

# 工业用水量测算方法探讨

张国玉<sup>1</sup> 李舒<sup>2</sup> 朱全<sup>3</sup>

- (1. 水利部水资源管理中心, 北京 100053;  
2. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003;  
3. 华北电力大学区域能源与环境系统优化的重点实验室, 北京 102206)

**【摘要】** 本文全面系统地分析了我国近年来工业用水情况,利用对比法分析了现阶段工业用水量测算方法,初步提出基于用水总量统计方案对工业用水量评价的方法及利用国控监测系统推求工业用水量的新思路。

**【关键词】** 工业;用水量;测算

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)12-0001-04

## Discussion on calculation method of industrial water consumption

ZHANG Guoyu<sup>1</sup>, LI Shu<sup>2</sup>, ZHU Quan<sup>3</sup>

- (1. MWR Water Resources Management Center, Beijing 100053, China;  
2. Yellow River Water Conservancy Science Research Institute, Zhengzhou 450003, China;  
3. Key Laboratory of Regional Energy and Environmental System Optimization in North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Industrial water use condition of China in recent years is analyzed comprehensively and systematically in the paper. Comparative method is utilized for analyzing industrial water consumption measurement method at current stage. The method of evaluating industrial water consumption based on water consumption statistics plan and new concept of deducing industrial water consumption with national control monitoring system are initially proposed.

**Keywords:** industry; water consumption; measurement

实行最严格水资源管理制度确立了水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”指标,其中水资源开发利用控制指标中的用水总量<sup>[1]</sup>和用水效率控制指标中的万元工业增加值用水量<sup>[2]</sup>都以工业用水量数据的测算为基础。工业用水量的测算结果对最严格水资源管理制度考核结果的准确性、权威性、公平性及合理性具有重要影响。因此,如何利用科学的方法准确测算及评价工业用水量是最严格水资源管理制度考核的重要支撑。

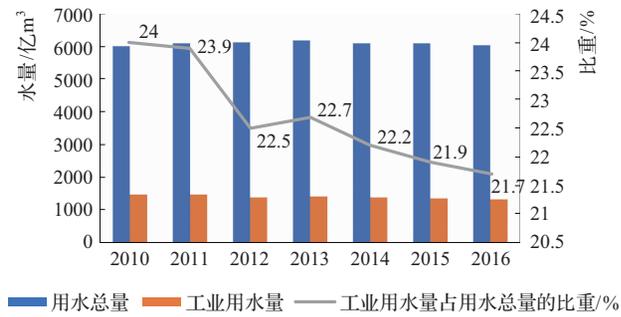
统计数据质量的主要评估方法包括<sup>[3]</sup>:逻辑关系

检验法、计量模型分析法、核算数据重估法、统计分布检验法、调查误差评估法等。其中,逻辑关系检验法中主要包括定额分析、趋势分析、对比分析等。现阶段,我国水资源统计体系较为复杂,统计形式不一致、统计口径不统一,不同部门之间的信息难以及时准确地共享。因此,本文在工业用水量数据来源及测算方法现状梳理的基础上,采用对比法分析不同来源的数据及其统计方法,提出了如何更准确测算工业用水量的研究思路,为工业用水量的测算及评价方法提供一些参考和建议。

## 1 我国工业用水量及监测统计情况分析

### 1.1 工业用水情况

2010年我国工业用水量为1447亿m<sup>3</sup>,工业用水量占总用水量的比重达到24%;而2016年全国工业用水量为1308亿m<sup>3</sup>,工业用水量占总用水量的比重达到21.7%。2010—2016年工业用水量占用水总量的比例基本呈现减少趋势,并基本维持在22%上下。工业用水情况见下图。



我国工业用水情况图

表1 现有涉及工业用水量监测统计情况对比

序号	监测统计形式	组织部门	简介及方法	主要特点
1	水资源公报	水利部门	一般实行用水指标定额法、用水大户逐一统计和典型样本推求相结合等方法	资料延续性、编制队伍稳定、权威性
2	取水许可台帐	水利部门	取水许可台帐系统里的工业自备水量进行简单相加的统计方法	法律规范,利于管理,可操作性强
3	用水定额及计划用水管理	水利部门	用水指标定额法	企业资料丰富、数据较准确
4	用水总量统计方案(办资源[2014]57号)	水利部门	采取用水大户逐一计量监测统计、一般用水户抽样调查、综合推算区域用水总量的统计方法	用水调查统计方法系统、科学,可操作性强
5	国控系统	水利部门	高用水工业用水量采用用水比例法和指标统计法推求,非高用水工业采用指标统计法推求	监测数据客观、序列完整、可控性强
6	区域统计年鉴	统计部门	按国民经济行业分类开展各行业规模以上工业企业用水量统计调查(包含企业重复利用水量)	调查专业、规范,资料延续性强,权威性
7	城乡建设统计年鉴	住建部门	城市公共供水按不同行业类别的供水量统计	资料延续性、公共供水统计细致

### 1.3 工业用水量测算主要问题及原因分析

工业用水量统计中存在着分行业用水量统计不够详细、多种用水并用容易导致数据失真等问题。产生这些问题的原因主要有两个:④工业用水户统计范围广,数量庞大,用水结构复杂等。另外取用淡化海水、

地区的工业用水水平主要受到区域水资源条件<sup>[4]</sup>、工业行业结构、行业规模和节水管理等4个因素的影响。例如:水资源丰富、容易获取的地区工业用水效率相对于水资源匮乏的地区要低;通常高耗水企业比重较高及行业规模较大的地区用水量较大。国家水资源管理政策、法规的影响力、水价等,均会对地区工业用水水平产生影响。通过一些工程手段改变区域水资源条件,调整工业结构、发展低耗水无污染的工业,提高水资源管理政策影响力、加大节水宣传等措施才能提高工业用水效率,促进水资源的可持续利用。

### 1.2 工业用水量数据来源及统计方法现状分析

我国现已建立多层次、多部门的工业用水监测统计工作体系,但在监测统计对象、统计口径和方法以及数据共享程度等存在较大差异,现针对不同调查统计来源的工业用水量测算数据作对比分析,研究这些统计数据的特点,具体见表1。

卤水、再生水等其他水源的工业企业用水量的处理,也给工业用水量的统计增加了许多不确定性;⑤统计对象发生改变,区域为统计对象的指标定额方法过渡到以取水户为统计对象,对取水大户逐一计算监测统计、一般用水户抽样调查、综合推算区域用水总量的技

术方法。

本文针对上述工业用水量统计中的问题,首先,分析讨论用水总量方案和国控监测数据特点;其次,采用用水总量方案建立工业用水量评价方法;最后,提出利用国控监测数据测算工业用水量的新思路。

## 2 基于用水总量方案的评价方法研究

《用水总量统计方案(试行)》针对年取用水量,将工业用水户划分为规模以上和规模以下的用水户,对规模以上的用水户逐一调查用水量,规模以下的用水户抽样调查用水量(抽样误差控制在5%以内),综合推求工业用水量。

### 2.1 工业用水量统计数据总体质量评价原则

根据上述分析,从基本的逻辑关系检验出发,初步制定工业用水量数据评价原则如下:

a. 样本选取的合理性。在规定的样本容量下,分析工业用水户样本选取的代表性,样本是否覆盖了不同地区、不同用水户类型,是否包括主要工业行业、兼顾不同企业规模等。

b. 基本数据的逻辑关系。分析样本企业用水量、排水量、水资源费、年度用水计划等基本数据在逻辑关系上的合理性,对于火(核)电企业分析用水量、装机容量、发电量等基本数据在逻辑关系上的合理性,对于公共供水企业分析取水量和外供水量在逻辑关系上的合理性。

c. 样本企业用水量合理性。将样本企业主要产品的单位用水量与本区域工业产品用水定额进行对比,分析样本企业单位产品用水量合理性。对于高耗水行业,一般应首先界定其工艺标准,参考相关行业定额进行核查。对于样本企业万元工业产值用水量指标,分析近年变化趋势,综合企业节水改造情况,是否为节水型企业等基础信息判断指标合理性。

### 2.2 工业用水量统计数据总体质量评价方法

工业用水量统计数据总体质量评价方法可采用综合评价法,其目的是要求对被评价对象的整体性做出一个综合评价。目前,层次分析、模糊综合评判、数据

包络分析、人工神经网络等是应用较为广泛的评价方法。本次研究,以评价方法的科学性和实用性为原则,将层次分析法与模糊综合评判法有机结合,运用层次分析法确定各指标权重,然后进行模糊综合评判,最后综合出总的评价结果。模糊综合评判模型构建步骤如下:

a. 确定评价对象的因素论域  $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ 。对于本次研究,  $U$  即为工业用水的评价原则。

b. 确定评语等级论域  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ 。评语等级划分为四级:  $V = (\text{完全符合}, \text{符合}, \text{基本符合}, \text{不符合})$ 。

c. 进行单因素评价,建立模糊关系矩阵  $R$ 。

对于企业样本用水量数据,依据样本数据评价原则,逐一判断各样本数据对各项评价标准的符合程度,生成表2。

表2 工业用水量样本数据核查结果分类统计

类 别		完全符合	符合	基本符合	不符合
样本企业用水量合理性	样本企业产品产量与用水量合理性分析	$R_{31}^1$	$R_{32}^1$	$R_{33}^1$	$R_{34}^1$
	样本企业产值与用水量合理性分析	$R_{31}^2$	$R_{32}^2$	$R_{33}^2$	$R_{34}^2$
合计		$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{34}$

对于除企业样本用水量数据,依据数据评价原则,逐一判断各类数据对各项评价标准的符合程度,以百分制表示,生成表3。表3中的样本企业用水量合理性统计结果采用表2中相应的分类统计的合计数。

表3 用水量数据核查结果分类统计

类 别		完全符合	符合	基本符合	不符合
工业用水	样本选取的合理性	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{14}$
	基本数据的逻辑关系	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$
	样本企业用水量合理性	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{34}$
	区域工业用水总量合理性	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{44}$

根据表3统计结果,建立模糊关系矩阵  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中  $r_{ij}$  ——从因素  $u_i$  着眼,评价对象能被评为  $v_j$  的隶属度。一般将其归一化,使之满足

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} = 1. \quad (2)$$

d. 确定评价因素权向量  $A = (a_1, a_2, \dots, a_4)$ , 本次研究采用层次分析法确定权向量。

e. 模糊合成及结果分析。 $R$  中不同行反映了被评价事物从不同的单因素来看对各等级模糊子集的隶属程度。用模糊权向量  $A$  将不同的行进行综合,就可得到该被评事物从总体上来看对各等级模糊子集的隶属程度,即模糊综合评价结果向量。模糊综合评判的基本模型为  $B = A \cdot R$ 。由于模糊综合评判计算结果以模糊向量形式体现,不能直接用于决策,因此进一步采用最大隶属度原则进行处理得到评判结果。

### 3 利用国控数据统计工业用水量的新思路

#### 3.1 国控数据统计工业用水量的数据处理方法

根据国家水资源监控系统监测情况,可以从“点、线、面”,即监测点、行业用水统计及区域用水统计三方面对国控系统监测的工业用水量进行统计分析。

a. 监测点的数据进行统计时,可采取插补、人工调查修正或按年取水许可量、计划用水量等对缺失、奇异数据进行处理。

b. 行业用水数据统计时可采用用水比例法和指标统计法。用水比例法在实际计算过程中首先确定国控系统理论上的监测覆盖度(最大值),其次通过高用水户监测数据(实际用水量)推求行业总用水量。指标统计法先利用国控系统监测的用水量数据推求规模以上用水指标,再利用用水总量统计调查、水利普查、水资源公报等数据源获取规模以上或规模以下的用水指标,通过规模以上和规模以下工业产值数据,推算得出行业用水总量。用水比例法操作简单并可快速获得

行业用水量,但以高用水户监测数据为本底,在节水技术及管理上发展不均衡的地区其统计出的用水量会有偏差;指标统计法较复杂,但统计出的数据理论上更贴近于真实值。

c. 区域用水统计也可采用用水比例法和指标统计法,同时还可将指标统计法中的用水定额指标替换为经济指标。国控监测数据与经济指标结合后对数据要求更为严格,但理论上会比使用用水定额指标统计法统计出的区域用水量更加准确。同时要注意不管使用哪种方法进行统计都是需要修正的,而这个修正系数可由历史数据进行率定。

#### 3.2 国控数据统计工业用水量数据合理性分析

采用上述方法推求行业用水及区域用水时需要统计出的数据进行合理性分析。一般来说,火电、钢铁、造纸等行业企业规模较大,纳入国控系统的比例较大,其未监测的企业对该工业行业用水统计影响较小。但化工、食品和纺织等行业企业规模大小不一、取用水源各有不同、部分未纳入国控系统监测,因此这些行业未监测的工业企业用水对工业行业用水统计的影响较大。

对于工业行业用水量的合理性评价方法主要有定额分析法、指标分析法、用水比例法、横向对比法、历史数据对比法;区域工业用水总量合理性评价方法主要包括时间序列分析方法、模型评价方法、用水比例法。这些评价方法在运用时要注意不要和推求方法一致,最好可采用2到3种不同方法对推求的数据进行合理性评价。

### 4 结论

a. 工业用水量测算方法进行结果比较时会产生一些偏差,主要原因是工业用水户统计范围广和统计对象发生改变。

b. 提出了基于用水总量方案对工业用水量评价方法,即将层次分析法与模糊综合评判法结合,运用层次分析法确定各指标权重,然后进行模糊综合评判,最后提出工业用水量统计数据的评价结果。

(下转第30页)

4.2 防治效益分析

防治效益分析主要考虑水土流失防治措施实施后的基础生态效益,在此基础上综合考虑措施实施所带来的社会效益。

4.2.1 生态效益

生态效益分析,主要是水土保持方案实施后,通过主体工程设计的防护措施和本次水土保持方案设计的防治措施,项目区水土流失可以得到有效的控制。水土保持措施全部发挥作用后,造成的水土流失面积得到有效治理。方案实施后,通过计算,6项指标均达到防治目标值,见下表。

防治目标分析值与确定的防治目标对比分析表

项 目	防治目标设计值	设计水平年目标值	对比分析
扰动土地治理率	95%	99.5%	达到防治目标
水土流失治理度	86%	99.3%	达到防治目标
土壤流失控制比	1.0	1.0	达到防治目标
拦渣率	95%	96.5%	达到防治目标
林草植被恢复率	96%	96.7%	达到防治目标
林草覆盖率	21%	29.4%	达到防治目标

a. 扰动土地整治率。本项目扰动土地总面积为2.01hm<sup>2</sup>,防治责任面积为2.72hm<sup>2</sup>。到设计水平年时,闸站内的建构筑物、硬化地表面积0.54hm<sup>2</sup>,水土保持工程措施面积0.87hm<sup>2</sup>,植物措施面积0.59hm<sup>2</sup>,项目区水土流失防治责任范围内扰动土地整治率达99.5%。

(上接第4页)

c. 根据国家水资源监控系统监测情况,尝试从“点、线、面”三方面使用用水比例、指标统计等方法对工业用水量进行测算,测算结果需要采用与其不同的测算方法进行验证,分析结果的合理性。

参考文献

[1] 郑柏杨,马建琴. 中国与美国用水总量统计方法及比较

b. 水土流失治理度。到设计水平年时,水土流失防治措施面积为1.46hm<sup>2</sup>,项目区扣除建构筑物、路面等永久占地,水土流失面积为0.47hm<sup>2</sup>,项目区水土流失治理度为99.3%。

c. 土壤流失控制比。通过各项水土保持措施,到设计水平年,防治责任范围内按方案采取水土保持措施后,项目区平均土壤侵蚀模数降到200t/(km<sup>2</sup>·a),项目区允许土壤侵蚀模数为200t/(km<sup>2</sup>·a),土壤流失控制比为1.0。

d. 拦渣率。开挖土石方除回填、综合利用外,到设计水平年拦渣率为96.5%。

e. 林草植被恢复率。到设计水平年,植物措施面积0.59hm<sup>2</sup>,项目区可绿化措施面积为0.61hm<sup>2</sup>,林草植被恢复率为97.2%。

f. 林草覆盖率。到设计水平年,林草总面积为0.59hm<sup>2</sup>,项目区占地面积为0.61hm<sup>2</sup>,项目区林草覆盖率为29.4%。

4.2.2 社会效益

水土保持措施方案实施后,对保护周围的村庄、农田及下游流域范围内的生产和生活安全,对当地及周边经济社会的持续发展都将起到积极的促进作用。

4.2.3 生态效益

下泄发电的弃水为流经平顶山市区的湛河提供了生态用水,对湛河两岸的水生态及水环境提供了可靠的保证,对当地生态环境的改善起到一定的作用。

[J]. 水电能源科学,2017,35(4):29-31.  
 [2] 何忠奎,盖红波. 水资源管理制度关键技术支撑探析[J]. 水资源开发与管理,2017(2):13-15.  
 [3] 叶少波. 政府统计数据质量评估方法及其应用研究[D]. 长沙:湖南大学,2011.  
 [4] 王亚华,胡鞍钢. 黄河流域水资源治理模式应从控制向良治转变[J]. 人民黄河,2002,24(1):23-25.