

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绵延 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也会逸到表面来。

(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 1.9×10^{27} kg。它的密度较小,似乎是个大气球,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 and 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

铁镍合金,含铁 90% 左右,平均密度为 $7.5 \text{ g/cm}^3 \sim 8.0 \text{ g/cm}^3$; 陨铁石占 2%, 其成分为铁镍和硅酸盐各占一半, 平均密度为 $5.5 \text{ g/cm}^3 \sim 6.0 \text{ g/cm}^3$; 陨石最多, 占总数的 92%, 成分主要是硅酸盐, 密度为 $3 \text{ g/cm}^3 \sim 3.5 \text{ g/cm}^3$ 。陨石的空隙中有时含有原生的水, 通常称之为宇宙水。

还有一种天外来物为陨冰, 它是直接的天外来水。1981 年 4 月 11 日 12 时多, 无锡东门羊皮巷口坠落一块巨冰, 大小有 60 cm, 乳白色, 味涩。经地质矿产部测定, 含有 Ca、Mg、K、Na、Si、Ni、P、Se 等元素, 被确认是一块陨冰。在地球上, 陨冰比陨石更稀罕, 因为不光是夜间降落的陨冰绝大多数会被“埋没终身”, 就是白天“下凡”, 如不及时发现和妥善保存, 也难免会很快化做一洼污水而无从辨认。因而现已正式确凿证明的陨冰并不多。最早确认的陨冰是 1955 年落于美国的“卡什顿陨冰”第二块是于 1963 年降于莫斯科地区某集体农庄, 重达 5 kg。进入 21 世纪后, 对于陨冰的报道不断增加。但是目前对它们的来源仍然存在争议, 有人认为是地球大气层顶部的产物。

三、奥特星云 (Oort Cloud) 和开普带 (Kuiper Belt)

1950 年, 科学家简·奥特经过精密计算发现, 在冥王星轨道后约 30 000 天文单位至 1 光年处, 可能存在着一个巨大的球形星云 (奥特星云), 存在着一万亿颗围绕太阳运行的彗星。它可能是许多长周期彗星的源头。

奥特星云可能占据了太阳系相当一部分的质量, 也许和木星一样多, 甚至会超过木星 (这仅仅是推测而已, 我们至今还不知道那里究竟有多少彗星, 也不知道它们有多大)。

所谓开普带, 是指跨越海王星轨道的、距太阳大约 30 至 100 天文单位的一个圆形区域。现在它被认为是许多短周期彗星的源头, 在这个地带里有大量的小型冰雪天体。

四、月球表面没有水

月球，俗称月亮，是地球的卫星，是距离我们最近的固定的天体。月球和太阳一样，是人类认识最早、对地球以及生活在地球上的人类影响最大的天体，我们常用日月来描述生活和时间流逝等等，月球靠反射太阳的阳光把光明送给人类。月球又叫太阴，是与太阳相对应的意思。月球不仅在夜晚才出现，在白天它也能出现，只是通常由于太阳光强度太大，掩盖了它的存在。它的自转周期与绕地球的公转周期相同，所以它总以一面对着地球。只到发射了人类太空飞行物之后，才看到了它的另一面。

月球是我们人类了解最多的地球外天体。它并不是正球体，平均半径 $1\,738.2\text{ km}$ ，是地球平均半径的 27.252% 。向地球、沿轨道和向极方向的半径分别是 a 、 b 、 c 的话， $a - c = 1.09\text{ km}$ ， $a - b = 0.31\text{ km}$ ， $b - c = 0.78\text{ km}$ 。月球体积约为地球的 $1/49$ ，质量为地球的 $1/81.301$ ，密度为 3.341 g/cm^3 ，是地球的 60.5% ，月面重力加速度为 1.622 m/s^2 ，约为地球的 $1/6$ 。月球的运动很复杂，所以其与地球的距离也在不断地变化，在 $356\,400\text{ km} \sim 406\,700\text{ km}$ 之间。

月球的表面凸凹不平，有月陆、月海、月山和月谷之分，尤以环形构造突出，而且具有月面环形构造的数目与其直径大小成反比的特点。由于月球质量轻，气体的脱离速度只有 2.4 km/s ，而在太阳加热下使气体热运动很容易达到这样的速度，所以月面大气非常稀薄，其密度只相当于地球海平面大气密度的一万亿分之一。它的 1 昼夜相当于 1 个朔望月即 29.53 日，月面温度昼夜温差很大，最高温度可达 $130 \sim 140^\circ\text{C}$ ，最低温度可降至 -173°C 。因此总的来说，月面上没有大气和水。根据月震结果，可以将月球内部划分为核、幔、壳结构，月亮由 $0 \sim 65\text{ km}$ ，月幔由 $65\text{ km} \sim 1\,000\text{ km}$ ，在 $1\,000\text{ km}$ 以内为月核。月亮、月幔为刚性岩石圈，月核为软流圈。从月球物质组成来看，具有与地球相似的性质，如果按照地球上水的来源为地球自身的观点，那么月球的内部也应该有水的存在。

第二章 水的性质

人类生来就知道水、很早就利用水、时刻离不开水。古代哲学家们认为,水是万物之源,万物皆复归于水,所以一直把水、火、气、土当作四个基本元素,由它们构成世界上一切物体。我国古代的“阴阳五行”学说中则把水说成是组成世界的五个基本元素之一。

《水经注》里有‘天下之多者水也,高下无不至,万物而不润’的论断。但是多少年来人们都没能够回答这样的问题:水是由什么组成的呢?它具有哪些更多的性质呢?直到 1784 年英国科学家卡文迪许用实验才证明水不是元素,是由两种气体化合而成的产物。

1809 年,法国化学家盖吕萨克测定,1 体积氧(O)和 2 体积氢(H)化合,生成 1 体积水蒸气。再后来的科学家才确定出了水的分子式 H_2O 。而后又知道纯净的水是无色、无味、无臭、透明的,而自然界中的水都含有溶解物质,所以应该称其为水溶液。

正因为人们的日常生活离不开水,所以水是人们最熟悉的物质。众所周知,在不同的条件下,水具有三种形态 固态、液态和气态。在常温常压下水是无色、无味、透明的液体。物质由液态向固态转化的临界温度称为凝固点,水的凝固点也叫做水的冰点。在 1 个大气压下,水的冰点为 273.15K (0°C) 物质由液态向气态转化的临界点的温度称为沸点,在 1 个大气压下,水的沸点为 373.15K (100°C)。水还具有许多特殊的性质(表 2-1),然而大多数人对水的这些或其他一些性质并不一定很了解、很清楚,尤其是它们在不同环境下的变化。本章的内容就是试图将有关水的基本性质作一总结,让读者更多地了解水。了解了水的基本性质,才有利于对水科学的其他基本知识和基本理论的理解,从而实现学习

和宣传水科学知识的目的。

表 2-1 水的一些特殊性质及其意义

性 质	特 点	意 义
状 态	一般为液态	提供生命介质、流动性
热 容	非常大	良好的传热介质，调节环境和有机体的温度
熔 解 热	非常大	使水处于稳定的液态，调节水温
蒸 发 热	非常大	对水蒸气的大气物理性质有意义，调节水温
密 度	4°C时最大	水体冰冻始于表面，控制水体中温度分布，保护水生生物
表面张力	非常大	生理学控制因素，控制液滴等表面现象
介电常数	非常大	高度溶解离子性物质并使其电离
水 合	非常广泛	对污染物是良好溶剂和载带体，改变溶质生物化学性质
离 解	非常少	提供中性介质
透 明 度	大	透过可见光和长波段紫外线，在水体深处可发生光合作用

第一节 水的结构和构成

一、水的构成

水是含有两个氢原子和一个氧原子的分子化合物。氢有三种天然存在的同位素(^1H , $^2\text{H}(\text{D})$, $^3\text{H}(\text{T})$), 氧有六种同位素(^{14}O , ^{15}O , ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O , ^{19}O)。它们的存在比和半衰期见表 2-2。其中, ^3H 主要由宇宙射线和氦原子在高空碰撞生成的, 在地球上的浓度则随条件的不同而迥然不同。此外, 由于 ^{14}O , ^{15}O 和 ^{19}O 的半衰期都很短, 所以它们在地球上几乎不存在。天然存在的水是含有这些同位素的混合物, 其各种分子的浓度示于表 2-3 中。由表中可以看出, 天然存在的水绝大部分都是 $^1\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$ 。

表 2-2 氢氧的同位素

元 素	同 位 素	存 在 比	半衰期
氢	轻氢 (Protium) ¹ H(H)	99.98 %	
	重氢 (Deuterium) ² H(D)(俗称氘)	0.0157 %	
	超重氢 (Tritium) ³ H(T)(俗称氚)	$\sim 10^{-18}$ (T/H)	12.5 年
氧	¹⁴ O		
	¹⁵ O		
	¹⁶ O	99.759 %	
	¹⁷ O	0.0374 %	
	¹⁸ O	0.1994 %	
	¹⁹ O		

表 2-3 水的主要分子形式

分子种类	H ₂ ¹⁶ O	H ₂ ¹⁸ O	H ₂ ¹⁷ O	H D ¹⁶ O
存在比 (%)	99.73	0.20	0.037	0.03

二、水的分子结构

(一)分子结构

水分子中的氧原子受到四个电子对包围，其中两电子对与两个氢原子共享，形成两个共价键；另外两对是氧原子本身所持有的孤对电子。四个电子对之间由于带负电而互相排斥，使它们有呈四面体结构的倾向，但因孤对电子占据的空间较少，与共享电子相比具有更大的斥力，因此使 H-O-H 键角由 109.5°（几何正四面体）缩减到 104.5°。图 2-1(a) 展示了水分子中四个电子对所形成的电子云形状。

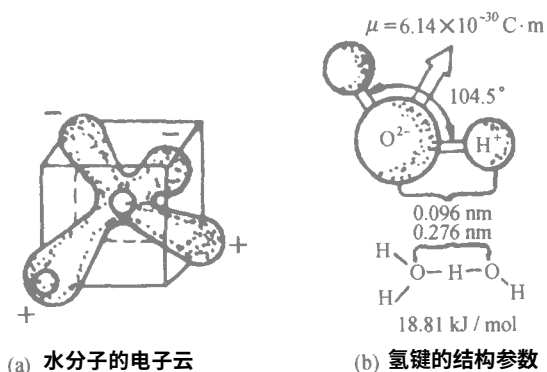


图 2-1 水分子结构特点

(二)水分子缔合

氧原子比氢原子的电负性大，水分子中的两个共享电子对趋向于氧而偏离氢，使水分子成为具有很大偶极矩的极性分子。这样，水分子就能通过正、负静电引力与附近的四个水分子以氢键相联系。分子间氢键力的大小为 18.81 kJ/mol ，相当于 $\text{O}-\text{H}$ 共价键的 $1/20$ 左右。图 2-1(b)显示了水分子中氢键的一些结构参数。氢键使水分子发生缔合，缔合的水减弱了水分子的极性，传递离子的能力也降低，故长期静置的水缔合程度大；‘活性’严重丧失而成为‘死水’。在加热、磁场等作用下，水分子间的氢键将被不同程度地破坏，从而降低了缔合度而活化。因此，物质一般在热水中溶解度大；热水洗涤效果好等，都与水的缔合度降低有关。水的相态转化即是靠了这种氢键力的作用。冰和液态水的结构模型如图 2-2 所示。

三、水的相态

自然界中水有三种相态即液态、气态和固态，图 2-3 为水的三相图(图中坐标点只具有示意性,以数据为准)。

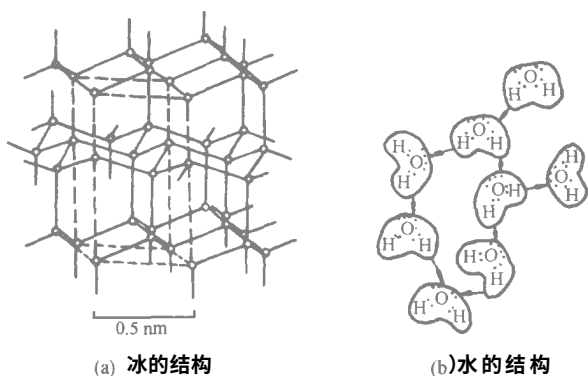


图 2-2 冰与液态水的结构模型

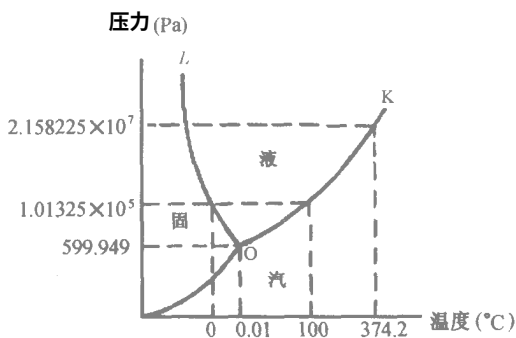


图 2-3 水的三相图

(一) 液态水

液态的水通常不是以单个水分子的形式存在，而是通过氢键产生缔合分子。即



水的缔合是放热过程，水的离解则是吸热过程。所以温度升高，水的缔合程度下降，即 $(\text{H}_2\text{O})_x$ 的 x 值减小，温度降低，水的缔

合度增大,即(H_2O) $_x$ 的 x 值增大。在高温时,水主要以单分子状态存在,水变为水汽;在低温时(273.15K 以下)水结成冰,全部水分子缔合成一个巨大缔合分子。冰融化成水或水变为水汽,都首先需要外界环境供给能量来破坏这些氢键。这就是为什么固态水(冰)融化成液态水或液态水转变为气态水(水汽)时需要吸收外界的热量的缘故。当然,水在反向转化时会释放出同样的热量。

在避免震荡的条件下,将水冷却,则液态水可以在常压下而不冻结,称这种现象叫做水的过冷现象;但是稍有扰动水即会冻结。同样在避免震荡的条件下,若将水内的气体排出,则液态水在常压下均匀加热时温度可以达到 100℃以上,而且不沸腾,称这种现象为水的过热现象;但是稍有扰动,液态水就会立即沸腾。

(二)气态水

气态水绝大多数以单分子形态存在,所以其在常温常压下密度很小,相当于同温同压下液态水密度的 1/1 600左右。一般,随着压力的增加,水的汽液两态转化的温度逐渐升高,即压力增加,水汽化的温度也随之增加;然而,当水汽的温度达到 374.2℃时,无论压力有多大,都不会使气态水转化为液态水,该温度称作水的临界温度。所以气态水的密度在温度很高、压力足够大时会大于常温常压下的液态水的密度。

(三)固态水

固态水(冰)中的每一个水分子都被相邻的四个水分子包围,每个水分子位于变形四面体的顶点,冰是由无数个这样的四面体通过氢键互相连结成一个庞大的晶体的。由于氢键的方向性要求,水分子不能做到紧密堆积,所以冰的晶体具有较大的空隙,即水结成冰后,体积增大,密度会比液态水减小,所以冰可以浮在水面之上。但是当压力达到 $2.0265 \times 10^8 \text{ Pa}$ 个大气压时,它的密度又会变得比水大,在水中下沉到水底。

水的冰点(冻结温度)和沸点会随着压力的变化而变化。当压

力大于 599.949 Pa 时, 水的冰点降低, 但是沸点升高。大约压力每升高 $1.317\,225 \times 10^7 \text{ Pa}$, 水的冰点就会降低 1°C 。这种性质使水呈现液态的范围变大, 使大洋深处的水不会冻结, 同时使高压下的液态水不容易被蒸发。

第二节 水的物理性质

一、水的密度和重度

物质单位体积的质量称作密度, 而单位体积的重量称作重度。对一般物质来说, 密度都随温度的增加而降低。因为温度越高, 分子间的距离就越大。但水的密度与温度的关系是反常的: 在常压下 277.15K (相当 4°C) 时密度最大。大多数物质由液态凝固而变成固态时, 其密度会随之增高。但水却相反, 其结冰(冻结)时, 反而密度减小。在正常大气压下, 水结冰时, 体积会突然增大 11% 左右; 与此相对应, 冰融化时体积又会突然变小。在 1 个标准大气压条件下, 纯净的水的密度和重度随温度变化情况见表 2-4。应该注意的是, 同样在常压下, 冰在 0°C 时的密度为 916.7 kg/m^3 。

表 2-4 标准大气压下不同温度时液态水的密度和重度

温度($^\circ\text{C}$)	0	4	10	20	30
密度(kg/m^3)	999.87	1 000.00	999.73	998.23	995.67
重度(N/m^3)	9 798.73	9 800.00	9 797.35	9 782.65	9 757.57
温度($^\circ\text{C}$)	40	50	60	80	100
密度(kg/m^3)	992.24	988.07	983.24	971.83	958.38
重度(N/m^3)	9 723.95	9 683.09	9 635.75	9 523.94	9 392.12

当冰开始融化成水时, 冰的氢键结构中的氢键断裂, 晶体结构崩溃, 体积缩小而密度增大。如果有更多热能输入体系, 将引起:

①更多氢键破裂，结构进一步分崩离析，密度进一步增大；②体系温度继续升高，水分子动能增加、振动加剧，而每一分子占据更大体积空间，所以这一因素又使水密度趋于减小。这就是为什么水在 1 个大气压下 4°C （精确地说应该是 3.98°C 或 277.13K ）时密度为最大的原因。

根据实验观测，在封闭空间中温度降低时水由液体转化为固体的冻结过程，体积增加（膨胀）所产生的压力可达 2 500 个大气压力。该力为水冻结时的体积膨胀力。这一特性对自然界属性和工农业生产及人们的日常生活有十分重要的意义。岩石裂隙在反复融冻时裂隙逐渐增大就是这个道理；地埋输水塑料管为防冻坏，一般要求一定的埋深（大于冻土层深度）也是这个道理。水的密度在 4°C 为最大，温度升高和降低时其密度都减小，尤其是冰的密度低于水的密度的特征，对水生生物越冬生活具有特别重要意义。

二、水的热性质

（一）比热

定质量的物质，在不发生化学反应和相变的情况下，温度每升高 1°C 所吸收的热量称为该物质的热容量或热容。单位物质的热容称为比热容，简称比热。不同的物质增加相同的温度，比热越大的物质吸收的热量越多。水的比热在所有液体和固体物质中是最大的，为 $4.1868\text{ J}/(\text{K}\cdot\text{g})$ （或 $1\text{ cal}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ），而冰和水汽的比热约减为液态水的一半，即 $2.0934\text{ J}/(\text{K}\cdot\text{g})$ 。所以水被大量地用作工业冷却介质或加热介质。水的高比热是由于水能形成分子间氢键所引起的。因为温度的升高是由于分子运动加剧的结果，而若要使水分子运动加剧，不但要提供能量去克服分子间范德华力的束缚，还要提供额外的能力去克服分子间氢键的束缚。

（二）传热性

水的传热性很差。在常压下 20°C 时，液态水的热导率为 $0.006\text{ J}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})$ 冰的热导率 $0.0226\text{ J}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})$ 雪的热导