

工业园区纺织产品水足迹核算与评价

钟 玲 柳若安 刘尊文 曹 磊 李焱佩

(环境保护部环境发展中心, 北京 100029)

【摘要】水足迹核算是水足迹评价的基础。本研究通过对工业园区内纺织企业的调研, 基于产业链和全生命周期的产品水足迹核算方法, 分别计算了丝绸产品和涤纶染色布产品的水足迹, 并基于该核算结果对工业园区纺织企业水资源管理和水污染防治进行了评估并提出了建议。

【关键词】纺织产品; 水足迹; 核算; 评价

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2016) 06-0040-04

水足迹是一个多维指标, 不仅可以表示用水量, 而且明确了用水的方位、用水的类型和时间^[1]。水足迹核算是水足迹评价的基础。根据评价目的的不同, 水足迹核算包括全球和国际以上、国家、区域、企业、产品和消费者等多个层面和对象。国外在农产品水足迹核算方面的研究较为成熟, 国内关于水足迹的研究主要在区域及宏观层面。目前关于工业产品水足迹的研究较少, 尤其缺乏对水资源的可持续进行评价并制定响应方案。本研究拟将水足迹的理论和方法应用于纺织行业, 通过对工业园区内纺织企业用水需求和用水量的定量分析, 核算纺织产品的水足迹, 为园区纺织企业有效管理用水需求、合理使用水资源、强化污水污染防治等方面提供技术基础和数据支撑。

1 水足迹理论概述

水足迹概念的提出始于 2002 年^[2], 是指在一定物质生活标准下, 生产一定人群(个体、城市或国家)消费的产品和服务所需要的水资源数量。从来源上看, 水足迹可分为蓝水足迹、绿水足迹和灰水足迹三种类型。其中, 蓝水足迹指对地表水和地下水资源的消耗, 是已经被有效利用的径流量, 表示“占用的供水能力”; 绿水足迹指中对不会成为径流的雨水资源的消耗, 主要用于作物和森林的生长; 灰水足迹指以自然本底浓度和现有的环境水质标准为基准, 将一定的污染物负荷吸收同化所需的淡水水量, 表示“占用的纳污能力”^[3]。因此, 灰水足迹直观反映了水污染的程度, 包括排污量、排污浓度、污染因子(相同浓度、相同排污量的不同污染物)。从污染防治的角度出发灰水足迹比蓝水足迹和绿水足迹更具有研究价值。

水足迹是蓝水足迹、绿水足迹和灰水足迹的总和:

$$WF = WF_{\text{蓝水}} + WF_{\text{绿水}} + WF_{\text{灰水}}$$

式中: WF 是水足迹; $WF_{\text{蓝水}}$ 是蓝水足迹; $WF_{\text{绿水}}$ 是

绿水足迹; $WF_{\text{灰水}}$ 是灰水足迹。

蓝水足迹是核算边界内直接消耗的淡水水量:

$$WF_{\text{蓝水}} = \frac{V_{\text{新鲜}} - V_{\text{回用}}}{Q}$$

式中: $V_{\text{新鲜}}$ 是核算边界内耗用的新鲜水量, 包括各生产工序的直接耗水量和供应链的直接耗水量; $V_{\text{回用}}$ 是核算边界内的回用水量; Q 为纺织产品的产量。

绿水足迹是核算边界内所用的雨水量:

$$WF_{\text{绿水}} = \frac{V_{\text{雨水}}}{Q}$$

式中: $V_{\text{雨水}}$ 是核算边界内耗用的雨水量, 未使用雨水, 则此数为 0。

灰水足迹是核算边界内将污水浓度降低到自然本底浓度的淡水水量:

$$WF_{\text{灰水}} = \frac{\max\left(\frac{L[k]}{C_{\text{环境}}[k]} - C_{\text{本底}}[k]\right)}{Q}$$

式中: $L[k]$ 是产生污水中污染物 k 的量; $C_{\text{环境}}[k]$ 是污水排入环境中规定的污染物 k 的环境质量浓度限值; $C_{\text{本底}}[k]$ 是受纳水体中污染物 k 的自然本底浓度; \max 表示纺织产品的工业灰水足迹由造成灰水足迹最大的水污染物。

2 案例分析

2.1 企业与产品的选取

分别在印染企业集中的工业园区选取丝绸生产企业和化纤布生产企业, 核算染色丝绸及涤纶染色布的水足迹。

2.2 核算边界的确定

由于本研究重点关注企业层面的水资源消耗, 故将纺织产品的水足迹核算限定为工业生产链部分的水足迹核算, 即从纺织纱线原料进入企业至成品出厂阶段的水

作者简介: 钟玲, 工程师, 硕士, 主要从事中国环境标志、低碳和绿色印刷研究

引用文献格式: 钟 玲 等. 工业园区纺织产品水足迹核算与评价 [J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(6): 40-43.

资源消耗。

纺织产品的基本生产工艺大致可以分为原料生产和加工(纱线生产)、织造、染整、面料、成品生产五个环节,其中,染整是纺织工艺耗水的主要环节,其废水排放量占纺织工艺废水排放量的80%左右。研究中纺织产品水足迹核算的边界:纱线生产-织造-染整(耗水量占纺织生茶的80%)-面料-成品。

2.3 数据收集

由于各工序的数据不可得,故将各生产加工分厂作为独立工艺分别收集数据,包括不同年份主要原辅材料消耗、能源消耗、水资源消耗、产品产量、排水量及排污浓度等。在实测数据无法获取的情况下,根据数据来源的权威性依次选择国家标准、统计年鉴、地方标准、科研文献的数据来源。

2.4 核算方法构建

产品水足迹主要包括核算边界内的四类水足迹,即:生产过程水足迹、供应链水足迹、公共水足迹和所耗能源水足迹,各类水足迹进一步按水的来源分别计算蓝水、绿水、灰水足迹。

故,

$$WF_{\text{产品}} = WF_{\text{生产}} + WF_{\text{供应链}} + WF_{\text{公共}} + WF_{\text{能源}}$$

其中,

$$WF_{\text{生产}} = \sum WF_{\text{蓝水}} + WF_{\text{绿水}} + WF_{\text{灰水}}$$

$$WF_{\text{公共}} = \sum WF_{\text{蓝水}} + WF_{\text{绿水}} + WF_{\text{灰水}}$$

供应链水足迹是指该批次产品生产过程中消耗所有原辅材料中隐含的工业水足迹,故核算公式如下:

$$WF_{\text{材料}} = \sum_{i=1}^n M_i l_i$$

式中, M 为材料的消耗量,计量单位根据具体材料类型确定; i 为该批次产品生产整个过程中消耗的材料种类,取值为1到 n 的自然数; l 代表材料工业水足迹转换系数,指生产单位材料所消耗的工业水足迹。

能源水足迹是指该批次产品生产过程中消耗所有能源中隐含的工业水足迹,其核算公式如下:

$$WF_{\text{能源}} = \sum_{j=1}^m N_j g_j$$

式中, N 为能源的消耗量,计量单位根据具体能源类型确定; j 为该批次产品生产整个过程中消耗的能源种类,取值为1到 m 的自然数; g 代表材料工业水足迹转换系数,指单位能源所消耗的工业水足迹。

2.5 核算结果

对丝绸生产企业核算了其2013、2014及2015年染整、印花及斜台板工厂的丝绸产品水足迹,结果分别如表1、表2、表3所示。

化纤布生产企业由于仅可获得其2011年相对完整的数据,故核算了其主要产品涤纶染色布的水足迹,结果如表4所示。

表1 2013年丝绸产品水足迹核算结果

使用部门	单位	生产过程水足迹	供应链水足迹	公用水足迹	能源水足迹	单位产品水足迹
染整	吨/百米	49.57	13.76	2.74	0.55	66.62
印花	吨/百米	50.36	26.15	2.74	1.28	80.53
斜台板	吨/百米	49.13	42.84	2.74	1.13	95.84

表2 2014年丝绸产品水足迹核算结果

使用部门	单位	生产过程水足迹	供应链水足迹	公用水足迹	能源水足迹	单位产品水足迹
染整	吨/百米	38.15	18.73	0.49	0.51	57.88
印花	吨/百米	37.16	28.30	0.49	1.10	67.05
斜台板	吨/百米	38.99	30.58	0.49	1.25	71.31

表3 2015年丝绸产品水足迹核算结果

使用部门	单位	生产过程水足迹	供应链水足迹	公用水足迹	能源水足迹	单位产品水足迹
染整	吨/百米	19.62	14.93	0.30	0.56	35.41
印花	吨/百米	20.31	27.44	0.30	1.20	49.25
斜台板	吨/百米	18.99	46.44	0.30	0.98	66.71

表4 2011年涤纶染色布水足迹核算结果

产品名称	单位	生产过程水足迹	供应链水足迹	公用水足迹	能源水足迹	单位产品水足迹
聚酯长纤维涤纶染色布	吨/百米	26.31	0.75	0.74	5.76	33.57

2.6 分析与讨论

纺织产品的水足迹受纺织产业的产业规模、行业结构、技术水平等诸多因素影响,以下从时间、工艺、来水类型、产品类型等方面分别分析了影响纺织产品水足迹的因素。

(1) 时间对比

对比丝绸企业 2013、2014、2015 年不同工艺产品的水足迹,其结果如图 1 所示。

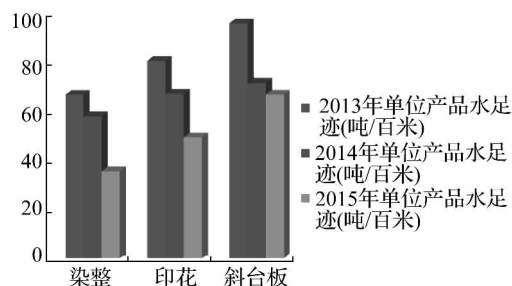


图1 丝绸企业 2013-2015 年不同工艺产品的水足迹

染整、印花、斜台板三种工艺产品的水足迹均随年份呈下降趋势。

2014 年和 2015 年各类产品的水足迹显著低于 2013 年水足迹,主要原因在于企业于 2014 年改造了 1 套中水回用装置,该装置于 2014 年 5 月 13 日开始中水回用。此中水回用装置的投产使用,使企业从两个方面提高了水资源的重复利用率,一是将蒸汽冷凝水收集后直接回用于生产,二是新建中水处理装置处理后清水回用至生产。企业水资源重复利用率从 2013 年的 24.5% 上升至 2014 年的 34.3%,又至 2015 年的 54.8%。

水资源重复利用率的提升一方面减少了新鲜水的用量,即减小了产品的蓝水足迹,同时也减少了废水排放量,即减小了产品的灰水足迹。从核算结果看,2014 年产品的灰水足迹比 2013 年降低了 25%,2015 年比 2014 年降低了 50%,蓝水足迹在某些产品反而存在上升的现象。因此,水资源的重复利用对于降低产品灰水足迹有着更为显著的贡献。

(2) 工艺对比

从工艺上看,染整、印花、斜台板等三类工艺形成的产品,总体上看,斜台板产品的水足迹最高,印花次之,染整最小。

这三种工艺的本质都是印染,即将无色的布经过加工形成有色的布,但具体工艺流程略有差别。与印花工艺相比,斜台板是使用手工印花代替将机器印花,单位产品的染料和助剂的使用量较大,造成供应链水足迹较大,影响了产品最终的水足迹。

(3) 不同水足迹组成的对比

以上水足迹核算均分为生产水足迹、公用水足迹、

供应链水足迹和能源水足迹四大部分,其中,生产水足迹和公用水足迹又分为蓝水足迹、绿水足迹和灰水足迹三块。

以丝绸企业 2014 年的核算结果为例,染整、印花、斜台板,三类工艺产品其生产过程的灰水足迹占比均超过 50%,因此,减少废水排放量和降低废水浓度可以有效降低纺织产品的水足迹。此外,供应链水足迹占比仅次于生产过程灰水足迹,位列第二,其值显著高于生产过程中的蓝水足迹。

由此可见,从全生命周期角度考量产品的水足迹,间接水足迹如灰水足迹和供应链水足迹远高于直接水足迹即蓝水足迹和绿水足迹。减少废水排放量、降低废水浓度、减少原材料使用或用低耗水量原料替代高耗水量原料等措施,均能有效降低产品的水足迹。

(4) 不同类型产品对比

此处不同类型产品指丝绸企业生产的染色丝绸产品和化纤布企业生产的涤纶染色布产品。图 2 显示了丝绸企业 2014 年的三种工艺产品与化纤布企业产品的水足迹对比结果。

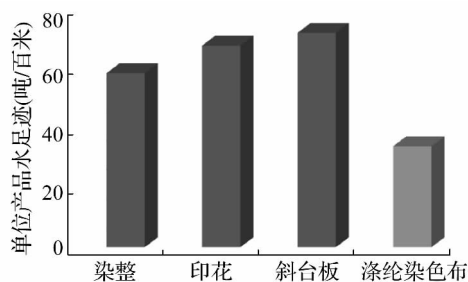


图2 不同类型产品的水足迹

由图 2 可知,涤纶染色布的水足迹低于染整、印花和斜台板产品水足迹。

图 3 展示了丝绸企业产品与化纤布企业产品水足迹构成的对比。结果显示,占比最大的灰水足迹在两企业生产的产品水足迹中,其大小基本相当;化纤布企业产品的蓝水足迹比丝绸企业大 1~4 倍,能源水足迹比丝绸企业大 5~11 倍;但两者最大的差别来自供应链水足迹,丝绸企业比化纤布企业大 25~41 倍,而这最主要的原因是单位化纤产品所耗用的染料和助剂量远远小于

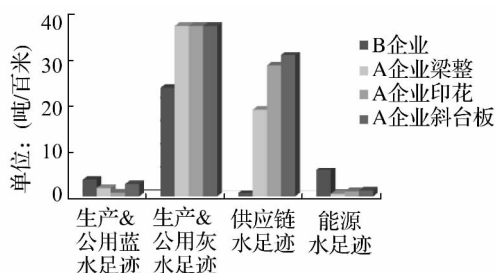


图3 两企业产品水足迹构成的对比

单位丝绸产品的染料和助剂耗用量。

2.7 数据与核算的局限性

受调研条件的限制,一些数据如各个工序的耗水量、排水浓度无法精确获得,使得核算过程只能做模糊处理。如在丝绸企业仅能获得最终排口的排污浓度数据,故染整、印花、斜台板等生产工序以及公共用水的灰水足迹无法精确计算,本研究按照企业总产量估算了单位产品的灰水足迹,并将之应用于各个工序。计算公共用水的灰水足迹时使用了相同的模糊算法。因此导致了图5中,丝绸企业的染整、印花和斜台板工序的灰水足迹相同。此外,化纤布企业仅能获得2011年的全套数据,故核算结果只能反映化纤布企业2011年的水资源管理状况。

3 工业园区纺织企业水资源管理和水污染防治建议

根据对丝绸企业和化纤布企业产品的水足迹核算结果及数据分析,以下对工业园区纺织企业水资源管理和水污染防治提出了四条建议。

3.1 加强水资源的循环利用,减少废水排放量

企业开展水资源循环利用,通过减少新鲜水使用量和减少废水排放量,既降低了蓝水足迹又降低了灰水足迹,是降低纺织产品水足迹最直接有效的方式。

水资源循环利用的方式包括冷却水、蒸汽冷凝水的循环利用以及生产废水的中水回用。从丝绸企业和化纤布企业的调研情况看,开展企业水资源循环利用从技术上、经济上均具有可行性,且具有良好的环境效益。

3.2 加强污水处理,降低废水排放浓度

排放浓度直接决定了污染物的排放量,而灰水足迹是将污染的水稀释至环境水质所需的清水量,故通过加强污水处理降低排放浓度,可以有效减小灰水足迹,从而显著影响产品水足迹核算结果。

对比丝绸企业和化纤布企业的污染物浓度,由于丝绸企业是排放至园区污水厂,故其主要污染因子COD和氨氮浓度都比化纤布企业高,这也直接导致丝绸企业纺织产品的灰水足迹高于化纤布企业产品的灰水足迹。

3.3 加强原材料管控,建立节水供应链

核算结果显示,供应链水足迹是仅次于灰水足迹的

产品水足迹第二大来源。因此,加强原材料管控,建立节水供应链是降低产品水足迹的有效手段。

节水作为环保的特性之一,建议企业在其管理体系中增加绿色供应链管理,同时将原材料自身节水性能纳入绿色供应链评估体系,从全生命周期角度增强产品的节水属性。

3.4 改进生产工艺,择优选择最佳流程

改进生产工艺是通过控制核算边界内的行为以降低水足迹,是企业最具有获得感的节水方式。

以丝绸企业为例,2015年丝绸企业通过开展清洁生产审核,实施改造提升方案共计21项,节约水消耗2.2万t,减少污水排放量2.2万t,减少COD排放1.32t/a,节约水费、排污费7.81万元,具有良好的环境、经济、社会效益。

4 结 语

以上研究通过对工业园区内纺织企业的调研,基于产业链和全生命周期的产品水足迹核算方法,分别计算了丝绸产品和涤纶染色布产品的水足迹,并基于该核算结果对工业园区纺织企业水资源管理和水污染防治进行了评估并提出了建议。结果表明:①灰水足迹和供应链水足迹是产品水足迹的主要组成,两者贡献率高达90%;②企业开展水资源重复利用能有效减小产品灰水足迹和蓝水足迹,是影响产品水足迹的重要方式;③加强污水处理降低出水浓度能有效减小产品灰水足迹,从而显著降低产品水足迹;④开展绿色(节水)供应链管理是企业管理的新方向,能有效降低产品供应链水足迹;⑤斜台板丝绸产品水足迹高于印花产品高于染整产品,故优化产品生产工艺可以降低最终产品水足迹。受条件限制,本研究在核算过程中采取了模糊算法,这是今后研究中需要改进之处。

参考文献:

- [1] 刘秀巍. 产品水足迹研究及其在纺织行业的应用 [N]. 纺织导报, 2011.
- [2] Hoekstra, A. Y. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade [R]. Value of Water Research Report Series No 12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, 2003.
- [3] Hoekstra, A. Y. 等. 水足迹评价手册 [M]. 刘俊国等, 译. 北京: 科学出版社, 2012: 14.

Water Footprint Calculation and Assessment of Textiles in Industrial Parks

ZHONG Ling LIU Ruo'an LIU Zunwen CAO Lei LI Yipei

(Environmental Development Center of Ministry of Environmental Protection of China, Beijing 100029, China)

Abstract: Water footprint calculation is the basis of water footprint assessment. The study investigates textile companies in industrial parks, and calculates water footprint of silk dyeing cloth and polyester dyeing cloth based on industry chain and life cycle assessment theory. Assessment of water resources management and water pollution prevention in textile companies in industrial parks is done and suggestions are proposed based on the calculation results.

Keywords: Textile; Water Footprint; Calculation; Assessment