

第1章 概 论

1.1 什么是环境科学

1.1.1 自然科学

从广义上讲,科学是系统化的知识,它通过观察和实验收集数据,形成问题和假说,并利用实现进行验证。社会科学与自然科学之间的区别在于:前者涉及到研究人以及他们作为家庭、部落、社区、种族和国家中的一员如何一起生活;后者涉及到研究自然及其物理世界。自然科学包括各种不同的学科,如生物学、化学、地质学、物理学以及环境科学。

1.1.2 环境科学

生物学、化学和物理学(它们的分支学科,如微生物学、有机化学、核物理等)等学科主要研究自然科学的某些特殊方面,而环境科学,从广义上说,几乎包括了自然科学的所有领域。当然,环境科学家研究的历史焦点主要在自然环境。这里的自然环境是指大气、土地、水以及各种人工建筑环境中的居住者。现代环境科学已经应用于人工建筑环境中,或许,更准确地说,应该是对人工建筑环境中排放物的处理。

1.1.3 定量环境科学

科学,更严格地说是科学方法(scientific method),涉及到数据,即有记录的观察,数据当然来自于各种可能的样本。这些数据应该具有代表性,也可能存在偏差。即使这些数据具有代表性,它们也可能含有一些随机的变化,用现有的知识不能对其做出解释。在收集和记录数据时,应该仔细认真,不带任何偏见,并且要进行独立的检验,这是科学的基石。

如果收集和组织的數據可以揭示某些规律,就可能形成推论或假说(hypothesis)。

这仅仅是一种陈述,说明在一定的环境条件下,某些现象可以被普遍观察到,许多推论是统计性的,它们只能精确地用于大量的样本。

利用科学手段,可以检验、修正假说,并再次进行检验,直至证明可以被接受。

如果我们利用一些假设,将一系列推论结合在一起,就可以形成理论。长期以来得到认可的理论可以称为定律(law),例如描述运动物体行为的运动定律,描述气体行为的气体定律。理论(theory)的发展是一个重要的过程。它形成了大量统一的认识。并且,理论是一种强有力的新工具,在我们探寻知识的过程中,它可以为我们指出在哪里寻找新的推论,形成新的假说。“因此,数据的积累并不是对收集事实的简单堆砌,而是对所需信息的系统搜寻,需要进行分类和归纳。理论使科学成为组织有序的知识集合体。”^[1]

推理是整个理论中的一部分。推理分为两类,一类是定性推理,另一类是定量推理。定性推理是描述性的,例如当废水进入某一河流时,我们可以定性地陈述,当废水的量太大时,会导致鱼死亡。在定性推理时,我们不能确定什么是“太大”,这意味着我们需要定量推理。

当数据和推理是定量化的时候,我们需要利用数学知识,以显示它们之间的定量关系。例如对于上述河流的定量描述可能是“进入某一河流的有机物的质量为 x kg/d,河流中氧的量为 y ”。

或许更为重要的是,定量推理可以使我们探索“What if”这样的问题及其关系。例如,“如果我们降低进入河流的有机物的量,那么河流中的氧将会增加多少”并且,理论,特别是数学理论,通常可以帮助我们在受控的实验观察与野外观察之间架起一座桥梁。例如,如果我们在实验室的鱼缸中控制氧的量,就可以确定维持鱼的健康所需要的最小氧量。然后,我们可以利用这个数值来确定河流中可以接受的有机物的量。

如果环境科学是关于环境关系的组织有序的知识集合体,那么定量环境科学(quantitative environmental science)就是用于描述和探索环境关系的数学理论的有机集合。

在本书中,我们提供了某些数学理论的基础知识,这些知识可以用来描述和探索环境科学中的某些关系。

1.2 什么是环境工程

1.2.1 什么是工程

工程是一种职业,它应用自然科学和数学知识,使物质的性质和能源应用于结构、机器、产品、系统和过程中。

1.2.2 关于环境工程

美国土木工程师学会(American Society of Civil Engineers, ASCE)环境工程分会发表了以下的声明,这或许可以用来说明环境科学与环境工程之间的关系:

环境工程(Environmental Engineering)通过健全的工程理论与实践来解决环境卫生(environmental sanitation)问题,主要包括:提供安全、可口和充足的公共给水;适当处置与循环使用废水和固体废物;建立城市和农村符合卫生要求的排水系统;控制水、土壤和空气污染,并消除这些问题对社会和环境所造成的影响。而且,它涉及的是公共卫生领域里的工程问题,例如控制通过节肢动物传染的疾病,消除工业健康危害,为城市、农村和娱乐场所提供合适的卫生设施,评价技术进步对环境的影响等^[2]。

因此,我们不能将环境科学与环境工程与供暖、通风或空调(heating, ventilating or air conditioning, HVAC)相混淆,也不能将其与景观建筑相混淆。不要将建筑及结构工程的功能与建筑环境(built environments),如房屋、办公室及其他工作场所等相混淆。

1.3 历史的观点

认识到环境科学植根于自然科学,并且其关于自然过程推理的大多数基本形式与人类文明一样古老,那么,环境科学事实上是一门古老的学科。当然,印加人(古代秘鲁土著人)种植农作物以及玛雅人和苏尔美人的数学证实了自然科学的早期应用。同样,埃及人预测和控制尼罗河每年一度的洪水则表明,环境工程的工作与人类文明一样悠久。另一方面,如果你要问阿基米德、牛顿或巴斯德,他们的工作属于环境科学和工程的哪一领域,他们确实会表现出满脸的疑惑!事实上,科学(science)这一术语,直到1687年才变得时尚。牛顿先生的文集仅仅间接提到“自然哲学与数学原理”(Natural Philosophy and Mathematical Principles)。

我们当今所认识的科学与工程,开始于18世纪的繁荣期。环境工程,作为一门学科,其建立与19世纪中各种土木工程学会的形成(例如,美国土木工程师学会成立于1852年)相一致。在当时直至20世纪初期,环境工程被称为卫生工程,因为它根源于水的净化。在20世纪60年代晚期及70年代早期,才改名为环境工程,这一更名反映出其研究领域的拓展,不仅仅包括净化水,还包括空气污染、固体废物管理以及环境保护的许多其他方面,这些都属于当今环境工程师的职业范畴。

尽管我们倾向于将环境科学的起源追溯到18世纪,然而,实际情况是,在20世纪60年代以前,在文献中找不到任何有关环境科学的参考资料。

尽管生态学的概念在20世纪40年代就已经牢固地建立起来,并且许多人为此做出了贡献,但是,我们现在所了解的环境科学的先驱或许是 Rachel Carson,特别是她的《寂静的春天》(Silent Spring)一书^[3]。到20世纪70年代中期,环境科学才在学术界牢固地建立起来,到20世纪80年代,其分支学科(环境化学,环境生物学等)才出现并得到认可。

1.4 环境工程师与环境科学家如何一起工作

有一个古老的说法：“科学家发现事物，工程师使它们有用。”(Scientists discover things. Engineers make them work.) 与许多类似的古老格言一样，这种说法有一些道理，但也有些过时。从教育的观点来看，环境工程建立在环境科学的基础之上。环境科学，特别是定量环境科学，为环境工程师们解决环境问题提供基础理论。在许多情况下，环境科学家与环境工程师的任务及使用的工具是相同的。

或许，解释环境工程师与环境科学家如何一起工作，其最好的方式是给出一些实例：

- 早在 20 世纪，人们就修筑大坝，为电厂提供冷却用水。当时并没有考虑大坝对河流中氧的影响，也没有考虑河流中鱼的生存能力，更没有考虑河流中大麻哈鱼的迁移问题。为了补救这些问题，环境科学家与环境工程师们设计了鱼梯（鱼类通过水坝的通道），这不仅为鱼绕过大坝提供了途径，而且可以向水中通气、增加溶解氧。环境科学家可以提供有关水深及鱼可以越过的台阶高度等方面的信息，环境工程师们则确定旁路的结构要求，允许足够的水流过大坝，并提供所需要的深度。
- 城市街道的暴雨会携带金属和有机污染物进入河流，对河水造成污染。尽管可以建造污水处理厂，但人们还是选择湿地处理系统来解决这一问题。通过湿地的沟渠斜坡由环境工程师们设计。在沟渠的底部提供石灰以中和 pH 值，并除去金属，则由环境科学家与环境工程师们联合工作。湿地中植物材料的选择则是环境科学家们的任务。
- 高速公路旁休息区的化粪池系统，在周末假日及交通繁忙期往往会超过其设计负荷。为了解决这一问题，人们不是修建更大的化粪池系统或传统的废水处理厂，而是在高速公路中间的分界安全岛修建坡面漫流系统。环境工程师们设计工程系统，将废水从休息区输送到坡面漫流地区，坡面漫流系统的坡度及其长度由环境科学家与工程师们共同确定。坡面上的草由环境科学家来选择。

1.5 环境科学与工程引论

1.5.1 本书的主题

我们以美国土木工程师学会对环境工程的定义作为本书的起点。

- (1) 安全、可口、充足的自来水供应；
- (2) 废水和固体废物的合理处置和循环使用；
- (3) 水、土壤和大气污染(包括作为大气污染物的噪声)的控制。

1.5.2 本书内容提要

本书首先简要地介绍了环境科学与工程了许多方面。本书的前几章回顾并介绍了本书后续章节所要用到的工具,包括化学知识的回顾(第 2 章),物质与能量平衡的介绍(第 3 章),生态系统的介绍(第 4 章),以及风险评价的介绍(第 5 章)。

第 6 章介绍了水文学方面的知识。我们利用质量守恒原理来描述自然界中的水平衡。地上和地下水行为的物理学将是一个定量工具,以理解降雨与河流之间的关系,这是理解地下水污染问题所需要的。

第 7 章描述了地质过程、风化和土壤形成之间的基本关系,还介绍了描述土壤性质、土壤中微生物和化学物质行为的定量方法。

水质变化是一个动态过程,水力参数与湖泊及河流的化学和生物学之间复杂的交叉关系将在第 8 章介绍。

人类消耗水的处理建立在化学和物理学的基本原理上。在第 9 章,我们将讨论一些净化水的方法。

生活污水和某些工业废物的现代处理方法是基于应用化学、微生物学和物理学的基本原理,这些将在第 10 章中解释。

空气污染,尽管也可能自然发生,但大多数与人类活动密切相关。第 11 章讨论了大气中发生的化学反应、传输空气污染物的物理过程以及它们的环境影响。

第 12 章介绍了固体废物产生及其环境影响问题。

第 13 章的主题是危险废物。作为将定量环境科学应用于环境工程的例子,介绍了污染预防以及危险废物处理的一些替代技术。

非点源污染是第 14 章的主题。农业对于现代文明是至关重要的,农业对于环境的影响也是巨大的。环境科学的正确应用将为可持续发展提供手段。

据估计,在美国有 170 万年龄在 50~59 之间的工人由于听力损失获得赔偿。与高速公路有关的环境危害,人们抱怨最频繁的当属噪声。在第 15 章中,我们利用物理学的基础知识来描述噪声及降低噪声的方法。

第 16 章,即最后一章,简单地介绍了电离辐射以及辐射对健康的影响。

1.5.3 国际单位制

由于本书中采用国际单位制(International System of Units, SI),因此我们认为有必要对 SI 的发展过程进行简单的讨论。以下内容摘自美国材料试验学会(American Society for Testing Materials, ASTM)编号为 E380 的出版物。

SI 是一个有条理的系统,共有七个基本单位,对每一单位均给出了名称、符号和精确的定义。许多新的单位可以从这些基本单位推导出来,对每一单位可指定一个名称,有时候,可利用已有的名称,例如牛[顿]。

由于度量方法的混乱,16 世纪产生了十进位单位制。然而,直到 1790 年,法国国民议会(French National Assembly)才要求法国科学院(French Academy of Science)制定适合全世界采用的单位制。这个系统采用米为长度单位,克为质量单位。该系统被工商界在实际中应用。

对于科学和工业界需要的其他量的测量,则必须利用新开发的基本单位和导出单位。基于这两个米制单位的许多系统被广泛采用。1881 年,国际电力大会(International Congress of Electricity)采用了加入时间单位的厘米-克-秒(centimeter-gram-second, CGS)系统。大约在 1900 年,实际的测量中开始使用米-千克-秒(meter-kilogram-second, MKS)系统。1935 年 Giovanni Giorgi 教授建议将力学的 MKS 制加上 ampere(安[培])、coulomb(库[仑])、ohm(欧[姆])或 volt(伏[特])四个单位之一——以便与电磁系统的单位联系起来。这项建议于 1950 年被接受,并加入电流单位——ampere(安[培]),从而建立了 MKSA 系统。

1954 年,第 10 届 CGPM 采纳了 MKSA 系统,并增加了温度的单位 Kelvin(开[尔文])和发光强度的单位 candela(坎[德拉])。1960 年,第 11 届 CGPM 正式命名该系统为国际单位制,在所有的语言中均简称为“SI”。1971 年,第 14 届 CGPM 增加了第七个基本单位——mole(摩[尔]),并同意用 pascal,Pa(帕[斯卡]),即牛顿每平方米,作为压力或应力的特殊单位,用 siemens,S(西[门子]),即欧的倒数或安培每伏,作为电导的单位名称。

SI 单位与一些其他常用单位的转换因子及 SI 词头列于本书附录中。

1.6 环境系统概论

1.6.1 系统

在开始讨论具体内容以前,我们认为值得从宏观上来看一下本书将要讨论的问题。工程师喜欢称此为“系统逼近”(systems approach),也就是观察所有相互关联的部分及其相互的影响。在环境系统中,我们很难真正识别所有关联的部分,更不用说了解它们之间的相互影响。因此,系统工程师要做的第一件事是将系统进行简化,且要求与真实系统相似。简化模型当然无法在细节上与真实系统完全一样,但要求基本上近似。

在第 4 章我们将介绍生态系统,大范围的生态系统如图 1-1 所示。生态系统为本书选择的一些主题构建了一个框架,即动植物与其环境中的水、空气和土壤的关系及相互作用。我们将根据上述简化原则来描述三种环境系统:水资源管理系统(第 6、8、9、10 和第 14 章)、空气资源管理系统(第 11 和 15 章)和固体废物管理系统(第 7、12 和第 13 章)。如果介质是空气、水或土壤之一,则限于以上三个系统之一的污染问题称为单介质(single-medium)问题。许多重要的环境问题并不限于简单的系统中,通常涉及到空气、水和土壤等多种介质,这些问题称为多介质(multimedia)污染问题。

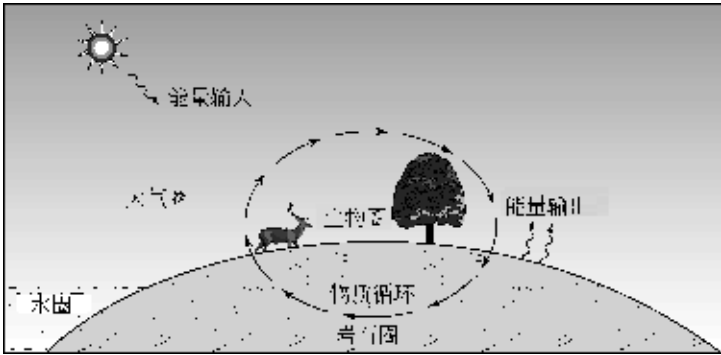


图 1-1 地球作为一个生态系统

1.6.2 水资源管理系统

1. 供水子系统

水源的性质决定了集水、净水、输水和配水工程的规划、设计与运行^{*}。地表水 (surface water) 和地下水 (groundwater) 是供应社区和工业用水需求的两种主要水源。小溪、湖泊和河流为地表水源。地下水源是从水井抽出水的地方。

图 1-2 描述了一个服务于小社区的水资源系统的概况。不同的水源需要使用不同的集水工程和处理工程。城市中的管网称为配水系统。管路本身通常称为水干线。水在管道内的压力一般保持在 200~860 kPa。在低需水量 (demand) (通常在夜间) 期间[†], 水处理厂生产的多余水储存在蓄水池内。蓄水池可以高出地面 (通常用水塔), 也可以与地面水水位一致。储存的水被用来满足白天高需水量期间的要求。蓄水设施可以调节需水量的变化, 并允许修建较小的处理厂。蓄水池还可以提供发生火灾时的紧急用水。

人口和耗水形式是控制需水量的主要因素, 因此也决定了水源和整个水资源系统的组成。选择合适的供水水源的前期步骤之一是确定需水量。影响需水量的基本要素包括平均日用水量 and 高峰需水量。估计平均日用水量是为了: ①确定地表水或地下水在枯水季节低水位时能否不间断地供水; ②确定需储存多大的水量才能满足枯水季节时的需水量。估计高峰需水量是为了确定水管的尺寸、压力损失和满足高峰用水需求所需要的蓄水量。

许多因素影响系统的用水情况。例如, 自来水的容易获取刺激了它的使用。人们

^{*} 工程 (works) 是一个复数形式的名词, 代表工程结构物 (engineering structures), 与用于 “art works” 时意思一样。

[†] 需求 (demand) 是指消费者对水的使用。该词的这种用法源自经济学术语, 表示对商品的需求 (the desire for a commodity)。用水者打开水龙头或抽水马桶冲水时, 表示他们对水的需求。

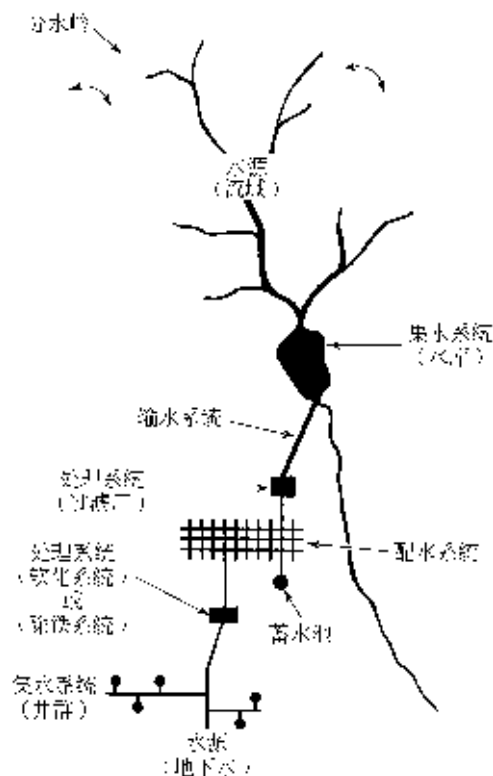


图 1-2 供水资源系统概况图

来源：Davis, M. L., Cornwell, D. A., *Introduction to Environmental Engineering*, WCB/McGraw-Hill; N. Y., 1998

通常过度地用自来水浇草坪和花园、冲洗汽车、运行空调设备,以及进行各种生活和工业生产中的许多其他活动。影响人们用水的主要因素包括:

- (1) 工业活动;
- (2) 水表;
- (3) 系统管理;
- (4) 生活水平;
- (5) 气候。

另外几种因素也会影响自来水的消耗量,但影响程度较小。这些因素包括下水道的状况、系统水压、水价和私人水井的使用。

工业活动的影响是使人均需水量增加*。农村和郊区的小社区,其人均用水量比工业化城市社区的人均用水量少。工业可能是影响人均用水量的最大单一因素。

* Per capita 是一个拉丁词,意思是“以人头计”(“by heads”)。此处指“每人”(“per person”)。

第二个重要因素是用户是否安装水表。水表赋予用户一种责任感,未安装水表的居民或商业用户没有这种责任感。这种责任感促使消费者去修理漏水管、节省用水,而无论水费如何。这样就减少了人均用水量。因为水太便宜,因此水价不是主要因素。

另一个因素是系统管理。如果配水系统管理得好,人均用水量就会降低。在管理良好的系统中,管理者知道何时何地自来水干线会出现漏水,并且能很快地修复它。

与工业活动、水表和系统管理相比,生活水平与气候对用水量的影响并不那么重要,且它们的影响容易预测。生活水平越高,个人用水量越多。高度发达国家的用水量比欠发达国家的用水量高。同样,高社会经济地位代表着更多的人均用水量。较高的年平均温度代表较多的人均用水量,而降雨多的地区用水就比较少。

在美国,1990 年 全国的平均淡水消耗量为每人每天 1411 L^[5]。1970 年调查结果为每人每天 628 L。家庭住户平均用水量约每人每天 400 L。用水量的变化通常以日平均为准。对于安装水表的用户:最大日用水量=2.2×平均日用水量;高峰小时用水量=5.3×平均日用水量^[6]。一些地方的日平均用水量数据及其各行业所占比例如表 1-1 所示。

表 1-1 每人用水量的变化

地 点	用水量 /(L/(人·d))	每人耗水百分比/%		
		工业	商业	住宅
Lansing, 密歇根州	479	17.3	40.2	42.5
East Lansing, 密歇根州	310	0	5	95
密歇根州立大学	307	0	1	99

来源: local treatment plants, 1994.

2. 废水处置子系统

为了保证个人、家庭和社区的安全,同时为了防止某些公害的发生,人类产生的所有废物必须安全处置。为了达到满意的结果,废物处置必须做到:

- (1) 不可污染任何饮用水源;
- (2) 不可让昆虫、老鼠或其他带病媒体接触到食物或饮水,以避免影响公众健康;
- (3) 不可让儿童接近,以避免影响公众健康;
- (4) 不可违反水污染或污水处理的相关法律或规定;
- (5) 不可污染任何海滩浴场、贝类繁殖地、用于公共/家庭供水或娱乐目的的河流等水体;
- (6) 不可产生恶臭或脏乱。

将生活污水排入适当的公共或社区污水系统,可以满足上述这些标准^[7]。在没有建立下水道系统的社区,必须采取认可的方法进行现场处置。

最简单形式的废水管理子系统由六个部分组成,如图 1-3 所示。废水来源可以是工业废水或是生活污水,也可以两者皆有*。工业废水可能会影响城市污水处理厂(wastewater treatment plant,WWTP)的运行时,应该进行一些预处理。联邦法规将城市污水处理系统称为公有处理机构(publicly owned treatment works,POTWs)。

进入污水处理厂的废水量随用水情况会有很大的变化。典型的日变化量如图 1-4 所示。大部分社区用水最终都会进入污水下水道。浇草坪、洗车及其他消耗性用水在使用中会损失 5%~10%。消耗的水量等于进入配水系统的平均水量与进入污水处理厂的平均水量之间的差值(管道泄漏情况除外)。

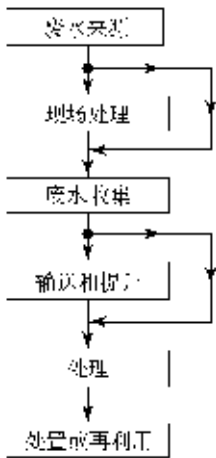


图 1-3 废水管理子系统

来源: R. K. Linsley and J. B. Fanzini, *Water Resources Engineering*, New York: McGraw-Hill, 1979.

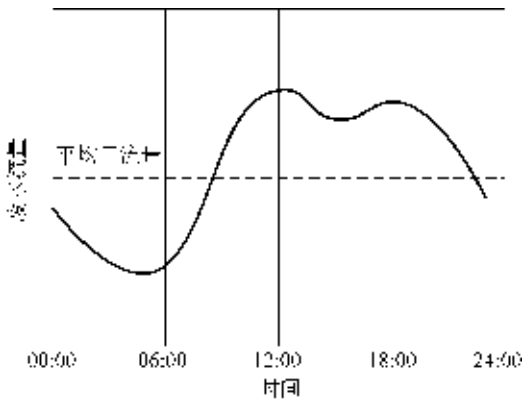


图 1-4 废水日流量的典型变化

来源: Davis, M. L., Cornwell, D. A., *Introduction to Environmental Engineering*, WCB/McGraw-Hill: N. Y., 1998.

废水量与供水量受相同因素的影响,但有一个例外。主要的例外是地下水。地下水因为渗漏会对系统中的水量产生很大的影响。饮用水配水系统因为有压力,所以相对密封。污水下水道系统利用重力输送,因此相对开放。地下水可以入渗(infiltrate)或漏入到该系统中。当下水道系统人孔位置较低时,可能会有雨水通过人孔盖入流(inflow)进入下水道。其他可能进入的途径还包括屋顶侧沟和下流管以及抽水机从地下室抽出的水直接排入。入渗和入流(infiltration and inflow, I&I)在有暴雨时显得特别重要。由入渗和入流产生的额外水量,可能会引起下水道的水力负荷过高,从而使水倒流回房间,并且会降低废水处理厂的效率。新的施工技术和材料,已经使入渗和入流降低到了最低程度。

下水道可分为三类: 污水、雨水和合流式下水道。污水下水道(sanitary sewers)用来

* 生活污水有时称为卫生污水(sanitary sewage),其实它一点也不卫生!