

水科学概论

SHUIKEXUE GAILUN

高宗军 张兆香 编著



海洋出版社

水科学概论

高宗军 张兆香 编著

海洋出版社

图书在版编目(CIP)数据

水科学概论 / 高宗军, 张兆香编著. —北京: 海洋出版社,
2003.11

ISBN 7-5027-5993-X

I. 水… II. ①高… ②张… III. 水文学-概论 IV. P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 098931 号

策划编辑: 申果元

责任编辑: 张 荣

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

天津市蓟县宏图印务有限公司印刷 新华书店发行所经销

2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 10.125

字数: 250 千字 印数: 1~2000 册

定价: 20.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

水,太普通、太熟悉的字眼;水,太简单、太普遍的话题;水,太古老、太新潮的课题;水,牵动着太多人的神经,决定着太多人的未来。

当今世界,开口喊渴的人越来越多了,张口要水的人也越来越多了。大到国际组织、各国政府首脑,小到许多城市管理者、各级政府官员,再到缺水地区或城市的每个居民,几乎每个人都在喊渴、都在要水。人类要生存,社会要发展,都需要水;水是生命的要素,水是繁衍的基础,水是发展的条件,水是幸福的标志。总之,缺少清洁的水已经成为当今世界最重要的大事!

然而,现实不容乐观。首先是水量不足,它表现在当前人类的用水条件和需求前提下的不足。有的是自然性不足,如沙漠地区;有的则是开发性不足,由于人类的过度需求而显现的不足,表现在开发过度和需求增加两个方面。第二是水质的恶化,即水质量的下降,使得许多水不仅不能够为人类所利用,反而成为了水环境的污染源。水质恶化很大一部分是由于人类对环境的污染造成的,另有一小部分则是由于人类对水的过度开发引起的自然因素导致的水质量的退化,也可叫做人为引起的自然因素退化造成的水污染。缺乏足量清洁的水供给是当今世界的重大问题,如何满足人类足量清洁的水供给,已经成为人类当前和今后所面临的主要的和重要的课题之一。水是城市的灵魂,水是农业的命脉,水是工业的血液,水向人类敲响了警钟。

考察当前世界面临的种种水问题后会容易地发现,导致水问题的主要原因不是来于自然界,而是人类自身! 人类为了满足自己的奢侈,大量地利用着水,近似不加节制地挥霍着水;人类的自

私造就了只顾个人贪图享乐而不惜遭殃他人,把污水、脏水任意地排放,同时丢弃垃圾和废物,不断地污染着水;自然界的统一性和社会的联系性,使得人们在祸害自然界的时候,也不断地在残害着自己。自然的法则就是这样在无情地捉弄着人类,更多的是在警示着人类:人类不是自然的统治者,而是自然的朋友,必须与之友好相处,方能求得安宁,长期生存;否则,人类只会自取灭亡。水质量的恶化和不加节制地对水的利用,已使得大自然毫不留情地开始惩罚人类,因此我们必须学会适应大自然要求的用水方式,即只有按照自然规律从事一切水事活动,才能够避免自然的惩罚。为此,我们必须了解水科学的基本知识。

纵观当前的水问题,概括起来有三大根源:一是人口膨胀。人的衣食住行及生活的各个方面,无一不需要水的支撑、无一不需要水的消耗。人的身体 65% 是水,日常除了饮水以外,种植粮食、蔬菜需要水,穿衣的原材料需要水,……就连生产电能和钢材也离不开水,因此把人说是水的产品都不过分。增加一个人,就增加一份水的消耗。日常的用水量大增,使人对水的需求量急剧增加。据统计,1830 年世界总人口为 10 亿左右,2000 年底达到了 60 亿左右,170 年间增加了 5 倍! 水是自然界的产物,自然界的生产力毕竟是有限的,它不可能无限制地满足不加限制地人口增长所提出的无限要求。因此,人类有计划地人口发展是根本出路,我国把计划生育作为基本国策,并在人口数量的控制方面取得了显著的、举世瞩目的成效,为世界做出了贡献。二是水浪费严重。多少年来,水作为自然界的重要元素,长期被认为是取之不尽、用之不竭的自然产物,所以传统中大多是如何开发利用水,而很少说如何节约用水。然而,与其他自然界的产物一样,水是有限的,用水是需要节约的,一些发达国家为了满足用水要求,在不断地通过各种手段节约用水,如提高水的重复利用率等。但是发展中国家由于经济落后,节约用水的路才刚刚起步,今后的路还很长。我国就是这

样一个用水十分浪费的发展中国家, 目前我国的每吨钢产品耗水量为 $70\text{ m}^3 \sim 100\text{ m}^3$, 而法国、美国和日本仅为 3.75 m^3 、 4 m^3 和 2.1 m^3 。我国的农业用水也很浪费, 更不用说城市里关不住的水龙头了! 第三是水污染严重。这主要是由于环境的污染造成的。

总之, 水问题归根结底主要是人的问题, 即水问题已不仅仅是单纯的科学问题, 它已是一个社会问题。如要解决水问题, 保障人类拥有充足而洁净的水源, 就要先约束人的用水行为; 要约束人的用水行为, 就必须改造人的用水思想和用水观念。必须进行水的科学知识的传播和教育。通过宣传教育, 让每个人认识水、了解水, 认识了解水的基本性质、水在自然界的分布、水与人类的关系、水的循环运动规律以及水问题的根源及其解决的基本途径和方法措施等, 从而使每个人在认识到水的珍贵性的基础上, 能够自觉地爱护水、保护水、节约水, 合理有效地利用水。本书的目的即在于此。

目前有关水科学的书籍, 要么是专业性太强, 要么是只介绍有关的部分内容, 对于一个非专业人员, 要想达到较全面地认识了解水科学的基本内容是困难的。本书试图以简单、易懂的形式较全面地向读者介绍水的属性、自然界的水分布及水运动, 人类的水行为对水在自然界中运动的影响以及由此产生的水问题及其目前技术条件下的解决途径, 等等。

需要指出的是, 在介绍水在自然界的分布和运动时, 谈到的是所有的水; 但是人们往往需要更多的是陆地上的淡水, 所以本书谈到缺水、水污染和水资源等内容时, 其研究主体主要是对清洁淡水而言的。这样做尽管在讨论主题概念上产生了变化, 但由于讨论的具体内容有明显差异, 而且自然界中各种类型的水都在不断地运动变化和相互影响着, 不同类型的水的用途不同, 清洁淡水与人类的生活密切相关, 所以在阅读本书时对水概念的理解不存在逻辑问题。

由于水在自然界的广泛性和水与人类的密切关系,使得水科学古老而严谨,内容浩瀚而繁杂。加之作者水平所限,书中内容会寸在这样那样的问题,本人把编写此书权当抛砖引玉,期待有识之士的精品之作。书中经典内容许多是直接引用的,在引用处未能精确标注,只在书后列出参考书目,敬请谅解,谨此致谢。

作者

2003 年 10 月

目 次

第一章 水在宇宙	(1)
第一节 宇宙中的水	(1)
第二节 太阳系里的水	(2)
第二章 水的性质	(10)
第一节 水的结构和构成	(11)
第二节 水的物理性质	(16)
第三节 水的化学性质	(24)
第四节 水的动力学性质	(30)
第五节 水的自净作用与环境容量的概念	(35)
第三章 生命·人类与水	(39)
第一节 生命与水	(39)
第二节 人类与水	(43)
第四章 地球上的水分布及其循环	(68)
第一节 地球及其圈层构造	(68)
第二节 地球上水的分布及其起源	(79)
第三节 地球上的水循环	(82)
第四节 自然界水的成分	(85)
第五节 自然界水的分类	(100)
第五章 水文学基础	(105)
第一节 概述	(105)
第二节 大气水文学概述	(108)
第三节 地表水文学概述	(120)
第四节 海洋水文学基础	(155)

第五节	水文地质学基础	(181)
第六章	水环境与水资源	(212)
第一节	水环境及其意义	(212)
第二节	水资源及其意义	(216)
第三节	水资源评价	(225)
第四节	水环境评价	(249)
第七章	水事活动	(255)
第一节	水利用与水开发	(255)
第二节	水排放	(265)
第三节	主要水问题	(268)
第四节	主要水策略	(274)
第五节	主要水课题	(286)
第六节	水管理	(290)
第八章	水科学未来主要问题	(292)
第一节	人水关系研究将放在重要议事日程上	(292)
第二节	水资源承载力问题	(293)
第三节	研究第四纪气候演变规律 预测今后 气候发展方向	(294)
第四节	节水技术	(295)
第五节	污水废水处理再利用及处理技术	(296)
第六节	建立新型水管理模式	(297)
第七节	重视生态用水	(298)
第八节	大气水文学是未来发展的重点	(298)
第九节	海水开发利用	(299)
第十节	水质量与人类健康的关系	(299)
第十一节	环境变化下的水循环	(300)
第十二节	宇宙水文学的研究是未来人类向宇宙 挑战的前沿性课题	(300)

第十三节 水的特性的进一步认识.....	(301)
附 录.....	(302)
参考文献.....	(311)
后 记.....	(313)

第一章 水在宇宙

地球因为有水而美丽,生命从而诞生、繁衍、发展,直至人类出现。那么地球以外有没有水呢?这是任何一个非地球中心论者都会自然而然地要问的问题。我们知道,地球仅仅是太阳系里的一颗行星,与其他八颗行星一样绕着太阳旋转。地球在太阳系里好像并没有特殊地位,在由太阳逐渐向外延伸的太阳系空间,它只是排在普通的第三位。个头不是最大也不是最小,居于中间的位置。它有一颗卫星——月球,也叫月亮。行星中木星最大,其质量是地球的 317.8 倍,其直径是地球的 11.23 倍,它的卫星最多,有 16 颗。但是地球孕育了人类,就是因为地球上温度适宜,并存在着水,水是生命之源。在我们人类认识的宇宙中除了地球上的水还有水存在吗?如果存在,又是以什么样的形式存在的呢?有多少呢?

第一节 宇宙中的水

宇宙是人类认识的时空,是物质的世界,是广漠空间和其中存在的各种天体及弥漫物质的总称。它处于不断的运动和发展中,在空间上无边无界、时间上无始无终。宇宙是多样而又统一的,它的多样性在于物质的表现形态,它的统一性在于其物质性。

人类对宇宙的认识经历了漫长而曲折的过程。随着人类科技的进步和观测手段的不断改进,对周围世界的了解越来越广、越来越多。首先人类在认识地球的基础上认识了月亮,即地月系统;然后从太阳系到银河系,再由银河系扩展到河外星系、星系团直至总星系。人们已经能够接收到距离我们上百亿光年的类星体的信

息,所以人类认识的宇宙是非常广大的。在人类认识的如此广漠的宇宙中,除了恒星体以外,星际空间弥漫着极其稀薄的物质叫做星际物质,包括星际气体、星际尘埃和各种各样的星际云等。其中星际气体包括气态原子、分子、电子和离子、经过测定,证实其各元素的丰度与由太阳、恒星和陨石得出的宇宙丰度相似,H最多,He次之,其他元素很低。研究还发现,大部分星际分子是有机分子,即S、C、N的氢化物和氧化物,有的还是比较复杂的有机物,如次硝酸、各种醇、酸、醛等,其中还有很大一部分是水分子!这就说明,在远离地球乃至太阳系的极其广漠的宇宙中,存在着地球上为之骄傲的水!甚至在落到地球上的陨石空隙中存在着原生的水,称之为宇宙水。可见,水是无所不在的。

第二节 太阳系里的水

太阳系以外的宇宙物质,距离我们实在是太过遥远,这么遥远的地方存在水,与我们的生活和生存关系并不是很大。我们更加关心的是地球乃至太阳系内的环境状况和物质分布,尤其关心的是在我们身边的水的情况是怎样的。迄今人类可以直接到达的地球以外天体,最远的也莫过于木星,但是通过其他途径可以判读来自更远天体的信息。下面将把人类迄今所认识的太阳系内除地球以外的天体上的水的存在及分布情况做一简要的总结,同时通过介绍,也能够对这些天体的其他属性有概略的了解。

一、行星上的水

(一)水星(Mercury)

水星是距离太阳最近的一颗行星。它没有卫星,它的直径比地球小40%。其表面很像月球,到处是大大小小的陨石坑,最大的是有100 km以上的陨石撞击形成的、直径约1 500 km大小的Caloris盆地。尘埃覆盖着起伏的山峦,断层悬崖高几千米、绵延数

百千米。水星自转很慢,自转一圈需要58.646 2个地球日。它绕太阳的公转周期为 87.969 个地球日。它的表面温度介于 -173°C 和 427°C 之间。水星的大气少得可怜,它的主要成分为 He (42%) 和 O(15%),似乎不可能存在水,但是在其北极存在一个不同寻常的亮点,据认为是由于其表面或浅部的冰造成的。因为那儿太阳始终在地平线上徘徊,其陨石坑内可能永远见不到阳光,温度可在 -161°C 以下,所以可能存在冰,这是水星上水的存在形式。

(二)金星(Venus)

金星是第二颗靠近太阳的行星,它的大小、质量、密度都和地球非常相似。但是它是太阳系惟一的逆向自转的行星,其自转周期为 243 地球日,比其绕太阳公转周期 224.7 地球日还要长。金星上的大气层特别厚,其表面大气压力相当于地球海平面气压的 92 倍,大气成分以 CO_2 为主,占到 98%,其他成分有 N、Ar、CO、HCl、HF 等,还有水蒸气。由于大密度大气层的存在,使其表面温度达到 $465\sim 485^{\circ}\text{C}$ 。金星的地形较为平坦,以火山岩分布的平原为主,占其总面积的 85%;表面大部分覆盖着一层厚不足 1m、密度为 $1.2\text{ g/cm}^3\sim 1.9\text{ g/cm}^3$ 的物质,其下主要为平均密度 $2.2\text{ g/cm}^3\sim 2.7\text{ g/cm}^3$ 的玄武岩;有 10 万座以上的小型火山口点缀在金星表面;还有一条南北向穿过赤道的延绵 1 200 km 的大裂谷。依所掌握的情况看,尽管金星表面或浅层没有水,但是金星内部即壳层以下应该和地球内部一样含有水,在火山喷发等活动发生时,会逸到表面来。

(三)火星(Mars)

火星与金星一样是地球的近邻,按照离太阳由近及远的次序它是太阳系中的第四颗行星。其自转周期 24 小时 37 分 22.6 秒,公转周期为 686.98 地球日。它有 2 颗非常小的卫星,长轴分别为 15 km 和 25 km。火星上的岩石、砂土和天空是红色或粉红色的,这颗行星又常被称作“红色的星球”。由于火星所处的太阳系中的

特殊位置,成为人类向外层空间发展的跳板或中转站,火星探测具有战略意义,因此人类对火星的探测计划不断地在实施,对火星的认识在太阳系行星中是最多的和最直接的。

火星比地球小,赤道半径3 395 km,是地球的 53%,体积为地球的 15%,质量为地球的 10.8%,表面重力加速度为地球的 38%。火星表面地形南北差异很大:南半球是类似月球的布满陨石坑的古老高原,而北半球大多由年轻的火山熔岩平原组成。火星上高 24 千米的“奥林匹斯”山可称为是太阳系中最高的山脉。在赤道附近发育巨大的峡谷,最大的延伸5 000多千米,宽达 75 km,谷内比周围低6 km,发育类似于地球上的陷落和山崩活动迹象。

火星的大气非常稀薄,大气压只有地球的 0.7%,主要成分是 CO_2 ,其次有 N、Ar、O 等。火星大气中水的比重只有 0.03%,因而火星表面异常干燥。平均气温 -55°C ,在夏季的白天气温最高为 20°C ,冬季气温在 -100°C 以下。温差作用使火星上经常有强风,因而常导致大范围的尘暴。

火星上是否存在生命迄今没有定论,但是存在水是定论。火星上许多地区有被水侵蚀的迹象,说明曾经有过液态的水,而且水还很多,它们聚集成大大小小的湖泊,甚至海洋,纵横交错的河床可以证明这一切。但是目前火星表面已经没有了液态水,对这个问题很难理解。最近美国“奥德赛号”火星探测器在火星南半球(南纬 60° 处)发现了大型水冰层,预测在其北半球也应该存在类似的水冰层,甚至可以推算,如果这些水冰层融化的话,可以形成火星表面 500m 水深的水层。长期以来,火星极冠的大小具有随季节变化而变化的现象一直指示出火星可能存在着水冰。有水且温度适宜(尤其是夏天),火星必将成为未来人类的“新大陆”。如果果真有水的话,至少在 30~50 年内,火星将成为人类太空旅游的目的地。

(四)木星(Jupiter)

木星是太阳系里的第五颗行星,也是太阳系里最大的行星,其赤道直径为142 800 km,质量为 $1.9 \text{ kg} \times 10^{27} \text{ kg}$ 。它的密度较小,似乎是个大气体球;大气层非常厚,主要成分为H和He,以及少量的甲烷、氨,还有水汽和其他化合物。木星为流体表面,具有平行于赤道的亮暗条纹,其低纬度区比高纬度区自转速度小,赤道处自转周期为9小时50.5分。木星的公转周期为11.86地球年。木星具有类似于地球上的极光。木星有卫星,迄今已经发现它有16颗卫星。与土星一样它也有环,但是比较昏暗,在地球上不容易看到。木星有放电和热辐射现象,表面是否有水尚不清楚。

(五)土星(Saturn)

离太阳再远一点的行星就是土星,它是太阳系里第二大行星,也是惟一的密度比水密度小的行星。其公转周期29.46地球年。与木星一样,其表面自转周期不同,赤道处为10小时14分,而中纬度地带为10小时38分。土星也具有放电和热辐射现象,南北两极有极光。土星有10颗卫星,其中一颗“土卫6”是太阳系里最大的卫星,其直径为5 000 km,比水星和冥王星都大。土星大气主要成分是H,另外有少量的氢和甲烷。土星最大的标志就是它的美丽的光环,由小的天体物质组成的,据观测其部分为冰。最近,美国亚利桑那大学行星学家成功通过被橙黄色大气所覆盖的不大的“红外线窗口”,看到“土卫6”的表面存在大范围水冰。

(六)天王星(Uranus)和海王星(Neptune)

天王星和海王星是距离太阳更远的巨行星,其直径分别为51 800 km和49 500 km,公转周期分别是84.01地球年和165地球年。它们都有光环,表面都有条状色带。天王星大气成分为H、He、甲烷等,据推测也应该有水,即在氢分子层以内为冰幔。海王星内部是熔岩、水、液氨和甲烷的混合物,外面的一层是H、He、水和甲烷组成的气体的混合物。

(七)冥王星(Pluto)

太阳系最外面的一颗行星,1930 年才发现它。观察显示,冥王星的表面覆盖着固体的甲烷,具有一层薄薄的大气。冥王星有一颗卫星,而且是太阳系里惟一的同步卫星,即其绕冥王星转动周期与冥王星的自转周期相同。由于地球与冥王星的距离太遥远,它的体积又小,迄今还没有确定其准确的直径,其上有没有水还不是很清楚。

下面是有关太阳系九大大行星的一些有关数据(表 1-1)。

表 1-1 九大行星的有关数据表

行 星	与太阳的 平均距离	公转 周期	自转 周期	直 径	质 量	密度 (g/cm ³)	水的分布情况
水 星	0.39	87.969d	58.646d	0.383	0.0554	5.46	北极可能存在水冰
金 星	0.72	224.701d	243d	0.949	0.815	5.26	内部及大气中含水
地 球	1.00	365.256d	23h56min4s.1	1.000	1.00	5.518	水的行星
火 星	1.52	686.980d	24h37min22s.6	0.532	0.1075	3.96	发现有水冰层
木 星	5.20	11.86a	9h50min.5	11.20	317.94	1.33	大气层中有水
土 星	9.56	29.56a	10h14min	9.41	95.18	0.704	光环物质部分为冰
天王星	19.2	83.95a	10h49min±?	4.06	14.63	1.24	内部有水和氨的冰幔
海王星	30.1	163.90a	15h40min±?	3.88	17.22	1.66	内部及大气均有水
冥王星	39.4	249a	6d9h17min	0.212	0.002	1.5	不清楚

注:①与太阳平均距离、直径和质量均以地球的为单位,地球与太阳平均距离称作天文单位②
周期单位为地球日(d)或地球年(a)或时(h)和分钟(min)

可以看出,在太阳系各行星上都或多或少地含有水,尤其是在火星上发现了水冰层,极大地鼓舞了人类进一步探索宇宙的兴趣和热情。如果证实火星上的水可以供人类饮用的话,可以设想人类向宇宙进发的进程将大大加快。因为在太阳系空间,大自然给人类设立了一个太空“加水站”。

二、小行星·彗星·流星·陨石与水

小行星是指那些围绕太阳运转但体积太小而又不能称之为行

星的天体。最大的小行星直径只有1 000 km左右(如小行星Ceres),微型小行星则只有鹅卵石一般大小。人们最早发现的4个小行星分别是谷神星、智神星、婚神星和灶神星,它们的大小(直径)分别为770 km、490 km、195 km和390 km。目前所知的直径超过240 km的小行星约有1个。由于体积小,大多数小行星不是球形,而是不规则形状。小行星公转运行轨道不一,绝大多数都集中在火星与木星轨道之间的小行星带,有些小行星的轨道近日点在地球轨道内。有些小行星具有自己的卫星,如智神星。小行星的密度较小,谷神星、智神星和灶神星的密度分别是 1.6 g/cm^3 、 2.4 g/cm^3 和 2.5 g/cm^3 ,比地球的平均密度(5.2 g/cm^3)和地表岩石密度(2.8 g/cm^3)都小。小行星表面粗糙,具有含水矿物或冰。

彗星是肉眼不常见的云雾状小天体,它们沿着偏心率很大的椭圆、甚至双曲线轨道绕太阳公转,当它们走近太阳的时候,后面总拖着一个明亮的长长的尾巴,人们也形象地叫它们“扫帚星”。彗星的运动在行星的摄动下可以加快或减慢,从而使其运行轨道改变。彗星由彗头和彗尾组成,彗头密集发亮的核心叫“彗核”,其周围的雾状包层称为“彗发”。由于组成彗星的物质一半以上是冰,所以它们也常被称作“脏雪团”或“脏雪球”。根据观测,彗星的主要成分为C、H、O、N等物质,其中有水、氨和有机分子。

小行星和彗星与大的行星体接近时,会在强大的引力作用下被俘获或撕裂。进入地球大气层的小行星或彗星固体物质在地球表面以上145 km~110 km高空与大气发生明显摩擦而燃烧发光,这种燃烧发光的星体称为陨星,所产生的光显现呈一条亮线叫流星,对该发光体而言就称为流星体。彗星瓦解可以形成流星群,天空中会出现“流星雨”现象。如果流星体没有被完全烧毁而坠落到地面,就是陨石。

根据物质组成可将陨星分为铁陨石(陨铁)、石铁陨石(陨铁石)和石陨石(陨石)三类。陨铁占陨石总数的6%,其主要成分为