

DOI :10.3969/j.issn.1003-9511.2010.06.005

河北省不同行业节水潜力和节水效益分析

张进旗¹, 乔光建²

(1. 河北省水文水资源勘测局, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

摘要: 在分析河北省水资源利用现状的基础上, 对河北省农业节水潜力、工业节水潜力、居民生活节水潜力进行了计算, 结果表明, 2010~2020 年, 按平水年计算($P = 50\%$), 河北省工业节水潜力为 16.6 亿 m^3 , 农业节水潜力为 11.1 亿 m^3 , 居民生活节水潜力为 3.71 亿 m^3 。并从经济、生态环境和社会几方面分析了河北省不同行业的节水效益, 结果表明, 河北省不同行业节水的经济效益、生态环境效益和社会效益均较明显。

关键词: 节水潜力; 节水效益; 河北省

中图分类号: F407.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-9511(2010)06-0015-05

建设节水型社会, 重点是建立 3 大体系: ① 以水权管理为核心的水资源管理制度体系(这是节水型社会建设的核心); ② 与区域水资源承载能力相协调的经济结构体系; ③ 与水资源优化配置相适应的节水工程和技术体系^[1]。本文对河北省工业、农业、生活的节水潜力与效益进行分析与计算, 旨在为河北省制定水资源利用规划、节水规划提供科学依据。

河北省多年平均水资源总量 205 亿 m^3 , 其中, 地下水资源量为 123 亿 m^3 (矿化度小于或等于 2 g/L), 地表水资源量为 120 亿 m^3 。现状平水年($P = 50\%$)水资源可供量为 151.8 亿 m^3 , 其中地表水可供量 61.2 亿 m^3 , 浅层地下水可供量 85.1 亿 m^3 , 外流域调水可利用量 2.3 亿 m^3 , 非常规水利用量 3.2 亿 m^3 ; 现状平水年($P = 50\%$)需水量为 215.7 亿 m^3 , 其中生活需水量为 15.2 亿 m^3 , 工业需水量为 32.1 亿 m^3 , 农业需水量为 162.8 亿 m^3 , 建筑及三产需水量为 4.8 亿 m^3 , 环境需水量为 0.8 亿 m^3 ; 一般年份缺水 63.9 亿 m^3 , 缺水率为 29.6%, 属严重缺水状态。河北省大部分水质污染严重, 更加重了水资源短缺形势。建设节水型社会, 是保证河北省水资源可持续利用的重要措施^[2]。

1 不同行业节水潜力分析

本文仅对河北省用水量比较大的农业、工业和生活用水进行节水潜力分析。

1.1 农业节水潜力

河北省是一个农业大省, 农业用水占河北省总用水量的 70%~80%, 而农业节水技术发展缓慢, 水资源浪费严重, 是导致河北省地下水日渐枯竭的重要原因之一, 因此, 必须改变农民“大水漫灌, 足量丰产”用水理念, 以征收水资源费为杠杆, 以水权分配、总量控制定额管理为中心, 以计量设施安装为主要手段, 唤醒农民节水意识, 督促帮助农民积极进行经济结构调整, 发展旱作农业, 采取非充分灌溉模式和工程节水措施、农艺节水措施等, 以降低农业灌溉用水定额, 提高水资源利用效率和效益。

本文从用水定额的减小、灌溉水利用系数的提高、种植结构的调整等方面进行农业节水潜力分析计算。首先参照水利部海河水利委员会提供的节水潜力计算公式, 计算各项规划指标实现前提下的可节水量^[3], 同时考虑河北省的水资源条件, 分析各项节水措施的可行性, 最后综合确定河北省农业节水潜力。

1.1.1 节水规划目标

结合现状用水水平, 充分考虑节水措施的作用, 同时参考《河北省水资源综合规划》《河北省水资源综合评价》《海河流域“十一五”节水型社会建设规划》^[4]等, 确定“十一五”期间河北省农业节水规划目标及 2020 年河北省农业节水规划目标。2010 年, 河北省灌溉水利用系数从现状 0.68 提高到 0.74 以上, 综合灌溉用水定额平水年($P = 50\%$)从现状

作者简介: 张进旗(1962—), 男, 河北沧州人, 高级工程师, 从事水文分析计算和水资源管理工作。

3 630 m³/hm²降低到 3 180 m³/hm²,偏枯水年(P = 75%)从现状 3 930 m³/hm²降低到 3 480 m³/hm²;2020 年,河北省灌溉水利用系数从 2010 年的 0.74 提高到 0.80 以上,综合灌溉用水定额平水年(P = 50%)从现状 3 180 m³/hm²降低到 2 895 m³/hm²,偏枯水年(P = 75%)从 2010 年的 3 480 m³/hm²降低到 3 165 m³/hm²。

1.1.2 节水潜力计算

农业节水潜力包括渠系输配系统节水潜力、田间灌溉节水潜力和提高水分生产效率的节水潜力等。

a. 渠系输配系统节水潜力。渠道防渗技术能最有效地减少渠道渗漏损失,提高渠系水利用系数和农业水利用率。渠系输配系统节水潜力十分巨大,提高渠系水利用系数,可以有效减少水的渗漏损失,大大提高水的利用率。

b. 田间灌溉节水潜力。田间灌溉分为全面灌溉和局部灌溉。全面灌溉指全面湿润整个农田根系活动层的土壤,包括地面灌溉(如畦灌、沟灌、淹灌、漫灌、波涌灌、细流沟灌等)和喷灌(比地面灌溉节水 30% ~ 50%);局部灌溉又称微量灌溉(如滴灌、微喷灌、涌泉灌、渗灌、膜上灌等,比地面灌溉节水 45% ~ 75%),它只湿润作物周围的土壤,行间或棵间的土壤仍然保持干燥。采用不同的节水灌溉技术,可以有效提高水分利用效率,节水潜力巨大^[5]。

c. 提高水分生产效率的节水潜力。提高水分生产效率可以在不增加农业用水量的情况下增加粮食产量。在农业用水日益短缺的情况下,通过提高水分生产效率实现节水增产,是实现农业可持续发展的根本出路。

以现状年(2004 年)为基础,考虑不同水平年的灌溉用水定额,可计算出不同水平年的农业节水潜力^[6]。计算公式为

$$W_{\text{农潜}} = A_0 Q_0 (1 - \mu_0) - A_0 Q_t (1 - \mu_t) \quad (1)$$

式中: $W_{\text{农潜}}$ 为农业灌溉工程措施的节水潜力; A_0 为现状农田有效灌溉面积; Q_0 为现状农田灌溉用水定额; μ_0 为现状农业灌溉水利用系数; μ_t 为未来节水指标条件下农业灌溉水利用系数; Q_t 为未来节水指

标条件下农田灌溉用水定额。

从现状年到 2010 年可实现节水量:平水年(P = 50%)为 19.9 亿 m³,偏枯水年(P = 75%)为 21.1 亿 m³;从 2010 年到 2020 年可实现节水量:平水年(P = 50%)为 11.1 亿 m³,偏枯水年(P = 75%)为 12.1 亿 m³;从现状年到 2020 年总节水量为:平水年(P = 50%)为 31.0 亿 m³,偏枯水年(P = 75%)为 33.2 亿 m³。计算过程及结果见表 1。

1.2 工业节水潜力

河北省工业现状用水定额和管网漏失率均较高,用水水平与我国先进节水水平尚有一定差距,同时也说明河北省工业节水潜力较大。要改变河北省工业用水现状,充分挖掘其节水潜力,必须把提高用水效率和效益与企业的经济效益挂钩,即以水价为杠杆,以水权分配、总量控制、定额管理为中心,以计量设施安装为主要手段,督促工业企业加强管理、减少浪费、改进生产工艺、提高工业用水重复利用率,从而提高水的利用效率和效益,达到先进的节水水平^[7]。

1.2.1 节水规划目标

根据河北省实际用水情况,充分考虑节水措施的作用,按照《河北省“十一五”节水型社会建设规划》的工业节水指标,2010 年河北省工业用水重复利用率从现状的 75% 左右提高到 83% 左右,工业万元增加值取水量从现状的 81.7 m³ 减少到 49 m³(按 2005 年价格计算),年均递减率 8.2%,工业增加值从 3932 亿元增加到 7676 亿元,年均增长率 11.8%,管网漏失率从现状的 15% ~ 20% 降低到 12% 以下;2020 年河北省工业用水综合重复利用率从 2010 年的 83% 左右提高到 90% 左右,工业万元增加值取水量从 2010 年的 49 m³ 减少到 28 m³,年均递减率 5.5%,工业增加值从 2010 年的 7676 亿元增加到 15405 亿元,年均增长率 7.21%,管网漏失率从 2010 年 12% 降低到 8% 以下。

1.2.2 节水潜力计算

河北省工业节水潜力计算公式(由水利部海河水利委员会提供)为

表 1 河北省农业节水潜力计算结果

年份	情景	农田有效灌溉面积/ 万 hm ²	农田灌溉水利用系数	平水年(P = 50%)		偏枯水年(P = 75%)	
				农田灌溉用水定额/(m ³ ·hm ⁻²)	农业灌溉节水潜力/亿 m ³	农田灌溉用水定额/(m ³ ·hm ⁻²)	农业灌溉节水潜力/亿 m ³
2004 ~ 2010 年	2004 年现状	447	0.65	3 630	19.9	3 930	21.1
	2010 年节水指标	447	0.74	3 180		3 480	
2010 ~ 2020 年	2010 年节水指标	447	0.74	3 180	11.1	3 480	12.1
	2020 年节水指标	447	0.80	2 895		3 165	
2004 ~ 2020 年					31.0		33.2

$$W_{\text{工潜}} = W_{yt}[(1 - \eta_0) - (1 - \eta_t)] + W_{q0}(L_0 - L_t) = W_{yt}(\eta_t - \eta_0) + W_{q0}(L_0 - L_t) \quad (2)$$

其中
$$W_{yt} = P_0 \frac{Q'_t}{(1 - \eta_t)}$$

式中： $W_{\text{工潜}}$ 为工业工程措施节水潜力； W_{yt} 为未来节水指标条件下用水量(等于取水量加重复利用水量，这里取水量相当于水资源综合规划中的需水量)； η_0 为现状工业用水重复利用率； η_t 为未来节水指标条件下工业用水重复利用率； P_0 为现状工业增加值； Q'_t 为未来节水指标条件下工业用水定额(万元增加值取水量)； W_{q0} 为现状非自备水源工业取水量； L_0 为现状工业管网漏失率； L_t 为未来节水指标条件下工业管网漏失率。

计算结果见表2。

1.3 居民生活用水节水潜力

随着经济发展和城市化进程的加快，人口不断增加，居民生活水平不断提高，城乡生活用水定额呈增长趋势。但不容置疑，用水浪费现象对用水定额的持续增长有一定的贡献率，如多年来城镇管网漏失率居高不下，中水利用一直得不到有效推广，节水器具安装没有普及等。河北省生活节水大有潜力可挖，如通过合理提高水价，有效提高节水器具普及率和中水利用率，减少管网漏失率等，可实现节水20%以上。在合理的水价作用下，生活用水量的变化是正常用水需求与采取节水措施减少用水需求共同作用的结果^[8]。本文居民生活用水节水潜力的计算是在满足居民对水的合理需求的基础上，考虑水价达到居民可承受能力时，采取节水措施、减少管网漏失率、提高节水器具普及率及中水利用率，使水资源得到充分利用情况下的最大节水能力。

1.3.1 节水潜力分析

中华人民共和国建设部完成的《城市缺水问题研究报告》^[9]认为，当前我国城市居民人均生活用水水费占家庭平均收入的2.5%~3.0%是比较合适的(而河北省不到1.0%)。随着水资源日益短缺，用水的边际效益不断上升，水价标准也应不断提高。根据实际调查资料，当水费占家庭收入1%时，对居民心理影响不大，他们不关心水费；当水费占家庭收入2%时，对居民心理有一定影响，他们开始关心水

费；当水费占家庭收入2.5%时，引起居民重视，他们注意节水；当水费占家庭收入5%时，对居民心理影响较大，他们认真节水；当水费占家庭收入10%时，对居民心理影响很大，他们考虑水的重复利用。河北省现状平均水价为2.6元/m³左右，水费占家庭收入的1%左右，对居民心理影响不大；“跑冒滴漏”浪费现象十分普遍。

考虑河北省城镇居民中低收入家庭的实际承受能力，确定2010年居民最大承受水价为5.6~6.8元/m³，即水费占家庭收入的2%~3%，这时居民会主动安装节水器具，降低管网漏失率，提高水的重复利用率，这样，在居民生活水平相对不变的条件，用水定额有一定减少，若到2020年将水价提高到10~15元/m³左右，水费占家庭收入的3%~5%，那么居民的节水意识将十分强烈，节水潜力与未提高水价时相比可提高30%~50%。但考虑到农村生活水平比较低，生活用水收取水费尚且困难，提高水价不现实，故只考虑采取节水行为、安装计量器具的节水潜力。

1.3.2 节水规划目标

根据河北省实际情况及有关规划，到2010年末，河北省城镇节水器具普及率从现状的50%左右提高到85%以上，农村节水器具普及率从现状的5%提高到30%左右，城镇计量设施安装率从现状的70%左右提高到99.4%以上，农村计量设施安装率从现状的15%提高到54%左右，城市管网漏失率从现状的20%左右降低到12%以下。到2020年末，河北省城镇节水器具普及率提高到99.8%以上，农村节水器具普及率提高到52%左右，城镇计量设施安装率提高到99.8%以上，农村计量设施安装率提高到84%左右，城市管网漏失率降低到8%以下。

1.3.3 节水潜力计算

水作为一种特殊的商品，其生产者和消费者构成市场的供方和需方，故商品水应符合一般经济规律。将水资源需求减少的幅度与水价提高的幅度之比称为水价弹性系数^[10]，其表达式为

$$E = \frac{\Delta Q}{Q} \bigg/ \frac{\Delta M}{M} \quad (3)$$

表2 河北省工业节水潜力计算结果

年份	情景	工业增加值/ 亿元	工业用水定额/ (m ³ ·万元 ⁻¹)	工业用水 重复利用 率/%	工业管网 漏失率/%	非自备水源 工业取水量/ 万 m ³	工业节水 潜力/万 m ³
2004~2010年	2004年现状	3932	81.7	75	20	32.1	11.7
	2010年节水指标	7676	49.0	83	12	37.8	
2010~2020年	2010年节水指标	7676	49	83	12	37.8	16.6
	2020年节水指标	15405	28	90	8	42.9	

式中： E 为水价弹性系数； Q 为用水需求量； ΔQ 为用水需求量的变动量； M 为水价； ΔM 为水价变动量。

当水价标准较低时，水价弹性系数较小，此时小幅度提高水价对水资源产生的影响也很小；当水价标准提高到一定程度（如实行节水水价）后，水价弹性系数随水价的提高将增大，表现为水价提高对水资源需求的影响加大；当水价标准达到相当高的水平时，水价弹性系数随水价的提高其增长逐步趋缓，表现为水价提高对水资源需求的影响逐步减小。水价对供求变化的作用，使人们可通过制定合理的节水水价，达到节约用水的目的。根据河北省各市调整水价与相应用水量变化的情况，进行水价弹性系数综合分析计算，结果，河北省生活用水水价弹性系数为 0.225。

在水权交易中，水权的合理定价对促进水权交易顺利进行具有重大意义，而明确水权价格的影响因素是水权合理定价的保障。水权价格的主要影响因素包括供求因素、工程因素、经济因素、交易期限因素、生态与环境因素、政策体制因素等 6 大因素^[1]。利用下面的水资源供求定价模型进行用水量计算：

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^E \quad (4)$$

式中： Q_2 为调整价格后的用水量； Q_1 为调整价格前的用水量； P_1 为原水价； P_2 为调整后的水价； E 为水价弹性系数。

在不同用水领域和环节，水价弹性系数各不相同。综合计算不同水价弹性系数下水价与需求量的变化情况可知，一般情况下，水价提高 10%，需水量将减少 5%。可见，水价调整可根据城市居民收入水平和工业及社会各项事业的发展水平，在充分考虑用水户的经济承受能力和支付意愿的基础上，经过认真细致的社会调查和充分论证，采取勤调整、小幅度、逐步到位的办法，逐步提高现行水价，以促进节约用水。

生活用水方面可利用水价的杠杆作用调节用水量。结合河北省水价和用水量的关系，计算出河北省 2010 年完成节水目标情况下，可实现节水量 5.18 亿 m^3 ；2020 年完成节水目标情况下，可实现节水量 3.71 亿 m^3 。

1.4 综合节水潜力

由于水资源严重短缺，河北境内的环境用水多年来被工业、农业、生活等社会经济用水所挤占，处于严重欠账状态，几乎没有节水潜力可挖，故环境节水潜力不作考虑，本次综合节水潜力计算仅包括工业、农业和生活 3 方面，计算结果见表 3。

2 不同行业节水效益分析

建设节水型社会是应对水资源短缺的必然选择，有利于缓解当前城乡缺水矛盾，是实现我国经济发展长远目标的重要保证。

2.1 经济效益

科学节水的关键是合理高效，而合理高效的表现形式是受空间地域、时间发展阶段以及经济、历史、文化、水资源等诸多因素影响的多维复杂函数，是一个变动的概念，需因地制宜、因时而异对待^[2]。

通过节水型社会建设，河北省总用水量得到基本控制：2010 年（平水年 $P = 50\%$ ）基本控制在 227 亿 m^3 以内，2020 年（平水年 $P = 50\%$ ）控制在 239 亿 m^3 以内，2010 年和 2020 年节水分别达到 36.7 亿 m^3 和 31.4 亿 m^3 ，实现在人口、城镇化、GDP 等快速增长的情况下，到 2010 年和 2020 年用水总量的增长率分别维持在 0.88% 和 0.48% 左右。

通过节水型社会建设，从 2004 年到 2010 年、2010 年到 2020 年，河北省用水效率和效益取得明显成果，见表 4。

2.2 生态环境效益

河北省水资源开发利用已经远远超过水资源的承载力。由于地下水连年超采，特别是深层地下水超采，引发地下水降落漏斗的形成，并扩大加深，造成地面沉降塌陷、地面产生裂缝、咸水扩散和地下水受到污染等^[3]。水资源极度短缺已严重制约了河北省经济的可持续发展。

南水北调工程的通水也不可能完全解决河北省地下水超采问题。节水型社会建设规划的实施和南水北调工程的通水，使河北省地下水超采量从现状的 50 亿 m^3 左右减少到 2010 年的 23.5 亿 m^3 左右，缺水率为 10.3%，到 2020 年缺水达到 13.3 亿 m^3 左右，缺水率为 5.6%，但地下水的开采量控制在允许范围内，使深层地下水水位有所恢复，地下水超采问题得到逐步解决。另由于工业基本实现洁净生产，

表 3 河北省综合节水潜力计算结果

年份	综合节水/亿 m^3		工业节水/ 亿 m^3	农业节水/亿 m^3		生活节水/ 亿 m^3
	$P = 50\%$	$P = 75\%$		$P = 50\%$	$P = 75\%$	
2004 ~ 2010 年	36.7	37.9	11.7	19.9	21.1	5.18
2010 ~ 2020 年	31.4	32.4	16.6	11.1	12.1	3.71

表 4 河北省用水效率和效益分析结果

水平年	GDP		万元 GDP 取水量		农业灌溉水利用系数		农业灌溉定额		农业用水量		工业增加值		工业万元增加值取水量	
	产值/万元	年均增长率/%	取水量/m ³	年均增长率/%	系数	年均增长率/%	定额/(m ³ ·hm ⁻²)	年均增长率/%	用水量/亿 m ³	年均增长率/%	增加值/万元	年均增长率/%	取水量/亿 m ³	年均增长率/%
2004 年	8 754		246.00		0.68		3 630		163		3 932		81.70	
2010 年	17 125		132.70		0.74		3 180		150		7 676		49	
2020 年	47 826		50.00		0.80		2 895		140		15 405		28	
2004~2010 年		11.80		-9.70		1.40		-2.80		-1.60		11.80		-8.10
2010~2020 年		10.80		-9.30		0.80		-0.90		-0.70		7.20		-5.50

农业实行节水灌溉,从而有效解决了点源和面源污染问题,河北省水环境和自然环境恶化现象基本得到遏制,生态环境得到明显改善。2010 年和 2020 年河北省污水处理率达到 60% 和 90% 以上,饮用水源地基本达标,水环境质量明显改善。

2.3 社会效益

以水权水市场理论为基础,以提高水资源利用效率和效益,促进经济、资源、环境协调发展为目标,以水资源统一管理体制为保障,综合采取行政、经济、科技和工程等措施,建立政府调控、市场引导、公众参与的节水型社会的管理体系^[14],形成以经济手段为主的自律节水机制,实现水资源的可持续利用,保障河北省经济社会的可持续发展。

实施节水规划后,河北省自律节水的机制初步形成,全民的节水意识明显增强,水资源浪费现象得到遏制,水资源利用效率和效益明显提高,水环境得到明显改善。2004~2010 年,河北省生产总值年均增长 11.8% 的情况下,实现总用水量年均 0.88% 左右的微增长。工业用水在工业增加值保持年均 11.8% 左右的增长速度下,以每年 2.8% 的较小幅度增长,实现工业用水弹性系数小于 0.22,2020 年实现小于 0.16 左右的目标。农业用水在支撑农业经济发展指标持续增长下,实现年均 1.32% 的负增长,社会效益明显。

3 结 语

采取切实可行的节水综合措施,可减少水资源的损失和浪费,提高用水效率与效益。

节水型社会中,社会各个层面在各个领域的具体实践活动中都以节水作为其社会行为的基本准则之一,并建立健全相关机制体系,协调社会经济结构,以实现社会系统、生态系统和经济系统良性发展,保障水资源的持续利用和水资源对社会经济发展的永续支撑。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 节水型社会建设评价指标体

系[R].北京:中华人民共和国水利部,2005.
 [2] 河北省水利厅. 河北省十一五节水型社会建设规划 [R].石家庄:河北省水利厅,2006.
 [3] 中华人民共和国水利部水资源管理司. 节水型社会建设规划编制导则[R].北京:中华人民共和国水利部水资源管理司,2008.
 [4] 水利部海河水利委员会. 海河流域“十一五”节水型社会建设规划[R].天津:水利部海河水利委员会,2007.
 [5] 徐振辞,陈伟. 河北省灌溉措施节水潜力计算方法研究与应用[M].北京:中国科学技术出版社,2008.
 [6] 马素英,李月霞,白振江. 节水潜力计算方法分析与比较 [J].河北水利,2008(s1):41-43.
 [7] 中华人民共和国发展和改革委员会. 中国节水技术政策大纲[R].北京:中华人民共和国发展和改革委员会,2005.
 [8] 汤智洋. 合理的水价在水资源管理中的作用[J].海河水利,1988(6):5-8.
 [9] 中华人民共和国建设部. 城市缺水问题研究报告[R].北京:中华人民共和国建设部,1995.
 [10] 李永根. 节水水价制定理论与方法初探[J].南水北调与水利科技,2004 A(5):40-41.
 [11] 郑通汉,许长新. 我国水权价格的影响因素分析[J].中国水利,2007(8):46-47.
 [12] 袁汝华,郑志来. 农业节水的经济学分析[J].开发研究,2006(3):51-53.
 [13] 韩宇平,徐拯民. 区域水资源短缺风险调控研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2007(4):22-25.
 [14] 董文虎. 水权、水价、水市场理论与实践研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002.

(收稿日期 2010-04-29 编辑 彭桃英)

