

中国科学技术协会“西部科普工程”资助项目

地球物理科普文选 第四集

找水节水新技术

中国地球物理学会科普与继续教育工作委员会



地震出版社

中国科学技术协会“西部科普工程”资助项目

地球物理科普文选 第四集

找水节水新技术

中国地球物理学会科普与
继续教育工作委员会



出版社

地球物理科普文选 第四集

找水节水新技术

中国地球物理学会科普与

继续教育工作委员会

责任编辑：蒋乃芳

责任校对：王花芝

出版发行：地震出版社

北京民族学院南路9号

发行部：68423031 68467993

门市部：68467991

总编室：68462709 68423029

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

邮编：100081

传真：68423031

传真：68467972

传真：68467972

经销：全国各地新华书店

印刷：北京地大彩印厂

版（印）次：2003年1月第一版 2003年1月第一次印刷

开本：787×1092 1/32

字数：153千字

印张：6.625

印数：0001~2000

统一书号：135028·2761

定价：19.80元

版权所有 翻印必究

（图书出现印装问题，本社负责调换）

前言

水是生命之源，又是一种有限的资源。水不仅是维持地球上一切生命所必须，而且还关系到人类社会的生死攸关。

我国的水资源并不丰富，在地域和时空的分布上极不平衡。特别是北方大中城市水的供需矛盾突出，已成为制约城市发展的重要因素之一。党和国家历来十分重视水资源和节水问题，江总书记和国务院有关领导都曾专门作出重要指示。本书向读者介绍水资源对生命及社会发展不可替代的巨大作用，以及我国无度、无序用水及水资源污染的状况，希望在唤起全民节水意识和

社会节水行动方面有所裨益，同时也介绍了找水和节水的方法、技术。达到“传播水的知识，了解水的由来，体验水的应用，推广节水器具”的目的。

本书是地球物理科普文选的第四集，前3集分别是地球和地球物理、地球物理与经济建设、环境与地球物理。

本书在编辑过程中得到水利部吴季松，建设部刘志琪、曹燕进、田静、林洁，国土资源部钱玉好、吴海成、刘振铎、连克，中国科学院资源环境与技术局蒋宏耀，中国地震局杨玉荣，中国地质大学李金铭、潘玉玲、张贵斌，中国农业大学郑大玮，中南工业大学何继善，铁道部科学院钟世航，天津石化公司练学余、马连喜，重庆地质仪器厂廖水平、陈春丽、冯永江，冶金工业总公司湖北地球物理勘察院李色篆，牡丹江市节约用水办公室孙明，北京市节约用水办公室刘红、岳亮，北京市地震局王越、张晓南等专家学者的积极支持配合，他们为本书的编撰提供了稿件，在此一并表示衷心的感谢！

由于时间仓促，水平有限，本书难免有错，请广大读者批评指正。

**中国地球物理学会
科普与继续教育工作委员会**

2002年2月

目录

1. 综 述

- 1 漫话水及水资源
- 31 迎战 21 世纪面临的第二贫困——水贫困
- 51 目前我国城市供水与节水的形势与任务
- 55 水资源与地球物理

2. 地球物理找水技术

- 63 地球物理方法——物探找水纵横谈
- 79 电阻率法
- 89 激发极化法
- 93 双频激电法
- 98 频率电磁测深法
- 105 音频大地电场法
- 119 甚低频电磁法
- 121 充电法
- 123 地面核磁共振法
- 131 自然电场法

140	放射性法
143	地震波探测法
146	物探测井技术
149	遥感法
153	物探找水新技术、新方法

9. 节水技术

155	西部开发话节水
161	西部地区的农业怎样节水
171	城市地下供水管网水泄漏检测技术
175	中水利用综述
192	浅谈生活用水在城市节水中的潜力
196	千万吨水如何节约出来

漫话水及水资源

一、水是什么

1. 水是生命的摇篮

有人说：生命源于水中。此话千真万确。虽然关于生命的起源至今仍是科学家们艰苦探索的重大课题，但不管是“天女散花”似的天外来客说，还是闪电合成说、海底热泉说，公认的一点是：生命的前期物质——复杂的有机物或者是最原始、最简单的生命现象，大约在 38 亿年前只能在海洋中才得以生存、发展、演化。在那个遥远的洪荒年代，只有海洋这个庇护所，才能防止紫外线的伤害和提供原始生命形态营养交换的环境。我们现今生活的地球直到十几亿年前才开始产生能防紫外线辐射的臭氧层。

据化石记录和研究，大约 38 亿年前，地球的海洋中出现了最原始的生命形态，即没有细胞核的单细胞生物，到距今约 24 亿~28 亿年前，地球上才出现了具有细胞核等细胞组织的真核细胞生物，十多亿年前才出现多细胞生物，这是生命进化过程中的一次大飞跃，此后才可能出现生物的大发

展，不仅出现了门类众多的生物，而且逐步完成了从低等到高等，从无脊椎到脊椎动物，从海洋生物到陆生生物的进化，这里有渐变的进化也有突变的进步，整个生物界的演化，在相当长的时间里是在海洋中进行的，直到4亿多年前海洋生物才开始登陆，逐步适应陆地的淡水，从而开始更快的演化发展。

从生物进化过程来看，液态的水是生命诞生和进化的最基本条件，可以说，没有液态的水就没有现在的林木葱郁、百花争艳、鱼翔潜底、鹰击长空、飞禽走兽、人类繁衍。没有液态的水，世界将是一片死寂。现今不少科学家寻觅球外智能生物未果，又转而研究太空中何处存在液态水，就是为了探索生命起源和演化的奥秘。

2. 水是大地母亲的乳汁

亿万年来，液态水哺育、滋养着千万种生灵，使它们茁壮成长。有一首歌唱道：雨露滋润禾苗壮，这“雨露”应理解为淡水。水怎么能有这么大的作用？这是因为水分子是极性分子。水是最广泛的溶剂，它能够溶解多种人体和生物体必不可少的有用物质，这些物质恰恰是各类生物包括人类成长所必需的养分。自然界中，不含其它物质的纯净水几乎是没的，即使有，这类水对生物成长也没有什么帮助。但是若水中溶解了生物不需要的有害物质，甚至超过了一定数量，对生物的成长则有害而无益了。被严重污染的水，乃是生命的禁区。报纸常有过去鱼虾成群的河湖、塘水，被污染后鱼虾绝迹的报道。

对于任何一种活的生物体，水不仅是各种养分的携带者和输送者，而且本身就是生物体的重要组成物质。活着的生物体都含有大量的水分，即使生活在沙漠中的动植物也不例

外。动物一般比植物含水多。有些海洋生物，体重的 95% 以上是水分，即使是人体，水也占了体重的 70%。失去水分的躯体，就相当于皮包了骨架。十几年前曾有报道说国外有人做过实验，人只喝水不吃食物，最长可活 21 天，而只吃食物不喝水只能活 7 天。可见水对生物体是何等重要。难怪有人感叹道：“生命乃是朝气蓬勃的水！”

由此可见，没有水，就没有生命的诞生和进化；没有水，也不可能有生物的繁衍和成长，人类和动物也不可能有丰满漂亮的体型。

3. 水是变化的精灵

通常情况下水以液态存在。水分子由氢和氧组成，俗称氢 2 氧 1，但水分子结构的特殊性使其具有偶极性，这不仅使其成为最广泛的溶剂，也使其具有了特殊的电化性能，使得用地球物理方法寻找地下水成为可能，也才能使水分子连接形成涓涓细流汇成百川入海。水具有良好的性能，比如：连接的不留痕迹，又有无可比拟的柔滑性，而且切不开，扯不断。您可以在它身上乘船扬帆，也可泳装投入它的怀抱，尽情嬉戏……。又比如它的不定型性和流动性，时而成线性河流小溪，时而流入奇形怪状的湖泊池塘，时而潜入地下，时而流出地面成为泉或溪、河……。它还可以很方便地随着温度的变化不断地改变形态，随着温度的升高，相互连接的水分子就会一个个地分离，变成水汽，这叫蒸发。当然，蒸发在任何温度下都会发生，蒸发的速度还和风速、表面积等因素有关。这些因素可以独立分别发挥作用，也可联合同时作用，否则阴天洗的衣服就不会干了，只不过温度越高、风速越快、表面积越大，蒸发越强烈。每当秋凉夜深，水汽又会凝结在树叶、草丛、石块表面，变成

晶莹剔透的露珠，当温度进一步降低到零摄氏度以下，又会变成霜、雪、冰。在吉林市，当气温降至零下 20℃ 以下时，丰满水电站流出的热水雾气蒸腾，遇到寒冷的空气就凝结在树枝上形成美丽的“树挂”，十里江堤，玉树银花，奇妙壮观。

水的液态、固态、气态的三态变化，为人类方便利用水资源提供了条件，我们可以利用水的势能，推动涡轮机来发电，如丰满水电站、三门峡水电站；也可用高温的蒸汽推动气轮机发电，如西藏羊八井就是利用地下高温热汽水发电。

4. 水是社会发展进步的基础

不仅生物的生长离不开水，工农业生产也离不开水。可以说，水不仅养育了生命，创造了五彩缤纷的大自然，也是影响经济发展、文化生活、城市兴旺发达的制约因素。水孕育了几千年灿烂的人类文明。

有人作过研究，当人类社会由原始状态进入农耕社会，进而发展到工业为重点的阶段，再发展到后工业社会，各种自然要素相继发挥了重要作用，但唯有水始终是一种起主要作用的自然资源。由此可充分看出水对工农业生产、对社会文明的发展进步是何等的重要。

在人类社会发展的各个时期，人类不仅逐水而居，而且开始对野生动植物的饲养驯化和人工种植，这就需要大量的水。进入工业社会，更是离不开水，而且水的用量数倍增加。有人统计过：公元前一一人一天消耗 12 升水，中世纪增加到 20~40 升，18 世纪用量是 60 升，20 世纪 60 年代前为 120 升，现在人均日用水量达到 500 升。当然这些水并不都是人们喝掉的，统计的用水量是工、农业生产，人们直接使用等等的总用水量按人平均。现代工农业生产用水量极大，

比如我国产出 1 公斤小麦需耗水 1000 ~ 1500 升，1 公斤牛肉需 31.5 吨水，生产 1 吨纸耗水数百吨，而生产 1 吨合成橡胶则需耗水 2.75 万吨。国民经济的所有产业，都需要水，没有水就只有停产。

5. 水是环境的敏感因子

自然环境作为一个复杂的系统，大体上可看成是由水圈、生物圈、大气圈、土壤 - 岩石圈四个系统构成，这些系统是相互关联，相互依存，相互影响的，但水是唯一在这四个系统中都存在的活跃因子，其它因子的变化，也都会对水有相应的程度不同的影响，反之，水的变化也会很快地传递，影响其它因子，甚至有扩大的功能，并影响到人类社会系统。

气候变暖，会影响雨量的变化；大气被污染，会通过降雨影响土地、地面水和生物；土地被污染，也会使水污染；过度开垦土地，毁坏植被，又会使土壤涵养水分的能力减弱而引起地面水的减少和水土流失；无节制地在河流上游建造水库，会引起下游断流、海水倒灌，使水草丰美的草原和良田变成砂石裸露的荒漠等不良影响。

我们对水的不恰当的使用，也会影响其它系统甚至大气环流。水的污染，不仅直接影响人类的生活用水，而且会影响生物，特别是农作物的正常生长，甚至是污染江河湖海的重要原因之一；水的污染，不仅影响自然界，而且影响工农业生产。程福祜曾对湘江流域水污染情况进行系统研究，计算出上、中、下游环境污染的经济损失值的比例为：1:8.89:20.8。河流的改道、筑坝、拦河可以影响大气环流的变化。国际地科联主席 W.S. 法伊夫曾经指出：北美洲密西西比河系改道的圣劳伦斯河，可能导致新仙女木期小冰期的

形成。因为河流被阻拦和改道，不仅会引起输入海洋的养分、流量的变化，也会引起能量传输流量的变化；过量开采地下水，会引起地面沉降、塌陷、裂缝等，农业上的大水漫灌，又会引起土壤盐碱化的加剧。

二、水 资 源

1. 如何定义水资源

水，作为一种自然资源概念的统一和确定，在我国还不到十年，这是好事，因为把水定义为资源，第一要进行管理，第二不能无度开发使用，第三要科学使用，第四要保护，使其能为可持续发展的目标服务。

目前，在各类杂志、报刊上谈的水资源，一般指的是淡水，分布在地面河川湖泊及浅层地下和大气中。有人把它定义为在“目前技术和经济条件下，能够直接利用的水”（《新华词典》2001年版）。看来这一概念需要讨论。

联合国环境规划署曾定义：“所谓自然资源，是指在一定时间、地点的条件下能够产生经济价值的，以提高人类当前和将来谋福利的自然环境因素和条件的总称。”根据这一定义应该说海水、淡水、冰川水、地下水都是水资源，只不过用途不同罢了。

淡水，可直接供人类饮用，工业、农牧业用，但对海水的利用，早在古代就已开始了，如用海水制盐。现代用途就更广了。随着国际海洋公约正式生效，我国又多了 300 多万平方公里的蓝色国土，近几年又大力倡导以海洋为基础的海洋产业，由此可见，海水，包括地面咸水，都应该看做资

源，加以科学利用，严格保护，否则赤潮泛滥，沿海以渔业为生的渔民将衣食无着。

为了和目前我国文献定义相一致，本文以后提到水资源或水，只要未加说明，仍按习惯指淡水。

2. 地球水知多少

说到地球上的水（含咸水）的总量，可谓不少，地球浅部圈层中的水大约是地球总质量的 $1/5000$ ，约 13.86×10^6 立方千米，覆盖地球表面四分之三以上的面积，包括大气水、地表水、地下水及生物体中的水。这些地球水中，约有 97.47% 是咸水，分布在海洋和陆地的咸水湖泊；淡水约占 2.53%，约 0.35 亿立方千米，但其中约 70% 分布在极地和高山，形成冰川，远水不能解近渴，对于人类来说暂时还难以利用，但大陆冰川是陆地地面水及地下水的重要补给来源；而分布在江河湖泊中的水，占总水量的 0.02% 弱，而浅层地下蕴藏着总水量的 1.7%，可见地下水要比地面河、湖水多得多（表 1.1）。

表 1.1 地球上水的分布（按体积计算）

水的类型		水量/ 10^{13} 立方米	所占比例/%
海 洋		134990	97.2725
陆地 表面水	河 流	0.125	0.001
	淡水湖	12.5	0.0090
	咸水湖	10.4	0.0075
	冰 川	2920	2.1041
地 下 水	土 壤	6.7	0.0048
	浅层地下水	420	0.3025
	深层地下水	414	0.2984
生物水		0.12	0.0001
大气水		1.3	0.0010
总 计		138775.145	100

引自陶斯龙等《地球科学概论》，1999 年。

3. 水多水少话分布

地球上可利用的水资源总量约 42 万亿立方米，但是在地域和时空上分布极不均匀，这种分布的不均衡性是水资源有别于其它资源的一个重要特点。

前苏联、加拿大、美国、印度尼西亚、巴西等五国占有地球水资源总量的 42% 多一点，而人口只有全球人口的 18%，人均年水资源量可达 2.4 万立方米。而中东的以色列，人均年水资源量不足 400 立方米，在博兹瓦纳，水也极其宝贵，以至于用“雨水 (Pula)”作为货币名称。

我国水资源总量约 2.8 万亿立方米，居世界第六位，但按人均计算，不及世界人均的 1/4，约 2200 立方米，排在第 110 位。就全国而言，分布不均就更加明显了，呈南多北少、西北少东南多的特点，约 80% 的水资源分布在江南诸省区，而占国土面积 64% 的北方诸省区则只分布了 20% 的水资源；若按面积计算，广东每平方公里有水 102 万立方米，而宁波只有 1.9 万立方米；若按人均计算西藏人均水资源高达 18 万立方米，而天津、上海、宁波则不足 200 立方米，其中北京、天津、河北、山西、辽宁、上海、江苏、安徽、山东、河南、陕西、甘肃、宁夏等 13 省市人均水量低于联合国公布最低缺水线。因此，我国的水资源并不丰富。

陆地的水资源是以降雨为补给来源的。由于我国所处的地理位置，不仅使我国旱季、雨季分布明显，大部分降水集中在雨季，而且地域分布也很明显，引起我国降雨的来自太平洋的暖湿气流，几乎不能波及我国西部腹地。我国降雨时空分布不均，和地面水量的分布基本是一致的，但是集中降雨的时间东南沿海大约在 4 月份就开始，长江流域则主要集

中在6月份，华北、东北则集中在7、8月份。这种降雨集中随时间向西北推进的特点和农业大量需水时间很不匹配，即便在我国南方，有时也出现干旱现象。

4. 不息江河万古流

从远古到现在，江河日夜不停流向大海，流水不止，大海不盈，于是在古代，有人以为大海中有一个大洞，水永远填不满，实际上，这是水的循环性，即由液态→气态→液态（固态）→降雨（冰雹、雪），使水不断更新。循环和更新是水资源不同于其它资源的另一个特点。自然界的水循环见图1.1。

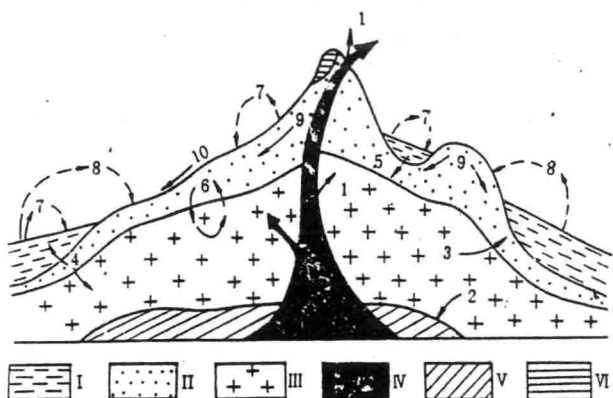


图1.1 自然界的水循环（据阿勃拉莫夫）

I. 海洋自由水；II. 沉积盖层；III. 地壳的晶质岩；

IV. 岩浆源；V. 地幔岩；VI. 大陆冰盖

1. 来自地幔源的初生水；2. 返回地幔的水；3. 岩石重结晶脱出的水（再生水）；
4. 沉积成岩时排出的水；5. 和沉积物一起形成的埋藏水；6. 与热重力和化学对流有关的地下循环；7. 蒸发和降水（小循环）；8. 蒸发和降水（大循环）；
9. 地下径流；10. 地表径流

前面已经谈到，地面水、地下水可以成为水汽升至空中，在适当的气候条件下又可以转为雨、雪降到地面，即大气降水，这是大循环又叫水文循环，这一循环只有几天。落到地面的水渗入地下形成地下水，真所谓：“天则云，施则雨，潜则润”。

除了大循环，由于水具流动性，可以在大气压力、热力、梯度的作用下自由流动，因而在河水、湖水之间，陆地水和海洋水，地面水与地下水等之间流动循环，这叫地质循环，见图 1.2。各类水的循环（替换）周期见表 1.2。

表 1.2 各种水体的替换时间

水体和水	水体替换时间
极地冰川、常年雪盖、地下水	近 10000 年
世界大洋	2500 年
高山冰川	1600 年
地下水（深部水）	1400 年
湖	17 年
沼泽	5 年
土壤水	1 年
河水	16 日
大气水	8 日
生物水（生命有机体中的水）	几小时

引自 O.A. 斯品格列尔，1983。

水的循环保证了地面淡水的不断更生，所以，我们始终可以享受到大自然给予人类的恩赐——淡水。