



The Water Footprint Assessment Manual

Setting the Global Standard

水足迹评价手册

〔荷〕 Arjen Y. Hoekstra

〔尼〕 Ashok K. Chapagain

〔西〕 Maite M. Aldaya

〔埃塞〕 Mesfin M. Mekonnen 著

刘俊国 曾 昭 赵乾斌 马 坤 臧传富 译



科学出版社

水足迹评价手册

〔荷〕 Arjen Y. Hoekstra
〔尼〕 Ashok K. Chapagain 著
〔西〕 Maite M. Aldaya
〔埃塞〕 Mesfin M. Mekonnen

刘俊国 曾 昭 赵乾斌 译
马 坤 臧传富

科 学 出 版 社

北 京

图号: 01-2012-0547 号

内 容 简 介

作为国际上第一本专门针对水足迹的评价手册,本书从水足迹概念入手,系统阐述了水足迹评价的四个步骤:设定目标和范围、核算水足迹、评价水足迹可持续性和制定水足迹响应方案,并为每个步骤以及各种类型的水足迹评价制定了完整的国际标准,包括直接水足迹,间接水足迹,蓝水、绿水、灰水足迹,过程水足迹,产品水足迹,消费者水足迹,区域水足迹,国家水足迹,流域水足迹,企业水足迹等。

本书可作为水文水资源、生态学、环境科学领域研究生和本科生的参考书,对于关注水资源管理的政府工作者、认证机构人员、企业人士以及公众也具有参考和指导作用。

Copyright © Water Footprint Network 2011

All rights reserved.

The water footprint assessment manual: setting the global standard/Arjen Y.

Hoekstra ... [et al.]. p. cm.

Includes bibliographical references and index.

ISBN 978-1-84971-279-8 (hardback)

图书在版编目(CIP)数据

水足迹评价手册 / (荷) 胡克斯特拉 (Hoekstra, A. Y.) 等著. 刘俊国等译.
—北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-034960-6

I. ①水… II. ①胡…②刘… III. ①水资源-资源评价-手册 IV. ①TV211.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 134063 号

责任编辑: 韦 沁 朱海燕 / 责任校对: 宣 慧

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 10 1/2

字数: 210 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

译者前言

2011年,《水足迹评价手册》英文版正式出版。出版后不久,作者之一阿尔杰恩·胡克斯特拉(Arjen Y. Hoekstra)教授就跟我联系,希望把这本书翻译成中文。我对待出书非常谨慎,熟悉我的人都知道迄今为止我尚未出版过任何一本专著或译著,但这一次我爽快地答应了阿尔杰恩·胡克斯特拉教授的要求。我在2010年就曾有机会拜读《水足迹评价手册》英文版初稿,并参与了该手册的专家评审工作。我深知作为首部水足迹评价的国际标准的著作,该手册具有不可替代的独特价值,这种价值也恰是当前我国实行最严格水资源管理制度所需要的。

本书的价值充分体现在它的创新性、全面性、前沿性、启发性和权威性五个特点上。本书的第一个特色是创新性。水足迹概念的提出本身就是一个创新。这个概念是阿尔杰恩·胡克斯特拉教授于2002年提出的一个衡量用水的指标,指一个国家、一个地区或一个人,在一定时间内消费的所有产品和服务所需要的水资源总量。水足迹的概念一经提出,就受到了学术界、国际机构、商界以及公众的广泛关注。这种蓬勃发展的势头不仅得益于水足迹概念的直观性,而且还得益于它弥补了以往水资源核算方法的不足。水足迹评价的对象不仅包含储存在河流、湖泊、湿地以及浅层地下水层中的蓝水资源(即“蓝水足迹”),还包括储存在非饱和土壤层中并通过植被蒸散消耗掉的绿水资源(即“绿水足迹”)以及由于污染所引起的“灰水足迹”。水足迹创造性地把各种“颜色”的水整合在一起,弥补了传统水资源核算中只重视蓝水的缺点。水足迹的另一个创新之处在于它包含了两种独特的思维方式,即“人类对淡水生态系统的影响最终与人类消费方式密切相关”和“从供应链整体出发能够更加全面理解水资源短缺和水污染”。“水足迹”概念的提出引发了科学界对水资源评价的重新思考,并已经影响到人类对水资源管理模式的思考方式。

本书的第二个特色在于它的全面性。《水足迹评价手册》涵盖了过程水足迹、产品水足迹、消费者水足迹、区域水足迹、国家水足迹、流域水足迹、企业水足迹等定义及核算方法,作者详细介绍了直接水足迹,间接水足迹,蓝水、绿水和灰水足迹以及水足迹可持续性概念及评价方法。该手册不仅汇总了阿尔杰恩·胡克斯特拉教授研究团队过去10年间的研究成果,而且充分借鉴了全球其他学者的水足迹相关研究成果。手册出版前还邀请水足迹网络所有合作伙伴提出了宝贵的意见。可以说,该手册的出版凝聚了全球数百位从事水足迹研究的专业人士的心血。阅读该手册,读者可以对水足迹研究有一个全面透彻的了解,能体验到“春风得意马蹄疾,一日看尽长安花”的快感。

本书的第三个特色是前沿性。自水足迹概念提出以后,水足迹的研究与应用如雨后春笋般蓬勃发展起来。尤其是以阿尔杰恩·胡克斯特拉教授为首的研究团队,近十年来紧密围绕水足迹的各种科学问题开展了大量的前沿性研究。本书在全面介绍水足迹研究的同时,也重点介绍了水足迹最新研究进展,如水污染所引起的灰水足迹的评价方法以及水足迹可持续评价等。2010年成立了由水足迹网络成员和特邀专家组成的灰水足迹工作组和可持续评价工作组。在充分借鉴最新科学出版物和专家经验的基础上,两个工作组分别对灰水足迹评价方法和水足迹可持续评价方法进行了系统的研究。《水足迹评价手册》将两个工作组最新的研究成果毫无保留地呈献给了读者,可以满足大家渴求新知和先睹为快的需求。

本书的第四个特色是启发性。水足迹对于很多人还是一个新鲜事物,前期很多研究不可避免地带有一些探索性的成分,如灰水足迹的评价,其评价方法尚未完全成熟。对于这些尚未成熟的研究,作者在给出自己解决方案的同时也毫不避讳地谈论其方案的局限性。通读本书,读者能够体验到作者的思索过程,而且作者的思索和疑问也会不断地启迪读者的思路,让我们有了更多思考和深入研究的空间。

本书还有一个不可忽视的特色是作者的权威性。阿尔杰恩·胡克斯特拉是特文特大学著名的水资源管理教授及水足迹网络科学主任,素有“水足迹之父”的称号。阿尔杰恩·胡克斯特拉教授是水足迹概念的引入者和水足迹研究的主要推动者,在国际学界、商界甚至政界都具有重要的影响力。阿尔杰恩·胡克斯特拉教授已经在顶级学术刊物发表大量水足迹方面的科技论文,其中包括在《美国国家科学院院报》上发表两篇原创性文章。本书的其他三位作者也都是在特文特大学或水足迹网络长期从事水足迹研究的学者。

鉴于本书的上述五个特色,我们希望该书中文版的问世将推进中国水足迹和水资源管理的发展。

当然,任何书都不是完美无缺的。对于中国的读者,该书的主要不足之处是专门针对中国水足迹的分析案例不多。尽管其中很多案例使用的方法具有普遍性和很好的参考价值,但毕竟与我们还有一定的距离。希望下一版本的《水足迹评价手册》能够加入更多的“中国元素”。当然,这离不开中国学者及社会各界人士持续关注水足迹的发展,并为之作出长期不懈的努力。

《水足迹评价手册》是一本启迪思路、雅俗共赏的读物。对于国际组织、学校、科研机构的学者或专业人士,这是一本涉及水文水资源、生态学、环境科学等多学科的专业书;对于学生,这是一本深入浅出的教科书;对于管理者,这是一本启迪水资源管理思路、建设节水型社会的哲学书;对于认证机构,这是全球首部有关水足迹的国际标准手册;对于企业人士,这是一本了解企业水风险与机遇、增强企业参与水资源管理能力和加强企业社会责任的工具书;对于公众,这又是一本了解水足迹、增强节约用水意识的科普书。

2011年我国发布中央1号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》，这是新中国成立以来中共中央首次系统部署水利改革发展全面工作的决定，也是我国首次将水利改革提升到关系经济安全、生态安全、国家安全的战略高度。中央1号文件和同年召开的中央水利工作会议以及2012年发布的《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》都明确要求在我国实行最严格的水资源管理制度。在全国上下普遍关注水利事业的黄金时刻，我们相信这本中文版的《水足迹评价手册》一定会为我国的水资源综合管理提供前沿的知识、独特的视角和崭新的思路。

本书的中文翻译是集体合作的结晶。全书翻译工作由刘俊国主持、校译，并协调全书统稿和整理修订。初稿由以下学者完成：马坤（前言、第5章、第6章、第8章及附录V）、臧传富（第1章、附录I及附录VI）、曾昭（第2章、第3章、第7章及附录IV）、赵乾斌（第4章、附录II及附录III）。参加者有年轻教师和在校硕士、博士研究生。翻译工作是我们强化学生专业知识和外语能力的一次成功尝试。赵旭博士在初稿翻译的基础上提出了大量宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。翻译工作也得到了水足迹网络、国家林业行业公益性专项(201204204)和国家自然科学基金(91025009;41161140353)的大力资助。

当然，由于译者水平有限，书中不妥之处在所难免。希望读者予以批评指正！

北京林业大学水文水资源教授、博士生导师 刘俊国

2012年5月13日于北京

前 言

本手册是由水足迹网络(Water Footprint Network, WFN)制定的水足迹评价国际标准,涵盖了水足迹的定义及计算方法,阐述了如何计算各个过程、产品、消费者、国家和企业的水足迹,同时也介绍了水足迹可持续评价的方法以及水足迹响应方案库。

当前,企业和政府对以水足迹评价为基础制定可持续用水战略和政策越来越感兴趣。在此背景下,制定水足迹定义和计算方法的共同标准极为关键。

本手册按照 WFN 的要求编写完成,是对 2009 年 11 月 WFN 出版的《水足迹手册》(Hoekstra et al., 2009a)的更新、修订以及扩展,是在与合作伙伴及全球研究人员进行磋商后完成的。在《水足迹手册》出版后,我们邀请合作伙伴对手册提出了反馈意见。此外,我们还成立了由水足迹网络成员和特邀专家组成的两个工作组。前一个工作组讨论灰水足迹问题(Zarate, 2010a),后一个工作组讨论水足迹可持续评价问题(Zarate, 2010b)。另外,一些合作伙伴还发起 WFN 合作试点项目,旨在探索采用水足迹理念制定企业水战略或者特定地理环境下水资源管理政策。在收到来自包括新科学出版物、水足迹应用示范项目经验以及水足迹工作组报告等各方面反馈意见的基础上,WFN 起草了新版本的初稿。WFN 的同行评议专家委员会审阅了初稿,并提出了具体的修订建议。综合各方意见和建议,我们终于完成了本手册的编写工作。

该版本将在适当的时候进行修订。水足迹在全球迅速发展,涌现出越来越多的水足迹评价项目,涉及所有经济部门,覆盖了各大洲。为了从正在进行的各项水足迹试点项目及最新科学出版物中得到经验,WFN 诚邀各方合作伙伴及非合作伙伴对本手册提供反馈意见。我们希望充分借鉴在不同环境下或出于不同目的而得出的水资源评价经验,进一步完善水足迹评价方法,以使其更好地服务于各种目的。我们同时也会努力保持评价方法的连贯性、一致性和严谨性。

Joop de Schutter

水足迹网络监督管理委员会主席

致 谢

本手册的编写得到了许多组织和个人的大力帮助。首先,我们要感谢 WFN 的所有合作伙伴,他们为水足迹概念的完善作出了许多贡献。我们还要感谢以下 130 个组织以及 WFN 的所有合作伙伴(截至 2010 年 10 月 16 日):ADAS 公司(英国),Adecagu 水质保护协会(西班牙),Allenare Consultores 公司(墨西哥),水资源管理联盟(美国/澳大利亚),AmBev 公司(巴西),APESA 公司(法国),奥雅纳全球公司(英国),Floconàla Vague 协会(法国),ATA 公司(巴西),奥地利国家技术研究院(奥地利),百味来公司(意大利),北京林业大学(中国),Bianconi 咨询公司(英国),Bionova 公司(芬兰),Blonk Milieu Advies 公司(荷兰),C&A 公司(德国),马德里理工大学农业和环境风险管理研究中心(CEIGRAM)(西班牙),可持续发展战略研究中心(葡萄牙),气候变化委员会(菲律宾),可口可乐瓶装公司(希腊),欧洲纸业联盟(比利时),水资源咨询委员会(墨西哥),保护国际(美国),CREM BV 顾问公司(荷兰),可持续发展与优质中心(希腊),CSQA 认证中心(意大利),塞浦路斯科技大学(塞浦路斯),Decide Soluciones Estratégicas 公司(墨西哥),登科思达特公司(奥地利),荷兰德和威(DHV)工程咨询有限公司(荷兰),荷兰水务部(荷兰),都乐食品公司(美国),瑞士联邦水科学和技术研究所(Eawag)(瑞士),Ecolife(比利时),欧洲环境政策生态学研究所(德国),东非生态学会(肯尼亚),Ecometrica 公司(英国),EcosSistemas Sustainable Solutions 公司(巴西),欧洲地中海水信息系统(EMWIS)(法国),Enzen Water 公司(英国),葡萄牙 EPAL 公司(葡萄牙),Fibria Celulose 公司(巴西),第一气候组织(德国),花荷鲜花拍卖公司(荷兰),食品饮料联合会(英国),CENTA 水技术创新基金会(西班牙),智利基金会(智利),Geoklock 环保咨询公司(巴西),环球足迹网络(美国),恩典传播基金会 GRACE(美国),绿色承诺(智利),荷隆美集团(荷兰),喜力集团 Heineken(荷兰),iMdea 水基金会(西班牙),可持续土地管理研究所(德国),国际金融公司(美国),国际水资源管理研究所(斯里兰卡),吉安灌溉系统公司(印度),Jutexpo 公司(英国),金斯顿大学(英国),水循环研究所(KWR)(荷兰),拉法基集团(法国),波茨坦-伯尔尼姆莱布尼茨农业技术研究所(德国),LimnoTech 公司(美国),Live Earth 组织(美国),Marcelino Botín 基金会水观测站(西班牙),梅西大学土壤和地球科学组(新西兰),McCain 食品公司(法国),密歇根理工大学水和社会研究中心(美国),美国国家地下水协会(美国),国立科尔多瓦大学(阿根廷),大自然化妆用品公司(巴西),雀巢公司(瑞士),荷兰水合作协会(荷兰),Next

Planet ASBL 组织 (比利时), Oranjewoud 酒店 (荷兰), 太平洋发展环境与安全研究所 (美国), 创新伙伴 (荷兰), PE 国际集团 (德国), People 4 Earth 组织 (荷兰), 百事公司 (美国), 新西兰皇家植物与食品研究所 (新西兰), PRé Consultants 公司 (荷兰), 上艾瑟尔省普华永道会计师事务所 (荷兰), PTS 造纸技术基金会 (德国), 金字塔资源可持续开发有限公司 (澳大利亚), Quantis 公司 (瑞士), Química del Campo 公司 (智利), Raisio 公司 (芬兰), 领德高房地产发展有限公司 Redevco (荷兰), 雷诺公司 (法国), RodaxAgro 公司 (希腊), 荷兰皇家瑞豪集团 (荷兰), 英国南非米勒酿酒公司 (英国), 安全饮用水基金会 (加拿大), 可持续欧洲研究所 (奥地利), 智能认证水印 (澳大利亚), Soil & More International 公司 (荷兰), Source 44 数据管理公司 (美国), 斯道拉·恩索集团 (瑞典), Summa 环境技术公司 (厄瓜多尔), 瑞士发展合作署 (瑞士), 可口可乐公司 (美国), 大自然保护协会 (美国), Tobco 公司 (比利时), 联合国环境规划署 (法国), 联合国教科文组织水教育学院 (荷兰), 联合利华 (英国), 智利大学 (智利), 奥地利自然资源与应用生命科学大学 (奥地利), 圣保罗大学圣卡洛斯分校的工程学院 (巴西), 圣保罗大学 GovAgua 组 (巴西), 锡耶纳大学 (意大利), 东京大学 (日本), 特文特大学 (荷兰), 西班牙萨拉戈萨大学 (西班牙), 芬欧汇川集团 (芬兰), URS 优斯咨询有限公司 (英国), 美国国际开发总署 (美国), 荷兰水公司协会 (荷兰), 干露酒庄 (智利), 蒂玛尼酒庄 (智利), 伊拉苏酒庄 (智利), 水中立基金会 (南非), Water Strategies 公司 (英国), 生态健康联盟 (美国), 世界可持续发展工商理事会 (瑞士), 全球环境保护组织 WWF (瑞士) 和零排放科技公司 (西班牙)。

感谢 WFN 灰水足迹工作组成员, 他们认真审查了灰水足迹概念, 并对改进定义和指导方针提出了宝贵意见: Jose Albiac (阿拉贡食品技术研究中心, 西班牙), Maite Aldaya (特文特大学, 荷兰), Brent Clothier (新西兰皇家植物与食品研究所, 新西兰), James Dabrowski (澳大利亚联邦科学与工业研究组织, 南非), Liese Dallbauman (百事公司, 英国), Axel Dourojeanni (智利基金会, 智利), Piet Filet (世界自然基金会, 澳大利亚), Arjen Hoekstra (特文特大学, 荷兰), Mark Huijbregts (内梅亨大学, 荷兰), Marianela Jiménez (雀巢公司, 瑞士), Greg Koch (可口可乐公司, 美国), Marco Mensink (欧洲纸业联盟, 比利时), Angel de Miguel García (水基金会, 西班牙), Jason Morrison (太平洋研究院, 美国), Juan Ramon Candia (智利基金会, 智利), Todd Redder (Limnotech 公司, 美国), Jens Rupp (可口可乐瓶装公司, 希腊), Ranvir Singh (梅西大学, 新西兰), Alistair Wyness (优斯咨询有限公司, 英国), Erika Zarate (水足迹网络, 荷兰), Matthias Zessner (维也纳技术大学, 奥地利) 和 Guoping Zhang (水足迹网络, 荷兰)。

WFN 第二个工作组严格审查, 并且提出提高水足迹可持续性评价方法的建议。感谢小组所有成员: Maite Aldaya (特文特大学, 荷兰), Upali Amarasinghe

(国际水资源管理研究所斯里兰卡), Fatima Bertran (登科思达特环境顾问公司, 奥地利), Sabrina Birner (国际金融公司, 美国), Anne-Leonore Boffi (世界可持续发展工商理事会, 瑞士), Emma Clarke (百事公司, 英国), Joe DePinto (Limnotech 公司, 美国), Roland Fehringer (登科思达特环境顾问公司, 奥地利), Carlo Galli (雀巢公司, 瑞士), Alberto Garrido (马德里理工大学, 西班牙), Arjen Hoekstra (特文特大学, 荷兰), Denise Knight (可口可乐公司, 美国), Junguo Liu (北京林业大学, 中国), Michael McClain (联合国教科文组织水教育学院, 荷兰), Marco Mensink (欧洲纸业联盟, 比利时), Jay O'Keeffe (联合国教科文组织水教育学院, 荷兰), Stuart Orr (世界自然基金会, 瑞士), Brian Richter (大自然保护协会, 美国), Hong Yang (瑞士联邦水科学和技术研究所, 瑞士) 和 Erika Zarate (水足迹网络, 荷兰)。

我们也感谢对本手册的初稿进行审核的科学同行审查委员会的成员: Huub Savenije (代尔夫特理工大学, 荷兰), Alberto Garrido (马德里理工大学, 西班牙), Junguo Liu (北京林业大学, 中国), Johan Rockström (斯德哥尔摩大学 & 斯德哥尔摩环境研究所, 瑞典), Pasquale Steduto (联合国粮食及农业组织, 意大利) 和 Mathis Wackernagel (环球水足迹网络, 美国)。此外, 我们感谢 Brian Richter (大自然保护协会, 美国) 对可持续评价章节初稿的审核。

还有许多对此作出贡献的人——数以百计的通过电子邮件或者个人联系的方式对水足迹概念及应用提出反馈意见的个人和组织, 这里我们不能够一一列举。在此仅对如下人员和组织表示感谢: 联合国粮食及农业组织 (FAO), 尤其是 Giovanni Muñoz 为 CROPWAT 模型提出了宝贵意见; 世界银行研究院, 尤其是 Mei Xie, 致力于组织各种水足迹培训材料; 世界可持续发展工商理事会于 2010 年 3 月在瑞士蒙特勒组织水足迹研讨会; 饮料工业环保圆桌会议调查水足迹对饮料部门的实际意义; 以及 (Soil & More International 公司) 针对作物生产的土地管理对水足迹影响提供大量反馈意见。

感谢作者的单位给予他们足够的时间来准备和编写这本手册: Arjen Y. Hoekstra 和 Mesfin M. Mekonnen 的单位, Maite M. Aldaya 的前单位, 特文特大学; Ashok K. Chapagain 的单位, 世界自然基金会——英国; Maite M. Aldaya 的前单位, 马德里理工大学农业和环境风险管理研究中心; Maite M. Aldaya 现在所在单位, 联合国环境规划署。

最后, 感谢 WFN 所有成员的不断努力, 感谢他们对水足迹概念、应用及传播作出的巨大贡献, 也感谢他们的友谊: Derk Kuiper, Erika Zarate 和 Guoping Zhang, 感谢 Joshua Waweru 和 Joke Meijer-Lentelink 的支持, 感谢 René Buijsrogge 帮助维护水足迹网站。

目 录

译者前言

前言

致谢

缩略词

第 1 章 导论	1
1.1 背景	1
1.2 水足迹的概念	2
1.3 水足迹评价	3
1.4 读者指南	4
第 2 章 水足迹评价的目标和范围	5
2.1 水足迹评价的目标	5
2.2 水足迹核算的范围	7
2.3 水足迹可持续评价的范围.....	10
2.4 水足迹响应方案的范围.....	12
第 3 章 水足迹核算	13
3.1 人类对淡水资源的占用：核算什么？为什么核算？	13
3.2 不同类型水足迹核算的一致性.....	14
3.3 过程水足迹.....	17
3.4 产品水足迹.....	33
3.5 消费者或消费群体的水足迹.....	37
3.6 地理区域内的水足迹.....	38
3.7 国家水足迹核算.....	39
3.8 流域水足迹核算.....	45
3.9 市、省或其他行政单元的水足迹核算	46
3.10 企业水足迹	46
第 4 章 水足迹可持续评价	53
4.1 引言.....	53
4.2 地理可持续发展：流域水足迹可持续评价	55
4.3 过程水足迹的可持续性.....	65
4.4 产品水足迹的可持续性.....	66

4.5	企业水足迹的可持续性	70
4.6	消费者水足迹的可持续性	70
第5章	水足迹响应方案库	72
5.1	责任共担	72
5.2	减少人类水足迹：什么是合理的？	72
5.3	消费者	77
5.4	公司	77
5.5	农民	79
5.6	投资者	80
5.7	政府	81
第6章	水足迹评价的局限性	85
第7章	未来挑战	88
7.1	水足迹评价的方法和数据	88
7.2	不同内容的水足迹应用案例	90
7.3	将水足迹纳入已有的水与环境核算和报告中	91
7.4	水足迹与生态、能源和碳足迹方法的联系	92
7.5	水足迹与物质流分析、投入产出模型和生命周期评价的联系	92
第8章	总结	95
附录 I	用 CROPWAT 模型计算蓝绿水的蒸散发	97
附录 II	计算作物生长的过程水足迹——以西班牙巴利亚多利德的甜菜为例	100
附录 III	产品水足迹的计算——以巴利亚多利德(西班牙)的精制糖生产为例	107
附件 IV	灰水足迹的计算案例	110
附录 V	环境流需求	113
附录 VI	常见问题	115
参考文献		124
符号列表		138
术语表		142

第1章 导 论

1.1 背 景

人类活动会消耗和污染大量的水资源。在全球范围内,农业生产消耗了大部分的水资源,还有相当一部分水资源用于工业生产和人类生活(WWAP, 2009)。水资源的消耗和污染常伴随着特定的人类活动,如灌溉、洗浴、洗涤、清洁、冷却及加工等。一般认为,总的水资源消耗和污染是各种独立的水资源需求和水污染活动之和。然而只有很少的人会关注这样一种事实,水资源的总体消耗和污染最终是与商品消费类型和数量以及提供消费者产品和服务的全球经济的结构密不可分的。之前在水资源管理的科学和实践中,人们很少想到在整个生产和供应链中研究水的消耗和污染。只有少数人意识到水的消耗和污染量以及其时空分布会受到生产和供应链的组织方式及特征的深刻影响,并与最终消费的产品相关联。Hoekstra和 Chapagain (2008)的研究表明,揭示产品背后的虚拟水有助于理解淡水资源的全球属性及消费和贸易对水资源使用的影响。这种深入的理解将为更好地管理全球水资源打下基础。

在全球高耗水产品贸易不断增长的推动下,淡水资源快速转变为一种全球资源。除了地区市场外,高耗水产品如农产品、畜产品、天然纤维和生物能源等还存在一个全球市场。全球贸易使得水资源的使用和消费者在空间上分割开来。以棉花为案例,从产地到最终产品,棉产品的生产要经历许多不同的阶段,这些阶段对水资源产生不同的影响。各种生产阶段通常发生在不同地区,而最终消费往往又发生在其他地区。例如,马来西亚不生产棉花,但从中国、印度和巴基斯坦进口原棉,然后在其纺织工厂内加工棉质服装,并出口到欧洲市场(Chapagain et al., 2006b)。因此,棉花最终产品的消费对全球水资源的影响只有通过考察其供应链并追溯到初始产品才能得以实现。揭示消费和水资源使用背后的联系,有助于确认促进变革的新动因并为新的水资源治理战略奠定基础。最终消费者、零售商以及食品工业和贸易者这些与高耗水产品相关联的群体,以往处于水资源治理的视线之外,如今将成为潜在的“改革参与者”,其角色不仅是直接用水者,也是间接用水者。

1.2 水足迹的概念

Hoekstra 于 2002 年提出了“水足迹”的概念(Hoekstra, 2003),之后这种在整个产品供应链中考虑用水的观点引起了极大的关注。水足迹是一种衡量用水的指标,不仅包括消费者或者生产者的直接用水,也包括间接用水。水足迹可以看做水资源占用的综合评价指标,有别于传统且作用有限的取水指标。一种产品的水足迹指用于生产该产品的整个生产供应链中的用水量之和。它是一个体现消耗的水量、水源类型以及污染量和污染类型的多层面的指标。水足迹的所有组成部分都明确了水足迹发生的时间和地点。蓝水足迹是指产品在其供应链中对蓝水(地表水和地下水)资源的消耗。“消耗”是指流域内可利用的地表水和地下水的损失。当水蒸发、回流到流域外、汇入大海或者纳入产品中时,便产生了水的损失。绿水足迹是指对绿水(不会成为径流的雨水)资源的消耗。灰水足迹是与污染有关的指标,定义为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的体积。

作为一种衡量“用水”的指标,水足迹和传统的“取水”指标在以下三个方面有所不同(图 1.1)。

- (1) 水足迹不包括返回到取水所在流域的蓝水;
- (2) 水足迹不仅包括蓝水,还包括绿水和灰水;
- (3) 水足迹不仅包括直接用水,也包括间接用水。

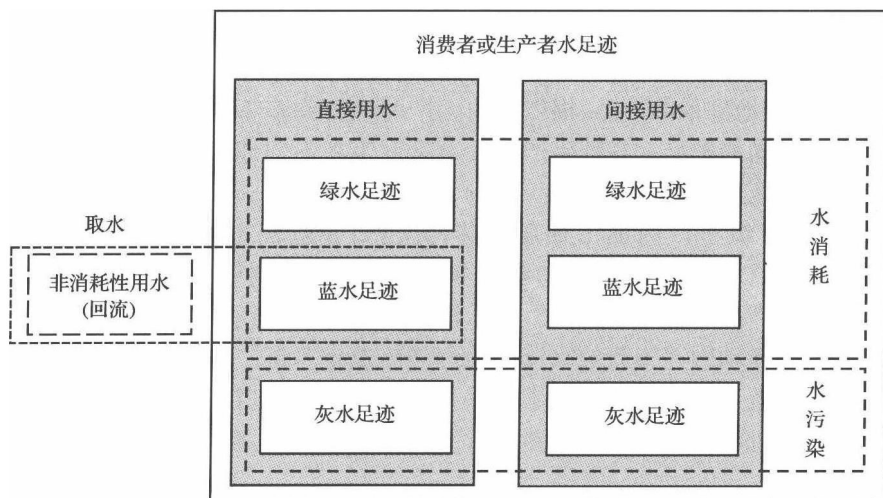


图 1.1 水足迹组成部分示意图

图中显示取水中的非消耗性用水(回流)不是水足迹的一部分;同时可以看出,与计量取水不同,水足迹还包含了直接的绿水和灰水成分以及各种间接用水成分

水足迹为理解消费者和生产者与淡水系统之间的关系提供了更加合理和广阔的视角。它是水消耗和水污染的体积衡量指标,而不是水消耗和水污染对当地环境影响程度的衡量指标。特定数量的水消耗和水污染对当地环境的影响取决于当地水系统的脆弱性及使用此水系统的消费者和生产者数量。水足迹核算为人类各种活动对水资源的占用提供了明确的时空信息。水足迹核算为讨论可持续和公平用水提供了素材,也可为当地环境、社会和经济影响评价奠定良好的基础。

1.3 水足迹评价

水足迹评价包括以下内容:①量化生产过程、产品、生产者或消费者的水足迹及其位置,或量化特定地理区域水足迹及其时空特征;②评价水足迹的环境、社会和经济可持续性;③制定响应方案。从广义上说,水足迹的评价目标是分析人类活动或特定产品与水资源短缺和污染问题之间的相关性,并从水的角度考虑如何使这些活动和产品变得更加可持续。

水足迹评价的内容主要取决于其评价的关注点:可以关注生产链的某个特定过程的水足迹,或是最终产品的水足迹;可以关注消费者、产品或整体经济部门的水足迹;也可以采用地理视角分析不同研究区内的水足迹,如市、省、国家或者流域。研究区内的水足迹是发生在该区域的所有独立过程的水足迹总和。

水足迹评价是一个分析工具,它可以帮助了解人类活动和产品对水资源短缺和污染造成的影响,并提供相应的解决方案,以确保人类活动和产品对淡水的可持续利用。作为一种工具,水足迹评价主要是提供一种视角,它并不告诉人们“该做什么”,但可帮助人们理解能够做什么。

一个完整的水足迹评价包括四个阶段(图 1.2):

- (1) 设定目标和范围;
- (2) 水足迹核算;
- (3) 水足迹可持续评价;
- (4) 制订水足迹响应方案。

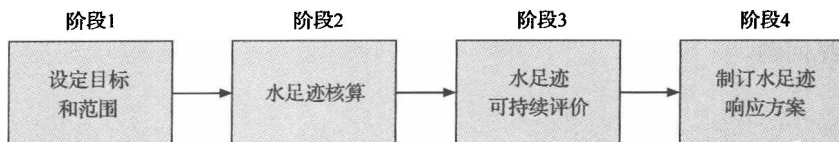


图 1.2 水足迹评价的四个不同阶段

在水足迹评价中为保证评价的透明性,研究者在开始就应设定明确的研究目标和范围。进行水足迹研究可以有许多不同的原因。例如,一国政府可能会关注

本国对外国水资源的依赖程度,或者希望了解高耗水产品进口地区的水资源可持续利用情况;流域管理机构可能希望了解任意时间段中流域内人类活动的总水足迹是否违背了环境流需求或水质标准,或流域内稀缺的水资源有多少被分配给低价值的出口作物;一个公司可能希望了解其供应链对稀缺的水资源的依赖程度,或者怎样才能减少整个供应链及其自身生产过程对水系统的影响。

水足迹核算阶段主要进行数据收集和计算。计算的范围和尺度依赖于先前阶段的决策。核算阶段之后是从环境、社会和经济的角度进行水足迹可持续评价。最后阶段是制订响应方案、战略或政策。研究中不需要包括所有的步骤。在第一阶段确立了研究目标和范围后,可以重点进行水足迹的核算,也可在可持续评价阶段终止以后再进行响应方案的讨论。此外,在实践中,四个阶段的模式并不是一个严格的指令,而是一个指南。经常需要回到前面的步骤或重复某些阶段。起初,一家公司可能希望对所有阶段进行粗略的研究,以此来确定水足迹的关键成分,制订优先的响应方案;此后,这家公司可能会对水足迹核算和可持续评价部分进行更详细的研究。

1.4 读者指南

本书根据水足迹评价的四个阶段设定以下章节。第2章讨论确定水足迹评价目标和范围时必须考虑的重要问题。第3章是关于水足迹核算的定义和方法。第4章给出各阶段水足迹可持续评价的指南。第5章综述政策制定时可供参考的水足迹响应方案。第6章提出更大范围的水足迹的评价方法,并讨论水足迹评价方法的局限性。第7章提出并讨论未来的主要挑战。第8章为总结。读者可以根据自己的兴趣,关注本手册的不同部分。特别是第3章水足迹核算部分,读者可从消费者(3.5节)、政府部门(3.7节)、流域管理机构(3.8节)或是企业(3.10节)的不同角度出发,进行选择阅读。过程和产品的的水足迹核算(3.3节和3.4节)是水足迹核算的基础,这两部分与所有水足迹的应用都息息相关。

本书定义了各种概念。为了使读者更容易地查找本手册中的关键词或术语的定义,书后附加了术语表。另一个辅助性的部分是附录Ⅵ,它列出了水足迹评价方面的常见问题。

第 2 章 水足迹评价的目标和范围

2.1 水足迹评价的目标

水足迹的研究目的多样。研究时,需要根据研究目标确定分析范围,并根据范围作出不同的假设。由于水足迹评价的对象不同,因此在评价初期就明确水足迹评价类型十分关键。水足迹评价类型主要有以下几种:

- (1) 过程水足迹。
- (2) 产品水足迹。
- (3) 消费者水足迹。
- (4) 消费群体水足迹:
 - ① 一个国家的消费者水足迹;
 - ② 市、省或其他行政单元的消费者水足迹;
 - ③ 一个流域的消费者水足迹。
- (5) 地理区域内的水足迹:
 - ① 国家内的水足迹;
 - ② 市、省或其他行政单元内的水足迹;
 - ③ 流域内的水足迹。
- (6) 企业水足迹。
- (7) 企业部门的水足迹。
- (8) 人类整体的水足迹。

专栏 2.1 为水足迹评价目标包含的内容。该专栏主要明确了评价需要注意的一些问题,但并不全面。水足迹评价最重要的是确定研究所需要的详细程度。如果仅仅是为了提高对水足迹的认识,评价国家或全球水平的产品平均水足迹就可以满足要求。如果是为了确定水足迹热点地区,则需要在研究区内搜集详尽的资料,随后进行详细的计算和评价,从而能够明确水足迹对当地环境、社会和经济产生巨大影响的时间和地点。如果是为了规划和建立减少水足迹量的政策和目标,就需要更为详尽的时间和空间资料。此外,水足迹评价的研究范围应更加广泛,除了考虑水本身以外,还需考虑其他因素。