

策划编辑：邹燕红
责任编辑：徐丽娟 董君

全球水伙伴技术委员会技术文件

第16号

城市水资源综合管理

Integrated Urban Water Management

城市水资源综合管理

Integrated Urban Water Management

[突] Akiça Bahri (阿基卡·巴赫里) 著

全球水伙伴中国委员会 (Global Water Partnership China) 译

微信号: Waterpub-Pro



唯一官方微信服务平台

销售分类：环境科学

ISBN 978-7-5170-4063-7



9 787517 040637 >

中国水利水电出版社



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

简介

大城市如今面临着各种严峻的挑战，水管理成为最受关注的问题之一。可以直接饮用的水源变得非常稀有，而其他水源必须花费高成本处理后方可使用，并且废水量在不断增长。世界许多地区的城市居民缺少优质水，患上了由水传播的疾病。随着城市从上游寻找新的水源，并将污水排放到下游，周边居民也随之受到影响。包括重要的生态系统服务在内的水文循环和水生生态系统均遭到破坏。

当今的状况是：气候变化和城市的持续发展会给明天带来更加深远的影响。极端天气事件，如长期干旱甚至猛烈的热带风暴，正在逐步摧毁城市供水基础设施，造成极端灾难和环境退化。

城市水资源综合管理比目前的管理方法要好，因为目前管理供水、卫生、雨水和废水的实体均是孤立的，同时，这些机构又独立于土地利用规划和经济发展部门之外。而城市水资源综合管理要求将城市发展和流域管理进行整合，实现可持续的经济、社会和环境目标。

为水行业制定的规划经过与土地利用、住房、能源、交通等其他行业协调一致，方可克服公共政策制定和决策中各自为政的现象。通过树立统一的工作文化、整合目标和各自的利益以及就权力和资源的差异所开展的谈判，跨部门之间的关系得到了强化，同时城市中的其他行业和涉及的边缘人口也被明确纳入其中。

水资源综合管理从制定明确的国家政策开始，得到有效的立法支持，为地方提供指导。城市水资源综合管理涉及水资源管理的各个方面：环境、经济、社会、技术和政治。成功的方法需要当地社区的参与，解决水资源管理中的问题。这种协同的方式应

让所有利益相关者都参与到确定重点、采取行动的过程，同时担负起责任。

城市水资源综合管理包括各方面的评估，从确定水资源的数量和质量，到评估当前和未来的需求，以及预测气候变化的影响。它使我们认识到水的利用效率和经济效率的重要性，没有这些将无法持续开展与水相关的工作。它也使我们认识到，可以将不同类型的水用于不同的目的，例如：淡水水源（地表水、地下水、雨水等）和脱盐水可供给家庭使用，而废水（黑水、棕水、黄水和灰水）可在经过适当的处理后，满足农业、工业和环境的要求。有了高效率的新海水淡化技术后，海水也已经成为一个可获取的水源。

水回收和再利用使供水和污水处理形成了一个封闭循环。这两项水管理职能的整合需要前瞻性的规划、支持性的制度环境、协调的基础设施和设备、公众健康保障、污水处理技术及便于最终用户的选址、可靠的处理过程、自来水公司管理，以及公众的接受和参与。用于污水处理的新技术和新商业模式，如公共—私营部门伙伴关系以及与私营部门的合作，都是可供我们选择的方法。

通过水资源综合管理，水价和分配可反映供水和维护系统开发和运行的真实成本。价格彰显了水的价值。准确的定价将鼓励所有用户采取明智的用水管理，与城市水资源综合管理战略相一致。对不同的水质的水收取不同的费用，可以鼓励农业、商业、市政和工业用户更愿意利用再生水，降低水地表水或地下水的消耗。

在不降低水资源经济生产力的前提下，水费、税费和补贴可转换成效益。如果将税费设置得过低，偏向于贫穷的用户而不能支撑有效的运行和维护时，系统可能会在无意间造成更严重的不平等。价格体系可以设计成用户为高消费或优质水支付更多的费用。还可以采用财政激励措施，如折扣、补贴和用水审计、季节性价格和区域差价。污染者付费制度以用户排放量为基础计费，能提高水处理和重复利用的成本效用，甚至能资助建设新的设施。

无论运营成本还是维护成本，城市水资源综合管理项目都需要高额的资金支持。有的国家水资源基础设施投资能力有限，适当的政策和运作良好的机构会使筹款更容易。

采用城市水资源综合管理及其适应措施，这个迭代过程将使供水服务在质和量两个方面均得到保障，大幅减少城市中无法获得用水和卫生设施的人口，进而增强城镇居民的健康和生产力。

前言

为满足日益增长的城市水需求，使城市水系统具有应对气候变化的能力，城市水管理正在经历一场革命。日益激烈的竞争、冲突、短缺、水资源的浪费和退化，迫使人们重新审视传统的观念，即从孤立管理城市水周期中的不同领域转变为由所有利益相关者共同采取综合措施。

技术委员会成员阿基卡·巴赫里博士提供的这个背景文件非常及时，帮助我们了解其中的各种变化和主要驱动力。该背景资料详细介绍了城市水资源综合管理，向我们展示了在水资源综合管理的大框架中，如何利用城市水资源综合管理协调城市供水部门与农村供水、农业、工业、能源和环境的关系，在流域或集水区为确保水安全发挥作用。该资料还为实施城市水资源综合管理提供了指导性意见，包括政策、融资及管理的办法和技术方面获得的进展。

巴赫里博士是非洲开发银行非洲水基金的协调员，她长期致力于如何以更加一体化的方式管理水和废水，以便满足用水需求和保护生态环境。在她的祖国突尼斯和其他地方，阿基卡曾从事水的回收和再利用、粮食作物生产中生物固体的应用方面的工作，并为水的回用和生态固体管理提供政策和立法建议。她撰写了大量关于该主题的论文和报告，其中包括《水循环管理中的变废为宝：将造纸废水变成资产（全球水伙伴技术文件第13号）》。

我还要感谢技术委员会委员卡拉尼瑟·费拉法·莫尔西教授，他在未来全球变化压力下城市水系统如何运行及其对水治理产生何种影响等方面的专业知识，极大地丰富了本书的内容。卡拉尼瑟除了担任南佛罗里达州大学帕特尔全球解决方案中心主任和终

身教授之外，还是联合国教科文组织水教育学院和代尔夫特理工大学可持续城市水系统专业的教授，并担任欧盟“为了未来的城市管理水资源”项目的负责人。

全球水伙伴技术委员会主席

穆罕默德·艾特卡迪

目录

简介

前言

1 导言	1
1.1 城市水资源综合管理	1
1.2 技术报告的结构	2
2 变化中的城市	4
2.1 市区范围扩大	5
2.2 全球化的后果	6
2.3 部分城市面临的特殊挑战	7
3 水资源与城市化	8
3.1 城市废水	9
3.2 水量	10
3.3 水质	11
3.4 生态系统服务	12
3.5 应对政策	12
3.6 经济成本和效益	15
4 气候变化挑战	17
4.1 气候变化和供水	18
4.2 气候变化与卫生	19
4.3 城市对气候变化产生的作用	21
4.4 应对方案	22
5 从资源利用到资源管理	25
5.1 传统的城市水管理	25

5.2	城市水资源综合管理	26
5.3	城市水资源综合管理框架	28
6	为城市水资源综合管理创造有利的环境	33
6.1	中央政府的角色	33
6.2	地方政府的角色	34
6.3	私营部门的参与	36
6.4	整个价值链中的商业机会	37
6.5	“城市”和“流域”管理	37
6.6	利益相关者的参与	40
6.7	为城市水管理培育一种新的文化	43
6.8	改变游戏规则的技术和方法	45
7	城市水资源综合管理手段和管理策略	47
7.1	用水审计和有效利用	48
7.2	废水回收与再利用	49
7.3	雨洪管理	51
7.4	城市水资源综合管理采用的技术	52
7.5	寻求合适的范畴	55
7.6	灵活和适应性强的城市水系统	55
7.7	水费与支付及其他经济手段	56
7.8	适应气候变化	57
8	城市水管理的未来	59
8.1	关键信息	61
	参考文献	66

专栏目录

专栏 1：以往的经验教训	8
专栏 2：新加坡：最有效的水资源综合管理	14
专栏 3：地区气候预测	17
专栏 4：西雅图、墨尔本和马尼拉：适应和减缓气候变化	23
专栏 5：约翰内斯堡和豪登省：未雨绸缪、提前规划	34
专栏 6：试验新型水管理的城市：圣保罗	39
专栏 7：卡拉奇实行的参与式水资源管理	41
专栏 8：纽约市保护上游的饮用水水源	44
专栏 9：墨西哥城下游地下水含水层回补	50

图目录

图 1	圣地亚哥在过去及预测的水源组成情况	14
图 2	城市水资源综合循环模式	28
图 3	不同城市服务的整合	29
图 4	体制一体化框架	30
图 5	从供水城市转变为水敏性城市	32
图 6	城市水资源综合管理为再造城市资源分配平衡所作出的 贡献	38
图 7	卡拉奇水伙伴模式	42
图 8	城市水资源综合管理	60
图 9	城市水资源综合管理和土地利用总体规划框架	60

表目录

表 1	气候灾害及其对城市系统的影响	20
表 2	城市水管理与城市水资源综合管理的比较	27
表 3	不同层面管理中的城市水资源综合管理目标和措施	31
表 4	创新技术及其给城市水资源综合管理带来的效益	54

1 导言

世界人口已达到 70 亿，居住在城市的人口多于居住在农村地区的人口。然而，并不是所有人都能获得城市生活带来的好处。在一些地方，人口迅速涌入，公共服务不足，城市规划模式过时，导致新移民被边缘化，被迫居住在非正规的居住点或贫民窟，加剧了不平等和城市中的贫困，并对实现和维持水安全带来严重影响。

对于地球上不断扩大的城市地区而言，水是最重要的自然资源。商业、居民和工业用户均已对水资源提出了一定程度的需求，可是，在大多数情况下水需要进行处理，水源往往位于距离市区很远的地方，而且几乎所有部门都需要用水。水资源短缺导致了争夺水权引发的冲突。随着城市规模和政治影响力的扩张，城市流域地区的农业和工业对于水的竞争正在加剧。到 2050 年，预期工业和生活的用水需求将增加一倍，城市、郊区和农村地区的竞争很可能会进一步恶化。

同时，由气候变化导致的极端天气事件更加频繁，这将改变城市中心及其周边地区可用水的质量、数量和季节性。靠近水体的城市可能遭遇与气候变化相关的风险。为了应对这种威胁，水资源管理者在寻求有效的方法时，正在重新使用传统手段，在确保人类福祉的同时保证资源基地的完整。

1.1 城市水资源综合管理

城市水管理的目标是确保获得水和卫生的基础设施和服务；管理雨水、污水、雨水排放和径流污染；控制水源性疾病和传染

病；减少与水有关的灾害风险，包括洪水、干旱和山体滑坡。水管理措施一直以来就是在避免资源退化。

但是，要满足饮用水、卫生设施、污水处理及其他与水有关服务的需求，传统的城市供水管理战略已经捉襟见肘。有些城市已经面临严重的水资源短缺和水质恶化。

城市水资源综合管理提供了一系列指导原则，对协作性强、积极响应的和可持续的资源管理实践提供了有力支撑。该措施汇集了水源和用水部门、水务和管理等多个方面：

- 它对替代性水源有了认知。
- 它区分了水源的质量和潜在用途。
- 它将水的储存、分配、处理、回收和处置的纳入同一资源管理循环中的一环节。
- 它寻求在水的源头进行保护，保存和利用。
- 它考虑到依赖于同一水源的非城市用户。
- 它整合了在城市中以及为了城市治理水资源而努力的正规机制（组织、立法和政策）和非正式的实践（规范和惯例）。
- 它认识到水资源、土地使用和能源之间的关系。
- 它追求经济效率、社会公平和环境可持续性。
- 它鼓励所有利益相关者的参与。

根据城市水资源综合管理原则，供应管理和需求管理是一个过程中的互补因素。没有任何模式可以放之四海而皆准，也没有任何一种单一方式足以应对全部情况。相反，各种方法的组合体现了当地的社会文化和经济条件。

转变大城市中根深蒂固的体制很难。使城市水资源综合管理获得最大的成功机会蕴藏在小型和中型城市（少于50万居民）中，他们在未来几十年里对水资源的影响将越来越重要。在这些城市的治理中灌输不同的资源管理方式，不但可行，而且大有裨益。

1.2 技术报告的结构

近期实施的一系列项目，包括未来城市水管理的计划、联合

国教科文组织对城市供水工作的国际水文计划、世界银行关于城市化对水资源及其管理的影响的研究，以及国际水协会的未来城市举措，正在尝试以需求为驱动和与环境相适应的跨领域城市水管理措施。本书作为文献资料的一部分重点对城市水资源综合管理的理念进行论述。

第2章探讨了城市将如何发展和变化。第3章重点讨论这些变化对城市水资源的影响，如过去人们在水安全方面更多地关注水量，但目前关注的对象正在转向水质。不断变化的气候也要求水资源管理采取不同的方式。第4章提出城市水资源综合管理在气候变化条件下可提高城市的适应能力。

第5章讨论从城市供水管理到城市水资源综合管理的转变，第6章描述了变化的环境。第7章详细介绍了建设绿色城市的实用方法，这些方法不仅内涵丰富，还富有成效、易于掌控和具有可持续性。第8章将城市水资源综合管理的承诺作为本书的结尾。贯穿整个书籍的专栏部分介绍了多个案例，重点探索城市水资源综合管理在不同领域实施和贯彻的途径，这是因为每个城市面临着不同的挑战，我们需要采取适合每个城市的解决方案。

2 变化中的城市

发展中国家正在经历着城市化进程，人类居住模式变得更为复杂和相互关联。根据联合国人口基金所提供的数据，目前 33 亿人居住在城市，2030 年这个数字预计将上升至 49 亿（联合国人口基金，2007 年）。人口的增长将集中在非洲和亚洲，2000—2030 年，这里的城镇人口将翻倍，不仅如此，拉丁美洲和加勒比地区城市化程度将超过 80%。到 2050 年，70% 的全球人口预计将居住在城市地区（联合国人居署，2009 年）。

我们将超过 1 000 万人口的城市称为特大城市，它们变得越来越普遍，并且越来越大（科恩，2004 年）。到 2025 年，将有 27 个特大城市，其中 21 个将集中在南半球。目前，一些大城市和特大城市都面临着严重的水问题；到 2030 年，47% 的世界人口将居住在用水高度紧张的地区（经济合作与发展组织，2008 年）。占世界特大城市总人口 1/3 的位于干旱和半干旱地区的特大城市，它们变得更加依靠质量不达标的水，而这些水在处理前被普遍认为不可被使用（阿卜杜勒拉赫曼，2000 年）。

事实上，在城市可持续发展讨论中，特大城市已经受到普遍的关注。特别是在发展中国家的城市规划中，关注的重点一直是大都市地区（科恩，2004 年；联合国人居署，2009 年）。然而，如今 52% 的世界城市居民居住在人口低于 50 万的城市和城镇（联合国人居署，2009 年）。正是这些城市预期最快将在未来十年中（联合国世界水资源评估计划，2009 年）为整合资源管理和基本服务提供机遇。

对于人口数量为 2 000~50 000 人的城市，它们所需要的基础设施既不是纯粹的城市样式，也不是严格意义上农村样式。相反，

这些地方需要的是一种混合的样式，既能解决市中心（依赖管道供水和污水处理系统）的用水问题，也能解决市周边地区（需要采用替代技术）的用水问题。这些城市用水需求可能会经历不可预见的膨胀和空间扩展（普利格林等，2007年）。

2.1 市区范围扩大

撒哈拉以南的非洲城市中，非正规居民区或贫民窟是城市人口快速增长和规模不断扩张的主要原因（联合国人居署，2008年）。约830万人——约1/3的世界城市人口——生活在贫民窟的环境中^①。这些定居点往往会出现在城市周边地区，担负着为城市提供包括防洪在内的关键作用，但容易被忽视。这里的土地使用权无法得到可靠的确认，因此房屋质量很差（非洲开发银行，2011年）。这些定居点通常缺乏供电、固体废物管理、卫生设施和供水。

随着城市的发展，周边城镇有可能被吞噬，城乡界限会逐渐消除（科恩，2004年）。东南亚的村中城就属于这种现象（麦基，1991年），它们位于城市的边缘地带，经济活跃，兼具城市和农村的特点（金斯伯格等，1991年）。非农业活动是“村中城”人口的主要收入来源。这些社区的一些成员在村庄里干活和从事家庭手工业，其他人到城里打工，还有的则是以城市为据点，将挣的钱汇给居住在城外的家庭成员。这些地区的大多数土地仍用于种植，但已开始从种植粮食作物向以市场为导向的高价值作物进行转变（麦基，1991年）。

城市扩张为城市规划者带来了一系列挑战。它成为拥堵和环境恶化的主因，加剧了提供服务的成本（联合国人居署，2009年）。在一些中低收入国家，城市至上的思想加剧了城市的扩张，导致全国人口向单一中心城市（一般为首都）聚集情况的发生

^① 在城市的未来大会上，联合国副秘书长兼人居署执行主任安娜·蒂拜朱卡在其主题演讲中有所强调，伦敦查塔姆研究所，2010年2月8日。

(科恩, 2004 年; 联合国人居署, 2009 年)。

虽然城市通常比农村拥有更好的卫生设施和饮用水源地, 但要想跟上人口增长和规模扩张的脚步也着实不易 (世界卫生组织和联合国儿童基金会的联合监测方案, 2010 年)。结果是城市周边穷人的用水依靠非正规渠道提供的服务赖以维系, 这些服务, 无论是中央集中供应政策还是依托市场, 都被排斥在正规支持政策和体制之外 (艾伦等, 2006 年)。

2.2 全球化的后果

在当今的全球一体化经济体系下, 随着电信和交通运输的创新, 空间距离已不再是经济活动的先决条件, 金融管制放宽使资金的流动性加大 (科恩, 2004 年)。“世界城市” (霍尔, 1966 年; 弗里德曼和沃尔夫, 1982 年) 已成为各种公司和企业提供金融和其他专业服务的中心、创新和制造的场所, 终端产品的市场 (萨森, 2001 年)。

在一些地区, “增长三角区” 和 “城市走廊” 正在成为城市带的经济引擎。在南非, 以比勒陀利亚、约翰内斯堡、威特沃特斯兰德和弗里尼欣为轴心形成了豪登走廊 (联合国人居署, 2008 年)。城市走廊可以跨越国界, 西非的伊巴丹—拉各斯—科托努—洛美—阿克拉走廊正发展成一个城市大区, 为居住和工业开发提供了远离污染、拥堵和城中心高地价的场所, 不仅如此, 它还通过已有的渠道和物流体系获取市场和服务 (联合国人居署, 2008 年)。

在世界其他地区, 特别是那些人均收入较低的地区, 城市化进程似乎与经济发达的联系并不紧密。比如非洲的一些国家, 城市化被认为是由贫困所推动的, 并非由工业化和经济增长导致 (科恩, 2004 年; 联合国人居署, 2008 年)。在这些地区, 城市人口有可能被社会两极化, 在某些地区也可能被边缘化。城市发展项目属于资本密集型, 如果在目前的全球经济环境中获得的资助较少, 情况可能会进一步恶化。此外, 预期失业率将上升, 特别

是在城市地区的金融、建筑、制造、旅游、服务、房地产等相关行业。随之而来通常是严重的不平等和贫困。

2.3 部分城市面临的特殊挑战

水资源管理往往受该城市的地理位置影响。占大城市 3/4 的沿海城市中居住着世界上半的人口（环境计划署和人居署，2005 年），这些城市通常会污染当地海域、使含水层盐渍化、破坏包括红树林在内的生态系统，而这些生态系统发挥着抵御侵蚀、风暴潮和海啸的作用。造成的环境影响往往超出城市本身的边界。例如，在莫桑比克的马普托，由于工业活动和污水管理不善，红树林被破坏、海岸被侵蚀，农业和运输活动的污染正在威胁着渔业、旅游业以及整个马普托湾地区的生活质量。

对于由多个国家共享的水域，大型和规模不断扩大的城市所面临的水状况更具挑战性。据估计，每五个人当中有两人居住在跨界流域地区，这些流域覆盖全球陆地 15% 以上的陆地表面积（联合国开发计划署，2006 年）。位于跨界流域的城市对供水基础设施的需求所带来的压力巨大；这些城市的管理机构能力不足或反应迟钝，无法有效开展水资源综合管理，同时公众健康面临严重的威胁（舒缪力，1999 年）。共享公共水体的城市，如在坦桑尼亚的维多利亚湖周边的城市，也是对淡水水质和水生生态系统构成特别的威胁的特定群体。边境城市也时常受到污染问题的影响，如工业增长、城市化进程和流域上游的农业生产。估计目前居住在“封闭”流域中的人口有 14 亿，这些流域的用水量已经超过最低回灌量或接近该水平（联合国开发计划署，2006 年）。

3 水资源与城市化

可供水量不单纯是量的问题，在同等程度上，水的质量确定了有多少水可用于特定的用途。城市水资源退化，通常是由污水处理不足所引起，它对生态系统、健康和依赖水的人类生活产生影响。纵观历史，要让城市中的人类居所充满生机，足够的水供应和处理废弃物的能力至关重要（专栏 1）。本节重点讨论水资源管理体系各组成部分之间的关系。

专栏 1：以往的经验教训

人类居所属于动态的实体，它的大小和结构随时间而改变。早期的一些城市居所采取的生活的方式主要依赖于散居、再利用和资源回收，这些做法在当前都属于城市水资源综合管理的组成部分。

希腊的历史记载显示，公元前 300—公元 500 年间，该城市将公共厕所与下水道连接起来，通过家庭污水和雨水输送到城外的搜集池内（梅斯等，2007 年）。然后通过砖砌的渠道将废水输送到农田进行灌溉和为庄稼及果园施肥。

大约在公元前 600 年，罗马人建造了中央式的有盖下水道系统——马克西玛下水道。该系统有七个分支机构，为整个罗马的用户提供服务，向他们收取接入费。下水道还在下雨时为街道排水。无法支付服务费的人使用室内排便容器，将其倒在公共污水池内。城市为劳动者付费，每天排空污水池内的粪便，将其作为肥料。尿液集中在公共小便池中，出售给染坊、皮革商和其他用户。

早期工业化时期，再利用和资源管理的概念也为欧洲所熟知。几个德国城市建造了下水道，将废水引导到池塘和田地所组成的系统中，直接在农业和水产养殖里再利用（普瑞恩，1990 年）。在 20 世纪初的哥本哈根，干式环卫系统为农业提供肥料（里斯伯格，1996 年）。

当前的城市水资源综合管理程度远远超过预期，随着城市化的规模无限放大以及水与卫生服务设施不规则扩张的持续，新出现的水质危机正威胁到世界许多地区的水安全（科克伦等，2010年）。

3.1 城市废水

城市废水占据相当一部分的污染量。如果没有足够的卫生设施，所有可用的水渠都会变成污水排放的通道。非洲的城市居民中，大约只有8%的人拥有下水道卫生设施（斯特劳斯，2006年）。世界卫生组织和联合国儿童基金会联合监测方案（2010年）的报告显示，2008年，约2 550万（或84%）撒哈拉以南非洲地区城镇居民拥有居家卫生设施，主要为坑式厕所、冲水厕所和化粪池，而且这个数字正在不断增加。露天排便也很常见，导致排泄物影响小溪和河流的水质，特别是在南半球情况更为普遍。

大部分排放的污水依然未经处理。这些与未经处理的工业废水混合形成城市生活废水后变得特别具有毒性，而这在世界上的许多地方普遍存在。灰水是指洗澡、洗衣或洗漱后的水，这些水不经处理即可重复用于特定的用途。可是在非洲撒哈拉以南地区多数城市中，灰水与高污染的雨水、固体废物，以及露天的大小便排泄物混合后冲入下水道，然后被排入天然的水体（希门尼斯等，2010年）。

缺乏废水处理是非洲人类健康所面临的一大风险。在欧洲，夹杂富营养物质的径流进入沿岸水域后导致生产率降低，并形成缺氧死亡地带（科克伦等，2010年）。因接触动物粪便、废水处理不当和卫生设施不足所造成的微生物污染，是影响人类健康最严重的污染物。事实证明，实现千年发展目标中的卫生目标所面临的挑战比预期更为严峻，从长远角度看，普及下水道系统将是一个遥不可及的目标。

1990—2006年之间，没有获得改善卫生设施的人口比例仅仅下降了8%。在非洲，估计仍有5亿人没有相应的卫生设施（《联

联合国世界水资源评估计划》，2009年；世界卫生组织和联合国儿童基金会联合监测方案，2010年）。在巴基斯坦，人口超过1万的城市中，只有2%具备污水处理设施；而在这些城市中，经过处理的污水尚不到30%。在通常情况下，由于污水处理的开发拖了后腿，导致下水道连通系统的拓展无法实现。

在世界的许多地区，负责废水管理的机构错综复杂，健康、农业、供水和卫生设施等机构的权力界限相互重叠。此外，可以切实到位的处理类型或降低风险的策略往往受到当地条件的制约。例如，在许多发展中国家使用冲水式清洁系统和污染减排设施恐怕并不具有持续性。《世界卫生组织指南》（世界卫生组织，2006年a）为废水产生一直到处理废水和粪便后的整个过程制定了安全综合防御管理框架，并注重将废水处理作为风险综合管理措施的组成部分。然而，由于废水处理不但需要尖端技术而且昂贵，普遍应用并不具备可行性或合理性（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。

3.2 水量

在世界范围内，农业灌溉占用水的70%~80%。工业用途（包括能源）达总用水量的约20%，在城市化不断发展的经济体中，这一数值正在增加。生活用水所占的比例份额大约是10%。到2050年，工业和生活用水的需求预计将增加一倍（联合国开发计划署，2006年），对水源的竞争将进一步加剧。

由于水资源所面临的压力，必须更有效率地利用现有的供水。供水网管系统中的渗漏导致服务提供商损失了大量供水，全球每年约累计为320亿立方米；非法接入或水费记账系统的缺陷又导致了每年另外160亿立方米的损耗（金顿等，2006年）。供水网管系统中的水和最终客户所获得的——即计入账单的——水之间的差额，被称为无收益水。

每年全球各类公共设施中无收益水的总值预计为1410亿美元（金顿等，2006年）。无收益税使财务收益无法实现，也不利于供

水设施提供持续的服务。减少这种损失可帮助拓展城市供水普及率和缓解水资源压力。

随着城市的发展，水的消耗速度增长幅度很快超过人口增长率。1900—1995年，全球用水量增长了六倍，超过人口增长速率的两倍以上（世界气象组织，1997年）。一项城市间比较研究表明，城市的用水需求一般会比边远地区优先得到解决（莫尔和伯克夫，2006年）。

3.3 水质

水质差加剧了水资源短缺问题，并可限制特定用途的供水量。水质和水量的退化往往是由于人类活动造成的，如集约型农业、资源密集型工业和快速的城市化，扰乱了整个城乡范畴内天然水循环和过程。例如，城市里集中建设不渗透的水泥地意味着可渗透至地下的水量减少。河流的基流受到影响，而地表径流的流量增大。所形成的雨水流会携带更多的污染物，进而降低水的质量（帕拉尼亚潘等，2010年）。

非点源污染（如农业或矿业径流）无形中渗透到地下含水层，破坏了下游生态系统和饮用水源。重金属不仅损害了下游的饮用水供应，也会影响到销往城市的食品质量。例如，使用锌矿废水灌溉会导致稻米中镉的堆积（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。

最常见的水污染物是微生物、营养物、重金属和有机化学物。水体富营养化是全球主要的水质问题。它是由浓度过高的营养物质（主要是磷和氮）造成的，主要来自农业径流、生活污水、工业废水以及矿物燃料燃烧后和丛林火灾的气体衍生物。来自工业和采矿活动、燃煤发电厂和垃圾填埋场的汞、铅和其他重金属会在人类组织和其他器官中累积。药品和个人护理产品中的物质包括避孕药、止痛药和抗生素在水中的浓度均有所增加。

这些新出现的污染物成为城市供水系统中的下一个挑战。随着科学技术的进步，人们已经了解到新污染物对人类健康和环境

的影响。一些新兴污染物已经得到明确，如内分泌干扰物、药物活性化合物、个人护理产品和消毒性微生物等。它们对人类和生态系统的长期影响仍属于未知，但也有一些被认为是模拟多个物种的天然激素，这引起了公众和环境健康方面的关注（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。在低水位地区，这些污染物浓度更高。随着对新兴污染物及其影响的进一步认识，将制定更严格的水质标准，进而会增加供水设施的压力。

有这样的说法，世界正处于水质危机的边缘（科克伦等，2010年）。然而，世界的许多地方缺乏污染量和水质变化的综合数据，因此，这种损害的整体情况仍是未知数（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。

3.4 生态系统服务

城市离不开湿地和水生生态系统所提供的服务，如氧气制造、碳储存、毒素和污染物的天然过滤，以及沿海洪灾和山体滑坡等暴雨有关灾害的防护（联合国人居署，2011年）。水生系统可稀释污染物，将污染物质输送到远离人类居住的地方，保持淡水资源的质量，在某些情况下，还能永久地从大气中去除污染物。

然而，不可持续的水资源管理和过度污染正在削弱这些服务功能，使清洁水供应和食品生产大打折扣（《联合国世界水资源评估计划》，2009年；科克伦等，2010年；马福塔等，2011年）。其中，淡水生态系统是地球上遭到破坏最为严重的系统（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。因为水生生态系统具有相互关联性，当地水生生态系统发生改变可对下游地区带来严重后果。

3.5 应对政策

尽管水生生态系统所提供的水在质量、消费、废水以及生态服务之间存在相互联系，人们通常孤立解决各个问题（范·德·莫维—博塔，2009年）。这种策略往往是低效的，不具有可持续

性。例如，一些城市制定了大规模调水计划，调用农村地区农业生产、生态保护区和周围含水层中的水，或从已建成的大型水坝调水。一旦生态系统退化，城市往往转向依靠工程解决方案，如大型储水和处理设施或流域调水计划，用以弥补已被破坏的服务。这些项目通常造价昂贵，却无法阻止不可持续的和污染型的用水方式。

时至今日，大约 2 000 万公顷农业用地正在使用未经处理或部分处理的废水进行灌溉（斯科特等，2004 年；科瑞塔等，2007 年）。农民从实践中获得了各种好处：废水流量往往比淡水来源更可靠，而且废水灌溉增加了作物的产量和作物（包括蔬菜等高价作物）种植的范围（科瑞塔等，2008 年；《联合国世界水资源评估计划》，2009 年）。因此，即使用于灌溉的废水可能会含有高浓度的重金属、有机有毒化合物和病原体（阿拜多等，2009 年；汉密尔顿等，2007 年）并危害人体健康，但是，安装污水处理设施还是可能会面临一些阻力（贝劳等，2009 年；乌布欧别等，2006 年）。

尽管如此，雨水收集和储存、海水淡化和废水回用目前正引起更多的关注。事实上，城市已经基本上耗尽了最方便获取的水源，其供水来源的组成形式会变得更加多样化（浅野，2005 年）。例如，在美国加利福尼亚州圣迭戈，约 85% 的水源来自于数百英里之外。到 2030 年，整体用水需求预计将上升 25%，圣地亚哥计划在采取遏制用水需求管理措施的同时，通过海水淡化等开发新水源（图 1）。

废水可成为仅有的几个可用水源之一，尤其是在干旱和半干旱地区（希门尼斯等，2010 年；科瑞塔等，2008 年）。污水处理去除废水中的物理、化学和生物污染物，处理过的污水和污泥随即可安全地排放，甚至重复使用，如用于城市园林绿化、娱乐休闲及环保、工业冷却和加工、饮用水再利用、间接饮用水生产（例如补给地下水）以及农业灌溉（浅野，2002 年）。

如今，大约有 2 000 万公顷农业用地使用未经处理或部分处理的废水进行灌溉（斯科特等，2004 年；科瑞塔等，2007 年）。农民从实践中获得了一些好处，如废水流量往往比淡水来源更可靠，

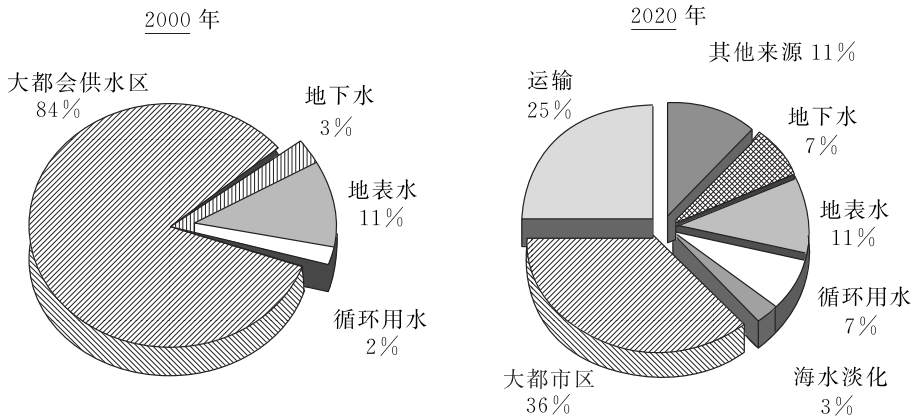


图1 圣地亚哥在过去及预测的水源组成情况

资料来源：浅野，2005年（加利福尼亚圣迭戈市）。

而且废水灌溉增加了作物（包括蔬菜等高价值作物）的产量和种植范围（科瑞塔等，2008年；《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。正因如此，建设污水处理设施往往会受到阻力，即使是用废水灌溉可能会携带高浓度的重金属、有机有毒化合物和病原体（阿拜多等，2009年；汉密尔顿等，2007年），甚至危害人类健康（贝劳等，2009年；乌布欧别等，2006年）。

新加坡在处理污水使其达到可饮用的标准方面起到了带头作用（见专栏2）。虽然目前这种方式仍处于耗能阶段（UNEE 2011年），但随着技术的进步，直接饮用水循环利用方面将会产生更多低成本高效益的解决方案（施罗德等，2012年）。

专栏 2：新加坡：最有效的水资源综合管理

新加坡在水资源管理方面已经积累了几十年的经验，充分体现了该国作为一个城市国家的独到之处。不过，新加坡在水资源管理方面的一些做法也为其他城市和国家提供了经验和教训。

新加坡实施水资源管理计划背后的驱动力是减轻对邻国马来西亚水资源的依赖程度。根据“国家四个水龙头”战略，新加坡采用了一系列措施，以提高水的利用效率，减少浪费、增加供水渠道和采用水需求管理。

新加坡凭借先进的技术，利用膜基净水使再生水（新生水）得以大规模生产。自 2003 年开始生产以来，由于新生水的低成本和高品质，人消费量和非居民利用率都稳步增长，供水公司利用可替代水源，向客户提供储水罐，确保可靠的供水。然而，这也导致较高的能源消耗。

新加坡还制定措施对水需求进行管理。它没有采用人为降低水价补贴低收入用水户的做法，而是采用了有针对性的折扣形式作为财政补助。供水公司也为超出平均用水量的家庭提供节水器具。水价可以使新加坡的供水公司收回全部成本，还可反映出水资源短缺的状况和提供额外供水产生的费用。

供水取得的收入被用于开发替代水处理及供应技术，以及维护供水单位的基础设施。作为环境和水资源部下属的法定机构，水务局在确保这些措施的成功方面一直发挥着举足轻重的作用。它享有高度自治权，集中了供水、排水、污水处理和管理。它与城市的其他机构协同行动，包括市区重建局和国家公园委员会。水循环利用计划就是公私合作的典范。

政界高层对城市水资源综合管理给予承诺是新加坡成功的另一个要素。李光耀总理在就任前就将可持续水资源管理战略视为施政的优先领域。就任后，他成立了一个跨部门机构负责协调水与卫生事务。水政策成为政治议程的要务，其他所有部门的政策都要进行相应调整，使之与长期水安全目标相吻合。李总理的支持也保证了投资的持续性。

资料来源：亚洲开发银行，2010 年。

3.6 经济成本和效益

在中东和北非，水污染和过量取水每年带来的经济损失估计为 90 亿美元，占国内生产总值的 2.1%~7.4%（侯赛因，2008 年）。此外，洪水和干旱等灾害损失在贫困国家占国内生产总值的份额明显高于富裕国家（德利·普瑞斯克里和伍尔夫，2009 年）。淡水恶化也迫使供应商（无论是正式或非正式的）寻找替代水源，增加了向消费者供水的成本。恢复城市周边绿丘和河流流域生态

系统可能会是一种更为廉价但更有效率的替代方式，或者作为一种更能适应极端天气事件的补充方案（马福塔等，2011年）。

水和卫生设施不安全或者缺乏以及不当的卫生习惯可导致每年约170万人死亡（世界卫生组织，2002年）。微生物污染及其所造成的疾病是南半球劣质水所造成大多数健康威胁的根源。不佳的水质给人类带来的与健康有关的成本可能相当高：在非洲，由于缺乏水和卫生设施，死亡率和发病率造成的经济损失（包括生产力的损失和医疗治疗费用）估计为284亿美元。这相当于非洲国内生产总值的5%（世界卫生组织，2006年b）。

改进水资源管理的投资回报在不同的地区和根据不同的技术有所差异。世界卫生组织计算得出，在安全饮用水和基本卫生设施上每投资1美元，回报介于3~34美元之间（赫顿和海拉尔，2004年）。可持续水资源管理和提供安全用水所带来的效益（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）包括保护人类和环境健康、提高工作场所的生产力和提高入学率及受教育程度（特别是对于花费大量时间取水的女童）。

4 气候变化挑战

在气候变化背景下，水管理危机正在逐步呈现。最新的《政府间气候变化专门委员会评估报告》（2007年）中的证据显示，全球变暖趋势“明确”，2100年前预计气温将升高 $1.8\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 。陆地区域可能会遭遇高温、更频繁的热浪和数量变少但强度更大的降水。受干旱影响的区域预期会扩大。一些地区将会遭受强烈的热带气旋，而沿海地区将面临海平面上升问题。低海拔沿海地区仅占世界陆地总面积的2%，但该地带城市人口约占13%（联合国人居署，2011年）。专栏3对世界主要地区所受到的影响进行了总结。

专栏3：地区气候预测

随着气温上升，撒哈拉以南非洲的中部和东部地区可能会频繁遭遇洪水，这将给供水和卫生基础设施带来破坏。南部非洲现有大量自来水供应和污水处理系统，但预计今后平均降雨量将减少，因此，城市地区必须对需求进行管理，减少渗漏和其他损失。降雨量减少也对萨赫勒地区和非洲撒哈拉以南的西南地区构成威胁。

目前已经十分干燥的北非和地中海东部地区的平均降雨量可能进一步下降。该地区自来水和污水处理系统拥有率很高，今后将不得不对地下水的不可持续开采进行限制，特别是要对城市供水进行限制。海水淡化在该地区的普及率将会提高，这意味着未来的能源供应和成本以及温室气体排放目标将对海水淡化供水的持续发展产生影响。

南亚平均降水量很可能会增加，连续五天阴雨天气的状况将进一步加剧。随之而来的洪水风险将对供水的各个方面带来严重影响。在该地区其他地方，加速变暖可能会加剧冰川融水。

在中美洲和南美洲东北部，气候将变得更为干燥。同时，预计自来水覆盖率将超过目前 75% 的水平。在干旱风险情况下，该地区将不得不制定保障供水战略。

资料来源：世界卫生组织和英国国际发展部，2009 年。

在人口、产业、基础设施和经济活动高度集中条件下，城市地区将面临气候变化带来的直接挑战和潜移默化的威胁（联合国人居署，2011 年），如供水、交通网络、生态系统、能源供应和工业生产中断以及基础设施的破坏；基本服务无法继续提供；地方经济崩溃；已经存在的不平等加剧以及城市人口进一步扩散等。仅 2008 年，突发自然灾害导致约 2 000 万人流离失所，预计到 2050 年，因气候变化导致的灾害将使流离失所的人数上升至 2 亿（联合国人居署，2011 年）。无论是发达国家还是发展中国家，低收入家庭都是最缺乏应对准备的人群（联合国人居署，2011 年）。

在城市地区，水是气候变化产生影响的主要媒介（《联合国水资源组织》，2010 年），其中淡水系统受到的影响最为严重（气候变化专门委员会，2007 年）。时至今日，绝大多数国际气候变化政策讨论中仍没有涉及城市问题。目前，世界各地的城市都在制定适应和减缓措施，包括制定提高水务部门应变能力的战略。

4.1 气候变化和供水

除了人口不断增长导致城市用水需求增加外，降水模式、河流流量和地下水位变化都可造成供水短缺（联合国人居署，2011 年）。一些水源可能不太适合某些用途（如盐分高的水不宜用作农业用水），因此水处理成本会上升（如富营养化要求对生活用水进行额外处理）（萨多夫和穆勒，2009 年）。对于一些发展迅速的沙漠和半沙漠地区特大城市，水资源短缺可能会更为严重（比斯瓦斯等，2004 年）。

气候变化对供水技术会产生影响，主要是洪水破坏会对水处理提出更高的要求，减少可供水量并削弱运营能力。持续干旱期将对浅层地下水系统、屋顶雨水收集系统和地表水产生不利影响。

虽然受到气候变化的影响，大多数饮用水供水技术仍具备一定的适应能力。在《世界卫生组织和联合国儿童基金会联合供水与卫生设施监测方案》所认定的已获得改进的技术中，机井（主要用于亚洲）对于气候变化显示出相当高的适应能力；受保护的泉水和小型自来水管道的适应性相对较弱；人工挖掘井和雨水收集则更弱。供水机构在管理供水方面具备足够的弹性和适应潜力，而这些能力中很大一部分还没有实现。而小型社区在管理供水方面则缺乏足够的适应能力（世界卫生组织和联合国儿童基金会，2009年）。

由于可供水的模式逐步发生转变，拥有和缺乏安全用水的地区之间的虚拟水（水密集型产品）贸易可能会增加。虚拟水贸易可通过将粮食生产转移到产量高的地区来维持粮食安全。无论怎样，由于近期食品价格的波动，满足人类日常食物需要问题已经引起重视（萨多夫和穆勒，2009年）。

4.2 气候变化与卫生

水是卫生过程中必不可少的因素时（如污水系统）气候变化在这一过程中对其产生直接影响；如果生态系统吸收或减弱废物的能力不足，气候变化则对卫生产生间接影响。在干旱地区，依赖水资源运行的污水处理系统将变得更加难以操作和维护。

当降雨和洪水增多时，气候变化将增加雨洪排水渠、堤坝和防洪堤的负担，也可使一些地区无法居住。洪水会冲坏下水道系统。有些城市将雨水和污水处理系统合二为一，洪水会挤占污水处理设施，对公共健康构成威胁（图斯，2009年）。地下水位抬高可使蹲式厕所带来的污染难以得到妥善管理（世界卫生组织和英国国际发展部，2009年）。洪水还会污染水源，导致腹泻和呼吸系

统疾病的发生率提高（联合国人居署，2011年）。

在《联合国儿童基金会供水与卫生设施联合监测方案》划分的“改进类”卫生技术中，由于坑式厕所可以重新设计式样，因此具有更强的适应性。可是，单个设施普遍不具备较好的应对能力。一旦地下水位上升，坑式厕所造成的污染会变得难以控制。在面对多样化的气候变化情景下，改进后的污水系统，包括“小口径”“浅式”和“共有式”排污等简易处理方案，比传统的污水处理方式成本更低、耗水量更少。

“适应赤字”指一些发展中国家面对气候变化提出的新挑战，在处理目前面临的问题时城市基础设施不完备（联合国人居署，2011年）。许多贫民窟没有排水管网，或者现有的排水渠中充满了垃圾。强降雨所引发的洪水可能导致未经处理的废水从下水道溢出（图马希和阿索马尼—博阿滕，2002年）。

在许多国家，负责存储、处理、运输和分配水的基础设施已接近使用寿命或已经超过其设计使用寿命。破旧的基础设施对人类和环境健康、公共和私人财产构成问题，甚至会对当地经济造成严重的影响。而气候的变化将进一步加剧这些系统的负担（卡特里和费拉法·莫尔西，2007年）。

表1 罗列了城市可能面对的各类气候灾害以及它们对城市系统的影响。

表 1 气候灾害及其对城市系统的影响

气候灾害	影响	脆弱的系统	可能的后果
降水减少	水资源短缺	供水 人类健康 食品生产 城市绿地	家庭用水、工业和服务业用水短缺 营养不良和水源性疾病增加 灌溉用水减少，产量下降；粮食进口 生物多样性和生态系统服务减少
	径流减少	能源供应 食品生产	降低水力发电的潜力： 干扰热电站的冷却系统 由于排放沉积物和营养物，降低生物产量，对沿海渔业造成负面影响

续表

气候灾害	影响	脆弱的系统	可能的后果
降水增加	洪水	供水 废水 交通运输 建筑环境	公共供水中断 损坏防洪设施，污染水体 损害运输基础设施 对住宅区、商业、运输和社会的破坏：财产损失
	加剧侵蚀和泥沙输移	水源（水库）	沉淀物，减少蓄水量和增加浑浊度
温度升高	减少水的含氧量和改变混合情况	供水（湖泊，水库）	水质下降（例如藻华）：
	冰雪覆盖面的变化	水源（河流）	增加处理要求
	增加在水中的细菌和真菌含量	供水基础设施	峰值流量出现的时间和幅度变化 增加去除气味的处理要求
海平面上升	海水侵入沿海地下蓄水层	水源（地下水）	由于海水入侵减少淡水供应：放弃该水源
	风暴潮 洪水泛滥	全部	破坏所有的沿海基础设施：海岸保护与土地利用搬迁费用成本：潜在的人口迁移和基础设施的转移

资料来源：政府间气候变化专业委员会，2007年；洛夫特斯，2011年。

4.3 城市对气候变化产生的作用

城市中心通过排放温室气体、产生固体废物以及土地使用模式影响碳循环和气候系统。污水处理是二氧化碳、甲烷和一氧化二氮排放的来源（世界卫生组织和英国国际发展部，2009年）。预计1990—2020年之间，废水中的甲烷排放量预计增加近50%（虽然目前该数值相对较小），一氧化二氮增加量约为25%（政府间气候变化专业委员会，2007年）。

非正规居民区和贫民窟通常靠近河流、溪流和海岸线，通过非正规渠道接入水源，它们会破坏水生生态系统，损坏了防洪等城市重要的生态系统服务。同时，随着城市中人工建造场所和不渗透地表面积的增加，自然渗透和雨水流量均受到干扰（图斯，2009年）。

以2011年为例，季风暴雨和连续的热带风暴在曼谷造成长时间的

洪水滞涝。多年来，城市化的快速发展以及城市及周边地区的开发已经造成滞洪区和洪泛区的缩小（《联合国世界水资源评估计划》，2009年）。曼谷位于平坦的沼泽三角洲，城市的几个街区低于海平面以下，是东南亚最易遭受洪水侵害的首都之一（优素福和夫兰希斯克，2009年）。曼谷的案例说明，许多城市都面临着一项挑战，即如何确保城市发展不以牺牲环境保护和公共安全为代价，特别是发展中国家的城市。

随着城市的发展及其对材料消耗的增加，所产生的温室气体排放范围已经扩大。由于城市向周边地区扩展，以往被植被所覆盖的土地被侵占，导致二氧化碳的中和能力降低。城市所消耗的商品、食物和水都依赖于附近的森林、农田和水域，这样就导致温室气体排放到周边的协作地区（联合国人居署，2011年）。

要准确量化城市对气候变化产生多大影响仍很困难。有些机构为城市制定了框架和标准来计算其在边界内的温室气体排放量^①。根据最新预测，城市的碳排放量占75%~80%（卡马尔—沙维和罗伯特，2009年；世界银行，2010年）。

工业部门和个别企业已开始执行温室气体排放清单，评估其对环境活动的影响。不过问题依然存在，比如，是选择以生产还是以消耗为基准的测量标准？为了计算排放量如何划定城市边界（联合国人居署，2011年）？

4.4 应对方案

早期的气候变化研究一般将减排措施（减少人类加剧气候变化的活动）与适应措施（准备迎接后果）相互分离。然而，两者之间逐渐变得相互关联，不仅如此，这些措施必须与可持续发展的大目标保持一致（麦克沃伊等，2006年；世界银行，2010年）。经过对提出的措施进行分析，可找出潜在的协同效应、冲突，并做出取舍。例如，恢复城市绿地不仅成为城市减排的措施，也成为城市的适应

^① 例如，参见《地方政府可持续发展框架（国际当地政府的温室气体排放分析协议）》和《城市温室气体排放国际标准》。

性措施，因为这些绿地既吸收了碳排放，又保护城市地区免受与极端天气事件相关的伤害（联合国人居署，2011年）。

为了应对气候变化，综合行动必须考虑减缓和适应措施所应用的时间和空间范畴。缓解措施通常以落实国际承诺和确定国家目标为依托，强调长期利益；适应措施更加侧重于本地和直接行动。由于城市人口和经济活动高度集中，因此，减缓和适应措施不但可行而且十分必要。然而，我们在降低城市供水和卫生系统的碳排放方面所付出的努力少之又少，我们把城市水管理作为抵御气候变化最要紧的优先领域给予重视的同时，却在让城市供水系统拖了后腿，在扩大管理范畴和降低无收益用水带来的损失方面都存在不足。我们在应对当前和极端水文和气候多变性方面的努力往往是“处于最初级阶段，而且经常是临时性的”（丹尼连科等，2010年）。

应对气候变化需要采取综合措施。我们要认识到气候的危害性并提高适应能力，例如，制定规划时不但要考虑城市水管理，还必须综合考虑区域内人工建成环境、污染控制政策，以及固体废弃物和雨水管理。为了进一步做好准备，我们必须了解现有的资源和预期的需求，寻找基础设施解决方案，监控运行程序和规划进程，并及时采取纠正措施。

在世界各地的许多城市已经开始以气候变化为前提管理供水系统（专栏4）。

专栏 4：西雅图、墨尔本和马尼拉：适应和减缓气候变化

西雅图（美国华盛顿州）供水公司联合华盛顿大学，在制定规划过程中将应对气候变化纳入其中，其中包括将全球气候模型细化到地方流域层面，以及为流域水文系统建模。随着新数据的积累，该分析不断更新。供水公司还资助瀑布水联盟、华盛顿州生态司以及地方气象局，研究如何提升系统运行的潜力。

成立于2005年的全球变暖行动小组将预算办公室、水资源规划、固体废物等部门的代表组织起来，使其能够了解气候变化对整个城市地区的累积影响，并将这些问题纳入整个地区的气候计划中（丹尼连科等，2010年）。

墨尔本水务局（澳大利亚维多利亚州）正在进一步改进敏感性评估，从最大的风险和最坏的情况中吸取经验教训，并尽量减少气候和水文预测的不确定性。他们也在探索如何采用海水淡化、回收和定价等方法提高城市供水的应变能力，并制定新的规划标准和提出“无遗憾”政策选择。由于澳大利亚东南部已遭受了十多年的干旱，墨尔本已发起了一个公共宣传活动，宣传节约用水，通报河流水位和水库容量，并通过城市出租车等一系列途径进行广告宣传，影响公众的水消费行为。无论是墨尔本还是西雅图，公共宣传被用作向不同利益相关者群体宣传气候变化对城市水系统可能产生的影响的手段，使他们能够融入到参与制定适应措施的行动中。

墨尔本地区降雨量可能会进一步减少，这将降低供水量和可用水量。由于该城市没有得到联邦或州政府补贴来对供水系统进行整治以应对气候变化，因此需要全部依靠用水户付费来承担费用（丹尼连科等，2010年）。

马尼拉（菲律宾）自来水公司在其2007年应对气候变化政策中强调降低气候变化影响。碳管理计划的制订将提高能源利用效率，并在运营中更多地选用可再生能源。该公司的“废物转化能源项目”从废水和污泥中回收能源，并用它来运营位于大都会马卡蒂市的阿亚拉南部污水处理厂。

采取及时有效的适应措施将使城市减少翻新建筑带来的成本和技术难题、改造基础设施、调整土地利用计划以应对气候变化。在规划、建设和维护抵御气候变化基础设施和服务方面，当地政府起到至关重要的作用。然而，在世界的许多地方，地方政府缺乏必要的资源和机构执行力。在这种情况下，必须以社区为基础制定适应措施，提高当地的适应能力。但无论是以政府还是社区为基础的方法都还不够，有效的适应性应对需要各方利益相关者的广泛参与（联合国人居署，2011年）。

5 从资源利用到资源管理

城市规划者在选择未来水资源管理方式时面临这样的问题：城市越来越依赖农村地区提供支撑，城市“影子”蔓延扩大会危害食品生产、导致富养分化和水资源污染；也许规划者们可以从资源使用者转变为资源管理者，改变消费模式，实行废物管理和改进规划，更好地平衡往来于城市间的资源。

为在城市及其周边地区实行更加可持续的水管理，本节重点阐述需要进行的转变。

5.1 传统的城市水管理

城市水管理的目的是确保所有人都能获得水与卫生设施和服务，管理的范围包括雨水、污水、雨水排放和径流污染，同时控制水源性疾病和流行病，减轻洪涝、干旱和山体滑坡，还要防止资源退化。

传统的城市水管理策略已无法应对当前的需求，而且未来对城市水管理有更多的要求。由于城市发展和气候变化带来的挑战，传统城市供水管理的实践似乎已经过时。将城市供水系统作为单独的服务系统进行管理的传统做法导致城市出现不平衡的“新陈代谢”（诺沃提尼，2010年），造成了城市水问题与更广泛的城市规划过程的分离。

过去开展供水、环卫、污水处理、雨水排放和固体废物管理时，在很大程度上将其作为孤立的服务进行规划和实施。在城市层面，各供水机构在不同的政策和立法的指导下，不间断地从事水行业分支的监管工作。传统的城市水管理模式没有对水质进行区分并确定不同的使用者，其结果是优质水被不加区别地用于满

足城市的各种需求（范德斯蒂恩，2006年）。这个问题不仅存在于城市，流域层面的管理层往往也忽视了淡水、污水、防洪和雨水具有交叉和相互依存的关系（图齐等，2010年）。水从上游提取后输送到城市地区使用并被污染，然后再被输送到下游。

水议题常常被排除在涉及面广泛的城市规划过程之外，尤其在发展中国家，这个问题尤其明显，这些国家的现代城市发展仍占据主导地位，正忙于设计人类居所项目和土地利用区化（联合国人居署，2009年）。许多发展中国家过去的努力都集中在城市的扩张上，这对于低密度、低增长的城市不失为一种良策，但不适合快速增长的高密度中心城市（安吉尔等，2011年）。这种模式已经被证明具有排他性，因为它没有考虑到广大新移民的高度贫困状况。一旦新的政策出台，这些城市的机构和管理人员往往缺乏执行力。其结果是非正规居住地泛滥以及城市向周边持续蔓延。

5.2 城市水资源综合管理

目前城市正在经历着转折，它的范畴已经超出了城市的边界，这意味着城市中心已经成为水管理的关键所在，必须采取新的措施。

城市水资源综合管理并不是一套急救包，能够快速修复城市水资源管理中单个问题。相反，它重新设计了城市与水和其他资源的关系，也重新定义了监管的方式。

城市水资源综合管理的要点是：

- 涵盖城市集水区的所有的水源：蓝水（地表水、地下水、调入水、脱盐水）、绿水（雨水）、黑水、棕水、黄水和灰水（污水）、再生水、雨洪，以及虚拟水；
- 将不同来源的水（地表水、地下水、不同类型的废水、回收水和雨水）与不同用途所需的质量相匹配；
- 将水的储存、分配、处理、回收和处置作为一个循环而不是分离的过程，并相应地制定基础设施规划；
- 从源头开始规划水资源的保护、节约和开发；
- 将使用相同水源的其他非城市用户纳入考虑的范畴；

- 充分认识并努力协调涉及城市水资源管理的各类正式的（组织、法律和政策）和非正式的（规范和惯例）机构之间的协同关系；
- 寻求经济效率、社会公平和环境可持续性之间的平衡。

表 2 对以往的做法与新措施做了比较。

表 2 城市水管理与城市水资源综合管理的比较

过去的城市水管理	未来的城市水资源综合管理
供水和污水处理系统以历史雨量记录为基础。	供水和污水处理系统依靠多种来源的数据和技术，可适应更大程度的不确定性和可变性。
水从供应到一次性使用再到处理和处置的单向路径。	水可以回收并重复使用多次，随水质下降产生级联效应。
雨水是一种累赘，很快从市区运输出去。	雨水是一种可供收集的供水资源，通过渗透或保留下来，补给含水层和水路，灌溉植被。
人类排泄物是一种累赘，需要处理和处置。	人类排泄物是一种资源，可收集、处理和作为肥料使用。
线性方式部署互不关联的系统来收集、处理、使用和排放水。	以恢复和再生的方法提供了集成系统，提供水、能源和资源回收，与土地利用的设计、管理和社区健康建立联系。
需求等于数量。基础设施由所需的或由最终用户产生的水量来确定。供应方提供的所有水均达到饮用水标准；所有废水收集起来供处理。	需求是多方面的。基础设施与所需水的特征相匹配，或以足够的水量、质量和可靠性为用户生产。
灰色基础设施由混凝土、金属或塑料构成。	绿色基础设施包括土壤和植被以及混凝土、金属和塑料。
系统越大越好；收集系统和污水处理厂集中在一起。	也可以是小的系统；收集系统和污水处理厂可能是分散的。
标准化解决方案限制了复杂性；水利基础设施包括由城市供水专业人士开发的“硬系统”技术。	解决方案可能是多样的，具有灵活性；管理战略和技术相结合了众多专家设计的“硬”和“软”系统。
公用事业单独跟踪成本，专注于会计结算。	公用事业评估从投资和技术选择带来的全系列收益，专注于价值创造。
该标准是一个常规业务工具包。	扩展的可选项工具包，包括高科技、低科技和自然系统。
机构和法规阻止创新。	机构和法规鼓励创新。
供水、污水和雨水系统在物理上被区分开来。制度整合仅仅是历史的偶然。	供水、污水和雨水系统被有意地联系起来。通过协调的机构维持物理和机构的整合。
合作等于公共关系。只有在需要批准预定解决方案时，才有其他机构和公众的参与。	合作等于参与。其他机构和公众积极参与，寻找有效的解决方案。

资料来源：莫德姆梅耶，2010年；平卡姆，1999年。

城市水资源综合管理被包含在水资源综合管理的框架之内，通过调整城市供水部门与农村供水、农业、工业和能源协调一致，促进流域或集水区内的水安全。因此，城市水资源综合管理的目的不仅仅是其字面反映的内容，相反，它作为监测流域各分支系统的工具，在提高可用水量，增加获取水的途径和减少因用水引起的冲突等方面发挥作用。

5.3 城市水资源综合管理框架

城市水资源综合管理框架以城市水资源综合循环模型为基础（图 2），其中包括系统工程。它包括“标准”城市供水流量（饮用水、废水和径流），以及通过回收计划（灰水、再生水和雨水收

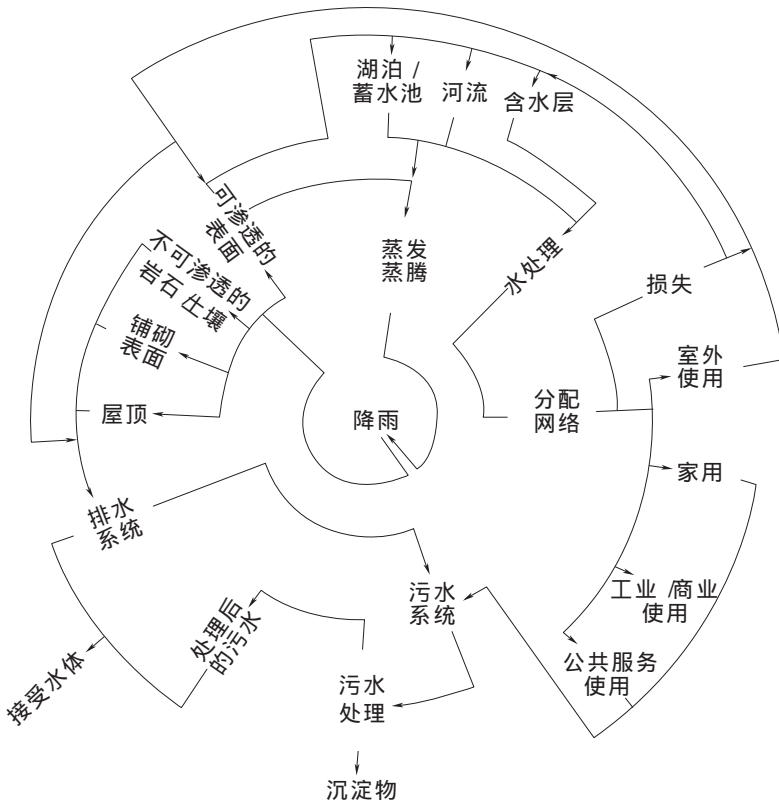


图 2 城市水资源综合循环模式

资料来源：SWITCH，2011 年。

集)与“标准”城市供水的整合。

集成模型考虑了城市不同来源的水源径流之间的联系,例如水、能源和营养物质之间的关联性(图3)。该系统采取的方法不限于城市水循环的物理特性,还包括体制、资金和政策结构(图4)。因此,人类和他们的各种组织形式是城市供水系统的有机组成部分(范德斯蒂恩和豪,2009年)。但城市水资源综合管理系统模型的边界应足够宽广以避免外部推展与延伸。如果系统边界太窄,可能会导致个别子系统出现有害的次级优化。

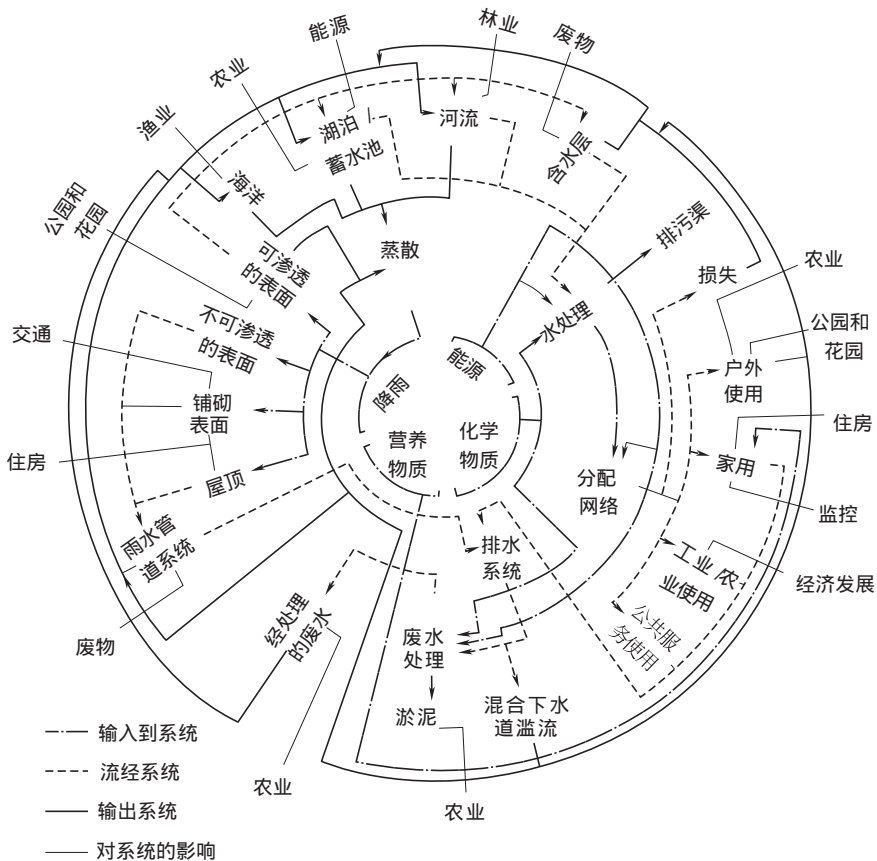


图3 不同城市服务的整合

资料来源:未来城市水资源管理计划,2011年。

该框架强调了城市水循环中的关联点。如果忽略了城市水循环的不同元素之间的相互作用,可能相互造成负面影响,同时,积极

的协同作用也不容错失。为了充分体现复杂的相互作用和联系，要求城市水资源综合管理的建模工具能预测整个系统中各种可能出现的干预因素所造成的影响。多种不同的决策支持和范围划定模型（如 CITY WATER、AQUACYCLE、UVQUWOT、MULINO、HARMONIT、DAYWATER 等）可以对水、能源和污染物的动态平衡进行评估，在城市规模内为城市水资源综合管理提供支持。

人们设计和运用这些工具，为城市水资源管理中创新技术和系统可能在短期和长期产生的影响提供指导（贝茨等，2010 年），并用这些工具帮助确定系统配置，最大限度地减少水的消耗、成本和能源。

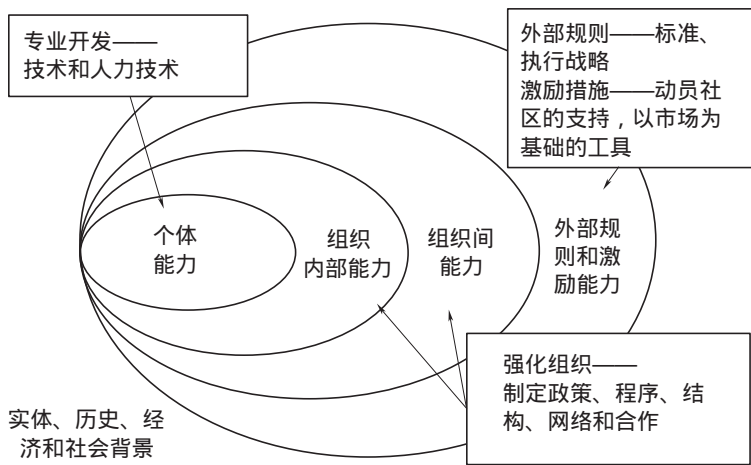


图 4 体制一体化框架

资料来源：布朗等，2006 年。

没有放之四海而皆准的水资源综合管理模型。水资源管理者必须考虑所选定范畴的含义：例如，集水区或流域在何时可以使用或适当的范畴多大？市区或地区何时介入更合适？在集水区或流域内，什么是最好的决策？而在其他范畴最好的决策又是什么？可以对边界作出多种选择，这取决于自然和社会等因素。无论如何，每一项都将融合市政、流域、国家和地区各级管理层的特色。

表 3 提供了不同层面管理中的各项目标以及实现这些目标的措施。

表 3 不同层面管理中的城市水资源综合管理目标和措施

层 面	目 标	措 施
家庭，社区	节省供水	厂内和室内回收 雨水收集 节水耐用消费品
	满足基本需求	小规模社区网络 私人供应商的授权
市政，市公用事业	节省供水和重新分配供水	泄漏控制和网络维护 在城市范围内有计划地再利用 双重供水 基于成本的水价和计量 改造水利用设备
	提高健康水平和满足基本需求	有针对性的补贴 关于水卫生的教育 促进社区层面的供应 取消供应中对土地使用权的限制 防止垃圾渗透到供水之中
	加大投入	基于成本的水价 更好的收取盈利 更高的工作效率 打击非法接入
	源保护或质量保障	地下水开采控制 控制泄漏，遏制渗透 土地分区 控制工业和生活废弃物污染
流域	加强供应	购买上游水或废物处置权 购买集水区保护服务
	加强供应和质量保障	实体强化（大坝、回灌） 管理集水区土地使用 管理废水和雨水排水 污染税
	重新分配供水	管理抽水 收税定价 水贸易 咨询解决冲突

续表

层 面	目 标	措 施
国家或地区的 半政府机构	提高市政公用事业的绩效	监测、确定基准及宣传 技能、人的能力的构建 公共贷款 咨询 解决土地使用的冲突
国家政府	划定目标的优先级别	土地和水资源分配政策 监管框架 次国家级、流域级机构的监管

资料来源：里斯，2006年。

澳大利亚开展了在城市水部门实现可持续性方面的研究，取得的成果是对“转型状态”进行了分类，如图5所示。虽然研究人员谨慎地强调，各个城市具有其独特的社会、政治和生物物理环境，分类学还是显示了各种驱动因素如何影响城市水系统的服务交付功能，并为长期的城市水资源综合管理的决策提供了一种“构思模型”。

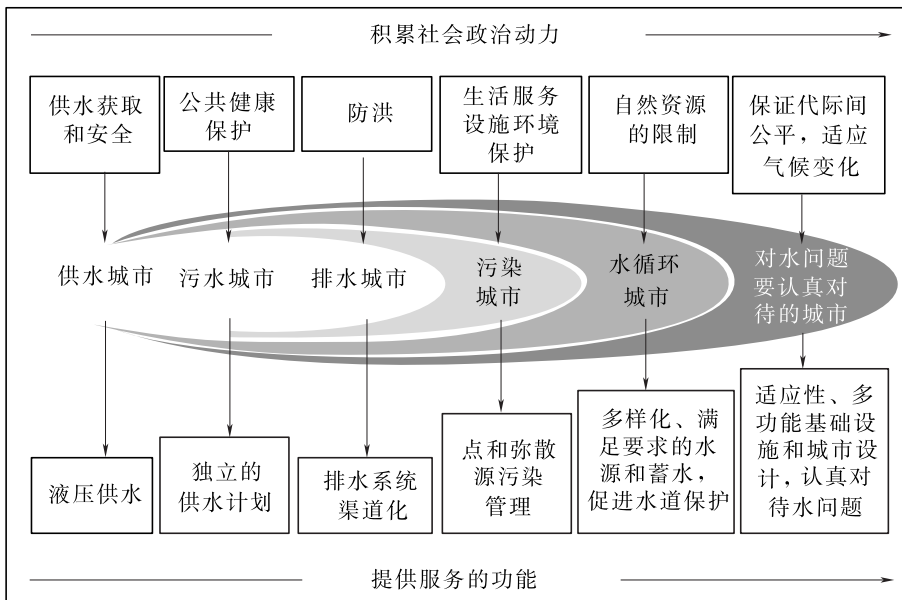


图5 从供水城市转变为水敏性城市

资料来源：布朗等，2008年。

6 为城市水资源综合管理创造有利的环境

城市水资源综合管理的核心任务是平衡目标，在不同的时间框架中设定目标的优先等级，并与多个机构合作采取切实可行的措施。这需要一个体制环境，提供统一的法律和政策框架，支持公共和私营部门开展合作。

事实证明，城市水资源综合管理的成功有赖于建立跨领域和跨部门之间的联系；这不仅是城市的职责，也不能单靠水务部门。高度的内部整合和不同层次资源管理协调一致是新兴的“绿色”或“可持续发展城市”应具备的特色。这些城市利用一切手段来促进协作，包括资源类预算和全市范围的整体计划。

6.1 中央政府的角色

20世纪90年代，公共服务领域在效率方面被认为是不成功的，因此期望通过市场手段提高效率、开创新的资金流，并实施更严格的问责制。尽管有些企业已改进了提供服务的效率，但在满足公平目标方面还是不尽如人意。据联合国人居署调查显示（2009年），目前发生的全球金融危机凸显了以市场为主导方式的局限性，重新唤起了人们对强化政府参与度的兴趣，以确保基本需求得到满足。全球能源和食品价格的波动，尤其是当日常生活成本已经超过普通大众的生活基准水平时，中央政府将被迫针对市场加大调节作用。整体而言，政府的措施仅作为私营部门的一种补充，而不是替代，无论这些措施属于正式还是非正式，还是由社区、民间团体或企业部门所主导。

中央政府通过制定土地、基础设施服务和其他牵涉整体城乡融会议题的国家政策，为城市化和水管理指明了国家发展前景。通过在广阔的经济地区包括村庄、乡镇和城市等制定政策，政府可平衡农村和城市地区生活标准之间的差异（非洲开发银行，2011年）。通常，中央政府有权将利益相关者召集起来参与讨论。

上下游地区建立更密切的关系是城市水资源综合管理的关键，这将涉及跨越国家边界，在技术和政治上提出挑战。例如，加纳北部和布基纳法索与南加纳的城市对水资源构成竞争（吉森等，2001年）。理想的情况下，努力建立水资源管理跨境框架将有助于采用共同一致的行动，对资源基础共同发展；在各国之间平衡分享基础资源的使用权，包括他们的社会和经济需求；并考虑使用替代能源的可行性。

凡是在由非正式组织或机构提供基本供水服务的地方，中央政府都发挥着重要的管理作用，他们与当地政府合作促进价格的公平和质量的提升，而非切断非正式服务的提供。

6.2 地方政府的角色

市政府为优先排序、共享和管理现有资源制定政策和战略，同时也考虑到当地的需求。为取得成功，他们必须超越水务行业狭隘的界限，因为住房、能源、土地利用、城市和农村农业和废物管理方面的政策都对可持续水管理产生影响。

市政府可将不同的用水户聚集起来，对水资源相关问题进行分析、选择和决定。这样可确保开发新水源的决策，特别是满足城市高用水需求时不会妨碍周边地区用水需求。地方政府需要树立长远规划意识，超越短期财务计算的限制（专栏5）。

专栏 5：约翰内斯堡和豪登省：未雨绸缪、提前规划

19世纪80年代，南非中部高原发现了黄金，矿工们需要更多的水用于淘金。而在干燥的旱季，当地的泉水供水不足。人们发现了附近白

云岩含水层的水和瓦尔河，距后来出现的城市约翰内斯堡以南 80 公里，从而找到了更可靠的水源。1904 年，一家名为“兰德水力资源公司”的水务公司成立，为附近的矿场和扩建中的城市提供水源。

1938 年建造了法尔水坝，在最严重的旱情中供水，但是事实证明这还不够，瓦尔河仅能满足相当于豪登省地区当前需求的 10%。这三个城市总人口近千万，占南非总体经济的 60% 以上。

人们向更远的地方寻找水源。泵站调水项目将水从位于 250 公里之遥的夸祖鲁—纳塔尔省的瑟克拉河引过来。当调取的水没有其他用途时，会为国家电网提供高峰时段发电所用。

莱索托高地调水工程通过从邻国莱索托的流域获取水源，以自流的方式将水引入法尔河，无需长距离用泵站提水。南非根据所节约的成本而不是水源本身向莱索托支付一定份额的费用。现已计划扩大这一项目，以确保在 2030 年及以后的供水。

许多南非城市都允许从河流取水，只要他们对废水进行处理，并将其排放回河中供下游用户使用即可。如果废水不能妥善地处理，重复利用反而会带来水质问题，直接循环使用比其他替代方法可能会更为昂贵，尤其在内陆地区更是如此。

多年来，南非在水质管理方面所面临的挑战，并不比供水问题要少。目前水管理的运营目标是将法尔和河水含盐度保持在可接受的水平；大坝系统的运营以此为目标，偶尔释放淡水以降低盐分。另外，大部分约翰内斯堡使用和处理过的水被引入林波波河流域，供西北省份快速成长的铂矿使用。由于采矿业和周边城镇需要水，他们愿意支付处理和运水的部分费用，从而形成双赢的局面。

该系统的规划目标相当长远，超前了 20~30 年。系统对消费中可能的变化以及污染负荷进行了评估，考虑了满足用水需求的不同选择，不仅仅是寻找新的供水，也包括更高的效率和水回用，甚至该系统的操作也是以多年为基础进行的。

涉及两个国家、5 个省和 80 个城镇的南非用水经验表明，在水威胁不可避免的情况下，有效的水资源管理必然跨越城市的边界。将水资源作为多流域系统的一部分进行管理，会带来更高的效率以及经济和社会的机遇。如果以城市为界独自开展水管理，这些就不可能实现。

资料来源：迈克·穆勒。

城市供水系统的管理往往跨越多个部门和机构，形成各自为政的局面。此外，对水资源可持续利用和管理的实践转变需要时间，可能超过民选官员和其他利益相关者的任期。一些城市缺乏现有的和预测的可用水资源、水资源利用水平、环境危害和风险、结算模式等方面的信息。结构性障碍可能埋下腐败的隐患，限制人民获取基本服务。

权力下放是城市水资源综合管理的根本，职能下放必须超越行政职能的束缚，还必须赋予地方政府行政和财政权利。强大的地方政府可以与农村部门、国家决策者以及公共和私营部门之间建立起一种新的关系。

6.3 私营部门的参与

在部分发展中国家，水务机构往往缺乏对水利基础设施进行运行和维护的资金，这些设施已超期使用 20 年甚至 50 年。缺乏协调的规划进一步加剧了这种情况，新的基础设施建在了过时的供水网络中，并不能满足对供水和污水处理服务不断扩大的需求（丹尼连科等，2010 年）。

私营部门更多地参与城市供水管理是提供高效服务、扩大服务覆盖面、改善经营财务状况最好的方式之一。私营部门可以通过租赁、特许权、管理合同、服务合同或具体活动分包的形式参与（金顿等，2006 年）。公司可以把绩效作为合同的基础，不仅对提供的服务收费，也为实现特定的绩效指标；不仅如此，这还能有效地提升他们保障良好服务的动力（金顿等，2006 年）。

以巴西为例，圣保罗州基本卫生设施公司利用私营部门加强其商业管理能力。供水业务的发展受到了漏水、到期和水表不准等问题的阻碍，直到该公司招募了五个私人承包商为大账户客户设计、供应和安装新的水表。承包商承担了投资，以消耗水量的平均增幅为基础设计了水费，不仅仅是根据水表的度数。在三年的时间里，水表计量的耗水量增加了 45 万立方米，而收入增加了 7 200 万美元，其中的 1 800 万美元支付给了承包商（金顿等，2006 年）。

取得成功的原因是合同为承包商提供了强有力的激励，同时保证了公司的获利。此外，承包商能够以符合条件为宗旨，灵活地确定自己的方式（金顿等，2006年）。

适当的监管以及执行能力有助于国营或非国营部门确保高质量、公平的可持续服务。独立的监管机构负责定价、服务标准和其他因素的稳定和可预测机制，能够为后来者灌输信心，鼓励现有的供应商进行改革。

6.4 整个价值链中的商业机会

一些企业，往往是非正式的，已经为部分城市提供了当地卫生服务，如厕所的建设、维护和淤泥清理。这种商业机会正在不断扩大，因为越来越多的人要求改善供水和卫生设施的产品和服务。

粮食安全在很大程度上依赖于化肥。人工肥料的价格上升，而磷矿储量日益减少，这些为畜禽粪便、人类排泄物和其他废物作为有机肥料创建了市场。例如，在马拉维，那些无法建立堆肥厕所的家庭由私人上门服务提供商根据未来的“肥料”销售提供信贷。这些活动有助于形成管理养分、土壤和水的“闭合循环体”，从而帮助代谢紊乱的城市恢复平衡（图6）。在布基纳法索·法斯特的瓦加杜古进行的各项测试表明，该市在回收尿液和粪便获取价值的循环中已经取得了实效（达吉尔·斯科格等，2010年）。

6.5 “城市”和“流域”管理

水文边界很少与行政措施相吻合。由市政府监督的城市集水区可能坐落于跨州甚至国家边界的流域中。两者之间的关系是相关的，流域采取的行动会影响到城市的可供水量和质量，城市的人口增长和经济发展可影响河流的流向，完全超越了城市边界（巴赫里等，2011年）。圣保罗市已经开展了各种尝试，探索在更广阔的流域层面将水资源管理一体化（专栏6）。

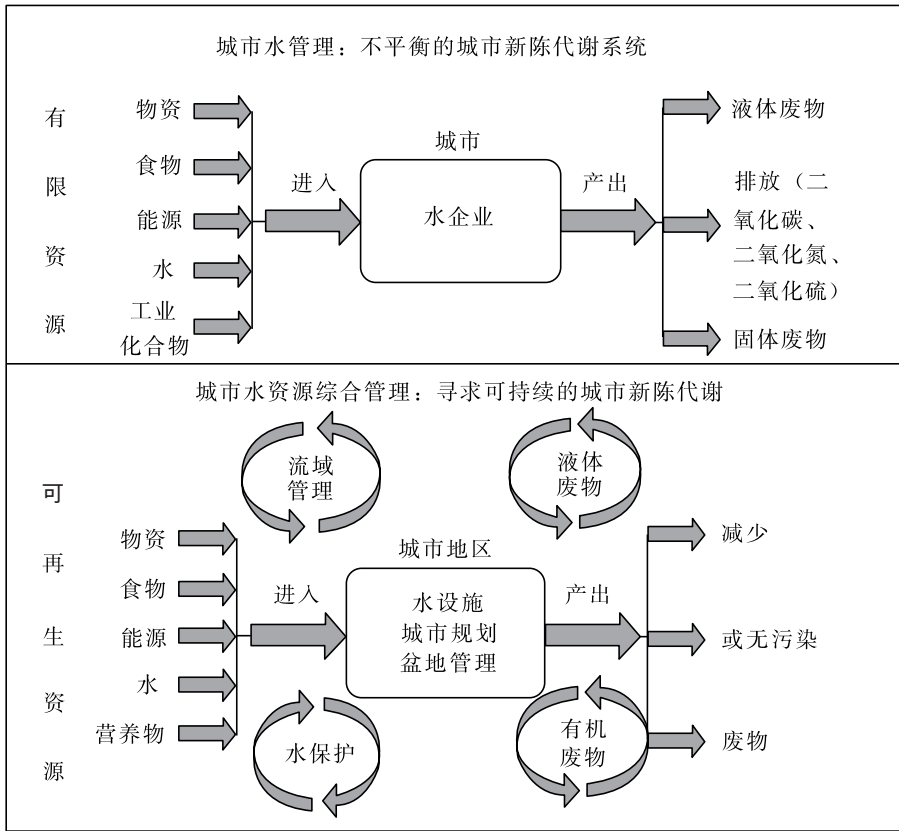


图 6 城市水资源综合管理为再造城市资源分配平衡所作出的贡献

资料来源：诺沃提尼，2010 年；白劳德，2011 年。

城市产生大量废水和其他形式的废物。如果废物处理不当或者更确切地说完全没有处理，会引起级联反应，导致生态系统产生一系列的后果。例如，废水可能被排放到农田，进入地表水体。当废水与雨水混合后，季节性洪水的影响可能扩大（巴赫里等，2011 年）。在修建工程的地区，渗透性土壤损失将污染后的雨水引到农田和下游的环境中（范·罗伊杰恩等，2005 年）。

在阿克拉，大约 80% 的用水变为废水，其中很大一部分用于种植蔬菜。如果没有适当的保护措施，这种做法可能会为灌溉者和消费者带来很大的健康风险。然而，如果经过适当的处理和管理，它们可能会成为整个城乡统一体鼓励使用的新水源，并拥有新的用户（巴赫里等，2011 年）。

专栏 6：试验新型水管理的城市：圣保罗

圣保罗及其周边地区形成了拉美地区重要的中心城市和产业园区。为了应对更高的要求，圣保罗已经开始尝试城市水治理的替代形式，吸引城市边界之外的利益相关者参与其中。

圣保罗都会区的供水系统由南非圣保罗基本卫生设施公司运营。该水务公司为 25 万个住宅、商业和工业客户提供水和污水处理服务。它依赖于三个主要的地表水系统：两个位于铁特河流域内，满足需求的 56%，而第三个康塔雷拉供水系统位于邻近的皮拉西卡巴盆地，为其余的地区供水。

饮用水处理的成本近年来增加了 133%，而扩大供水系统的潜力受到极大的限制。从邻近的流域进一步调水似乎已不可避免，但如果不采取跨流域合作，政治和社会代价将是巨大的。

此外，城市大区内的污水收集和处理能力长期不足，水质也不合格。错误的规划或流域无节制的开发利用降低了水质，引起复杂严重的洪涝灾害。

为了在流域内对水资源进行综合协调管理，由不同的利益相关者群体组成了流域委员会，对《2009 年铁特河上游流域规划》进行磋商。这一雄心勃勃的计划提出三个层面的行动建议：

首先，为了更好地整合水量和水质管理，在水体系（供水、污水处理、防洪和灌溉）与影响水源的活动（如工业利用、能源利用和固体废物处理）之间建立联系。管理部门已强化了执法措施，推行取水和排污许可证，用经济刺激进行需求管理，并实行用户付费和污染者付费。

其次，该计划促使与土地利用管理相关的部门（住房、交通）开展良好的协作，以防止在脆弱的地区（供水区、洪泛区）进行开发，并限制城市开发过程中的防渗功能。用户付费及污染者付费的收入用于投资流域保护项目。同时，也鼓励州、市和私营部门提高对资源和河漫滩地区的保护，管理好用水需求和治理固体废物及地下水。

最后，该计划要求与相邻的流域进行整合，以解决水、污染负荷和下游洪水的跨流域转移。流域委员会强调要共享信息资源，包括对是否遵守议定目标情况的对等网络监测。应急预案的编制是跨流域合

作中一个重要组成部分，可使邻近的流域共同对问题作出响应。

体制变革的历史使该计划的实施变得十分困难，各级市政府负责土地利用规划、城市住房和交通，但水资源管理由国家负责。审批程序和使用付费制度正在逐步落实；拥有所有用户数据信息的系统已建成，虽然还未公开。跨部门的行动仍然是一项重要的挑战，水务部门没有权力来影响土地使用的管制，有效的大都市管治体制机制尚不完善，但正在逐渐朝着跨流域城市水资源综合管理方向推进。

资料来源：布拉加等，2006年；FUSP，2009年；波尔图，2003年。

在城市水资源综合管理原则指导下，城市对住房、能源、景观和水景设计、农业和废弃物管理进行协调管理，所有部门共同应对风险和机遇。

6.6 利益相关者的参与

采取城市水资源综合管理措施取决于利益相关者参与城市水系统的设计和管理。虽然这在原则上已被广为接受，但利益相关者参与程度可能会有很大的差别。某些情况下，它包含决策过程中真正的参与；而在其他国家，只相当于人们对已做出的决定有所了解。

所有的用户群体都应参与基本服务系统的设计或重建。他们参与项目规划、市政规划和预算可确保合理的设计，并使用水户对他们生活条件的改善情况予以了解，特别是低收入居民区。

法律体系必须起到明确利益相关者的作用，并且界定需要参与的群体，如上游的农民协会、工业代表和能源公司等，不能像以往那样只让城市决策者认为有关系的团体参与（联合国人居署，2009年）。除了在上下游之间建立一定的联系之外，立法也可以起到促进跨部门整合的作用。以法律的形式明确对污水的权力，可鼓励农民安装水处理和灌溉设施；以公共健康为目的的立法为水质确定了标准，并明确了监管机构。

不同的用水户有着不同的打算，需要进行协调。在解决纠纷时，必须增加行动的透明度。

巴基斯坦卡拉奇是特大城市中实行城市水资源综合管理的先驱，该市已经建立了公私合营伙伴关系，以更加协调和公平的方式管理水资源（专栏 7）。

专栏 7：卡拉奇实行的参与式水资源管理

卡拉奇人口约 1 800 万，预计在下一个十年将增加一倍。该市的水资源管理面临着严峻的挑战。据估计，每年不安全的水导致 3 万人死亡；泄漏导致了该市 40% 的水损失；私营供应商主要为贫困的消费者供水，收费可能是公共系统水价的 12 倍。水的质量和供应量都有所下降，废水管理不力，节水措施的计划不周。城市供水系统的定价设置往往低于供水和运行及维护成本。

在此背景下，2000 年，有关方聚集到了一起，发起了城市水合作伙伴关系的倡议。这些主要推动者，包括卡拉奇供水和污水处理董事会官员、城市供水、节水和海洋湿地方面的专家以及城市周边地区的农民，在政府官员和个人市民之间建立共同倡议，促进节约用水、改进供水和污水处理的管理。有人说，卡拉奇是个太大的城市，存在巨大的政治、社会和种族差异，但卡拉奇水伙伴项目仍于 2007 年正式启动。

水伙伴措施的应用目的是转移人们对卡拉奇城市供水基础设施中技术措施的关注。它要求人们更关注人力资本、城市管理、社会团体和水在各使用部门之间的资源分配制度。参加者变身成为水资源综合管理的概念的执行者，进行制度设计和管理以及实施方面的实践。过去，人们认为水资源综合管理属于流域水资源管理框架的范畴，很少有人尝试在城市的范畴内进行应用，城市的管理者和政治家们对这个概念并不熟悉。

卡拉奇水伙伴超越了传统的公私合作模式，并试图号召广大市民的参与。这不仅形成了更多的利益相关者群体，也为他们的参与模式确定了基调。与全球水伙伴密切合作，卡拉奇水伙伴为竞争的城市用户群体提供了中立平台，审议水问题相关的议题（图 7）。

由于女性在家务用水的日常管理中常常处于核心地位，她们构成

了水管理中重要的组成部分。工业在废物减少和处理措施方面参与的功劳也必不可少。学术界为能力建设和向资源管理整体提供知识基础做出了贡献。政府也成为卡拉奇水伙伴的一分子。最后，媒体也参与进来，通过纪录片和公益广告向卡拉奇市民进行宣传。一些利益相关者通过签署谅解备忘录保证合作的开展。在城市一级，其他类型的合作关系也得到了建立，以确保制定的决策尽可能地贴近受影响人群的实际情况。

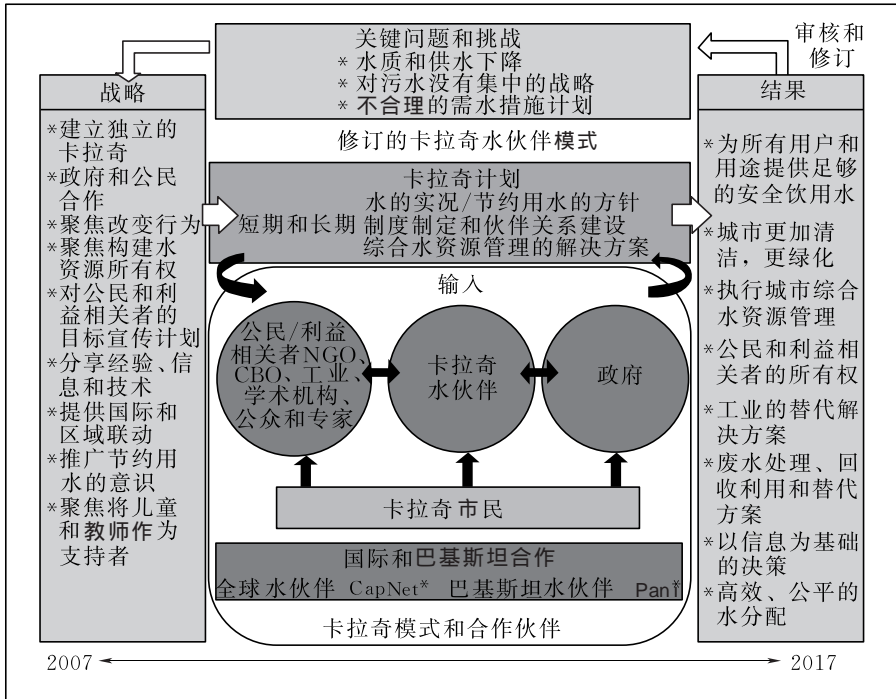


图 7 卡拉奇水伙伴模式

资料来源：巴卡萨穆萨，2009年。

*注：CapNet 和 Pani 是巴基斯坦水管理部门，详见 <http://jscd.org.pk/programs/pani-pakistan/>

为了把水资源综合管理理念付诸实践，合作伙伴模式力求向利益相关者灌输主人翁意识，将其转化成更为合理审慎的水资源消费和管理。这要求每个机构利益相关者都要贡献一定的经费履行合作承诺。此外，利益相关者群体相互之间也要承担一定的责任，做好他们应该担负的角色和职责。

在城市以下的各级，重要的是要督促地方开展相关的活动。例如：

在合作伙伴的支持下，隶属于卡拉奇的 18 个行政乡镇之一的高尔山—伊巴尔地区水伙伴，为当地家庭、学校、工业企业、清真寺等机构，编制了英语、乌尔都语和德语版的水资源保护和管理行动纲领。在征收水费的同时发放这些文件。水费收取者和教师要接受节水培训，有 20 所政府学校设立了供水和卫生体系。

以城市水和卫生为目的设立的公私合作伙伴关系更侧重于创建替代性服务交付机制，从已建立的机构框架剥离开来，设立更有效的平行组织结构。卡拉奇水伙伴则不同。它着眼于在既有的工作领域寻求突破，将所有与用水部门有关的利益相关者和整个城市治理相关方凝聚起来，开展更加高效、公平和可持续的城市水资源管理实践。

资料来源：全球水伙伴，2010 年；西迪基，2011 年；巴克萨穆萨，2009 年。

6.7 为城市水管理培育一种新的文化

城市水资源综合管理带动社会和技术的变革，它推动了水资源管理技术手段的开发，同时也改进了人们的行为、态度、机构设置、融资机制和培训。机构能力的建设对于自然科学、工程技术、环境生物学、经济学、金融学和社会学等方面的整体知识更新起到关键的作用。

侧重专业管理的文化需要改变，这样可促进跨部门和跨行业的合作。但在利益相关者之间建设和维持合作关系并非易事。想法必须转换成机构的语言和企业的经营文化，不同级别的权力、影响和资源之间必须架起沟通的桥梁，共同目标和共同行动所带来的好处必须被清晰地阐明。

这些变革必然伴随着强有力的监督机制，才能为机构、服务提供商和用户带来提升。成功的管理方法具有适应性和灵活性，使水资源管理系统能以意想不到的变化迅速作出反应。事实上，城市水资源综合管理包括学习如何在情况不确定和信息不完全的条件下行事。不断审视问题的定义和隐含的假设，寻求其间的相关性（未来城市水管理计划，2011 年）。

在政府内部进行部门整合和级别整合变得越来越重要。在大城市，要改变根深蒂固的做法尤其困难。但在小型和中型的城市开展一体化尝试往往会有所成效。

公众教育和协作对于管理城市水资源和整体管理水源和水质等，以便实现文化和行为变革非常必要（纳贾尔和科利尔，2011年）；同时，土地和水管理机构、资源和管理机构以及本地政府和非政府组织的协同一致也非常必要（华生等，2011年）。纽约市通过与周边市区合作对上游资源进行保护，为900万人口提供了安全的饮用水（专栏8）。

专栏8：纽约市保护上游的饮用水水源

纽约市仅仅通过对卡茨基尔山两个流域的上游水源进行保护，为该公司的800万居民以及周边郡县的100万人口提供了安全的饮用水。曾几何时，这些河水几乎不需要或者仅需简单的处理就可以饮用。但在20世纪80年代，上游的土地利用，特别是奶牛和畜牧养殖，开始对河水水质造成污染。当时面临的挑战是如何能在不影响上游用水户的情况下，确保城市饮用水供应的质量。农民也很关注流域保护措施会给他们的生活带来什么样的影响。

纽约市对于为流域保护寻求可行的解决方案非常积极，因为环保局曾威胁说要他们建造过滤系统，这要耗费数十亿美元。但是，如果水的质量很好，立法机构就可颁布“否决过滤的决议”，使城市无需按照美国《安全饮用水法案》的要求对饮用水进行过滤。

环保局和纽约州州长办公室召集了流域内所有利益相关者进行协商，并于1997年在协议备忘录上签字。根据协议，从用水户收取的费用和收入将用于资助保护流域及其环境的产品和服务等相关活动（见帕吉欧拉和普拉泰斯，2002年和2007年）。

该协议主要包括三大要素。首先，纽约市通过征地程序从自愿的卖方手中收购与环境密切相关的土地，其中主要是未开发的土地。在第一个十年，购买了85000公顷土地，价值为2.6亿美元。纽约市还想在未来的10~15年再提供3.2亿美元。本项目为未来的发展预留了一定的空间；优先征地的地区位于水库、溪流和湿地附近。

其次，根据流域管理方案，在流域内各县、水用户社区、纽约市、纽约州、机构和环保组织之间通过谈判达成了控制污染的新法规。

最后流域保护和伙伴关系计划。它要求纽约市提供资金对上游的水处理系统进行升级；该市还为加入该计划的“好邻居”城市提供资金。除此之外，纽约市还提供额外的资金专门用于更新故障和老化的化粪池系统，延长下水道，并改善上游地区的雨水和污水处理基础设施。

虽然纽约市的水用户为上述活动提供了经费，但有几个项目是由非营利的卡茨基尔流域公司实施的，其董事会由地方选举产生的官员组成。利益相关者委员会，如旅游设施用水户，着重解决流域管理中的具体问题，而公共事务办公室则组织外围活动，并编写教材提高公众意识。

利益相关方中的农业用水户在流域保护事业中作出了突出贡献，他们与城市结成了单独的伙伴关系。在该自愿性的流域农业计划中，纽约市已承诺投资超过1亿美元开发一种“整体耕种方法”，该方式将有助于农民改用环保的耕种方式以便减少污染。流域内95%以上的农民已承诺参加计划。

纽约市及其相邻地区在采取流域保护措施方面的做法可以作为一个实例，它展示了在正式制度措施缺席的情况下，如《安全饮用水法案》和环境保护局不直接介入，如何在推进资源型城市方面采取迅速行动，以及如何充分发挥公民的作用，促使管理层成为有担当的政府，并在管理层和公民之间达成权力平衡。

资料来源：格拉姆波斯，2011年；水办公室，2010年；帕吉欧拉和普拉泰斯，2002年和2007年。

6.8 改变游戏规则的技术和方法

城市水资源综合管理致力于为城市水系统提供各项创新技术解决方案。有很多创新技术可以在实际中应用，如膜过滤系统（包括薄膜生物反应器）、高级氧化、带天然和先进处理方式的混

合动力系统、微生物燃料电池、电化学过程，以及不同废物流的源分离（灰水、黑水和黄水分离），这些成为了城市水系统管理的新方法。这些新处理技术具有很多优势，在高效回收水和营养物质以及能源的重新利用方面具有很大的潜力（比埃克等，2010年）。在许多情况下，这些新技术是实施综合管理措施的必要工具。

此外，城市水资源综合管理提供不同的创新方法来应对城市水资源管理的挑战。城市水资源综合管理保证了城市水管理中的技术创新与城市水系统中综合系统改变同步进行。新的方法应将整个市区视为一个管理单位，将其他新方法加以应用，如水的梯级使用、水的富集（使用水—机器概念和半集中系统）、分散式系统、在单一框架内进行数量和质量分析以及灵活和适应性强的城市水系统等。

7 城市水资源综合管理手段和管理策略

包含在城市水资源综合管理中的一体化要求高效率、公平和环境可持续性。效率是优化日益脆弱和稀缺的资源使用的根本。公平意味着要确保所有的社会经济群体获得水，满足维持人类福祉所需要的数量和质量。最后，环境的可持续性中包含着对资源和相关生态系统的保护，确保其仍可为子孙后代所使用（全球水伙伴技术顾问委员会，2000年）。

这三项核心措施有时可能会发生冲突。例如，效率原则，如果单纯通过市场定价，可能会使某些用户获得比他人更多的好处，同时不利于平等和环境的可持续性。为了保持三者之间的平衡，中央政府可以制定法律，使水成为国有资产，并为水资源的配置提供统一的指导框架。政府可把颁发取水许可证作为规范涉水经济活动的要素。当然，仅有立法是不够的，它必须与执行和监督相结合，防止权利关系不平等导致的垄断（联合国开发计划署，2006年）。

事实上，城市水资源综合管理涉及在一系列目标之间达成平衡，以及运用一系列措施，包括合适的技术和财务结构以及良好的制度环境，促进跨部门和跨行业之间开展对话。如果设置大量的非必要和相近的目标可能会轻易地使进程半途而废。因此，必须简化目标，找出不同时间段的优先领域。“工具包”通常包括非水务机构在不同机构层面采取的协调行动，因此可以帮助规划者整合多个目标。

由于被排斥在行政管辖和正规治理框架之外，非正式城市居民区通常在水和卫生设施方面面临更为严峻的危机。这些地区必

须推进大胆的政治进程，树立新的愿景，即将水作为一项普遍的权利，而不是以市场为基础的商品，并建立整个利益相关者群体的共识和合作。

每个城市都有着自己的一套水管理措施，但他们拥有共同的目标。每个城市都必须提供适时、适量和高品质的水，并且不损害他人获取可用的水资源。我们应倡导提高用水效率，推进包括废水在内的替代性水源的使用，使经济刺激性措施产生良好的效果。同时，我们必须构建弹性的措施体系，应对气候变化可能引起的混乱。

城市水资源综合管理为城市供水系统规划、设计和管理提供了新的框架。以城市水资源综合管理作为新的视角，可以使所有的利益相关者从整体上审查城市的水系统，将之作为一个综合体，共同施展才能，预测各类干预措施对广大的资源管理体系可能造成的影响。只有这样，指导框架才可促进城市水管理创新型解决方案的开发和资源的优化配置。

7.1 用水审计和有效利用

城市化进程和资源枯竭过程的不断加剧导致了用水紧张。人们下意识地增加水供应的做法并非长久之计，这将耗尽水资源，代价是牺牲环境和后代获得用水的机会。

水资源评价，如水审计，可对既定的水资源状况和需求进行定量。它们是制定水资源政策、进行水资源管理方式与投资决策的基础。在开展城市水资源综合管理过程中，所评价的不只是地表水和地下水，还包括先前被忽略的资源，如雨水和污水。以澳大利亚珀斯为例，当地政府（塔马拉公园地区理事会）决定将城市水循环管理办法纳入到新的城市发展计划中。政府利用水平衡模型设计水系统，尽量减少对进口水的需求，使水的重复利用最大化（巴尔顿等，2009年）。

居民供水系统由于渗漏导致的损失往往是供水量的50%。减少水损失的措施包括更改设计、施工、运营和维护系统以及规范

用户的行为，还可包括引用节水措施。在西班牙萨拉戈萨，自从1996年以来，节约用水一直是当地的重点。市政府安装了节水装置，通过监控和数据采集系统监控水流和压力，并且运用地理信息系统和模拟模型，对水损失管理进行了改进（未来城市水管理计划，2011年）。

新加坡在减少未计算水方面取得了显著成绩，是目前世界上免费水率最低的国家之一。新加坡严格执行禁止非法与供水系统连接的法律。新建供水基础设施流量采用了高品质的材料，而现有的工程也进行了升级改造以便减少工程造成的损失。精密的系统检测泄漏使管道得到及时修复。不准确的水表得到了更换。总体上说，这些措施既减少了浪费，也降低了运营成本（亚洲开发银行，2010年）。

7.2 废水回收与再利用

废水回收与再利用是可持续城市发展战略的重要组成部分。使用过的水被收集起来进行处理，可用于不同水质要求的各个领域，如农业、工业等。城市可以借此改善人类和环境的健康，同时对经济活动起到支撑作用（布朗，2009年）；不仅如此，废水回收可产生事半功倍的效果，在聚集一定的水量情况下，就可产生更多的收益。

在一些城郊地区，对废水进行处理并重新用于粮食生产已成为提高粮食安全的措施之一。用废水进行灌溉，农民可得到诸多好处（巴赫里，2009年）：这个水源不仅可靠，通常还是免费的并易于获取，在城市市场附近可以找到。此外，废水中大量含有营养物质，从而减少了对化学肥料的需求。农业采用废水可支撑农民、商人以及农业价值链中的其他参与者的生计。它兼顾了城市的公共健康和环境资源保护的利益，以及当地农业社区维持农耕生活方式的愿望。

废水可重复用于水产养殖和公园、绿地、高尔夫球场以及其他城市地区进行灌溉；还可以补充地下水，有助于恢复水体和湿

地。来自墨西哥城的污水随着时间的推移无意间回补了下游的地下水含水层。这些新的地下水供应可满足城市 2 100 万居民的用水需求（专栏 9）。

专栏 9：墨西哥城下游地下水含水层回补

墨西哥城一直以来都依靠地下水来满足其用水需求。当抽水超出补给时，由此产生的塌陷损坏了下水道系统，雨水和废水混合在了一起，并对建筑物造成结构性危害。对此，墨西哥城改从周边的流域调水，用以增加其供应量。但这项措施也遇到了阻碍，因为新增加调水需要从更远的距离而且必须沿着陡坡调取，这将带来很高的社会、环境和经济成本。

这个超大型城市可产生大量的废水。目前，12%的废水经过处理，重新用于景观和农业灌溉、工业生产和商业活动以及补给含水层。未经处理的废水也被广泛地重复使用。以往城市的污水流入下游的图拉河谷，用于农业灌溉。下游的农牧社区非常珍惜这个现成的和营养丰富的水源，它为提高生产率和全年种植创造了条件。

在拥有渗透性土壤的图拉河谷地区，废水被回灌到地下含水层，存储在无衬裸层保水区。研究计算表明，下游地区含水层的补给率是自然补给率的 13 倍。

在废水的运输、储存和灌溉复用中，采用了各种物理、化学和生物净化过程。在过去的 20 年中，水质评价表明，地下水的质量与上游供给墨西哥城的水源质量相同。不过，某些水源正在出现新的污染物和高盐度物质的迹象，这表明还需要进一步开展评价。

图拉河谷的地下水回灌含水层将成为墨西哥城大区的新水源。2007 年，国家水务委员会推出了《水资源可持续性计划》，提出从下游地区引入地下水为城市供水。从长远来看，城市将不得不采取更加全面和协调的方式，并为所有水管理中存在的问题找到全面的解决方案，这些问题包括地下水超采、地表沉降、洪水风险、水质恶化、水供应不可靠、低效用水、污水处理设施严重缺乏以及水服务的成本收回不足等。

墨西哥联邦区正在尝试在地下水开采与回补之间寻求更好的平衡。2007年，该市启动了一个为期15年的多部门计划，促使消费者采取节水措施（对所有用水户用水进行计量和提高水费征收率）、减少管网损失（促使非法连接用户遵守法规），并提高污水处理和再利用（建设三级污水处理厂并生产生产补给水）。通过这些措施，使《绿色计划》减少10%的地下水抽取以及25%的过量开采的目标得以实现。

资料来源：希门尼斯和查韦斯，2004年；希门尼斯，2008年；希门尼斯和查韦斯，2010年；CONAGUA，2011年。

废水还可以用于工业（冷却塔和锅炉以及作为工艺用水）和冲洗厕所（浅野，2002年、2005年；巴赫里，2009年）。技术创新是实现废水回收与再利用的新途径。先进的膜技术和纳米技术越来越具有成本效益和能源效率，甚至可将再生水转化成饮用水。

实际上，在世界的许多地方，直接饮用水回用有望成为满足未来的水需求的最经济的和可靠的手段。通过常规方式处理过的废水可做进一步处理，除去任何残留的悬浮和溶解的物质，包括微量的有机物；一旦经过纯化后，就可以进入水处理厂或直接进入水分配系统（施罗德等，2012年）。自1968年以来，纳米比亚的温得和克一直在尝试将废水进行深层处理，并与其他饮用水源混合重复利用，直接用作饮用水。该城市使用的再生水占饮用水的将近35%。尽管还存在很多未知的困难，再生饮用水已成为温得和克水系统中不可缺少的水源，并已证明是一个可靠和可持续的选择。南加州的一个案例表明，废水为大型城市的人口和主要农业区提供了稳定供水来源；每年创造的节能效益总计达0.7~1兆瓦小时，而且每年还可节省约5000万~8700万美元的资金（施罗德等，2012年）。

7.3 雨洪管理

雨洪管理可以减轻强降雨事件带来的影响并增加当地的水源。

对于时常遭受水灾的城市可从几种城市雨水管理方式中做出选择，如使用蓄水池、透水区、渗透沟和缓慢风干水分的自然系统。波兰的罗兹和巴西的贝洛奥里藏特都使用过上述系统；而英国伯明翰正在尝试屋顶绿化，以达到同样的效果（未来城市水管理计划，2011年）。在传统的暴雨排水系统中，城市径流和雨水被污染而必须进行处理；而绿地可吸纳水源，并以更低的成本提供生态系统服务（柏伦德和汉哈马尔，1999年）。

7.3.1 雨水收集

雨水收集作为一种简单而且成本低廉的方式，可以在家庭层面帮助解决水资源短缺问题。水流或屋顶水汇集系统可提供直接和供水补充地下水，同时减少洪水。这些措施作为即时性解决方案的同时，还可作为改善供水和排水的长期基础设施。迄今为止，有关这方面的设计标准、成本、效益、影响和大规模运用的资料文献仍存在不足，在推广使用这项技术时，有必要做进一步评估。

7.3.2 海水淡化

由于膜技术和能源效率的提高，苦咸水和海水淡化变得越来越经济（贝克汉姆和萨多夫，2008年；蓝色计划—地中海地区行动计划—联合国环境规划署，2007年）。生产淡化水的成本估计为每立方米0.60~0.80美元（蓝色计划—地中海地区行动计划—联合国环境规划署，2007年）。在已耗尽大部分的可再生水资源的国家，淡化水能同时满足饮用水和工业需求。虽然它在农业中的使用仍然有限，但淡化水越来越多地用于温室中生产高价值作物（蓝色计划—地中海地区行动计划—联合国环境规划署，2007年）。

7.4 城市水资源综合管理采用的技术

城市水资源综合管理采用了一系列创新技术，也包括使用现

有技术的新方法。

7.4.1 薄膜

先进的水处理技术已日益成为水、废水和雨水处理的首选。该项技术可满足严格水标准提出的要求，提高水处理能力（因此减少水足迹），并能处理现有技术无法应对的污染物。由于该技术具有更好的功能和性能，使废物回收和利用替代能源（如苦咸水和海水）成为可能，因此，膜基技术和膜生物反应器正在被很多缺水地区的市场所认可。

膜系统的成本已经在过去十年中急剧下降。坚固和耐用的膜材料以及低能量的膜系统（在某些情况下以重力驱动）正在开发之中。其他技术，如使用可再生电源（太阳能驱动）和氧化过程的光伏系统，通过结合膜系统和催化过程得到增强，也正在涌入市场。这种趋势将促使水务公司对其系统进行更新。

7.4.2 纳米技术与微生物燃料电池

纳米技术正在进一步开发，以求获得更高性能的膜并减少结构属性，改善液压传导性和更具选择性地抑制或传输特性。微生物燃料电池作为一种潜在的新技术正在开发之中，它可通过微生物直接从已有废料堆中的有机体内获得电流。虽然这些技术仍处于开发的早期阶段，有必要从效率、演示和生产到商业推广上取得显著的进展，但其的确具有提高水处理性能和提高资源利用的效率的潜能。

7.4.3 自然处理系统

自然处理系统利用自然的进程改善水质、维护自然环境、并回灌所消耗的地下水源。例如，在处理和保留雨水、废水和饮用水水流中，越来越多地用到了自然处理系统。自然处理系统能够同时除去各种污染物，使之成为一个自我修复的整体处理系统。这些方式正越来越多地应用于废水回收。

7.4.4 废水水流源头分离

新处理技术应用的关键是根据不同的污染负荷把废水分离成不同的水流。大部分废水中受到关注的污染物存在于黑水中，如粪便产生了大多数有机和微生物污染物（但这仅占生活垃圾的25%），而大部分氮及新出现的污染物，如药物活性化合物和内分泌干扰化合物，主要来自于尿液。

新技术可减少大部分的氮和微量有机污染物，如真空排污系统和尿分离厕所，使人们有可能处理一部分量小而集中的废水。这些技术为将重复利用的灰水作为水源和营养物的再利用创造了条件。这些技术还极大地减少了污水处理系统的成本，并最大限度地减少（甚至避免）使用干净的水输移废物。

表 4 概述了城市水资源综合管理采用的创新技术。

表 4 创新技术及其给城市水资源综合管理带来的效益

创新技术	为城市水资源综合管理带来的效益
1. 自然处理系统	<ul style="list-style-type: none"> • 添加多功能（综合处理和环境功能） • 改善环境质量 • 利用自然元素、特征和进程（土壤、植被、微生物、水道等） • 稳健而具有灵活性/适应性 • 将化学品和能源的消耗最小化 • 促进水复用和营养物质恢复。
2. 纳米技术与微生物燃料电池	<ul style="list-style-type: none"> • 提供获取廉价“绿色”能源的途径（从目前的废物流中的有机物中直接捕捉电能）。
3. 薄膜生物反应器（废水）	<ul style="list-style-type: none"> • 加强水资源管理的新战略，转向水回用 • 减少设备占用的空间 • 可以轻松改造污水处理工艺，提高其性能 • 提供业务的灵活性（适合远程操作） • 管理环境问题（视觉舒适性、噪声和气味）。
4. 薄膜技术（包括水和废水）	<ul style="list-style-type: none"> • 促进分散的系统最大限度地减少对环境的影响 • 提高去除污染物，并鼓励循环用水 • 尽量减少化学品的使用 • 提高系统的灵活性，并可使用小规模的处理系统。

续表

创新技术	为城市水资源综合管理带来的效益
5. 源头分类	<ul style="list-style-type: none"> • 促进水回用和营养物质的恢复 • 促进便于管理的小型（分散）系统 • 避免了并发症的发生和处理混合废弃物的成本。
6. 厌氧发酵	<ul style="list-style-type: none"> • 产生沼气 • 促进从废水中回收能量。

7.5 寻求合适的范畴

在适当的范畴内实施这些技术可使城市水管理系统能充分利用每一滴水。水在半集中污水处理系统中被抽取、使用、处理、再利用，并排放到短距离范围内。半集中污水处理系统有利于运用先进的处理技术，使灰水能够回收利用，并在分散的设施内起到封闭黑水循环的作用（欧特普尔等，2003年）。

应用新型处理技术的关键在于我们可以根据废水的污染负荷将其分为不同类型。对于家庭用户来说，应对棕水（粪便）、黄水（尿）、灰水（水槽、淋浴、洗衣机等的废水）及雨水（降雨径流）进行单独管理。

半集中式污水处理系统具有节水潜力，能节省高达80%的淡水消耗（比埃克等，2010年；奥特普尔等，2003年）。因此，半集中式系统可用于解决因水资源短缺以及快速城市化所带来的问题。此外，该技术可将运输水和废水能源回收（如从灰水中回收热能，从棕水中生产沼气）的能源需求降到最低。半集中式污水处理系统已在中国青岛和越南河内得到应用并发挥了相应的作用（比埃克等，2010年）。

7.6 灵活和适应性强的城市水系统

随着人口增长和气候变化，各种不确定因素和压力都会出现，城市需要灵活的系统以应对不确定性，适应新的或变化的需求

(阿什利等, 2007年; 施密特, 2006年)。其中的关键是建立“灵活的适应性措施”。这些措施选项可能涉及解决设计中出现的技术问题, 使系统能够与其所在环境相适应, 或者帮助管理层在系统规划和运营中制定决策(德纽福维耶, 2002年)。

城市供水系统的设计中, 通过建模的方法从一组给定的输入数值(复杂的适应系统)中增加可能的配置。未来城市水管理计划开发了城市水系统的多样化替代方案, 这些方案享有自由度, 并且能随着时间的推移优化其灵活性和可持续性。例如, 用于雨洪管理的小规模分散式方法(如浸润设备), 能根据边界情况的变化做出反应。

在灵活卫生系统应用方面, 有从中央式混合系统逐步转变为分散式系统的趋势, 这主要是在源头控制和对浓缩和稀释的家庭用水分流单独处理的基础上进行。在水的处理技术和废水处理方面, 采用自然系统正变得越来越流行。自然系统的一个重要特点是能够适应几乎所有的情况, 极大提高了更新和调整的机会(这对于灵活性至关重要)。

7.7 水费与支付及其他经济手段

涉水服务通常是当地政府的职责(萨拉杰丁, 1994年)。然而, 在发展中国家, 地方财政收入往往跟不上人口结构的变化和实体发展的步伐。同时, 用水户平均收入低, 这制约了商业服务提供商的成本回收。

此外, 支付水费的意愿经常因服务的质量不同而发生改变, 因此, 运营和维护的利润不足会导致服务变差和成本回收不足的恶性循环。

水价在反映水资源稀缺状况以及开发和运输供水的真实成本的同时, 还应鼓励所有用水户提高水管理效率。为水定价的过程中, 还需不断强化水作为社会福利的作用。这一点在制定水价时必须牢记, 以便使弱势群体的利益得到保护(维斯切尔等, 1999年; 佩纳, 2011年)。所采用的收费机制必须是恰当的, 并能反映

当地的社会文化和经济条件。

7.7.1 金融投资工具

各国政府对开发水资源的投资历来低于在交通、能源、电信和军事方面的投资。国际组织用于城市供水和卫生设施的预算有限（哈多伊等，2001年）。私人投资在水利基础设施项目中所占比例也相对较小；1990—2002年间，私人基础设施的投资总值中，只有5.4%用于水系统开发（经济合作与发展组织，2003年）。有必要采取财政转移支付和交叉补贴的方式解决资源枯竭和不平等问题（联合国开发计划署，2006年）。

7.7.2 生态系统有偿服务

一些融资策略已寻求根据生态系统保障健康和食品安全以及维护城市和农村社区的生计等方面的服务对其进行价值量化。一种获得货币的方法是为生态系统提供有偿服务，激励土地所有者和使用者（通常以金钱的方式），使他们采取可以提供生态服务的土地利用方式。

在水行业，将付费模式作为流域设计内容之一。例如，下游的社区向上游支付用水服务费用，以限制他们截断水流和破坏水质。只有这样，才能使生态系统服务付费成为跨越城市边界共同管理自然资源的手段（DST，2008年；马福塔等，2011年）。

7.8 适应气候变化

可促进城市水资源综合管理的切实可行的措施包括：切实整合城市水循环和城市水管理部门、提高水的利用和分配效率、确保废水回收利用以及防洪和跨界管理，这有助于城市构建应对气候变化的适应能力（联合国世界水资源评估计划，2011年）。

水利行业在审视实用的城市水资源综合管理措施时，一定要认真权衡这些抵御气候变化措施的成本和效益。例如，天然和人工蓄水池能够控制洪水并确保在干旱期供水（世界卫生组织和英

国国际发展部，2009年），但不是所有国家都有建设存储水的基础设施的财力。如果输水和配水网络不足，储水设施本身并不能确保用水安全。此外，只建蓄水池并没有同时提高水的利用效率，可能会造成水很充足的假象，并在不经意间加速了资源的枯竭（萨多夫和穆勒，2009年）。

以往，城市倾向于采用修建大型基础设施的解决方案，但这些“硬件”系统在制度僵化无法给予支撑的情况下，苦于应付突发事件。“平稳”作为一种假定指自然体系中发生的变化不超过历史观测值，这导致修建的供水、废水和雨水基础设施容量闲置（洛夫特斯，2011年）。人为造成的气候变化正在破坏对平稳的基本假定和其所支撑的管理方法（米莉等，2008年）。

面对变化的环境，需求管理、替代水源开发及其他灵活的方法显得适应性更强。分散式管理属于另一种方法，例如在不同位置修建几个小规模的自然水处理系统，可能比修建一个大型污水处理厂的风险低很多。而且，分散的系统更容易安装，维护成本低效益也更高（洛夫特斯，2011年）。

8 城市水管理的未来

有效的城市水管理是保护人类健康和环境的根本所在。这需要强有力的国家政策、计划和方案，并对进展进行估量和权衡。城市需要从用水户转变为水的供应者和管理者。在当今的技术和管理措施的支撑下，对水质和水量实施有效管理，将其充分应用于不同的用途。

综合方法可将水在合适的时间内，以合适的数量和质量输送给特定用户，且不会影响到其他用户对该资源的使用。管理者可通过提高水利用效率，选择包括废水和雨水在内的其他水源，解决目前的水短缺问题并预防可能发生的水危机。新的污水采集、运输、处理和管理方法可改进资源恢复能力，在人口密度高、城市扩张和气候变化的背景下，缓解水资源所面临的压力。

城市水资源综合管理要求我们为城市供水服务的所有组成元素（图 8）开发规划和管理措施。这些服务是相互关联的，并且需要较高程度的整合度。相互协作的组织机构框架可确保各部门、各级政府以及社区和利益相关者之间的沟通。

城市规划在帮助政府克服公共政策制定和决策中存在的割据局面中发挥着重大的作用，有助于将其他政策制定部门的行动与规划联系起来，例如在基础设施建设方面采取协作的方式，将所有的利益相关者纳入其中，确定优先事项和各自的责任（图 9）。这需要采取新的方法，在部门间建立合作以及对用水进行管控，如成立一个新的机构或执行委员会，赋予其权力和能力来管理和执行各项标准和程序。

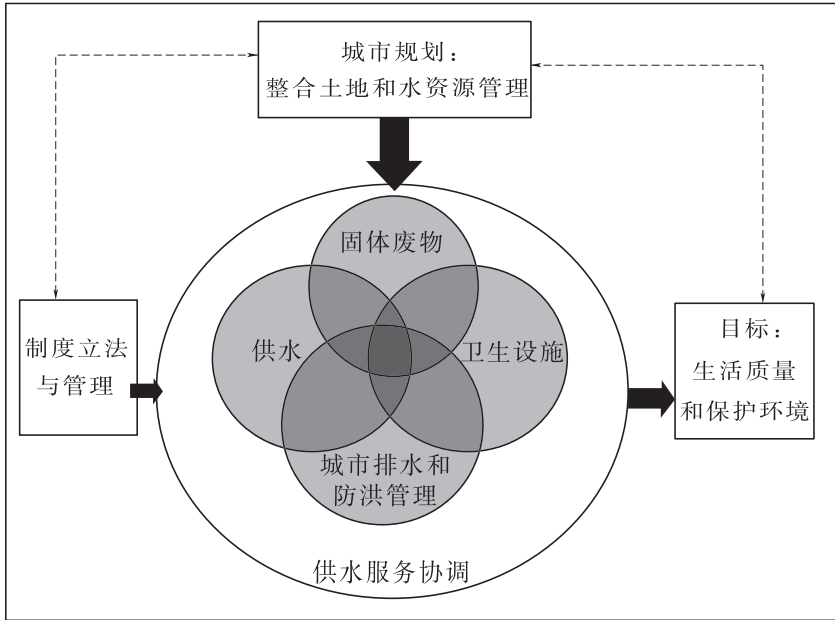


图8 城市水资源综合管理

资料来源：图斯，2009年。

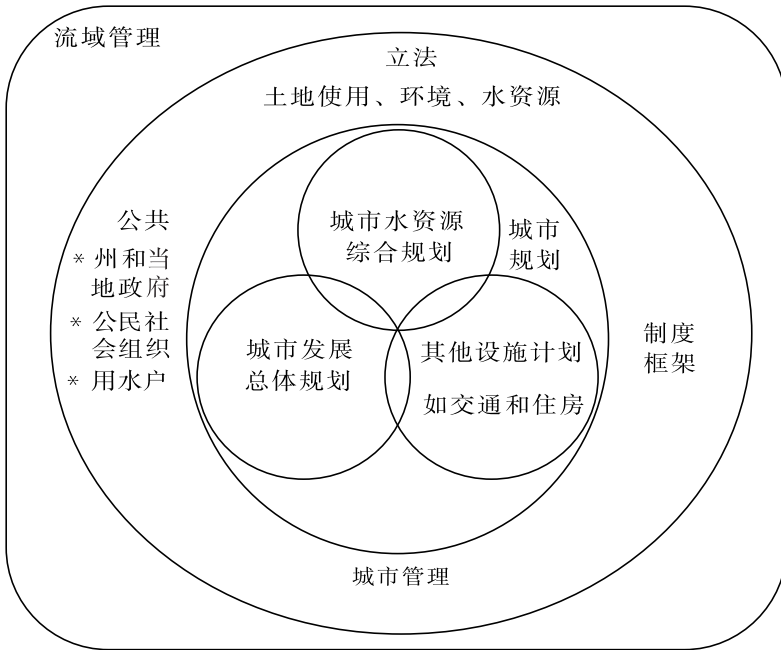


图9 城市水资源综合管理和土地利用总体规划框架

资料来源：图斯等人修改，2010年。

城市水资源综合管理政策的根本在于参与、民主和多元化治理，这将确保水政策的可持续发展，特别是如果政府采用了明确的城市政策作为其经济政策的组成部分。要转变态度，激励以创新、高效、可持续的方式来管理水资源，我们还必须要不断地求变。

8.1 关键信息

8.1.1 城市水资源综合管理

(1) 城市水资源综合管理是对城市地区不同用途用水的数量和质量进行改进和高效管理的措施。它包括利用传统和替代的水源：存在于资源管理结构（如城市地区）中的淡水（地表水、地下水、雨水、淡化海水）、废水（黑水、黄水、棕水、灰水和再生水）和雨水。

(2) 城市水资源综合管理要求协调城市发展和流域管理行动议程，在城乡一体化进程中，确保建立可持续的经济、社会和环境关系。

(3) 城市水资源综合管理是一个适应和反复的过程，使城市能够应对变化。

(4) 城市水资源综合管理包括水资源管理中环境、经济、社会、技术和政治方面的问题。成功的城市水资源综合管理措施需要构建一个能让所有群体参与其中的体制框架，以反映他们的需求和对水资源管理的认知。

8.1.2 制度、政策和法规

跨部门的关系：

(1) 实现可持续的城市发展需要重视水资源、能源和土地利用之间的关系。

(2) 生态城市的开发可促进废物利用，满足城市对能源和物质需求。

(3) 以城市为基础进行预算和以资源为基础进行规划可促进

跨部门之间关系的建立。但是，要保持这种关系必须建立一种共同的工作文化，清楚地阐明共同目标和各自的利益，并就权力和资源存在的分歧开展协商。

政府的角色：

(1) 政府应在城镇中发挥更核心的作用，以便担当起主导开发倡议和保障基本需求得到满足的作用。

(2) 政府应对城市非政府机构给予特别的支持，因为他们对城市经济的可持续发展至关重要。

(3) 为加强公共和私营部门的合作，应在地方和国家层面制定推进城市水资源综合管理实施的政策和战略。政策和战略还应得到融资战略、技术开发和决策工具等的支持。

城市规划：

(1) 城市规划在协助政府应对城市所面临的挑战中发挥了重要的作用。它可将其他政策部门在基础设施提供等方面采取的行动与计划联系起来，帮助政府克服在公共政策的制定和决策中各自为政的局面。

(2) 对气候变化的预测应纳入城市供水规划。

(3) 采取协作的方式，让所有主要利益相关者都参与其中，全面启动优先级别、行动和相关机构间责任分配的协议，改善城市的规划和管理。

(4) 发达国家的大多数城市一直遵照供水系统的线性流程行事：即提供供水系统，然后是管道污水处理系统，最后是排水系统。然而，目前新兴的小城镇和城市缺乏足够的基础设施，因此有机会从一开始就采用具有创新性和低成本高效益的城市水资源综合管理方法。

能力建设：

为确保能交付所需的服务产品，必须强化对实施城市水资源综合管理所涉及人员和机构的能力建设。倘若不存在明确的水管

理国家政策，城市水资源综合管理可用于指导当地或城市委员会修改相关政策，阐明水资源管理的目标方向。水政策必须以有效的法律作为后盾，才能具有活力，不再是一纸空文。

8.1.3 技术与实践

(1) 先进技术在城市水资源综合管理的运用中具有很大的潜力，如薄膜技术、纳米技术和微生物燃料电池、天然处理系统，来源分离的处理系统源分离等。同样，城市水系统规划中运用了一些创新性方法，包括城市用水多目标规划和半集中和分散式系统设计，这有助于城市地区实现高效的资源利用、水资源再利用和回收。

(2) 设计灵活的适应性基础设施系统可顺应未来的变化，抵御压力和相关的不确定性，确保系统性能得到提高，降低系统故障的风险，并使开发的周期成本得以优化。

(3) 有一系列技术及管理办法可供实施，如小型自来水管道路工程、成本低廉和可持续的本地供水或现场供水、可提升价值的卫生服务和技术、雨水收集技术、污水处理及再生水利用的新技术和方法以及新的商业模式等。

节水：

(1) 水资源评价可确定在给定水资源条件下的水量和水质，以及可承受的当前和预期需求。

(2) 提高水、废水和雨水的运营和投资的可持续性需要提升服务的经济效益。

(3) 采取高效措施减少运输、储存和使用过程中水的损失。在系统设计、施工、运营和维护等各环节，包括采取改变用户的行为的措施来减少水损失。

(4) 减少无收益用水是节约稀缺的水资源的重要策略。在一些地方，这可能是通过与私营部门（无论是小规模的企业家和企业还是大型承包商）的合作来实现。各种不同类型的合作方式都可以采纳；这些方式的适宜性必须逐案进行评估。

用多重和多元化资源保证未来的可靠性：

(1) 为城市供水提供多元化的组合是城市水资源综合管理的核心特征。未来可靠性的关键内容是当地供水和节水项目的开发和管理。节约用水、当地径流、进口水、海水淡化和地下水也许能给未来提供一些机会。但城市必须实现水源的多样化和增加使用本地生产的水（通过雨水收集和水资源回用），保证未来能够获得足够和可靠的供水。

(2) 废水的回收和再利用为增加传统的供水和有效利用城市中的供水创造了机遇。废水回用有助于在供水和污水处理之间建立一个封闭的循环。有效的废水回用要求整合水和再生水的供水功能。这项开发是否成功取决于所采用的综合方法，以及对机构、组织、管理、社会经济、政策、定价、环境和技术等各方面因素是否进行了慎重考量。

参与群体：

(1) 在项目层面实行参与式规划有助于获得更合适的设计，让居民参与发挥作用，并可改善低收入人群住所的生活条件。

(2) 居民在其生活和工作的区域参与规划和实施，并对实施改进的市政预算和本地计划准备工作进行建议，可产生积极的成果，在城市一级规划中扩大他们的影响。

(3) 参与进程还包括为穷人和其他被边缘化群体提供城市供水和卫生设施的内容。

8.1.4 融资

整个价值链的商业机会：

整个价值链中都存在商业机会。通过提供信贷和信息鼓励小型创业者把握这些商机，可增强服务的可持续性。

水价：

(1) 一个完善的定价政策可促进利润回收。这些政策必须考虑到现有的激励机制和做法。对不同的水质制定不同的价格，可

起到限制地表水或地下水使用和鼓励再生水使用的作用。

(2) 水价和分配应反映开发和提供用水的真实成本。准确的定价将鼓励所有用水户采取节约型水管理方式，与城市水资源综合管理战略保持一致。

(3) 定价制度、税收和补贴等可用来在不削弱水资源的经济生产力的前提下向弱势群体输送利益。如果定价过低，不足以支持系统可持续的运营和维护，不但对更贫困的消费者不利，反而可能会导致更大的不平等。通过实行分段计价和对超额用水进行高收费等价格手段，使高消费用户承担更多的费用。其他财政刺激措施，如折扣、补贴改造和用水审计、季节性的价格和区域价格等也可使用。

投资：

城市水资源综合管理项目需要数额庞大的资金用于投资和支付运行维护费用。然而，在许多国家的公共机构没有足够的资金投入水利基础设施建设中。必须制定有效的政策和建立良好的体制方可提高资金筹措的水平。以用户废水排放为单位收取费用（污染者付费原则）的项目可有效提高水处理和再利用的成本效益，在将收入用于收集、处理和复用废水的设施建设时更是如此。

参考文献

- Abaidoo, R., Keraita, B., Drechsel, P., Dissanayake, P. and Maxwell, A. 2009. Soil and crop contamination through wastewater irrigation and options for risk reduction in developing countries. In P. Dion (Ed.) *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*. Springer Verlag, Heidelberg.
- Abderrahman, W. 2000. Urban water management in developing arid countries. *Water Resources Development*. Vol. 16. pp. 7-20.
- ADB (Asian Development Bank). 2010. *Every Drop Counts: Learning from good practices in eight Asian cities*. Asian Development Bank, Mandaluyong City, Philippines.
- AfDB (African Development Bank). 2011. Rapid urbanization and the growing demand for urban infrastructure in Africa. *Market Brief*. Vol. 1. Issue 1. pp. 1-12.
- Angel, S., Parent, J., Civco, D.L. and Blei A.M. 2011. *Making Room for a Planet of Cities*. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA.
- Asano, T. 2002. Water from (waste)water – The dependable water resource, *Water Science and Technology* 45/8 (2002) 23-33.
- Asano, T. 2005. Urban water recycling. *Water Science and Technology*. Vol. 51. No. 8. pp. 83-89.
- Ashley R., Blanksby J., Cashman A., Jack L., Wright G., Packman J., Fewtrell L., Poole T. and Maksimovic C. 2007. Adaptable Urban Drainage: Addressing change in intensity, occurrence and uncertainty of stormwater (AUDACIOUS), in: *Built Environment*, 33: 70-84.
- Bahri, A. 2009. Managing the other side of the water cycle: Making wastewater an asset. *Global Water Partnership (GWP) Technical Committee (TEC) Background Paper No 13*. Global Water Partnership, Stockholm.
- Bahri, A., Sally, H., McCartney, M., Namara, R., Awulachew, S., Van Koppen, B. and Van Rooijen, D. 2011 “Integrated Urban Watershed Management: Towards sustainable solutions in Africa” In Garrido,

- A.; Ingram, H. (Eds.). Water for food in a changing world. London, UK: Routledge. pp. 50-70. (Contributions from the Rosenberg International Forum on Water Policy).
- Barton, A.B., Smith, A.J., Maheepala, S. and Barron, O. 2009. Advancing IUWM through an understanding of the urban water balance. 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009. <http://mssanz.org.au/modsim09>. 7 p.
- Baxamoosa, S. 2009. Karachi Water Partnership. Review of Phase 1 (January 2007-December 2008). Hisaar Foundation. 38 p.
- Barton, A.B., Smith, A.J., Maheepala, S. and Barron, O. 2009. Advancing IUWM through an understanding of the urban water balance. 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009. <http://mssanz.org.au/modsim09>. 7 p.
- Baxamoosa, S. 2009. Karachi Water Partnership. Review of Phase 1 (January 2007- December 2008). Hisaar Foundation. 38 p.
- Bayrau, A., Boelee, E., Drechsel, P. and Dabbert, S. 2009. Wastewater Use in Crop Production in Peri-urban Areas of Addis Ababa: Impacts on health in farm household, *Environment and Development Economics* (in press).
- Bergkamp, G. and Sadoff, C. 2008. Water in a Sustainable Economy. In State of the World: Innovations for a Sustainable Economy. Washington, DC: Worldwatch Institute.
- Bieker, S., Cornel, P., and Wagner, M. 2010. Semi-centralised supply and treatment systems: integrated infrastructure solutions for fast growing urban areas. *Water Science and Technology*, Vol. 61(11), pp. 2905-2913.
- Biswas, A., Lundqvist, J., Tortajada, C. and Varis, O. 2004. "Water management for megacities" *Stockholm Water Front*. Vol. 2. pp. 12-13.
- Blue Plan, MAP (Mediterranean Action Plan), and UNEP (United Nations Environment Programme). 2007. Water Demand Management, Progress and Policies: Proceedings of the 3rd Regional Workshop on Water and Sustainable Development in the Mediterranean. Zaragoza, Spain, 19-21 March. MAP Technical Reports Series 168. Athens: United Nations Environment Programme.
- Bolund, P. and Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*. Vol. 29. pp. 293-301.
- Braga, B., Porto, M. F. A. and Silva, R.T. 2006. Water Management in Metropolitan São Paulo. *International Journal of Water Resources*

- Development. Vol. 22, pp.337-352.
- Browder, G. 2011. Blue water, green cities. An initiative from the World Bank for integrated urban water management in Latin America. Presentation at the 2011 World Water Week. August 24, 2011.
- Brown, R.R., Mouritz, M. and Taylor, A. 2006. Institutional capacity. In: Wong, T.H.F. (ed.) *Australian Runoff Quality: A Guide to Water Sensitive Urban Design*. Engineers Australia, Barton, Australian Capital Territory, pp. 5-1-5-22.
- Brown, R., Keath, N. and Wong, T. 2008. Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States. *11th International Conference on Urban Drainage*. Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- Brown, P. 2009. The changing face of urban water management. *Water 21*. February 2009. pp. 28-30.
- Cohen, B. 2004. Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts. *World Development*. Vol. 32. No. 1. pp. 23-51.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. National Water Commission. 2011.
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (Eds). 2010. Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal.
- Dagerskog, L., Coulibaly, C. and Ouandaogo, I. 2010. The emerging market of treated human excreta in Ouagadougou. In: *UA Magazine no 23 - Urban nutrient management*, pp. 45-48.
- Danilenko, A., Dickson, E. and Jacobsen, M. 2010. Climate change and urban water utilities: challenges and opportunities. *Water Working Note No. 24*. World Bank, Washington, D.C.
- Delli Priscoli, J. and Wolf, A.T. 2009. *Managing and Transforming Water Conflicts*. International Hydrology Series. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- de Neufville, R. 2002. *Architecting/Designing Engineering Systems Using Real Options*. Monograph, Engineering Systems Division Internal Symposium, Massachusetts Institute of Technology.
- DST (Desakota Study Team). 2008. *Re-imagining the Rural-Urban Continuum: Understanding the role ecosystem services play in the*

- livelihoods of the poor in desakota regions undergoing rapid change. Research Gap Analysis prepared by the Desakota Study Team (DST) for the Ecosystem Services for Poverty Alleviation (ESPA) Program of Natural Environment Research Council (NERC), Department for International Development (DfID) and Economic and Social Research Council (ESRC) of the United Kingdom. Institute for Social and Environmental Transition-Nepal (ISET-N), Kathmandu, Nepal.
- Friedmann, J. and Wolff, G. 1982. World city formation: an agenda for research and action. *International Journal of Urban and Regional Research*. Vol. 6. No. 3. pp. 309-344.
- FUSP. 2009. Plano da Bacia do Alto Tietê. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo. Brasil.
- Giesen, N., Andreini, M., Edig, A. and Vlek, P. 2001. *Competition for water resources of the Volta Basin. Regional Management of Water Resources*, Maastricht, IAHS Publ. No. 268.
- Ginsburg, N., Koppel, B., and McGee, T.G. (Eds.). 1991. *The extended metropolis: settlement transition in Asia*. University of Hawaii Press, Honolulu.
- Grumbles, B.H. 2011. Managing One Water. *Water Resources Impact*. Vol. 24. pp. 25-27.
- GWP (Global Water Partnership) TAC (Technical Advisory Committee). 2000. Integrated Water Resources Management. *TAC Background Paper No. 4*. Global Water Partnership, Stockholm.
- GWP (Global Water Partnership). 2010. Briefing Note: IWRM Principles and Processes: From Advocacy to Action. Accessed online (19.10.2011):http://www.gwp.org/Global/The%20Challenge/Resource%20material/Briefing_Note_Changing%20Lives.pdf
- ICLEI (Local Governments for Sustainability). 2011. SWITCH Training kit module 1 SWITCH, Delft, The Netherlands.
- Hall, P. 1966. *The world cities*. London: World University Press.
- Hamilton A.J., Stagnitti F., Xiong X., Kreidl S.L., Benke K.K. and Maher P. 2007. Wastewater irrigation the state of play. *Vadose Zone Journal*. Vol. 6. No. 4. pp. 823-840.
- Hardoy, J.E., Mitlin, D. and Satterthwaite, D. 2001. Environmental Problems in an Urbanizing World: Finding Solutions for Cities in Africa, Asia and Latin America. Earthscan, London.
- Hussein, M. A. 2008. Costs of Environmental Degradation: An Analysis in

- the Middle East and North Africa Region. *Management of Environmental Quality*. Vol. 19. No. 3. pp. 305-317.
- Hutton, G. and Haller, L. 2004. Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level. World Health Organization, Geneva.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva.
- Jiménez, B. and Chavez, A. 2004. Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: "El Mezquital Valley" case. *Water Science and Technology*. Vol. 50. No. 2. pp. 269-273.
- Jiménez, B. 2008. Water and Wastewater Management in Mexico City. In Mays, L. (Ed.) *Integrated Urban Water Management in Arid and Semi-arid Regions around the World*. Taylor & Francis Group Ltd., Paris, France. pp. 81-112.
- Jiménez, B. 2010. The unintentional and intentional recharge of aquifers in the Tula and the Mexico Valleys: The Megalopolis needs Mega solutions. Paper presented at Rosenberg Symposium, Buenos Aires, Argentina.
- Jiménez, B., Drechsel, P., Koné, D., Bahri, A., Raschid-Sally, L., and Qadir, M. 2010. Wastewater, Sludge and Excreta Use in Developing Countries: An Overview. In Drechsel, P., Scott, C.A., Raschid-Sally, L., Redwood, M., and Bahri, A., (Eds.) *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. Earthscan, London.
- Kamal-Chaoui, L. and Robert, A. 2009. Competitive Cities and Climate Change. *OECD Regional Development Working Papers 2009/2*. OECD Public Governance and Territorial Development Directorate, Paris.
- Keraita, B., F. Konradsen, P. Drechsel, and Abaidoo, R. C. 2007. Effect of Low-Cost Irrigation Methods on Microbial Contamination of Lettuce Irrigated with Untreated Wastewater. *Tropical Medicine and International Health*. Vol. 12. Issue. 2. pp. 15-22.
- Keraita, B., Jiménez, B. and Drechsel, P. 2008. Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries. *Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. Vol. 3. No. 58. pp 1-15.

- Khatri, K., and Vairavamoorthy, K. 2007. Challenges for urban water supply and sanitation in the developing countries. Symposium 13-15 June, 50th Anniversary UNESCO-IHE, Delft.
- Kingdom, B., Liemberger, R. and Marin, P. 2006. The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries. How the private sector can help: A look at performance-based service contracting. *Water and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series*. No. 8. World Bank: Washington, D.C.
- Loftus, A. 2011. Adapting urban water systems to climate change: A handbook for decision-makers and the local level. ICLEI, UNESCO-IHE and IWA.
- Mafuta, C., Formo, R. K., Nellemann, C., and Li, F. (Eds.). 2011. Green Hills, Blue Cities: An Ecosystems Approach to Water Resources Management for African Cities. *A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.
- Mays, L.W., Koutsoyiannis, D. and Angelakis, A.N. 2007. A brief history of urban water supply in antiquity. *Water Science and Technology: Water Supply*. Vol. 7. No. 1. pp. 1-12.
- McEvoy, D., Lindley, S. and Handley, J. 2006. Adaptation and mitigation in urban areas: Synergies and conflicts. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer* 159. Issue ME4. pp. 185-191.
- McGee, T.G. 1991. The emergence of desakota regions in Asia: expanding a hypothesis. In N. Ginsburg, B. Koppel, & T. G. McGee (Eds.) *The extended metropolis: settlement transition in Asia*. University of Hawaii Press, Honolulu. pp. 3-25.
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P. and Stouffer, R.J., 2008. Stationarity Is Dead: Whither Water Management? *Policy Forum, Science*, Vol. 319, pp. 573-574. http://aquadoc.typepad.com/waterwired/files/milly_et_al.pdf
- Moddemeyer, S. 2010. Generating demand for integrated urban water management. *Water* 21. pp. 13-14.
- Molle, F. and Berkoff, J. 2006. Cities versus Agriculture: Revisiting Intersectoral Water Transfers, Potential Gains and Conflicts. *Comprehensive Assessment Research Report 10*. International Water Management Institute, Colombo.
- Najjar, K.F. and Collier, R. 2011. Integrated water resources management: bringing it all together. *Water Resources Impact*. Vol. 13. No. 3. pp. 3-8.

- Novotny, V. 2010. Footprint tools for Cities of the Future: Moving towards sustainable urban water use. *Water 21*. pp. 14-16.
- Obuobie, E., Keraita, B., Danso, G., Amoah, P., Cofie, O.O., Raschid-Sally, L. and Drechsel, P. 2006. Irrigated urban vegetable production in Ghana – Characteristics, benefits and risks. CSIR-INSTI, Accra.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2003. OECD Global Forum on Sustainable Development: Financing Water and Environmental Infrastructure for All. OECD, Paris.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2008. Environmental Outlook to 2030. OECD, Paris.
- Office of Water. 2010. New York: New York City and Seven Upstate New York Counties – Effective Watershed Management Earns Filtration Waiver for New York. (4606M) 816F10031 January 2010. <http://water.epa.gov/infrastructure/drinkingwater/sourcewater/protection/casestudies/upload/Source-Water-Case-Study-NY-NY-City-7-Upstate-Counties.pdf>.
- Otterpohl, R., Braun, U., and Oldenburg, M. 2003. Innovative technologies for decentralised water, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas. *Water Science and Technology*, Vol 48 No 11 pp 23-32.
- Pagiola, S. and Platais, G., 2002. Payments for environmental services. Environment Strategy Notes. The World Bank, Washington, D.C. USA.
- Pagiola, S. and Platais, G., 2007. Payments for Environmental Services: From Theory to Practice. The World Bank, Washington, D.C. USA.
- Palaniappan, M., Gleick, P.H., Allen, L., Cohen, M.J., Christian-Smith, J. and Smith, C. 2010. Clearing the Waters: A focus on water quality solutions. UNEP, Nairobi.
- Peña, H. 2011. Social equity and integrated water resources management. *Global Water Partnership (GWP) Technical Committee (TEC) Background Paper No 15*. Global Water Partnership, Stockholm.
- Pilgrim, N., Roche, B., Kalbermatten, J., Revels, C. and Kariuki, M. 2007. Principles of Town Water Supply and Sanitation. *Water Working Note No. 13*. Word Bank, Washington, D.C.
- Pinkham, R. 1999. 21st Century Water Systems: Scenarios, Visions and Drivers, An opening presentation for an EPA Workshop on “sustainable urban water infrastructure – a vision of future”, Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado, <http://www.rmi.org>.

- PRB (Population Reference Bureau). 2012. Human population: Urbanization. <http://www.prb.org/Educators/TeachersGuides/HumanPopulation/Urbanization.aspx>.
- Porto, M. 2003. Recursos hídricos na Região Metropolitana de São Paulo: um desafio do tamanho da cidade. Série Água Brasil, Vol. 4. Banco Mundial. Brasília.
- Prein, M. 1990. Wastewater-fed fish culture in Germany. In Edwards, P. and Pullin, R.S.V. *Wastewater-Fed Aquaculture. Proceedings of the International Seminar on Wastewater reclamation and Reuse for Aquaculture*. Calcutta, India, 6-9 December, 1988.
- Rees, J. 2006. Urban Water and Sanitation Services: An IWRM approach. *TEC Background Paper No. 11*. Global Water Partnership, Stockholm.
- Sadoff, C. and Muller, M. 2009. Water Management, Water Security and Climate Change Adaptation: Early Impacts and Essential Responses. *TEC Background Paper No 14*. Global Water Partnership, Stockholm.
- Sassen, S. 2001. *The global city: New York, London, Tokyo*. Princeton University Press, Princeton.
- Schroeder, E., Tchobanoglous, G., Leverenz, H.L. and Asano, T. 2012. Direct Potable Reuse: Benefits for public water supplies, agriculture, the environment and energy conservation. *National Water Research Institute White Paper*. National Water Research Institute: Fountain Valley, CA.
- Scott, C.A., Faruqui, N. I. and Raschid-Sally, L. (Eds). 2004. *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Serageldin, I. 1994. Water Supply, Sanitation and Environmental Sustainability. *Directions in Development*. World Bank, Washington, D.C.
- Shmueli, D.F. 1999. Water quality in international river basins, *Political Geography*, 18 (1999) 437-476.
- Siddiqui, A. 2011. KWP Karachi Mega-city Case Study. Background report. SWITCH, 2011. *SWITCH 2006-2011: Managing water for the city of the future*. UNESCO-IHE Global Partnership.
- Tucci, C.E.M. 2009. Integrated urban water management in large cities: a practical tool for assessing key water management issues in the large cities of the developing world. Draft paper prepared for World Bank, July 2009.

- Tucci, C.E.M., Goldenfum, J.A., and Parkinson J.N. (Eds.). 2010. Integrated Urban Water Management: Humid Tropics. *UNESCO IHP. Urban Water Series*. CRC Press.
- Twumasi, Y.A. and Asomani-Boateng, R. 2002. Mapping seasonal hazards for flood management in Accra, Ghana using GIS. *Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS apos; 02. IEEE International*. Vol. 5, pp. 2874-2876.
- UNDP (United Nations Development Program). 2006. Human Development Report 2006. *Beyond Scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. UNDP, New York.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2002. *Global Environmental Outlook 3*. Earthscan, London and United Nations Environment Programme, Nairobi.
- UNEP (United Nations Environment Program). 2003. *Water resources management in Latin America and the Caribbean. Contribution of the Inter-Agency Technical Committee (ITC) to the Fourteenth Meeting of the Forum of Ministers of the Environment of Latin America and the Caribbean*. Panama, November 20 - 25, 2003. United Nations Environment Program, Nairobi.
- UNEP (United Nations Environment Program). 2011. *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. UNEP, Nairobi.
- UNEP (United Nations Environment Program) & UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme). 2005. *Coastal pollution – The role of cities*. UNEP & UN-Habitat, Nairobi.
- UNFPA. (United Nations Population Fund). 2007. *State of World Population 2007: Unleashing the potential of urban growth*. UNFPA, New York.
- UN-Habitat. 2008. *State of African Cities: A framework for addressing urban challenges in Africa*. UN-Habitat, Nairobi.
- UN-Habitat. 2009. *Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements 2009*. Earthscan, London.
- UN-Habitat. 2011. *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011*. Earthscan, London.
- UN-Water. 2010. *Climate Change Adaptation: The pivotal role of water. UN-Water Policy Brief*. UN-Water, New York.
- UN-WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2009.

- The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. UNESCO, Paris and Earthscan, London.
- Van der Merwe-Botha, M. 2009. Water quality: A vital dimension of water security. *Development Planning Division Working Paper No. 14*. DBSA, Midrand, South Africa.
- Van der Steen, P. 2006. Integrated Urban Water Management: Towards Sustainability. *Paper presented at the first SWITCH Scientific Meeting*. University of Birmingham, UK, 9-10 Jan 2006.
- Van der Steen P. and Howe C. 2009. Managing Water in the City of the Future; Strategic Planning and Science. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 8, 2, pp 115-120.
- Van Rooijen D., Turral H. and Biggs T.W. 2005. Sponge City: Water balance of mega-city water use and wastewater use in Hyderabad, India. *Irrigation and Drainage*. Vol. 54. pp. 81-91.
- Visscher, J.T., Bury, P., Gould, T., and Moriarty, P. 1999. Integrated water resource management in water and sanitation projects: Lessons from projects in Africa, Asia and South America. IRC International Water and Sanitation Centre, Delft, The Netherlands.
- Watson, A., Prickett, R., Taghavi, A. and West T. 2011. California's IWRM program: a regional framework for integrated water resources management. *Water Resources Impact*, Vol. 13, No. 3. pp. 9-13.
- WHO (World Health Organization) and UNICEF (United Nations Children's Fund) Joint Monitoring Programme (JMP). 2008. A Snapshot of Sanitation in Africa. United Nations Children's Fund, New York and World Health Organization, Geneva.
- WHO (World Health Organization) and UNICEF (United Nations Children's Fund) Joint Monitoring Programme (JMP). 2010. Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update. United Nations Children's Fund, New York and World Health Organization, Geneva.
- WHO (World Health Organisation). 2002. World Health Report: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. WHO, Geneva.
- WHO (World Health Organization). 2006a. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. World Health Organization, Geneva.
- WHO (World Health Organization). 2006b. Economic and Health Effects of Increasing Coverage of Low Cost Water and Sanitation Interventions. UNHDR Occasional Paper, World Health Organization, Geneva.

- WHO (World Health Organisation) and DFID (United Kingdom Department for International Development). 2009. Summary and policy implications Vision 2030: The resilience of water supply and sanitation in the face of climate change. WHO, Geneva and DFID, London.
- WMO (World Meteorological Organization). 1997. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. WMO, Geneva and Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- World Bank. 2010. Cities and climate change: an urgent agenda. Vol. 10. Washington, DC: The World Bank.
- Wrisberg, S. 1996. Urinseparation i København; Genoprettelse af forbindelsen mellem land og by. Institut for Jordbrugsvidenskab. Sektion For Agroøkologi, Den KGL. Veterinær Og Landbohøjskole, Fredriksberg (in Danish).
- Yusuf, A.A. and Francisco, H.A. 2009. Climate Change Vulnerability Mapping for South Asia. Singapore: EEPSEA.