

城市绿色水供给结构初探 ——以天津市为例

张宏伟^{1,2}, 刘洪波¹, 高红霞¹

(1. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津工业大学环境经济研究所, 天津 300387)

摘要: 我国城市长期采用均质单一的统一供水方式, 不仅供水成本大, 浪费了大量优质水资源, 还导致“城市用水”与“生态用水”之间的矛盾加剧, 生态环境破坏, 城市缺水局面日益严峻。针对以上问题, 提出了“城市绿色水供给”的内涵及原则, 并以天津市为例, 在采用分类用水指标法和年均增长率法预测2020年需水量的基础上, 提出了适合天津市的绿色水供给结构, 并简要分析了其经济性。结果表明, 在绿色水供给结构下, 各水源得到合理利用, 既满足了城市用水和生态用水的需求, 又可以在一定程度上降低供水成本, 具有较好的社会、环境和经济效益。

关键词: 绿色水供给; 分类用水指标法; 年均增长率法; 需水量预测; 绿色供水结构; 经济性

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-4339(2015)01-001-05

城市水系统是支撑城市存在和发展的重要基础设施, 而城市供水紧张已成为制约经济社会发展的“瓶颈”。一方面, 我国水资源匮乏, 大部分地区属于典型资源型缺水, 约400个城市水资源供应量不足; 另一方面, 我国城市大部分采用均质单一的统一给水系统供水, 由于不同用途的水对水质需求的差异较大, 传统的不可持续的供水方式造成了大量优质水源的严重浪费, 加剧了城市供水的紧张局面。

目前, 关于城市供水管道漏损和节水方面的研究较多, 在现有的供水模式和技术条件下, 减少漏损和节约用水的潜力有限, 而随着城市的发展, 需水量也在不断增加。因此, 有必要从改变传统的不可持续的城市供水方式入手, 开发非常规水资源, 改变城市供水结构, 从根本上缓解“城市用水”与“生态用水”的矛盾, 既解决了城市的缺水问题, 又不破坏生态环境。

一、绿色水供给的内涵及原则

1. 内涵

所谓“绿色水供给”就是在考虑水资源可持续利用和水资源优化配置的基础上, 将常规水源(地表水源、地下水源)和非常规水源(再生水、雨水、海水等)

放在同一层面上统一考量, 在满足供水需求的同时, 真正实现水资源的“高质高用, 低质低用”, 是一种从整体的角度出发, 结合了不同城市自然环境特点和社会经济发展用水需求的新型可持续供水方式。简单地说, 就是供水部门根据不同用户对水质的不同需求, 进行高质高价、低质低价的供应和消费, 以促进新鲜淡水消耗量的减少和治污成本的降低。

绿色水供给与传统意义上的分质供水相比, 后者仅局限于生产过程的工业用水, 而前者的关注范围已扩展为直饮水、自来水、污水再生利用、海水、雨水回用等所有不同品质的供水水种。

2. 原则

城市绿色水供给的目标是要改变传统的不可持续的单一供水方式, 合理利用各种水源, 解决城市用水“高质低用”问题, 促进城市用水与流域水生态环境的协同发展。所以, 绿色水供给应遵循的原则如下。

(一) 保质、保量、及时供应原则

城市供水首先就是要从“水量”和“水质”上满足社会各方面对用水的需求, 保障居民生活用水, 为经济社会发展服务; 还要尽量避免紧急缺水状况的发生, 及时供水, 避免对生产、生活造成不必要的损失。

(二) 可持续性原则

可持续性指近期与远期之间、当代与后代之间在

收稿日期: 2014-06-26.

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(13AZD011).

作者简介: 张宏伟(1956—), 男, 博士, 教授.

通讯作者: 高红霞, hxgao225@163.com.

水资源的利用上要协调发展、公平利用,而不是掠夺性的开发利用甚至破坏^[1]。水资源是通过水文循环得到恢复和更新的,过度开发会破坏水资源的自然循环,影响子孙后代对水资源的利用,还会引起一系列的生态环境问题。这就要求在合理利用常规水源的同时,积极开发利用非常规水源,实行多元化的供水方式来保护水资源的再生能力。

(三) “高质高用、低质低用”原则

传统供水方式是典型的“高质低用”模式,既浪费了优质水源,又增加了全社会的供水成本,尤其对于用水量大而又不需要优质水的行业企业来说,既增加了其生产经营成本,又会与居民用水等竞争优质水源,在一定程度上加剧了供水紧张局面。由此可见,在当今优质水资源紧张、用水量不断增加、水质需求多样化的情况下,这种单一供水方式会造成用水效率低、经济效益差、水污染排放量大,严重影响水生态环境质量,降低了水资源对经济社会发展的可持续支撑能力。绿色水供给要实现多水种供水与多层次用水需求的相匹配,在水量和水质上都实行“按需供水”,实现水资源的“高质高用、低质低用”。

(四) 公平高效的原则

城市供水与经济社会的各个方面都有密切联系,在水资源使用权的分配上要体现公平性的原则,满足社会各阶层各行业的需求,同时人人在保护水资源的义务上也是平等的。

高效性体现在供水模式的经济效益、社会效益和环境效益的高效性;要求提高水资源的循环利用率,降低供水损耗;同时政府、企业、供水部门、公众等要联合起来,发挥各自作用,形成高效互动的供水机制,保障城市供水系统的高效运行。

二、天津市供用水状况分析

通过对近10年的《天津市水资源公报》、《天津市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》中相关数据的调研分析,对天津市供用水的基本状况进行了详细分析,相关结论如下。

1. 天津市水资源严重缺乏,河流污染严重

天津市水资源集中分布在北部地区,人均水资源占有量为 160 m^3 ,仅占全国的 $1/15$;供水水源中超过70%是地表水源,这70%中又有40%~50%是外调水,主要供城区生产和生活用水,且多年来引滦水源衰减严重,说明天津市对外调水依赖较大;河流污染严重,全年期超过80%的河长水质处于劣V类。

2. 地下水供水逐年减少,但依旧超采严重

近10年来,地下水供水逐年递减,但总利用量仍然很大,2012年仍占总供水量的23.7%(约 5.49 亿 m^3),且自2010年起,浅层地下水供水开始超过深层地下水供水量,说明政府和供水部门已经关注到深层地下水严重超采引发的地下水位下降、漏斗面积增大、地面沉降等一系列问题,但应对力度还不够大。

3. 非常规水源开发利用加快

近年来,天津市开始利用非常规水源(深度处理再生水、海水淡化等),2012年利用量达到 0.47 亿 m^3 ,但也仅占总供水量的2%左右,主要用于市内六区和滨海新区,与非常规水使用比例达到19%的北京市还有较大差距,未来发展空间还很大。2012年,天津8座再生水厂处理能力为29万吨/日。目前,天津市已建成日产淡化海水产能 31.6 万吨 。

4. 总用水量变化不大,生态用水增长较快

近10年来,天津市总用水量在 23 亿 m^3 上下浮动。其中,生产用水占80%左右(2012年,第一产业用水50.6%、第二产业用水23.2%、第三产业用水4.8%),农业用水受降雨影响大;生活用水占15%左右,增加很缓慢;而生态用水增长较快,约占5%。

5. 农业用水和生态用水严重不足

农业、生态用水基本依靠本地水源和入境水,实际供水量远小于需水量。仅在北部农村地区分布有浅层地下淡水,用于农业灌溉;中南部(尤其是滨海新区、静海县、东丽区)开采深层地下水,用于生活用水,已出现多个水位降落漏斗。

6. 城市生活和生产用水基本依靠自来水

2011年,自来水供水 7.45 亿 m^3 ,其中生产运营用水占42.3%,居民家庭用水占30%,公共服务用水占9.6%,其他用水占4.9%,漏损水量12.4%,免费供水量占0.8%。

7. 非常规水源开发利用潜力大

天津市年污水处理量约 6 亿 m^3 ,再生水开发利用潜力巨大;天津市对雨水资源的利用集中在农业灌溉上,目前的利用率还很小,水库蓄水量也不大,大量雨水资源白白流失;海水利用仅集中在少数企业,未来利用空间还很大。

8. 外调水不能解决农业和生态用水短缺问题

由于“南水北调”成本较高,“引江水”通水初期只考虑供城市用水,届时天津市将形成城市用水富余、农业和生态用水短缺的矛盾局面。

三、需水量预测

需水量指分配给用户的包括输水损失在内的水

量,由于不同用户用水的特点和变化规律不同,我们选用城市规划中常用的分类用水指标法和年均增长率法^[2]结合天津市近 10 年的相关数据进行分类预测。

1. 总需水量预测

(一) 生活需水量

计算公式为

$$Q_1 = qNd/10^7 \quad (1)$$

式中: Q_1 为生活需水量,亿 m^3 ; q 为人均生活需水量, L/人·d; N 为常住人口,万人; d 为用水天数,按 365 天计。

根据天津市近 10 年人口增长规律,预测 2020 年 $N=1\ 897$ 万人;通过生活用水量和用水人口估算的近 10 年 q 在 70~80 L/人·d 之间,考虑到节水措施的进一步实施,取 $q=68$ L/人·d;计算得 $Q_1=4.7$ 亿 m^3 。

(二) 生产需水量

天津市多年农业用水在 11 亿~12 亿 m^3 之间,受水资源条件限制,农业灌溉只能采取非充分灌溉方式,即经济灌溉定额。根据相关部门统计,天津市实际农业需水量在 18 亿~19 亿 m^3 之间。随着农业节水效率的进一步提高,预测 2020 年农业需水量 $Q_2=17.8$ 亿 m^3 。

第二产业(包括工业和建筑业)需水量预测采用分类用水指标法,分别按照万元增加值定额法和每平方米竣工面积用水定额法预测工业需水量 Q_3 和建筑业需水量 Q_4 。

$$Q_3(\text{亿 } m^3) = \text{工业增加值(亿元)} \times \text{万元工业增加值用水量}(m^3/\text{万元})/10^4 \quad (2)$$

根据《天津市工业经济发展“十二五”规划》,“十二五”末,全市工业增加值达到 9 000 亿元,按照期间 16% 的年均增长速度,预测 2020 年工业增加值将达到 18 900 亿元;相关研究测算,2020 年万元工业增加值用水量将降至 3.8 m^3 /万元^[3];计算得 $Q_3=7.2$ 亿 m^3 。

$$Q_4(\text{亿 } m^3) = \text{房屋建筑竣工面积(万 } m^2) \times \text{每平方米竣工面积用水定额}(m^3/m^2)/10^4 \quad (3)$$

通过对近 10 年天津市房屋建筑竣工面积的分析,预计 2020 年该值将达到 3 600 万 m^2 ;每平方米竣工面积用水定额与施工条件关系密切,考虑到施工技术条件具有稳定性,建筑业定额均采用每平方米竣工面积用水 1.1 m^3/m^2 ^[3];计算得 $Q_4=0.4$ 亿 m^3 。

第三产业需水量(Q_5)预测采用定额指标法。

$$Q_5(\text{亿 } m^3) = \text{第三产业增加值(亿元)} \times \text{三产万元需水定额}(m^3/\text{万元})/10^4 \quad (4)$$

根据近 10 年天津市第三产业用水和第三产业增加值数据,计算出 2012 年三产万元需水定额为 1.8

m^3 /万元,考虑未来三产结构和用水水平的提高,预测 2020 年该值将下降到 1.0 m^3 /万元;10 年来,第三产业增加值以年均 13% 的速率增长,预计 2020 年将达到 13 770 亿元;计算得 $Q_5=1.4$ 亿 m^3 。

(三) 生态环境需水量

生态环境需水量包括城镇环境用水需水量和农村生态补水需水量,前者指城市河湖生态需水量,后者指湖泊水面与湿地生态修复需水量,以及为正常发挥水土保持功能所需水量。2008 年以来,天津市的生态用水量增长比较快,且从相关部门了解到,天津市实际的生态需水量比现在的用水量要多得多,预测 2020 年天津市的生态需水量 $Q_6=5.4$ 亿 m^3 。

综上所述,预测 2020 年天津市的总需水量

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 36.9 \text{ 亿 } m^3 \quad (5)$$

2. 非常规水需水量预测

非常规水源包括再生水、雨水、海水等。这里的非常规水需水量指参照《城市污水再生利用 分类》标准,分别按照农业用水、城市杂用水、工业用水和环境用水预测的对水质要求不高的水的需求量,指总需水量中可由非常规水源供给的水量。

(一) 农业需水量

由前述可知 2020 年天津市的农业需水量为 17.8 亿 m^3 ,远远大于《天津市再生水利用规划》^[4]中的可供水量 7.95 亿 m^3 。所以,短时间内将再生水回用于农业是不现实的,所以仅考虑在其它供水需求满足情况下,将部分再生水作为农业灌溉用水。

(二) 城市杂用水需水量

选用预测方法、指标和预测结果如表 1 所示(具体计算过程不再赘述)。

表 1 城市杂用水需水量分类预测

(单位:亿 m^3)

| 分类 | 预测方法及指标 | 结果 |
|------------------|---------------------|--------|
| 生活杂用 | 生活杂用水预测指标、常住人口、用水天数 | 2.08 |
| 绿化用水 | 建成区面积、绿化覆盖率、绿化用水量标准 | 1.87 |
| 道路清扫 | 道路洒水标准、年利用时间 | 1.20 |
| 车辆冲洗 | 民用汽车数量、洗车标准、洗车频率 | 0.0613 |
| 建筑施工 非饮用水 | 建筑业需水总量、非饮用水所占比例 | 0.50 |
| 消防用水 | 根据历史数据估算 | 0.32 |
| 合计: 6.03 亿 m^3 | | |

注:部分指标值参照文献[5]。

(三) 工业用水量

非常规水用于工业,主要是热电厂的循环冷却用

水。天津市主要电厂有东丽区的军粮城、东北郊电厂、北辰电厂、西青区的陈塘庄、杨柳青电厂、滨海新区的北塘、南疆、大港和北疆电厂等。其中大港电厂和北疆电厂是采用的海水循环冷却,估算其它电厂用于循环冷却的再生水需求量约为 70 万 m³/d,考虑需求增加量,预测 2020 年需水量为 2.40 亿 m³。

(四) 景观环境用水量

天津市自 2008 年起开始施行《天津市津河等河道管理办法》,根据实际天气情况,津河、卫津河等 13 个市内二级河道的部分河段每年均需定期换水,以保证河道水质良好。景观补水以 2.9 万 m³/km²·d 的标准,每年换水时间以 180 天计算^[6],考虑未来有一定增加,预测需水量为 1.50 亿 m³。

综上所述,预测 2020 年天津市的非常规水需水量 $Q_f = 17.8 + 6.03 + 2.40 + 1.50 = 27.7$ 亿 m³ (6)

四、天津市绿色供水结构及经济性分析

1. 天津市非常规水利用的可行性

由上可知,天津市 2020 年非常规水需水量为 27.7 亿 m³,占总需水量的 75%;如果不把缺口较大的 17.8 亿农业用水计算在内,则非常规水需水量 9.9 亿 m³,总需水量 19.1 亿 m³,前者占后者的比例仍达到 51.8%。因此,经粗略估算,城市用水中有超过一半的水可用非常规水源替代。另由预测结果知,生活杂用水(2.08 亿 m³)占生活用水(4.7 亿 m³)的 44.2%,生活杂用水水质要求不高,生活污水经适度处理后再生回用于杂用水,将会节省大量的自来水,可降低城市供水成本。工业用水中的冷却水水质也要求不高,且需水量大,仅预测电厂循环冷却水就占到了预测工业需水量的 1/3,利用再生水和海水等替代自来水冷却非常可行,即节约了水源,又降低了生产成本。

根据实际的供水方式,天津市再生水水质目前执行综合的污水再生利用国家标准,即城市污水再生用于城市杂用水、工业用水和景观用水的综合水质标准^[6]。考虑到再生水厂是以污水处理厂的二级出水为原水的,而一般雨水和海水水质比污水处理厂出水要好的多,说明雨水和海水可直接或经简单处理后达到城市杂用水、工业用水和景观用水的水质标准。根据《天津市再生水利用规划》,2020 年天津市再生水年可供量为 7.95 亿 m³;天津市降雨折合水量的多年平均值为 68.5 亿 m³,同时天津作为滨海城市,拥有取之不尽、用之不竭的海水资源,开发利用空间巨大。

由此可知,天津市非常规水的需求量很大,水质上也可以满足需求,而且可供水量非常可观,在天津市积

极开发利用非常规水源是非常可行的。

2. 天津市绿色供水结构

城市绿色供水结构应该是兼顾供水的环境、社会效益的,即要符合城市供水特点,在水量上能够满足经济社会用水需求,在供水水种与不同用途水的水质匹配上较易实现,又要合理利用各种水源,最大限度地实现水资源的可持续利用。

考虑天津市供水特点,各种用途水的需水量,各水源分布、水量和水质特点等一系列因素,在满足水质需求的情况下,较合理的绿色供水结构如表 2 所示,各用途水的水源配比如表 3 所示。

表 2 天津市绿色供水结构水量表

(单位:亿 m³)

| 名称 | 自来水 | 再生水 | 海水 ¹ | 雨水 | 地表水 ² | 地下水 ² | 合计 |
|----|------|------|-----------------|------|------------------|------------------|------|
| 生活 | 2.82 | 1.88 | | | | | 4.7 |
| 农业 | | | | 6.23 | 8.90 | 2.67 | 17.8 |
| 工业 | 2.16 | 2.88 | 1.44 | | 0.72 | | 7.2 |
| 建筑 | 0.12 | 0.08 | | | 0.20 | | 0.4 |
| 三产 | 0.84 | 0.56 | | | | | 1.4 |
| 生态 | | 2.16 | | 1.62 | 1.62 | | 5.4 |
| 合计 | 5.94 | 7.56 | 1.44 | 7.85 | 11.4 | 2.67 | 36.9 |

表 3 天津市绿色供水结构比例表 (单位:%)

| 名称 | 自来水 | 再生水 | 海水 ¹ | 雨水 | 地表水 ² | 地下水 ² | 合计 |
|------|------|------|-----------------|------|------------------|------------------|-----|
| 生活 | 60 | 40 | | | | | 100 |
| 农业 | | | | 35 | 50 | 15 | 100 |
| 工业 | 30 | 40 | 20 | | 10 | | 100 |
| 建筑 | 30 | 20 | | | 50 | | 100 |
| 三产 | 60 | 40 | | | | | 100 |
| 生态 | | 40 | | 30 | 30 | | 100 |
| 占总量比 | 16.1 | 20.5 | 3.9 | 21.3 | 31.0 | 7.2 | 100 |

注:1) 这里的海水水量为折合成淡水后的水量;2) 自来水的水源主要是地表水源(包括外调水),地下水主要指浅层地下水,表中的地表水和地下水均指未处理成自来水的水源直接利用量。

3. 效益分析

由表 2 可知,在这种绿色供水结构下,自来水供水量为 5.94 亿 m³(供水总量 36.9 亿 m³) 相比 2011 年自来水供水 7.45 亿 m³(供水总量 23.1 亿 m³),节约了 1.5 亿 m³的自来水,暂不考虑按现有供水结构 2020 年自来水供水的增加量,自来水供水比例将由 32.3% 下降到 16.1%;再生水主要满足工业和景观等大用户用水,其次是生活杂用;海水利用遵循就近原则,主要是滨海新区沿海部分工业的循环冷却用水;由于未来

天津市的农业用水和生态环境用水缺口较大,短时间内靠抽调其它水源供给是不实际的,只能依靠修建水利设施,汛期蓄水,尽量填补缺口;地表水源直接供水 11.4 亿 m^3 ,用水大户是农业和生态环境,由于天津市自来水的来源以地表水源为主,所以加上自来水供水量 5.94 亿 m^3 ,地表水源总供水量约 17.3 亿 m^3 ,与目前天津市地表水源平均供水量相差不大,考虑到南水北调中线工程 2014 年汛期后将全线通水,东线工程也已全线具备通水条件,届时将大大减少对引滦水源的依赖,为流域水生态环境创造一个较长的恢复期;地下水严重超采,出现了多个水位降落漏斗,由于浅层地下水可通过降雨和地表径流补给,因此一般只考虑利用浅层地下水,但不应超过其自然补给量。

由于缺少雨水和海水利用的工程资料,目前无法较准确地衡量其经济性,因此这里主要从对生活 and 工业影响比较大的再生水角度,说明绿色供水结构下水资源综合利用的经济价值。根据天津市某再生水厂与天津市相关部门约定的再生水协议分类水价,居民城市杂用水 2.2 元/吨,工业用水 2.5 元/吨,其他用途用水统一为 4.0 元/吨^[7] 相对于现在天津市自来水 4.9 元/吨的价格,按照表 1 中再生水用于不同用途水的水量计算,再生水用于城市生产和生活用水产生的经济效益将达到 14.5 亿元。

综上所述,这种绿色供水结构在兼顾“城市用水”和“生态用水”需求的同时,节省了大量优质水源,又可以降低供水成本和生产生活用水成本,具有重要的社会、环境和经济效益,对于其它城市根据自身供水特点和水源状况构建适合该城市的绿色供水结构具有重要的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王顺久,张欣莉,倪长健,等. 水资源优化配置原理及方法[M]. 北京:中国水利水电出版社,2007.
- [2] 孙增峰,孔彦鸿,姜立晖,等. 城市需水量预测方法及应用研究:以哈尔滨需水量预测为例[J]. 水利科技与经济,2011,17(9):60-62.
- [3] 叶健. 循环经济条件下天津市水资源短缺风险评价方法研究[D]. 天津:天津大学环境科学与工程学院,2012.
- [4] 天津市水利局. 天津市再生水利用规划(2008—2020年)[R]. 天津:天津市水利局,2009.
- [5] 刘洋. 天津市再生水水量规划及技术经济分析[D]. 天津:天津大学环境科学与工程学院,2010.
- [6] 刘祥举,李育宏,于建国. 我国再生水水质标准的现状分析及建议[J]. 中国给水排水,2012,27(24):23-25.
- [7] 天津环境商会. 天津纪庄子再生水厂考察纪实报告[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-624456006.html>, 2013-03-29/2014-6-15.

Preliminary Studies on Urban Green Water Supply Structure

—A Case of Tianjin

Zhang Hongwei^{1,2}, Liu Hongbo¹, Gao Hongxia¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. Department of Environment and Economics, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: Homogeneous single unified urban water supply has adopted for a long time in China, not only the large supply costs, wasting a lot of high-quality water, but also leading to intensified conflicts between ‘municipal water’ and ‘ecological water’, ecological environment destruction and increasingly serious urban water shortage situation. To solve above problems, we put forward the concept and principles of ‘urban green water supply’ by taking Tianjin as an example. Using classification water index method and annual growth rate method, we forecasted water demand of Tianjin in 2020. Then we proposed the green water supply structure suitable for Tianjin, and briefly analysed its economy. The results show that under the green water supply structure, various water resources can be reasonably used, meeting the urban water and ecological water demand. At the same time, it can reduce the cost of water supply to a certain degree, which has a good social, environmental and economic benefits.

Keywords: green water supply; classification water index method; annual growth rate method; water demand forecast; green water supply structure; economy