

我国城市水资源现状及其对策

The Present State on China's Urban Water Resources and Its Solutions

袁志彬 王占生

(清华大学环境科学与工程系 北京 100084)

在我国,城市水资源短缺和水环境污染造成的水危机已经成为社会经济发展的重要制约因素,水资源危机的缓解依赖于水资源的可持续利用和保护,而水资源的可持续利用和保护只有通过大力发展水工业,建立系统完备的水工业体系才有可能真正得到实现。

一、我国城市水资源开发利用

1. 城市水资源的概念

一般说来,城市水资源可定义为“一切可被城市利用的天然淡水资源”,从广义上讲,还应包括海水和可再生利用水。

按水的类型,可分为雨水资源、土壤水资源、地表水资源、地下水资源、海水资源和可再生利用水资源等6类。

按水的地域特征,可分为当地水资源和外来引水资源两大类。前者包括流经城市区域的水资源、储存在城市区域或能在该区域内被直接提取的水资源和可再生利用的废(污)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,可以说城市水资源的量是动态的。

我国水资源在地域上的分布很不均匀,与城市的分布并不适应。长江以南地区,地表水丰富,水资源占全国总量的81%,工业和大中型以上的城市较少;而长江以北地区,工业和大中型以上的城市居多,但地表水资源不足南方的1/4。因此,南方城市多以地表水为供水水源,北方城市多以地下水为供水水源。

由于城市是人口和社会财富的主要聚集区,人口密度大,人均占有的水资源量与全国平均相比要少得多。据对北京、天津等22个城市的统计表明,人均拥有水资源量最多的城市是广西北海市,为2986m³/人;最少的城市是河南郑州市,为270m³/人,只有全国人均水资源量841.5m³/人的36.78%。

2. 城市水资源的基本特征

城市水资源除具有一般水资源的不可替代性、

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性。

(1) 系统性 城市水资源的系统性主要表现在3个方面:一是不同类型的水之间可以相互转化,海水、大气降水、地表水、地下水、废(污)水之间构成一个非常复杂的水循环系统,彼此间存在质与量的交换;二是城市区域以内和以外的水资源通常处于同一水文系统,相互间有密切的水力联系,不可人为分割;三是城市水资源开发利用过程中的不同环节(如取水、供水、用水、排水等)是个有机的整体,任何一个环节的疏忽都将影响到水资源利用的整体效益。

(2) 有限性 相对于城市用水需求量的持续增长,城市水资源的量是极为有限的。其中,当地水资源因“近水楼台”、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(或严重超采)状态,而外来引水资源因受水资源分布、生态环境、经济条件和水所有权等因素的制约,能被城市获取和利用的量也不可能无止境地增加。

(3) 脆弱性 城市水资源因开发利用比较集中和与人类社会活动关系密切而显示出脆弱性。其主要表现在两个方面。一是易受污染。城市污染源点多、面广、强度大,即使是局部污染,也会因水的流动性而使污染范围逐渐扩大。二是易遭破坏。特别是地下水,当开采量超过补给量时,水资源质与量的状态便失去平衡,进而诱发一系列的环境地质问题。因此,城市水资源一旦遭受污染或失去平衡,治理恢复非常困难,代价也很大。

(4) 可恢复性 城市水资源的可恢复性表现在水量的可补给性和水质的可改善性。前者决定于自然环境中水的可循环性,只要设法增加或诱导补给,合理控制使用,城市水资源便可得到持续利用。水质的改善既可利用水体的自净功能来实现,也可通过人为手段来达到,其改善程度取决于人、

财、物的投入。

(5) 可再生性 城市水资源在利用过程中,被直接消耗掉的只是少部分,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)水要经过处理以后,才能转变为可用资源。

3. 我国城市水资源开发利用现状

北方城市和沿海城市的当地地表水水资源大多已得到了充分利用,达到了75%保证率的利用程度,有的已高达90%以上,部分城市如天津、大连、青岛、西安等城市已从外区域引水;而多数南方城市的地表水资源尚未得到充分利用,有的利用率还相当低,其中,水源污染是造成地表水不能充分利用的一个重要原因。

我国城市地下水资源的开发利用总体来讲还有一定的潜力,但许多大中型城市开采状况不容乐观。唐山、太原、烟台、大连属严重超采城市,开采程度大于120%;北京、天津、石家庄、济南、邢台属超采的城市,开采程度介于100~120%之间。这里需要特别指出的是,在一些尚有一定开采潜力的城市中,也存在局部超采甚至于严重超采的情况,如宁夏银川市的新市区严重超采282%,哈尔滨市城区超采60%,西安市城区超采25%,这是值得引起重视和关注的现象。

4. 城市水资源开发利用中存在的问题

城市水资源的开发利用实际上就是城市对水资源价值和功能的发现和发掘过程,同时也造成了对水资源状态的干扰和破坏。目前,我国正处于社会经济全面转型发展时期,随着城市化和工业化进程的不断推进,需水量和污染物排放量也会迅速增长,致使水危机状况将长期存在,而且可能有迅速加剧的危险。

城市水资源有其自身的特征和运动规律,人类利用水资源时如果忽视这些特征或违背其运动规律,必将产生严重后果,以至影响到城市水资源的持续利用。目前,我国城市水资源开发利用中存在两大主要问题。

一是部分城市的水资源量满足不了用水需求。尤其是以地下水作为供水水源的北方城市和个别沿海城市,缺水量较大。为维持日常供水,多数城市都被迫超量开采地下水,造成地下水位的持续下降,地下水降落漏斗不断扩大,全国已出现56个区域性的地下水降落漏斗,总面积达87000km²,仅唐山市的漏斗面积就高达3470.5km²,水位最大下降速率达到5.06m/a;太原市的漏斗面积为208.4km²,漏斗中心水位最大埋深达145.6m;西安市的漏斗面积300km²,最大埋深120m,最大下降速率为5m/a;大连市的水位下降速率达7.92m/a。北京、天津、石

家庄、郑州、济南、青岛、烟台、沈阳、长春、哈尔滨、呼和浩特、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐、海口、湛江、北海、昆明等城市都不同程度地形成了降落漏斗,迫使大批机电井报废或换泵,结果造成井越打越深,采水成本越来越高,形成恶性循环。其中,青岛、烟台、大连和北海等沿海城市还由此导致海水入侵,造成地下水水质恶化。此外,由于地下水位的大幅度下降,使多孔介质释水压密,许多城市出现了地面沉降,如上海、天津、北京、唐山、西安、太原、湛江和海口等城市均较为严重,其中天津市的最大累计沉降量为2690mm,最大沉降面积9080km²。位于覆盖型岩溶区的部分城市(如桂林、贵阳、昆明、唐山等),由于过量抽取地下水,还造成了严重的地表塌陷,其中桂林市的塌陷面积高达362km²。

二是城市水资源普遍受到不同程度的污染。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经济条件的限制,导致全国80%的城市污水和工业废水未经任何处理便直接排入水域,一些分散处理的工业废水虽然达到了排放标准,但其中大部分却又排入了没有集中处理的城市排水系统中,降低了达标排放的意义。由于废(污)水的排放,约90%的城市水域不同程度地受到了污染,地表水系尤以大辽河、海滦河、淮河和黄河流域最为严重。中国7大江河流经的15个主要大城市河段中,有13个河段的水质严重污染。华北地区有些流经城市的河流已完全成为排污河。地表水的污染必然殃及地下水,先是污染浅层地下水,进而通过自然的和人为的“天窗”污染深层地下水。污水通过砂性土壤的直接下渗,也是造成地下水污染的重要途径。据统计,全国多数城市的地下水都受到了不同程度的污染。在南方因水质污染导致的城市缺水量约占总缺水量的60~70%。

出现上述问题的主要原因,一是管理体制不顺,对城市水资源的开发利用缺乏系统、科学的决策和管理;二是水价背离价值规律,不能用经济手段有效地调整用水结构、控制污染和不合理的用水需求。解决这些存在的问题,需大力实施城市水资源可持续发展战略。

二、城市水资源可持续发展战略与对策

面对21世纪可能出现的城市水资源危机,城市水资源可持续发展的目标是:充分利用城市水资源的可恢复性和可再生性特征,最大限度地降低或消除因水资源固有的脆弱性而带来的不利影响,使有限的城市水资源得到持续合理的开发利用,以满足城市社会持续发展和城市居民生活水平不断提高的用水要求,并产生最大的资源效益、环境效益、经

济效益和社会效益。总体的发展战略可以概括为：调整布局、改善结构；控制需求，全面节流；积极开源，谨慎调水；控制开采，增加补给；加强保护，科学管理。

1. 调整布局,改善结构

我国的工业布局、城市发展规模和产品结构受原料、能源、水资源、交通、经济发展和科学技术水平等多种因素的制约，而水资源这一影响因素过去不那么被人们重视。有些城市缺水已相当严重，但为了片面追求GDP和利润等经济利益，仍在要求上耗水量大的工业项目，使用水状况更加紧张，反过来又影响工业生产和人民生活。在制定城市工业发展规划时，要特别注意水资源条件，考虑或调整工业布局或产品结构，对于那些用水量大的工业是否安排尤应慎重加以考虑。就全国工业用水组成来看，电力工业用水占了工业总用水量的一半，因此火力发电厂的建设布局应充分考虑水资源条件。在南方宜选择在水量丰富的河湖地区，在北方缺水地区应尽可能靠海建设，利用海水冷却，这样可大大减少火力发电厂的淡水用量。

化学工业是另一用水大户，在华北地区化学工业取水量居首位。在化学工业中，氮肥工业取水量最大，约占总取水量的70%，尤其是小氮肥工业占了化工总取水量的55.2%，氮肥工业加上生产酸碱的基本化工原料工业，取水量占化学工业总取水量的88%；从万元产值取水量来看，小企业氮肥高达4600m³，大中型企业氮肥为2230m³，基本化工原料工业为1580m³。因此在缺水地区，在制定工业发展规划时就应该限制这些工业的发展，调整各行业产品结构和产值分布比例。

钢铁工业是用水量大的工业，而且主要集中在一些大厂。钢铁厂不仅用水量大，而且排出废水、废气、废渣，造成的环境污染也很严重。在缺水地区的大城市如北京、天津等地，就应该严格限制此类工业的发展。

造纸工业取水量在轻工业中占60%以上，不少城市已采用各种节水技术，提高重复利用率，大大降低了用水单耗。但造纸工业耗水量大，排出大量废水，污染环境严重，因此在缺水地区也应加以严格限制。

总之，在确定工业布局、制定工业发展规划时，要把水资源作为重要因素考虑。在缺水地区，不要再发展耗水量大的工业。原有工业应根据水资源条件进行调整，并采取各种措施，降低单位产品产量的耗水量，建立和发展节水型工业。

2. 控制需求,全面节流

控制需求是目的，全面节流是措施。控制需求的理论依据是水资源的有限性和供需平衡原则，无论从全国还是从区域，或是就某一具体城市而言，

可利用的水资源量总是有限的，因此，用水需求决不能无限增长。据测算，我国可用水资源的可能极限约11000亿m³，1993年的实际用水量已达5000亿m³，国民生产总值为317400亿元，预计到2010年国民生产总值将增长4~5倍，但用水量只要翻一番便可能接近极限。城市地区的矛盾将更加突出，预测在采取节水措施的情况下，到2010年城市需水量还将增加1.3倍，这对许多城市来说无疑都是难以承受的。因此，从宏观上控制用水需求应是高于一切的战略决策。

控制需求的原则应该是“量入为出，量水发展”。要站在全局利益的高度，从系统的整体出发，通过对产业结构、用水比例的调整 and 部门利益、社区利益的协调，将那些不合理、不重要或用水效益不高的用水需求坚决减下来，按照轻重缓急排序，优先满足重点对象、重点行业和重点社区的用水需求。

国内外大量经验表明，有限的水资源可以支持社会经济的持续发展。控制需求的最有效的途径是通过行政、教育、法律、经济、技术和计划等综合手段实行全面节流。

3. 积极开源,谨慎调水

所谓“积极开源”，就是要充分挖掘各种可利用的水资源潜力，开源的途径有雨水、低质水和海水利用，废(污)水资源化及区外引水等。

废(污)水资源化是缓解城市水危机的重要途径，许多国家都把废(污)水作为第二水源，并在一定范围内建立了回用系统(中水道系统)。常用的废(污)水处理有集中处理、分散处理和土地处理等3种形式。废(污)水资源化不仅可以增加水资源的供给，还有利于防止水污染，保护和改善生态环境。

雨水利用本是人类历史上普遍使用的传统方式，只是工业革命以来，集中供水的发展使其被忽视了。城市雨水是城市区域内自产的水源，城市雨水的集流相对于大规模修建水库引水的投资要少，且无地区和部门利益之争。雨水利用对于补充涵养地下水、改善城市生态环境、降低城市雨洪危害、增加城市备用水源等具有现实意义。国内外在这方面都有不少成功经验可以借鉴。

不同的水质具有不同的使用功能，低质水也有低质利用的功能，应加强水质的适用性和开发利用效益的对比研究，开展水资源的分质调查和分质评价，为水资源的分质利用和按质定价提供依据。我国干旱和半干旱地区分布的大量微咸水其实也是一笔可观的潜在资源。

与淡水资源相比，海水资源是取之不尽、用之不竭的。海水淡化是解决沿海城市淡水资源短缺的有效途径之一，但淡化成本较高，目前还难以普及应用。许多沿海城市利用海水作为工业冷却水，如

天津大港电厂每年所需的 48 万 m^3 的冷却水已全部改用海水代替。我国大陆海岸线长约 1.8 万 km,沿海城市的工业企业若能充分利用海水资源,那么缺水危机将大大缓解。

区外引水或跨流域调水是解决某些城市缺水问题的必要途径,如天津、大连等城市的调水工程,对缓解这些城市的供水矛盾都起到了积极作用,但区外引水必须谨慎,应在充分挖掘当地水资源潜力后,仍不能满足合理用水需求的情况下,经资源、环境和经济等综合论证后才能实施,以避免用水强度和排污负荷已经很大的城市地区陷入引水越多、污染越重的恶性循环。

4. 合理开采,增加补给

由水的循环特征决定的水的可恢复性表明,水资源的开发利用具有很大的弹性,尤其是地下水资源。如果开发利用得当,巨大的地下库容将为我们提供充分的调节余地,因此合理开采和增加补给是促进地下水良性循环和可持续利用的必经之路。

合理开采地下水包含有两方面的内容:一是合理规划或调整开采井的布局,保持不同含水层和不同区域的地下水的均衡开采,控制地下水水位的变化幅度,防止局部含水层水位的大幅度下降;二是优化调度开采方案,控制开采强度和开采节奏。对于超采区域和超采层位,要压缩开采量,增加人工补给,保持水位稳定,防止水质恶化;对于非超采区和非超采层位,可适度增加开采量,降低地下水位,加速水循环,扩大天然水补给量。在有地表水资源的城市,丰水期可增加地表水的供给,减少地下水开采,涵养地下水,留待枯水期采用。

增加地下水补给有两条重要途径。一是人工回灌,即采用工程和技术措施,将收集的雨水、地表水或其它经适当处理后的弃水,通过钻孔、浅井或渗坑等渠道直接补给含水层。人工回灌既可有效增加地下水资源量,又能控制地下水位的持续下降以及由此而引起的环境地质问题。二是诱导补给,即采用截流蓄水、绿化造林等手段,延长雨水或地表水

的滞留时间,提高水头压力,促进地表水、土壤水和地下水的水力联系,间接增加地下水资源量。

合理开采和增加补给不仅对于超采城市或超采区域非常必要,对其它城市和地区也很重要,因为“人无远虑,必有近忧”。只有未雨绸缪,才能使城市地下水资源处于不断的循环、更新和自净之中。

5. 加强保护,科学管理

加强对城市水资源质与量的保护主要体现在两个方面:一要加强水质的动态监测,控制污染源,防止水污染和水质恶化,对生活饮用水卫生防护带的分级、划分和设立要有科学性、可操作性和权威性;二要加强水循环系统的保护,促进雨水、地表水、土壤水和地下水之间的“四水”转化。

城市水资源的科学管理应贯穿于水资源开发、利用和保护的全过程,其内涵应包括统筹规划、民主决策、优化调度和行政执法等许多方面,涉及自然环境的许多系统和社会经济的许多部门,情况很复杂,需要兼顾各方面的利益,协调各方面的关系,使水资源开发利用的整体效益最优化。

为此,行政管理部门应制订和完善相应的规划、标准、规程、规范和法规,引导专业技术的发展,规范行业业务的经营,使城市水资源的保护和管理工作做到有章可循、有法可依。专业技术部门应积极开展城市水资源监测、模拟、预测、优化、调度、调蓄、防护、治理和控制技术的研究与开发,加强城市水资源辅助管理系统和决策支持系统的研究,促进行业管理科学化和现代化水平的不断提高,以此实现城市水资源开发和利用的可持续发展。

参考文献

- [1] 邵益生. 城市水资源. 中国城市节水 2010 年技术进展发展规划,侯捷主编. 文汇出版社,1998:39-51
- [2] 聂梅生. 中国水工业可持续发展战略研究. 环境科学与工程进展,钱易、郝吉明主编. 清华大学出版社,1998:369-376
- [3] 林秋华. 解决城市水资源供需矛盾的基本对策. 给水排水新技术,许京骐、陈培康主编. 中国建筑工业出版社,1988:1-12 (责任编辑 王宏章)

(上接第 5 页)

20 世纪之时,美国的一个机构在英特网上征集公众意见,选择 11 件千年以来对人类影响最大的发明。在公布的结果中,大多数人选择的第二件影响最大的发明是原子弹,理由是“它可以使人类在几秒钟之内回到石器时代”。实际上原子弹可能造成的结果要比回到石器时代更加悲惨,因为届时人类将完全丧失掉继续生存和进化的环境。在 20 世纪 60 年代,被称作“原子弹之父”的美国物理学家罗伯特·欧本海默在一篇文章中讲过这样一段话:“在讨论我们明天将如何生活时,首先应该思索我们明天是否仍将活着”。联合国教科文组织总干事费德里科·马约尔博士在 1999 年离任前,对公众做过一次情

真意切的演讲,他说:“由于生态、环境的灾难和人类对未来的忧虑,自文艺复兴以来人们第一次开始怀疑科学的价值”。我想,这些忧心忡忡的话绝不是危言耸听。

当前我们正面对着现代技术应用中的种种重大的新问题,但却又很少能从人类过去的经历中得到真正的启迪。我们应该以哲学的睿智重新审视现代技术的价值观,使现代技术纳入人类和谐、持续地生存发展的价值体系。时代呼唤人文精神在现代科学技术时代的回归。以理性和道德引导现代技术的应用和发展,以人文理性和人文道德守望人类的家园,乃是当代最紧迫的事情之一。

(责任编辑 蔡德诚)