

《水与人类》丛书

奇妙的地下水

朱 洛 成



《水与人类》丛书

奇妙的地下水

朱 济 成

水利电力出版社

《水与人类》丛书
奇妙的地下水
朱济成

*

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 2.625印张 54千字
1986年9月第一版 1986年9月北京第一次印刷
印数0001—3020册 定价0.51元
书号 15143·6132

内 容 提 要

这是一本阐述地下水基本知识时科普读物，书中深入浅出地介绍了地下水的来源、性质、功能和重要性，介绍了超量开采地下水造成的严重危害，提出了合理使用和保护地下水源的方法。

本书可供具有初中文化程度的广大青少年、水利工作者以及农村基层干部和地学爱好者阅读。

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书。包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员	史梦熊		
副主任委员	董其林		
委 员	丁联臻	王万治	史梦熊
	田 园	李文治	郇凤山
	杨启声	张宏全	张林祥
	沈坤卿	陈祖安	陈春槐
	汪景琦	郑连第	郭之章
	赵珂经	茆 智	陶芳轩
	谈国良	徐曾衍	蒋元骧
	曹述互	曹松润	董其林
	颜振元		

(以姓氏笔划为序)

前 言

水是人类社会非常重要的资源之一。人可以连续几天不吃食物，但是不能连续七天不饮水。人体组织的 $\frac{2}{3}$ 以上是由水分构成的，一个人每天要饮用3公斤左右的水。工业生产也离不开水，工业用水一般占城市用水量的80%左右。每生产1吨钢平均需水200多吨，生产1吨烧碱需水100多吨，生产1吨石油化工产品、1吨纸或1000度电需水约200~500吨，生产1吨人造纤维需水1200~1800吨。农业生产需水量更大，每生产1吨谷物平均需水450吨，生产1吨甘蔗需水约1800吨，生产1吨肉类需水高达31500吨。由此可见，无论是人们生活还是工农业生产都离不开水，而且需要质地优良、数量可观的水。

地球上究竟有多少水呢？根据科学家的计算，地球上水的总量大约是140亿亿吨，如果把这些水平均分布在地球表面，那么，每平方厘米地球表面上可以分摊到274公斤水。这些水储藏在哪里呢？我们知道，地球上无边无际蔚兰色的海洋，占据了地球上总水量的97%以上，大体有137亿亿吨。海洋水数量虽多，但是又苦又咸又涩，不能直接供人们生活与生产之用。在南北两根和高山上，有大量的冰盖、冰川与积雪，水量约有2.9亿亿吨，占地球总水量的2.1%。在离地面5~16公里以内的大气层中，又有以水蒸气、雨、雪、冰雹组成的大气水，水量有12.9万亿吨，约占地球总水量的0.001%。在陆地上，分布着众多的江河湖泊。乍看起来，

江水滔滔不绝、湖水茫茫无际，但是实际上地球全部江河湖泊的水量只有220万亿吨，约占地球总水量的0.017%。

除此之外，在地球上，不论是河渠纵横、雨水充沛的潮湿地区，还是河干地裂、雨水稀少的干旱沙漠地区；不论是广阔无垠的平原，还是峰峦连绵的山脉丘陵；也不论是靠近地面的地层中，还是地下2公里多的深处，人们都可能见到沟谷岩石裂缝中渗出的流水、山崖老树根底下流出的涓涓细泉，砖砌井壁深处粼粼闪光的水面，平原钻井中喷出的水柱，沙漠地带地下水槽中涌出的清凉水流。它们构成了形式多样、奇异多彩的另一种水源——地下水。由于人们不能直接看到地下水埋藏的地方，所以它们往往被形象地比喻为“无形的水源”、“地下海洋”或“地下水库”。它们的水量也很可观，其数量可达8300万亿吨，约占地球总水量的0.59%，虽比不上海洋的水量，但却是江河湖泊水的数十倍。我国的地下水资源量每年可达8000亿吨，约占我国年淡水资源总量的1/4。由此可见，地下水具有举足轻重的地位。

奇妙的地下水埋藏在什么地方？它是从哪里来的？它有什么性质和特征？它有哪些类型和功能？超量开采使用地下水有什么危害，会产生什么严重后果呢？怎样合理开发利用地下水和保护地下水资源？这些问题就是本书所要介绍的主要内容。

在本书的编写、审定过程中，施鑫源同志详细审阅了全书，并提出了很多宝贵的意见；孙鹏同志精心为全书配制了插图，编著者特此表示谢意。

目 录

序

前 言

一、 无形的水源.....	1
来去需判明.....	1
种类知多少.....	6
出露不一般.....	11
水质甘又醇.....	15
清泉何处寻.....	16
二、 奥妙功用多.....	21
城乡生命线.....	21
沙漠变绿洲.....	22
无煤可取热.....	26
温泉保健康.....	31
水中有矿产.....	35
三、 超采定成灾.....	37
水位往下降.....	37
清泉闹枯竭.....	40
地面渐下沉.....	41
海水侵井泉.....	45
水质能恶化.....	48
四、 水源需保护.....	54
管理应及时.....	54
细水可长流.....	56

水源能调剂.....	60
水质要防护.....	68
水好须珍惜.....	71
结束语.....	72

一、无 形 的 水 源

来 去 需 判 明

埋藏在地壳中、人们不能直接看见的地下水是从哪里来的呢？它们又流到哪里去了呢？有这样两句话说得好：“地下的水，天上来”、“水流千转归大海”，形象地概括了地下水的来源与去向。我们知道，海洋河湖等地表水在阳光照射下，受热蒸发；大量的植物在蒸腾水分；动物也在排泄和挥发水分，这些水分都变成了水蒸气，进入大气层。水汽上升随气流转送陆地上空，并在运移过程中遇冷凝结为极细小的水滴形成了云，云在适当的条件下就变成雨、雪或冰雹降落到地面。

降落地面的雨水，其中一部分经过蒸发又回到天空；另一部分降落到江河湖海里，最终又汇聚到海洋中；还有一部分通过岩土空隙渗入并贮存到地下岩层中，从而形成了地下水。地下水的一小部分，以泉水的形式溢出地面，绝大部分以地下径流的方式，用极缓慢的速度，从高处往低处流入湖泊、河流和海洋，又变成地表水（图1）。另外，在沙漠地区的夜晚，因为气温极低，空气中的水蒸气也可以在砂土中直接凝结成小水珠，许多水珠聚集起来渗入沙漠下面，就形成了地下水。如果沙漠附近有高大的冰山雪岭，那么夏季高山融化的冰雪水也会下渗到附近沙漠里而形成地下水。当

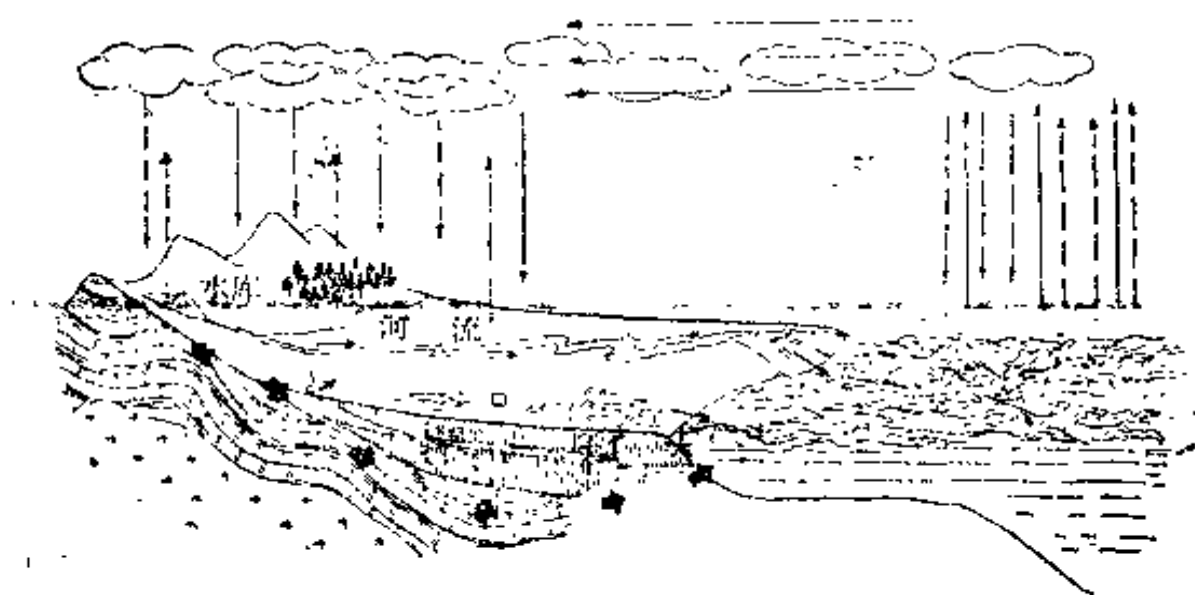


图 1 自然界水的循环

然，在地球深处炽热的岩浆入侵地壳后，在其逐渐冷却过程中，分离出来的气体和水汽遇冷凝结，也能直接化合成温度较高的地下热水，但是数量极少。

地下岩层为什么能贮存水呢？什么样的岩层才有贮水性能呢？岩层贮水性能有大小吗？这得从岩石的种类谈起。某些岩石的性质人们是熟知的，如花岗岩坚硬，常做碑石材料；石灰岩由极纯的碳酸钙组成，常用来烧炼石灰；大理岩质地细密、光滑，常用来装饰地面和墙壁。这三种岩石代表了组成地壳的三大类岩石——岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩浆岩又叫火成岩，是地球内部灼热的岩浆侵入地壳或者喷出地表，慢慢冷却凝固而形成的，如花岗岩等。沉积岩又叫水成岩，是在久远的地质年代里，主要由海洋、河流或湖泊中的泥沙和溶解物质沉积固结而形成的，如石灰岩、砂岩、页岩等。岩浆岩和沉积岩受到地壳运动或岩浆侵入的影响，在高温、高压等作用下，改变原来的成分和结构而形成的另一种岩石，我们叫它变质岩，如大理岩等。有些晚近形成的沉积

物，如卵石、砾石、砂子、粘土等，这些还没有胶结成坚硬的岩石，又叫作松散岩层。如果卵石、砾石与砂子已经被胶结成坚硬的岩石，则叫作砾岩。

松散岩层中，卵石、砾石和砂子之间保留了又大又多的孔隙，水很容易下渗，所以透水性良好。而粘土层是由极微小的颗粒组成的，虽然也有孔隙，但孔隙又细又少，往往互相连在一起，形成极微小的毛细管，水在其间被紧紧吸住，很难向下渗入，透水性就差。一般来说，沉积岩中的砂岩，松散岩层中的卵石、砾石与砂层等透水性较好(图2a)，能贮存较多的水；而沉积岩中的粘土层和页岩，还有坚实的岩浆岩、变质岩等透水性很差，几乎不能贮水。我们把贮存在松散岩石孔隙中的地下水，叫作孔隙水。

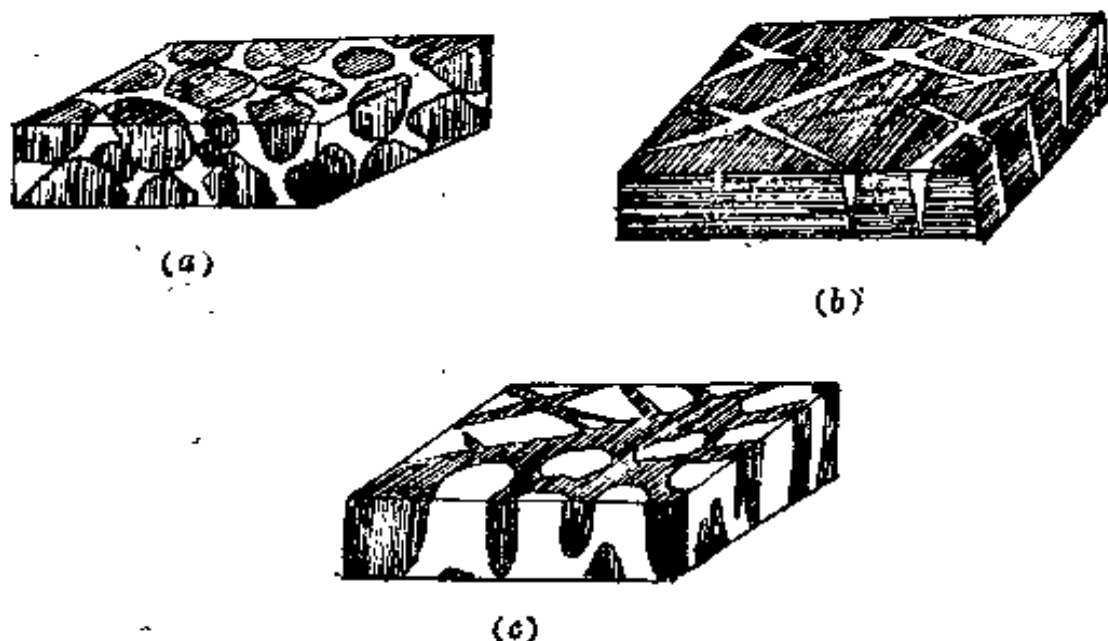


图 2 各种岩层的孔隙、裂隙与溶洞

在地壳长期运动的过程中，因为岩石受到各种自然力的作用，如岩浆岩在岩浆凝固过程中的体积收缩，各种岩石生成后受到常年的风吹、雨淋、日晒等作用，都可产生裂隙

(图2b)。岩石的裂隙越大越多，岩石的透水性就越好。如果在岩浆岩、变质岩和其它沉积岩地区，具备这些自然条件，就能发育很多的裂隙，因而这些地区往往能找到丰富的地下水。贮存在岩石裂隙中的地下水，叫作裂隙水。

具有侵蚀性的水流（如含有大量二氧化碳的降雨、地表水与地下水），会对可溶性岩层，如卤化类岩石（食盐、钾盐、镁盐等）、硫酸盐类岩石（石膏等）及碳酸盐类岩石（石灰岩、白云岩、大理岩等）进行化学溶解和机械破坏，使出露地表的这类岩层生产石林、孤峰、落水洞、波立谷等；使隐伏在地下的这类岩层产生溶孔、溶洞、暗河等，我们把这些现象，叫作岩溶作用。溶洞、溶沟和洞穴往往很大，能把大量的降水、地表水与别处流入的地下水贮存起来，从而形成了岩溶水（图2c）。但是，由于碳酸盐类岩石的分布最广泛，绝大部分的岩溶作用均发生在此类岩石中，因此，通常所说的岩溶水主要是指贮存于碳酸盐岩石中的地下水。

各种岩石的透水程度不同。我们把卵石层、砾石层、砂层、有溶洞的石灰岩以及裂隙发育的岩浆岩与变质岩等透水性较好的岩层，叫作透水岩。而把粘土层、无裂隙与孔隙的花岗岩、大理岩等透水性不好的岩层，叫作不透水层。如果透水层下而有一层相对来说不透水的岩层，那么进入这个透水层中的雨水等就会停留下来，进而充满整个含水层，形成了地下水。这个充满水的透水层就叫作含水层。而相对来说不透水的岩层，由于它起了阻挡地下水渗透和流动的作用，就叫作隔水层（图3）。地壳就是由各种透水的和不透水的岩层组成的。透水层和不透水层往往相间成层或彼此交错。每个岩层，尤其是含水层的厚度及其分布范围，在各地区是各不相同的，所谓地下水也就是积聚和贮藏在地下岩石孔

隙、裂隙和溶洞中的水，它是由各个地区许许多多断断续续的地下水体共同构成的。

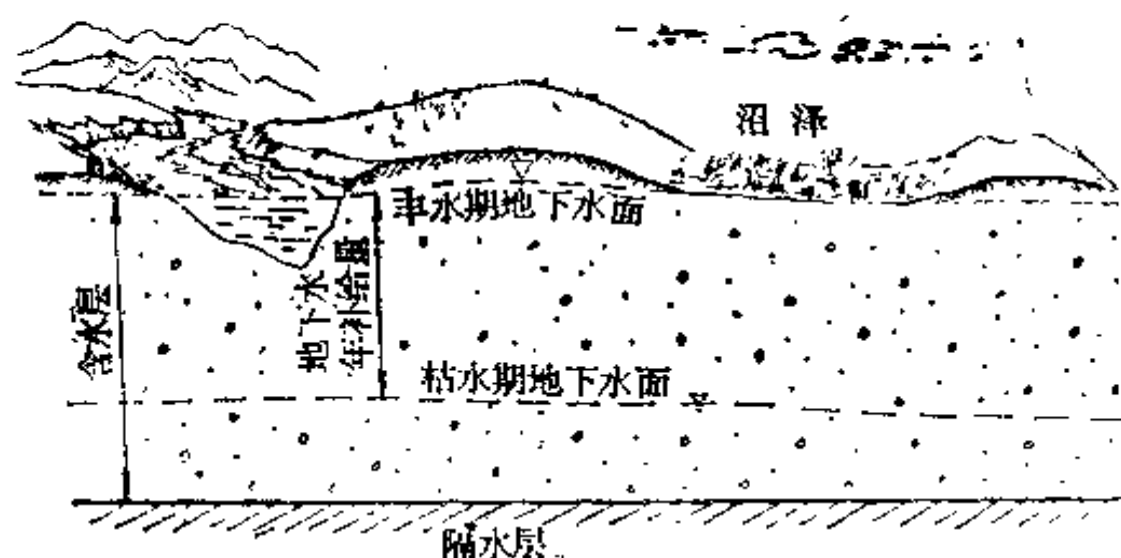


图 3 含水层与隔水层

地下水是地球上重要的液体矿产资源，这种矿产不同于金、银、铜、铁等金属矿产，也不同于煤、石油等非金属矿产。金属和非金属矿产是在长期地质过程中形成的，它们需要数百万年乃至数十亿年，才能形成这种矿产的储量，随着人类的开采使用正在日见减少着。而人类每年所开采消耗的地下淡水，只占地球上淡水总量极小部分，并往往在当年就能够得到补给和恢复。大气降水是很多地区的地下水的主要补给源，因而地下水具有年度周期性变化的规律。旱季地下水位下降，雨季地下水位上升，这已成为检验地下水资源量大小的一个重要标志。以冰川融雪水为主要补给来源的地下水，也有类似的年度补偿特征。枯水季节，地下水位下降，地下水量减少，是地下水枯水期；降雨季节或冰雪融化季节，地下水位上升，地下水量增加，是地下水丰水期。每年丰水期较枯水期因水位上升所增加的水量，叫作地下水的年

补给量。只要我们科学合理地开发利用地下水，使每年的开采量与补给量保持平衡，就能使地下水“取之不尽，用之不竭”。以年为周期的补偿性液体矿产资源的这种优越性，是其它任何矿产资源所望尘莫及的。

种类知多少

根据埋藏的方式，地下水主要分为潜水和承压水两大类。从地面向下渗透的水，如果遇到了粘土等隔水层，挡住了下渗的道路，它就会聚集在这个隔水层之上。这种埋藏在地面以下第一个隔水层上面的地下水，具有自由水面，叫潜水或无压水。充满于两个隔水层之间的含水层中的水，往往具有一定的压力，所以叫承压水或自流水（图4）。

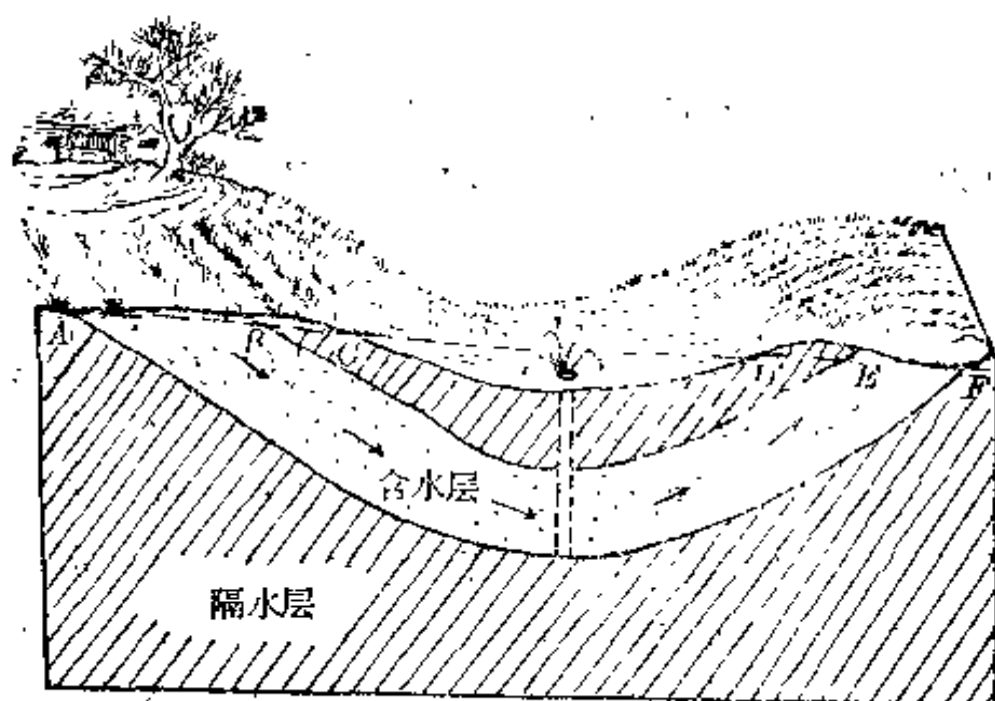


图4 潜水与承压水

AB—补给区，BE—承压区，EF—排泄区，CD—自流区

潜水在自然界中分布最广，由于潜水含水层上面一般不存在隔水层，所以在潜水分布范围内，都可以直接接受大气降水、地表水与凝结水的补给。潜水有一个自由水面，该自由水面上处处保持一个大气压力，称为潜水面。一般来说，高地上潜水面距地面的深度，要比平原或低洼的地方深得多。在重力作用下，潜水由位置高的地方向位置低的地方缓慢下降运动，从而产生了潜水径流。在潮湿多雨的丰水季节，潜水得到补给，潜水面随之上升，含水层厚度加大，埋藏深度变小，甚至露出地面，使地面沼泽化或浸没。而在干旱季节，潜水不断蒸发消耗，潜水面下降，含水层变薄，埋藏深度加大。我国西北黄土高原地区，潜水埋藏比较深，一藏在地下50~80米；而东部平原的长江下游地区，潜水埋藏较浅，深度一般只有3~5米，甚至更浅。

承压水含水层与上部隔水层接触的界面叫隔水顶板，与下部隔水层接触的界面叫隔水底板。顶、底板之间的距离为含水层厚度。同一地段往往可以有几层承压水同时存在。比如，第一层承压含水层隔水底板下面，有第二层承压含水层，在其隔水底板下面又有第三层承压水含水层，等等，这样可以多达几层至十几层。承压水主要通过含水层出露地表的地方（这里的水实际上已转为潜水）获得大气降水、地表水与凝结水的补给。承压含水层出露地表的地区叫补给区，不出露的地区叫承压区。当顶底板为弱透水层时，它还可以通过弱透水层，从上部或下部的含水层获得补给（图5）。如果补给区位置较高，水由补给区进入承压区，受到隔水顶底板的限制，使含水层充满水，并使水承受压力，含水层中的水将以一定压力作用于隔水顶板。也就是说，当含水层中都充满了水的时候，含水层中的水就象自来水管中流动的水一样，具有一

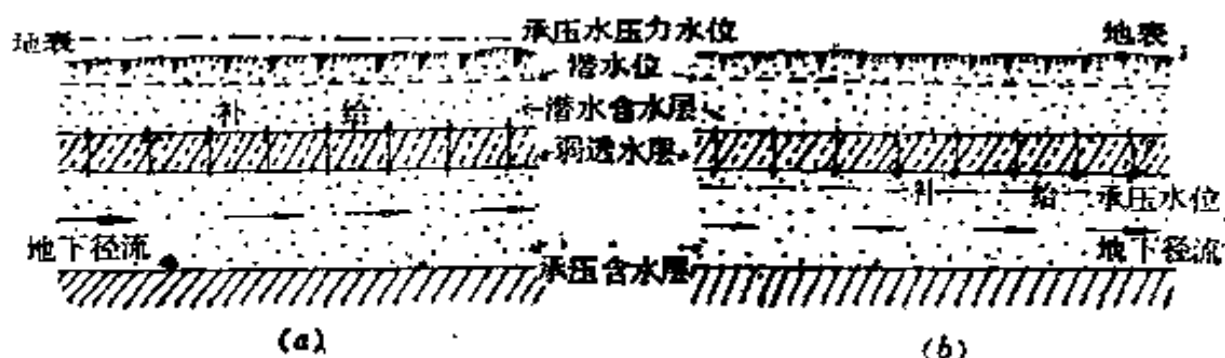


图 5 通过弱透水层，含水层之间相互补给
(a)下部承压水补给上部潜水；(b)上部潜水补给下部承压水

定的压力。如果在这个地方打井，当打穿了含水层上部的隔水层后，水就沿着这口井上升，甚至喷出地面，于是形成了自流井。自流井中的水由于受到压力就会自流或自喷出来。这个道理和自来水很相似，高处水塔中的自来水具有一定的压力，所以当人们在低处拧开水龙头，水就会自动流出，甚至可以形成人工喷泉。如果承压含水岩层是倾斜的，那么在岩层较低处打井，就能打成自流井。如果承压含水岩层是从四周向中间弯曲的，在弯曲的中心就更容易打成自流井。由于承压水上面有隔水层，含水层与大气的联系较少，地面气温变化和蒸发作用的影响也相对较小，所以自流井分布地区一般水量稳定而丰富。

在石灰岩、白云岩分布地区，由于岩石成分多为碳酸钙、碳酸镁等易被二氧化碳水溶液溶解，岩石常被溶蚀成溶沟、溶洞、落水洞、天然竖井、地下暗河、石林等，人们把这些统称为岩溶现象。这些岩溶构成了一座座挺拔秀丽的峰峦、曲折幽深的岩洞，以及奇形怪状的山岩和纵横交错的石壁。有的形成了雄奇瑰丽的岩溶洞穴，洞中宫殿重叠，宫殿内，石钟乳、石笋、石柱、石幔、石花等，琳琅满目。洞底

石笋、石柱，如同金竹玉柱；洞顶石钟乳悬挂，似繁星缀天；洞壁石幔、石花，如幅幅画卷。各种形态的石乳珍品，晶莹剔透，色彩缤纷。有的象瀑布，奔流直下；有的象柱石，直指蓝天；有的如鸟如兽，有的如塔如瓶；轻轻敲击，如擂鼓鸣金，如吹笛弹琴。游人仿佛进了艺术宫，置身音乐厅；时而被奇景所迷惑，时而被乐声所陶醉。广西桂林岩溶洞穴，风景更是世界驰名，素有“桂林山水甲天下”的美誉。



图 6 岩溶洞穴的石灰华沉积物

我国岩溶地区约占全国面积的1/8，它们主要分布在广西、贵州、云南、湖南、湖北、四川等省。其面积之广、类型之多、风景之美，为世界各国所罕见。岩溶的发育是随着岩石埋藏深度的增加而减弱的。在靠近地表的地方，地下水运动剧烈，空气充裕，碳酸钙镁等岩石极易溶解，因而岩溶比较发育。在地表深处，地下水运动迟缓，空气极少，碳酸钙镁等岩石溶解缓慢，岩溶的发育也较差。一个地方的岩溶越发育，溶洞、溶蚀裂隙互相沟通就越多；溶洞、裂隙的充填物越少，而且充填物颗粒越粗，岩溶水也越丰富（图8）。岩溶水主要依靠大气降水的人渗补给，我国南方的岩溶区，降水入渗量常达降水量的80%以上；而北方岩溶地区，一般为降水量的40~50%，只在个别地区达80%以上。



图 7 秀丽的桂林山水

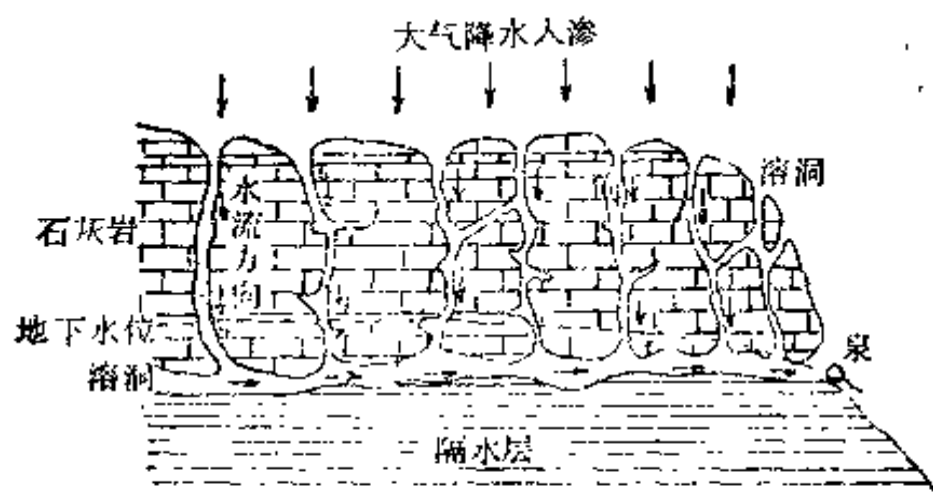


图 8 岩溶水形成示意图

岩溶水可以是潜水,也可以是自流水。通常,在地表直接有大面积的厚层石灰岩时,常常形成岩溶潜水;而在易溶性岩层和非易溶性岩层相互成层时,则往往形成岩溶自流水。在岩溶地区由于雨水、河水、湖泊水等地表水非常容易渗入地下,山区型岩溶潜水的埋藏深度又比较大,经常超过50~100米,甚至可达几百米。因此,在岩溶地区不仅缺地表水,地下水直接出露地表的也少。

出 露 不 一 般

地下水主要是以井和泉的形式出露于地表。什么是井呢？井就是用人工开挖的方法，把埋藏在地下不同深度的地下水揭露出来。自古以来，井就是开采地下水的一种主要方式。我国凿井历史悠久。如在浙江余姚考古发现一口木结构的水井，它由200多根桩木、圆木衬砌而成。据采用碳-14对木头及树轮年代的测定，证实这口井已有5700年的历史了。在河北邯郸洺沟考古发现了两眼7米深的水井，其中一眼井内有尖底汲水陶罐等物品50余件；还在河南洛阳市南郊考古发现一眼6米多深、直径为1.6米的水井，井口距地表0.9米。经过考察以及碳-14年代测定，证实它们都是4000多年前开挖的水井。在河北藁城殷代遗址中，也发现了当时的水井。在北京的陶然亭、蔡公庄、宣武门豁口和八里庄等地，发现了春秋战国与西汉时期遗留下来的许多陶井，其中蔡公庄到宣武门豁口一带井的分布最为密集，甚至在6平方米范围内就有4口井。这些水井的井壁是用陶圈垒成的，有一口井残留了16节陶圈。许多井圈内壁印着各种花纹，有的水井井底里有陶罐和五铢钱。由此可见，我们的祖先早在5700年前就凿井来开发利用地下水了。

民间常见的井有两种：筒井和管井。筒井就是普通民用井，也叫土井。在地下水埋藏较浅、含水丰富的潜水地区，最适宜打筒井。筒井常由人工开挖，直径一般为0.7~1.0米，上口小，下部大，这样可以防冻、防蒸发，便于安装汲水工具，节省砌井材料，进水多，存水也多。为了增加出水量，人们往往把筒井的直径扩大到2米以上，最大的可达12

米，这就成了“大口井”。筒井的深度一般在3~12米左右。

管井是用凿井机打出来的井，也叫作机井，它的直径只有0.2~1.0米左右，深度可从几十米到几百米，甚至上千米。我国早在2000多年前就曾利用木制设备钻凿管井，井的深度可达100米。在汉朝已能开采地下200米深处的自流井。到了公元7~10世纪，我国凿井深度已超过了500米。因此，我国是世界上最早掌握开凿水井技术的国家，比欧洲较早开凿水井的法国，还要早1500年左右。据1981年底的统计，仅我国17个省、市和自治区就有机井241万眼，约占全国机井总数的80%，它们浇灌着1.7亿亩耕地，占当地耕地面积的1/3。

什么是泉呢？地下水不经人工开挖出露地面的天然露头，就叫做泉。泉的形成与当地岩层情况有关。沟谷切割揭露潜水含水层（图9a），地形切割到含水层隔水底板，地下水被迫从岩层接触处出露成泉（图9b）。含水层被不透水的岩层阻挡，地下水沿着接触面流出地表面形成泉（图9c）。有的泉是地下水沿着岩层大断裂缝隙上升到地表（图9d），有的是地下水沿着岩石的风化裂隙溢出地面（图9e）。还有的泉是地下水沿着条带状火成岩体的边缘缝隙上升到地表面形成（图9f），等等。因此，凡是在地形变化比较显著的地方，如山坡上、山区和平原交界的地方、平原上被河流或冲沟切割的地方等，常能见到泉及泉群。

一般来说，泉水是终年流动不息的。在雨季以及雨季过后不久，泉水的流量最大；随着旱季的来临，泉水的流量逐渐变小，到旱季结束前，流量最小；如果遇到连年干旱或超量开采地下水，泉水甚至会干涸断流，这就是泉水流量一年

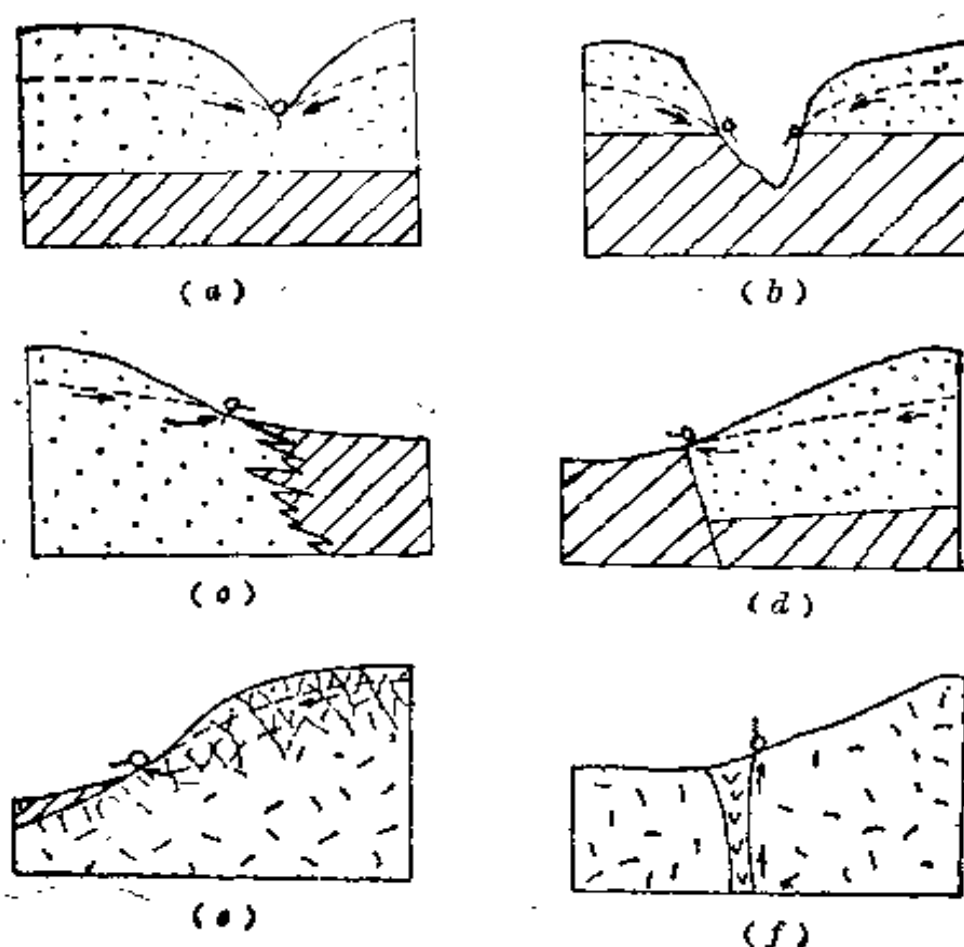


图 9 各种类型泉的形成

的动态变化规律。

在自然界还有一种奇特的间歇泉，泉水每隔一定时间周期性地喷涌一次，非常准时，就同海边潮水每天准时来到一样。这是怎么回事呢？原来，这是岩溶水虹吸作用和溶洞中聚集的气体压力共同作用而造成的（图10）。当水流从岩溶通道上游进入气室并夹带大量的气体，由于流进气室的水多于排出气室的水，气室的水面渐渐升高，而且气室里面的空气也增加了，但是气室的空间因水面上升反而减少了，所以气室的空气压力不断增大。当气室内的气压达到一定程度时，虹吸管左侧的水体突然向右侧压缩，由于压力的加

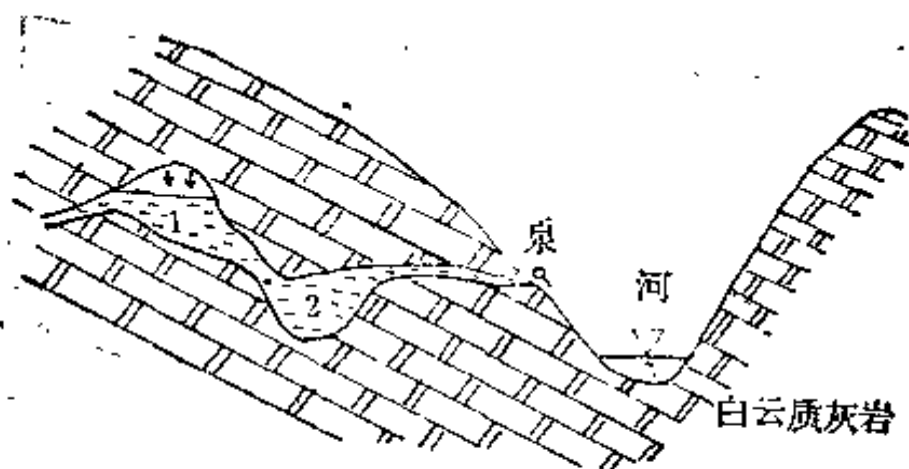


图 10 间歇泉原理示意图

1—气室，2—虹吸管

大，则水流加快，大量水体突然流出，于是在出口形成一次泉水喷涌。过后，气室水面下降，气压降低；气室水面又不断升高，气室压力再次加大，造成又一次泉水喷涌。如此反复进行，形成了间歇泉现象。如我国贵州中部岩溶水地区著名的

猫跳河间歇泉，每昼夜平均喷涌35~42次。又如四川省古蔺县龙山鱼孔间歇泉，流量为每秒12升水，流水时间120分钟，间歇时间40分钟。



图 11 泉城观泉涌

我国的地形与地质条件都很复杂，有利于泉的形成，因此几乎到处能看到泉。如山东省济南市与泰山山脉相连，地下石灰岩层较多，由于溶洞积水，泉水夺

地而出，尤以趵突泉、黑虎泉、珍珠泉与五龙潭泉等七十二泉闻名中外。其中最著名的是趵突泉，喷出的水柱曾达二、三尺高。济南市泉水遍布全城，人们冠以“泉城”、“泉都”的美名，可以说是“家家泉水，户户垂杨”。此外，北京玉泉山的“天下第一泉”、杭州的“虎跑泉”、无锡的“惠山泉”、镇江的“中冷泉”等等，都是我国的名泉。

水质甘又醇

水是一种良好的溶剂，在其运动过程中和大气、土壤与岩石等物质接触，许多物质就会进入水中。所以在河湖水、雨水等天然水中，经常含有尘埃、细菌等杂质。天然水通过土壤、砂石渗入地下时，绝大部分杂质被过滤掉了，所以地下水尤其是较深的承压地下水显得清冽透明，很少含有悬浮物质。但是，地下水中能够含有各种溶解性物质，有时数量还很大，特别是埋藏很浅的潜水。

地下水中含有的溶解物质主要是各种金属的碳酸盐、硫酸盐、硝酸盐、氯化物盐类，以及各种非金属和有机物等杂质。我们常常发现有些井水是苦的，这是含有过多的硫酸盐、硝酸盐的缘故；还有一些井水是咸的，这是含有过多的氯化物的缘故。我们也常看到有些饮用井水的地方，开水壶里结了厚厚的水碱，这是井水中各种盐类太多了的关系。一般来说，质优味淡甘美的碳酸盐类的地下水还是较多的。尤其是自然保护状况较好的石灰岩层地区出露的泉水，地下水水质多为低矿物质的重碳酸钙、镁型水，味道甜淡，一向为人们所喜饮用。

我国从古代起就关注地下水质的好坏，并曾以水的轻重

来衡量水质的优劣，重者劣，轻者优。据说清代乾隆皇帝为了衡量北京玉泉山泉水的优劣，曾下令特制许多相同容积的银斗，用来称量天下各名泉水的轻重。称量的结果为：济南珍珠泉斗重一两二厘，镇江金山泉水斗重一两三厘，虎跑泉水斗重一两四厘，平山水斗重一两六厘，凉山、白沙、虎丘、碧云寺诸泉水斗重各一两一分。只有玉泉山、伊逊两地的泉水斗重一两，水轻质甘气美。因此，乾隆皇帝在公元1751年发布文告，指出玉泉山的泉水“实为天下第一”，并命令有关方面装修玉泉山上的龙神寺，以备祭祀。乾隆皇帝还亲题“天下第一泉”碑文，并写诗以纪念玉泉水，诗中指出“功德无双水，名称第一泉”。

北京玉泉山的泉水自古就有名气。因为泉水不断地突涌，所以古人称它为“飞瀑垂虹”。金代章宗皇帝将此景命名为“玉泉垂虹”，成为燕京著名的八景之一。在清代，乾隆皇帝多次到玉泉山玩赏，他认为泉水是从石缝中流出，并没有形成瀑布，因而不能叫“玉泉垂虹”，实际上玉泉水喷雾如珠，有些象山东济南的趵突泉，所以下令将“玉泉垂虹”改称“玉泉趵突”。公元1753年乾隆又写了“玉泉趵突诗”，指出“济南将渐右，第一让皇都”。在元、明、清各代，玉泉山的泉水被规定为皇室宫廷专门饮用水。由于泉水水质优良，乾隆六次南巡江南时，沿途还派专人运输泉水供其饮用。经过河北省境内要饮用北京玉泉山的泉水，在山东境内要饮用济南的珍珠泉水，在江苏境内要饮用镇江的金山泉水，在浙江境内要饮用杭州的虎跑泉水。

清 泉 何 处 寻

在什么地方才能打出地下水位埋藏深度小、水量又大的

井呢？这和打井地区的地形、地质构造和岩石性质等条件有关。一般来说，在山区打井，要找汇水面积大的地方，如在山脚下，尤其是在四周高、中间低的地方；或者在三面环山，一面有出口的山谷中。由于周围高处的地表水和地下水都向低洼处汇集，如果地下又有隔水层存在，就可形成一个很好的地下水库，所以这种地方往往有较丰富的地下水。在山区找水还应该注意寻找岩层破碎带，因为破碎带中孔隙较多，常常含有丰富的地下水。在石灰岩等坚硬岩石地区，裂隙和溶洞发育的地方，地下水往往比较丰富。在距离山脚不太远的地方打井，应该选在洪水冲积形成的倾斜平原上。那里的地下岩层主要是由多孔隙的砂卵石层组成的，这是地下水贮存的良好场所，常能找到较多的地下水源。平原地区普遍含有地下水，特别是在古代河流曾经流过的所谓“古河床”，以及河流、湖泊经常泛滥的地方打井，一般是很容易找到地下水的（图12）。此外，在地表面经常潮湿的地方，下雪天冰雪特别容易融化的地方，早晚地面经常冒水蒸气的地方，也都能找到地下水，而且埋藏得也不深。

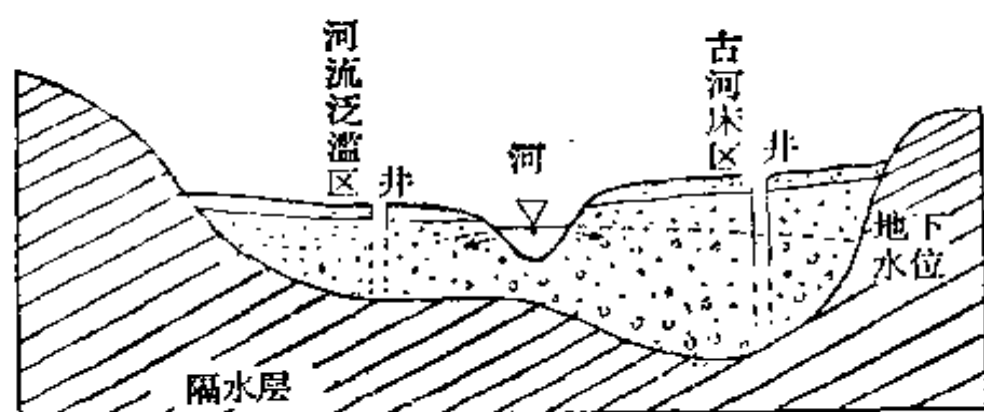


图 12 打井最合适的地区

为了寻找大量的地下水源，人们常用凿井机来钻探岩层深部的地下水和开凿深井，或者用简便的电测方法来寻找含

水层,就是利用电流在含水层里通过快,在隔水层里通过慢的原理,使用电探仪器,测量视电阻率的变化来间接判断地下岩层、地下水位、地下水质和含水层厚度等情况。利用这种方法寻找地下水的效果很好。

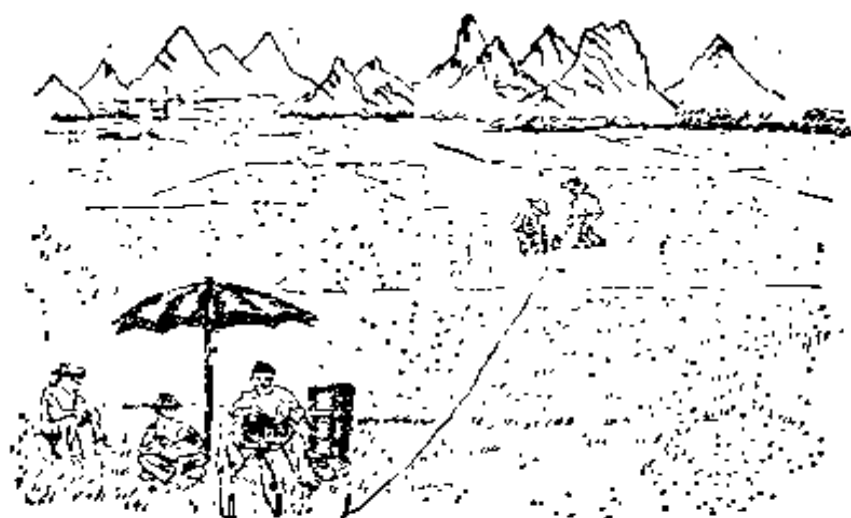


图 13 电测法找水

我国劳动人民早就知道根据植物的喜水程度、分布地带、吸收矿物质和根须发育等特征,来寻找浅层地下水源,判断地下水埋藏的深度以及水质的好坏,积累了丰富的经验。例如,生长芦苇、菖蒲、水芹、木贼、马莲、黄花、牛毛草、芨芨草、狐尾草、大叶杨和柳树等喜湿植物的地方,下面一定有地下水。

有些植物因为生活习性和生理等原因,在它们生长的地方,地下水埋藏深度是不同的。例如生长马兰花、金戴戴、拂水茅的地方,地下水埋藏深度只有0.5~1米。生长芦苇、甘草的地方,地下水埋藏深度为2~3米。生长芨芨草的地方,地下水埋藏深度约为3~5米。生长铃铛刺、怪柳的地方,地下水埋藏深度为6~7米左右。

在干旱和沙漠地区，由于天气干旱少雨，风、沙灾害等严酷的自然条件，这些地区植物的根系特别发育。有的植物根系的长度竟为地上植株高度的几倍，其主根深长，能与地下水面相接，可以吮吸地下深部的水分和养料。人们还发现在生长红柳、梭梭木和胡杨的地方，地下水埋藏深度约10米左右。在生长骆驼刺的地方，地下水埋藏深度能够超过15米。即使在土壤贫瘠而又有盐碱的地区，一些具有顽强生命力的植物也能适应这种恶劣的自然环境。象灰菜、蓬蒿、沙里旺等耐盐碱植物，虽然其下面也有地下水，但都是水质不好的“苦水”。

同样，动物在寻找地下水源方面也能充当人类的得力向导。人们早就发现青蛙、蜗牛、蚂蚁、蛇等动物喜欢栖息在潮湿的地方。在这些动物居住的地方打井，很容易找到地下水源。在我国，利用动物寻找地下水源有悠久的历史。在福建晋江一带，至今还传颂着三百多年前明末民族英雄郑成功“缘蚁得甘泉”的动人故事。据说在公元1655年，郑成功带领兵马船队，在福建晋江一带昼夜紧张的操练。时值盛夏，骄阳似火，将士们个个挥汗如雨，口干舌燥。但是该地严重缺乏淡水，连饮水、烧饭、炒菜都要计划用水，至于洗脸、洗衣、洗澡就更没有水可用了。人们在山坡、在海边打的井，不是干井就是又腥又涩的咸水井，大家都束手无策了。当时郑成功正在帐篷里观看孙于兵法的书，听到这些情况后，说：“咳，我去看看。”于是他就放下兵书，带着卫兵走出了营门。他首先在晋江两岸察看了一大圈，然后又来到晋江东白沙滩头。他特别仔细地察看了这里的地形，并且钻入灌木丛中，反复琢磨、寻找，突然发现在白沙上竟有一条黑黝黝的蚁路。沿着这条蚁路搜索，终于在一棵大树旁发现

了正在忙忙碌碌垒窝运食的蚁群。蚂蚁属于膜翅目昆虫，只有在有淡水的地方才会垒巢造窝。郑成功想起了一条农谚：“蚁群窝边跑，淡水脚下冒。”他紧皱的浓眉顿时舒展开来，接着在蚁窝周围的沙滩上用靴尖使劲地划了一个圆圈，并传令营部派人，立即从这里打井。当天晚上，水井打成了，果然是一口香冽甘美的甜水井，士兵们争先恐后地喝了几口，顿时从头顶直沁凉到脚跟。打出甜水井的消息一传开，群情激昂，军心大振，郑成功和他的部队操练得更加起劲了。300多年来这口井成了人们景仰和缅怀民族英雄郑成功的纪念井了。



图 14 郑成功发现了蚁路

二、奥妙功用多

城乡生命线

地下水是淡水资源的一个重要组成部分，它具有水质洁净、水温变化小和分布广泛等优点。在70年代中期，世界各国的总供水量中，地下水占有很大的比重。如丹麦、利比亚、沙特阿拉伯和马尔他占总供水量的100%；圭亚那、比利时和塞浦路斯占80~90%；德意志联邦共和国、以色列占67%~75%；苏联占24%；美国占20%左右。

在我国，地下水对居民生活、工农业生产、城市建设起着重大的作用。1979年我国总用水量为4767亿吨，其中地下水约为550亿吨，占12%。目前许多城市和工业基地，都以地下水作为主要供水水源。全国181座大中城市中，采用地下水供水的城市占1/3以上；采用地下水与地表水联合供水的城市占1/5以上。尤其是地表水较缺乏的北方地区，地下水对于解决城市供水的作用更为重要，如华北27个主要城市的地下水开采量占城市总用水量的87%。目前，北京、沈阳、西安、大连等城市，地下水的日开采量均达到了100万吨以上。据统计，现在我国城市和工业使用地下水量已达150亿吨以上，占全国地下水开采总量的27%。

在地面水源不足，降雨较少的干旱地区，开发利用地下水已成为水利建设的一个重要方面，并且是农业上取得抗旱

保丰收显著效益的必要手段。如河北平原过去受旱灾威胁，粮食产量很低。1960年以来，大力开发利用地下水，打井40多万眼，开采地下水每年达数十亿吨，灌溉农田3000多万亩，占全部水浇地面积的60%，从而促进了农业增产。

沙漠变绿洲

新疆东部吐鲁番盆地和哈密盆地是我国著名的沙漠地区，那里浩瀚的戈壁滩一望无际，炎夏的白昼骄阳似火，干旱的茫茫荒漠上热风横扫，沙石滚滚。我国古典文学名著《西游记》里，描写的火焰山，就在吐鲁番盆地内，它横贯盆地，蜿蜒数百公里，赤地千里。吐鲁番盆地天气干热，地表温度经常高达50~60摄氏度，年降雨量只有几毫米，蒸发量却高达几千毫米。它是我国最炎热、最干旱的地区，素有“火洲”之称。可是，浩瀚的戈壁滩并不都是荒芜人烟的不毛之地，而是断断续续地分布着一些繁华的城镇、富饶的乡村和“塞上江南”的绿洲。这里盛产着闻名中外的香甜的哈密瓜以及马奶子、玫瑰香、无核白等名贵的葡萄，还有绒长耐拉的长绒棉。这些大大小小的绿洲交织错落，在浩瀚的沙海里，就象嵌在金石上的翡翠，闪烁着碧绿的光彩，十分引人注目。气候干旱的戈壁沙滩为什么会出现这些繁茂的景象呢？

我国西北地区，气候干燥，雨水稀少，有的地方几乎整年不落一个雨滴。但是在高山地区，雨雪却较多，在海拔3000米高的地方，年降水量可达800毫米。在4000米以上的高山上，就是永久积雪带，那里不光有足够的雨量，而且有无数的冰山、雪海、山湖、瀑布、溪流，天山山脉横贯新疆，

大部分山峰均在海拔3500米以上，最高峰可达海拔7435米。天山的冰川十分发育，其数量可达6896条，面积之广为9548平方公里。有的冰川长度可超过30公里，条条冰川在山谷中如巨龙飞舞，一片银色世界，甚为壮观。千百年来，冰川在冬春积聚冰雪，到了夏天，大量融化，雪水沿山坡奔流而下，流到山脚。其中大部分渗入地下，成为地下水；一小部分沿途挥发损耗，到了沙漠地区雪水就从地面上消失得无影无踪了，进入地下的雪水成为浇灌和哺育沙漠绿洲的命脉。



图 15 牧羊人找到地下水

吐鲁番的人们是怎样开发利用地下水来变沙漠为绿洲的呢？在吐鲁番地区，世代相传着一个非常动人的故事。遥远的古代，有个年轻的牧羊人，赶着羊群来到吐鲁番。他顶着漫天黄沙，长途跋涉，四处寻找水源，终于让他找到了一处绿草茵茵的洼地。年轻的牧羊人想：绿草和清水从来就是一对拆不开的伙伴，有草一定会有水。在绿草茂盛的地方，他从太阳落找到月亮出，从月亮出再找到太阳升，始终没有找到一滴水。于是，小伙子高举土锨，在绿草地向下挖井，挖呀挖，一尺，二尺，五尺，一丈，当挖到二丈多深

时，象珍珠似的水从地下汨汨流了出来。吐鲁番的人们世代在期待着、祈求着、渴望着水，如今，这比甘露还甜、比美酒还香的地下水，终于被聪明又顽强的牧羊青年找到了。人们欢呼雀跃，学着牧羊人的样子，继续挖暗渠，把水往前引，流上一段路，又挖一口井，就这样，曲曲弯弯，接连不断，一里暗渠，一口井，两里暗渠，又一口井，五里，十里，二十里，……。这就是吐鲁番人们赖以改造沙漠、创造绿洲的坎儿井。牧羊人最早开凿坎儿井的传说，表达了吐鲁番人们对于创造性劳动的热情颂扬。

鸦片战争以后，林则徐被谪戍新疆。当时的伊犁将军布彦请求清政府派林则徐办理开垦事宜。林则徐路过吐鲁番，见当地炎热少雨，于是便大力推行这种凿井开渠的办法。身处逆境仍不忘为人民做好事，至今传为佳话。根据《史记》的记载，在公元前120年，汉武帝曾经征用一万多人开挖陕西龙首渠（当时坎儿井的叫法），为了使龙首渠通过商颜山，水工庄熊黑采用了地上打井、地下连渠的井渠法。所以司马迁肯定地说：“井渠之生从此始”。这表明，我国中原地区的人民，在公元前二世纪就已经掌握了坎儿井的施工方法，以后这个方法又传到了甘肃、新疆等地。

坎儿井是一种井、渠相联的取引地下水的工程。坎儿井的“井”，不是单独的提水井，而是与渠道沟通的“联井”；渠道也不是筑在地面上的“明渠”，而是埋藏在地下的暗道。许多立井和贯穿立井间的暗沟组成了坎儿井。立井又叫工作井，它是和地面垂直的井道，在开凿井和挖渠时可用它来出土、通风。暗渠是在地下淘挖的沟道，它是主要的输水道。因为它埋藏在地下，不仅免于被风沙湮没的危险，也减少了水分的蒸发。同样，为了防止水分蒸发和风沙侵袭，立

井井口上常堆上石块或铺上柴草。

坎儿井究竟是怎样开凿的呢？首先，由有经验的凿井人员在山坡上选择合适的凿井位置，凿一个立井，到发现地下水后，就顺着地下水的流向开凿，大约每隔20~30米开凿一个立井，井的直径为1~1.5米，井的深度一直挖到地下含水层。然后，把井的底部挖通，凿成高1~2米、宽约1米的暗沟。沿着山坡向下，一直到暗沟内的水流出平地后，再开明渠将水引走。明渠的末端建有类似小水库的涝坝，用来蓄水，以提高水温、加大流量，有利于农田灌溉和农作物的生长（图16）。一条坎儿井，长几公里到十几公里不等，立井少则几十口，有时多达几百口。由于坎儿井是顺着地势倾斜方向开凿的，所以上游立井较深，可达100米以上，下游立井较浅，一般只有几米或十几米。目前，仅吐鲁番盆地的鄯善、吐鲁番、托克逊三县境内，就有坎儿井1100多条，总长度3000多公里。全新疆共有坎儿井1500多条。在吐鲁番盆地坎儿井灌溉面积占总灌溉面积的50%以上。

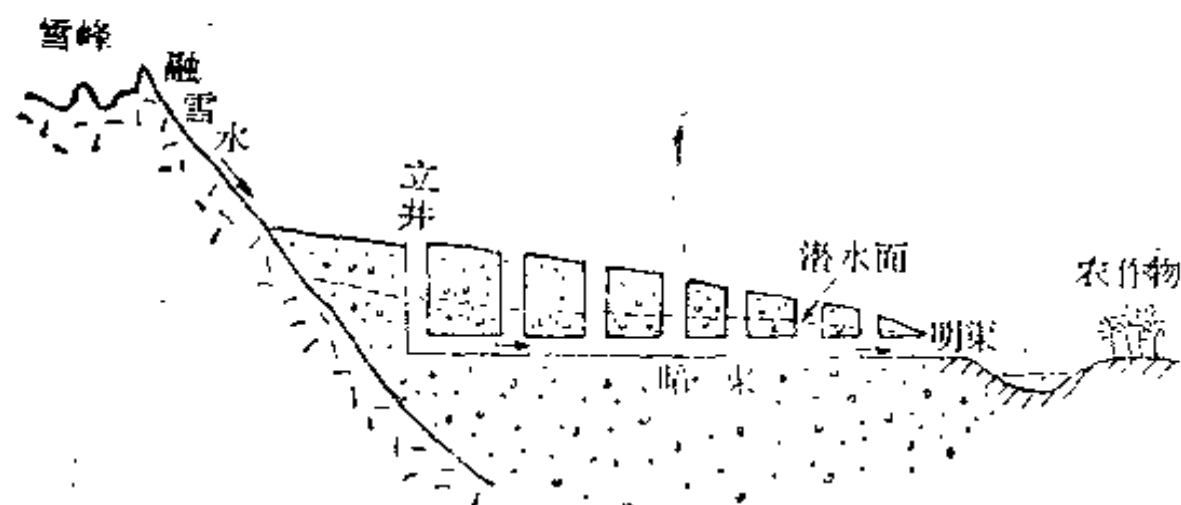


图 16 坎儿井示意图

坎儿井中涓涓的流水，汇成了湍湍的溪流，晶莹碧透，水面鹅鸭成群，溪畔野草茂密，缤纷的鲜花姹紫嫣红，分外妖娆。溪流两侧，果木成林，桃李瓜果葡萄，香气扑鼻、千树争秀，万花夺艳。多么美好的“赛江南”绿洲风光啊！许许多多植物在起伏的流沙上扎根生长，把黄橙橙的干旱沙漠，染出一片青翠，宛若黄海绿浪。坎儿井哺育了绿洲，绿洲改造了沙漠。

无煤可取热

隆冬腊月的夜晚，寒风怒吼，滴水成冰，气温已降到零下十几摄氏度了。但是在一个疗养院里，既看不见大锅炉和高烟囱，也找不到烧火取暖的煤堆。不烧煤取暖怕是要把疗养员们冻僵或者冻跑了吧！实际情况恰恰相反，当你走进疗养院大楼，暖风迎面扑来，室内温暖如春，花卉盛开，疗养员们穿着轻便的夹衣正在品茶、谈天、打乒乓、下象棋，一派春意盎然。疗养院室内温度保持在20~24摄氏度，即使在偏远的楼房角落里，室温也有15~18摄氏度。这个疗养院究竟是用什么来取暖的呢？原来是人们把水温为50多摄氏度的温泉水和地下热水直接通进了原有的暖气管道来取暖了。

地下为什么会有温泉和热水呢？科学家们长期研究发现，除在距地表约10~20米厚的土层经常保持了当地平均气温外，再往下就受到地球内热的作用，地温随深度逐渐增高。例如，冬天去过较深的地下室和矿井的人，都会感觉到那里的温度要比地面高。一般来说，大约每深入地下100米，温度就平均升高3摄氏度左右。在北方，如果地面以下20米深处的地下水温为12摄氏度，那么在1000米深处的地下水温就可能达到40摄氏度左右。由于地热增温的作用，地下水的

埋藏深度越大，水温也就越高。这种温热水如果沿着地壳断裂缝隙流出地面，就形成了温泉。但是，地热分布是不均衡的，有的地方地热增温慢，每深入地下50~60米就增加1摄氏度；有的地方地热增温快，每深入20~30米就可增加1摄氏度。这样，人们就根据地温增加速度以及现有深井井水温度高低，圈出地温增加快的“地热区”。在地热区打热水井的深度要比在非地热区浅得多，因而成本也较低。

另外，炽热的岩浆在地壳内部流动，它所散发的热量，能使附近地层中的水分温度上升，甚至化成水汽。同时，岩浆本身也含有大量水汽。这些水汽的压力很大，如果遇到岩层中的裂缝，就乘机上升。当温度下降到汽化点以后，就凝结为水。这种水聚集起来，沿着地层中的裂缝上升到地面，也就成了温泉。还有，大气降水、河湖水等地表冷水若沿岩层断裂缝渗透到几千米深处，再流到炽热的岩浆体附近时，也会被加热而形成地下高温热水。这些温泉和地下热水常常分布在近代火山活动比较剧烈的地区，以及岩层的断裂带上（图17）。

我国是世界上温泉最多的一个国家，也是利用温泉较早的国家。早在秦汉以前，就有关于温泉“冬夏常温”、“四时如汤”的记载。北魏郦道元所著的《水经注》中列举了全国温泉41处，其中北方有32处。到了明末清初，无锡学者顾祖禹花了毕生的精力，写了一本地理名著《读史方舆纪要》，其中记载了全国温泉500余处。1956年地质部门辑录全国温泉972处。目前，我国已发现的天然温泉约有2000多处。其中云南、广东、福建、台湾四省最多，几乎占全国温泉总数的一半。

云南省是我国温泉最多的省份，特别是腾冲一带，温泉众多，泉水温度都在50摄氏度以上，有的高达90~105摄氏

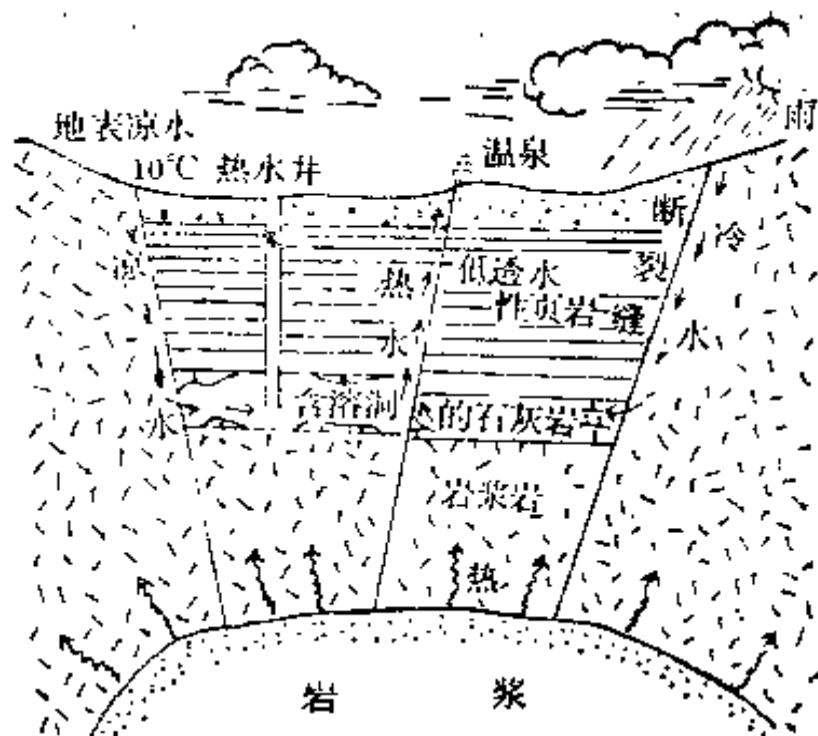


图 17 温泉与地下热水的形成

度。这些高温热水常有热气喷出，如腾冲热水塘温泉，水温达105摄氏度，喷出的气柱高达数十米，经久不散，在有的又窄又短的沟谷中，大大小小的喷水孔和喷气孔多得难以数计，甚至从岩壁石缝中也冒水、冒气，沟谷中沸水滚滚，热气腾腾，象刚揭盖的开水锅一样。腾冲硫磺塘温泉，水温102摄氏度，含硫极高，当地农民每年从泉水中能提炼出硫磺6万斤左右。它是中外驰名的腾冲“慈佛牌”火柴硫原料的重要来源。

广东、福建、台湾三省的温泉密集，泉水温度大部分在40摄氏度以上，有的高达100摄氏度。台湾省屏东温泉，水温高达140摄氏度，它是我国温泉中水温最高的一个泉。福建省福州市汤门外，浴室林立，洗浴用水都是温泉的热水。广东从化不仅有温泉，还有清溪、瀑布，景色十分秀丽，成为著名的游览区。

在“世界屋脊”的青藏高原，也有许多温泉，不少温泉出露在海拔4000~5000米的高山地区，很多温泉水温在80摄氏度以上，已经达到了当地的沸点了。在西藏首府拉萨、藏北重镇黑河附近，以至在巍峨的喜马拉雅山北麓的玛那罗沃池一带，都有温泉出露。在如此高寒的山区，山上是白皑皑的冰雪，山下竟是热气腾腾的清泉，两者相接，自然景色截然相反。在雅鲁藏布江中游地区的河床中，还有很多高温的间歇喷泉，每隔几小时喷发一次。其中昂仁县搭格架间歇喷泉最大、也最有趣。它喷发的时候，直径达2米并带有气体的水柱，从泉口一涌而出，高达20多米，汽雾飘散又可高达50多米。每天喷发4次，下午三时那次最强烈，喷射时间最长。还有一个间歇喷泉，每隔36小时才喷发一次，它的泉口恰好在河岸陡壁上，喷发时不是笔直上升，而是以45°角倾斜射到河的对岸，水柱在河面上恰象一座银白色拱桥，跨度20米，喷发时间连续25分钟后，泉息“桥”毁，蔚为奇观。有的河段，热水和热气从河底喷出，每次喷出之后，水面飘浮起许多被烫死的鲜鱼，这些河段竟有“死鱼河”的称呼。

我国还有许多历史悠久的著名温泉，如陕西临潼骊山温泉，又叫华清池。据说2600多年前，周幽王曾在这里住过。唐代天宝年间，唐玄宗和杨贵妃每到冬季，就移住在骊山，当时华清宫的建筑遍布全山，如今华清池内的贵妃池，相传就是当年杨贵妃沐浴的地方。安徽黄山紫云峰脚下的黄山温泉；江西星子县的星子温泉；云南安宁县的安宁温泉；北京的小汤山温泉；重庆的南温泉；南京的汤山温泉；辽宁鞍山的汤岗子温泉等都是著名的温泉。根据我国的具体情况，泉水温度在华北地区超过15摄氏度，华南地区超过25摄氏度的，就是温泉。泉水温度如果超过50摄氏度，就叫做高温

温泉。

人们对于温泉往往有一种亲切的感情，尤其是在滴水成冰的数九寒天，凡是在有温泉的地方，总是热气腾腾的；温泉附近的草木，依然是一片葱绿，四季如春。我国劳动人民在古代就知道充分利用大自然所赐予的这个优越条件，将温泉的热水用于做饭、洗澡、洗衣、灌溉等。如《水经注》中记载了利用温泉灌溉数千亩谷田，一年获得三熟的事例。

在现代，人们将温泉和地下热水广泛地运用在工业、农业和生活等方面。如山东、湖北、辽宁的一些医疗单位和工厂用70~90摄氏度的温泉热水来取暖。湖北应城用地下热水培育水稻秧苗，使早稻育秧期提前20天。广东丰顺用地下热水调节灌溉水温，解决了当地春寒早稻烂秧问题，促进了粮食增产。辽宁熊岳、山东招远和天津市的农民在冬天把地下热水引进温室，温室里春意盎然，西红柿、黄瓜、西葫芦、蒜苗、豆角，终年郁郁葱葱，茁壮成长，使人们一年四季都能吃上新鲜蔬菜。西藏羊八井地区还用地下热水建成了1000千瓦和6000千瓦的两座地热电站，并向拉萨市送电。天津市已有热水井近400眼，水温为60~96摄氏度，每年开采利用地下热水达5000万吨。这些热水的70%用于纺织印染、造纸、木材加工、食品等工业，25%用于洗浴、取暖等日常生活上，5%用于农业。由于利用地下热水，天津全市每年节约煤炭30万吨，占全市耗煤量的2%左右，而且也减轻了燃煤造成的环境污染。

北京早在北魏就有关于利用温泉的记载。近年来又在城区发现并打成热水井30多眼，水温为38.4~69.5摄氏度。几年来北京市已利用地下热水1400多万吨，节约煤炭10多万吨。北京地下热水在工业上主要用于车间空气调节和纺织印

染等；在农业上主要用于养殖非洲热带食用鱼、水浮莲、水葫芦等；在生活上主要用于取暖。由于地下热水可以昼夜供暖，保持室温恒定，既节约了煤炭又不产生空气污染，因而很受人们的欢迎。目前，北京市利用地下热水供暖的面积已超过10多万平方米。一些浴室、饭店、招待所、工厂与体育馆也利用地下热水供人们洗澡、理发、洗涮碗筷和预热游泳池水，或将地下热水引入花房温室，培植出了五彩缤纷的奇花异草；美化人们的生活。

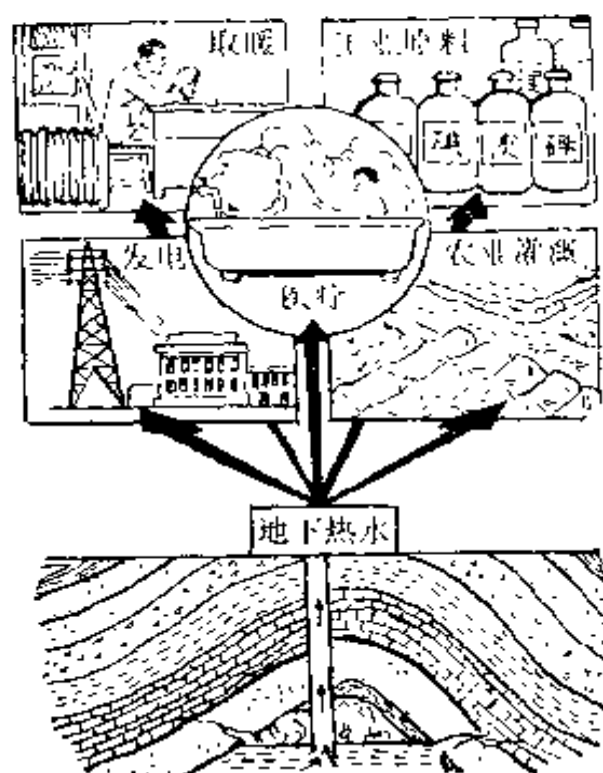


图 18 地下热水用处广

温泉保健康

泉和地下热水是一种宝贵的水资源，它不仅有含大量热能的温、热水，而且还可供人们治疗某些疾病。我国早在秦汉以前，就已利用温泉来治病，并遗留下许多关于温泉治病

的记载和传说。相传秦始皇曾在临潼骊山温泉遇见神女并触怒了她，神女吐了秦始皇一脸唾沫，秦始皇的脸上立刻长了很多疮。秦始皇很害怕，向神女表示悔过，神女指点秦始皇用当地的温泉水洗脸，疮也就好了，因此骊山温泉也被称为“神女汤”。从秦朝以后，人们就纷纷来骊山温泉洗脸沐浴，以治疗各种皮肤病。《安徽通志》又记载了黄山温泉：“此泉又名硃砂泉，泉口大如碗，热可熏鸡，常涌硃砂，浴之愈疾”。唐代大历年间，歙县刺史薛邕患有时疫（即流行病），浴后病愈，黄山温泉名声大振，被称为灵泉。《黄山要录》记载黄山温泉每隔若干年，周期性地出现一次含硃砂的红色泉水：“成化（明宪宗朱见深的年号）中，泉赤三日，人无知者。一僧浴之，寿踰百岁。”当地农民还流传着这样一首歌谣：“日落荷锄归，温泉洗一洗；如吃甘露水，百病不沾身”。在云南的安宁温泉，还相传东汉光武年间，伏波将军马援从交趾班师回京，路过这里时，他的部将苏文达因染上了瘴病，不能同行，就留在温泉附近休养。由于他经常利用温泉沐浴，瘴病很快就好了。安宁温泉能治病，从此才引起人们的注意。这些传说和记载说明了温泉被用来治病的历史，已经相当悠久了。在公元100年时，东汉张衡在《温泉赋》中写道：“天气淫错，有疾病兮，温泉汨焉，以流移兮”，“燔除疴慝，保性命兮”。这几句话的意思是说，利用温泉洗浴不仅可以洁体而且还能治病，恢复身体健康。可见，我们的祖先早在1800多年前，就已认识到温泉的奇妙疗效，知道温泉能够治病、去污和保健。明代著名的药物学家李时珍在《本草纲目》中更具体地指出温泉对于治疗“诸风筋骨挛缩，及肌皮顽痹，手足不遂，无眉发，疥癬诸疾”，有良好的效果。

温泉和地下热水为什么能够治病呢？这是因为它们的水温较高，并比一般地下水含有更多的矿物质和气体。由于水是一种良好的溶剂，许多矿物质或多或少地能溶解于水。绝大多数的矿物质在水中溶解数量是和水温高低成正比例的，所以温泉和地下热水中所含的矿物质成分、数量，比一般地下水更多、更大。它们常常含有较多的二氧化碳、硫化氢、氮、氦等，同时还可能含有溴、锂、硼、碘、砷、氟、硅酸和氡等元素。通常在每一升温泉水或地下热水中，至少含有1克矿物质，因而人们也常把这种水叫作矿泉水。

因为温泉或地下热水所含的化学成分不同，其医疗效果也不相同。按照温泉或地下热水含有化学成分的差异，可以将它们分为硫化氢类型、碳酸类型、放射性类型、碱性（即重碳酸钠）类型、食盐类型和单纯温热水类型等等。根据人们多年的实践经验，一般认为用含有硫化氢的温泉水和地下热水沐浴，即每升水中总硫化氢含量要达到0.01克左右，长期浴后可以扩张皮肤血管，舒张心脏的冠状动脉，对心肌有良好的影响，并能促使皮肤角质软化和杀灭寄生物。服用该类型的泉水，有增强新陈代谢，促进血液生成和祛痰排毒等功能。如江西星子温泉平均水温为60摄氏度，水中含有丰富的硫化氢，适宜于治疗皮肤病及风湿症。对慢性胃炎、十二指肠溃疡、习惯性便秘、慢性支气管炎和支气管哮喘等疾病，疗效也很好。用含有碳酸的温泉和地下热水沐浴，即每升水中游离碳酸（ CO_2 ）含量要达到0.75克左右，经常浴后能刺激神经末梢，使血管扩张，有锻炼心肌、保护心脏的作用。

饮用碳酸泉水能刺激味觉，促使胃液分泌，帮助消化。如驰名中外的青岛崂山矿泉水，就属于这类碳酸型泉水。饮用含适量镭、氡等放射性元素的泉水，或用这种

泉水沐浴，可以增强肝胃机能，促进蛋白和糖类的代谢过程，有利尿、催眠、增加白血球、降低血压和抑制肿瘤的作用。

碱性泉水能帮助去除皮脂污垢，使皮肤清洁滑润，浴后有凉爽清新之感。食盐泉能促进新陈代谢，具有镇静、解痛效能，可医疗关节炎、神经痛等症。至于一般性温泉水、地下热水，由于所含矿物质极微，作用缓和，可以促进血液循环、新陈代谢、镇静解痛和消除疲劳，还能医治神经痛、神经衰弱、初期高血压和关节炎等症。如北京的温泉和地下热水中含有氟、镭、氡、偏硼酸与硫化氢等有医疗价值的化学成分，对医治牛皮癣、神经性皮炎、肠胃病、心血管疾病、泌尿系统疾病、关节炎、风湿性关节炎、神经衰弱和失眠等疾病有效。因此，古代很多帝王长期占据着一些温泉，如清代慈禧太后在小汤山温泉为自己修建有专用的亭池。很多草原牧民也祖祖辈辈骑着骆驼，响着驼铃声，千里迢迢来北京寻泉求医。现在小汤山温泉已办起了大型疗养院，每年接待全国各地数千名职工，他们带着病痛而来，经过温泉水的治疗，大多病愈高兴而归。



图 19 饮用温泉水治病健身

意大利北部有个世界闻名的地方，叫做萨尔佐马肉耳，那里的每升地下水含碘量超过了0.5克，大大高于以碘水命名的矿水含碘0.01克的标准，甚至可以用来提炼工业用碘。另外，用含碘量较高的水嗽口，有益于呼吸道，能保护声带，对嗓音尤其有好处。因此，这个地方成了驰名全球的疗养区，吸引世界各地的歌唱家们来疗养、休息嗓门，甚至成为它的常客。

利用温泉和地下热水医治疾病，不需要特殊的医疗设备，既经济又简便。但是温泉和地下热水并不能医治百病，有些疾病也不宜洗温泉浴。例如，患失眠症就不宜浴用硫化氢泉，因为它能刺激皮肤神经末梢，促使神经系统兴奋。因此，某些疾病患者欲饮用或浴用温泉和地下热水，必须了解水的化学成分及其特性，最好在医生的指导下使用。

水中有矿产

地下水的化学成分是多种多样的。当某种矿物质成分富集到一定程度时，就形成了矿产。此外，直接由岩浆中分离出来的气体化合而成的地下水，这种水的数量不多，分布也不广泛，但往往含有一般水中少见的矿物质，富集到一定程度，也能形成矿产。如我国四川省的地下水中富含盐分。早在公元前250年，就在成都附近开凿100米深的井取水煮盐，到了唐代盐井数量已近1000口，最深的井可达500米，其中自贡的盐井更是有名。还有，我国工业用的碘和锂都是从地下水中提取的。

近年来，在美国和苏联等地已发现了很多富含碘的地下水，其中有不少宜于工业开采。目前除智利外，全部工业用

碘都是从地下水中提取的。美国和日本还从地下水中开采硼和锂；意大利也从地下水中开采硼；日本又从地下热水中提取锶和铷；还有许多国家从地下水中提取钾、镁、铯、铷、铀、钨等矿物。

地下水中不但含有多种多样的矿物质，而且它们的含量也很巨大。如美国锂的一半储藏量在地下水中。美国、苏联和其他一些国家最近又发现富含稀有元素的地下水，其中硼、铯的浓度很高，竟分别超过了工业开采标准的500和1000倍。某种矿物甚至因过度富集浓缩而析出，极容易形成条带状矿脉的形式，结晶成固体矿石而出露地表。

海洋和陆地上的一些动物和植物，因地壳变动而沉积到岩层中，并分解成有机化合物与二氧化碳，又随着地下水迁移，在漫长的地质历史时期中，经过高压、高温以及一系列的物理、化学变化，逐渐转变成了石油。因为石油比水轻，漂浮在地下水体上面，并聚集在岩层的弯曲处或折断处，而且上面又被隔水层重新封盖住，于是在地下水中就形成了石油矿产（图20）。但是，储藏在地下水中的全部石油数量，也只有地下水储量的万分之一。地下含水层中不仅储藏着重石油，地下水还能从四面八方驱赶水中的石油沿钻井上升到地表，甚至使石油喷出地面，从而帮助人们勘探和开采石油。

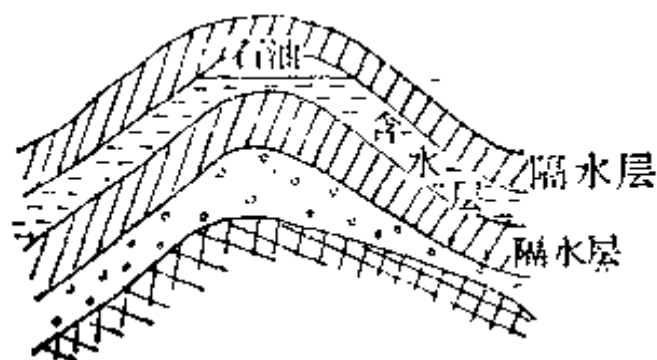


图 20 含水层储油构造

三、超采定成灾

水位往下降

地下水面距地面的距离，称之为地下水的埋藏深度。如果地下水面以海拔高度来表示，就称为地下水位（图20）。当人们从井里汲取大量地下水，井内的地下水位就会降低；这时井壁以外的地下水从井周围迅速涌进井内，井外的地下水位也跟着降低了，于是就形成了漏斗形状，我们称这种漏斗为地下水位降落漏斗，或地下水位下降漏斗（图21）。一

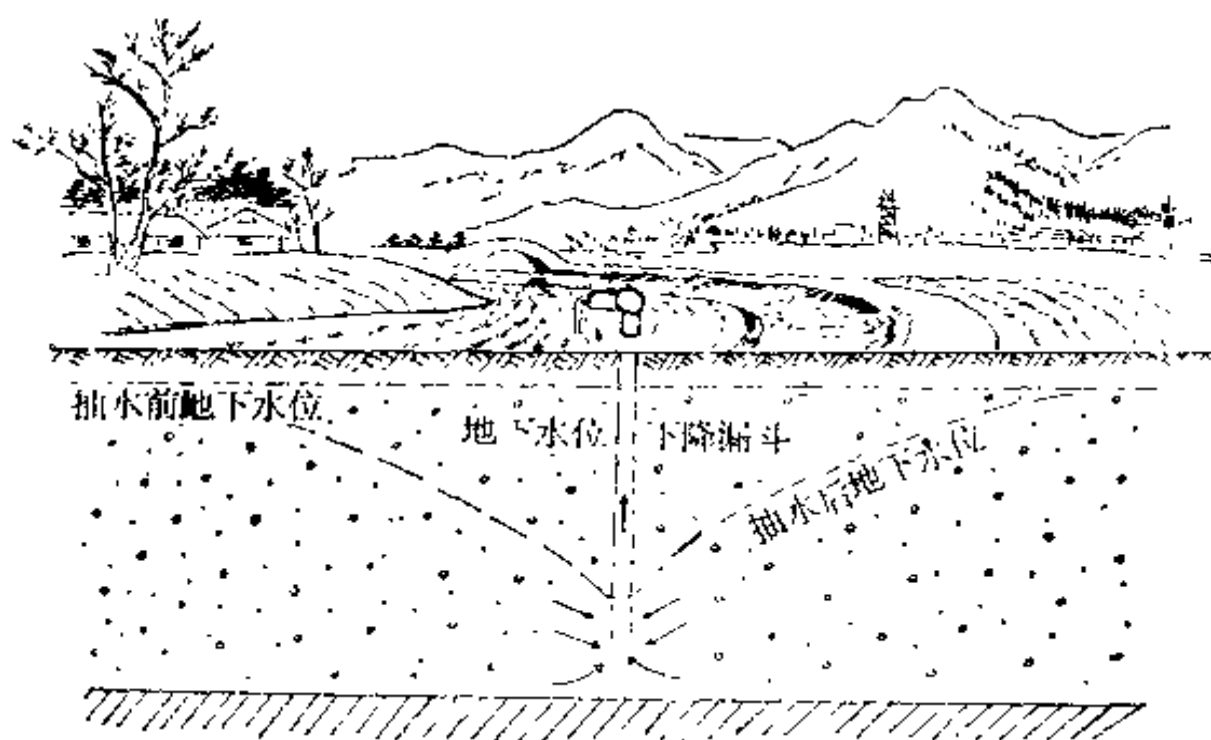


图 21 地下水位下降漏斗

口井可形成一个降落漏斗，许多口井可以形成一个大降落漏斗。一个地区的许多井同时抽水，那么整个地区的地下水位就下降了。

一般来说，雨水是地下水的主要补给来源。降雨季节，雨水下渗，地下水得到补给，地下水位就上升，称为地下水的丰水期。雨季过后，由于地下水的开采以及地下水的渗漏、流失和蒸发等自然消耗，地下水量将减少，地下水位逐渐下降，一直到第二年的雨季前，地下水位下降到最低点，称为地下水的枯水期。如果一个地区的地下水开采量与自然消耗量之和，能与雨季的地下水补给量相等，那么这个地区的枯水期地下水位就能够上升恢复，第二年枯水期、丰水期的地下水位就会与上一年同时期相差不多。开采地下水时，地下水位下降漏斗的大小、形状基本上不变。如果雨季的地下水补给量小于开采量与自然消耗量之和，表明地下水开采量太大或天气干旱，降雨太少，那么在丰水期时地下水位就很难回升。这时地下水位下降得更多，地下水位下降漏斗就扩大了。如果地下水开采量年年大于补给量，地下水位就会大幅度下降，地下水位降落漏斗的影响范围和面积也越来越大。

由于人们长期超过补给量的超量开采地下水，因而在世界各国，尤其是在一些大城市，导致地下水位大幅度下降，形成了大规模的地下水位降落漏斗。如莫斯科的地下水位下降了40~90米；列宁格勒50米；阜辅65米；顿巴斯地区几乎下降了1000米；伦敦超过了100米；巴黎超过了120米；东京已达150米。

经地质部门探明，我国的地下水天然资源总量（也包括了开采和自然消耗后能够得到补充恢复的水量）每年达8000亿吨（台湾省未统计在内），其中北方15个省、市、自治区

和苏北、皖北地区的地下水资源量为每年约3000亿吨。在南方蕴藏着比较丰富的地下水，南方各省、市、自治区的地下水资源量为每年5000亿吨。也就是说，我国南方地区地表水多，地下水也多；而地表水缺乏的北方地区，地下水也较少。

目前，我国地下水的年开采量为550亿吨，仅占地下水年天然资源量的6.9%，利用率是不高的。但是，由于我国用水地点集中，用水量增加速度很快，不少地区超量开采，使地下水形成了大面积的下降漏斗，特别是工业比较集中的华北和辽宁地区的一些城市，问题更为严重。如河北平原由于大量凿井开发利用地下水，并且多年来超量开采，至今已形成了30多个地下水位下降漏斗，其面积达13000平方公里，承压地下水降落漏斗中心的水位每年下降2~3米。河北省沧州市区，承压水每年每平方公里开采量为11.5万吨，大大超过补给量，形成了大面积的地下水位降落漏斗，使承压地下水位下降每年超过了5米，漏斗中心最深水位已达海平面以下50~60米，并且还在不断扩大。辽宁省沈阳市由于大量开采地下水，地下水位每年下降0.5米。

大气降雨是北京城近郊地下水的主要补给来源，降雨每年补给北京城近郊的地下水量大约是6.5亿吨。多年来，北京城近郊地下水使用量逐年增长，目前开采量每年近9亿吨，超过了补给量，造成了每年亏损地下水量约2亿多吨。连年超量开采，使北京城近郊部分地区的地下水位以每年0.5~1.5米的速度持续下降，甚至达2米，地下水位下降漏斗范围越来越大。自1965年至1981年，地下水位下降漏斗已由近郊区扩展到远郊区，面积从164平方公里发展到930平方公里。20多年来，下降漏斗区地下水位平均下降了4.3米，

漏斗中心最大水位下降达20米左右，最严重的地区可达30米以上。

清 泉 闹 枯 竭

长期超量开采地下水就使地下含水层的水量急剧减少，严重时可使含水层完全枯竭。不合理地开采地下水，盲目打井，井群太密，采水集中，并且过量开采，地下水得不到充分的补给和恢复，造成地下水位下降，井的出水量减少，甚至使井泉干涸。如“泉城”济南市，在市内泉群区建了四个自来水厂，一些工厂和单位也打了不少的井。多年来，济南市每天的地下水开采量达数十万吨，已超过了补给量，从而造成了泉群连年断流，1981年趵突泉曾经停止喷水，泉水枯竭。又如山西省晋城县打井太密，抽汲井水过量；同时，为了开采煤矿而排出了大量的地下水。因此，造成全县地下水位大幅度下降，40多眼泉水只有两眼有水。仅1979年，全县地下水位下降18~25米，部分地区的地下含水层近于枯竭，全县300多眼浅井全部干枯报废，812眼深井只有330眼可以抽出地下水来。山西省太原市近年来地下水开采量急剧增加，造成地下水位明显下降，已使太原近郊的名胜古迹——喷涌千年的晋祠泉水水量骤减。

由于多年来超量开采地下水，北京西郊某处有浅井258眼，因为地下水位下降而全部干枯。地下水位下降又促使深井的水面大降，出水量大减，一般要减少1/3到1/2，甚至抽不出水来。还有一些地区的许多井出水量减少，造成自来水厂的输水管道水压不足，在夏天连二、三层楼都上不去水，有时连平房也供水不足，发生断流。不仅如此，北京丰富的

泉水近年来普遍减少流量，甚至断流。如“天下第一泉”的玉泉山泉水，过去日流量曾达到8万吨左右，曾是金、元、明、清各朝代北京城河、湖的重要水源，而今它已无力涌流了。在它北边不远的地方，有一个著名的黑龙潭泉也已干枯了。北京西郊还有一个由泉水汇流、地下水溢出而形成的池塘——莲花池，近年来也不见地下水溢出了。

在西北干旱地区也有类似现象，如甘肃酒泉、金塔、敦煌等地，过多地抽汲地下水，地下水位急剧下降，使著名的敦煌莫高窟附近的月牙泉流量大减，地面水源减少发生沙化，并向泉眼壅进，月牙泉有被沙子掩埋填平的危险。

地面渐下沉

长期超量开采地下水，不仅产生了大而积的地下水位下降，使井泉干枯，而且还会造成地面沉降和地表塌陷。

什么是地面沉降和地表塌陷呢？它们是怎样发生的呢？又有哪些危害呢？当我们在砂层、砂壤土等松散岩层中大量开采地下水、石油或天然气时，疏干了一部分地层中的水、

石油或天然气，使这些地层产生了大量的空隙，因而地层的抗压力就降低了。在上覆土体和地表物体的重力作用下，地层被压密，体积就被迫缩小，结果就在最大压密的地段上产生了地面沉降（图22）。



图 22 地面沉降带来的危害

在岩溶地区，由于超量抽汲地下水，溶洞中水分被疏干

后，产生很多大小不同的空隙，因而溶洞地段的抗压力就降低了，在地面重物或震动等影响下，溶洞上方的土块、岩屑就会下落，从而产生了地表塌陷。

地面沉降能使建筑物不均匀下沉、开裂甚至倒塌；使道路、铁路与地下铁道遭到破坏；引起地下各种管道设施的破裂、折断而发生漏水、漏气、漏电。地面沉降能使河岸下沉，河水位相对升高。河岸下沉，桥梁也会随着下沉，甚至使桥梁扭曲毁坏；河水位相对升高，能使河道堵塞，河水面上升可使桥洞变小，桥梁就失去了过船的能力。河岸下沉，河水面相对升高，就会把沿岸的污水排水管出水口淹没，河水即倒灌入污水管道，使污水管失去了排水的作用（图23）。

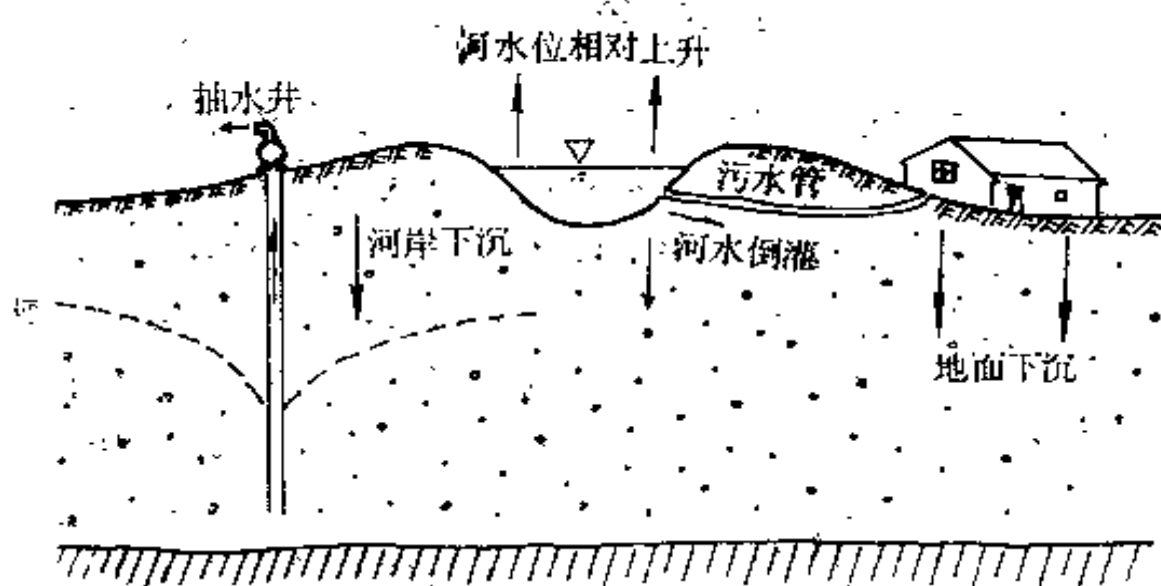


图 23 地面沉降，引起河岸下沉，河水位相对上升，造成河水倒灌入污水管

世界上有不少城市因为超量开采地下水而造成了极其严重的后果，世界各地有数十座驰名的古城正在缓缓沉陷。美国南部各州长期超量抽汲地下水，而且又大量采取石油，使地面发生断陷，产生大大小小的洞穴，很多洞穴积水竟形成了

数百个湖泊。休斯敦市因地面下沉使许多建筑物开裂、倾斜、扭歪，从而毁坏了几百座大楼。奥兰多市冬季公园也因地面塌陷而造成了足球场一般大、8层楼深的大坑。在日本的许多大城市和沿海工业区，由于工厂大量抽汲地下水和开采石油、天然气，所以日本是世界上地面沉降较严重的一个国家。日本全国地表下沉的面积目前已达到8450平方公里，其中每年下沉2厘米以上的就有624平方公里，并有1125平方公里已在海平面以下。

意大利威尼斯城是世界最著名的水城，由118个小岛所组成，岛上地势又低又平，地面标高仅有海拔1米左右，大海潮来到时，海水也能涌上岸。岛上地下水丰富，深井还能自流。170多条充满海水的港、湾、沟、渠把全市上百个岛屿联结在一起，瑰丽的古典建筑遍布全城的各个小岛，具有水城特色的自然风貌十分壮观。因而威尼斯市成为世界著名的旅游胜地，每年吸引来自世界各地的400多万游客。但是威尼斯市缺乏地表淡水，近年来全市居民人口增长很快，每年又有400多万游客，所以城市用水量也急剧增加，人们只好开凿大量的深井，抽汲地下水来满足需要。多年来，威尼斯市开采地下水越来越多，越采越深，3000口深井长期不加限制地汲取地下水，地下水位急剧下降，造成了地面下沉。50多年来，这座城市平均下沉了22厘米，地面沉降带来了严重的后果。如市中心圣马可教堂所在的主岛，每年以4毫米的速度下沉，教堂广场地面标高已从1920年的海拔68.6厘米，下降为1970年的48.3厘米，结果每逢亚得里亚海湾刮起暴风，潮水立即涌进市区。圣马可教堂广场一年中有30~40次被水淹没，人们只得蹚水、垒沙袋、搭便桥来通行。威尼斯市地面沉降照此发展下去，100年后全城将没于水下，变

成真正的“水城”。由于同样的原因，墨西哥城自1910年至1982年地面已下沉了8.9米；伦敦市区100年地面下沉了0.61米，曼谷近25年来地面下沉了0.9米。

我国一些城市和地区，由于超量开采地下水，也产生了地面沉降和地表塌陷的现象。如上海市因长期过量开采地下水，从1921年至1965年市区地面最大累计沉降量达2.63米。在沉降区，有的大厦第一层竟陷没于地平线以下；埋在地下的污水下水道也逐渐低于黄浦江水位，雨后排水不畅，有些地区积水成涝。天津、西安等城市也有地面下沉现象，直接影响地面和地下建筑物的安全。在地下水比较丰富的南方，一些地区由于过量开采地下水，地下水位下降后，也引起了地面沉降和地表塌陷的现象，产生了井管相对上升（图24），地面开裂，雨后积水排泄不出去的现象，并破坏地下管道与文化古迹。如江苏省南部等城市本世纪50~70年代地面沉降

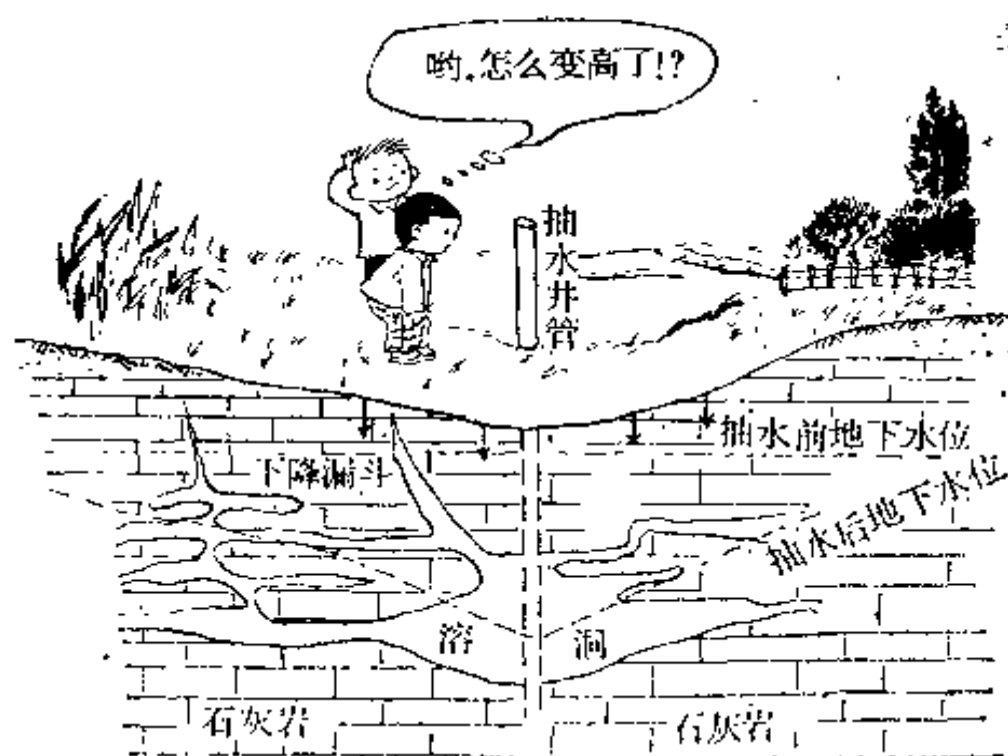


图 24 地表塌陷，引起井管相对上升

量平均每年为20~50毫米，而1979~1981年以来平均每年下沉达60~100毫米。我国台湾省台北地区在1945年以前，地下水丰富，有些地方还可自流涌出地面。由于人口急剧增长，地下水抽汲过量，地下水位大幅度下降，地面下沉。自1950年以来，台北地区地面总下陷体积达22700万立方米，不少地方下陷深度超过2米。最厉害的是台北地区的北部，最近的一年间下陷了4~5厘米。由于台北地区地而下陷，已使防洪设施效率降低，低洼地区遭受潮水侵袭，下水道排水困难，建筑物的安全受到威胁。

在我国东南和西南的岩溶地区，由于超量抽汲地下水也造成了地表塌陷。如浙江省东部的一个地区，石灰岩溶洞很发育，地下岩层含水丰富。该地区大量凿井抽汲地下水后，终于在一口井的周围出现塌坑十余处，最大的塌坑直径达8米，深5米，附近的建筑物和地面开裂。继续抽汲地下水几个月又塌陷一个深坑，直径8米，深达20米。塌陷前，先闻地下有雷鸣声，继而轰然一声巨响就塌成了大洞，严重地威胁了附近工厂生产与人身安全。还有一口深井长期开采后，突然井里断断续续地出现浑水，几天后产生了塌陷坑，使许多房屋开裂，它们呈带状分布，带长600米，宽100米。靠近井的大坑为圆筒状，直径9米，深达18米；离井200米处的坑，直径6米，深3米；再远一点又出现一个差不多大小的土坑。陷落成坑时伴有巨响，附近6幢大楼严重开裂。

海水侵井泉

近年来，在一些沿海城市生活过的人，一定会感觉到那里的地下水不如内地的地下水好喝，有咸味，甚至是苦咸

的。如果光喝白开水，很难下咽，这是什么原因呢？说起来这里还有一个十分有趣的科学道理呐！

我们知道，在沿海地带，海水是要侵入海岸陆地一段距离的，而地下水是由陆地流向海洋的。但是陆地的地下含水层保持了较高的地下水位，所以能够阻止海水深入内陆。在天然条件下，含水层中的淡水与侵入岸边的海水保持了某种平衡，它们之间存在着一个交界面，在这界面流进的咸水和流出的淡水处于平衡状态，这个界面就叫做咸水、淡水交界面（图25）。如果从这一地区抽走淡水时，随着地下水位的下降，海水就要入侵，咸水、淡水交界面就要向陆地一方移动，即交界面将相应上升。那末，地下淡水下降多少，交界面又相应上升多少呢？一般来说，海水的密度比淡水的密度要大2.5%，这就是说，当两个容器的底面积相同时，装淡水的容器水柱要比装重量相同海水的容器水柱高出2.5%的长度。如图25中41米高的淡水柱和40米高的海水柱的压力相

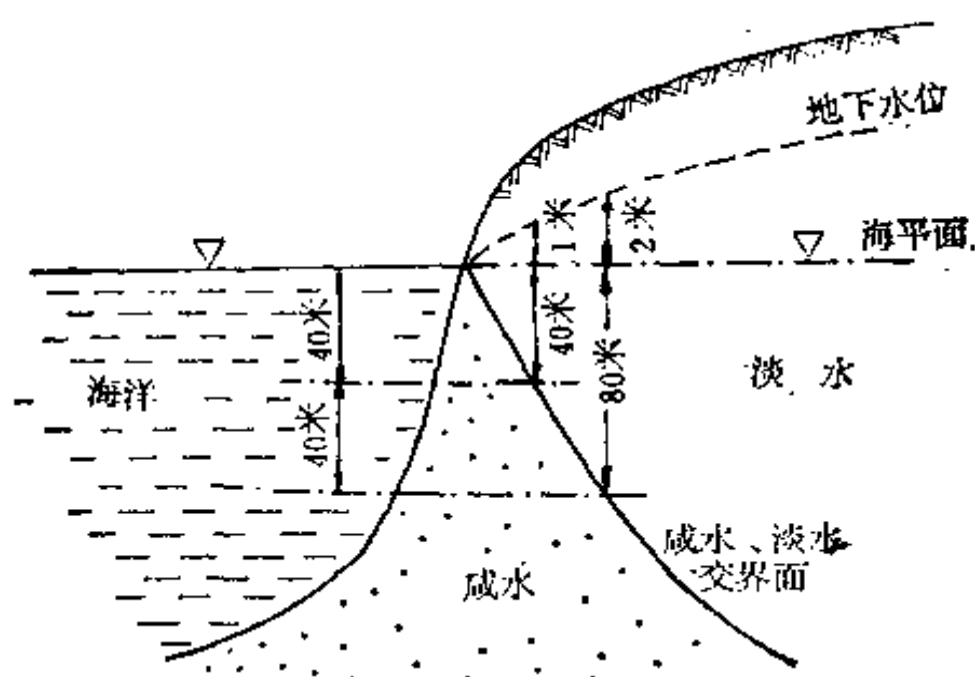


图 25 咸水、淡水交界面深度换算原理示意图

等。可以看出，海水和淡水交界面处任何一边的静压力都相同，这表示淡水一边的任一点的高度一定比同一水平上的海水高 2.5%。淡水一边高出的 2.5% 就是图 25 所示的高出海平面的那一段水位。

从图 25 中又可以看出，地下水位高出海平面 1 米，那么咸水、淡水交界面就低于海平面 40 米。也就是说在地下含水层中出现咸水，它要比海平面低，其深度相当于淡水水位高出海平面高度的 40 倍。这个计算结果，与实际观测到的情况是大致相符的。如果地下水位高出海平面 10 米，那么咸水、淡水的交界面应该在海平面以下 400 米的深度上。抽汲井水使地下水位下降 5 米后，亦即地下水位比海平面高出 5 米，则咸水、淡水交界面在海平面以下 200 米的深度上，也就是咸水、淡水交界面相应地上升了 200 米。这个结论有很重要的实际意义，即在滨海地区开采地下水，使得地下水位每降低 1 米，咸水、淡水交界面就升高 40 米，交界面越高，则可能抽出咸水的井就越多（图 26），这也是海水倒灌井、泉，引起井水、泉水咸化的基本原理。

在沿海地区，由于城市和工业的发展，人口急剧增长，抽汲了大量的地下水，引起地下水位逐年下降，造成海水入侵，井水咸化，严重地影响了地下水质，导致工业产品质量的降低和农作物减产，甚至引起大面积的农作物死亡，从而不得不大批报废咸化了的水井。如美国大西洋沿岸的各个州和西海岸的加利福尼亚州普遍有海水入侵、井水咸化的现象。我国一些沿海城市，因为超量开采地下水，都曾发生海水倒灌引起井水盐化的事例。如山东省烟台市距海边 10 余华里的一个井群地区，长期过量开采地下水后，因地下水位下降而使海水侵入井群地区，使地面每升河水中的氯离子含量高达 6

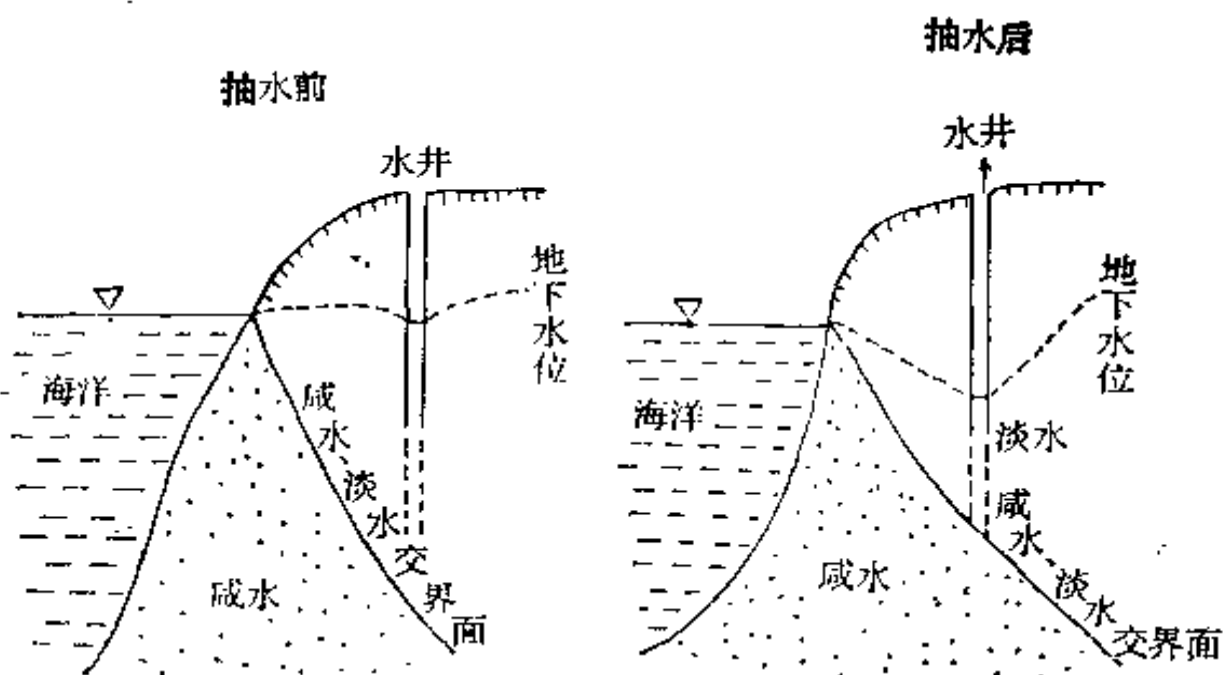


图 26 超量开采地下水将引起海水倒灌

千多毫克(一般来说, 每升天然河水中的氯离子含量超过100毫克是比较少有的); 而每升井水中氯离子含量也达到了数百毫克(有的城市规定, 每升饮用水的氯离子含量不得超过100毫克)。浙江省镇海附近有两口长期开采的水井, 每升井水氯离子含量每月增长10毫克, 不到两年井水变咸而报废。宁波近海一带, 1950~1959年每升井水的氯离子含量小于100毫克, 1974年增长到240毫克, 1977年又增长到320毫克; 咸水呈舌状侵入内陆。杭州附近祥符桥地下水开采区, 由于过量抽汲, 咸水边界已向内陆移动了500~1000米。

水质能恶化

您知道什么是微生物吗? 它们对于地下水水质能产生什么作用呢?

在我们生活的自然环境里, 不论是大气、水域或土壤

中，甚至在人体里，都栖息着眼睛看不见、数量庞大的生物群。它们小极了，在1立方厘米的土壤中，竟达7~8亿个之多。我们把这类极小的生物叫做微生物。科学家们按照单位生物体重平均统计，发现微生物是所有生物中，分解有机物能力最强的。例如，它能把自然界存在的全部有机碳化合物，分解为形式最简单的二氧化碳和水。有一类微生物在有氧气时才能生存，叫好氧微生物或好气微生物，如霉菌、大肠杆菌、硝化杆菌等。另一类微生物，在有氧气时不能生活，甚至死亡，叫厌氧微生物或嫌气微生物，如破伤风菌、硝酸还原菌、硫酸还原菌等。微生物对有机物和某些无机物的分解和氧化起了重要的作用。如在隔绝空气的条件下，由嫌气微生物（硝酸还原菌、硫酸还原菌）的参与，将含氮、硫的有机物分解成为氨及硫化氢等；然后又在流通空气的条件下，由好气微生物（硝化杆菌、真菌等）参与，将氨及硫化氢又氧化成为硝酸和硫酸。

②、长期超量开采地下水，可引起地下水位大幅度下降，在松散岩层地区还能使各种矿物质通过不同途径渗到地下水中。进入地下水中的矿物质越多，地下水的水质就越差。尤其是对深部含水层的影响最大，它使承压地下水水质越来越坏。

③、地下水位下降引起的承压地下水的水质恶化，一般有三种途径：

（1）在承压水没有开采前，特别是在没有超量开采前，含水层是充满水的，没有空气进入，而且其上、下部粘土隔水层都承受含水层的水压，也和外界空气隔绝，好气微生物不能生存。但是，在超量开采承压地下水后，一部分含水层中的水被迅速抽干，大量的空气（包括氧气、二氧化碳）

与微生物进入了粘土层、砂层以及其它含水层。于是粘土层中的氨、硫化氢处于氧化状态，在氧气、二氧化碳、水和好气微生物作用下，形成硝酸、硫酸等酸类，并且又生成更多的二氧化碳气体。这些酸类、二氧化碳和水，对粘土层、砂砾石层与其它岩层里的矿物质起溶解作用，如溶解方解石、白云石、石灰岩（即碳酸钙、碳酸镁）等，使大量的钙、镁、硝酸根、硫酸根与氯等离子随降雨、地面河湖水、灌溉水等渗入到地下水中。

（2）现在很多地方的潜水水质污染太严重，水中钙、镁、硝酸根、硫酸根、氯等离子含量很高，水量也有限，已不适用于城市生活与工业用水的要求。因此，打井取水时，一般都隔离潜水含水层，不再开采潜水了。于是井越打越深，又抽汲了大量的承压地下水，并且开采水量超过了地下水的补给量，使承压地下水位急剧下降。有的地方承压地下水位以每年1~2米以上的速度下降，20~30年来承压地下水位比潜水位低30~40米以上，而且水力坡度（一个地段上、下游地下水位之差与其垂直距离的比值）加大，地下水流速也相应地变快。在潜水、承压地下水位高低差的作用下，已污染了的潜水，通过粘土隔水层的两端或断裂缝等处下渗入承压含水层。还有，在打井时没有把潜水含水层完全隔离封死；以及井管年久损坏腐烂，于是已污染的潜水就从没有封死的井壁或井管腐烂处大量下渗补给承压地下水，使承压地下水中也含有大量的钙、镁、硝酸根、硫酸根、氯等离子，这就导致优良的承压地下水水质也恶化了（图27）。

（3）有的地方在地下一定的深度处，含有石膏（即硫酸钙成分）、有机质的淤泥层与黄铁矿等物质，原先它们处于地下水位以下，和外界空气隔绝，保持了相对稳定的状

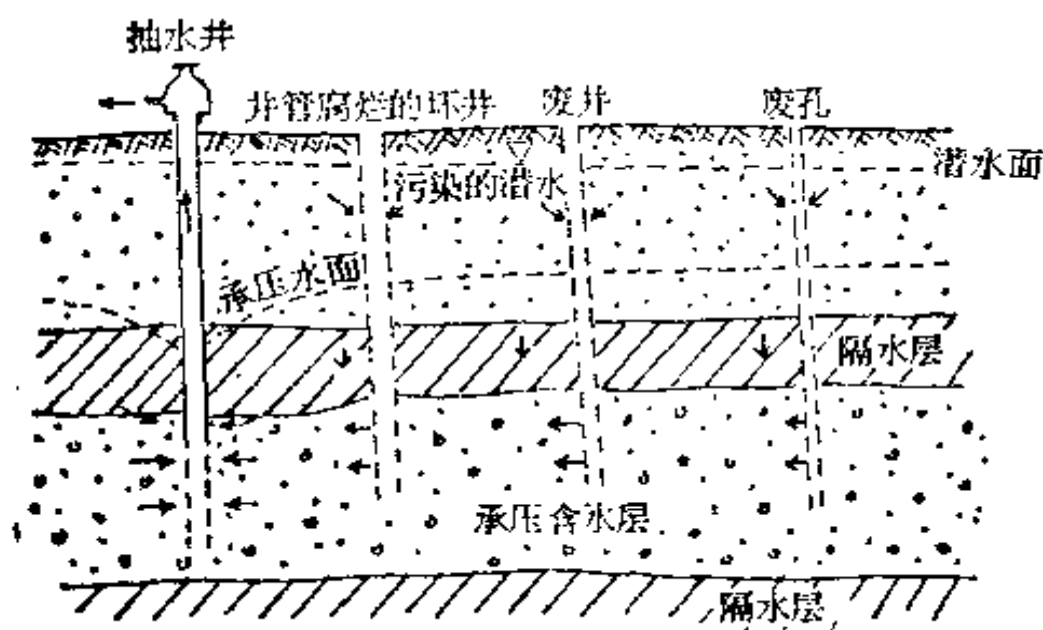


图 27 污染的潜水通过坏井与废井、废孔污染承压水

态。但是，在大量抽汲地下水后，地下水位下降，含硫酸钙与有机质的淤泥层及黄铁矿就露出了水面，大量的氧气、二氧化碳进入地下，在好气微生物参与下，发生了氧化作用，结果产生了大量的硝酸、硫酸。然后对碳酸钙、碳酸镁物质进行溶解作用，又产生了大量的钙、镁离子，它们随降雨、农业灌溉水、河湖等地表水渗到地下，引起地下水质的恶化。至于潜水水位大幅度下降，含水层水量急剧减少，从而降低了含水层的稀释能力，潜水矿物质浓度就相对地增加，水质就恶化了。前述引起承压地下水水质恶化的第一和第三种途径，同样也可以使潜水水质变差。

为什么说地下水中含有过多的钙、镁、硝酸根、硫酸根、氯等离子，水质就恶化了呢？原来水的硬度主要由钙、镁等金属离子构成，水中钙、镁离子越多，水的硬度就越高。水的硬度给人最直观的印象是开水壶底结垢（俗称水碱），硬度越高，水壶结垢越快，结垢越厚。在日常生活中，用高硬

度的水洗衣物不仅肥皂不易起泡沫，从而减低了去污能力，并且还使衣物纤维变硬、发脆直至损坏。用高硬度的水洗澡后，头发、皮肤有发粘的感觉。用高硬度的水煮豌豆、蚕豆类食物，则不易煮熟和烧烂。高硬度的水使开水壶底结垢1厘米厚，要比无垢水壶烧水多耗费1/3的燃料。当一个人长期饮用较低硬度的水，一旦改为饮用高硬度的水时，可能出现暂时性的肠胃功能紊乱现象，如腹泻、排气多等。有人还提出，饮用水硬度增高后，可以使肾结石、心血管疾病的发病率上升。

在工业生产上，纺织印染工业使用高硬度的水，既浪费肥皂，印染物又容易起斑点、生垢、发花、色彩黯淡、洁白度下降，从而造成了次品及废品，增加了生产成本。用高硬度的水酿造果酒和啤酒，容易混浊和沉淀，降低了酒的质量。高硬度的水不能用作化学实验，也不能制取化学试剂、药品和针剂。锅炉使用高硬度的水就会在炉内和管道上生成水垢，锅炉内结1毫米厚的水垢，就要多耗费3~5%的燃料，结垢还影响锅炉寿命，甚至引起爆炸。

地下水中含有过多的氯离子、硝酸根离子、硫酸根离子等，不但使水有苦咸味，对人畜饮用和工农业生产都是不利的。一些国家将每升饮用水的氯离子含量标准一般定为100~250毫克，如每升水的氯离子超过250毫克时，人饮用后就会感到肠不适。氯离子含量再增加时，水的咸味增强，对金属管道和锅炉的腐蚀性增高。如果每升水的氯离子含量超过200毫克，并且用这种水长期、大量地灌溉水稻田，就会使农作物受害和引起减产。饮用水中硫酸根离子含量过高时，对人和动物体有缓泻作用。如果每升水的硫酸根离子含量达到2000毫克时，牛长期饮用就会使身体逐渐衰弱，甚至引起

死亡。一些国家规定每升饮用水的硫酸根离子含量不得超过100~250毫克。

饮用水的硝酸根离子含量过高，这种水进入人体胃肠后，可以使人（尤其是婴儿）患高铁血红蛋白症，该病症是由于硝酸根离子在人体胃肠内还原为亚硝酸根离子，并将血红蛋白中的亚铁离子氧化成为正铁离子，因而血红蛋白就丧失了携带氧气的能力，引起人体全身缺氧，如不及时抢救，会导致死亡。很多国家规定，每升饮用水中的硝酸根离子含量不得超过45毫克。如果每升水中的硝酸根离子含量超过1500毫克，牲畜饮用后也能发生这种类似的疾病。国外还有的科学家认为，硝酸根离子在动物体内被还原为亚硝酸根离子后，就和胺类有机物反应形成亚硝胺，亚硝胺对人和动物有致癌的危险。另外，水中氯离子、硫酸根离子、硝酸根离子含量过多，把这种水作为电子、化工、造纸、制药等工业用水也是不好的，不但影响产品的质量，在处理和纯化这种水时，又提高了工业产品的成本。



四、水源需保护

管理应及时

优良的淡水资源是生命的源泉、工业的血液和农业的命脉。地下水是水资源的重要组成部分，它的水质优良，分布广泛，温度变化小，容易保护和开采，因而自古以来，人们就开发利用甘醇可口的地下淡水，尤其是在干旱地区、滨海和海岛地区，地下淡水几乎成为人们生活与工农业建设的唯一重要的水源。但是在过去的几十年里，有很多地方的地下水开采利用很不合理，无论哪个单位、哪个部门只要有凿井机械和人力，都可以在自己管辖的范围内任意打井，并竞相采水，互为干扰。如甲方在自己院内打井汲水，隔壁的乙方井受到干扰，出水量减少，于是乙方重打更深的井，加大汲水深度。这又使甲方的井受到干扰，出水量也减少了，引起了甲方也采取加强采水的措施。这种竞相采水，只顾本单位、本地区，不管外单位、外地区的做法，造成了很多地方地下水位大幅度下降，地下水位降落漏斗急速扩展，地下含水层衰竭，引起一些地区的井泉干枯、地面沉降、海水入侵、水质恶化等水温紧张的现象。

我国的水资源分布不平衡，大体上是南多北少、东多西少、夏多冬少。占全国一半面积的干旱、半干旱地区，主要分布在北部、西部，在这些缺水地区兴建大量耗水的企业，

必然加剧水源紧张的状况。长期以来，我国地下水和地表水各自单独进行规划，水电部门管地表水，地质部门管地下水。在利用地表水时很少考虑对地下水的影响；在开采地下水时又较少了解地表水的变化。而一些采矿部门只管开采所需要的矿产资源，不顾矿坑地下水的利用。如河北平原是缺水地区，有一部分地区超量开采地下水，使承压地下水位每年以大于5米的速度急剧下降，形成了大面积的地下水位下降漏斗；但是河北平原每年却有40~60亿吨地表水没有加以利用，而是让其白白地流入大海。又如我国矿产资源大约有10~15%贮存于含有丰富地下水的岩层中，各个矿区只注意矿产资源的开发，而对地下水资源则无人过问，采矿时听任其白白地流掉，造成了某些水源的枯竭；或者将原先是清洁的地下水经过矿坑的污染后任意排放，再大面积污染周围的水资源。仅山西省晋城县205个煤矿每年就排放了1100万吨地下水，其中被利用的不足10%，其余绝大部分被白白地浪费了。

近年来，北京近郊发现了较丰富的地下热水资源，这是建设清洁美丽的现代化城市的宝贵资源。但是，目前北京在地下热水资源的开发利用方面，存在着无计划与不合理的现象，只要哪个单位有资金、有钢制井管，则哪个单位就可打热水井，井打成就归哪个单位使用。热水井的所有者想怎么开采就怎么开采，浪费十分严重。有的单位浴池的进水管小，而热水井的水泵抽水量大，用不完的那一部分热水，竟被直接排入下水道流走了。据1980年统计，全市每天平均开采6300吨热水（大约每年可节煤18000吨），可是各单位实际利用的只有1/4，其余3/4白白地扔掉了。为了合理地开发利用地下水资源，统一计划、合理调配使用地表水与地下

水，防止乱采乱用水源，避免因超量开采地下水源而造成的灾害，所以必须管好、用好地下水资源。

怎样管理地下水资源呢？首先，要建立国家和各级水资源管理委员会，制定、颁布和监督执行水资源法律，计划管理与统一分配城乡用水、工农业用水与生活用水；制定合理的用水收费标准，对水量和水质分级、分质定价供水，尤其需要详细调查与保存水井档案，包括打井年月、深度、口径、地质资料、井的结构、井管性质、打井单位、建井起始的地下水位、水量、单位出水量等等。还要根据不同地区地下水资源具体情况分别制定接受建井的申请细则、打井数量、井与井之间的距离、抽水量、允许含水层汲水疏干的程度、旧井、坏井的报废与封填、审批和颁发执照以及收取水费等规定。对违反水资源法、滥打、滥采而损坏地下水源所要采取的法律措施与给予停止用水、征税、罚款或判刑的细则。1979年以来，相继颁布了《环境保护法（试行）》、《中华人民共和国宪法》和《水污染防治法》等，其中都强调了对水资源的科学管理、保护与使用，而且全国很多地区也都规定了管理与保护本地区水资源的措施。如北京、上海、辽宁、天津等地相继建立了水资源管理机构，科学合理地开发利用地下水，以达到水尽其用，防止灾害，最大限度地满足人们生活与生产的需要。

细水可长流

现代社会生产力的巨大发展，对水的需要量日益增加。目前很多地区的人们已经感觉到水源越来越紧张；但是另一方面，在世界各地却还普遍存在着大量浪费水源的现象。有

人统计了世界各国的用水情况后，认为中国是世界上用水最浪费的一个国家。这个结论的根据有：我国农业灌溉用水的有效利用率一般只有25~40%，我国每一亩农田平均实际灌溉用水量达400多吨，而国外一般为200吨；1980年我国重点钢铁工业每吨钢综合用水量为244吨，每吨钢新水（即除了继续使用上次炼钢所剩余的旧水外，需要重新补充的干净水）耗用量为89吨，而国外每吨钢综合用水量为150~200吨，每吨钢新水耗用量为4~10吨；我国城市居民生活用水每人平均为130公斤，有些城市每人实用只有20~50公斤，其余均由自来水管跑、冒、滴、漏而流失了。人们深深地感觉到缺水之苦，因而认识到解决水源紧张是个非常迫切的问题，必须切实地“开源节流”。所谓水的“开源节流”就是开辟新水源和节约用水，其中以节约工业用水、农业用水与生活用水是解决水源紧张最经济和最有效的措施。

节约工业用水：现代世界各国的工业用水量相当可观。近年来，美国的工业用水量最大，每年可达1000多亿吨。其次是苏联，工业年用水量近800亿吨。日本工业年用水量为100多亿吨。但是，这些国家的工业循环用水率较高，日本为69%，即100吨用过的水，其中有69吨可以回收重复使用，美国为60%；估计1980年苏联为75~80%。

我国的工业用水量也相当大，每年可达500多亿吨，尤其是工业较密集的华北和辽宁地区，工业用水量已超过总用水量的10~30%。

水在工业中主要用于生产过程中的冷却、锅炉用水、原料用水，以及处理和洗涤产品。工业用水中以冷却水的用量最大，约占工业用水总量的60%。如我国1979年工业冷却用水量达300亿吨左右。然而，我国工业用水的重复利用率很低，

全国平均只有10%左右，大量的可以重复利用的工业回水被白白地排放掉了。由于工业用水浪费等原因，使一些城市水源更趋紧张，如北京、天津、沈阳、大连、邯郸、青岛、西安、乌鲁木齐等15个大中城市，每天约缺水300多万吨。缺水直接影响到人们的生活，又限制了国家重大经济项目的建设。在那些缺水的城市，因为用水浪费，也出现了滥采、滥用地下水和破坏地下水资源的状况。据计算，新建自来水厂每生产1吨地下水需投资人民币200~300元，同时还要建立相应的污水处理设施，平均处理1吨污水的设施又需投资300元左右，而且这些基本建设是很费工费时的。然而，每节约1吨工业废水的工程建设投资很少，一般只需要30元左右，并且工程简易，很省时间。因此，为了解决缺水问题，国内外对节约工业用水已日益重视了。

工业节水的主要措施有：冷却水的重复使用，就是在工厂推行冷却技术，将冷却废水冷却后重复使用，可以使水的回收利用率达到80~90%；废水封闭循环使用，就是建立不排废水的工厂，将废水封闭在生产流程线上反复循环使用；梯级循环用水，就是在工厂里，利用后一道工序排出的较清洁的水供前一道工序用，这种阶梯状使用水的方法，最少可节约30%的工业用水；革新生产，采用新技术，如国外用汽冷代替水冷却，使炼制原油的耗水量减少了60%；用次水代替好水，如建在海边的钢铁、化工、发电等工厂可用海水代替淡水冷却。在超量开采优质承压地下水的地区，可以采用水质较差的潜水供生产冷却与建筑施工用水。

节约农业用水：农业用水占各国总用水量的比例最大，如1969年印度农业用水占全国用水量的95.5%，墨西哥1970年占88.1%；日本1965年占72%。我国1979年农业用水量占

总用水量的84%，并且也是世界上农业用水量最大的国家，1979年我国农业用水量为4004.3亿吨。由于我国不少地方的灌溉管理制度不健全，农业用水量浪费很大。如目前我国农村绝大部分渠道没有防渗措施，因为渠道渗漏、蒸发和管理不善等原因，损失水量可达40~70%。农田灌水方式又是大水漫灌（即灌溉时，将所灌农田全部放水淹没）；不仅水田每年每亩灌水超过1000吨，甚至在某些地区的旱作物每亩每年灌水量也往往超过1000吨。另外，灌溉技术也落后，我国平均灌溉1吨水只能生产0.5~1公斤粮食；而灌溉先进的国家1吨水可生产1.7公斤粮食。总之，我国农业节水的潜力很大，已引起各地农村的重视。

农业节水的主要措施有：渠道防渗，用三合土、混凝土与石料等衬砌和夯实渠道，一般可减少渠道渗漏20~30%，也可使用塑料薄膜铺垫渠道，它具有施工简单、收效快和造价低等优点；以地下管道来代替明渠，可以减少渠道渗漏和蒸发的损失，大体能节水20%左右；以喷灌、滴灌来代替大水漫灌的灌溉方法。什么是喷灌和滴灌呢？就是水由管道喷洒到农作物上，或者控制水管的出水量，使水在靠近作物的根部一滴滴地流出，以便作物的根须吸收。喷灌、滴灌省水又增产。据总结，喷灌、滴灌可比地面灌溉省水40~60%，增产20~30%，提高土地利用率5~10%。近几年来，我国喷灌、滴灌的灌溉面积已达1000万亩，占全部灌溉面积的1%。还有，要制定农作物的用水计划，落实灌水定额，完善灌溉设施的配套工作，及时总结与推广节水的经验。

节约生活用水：生活用水浪费也是造成城市水源紧张的一个重要原因。城市的一些居民不知水源来之不易，只图方便，大量浪费用水。洗脸、刷牙时开着水龙头，水白白流

走；夏天，顽皮的孩子开着水龙头玩水，大打水仗；有的单位长期不关水龙头，让水任意流失；许多家庭用自来水作长流水“冰镇”西瓜、啤酒、汽水；很多地方自来水跑、冒、滴、漏严重，无人过问。

多年来，许多单位对职工生活用水采取包费的办法，每人每月只交几分钱的水费或稍多一些，敞开用水。有的单位宿舍大院，一个月就要由国家补贴水费数千元甚至上万元，很少考虑节约用水。有些采用包费制的单位和住宅楼，每人每天用水量达500多公斤，比一般用水量高10倍左右。有的城市生活用水浪费量每年高达几千万吨，数量十分惊人，因而更加剧了城市缺水的状况。据对全国236个城市的调查，其中严重缺水的有40个，一般缺水的有148个。我国城市目前每年用水248亿吨，其中80亿吨是生活等各种运用不当而被浪费掉了。可见，节约生活用水的潜力也是很大的。

当前节约生活用水的主要措施有：加强节水宣传教育工作；取消用水包费制，安装分户水表，按水表计数收费；用次水和海水代替好水与淡水，用于冲洗厕所等清扫工作；在超量开采优质承压水的地区，可用水质较差的潜水供清洁卫生和园林绿化等使用。

水源能调剂

从远处引水：在地下水源缺乏或地下水超量开采的地方，兴建大、中型水利设施，从远处引来地表水或地下水源以调剂当地的水源。如天津市是个严重缺水的城市，●国家于1982~1983年兴建了引滦入津工程。它是我国目前最大、最长的城市引水工程，横跨滦河、海河两个流域，穿越燕山山脉，总长234公里。它每年将10亿吨甘甜清淡的滦河河水从

河北省引入天津市，从而大大缓和了天津市工业生产和居民生活用水的紧张状况。又如北京城近郊为了解决地下水源紧张的问题，于1979~1981年耗资1亿多元从50多公里外的远郊引来优质地下水，最大引水量每日达40万吨，平均引用1吨水的工程费用达300多元。

为了彻底解决北方干旱缺水的问题，我国决定实施南水北调东线第一期工程方案：打通长江到黄河南岸的输水线路，让长江水沿着京杭大运河向北送到山东省的济宁。从而缓和江苏、山东、安徽三省的扬州、淮阴、徐州、枣庄、济宁、菏泽等城乡和工矿区的缺水状况。1990年工程全部完工后，每年将引长江水向沿线城市和工矿供水21亿吨，可以提高2100万亩农田灌溉的保证率，水稻灌溉面积将由1000万亩增加到1400万亩。

兴建地下水库储存地表水：用雨水与工业生产所排放的弃水进行地下水人工补给，以调剂地下水源的不足。地下水库是利用地下岩层的孔隙、裂隙、溶洞或开采腾空的含水层空间等储水条件，将大气降水、洪水、多余的地表水，经过水质处理后的工业弃水或专门引来的水，用人工补给的方法，引渗或灌注到岩层与含水层里储存起来，待地面需水时，再抽出使用。这种类似于地面水库，能够调蓄水体的措施，就叫作地下水库。地下水库要具备能蓄水的库容、良好的水质、充足的回灌水源与透水较好的入渗地层。

能够充当地下水库的地下岩层大致有三类：一种是河流经过历史变迁遗留下来的“古河道”；一种是利用古代河流冲积、洪积地带疏干后形成的蓄水岩层；另一种是利用石灰岩溶洞等做地下水库（图28）。地下水库较地面水库有很多优点：不占地或少占地；没有蒸发或蒸发消耗很少；不容易

受污染，不需要防风、防浪、防冰冻等，也不怕地震，而且造价便宜。

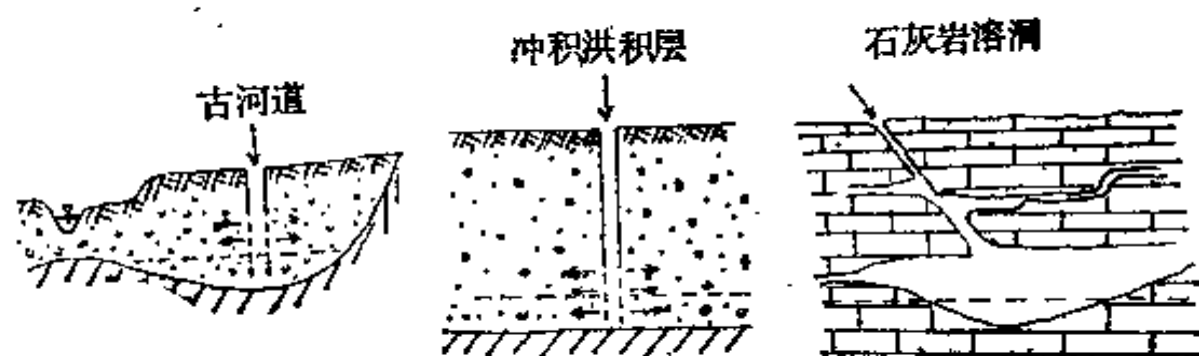


图 28 能够充当地下水库的岩层

什么叫地下水人工补给呢？它是人们借助于引渗工程（如坑、渠等）和灌注工程（如大口井、竖井等）设施将地面水引入地下，储存在地下水库中的一种方法，通常把地下水人工回灌叫做地下水人工补给。按人工引渗补给地下水的方式，可以分为地面入渗法（即利用坑、洼地引渗回灌，见图29a）和地下灌注法（即井灌，见图29b）两大类。

如河北省南宫县利用平原地区古河道兴建了一座地下水库——南宫地下水库，它埋藏在地下古河道中，其库容是含水与给水性能都较好的砂层，库的地表面是自然回渗条件良好的砂壤土，大气降水、洪水和库面河流是地下水库的引渗水源。南宫地下水库的优点是：库上有大地覆盖，库水极少蒸发；库下有粘土衬底，阻止了渗透；地下水库不占农田，不需迁徙村庄，不怕地震，没有决口之患；没有地面水库经常发生的农田盐碱化之弊；还由于不需象地面水库那样筑高大的水坝，因而地下水库建筑费用极低。这座大型地下水库总储水量为4.8亿吨，可调蓄水量达1亿多吨。1977~1979年，南宫县已从地下水库中抽取了1亿多吨水，浇灌了库区

内外的20多万亩农田。同时，通过降雨、洪水回渗等，地下水库中被抽出的水大部分又得到了补给。

我国北京、上海、天津、河南、江苏、河北、山西、广东等省、市地下水超量开采的地区，相继开展了地下水人工补给工作，利用深井、大口井、地面水库、废弃砂石坑、旧

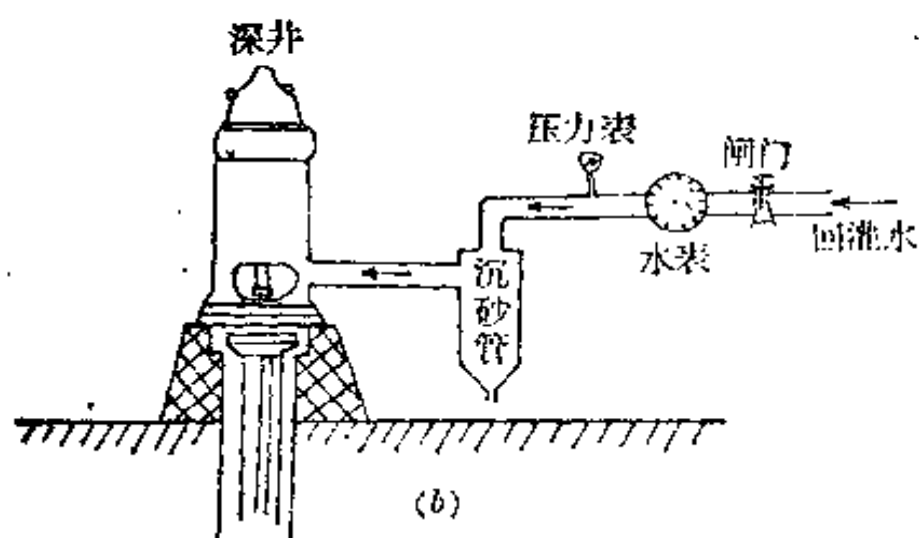
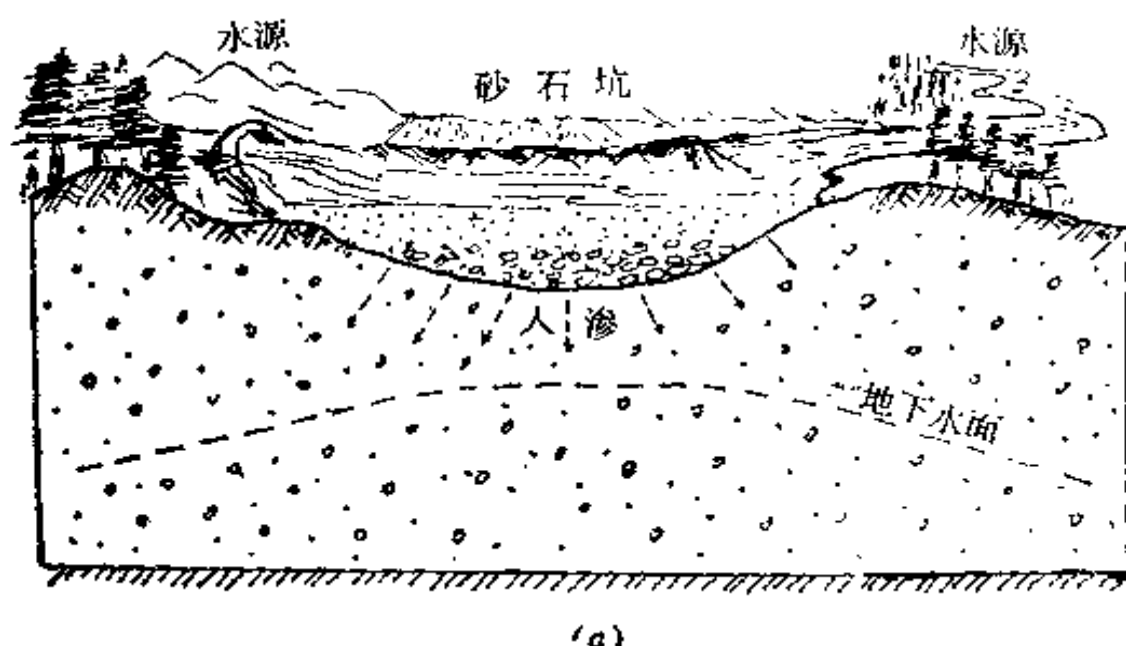


图 29 地面入渗法与地下灌注法

河道等，把地面多余水、处理后的工业弃水灌注或引渗入地下，从而减缓了地下水位下降的幅度，使地下水位得到了恢复。如上海市开采地下水已有一百多年了，长期超量抽汲地下水，造成了严重的地面沉降。为了控制地面沉降，上海市在70多家工厂的134口深井中，开展了大规模的地下水人工回灌，使地下水位连年大幅度上升，到1974年，上海市区的地面沉降已基本上得到了控制。

海水和苦咸水的淡化：地球上的淡水资源不到地球总水量的1%，在这些淡水中，有一半以上又遭到了污染，余下的一小部分淡水要供全世界几十亿人饮用、工农业生产，造成了一些地区淡水紧张的现象。有人估计，世界上有12亿人居住在饮水紧张的地区，有4~5亿人由于饮用不清洁的水而患病。随着世界人口的增长，生产的发展，一些国家和地区的缺水现象将日益严重。于是人们将解决水源紧张的目标转向占有地球总水量97%以上的海洋。据计算，按世界人口均摊，每人可得到3亿多吨海水。可是，海水中的盐分占3.5%，味道苦咸得既不能饮用也不能供工业生产、农田灌溉和科学实验使用。因而不少国家采用海水淡化的方法来取得淡水。尤其是缺乏淡水的阿拉伯国家，海水淡化是目前现实可行的解决水源短缺的办法。

怎样让海水和苦咸水淡化呢？就是采取各种物理的、化学的方法，处理海水和盐分很高的河水、湖水，使水中的盐分全部分离出来，从而获得淡水和高纯水。如科威特全国面积不到2万平方公里，人口100多万，天气异常干旱，严重缺乏淡水。从1980年开始，他们陆续建起了4座海水淡化工厂，每天可生产淡水38.6万吨。全国有50万人依靠从海水淡化的清水来生活，基本上解决了用水难的问题。阿拉伯联合

酋长国规划建设22座海水淡化工厂，到1985年这些工厂每天可生产淡水44万吨。我国和西德、英国、菲律宾等国都在大力开展海水淡化技术的研究。但是，目前淡化海水的成本太高，还难以普遍采用和推广。

向冰山要水：地球总水量的2%或淡水总量的75%贮存在南北两极的广袤冰原上，其数量可达24000亿吨，如此巨量的淡水以固体状态沉睡了数十万年。南极冰层平均厚度可达1700米，它的面积很大，相当于世界海洋面积的1/13，冰层的含水量和大西洋的水量相等。南极海面上漂浮着大量的冰山，有的冰山高达2700米，竟比我国的泰山和黄山还高，令人称奇。

同时，冰山的数量也很多，仅格陵兰岛每年漂流出来的冰山就有1~1.5万座。一座表面积为2.5平方公里的冰山，可供应100万人两年的淡水用量。由于运输冰山并融化成淡水的费用要比海水淡化的成本低一半，所以，澳大利亚、智利、法国、沙特阿拉伯、美国等，已提出并试验把极地冰山化为淡水，以解决水资源紧张的问题。

沙漠找水：近年来，在世界上一些沙漠地区陆续地发现了丰富的地下水。如在国内，1982年我国宣布，在内蒙古乌兰布和大沙漠的5300多平方公里范围内发现了丰富的地下水，年蓄水量达23.4亿立方米，水质清纯甘甜，适宜饮用和灌溉。1983年我国宣布，在柴达木盆地发现了3400多亿立方米地下水，相当于青海湖水量的4倍。同年又宣布，在陕北毛乌素沙漠南缘发现了丰富的泉水，仅50个泉的自流量每年可达31.5~315万吨。1984年我国又一次宣布，在被称为“旱极”的新疆塔克拉玛干大沙漠，发现了蕴藏量丰富的地下水。仅在22万平方公里的流沙地区，已经出现了76处地下水

人工出水点。有的地方，出水池长10米，宽4米，水深过人，清澈见底。有的地方，当天推出一条3.5米深的沙沟，发现了潮湿的沙层，一夜过后，沙沟能积水1米多深。

在国外，1983年有关国家宣布，世界上最大的沙漠——撒哈拉大沙漠下面是一个大海，它的水量达30万立方公里，相当于尼罗河12年入海的总流量。1985年有关国家又宣布，在以色列的沙漠地区也发现了丰富的地下水。总之，在这些沙漠地区发现的丰富地下水，给当地的治沙造林、发展农牧业生产和城镇建设带来了新的希望。

地下含水层储能（冷能和热能）：将地表暂时不用的水源，采取人工补给的方式储存到地下含水层里，不仅能调蓄地表水源和增补地下水资源，而且可利用这种方法在地下储冷和储热。

地下储冷，又称“冬灌夏用”。在冬季，把低温地表水注入地下，利用地层和地下水温度变化小以及地下水流速很小等特性，在地下造成并储存低于原地下水温度的冷水。在夏季，再把储存于地下的冷水抽汲出来，用于车间降温、空调、冷却等。地下储冷经济效益明显，利用这种方法进行车间降温，设备投资费仅为其它制冷方法的20~30%，运行费用为其它方法的20%左右，耗电量只有其它方法的3~10%。如北京东郊棉纺区夏季用水集中，地下水位急剧下降，平均每年水位下降2~3米，单井出水量也逐年减少，20多年来平均减少了35%以上。北京棉纺三厂为了解决夏季水源紧张的问题，开展了地下水“冬灌夏用”的工作。在冬寒时期，通过大气冷却装置进一步降低水的温度，然后将冷水回灌入井中储存于地下。回灌时间从冬季12月至次年3月止，开采时间为6~9月，该厂回灌冷水前的地下水温度为15.3摄氏

度，不能满足空调降温的要求。回灌冷水后，地下水温度有显著的降低。在回灌井回灌两个月后，可使其周围20多米范围内的90米深处的含水层水温由15.3摄氏度降至9.5摄氏度。同时，几个回灌含水层的水温普遍下降，其中以90米、105米深处下降最多。8年多的“冬灌夏用”，为生产提供了大量低温水，解决了空调降温用水的问题，使夏季车间平均温度下降2~4摄氏度。由于水温降低，现在1吨水的空调降温效果，相当于原来的1.2~1.5吨水，因而减少了地下水的实际消耗量。每年夏季开动的井数，已由回灌前的12口减为9口，每年节约空调用水35万吨，改善了厂区夏季供水紧张的局面。另外，回灌井内地下水位相应地回升，较非回灌井水位抬高10~15米。同时也提高了单井出水量，缓和了地下水降落漏斗的发展，弥补了地下水资源的不足。所以，这种“冬灌夏用”的方法也很快在上海、天津、西安、南昌等地的棉纺系统及其它工业系统中，得到推广应用。

地下储热或称“夏灌冬用”，它的原理和方法与地下储冷几乎完全一样。它是在夏季把高于地下水温度的地表水注入地下，然后在冬季取出来利用。这个方法也有明显的经济效益。但是，目前推广使用的程度不如地下储冷。

近年来，江西、广东、湖南、湖北、福建和北京等省、市为了扩大地下热水流量，开展了人工补给地下热水的工作。人们根据地下热水点的地质构造条件，采用适当方法向地下注入地表常温水，可以提高地下热水的压力、流量甚至温度，通过实践证实这是一种加强开发利用地下热水资源的好方法。在江西省宜春县温汤，由于开展了人工补给地下热水的工作，已取得了良好的效果。北京市在非取暖期的6~9月份，将15.5摄氏度的常温水连续灌入一口热水井里，平均

每天回灌700多吨，共灌入近6万吨常温水。回灌开始及结束，对附近250~7400多米距离内的26眼热水井测量水位、水温。在回灌两星期后，发现26眼热水井的地下水位上升幅度为0.16~0.94米，其特点是距回灌井越近的热水井，地下水位上升幅度越大。回灌结束半年后，这些热水井的出水温度没有明显的降低，表明了所回灌的冷水没有影响到250米以外地下热水的温度。停止回灌常温水后，回灌井内的水温平均每月上升1.57摄氏度。经过两年半后，近6万吨15.5摄氏度的常温水全部被加热到52~53摄氏度。

北京城近郊区地下热水开采量逐年增加，目前年开采量已达400万吨，因而造成了地下热水水位每年以2.5~3.0米的速度下降，现在的水位比热水开采初期的水位已下降了30多米。但是，用于冬季取暖的热水占年开采热水量的1/3，这些热水经过采暖系统一次循环后即排放到下水道，排水温度在40摄氏度左右。若将取暖后的弃水回灌入热水井中，则可减缓地热水位的下降速度。据北京有关单位试验，每天将温度为36摄氏度的采暖弃水800吨灌入热水井中，共回灌了12000吨；经过200多天后，回灌井中的水温又恢复到50.2摄氏度，接近了热水开采井的正常水温52摄氏度。据此测算，北京市若能每年回灌80万吨采暖弃水，则由地层加温弃水后相当于节省煤炭费用11万元。每年80万吨的水回灌入热水层后，可使地热水位减缓下降0.7米，30年内水位可以少下降20米。若以每年开采热水400万吨计，就可延长地下热水含水层10年开采寿命。

水质要防护

地下水是地球上的重要液体矿产资源，它已被许多城镇

作为主要的供水来源。城镇人口稠密，生活污水量大，垃圾废物也多，而且城镇现代工业集中，工业废水、废气与废渣等“三废”排放量高，污染物质复杂。同时，城镇郊区污水灌溉面积大，化学肥料、农药施用量多，农业污染严重。因此，生活垃圾、化学肥料、农药、工业“三废”等形成了污染地下水的因素。人类的生产活动，如开发矿产、渗井排污等，又不断地破坏了原始的地质环境，增加了地下水的污染途径，使地下水遭受了污染。一个地区的河水可以在几小时，甚至在更短的时间内，由新流入的水完成一次循环交替；而同一地区的地下水，流速比河水缓慢得多，往往需要几年、几十年，甚至上百年才能由区外流入的新水全部交替完毕。因此，地下水的污染过程要比河水长，污染后也不容易在短期内恢复清洁，即使把污染来源和污染途径完全截断，在几十年以至上百来年内也可看到污染的影响。随着城市和工农业生产的发展，世界上一些国家和地区的地下水污染也是比较严重的。毫无例外，我国一部分地区的地下水也或多或少地受到了污染，如据1978年对全国44个城市的调查，有41个城市的地下水不同程度地遭到了污染，一些污染物质的含量超过了饮用水的标准。

地下水中常见的污染物质主要是挥发性酚类、氰化物、硝酸盐、铬、砷、硫酸盐、氯化物、硬度（即钙、镁等金属离子）等。其中地下水挥发性酚类污染是由炼焦、石油及化工废水渗入地下而造成的。当给含有酚类的水加氯气消毒时，就生成了具有恶臭的氯酚，饮用这种水会使人不适，造成中毒。氰化物毒性剧烈，氰中毒会影响神经中枢，造成呼吸困难，全身细胞缺氧。长期饮用含微量氰化物的水，将引起人体甲状腺肿大。地下水的氰污染是炼焦、电镀、选矿和冶

炼等工业废水下渗而造成的。农药厂、硫酸厂、化肥厂、冶炼厂、化工厂等工业废水中含有大量的砷化物，含砷废水渗入地下，即可造成地下水砷污染。长期饮用含低剂量砷化物的水，能产生慢性砷中毒症，其主要症状是末梢神经炎症，四肢疼痛，行动困难，肌肉萎缩，头发变脆易脱落，皮肤色素增多，手脚皮肤高度角质化，并引起肝损伤、肝硬化，严重的可导致死亡。由于铬矿的开采、冶炼，生产各种含铬化合物以及电镀、皮革、染料、油漆、合金、印染、胶版印刷、化工等工业废水含有大量的铬，它们渗入地下，就使地下水发生铬污染。若饮水中含有大量的铬，可引起口咽腔、食道、胃肠道坏死和溃疡，严重者可损伤中枢神经而导致死亡。

为了防止有害物质污染地下水，必须做好水源防护工作。这项工作是保证城镇供水水质良好的重要措施，正如防护林能阻挡沙漠的侵蚀作用一样，地下水源防护工作可以保护地下水水质不受或少受污染。因此，要根据各地的具体情况，确定地下水源井的防护范围。有条件的地方，可把水源井放在公园和风景区内加以防护。合理规划工业布局，在城镇地下水源的上游和表层粘性土覆盖层薄弱的地带，不要建立或扩建排放有害物质的工厂。对已有排放污水的沟渠，要采取衬砌防渗措施。要禁止用井、坑、塘、渠、沟等排放污水，禁止任意堆放工业废渣与生活垃圾，建立污水处理场和垃圾处理厂。要加强地下水资源的管理工作，提倡循环用水、一水多用，减少污水排放量；不用未经处理的污水灌溉农田等。

水 好 须 珍 惜

水是一种有限的、不可替代的宝贵资源，由于水在自然界的普遍存在和无限循环性，使许多人忽略了水的宝贵。由于缺水，很多工厂停产；由于缺水，工人下班，满身油泥，不能洗澡；由于缺水，楼房不能烧暖气，办公室只好烧木材取暖；由于缺水，发生火灾不能及时扑灭，眼看许多房屋被烧光。生活上缺水，居民反映更大：“没有电，买枝蜡还能凑合，没有水可不行”，“没有水的楼是臭楼，没有水的城是死城”。人类曾经生活在没有石油，不用电力，缺少煤炭的时代，但是一天也没有生活在没有木的世界。水的真正价值并不表现在它的无限循环和普遍存在上，它类似于健康和青春，只有在失去或缺少它的时候，人们才会感到它存在的重要。

地下水和其它天然水源相比，显到更为宝贵，因为它有其它天然水源所不具备的许多优点。一般来说，绝大部分的地下水来源于大气降水；而大气降水中的矿物质含量很低，通常每升水只有几十毫克甚至更少，不适于饮用。大气降水经过由地面向地下入渗的过程，逐渐溶解了土壤、岩石中的许多矿物质，最后每升地下水中的矿物质含量就增加到几百毫克至1000毫克左右，所以绝大部分地下水是最适于饮用的。

雨、雪等大气水在空中以及它们降落到地表以后，都会混入一些悬浮的杂质、细菌和病毒等，但是这些水在下渗过程中，地层能够滤去水中的杂质和细菌等物质，使水质达到了自然净化，地下水质也就透明洁净了。地下水埋藏在地

下，上、下都有地层的隔离保护，不象地面水那样容易受到污染，因此地下水一般都能供人们直接饮用，很受人们的欢迎。

地面水的分布比较局限，也不均匀，一些地方有河流、湖泊，而另一些地方根本没有河湖，地面一片干旱。但是地下水的分布却很广泛，也很均匀。不论是平原、盆地，还是山区，都会有地下水存在。地面水流泄得很快，调节性差，尤其是在干旱地区，在没有稳定的补给来源的情况下，河流一般在大半年中是干枯的，供水时间很短。而地下水在岩层中运动相当缓慢，当一个地区的地下水接受补给后，以很慢的速度流泄出区外，所以地下水在含水层中停留的时间很长，含水层往往终年有水，地下水的供水时间也就长了。河流在降雨季节，河水量顿时增加，雨止后河水量随即减少，较小的河流往往断流，人们为了保证用水，就必须修建水库，以调节河流的水量。地下水在补给减少或停止时，以及人们在开采中所消耗或减少的地下水量，在降雨季节中可以得到补充和恢复，并且贮存于地下水库之中，从而具有天然的调节作用。

由于地下水有如此众多的优良特点，人们为了使地下水成为“取之不尽，用之不竭”的源泉，已懂得必须控制地下水的开采，明白要科学合理地开发利用，尽可能地使消耗掉的水量在当年就得到补偿恢复。也懂得了要保护地下水水质的良好状态，防止地下水源遭到污染，以便使地下水这一宝贵资源为人类作出更多的贡献。

结 束 语

地下水的开发利用，对我国的工农业生产、城市建设和人民生活起了很大的作用，目前许多重要的城市、工业基地都以地下水作为主要供水来源。随着城市人口的增长和工农业生产的发展，用水量将迅速增加。据初步估计，今后20年内，地下水开采量将增加2~3倍。我国地下水资源分布广泛、储藏量丰富，但是利用率还比较低。全国每年地下水开采量为550亿吨，仅占地下水的年天然资源量的6.9%。地下水利用程度比较高的华北平原，已查明的地下中、浅层淡水每年为475亿吨，开采量每年仅为256亿吨，还有200多亿吨没有利用。松辽平原地下水远远超过华北平原，而开发利用程度却大大低于华北平原。新疆查明的地下水每年为264亿吨，开采量每年只有十几亿吨。河西走廊、柴达木盆地、天山南麓、北麓和南疆的地下水资源也有极大的潜力。

但是，地下水和地表水一样，它的流量也是有限的。必须科学合理地开发利用，开源节流，使开采量与补给量保持平衡，这样地下水才能成为人类取之不尽的宝藏，才能避免地下水位大幅度下降、出水量减少、水源枯竭、地面沉降、海水入侵、水质恶化和供水紧张等现象，地下水就能为发展我国工农业生产和满足人民的生活需要，发挥出更加重大的作用。



