



循环经济研究丛书

总主编 左铁镛 冯之浚

电子电气产品的 循环经济战略及工程

RECYCLING ECONOMY STRATEGY AND ENGINEERING OF
ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT

夏志东 史耀武 郭 福 编著



科学出版社
www.sciencep.com

循环经济研究丛书

总主编 左铁镛 冯之浚

电子电气产品的 循环经济战略及工程

RECYCLING ECONOMY STRATEGY AND ENGINEERING OF
ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT



夏志东 史耀武 郭 福 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是《循环经济研究丛书》之一。

本书从循环经济的角度,对电子电气产品的结构、材料组成和资源流向、绿色生产和资源化处理政策及技术等方面进行了详细的阐述。首先介绍了电子电气产品的发展、电子电气产品生命周期中的资源流向及环境协调性,然后分析了国内外电子电气产品环境政策与法规及生命周期技术,最后阐述了我国电子电气产品的循环经济战略思考。

本书可为从事材料、机械学研究,特别是从事电子电气产品绿色设计和生产、资源化技术及相关政策研究的科研人员、教师、生产企业及公司中的工程技术人员提供有益的参考,也可作为材料科学、机械学等专业的高年级本科生或研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子电气产品的循环经济战略及工程/夏志东,史耀武,郭福编著.
—北京:科学出版社,2007

(循环经济研究丛书/左铁镛,冯之浚总主编)

ISBN 978-7-03-019040-6

I. 电… II. ①夏… ②史… ③郭… III. ①电子产品—资源利用—研究
②电气设备—产品—资源利用—研究 IV. X76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 077681号

责任编辑:李 锋 李 敏 张 震/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/整体设计:黄华斌

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2007 年 8 月第一次印刷 印张: 20 1/4

印数: 1—3 000 字数: 374 000

定价: 50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

总 序

发展，是人类亘古以来永恒的追求，是人类价值不断得以实现的过程。

“发展”是由不同的目标、手段、过程和结果构成的。在不同的社会历史阶段，不同的社会经济背景下，人们对“什么是发展，为什么发展，怎样发展和如何评价发展”等基本问题作出了不同的回答，形成了不同的发展观，也导致了不同的发展结果。追溯可持续发展的两条基本主线——“人与自然”以及“人与人”关系的历史演变，人类关于发展的理论与实践大致经历了从单纯经济增长的发展观、经济增长和社会进步综合发展观到形成可持续发展观三个阶段，人们对“发展”问题的认识也在不断深化。

可持续发展是对现代工业经济发展的状况、后果及前景进行反思后提出的一种发展理念。概括地讲，可持续发展观包含了三个基本要素和两个协调发展。三个基本要素即保护和改善生态环境、经济发展以及社会发展。三者之间相互促进、相互约束，形成人与自然的和谐以及经济与社会的协调发展双重价值关系。可持续发展观因为对其三个基本要素及其相互关系的揭示，以及对人与自然和经济与社会双重协调关系的揭示而变得更加清晰与丰满。

生态环境、经济与社会三者之间是相互依赖和相互促进的。生态环境的可持续发展是经济和社会发展的基础；经济发展是社会发展和人全面自由发展的手段，同时也是改善生态环境的前提与手段；社会发展和人全面自由发展是生态环境可持续发展和经济发展的目的，并反过来促进经济发展和生态环境可持续发展。

生态环境、经济与社会三者之间又是相互约束的。生态环境、资源对经济的



约束促使人们探寻新的经济增长模式——循环经济；生态环境、资源对社会的约束促进产生了节约资源和环境友好的生存方式；经济发展对社会的约束决定了社会进步必须具备的物质基础；经济和社会的发展对生态环境的约束决定了人类始终处于可持续发展过程的中心地位。

可持续发展的三个要素之间内在的关联，决定了人与自然之间应当和谐相处，以及经济与社会之间应当协调发展的双重价值导向。可持续发展理论和实践的进一步深化，把发展观的视角从“物”转向了“人”，转向了人的需求的满足和人的全面发展，强调经济与社会、人与自然、人与人和人自身的协调发展。

循环经济与可持续发展一脉相承，始于人类对环境污染的关注，源于对人与自然关系的思考。循环经济的产生不是单纯由环境问题引起，也不是单纯由资源问题引起，它是人类社会发展到一定阶段——经济发展遭遇到资源约束和生态环境约束时——的必然选择，是实现经济、社会、生态环境和谐与可持续发展的一种发展模式和实现途径。

从开创性地提出生态经济的概念和生态经济协调发展的理论后，人们逐渐认识到，在生态经济系统中，增长型的经济系统对自然资源需求的无止境性，与稳定型的生态系统对资源供给的局限性之间必然构成一个贯穿始终的矛盾。围绕这个矛盾来推动现代文明的进程，就必然要走更加理性的强调生态系统与经济系统相互适应、相互促进、相互协调的生态经济发展道路。资源、环境已不仅是经济发展的外部条件，而且已演化成经济发展的内在要素。生态经济就是把经济发展与生态环境保护和建设有机结合起来，使二者互相促进的经济活动形式。它要求在经济与生态协调发展的思想指导下，按照物质能量层级利用的原理，把生态环境、经济、社会作为一个系统工程统筹考虑，立足于生态，着眼于经济，强调经济建设必须重视生态资本的投入效益，认识到生态环境不仅是经济活动的载体，还是重要的生产要素；要实现经济发展、资源节约、环境保护、人与自然和谐的相互协调和有机统一。

循环经济就是一种遵循生态规律和经济规律，以提高资源能源利用效率和改善生态环境为核心，以“减量化（reduce）、再利用（reuse）、再循环（recycle）”为原则（“3R”原则），以资源的高效利用和循环利用为手段，使生态环境、经

济与社会协调、可持续发展的经济增长模式。它把清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体，在提高资源利用效率的同时，重视经济发展和环境保护的有机统一，兼顾发展效率与公平的有机统一，是一种经济、环境、社会等多赢的发展模式。

从自然生态学角度来看，一个理想的经济生产系统应包括资源开采者、处理者、消费者和废弃物处理者四类行为者。传统的线性经济由于系统内部行为者的不健全，是一些相互不发生关系的线性物质流的叠加，使进出系统的物质流远远大于内部相互交换的物质流，造成经济活动“高开采、低利用、高排放”的现象。而循环经济系统本身是一个完整的物质闭环、资源循环利用的经济生产系统，强调系统内部要以相互关联的方式进行物质交换，以最大限度利用物质和能量，从而形成“低开采、高利用、低排放”的生产效果；同时，循环经济生产系统为优化人类经济系统各个组成部分之间关系提供整体性的思路，为工业化以来的传统经济向可持续发展经济的转变提供战略性的理论范式，从而从根本上消解长期以来环境与发展之间的尖锐冲突。

在我国，“循环经济”这一术语出现于 20 世纪 90 年代中期，学术界在研究过程中已从不同角度对其作了多种界定：

（1）从资源综合利用角度

循环经济是一种以资源的高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以“低消耗、低排放、高效率”为特征，符合可持续发展理念的经济增长模式，是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革。

（2）从环境保护角度

循环经济是一种具有时代性的环境保护发展模式。它在环境保护上表现为污染的“低排放”甚至“零排放”，是把清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体的经济活动。

（3）从技术范式角度

循环经济是一次范式革命，倡导的是一种与环境和谐的经济发展模式，遵循“减量化、再利用、再循环”原则，是一个“资源—产品—再生资源”的闭环反



馈式循环过程，最终实现“最佳生产，最适消费，最少废弃”。

(4) 从人与自然关系角度

循环经济是把清洁生产和废弃物的综合利用融为一体的经济，本质上是一种生态经济，要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动，按照自然生态系统物质循环和能量流动规律重构经济系统，使得经济系统和谐地纳入自然生态系统的物质循环过程中，建立起一种新形态的经济。

(5) 从经济形态和增长方式角度

循环经济是一种新的经济形态和经济发展模式。它以资源循环为主要特征，以环境友好的方式利用资源，将保护环境和发展经济有机地结合起来，把人类生产活动纳入自然循环过程中，所有的原料和能源都在不断循环的经济过程中得到合理和高效利用，从而把经济活动对自然环境的影响控制在尽可能小的程度。

(6) 从广义和狭义角度

广义的循环经济，是指围绕资源高效利用和环境友好所进行的社会生产和再生产活动。狭义的循环经济，是指通过废弃物的再利用、再循环等社会生产和再生产活动来发展经济。

循环经济强调社会经济系统与自然生态系统和谐共生，是集经济、技术和社会于一体的系统工程。循环经济不是单纯的经济问题，也不是单纯的技术问题和环境保护问题，而是以协调人与自然关系为准则，模拟自然生态系统运行方式和规律，使社会生产从数量型的物质增长转变为质量型的服务增长，推进整个社会走上生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。它要求人文文化、制度创新、科技创新、结构调整等社会发展的整体协调。

循环经济不是单纯的经济问题，但要着眼于经济。循环经济建立在物质、能量以及排放、废弃物循环流动基础上，是有时空概念的经济，是有成本概念的经济。经济效益的大小又是循环经济的目标函数，而物质、能量等的有效、合理循环是手段和途径。在实施、推进循环经济的过程中，发展经济仍是主导性的，经济的合理性是物质、能量以及废弃物循环利用的边界条件，没有经济效益的循环是难以为继的。在推进循环经济的过程中，必须充分重视环境效益、社会效益与经济效益的协同，不可偏废。



循环经济的实践要以“减量化、再利用、再循环”为基本原则。“减量化”属于输入端方法，旨在减少进入生产和消费过程的物质量，即在经济活动的源头就注意节约资源和减少污染；“再利用”属于过程性方法，目的是延长产品在消费和生产过程中的时间强度，使各种物质和能量各尽其能；“再循环”属于输出端方法，通过把废弃物再次变成资源以减少最终处理量，使废弃物最大限度地转化为资源，变废为宝、化害为利，减少自然资源的消耗和污染物的排放。在“3R”原则中，“减量化”始终应排在第一位。循环经济的根本目的是要求在经济流程中尽可能减少资源投入，并且系统地避免和减少废弃物。废弃物再生利用只是减少废弃物最终处理量。环境与发展协调的最高目标是实现从末端治理到源头控制，从利用废弃物到减少废弃物的质的飞跃，要求从根本上减少自然资源的消耗，从而也就减少环境负载的污染。

循环经济“3R”原则的排序，实际上反映了20世纪下半叶以来人们在环境与发展问题上思想进步的三个历程：第一阶段，认识到以环境破坏为代价追求经济增长的危害，人们的思想从排放废弃物提高到要求通过末端治理净化废弃物；第二阶段，认识到环境污染的实质是资源浪费，因此，要求进一步从净化废弃物升华到通过再利用和再循环利用废弃物；第三阶段，认识到利用废弃物仍然只是一种辅助性手段，应该是实现从利用废弃物到减少废弃物的质的飞跃。与此相应，在人类经济活动中，不同的思想认识导致三种不同的资源使用方式：一是线性经济与末端治理相结合的传统方式；二是仅仅让“再利用”和“再循环”原则起作用的资源恢复方式；三是包括整个“3R”原则且强调避免废弃物的低排放甚至零排放方式。从末端处理到利用废弃物再到用减量化的原则避免废弃物和全周期控制利用，这一思想发展体现出了循环经济思想的重大理论进步和实践意义。

循环经济的发展有企业、产业园区、区域（社会）由小到大依次递进的三个层面，前者是后者的基础，后者是前者的平台。在企业层面，主要是开展企业内部的物质循环（小循环），实施清洁生产。循环型企业在生产过程上，要求节约原材料和能源，淘汰有毒原材料，削减所有废弃物的数量和毒性；在产品上，要求减少从原材料提炼到产品最终处置的生命周期过程中的不利影响；在服务上，要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。因此，循环型企业是通过在企



业内部交换物流和能流，建立生态产业链，使得企业内部资源利用最大化、环境污染最小化的集约性经营和内涵性增长来获得效益。在产业园区层面，主要是开展企业间的物质循环（中循环），构建生态工业园。生态工业园是一种新型工业组织形态，其物流和能流是通过模拟自然生态系统来设计的。园区内采用废弃物交换、清洁生产等手段把一个企业产生的副产品或废弃物作为另一个企业的投入或原材料，实现物质闭路循环和能量多级利用，形成相互依存、类似自然生态系统食物链的工业生态系统，达到物质、能量利用最大化和废弃物排放最小化的目的。生态工业园具有横向耦合性、纵向闭合性、区域整合性、柔性结构等特点，园区内各企业之间进行副产品和废弃物的交换，能量和废弃物得到梯级利用，共享基础设施，并且有完善的信息交换系统，旨在系统地使一个园区总体的资源、能源增值。在区域（社会）层面，主要是开展社会层面的物质循环（大循环），构建循环型区域（社会）。通常以污染预防为出发点，以物质循环流动为特征，以生态环境、经济、社会可持续发展为最终目标，最大限度地高效利用资源和能源，减少污染物排放。循环型区域（社会）有四大要素：产业体系、基础设施、人文生态和社会消费。即：① 必须构建以工业共生和物质循环为特征的循环经济产业体系。② 必须建设包括水循环利用保护体系、清洁能源体系、清洁公共交通运营体系等在内的基础设施。③ 必须致力于规划绿色化、景观绿色化和建筑绿色化的人文生态建设。④ 必须努力倡导和实施绿色消费和循环消费的社会消费方式。发展循环经济，就是立足于循环型企业、生态工业园区、循环型区域（社会），通过立法、教育、文化建设以及宏观调控，在全社会范围内树立人与自然和谐的观念，实现可持续发展。

循环经济发展中的三个执行主体——政府、企业和公众，在促进循环经济方面分别起着不同的作用。政府作为政策、制度和法律的供给者、行为的示范者同时也是产品的主要消费者，要通过建立和完善相关的法律、法规和政策体系，加强公共管理与服务，以推进企业发展循环经济。企业作为发展循环经济的主体，应在追求经济利益中兼顾社会、环境责任，树立良好的社会形象。同时，公众应提高社会参与意识和行为能力，形成全社会发展循环经济的良好氛围。

从 20 世纪后半叶确定可持续发展战略以来，发达国家正在把发展循环经济、



建立循环型社会看作是实施可持续发展战略的重要途径和实现方式。从国家层面来看，在这方面比较成功的国家主要有德国和日本。德国是最早为循环经济立法的国家，日本是循环经济立法最为完善的国家。

概括发达国家发展循环经济的主要经验，表现为：①制定促进和发展循环经济的法律、法规，有效地约束和规范政府、社会、企业和国民的行为。②制定支持循环经济发展的优惠政策，通过税收、财政等经济手段来刺激和促进循环经济的快速、持续发展。③制定循环经济发展的计划，提出循环经济建设的纲领和总体目标、步骤。④出台可再生能源份额和生产的具体标准，以此来引导循环经济的发展，从传统的依赖资源消耗经济，转变为依靠生态型资源循环来发展经济。⑤制定强有力的措施，抑制阻碍循环经济发展的各种不利因素，为发展循环经济创造良好的条件。⑥建立促进和发展循环经济的非政府组织机构，充分发挥公众、行会和中介组织的作用。

由于国情、所处的社会经济发展阶段、科技文化发展水平和传统，以及制度、体制、机制不同，所以各国在循环经济的认识与实践方面有较大差异。我国的循环经济与发达国家的循环经济相比，产生背景和发展模式均存在不同。

(1) 产生背景不同

发达国家在逐步解决了工业污染和部分生活型污染后，由后工业化或消费型社会结构引起的大量废弃物逐渐成为其环境保护和可持续发展的重要问题。在这一背景下，产生了以提高生态效率和废弃物的“3R”原则为核心的循环经济理念与实践。而我国正处于工业化的中期阶段，投资率高，原材料工业增长速度快，特别是粗放型经济增长方式没有根本改变，资源浪费大，单位产值的污染物排放量高。因而必须注重两端：一方面从资源开采、生产消耗出发，提高资源利用效率；另一方面在减少资源消耗的同时，相应地削减废弃物的产生量。我国发展循环经济是产业生态化与污染治理产业化、动脉产业与静脉产业协调发展的有机统一。我们是处在较低发展阶段，寻求综合性和根本性的战略措施来解决复合型生态环境问题。

(2) 发展模式不同

发达国家的循环经济首先是从解决消费领域的废弃物问题入手，向生产领域



延伸，最终旨在改变“大量生产、大量消费、大量废弃”的社会经济发展模式。如德国的循环经济起源于“垃圾经济”，并向生产领域的资源循环利用延伸；日本的“循环型社会”也起源于废弃物问题，旨在改变社会经济发展模式。从我国目前对循环经济的理解和探索实践看，发展循环经济的直接目的是改变“高消耗、高污染、低效益”的传统经济增长模式，走新型工业化道路，解决复合型环境污染问题，保障全面建设小康社会目标的顺利实现。所以，我国循环经济实践最先从工业领域开始，其内涵和外延逐渐拓展到包括清洁生产（小循环）、生态工业园区（中循环）和循环型社会（大循环）三个层面。

因此，我们既要借鉴国外发展循环经济可用的成功经验，也要根据我国的国情，努力探索形成中国特色的循环经济理论体系。要在加强理论研究的同时，通过试点、示范和实践，不断完善，防止炒作概念、“贴标签”和“运动式”的推行。循环经济是一个复杂的涉及生态环境、经济、社会的系统工程，需要解决技术、体制、机制、法制、政策、投入、管理等一系列问题，不可能一蹴而就，是一个渐进的、逐步逼近的过程。

发展我国的循环经济，需要从法规、政策、技术等多方面协作。

（1）循环经济是一个全局性的系统工程

循环经济在发达国家始于环境保护，一般从废弃物处理入手，不断延伸。从资源上看，逐步向源头减量、过程零排放、废弃物回收再利用延伸；从领域上看，从单纯解决环境问题，逐步向经济、科技、文化、教育等社会各领域的协调发展延伸。

（2）抓住两端，以提高资源利用率为核心

对我国来说，结合国情要抓住两端：在输入端应尽快扭转高消耗、高污染的粗放型经济增长方式，调整产业结构，淘汰和改造落后生产工艺和设备，重点抓好节能、节水、节材、节地等工作；在输出端应重视废弃物回收利用，抓好资源再生产业工作。

（3）注重从不同层面协调发展

循环经济的发展要注重从不同层面协调发展，即小循环、中循环、大循环和资源再生利用产业（也可称为第四产业或静脉产业）。



要大力发展以循环经济为基础的资源再生利用产业。资源再生利用产业的实质是把经济活动衍化为“低开采、高利用、低排放”的物质反复循环流动过程，一方面，通过对废弃物的回收、加工和处理，实现资源的再生利用，减少自然资源的耗费；另一方面，通过对废弃物的回收、加工和处理，控制直接排入自然系统的废弃物，降低对自然环境造成的破坏。大力发展资源再生利用产业将会有力地促进我国循环经济的发展，并将成为我国产业发展体系的重要生力军。

(4) 推动资源节约和再生资源利用的科技工作，开展包括社会科学在内的理论和技术研究

发展循环经济，关键在科学技术，要充分发挥科学技术对发展循环经济的重要支撑作用。尤其要加强“逆向科研”，改变原来只注重提高资源开采率，单一地将资源加工成产品进而使用后废弃的线性行为，要通过逆向科研的开发使废弃物重新回到生产过程之中。

(5) 建立完善的循环经济法律、政策体系

发达国家发展循环经济，共同的经验是建立完善的法律、政策体系。借鉴国外经验，制定符合我国国情的循环经济法律体系，制定鼓励支持发展循环经济的财政、投资、税收、价格、外贸等相关经济政策，用政策引导、市场运作发展循环经济；制定和完善循环经济实施中的监督、管理机制和激励、处罚机制。

(6) 全民参与，加强生态环境意识教育

发展循环经济是一项涉及各行各业、千家万户的事业，需要政府、企业和社会公众的共同参与和努力才能实现，因此，要进行广泛、深入、持久的宣传教育，形成全民资源忧患意识和节约资源、保护环境的责任意识，提倡文明消费。要充分发挥社会公众和民主团体的监督作用，协助政府进行社会监督。

综上所述，我国发展循环经济方兴未艾，在理论和实践上还有待进一步深入探索。加强有中国特色的循环经济理论研究不仅是必要的，而且是紧迫的。本丛书的编写目的就是致力于为构建具有中国特色的循环经济理论和技术支撑体系作出贡献。丛书的编写内容主要从几个方面考虑：①循环经济的基本原理。②循环经济的理论基础。③发达国家的循环经济。④重点行业、重点领域发展循环经济的技术支撑。⑤区域循环经济的发展实践。⑥循环经济的法律、政策保障。



本丛书的编写创意自 2005 年启动以来，得到了循环经济研究领域各方人士的大力支持。首批出版的四本书中，《德国循环经济研究》、《日本的循环型经济与社会》是根据国外的第一手资料结合中国实际编写而成，全面介绍了发达国家发展循环经济的经验、教训以及对我国发展循环经济的启迪，其著者是长期在海外留学、工作的学者。《再制造与循环经济》、《电子电气产品的循环经济战略及工程》是依托重大课题进行长期科学研究的结果，分别阐述了再制造工程的内涵和学科体系、再制造工程在循环经济中的地位和作用、再制造工程的先进关键技术，以及电子电气产品的设计、生命周期过程中的材料流向、资源化技术和相关政策、法规等，其著者是长期从事循环经济技术研究的科研人员。

我们还将根据研究成果陆续出版循环经济与法律、循环经济与生态哲学、材料循环与环境影响、区域循环经济，以及循环经济原理等方面的丛书分册，以期反映出我国循环经济理论与实践的最新成果。

本丛书内容丰富、知识前沿，可为各级政府机关干部、企事业单位员工、高等院校师生，以及与循环经济相关的科学研究与技术人员提供参考。

因缘依旧，道业难成，书中漏万之处，乞望方家绳愆纠谬，毋吝教之。

左铁镛 冯之浚

2007 年 4 月

前言

电子技术和材料技术发展迅速。新技术、新成果的推广和应用使得各式各样的具有新材料、新功能、新造型的电子电气产品不断地大量涌现，深入到了社会和人们生活的各个角落。电子电气产品作为高科技产品，带给人们很大的方便和享受。但同时，由于其结构和材料的复杂性，在其生命周期的每一个环节都给资源、能源和环境造成了负担。电子电气产品由于其数量大、含有危险成分、许多产品更新换代周期缩短等特点，已成为回收业和制造业关注的焦点。目前，几乎所有国家均面临废弃电子电气产品的回收处理问题，对大量废弃的手机、计算机、传真机、电视机等感到非常棘手。欧盟把废弃电子电气产品称为必须重点考虑的废料。

与机械产品不同，电子电气产品的原材料繁多复杂，含有铅、汞、镉、六价铬、多溴联苯、多溴二苯醚等许多有毒有害物质，也同时含有很多金、银、钯等贵金属及铜、镍等普通有色金属。在生产过程中有毒有害物质可能对生产人员造成伤害；在产品废弃后，由于消费观念落后和技术困难等原因，这些废弃电子电气产品很难有序收集进入正常的回收渠道。若随意丢弃或混入城市生活垃圾而填埋，将占用土地资源，污染生存环境，造成材料流失；若焚烧或不适当地化学处置，则会造成更严重的环境污染。

目前，电子电气产品的物资回收率远低于机械产品。电子电气产品生命周期中的资源环境问题已经引起了全球的关注。欧盟等发达国家或组织在 20 世纪 80 年代就开始了相关立法及技术研究。其中最具代表性的是欧盟的 RoHS 和 WEEE 两个指令，分别要求在指定时间内出口欧盟的电子电气产品限制或禁止使用铅等



六种有毒有害物质,以及生产者、销售商和消费者对废弃后的电子电气产品要承担不同的回收责任,并达到相应的回收指标。目前欧盟各成员国都在规定的时间内将上述两个指令转化成了各自的法律来执行。美国、日本等发达国家也纷纷制定了相关法律,并展开了电子产品绿色设计、采购、生产及回收处理的技术研究,出台了相应的技术政策及测试方法。

中国是电子电气产品的生产和消费大国。在国际环境的影响和循环经济思想的指导下,电子电气产品的清洁生产和资源化处理已经引起了政府部门、研究机构和生产企业的高度重视。信息产业部和国家环境保护总局等部门制定了《废弃家用电器与电子产品污染防治技术政策》和《电子信息产品污染控制管理办法》等政策,同时也推出了相应的检测标识标准,以此来规范我国电子电气产品的生产和回收工作,使我国的电子电气产品真正进入其绿色生命周期,实现可持续发展。

全书从电子电气产品的设计、生命周期过程中的材料流向、资源化技术以及相关政策法规等方面做了系统的介绍和分析;反映了清洁生产和资源化处理国内外最新技术;反映了国内外电子电气产品与环境资源相关的最新政策法规。特别是结合作者所在机构的研究工作实践,进行了电子电气产品的绿色生产和资源化回收技术的阐述,目的在于引起人们对电子电气产品环境性能的广泛关注。本书第1章介绍电子电气产品的概念和发展,第2章详细分析了电子电气产品在其生命周期各个环节所涉及的材料流向、能耗及排放的环境协调性问题,第3章分析和介绍了欧盟 WEEE/RoHS 指令的形成、背景、基本内容及其相互关系,指出了废弃电子电气产品的回收及再利用的重要意义,同时介绍了指令在欧盟成员国的执行情况以及美国、日本两国相应的法律法规。在第4、5章详细介绍了国内外电子电气产品的生命周期技术,包括无铅组装技术、废弃电子电气产品的资源化处理现状和技术;第6章从循环经济战略角度,分析了电子电气产品未来发展的资源和环境问题。在附录中给出了中国相关的政策。

本书的撰写工作是在北京工业大学材料学院史耀武教授亲自参与、悉心指导下,由夏志东教授主要负责,与课题组郭福教授合作进行的。课题组雷永平教授(北京工业大学材料学院党委书记)、毛倩瑾老师和北京工业大学循环经济研究

院常务副院长程会强老师也从各方面给予了全力支持。以史耀武教授为核心的北京工业大学先进电子连接材料及电子废弃物资源化课题组从 1998 年以来,开展了电子电气产品无铅化组装以及废弃电子电气产品的资源化成套技术和关键设备的研究,研制出成本低廉的无毒环保型替代连接材料与技术以及电子废弃物成套处理设备,并建立了示范生产线,获得了相关的专利,在国内具有相当的科研声望和实力。本书主要撰写人夏志东教授一直致力于无铅替代技术和废弃物资源化技术研究开发,在国内外学术刊物上发表论文 30 余篇,申请国家发明专利 16 项,并参加了制订无铅焊料和废弃电子电气产品处理相关国家标准的试验和撰写工作。本书在撰写过程中得到了北京工业大学材料学院材料加工研究所的教师和研究生的大力支持,在此表示衷心的感谢。

本书第 1 章由郭福教授撰写,第 3 章由史耀武教授撰写,第 2、4~6 章由夏志东教授撰写。全书统稿工作由夏志东教授担任,任彦斌、王彩芹、丁涛、王素云、郭雅峰等研究生和本科生谢晓倩参与了课题组的研究工作,本科生葛爽参与了部分资料收集工作。本书参考了许多相关文献和资料,在此对其作者表示感谢。

由于水平有限和时间仓促,书中难免存在不足之处,真诚期望同行专家和读者指正。

夏志东

2007 年 2 月

目 录

总 序 前 言

第1章 电子电气产品的发展	1
1.1 电力电子技术的纵向发展——技术本身	3
1.1.1 半导体技术	3
1.1.2 集成电路技术	6
1.1.3 表面贴装技术	12
1.2 电力电子技术的横向发展——应用技术	14
1.2.1 应用领域	14
1.2.2 主要产品	17
1.3 电力电子技术的区域发展——国家与地区	21
1.3.1 发达国家与地区	21
1.3.2 发展中国家	24
结束语	27
第2章 电子电气产品生命周期中的资源流向和环境协调性	28
2.1 电子电气产品的主要制造工艺和材料	28
2.1.1 IC 制造工艺及材料	28
2.1.2 封装材料	29
2.1.3 电子电气产品结构及材料	31
2.2 资源和能源负荷	32
2.2.1 组成物中的可资源化物质及其对环境的影响	32
2.2.2 资源和能源消耗	33