

第 1 章 绪 论

1.1 水与水体

1.1.1 水

水 (water) 是地球上最常见的物质之一, 是由氢 (H)、氧 (O) 两种元素构成的无机物 (H_2O), 纯净的水在常温常压下为无色无味的透明液体。水包括天然水 (河流、湖泊、大气水、海水、地下水等) 和人工制水 (通过化学反应使氢氧原子结合得到的水)。水在自然界不断经历着三种状态的循环变化, 同时以液态、固态和气态存在, 表现为云、雾、雨、露、霜、雪、冰、水蒸气等多种形式。水是地球上最常见和分布最广的物质之一, 是地表的主要组成物质和地球环境的核心自然要素之一, 扮演着溶剂、分散剂、催化剂、洗涤剂、导热剂、灭火剂、保护剂、鉴别剂、减速剂的角色。

水在自然界演化和人类文明发展史中, 始终发挥着不可估量的巨大作用。生命起源于水, 水是创造生命的完美环境、维系生命与健康的基本资源, 也是生物体最重要的组成部分, 成人体内 60% 的质量是水, 儿童体内水的比例更大, 可达近 80%。人体失水 10% 就威胁健康, 失水 20% 则有生命危险。人类很早就对水有了认识, 在东、西方朴素的古代物质观中, 水都被视为一种基本组成。在我国古代的道学哲学思想五行学说中, “水” 是日常生活的五种元素 (金、木、水、火、土) 之一, 它们共同构成宇宙万物和千变万化的自然现象; 在古代西方人的四元素理论中, “水” 是水、土、风、火四种基本元素中最为重要的一种。四元论由 “水” 元素发展而来, 更加反映出 “水” 对人们生活生产的不可或缺, 该学说构成西方社会文明和唯物世界观的基础观念之一。水作为资源、能源、生产资料和生活资料, 深刻影响着社会财富的创造和人类生活的质量。

地球虽然有 70.8% 的面积为水所覆盖, 总储水量是很丰富的, 共有 14.5 亿立方千米之多, 但淡水资源却极其有限。在全部水资源中, 接近 98% 是无法饮用的咸水; 在其余的 2.0% ~ 2.5% 淡水中, 绝大部分是人类难以企及和利用的高山冰川、两极冰盖和永冻地带的冰雪。与人类生活生产和经济活动最为密切的水库、淡水湖泊、池

塘、江河、浅层地下水等淡水资源，仅占地球总水量的 0.26%，而且分布极为不均。更加令人担忧的是，即使这数量极其有限的淡水，也正越来越多地遭受到多种多样的污染，承受着大量的各类工业、农业和生活废弃物。全球用水量在 20 世纪增加了约 6 倍，此增长速度是同期人口增长速度的两倍以上。目前，全世界每年约有 5 000 亿立方米以上的污水排入江河湖海和地下水，污染了近 6 万亿立方米的淡水资源储备，几乎相当于全球每年径流总量的 15%，而且这种趋势仍然在持续加剧、扩大和积累，人类正面临世界性的水危机。

在联合国教科文组织 2006 年 3 月 13 日发布的《世界水资源开发报告》（World Water Development Report, WWDR）中，明确指出了水资源利用的九大问题。

- ①水资源的管理体系、制度建设、基础设施配套等均有不足：管理不善、资源短缺、环境波动及投入不足使全球约有 20% 的人不能获得安全的饮用水，40% 的人缺少最基本的卫生条件，无法实现联合国千年发展目标（Millennium Development Goals, MDGs），即在 2015 年前将无法得到安全饮用水的人数减半。
- ②水质恶劣造成生活贫困和卫生状况不佳：每年约有 300 万人因不洁饮用水引发相关疾病而死亡，其中近 90% 是 0 ~ 5 岁的儿童。每年约有 160 万人的生命原本可通过提供安全的饮用水和卫生设施进行挽救。不断加剧的水污染也进一步蚕食着大量可供消费的水资源，并危害人类的健康。
- ③世界上大部分国家和地区的水质仍然处于下降趋势：生命赖以生存的水循环需要健康地开发、运行与维护环境，但各种观测和统计数据显示，淡水生态系统、群落及物种的多样性正在锐减，其衰退速度甚至超过海洋和陆地生态系统。
- ④约有 90% 的自然灾害直接或间接与水有关：许多自然灾害都是土地利用不当引发的恶果。日益严重的非洲旱灾就是一个典型的实例，当地的人们多年来大量砍伐森林用作木炭和燃料，造成水土流失、湖泊消失。有多条河流注入的乍得湖（Chad Lake）为非洲第四大湖、非洲中北部重要的内陆淡水湖，由于周围地区的过度开发，该湖湖水及湿地面积在短短 40 余年间已萎缩近 90%。水资源储量的骤减可能造成一系列恶劣的自然反应。
- ⑤农业用水供需矛盾日趋紧张：到 2030 年，全球的粮食需求量将提高 55%。这意味着需要提供更多的灌溉用水，而这部分用水已经占到全世界人口淡水消耗量的近 70%。
- ⑥城市用水短缺：2007 年全球已有 50% 人口居住在城镇。到 2030 年，城镇人口比例将接近 2/3，从而引起城市生活和生产用水量的急剧上升，或有多达 20 亿的人口只能居住在贫民窟和棚户区等简陋的临时房屋中，缺少清洁用水、卫生、能源、社区服务等基本公共设施。
- ⑦水力资源开发不足：全球发展中国家中的 20 多亿人无法获得可靠的能源，而水则是创造能源的重要资源之一。欧洲已经开发利用了 3/4 的水力资源。然而在非洲，约 60% 的人口还不能用上电，水力资源开发率极低。
- ⑧水资源浪费现象极为严重：世界许多地方因输运管道和沟渠泄漏或非法连接、盗用，多达 30% ~ 40% 甚至更多的宝贵水资源被白白浪费。
- ⑨用于水资源

的财政投入一直滞后：近年来用于水务方面的官方发展援助每年为 30 亿美元左右，另外世界银行（The World Bank）等金融组织每年提供约 15 亿美元的非减让性官方贷款（non-concessional official lending），但只有约 12% 的资金真正用在了最需要帮助的人身上，而用于制定水资源政策、方案及规划的资金仅占 10% 左右。此外，私营水务部门的投资金额呈现逐渐下降趋势，进一步增大了提高水资源利用率的难度。

一切人类活动、经济发展和社会进步都要极大地依赖水资源供应的质量和数量，但人们尚未从根本上认识到水资源开发、利用和保护在促进生产力、提高社会福祉中发挥的功能。随着人口密度和生活水准的快速增长，越来越多的国家和地区已经或者即将陷入缺水的困境，经济和社会发展遇到瓶颈。实现水资源的可持续性保护和科学管理，需要地方、全国、跨地域、国际的统一协调和共同努力。多年以来，联合国始终致力于缓解因需水量急剧上升而导致的全球性水资源危机，以更好地满足人们的生活、生产（农业、工业等）和商业用水。1977 年 3 月 14—25 日，联合国召开“水事会议”（The United Nations Water Conference），严正警告全人类：石油危机之后最有可能发生的下一次自然资源危机就是水危机，而且对整个社会的影响将会更加广泛和深刻。

1992 年 6 月 3—14 日，在巴西的里约热内卢召开了联合国环境与发展大会（United Nations Conference on Environment and Development），通过了重要文件《21 世纪议程》（Agenda 21）；1993 年 1 月 18 日，第 47 届联合国大会根据《21 世纪议程》的要求，一致通过 193 号决议，决定从 1993 年开始，每年的 3 月 22 日确定为“世界水日”（World Day for Water，或 World Water Day），以全面推进系统性、综合性、整体性、统筹性的水资源规划、开发、利用、保护和管理，有效解决日趋严峻的用水短缺问题；同时，利用广泛的宣传、教育和科普活动，增强普通民众珍惜水资源的观念和意识。迄今为止历年的“世界水日”主题分别为：

1994 年：Caring for Our Water Resources Is Everyone's Business（关注我们的水资源，人人有责）；

1995 年：Women and Water（妇女与水）；

1996 年：Water for Thirsty Cities（干渴城市的用水）；

1997 年：Water Scarce（水资源短缺）；

1998 年：Ground water—Invisible Resource（地下水——隐形资源）；

1999 年：Everyone Lives Downstream（每个人都生活在下游）；

2000 年：Water for the 21st Century（面向 21 世纪的水）；

2001 年：Water and Health（水与健康）；

2002 年：Water for Development（面向发展的水资源）；

2003 年：Water for the Future（面向未来的水资源）；

- 2004年: Water and Disasters (水与灾难);
- 2005年: Water for Life 2005—2015 (生命之水 2005—2015);
- 2006年: Water and Culture (水与文化);
- 2007年: Coping with Water Scarcity (应对水资源短缺);
- 2008年: Water Sanitation (水卫生);
- 2009年: Transboundary Waters: Shared Water - Shared Opportunities (跨境水——共享的水资源、共享的机遇);
- 2010年: Water Quality (关注水质);
- 2011年: Water and Urbanisation (水与城市化);
- 2012年: Water and Food Security (水与粮食安全);
- 2013年: Water Cooperation (涉水合作);
- 2014年: Water and Energy (水与能源);
- 2015年: Water and Sustainable Development (水与可持续发展);
- 2016年: Water and Jobs (水与就业);
- 2017年: Wastewater (废水);
- 2018年: Nature for Water (借自然之力, 护绿水青山);
- 2019年: Leaving No One Behind (不让任何一个人掉队);
- 2020年: Water and Climate Change (水与气候变化);
- 2021年: Valuing Water (珍惜水、爱护水);
- 2022年: Groundwater - Making the Invisible Visible (地下水, 让隐匿的资源可视化);
- 2023年: Accelerating Change (加速变革)。

联合国第8任秘书长潘基文(Ban Ki-moon)在2013年世界水日的致辞中警示全球:“1/3的人们已经生活在中度到高度缺水的国家,全球近1/2的人口到2030年可能面临水资源匮乏,需水量将超出供水量40%。工业与农业、农民与牧民、城镇与乡村、上游与下游以及世界各国之间对水资源的争夺将会日趋白热化。气候变化、不断扩大的人民需求以及富裕繁荣要求我们必须共同致力于保护和管理这一脆弱和有限的资源。”

1988年,我国颁布了《中华人民共和国水法》,水利部将每年的7月1—7日确定为“中国水周”(Water Week of China)。自1991年起,我国又将每年5月的第2周,作为“城市节约用水宣传周”。中国水周与世界水日的主旨和内容基本同步,从1994年开始,“中国水周”的时间调整为每年的3月22—28日,以进一步提高全社会关心水、珍惜水、保护水和水忧患意识,促进水资源科学、合理、永续的开发、利用、保护、维护和管理。历年的“中国水周”宣传主题为:

- 1996年：依法治水，科学管水，强化节水；
- 1997年：水与发展；
- 1998年：依法治水——促进水资源可持续利用；
- 1999年：江河治理是防洪之本；
- 2000年：加强节约和保护，实现水资源的可持续利用；
- 2001年：建设节水型社会，实现可持续发展；
- 2002年：以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展；
- 2003年：依法治水，实现水资源可持续利用；
- 2004年：人水和谐；
- 2005年：保障饮水安全，维护生命健康；
- 2006年：转变用水观念，创新发展模式；
- 2007年：水利发展与和谐社会；
- 2008年：发展水利，改善民生；
- 2009年：落实科学发展观，节约保护水资源；
- 2010年：严格水资源管理，保障可持续发展；
- 2011年：严格管理水资源，推进水利新跨越；
- 2012年：大力加强农田水利，保障国家粮食安全；
- 2013年：节约保护水资源，大力建设生态文明；
- 2014年：加强河湖管理，建设水生态文明；
- 2015年：节约水资源，保障水安全；
- 2016年：落实新发展理念，推进最严格水资源管理；
- 2017年：落实绿色发展理念，全面推行河长制；
- 2018年：实施国家节水行动，建设节水型社会；
- 2019年：坚持节水优先，强化水资源管理；
- 2020年：坚持节水优先，建设幸福河湖；
- 2021年：深入贯彻新发展理念，推进水资源集约安全利用；
- 2022年：推进地下水超采综合治理，复苏河湖生态环境；
- 2023年：强化依法治水，携手共护母亲河。

1.1.2 水体

水体（waterbody）是地球表层由天然或人工形成的、以相对稳定的陆地为边界的水的聚积体。按其形态和位置主要有海洋、河流（运河）、湖泊（水库、池塘）、沼泽、冰川、积雪、极地冰盖、地下水、大气水体等。地球表面上各种形式的水体构成了水圈，约占地球表面积的70.8%。

与其他类型的生态系统相比, 水域生态系统 (aquatic ecosystem) 最为主要的特点在于水这一特殊的环境因子。水的理化性质对生态系统中的其他因子产生重要影响: ①水的密度大于空气。海水的盐度一般高达 35‰, 而且较为稳定; 淡水的盐度一般在 0.05‰ ~ 0.50‰ 范围内波动; 河口水域的盐度变化较大。除少数广盐性 (euryhaline) 种类能够适应盐度的大幅变化、调节体内渗透压而自由往来于淡水、海水之间外, 大多数水生生物只能生活在一定盐度范围的环境中, 因而有海洋生物和淡水生物之分。②水的比热较大, 导热性能差。因此, 水温 (尤其是大洋水温) 比陆地温度更加稳定。如温带海域全年温度变幅一般为 10 ~ 15℃, 两极和热带海域仅约 5℃。③光线在水中的穿透力比在空气中小。日光射入水体后衰减较快。特别是在海洋中, 只有最上层海水中才有足够的光照保证植物进行光合作用。在某一深度处, 射入水中的光照强度减弱至一定程度, 植物光合作用生产的有机物质与呼吸作用的消耗量达到平衡, 这一深度称为补偿深度 (compensation depth), 是水体中光合植物垂直分布的下限。补偿深度以上的水层称为真光带 (euphotic zone)。在某些透明度很大的热带深海水域, 真光带的深度可超过 200 m; 而在透明度低、较为混浊的近岸水域, 真光带的深度可能仅为数米, 是各类水生动物密度最高、活动最活跃的区域。④水具有优异的溶解性, 不仅大部分盐、酸、碱等可以溶入其中, 而且一些有机物也能被水溶解, 从而为水生生物的生长、发育和繁衍提供充足的营养源。

水体中的生物群落与其生存环境共同构成了动态系统, 包括海洋生态系统 (marine ecosystem)、淡水生态系统 (freshwater ecosystem) 及其下属不同水平 (或层级) 的水域。海洋生态系统通常包括沿海及内湾生态系统 (coastal and inner bay ecosystem)、海藻场 (床) 生态系统 (kelp bed ecosystem)、珊瑚和滨海湿地生态系统 (coral reef and littoral wetland ecosystem)、外海和大洋生态系统 (pelagic sea and oceanic ecosystem)、上升流生态系统 (upwelling ecosystem)、深海生态系统 (deep sea ecosystem)、极地海洋生态系统 (polar maritime ecosystem) 等, 其中, 前三者为沿海生态系统, 后四者则统称大洋生态系统。淡水生态系统可分为静水生态系统 (still-water ecosystem) 和流水生态系统 (lotic ecosystem), 前者包括水库、池塘、湖泊等, 后者包括溪流、江河、水渠、管道等。在江河与湖泊、河川与海洋之间的水的运动, 使不同的水体相互联系, 构成水域生态系统与陆地生态系统显著不同的特点。特别是大洋环流与水团的结构, 更是决定海域状况、生物分布、组成与数量的动力因素。海洋生态系统由于陆地淡水溶解物质和悬浮物的不断输入, 其开放性特点更为突出。

每一层级的水域生态系统都占据一定的空间, 生物因子与非生物因子通过物质循环、能量流动和信息交换而相互作用, 共同构成具有特定组分、结构及功能的统一体。在水域生态系统的非生物成分中, 生物栖息和活动的介质 (水层、沉积层等) 决定了

物理环境指标（如水温、盐度、水深、水流、光照等）、参加物质循环的无机物（如碳、氮、磷等）和有机化合物（如碳水化合物、蛋白质、脂类、有机酸、腐殖质等）种类及丰度。

水体是生物赖以生存的重要生境和支撑条件，是鱼类及其他水生生物必不可少的环境系统。人类的生存、发展与水体息息相关，自人类在地球上出现以来，各类水体就持续为人类提供生活用水、工农业用水、食物、蛋白质、生产原料和居所。长期以来，水体还为人类的交通、运输、商业和娱乐活动提供支持，同时承担着为人类清洁生活环境、降解和去除部分废弃物的职能。

1.2 水生生物

我们生活的地球是一个水的星球，海洋、河流、湖泊、溪流……这些水体共同构成了地球的“水圈”。水生生物（aquatic organism）是生活在水体中各类生物的总称，是水体中最为活跃的成分。水生生物的种类组成极为繁多，按生物类别可分为水生动物（脊椎动物、无脊椎动物）、水生植物（水生高等植物、藻类等）和水生微生物（真菌、放线菌、细菌等），按生境可分为海洋生物和淡水生物，按生活方式可分为漂浮生物（neuston）、浮游生物（plankton）、游泳生物（nekton）、固着生物（sessile organism）、底栖生物（底生生物，benthos）、附生生物（附着生物，周丛生物，着生生物，periphyton）和穴居生物（burrower）等，按生态功能可分为生产者（自养生物）、消费者（异养生物）和分解者。水圈中许许多多的生物，有的古老，有的年轻；有的蓬勃生长，有的由于种种原因濒临灭绝。不同类别、习性、功能的生物种群有机地组合在一起，形成特定的生物群落，不同的生物群落之间、生物群落与环境之间不断进行着相互作用、影响和协调，共同维持着水环境的健康和稳定。水生生物为人类提供蛋白质和工业原料，具有重要的经济价值，与人类有着密不可分的联系。

生产者（producer）即自养生物，主要指含有叶绿素（chlorophyll）、胡萝卜素（carotene）、叶黄素（xanthophyll）、藻胆素（phycobilin）等光合色素（photosynthetic pigment），能够通过光合作用形成初级生产力的各类水生生物，包括水生高等植物、浮游植物、底栖藻类和附生藻类等。其次是利用光能或化学能的光合细菌（photosynthetic bacteria, PSB）和化能细菌（chemotrophic bacteria），如海底热泉附近的一些动物能从寄生或共生体内的硫化菌获得有机物质和能源，从而构成完全以化学能替代日光能而存在的独特生态系统。消费者（consumer）即异养生物，指以其他生物或有机碎屑为食的水生动物，因所处营养级的位置不同可划分为初级消费者（primary consumer）、次级消费者（secondary consumer）。初级消费者主要指以浮游植物为食的小型浮游动物及少数以底栖藻类为食的动物，一般体型较小。它们与生

生产者共同生活在上层海水中，两者的生物量往往属于同一数量级，而且相互之间的转换效率很高，这是与陆地生态系统很不相同的一个特点。次级消费者指水生肉食性动物，包含较多的营养层级。较低层级者多为大型浮游生物，如一些甲壳动物、箭虫、水母和栉水母等，其中，许多种类往往有昼夜垂直移动性，分布不限于水体上层；较高级者具有很强的游泳能力，分布于水域各个层次。此外还包括一些杂食性浮游动物（兼食浮游植物和小型浮游动物），它们对于初级生产者和初级消费者的数量变化具有某种调节作用。分解者（decomposer）主要指微生物（如细菌、真菌等），将死亡生物的各种复杂物质分解为生产者和消费者可吸收利用的有机物和无机物，是水体有机和无机营养再生产过程的关键参与者，同时它们也是许多动物的直接食物。有机碎屑（organic detritus）来源于未被完全摄食或消化的食物残余、浮游植物在光合作用过程中产生的一部分低分子有机物、陆地生态系统输入的颗粒性有机物等，虽然不是生命形式，但在水域生态系统的物质循环和能量流动中起到重要作用。

水域生态系统经过一定的发育和演替过程，生物的不同组分之间、各个生物种群之间、各个生物群落之间、群落与环境因子之间、结构与功能之间发生相互作用、反馈和调节，彼此关系逐渐趋于相对稳定和协调，从而构成动态的生态平衡。此时系统内的生物种类最多，种群比例最佳，总生物量最大，生态系统的稳定性最强。生态系统在发生和发展的历程中，通过自身调节，能够维持动态平衡状态。但这种自动调节的能力是有一定限度的，该限度称为“生态阈限”（生态阈值，ecological threshold）。一旦超过生态阈限，自我调节和反馈能力就会降低甚至消失，从而导致生态系统失衡，有机体的个体数量减少，种类和生物量下降，物流和能流机制出现故障，这一系列连锁效应可能导致整个系统的急性或慢性崩溃。

1.3 底栖动物

底栖动物（benthic animal）是指在水体底部度过全部或部分生活史时间的水生动物类群。底栖动物是水域生态系统中的重要组成部分，是水生生物群落中举足轻重的生态类群，从各个地区、各种类型的淡水水域到海洋（自滨海浅水带到万米洋底深处）均有生存。底栖动物营水体底层生活，是不同生物的空间生态位（space niche）分异的一种表现。不同垂直层次的食物种类不同，也造成了营养生态位（trophic niche）分异。这种生态位分异（niche differentiation）是生物长期演化的结果，对空间、时间和资源等环境因子的趋异利用使不同物种可以共存于同一水域，有利于提高生境空间利用效率、减小种间竞争强度。底栖动物多为无脊椎动物，以悬浮物摄食和沉积物摄食居多，常见的种类如软体动物门腹足纲的螺和瓣鳃纲的蚌、蚬等；环节动物门寡毛纲的水丝蚓、尾鳃蚓等；蛭纲的舌蛭、泽蛭等；多毛纲的沙蚕等；节肢动物门昆虫纲的摇

蚊科幼虫、蜻蜓目稚虫、蜉蝣目稚虫等；甲壳纲的虾、蟹等；扁形动物门涡虫纲的涡虫等。底栖动物的分类、组成、结构、习性和分布复杂多样，在水域生态系统中具有至关重要的功能和地位，与人类生活之间的关系十分密切。随着水域开发和利用强度的不断加大、海洋发展战略意识的日益增强、进一步走向蓝海以及方法手段的进步，水域生态学的研究进展愈加令人瞩目，底栖动物领域的基础理论与应用技术越来越受到世界各国的重视。

思考题

1. 什么是水体？
2. 水的理化性质对水域生态系统产生哪些影响？
3. 什么是水体中的补偿深度、真光带？
4. 水域生态系统如何分类？
5. 水生生物的种类组成有哪些？
6. 什么是底栖动物？
7. 地球上的各类水体与人类生存发展之间有何关系？