



# 能源信息学 与企业能源效率

Energy Informatics and Enterprise Energy Efficiency

曾珍香

黄春萍

◎著

[美] Richard T. Watson

[加] Marie-Claude Boudreau



科学出版社

# 能源信息学 与企业能源效率

Energy Informatics and Enterprise Energy Efficiency

曾珍香

黄春萍

◎著

[美] Richard T. Watson

[加] Marie-Claude Boudreau

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

---

能源信息学与企业能源效率/曾珍香等著. —北京: 科学出版社, 2018.7  
ISBN 978-7-03-056853-3

I. ①能… II. ①曾… III. ①信息学-关系-能源-研究 IV. ①G201  
②TK

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第048884号

---

责任编辑: 石 卉 乔艳茹/责任校对: 孙婷婷

责任印制: 张欣秀/封面设计: 有道文化

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>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年7月第一版 开本: 720×1000 B5

2018年7月第一次印刷 印张: 20 1/2

字数: 368 000

定价: 118.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

---

## 内容简介

---

本书将信息和信息技术融入能源系统研究中，开拓了能源信息学这一新的研究领域。能源信息学的基本思想可概括为：能源 + 信息 < 能源。本书首先通过严密的理论分析，揭示能源信息学的相关概念、理论框架和技术基础；其次结合多个案例验证信息对提升能效的作用机理；最后密切结合企业实际，构建装备制造企业能源效率提升的关键使能技术体系，并以建立装备制造企业能源效率提升智能化协同服务平台为载体，将能源信息学理论在装备制造业落地并提出具体解决方案，展示了能源信息学广泛的应用前景。

本书可供经济管理、能源与环境管理、信息系统与数据科学等领域的科研人员及高校师生阅读，也可为政府及企事业单位的各级管理人员提供参考。

## 作者简介

• 曾珍香，河北工业大学经济管理学院教授、博士生导师。主要教学科研方向为可持续发展、复杂系统科学、能源信息学。美国佐治亚大学（UGA）和美国加州大学洛杉矶分校（UCLA）访问学者。曾任河北工业大学管理科学与工程系主任、研究生学院副院长、“211 工程”办公室主任等职。现任管理科学与工程学会理事，《系统工程》等期刊和会议论文评审专家。承担各类科研项目 20 余项，多次获得省部级二等奖、三等奖；出版学术专著 3 部；获得计算机软件著作权 3 项；在《管理世界》《系统工程理论与实践》《数量经济技术经济研究》等期刊或学术会议上公开发表论文 110 余篇。

• 黄春萍，河北工业大学经济管理学院副教授、硕士生导师。主要教学科研方向为信息系统、复杂适应系统等。2007 年在河北工业大学获得博士学位。2015 年 8 月至 2017 年 4 月在美国加州大学洛杉矶分校做访问学者。承担各类科研项目十余项，多次获得省部级三等奖；出版学术专著 1 部；获得计算机软件著作权 2 项；在国内外期刊或学术会议上公开发表论文 30 余篇。

• Richard T. Watson，美国佐治亚大学特里商学院互联网战略研究中心教授。主要研究方向为能源信息学和信息系统领导力。全球教科书项目（Global Text Project）联合领导人，埃塞俄比亚的斯亚贝巴大学信息系统博士项目国际协调员，信息管理学会高级实践委员会研究主任，约翰·威利父子出版公司（John Wiley & Sons）咨询编辑。曾任国际信息系统协会（AIS）主席。在 *MIS Quarterly* 等期刊上发表论文 150 多篇，出版多部电子商务和数据管理领域著作，并受邀在 30 多个国家讲学。

• Marie-Claude Boudreau，美国佐治亚大学管理信息系统系副教授。研究领域包括数据管理、业务流程管理和能源信息学，尤其关注信息系统在改善环境可持续性方面的作用。在 *Information Systems Research*、*MIS Quarterly*、*Organization Science*、*Journal of Management Information Systems*、*Communications of the ACM* 等期刊发表多篇学术论文。

封面设计：





本书的研究工作主要基于以下两个部分：一是美国佐治亚大学（University of Georgia, UGA）教授、国际信息系统（IS）领域的领军人物 Richard T. Watson 博士及其研究团队十多年来在信息系统和可持续发展的交叉研究中积累的成果；二是河北工业大学教授曾珍香在 2010~2011 年访问 UGA 期间以及自此之后五年来和团队成员一起在能源信息学领域探索研究的工作积累。<sup>①</sup>

事实上，本书的出版已经酝酿了多年。早在 2010 年左右本书前三篇的主要内容（英文文稿）就已经完成，并在 2011 年 8 月以电子出版物的形式在美国亚马逊网站公开出版发行，书名为 Energy Informatics（能源信息学）。曾珍香教授及其团队成员对 *Energy Informatics* 进行了翻译。

自 2010 年曾珍香教授访问 UGA 并成为能源信息学团队的成员<sup>②</sup>，河北工业大学开始酝酿成立能源信息学实验室，并致力于将其应用到中国企业的管理实践中。经过几年来的积累，我们在该领域培养了多名博士、硕士研究生，在如何将信息系统有效地应用于中国企业能源效率的提升方面进行了积极的探索，其主要内容构成了本书的第四至六篇。

能源信息学从字面上看并不难理解，然而它至今还是一个很多人并不熟悉的新概念。那么 Watson 教授的这个通俗而又深刻的思想来自哪里？能源信息学这个新兴的研究领域又经历了一个怎样的形成和发展过程呢？这里我们谨以 *Energy*

---

① 本书前 12 章内容取材于 Watson 教授等的英文原著 *Energy Informatics*。该书以电子出版物的形式出版，在翻译过程中进行了结构和内容上的微调。从第 13 章开始是曾珍香团队基于河北省科技支撑计划课题研究的成果。

② 能源信息学团队（<http://energyinformatics.info/people/>）的四位成员分别是 Dr. Marie-Claude Boudreau、Dr. Tom Lawrence、Dr. Richard T. Watson 和曾珍香博士。

*Infomatics* 的前言来回答这些问题。

早在 2007 年我们就注意到，除了个别学者外，信息系统领域的研究几乎都忽略了全球气候变化问题。这种忽略似乎在暗示全球气候变化是其他研究领域学者们要解决的问题。然而纵观过去的半个多世纪，信息系统始终是促进世界经济变革的一支重要力量。由于信息和通信技术的发展，我们日常生活中的很多方面都发生了显著的变化。我们认为，在应对全球气候变化问题上，信息系统一定可以扮演重要的角色，而且我们已经开始着手研究以明确这个角色应该是什么。按照我们通常的研究惯例，一旦提出一个研究问题，我们就开始每周举行一次研讨会。就这样，我们开始探讨如何通过应用信息系统解决全球气候变化问题。我们先是邀请了 UGA 信息系统系对此感兴趣的教授、博士研究生和本科生加入我们的行列。后来，我们还与一些工程学科的教授建立了联系。

起初，我们将我们的研究项目命名为“绿色信息系统”(Green IS)。因为绿色信息技术这一话题是我们比较熟悉的，它主要关注如何使数据中心更有效率。这里，我们首先明确了信息技术(IT)和信息系统的区别。我们认为，信息技术主要是指可从供应商那里买到的硬件和软件；而信息系统是指一个由人、商业过程与相应规章制度、应用和信息技术相结合的系统。以信息系统为中心的视角，远远超出了数据中心，并延伸到了组织的各个方面。正是这一点，使得信息系统可以给公司带来竞争优势。

该项目有幸得到了信息管理学会(SIM)的高级实践委员会(APC)的资助。该委员会是一个由首席信息官(CIO)组成的、为信息系统领域重要课题的实用型学术研究提供经费支持的专业团体。我们在向该委员会进行的一次演示中使用了下面这个公式来表达我们研究绿色信息系统的核心思想：

$$\text{能源} + \text{信息} < \text{能源}$$

上述公式反映的是，我们相信如果可以获取相应的信息，能源消费系统将会消耗更少的能源。令我们吃惊的是，先进实践委员会的成员们对这个公式竟有如此的共鸣。这个表达我们研究目标的公式简洁精练，得到了业界和听众广泛的理解与认可。为此我们倍受鼓舞，决定继续开展此项研究工作。

经过数周的例会讨论和反复推敲，一个新的概念框架——能源信息学(Energy Informatics)日渐清晰。而且我们发现，能源信息学的框架简明而完整地描述了我们考察过的许多信息系统用于降低能源消耗的应用实例的本质特征。阅读本书时，你也会发现这个框架在解读许多组织正在发生的重大事情时的作用。更重要的是，既然现代文明社会中有如此重要的问题需要解决，而能源信息学框架恰好能够帮助管理者识别和发现提高能源使用效率的机会。我们已经把这一框架应用

于对高级管理者的课程教学中，并惊喜地发现它可以作为一种非常有用的工具有效地激发解决能源问题的创新方案的提出。

从历史发展之事后因果关系来看，能源和信息之间的联系是相当明显的。然而我们也非常吃惊地发现能源信息学还不是一个有明确界定的研究领域。按照达尔文的观点，火（能源的一种形式）和语言（一种信息系统）是人类的两大重要发明（Darwin, 2004）。毫不奇怪，几个世纪以来，能源和信息一直都是人类文明的两大支柱。

人类对能源的依赖可以回溯到远古时代对火的利用，即从我们的祖先发现用火烹调肉类和蔬菜更易于消化并有利于营养吸收开始。烹饪破坏了肉中长长的蛋白质链，有利于肉的消化。煮熟的蔬菜也更容易消化吸收，从而提供了更多的能量。有了烹饪，才使得早期人类可以大大缩短寻找食物和吃东西的时间（黑猩猩每天要花6小时来咀嚼食物）（Joyce, 2010）。人类因此可以用更多的时间来改善环境，从而提高生活水平。

人类和能源错综复杂的关系是通过驯养动物得以发展的，尤其是驯养那些可以提高我们工作和运输能力的动物。牛的驯养大约在公元前8000年，它们除了作为食物、牛奶和皮革的来源外，还被用来装载和拖拉重物。后来，人们又学会了驯养驴、水牛、马、骆驼和美洲驼，并用它们来负载、犁地和抽水。

一旦人类学会了生产一些基本的物品，他们就开始想办法为这些商品寻找新的消费者。比如，他们借助风转换的能量，到更远的地方进行贸易活动。有证据显示，早在公元前五六世纪，就已经出现航海技术和海上贸易活动了。几千年来，风、水、火都是能源的主要来源。人类使用化石燃料并随之对自然环境造成重大影响则是始于18世纪50年代英国开始出现大量工业活动之后。人类除了运用自身的肌肉力量和驯服动物之外，还有能力利用其他形式的能源，这使得人类文明又向前迈进一步。从而，我们可以种植更多的农作物，生产更多的产品，并在更广的地域范围内进行贸易活动。

信息系统，作为人类文明的另一支柱，也经历了几千年的发展历史。当人类学会通过手势和动作来交流信息时，我们就开始建立最原始的信息系统（Tomasello, 2008）。后来声音语言加入我们的技能库中以帮助相互沟通协作，这使我们的交流变得更加准确和精妙。公元前3100年前后，楔形文字的出现主要用于记录商业活动，同时还作为传播知识的工具（如医书）。书写文字解决了信息存储和传播的双重问题。大约在1040年，中国人发明了活字印刷术，知识存储的效率大大提高。19世纪30年代，莫尔斯电码（Morse code）——一种用二进制方式来表示字母和数字的代码——及其相关技术的发明，使信息处理的效率迎来又一次飞跃。莫尔斯电码的发明开创了数字时代，奠定了机器通信和处理信息的基础。



而 1896 年马可尼的发明则为人类实现不受距离限制、无所不在的通信奠定了基础。我们在交流和合作能力方面的这些重大进展创造了日益智能化的人类文明。

当我们追溯人类几千年的发展模式时，能源和信息系统的相互联系是显而易见的。首先，我们从信息角度考虑这种互联。

楔形文字的使用者先用楔形的尖笔在泥板上记录不同作物的数量，然后再将其在太阳下晒干。在 19 世纪 80 年代蒸汽机已经发明，但印刷程序仍是纯手工操作完成的。而且，大规模印刷也需要廉价的纸张。直到 8 世纪在撒马尔罕 (Samarqand) (今乌兹别克斯坦境内) 出现了第一个水动力造纸厂才实现了纸张的机械化生产 (Lucas, 2006)。数字化时代则始于莫尔斯电码和基于电流的二进制信息传输方式的出现。马可尼发明的无线通信技术也是依靠电能来发送和接收信息的。如今，没有计算机，我们的世界将无法运转，然而计算机也需要电。

再从能源角度考虑这种互联关系。我们发现信息系统是促进能源消费和能源生产系统不断进步的知识交换的基础。世世代代，人类使用信息系统 (如语音、书写、印刷) 来传递如何使用火、风和水等知识。今天我们则生活在一个用电能驱动计算机产生密集信息的世界。反过来，现代的能源系统也在很大程度上依赖于信息系统。比如，地震数据被用来绘制石油储量的三维地图，生产过程的监控需要传感网收集信息，炼油厂需要大量的信息系统来实现自动化操作。风力涡轮机使用计算机控制的马达保证风扇始终迎风，从而保持最大发电量。总之，今天的能源生产系统的运转已经离不开信息系统。

能源和信息系统一直是几千年来人类文明史上的祖先。正如歌中所唱，“少了另一个就没有这一个”<sup>①</sup>。令人惊讶的是，我们尚未将二者“联姻”形成一个学科。而在本书中，我们以全球气候变化问题做媒促使其“联姻”。

致谢：我们感谢以下人员的帮助和对本研究项目的支持：Clare Watson；信息管理学会高级实践委员会的项目总监 Madeline Weiss；新加坡南洋理工大学的 Adela Chen；美国联合包裹速递服务公司 (UPS) 的 Mark Davidson、Jack Levi、Charles Holland 和 John Olsen；毕马威 (KPMG) 的 Tyler Williamson；格兰特·桑顿会计师事务所的 Stephanie Lyons；普华永道会计师事务所的 Mathieu van Asten；UGA 的博士研究生 Seth Li 和本科生 Kema Hodge。

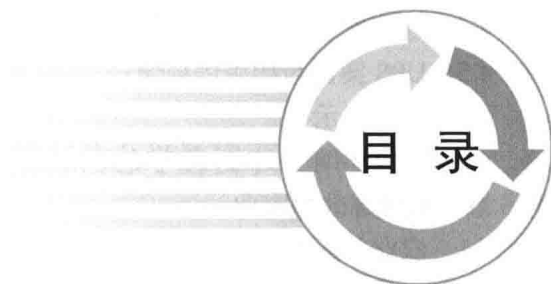
以上是 *Energy Informatics* 一书的前言部分，在翻译过程中我们团队的师生们付出了辛勤的劳动。在此，我们感谢河北工业大学经济管理学院的研究和相关人员，他们是朱柯冰、杨欣、王薇、苏静、景香东、袁娅岑、申江红、王兴鹏、

<sup>①</sup> 详见歌曲《Can't Have One Without the Other》，其中有一句歌词是 “you can't have one without the other”。

刘倩慧、宗延涛、张琳、杨清秀等。特别感谢美国俄亥俄大学信息系统系教授、西安交通大学管理学院院长黄伟博士多年来对本书及相关研究工作的支持和帮助！本书后半部分是曾珍香教授及其所在团队多年来的研究成果。参与课题研究工作的团队成员包括：黄春萍博士、张培博士、耿立校博士、李艳博士，以及研究生杨欣、平安生、王福振、张璐、郭丽梅、张蕾、徐晓娟、王佳玢等。在此一并致谢！另外，本书得以出版还要特别感谢科学出版社及石卉女士的鼎力帮助。同时，由于笔者水平所限，书中难免存在不足之处，敬请专家学者及广大读者批评指正。

曾珍香

2017年5月



## 第一篇 能源信息学概念及模型

第 1 章 能源信息学的提出背景	2
1.1 全球性挑战	2
1.2 企业面临的挑战	5
1.3 从绿色信息技术到绿色信息系统	7
第 2 章 能源信息学理论	9
2.1 能源信息学框架	10
2.2 能源供需的集成整合方法	11
2.3 智能能源系统的组成	11
第 3 章 能源信息学的影响	15
3.1 生态目标	15
3.2 主要利益相关者	18
3.3 变革的力量	20
3.4 供应和需求的协同管理	21

## 第二篇 能源信息学的应用案例

第 4 章 UPS 的能源信息学之路	26
--------------------	----

4.1	化“棕色”为“绿色” .....	26
4.2	UPS 的发展简史 .....	27
4.3	提高效率的技术 .....	28
4.4	远程信息处理项目的开发与效益 .....	31
4.5	UPS 案例与能源信息学 .....	36
4.6	案例启示 .....	38
4.7	本章小结 .....	39
<b>第 5 章</b>	<b>能源高效型农业 .....</b>	<b>41</b>
5.1	农业与能源 .....	41
5.2	差异性问题 .....	42
5.3	节约用水和能源效率 .....	43
5.4	可变速率灌溉 .....	43
5.5	农场的能源信息学 .....	45
5.6	作为能源系统的农场 .....	47
5.7	案例启示 .....	47
5.8	本章小结：农业的未来 .....	48
<b>第 6 章</b>	<b>新加坡的电子道路收费系统 .....</b>	<b>49</b>
6.1	交通拥堵 .....	49
6.2	增长之痛 .....	49
6.3	智能方案 .....	50
6.4	电子道路收费系统的新进展 .....	53
6.5	电子道路收费系统的好处 .....	54
6.6	道路收费系统与能源信息学 .....	55
6.7	案例启示 .....	57
6.8	发展趋势 .....	58
6.9	本章小结 .....	58
<b>第 7 章</b>	<b>EnerNOC 与需求响应管理 .....</b>	<b>60</b>
7.1	重塑伟大的发明 .....	60
7.2	需求响应管理 .....	60
7.3	EnerNOC 能源网络运行中心 .....	61
7.4	多边商业模式 .....	64
7.5	案例启示及本章小结 .....	65
<b>第 8 章</b>	<b>自行车共享项目的能源节约 .....</b>	<b>66</b>
8.1	一个有吸引力的选择 .....	66

8.2	Vélib 自行车共享项目	66
8.3	SoBi 自行车共享项目	69
8.4	自行车共享项目中的能源信息学	71
8.5	案例启示	73
8.6	本章小结	74

### 第三篇 能源信息学的技术

<b>第 9 章</b>	<b>能源信息学的技术基础</b>	76
9.1	可扩展标记语言 XML	77
9.2	Web 服务	78
9.3	紫蜂技术 ZigBee™	80
9.4	优化技术	81
9.5	预测技术	82
9.6	模拟技术	84
9.7	能源信息技术未来展望	85
<b>第 10 章</b>	<b>能源信息学的信息视角</b>	86
10.1	变革的时代	86
10.2	多种社会力量	87
10.3	理性与社会力量的结合	89
10.4	明天的社会	98
<b>第 11 章</b>	<b>能源信息学的设计原则和方法</b>	99
11.1	设计的一般原则	99
11.2	基于设计原则的解决方案	104
11.3	一般模型	112
11.4	本章小结	116
<b>第 12 章</b>	<b>创建智慧星球的技术</b>	117
12.1	标准化的重要性	117
12.2	信息的标准化	119
12.3	耦合问题	121
12.4	能源管理标准化	122
12.5	能源流的标准化	123
12.6	光子社会	125
12.7	可持续的星球	126

<b>第 13 章</b>	<b>智能优化技术在能源管理中的应用</b>	127
13.1	能耗预测与能耗优化	127
13.2	物联网技术	132
13.3	大数据及相关技术	139

## 第四篇 装备制造企业能耗监测与控制

<b>第 14 章</b>	<b>装备制造企业能耗监控指标体系</b>	159
14.1	装备制造企业能源消耗状况与特点	159
14.2	企业节能策略及能源消耗影响因素	161
14.3	企业能源效率测度	166
14.4	基于 DPSR 模型的能耗指标体系设计	178
<b>第 15 章</b>	<b>装备制造企业能耗监控系统分析</b>	183
15.1	能耗监控系统需求分析	183
15.2	能耗监控系统结构	186
15.3	能耗监控系统数据采集	191
<b>第 16 章</b>	<b>装备制造企业能耗监控系统功能与实现</b>	196
16.1	装备制造企业能耗监控系统总体功能设计	196
16.2	装备制造企业能耗监控系统主要功能	197
16.3	装备制造企业能耗监控系统实施方案	205


## 第五篇 装备制造企业能耗预测与优化

<b>第 17 章</b>	<b>基于 Hive 的能耗数据仓库设计</b>	212
17.1	能耗数据仓库体系结构	212
17.2	能耗数据仓库工作流程	213
17.3	数据模型设计	214
17.4	粒度选择	221
17.5	数据 ETL 过程	222
<b>第 18 章</b>	<b>装备制造企业的能耗预测和预警</b>	225
18.1	基于 SVR 方法的能耗预测算法设计	225
18.2	SVR 模型的参数选择及算法改进	227
18.3	能耗预测算法及其应用	228
18.4	能耗预测模型效果评估	231

18.5	能耗预测模块	235
18.6	能耗预警标准	238
<b>第 19 章</b>	<b>装备制造企业能耗管理优化</b>	<b>246</b>
19.1	锻造车间能耗管理优化分析	246
19.2	柔性作业车间能耗优化调度模型	253
19.3	能耗优化调度的混合遗传算法设计	260
19.4	能耗优化系统实现	266

## 第六篇 能效提升的智能化协同服务平台

<b>第 20 章</b>	<b>装备制造企业的大数据背景</b>	<b>270</b>
20.1	生产过程的大数据环境	270
20.2	生产过程的大数据分析架构	273
20.3	生产过程的能源大数据流	278
<b>第 21 章</b>	<b>能效提升的智能化协同服务平台需求分析</b>	<b>281</b>
21.1	智能化协同服务平台要求	281
21.2	智能化协同服务平台特点	282
21.3	智能化协同服务平台框架	283
21.4	智能化协同服务平台系统架构分析	287
<b>第 22 章</b>	<b>能效提升的智能化协同服务平台系统分析</b>	<b>290</b>
22.1	数据流程图	290
22.2	概念模型	295
<b>第 23 章</b>	<b>能效提升的智能化协同服务平台系统设计</b>	<b>297</b>
23.1	智能化协同服务平台功能集成	297
23.2	智能化协同服务平台项目技术方案	297
23.3	智能化协同服务平台系统迁移及部署	299
<b>参考文献</b>		<b>302</b>
<b>后记</b>		<b>313</b>



# 第一篇 能源信息学概念及模型

本篇从全球性挑战和企业面临的挑战出发，阐述了能源信息学提出的背景，并对能源信息学的基本理论框架及其影响进行分析。



# 第 1 章 能源信息学的提出背景

## 1.1 全球性挑战

联合国开展的一项有关主导未来发展问题的全球性调查结果确定了环境可持续发展作为首要被关注的议题。调查报告显示，“全世界的观点从未如此统一，实现可持续发展成为唯一的目标”（Glenn and Gordon, 1997）。全球气候变化领域的绝大多数科学家一致认为，我们不能继续增加地球大气层中二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的浓度。全球气候变暖失控的形势让研究气候变化问题的很多人都感到惊恐，一些人甚至认为大气层中 CO<sub>2</sub> 的浓度已经超出了临界点。碳排放只是问题的一部分，我们还面临资源枯竭、生物多样性丧失、空气污染、海洋酸化和水资源不断减少等问题。即使在保持人口稳定的情况下，我们目前这样使用地球有限的资源也是不可持续的方式，更不用说人口数量在不断增长，并且很多人希望享受发达经济下富裕的中产阶级生活方式。我们需要创建一个“既满足当代人的需要，又不损害子孙后代满足他们需要的能力”（World Commission on Environment and Development, 1987）的可持续发展的社会。基于以下原因，这一目标并不容易实现。

首先，消耗了大量资源并造成环境污染的发达经济体是建立在开采利用地质时代形成和留下的遗产基础上的。石油是数百万年前的生物沉淀形成的；支撑着世界上许多地方的农业和人们日常生活的蓄水层也是由多年的降水积累而成，澳大利亚大自流盆地的有些水源甚至有近 200 万年之久。资源过度消耗的势头使之很难保持现有的水平，尤其是面对人口的增长和人们渴望过上更好生活的需求。而更为困难的是如何降低范围日益扩大的稀缺资源的消耗水平。最终，我们必须做到，因为所有的资源都是有限的。

其次，我们无法预知子孙后代对资源的需求。那么，我们如何确定哪些资