

环境科学与工程丛书

城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目资助

城市节制用水规划 原理与技术 (第二版)

CHENGSHI JIEZHIYONGSHUI GUIHUA
YUANLI YU JISHU

刘俊良 编著 张杰 主审

1.64
02



化学工业出版社

环境科学与工程丛书

城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目资助

TU991.64
L633.02

城市节制用水规划 原理与技术 (第二版)

CHENGSHI JIEZHIYONGSHUI GUIHUA
YUANLI YU JISHU

刘俊良 编著 张杰 主审

TU991.64
L633.02



化学工业出版社
· 北京 ·

本书为《环境科学与工程丛书》之一。全书以节制用水规划为中心, 主要内容包括城市节制用水概论、内涵、有关术语及考核指标, 城市节水现状及其潜力分析, 城市用水量预测方法技术, 城市供水水源规划及水资源供需平衡分析, 城市节水规划目标及其实施技措, 国家节水型城市创建, 商品水水费体制与节制用水, 城市污水资源化规划, 城市雨水资源化规划。本书内容翔实, 侧重理论与实践结合, 作者在大部分章节均提出了许多新的见解和观点, 并融入了近几年已完成的相关课题成果。

本书可作为水工业及环境专业管理人员及技术人员参考用书, 也可作为高等院校相关专业师生教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

城市节制用水规划原理与技术/刘俊良编著. —2 版.
北京: 化学工业出版社, 2010. 1
(环境科学与工程丛书)
ISBN 978-7-122-07496-6

I. 城… II. 刘… III. 城市用水-节约用水-规划
IV. TU991. 64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 242451 号

责任编辑: 刘兴春 汲永臻
责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 糜家铃
装帧设计: 杨 北

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{1}{4}$ 字数 481 千字 2010 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

第一版前言

全球淡水资源极为有限,随着世界人口的增加和城市化水平的高涨,水资源危机已成为世界各国政治家、专家、学者瞩目的重大问题之一。我国是贫水国,水资源和水环境已制约了国民经济发展和人民生活水平的提高。个别缺水地区已经严重影响了人民的正常生活。节制用水、增强人民的节水意识和水资源的危机感、建立节水型社会应是我国当前和长远的国策,必对中华民族永续发展具有深远的战略意义。

为了支持 21 世纪我国城市社会、经济和环境的可持续发展,促进节水型城市的建立,解决水资源的严重不足,必须解放思想、转变观念、适时调整用水战略,进一步强调城市节约用水的主导地位,提高城市节水的科学管理水平,结合各地城市水资源状况编制城市节约用水规划。

城市节约用水规划属于专业规划,是城市水资源规划的重要组成部分,也是城市国民经济和社会发展规划的重要内容。因此城市节水规划必须在经济规划下进行。规划的根本目的在于使城市社会经济得到持续、稳定的发展,使人民的生活水平得到持续提高。按着城市水资源可持续利用的原则,要满足城市需水要求,节流永远重于开源;与此同时还要努力解决城市水资源短缺问题,并且搞好城市水资源管理和节约用水工作、采用科技手段促进合理用水,使有限的城市水资源发挥最佳经济效益、社会效益和环境效益。很显然指导思想应该是立足应用、指导决策。城市节水规划奋斗目标是城市要强化城市节约用水管理,建立比较完整的节水法规体系和管理体制;开展创建“节水型城市”和“节水型企业”活动,大力推广节水型设备、设施和器具的应用;进一步提高工业用水再用率和间接冷却水循环率的水平。城市节约用水规划的内容包括:城市水资源持续开发利用现状;城市节水现状及其潜力分析;城市用水量预测;城市供水水源规划和水资源供需平衡分析;城市节约用水规划目标及其实施技措等。

事实上全国城市节约用水规划研究刚刚起步,特别是城市节约用水规划的理论与技术亟待进一步探索和完善。本书是作者在近几年实践、研究和系统分析、编制城市节约用水规划经验的基础上,针对城市节水规划中存在的问题而编著的,可谓是有的放矢。在大部分章节中作者提出了许多新的见解和观点,融入了许多研究成果,其中相当一部分是作者业已完成的相关研究课题。

本书自始至终均以城市节约用水规划为中心,特别注重阐明有关城市节约用水规划的基本概念、原理和技术。主要内容如下。

第 1 章,介绍城市水资源的基本特征,阐述城市化水平和水资源综合利用的关系以及城市节水规划的内容、目的和意义。

第 2 章,提出城市节约用水的内涵和可持续城市水管理的基本概念。

第 3 章,全面阐释城市节水有关术语及其考核指标。

第 4 章,结合城市节水规划实例系统论述城市节水现状和节水潜力的分析方法。

第 5 章,全面、系统分析城市需水量预测的方法。结合不同城市的节水规划提出了适合城市生活和工业的需水量预测模型,如“以人均综合用水量为指标的 BP 神经网络预测模型”、“BP 神经网络与灰色模型组合预测模型”以及“SPSS 软件预测模型”等。这些预测方法与技术难能可贵也值得进一步探讨。

第6章,结合节水规划实例,论述并指出城市水资源规划及其水资源供需平衡分析的方法和途径。

第7章,介绍节水型城市的条件,以及城市2010年节水规划的各种目标,并提出了实现节水目标的实施策略和技术,为各地、各行各业节水提供了努力方向。

第8章,从水的商品属性和资源属性出发,分析现行水价体制存在的问题及水价对节水的影响,探讨水价体制改革的途径。

第9章,全面系统地介绍了城市用水定额及其指标体系的制定原理和方法,提出了虚拟定额的概念,并结合实例论证了实施方法。

第10章,从水的社会循环角度出发,指明城市污水资源化是城市节水的重要途径之一。城市供水、节水和污水处理应统一规划;城市污水再生水应作为城市供水水源的一部分。结合研究实例论述了城市污水再生水需求量的计算方法和城市污水资源化规划的原理与技术,为城市污水再生水的利用提供了切实可行的途径。

第11章,分析城市节水工程项目效益分析的特点和基本原则,讨论城市节水工程项目效益分析的方法和模型。

总之,本书强调理论与实践的结合,论述深入浅出,内容丰富翔实,信息点多。我们深信本书对编制城市节水规划、解决城市水资源短缺问题、促进合理用水、使有限的城市水资源支持城市可持续发展有一定的指导意义,所举实例颇具参考价值,甚至有触类旁通之妙。特别是引用的作者近几年的研究成果,作者倡导的节制用水的新问题和新观点,将会引起更多人的关注和思考。

本书由刘俊良编著,由中国工程院院士、哈尔滨工业大学博士生导师张杰教授主审。

应编著者之约,曾参加科研项目的王鹏飞、臧景红、李文朴、田智勇、郝桂珍、高永、尹向功、徐伟朴、杨薇、马毅妹、朱贵友、张月红、庞永俊、陈智慧等参加了本书的部分章节的编写工作。

在本书的编写过程中,哈尔滨工业大学教授、博士生导师马放博士提出了许多宝贵意见,并得到河北省城市节约用水办公室、河北省石家庄市、沧州市、保定市、邯郸市、唐山市、张家口市、衡水市、邢台市等节约用水办公室的大力支持,特别是在各城市节水规划及其实施技术课题的研究过程中,他们提供了必要的研究经费和大量的资料。同时,在编写过程中得到了河北建筑工程学院城建系、图书馆和科研处各部门领导的大力支持。在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误与不足之处,敬请读者批评指正。

刘俊良

2002年11月于塞外山城

第二版前言

《城市节制用水规划原理与技术》自出版至今已有七年。七年来，我国经济飞速发展，城市化水平不断提高，水资源紧缺日趋严重。节水规划作为一项专业性规划在广泛的社会范围内越来越受到重视。尤其近几年，节水规划研究与理论日益深化，并涌现了一些新的节水理论与技术，需水量预测也有了新的发展。因此，《城市节制用水规划原理与技术》第二版在第一版的基础上进行了较大的修改和补充。

本书自始至终以节制用水规划为中心，特别注重阐明有关城市节制用水规划的基本概念、原理和技术。主要内容如下：第1章，介绍城市水资源的基本特征，城市化水平和水资源综合利用的关系以及城市节水规划的内容、目的和意义；第2章，提出城市节制用水的内涵和可持续城市水管理的基本概念；第3章，全面阐述城市节水有关术语及其考核指标；第4章，对国内外节水现状进行深入调查，结合城市节水规划实例，系统论述城市节水现状和节水潜力的分析方法；第5章，结合近几年出现的新的需水量预测方法，增加了传统灰色模型的改进方法、系统动力学预测方法等，使关于水量预测的方法更加全面、现实，并根据实际选择预测模型，增加了预测模型优选方法的介绍；第6章，以节水规划实例，论述城市供水水源规划及其水资源供需平衡分析的方法和途径；第7章，提出了实现节水目标的实施策略和技术，为各地、各行业节水提供了努力方向；第8章，通过实例对城市的节约用水规划进行了分析，为各地实行节水规划提供了模板；第9章，介绍了创建节水型城市的考核标准、指标体系，并以实例介绍了节水型城市的创建过程；第10章，从水的商品属性和资源属性出发，分析现行水价体制存在的问题及水价对节水的影响，探讨水价体制改革的途径；第11章，全面系统地介绍了城市用水定额及其指标体系的制定原理和方法，提出了虚拟定额的概念，并结合实例论证了实施方法；第12章，城市污水资源化是城市节水的重要途径之一，主要阐述城市供水、节水和污水处理应统一规划，城市污水再生水应作为城市供水水源的一部分，同时以研究实例论述了城市污水再生水需求量的计算方法和城市污水资源化规划的原理与技术，为城市污水再生水的利用提供了切实可行的途径；第13章，结合城市节水发展的新现象，阐述了城市雨水资源化规划的内容。

本书由刘俊良编著，中国工程院院士、哈尔滨工业大学博士生导师张杰教授主审。应编著者之约，曾参加科研项目的宋智慧、张立勇、周利霞、任轶蕾、张铁坚、刘京红、陈旭等参加了本书的再版修订工作，同时本书再版中得到城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目资助（资助项目编号 HC200903）。

限于编著者的时间与水平，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2009年10月于古城保定

1 城市节制用水概论

水是人类及一切生物赖以生存和发展的基本物质之一，同时也是工农业生产及社会可持续发展不可替代的极为宝贵的自然资源。就所有的资源及人类环境的各种组成要素而言，水的重要性无可替代。

尽管地球上的水很丰富，总量达 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，但陆地表面的淡水量却只占地球总水量的很少一部分，约 $0.35 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，大部分水都分布在海洋之中。由于海水的高含盐量，人类很难将其作为生活用水直接利用。

由于太阳辐射能量的作用，使地表和大气之间的水通过蒸发和降水得以不断地循环。正是这些以雨雪形式降落到陆地上、或在漫长的地质时期以地下水的形式汇集和储存的淡水，成为人类赖以生存的资源，满足了人类的各种需求。

虽然水资源 (water resources) 一词的出现由来已久，但由于人们对水体作为自然资源的基本属性的认识程度和应用角度的差异，使得目前有关水资源的确切定义很难统一，而且，随着时代的进步，其内涵也将得到不断的丰富和发展。另外，水资源的准确定义也是业内工作者广泛讨论的问题。

1.1 水资源及其相关概念

1.1.1 水资源的概念

关于水资源的概念，国内外的有关文献和著述中有多种提法，比较权威的提法有以下几种。

《大不列颠大百科全书》：全部自然界任何形态的水，包括气态水、液态水和固态水的总量。

1963 年英国《水资源法》：(地球上) 具有足够数量的可用水。

1988 年联合国教科文组织和世界气象组织定义水资源是“作为资源的水应当是可供利用或可能被利用，具有足够数量和可用质量，并且可适合对某地的水资源需求而能长期供应的水源”。

联合国教科文组织 (UNESCO) 和世界气象组织 (WMO) 共同制订的《水资源评价活动——国家评价手册》：可以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。

《中华人民共和国水法》(2002 年 8 月 29 日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议通过)：水资源包括地表水和地下水。水资源属于国家所有。水资源的所有权由国务院代表国家行使。农村集体经济组织的水塘和由农村集体经济组织修建管理的水库中的水，归各农村集体经济组织使用。开发、利用、节约、保护水资源和防治水害，应当全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合利用、讲求效益，发挥水资源的多种功能，协调好生活、生产经营和生态环境用水。国家鼓励单位和个人依法开发、利用水资源，并保护其合法权益。开发、利用水资源的单位和个人有依法保护水资源的义务。国家对水资源依法实行取水许可制度和有偿使用制度。但是，农村集体经济组织及其成员使用本集体经济组织的水塘、水库

中的水除外。国务院水行政主管部门负责全国取水许可制度和水资源有偿使用制度的组织实施。

《环境科学词典》(1994): 特定时空下可利用的水, 是可再利用资源, 不论其质与量, 水的可利用性是有限制条件的。

李广贺等: 水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产活动中所需要的各种水, 既包括数量和质量含义, 又包括其使用价值和经济价值。水资源的概念具有广义和狭义之分。狭义上的水资源是指人类在一定的经济技术条件下能够直接利用的淡水; 广义上的水资源是指能够直接或间接使用的各种水和水中的物质, 在社会生活和生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源。

在《中国大百科全书》中, 水资源被定义为“地球表层可被利用的水, 包括水量(水质)、水域和水能资源。”

从以上表述可发现同一概念的差异较大, 都有一定道理, 但又都不够准确和完整。

本文认为, 自然界中的水, 不管以何种形式(如江河、湖泊、地下水、土壤水、大气水等)、何种状态(液态、气态、固态)存在, 只有同时满足以下三个前提时才能被称为水资源, 即: 其一, 可作为生产资料和生活资料使用; 其二, 在现有的技术、经济条件下可以得到; 其三, 必须是天然(即自然形成的)来源。

此三个前提即构成水资源的三要素——可使用性、可获得性、天然性。

① 可使用性 显而易见, 不能作为生产资料或生活资料来使用的水, 首先失去了成为资源的资格, 又如何能称得上是水资源呢? 只有满足其可使用性才有成为水资源的可能。

② 可获得性 因不能取得而无法利用的水, 不能称为水资源。如极地冰盖, 其具备可使用性和天然性, 但人类现有的技术、经济条件下还无法将其作为具有一定规模供水意义的水源来使用, 因此它还不能称为水资源, 至多只能算是潜在的水资源。在技术、经济高度发达的未来, 它们或许因能被人类使用而成为真正意义的水资源。

③ 天然性 这是由资源的定义所确定的。非天然物质的来源不能称为资源, 非自然形成的水的来源不是水资源。

所以, “水资源”可以用更准确、更完整的表述来定义, 即在现有的技术、经济条件下能够获取的, 并可作为人类生产资料和生活资料的水的天然资源。

1.1.2 水资源的分类

根据分类原则的不同, 水资源可以划分为许多类型。宏观水管理最常用的方法, 是根据水的生成条件和水与地球表面的相互位置关系(或者说是赋存条件)来划分的。

(1) 大气水

赋存于地球表面之上大气圈中的水, 如云、雾、雨等。在炎热的夏季里, 每平方英里的陆地或海面上, 大约含有 10 万吨水蒸气。

(2) 地表水

聚集赋存于地球表面之上, 以地球表面为依托而存在的液态水体。根据其生成要素、聚集形态、汇水面积、水量大小、运动、排泄方式的不同而分为江、河、湖、海等。通常所说的地表水主要指河流水和湖泊水, 也包括冰川水与沼泽水等。中国境内的河流总长度达 $420 \times 10^3 \text{ km}$, 有 5000 条河的流域面积超过 100 km^2 。河历年径流总量达 $26000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国的河流首先可分为外流河和内流河两大系统, 外流区域包括众多流量丰富的河流, 其面积占全国土地面积的 64%。

(3) 地下水

聚集赋存于地球表面之下各类岩层(空隙)之中的水。

根据地下水的埋藏条件,地下水可分为包气带水、潜水、承压水。包气带,或称为非饱和带,是指地表与潜水面之间的地带。存在于包气带中的地下水称为包气带水,它一般分为两种:一是土壤层内的结合水和毛细水,又称土壤水;二是上层滞水。上层滞水是指赋存于包气带中局部隔水层或弱透水层上面的重力水。它是由大气降水和地表水等在下渗过程中局部受阻聚积而成的。潜水是指赋存于地表之下第一个稳定隔水层之上,具有自由表面的含水层中的重力水。承压水是指充满于两个隔水层之间的含水层中的水。补给区位置较高,水由补给区进入承压区,含水层充满水,受到隔水顶底板的限制,水自身受到压力,并以一定压力作用于隔水顶板。承压性是承压水的一个重要特征。

根据含水介质空隙的不同,地下水可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。

此外,根据地下水的温度,化学成分及特有的生成、埋藏条件,又可划分出一些特殊类型的地下水,如地下热水、矿水、咸水、卤水、多年冻土带水等。

地下水资源在我国水资源中占有举足轻重的地位,由于其分布广、水质好、不易被污染、调蓄能力强、供水保证程度高,正被越来越广泛地开发利用。尤其在我国北方、干旱半干旱地区的许多地区和城市,地下水成为重要的甚至是唯一的水源。

我国可更新地下淡水资源总量为 $8700 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占水资源总量的 31%, 其中地下淡水开采资源为 $2900 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。微咸水开采资源量为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。平原区(含盆地)地下水储量约 $23 \times 10^8 \text{ m}^3$, 10m 含水层中的地下水储量相当于 840mm, 水层厚度略大于全国平均降水量 648mm, 这个比例与世界地下水储量的平均值相近似。

我国地下水的开发利用主要是以孔隙水、岩溶水、裂隙水三类为主。其中以孔隙水的分布最广,资源量最大,开发利用得最多,岩溶水在分布、数量开发上均居其次,而裂隙水则最小。在以往调查的 1243 个水源地中,孔隙水类型有 846 个,占 68%,岩溶水类型有 315 处,占 25%,而裂隙水类型只有 82 处,仅占 7%。从供水情况看,全国地下水的利用量约占全国水资源利用总量的 16%。

1.1.3 水资源的品位

水资源是一种动态、可再生资源。同其他资源一样,水资源也存在着品位的高低之分。水资源的品位主要受下列因素影响。

(1) 生成条件

大气水的生成主要受地表、海洋蒸发水量和各种气象因素的影响。决定地表水生成的因素主要有大气降水、地表汇水面积、地表植被状况、地形、地貌等。影响地下水生成的主要因素有地质构造、地层岩性和补给条件。具备优越的生成条件才有形成高品位水资源的基础和可能。

(2) 补给条件

大气水主要靠地表蒸发水量和海洋蒸发水量的补给。地表水的补给主要有大气降水的直接补给、其他地表水的直接补给和地下水的补给。地下水的补给主要有大气降水入渗补给、地表水的入渗补给、地下水的侧向径流、越流补给。各类水资源如无充足的补给源,则无法形成较高的品位。

(3) 时空分布

水资源的时空分布状况是评价各类水资源品位的重要因素。不同类型水资源的时空分布有很大差异。相对而言,地表水的空间分布受水文网的制约,局限性较强,距离稍远,对其利用就会受到影响,甚至无法利用。在时间分布上,受季节大气降水规律的影响,年丰水期与枯水期的水量会有很悬殊的差别,多年周期的规律亦如此。许多大的江河在丰水期时会形成洪灾威胁,而在枯水期断流的现象正是地表水时间分布不均匀的真实例证。

地下水的分布主要受地质条件（储水构造）的控制，在远离地表水的山区和平原也有着广泛的分布，这就为无法使用地表水地区的供水提供了条件。在时间分布上，由于地下水流的水力坡度较缓，以及含水层的阻滞作用，地下水的流速相对迟缓，这就使得大量的地下水相对长时间地滞留在含水层中。这就为人们在缺少地表水的地方和季节确保供水提供了可能。综上所述，地下水在时间分布和空间分布的均匀性上较地表水优越。

（4）水质条件

水质的优劣是评价水资源品位高低的关键条件之一。从利用的角度讲，水质应包括水中所含物质成分和水的温度。天然状态下地表水水质的形成较为简单，其悬浮物质和化学成分的形成，主要受地表植被、水流对沿途岩土的溶解、地下水渗出、日光照射等因素的影响。地表水的水温则主要取决于大气环境温度，因此，地表水的水温随季节、昼夜气温的变化而做大幅度、频繁的变化。

天然状态下影响地下水水质形成的主要因素有过滤作用、溶解作用、浓缩作用、脱碳酸作用、脱硫酸作用、阳离子交换吸附作用、混合作用等。在这些因素的作用下，地下水水质处在变化-平衡-变化的动态平衡状态。一般来说，地下水的水温是含水层位置的地温和补给源水温的综合作用的结果。

实际上，现代人类的生产、生活活动已经越来越大地影响着各类水资源的水质。其主要表现在两方面：一是人类活动废弃物对水资源的污染；二是人类活动改变了水资源的形成条件，导致其水质发生变化。

理论上，人类活动对水质的影响应是双向的，既可向恶化方面发展，又可向优化方面发展。现实中是恶化的影响大于优化的影响，有些地方则是迅速恶化，以至出现了污染性缺水局面，这是一个需要特别警惕的问题。

（5）取水条件

取水条件主要是指取水的难易程度，单位时间内取得单位水量所需建设的取水工程的规模和复杂程度，以及所需付出的经济代价。

一般而言，与地下水相比，地表水的取得较为容易，取水工程设施也较简单，经济代价亦较小。

需要指出的是，虽然水资源的状况因上述因素的影响而千差万别，但最基本的规律是存在的。地表水与地下水相比较存在着以下弱势：a. 容易受到污染；b. 水温随气温变化（夏季作为工业冷却水使用有诸多不利影响）；c. 缺乏有利于人体健康的矿物质；d. 水量保证率低。

综上所述，我们当然希望拥有生成条件优越，补给条件充足，时空分布广泛、均匀，水质条件优良，取水条件简易、经济，水量保证率高的高品位水资源，而现实中这种面面俱优的情况几乎是不存在的。所以对于水资源品位的评价不能仅考虑上述诸因素，还要考虑供水的主要目的。在实际工作中，我们应根据供水的主要目的、要求和水资源的具体状况，选择品位相对适合的水资源。如：若以生活饮用水为供水目的，则最应注重的是水质条件，在取水条件允许的情况下选择最适宜饮用水水质的水源；若以工、农业生产为供水目的，则应以取水条件、时空分布和补给条件为要。这样，才能在水质条件满足要求的情况下，达到供水的经济性、整体（全局）供水的合理性和供水量的长期高保证率的和谐统一。若以特殊用途如供热、医疗等为供水目的，则必须视水温、水中的特殊矿物质含量、特有的化学成分能否满足要求，即以水质条件为先决条件。

评价水资源品位的目的，在于鉴别、比较以致最后确定出最适合的供水水源，以最小的代价为社会生产和生活提供最基本的物质保证。

1.2 城市水资源及其基本特征

1.2.1 水的自然循环与社会循环

地球上的水处于不停地循环运动状态中。海水蒸发变云，云又以雨的形式降到地面，部分蒸发，部分渗入地下或汇入河川形成地下、地表径流，最终又回归大海。地球上的水在周而复始地进行着大循环，我们就是在其循环中利用地表或地下径流。城市从自然水体中取水，经净化供给工业和居民使用，用过的废水经排水系统输送到污水处理厂，处理后又排回自然水体。这是水的社会循环，又称为水的小循环。水的自然循环和社会循环交织在一起，社会循环依赖于自然循环，自然循环又影响着社会循环。图 1-1 为自然界水和人类社会用水的循环框图。我国人均水资源量虽然偏低，但是水是可以循环利用的，是可以不断往复再生的。如果人们不破坏水自然循环的规律，尊重水的品格，仅有的一点淡水资源可以不断循环地满足工业、农业、市政和人民生活的需要。这些都需要水的社会循环良性健康地发展。

水的社会循环系统是由城市给水系统和排水系统所组成，二者是统一的有机体，而污水处理正是水循环的心脏，是水良性循环的保障，是连接水的社会循环和自然循环的纽带。所以水资源的可持续利用和人类社会的持续发展直接与城市污水处理息息相关。城市污水必须处理到能为自然水体自净能力所容纳的程度。然而由于污水处理的昂贵费用和人们对于水环境和水资源相对滞后的意识形态，至今世界上很多城市尚未达到水良性循环的目标，而我国江河污染的严重态势也还没有得到遏制。水污染和水资源的危机制约着我国经济建设、城市发展和人民生活水平的提高。

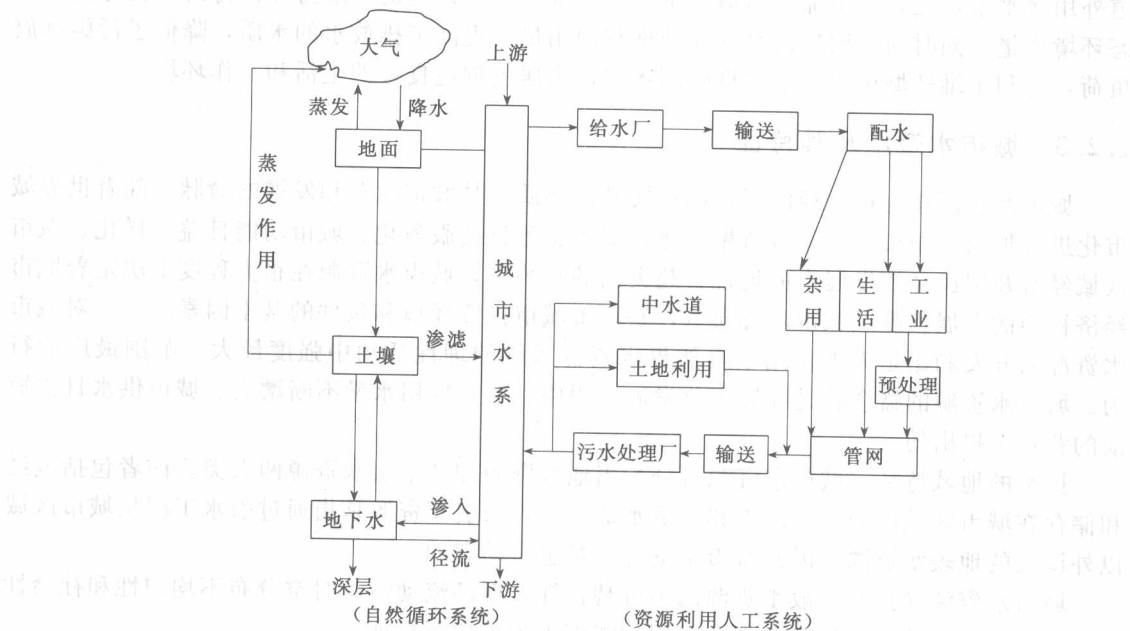


图 1-1 自然界水与人类社会水循环框图

1.2.2 水循环的意义

水循环是地球上最重要的物质循环之一，它实现了地球系统水量、能量和地球生物化学物质的迁移与转换，构成了全球性的连续有序的动态大系统。水循环联系着海陆两大系统，

塑造着地表形态，制约着地球生态环境的平衡和协调，不断提供再生的淡水资源。因此，水循环对于地球表层结构的演化和人类持续发展都意义重大。

第一，水循环深刻影响着地球表层结构的形成、演化和发展。它不仅将地球上的各种水体组合成连续、统一的水圈，而且在循环过程中渗入大气圈、地圈和生物圈，将地球上的四大圈层紧密地联系在一起。水循环在地质构造的基地上重新塑造了地球的地貌形态，同时影响着全球的气候变迁和生物群类。

第二，水循环的实质就是物质与能量的传输过程。水循环改变了地表太阳辐射能的纬度地带性，在全球尺度下进行着高低纬、海陆间的热量再分配。水是一种良好的溶剂，同时又有良好的搬运能力，水循环负载着众多物质不断迁移、聚集。

第三，水循环是海陆间联系的纽带。水循环的大气过程实现了海陆上空的水汽交换，海洋通过蒸发源源不断地向陆地输送水汽，进而影响着陆地上一系列的物理、化学和生物过程；路面过程通过径流归还海洋损失的水量，并源源不断地向海洋输送大量的泥沙、有机质和各种营养盐类，从而影响着海水的性质、海洋沉积及海洋生物等。

第四，水循环是地球系统中各种水体不断更新的总和，这使得水成为可再生资源，植根于人类社会和历史的变迁之中。水循环强弱的时空变化，是制约一个地区生态环境平衡和协调的关键，同时影响着地区内生物体的分布与活动。

在一个城市中，水健康循环要求城市有完美的给水排水系统，既要有安全、可靠的供水系统，为居民提供洁净的饮用水，又要有污水收集、处理、深度净化、有效利用与排除系统。污水处理程度应按下游水体功能需求而定。此外，还要维持氮磷营养物的循环利用。

通过再生水利用，增加水资源可供给量，从而很大程度上减少自然水体取水量，减少河道外用水量，也就是增加了河道的生态环境水量，可以有助于维持和保持河系良好的水生态环境质量。同时通过增加污水深度处理与回用量，提高了排放水的水质，降低了污染排放负荷，有利于维持城市河湖水体良好的水质，为居民创造良好的生活和工作环境。

1.2.3 城市水资源及其特征

城市水资源作为社会经济运行的重要基础物质，是城市生存和发展的命脉。随着世界城市化进程加快，城市生产力日益聚集化、城市服务日益服务化、城市功能日益多样化、城市区域经济及国民经济发展中的地位日趋突出的趋势下，城市水资源在很大程度上决定着城市经济社会的发展程度及城市环境质量，是评价城市投资环境和条件的基本因素之一。对城市水资源的开发利用是人类作用于自然界水资源系统的理性活动中强度最大、范围最广的行为。城市水资源的概念就是在城市化发展进程中，城市取用水量不断增大、城市供水日益短缺的背景下提出的。

按水的地域特征，城市水资源可分为当地水资源和外来引水资源两大类。前者包括流经和储存在城市区域内的一切地表和地下水资源；外来引水资源是指通过引水工程从城市区域以外调入的地表水资源，因此城市水资源的量也是动态的。

城市水资源除具有一般水资源的不可替代性、循环流动性、时空分布不均匀性和社会性等特点外，还因特殊的环境条件和使用功能而表现出如下特征。

(1) 系统性

城市水资源系统性表现为两个方面：一是城市区域以内和以外的水资源通常处于同一水文系统，相互间有着密切的水力联系，不可人为分割；二是城市水资源开发利用过程中的不同环节（如取水、供水、排水等）是个有机整体（见图 1-2），任何一个环节的疏忽都将影响到水资源利用的整体效益。

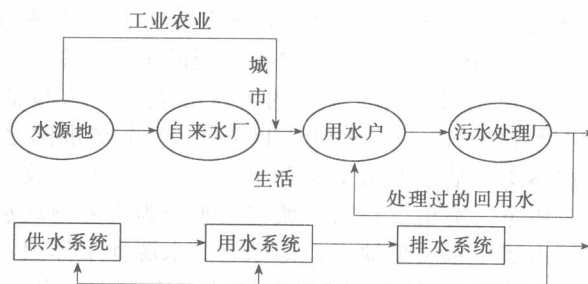


图 1-2 城市水循环

(2) 有限性

相对于城市用水需求量的持续增长，城市水资源量是极为有限的。其中，由于当地水资源开发成本低，便于管理等有利条件而被优先开发利用，许多城市的当地水资源已接近或达到开发利用的极限，一些城市的地下水已处于超采状态，而外来引水资源受水资源分布、生态环境、经济条件和水所有权等多种因素的制约，能被城市获取和利用的量也不可能无止境地增加。它只能在一定的数量限度内被不断取用。

(3) 脆弱性

城市水资源因开发利用集中和与人类活动关系密切而显示的脆弱性表现在两个方面：一是易受污染；二是易遭破坏。城市水资源一旦遭受污染或失去平衡，治理恢复非常困难，代价很大。

(4) 可恢复和循环使用性

城市水资源可恢复性表现在水量的可补性和水质的可改善性。

地球上的水是不停地循环的，城市用水也是在其给水排水系统中循环的。只要人类社会与水的质与量的循环规律相和谐，地球上有限水资源就可以循环地、持续地为人类所利用。

(5) 可再生性

城市水资源在利用过程中被直接消耗掉的只有少部分，而大部分水则因失去特定的使用价值而变为废（污）水。废（污）水是可以再生的，有些只需改变用途，便可恢复其使用价值。但在多数情况下，废（污）水要经过处理后排入水体，才可被下游城市重复利用，也可再经深度净化，直接用于城市工业生产。

(6) 高附加值

据统计，我国现有城市集中了全国 80% 的工业总产值和 60% 的工农业总产值，而城市用水量仅占全国用水总量的 16%。显然，城市水资源的单位用水附加值是非城市用水的 8 倍左右，这是城市用水量快速增长的重要原因之一。在市场经济条件下，不能忽视水资源的效益取向。

只有充分认识城市水资源的特点，才能有效、合理地利用它。城市水资源作为一种重要资源，与国民经济各部门、城乡人民生活有着密切关系，是人类社会和经济发展的物质基础，同时也是构成人类生存环境的最基本的要素。水资源状况及开发利用情况如何，不仅关系到工农业的发展，而且关系到整个国民经济和社会的可持续发展。

1.3 城市水资源短缺现状及其相关问题

1.3.1 城市水资源短缺现状

随着城市化进程加快，我国许多城市严重缺水，特别是在工业和人口过度集中的大都市

和超大都市地区,情况更加严重。城市日益严重的水资源短缺和水环境污染问题不但严重困扰着国计民生,而且已经成为制约社会经济可持续发展的主要因素。

我国的人均水资源占有量为 $2500\text{m}^3/\text{年}$, 约为世界人均占有量的 $1/4$, 相当于美国的 $1/6$, 加拿大的 $1/58$, 居世界第 110 位, 被列为世界上 13 个贫水国之一。同时, 我国不仅资源匮乏, 而且时空分布不均, 缺水城市主要分布在华北、西北、胶东及沿海地区, 北方和沿海地区水资源的供需矛盾更为突出。目前, 城市缺水分为资源型缺水、水质型缺水和工程型缺水三种类型, 很多城市属于水质型缺水, 即原有的水源和水体因污染而无法利用, 全国有 50% 的地下水和 70% 的河道受到污染, 造成城市水资源紧张。我国虽然早已把水资源保护列为国策之一, 但 20 年来水环境质量在总体上非但没有改善, 反而持续恶化。50% 的城市水资源受到污染, 已严重危害人体健康, 并制约着城市经济的发展, 使原本紧缺的城市水资源更是雪上加霜。由于城市规划区的滚动式扩展, 城市的用水需求和用水构成会因城市人口和经济的发展而变化, 城市水资源的质量和数量也会因城市的发展而改变, 如果不倍加珍惜和保护, 这种变化的总趋势将使水质的持续下降和可用水量不断减少。

当前的缺水问题已严重影响了城市建设和城市居民的基本生活, 并将进一步成为制约经济和社会可持续发展的重要因素。因此, 为保障未来 50 年以至更长时期城市经济和社会可持续发展, 必须基于人均水资源量很少、污水排放量急剧增加的现实情况, 建立和实施水资源可持续开发利用的新战略。

1.3.2 城市缺水的原因

“缺水”是一个相对概念, “城市缺水”的含义是城市供水量满足不了城市的用水需求。导致“城市缺水”的原因常常是复杂的, 有供给方面, 也有需求方面, 不同城市不能一概而论, 具体城市应做具体分析, 对症下药, 寻找解决缺水问题的最佳途径。在需求方面, 导致或加剧城市缺水的原因很多, 如浪费用水、低效用水、不合理的用水结构和过于膨胀的用水需求等; 在供给方面, 导致城市缺水的主要原因是供水的设施不足, 水污染和水资源短缺。具体来说有以下几个方面。

(1) 水资源短缺且浪费严重

随着人口的增长和国民经济的迅猛发展, 在有限空间内的城市对水资源量和保证率要求不断提高, 而我国水资源短缺, 属世界最贫水国家之一。一些城市现有的水资源量无法满足正常用水的需求, 从而导致城市与城市之间、城市各行业之间、城乡之间争水矛盾日益突出。特别是以地下水作为供水水源的北方城市和部分沿海城市, 为维持供水的需求, 多数城市被迫超量开采或过分集中开采地下水, 而地下水源开采量有限, 由此造成一些城市出现地下水位持续下降、地下水降落漏斗不断扩大、地面沉降、地裂缝、海水入侵和岩溶塌陷等一系列环境地质问题, 甚至出现地下水资源濒临枯竭, 水源供应能力下降等不良后果。相反, 在城市水资源严重短缺的情况下, 水资源浪费现象却相当严重, 大大地降低了水的利用率。

① 在生活用水方面浪费严重 由于水价低廉以及人们对水资源的珍贵性缺乏正确的认识, 城市居民生活用水浪费严重, 跑、冒、滴、漏现象十分普遍。据不完全统计, 我国目前包括近 4000 万套便器水箱在内的大量用水器具, 其中竟有 25% 的器具漏水, 每年漏失量 4 亿多立方米, 相当于 2 座日供水能力 55 万吨的水厂的供水未经使用就白白漏掉了。在许多城市居住小区以及宾馆饭店中, 至今尚未实行一水多用和中水回用, 不管作何用途, 一律使用饮用水。如消防、土建、绿化、冲厕、洗车等都消耗了大量的饮用水。这些表明人们的节水意识还很淡薄, 节水措施还很落后, 同时也从一个侧面反映生活用水浪费的普遍性和严重程度。除少部分水回收再利用之外, 绝大部分污水未经处理就一次性地排入江河湖海。仅就水槽式公厕而言, 一个水箱一天一夜要耗水 $30\sim 60\text{t}$ 饮用水。这些水的不合理利用给本来就

超工作负荷工作的水厂增加了不必要的负担。水的分质供给和重复循环使用迫在眉睫。

② 在工业用水方面,用水效率普遍低 由于科学技术落后,工矿企业尤其是小型企业、民营企业包括个体户未能使用节水设备,用水效率极低,浪费现象严重,使用后的污水未及时处理便排放,对原本纯净的河流、湖泊等自然水体造成严重污染。以 2003 年为例,我国国内生产总值每增加一万美元,需消耗水 3860m^3 ,是世界平均水平的 4 倍,与美国等发达国家相比,我国企业要多消耗 5~10 倍的水资源才能创造出同样的产值。如此惊人的差距,使我国企业对水的需求量更加紧张。

(2) 水资源综合开发利用程度低

尽管我国水资源短缺,水资源时空和地域分布不均,但水资源开发利用的潜力还是很大的。然而,我国城市中,在就地开采、开发可利用水资源,跨地区、跨流域引水或者调水,节约用水,净化污水、废水、海水和低质矿化水等方面,研究和进展的程度却很低,由此造成水资源的优化配置和合理利用程度低。

(3) 城市供水设施落后且能力不足

城市用水是通过供水设施来完成的。长期以来,由于城市供水设施特别是配水管网落后、不足,在投资方面又比较有限,造成对供水设施的改造不及时、不彻底,长期依靠挖潜来维持用水的需求,使供水设施长期超负荷运行。特别是用水高峰时,更难以保证城市正常的用水需求。这充分说明,城市供水能力不能满足城市发展的需要。

造成我国漏水量大的主要原因是,供水管网年久失修、管材质量差、管道施工质量低劣、管网压力控制不当等。这些问题在众多的城市中具有普遍性,经常造成管道的突然破损,供水量大量流失浪费。明漏水量大的另一原因是“长流水”,而一般而言“长流水”现象之所以发生和继续存在,仍在于疏于管理。

(4) 水资源污染严重,治理效果差

随着经济的发展和人们生活水平的提高,城市化进程的加快,城市污水和废水的排放量随之剧增。长期以来,人们对水资源的脆弱性没有给予足够重视,在处理资源、环境与发展之间的关系问题上受到了经济条件的限制,导致大量的城市污水和废水未经处理或虽经处理但达不到排放标准就直接排入了水域,或者经过处理后达到排放标准的水,大部分又排入了没有集中处理的城市排水系统中,如此恶性循环,降低了污水和废水达标排放的意义。更重要的是由此逐渐造成和加剧了城市水资源的污染,使水源的可利用程度下降,可利用水量减少,加深了水的供需矛盾,使水资源的短缺更为突出和严重。

水源污染的直接后果是一些水源被迫停止使用,从而导致或加剧城市缺水,而寻找和建设新水源需要耗费巨额投资;水源污染的间接后果是影响供水水质,进而损害城市居民的健康。提高水资源质量,减少其受污染的程度,对增加水资源量,维持水资源可持续循环将发挥关键的作用。

(5) 水资源科学管理水平低

水资源管理是统一、分层次的综合管理。长期以来,城市水资源管理工作中存在责、权、利不清,管理体制不顺,政策不到位,有关的法规、制度尚不健全,缺少配套的技术方针、技术政策,缺乏系统、科学的管理办法等弊端。由此,在某种程度上影响了顺利解决城市水资源量的供需矛盾问题。

(6) 水价标准不合理,建设资金投入不足

我国水价长期偏低,部分城市售水价格低于制水成本。水长期作为一种福利商品向社会供应,水价由政府控制,水失去了它应有的价值。由于水价背离价值规律,失去了经济杠杆的调控作用。一方面,过低的水价,使得各种资金筹措渠道不畅,影响了城市供水、节水、排水和净化污水废水建设的资金投入、技术投入与经济效益;另一方面,过低的水价,助长

了人们浪费用水的潜在意识。从而加剧了水的供需矛盾,不利于水资源的管理和水资源的可持续发展利用。

(7) 城市产业结构与布局不尽合理

城市的产业结构与布局必须与当地的水资源条件相适应,否则,引起水资源供求矛盾在当地是难以解决的。但是,随着经济的快速发展和城市化水平进程的加快,一些城市忽略了水的因素,工业布局出现了单纯追求经济效益或者过分强调建立完整的工业体系,且有盲目增加的趋势,甚至一些本身缺水的城市仍以高耗水的生产为主。从而使需水量超过城市水资源的承载力,形成了新的、人为的水供需矛盾。

社会在发展,城市在扩大,城市缺水问题已迫使越来越多的人来关注水资源问题。许多大城市都在研究开辟新水源问题,包括建自来水厂、建坝蓄水、远距离引水、开发地下水、海水利用、污水回用、中水道工程等多种方案。但从总体上看,城市水资源的紧张使得建自来水厂、建坝蓄水、远距离引水、开发地下水越来越困难。对于如何解决城市缺水问题,国内外实践证明,实施节水措施,建立节水型社会是解决缺水问题的根本途径。

1.4 城市节水规划的基本内容

1.4.1 城市节约用水规划的意义

(1) 城市节约用水的意义

节约用水问题,早在 20 世纪 70 年代之前就已受到许多国家特别是一些水资源短缺的国家的重视。70 年代以来,联合国在举办的水资源、人类环境与水务等一系列国际会议上,曾高瞻远瞩再三向全世界明确地发出警告:“我们正进入新的水资源短缺时代”,“水不久将成为一项严重的社会危机”,并庄严地号召世界各国要“合理开发利用水资源”,要重视“节约用水”,因此,最近 30 年以来,全世界已逐渐对节约用水问题达成了共识,对日趋严重的水资源危机普遍给予了高度的重视。

在 20 世纪 60 年代中期以前,全世界广大农村以灌溉为主的农业用水占全球总用水量的比重,长期维持在 80% 以上;城镇工业与生活用水一直保持在 20% 以下,直至 1965 年前后才突破了 20%。但当时一些工业化与城市化水平高的发达国家,它们的城市工业与生活用水接近 50%,甚至高于 50%,这些国家由于城市用水的压力迅速增大,而被迫把节水的重点转向城市,并相应地对城市节水及水资源管理与水环境保护、整治等方面加强了研究。甚至像美国和日本这类富水国家,也对其城市的节水与水资源管理问题给予了极大的关注,这说明对城市节水的重视程度是与城市化水平密切相关的。就广大发展中国家而言,由于其城市化水平远低于先进的发达国家,城市用水比重至 70 年代仍然不到国家总用水量的 20%,甚至不足 10%。所以这些国家最关注的仍然是农村灌溉用水,而对城市节水问题并没有提到重要的议事日程,因而包括我国在内的发展中国家对城市节水问题的研究开展得很少。20 世纪中期以来,城市节水问题在全球范围内引起普遍重视。这根源于全球城市化的不断加快,城市工业与生活用水大幅度增长,并且意识到它在不久的将来会发展成为全球耗水的主体。作为发展中国家的我国,按 1986~1997 年城市用水增长速度外推,至 2006 年城市工业与生活用水比重将上升至 50% 以上,成为全国耗水的主体。在这种情况下,节水具有非常重要的意义:a. 可以减少当前和未来的用水量,维持水资源的可持续利用;b. 节约当前给水系统的运行和维护费用,减少水厂的建设数量,或降低水厂建设的投资;c. 减少污水处理厂的建设数量或延缓污水处理构筑物的扩建,使现有系统可以接纳更多用户的污水,从而减少接纳水体的污染,节约建设资金和运行费用;d. 增强对干旱的预防能力,短期节水措

施可以带来立竿见影的效果,而长期节水则因大大降低了水资源的消耗量从而能够提高正常时期的干旱防备能力;e.具有社会意义,通过用水审计及其他措施,可以调整地区间的用水差异,避免用水不公及其他与用水有关的社会问题;f.具有明显的环境效益,除了对野生生物、湿地和环境美化等方面的效益外,还有维护河流生态平衡、避免地下水过度开采而带来的地下水污染等方面的效益。

(2) 城市节约用水规划的意义

城市节约用水规划属专业规划,是城市水资源规划的重要组成部分,也是城市国民经济和社会发展规划的重要内容。因此,城市节水规划是在经济规划下进行的,规划的根本目的是有效地开发与利用城市水资源,提高科学合理用水的水平,使有限的水资源能满足人民生活、适应经济持续发展和城市建设的需要,使城市社会经济得到持续、稳定的发展,提高人民的生活水平,开展创建节水型城市活动,制定节水型城市目标导则。节水规划不但对于解决城市水资源短缺问题,搞好城市水资源管理和节约用水工作,采用科技手段,促进合理用水,使有限的城市水资源发挥最佳经济效益、社会效益和环境效益,而且为城市用水提供决策依据。指导思想应该是立足应用、指导决策。

节水规划的主要任务:一是分析水资源和社会经济发展的对立统一关系,通过节水,实现合理用水后,寻求水资源与社会经济发展的协调点;二是分析城市自身系统的供水、用水、节水,可回用污水与水资源系统的关系,探索合理的供水、用水结构;三是探索各用水系统内部的用水结构,找出合理的用水方向;四是确定节水目标和保证措施;五是提出解决规划期内城市总体用水的对策意见。

1.4.2 城市节水规划的研究内容

2007年1月,国家发展和改革委员会、水利部等有关部门联合发布了《节水型社会建设“十一五”规划》(以下简称《规划》)。《规划》在全面分析节水型社会建设现状和面临形势的基础上,针对形势要求和存在的主要问题,提出了“十一五”期间节水型社会建设的目标,明确了主要任务和对策措施等,是“十一五”期间我国节水型社会建设的行动纲领。

依据国家已经颁布实施的有关法律法规和管理政策,以及《节水型社会建设“十一五”规划》等相关的发展规划、工作要点等文件,将节水规划分为八部分进行。

(1) 现状与潜力分析

城市节水现状及其潜力分析是城市节约用水规划的重要组成部分,它是规划的核心基础数据。首先需要归纳分析研究城市生活节水现状以及工业节水现状,然后进行横向纵向的比较,最终得出规划城市的节水潜力。

(2) 目标与任务

城市节水规划分两个层次提出全国节水型社会建设的目标:一是总体层面的目标;二是分行业的目标。根据“十一五”期间提出的节水规划的主要任务,即建立节水型社会的四大体系:一是建立健全以用水总量控制与定额管理为核心的水资源管理体系;二是建立与水资源承载能力相适应的经济结构体系;三是建立水资源优化配置和高效利用的工程技术体系;四是建立自觉节水的社会行为规范体系。

(3) 总体布局

总体布局中主要阐述了节水规划过程中的用水和节水量。城市节约用水规划的关键是城市用水量的预测,其中城市生活用水指标的预测推荐采用庞伯兹生长曲线方法,符合国内城市生活用水的发展规律;工业用水量的预测推荐采用万元产值用水量降低和再用率提高的方法,充分考虑节水产生的效果,综合分析用万元产值用水量降低和再用率提高两方面的因素变化,符合工业用水的实际,预测结果精度较高,特别适用中远期的预测。