

· 节水技术 ·

基于终端分析的北京市节约用水规划研究(下)

龙瀛¹ 何永¹ 张玉森² 刘红² 张晓昕¹

(1 北京市城市规划设计研究院,北京 100084; 2 北京市节水管理中心,北京 100036)

4 节水对策及规划方案

4.1 节水潜力分析

参考水资源需求量预测部分的几种方案,可以看出节水潜力主要由四部分构成——产业结构调整节水潜力、行业结构调整节水潜力、节水措施强化节水潜力(还可细分为技术潜力、经济潜力和管理潜力)和再生水利用潜力,即

$$P_w = P_e - P_{ia} + P_d + P_g$$

式中 P_w ——节水潜力;

P_e ——产业结构调整节水潜力;

P_{ia} ——行业结构调整节水潜力;

P_d ——节水措施强化节水潜力;

P_g ——再生水利用潜力。

需要特别指出的是,本研究所确定的节水潜力是2004~2020年这17年内,每一年相比上一年的新增节水潜力之和。考虑到每一年的定额与规模数据都不相同,本研究假定定额与规模数据随时间的变化是线性的,在数值上是一组等差数列。为了便于理解,下面以城市居民家庭用水的节水措施强化节水潜力的计算为例说明节水潜力计算的基本思路。

在表3中,A为按照现状节水水平发展的模式,其定额从2003年的104.2 L/(人·d),呈等差数列发展到2020年的210.9 L/(人·d);B为采取强化节水措施后的模式,其定额从2003年的104.2 L/(人·d),呈等差

化背景下得到迅速的发展,“十一五”期间仍要持续污水处理厂的建设和高峰,大城市的区县和中小城市的小规模污水处理厂的新建项目居多,BOT模式将仍占主导。需进一步研究如何提高小规模BOT项目的投资效率,规范项目操作,加强风险控制。

参考文献

- 1 世界银行,建设部科技司,建设部城建司.中国北方城市水管理研

究项目报告汇编,2005

究项目报告汇编,2005

数列发展到2020年的135.2 L/(人·d),而城镇人口规模由2003年的1130万人呈等差数列发展到2020年的1500万人。可见A模式与B模式之差即为节水措施强化节水潜力。

在确定规模、定额数据之后,可以分别计算A模式与B模式每年相比上一年的节水量,其中对于A模式,2004年城镇人口规模为1157.6万人,定额为110.5 L/(人·d),相比该模式上一年(2003年)的定额104.2 L/(人·d),2004年节水量为0.27亿m³(城市居民家庭用水定额逐年增加,通过实施节水措施仅可以控制该定额增加的程度,故节水量为正),而对于B模式,2004年定额为106 L/(人·d),则相比该模式上一年(2003年)的定额,2004年节水量为0.08亿m³。对比A模式与B模式,其在2004年的节水量差距则为2004年的节水措施强化节水潜力,即0.08-0.27=-0.19(亿m³)。按此方法分别计算2004~2020年17年间每一年的节水潜力,累积之和即为城市居民家庭用水的节水措施强化节水潜力(3.81亿m³)。

节水潜力计算的主要步骤如下:

(1) 首先确定2020年各终端用水经过节水强化措施的用水定额。

(2) 行业结构调整节水潜力 P_{ia} 的确定。包括工

究项目报告汇编,2005

2 建设部城建司.2004年度供水和市政统计报表

3 国务院.关于加强城市供水节水和水污染防治工作的通知,2001

©通讯处:100084 北京市海淀区清华大学环境科学与工程系水业政策研究中心

电话:(010)62797771

E-mail:changmiao@tsinghua.edu.cn

收稿日期:2005-05-09

表 3 城市居民家庭用水节水措施强化节水潜力计算示意

序号	年份	规模 /万人	定额 A /L/(人·d)	定额 B /L/(人·d)	A 节水量 /亿 m ³	B 节水量 /亿 m ³	节水潜力 /亿 m ³
0	2003	1 130.0	104.2	104.2			
1	2004	1 157.6	110.5	106.0	0.27	0.08	-0.19
2	2005	1 185.3	116.8	107.8	0.27	0.08	-0.19
3	2006	1 212.9	123.0	109.7	0.28	0.08	-0.20
4	2007	1 240.6	129.3	111.5	0.28	0.08	-0.20
5	2008	1 268.2	135.6	113.3	0.29	0.08	-0.21
6	2009	1 295.9	141.9	115.1	0.30	0.09	-0.21
7	2010	1 323.5	148.1	117.0	0.30	0.09	-0.22
8	2011	1 351.2	154.4	118.8	0.31	0.09	-0.22
9	2012	1 378.8	160.7	120.6	0.32	0.09	-0.22
10	2013	1 406.5	167.0	122.4	0.32	0.09	-0.23
11	2014	1 434.1	173.2	124.3	0.33	0.10	-0.23
12	2015	1 461.8	179.5	126.1	0.33	0.10	-0.24
13	2016	1 489.4	185.8	127.9	0.34	0.10	-0.24
14	2017	1 517.1	192.1	129.7	0.35	0.10	-0.25
15	2018	1 544.7	198.3	131.6	0.35	0.10	-0.25
16	2019	1 572.4	204.6	133.4	0.36	0.10	-0.26
17	2020	1 600.0	210.9	135.2	0.37	0.11	-0.26
总计					5.37	1.56	-3.81

业结构调整和农业结构调整的节水潜力,工业结构调整根据各行业的万元工业增加值水耗高低确定发展的经济规模,根据节水强化措施、再生水措施之后的定额,确定工业行业结构调整的节水潜力;而农业行业结构调整依据《北京市农业节水规划纲要》关于行业结构调整部分,根据农业节水强化措施、再生水措施之后的定额,确定农业行业结构调整的节水潜力。工业行业结构调整的节水潜力与农业行业结构调整的节水潜力之和即为行业结构调整的节水潜力,为 3.88 亿 m³。

(3) 产业结构调整节水潜力 P_e 的确定。现状北京一、二、三产业 GDP 比例为 2.8 : 30 : 67.2,北京城市总体规划(2004~2020 年)确定的 2020 年北京一、二、三产业的比例为 1 : 29 : 70,以此为依据确定北京 2020 年的各产业经济发展规模;根据实施节水强化措施、再生水利用措施之后的定额数据,以及实施行业结构调整措施之后的规模数据,确定产业结构调整节水潜力,为 15.07 亿 m³。

(4) 节水措施强化节水潜力 P_d 。是指在进进行产业结构调整和行业结构调整的基础上,利用定额差和

预测规模(调整后)所确定的节水量。针对 P_d 的计算结果,可以有选择地调整终端用水的预测定额,即改变节水强化措施的力度,据此重新计算各项节水潜力,最终节水措施强化节水潜力为 21.19 亿 m³。

(5) 再生水利用潜力 P_g 的确定。2020 年与 2003 年北京市域再生水利用规模之差为再生水利用潜力,即 $9.52 - 0.81 = 8.71$ (亿 m³)。

(6) 节水潜力为以上四个分项潜力之和,为 48.85 亿 m³,年平均节水潜力为 2.87 亿 m³。

4.2 节水对策筛选

导致北京城市用水短缺的因素不只一个,因而在问题解决中不能仅仅从单一角度、单一节水对策出发。本研究在节水对策现状评价的基础上,经过对各终端用水节水相关因素的分析,确定了如表 4 所示的节水对策集,包括 5 项经济对策、7 项管理对策、10 项技术对策和 3 项开源对策,计 25 项对策。本部分分析了与每项节水对策相关的终端用水,便于下一步分析每一项对策的节水潜力。如阶梯水价对策 E1 只对生活用水的节水起作用,而特种行业水价对策 E4 对公建和工业的节水都起作用。

4.3 节水对策评价

在进行节水对策筛选的基础上,针对生成的节水对策集,需要进行综合评价,作为节水规划方案制定的基础。对于节水对策的评价涉及多方面的比选问题,如经济、管理和技术等因素,是一项多目标决策的问题,以下是其综合评价的具体过程。

4.3.1 建立节水对策综合评价指标体系

建立指标体系是对节水对策进行决策分析的基础。本研究建立的节水对策评价指标体系见图 3,

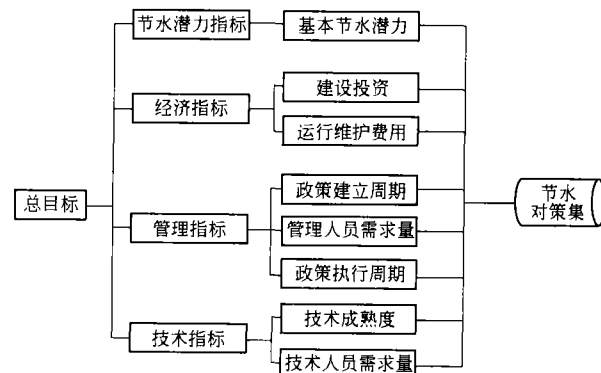


图 3 节水对策评价指标体系



表 4 节水对策集及作用域分析

类型	对策内容	编号	生活	公建	工业	农业	环境	漏损
经济对策	阶梯水价	E1	✓					
	定额用水	E2		✓	✓	✓		
	对浪费用水的处罚措施	E3	✓	✓	✓	✓	✓	
	特种行业水价政策	E4		✓	✓			
	分质水价	E5	✓	✓	✓	✓	✓	
管理对策	产业结构调整	M1		✓	✓	✓		
	行业结构调整	M2		✓	✓	✓		
	节水宣传教育	M3	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	用水总量控制	M4		✓	✓	✓		
	降低公共供水管网漏损率	M5						✓
	加强用水计量管理	M6	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	推广生态产业园区建设	M7			✓			
技术对策	节水器具研发、推广与非节水器具淘汰	T1	✓	✓	✓			
	节水规划、计划制定	T2	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	节水工艺(冷却水循环、锅炉水利用、废水回用、跑冒滴漏修复、产品结构调整等)	T3			✓			
	公共建筑节能节水技术(空调循环冷却技术、锅炉蒸汽冷凝水回用等)	T4		✓				
	推广非工程农艺节水	T5				✓		
	续建配套农业节水工程	T6				✓		
	林牧渔畜业节水技术	T7				✓		
	发展绿化节水技术	T8					✓	
	降低公共供水管网漏损率	T9						✓
	节水信息技术的应用及深入科研	T10	✓	✓	✓	✓	✓	✓
开源对策	雨洪利用(城市及郊区、山区等)	S1				✓	✓	
	小中水(居民、公建)	S2	✓	✓				
	大中水(市政杂用、园林绿化、洗车、环境景观等)	S3	✓	✓	✓	✓	✓	

注：✓表示可适用于该领域。

主要包括节水潜力、经济、管理和技术等四项一级指标。

4.3.2 节水潜力指标属性分析

在确定各终端用水节水潜力的基础上,需要确定节水对策集中各项经济对策、管理对策、技术对策和开源对策的节水潜力。首先需要识别与每一终端用水相关的对策,针对每一终端用水,对相关节水对策对其的影响进行定性评价,在此基础上结合节水对策现状分析等工作,确定相关各节水对策对每一终端用水节水潜力的贡献率,相关各节水对策的分担率与每项终端用水的节水潜力之积表示相关各节水对策对应于该项终端用水的节水潜力,各节水对策对所有相关终端用水的节水潜力之和即为该节水对策的节水潜力指标的具体数值(注:各节水对策的节水潜力指标指的是2004~2020年17年的全部节水潜力)。

4.3.3 经济指标属性分析

各节水对策的费用主要包括相应的建设费用和运行维护费用,效益主要是节约的资源的价值,包括节约的水资源费、自来水费、污水处理费、电/天然气等能源费用。节水对策的经济指标指每新增1 m³节水潜力所需要投入的费用和产生的效益之差。

4.3.4 管理及技术指标属性分析

对于管理、技术等定性指标,一般难以界定,本研究采用专家调查的方法,选定一定数量的节水管理、节水科研等方面的专家对各节水对策的定性指标进行问卷调查。对于每项对策的管理难度和技术难度,采用1~9打分的方式确定,其中1表示很低,3表示较低,5表示中等,7表示较高,9表示很高,对于各专家的调查结果,进行筛选、分析、统计与计算,最终确定各节水对策的管理、技术指标的具体数值。

4.3.5 节水对策综合评价

在对节水对策各项评价指标分析的基础上,结合所建立的节水对策评价指标体系,对所确定的节水对策集进行决策分析。通过对节水对策各项指标的权重与属性的分析,确定节水对策的总价值,从而确定节水对策的优劣。本研究用节水度作为节水对策的综合评价指标,它是在四个基本指标(对策节水潜力、经济指标、管理指标和技术指标)的基础上通过计算获得的,如式(1)所示。可以看出,投资较小、管理难度和技术难度较低,同时节水潜力较大的对策节水度较高,最终各节水对策的评价结果见表5。

表5 节水对策综合评价结果

编号	对策内容	节水潜力 /亿 m ³	经济 指标	管理 难度	技术 难度	I _c
	经济对策	4.30				
E1	阶梯水价	0.48	3.3	7.2	3.6	2.6
E2	定额用水	1.04	2.5	7.1	3.7	6.0
E3	对浪费用水的处罚对策	1.62	2.8	4.7	3.3	11.3
E4	特种行业水价政策	0.04	3.2	6.1	2.9	0.2
E5	分质水价	1.12	4.7	5.5	4.9	5.5
	管理对策	24.24				
M1	产业结构调整	15.07	5.2	4.4	5.4	72.2
M2	行业结构调整	3.88	5.0	4.5	5.4	18.9
M3	节水宣传教育	1.16	3.5	3.7	2.3	8.7
M4	用水总量控制	2.15	3.1	6.4	3.7	12.3
M5	降低公共供水管网漏损率	0.13	6.5	5.1	5.1	0.6
M6	加强用水计量管理	1.52	4.6	5.2	4.1	7.9
M7	推广生态产业园区建设	0.33	5.9	4.9	5.5	1.5
	技术对策	12.73				
T1	节水器具研发、推广与非节水器具淘汰	5.90	4.5	5.0	5.0	29.7
T2	节水规划、计划制定	1.11	3.1	4.8	4.2	6.8
T3	节水工艺(冷却水循环、锅炉水利用、废水回用、跑冒滴漏修复、产品结构调整等)	0.74	5.6	4.4	5.6	3.4
T4	公共建筑节能节水技术(空调循环冷却技术、锅炉蒸汽冷凝水回用等)	1.93	5.2	4.4	4.8	9.6
T5	推广非工程农艺节水	0.45	4.3	3.7	5.1	2.5
T6	续建配套农业节水工程	0.58	5.3	4.5	4.3	2.9
T7	林牧渔畜业节水技术	0.16	4.6	4.6	5.1	0.8
T8	发展绿化节水技术	0.18	4.7	4.0	4.4	1.0
T9	降低公共供水管网漏损率	0.17	5.8	5.0	4.8	0.8
T10	节水信息技术的应用及深入科研	1.51	4.5	3.9	10.2	6.1
	开源对策	7.59				
S1	雨洪利用(城市及郊区、山区等)	1.65	6.3	5.8	5.2	6.9
S2	小中水(居民、公建)	1.69	5.8	5.5	4.2	7.8
S3	大中水(市政杂用、园林绿化、洗车、环境景观等)	4.24	5.8	5.5	4.6	19.3

$$I_c = A / (T_b R_b + T_c R_c + T_d R_d) \quad (1)$$

式中 I_c——节水度;

A——对策节水潜力,亿 m³;

T_b——经济指标归一化结果;

R_b——经济指标权重;

T_c——管理指标归一化结果;

R_c——管理指标权重;

T_d——技术指标归一化结果;

R_d——技术指标权重。

从各节水对策的节水度 I_c 可以看出,对策 M1(产业结构调整)、T1(节水器具研发、推广与非节水器具淘汰)和 S3(大中水)节水度较高,而对策 M2(行业结构调整)和 M4(用水总量控制)次之。节水度较高的节水对策,表明其可被推荐的程度较高。

4.4 节水规划方案生成

4.4.1 规划方案建立

上述关于水资源需求量预测、节水潜力分析和对策综合评价等部分的数据,都是基于“基本方案”确定的。所谓的“基本方案”,是指各节水对策按正常强度实施时所对应的节水模式。但从节水对策的综合评价结果,可以看出各节水对策的推荐程度有较大差异,这就需要对节水对策的实施组合进行调整,以确定最优即最有效的节水规划方案。

本研究从不同的节水侧重点,提出了五个节水规划方案,分别对应不同节水对策的实施强度组合,其建立的一个原则是这五个节水规划方案的万元 GDP 用水量相同这一目标。为了便于对比不同节水对策的实施强度,将基本方案中各节水对策的实施强度定为 1。五个节水规划方案具体如下:

(1) 规划方案一:强化经济对策,经济类型节水对策实施强度为 1.6,其他类型节水对策实施强度为 0.9;

(2) 规划方案二:强化管理对策,管理类型节水对策实施强度为 1.4,其他类型节水对策实施强度为 0.9;

(3) 规划方案三:强化技术对策,技术类型节水对策实施强度为 1.2,其他类型节水对策实施强度为 0.8;

(4) 规划方案四:强化开源对策,开源类型节水对策实施强度为 1.5,其他类型节水对策实施强度为 0.9;

表6 节水规划方案指标

编号	指标内容	基本方案	规划方案一	规划方案二	规划方案三	规划方案四	规划方案五
单项指标							
D1	万元 GDP 用水量/m ³ /万元	29.8	29.8	29.9	30.2	29.9	29.9
D2	人均城市居民家庭用水量/L/(人·d)	125.0	120.3	131.2	121.3	127.4	113.9
D3	人均城市生活用水量/L/(人·d)	232.4	231.6	230.6	220.1	256.1	174.9
D4	万元农业增加值用水量/m ³ /万元	854.8	855.8	859.4	865.5	333.8	959.2
D5	万元工业增加值用水量/m ³ /万元	19.0	18.5	18.9	19.2	19.5	22.4
D6	万元三产增加值用水量/m ³ /万元	6.0	6.2	5.5	5.5	7.2	3.4
D7	城市公共供水漏损率/%	12.0	12.3	11.7	11.5	12.3	14.0
综合指标							
Z1	累计节水(2003~2020年)/亿 m ³	48.9	48.9	46.4	48.0	49.5	48.0
Z2	需水量(新鲜水)/亿 m ³	44.7	44.7	44.9	45.2	44.9	44.8
Z3	总投资/亿元	471.5	471.2	458.1	449.3	499.1	467.3
Z4	每 m ³ 水投资/元	9.7	9.6	9.5	9.4	10.1	9.7
Z5	管理难度	154	163	156	149	149	86
Z6	技术难度	144	146	145	145	139	80
Z7	实施难度	0.381	0.389	0.380	0.374	0.380	0.277

(5) 规划方案五:各节水对策的实施强度正比于相应的节水度。

4.4.2 规划方案分析

在基于不同节水对策的实施强度组合的节水规划方案建立的基础上,分析不同节水规划方案对各主要节水指标的影响,主要包括单项指标和综合指标,具体见表6。其中管理难度和技术难度指标的计算主要基于各节水对策的管理指标和技术指标,针对各方案中各节水对策的组合,计算各方案中所包括的节水对策的管理指标之和和技术指标之和,即管理难度和技术难度。而实施难度指标综合了每 m³ 水投资、管理难度和技术难度三项指标,可以说是规划方案层次的节水度指标,用于表征节水规划方案的实施难度,实施难度越大,表明该规划方案单方水节水投资较高、管理难度较大且技术难度较大,即越不值得推荐。

4.4.3 规划方案优选

相比基本方案,五个节水规划方案的2020年水资源需求量基本一致,而每 m³ 水投资方面,方案四即强化开源对策方案每 m³ 水投资最高。综合五个规划方案,鉴于实施难度指标可以表征规划方案的推荐程度,可以看出方案五的实施难度显著低于其

他方案。最终确定方案五为经过对策优化的规划方案,即节水对策实施强度系数正比于其节水度为最优的节水对策实施强度组合。

5 结论

通过本次节约用水规划的研究,得到的主要结论是:北京市2020年可供水资源为34亿 m³,在不影响北京市经济社会发展的前提下,要实现本地偏枯年份的水资源供需平衡,必须在现有节水工作的基础上,继续加强节水工作,落实各项节水对策,主要包括经济、管理、技术和开源对策等。在保证节水对策完全按规定上马的前提下,北京市2004~2020年17年内可累计实现48亿 m³ 的新增节水量,相应需要467.3亿元的节水投资,在此基础上可以实现万元GDP耗水低于30 m³ 的战略目标。

(续完)

○通讯处:100045 北京西城区南礼士路60号北京市城市规划设计研究院规划研究室

电话:(010)68056049

E-mail:longying02@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期:2005-11-15

修回日期:2005-12-09