

# 区域节水潜力定量计算方法对比分析

朱前维, 尤征懿, 陈娟, 徐兴

(江苏省水文水资源勘测局无锡分局, 江苏 无锡 214031)

**摘要:**通过收集整理常用的区域节水潜力定量计算方法, 分别对工业、农业、城镇生活3个方面的节水潜力公式进行对比分析。结合江阴市实例计算结果, 评价各类计算公式的影响因素、要素特征及适用范围, 提出区域节水潜力定量计算公式的选择建议。

**关键词:**节水潜力; 定量计算; 水资源量; 用水定额

中图分类号: TV22

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2024)05-0017-0004

## Comparative analysis of quantitative calculation methods for regional water saving potential

ZHU Qianwei, YOU Zhengyi, CHEN Juan, XU Xing

(Wuxi Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Wuxi 214031, China)

**Abstract:** By collecting and sorting out the commonly used quantitative calculation methods of regional water saving potential, a comparative analysis was conducted on the water-saving potential formulas for industry, agriculture, and urban life. Based on the calculation results of Jiangyin City, the influencing factors, features and application scope of various calculation formulas were evaluated, and the suggestions for selecting quantitative calculation formulas for regional water saving potential were proposed.

**Key words:** water saving potential; quantitative calculation; water resources quantity; water quota

### 1 概述

节水潜力是以各行业(或作物)通过综合节水措施所能达到的节水指标为参照标准, 分析现状用水水平与节水指标的差值, 并根据现状发展的实物量指标计算所得最大可能节水数量。

(1)工业节水潜力。分析工业各行业现状用水水平与节水指标实现条件下用水定额的差距, 计算节水潜力。

(2)农业节水潜力。分析种植业的不同作物及林牧渔业(林果地、草场、牲畜、鱼塘)现状用水与节

水指标实现条件下, 灌溉定额或用水定额的差距。分析井灌区、渠灌区、井渠混合灌区灌溉水利用系数提高程度及其节水潜力。

(3)城镇生活节水潜力。分析现状各类城市生活用水定额与节水指标实现条件下定额之差、城市管网输水损失之差等。随着生活水平的提高, 生活用水定额呈增加趋势, 生活用水定额的变化是生活用水正常的需求增加与采取节水措施减少需求共同作用的结果, 单从生活用水定额的变化不能全面反映节水的作用, 应主要根据管网损失率的变化分析城镇生活节水潜力<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2023-09-16

作者简介: 朱前维(1978—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事水资源分析论证、节水评价等工作。E-mail: 37273045@qq.com

## 2 节水潜力计算公式

节水潜力分析主要分为定性和定量2种方法。随着社会、行业对节水要求的提高,仅从定性的角度分析节水潜力,越来越无法满足节水型社会建设的要求,尤其是在相关规划、论证等技术服务领域,对节水潜力的定量计算要求越来越高。通过定量计算节水潜力,能更好地落实最严格的水资源管理制度,切实履行“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”相关要求。

目前,行业内通常采用的节水潜力计算公式主要依据节水型社会建设规划编制导则附录2所列节水潜力计算公式(以下简称导则公式),全国水资源综合规划中相关计算所采用的公式<sup>[2]</sup>(以下简称规划公式),各地根据实际情况和相关研究在上述2种公式基础上进一步优化后所采用的计算公式<sup>[3]</sup>(以下简称其他公式)。上述公式主要包括工业节水、农业节水和城镇生活节水潜力计算公式。

### 2.1 工业节水潜力

#### 2.1.1 导则公式

工业节水潜力主要是考虑产业结构调整、产品结构优化升级、节水技术改造、调整水资源费(税)征收力度等条件下的综合节水潜力,涵盖了工程节水、工艺节水、管理节水等方面的节水潜力<sup>[4]</sup>。工业节水潜力计算式为

$$W_g = Z_0 \times (Q_0 - Q_1) \quad (1)$$

式中: $W_g$ 为工业节水潜力, $m^3$ ;  $Z_0$ 为现状水平年工业增加值,万元;  $Q_0$ 、 $Q_1$ 分别为现状水平年和规划水平年万元工业增加值取水量, $m^3$ /万元。

#### 2.1.2 规划公式

主要考虑采取工程节水措施条件下的节水量,其计算式为

$$W_g = Z_0 \times Q_1 \times \frac{\eta_1 - \eta_0}{1 - \eta_1} + W_0 \times (R_0 - R_1) \quad (2)$$

式中: $W_g$ 为工业节水潜力, $m^3$ ;  $Z_0$ 为现状水平年工业增加值,万元;  $Q_1$ 为规划水平年万元工业增加值取水量, $m^3$ /万元;  $\eta_0$ 和 $\eta_1$ 分别为现状水平年和规划水平年工业用水重复利用率,%;  $W_0$ 为现状非自备水源工业取水量, $m^3$ ;  $R_0$ 和 $R_1$ 分别为现状水平年和规划水平年供水管网漏损率,%。

#### 2.1.3 其他公式

工业节水潜力是指因工业用水重复利用率提高而减少的新鲜水取水量和因供水管网改造而减少的输水损失之和,其计算式为

$$W_g = W_{重g} + W_{管g} =$$

$$W_{重0} \left( \frac{1}{\eta_0} - 1 \right) - W_{重1} \left( \frac{1}{\eta_1} - 1 \right) + \left( W_{管0} - W_{管1} \frac{1 - R_0}{1 - R_1} \right) \quad (3)$$

式中: $W_g$ 为工业节水量, $m^3$ ;  $W_{重g}$ 为由于工业用水重复利用率提高而减少的新鲜水取水量, $m^3$ ;  $W_{管g}$ 因供水管网改造而减少的输水损失, $m^3$ ;  $W_{重0}$ 为现状年工业重复利用水量, $m^3$ ;  $W_{重1}$ 为规划水平年工业重复利用水量, $m^3$ ;  $\eta_0$ 、 $\eta_1$ 分别为现状水平年和规划水平年工业重复利用率,%;  $W_{管0}$ 为现状工业取水量, $m^3$ ;  $R_0$ 、 $R_1$ 分别为现状水平年和规划水平年供水管网漏损率,%。

### 2.2 农业用水潜力

#### 2.2.1 导则公式

农业用水潜力包括工程节水潜力、农艺节水潜力、管理节水潜力,三者之和即为农业综合节水潜力,其中管理节水是工程节水和农艺节水实施的保障。公式的计算结果考虑了多种措施的综合节水潜力,包括调整农作物种植结构,改造大中型灌区,扩大节水灌溉面积,提高渠系利用系数,改进灌溉制度和调整农业供水价格。涵盖了工程节水、农艺节水、管理节水3个方面,计算式为

$$W_n = A_0 \times \left( \frac{G_0}{K_0} - \frac{G_1}{K_1} \right) \quad (4)$$

式中: $W_n$ 为农业节水潜力, $m^3$ ;  $A_0$ 为现状水平年灌溉面积, $hm^2$ ;  $G_0$ 、 $G_1$ 分别为现状水平年和规划水平年作物净灌溉定额, $m^3/hm^2$ ;  $K_0$ 、 $K_1$ 分别为现状水平年和规划水平年灌溉水利用系数。

#### 2.2.2 规划公式

农业节水计算只考虑工程节水,不包括农艺和管理节水,计算式为

$$W_n = A_0 \times G_0 \times (1 - K_0) - A_1 \times G_1 \times (1 - K_1) \quad (5)$$

式中: $A_0$ 、 $A_1$ 分别为现状水平年和规划水平年灌溉面积, $hm^2$ ;  $G_0$ 、 $G_1$ 分别为现状水平年和规划水平年作物毛灌溉定额, $m^3/hm^2$ ;其他符号含义与上式相同。

#### 2.2.3 其他公式

农业用水潜力相应计算式为

$$W_n = A_0 \times (G_0 - K_0) \quad (6)$$

式中: $W_n$ 为农业节水潜力, $m^3$ ;  $A_0$ 为现状年农田实际灌溉面积, $hm^2$ ;  $G_0$ 、 $G_1$ 分别为现状水平年和规划水平年作物毛灌溉定额, $m^3/hm^2$ 。

### 2.3 城镇生活节水潜力

#### 2.3.1 导则公式

城镇生活节水潜力主要考虑生活节水器具普

及率提高和管网综合漏失率降低两方面的节水潜力。涵盖工程节水、管理节水等方面的节水潜力,其计算式为

$$W_s = \left( W_0 - W_0 \times \frac{1 - R_0}{1 - R_1} \right) + P \times J_z \times \frac{365}{1000} \times (L_1 - L_0) \quad (7)$$

式中: $W_s$ 为城镇生活节水潜力, $m^3$ ;  $W_0$ 为现状自来水厂供出的城镇生活用水量, $m^3$ ;  $R_0$ 、 $R_1$ 分别为现状水平年和规划水平年供水管网漏损率,%;  $P$ 为现状城市用水人口; $J_z$ 为采用节水型器具的日可节水量, $L/d \cdot 人$ ;  $L_0$ 、 $L_1$ 分别为现状水平年和规划水平年城镇生活节水器具普及率,%。

### 2.3.2 规划公式

城镇生活节水潜力包括建筑行业 and 第三产业,计算式为

$$W_s = W_0 \times (R_0 - R_1) \quad (8)$$

式中: $W_s$ 为城镇生活节水潜力, $m^3$ ;  $W_0$ 为现状自来水厂供出的城镇生活用水量, $m^3$ ;  $R_0$ 、 $R_1$ 分别为现状水平年和规划水平年供水管网漏损率,%。

### 2.3.3 其他公式

城镇生活节水潜力计算式为

$$W_s = W_{管s} + W_{器s} \quad (9)$$

式中: $W_s$ 为城镇生活节水潜力, $m^3$ ;  $W_{管s}$ 为供水管网节水量, $m^3$ ;  $W_{器s}$ 为用水器具节水量, $m^3$ 。

## 3 计算公式对比

工业节水潜力计算公式中,导则公式以万元工业增加值取水量作为影响的关键因子计算节水潜力。规划公式在考虑万元工业增加值指标的基础上,增加了工业用水重复利用率的因素,同时增加了非自备水源即公共供水中用于工业生产的因管网综合漏失率降低所节约的水量。其他公式同时考虑用水重复利用率和管网漏损率的变化因素对节水潜力的影响,以重复利用量、非自备水源的工业取水量、供水管网漏损率作为影响因子。

农业节水潜力计算公式中,导则公式采用净灌溉定额与有效灌溉利用系数作为节水潜力的主要影响因子。规划公式直接利用现状年与规划年的灌溉面积、毛灌溉定额,有效灌溉利用系数计算节水量。其他公式以现状灌溉面积和毛灌溉定额作为影响因子。农业节水潜力计算公式相对比较统一,虽然计算表达式有所不同,但都以灌溉面积、灌溉定额、有效灌溉利用系数作为影响因子。

城镇生活节水潜力公式中,导则公式以供水管

网和用水器具两方面计算节水潜力,影响因子主要为生活用水量、供水管网漏损率、城镇人口、节水器具普及率。规划公式利用现状用水量和管网漏损率的变化计算节水潜力,未考虑节水器具的影响因素。其他公式与导则公式一致,同时考虑管网与用水器具两方面影响因素。

从上述行业内几种使用率较高的各计算公式来看,所需基础数据为3~7个。大部分基础数据都能从所在区域的相关规划或水资源公报中获得,但个别计算数据获取难度较大,如工业节水潜力计算中所需的工业重复利用水量,农业节水潜力计算中所需的规划年毛灌溉定额等。

## 4 计算实例分析

为进一步验证上述计算公式,选取2021年为现状水平年,2025年为规划水平年,以江阴市为研究对象进行区域节水潜力预测分析。

江阴市位于长江下游南岸,长江三角洲太湖平原北端,北枕长江,南近太湖。江阴市水域面积为河流水面、湖泊水面、水库水面的面积之和,不含沟、塘等水面,约占总面积的8.98%。2021年末全市森林覆盖率20.14%,城市建成区绿化覆盖面积5 499.17  $hm^2$ 。全市总用水量(考核口径)138 977.14 万  $m^3$ ,其中农业用水量占比为15.5%,工业用水量占比为70.9%,生活用水量(含居民生活、第三产业、建筑业用水量)占比为13.1%,城镇环境用水量占比为0.5%。

依据《江阴市水资源综合规划》《江阴市节水型社会建设“十四五”规划》《江阴市水资源公报》等相关规划报告,将其作为节水计算的基础数据来源。

按照上述公式分别计算节水潜力,计算结果见表1。

表1 不同公式节水潜力计算结果

序号	类型	节水潜力/万 $m^3$		
		导则公式	规划公式	其他公式
1	工业	3 386	9 481	8 406
2	农业	231	231	231
3	生活	158	145	158

(1)在区域尺度上,以现有的工业、企业为对象,采取综合节水措施后,最终表现为水资源重复利用率有所提高,新鲜水取水量有所降低。在以式(3)计算工业节水潜力时,计算过程中假定工业用水总量不变,工业节水潜力主要来自新鲜水取水量

下降。推算工业用水重复利用率的计算式为

$$\eta = \frac{W_{\text{重}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{W_{\text{重}}}{(W_{\text{取}} - W_{\text{重}})} \times 100\% \quad (10)$$

式中： $\eta$ 为工业用水重复利用率，%； $W_{\text{重}}$ 为工业用水重复利用量， $\text{m}^3$ ； $W_{\text{总}}$ 为工业用水总量， $\text{m}^3$ ； $W_{\text{取}}$ 为工业新鲜水取水量， $\text{m}^3$ 。

(2)农业节水潜力计算方法相对一致，虽然导则公式采用的是净灌溉定额，规划公式和其他公式采用的是毛灌溉定额，但在有效灌溉利用系数确定后，实质上意义是相同的。规划公式虽然表达式不同，但在计算时假定了规划水平年灌溉面积与现状水平年灌溉面积相同。

(3)从生活节水潜力计算结果来看，规划公式计算结果小于导则公式计算结果(其他公式与导则公式相同)，主要由于规划公式在计算时进行了简化，同时未考虑节水器具普及率对节水潜力的影响。在导则公式中，不仅考虑了管网漏损率变化对节水的影响，而且考虑了节水器具普及率对节水潜力的影响。根据节水型社会建设规划编制导则附录，节水潜力计算方法中 $J_z$ 的取值为28 L/d，其中包含节水型洗衣机、节水型水龙头和节水型淋浴器等的节水量。

## 5 结论及建议

从基础数据收集的难易程度、计算工作量、计算结果综合分析，对于工业节水潜力计算公式，导则公式仅以万元工业增加值取水量作为主要影响因素，导致计算结果与其他公式计算结果有一定偏差。其他公式规划水平年水资源重复利用量较难获得，在计算时只能做简化处理，也会导致计算结果存在偏差。因此，工业节水潜力计算公式建议采用规划公式即式(2)进行计算，该公式同时采用生产用水重复利用率的提高因素和公共供水中用于

工业生产这部分水量在输水过程中的损耗因素。农业节水潜力计算相对一致，建议采用式(4)计算，同时涵盖了工程节水、农艺节水、管理节水等方面。生活用水节水潜力建议采用式(7)计算，该公式兼顾公共供水管网输水损耗和节水器具普及率对节水潜力的影响。

目前，已有相关学者开始采用数据包络分析(DEA)<sup>[5-6]</sup>、Elman神经网络等模型对节水潜力进行计算，但由于前期模型的建立需要大量准备工作，且仅在特定区域内适用，通用性有待提高。本文所梳理、分析的几种节水潜力计算方法，具备通用性、简便性，可在行业内应用。

随着社会节水要求越来越高，影响节水潜力的因素越来越多，现有的计算公式仅能部分反映节水潜力，如公民节水意识、水资源优化配置、经济杠杆等影响因素在节水潜力计算中尚未得以完全体现。因此，区域节水潜力的定量计算方法还需进一步研究，相关计算公式仍需根据社会发展和影响因素的变化进行不断修正和优化。

### 参考文献：

- [1] 沈际杰,柏欣莉,衣鹏. 节水建设城市用水时空差异模式研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 38-43.
- [2] 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(增刊1): 41-43.
- [3] 孙晓文,陈松峰,何茵丹. 江苏省“十四五”节约用水潜力探究[J]. 水资源开发与管理, 2022, 8(1): 3-7
- [4] 刘炜伟. 基于递归神经网络的节水潜力模型研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [5] 张义敏,蔡旭东,陈雅芬,等. 基于DEA的水资源利用效率评价及节水潜力分析[J]. 人民珠江, 2015, 36(6): 121-124.
- [6] 陈述,吕文芳,王建平. 长江流域水资源利用效率时空演变特征分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(4): 80-86, 94.