河床的部分，潛水和河水向同一方向流，誰也不補給誰。

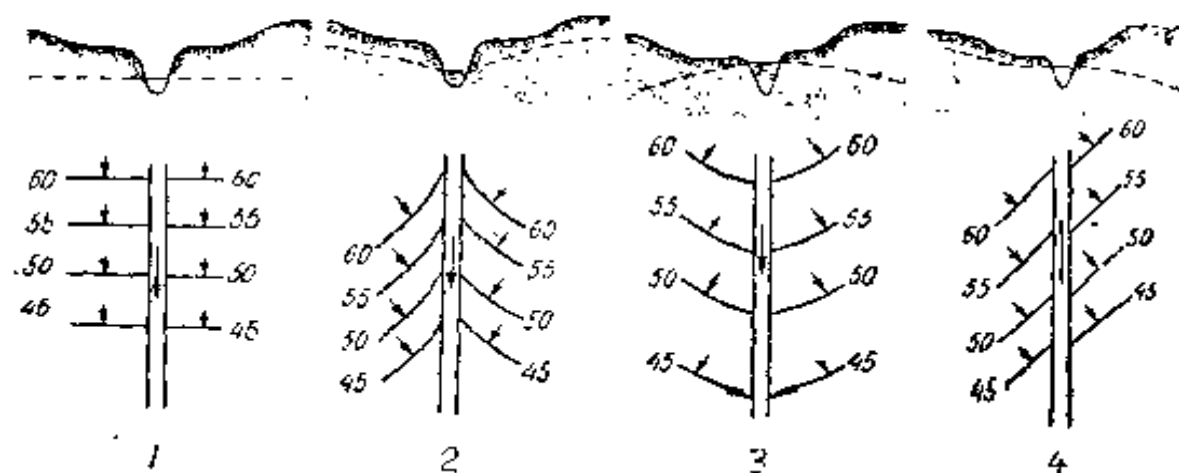


圖 10 潛水與河水的相互關係。

怎樣才能清楚判明河水和潛水的相互關係呢？我們可以利用潛水等水位線圖。如果在圖上看到等水位線橫切河床并無任何彎曲，即說明潛水與河水無關（圖 10 的 1）；如等水位線溯流向上彎曲，就說明潛水補給河水（圖 10 的 2）；如果等

水位線順流向下彎曲，就是河水補給潛水（圖10的3）；如果等水位線在河流的一岸溯流向上彎曲，另一岸順流向下彎曲，說明潛水在河流的一岸補給河水，另一岸則靠河水補給（圖10的4）。

由于研究地下水的科學越來越發達，在解決實際問題時，單單研討潛水的特性還是不夠的。人們對潛水的形成和分布規律也感到興趣。為了能抓住总的規律，了解大區域的潛水形成和埋藏情況，需要將潛水分帶。象在氣候方面按溫度分為寒、溫、熱帶那樣，把潛水按一定的條件也分成好多帶（省）^①。

根據東北地質學院劉國昌教授的劃分^②，在緯度分帶上，中國東部自北而南分為永久凍結省、中等濕度地區潛水省和潮濕地區潛水省。在經度分帶上，中國中部自東而西依次分為潮濕地區潛水省、半干燥地區潛水省和干燥地區潛水省。在中國的西部則主要為高山和高原區潛水省。

每個省里面的潛水埋藏深淺和水質好壞等都是我們關心的問題。劉國昌教授指出：在永久凍結潛水省山區中的水，埋藏較淺，為淡水；平原中的水，埋藏深淺不定，水多咸；在中等潮濕地區潛水省的山區中，水位一般較淺；平原中一般約4—5公尺（季節性變化較大），主要為淡水；在潮濕地區潛水省，山區中水位一般都很淺，礦化度低；在平原中，水位也很

① 這裡所說的“省”是地下水的形成和埋藏條件等基本上相同的一個大的區域，不是行政區劃的省。

② 劉國昌“中國區域工程地質學綱要”，“水文地質工程地質”1957年第3期。

淺，為淡水；在半乾燥區潛水省中，黃土中的潛水水位一般很深，達 50—80 公尺，且礦化度高而咸；在乾燥區潛水省的山區中，埋藏較深；在風砂堆積及平原地帶則潛水一般埋藏較深；在山間盆地及山前傾斜平原中，則潛水有按垂直方向分帶的現象，一般靠山麓埋藏較深且礦化度低；在高山及高原區潛水省中，高山區因排洩條件較佳，水位較深，水質較淡；而在高原區中因不能外洩，且氣候干寒，水位較深而礦化度高。

根據這樣一個分省情況，還可以看出一個总的規律，就是中國東部潛水，大體上自北而南水位有逐漸升高趨勢，礦化度有逐漸降低趨勢，即愈向南潛水埋藏愈淺，水質愈好。我們知道了上面分析的這個大致的輪廓以後，尋找和取用地下水就比較容易了。

總之，在我國，潛水廣泛分布于各個地區。從我們的祖輩到現在，一直在掘鑿淺井取潛水來飲用和澆灌田地。農民積累了豐富的打井經驗。在我國的黃土高原，雖然潛水埋藏很深，可是在很多地方，黃土潛水仍是供水的唯一來源，而且往往是灌溉水的水源。現在我國的水文地質工作者為了滿足國民經濟建設的需要，正在到處尋找地下的江河——潛水流。

八 承受壓力的地下水——自流水

到過內蒙古呼和浩特市的人，都知道那里有噴水井。遠遠就可以看到水穿出地面很高，濺流在鑽孔附近，匯入集水管。它比公園里面的噴泉要雄偉壯觀。這就是打穿了自流水層形

成的自流井。

有的地方，地下水象被囚禁起來一樣，擠在兩層不透水層之間，上下都沒有出路，也不能向別處流；但是從兩頭滲透進來的水，却源源不斷，擠壓的力量相當大，使得這層水緊緊頂着上面的不透水層。如果我們在這個地方鑽個孔，水就沿着這個人為的出口，象噴泉一樣地噴出來（圖 11）。有的地方，承压水含水層由一端進水，另一端流出。本來是自由自在的水，流入這個地段便成為自流水，流出這個地段以後又恢復了自由。

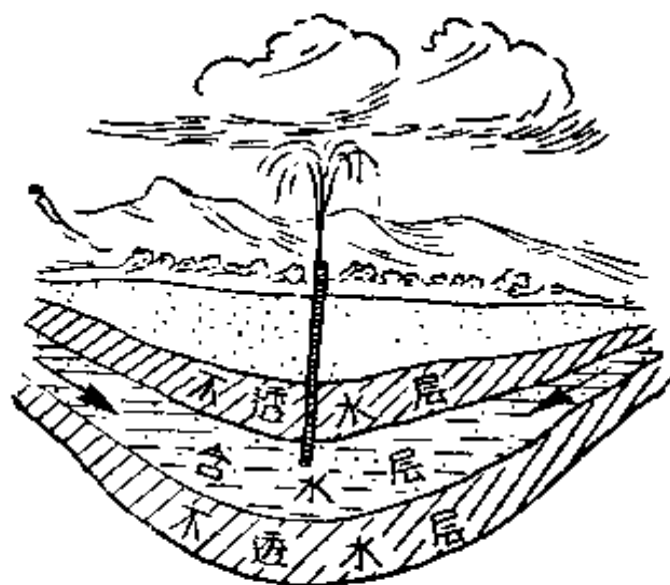


圖 11 自流井。

有自流水的盆地叫做自流盆地。每個自流盆地都可以分為三個區。有大气降水等補給水源滲入、具有自由水面的區域是補給區，它的位置較高；而在較低地段排洩自流水的地區是

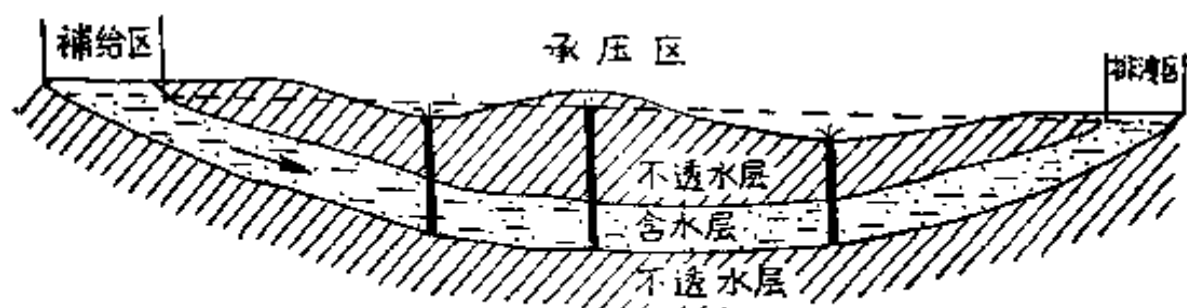


圖 12 自流盆地。

排洩区，介于二者之間的地区称为承压区。我們把补給区和洩水区的水面联成一条綫，这条綫就表示出承压区各处自流水承压水面的位置。由圖 12 能明顯看出，在承压区中打鑽时，在沒有打穿上面的不透水層以前，見不到水，只有打穿它以后才能見到水，不过这种水一直升上來，固定在承压水面的位置上，这也是自流水的一种很大的特征。在圖上的低窪部份打井，水就溢出地表，在高处打井，水就不溢出來。

在討論自流水时常常談到水头的大小。甚么是水头呢？水头就是从含水層頂部的不透水層層底到承压水面之間的距离。

从事地下水調查工作的人常常繪制自流水的等承压水位綫圖。所謂等承压水位綫，就是用絕對标高表示的承压水位等高綫。基本的繪制方法和潛水等水位綫圖一样。通过這張圖能确定自流水的流向、距地面埋藏深淺、水头大小和含水層厚薄。

在自然界，有时潛水和自流水能連結在一起互相变换。圖 13 表示出三种情况：当潛水水位比自流水承压水位高时，潛水就要往自流水方向流动，形成潛水补給自流水的局面；当潛水水位比自流水承压水位低时，則自流水补給潛水（圖 13 的 2），說明的是一种过渡关系；在补給区和承压区相交接的地帶，有强烈的雨水或地表水补給时，潛水暫時轉变为弱承压水，而当这种补給減少时，弱承压水就轉变为潛水。

自流水的水溫变化很小，而且由于上部复盖有不透水層，隔絕了污染來源，使得水質的衛生狀況良好。

人們喜欢开鑿自流井找承压的地下水，因为自流井通常

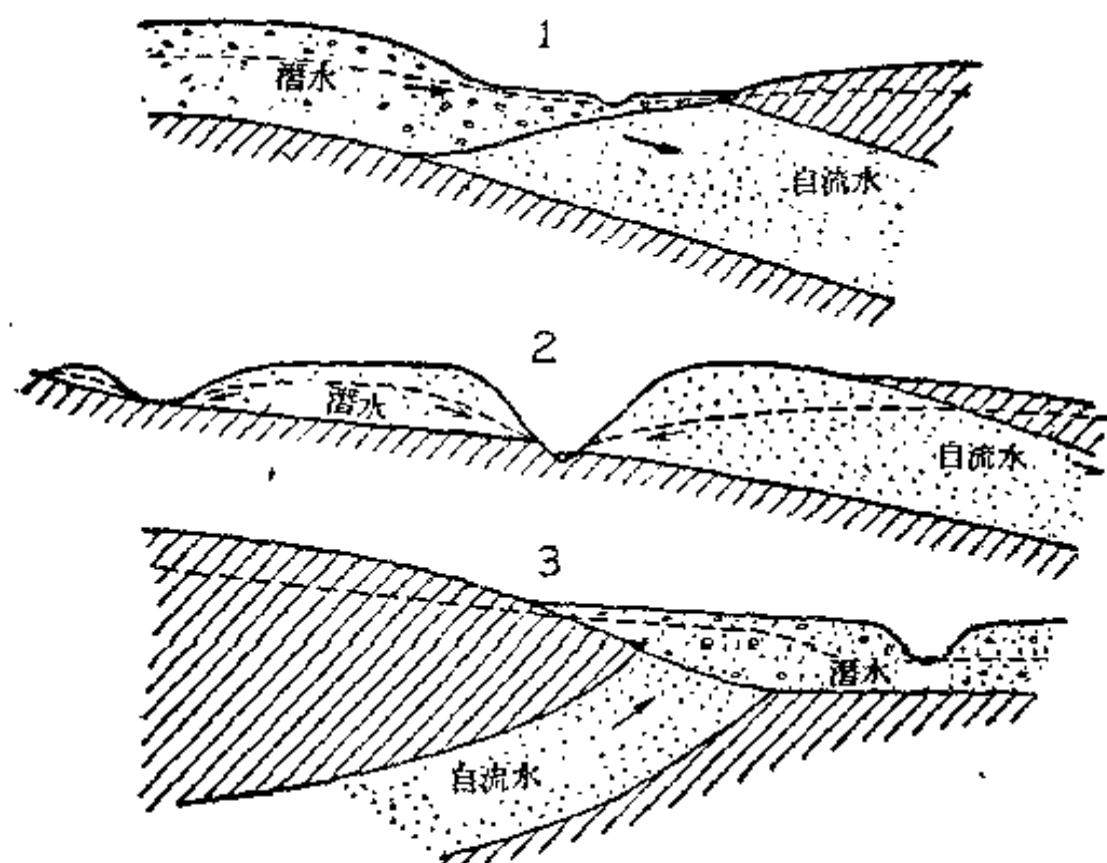


圖 13 自流水和潛水的相互关系。

水質好，水量多，如果溢出地表，則連水泵都可以不用，取水非常方便。我們應選擇甚么样的地方來開鑿自流井呢？有这样一些条件可以作为選擇的标准。首先，要开采的含水層应夾在不透水層之間，而且岩層是傾斜的，水头压力大，补給面積要广，这样，地下水的來源才能充足，也要沒有漏洞以保持足够的压力。開鑿自流井最好的地質条件是不透水層之間夾有自流水含水層的向斜盆地，因为它四周的补給面積很大，水量充足，而且岩層向中心傾斜，水头压力大，如果沒有天然裂縫形成泉水，就最适于打自流井。

自流水的表現是不一样的。在水压不是很大的地方，自流水只漫着鑽孔口溢出來，就象煮沸了的水由壺中溢出一樣。

如果接上套管，它立即上升到某一个高度固定下來。在自流水水压很大的地方，自流水直噴出地表以上，造成一个白色的、翻滾着水花的水柱。在某些地区，孔口上的水柱高度超过30公尺，甚至达到150公尺，例如美國密苏里河河谷，鑽孔中水位即高出地面达150公尺，可謂奇景。

自流水的承压水位，有时不是固定不动的。本來能噴出地表的自流水，后來由于取水鑽孔数目的增加而停止自溢。要繼續取水就必须裝上水泵。美國蒙捷斯城附近的自流井就有过这种現象。

打穿自流水含水層后涌出的水量也不一样，可由每小时几立方公尺到几十甚至几百立方公尺。如果在同一含水層鑽几个孔，而孔与孔間的距离又很近，就要產生搶水的現象，使得每个孔的出水量都減低，而且也造成水位的降低。

有时我們在一个地区的某一点打鑽，打到了質好量多的自流水，可是移开一段距离到另一点打鑽时，虽然地形相同，但在差不多同一深度上却打不到水，鑽孔是干的，或者打到了水，但質和量均顯著降低。这是由于含有自流水的含水層厚度不定、岩性不同的緣故。

一般在自流水含水層的补給面積广、含水層分布面積也很大时，分布有淡水。几乎每个大自流盆地都含有不同成分的水。由大气降水滲透造成的淡水通常分布在上部含水層和补給区中；而咸水則埋藏在較深的岩層中。于是当我们打自流井时，为了取得好水，总要在淺的自流盆地中打。有些自流盆地的水本是咸水，但后來却变成了淡水；这是由于在地下水运动条件良好的自流盆地中，古代理藏的咸水可以被后來的淡水

〔由補給區流進來的大氣降水〕所替換的緣故。例如蘇聯的基輔、哈爾科夫、波爾塔夫等地的自流水本來是咸水，現在已成為淡水了。

自流水對國家經濟建設的意義是非常大的，它可以作為大城市、工礦企業、鐵路、國營農場的供水水源。在北非洲的自流盆地已經打了3,500個深50公尺的鑽孔，每晝夜涌水量總和達3,500萬立方公尺，個別的孔每晝夜出水4,320立方公尺。取出來的這樣大量的地下水，可以供城市飲用，也可以灌溉田地。

根據我國地質學家搜集到的地質資料，我國各地分布有各種各樣的盆地構造以及適宜存貯自流水的構造，因此可以估計自流水在我國一定有廣泛的分布。

九 地下水的天然露頭——泉

地下水在適當的條件下自動地涌出地面，這就形成了泉。

自古以來，泉一直為人類廣泛地利用着，這是完全可以理解的，因為泉給我們提供了最清潔的水。為了防護泉水不被弄髒，人們常用木架、石堞或混凝土等建築物把它圍起來。在以泉為主要水源的地方，他們往往專門修建貯水池來積貯泉水，然後以管子從貯水池引水到用水的地方去。

地下水所以會從地下自行涌出地面，常常和當地的地質構造條件有關。有的泉是由於在透水層之下有不透水層，它們的接觸面通到了地面（如圖14的1），或者是含水層被不透水

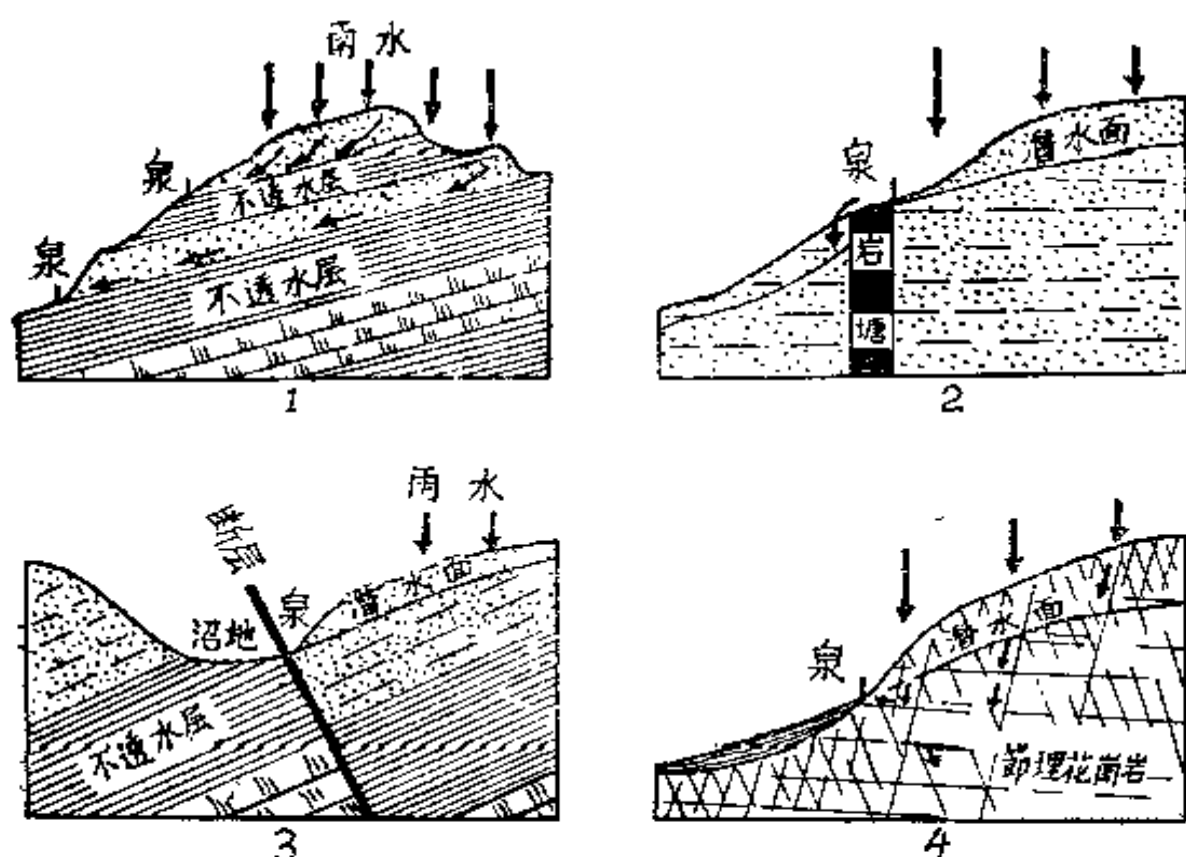


圖 14 泉水生成的各種情況。

的侵入岩體所阻（如圖 14 的 2），于是就沿着接觸面流出地表；有的泉是由于斷層的發生，使傾斜的含水層被不透水層所阻（如圖 14 的 3），地下水不能繼續向低處流，于是就沿斷層面溢出地表；有的泉則是地下水沿着岩石的裂隙或節理溢出地面的結果（如圖 14 的 4）。通常我們把沿着地層接觸面流出地表而形成的泉叫做接觸泉；沿着斷層面溢出地表而形成的泉叫做斷層泉，如北京西郊玉泉山下的“天下第一泉”便是；沿着岩石裂隙溢出地面而形成的泉叫做“裂隙泉”，如濟南的黑虎泉便是。

泉，按照它溢出地表的形式，又可以分為下降泉和上升泉兩種。它們的主要區別在於下降泉由不承壓的地下水補給，它

只受重力影响，常常在地下向低处流出地面；而上升泉则由承压的地下水补给，它常常是由地下向上流出地面的。

由于泉形成的条件不同，泉水的温度也有差异。愈是深处来的，水温愈高，有的甚至达到 100°C 以上。泉水根据温度的高低，可以分为冷泉、温泉和普通泉。泉水温度低于当地年平均气温的，称为冷泉；高于当地年平均气温的，称为温泉；和当地年平均温度相近的，称为普通泉。

有一种温泉，是间歇地喷出地面的，叫做间歇泉。它多出现在现代火山作用比较强烈的地区。

间歇泉喷出的时候，表面看来有如小型火山喷发。大量的水蓦地喷入高空，蔚为奇观。

间歇泉的形成，是由于地表下的裂隙呈虹吸状的弯曲，而且粗细不匀。这样就使得底部的水在温度增高时，除受上部水的压力外，只能发生局部的对流作用，因而底部的水的沸点与地面上的不同，在热到 100°C 时不能汽化。到温度继续升高，水的膨胀力超过上部水的压力时，底部的水就变成水汽，向上排出，并带动了上部的水一喷而出，水汽排出后，温度压力都降低了，喷发也就停止。停止了一些时候，至第二次温度升高再超过上部的压力时，再次喷发，因此这种泉水的喷发就有了间歇现象。

间歇泉喷发的高度不一，有的为几公尺，有的则可达到 100 公尺以上；喷发间歇时间也各不相同，有的隔几分钟就喷发一次，有的则需隔几天甚至几个月才喷发一次。

美国黄石公园的“老实泉”，是世界上素负盛名的一个间歇泉。它每隔 63 分钟喷发一次，喷发高度达到几十公尺。

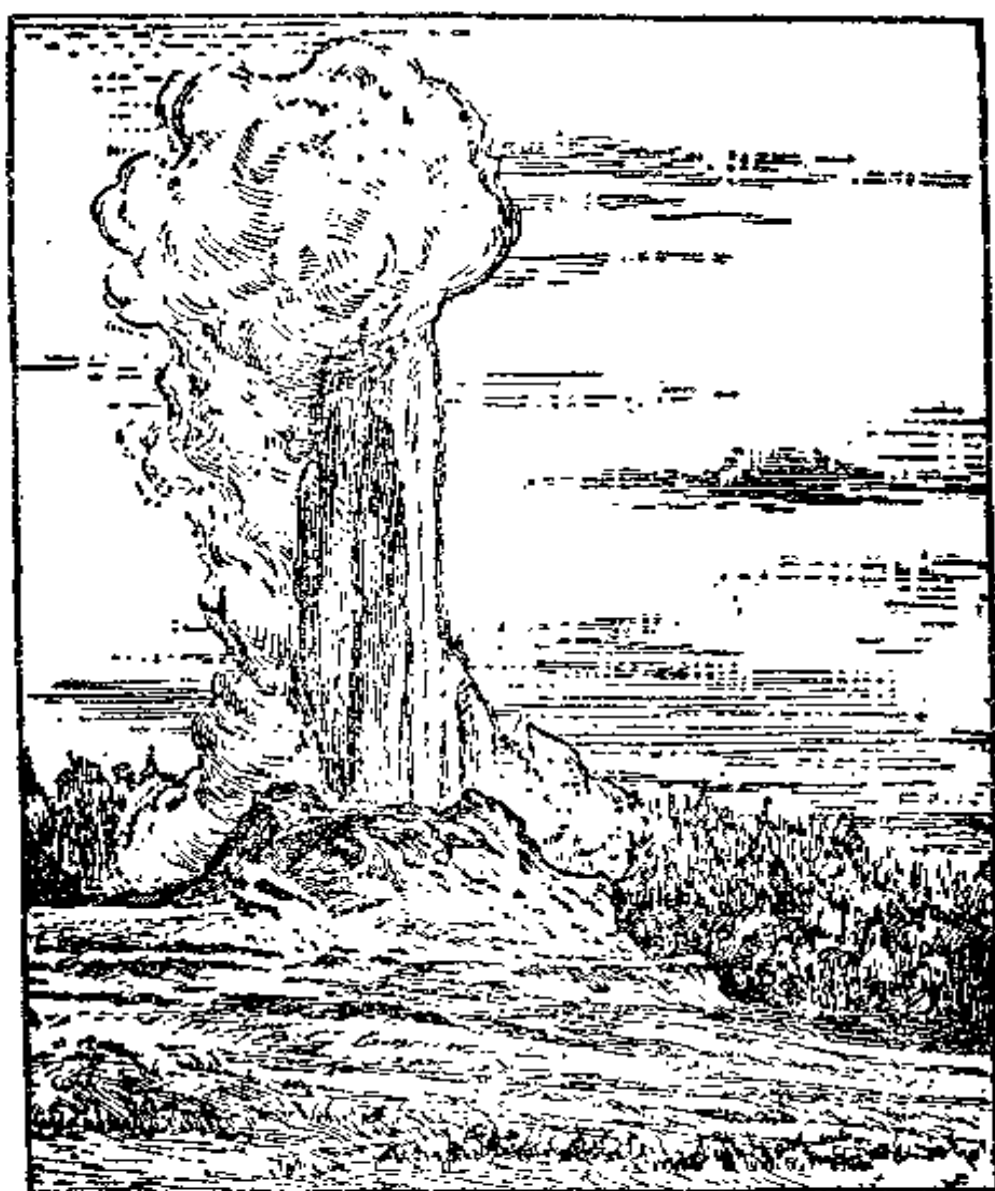


圖 15 黃石公園的間歇泉“老实泉”。

溫泉的水，一年到頭，不論是炎夏還是隆冬，都是熱氣騰騰的。在冬天，如果我們用管子把溫泉的水引到房子里，房子里就不需要再花費煤炭生暖氣了。

在蘇聯，人們還利用溫泉的熱量建造溫室，使人們能在寒冷的季節吃到溫室里面生長起來的廉價而又可口的新鮮蔬菜。記得阿扎耶夫在他的小說“遠離莫斯科的地方”中，就描寫

过用溫泉水使室里溫暖的一种裝置。小說中寫道：“集体農庄庄員們用木制的罩子，把村庄附近的几个溫泉盖上。不用花錢的热水就从木制的導管里流出來，用于溫床栽培和住宅取暖。在仿佛从雪堆里長出來的溫床玻璃罩下面，总是暖气洋洋的。在很多長長的溫床上，茂盛地生長着蔬菜：小紅蘿卜、萵苣、黃瓜、番茄。”

利用溫泉热力發電也已經成为事实。在好些國家，已經出現了这种地热發電站。根据 1954 年的資料，在意大利，地热發電站的功率已达 265,000 瓩，差不多占意大利所有發電站功率的 3 %。

溫泉常含有各种气体，如二氧化碳、硫化氫、鐳的放射物、氮、氫等，此外还有自然水中稀有的成分如溴、碘、硼、砷、氟等。由于各地地下水所流經的岩層不同，因此泉中所含的礦物成分和分量也不尽相同。通常我們把礦物成分含量超过千分之一的泉叫做礦泉。

礦泉因为所含礦物質的成分不同，名称也就各異，如含有苏打（碳酸鈉 Na_2CO_3 ）的泉，叫做碱泉；含有食鹽（氯化鈉 NaCl ）的泉，叫做鹽泉；含有鉄的鹽类（如硫酸亞鉄 FeSO_4 ）的泉，叫做鉄質泉；含有硫酸鎂（ MgSO_4 ）的泉，叫做苦泉；含有硫化氫（ H_2S ）的泉，叫做硫黃泉；含有碳酸鈣（ CaCO_3 ）和石膏（ CaSO_4 ）的泉，叫做石灰泉。

礦泉对人类某些疾病的治療有良好的效果。如鹽酸类的礦泉能治療風湿性關節炎、慢性骨髓炎、神經炎、胃腸慢性症、習慣性便秘、皮膚濕疹等病；硫酸鹽泉則能治療許多皮膚病，如牛皮癬、神經性皮炎、慢性濕疹等；碳酸鹽泉除了对上述疾

病有效果外，对肝臟、胆脾病也有效，煮沸后飲用对胃腸炎症很有好处。礦泉中如含有少許放射性物質，医療价值就更高，可以起消炎和鎮靜的作用，还可以增進造血机能。

我國的溫泉很多，在許多風景优美、山青水秀的山谷、原野里，往往可以看到清冽的礦泉涌出地面，水汽如霧騰騰上升。根据近年來在某些地区的調查，估計全國各省、各自治区都有溫泉，其总数当在3,000处以上，它們大多分布在我國的东部（見圖16）。其中有800个礦泉目前已被利用于医療事業，比較出名的有几十处，如遼寧的湯崗子、兴城、熊岳、五龍背、本溪、凌源，河北的平山，山东的即墨、文登，安徽的巢縣，江苏的江浦，南京湯山，江西的星子，广东的从化，云南的安寧，湖北的咸寧，河南的臨汝，陝西的臨潼、藍田等等。

十 和地下水活动有关的 自然地質現象

地下水日日夜夜不知疲倦地工作着，它改动着大地的面貌，使大地發生各种各样的变化。乍一看來，人們似乎很难相信地下水有那么大的威力，但是擺在面前的事实，却是任何人也不能否認的。

如果你到过祖國的西南，在广西、云南、貴州等地，常常可以見到一座座挺拔秀丽的山峯，山上有幽深曲折的山洞，里面洞天相連，豁然开朗，更有各种奇形怪狀的石头和交錯縱橫的



1 桂林水風洞

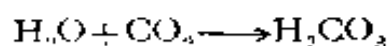


2 陽朔白沙愚人

圖 13 广西桂林附近的喀斯特(特克滿供稿)。

石壁。这叫做“喀斯特”^①现象。

石灰岩的成分是碳酸钙，它本来是不容易溶解于水的，但是由于地下水中常常含有较多的二氧化碳，二氧化碳与水化合，就成为碳酸：



碳酸钙（石灰岩）一遇到碳酸，就化合为容易溶解于水的重碳酸钙：

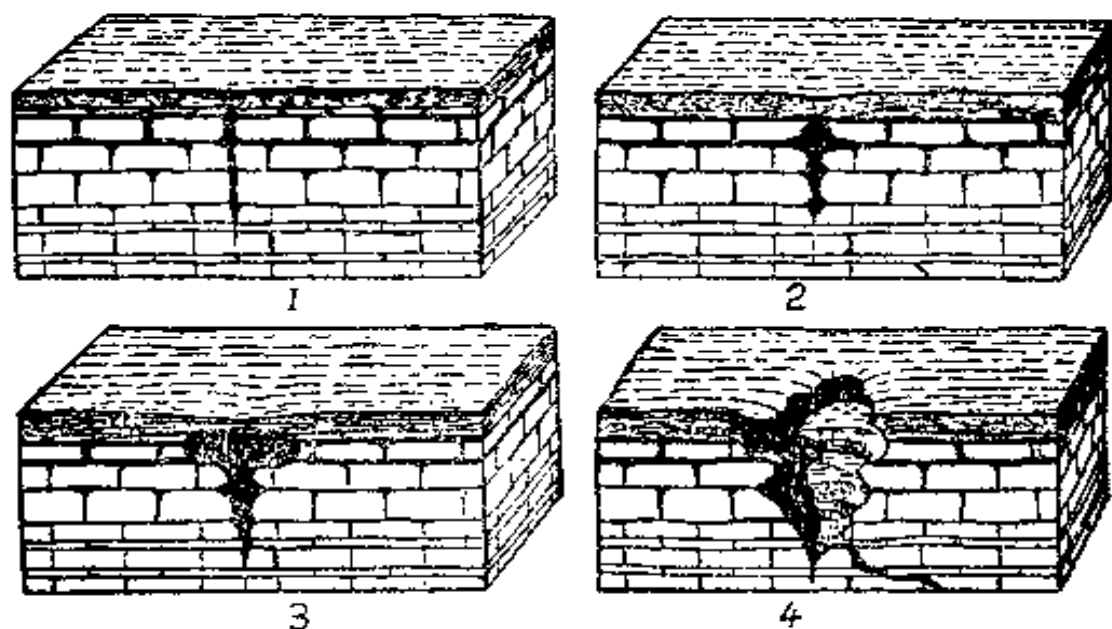
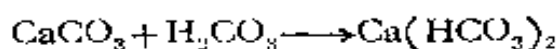


图 13 喀斯特的发育过程。

1 垂直节理裂隙被溶解作用所扩大 2 这个裂隙沿着层面进一步发生不规则的扩大 3 岩洞直接在复盖层之下继续发生扩大 4 由于复盖层崩陷而产生漏斗

在石灰岩地区，石灰岩不断地经受着地下水的溶解作用。如果在最初未曾经过溶解作用的石灰岩岩层表面有许多裂缝，当地下水沿着裂缝流过时，必定会有一部分石灰岩溶解于

① 喀斯特是一个地名，在南斯拉夫阿尔卑斯山中。那里石灰岩地形发育很好，因此石灰岩地形又称喀斯特地形。

水，而被水流帶走。經過較長的時間，小的裂縫慢慢擴大成小溝，小溝又慢慢擴大成深溝，再加上其他的侵蝕與風化作用，這個地區的石灰岩就逐漸出現各種奇奇怪怪的形狀。

地下水通常保持一定的水面，但是如果地殼發生了運動，地殼上升，則原來的地下水必定會沿着岩石孔隙向下流到較深的地方去，這樣，原來曾被溶解的道路，就成為縱橫交錯的干涸石洞了。

石洞中含有碳酸鈣的水分，水分蒸發後，就產生沉淀，在它沉淀的地方，常常留下一些石灰質的白色圓環。經過長時期的累積，碳酸鈣的沉積越來越多，慢慢地就形成柱狀的石头，情況正如冬天簷前的冰柱一樣。這種柱狀的石头，有的下垂如巨鐘，叫做“鐘乳石”；有的樹立如竹筍，叫做“石筍”。它們有時長達十多公尺，非常壯麗。

地下水在石灰岩中流動，它所流經的道路必定逐漸擴大。擴大到一定程度時，頂部就會坍塌。坍塌後，潛流外露，在坍塌的谷中流動；未坍塌的地方則成為所謂“地下河”。在石灰岩地區的河流往往忽斷忽續，就是這個原因。如果前後都發生了坍塌現象，只保留中間一小部分，就成為“天橋”。

一個地區會不會出現“喀斯特”，跟地下水、岩石性質、地形和氣候等都有關係。

凡是出現喀斯特的地方，一定存在着容易溶解的岩石。容易溶解的岩石中分布最廣的就是石灰岩，其次是白云岩、石膏和鹽岩。不同的岩石，它的溶解程度也不一致，因而喀斯特發展的速度和過程也不一样。按照由強到弱的溶解次序排列，一般為：鹽岩（3份水溶解1份）、石膏（480份水溶解1份）、硬石

膏、白云岩、石灰岩（3万份水溶解1份）。水的溶解性取决于其中碳酸的含量，同时也取决于温度。

在大气降水丰富的潮湿地区，地下水的补给很充足，喀斯特的发育也就比较快。但是如果岩石的透水性不好，雨水下渗就很困难，喀斯特的发育也就非常缓慢。石灰岩和白云岩的透水程度，在很大程度上决定于岩石的裂隙程度；而裂隙的产生，又和构造作用密切相关。所以在研究喀斯特的时候，必须注意当地的地质构造。如果在背斜的顶部和断层附近，岩石中裂隙最多，这些地带的喀斯特也就发育得最快。

地区地形的起伏变化、对于喀斯特的发育也有很大影响，因为它决定地下水的流向和流速。地下水也和地面水一样，是从高处向低处流动的。在每个地区，地下水都有向着该地区的最低处（如河谷、沟槽等）流动的趋势，流动速度则与水量和水位差有关。流速愈大，地下水的循环愈快，溶解作用也就进行得愈强烈。

喀斯特的发育，和地区溶蚀基准面的变化有密切关系。在喀斯特地区，溶蚀基准面就是地下水面。在这个面以上，喀斯特发育十分剧烈；而在这个面以下，岩石所有的空洞里都充满了水，水流比较缓慢，喀斯特的发育也就比较缓慢，甚至不发育。因此，一旦溶蚀基准面升高，喀斯特强烈发育的地带也将随之升高；而在相反的情况下，就向下移动，也就是喀斯特在更深的地方强烈发育。

喀斯特地形对人们的经济生活并没有带来好的影响。这些地区的雨水虽然多，但积水的情况很严重，地面上的河流很少，而地下水埋藏又很深，利用起来有困难；因此，生长在瘠薄

的土地上的庄稼，常常受到缺水的威脅，而夏秋季大雨时，水又会从岩石底下冒出來，造成水災。同样，喀斯特对工程建筑也是一种很大的障碍，它增加了岩石的不穩定性。因此，在喀斯特地区進行建筑时，评价喀斯特对建筑物的影响，也是一項非常重要的工作。

另外，崩滑現象的發生，也常常是地下水的作用引起的。

所謂崩滑，就是斜坡上的岩石、土壤及風化岩屑失去了穩定性而向下滑动或崩落的現象。

形成崩滑的原因常常是多方面的，但地下水的作用却是最基本、最重要的。水滲入岩石后，岩石的含水量增加，它的單位体積的重量也就随着增加，阻止岩石下滑的摩擦力却大大減弱，这就給岩石下滑提供了有利的条件。此外，地下水在岩層中流动时，会將岩層中細小的顆粒帶走，或溶解去一部分物質；地下水的运动，又可以產生一种压力。这些都促使岩石形成不穩定状态而向下滑动。

除了地下水的活动以外，其他如斜坡底部遭到河水或海水的冲刷，或由于修建道路等原因开挖了斜坡坡脚，致使斜坡的坡度加陡，斜坡上部修建了建筑物致使斜坡上部的重量增加，以及地震、爆炸、机器震动等，也常常是造成崩滑的原因。

在多山的地区，崩滑是常常見到的。在野外，我們很容易發現崩滑的痕迹。例如山坡上一層一層的階梯地形，常常是泥土滑动后形成的；山脚下一些凸起的小丘，常常是由滑下的泥土堆成的。在發生过滑动的地区，樹木、电線杆、石碑等往往歪來倒去；尤其是樹林，歪歪倒倒地象喝醉了酒的人一样，人們把它叫做“醉林”。

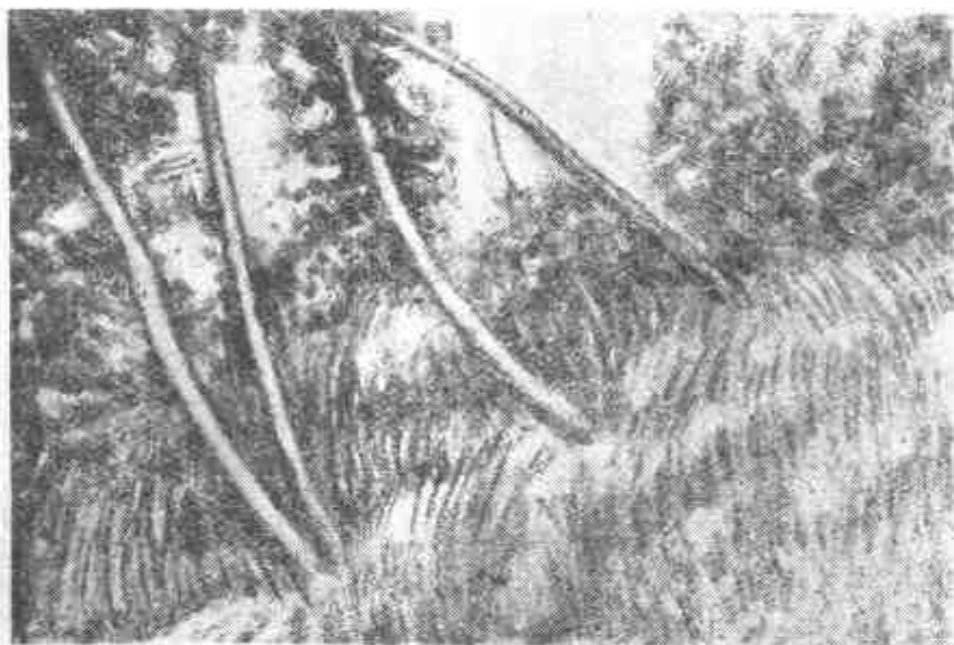


圖18 醉林。

崩滑常常給人民帶來麻煩和損失：从斜坡上崩落下來的**大量岩石和土壤**，堆積在坡腳；坡腳如果是道路，道路就被**阻塞**；如果是礦坑，礦坑就被**掩蓋**；如果是房屋，房屋就被**摧毀**；如果是河流，河流就被**堵住**。1893年9月，在西藏喜馬拉雅山里格那附近，發生过一次大規模的崩滑。那里山坡坡度很陡，并且是石灰岩与頁岩互層，頁岩受了地下水浸潤，就成为滑动層。当崩滑發生时，頁岩上面的大量岩石都向下崩落，崩落的岩石堆滿了山谷，阻塞成湖。后来喜馬拉雅山的積雪溶化，河水把岩石冲开，大量的水一下子直瀉到印度平原上，淹沒了广大農田，造成了嚴重的災害。

我國有許多交通綫、礦山以及其他各种建築物，也經常因为斜坡崩滑而受到嚴重影响。我國西北及西南的若干鉄路綫，常因山坡或路塹边坡的大規模崩滑，影响了正常的运行。有些礦山因开挖面几次發生大規模崩滑，礦層遭到很大損失，而且破坏了礦山的交通運輸綫。在处理这些問題的时候，常常需要

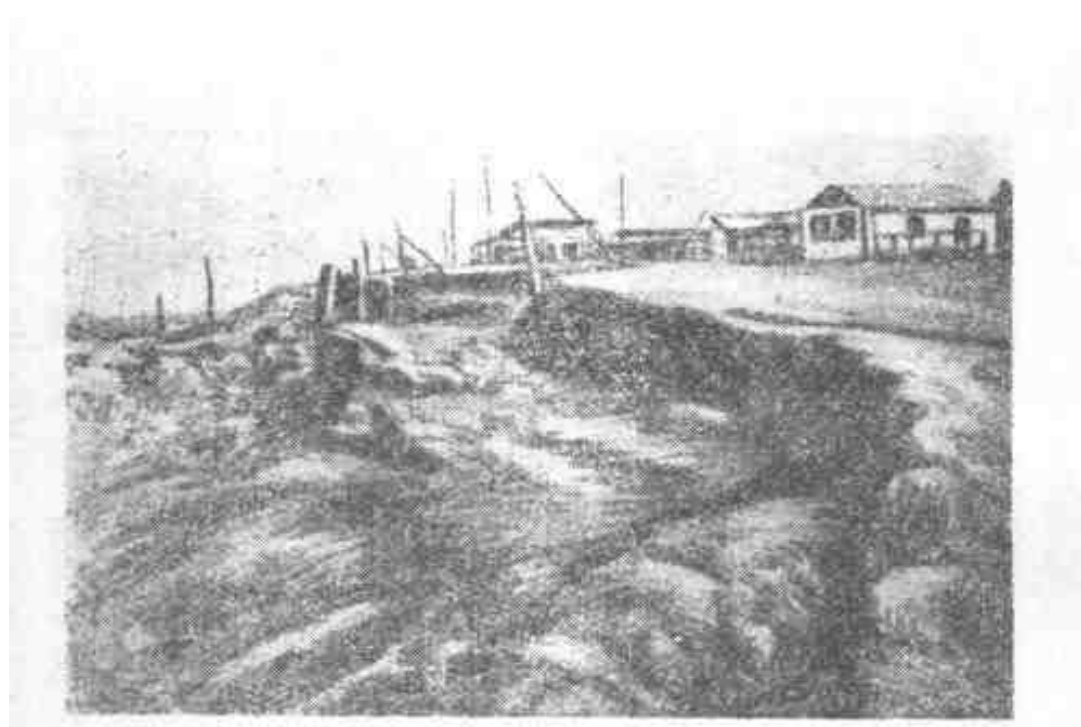


圖20 崩滑。

化費很多的錢。因此，今后在修建各种建筑物时，應該尽可能地避开可能發生崩滑的地段；在無法避免的时候，就應該仔細研究地下水的所在地以及流經的路綫，以便用涵洞、暗溝等截住地下水，把它引到对工程沒有影响的地方去。

十一 我國古代利用地下水的成就

中國是一个具有光輝歷史和燦爛文化的古國。我們勤勞而智慧的祖先，在長期的劳动过程中，有許多偉大的發明和創造。为了滿足生活需要，我國古代劳动人民很早就已經开始利用地下水，并在这方面积累了宝贵的經驗，取得了卓越的成就。

利用地下水最早的方式是鑿井。

中國極早的一首歌謠——“击壤歌”中就曾提到过井：“日出而作，日入而息；鑿井而飲，耕田而食，帝力与我何有哉？”这首歌謠生动地描繪了劳动人民的風度。鑿井适应農業生產的需要，帮助我們的祖先結束“逐水草而居”的游牧生活，为定居創造了条件。

相傳远在黄帝时代，已經有井，故有“黄帝使八家为井，井开四道，而分八宅，灌溉之事于以起”之說。“世本”則說与禹同时的伯益，是井的發明者。而商代有井，則为事实；即以商代而論，距今也已經有 3,000 多年。因此可以肯定，我國是世界上最早有井的國家。

有了井，人可以离开河流兩旁，到远处進行生產，对農田擴充，人口繁殖有極大意义。古代埃及人民，对于水利建設虽作了种种努力，他們会筑堤，会挖湖，乃至会用吊桶進行高地灌溉；但他們主要依賴尼罗河生存，一遇水涸，即成大災，因为他們还不会鑿井利用地下水。

在我國西北，雨水稀少，气候干燥。新疆的塔里木盆地，年降水量不到 100 公厘。在这些地区，農作物必須進行人工灌溉，因此如何尽量地控制和利用水，就成为發展当地農業生產头等重要的問題。

新疆劳动人民勇敢地向自然环境展开斗争，在長期生產斗争中克服困难，積累經驗。很早以前他們就想办法开鑿“坎兒井”，把蘊藏在山肚子里的地下水引出來灌溉。

高山上的冰雪融化后沿山坡流下來的水，一部分蒸發回到空中，一部分渗透到地下，在地面流出山口的水量却很少。“坎兒井”的开鑿，就是利用当地地下水最巧妙的办法。新疆东

部吐魯番和哈密一帶，因為得到寶貴的雪水的灌溉，成為肥美的綠洲，出產豐富的棉花、水果和蔬菜。馳名中外的哈密瓜和吐魯番葡萄，便是坎兒井灌溉的收穫。

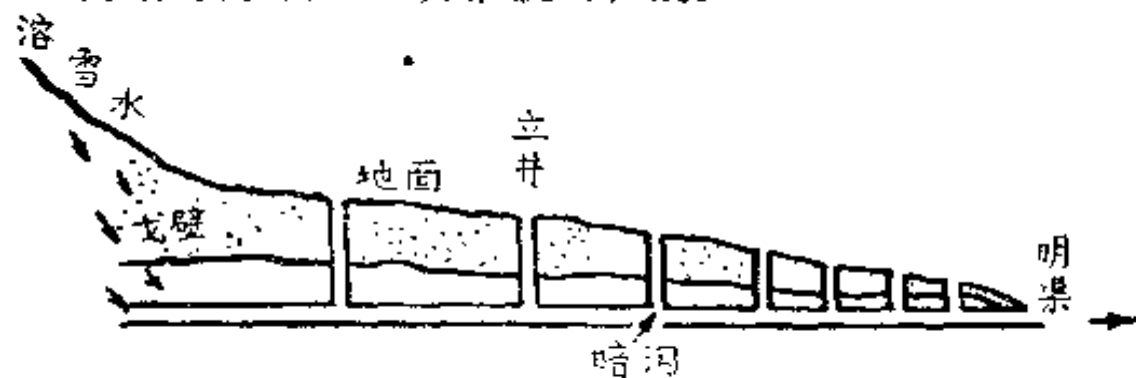


圖21 坎兒井。

一道坎兒井是由很多立井和貫穿立井間的暗溝組成的。立井又叫工作井，是和地面垂直的井道，在開鑿和修濬時用來出土和通風。暗溝是在地下掏挖的溝道，為主要的輸水道，把地下水引向農田。為了防止水分蒸發和風砂侵襲，立井井口上常堆上石塊或鋪上柴草。坎兒井開鑿時，先由有經驗的鑿井工人觀察地勢，然後在山坡上選擇適當地點，鑿一個立井，到發現地下水後，就順着地下水的流向開鑿，大約每隔十餘公尺或數十公尺開鑿一個立井，然後把井的底部挖通，鑿成高約2公尺寬約1公尺的暗溝。一直到暗溝內的水流出平地以後，再開明渠把水引到田地裡灌溉。由於坎兒井是順着地勢傾斜度開鑿的，所以立井愈向上游愈深，愈向下游愈淺。一道坎兒井的長度達幾百公尺至十餘公里，立井最多時可達300多口，立井深度有達100公尺以上的。

坎兒井的水量大小，和當地水文地質條件及坎兒井長度有關，但均隨季節變化。每道坎兒井的灌溉面積自幾十畝至幾百畝不等，最大的可灌田1,500畝。在吐魯番、哈密一帶，目前

坎兒井总数不下 300 座，它滋潤着那一帶的广大農田。有人估計，这里坎兒井的全長已达 2,500 公里以上，工程之浩大，可与長城和运河媲美！

中國第一个著名的坎兒井，是在漢武帝（公元前 141—87 年）时鑿成的。在前漢書“溝洫志”中，曾有过記載，說我國古代劳动人民在今陝西大荔一帶開渠，引洛水到商顏山下，因渠岸容易倒塌，所以改鑿成井，在井下通水。施工时，曾掘得恐龍的化石，因此就取名“龍首渠”。这种在井下通水的渠道，实际上就可能是最早形态的坎兒井。在新疆開鑿坎兒井最早的地方是托克遜的六拉湖區，以后再推广到吐魯番盆地以及哈密和庫車以东天山兩側的广大地区。清朝林則徐被流放到新疆以后，才大規模開鑿，所以坎兒井又叫“林公井”。英國人斯坦因曾說坎兒井是十七世紀时由波斯傳入的，那是完全沒有根据的。

在距海遙遠，不易得到海鹽供应的內地，很早以前就取地下水煮鹽。“十六國春秋”中有云：“隴中少鹽，唯天水一井可煮為鹽。”而四川自貢一帶，早在公元前 250 年以前的战

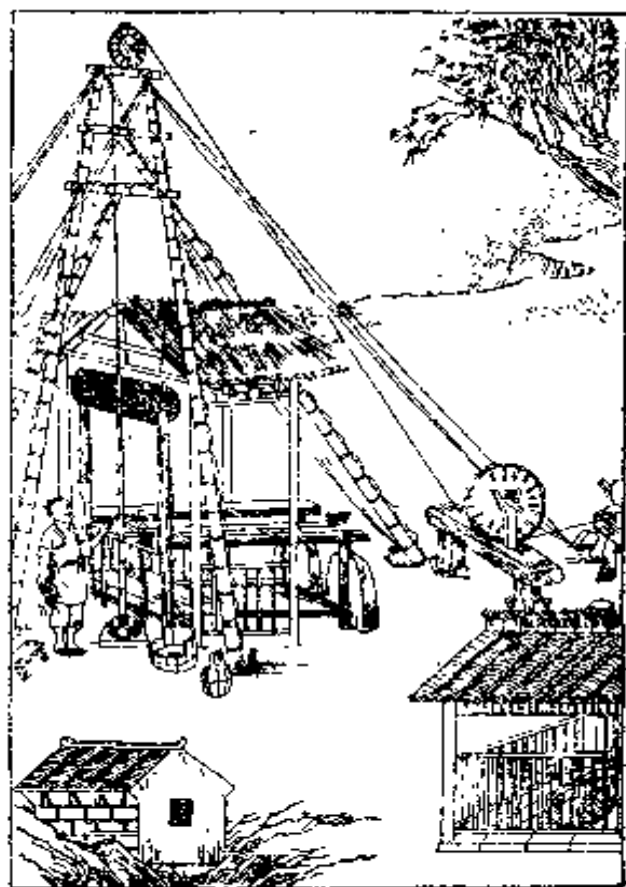


圖 22 我國古代人民从鑽井中取地下水煎鹽。

國時代，便知道鑿井取水煎鹽，井深達 100 多公尺。到了唐朝，鹽井數目已達 640 口，個別井的深度超過 500 公尺，而當時開鑿鹽井所用的設備，幾乎全是木制的。這種偉大的創造，不能不令人驚奇！

關於鑽井的方法，在“東坡志林”一書中曾有這樣的記載：“自慶曆皇祐（1049—1053 年）以來，蜀始用筒井，用圓刃鑿如碗大，深數十丈。以巨竹去節，牝牡相銜為井，以隔橫入淡水，深咸泉自出。又以下竹之差小者，出入井中，為桶底而竅其上，懸熟皮數寸，出入水中，氣自呼吸而啓閉之，一筒致水數斗，凡筒井皆用機械。”

從這段記載中，足以看出我們祖先在幾百年前，在鑽井方法上就有了非常巨大的成就。類似他們當年所用的鑽井方法，直到今天，在某些偏僻的地方還沿用着。其情形大致是這樣的：

首先選擇井口，選好井口後，在井口上搭上木架（即鑽架），架頂上有天滾子（即頂滑輪），在地面离木台不远处設地滾子、車盤等，又設地車子（即升降機），升降鑿井用具時用棕繩連結用具、天滾子、地滾子、車盤和地車子，地車子用牛力拉動。

井口有一特制的踩架，鑽井時，六七個人同在踩板上跳動，使踩板上下動作，用踩板的運動帶動跳板，踩板一端連井口的鑽井工具，靠衝擊的力量向下鑽進。鑽進的速度並不一致，在松軟地層上一晝夜可鑽進五六公尺；在堅硬的地層上則可能不到一寸。汲取鹽水時使用排水筒，它和現在所用的汲沙筒的原理相同。

過去人們曾經認為：世界上第一個取水鑽井出現在十二

世紀時的法國阿爾杜埃省，但上面的事實，已經完全推翻了那種說法。

同樣，利用含有大量礦物成分的地下水天然露頭——礦泉來治療疾病，在我國也已經有悠久的歷史。

根據“佛經”記載，在距今4,000多年以前，印度釋迦牟尼就利用礦泉治療疾病。我國遠在秦漢以前已經有關於礦泉治病的記載。在“水經注”中就有過飲泉治病的記載。千百年來，分布在我國各地的大量礦泉，有很多早就被人們用來洗澡或飲用，以治療各種疾病。陝西臨潼華清池，在2,000年前已經被人利用，相傳楊貴妃就在那里洗過澡；遼寧鞍山附近的湯崗子，在唐太宗時就已發現。人們通常把礦泉叫做“仙水”或“神茶”，對它的醫療效果有很高的評價。

所有這些成就，不但在古代生產事業上起了顯著的作用，而且在一定程度上改變了自然面貌，促使生產力的發展。遺憾的是歷代反動統治者對這些古代勞動人民的光輝創造，不但沒有給予關心和支持，有時為了鞏固反動統治地位，反而橫加阻撓，惡意破壞。中華人民共和國成立後幾年中，我們在原有的基礎上依靠了廣大羣眾的力量，發揚人民光榮傳統，學習蘇聯先進經驗，地下水已廣泛地被利用起來。作為研究地下水的科學——水文地質學，也正以飛快的速度向前發展着。

十二 地下水的調查

從振奮人心的我國經濟建設的第一個五年計劃中可以看

到，在我國遼闊的大地上，將出現無數新興的工廠區和礦山、城市。這些地區的工業用水和飲用水的問題怎樣解決呢？新的鐵路要通過干旱的沙漠地帶，在新疆1,000余公里長的鐵路沿綫，很少值得注意的水泉；但是鐵路小站每晝夜就需400立方公尺水，大站約需1,000立方公尺，這些水從哪兒來呢？現在我國的農田灌溉面積已經超過了5億畝，大約占全國耕地的30%，是目前世界農田灌溉面積最大的國家。在東北、西北和其他地區還要開墾生荒地。灌溉用水的水源問題也是迫切需要解決的。要發展畜牧業，在沒有地表水的地區，除了大氣降水，唯一的水源便是地下水。我們要開發新的礦泉，也還要尋找提取工業原料用的地下水。此外，在中國南方氣候潮濕地帶，在土壤濕度很高的條件下，土壤的沼澤化現象非常嚴重，這樣的沼澤地就需要疏干。在華北和東北的沿海地帶有大量鹽鹼地，在氣候干燥的新疆更為嚴重，我們要和土壤鹽鹼化作鬥爭。我國遼東半島南部的一個耐火粘土礦，每開采一噸耐火粘土，就要從坑道里面用水泵抽出16立方公尺水。在其他多水的礦區，人們得想辦法防止地下水涌入坑道。根據黃河綜合利用的規劃方案，在黃河中下游及其支流將修建水壩幾十座。在三門峽、劉家峽等處將建設足以調節流量的巨大水庫，並建設巨大的水力發電站。水會不會從要建成的水庫中漏掉呢？凡此種種問題的解決，都要靠對地下水的調查。

研究和調查地下水的科學叫做水文地質學，調查地下水的工作叫做水文地質工作。在水文地質工作結束時常常要繪制出各種水文地質圖，在圖上表示出有關地下水的埋藏情況等。

我們要進行哪些水文地質工作呢？水文地質工作基本上有四種：水文地質測繪，水文地質勘探，野外和實驗室的試驗，地下水動態的長期觀測。

水文地質測繪是一種綜合性的野外調查，基本任務是調查岩石的含水性。通過這種調查能了解地下水在岩層中的分布情況、地下水的類型，各種類型地下水之間及地下水與地表水之間有沒有水力聯繫，地下水的水質成分，地下水對喀斯特、崩滑等自然地質現象的影響，還能對地下水量多寡有個大致的了解。調查地下水通常都是從水文地質測繪開始的。這種工作必須和地質測繪及地貌調查同時進行。在調查時採用路線測繪和面積測繪的方法，把沿路線和在一定面積內所觀察到的各種有關現象都記錄下來。在地面岩石露頭不好和缺乏出水現象的地區，為了了解地下的岩層構造和地下水，就得開挖淺試坑和打單個的鑽孔，不過它們的數量都不多。

在水文地質測繪的野外工作階段，要做一系列的觀察和記錄。

要作地貌觀察，因為地貌能表明地下水在不同深度上的分布情況及礦化度的高低。例如在各個河階地上，地下水的形成條件、水質和水量就有差別，因為各河階地的岩性不同。在山前地區可找到沖積錐上部的巨大潛水流；在粗粒、細粒岩層相間的地段可以看到以迴水泉形式流出于地表的地下水；在沖積錐下部由細粒岩層組成的地段，水的礦化度大大提高。這樣一來，從地形和地貌的條件可以判明各種水的存在位置。所以我們在調查地下水時要觀察階地、河漫灘、沖積錐、沖溝的發育等地貌現象。

岩層是地下水的天然聚儲場所，所以應該通過地質測繪對當地的地質構造有明確的了解。在被水文網劇烈割切的山區和岩層露頭分布較多的地方，可以利用一般的地質制圖方法來觀察岩層的天然露頭；而在平原及缺乏天然露頭的地區則靠試坑和鑽孔。

泉是地下水的天然露頭，能夠表明區域地下水的特征，所以必須細心地觀察和記錄。在我們的野外記錄本中，首先要將調查區內的泉編號。要記錄泉出露地點的地形，例如泉是出露在沖溝的底部，還是在河階地上，或是在山麓下面。要記錄泉的高程，最好測定絕對標高（如果不是用水準儀，也要用空盒氣壓計），還必須測定泉水露頭高出河谷底多少，河水位的高度多少。要記錄露頭處補給泉的含水層岩性成分及地理位置，如果泉是由基岩層中流出來的，而上面被不厚的浮土覆蓋，可以把浮土剝掉，以便發現含水層。也須記錄泉的類型及涌出情況，是上升泉還是下降泉，是成股狀涌出還是呈層狀滲出。要測定泉的涌水量，可以記下注滿已知容積的水桶的時間以測知流量大小，或在泉水流出處設立堰口，將觀測所得資料根據一定的公式加以計算。要記錄泉水的物理性質（顏色、溫度、氣味、透明度等）和化學成分，就得取泉水水樣當場鑑定物理性質和通過實驗室分析鑑定化學性質。還要當場鑑定由泉水逸出的氣體成分，如東北湯崗子溫泉逸出的氣泡就是硫化氫，我們可以用醋酸鉛試紙來鑑定。此外還要記錄泉的沉淀物（如石灰華、褐鐵礦等）、泉的引水工程以及泉的用途和季節性變化等。

對人工的地下水露頭——井、鑽孔、試坑等，也要象泉那樣編號，記錄它們的位置和所在地的地形，例如是在窪地還是

在高地上,附近有沒有地表水系。要記錄井孔和試坑坑口的标高以及超出隣近河流或湖泊的相对高度。要記錄井孔,試坑底深,水深和它們的大小。井底深可直接測出,但如底部有淤積坍塌現象,应向打井人或当地老鄉詢問。鑽孔深度可从鑽探資料上獲知,試坑深度也容易測得。地下水面埋藏較淺的用鉛鐘測,埋藏較深的用电測水位計測。还要記錄井孔和試坑剖面的岩性,对鑽孔和試坑可以分層取土样及岩样繪出剖面圖,來研究岩石的含水性;对水井的剖面則需要訪問掘井人和淘井人。要鑑定水的物理性質并取水样做分析。要調查水井的出水量,了解有多少戶人家用这个井的水,向老鄉們詢問水量、水質和水位的季節性变化,例如甚么时候井水溢出过井口或上升很高,甚么时候枯竭过,冬天井水冻不冻等等。此外,还要記錄井孔的裝置,井壁加固情况,附近有無糞坑、垃圾堆和牲畜圈,以及用水目的等等。

由于地表水和地下水之間存在着很密切的水力联系,彼此有补給和排洩关系,所以在水文地質測繪过程中,很有必要調查一下地表水流和蓄水池。要記錄是甚么样的地面水体,是主河还是支流、小溪、湖泊或灌溉水渠。要記錄它們的大小,如河床的寬度和深度,河流及支流的全長,湖泊的面積等等。还要記錄它們的补給水源,划定河水被吸收的地段。关于河水的流量、流速、河水位、含砂量等水文資料可由水文站獲得。另外,也还要取河水水样做水質分析。

对由地下水活动所造成的自然地質現象也要進行觀察,例如对崩滑須記錄滑坡地段的岩性和含水層的分布,滑落面在哪一岩層中,补給水源,地表斜坡的坡度,產生崩滑地段的

高度,滑落了多少公尺,崩滑地段的范围,崩滑类型,有没有表明崩滑的地表特征如醉林和反向坡等。对喀斯特的调查则须记录喀斯特化岩石的岩性成分,喀斯特的发育程度,喀斯特地形特征,喀斯特溶洞中地下水埋藏深度,补给水源,喀斯特发育地区的绝对及相对标高和喀斯特泉的位置、水质、水量等。

近年来进行水文地质测绘时,常注意调查地表植物的特性,所以调查地下水的人也应该会辨认某些植物。某些地表植物的分布情况,可以帮助我们判明哪些地方有地下水,埋藏深浅及水质成份。例如细小的莞属、山水杨、赤杨、蘆葦、常春藤属等植物没有水便不能生长;在这些植物生长的地方,可以找到水源。象骆驼刺这种植物可以从 15 公尺深处吸取水,所以它的出现可以告诉我们潜水埋藏较深。又如沙漠区黑鹽木、新

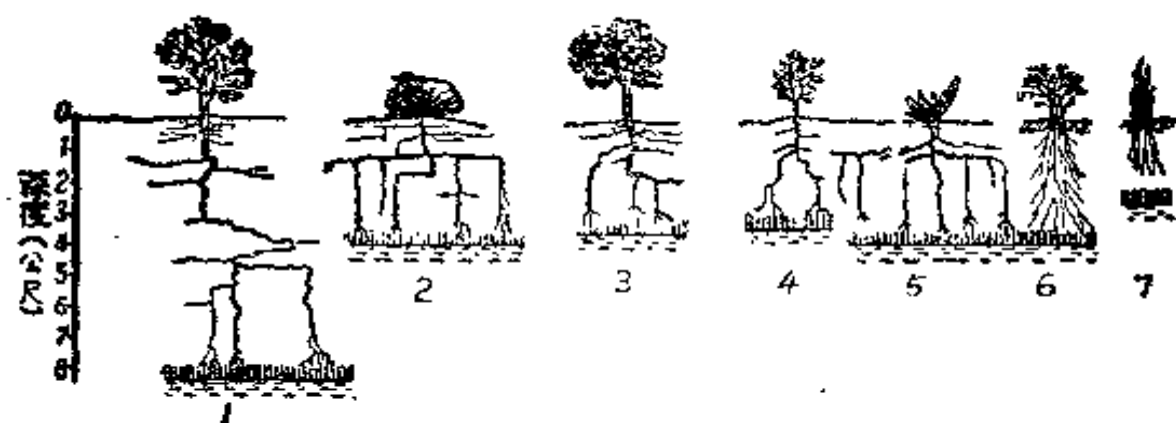


圖23 沙漠地区地下水不深时可生长的植物根系。

- 1 黑鹽木 2 新疆拐枣 3 胡桐 4 猪毛菜 5 球穗麻黄
6 耐鹼樹 7 芨芨草

疆拐枣等植物根系的深度决定于潜水面的位置(見圖 23);鹽吸菜能依靠吸收高礦化的水生長,所以能作为鹽水存在的标志。在北方,有时根据地表植物的生長情况,可以判明有無冰丘存在,如冰丘旁的巨樹会因地表冻脹而傾斜。

水文地质测绘根据詳細的程度可分为三种。一种是区域

水文地質測繪，測繪結束時所繪制的水文地質圖的比例尺小於1：500,000，這種測繪是最粗略的。另一種是面積水文地質測繪，圖的比例尺是1：100,000或1：200,000，這就詳細一些。再有一種是詳細水文地質測繪，圖的比例尺大於1：50,000，對地下水調查得很詳細。

水文地質勘探就是利用鑽孔、試坑等來調查地下水。詳細調查地下水時要做這些工作，目的是要查明含水層數目，地下水埋藏的深度、厚度以及延展長度，岩性構造的变化情況，各層地下水的化學成分，潛水水位和自流水承壓水位，各含水層之間有沒有水力聯系，以及由鑽孔中抽水測定涌水量等。究竟要打多少鑽孔，挖多少試坑，都決定於進行勘探工作的目的和地質構造。地下水埋藏情況愈複雜，鑽孔和試坑的數量就愈多。

在某些情況下，要做實驗室內和野外的試驗。室內實驗是



圖 24 在新安江上進行的水文地質鑽探。

利用儀器測定岩石的透水性質（如滲透系數），用一定的試劑和器具做水質分析等。野外試驗是用由鑽孔中抽水，往鑽孔中注水、壓水，或往試坑中灌水的方法測定涌水量和滲透系數，以及用向位於地下水流上游一個鑽孔中投入食鹽、螢光紅等指示劑，而在位於地下水流下游的鑽孔中取水樣分析的方法測定地下水的實際流速等。

通過對地下水的調查，還應該能預測地下水未來的變化。進行地下水動態長期觀測，觀測地下水位、水溫、化學成分和水量在一年內和多年過程中如何變化，以便於人們利用和控制地下水。目前在長春、北京等地已經組織了或正在組織這樣的長期觀測工作。長期觀測所得的資料，對解決國民經濟各部門的地下水調查和研究問題來說，是非常寶貴的。

不論我們的工作性質以及調查的詳細程度如何，都可以按照三個階段來工作：在準備工作階段是收集和研究的調查地區現有的地質、自然地理、氣象、水文、地貌和水文地質等資料，訂出工作大綱，編造預算並組織調查隊，進行人力物力的配備；在野外工作階段則對地下水進行各種調查並繪制草圖；到了室內工作階段，則整理一切資料，繪制圖表，編寫報告。

早已有人運用地球物理方法——電法勘探如電測深和電測剖面，就象用電流來代替鑽機那樣來調查地下水。近年來，又有人開始應用航空攝影的方法來調查地下水，例如春季在北方多年凍結區進行航空攝影，能夠準確地在草叢中找到寒冷季節在大泉露出地表處所造成的冰體。

以上所述，就是在調查地下水時所要進行的工作。可以說很多國民經濟部門所提出的問題，都和地下水的調查有關。

