

碳足迹分析

概念、方法、实施与案例研究

〔美〕M J 弗朗凯蒂 〔美〕D 阿普尔 著
张志强 曲建升 王立伟 等 译



CARBON FOOTPRINT ANALYSIS
Concepts, Methods, Implementation,
and Case Studies



科学出版社

碳足迹分析：概念、方法、 实施与案例研究

**Carbon Footprint Analysis: Concepts, Methods,
Implementation and Case Studies**

〔美〕 M J 弗朗凯蒂 〔美〕 D 阿普尔 著

张志强 曲建升 王立伟 等 译

科 学 出 版 社

北 京

图字：01-2014-6966 号

内 容 简 介

碳足迹是应对气候变化行动中重要的科学概念。本书全面、系统和深入地梳理了碳足迹的科学概念体系及其关联意义，介绍了多种重要的碳足迹分析方法及其操作实践，并选取建筑、制造和医疗等领域的应用案例进行了解剖。

本译著内容翔实易懂，可供节能减排领域的学者、科技管理人员，以及教学和技术人员参阅，亦可作为碳足迹操作实践的指南性手册使用。

Carbon Footprint Analysis: Concept, Methods, Implementation and Case Studies/Matthew John Franchetti, Defne Apul.

© 2013 by Taylor & Francis Group, LLC

All Rights Reserved.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC.

本书封面贴有 Taylor & Francis 集团防伪标签，未贴防伪标签属未获授权的非法行为。

图书在版编目(CIP)数据

碳足迹分析：概念、方法、实施与案例研究/（美）弗朗凯蒂（Franchetti, M. J.），（美）阿普尔（Apul, D.）著；张志强等译．—北京：科学出版社，2016.3

书名原文：Carbon Footprint Analysis: Concepts, Methods, Implementation and Case Studies

ISBN 978-7-03-047529-9

I. ①碳… II. ①弗…②阿…③张… III. ①二氧化碳—排气—研究 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 044335 号

责任编辑：刘 超 / 责任校对：邹慧卿

责任印制：张 倩 / 封面设计：无极书装

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>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张：14 1/2

字数：270 000

定价：118.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

作者简介

Matthew John Franchetti 博士，托莱多大学（University of Toledo）机械、工业与制造工程系副教授，同时也是该校机械与工业工程项目本科研究部主任。此外，他还担任环境意识设计与制造工程实验室的主任，同时也是商业污染排放援助项目的主要研究者。其研究团队与卢卡斯县固体废弃物管理站共同协助超过 100 个企业进行了多种形式的可持续发展评估。Matthew John Franchetti 博士分别于 2000 年和 2003 年获得托莱多大学的工商管理学硕士（MBA）和博士学位。他曾经在美国邮政管理局（US Postal Service）从事工业工程师、技术管理员等工作，并具有汽车行业广泛深厚的咨询经验。Matthew John Franchetti 博士还是美国质量协会（American Society of Quality, ASQ）认证的六西格玛黑带（即实施六西格玛管理中那些具有精湛技艺和本领的人，是六西格玛管理专家中的中坚力量，级别仅次于黑带大师），同时具有在全美超过 25 家公司的咨询和研究经历。发表了超过 60 篇关于可持续发展领域的书籍、文章和会议论文。

Defne Apul 博士，托莱多大学土木工程系副教授。于 2004 年获得新罕布什尔大学（University of New Hampshire）博士学位，随后进入托莱多大学任职。研究方向主要集中在可持续发展工程中的环境工程。她早期的研究跨越诸多领域，包括道路建设中材料回收利用、地表水质、地球化学建模和风险评估等。她近年来的研究和文章则主要围绕基础设施议题的生命周期评估和生态规划原则。她还在托莱多大学设立和教授可持续发展工程和生命周期工程系列课程。

译者序

自 18 世纪工业革命以来，由于人类大量使用化石能源，以及全球人口日益膨胀、经济规模持续扩张，导致自 20 世纪 60 年代以来能源短缺、环境污染、生态破坏和气候变化等各种环境问题逐渐显现，目前，尤以二氧化碳等温室气体引起的气候变暖问题最为严峻。如何有效地减少化石能源使用导致的碳排放成为国际政治、经济及学术研究关注的热点之一。目前对于碳排放方面的研究大部分集中在碳源汇机理、碳排放与经济增长、碳排放与能源结构演进等方面的研究。碳足迹分析方法从生命周期的视角分析碳排放的整个过程，并将个人或企业活动相关的温室气体排放量纳入考虑，可以深度分析碳排放的本质过程，进而从源头上制定科学合理的碳排放控制措施。

碳足迹概念因其形象易懂，在普及气候变化和碳减排理念的工作中发挥了重要作用。与其他概念和方法相比，碳足迹更容易吸引公众的注意力，已经成为树立消费者环保意识和降低产品环境影响的切入点。随着气候变化相关研究工作的日益深入，碳足迹已成为横跨应对气候变化社会行动与科学研究的重要工作领域，对其科学理念和操作实践的普及具有重要意义。

本书对碳足迹的概念、方法进行了系统总结和分析，对其具体应用进行了详细的说明，并选取多个领域的案例进行了解剖，有助于读者系统了解碳足迹科学概念的发展、关联问题及其应用实践，可以为减缓气候变化的科学研究、科学普及、科学决策，以及实现节能减排和气候变化目标等的相关工作提供支持。本书中译本在我国出版，对我国应对气候变化相关领域的工作具有重要的理论和现实意义。

本书的翻译出版得到中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”（编号：XDA05140100）资助，翻译校对工作由中国科学院兰州文献情报中心及华夏气候技术中心等相关合作单位研究人员完成。其中，第 1 部分“为什么要分析和减少碳足迹？”由曲建升、王莉翻译，第 2 部分“碳足迹分析方法”由李燕、曲建升翻译，第 3 部分“项目实施的系统方法”由王天送翻译，第 4 部分“案例研究”由王立伟、韦博洋翻译。刘文浩、王莉等对图表进行了翻译绘制，曲建升、王立伟、裴惠娟对全书进行了校对，张志强对全书进

行了统稿和终审校。

由于碳足迹及相关理论发展迅速及译校人员水平所限，本译著难免存在瑕疵和疏漏之处，敬请读者批评指正。



2015 年 10 月

前 言

人类活动带来的大量温室气体（greenhouse gas, GHG）排放造成的恶劣影响深刻地改变了环境、政治以及社会格局。诸多的研究报告认为温室气体排放与全球变暖、污染、极端天气现象和物种灭绝等问题存在联系。为了减缓温室气体排放带来的负面影响，国际社会推动制定了用于测量和减少碳排放的多种针对性法令法规，其中，最著名的为《京都议定书》。许多政府、私人非营利机构、地方性组织甚至部分个人都深刻认识到，气候变化是当代可持续发展问题中面临压力最大的问题。令人欣慰的是，许多机构和组织一直在追踪自身带来的温室气体排放，并且开始采取行动来适应这个以“能源和气候危机”为特征的时代。所以，恰当的测量并减少能源利用、温室气体排放需求的行动变得尤为重要。

碳足迹议题很适时的出现，而碳足迹的实践显得有些仓促且杂乱，与碳足迹管理相关的内容和技术一直被零零散散的公开发表在一些文章、报告和标准中。以至于个人或组织难以了解，究竟不同种类的科技信息和实践操作能否适用于减少碳足迹。在关于碳足迹管理的课堂教学中，目前也没有一本可以参考学习的专门书籍。此外，关于可持续发展工程这门课程也同样需要一本类似的关于碳足迹管理综合性技术的课本与学生们分享。因此，我们期望本书能够很好解决以上这些问题和需求。

《碳足迹分析：概念、方法、实施与案例研究》这本书提供了测量和减少能源利用、温室气体排放中最新的科技信息和实践指导。本书可以为旨在减少碳足迹的个人和组织提供参考。此外，本书还提供综合的碳足迹管理框架。本书共分为四个部分，其中，第1部分主要给出了碳足迹分析中一些重要的定义、概念、意义、背景信息；第2部分主要讨论了温室气体核算方法；第3部分提供了实施审查过程中常用的系统框架；第4部分分析了在高等教育、服务、制造业中的4个案例研究。

本书部分章节详细讨论了一些概念，部分章节则简单介绍了概念和详细解释不同概念之间的组合。译者已将文献统一到书后，以便读者可以自由查阅，深入学习。为了让教学人员能够更好地了解和使用本书，作者编写了一份单独的参考

文献文件，其中包括与本书内容相关的丰富的学习训练，这些训练内容我们将适时在网上公布。

我们坚信并且希望本书将为个人和组织机构努力减少碳足迹和开始适应碳约束时代提供切实有效的帮助。我们希望读者能够喜欢碳足迹分析相关的学习和实践活动。

Matthew John Franchetti, Defne Apul

致 谢

Defne Apul 真诚感谢与她共享气候行动愿景和合作完成各种地方性可持续发展项目的所有同事和学生。尤其要感谢 2010 年春季和 2011 年春季托莱多大学 (University of Toledo) 可持续发展工程系的学生, 感谢他们在作为课时计划重要一部分的高校碳足迹分析中的铺垫作用。他们的努力工作在本书第 15 章中已详细展示。

同时, 她还感谢她的儿子 Derin Apul, 自从他出生后就一直激励着 Defne Apul 坚持进行可持续发展相关的学习和研究工作。最后, 她还要将最特别的感谢送给她的丈夫 Tolga Apul, 感谢他的包容和支持, 没有他, 这本书也无法成功面世。

Matthew Franchetti 感谢卢卡斯县 (Lucas) 委员会和卢卡斯县固体废弃物管理站, 感谢他们在俄亥俄州西北部可持续发展研究中给予的持续支持。正是有了这些组织提供的科研经费, 才使得这里的实证研究和行动得以实施。

此外, Matthew Franchetti 还要感谢他的妻子 Laura 及他的孩子 Jack 和 Kate, 感谢在本书完成过程中他们给予的支持和鼓励。

Matthew John Franchetti, Defne Apul

目 录

第1部分 为什么要分析和减少碳足迹?

1 碳足迹分析定义及相关概念	3
1.1 引言	3
1.2 碳足迹分析	6
1.3 温室气体	7
1.4 全球变暖、气候变化和全球变化	7
1.5 生命周期评价与隐含碳	8
1.6 其他足迹：水、氮和生态足迹	12
1.7 污染预防	14
1.8 可持续性与三重底线	15
1.9 缩略语	18
1.10 单位	19
2 最大限度节能与温室气体减排的效益	20
2.1 引言	20
2.2 环境效益	20
2.3 经济效益	23
2.4 企业形象效益	24
2.5 个人和社会效益	25
3 环境法律与法规	26
3.1 引言	26
3.2 美国清洁空气法	26
3.3 美国 1990 年污染预防法	27
3.4 美国 2005 年能源政策法	27
3.5 美国清洁能源与安全法案	27
3.6 美国温室气体报告强制性规则	27
3.7 京都议定书	28

第2部分 碳足迹分析方法

4	碳足迹分析标准	31
4.1	引言	31
4.2	基于产品的碳足迹标准	31
4.3	基于活动的碳足迹标准	32
4.4	碳管理步骤	34
5	温室气体核算体系	36
5.1	引言	36
5.2	温室气体核算体系综述	36
5.3	温室气体核算体系的总体原则	38
5.4	温室气体	39
5.5	边界设定	44
5.6	组织边界确定	45
5.7	操作边界确定	46
5.7.1	范围1 排放	46
5.7.2	范围2 排放	48
5.7.3	范围3 排放	50
5.8	临时边界确定	51
6	碳足迹分析的指标及性能测量	52
6.1	引言	52
6.2	温室气体排放测量	52
6.2.1	绝对测量	53
6.2.2	产出指标测量	53
6.2.3	投入指标测量	53
6.2.4	生产能力指标测量	53
6.2.5	基于生产活动的指标测量	54
6.3	商业和财务测量	54
6.4	客户和利益相关者满意度测量	55
7	互联网上可用的能源和温室气体计算器	58
7.1	计算器概述和对比	58
7.2	美国森林学会	59
7.3	博纳维尔环境基金会 (BEF)	59

7.4	Clearwater	60
7.5	自然保护基金会	60
7.6	绿山能源公司	60
7.7	TerraPass 公司	61
7.8	美国能源部——家庭能源节约器	61
7.9	美国国家环境保护署	61
8	一些实体的碳足迹	62
8.1	引言	62
8.2	个人、组织和国家的碳足迹	62
8.3	产品隐含碳	65

第3部分 项目实施的系统方法

9	引言：碳足迹分析和节能的系统方法	69
10	六西格玛系统方法	72
10.1	引言	72
10.2	定义	73
10.3	测量	78
10.4	分析	79
10.5	改进	79
10.6	控制	80
10.7	总结	81
11	部署备选方案	82
11.1	引言	82
11.2	挑选废弃物最小化的供应商或合作者	84
11.3	部署计划的基本要素	85
12	创建成功的项目启动	87
12.1	引言	87
12.2	行政领导	87
12.3	战略目标	88
12.4	资源	89
12.5	测量指标	92
12.6	文化	92
12.7	沟通	93

12.8	经验教训	93
12.9	总结	95
13	温室气体与能源分析的一般方法	96
13.1	系统方法框架介绍	96
13.2	建立团队和确定项目（步骤1）	98
13.2.1	高层支持	98
13.2.2	项目团队	99
13.2.3	初始培训和介绍性会议	99
13.2.4	项目目标与测量指标	100
13.2.5	团队章程	100
13.2.6	项目时间表	101
13.2.7	项目预算	102
13.3	审核已有记录（步骤2）	103
13.4	流程制图与生产分析（步骤3）	110
13.5	现场数据采集（步骤4）	113
13.5.1	现场数据采集的准备	113
13.5.2	评估指南	116
13.6	数据分析（步骤5）	116
13.7	识别最小化机遇（步骤6）	120
13.8	确定、评估和选择备选方案（步骤7）	120
13.8.1	生成备选方案	121
13.8.2	通用的最小化备选方案	123
13.8.3	筛选备选方案	125
13.8.4	分析和选择备选方案	127
13.9	文档和部署计划（步骤8）	144
13.9.1	部署计划概述	144
13.9.2	获取资助	145
13.9.3	文档和部署计划的内容	146
13.10	实施和执行（步骤9）	148
13.11	对照目标验证计划（步骤10）	149
13.12	监控和持续提高绩效（步骤11）	151
14	雇员培训	152
14.1	引言	152

14.2	策略	152
14.3	培训议程	153

第4部分 案例研究

15	碳管理高等教育	157
15.1	鼓励与支持碳足迹分析与管理的组织和项目	157
15.2	案例研究：托莱多大学	163
15.2.1	研究背景与致谢	163
15.2.2	使用 Wiki 技术促进沟通	165
15.2.3	项目进展	166
15.2.4	项目范围与原始数据	169
15.2.5	排放总结（概述）	173
15.2.6	排放量预测	174
15.2.7	范围1排放的减排策略	175
15.2.8	范围2排放的减排策略	176
15.2.9	范围3排放的减排策略	176
15.2.10	碳抵消	177
15.2.11	教育	178
16	制造业能源分析与能源最少化	179
16.1	简介	179
16.2	方法	179
16.3	数据分析	180
16.3.1	办公室	180
16.3.2	入口	181
16.3.3	厨房	182
16.3.4	生产	182
16.3.5	其他区域	183
16.4	成本节约机会或建议	184
16.4.1	办公室	184
16.4.2	入口	184
16.4.3	厨房	185
16.4.4	生产	186
16.4.5	其他区域	186

16.5	建议和总结	187
17	医疗卫生方面的能源分析与能源最少化	189
17.1	引言与背景	189
17.2	方法	189
17.3	照明结果	190
17.4	照明建议	191
17.4.1	停车场外部的光感应器	191
17.4.2	F40T12 灯泡的 LED 灯管的改进	192
17.4.3	出口标志牌 LED 的改造	192
17.5	照明建议的经济分析	192
17.6	环境影响	197
17.7	能源减少的其他领域	198
18	建筑和制造业能源分析与能源最少化	200
18.1	背景	200
18.2	方法	200
18.3	数据分析	200
18.3.1	机械加工车间	200
18.3.2	仓库	201
18.3.3	办公室	201
18.4	成本节约的机会	202
18.4.1	机械加工车间	202
18.4.2	仓库	203
18.4.3	办公区域	203
18.4.4	其他区域	204
18.5	建议和总结	204
	参考文献	206
	附录 专业词表	211

第 1 部分

为什么要分析和减少碳足迹？

