



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

给排水科学与工程概论

(第三版)

李圭白 蒋展鹏 范瑾初 张勤 编
许保玖 主审

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

给排水科学与工程概论

(第三版)

李圭白 蒋展鹏 范瑾初 张勤 编
许保玖 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

给排水科学与工程概论/李圭白等编. —3版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 3

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. 高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-21562-1

I. ①给… II. ①李… III. ①给排水系统-高等学校-教材 IV. ①TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 291120 号

本书是高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材、住房和城乡建设部土建类学科“十三五”规划教材。全书共 8 章, 第 1 章“给排水科学与工程”学科与水工业; 第 2 章水的利用与水源保护; 第 3 章给水排水管网系统; 第 4 章水质工程; 第 5 章建筑给水排水工程; 第 6 章给水排水设备及过程检测和控制; 第 7 章水工程施工与经济概述; 第 8 章“给排水科学与工程”学科与相关学科的关系。

本书作为高等院校给排水科学与工程专业及环境工程等相关专业本科生教材, 也可供工程技术人员参考。

为便于教学, 作者特制作了与教材配套的课件, 如有需要, 可发邮件至 cabpbeijing@126.com 索取。

责任编辑: 王美玲

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 李欣慰

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材
给排水科学与工程概论

(第三版)

李圭白 蒋展鹏 范瑾初 张勤 编
许保坎 主审

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 字数: 295 千字

2018 年 3 月第三版 2018 年 3 月第二十六次印刷

定价: 26.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-21562-1

(31223)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第三版前言

《给水排水科学与工程概论》(第二版)出版至今已有七年,这段时期我国水工业高速发展,特别是信息科技、材料科技、生物科技等高新技术的发展,不断推动着水工业的现代化。为了反映水工业现代化的现状,本版在第二版的基础上对内容作了若干增补和修改,以求适应时代要求。

在本版书稿编写过程中,主要编写人员之一龙腾锐先生不幸因病逝世,在此特表哀悼!参加本书的编写人员因此略有调整:李圭白(前言、第1、第4章),蒋展鹏(第2、第8章),范瑾初(第3章),龙腾锐、张勤(第5、第7章),范瑾初、曹达文、董秉直(第6章),李圭白主编,许保玖主审。

因编写人水平有限,不足之处在所难免,欢迎批评指正。

第二版前言

《城市水工程概论》(第一版)是在“给水排水工程”向“给排水科学与工程”的专业教学改革过程中于2002年编写出版的,那时曾将“给水排水工程”专业改名为“城市水工程”专业,所以第一版的书名为“城市水工程概论”。在现修订版中,书名定为《给排水科学与工程概论》,以与专业名称一致。

近年来,给排水科学与工程发展很快,为了及时反映学科发展的现状,修订版在内容上作了若干增补和删减;此外,我们也在许多学校使用本书第一版教学的基础上,广泛听取意见,对书的内容及其组合也作了若干调整;以求本书修订版的质量较第一版有所提高。

参加本书编写的人员有:李圭白(前言、第1、第4章),蒋展鹏(第2、第8章),范瑾初(第3章),龙腾锐(第5章),范瑾初、曹达文、董秉直(第6章),龙腾锐、张勤(第7章),李圭白任主编,许保玖主审。

因编写人水平有限,不足之处在所难免,欢迎批评指正。

第一版前言

水是生命之源。水是人类社会发展和不可缺少和不可替代的宝贵资源。

人类的生活和生产都离不开水。人类进入农业社会后，便开始用水进行农田灌溉。我国在川北平原兴建的都江堰水利工程，是古代大规模农田灌溉的范例。

人类进入工业社会后，伴随着工业的发展，也开始了城市化进程，兴建起了大量的城市和工厂，形成了大量规模不等的城市。城市是人口大量聚集的地方，也是工厂集中的地方。人们生活和工业生产都需要水，为此在城市和工厂都修建了给水排水设施，相应地也发展了给水排水工程学科。城市和工厂的给水排水设施，大多数都是以土建构筑物形式实现的。所以给水排水工程学科在传统上属于土木工程类学科。

我国的给水排水工程学科建立于 20 世纪 50 年代初。那时中华人民共和国刚成立，为学习苏联建设经验，提出了“向苏联学习”的口号，所以也模仿苏联的模式，建立了“给水排水工程”学科，在高等院校成立了“给水排水工程”专业。

新中国成立后的前 30 年，在我国实行的是计划经济体制，我国给水排水事业随着整个国民经济的发展而发展，但由于当时实行的“先生产，后生活”的发展方针，而“给水排水”被归入“生活”类，所以长期发展缓慢，大大滞后于国民经济的发展。

进入 80 年代以后，我国开始实行“改革开放”政策，国民经济开始了快速发展，相应地对水的需求成倍地增长，而我国是一个水资源短缺的国家，从而引起了供求之间的矛盾。同时，污染治理滞后，大量城市污水和工业废水未经处理排入水体，再加上农田化肥农药流失，使水环境污染情况日益严重。

80 年代后期，我国的水资源短缺和水环境污染已达到危机的程度。我国人均水资源量只有世界平均量的 1/4，加上时空分布不均，使水资源短缺造成的损害不亚于洪涝灾害。我国目前水环境污染也很严重，河段有 47%，湖泊有 75%，城市水源有 90% 受到污染，造成的损失达 GDP 的 1.5%~3%。水资源短缺和水环境污染已成为我国社会经济发展的重要制约因素，现正为缓解水危机筹集和投入大量的资金，这必将促进水工业产业的大发展。预测要基本缓解我国的水危机，需 50 年左右的时间。

我国已经进入社会主义市场经济时代，水作为一种特殊商品正在进入市场，采集、生产、加工商品水的工业，称为“水工业”。

水的循环可区分为水的自然循环和水的社会循环。由天然水体采集水，经过加工处理，以满足工业、农业以及人们生活对水质水量的需求，用过的水经适当处理再排回天然水体，这就是水的社会循环。水工业正是服务于水的社会循环全过程的一种产业。它与服务于水的自然循环及其调控的“水利工程”，构成了水工程的两个方面。

水危机推动水工业的形成和发展，水工业正迎来大发展的时代。

解决我国水危机的方针，应是以水资源的可持续利用支持我国社会经济的可持续发展。为此水污染治理和节水，是两个最重要的环节。只有在发展供水的同时，同步发展排

水和污水处理,才能保护水环境,使水资源可持续利用成为可能。同时,水环境污染与人们对饮用水水质不断提高的要求之间的矛盾也日益增大,这样在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。

我国现在的工农业及城市用水量,正向我国水资源的极限量逼近,所以节水势在必行,必须向建设节水型工业、节水型农业、节水型城市、节水型社会的方向发展。为节水,需要巨资,而其产出效益更大,所以,一个节水产业正在兴起,它是水工业的重要组成部分。

我国正进入高新技术时代。90%以上的污水、废水是用生物技术处理的,生物工程等高新技术将在水处理中得到广泛的应用。水工业是一个要求生产高质量水的产业,又是耗能的产业。电子信息、计算机等高新技术已在控制、节能、优化、安全、管理等众多领域得到应用。新材料、新设备(包括膜技术)等都不断为水工业所采用。高新技术正推动水工业向现代化方向发展。

水工业对提高人类生活质量已作出了重大贡献。城市是人类大量聚集的地方。在历史上,自从城市出现以后,就伴随着疾病的大流行,其中水介传染病是对人们生命健康威胁最大的流行病之一。直到20世纪,人们终于找到了城市集中供水的方式,和对饮用水进行处理和消毒的技术,从而基本上制止了水介传染病的流行,大大增进了健康,延长了人们的寿命。西方国家在工业化的过程中,环境也受到严重污染,只在20世纪下半叶才着重对环境污染进行治理,即走的是一条“先污染后治理”的道路,现在发达国家的水环境已得到很大程度的恢复。正当世纪之交,美国组织大量专家权威,以提高人类生活质量为标准,对20世纪100年来最重大工程技术进行评选,并从提议的一百多项工程技术项目中评出了20项,其中“给水”仅位于电气化、汽车、飞机之后,名列第四,足见其重要性。

以水资源短缺和水环境污染为代表的水危机,不仅限于我国,也是一个世界性问题。世界上许多权威性国际组织近年来不断发出警告,如国际人口研究组织1997年发表研究报告认为“在未来50年里,全世界至少有1/4的人口将面临水资源短缺”,联合国水资源大会指出,“水不久将成为一场深刻的社会危机”。国际国内水危机的发展和加深必将促进水工业的发展。可以预计,水工业作为21世纪的朝阳工业,前途是远大的。

每一种产业都需要有相应的学科和专业的支持才能得到发展。“城市水工程”即为水工业的主干学科,它以水的社会循环为研究对象,在水量和水质两个方面以水质为中心,加强化学和生物学基础,保持工程传统,向城市水资源、市政水工程、建筑水工程、工业水工程、农业水工程,节水产业等方向全面拓宽,以适应市场经济和满足水工业发展的需求。

将“城市水工程”学科与近50年前成立的“给水排水工程”比较,研究对象从作为“城市基础设施”扩展为“水的社会循环”,学科的主要矛盾从“水量”转变为“水质”,即学科性质已发生了质的变化,所以在“给水排水工程”学科的基础上成立新的学科和专业“城市水工程”,应是历史的必然。目前,世界各国中只有我国仍沿用“给水排水工程”学科名称(俄国也已将该名称改掉),十分不利于与国际接轨和交流。

21世纪的朝阳产业——水工业,需要大量专业人才。给水排水专业成立至今50年来,人才需求长期保持旺盛。据预测,21世纪上半叶我国城市人口将从现在的3.7亿增

加到 10 亿左右，城市化进程将使市政水工程获得大发展；住宅建设已成为我国的支柱产业，建筑水工程是住宅建设的重要组成部分；工业的迅速发展及高新技术化，对工业水工程的水质水量都提出更高的要求；特别是农业从粗放的大水漫灌向节水高效方向发展，为农业水工程提供极大的发展空间；全力建设节水型社会，将使节水产业获得大发展。展望未来，我国社会经济的快速发展，将带来水工业的大发展，专业人才的社会需求将会进一步扩大。人才的市场需求是建立专业的根本。所以，“城市水工程”专业的设置是非常必要的。

本书是供进入“城市水工程”专业的大学一年级新生学习的。希望通过本书，使新生能对我国水危机的严峻形势有一个概要的了解，以增强危机感和使命感；使新生能对本学科的主要内容有一个概括的了解，以增强学习的目的性；使新生对水工业在新世纪的远大发展前景有一初步的了解，以增强投身于水工业和城市水工程学科事业的决心；使新生对城市水工程学科要求的基础理论、相关学科、现代科学技术，以及高新技术等丰富的科学技术内容有一个宏观的了解，以提高学习兴趣，增强学习信心。

参加本书编写的人员有：李圭白（前言、第 1、第 4 章），蒋展鹏（第 2、第 8 章），范瑾初（第 3、第 6 章），龙腾锐（第 5 章），龙腾锐、张勤（第 7 章），李圭白任主编，许保玖主审。

本书是一本教科书，书中由有关书刊及科技文献引用了大量资料，无法在书中一一注明出处。在此向被引用资料的作者一并致谢。

因编写人水平有限，不当之处有所难免，欢迎批评指正。

目 录

第 1 章 “给排水科学与工程”学科与水工业	1
1.1 水的自然循环和社会循环	1
1.2 21 世纪的朝阳产业——水工业	9
第 2 章 水的利用与水源保护	14
2.1 水资源	14
2.2 中国水资源状况	23
2.3 水的利用与给水水源工程	29
2.4 水资源的保护与管理	41
第 3 章 给水排水管网系统	45
3.1 概述	45
3.2 给水排水管网系统的构成	47
3.3 给水排水管网系统规划和布置	51
3.4 给水排水管网系统运行管理	62
3.5 给水排水管道材料和配件	65
第 4 章 水质工程	70
4.1 水质、水质指标和水质标准	70
4.2 水的物理、化学及物理化学处理方法	83
4.3 水的生物处理方法	91
4.4 水及污、废水的处理工艺及水处理技术的发展	97
第 5 章 建筑给水排水工程	103
5.1 概述	103
5.2 建筑给水系统工程	104
5.3 建筑排水系统工程	109
5.4 建筑消防系统工程	114
5.5 居住小区给水排水系统工程	117
5.6 高层建筑给水排水系统的特点	122
第 6 章 给水排水设备及过程检测和控制	126
6.1 概述	126
6.2 给水排水设备	127

6.3 给水排水水质检测 133

6.4 给水排水工艺过程检测和控制 139

第7章 水工程施工与经济概述 147

7.1 概述 147

7.2 水工程构筑物的施工技术 147

7.3 水工程室外管道施工 149

7.4 水工程室内管道及设备安装施工 151

7.5 水工程施工组织 154

7.6 水工程经济 157

7.7 水工程法规 166

第8章 “给排水科学与工程”学科与相关学科的关系 171

8.1 “给排水科学与工程”学科体系的组成 171

8.2 “给排水科学与工程”学科与相关技术学科的关系 174

8.3 “给排水科学与工程”学科与社会科学学科的关系 177

受、蒸发的水蒸气随气流运动到高处，然后以雨、雪等形式落到地面。一部分形成地表水，一部分渗入地下形成地下水，一部分又被蒸发返回大气。地表水和地下水最终被河流海洋、流纹岩降水自然循环。



图 1-1 水的自然循环

雨水落至地面，或雪融化成水后，在高低不平的地面，水将沿不同坡度形成河川和湖泊。渗入地下的水，在地下含水层中流动，形成地下水层。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。

我国处于东南季风气候带，夏季多暴雨，常引起河川及湖泊水流量骤增，造成洪水泛滥。为减轻经济损失，常常筑坝修水库，即人工坝。水库还常用作发电，以及农田灌溉和城市供水等。为航运，引水灌溉等需要，还修建运河。

水的自然循环及其调控，是水利工程专业学科的研究对象。

水是人类的生存、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 2~3 L 水。人们还不断下井水、如喷洗食物、洗澡、洗衣服、洗刷、冲厕、洒扫等等，每人每天用水量约在 100 L 左右，室内用水量。此外，生活习俗、季节不同而异。城市居民全国平均为 140 L/(人·d)，这些是住宅厨房厕所用水。此外，社会公共建筑，如学校、机关、医院、旅馆、饭店、理发、娱乐场所等都要用水。各国、产地的水果、饮料等，道路以及消防等也要用水。家庭生活用水与公共用水之和，对城市居民全国平均为 370 L/(人·d)。全国生活用水量约占全国用水总量的 12%~15% 左右。

工业生产离不开水。工业生产有成千上万个门类，其在生产过程中的用水情况各不相同。技术在工业生产中的应用和性质可粗略地分为以下几类：(1) 冷却用水；(2) 洗涤用水；(3) 加热用水；(4) 工艺用水；(5) 消防用水；(6) 其他用水。

第 1 章 “给排水科学与工程”学科与水工业

1.1 水的自然循环和社会循环

1.1.1 水的循环与水危机

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。

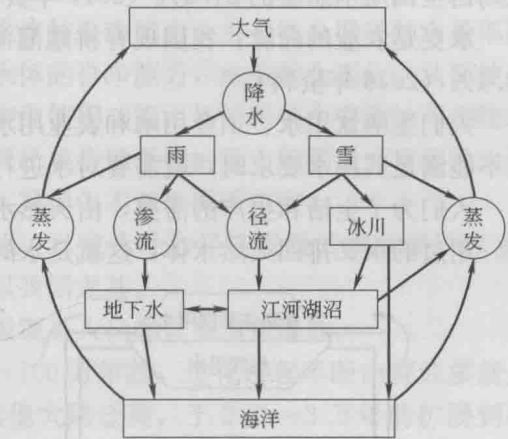


图 1-1 淡水的自然循环

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。地下水流到地面,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。

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,如清洗食物、洗餐具、洗涤衣物、洗浴、冲厕、清洗房舍等,每人每天用水量因居住地区、室内设备、生活习惯、季节不同而异,城市居民全国平均为 140L/(人·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 210L/(人·d)。全国生活用水量约为全国用水总量的 12.2% (2007 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；制矸等化学工业；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。现在全国工业用水量约占全国用水总量的 21.6%（2016 年资料）。

水更是农业的命脉。我国现有耕地灌溉面积约为 40%，用水量约占全国总用水量的 62.4%（2016 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）所示。

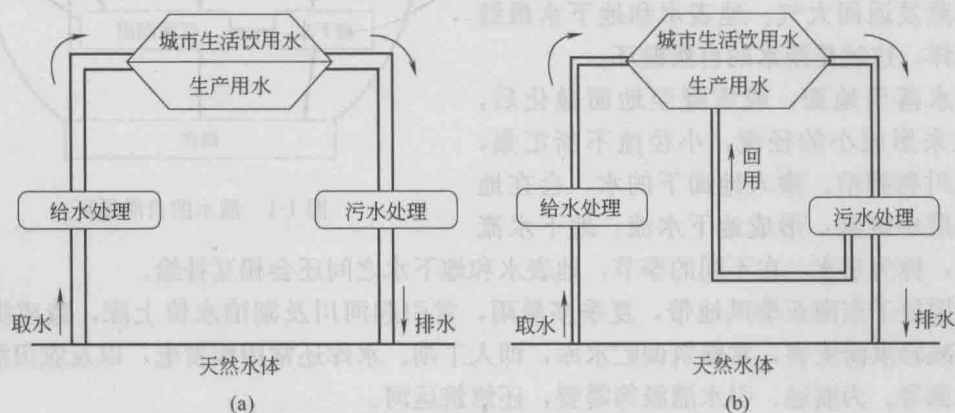


图 1-2 水的社会循环

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 万亿 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 万亿 m^3 ，按 2012 年人口统计，人均水资源量为 2100 m^3 ，仅为世界平均值的 28%。预测到 2030 年人口增至 16 亿时，人均水资源量将降到 1760 m^3 。按国际上一般标准，人均水资源少于 1700 m^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 6040 亿 m^3 （2016 年资料）。经分析，我国实际可能利用的水资源约为 8000 亿~9500 亿 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%，国民经济总产值 (GDP) 占 32%，而水资源仅占 7.7%，人均约 $500m^3$ ，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。

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，其损失不亚于洪涝灾害。

以水资源短缺和水环境污染为标志的水危机，已成为社会发展的重要制约因素。水危机不但存在于我国，而且是世界性的，而以我国尤甚。

水危机是人类危机的一部分。人类危机的根源是人口爆炸和消费爆炸。

人类人口爆炸的历程：人类出现于 400 万~700 万年前，进化过程不断出现许多新物种；现代人人种出现于非洲，于 10 万年前向其他大陆迁徙，于 2 万~3 万年前扩展到各大陆，其他人种相继绝灭。

现代人人口爆炸始于 1 万年前的农业革命，进程见表 1-1。

人类人口爆炸的历程

表 1-1

时间	人口数/百万	人口翻一番的时间
1 万年前	约 2 亿~3 亿	约 1500 年 (农业革命)
2000 年前	5 亿	1500 年 (工业革命)
1650	10 亿	200 年
1850	20 亿	80 年
1975	40 亿	45 年
1999	60 亿	24 年
2011	70 亿	12 年
(2023)	(80 亿)	(48 年)

中国人口翻一番的时间 (新中国成立后)，见表 1-2。

中国人口翻一番的时间

表 1-2

时间	人口	人口翻一番的时间
1952 年	6.02 亿	43 年
1995 年 12 月 15 日	12.0 亿	

地球上的人口数不仅加速增长，并且人类消费的资源也在加速增长，并且已经到了爆炸的程度。20世纪最后25年能源消费量已经超过以前人类能源消费量的总和。按现代人均消费量，有的科学家进行了一个计算，即地球能养活多少人，公式为：

$$\text{地球养活的人数} = \frac{(\text{太阳供给地球总能量}) \times 1\%}{\text{平均个人消费量}} = 82.5 \text{ 亿}$$

这个计算可能不很准确，但它说明地球的承载力是有限的，人类人口是不可能无限增加下去的。

人口爆炸和消费爆炸造成资源、环境的全面危机，水危机便是其中之一。

1.1.2 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，生活和生产用过的水，含有大量废弃物，如未经处理直接排入水体，将大大超出水体的自净能力，对水体造成污染。对城市污水、工业废水以及农田排水进行处理，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的程度。在国外，已建起了每月上万立方米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，这不仅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，污水、废水回用，可缓解水资源危机。可行的污水、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，一般称为中水回用技术，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，为此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，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。

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。2014年我国城市污水处理率虽然已达到90%，由于城市污、废水量相应增加，水环境污染状况会有所减轻，但不会消除，所以，饮用水除污染与污染源治理应该同时给予重视。

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。更进一步，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变得过高。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，这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則。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都是最小的。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，所以它也是全

社会全民族的事业。

1.1.3 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1/2。我国农业灌溉水的利用系数平均约为0.53，而发达国家为0.7甚至0.8。我国万元工业增加值用水量为 59.5m^3 ，是发达国家的数倍。我国工业用水的重复利用率为40%，实际可能更低，而发达国家为75%~85%，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，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水、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km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 1000 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,1 平方公里 (km^2) 年降水体积为 50 万 m^3 ,对 100 km^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,可用于浇灌绿地、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。随我国城市化进程,城市面积会不断增长,雨洪水量还会不断增加,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水、废水回用进行经济比较。城市节水及污水、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。

1.1.4 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