

第 1 章 城市水工程学科与水工业

1.1 水的自然循环和社会循环

1.1.1 水的自然循环

地球上水的循环，可分为水的自然循环和水的社会循环。水的自然循环有多种，对人类最重要的是淡水的自然循环。图 1-1 是淡水的自然循环的典型示意图。水从海洋蒸发，蒸发的水汽被气流输送到大陆，然后以雨、雪等降水形式落到地面，一部分形成地表水，一部分渗入地下形成地下水，一部分又重新蒸发返回大气。地表水和地下水最终流回海洋，这就是淡水的自然循环。

雨水落至地面，或雪降至地面融化后，汇集起来形成小的径流，小径流不断汇集，形成河川和湖泊。渗入地面下的水，会在地下透水层中流动，形成地下水流。地下水流出地面，称为泉水。在不同的季节，地表水和地下水之间还会相互补给。

我国处于东南亚季风地带，夏季多暴雨，常引起河川及湖泊水位上涨，造成洪水泛滥。为减轻洪涝灾害，常修筑调贮水库，即人工湖。水库还常用作发电，以及农田灌溉和城市水源等。为航运、引水灌溉等需要，还修筑运河。

上述水的自然循环及其调控，是水利工程学科的研究对象。

1.1.2 水的社会循环

水是人类生存、生活和生产不可替代的宝贵资源。

人类生存离不开水，每人每天平均需要食用 2~4L 水。人们生活离不开水 如清洗粮、菜、洗餐具、洗涤衣物、洗浴、冲厕、清洗房舍等，每人每天用水量因

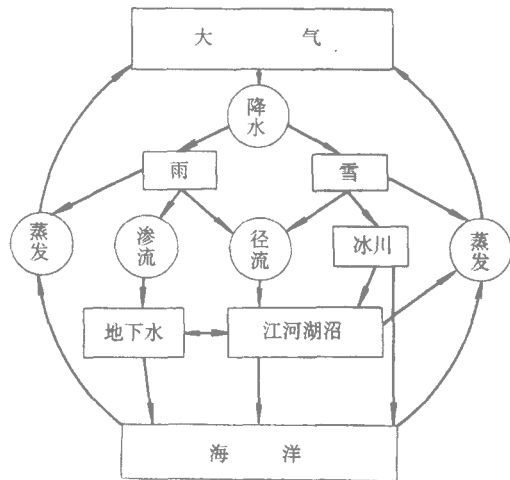


图 1-1 淡水的自然循环

居住地区、室内设备、生活习惯、季节不同而异，对城市居民全国平均为 $140\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 。这些是住宅家居所需用水。此外，社会公共设施，如学校、机关、医院、旅馆、饭店、浴室、游乐场所等都要用水；公园、广场的水景，浇洒绿地、道路以及消防等等，也需要用水。家居生活用水与公共用水之和，对城市居民全国平均约为 $210\text{L}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 。全国城镇生活用水总量每年约为 $250\text{亿}\text{m}^3$ 约为全国用水总量的 4.5% (1997 年资料)

工业生产离不开水。工业生产有成百上千个门类，其在生产过程中的用水情况各不相同。按水在工业生产中的用途和性质可概略地分为以下几类：

1. 原料用水：以水作为产品原料，如酿酒、制冰、饮料等。
2. 生产工艺用水：水本身不进入最终产品，但水在生产过程中同产品质量的关系极为密切，如制糖、造纸、印染、人造纤维、有机合成等。
3. 生产过程用水：如洗涤、清洗用水；输送用水；熄火降温用水等。
4. 锅炉用水：用于供应蒸汽、热水。
5. 冷却用水：用于冷却设备、冷凝设备、冷凝蒸汽、气体、冷却液体等，以冷却传热为主。

由于生产的产品及生产过程千差万别，所以其用水量也很不同。用水量大的工业，主要有火力发电；造纸、制糖等轻工业；炼油、化纤、有机合成等石化工业；制碱等化学工业；钢铁、有色金属等冶金工业等。

工业生产所需水量，因工业种类、生产工艺等不同而有很大差异。现在全国工业用水总量每年约为 $1100\text{亿}\text{m}^3$ ，约占全国用水总量的 20% (1997 年资料)

水更是农业的命脉。我国现有耕地面积约为 $19.5\text{亿}\text{亩}$ ，其中灌溉耕地约为 40% ，用水量每年约为 $4200\text{亿}\text{m}^3$ ，约占全国总用水量的 75.5% (1996 年资料)

人们生活饮用水、工业用水和农业用水，都对用水水质有相应的要求，当天然水源水质不能满足其用水要求时，就需要对水进行适当处理，以获得符合用水要求的水质。

人们为了生活和生产的需要，由天然水体取水，经适当处理后，供人们生活和生产使用，用过的水又排回天然水体，这就是水的社会循环，如图 1-2 (a)。

过去，人们总是以为天然水体的水是取之不尽，用之不竭的。这种看法已经到了需要根本改变的时候了！我国多年平均降水总量为 $6.2\text{万亿}\text{m}^3$ 除蒸发以及通过土壤直接利用于天然生态系统和人工生态系统外，可通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均水资源总量为 $2.8\text{万亿}\text{m}^3$ 按 1997 年人口统计 人均水资源量为 2220m^3 ，仅为世界平均值的 $1/4$ 。预测到 2030 年人口增至 16 亿时，人均水资源量将降到 1760m^3 。按国际上一般标准，人均水资源少于 1700m^3 为水资源紧缺的国家。我国已是水资源十分紧缺的国家。

我国现在年用水总量约为 $5570\text{亿}\text{m}^3$ (1997 年资料) 经分析 我国实际可能利用的水资源约为 $8000\text{亿}\sim 9500\text{亿}\text{m}^3$ 。据预测，随着我国人口的增长，城市化

进程的进行，工业、农业的发展需求，在大力节水的前提下，我国用水高峰将在 2030 年前后出现，年用水总量为 7000 亿~8000 亿 m^3 ，需水量已向可能利用水资源量的极限逼近，形势极为严峻。

由于我国水资源具有时空分布不均匀的特点，大部分地区每年汛期连续 4 个月的降水量占全年的 60%~80%，此外还有降水量的年际剧烈变化。我国的年降水量在东南沿海地区最高，逐渐向西北内陆地区递减。从黑龙江的呼玛到西藏东南部边界，这条东北—西南走向的斜线大体与年均降水 400mm 等值线一致，斜线西北部即为干旱、半干旱地区，斜线东南部为湿润、半湿润地区。

我国水资源的空间分布和我国土地、人口及经济发展也不相匹配。黄河、淮河、海河三流域，土地面积占全国的 13.4%，耕地占 39%，人口占 35%，国内生产总值（GDP）占 32%，而水资源仅占 7.7%，人均约 500 m^3 ，是我国水资源最紧缺的地区。所以，我国北方地区水资源短缺的危机已经十分突出，已成为社会经济发展的重要制约因素。

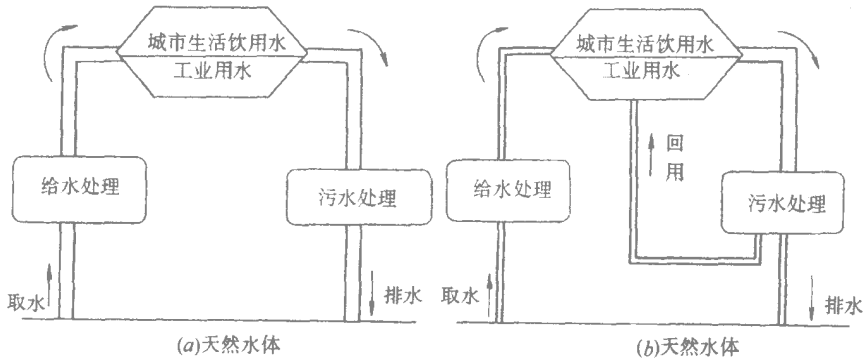


图 1-2 水的社会循环

1.1.3 水的良性社会循环与水资源的可持续利用

在水的社会循环中，用过的水中常含有许多废弃物。一般天然水体都是一个生态系统，对排入的废弃物有一定的净化能力，称为水体的自净能力。由于社会循环的水量不断增大，排入水体的废弃物不断增多，一旦超出水体的自净能力，水质就会恶化，从而使水体遭到污染。受到污染的水体，将丧失和部分丧失使用功能，从而影响水资源的可持续利用，并加剧水资源短缺的危机。水环境污染，现已成为世界性的重大问题，而我国的水环境污染尤其严重，已使国民经济遭受重大损失。

对城市污水和工业废水进行处理，使其排入水体不会造成污染，从而实现水资源的可持续性利用，称之为水的良性社会循环。城市由未受污染的天然水体取水，一般是比较经济的，因为为满足用水对水质的要求（特别是生活饮用水）而

进行的水处理比较易行。当水资源短缺危机出现时，为减少由天然水体取水的量，可以采取循环回用使用过的污、废水的方法，如图 1-2 (b) 所示。将污染较轻的冷却水循环使用于工业用水比较简单，也比较经济。将含废弃物较多的城市污水和工业废水回用于工业，为满足工业用水水质要求而进行的水处理会复杂得多，当然也比较昂贵。将尽可能多的污、废水回用于工业，可以显著减少由天然水体的取水量，缓解水资源危机。

现代的水处理新技术，已能将城市污水处理到符合人们生活饮用水水质标准要求。在国外，已建起了 $1 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 规模的水处理实验厂，也就是说，现在技术上有可能实现城市污水回用做生活饮用水，甚至做到城市污、废水的零排放，这将最大限度地缓解水资源危机，并完全消除城市对水环境的污染。当然，要将城市污水回用做生活饮用水，以及实现城市污水的零排放，费用是很高的。但是，这说明城市水资源短缺只是相对的，并且主要是一个经济问题。

从水的良性社会循环角度看，人们生活和工业用过的污、废水排入天然水体以前需要经过处理，为此需要花费一定的费用。如果回用污、废水的处理费不高于上述费用，无疑是比较合理的，否则便需从多种方案中进行选择。

前已述及，污、废水回用，可缓解水资源危机。可行的污、废水回用有多方面，工业企业内部水的循环重复利用是应用最广的一种，但是在我国循环重复利用率与发达国家相比还比较低。

城市污水回用于工业，需要进行比排入天然水体更复杂的水处理，但对水资源短缺的地区，它在许多方案中仍是比较经济合理的一种，在国外已是一种成熟的技术，但在我国尚处于起步阶段，今后的潜力是很大的。

将城市污水回用于公用设施和住宅冲洗厕所、浇灌绿地，景观用水，浇洒道路等，一般称为中水道技术，也是很值得推广的。

由江河取水的城市，若水质受到上游城市或其他污染源的污染而不宜再饮用时，称作水质型水资源短缺。现代的饮用水除污染技术，能将受到一定程度污染的源水处理到符合生活饮用水水质标准的要求，为此只要在现有城市自来水厂传统水处理工艺基础上，再增加除污染处理设备就可以了，这当然需要增加一些费用，但比城市污水的处理费用要低。饮用水除污染，可以缓解水质型水资源危机。但要完全解决水质型水资源危机，需要大力治理污染源，即需要对城市排出的污、废水进行处理。对一个水系而言，上游城市由水系水体取水，用过后又排入水系，下游城市再由水系水体取水，这可称为水的间接回用。现代的城市化进程和经济发展，已使水的这种间接回用达到很高的比例。例如，对美国这样水资源充沛的国家，20 世纪 80 年代已有 40% 的水被城市和工业用过一次，所以对排入水体的城市污、废水进行处理，是实现水的良性社会循环的重要环节。

1997 年资料，我国城市污水的处理率仅为不到 14%。城市生活污水和工业废水排入水体造成污染，称为点源污染。农田排水对水体造成的污染称为面源污染。

城市污水、工业废水及农业面源污染，致使城市水域 90% 受到污染。所以城市水质型水资源危机是我国普遍存在的现象。据测算，即使到 2050 年，我国城市污水处理率达到 90% 以上，由于城市污、废水量相应增加，那时水环境污染状况会大大减轻，但不会消除，所以，饮用水除污染与污染源治理应该同时给以重视。

若将水的间接回用作为水的社会循环的一部分来看，上游城市污水处理的程度与下游城市取水的水质有关。所以，在经济上存在一个上游城市污水处理与下游城市饮用水除污染总费用的问题。显然，上游城市污水处理程度愈高，即费用愈多，下游城市的饮用水除污染处理的费用就会愈少。极端的情况是，上游城市污水处理的程度使排放的水质达到天然水体的水质，这样下游城市便只需对源水进行常规处理而不需再增设饮用水除污染设施，但这时上游城市污水处理费用会高到经济发展现阶段无法承受的地步。将上游城市污水处理程度和费用适当降低（当然还要兼顾对环境其他方面的影响），这时排出的污水对水体水质会造成一定程度的污染，下游城市就需要增加饮用水除污染的费用，但总费用会比上述极端情况低许多，可能是目前比较合理的方案。所以，饮用水除污染应是整个水环境污染治理的一环。

对工业废水进行处理，是一种终端治理模式，即工业生产排出多少废水就处理多少。这种被动的终端治理模式，已被各国的实践证明是不成功的。现在已开始从源头进行治理模式的研究，即采用“绿色”工艺，进行清洁生产。清洁生产是指原料和能源利用率最高、废物产生量和排放量最少，对环境危害最小的生产方式和过程。清洁生产可包括产品和生产过程两个方面。对于产品，清洁生产意味着产品本身及原料都应是对环境无害的。对生产过程，清洁生产是指在生产的全过程都应符合节约资源、节约能源和保护环境的原则。应对产品进行生命周期的分析，确保其每个环节对环境的危害是最小的。应改革产品设计，改革原料路线，改革生产工艺，更新设备，采用循环利用、重复利用水、物料与能源系统，使废水、废物最少化。所以，清洁生产从源头上使废水废物综合减至最少，再配合对废水的终端处理，才能获得好的效果。废水处理也要采用“绿色”工艺，即使能耗和残留污泥量降至最小。

我国农田现在普遍使用化肥农药，由于投放使用的化肥农药量比世界平均值超出许多，不够科学合理，致使大量化肥农药未被充分利用，随水排入水体，对地表水和地下水都造成污染。农田排水的污染，由于其分散性和量大面广，比点源污染更难治理。农田排水的污染，只能随着科学种田、科学施肥的推广，随着“绿色”农业的发展，才会逐渐减轻，才能实现水的良性社会循环。

所以，控制污染，保护环境，需要各行各业共同努力，才能取得成功，因此它也是全社会全民族的事业。

1.1.4 节水和多渠道开源是缓解水资源危机的有效途径

我国一方面出现水资源紧缺的危机，一方面同时又存在用水效率不高、用水大量浪费的现象。我国的用水总量与美国相当，但 GNP 仅为美国的 1/8。我国农业灌溉水的利用系数平均约为 0.45，而发达国家为 0.7 甚至 0.8。1997 年我国工业万元产值用水量为 136 m^3 ，是发达国家的 5~10 倍。我国工业用水的重复利用率为 30%~40%，实际可能更低，而发达国家为 75%~85%，生活用水的跑冒滴漏十分普遍，据不完全统计我国城市目前使用的包括近 4000 万套便器水箱在内的大量用水器具，不仅耗水量大，而且竟有近 25% 是漏水的，每年仅此漏失量就达 4 亿多 m^3 ，城市供水管网的漏失量很严重，一般都在 10% 以上，而一些严重缺水的城市有的竟高达 20% 以上。公共生活用水的浪费更加惊人 人均生活用水量 机关单位为 158~227L/d 大专院校为 265~379L/d，宾馆为 730~1910L/d，医院为 890~1390L/d。所以节水、提高用水效率、杜绝浪费，是缓解水资源危机的首要任务。

在水资源短缺的地区，发展高效节水农业，发展节水型工业，采用节水型生产工艺，采用节水用水器具，提高质量，加强管理，减少跑冒滴漏，减少管道漏损，特别是制订有利于节水的政策法规，提高水价，利用经济杠杆，促进节水，是当务之急。

节水不仅可减少从天然水体的取水量，缓解水资源危机，并且可减少供水和给水处理费用。同时，节水还可减少排水和污、废水处理费用。据测算，随着我国城市化进程和经济的发展，城市和工业用水量会不断增加，相应地排水量也会不断增加，为实现水的良性社会循环，城市供排水及处理所需费用将增加到国民经济难以承受的程度。只有节水，显著减少城市供排水量，才能将费用降下来。所以，不仅水资源贫乏地区要节水，水资源充足地区也要节水。在国外，这也成为目前发达国家的共识。

前已述及，我国的用水量正向水资源的极限量逼近，如果不加以控制，任其增长下去，将会耗竭水资源，从而给国民经济带来重大损失。只有千方百计地节水，不断提高用水效率，才能控制住用水的增长，使之不超过水资源的极限，从而实现以我国水资源的可持续利用，支持我国社会经济的可持续发展的目标。所以，节水不仅具有战略意义，并且应作为国策进行立法，使我国全面向节水型工业、节水型农业、节水型城市、节水型社会发展。

为缓解城市或地区的水资源短缺危机，尚可采用以下措施：

科学调配水资源。城市附近的农业灌溉用水，用水量很大，大都取自天然水体。城市用水为满足人们生活饮用需要，也要求取自天然水体。在水资源短缺地区，这就形成了城市和农业争水的矛盾。如将城市污水回用于农业灌溉，将原来用于灌溉的水供给城市，就能缓解争水矛盾和水资源危机。我国已有不少城市污

水用于农田灌溉，但有的使用未经处理的污水或经处理但水质尚达不到灌溉要求的水，不仅使农产品受到污染，还给环境带来许多危害，是有待改进的。如将城市污水经适当处理，使其水质满足农业灌溉的要求，则城市污水回用于农业灌溉是可以得到迅速发展的。

在城市附近地区推行高效节水农业和现代旱地农业，将水的利用系数由 0.4 左右提高到 0.5~0.6，节省下来的水便可供城市使用。

海水可大量用于工业冷却用水，从而减少城市对淡水的需求。我国沿海地区 11 个省和直辖市，有 18000 多公里的海岸线，人口占全国的 40% 以上，社会总产值占 60% 左右，是经济最发达的地区。该地区特别是新开发区域的淡水供给严重不足，极大地阻碍了经济的发展，大力发展海水利用刻不容缓。我国目前用海水作为冷却水的仅约 100 亿 m^3 ，而美、欧、日等国则均已达 2000 亿 m^3 左右。所以，我国利用海水的潜力是很大的。利用海水是缓解沿海地区淡水资源危机的主要途径。

雨水是一种重要的淡水资源。现代大城市市区面积很大，大部分地面为不透水铺面覆盖，遇到暴雨会形成洪涝灾害。如将雨水部分贮积起来，则可获得可观的水资源。如对年降水量为 500mm 的地区， $1km^2$ 年降水体积为 50 万 m^3 ，对 $100km^2$ 市区面积，年降水体积可达 5000 万 m^3 。在城市适当地方或住宅小区贮积雨水，可用于浇洒绿地、道路、水景以及下渗补充地下水，改善生态环境，并缓解水资源危机，还可以减少城市洪涝灾害。1997 年全国城市雨洪水量约 111 亿 m^3 ，若按 40% 利用率来计算，可利用的雨水量约为 44 亿 m^3 。随着我国城市化的进程，城市面积会不断增长，雨洪水量还会不断增加，将雨水作为淡水资源的潜力是很大的。

当城市出现水资源危机时，也可由远处的水体调水。当然远距离调水需要比较高的费用，且与调水的距离相关，即调水距离愈长，费用愈高。远距离调水应在充分节水的基础上进行。因为若不节水，用水浪费严重，用水效率低，必然要调更多的水，并且调来的水也会有相当部分被浪费掉，不能充分发挥调水效益。调水愈多，城市污水增加的也愈多，不仅增大调水费用，同时也增大了污水处理和排放的费用，若不能同步建设污水处理设施，还会加重对水体的污染。

远距离调水应与节水及污、废水回用进行经济比较。城市节水及污、废水回用在许多情况下比远距离调水经济。对水质型水资源短缺，远距离调水应与饮用水除污染进行经济比较。据测算，在城市自来水厂因进行饮用水除污染而增加的投资约和 25~50km 输水投资相当，即当调水距离超过 25~50km 时，其投资将比饮用水除污染工程投资要高。为降低远距离调水的成本，有的工程采用明渠输水。据调查，明渠输水大多数会受到污染，调来的水还需要进行饮用水除污染处理，使水的成本更高。

水对于人类社会，虽然是不可替代的，却是可以再生的。水在城市用水过程

中，不是被消耗掉了，即水量上不发生变化（理论上），而只是水质发生了变化，失去了使用功能。用水处理的方法改变水质，使之无害化、资源化、特别是再生回用，就能实现水的良性社会循环，既减少了对水资源的需求，又减少对水环境的污染，一举两得，这对人类社会的发展是有重大意义的。

远距离调水，对水资源有限的地区，只能愈调愈少，是资源消耗的做法。水如再生回用，实现水的良性社会循环，才是资源节约型的做法。只有将远距离调水与水的再生回用进行经济上的、技术上的和工程可行性等全面论证的基础上统筹考虑，才是合理的。

鉴于人们决策时对城市节水及污、废水再生回用的认识不足，有必要制订优先进行城市节水及污废水再生回用的政策，促使城市水资源的可持续利用和水工业发展步入节水型的轨道。

1.1.5 水的社会循环的工程设施

水的社会循环，是通过一系列工程设施来实现的，主要有：

1. 水资源的保护和利用：无论是地表水资源，还是地下水资源，其水质水量都需要用工程措施加以保护。对于地下水资源，应合理开采，不应超采，以免引起生态环境恶化、地面沉降等不良后果。对于地下水源地，还需要建立卫生防护地带，以确保水质不受污染。对于地表水资源，需要进行流域的统筹规划。水源上游的水工、河工工程，应使水源水量得到保证。水源地附近的河床，应采取工程措施保证其稳定可靠。水源地的水质，应确保不受污染。水源地上游的城市污水和工业废水应得到治理。水源地附近，应建立卫生防护地带。

2. 取水工程：对于地下水源和地表水源，都有其专门的取水工程，将水从天然水体取集过来。由于地下水源和地表水源的类型以及条件各不相同，所以取水工程也是多种多样。

3. 水泵站：一般水源地地势较低，城市和工厂地势较高，此外，水源和用户之间还有一定距离，要将水由低处抽送到高处，并输送一定距离，需要用专用的水力机械——水泵对水加压。设置水泵的建筑物，称为水泵站。在水的社会循环过程中常常需要对水进行多次加压，所以水泵的使用是非常的普遍。取水泵站是取水工程的重要组成部分。

4. 给水处理厂：水源水质一般尚不能满足城市和工业企业的要求，所以常用物理的、化学的、物理化学的以及生物学的方法对水进行处理。城市给水工程既要供应居民生活饮用水，也要供给工业用水，所以城市水厂一般都按生活饮用水的要求对水源水进行处理，各工业企业对用水水质有特殊要求的，再在企业内对自来水作进一步处理，以满足生产要求。

给水处理厂既可设于水源地附近，也可设于城市附近。

5. 调贮构筑物：城市和工厂由天然水体取水，一般取水量在一天 24 小时是相

对均匀的，但城市和工厂的用水则是不均匀的，为保证供应用水，需设置一定容积的调贮水池，当用水量少时，多余的水贮于水池中，当用水量多时，不足水量由贮水池进行补充。此外，有时取水水质恶化时，如泥沙含量过高，或受海水影响含盐量过高，需中止取水，为此也需要设置贮水池，等等。

6. 输、配水系统：一般城市水源都位于城市上游。水源水在水厂被净化后，用输水管道输往城市，再由沿街道敷设的管道将水分配到千家万户以及工厂等用水单位。城市街道纵横交错，所以配水管道事实上形成一个网络，即管网。因城市具体情况、地形高差等不同，城市管网可以是单一的，也可以是分区的。为控制调节、维护管理的需要，在输水管路和管网上还设置了大量闸阀、消火栓等附属构筑物，从而形成一个复杂的输、配水系统。

7. 建筑水工程：住宅建筑是人们生活起居的地方。每一住宅单元内都设有厨房用水设施、卫生洁具等，供人们生活使用。自来水由城市管网送入住宅楼内，经管道系统配入各户。用过的污水，经排水管道收集，排出楼外。此外，住宅楼还有热水供应、消防及排除雨水等要求。大型公用建筑对消防的要求非常高，消防系统也非常复杂。此外，还常有空调冷却、水景、泳池等用水的要求。现代建筑中，建筑水工程是提高生活质量，保障安全的重要设施。

在建筑小区和大型公共建筑群地区，水还用于浇洒绿地、园林、道路，以及许多公共服务行业，所以设有小区给水、排水、雨水等小区水工程。

8. 工业水工程：位于城区的工厂，大多数由城市管网供水。水经工厂给水管网配往各车间及用水部门，用过的水流出车间，由排水管网收集，然后排入厂外城市排水管网。在工厂中，由各车间排出的废水，如含有重金属等毒质，需经局部处理，使水质符合排入城市排水管网的水质要求。工厂内的给水管网，也供应各车间及工作部门的生活用水以及消防用水。此外，为排除厂区的雨水需设雨水管网。

城市自来水的品质，常不符合工厂某些特殊用水的要求，为此常设有专门的水处理车间。为提高用水效率和节约用水，工厂内常建设循环用水和水的重复利用系统，包括专用的泵站、管道、水处理设备等。所以，工业水工程是很复杂的，特别是对于大型工业企业。

9. 污水排水系统：由住宅、公用建筑、工厂排出的污、废水，都经排水管网汇集，然后流入污水处理厂。排水管网系统中，包括排水井、检查井、消能井，以及提升污水的污水泵站等。

10. 污水处理厂：在污水处理厂中，使用物理的、化学的、生物的方法将废弃物除去，使处理后的水质满足排入天然水体的要求。由于城市污水中主要含有机污染物，所以生物处理的方法在污水处理厂中使用得非常普遍。污水经处理后，水质达到排入天然水体的要求，方可排入水体。

污水经处理后形成的污泥，仍含有大量的有机物，可经消化产生沼气用作发

电；可脱水干燥后制成有机肥料出售；可焚烧发电等。

11. 雨水排水系统：大、中城市市区都占有很大面积，一遇暴雨，如雨水得不到及时排除，将会淹没房屋和工厂，造成灾害。雨水排水系统就是为迅速排除地面雨水而设置。

雨水排水系统与城市污水系统完全分开的，称为分流制雨水排水系统。由于降雨初期，雨水能将地面大量污物冲刷并排入水体，造成污染，这是分流制的缺点。将降雨初期雨水排入城市污水排水系统，以后比较清洁的雨水再直接排入水体，这种两者结合的系统，称为合流制雨水排水系统。

12. 城区防洪：紧临城区有山体坡地，遇暴雨山溪洪水暴发，会淹没城区，形成灾害，所以环城区周围需设排洪沟渠。

以上系统组成，主要是围绕城市来讨论的，可称为市政水工程。当工业企业远离城市时，也需要上述类似的组成部分，这比城市内工业企业的水工程的组成要复杂。

13. 农业水工程：传统的农田灌溉，是通过渠道系统向农田进行大水漫灌，用水效率很低。现正发展的高效节水农业，即使用喷灌、地下管道灌溉、滴灌等，当以地表水为水源时，水中浑浊杂质会沉积管中，堵塞管道，所以对水需要进行适当处理。现代畜禽工厂化养殖，不仅要供应畜禽清洁的饮水，并且畜禽的排泄物含有大量有机物会污染环境，需要加以处理。水产工厂化养殖，需要对循环水进行处理，等等。所以现代化农业水工程，已把水质提高到重要位置。

1.2 21 世纪的朝阳产业——水工业

1.2.1 水工业的产生和发展

改革开放以来，我国已由社会主义计划经济体制向社会主义市场经济体制转变。在计划经济体制下，作为城市基础设施的“给水排水”事业，被归入“生活”类设施，在改革开放以前执行的“先生产，后生活”建设方针情况下，不仅发展缓慢，并且水被作为一种“福利”，几乎无偿地供给居民，水价甚至低于成本，城市供水行业大多在“政策性亏损”条件下运营，建设靠政府投资，亏损靠政府补贴，缺乏自我发展机制。

在社会主义市场经济体制下，水作为一种特殊商品正在进入市场，采集、生产、加工商品水的产业，称为“水工业”。水工业是以水的社会循环为服务对象，为实现水的社会循环提供所需的工程建设、技术装备、运营管理和技术服务。它与服务于水的自然循环的“水利工程”，构成了水工程的两个方面。

改革开放 20 年来，我国水工业已经有了很大发展，市政水工程和建筑水工程已经积累了数千亿元的资产。在跨入 21 世纪之际，在水危机严峻形势促进下，政

府正加大向水工业的资金投入，社会各渠道的资金也在大量向水工业转移，大量工程在开工建设，一派繁荣景象，作为 21 世纪朝阳产业的水工业，将迎来更大的发展机遇。

1.2.2 水工业的组成

根据我国目前的情况，水工业产业体系可以初步分为以下四个部分，涉及城市和工业许多领域。

(1) 水工业运营业

围绕采集、净化、供给、保护、节约、使用、污水处理和再生回用等互相关联的环节而产生的各种企业和部门构成了水工业企业的主体，这些企业通过水工业工程设施的运行和管理，为社会经济发展的各个领域提供各种各样的水质水量及其载体功能。这些企业按供水对象来划分，主要包括：

- 城镇自来水生产和供应企业
- 工业厂矿供水工程运营部门与企业
- 特种水生产和供应企业
- 城市排水管理单位或企业
- 污水处理和再生单位或企业
- 回用水生产及供应单位或企业
- 建筑水工程运营部门
- 农业水工程运营单位或企业

(2) 水工业工程建设业

水工业工程设施是水工业发展的硬件基础，其建设和运行具有独立的技术体系和学科体系作为支撑，以及独特的要求和特点，需要高度专业化的建设和安装企业。水工业工程设施建设和安装业的健全和发展对我国水工业的发展起着重要的保障作用，涉及的工程建设领域主要包括：

- 水资源调控和保护工程
- 取水和输水工程
- 水处理和净化工程
- 供水管网工程和输配工程
- 污水管网工程和输送工程
- 雨水管网工程
- 污水处理和再生工程
- 污水回用工程
- 节水工程
- 城市防洪工程
- 建筑水工程

- 工业水工程
- 农业水工程

(3) 水工业设备制造业

水工业设备与器材制造业是水工业发展的支柱工业。涉及的主要技术设备和器材包括：

- 水工业管材与其他器材
- 建筑水工程设备器材
- 优质和安全饮用水净化（成套）专用设备
- 工业水工程专用设备器材
- 农业水工程专用设备器材
- 污水处理和再生（成套）专用设备
- 水工业仪器仪表
- 水工业信息、自动控制系统
- 节水设备与器具
- 工业通用设备
- 水工业药剂

(4) 水工业知识产业

水工业知识产业指水工业的科研、设计、开发、服务等水工业综合技术服务业，它是水工业发展和建设的重要软件基础，涉及的服务领域主要包括以下几个方面：

- 工程规划、勘探与设计
- 产品与设备开发、研制和设计
- 水资源和水环境评价
- 技术标准和技术监督
- 科学研究、科学试验和技术开发
- 技术和市场信息咨询服务
- 教育和培训
- 水工业金融投资服务业

1.2.3 水工业的特点

在社会主义市场经济条件下产生和发展起来的水工业，具有区别于传统“给水排水”的显著特点。

新中国成立之前，我国只在少数大城市的租界区有规模很小的给水排水设施。解放以后，随着国民经济的发展，开始在城市和工业企业建设给水排水设施，当时主要是解决有无问题，即水量是主要矛盾。那时，水源水质相对较好，城市和工业对水质的要求也相对较低，同时进入社会循环的水量较小，虽然污、废水的

处理发展相对滞后，但对水环境的污染也相对较轻，所以水质问题尚不突出。进入 80 年代以后，我国开始步入社会主义市场经济，社会经济高速发展，但同时以水资源短缺和水环境污染为标志的水危机日益严重。水环境污染与人们对饮用水水质不断提高的要求的矛盾日益增大；高新技术的发展也使工农业对水质的要求大为提高。在向社会可持续发展作战略改变中，水资源的可持续利用要求实现水的良性社会循环，要求进行污、废水的处理和再生回用。这样，在水工业的水量和水质两个方面，水质矛盾就日益突出而上升为主要矛盾。

知识经济时代的水工业有着高新技术化的鲜明特点。高技术有助于保证最优工艺质量，从而改造整个生产工艺方式。计算机技术、信息技术、生物技术、材料科学、自动控制技术、系统科学等新技术及其手段与方法向水工业技术领域的渗透、移植和交叉，推动了水工业工程技术的高新技术化和产业化。

传统上，给水排水是土木工程的一个分支，水处理工艺过程主要是通过土建构筑物来实现的。现在进入社会主义市场经济以后，在激烈的市场竞争中，水工业开始了设备化的进程，因为设备化，才能更快地实现产业化。设备化便于使技术集成化，以满足市场对技术水平及实用性不断提高的要求，满足对不同水量、水质以及不同技术经济条件下产品成套化和系列化的要求。设备化更便于高新技术向水工业的移植，以带动水工业整体科技水平的提高。所以，水工业也开始了由土木型向设备型的转变，从而反映了水工业的产业化和市场化的方向。

水工业的另一个显著特点是管理的科学化。水工业运营业是水工业的主体。如何提高管理水平、如何保证水的产品质量、如何降低消耗、如何提高劳动生产率等等成为水工业企业科学管理水平的关键。另一方面，现代管理科学的发展，计算机和自动控制技术的不断发展和应用领域的不断扩大，为水工业管理的科学化提供了硬件基础。

科学管理体系，涉及水资源管理系统，城市供水优化调度系统，城市水处理系统基础数据库，水处理方案优化，水处理 CAD，水厂处理工艺流程的优化及自动控制，水工业管理信息库，以及城市地理信息系统等领域。随着科学技术的不断发展，水工业企业的管理水平面临一次新的飞跃，对水工业来说，未来的时代将是科学管理的时代。

1.3 “城市水工程”学科是水工业的主干学科

任何工业都是一个综合体系，都需要多种学科的支持，特别是主干学科的支持。“城市水工程”学科就是支持水工业的主干学科。

“城市水工程”学科是以水的社会循环为研究对象，以水质为中心，研究其水质和水量的运动变化规律，以及相关的工程技术问题，在社会主义市场经济条件下，以实现水的良性社会循环和水资源的可持续利用为目标的工程技术学科。

水工业主要以城市水工程学科的科学理论为指导，城市水工程学科以水工业发展中提出的问题特别是前沿课题为研究对象，以科技进步带动水工业发展和进步。“科技是第一生产力”。所以，城市水工程学科对于水工业的发展将起极其重要的作用。

学科是以其研究对象及矛盾的特殊性而相互区别的。但学科除有其不同的内涵外，还有其外延部分，所以各学科相互交叉渗透是普遍现象，并常常在交叉的边缘上发展出新的学科——边缘学科。城市水工程学科也不例外。城市水工程学科的外延，与多种学科有交叉，如水利工程、土木工程、环境工程等。下面简述水工业与这些学科的关系。

1.3.1 城市水工程学科和水利工程学科的关系

前已述及，水利工程学科主要是以水的自然循环为研究对象，而城市水工程学科主要是以水的社会循环为研究对象，从而构成了水工程学的两大支柱。但水的自然循环和社会循环有时并无明确的界限，加之两学科都是以水工程为研究对象，所以两学科外延的相互交叉是不可避免的。两者的交叉可以举出以下几个方面：

1. 水资源方面：水利工程学科研究的是整个流域的水资源。城市是人口和工业集中的地区，城市水工程学科研究的是城市和工业水资源，即城市和工业周围地区的水资源。

2. 取水工程方面：两个学科都把天然水体（地下水、地表水等）取水的工程技术问题作为本学科的研究内容。

3. 农业用水方面：农业用水应是水的社会循环的一部分。工厂化养鸡、养猪、养牛、水产品养殖等的用水和排水，无疑是水工业的内容。随着节水灌溉技术的发展（如喷灌、滴灌、地下灌溉等），就需要对水进行处理，使之有可能部分转入水工业的领域。

4. 水质方面：在水的质和量方面，水利工程学科传统上重点研究水的量的问题，而对水质则主要研究其物理性质（如泥沙问题等）。所以水利工程学科是以水力学和力学为基础的。城市水工程学科则以水质为中心，以水化学、水微生物学和水力学为基础。但水利工程学科现在也开始提出，要重视水的化学性质的问题，所以今后在水质方面的交叉会增多。

1.3.2 城市水工程学科与土木工程学科的关系

土木工程学科是以力学为基础的学科体系。传统的给水排水工程是土木工程学科的一个分支，取水和水处理过程主要是以土建构物来实现的。但是，现代水工业已发展到以水质为中心，现代水处理已由传统的土木型向设备型和集成型发展，设备集成的技术含量及投资比例不断提高，从而反映了水工业技术的设备

化、产业化和市场化方向。相应地，城市水工程学科也开始从土木工程学科中分离出来，进而发展成为相对独立的学科。虽然现在水处理过程采用的设备愈来愈多，但仍有相当部分采用土建构筑物，即现在水工业处于向设备化的过渡阶段，所以两学科虽然已相对独立，但仍有密切关系。

1.3.3 城市水工程学科与环境学科的关系

水工业与环境工程是在不同历史背景下发展起来的。社会发展的需要是生产力和科学技术发展的最强大的推动力。人类的发展有上百万年的历史。在人类发展的低级阶段，生产力低下，不得不与自然力进行抗争，以求生存。随着生产力发展起来，特别是近百年科技突飞猛进，已开始取得对部分自然力的支配地位，人类也开始了对自然资源的大规模开发和利用，从而使人类的物质文明获得巨大进步。所以，长期以来，生产力和科技发展都是以社会发展的需要为主导。例如，石油化工业，以石油为原料，进行石油的提炼和深加工，获得各种油品，以满足社会发展的各种需要，这是石油化工业的主导方面。社会对水的需要也类似，水工业由天然水体取水，经水质处理，然后输配给用户，以满足人们生活和社会生产发展对水质水量的各种需求，这也是水工业发展的主导方面。但是，随着人类对自然资源的无节制的开发和生产迅速发展，也导致资源的浪费和环境的破坏，现在已发展到了足以威胁人类生存的地步。人类需要重新思考与自然和环境的关系。走可持续发展的道路，才是惟一的出路。可持续发展战略的提出，是人类与自然和环境关系观念的历史性转变。

走可持续发展的道路，就是要求节约资源和保护环境，就要求生产的发展模式从传统的资源消耗型转变为资源节约型，从损害环境型转变为环境协调型，从技术落后型转变为技术先进型，从经营粗放型转变为科学管理型。人类社会可持续发展现在已经成为生产力和科技发展的强大推动力。所以，与生产发展相比，环境保护和污染治理只是近数十年才开始成为社会的重要课题。

对一般工业而言，生产发展造成环境污染，对该工业的发展只有间接的影响，而没有直接影响。但是水工业就不同了，废水对天然水体造成的污染，会使生活饮用水和生产用水的水源水质严重恶化，从而对水工业的发展造成直接的影响。所以，水工业必须将水的供给及处理和废水的治理统一考虑，需要以整个水的社会循环作为考虑对象。

环境工程学科以环境污染防治作为研究对象，内容涉及水、气、渣、噪声、热、光、电磁辐射等等领域，而水污染的防治仅作为其内容之一。在我国的水污染防治方面，由于环保部门和市政部门的行政分割，环境工程更多地从事工业废水的处理工作。所以，两学科都把工业废水的处理作为本学科的研究内容。

过去环境工程只着眼于被动地从末端治理以求环境质量的改善。现在将清洁生产的概念引入环境工程，开始着眼于在生产全过程中去减少和消除环境污染，变

被动为主动，从而极大地丰富了环境工程的内涵。环境工程与清洁生产相融合，亦即与各种工业生产工艺相融合的发展方向，将使不同工业的环境工程更具各不同工业的特色，各种不同工业的专业人员愈来愈多地参与环境工程，将是不可避免的必然趋势，而“通用型环境工程”的领域将会减小。从这种趋势看，水工业与环境工程的交叉可能会日趋减少。

第 2 章 水资源的保护与利用

2.1 地球上的水资源

2.1.1 水资源的含义与特性

1. 水资源的含义

水是地球上最为普遍存在的物质之一。作为一种自然资源，其价值十分丰富广泛，通常可表现为维持生物生存、社会生产正常运转的功能价值；维持生态平衡、提供良好生息条件的环境价值；以及蕴藏在水流里的能量价值等诸多方面。

在国内外的权威书刊中，对“水资源”的定义有不同的叙述，如在联合国教科文组织和世界气象组织共同编制的《水资源评价活动——国家评价手册》中将水资源定义为：可资利用或有可能被利用的水源，具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。《中国大百科全书》中水资源的定义是：地球表层可供人类利用的水，包括水量（质量）、水域和水能资源。一般指每年可更新的水量资源。而在《简明大不列颠百科全书》中水资源的定义则为：世界水资源包括地球上所有的（气态、固态或液态）天然水的总量。

从中可看出，水资源的定义有广义和狭义之分。广义的水资源是指地球上所有的水。不论它以何种形式、何种状态存在，都能够直接或间接的加以利用，是人类社会的财富，属于自然资源的范畴。狭义的水资源则认为水资源是在目前的社会条件下可被人类直接开发与利用的水。而且开发利用时必须技术上可行、经济上合理且不影响地球生态。此外，狭义的水资源除了考虑水量外还要考虑水质。不符合使用水质标准、或用现有技术和经济条件难以处理达到使用标准的水也不能视为水资源。极地冰川是地球上最大的淡水资源，但是由于远离人类聚居区，利用时很不经济；山地冰川利用起来虽然较极地冰川容易，但直接利用时会造成山地冰川的不可恢复性破坏，而只能利用自然融化的山地冰川水；海水是地球上最大的水体，但由于其含盐高，因而除了少量的用于海水淡化、直接冲厕或工业冷却外，还没有被人类大规模地开发利用。

因此，通常所说的“水资源”是指陆地上可供生产、生活直接利用的江河、湖沼以及部分储存在地下的淡水资源，亦即“可利用的水资源”。这部分水量只占地球总水量的极少一部分。

如果从可持续发展的角度来看，水资源仅指一定区域内逐年可以恢复更新的