

DOI: 10.5846/stxb201303050349

严岩, 贾佳, 王丽华, 杜冲, 刘馨磊, 付晓, 刘昕, 吴钢. 我国几种典型棉纺织产品的工业水足迹评价. 生态学报, 2014, 34(23): 7119-7126.

Yan Y, Jia J, Wang L H, Du C, Liu X L, Fu X, Liu X, Wu G. The industrial water footprint of several typical cotton textiles in China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 7119-7126.

## 我国几种典型棉纺织产品的工业水足迹评价

严 岩<sup>1</sup>, 贾 佳<sup>1,2</sup>, 王丽华<sup>3</sup>, 杜 冲<sup>3</sup>, 刘馨磊<sup>3</sup>, 付 晓<sup>1</sup>, 刘 昕<sup>1</sup>, 吴 钢<sup>1,\*</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国检验认证集团测试技术有限公司, 北京 100028)

**摘要:** 产品水足迹评价能够揭示人类活动在产品全生命周期中的水资源综合影响, 可以为提高水资源利用与管理水平和引导绿色消费提供重要的科学依据和技术手段, 是当前水资源评价与管理领域的热点研究方向。纺织品是日常生活最主要的消费品之一, 其工业生产过程需要利用大量的水资源, 同时排放出的工业废水还会对周围环境造成严重影响。为了揭示纺织品生产过程的水资源综合影响, 运用工业水足迹的概念与原理, 探讨和明确了纺织品工业水足迹评价的系统边界与内容, 建立了相应的核算方法, 并选择了花灰布、漂白布、染色布、色织布等四种典型棉纺织产品进行了工业水足迹评价。结果显示, 漂白布的工业水足迹较小为 36.51L/lb, 花灰布次之为 37.84L/lb, 染色布的平均工业水足迹为 61.52L/lb, 色织布水足迹最大, 平均值为 81.51L/lb。比较同种类型、不同颜色纺织品的工业水足迹, 由大到小依次为深色>中色>浅色, 即颜色越深对水资源的影响程度最大。从水足迹构成来看, 棉纺织产品的工业水足迹主要来自于直接工业水足迹, 间接工业水足迹占比较小; 在直接工业水足迹的构成中, 蓝水足迹的贡献较大。

**关键词:** 工业水足迹; 水足迹; 水资源; 水环境; 纺织产品

## The industrial water footprint of several typical cotton textiles in China

YAN Yan<sup>1</sup>, JIA Jia<sup>1,2</sup>, WANG Lihua<sup>3</sup>, DU Chong<sup>3</sup>, LIU Xinlei<sup>3</sup>, FU Xiao<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>1</sup>, WU Gang<sup>1,\*</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 China Certification & Inspection Group, Beijing 100028, China

**Abstract:** Study of water footprint (WF) is one of the hottest topics in the sustainability assessment and management of water resources. As a new analytical tool, assessment of the WF of products can help to understand the comprehensive impacts of products on water resources scarcity and pollution, as well as pinpoint actions to ensure that products do not contribute to unsustainable use of water resources. Textile production is an important necessity with a great amount of production and consumption, and its production process is accompanied by considerable volumes of water consumption and sewage emission. China is the world's largest textile producer and exporter. The large-scale textile industry places serious pressure on water resources and the water environment. In order to assess quantitatively the comprehensive impact of the industry stage of textile production on the water resources at the product level, this paper has applied the theory of the industrial water footprint (IWF). It has analyzed and determined the system boundary and content of the IWF of textile production and then constructed an accounting method for the IWF of textile. Based on survey and monitoring in many textile factories, the IWF of four typical cotton textiles (i.e., heather grey, bleached cloth, dyed fabric and yarn-dyed fabric)

**基金项目:** 国家科技支撑计划课题(2013BAJ04B01); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE 2013-1-02)

**收稿日期:** 2013-03-05; **网络出版日期:** 2014-03-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wug@cees.ac.cn

were calculated and analyzed. The results showed that: 1) The accounting methodology and associated parameters of the IWF of textiles proposed by this paper are operational and applicable, which meets the requirements of textile IWF assessment and reflects differences among different types of textile. 2) The IWF of yarn-dyed fabric is the largest (81.51L/lb), followed by dyed fabric (61.52L/lb), heather grey (37.84L/lb), and the IWF of bleached cloth is the smallest (36.51L/lb). 3) Comparing the IWF of products of the same type but in different colors, it was found that the darker the color is, the larger IWF it has. This is due to the fact that a dark colored textile needs to be washed more times, therefore leading to an increase in water, steam and energy consumption. 4) According to the IWF composition of the four textiles, the direct IWF has a larger share, and the indirect IWF is relatively small. This means that the comprehensive impact of the direct water consumption and pollution in textile production processes on the water resources is considerably larger than the impact of the industry production of materials. More importantly, the blue WF accounts for a major proportion of the direct IWF, while the grey WF occupies a smaller proportion, which means that the impact from water consumption is considerably larger than that of water pollution in textile production processes. 5) The indirect IWF is sourced mainly from the consumption of steam and electricity in the production department, and less from coal, gasoline and diesel consumption in the public department and transportation. These results implied that 1) For manufacturing enterprise, the key point to reducing the IWF of textiles is to curb water use in production process. 2) For consumers, choosing a lighter colored textile is the more environmentally friendly option.

**Key Words:** industrial water footprint; water footprint; water resources; water environment; textile

水资源危机是当前人类面临的最严峻的资源危机。如何缓解水资源危机、实现水资源可持续利用,也因此成为相关学者和管理者共同关心且亟待解决的重要问题。水足迹概念与评估方法的提出,使人们开始意识到日常生活中隐含在各种产品和服务中的水资源消费<sup>[1]</sup>,为提高水资源利用与管理水平、引导绿色消费提供了科学的评判依据和新的手段。

纺织品是人类生活必需品之一,且随着人口、社会和经济的发展,全球纺织品的消耗量还在以平均每年4%的速度增长。我国是传统的纺织品生产与出口大国,在国际纺织品贸易中发挥着举足轻重的作用。但由于纺织品生产需要利用大量的水资源,2007年我国纺织行业的水耗与废水排放量分别占全国工业总耗水量与总废水排放量的8.5%和10%<sup>[2]</sup>。随着纺织产业的快速增长,纺织产业对水资源、水环境的影响和压力相应地也在增加。为了揭示纺织品生产相关的工业活动对水资源的综合影响,本研究建立了纺织品的工业水足迹评价方法和参数体系,为纺织品工业水足迹评价提供了一套系统化和规范化的方法;选取了漂白布、染色布、色织布及花灰布等四种典型棉纺织产品开展了实证研究,为从产品角度了解纺织品生产相关工业活动对水资源的综合影响提供了科学依据。

## 1 产品工业水足迹的概念与相关研究进展

水足迹是继生态足迹和碳足迹之后,以水资源为研究对象提出的一套多维评价指标体系。该理论是基于生命周期评价的方法,通过虚拟水概念的介入来描述人类活动对水资源的需求<sup>[3]</sup>,即测量某一已知人群(个人、地区、国家或世界)在一定时间内消耗的所有产品和服务中隐含的水量消耗和水环境影响<sup>[1,4]</sup>。

产品水足迹评价是以某一产品为对象的水足迹评价。它从水量和水质综合的角度衡量产品的水资源利用效率与影响,能够揭示产品全生命周期及某一特定时空内生产者或消费者的行为活动中的水资源消费<sup>[5-6]</sup>。由于开展全生命周期的产品水足迹评价涉及的影响因素非常复杂,导致其核算框架很难构建,并且很大程度上缺乏可靠数据支持,使得目前已有的研究主要集中在农产品方面<sup>[7-10]</sup>,工业产品水足迹评价的研究较少。然而,当今世界面临的生态环境危机,究其根本原因是工业革命以来,人类工业生产活动的规模和强度不断上升的结果。工业产品水足迹评价研究的缺乏,使得水足迹理论与方法在工业领域水资源管理方面未能发挥应有的作用。而且,在已有的不多的工业产品水足迹研究案

例<sup>[11-12]</sup>中,由于缺乏一手数据的调查并且未能突破评价方法的限制,在评价中都忽略了工业生产阶段的灰水足迹<sup>[5-6]</sup>,而工业废水排放带来的水环境影响恰恰是工业生产过程水足迹评价的最重要的组成部分。

产品工业水足迹<sup>[13]</sup>是基于工业水足迹理论提出的一项用以测量某一产品生产相关的工业活动引起的水资源利用增量的多维指标。从水资源影响来源的角度,产品工业水足迹可分为直接工业水足迹与间接工业水足迹。直接工业水足迹指工业生产阶段直接的水资源消耗量及水环境污染。间接水足迹指原料、辅料及能源消耗中隐含的水资源消耗量及水环境污染。从水资源影响类型的角度,产品工业水足迹还可分为蓝水足迹与灰水足迹。蓝水即地表水和地下水,蓝水足迹指生产过程中直接消耗的蓝水。灰水足迹指废水排放所引起水资源污染量,以揭示生产过程对水环境影响强度<sup>[5-6]</sup>。产品工业水

足迹评价能够揭示产品生产相关的工业活动对水资源的综合影响。因此,明确产品水足迹评价的系统边界和内容,建立和完善产品工业水足迹评价<sup>[13]</sup>相关方法,是产品水足迹评价研究中亟待解决的重要问题。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 系统边界和核算内容

依据工业水足迹的概念和评价框架<sup>[13]</sup>,本研究将纺织品工业水足迹评价的系统边界划定为从棉花入厂到产品出厂前整个工业生产阶段,核算内容包括输入项(水、蒸汽、原料与能源)与输出项(废水、废物和产品)。考虑到纺织品工业生产阶段用到的染料及助剂等辅料品种繁多,但用量不大,对产品工业水足迹的贡献有限,并且核算辅料中隐含的工业水足迹存在巨大困难,因此评价内容中未将辅料纳入核算范围(图 1)。

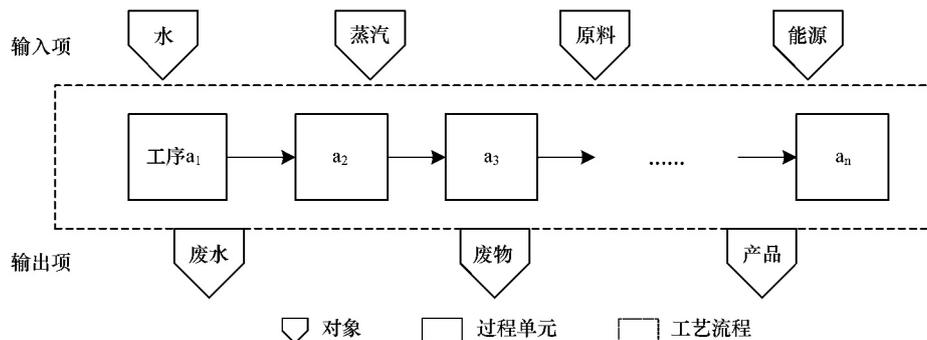


图 1 纺织品工业水足迹评价的系统边界

Fig.1 System boundary of textile industrial water footprint

### 2.2 工艺流程

通过调研浙江、江苏、广东等地的数家大型纺织企业,选取并梳理了漂白布、花灰布、染色布、色织布等 4 种典型棉纺织产品的生产工艺流程。其中,漂白布、花灰布与染色布的生产流程类似:首先,将纱线送往纱厂进行纺纱、织布;其次,对胚布进行检验和整理,再送入染整部门进行漂白或染色等染色处理;再次,将处理好的布匹烘干后,依照订单需要进行定型、预缩等特殊处理;最后,为确保产品质量,产品打包前需经过二次检验,且经检验合格的产品方可出厂(图 2)。与以上三者的不同,色织布的生产流程中:棉花在经纱厂纺纱、翻砂处理后,不是被直接织成胚布,而是将纱线送往染整部门对进行染色;

其次,将检验合格的色纱送回纱厂织布;再次,依照订单要求,将胚布送往染整部门处理;最后,产品打包出厂前同样需要二次检验以确保产品质量合格(图 3)。

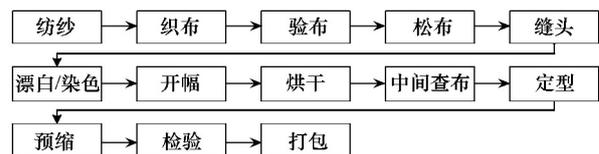


图 2 漂白布、花灰布与染色布的工艺流程

Fig.2 Production-chain of bleached cloth, heather grey and dyed fabric

### 2.3 核算方法

采用工业水足迹的核算框架及方法<sup>[13]</sup>,包括生

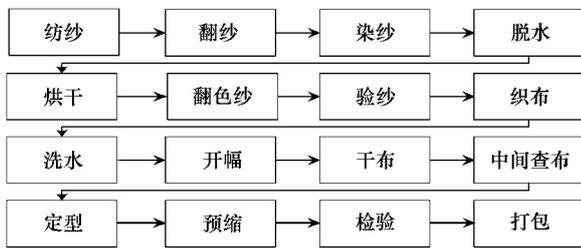


图3 色织布的工艺流程

Fig.3 Production-chain of Yarn-dyed Fabric

产、公共及系统内部运输环节中的水足迹。产品尺度的水足迹核算的目标是单件产品的水足迹,但是由于受到生产工艺本身因素或是数据测量条件的限制,生产过程中的相关数据不可能做到以件为单位进行测量或收集,因此,本文中产品水足迹的核算,是在该批次产品总的相关生产数据测量和收集的基础上,首先核算该批次产品总的工业水足迹,然后按产品产量平均得到。本文选择的几种纺织产品均为布匹,因此以磅(lb)为单件产品的计量单位。核算方法如下:

$$WF_{\text{industry}}[\text{textile}] = WF_{\text{production}} + WF_{\text{public}} + WF_{\text{transport}}$$

$$= \frac{\sum (V_{\text{fresh}} + WF_{\text{grey}} + WF_{\text{matter}})}{Y}$$

式中, $WF_{\text{industry}}[\text{textile}]$ 为纺织品工业水足迹( $\text{m}^3/\text{lb}$ ), $WF_{\text{production}}$ 为生产水足迹( $\text{m}^3/\text{lb}$ ), $WF_{\text{public}}$ 为公共水足迹( $\text{m}^3/\text{lb}$ ), $WF_{\text{transport}}$ 为运输水足迹( $\text{m}^3/\text{lb}$ ), $V_{\text{fresh}}$ 为该批次产品的新鲜水量( $\text{m}^3$ ), $WF_{\text{grey}}$ 为该批次产品的灰水足迹( $\text{m}^3$ ), $WF_{\text{matter}}$ 为该批次产品的材料水足迹( $\text{m}^3$ ), $Y$ 为该批次产品的产量(lb)。

### 2.3.1 新鲜水

新鲜水量是用该批次产品的生产、公共及运输各环节中的取水量减去废水排放量( $V_{\text{eff}}, \text{m}^3$ )计算得到<sup>[13]</sup>:

$$V_{\text{fresh}} = \sum (V_{\text{draft}} - V_{\text{eff}})$$

式中, $V_{\text{draft}}$ 是该批次产品的生产、公共及运输各环节中的取水量( $\text{m}^3$ ), $V_{\text{eff}}$ 是该批次产品生产过程中排放的废水量( $\text{m}^3$ )。

### 2.3.2 灰水足迹

灰水足迹通过用生产该批次产品过程中排放的污染物负荷除以接受水体的环境水质标准浓度和接受水体本身的自然浓度之差得出<sup>[13]</sup>:

$$WF_{\text{grey}} = \frac{L}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} = \frac{V_{\text{eff}} \times (C_{\text{eff}} - C_{\text{nat}})}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

式中, $L$ 是生产该批次产品过程中排放的污染物负荷( $\text{mg}$ ); $C_{\text{max}}$ 是最大可接受浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ ); $C_{\text{nat}}$ 是接受水体的自然浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ ); $C_{\text{eff}}$ 是废水中污染物的浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )。

### 2.3.3 材料水足迹

材料水足迹是该批次产品生产过程中消耗所有材料中隐含的工业水足迹包括能源(一级能源、二级能源)、工业原料、辅料、添加剂、机械设备及办公耗材等。公式计算<sup>[13]</sup>:

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

式中, $M$ 是材料的消耗量,计量单位需根据具体的材料类型确定。 $i$ 表示该批次产品生产整个的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,指单位材料生产所消耗的工业水足迹。 $M_i$ 是该批次产品生产过程中消耗的第 $i$ 种材料量, $l_i$ 是第 $i$ 种材料工业水足迹转换系数。

## 2.4 数据来源

### 2.4.1 相关蒸汽、能源等材料的水足迹核算

由于纺织品生产涉及的各种材料的工业水足迹含量目前还没有任何可借鉴的评估结果。本研究对纺织品生产过程中涉及到的蒸汽、煤、电、汽油、柴油等的5种主要材料进行了生命周期分析和工业水足迹核算。

#### (1) 直接水足迹的计算

首先通过分析5种材料的生命周期,确定其工业水足迹核算的边界、框架和内容;其次,通过查阅文献及调查访问确定各种材料不同生产环节的耗水量<sup>[14-18]</sup>,从而估算出蒸汽、煤、电、汽油、柴油等5种材料的蓝水足迹;再次,根据2000—2009年《中国环境年鉴》与《中国环境统计年鉴》中煤、电及化工行业的年废水排放量与污染物排放量推算出各行业年均废水排放量以及污染物浓度,选取化学需氧量(COD)作为核算灰水足迹的污染物指标,依据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)<sup>[19]</sup>,假设自然水环境恰好满足IV类水质要求,最大可接受污染物指标以V类水水质为准,由此估算出蒸汽、煤、电、汽油、柴油等五种材料的灰水足迹。

#### (2) 间接工业水足迹的计算

依据各类能源的标煤折算系数,将材料生产过程中消耗的能源统一折算成原煤量,再根据原煤的直接水足迹(蓝水足迹与灰水足迹)以及原煤生产过程中的能源消耗量,利用工业水足迹计算模型<sup>[13]</sup>得到原煤工业水足迹,进而推算其他能源的工业水足迹(表 1)。

表 1 材料水足迹系数表

Table 1 Material water footprint

能源 Energy	水足迹 WF		
	蓝水足迹 Blue WF	灰水足迹 Grey WF	水足迹 WF
标煤 Standard coal/(m <sup>3</sup> /t)	0.68	2.88	3.56
电力 Electric power/(m <sup>3</sup> /kWh)	2.6×10 <sup>-3</sup>	1.5×10 <sup>-3</sup>	4.1×10 <sup>-3</sup>
蒸汽 Steam/(m <sup>3</sup> /t)	1.31	0.26	1.57
车用汽油 Gas oil for vehicle/(m <sup>3</sup> /t)	0.71	2.75	3.46
柴油 Diesel oil/(m <sup>3</sup> /t)	1.32	5.05	6.37

表 2 我国典型棉纺织产品的工业水足迹

Table 2 Industrial water footprint (IWF) of typical cotton textiles in China

布类 Cloth	颜色 Color	直接工业水足迹 Direct IWF/(L/lb)			间接工业水足迹 Indirect IWF/(L/lb)			工业水足迹 IWF/ (L/lb)
		蓝水足迹 Blue WF	灰水足迹 Grey WF	合计 Direct WF	生产工业水足迹 Production WF	公共及运输工业水足迹 Public department and transportation WF	合计 Indirect WF	
漂白布 Bleached cloth		20.40	9.66	30.06	5.88	0.57	6.45	36.51
花灰布 Heather grey		22.40	10.61	33.01	4.26	0.57	4.83	37.84
染色布 Dyed fabric	浅色	25.10	11.89	36.99	7.12	0.57	7.68	44.68
	中色	36.80	17.43	54.23	7.58	0.57	8.15	62.38
色织布 Yarn-dyed fabric	深色	46.20	21.88	68.08	8.85	0.57	9.41	77.50
	浅色	42.60	20.18	62.78	11.62	0.57	12.19	74.97
	中色	45.30	21.45	66.75	13.10	0.57	13.67	80.42
	深色	50.40	23.87	74.27	14.29	0.57	14.86	89.13

WF:水足迹 Water Footprint;IWF:工业水足迹 Industrial Water Footprint

### 3.2 分析与讨论

#### 3.2.1 产品工业水足迹

从核算结果可以看出,4种典型棉纺织产品的工业水足迹,由大到小依次为,色织布>染色布>花灰布>漂白布。色织布的工业水足迹平均为 81.51L/lb;染色布 61.52L/lb;花灰布 37.84L/lb;漂白布 36.51L/lb。从具体生产工艺过程更为细致地考察造成不同类型产品工业水足迹之间差异的原因:①漂白布与花灰布的生产工序相似,且耗水及耗蒸汽和能源的工序基本相同,因此二者的工业水足迹差异不大;且与染色布、色织布相比,其生产工艺相对

#### 2.4.2 生产数据

核算中使用的生产数据来自于生产企业的现场调查和数据收集,其中包括各工艺单元中的水资源、煤、电、蒸汽的消耗量及产品质量损失;排放废水水质的监测数据及经污水处理厂处理后(即排向自然水体前)的水质;各类产品年产量;生产、公共及系统内部运输环节中煤、汽油、柴油等的消耗量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 结果

本研究核算了漂白布、染色布、色织布、花灰布等 4 种典型棉纺织产品的工业水足迹。结果如表 2 所示。

简单、质量损失较小,因此在 4 种产品中,漂白布与花灰布的工业水足迹相对较小。②与漂白布的生产工艺相比,染色布的工艺更加复杂。漂白布只需将胚布漂成要求的白度,而染色布则是在漂白处理后,再利用染料、助剂对胚布进行染色,因此需要消耗的更多的水、蒸汽、能源及其它物质,进而导致染色布的工业水足迹相对较大。③与其它 3 种产品不同,色织布的工业生产过程需要经过两次染色,且每次染色都需要经过煮、练、漂及多道洗水过程。因此,4 种产品中色织布的工业水足迹最大。

对深、中、浅不同颜色的染色布与色织布的工业

水足迹进行比较,可以看出,同类型但不同颜色产品的工业水足迹,由大到小依次为深色>中色>浅色,即颜色越深对水资源的消费程度越大。分析产生这一差异的主要原因在于,纺织品染色或漂白过程都需要在水浴条件下进行,但不同产品生产对染色时间、洗水次数和水温等条件的要求存在很大差异。等质量的同类型产品,颜色越深的产品生产过程中要求的洗水次数越多,对水资源的直接需求量越大,从而导致蓝水足迹越大。另外,洗水次数的越多,加热的时间就越长,消耗的蒸汽量越多,设备运转消耗的电量越大,因此产生的间接水足迹就越大。

分析不同产品工业水足迹构成的差异,4种棉纺织产品的工业水足迹都是直接工业水足迹所占比重较大(图4),间接工业水足迹相对较小。直接工业水足迹与间接工业水足迹的比例关系:漂白布为4.66:1;花灰布为6.83:1;染色布为6.31:1;色织布为5.00:1。

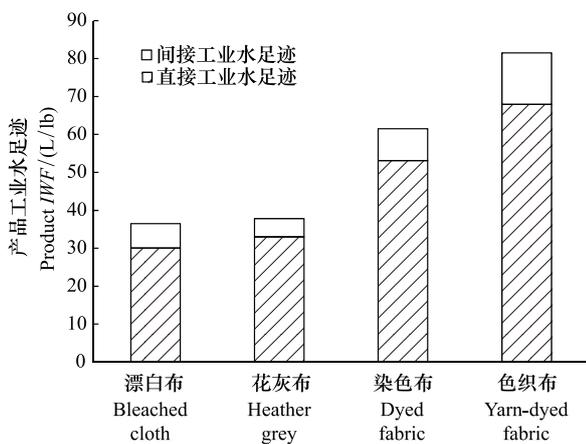


图4 产品工业水足迹

Fig.4 Industrial water footprint(IWF) of products

WF:水足迹(Water Footprint);IWF:工业水足迹(Industrial Water Footprint)

### 3.2.2 直接工业水足迹构成

4种产品的直接工业水足迹由大到小依次为:色织布>染色布>花灰布>漂白布;直接工业水足迹最大的色织布是最小的漂白布的2.23倍。对其构成进行比较分析(图5),可以看出,4种产品均是蓝水足迹所占比重较大,灰水足迹占比相对较小。

由于目前工厂计量与监测的基础条件限制,无法直接测量纺织品工业生产阶段各工序的废水产生量及水质情况;另外,由于所有工序排出的废水均将汇入工厂的废水处理设施进行统一处理后一并排

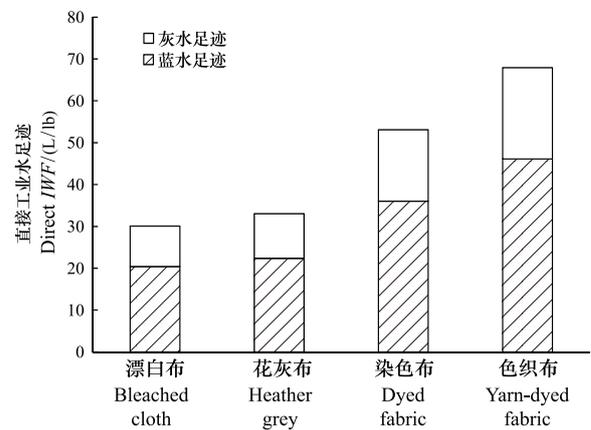


图5 直接工业水足迹

Fig.5 Direct industrial water footprint (IWF) of products

出,灰水足迹的核算无法按照工序废水产生的情况进行详细计算。因此,本研究在核算灰水足迹时,先利用工厂污水处理厂进出口水量、水质数据,核算出总的灰水足迹,然后依据各产品的蓝水足迹,将总的灰水足迹分摊到各产品。按照这种方法得到的各产品灰水足迹的核算结果,能够客观地反映灰水足迹与蓝水足迹的比例关系,以及产品总的水足迹大小,但并无法区分不同工序在排水系数和水质影响方面的差异。

### 3.2.3 间接工业水足迹构成

间接工业水足迹核算的结果涵盖了生产部门消耗的蒸汽和电,以及公共及运输环节消耗的煤、汽油与柴油中隐含的工业水足迹。结果显示(图5):各产品的间接水足迹由小到大依次为花灰布<漂白布<染色布<色织布;比例关系为1:1.34:1.74:2.81。间接水足迹的构成中,生产部门产生的间接水足迹比重较大,公共及运输环节的产生的间接工业水足迹比重很小,其差异对产品总的工业水足迹核算结果不产生显著影响。

由产品间接水足迹的核算方法可知,四种产品间接水足迹之所以存在差异,主要是由于各产品生产过程中消耗的蒸汽量与电量的不同。比较来自于用蒸汽和电的间接水足迹的比例关系:花灰布为1.67:1、漂白布为2.66:1、染色布为3.19:1、色织布为1.68:1,可以看出,蒸汽是造成产品间总的间接水足迹差异的控制性因素。纺织品生产过程中消耗的蒸汽主要是在煮、链、漂、染色与洗水过程中用于给水浴设备中的水和产品进行加热。染色布与色织布的工艺链中都包括染色过程,且色织布要经过两次染

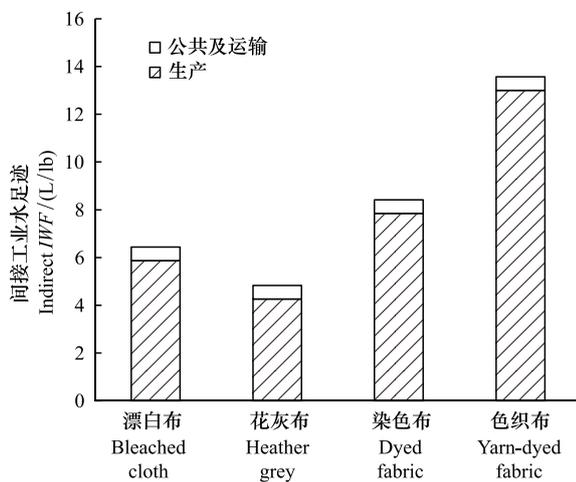


图6 间接工业水足迹

Fig.6 Indirect Industrial Water Footprint (IWF) of Products

色,因此较之于花灰布和漂白布,二者生产过程中对蒸汽的消耗量较多,相应的间接工业水足迹较大。另外,不同产品用电量的差异主要是由于占用设备时间的长短不同。四种产品中,漂白布与花灰布的生产工艺链较短,用于机械运转的电能消耗较少,二者相应的间接工业水足迹较小;色织布的生产工艺最为复杂,因而其间接工业水足迹最大。

#### 4 结论

本研究可得出以下结论:

(1)本研究建立的纺织品工业水足迹评价方法和相关参数,能够满足纺织品工业水足迹评价的要求,评价结果能够反映纺织品工业水足迹强度和差异,具有较好的可操作性和准确性,为纺织品工业水足迹评价提供了方法支持。

(2)4种典型棉纺织品的工业水足迹由大到小依次为:色织布>染色布>花灰布>漂白布。色织布的工业水足迹平均为81.51L/lb;染色布的工业水足迹平均为61.52L/lb;花灰布的工业水足迹为37.84L/lb;漂白布的工业水足迹为36.51L/lb。同种产品不同颜色相比较,深色产品的工业水足迹大于浅色产品。

(3)从纺织品工业水足迹构成来看,直接工业水足迹比重较大、间接工业水足迹占比较小;蓝水足迹对直接工业水足迹的贡献较大,灰水足迹相对较小;间接工业水足迹的构成主要以生产部门产生的工业水足迹为主,公共及运输环节产生的间接工业水足迹所占比重很小。

(4)从评价结果可以看出:对于生产企业,加强纺织品工业生产过程中的水资源管理、降低产品水足迹的关键环节在于加强生产工艺各工序用水的精细化管理,提高工序间水的循环利用率,提升工序节水的技术和管理水平,提高用水效率;另外,加强工业废水治理,减少排水和提高排水水质,降低工业废水排放对水环境的影响。对于消费者而言,选择浅色的纺织品,意味着选择水足迹较低的产品,更有利于水资源的节约和保护。

#### References:

- [1] Hoekstra A Y. Virtual water trade: proceedings of the international expert meeting on virtual water trade // Hoekstra A Y, ed. Value of Water Research Report Series No. 12. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE, 2003. [2013-2-20]. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf>.
- [2] State Council. Textile industry restructuring and revitalization plan. [2013-2-20] [http://www.gov.cn/zwqk/2009-04/24/content\\_1294877.htm](http://www.gov.cn/zwqk/2009-04/24/content_1294877.htm)
- [3] Hoekstra A Y. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, 2009, 68(7): 1963-1974.
- [4] Hoekstra A Y, Hung Q P. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade // Hoekstra A Y, ed. Value of Water Research Report Series No. 11. Delft. The Netherlands: UNESCO-IHE, 2002. [2013-3-20]. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>.
- [5] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, Mekonnen M M. *Water Footprint Manual: State of the Art 2009*. Enschede, the Netherlands: Water Footprint Network, 2009.
- [6] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, Mekonnen M M. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London, UK: Earthscan, 2011.
- [7] Chapagain A K, Hoekstra A Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics*, 2007, 64(1): 109-118.
- [8] Chapagain A K, Hoekstra A Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 2011, 70(4): 749-758.
- [9] Mekonnen M M, Hoekstra A Y. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products // Value of Water Research Report Series No. 48. Delft. The Netherlands: UNESCO-IHE, 2010. [2013-2-20]. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>.
- [10] Huang J, Song Z W, Chen F. Characteristics of water footprint and agricultural water structure in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*,

- 2010, 30(23): 6546-6554.
- [ 11 ] van Oel P R, Hoekstra A Y. The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification // Value of Water Research Report Series No. 46. Delft. The Netherlands; UNESCO-IHE, 2010. [ 2013- 2- 20 ]. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report46-WaterFootprintPaper>.
- [ 12 ] Mekonnen M M, Hoekstra A Y. The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16(1): 179-187.
- [ 13 ] Jia J, Yan Y, Wang C X, Liang Y J, Zhang Y J, Wu G, Liu X L, Wang L H, Du C. The estimation and application of the water footprint in industrial processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6558-6565.
- [ 14 ] Zhuang X, Jiang K J. Energy content analyses of coal product from coal-mine to consumer. *Energy of China*, 2009, 31(9): 30-35.
- [ 15 ] Shen M Z, Han M L. Environmental pollution and water resources utilization in coal-fired power industry. *China Environmental Protection Industry*, 2011, (1): 43-48.
- [ 16 ] Qiu J, Huang B S, Ma R, Ji H X. Rationality analysis of water utilization in a coastal nuclear power plant. *Guangdong Water Resources and Hydropower*, 2010, (10): 4-8.
- [ 17 ] Xiang X M, Zhou X B, Zhou J T. Study of virtual water calculation method of industrial products. *Journal of Dalian University of Technology*, 2006, 46(2): 179-184.
- [ 18 ] Zhu Y Q, Song Y C, Li H S, Li B G. Technology for reducing water consumption and waste discharge in refinery. *Petroleum Processing and Petrochemicals*, 2006, 37(6): 66-69.
- [ 19 ] Ministry of Environmental Protection, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. *Environmental Quality Standard for Surface Water (GB3838-2002)*. 2002. [ 2013- 2- 20 ] <http://www.nbepb.gov.cn/UploadFiles/lan2/200575155731427.pdf>

#### 参考文献:

- [ 2 ] 国务院办公厅. 纺织工业调整和振兴规划 [ 2013- 2- 20 ] [http://www.gov.cn/zwjk/2009-04/24/content\\_1294877.htm](http://www.gov.cn/zwjk/2009-04/24/content_1294877.htm)
- [ 10 ] 黄晶, 宋振伟, 陈阜. 北京市水足迹及农业用水结构变化特征. *生态学报*, 2010, 30(23): 6546-6554.
- [ 13 ] 贾佳, 严岩, 王辰星, 梁玉静, 张亚君, 吴钢, 刘馨磊, 王丽华, 杜冲. 工业水足迹评价与应用. *生态学报*, 2012, 32(20): 6558-6565.
- [ 14 ] 庄幸, 姜克隽. 煤炭产品从矿井到用户的能源含量分析. *中国能源*, 2009, 31(9): 30-35.
- [ 15 ] 沈明忠, 韩买良. 火力发电行业的环境污染与水资源利用. *中国环保产业*, 2011, (1): 43-48.
- [ 16 ] 邱静, 黄本胜, 马瑞, 吉红香. 滨海核电厂用水合理性分析. *广东水利水电*, 2010, (10): 4-8.
- [ 17 ] 项学敏, 周笑白, 周集体. 工业产品虚拟水含量计算方法研究. *大连理工大学学报*, 2006, 46(2): 179-184.
- [ 18 ] 朱印全, 宋以常, 酆和生, 李本高. 炼油系统节水减排技术措施及效果. *石油炼制与化工*, 2006, 37(6): 66-69.
- [ 19 ] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. *地表水环境质量标准(GB3838-2002)*, 2002.