

循环经济系统减量化的经济学分析

杨忠直¹, 孙皓辰²

(1. 上海交通大学 管理学院, 上海 200052; 2. 天津大学 管理学院, 天津 300072)

摘要: 循环经济是以减量化、再使用和资源化为准则的经济运行模式。本文以经济学思想为指导建立了循环经济系统生产过程和消费过程中的减量化经济学模型, 导出了减量化最优资源投入和产品消费的求解方程。利用边际产量和边际效用, 根据求解方程分别对资源利用效率和产品利用效率进行了影响分析, 可以说循环经济系统的减量化运行机制是人类经济活动的科学规律之一。

关键词: 循环经济; 减量化; 利用效率; 经济学

中图分类号: F061.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9107(2006)05-0029-06

一、引言

由于技术进步、利益驱动和竞争, 在工业革命以后掠夺性的自然资源开发, 高投入低效率的生产、高消费和不负责任的大量排污, 导致自然资源耗竭和环境恶化, 以致威胁到人类的生存和发展, 这在工业化和经济发展水平高, 人口众多的国家尤为突出。美国经济学家 Kenneth E. Boulding 1965 年 5 月 10 日在华盛顿州立大学空间科学研究院发表文章《EARTH AS A SPACE SHIP》, 意识到并提醒人们相对于地球的资源 and 空间, 地球的人口太多, 增长太快, 人们不得不回收资源化生产和消费产生的废弃物, 否则人们将会处于生存的困境^[1], 这被认为是循环经济的萌芽。

我国自改革开放以来, 生产力得到大力发展, 经济增长迅速, 然而传统的工业化经济模式和人口问题在经济快速发展的同时, 也给我国未来的社会与经济发展埋下了沉重的包袱: 经济增长的代价太高, 自然资源投入量太大, 资源利用水平太低, 环境污染

太严重。这种境况迫使我们必须走循环经济之路, 才能校正我国现有的经济运行方式, 遵照科学发展观转变经济增长模式, 使我国经济进入健康的发展轨道, 实现生态型和谐社会。因此胡锦涛、江泽民、朱镕基、温家宝、曾培炎等国家领导人以及谢振华、马凯、王玉庆等政府官员从 2002 年开始就大力倡导我国实施循环经济。^[2] 胡锦涛指出: “要加快转变经济增长方式, 将循环经济的发展理念贯穿到区域经济发展、城乡建设和产品生产中, 使资源得到最有效的利用。最大限度地减少废弃物排放, 逐步使生态步入良性循环。”(2003 年 3 月 9 日在中央人口资源环境工作座谈会上的讲话)。曾培炎指出: “在发展经济的同时, 降低资源消耗, 提高环境经济效益, 是减少污染排放、减轻生态破坏、促进可持续发展的治本之策。要坚定不移地走新兴工业化道路, 积极发展循环经济和保护产业。要鼓励发展资源节约型和废物循环利用产业。规范资源回收与再利用的市场运行机制, 扶持并鼓励资源再生利用产业的发展。

收稿日期: 2005-12-02

作者简介: 杨忠直(1956—), 男, 陕西富平人, 上海交通大学管理学院教授, 博士生导师, 研究方向为工程管理, 资产估价, 经济生态学。

建立健全各类废旧资源回收制度和生产者责任延伸制度,通过法律法规明确资源回收责任。加强政策引导,制定和完善废物循环利用的经济政策、自然资源合理定价相关政策。”(2003年7月2日在全国重点流域区域污染防治工作会议上的讲话)。

实施循环经济,不仅是资源短缺和环境污染的压力,而且是人类经济行为的伦理问题。美国的经济以数量和质量并重,倾向于高速发展,资源和环境污染国际化,资源短缺国际解决。德国和日本的经济更偏重质量,在资源和污染国际化的同时,很注重提高资源的利用率和降低污染。不同国家的经济发展目标不同,对发展循环经济所制定政策和法规不同。国际上对资源短缺和环境污染的学术研究集中在生态经济学,环境经济学和资源经济学方面,对循环经济的整体经济学理论和局部经济理论研究很少。改革开放加快了我国的经济,也引进了西方的经济学理论,因此国内一些经济学者在研究西方的市场经济理论,产业经济理论和宏观经济理论的同时,更热衷于现代企业理论,制度经济理论和每年一度授予诺贝尔经济学奖的西方经济理论成果的研究,放松了马克思主义经济理论和社会主义国民经济学理论的研究与应用。国内一些经济学者不结合国情对(甚至过时的)西方经济理论的研究和推崇应用,助长了我国经济的高投入、低效率和高污染,严重影响和制约了我国的经济质量,与国际发达国家相比,给我国经济的长期发展背上了沉重的包袱。相比之下,我国政府官员,科学家和工程专家以建设和谐社会为宗旨,以科学发展观为指导运用系统理论和控制理论,针对我国的可持续发展事业,建立了发展循环经济的系统论理论,研究了实施循环经济的政策法规、工程技术和措施的支持体系。^[2~11]庆幸的是我国已有学者开始探讨循环经济的经济学理论。文献[12]运用生态学原理分析了循环经济的物质循环与平衡,探讨了废弃物资源化的社会劳动价值与市场价格问题。指出与自然资源相比,再生资源的成本和价格具有市场优势时才能形成回收资源化的循环经济规律。文献[13]对循环经济的经济学问题作了较全面的分析,特别强调减量化是资源投入减量化和废弃物排放减量化,资源减量化是从源头减少资源投入和环境污染,而废弃物减量排放是终端环境污染的减量化。要使环境

污染减少,在终端减量排污的同时,更要降低资源投入以从源头减少环境污染,这是资源减量化的效果之一。在技术创新,政策法规配套和管理措施得力的情况下,资源减量化投入更能减少资源消耗,提高资源利用率,保护生态环境,提高人民的生存质量,维护经济可持续发展,这一点与本文切题。文献[14]指出资源减量化在实施循环经济中的重要性,强调建立虚拟交换前置的经济流程,从源头控制资源投入量,进而达到循环经济模式下的产销平衡与总量平衡。该论文的虚拟交换前置是先定需求,然后按需求量确定生产,在产量既定的情况下决定最小的资源投入量。由于生产在前消费在后,信息技术发达,时间的滞后也必然使未来的产品需求量难以准确预测,何况还要受到不确定因素的影响。如果是过去的“计划经济”,这种思想有可能实现。但是本文提出资源减量化在循环经济理论研究上就已经有所突破。目前国内外有关减量化的大量研究集中在生产和生活废弃物的减量化排放以减轻对环境的污染,这比污染的终端治理有了很大进步。本文在多年研究的基础上^[15~18],对循环经济模式下的生产过程资源减量化和消费过程产品减量化作数理经济学分析,以便从经济学理论上支持我国循环经济的实践。^[19]

二、资源减量化的经济学模型

(一)生产过程资源投入减量化

在生产过程中,减量化是生产过程的资源投入减量化,即在产量水平给定时尽可能的减少生产资源的投入数量,其目的是提高资源投入与产出水平的比率,即资源的利用率。

由于产量和生产成本都是投入资源的函数,所以给定产量水平尽可能使成本最小化就可达到在既定产量下的资源投入减量化,其经济学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min: } C &= \sum_{i=1}^I w_i \times x_i \\ \text{s.t. } f(x_i, i=1, 2, \dots, I) &\geq \bar{y} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 x_i 和 w_i 分别表示第 i 种资源的投入数量与对应的资源价格, C 为所有投入资源的总成本; $f(\dots)$ 为产量(或生产)函数, $\bar{y}$ 是既定的产量水平。第 i 种资源的边际产量为:

$$MP_i = \frac{\partial f(x_i, i=1, 2, \dots, I)}{\partial x_i} \quad (2)$$

其经济学意义为:在某一资源投入数量下每增加一单位资源的投入所增加的产品数量。

(1)的求解方程如下:

$$\frac{MP_i}{w_i} = \frac{MP_j}{w_j} = \lambda, i, j = 1, 2, \dots, I; i \neq j \quad (3)$$

(3)表明在资源最优投入状态,单位资源的支付所获取的资源边际产量均等。

模型(1)是在生产既定数量的产品 $\bar{y}$ 时需要投入资源 $x_i, (i=1, 2, \dots, I)$ 的最少成本为多少,并且获得一组资源数量的最佳组合: $\{x_1^*, x_2^*, \dots, x_I^*\}$, 这可以由(3)得到,从而得到既定产量下的最小成本: $C_{Min} = \sum_{i=1}^I w_i \times x_i^*$ 。

减量化是“省”或“节约”的经济思想,即产量水平给定尽可能的减少资源投入。

如果资本投入数量给定,生产过程应当使产量最大化,其经济模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Max: } y &= f(x_i, i=1, 2, \dots, I) \\ \text{s.t.: } \sum_{i=1}^I p_i \times x_i &\leq \bar{C} \end{aligned} \quad (4)$$

这是“多”或“用足”的经济思想,即在有限的投资能力下生产更多的产品。(3)仍然是(4)的最优求解条件。

在没有资源数量和产量限制时,多种资源投入生产多种产品,求其利润最大化,经济学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Max: } \pi &= \sum_{j=1}^J P_j(y_j(x_i, i=1, 2, \dots, I)) \times y_j \\ (x_i, i=1, 2, \dots, I) &= \sum_{i=1}^I w_i(x_i) \times x_i \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $P_j(y_j)$ 是产品 j 的市场价格。(5)的最优求解方程为:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \frac{dp_j}{dy_j} \frac{dy_j}{dx_i} \times y_j + p_j \frac{dy_j}{dx_i} \\ - \left[\frac{dw_i}{dx_i} x_i + w_i \right] = 0, i=1, 2, \dots, I \end{aligned} \quad (6)$$

由此求解得到最优资源投入数量: $\{x_i^*, i=1, 2, \dots, I\}$ 和最优产品数量: $\{y_j^*, j=1, 2, \dots, J\}$, 进而得到资本投入为: $C^* = \sum_{i=1}^I w_i(x_i^*) \times x_i^*$ 和生产收入为: $R^* = \sum_{j=1}^J p_j(y_j^*) \times y_j^*$ 。

模型(5)是“最佳”的经济思想,被认为在理想的市场经济条件下才能达到。

(1), (4), (5)是静态的模型,然而在一般情况下,资源投入在先,产出数量在后,有些资源投入还影响以后多期的产出水平,资源投入和产出数量呈现动态因果关系,尤其是不断增长的社会需求要求产量逐年增长,其资源投入与产量水平的动态关系更为突出,所以有必要建立动态模型来表示减量化的经济学原理。

(二)消费过程产品使用减量化

在消费过程中,减量化是消费过程的产品使用减量化,即在效用水平给定时尽可能地减少商品的消费数量,其目的是提高产品使用与效用水平的比率,即提高产品的利用率。

由于效用和预算成本都是产品数量的函数,所以给定效用水平尽可能使预算成本最小化就可达到在既定效用水平下的产品消费减量化,其经济学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min: } C &= \sum_{j=1}^J P_j \times y_j \\ \text{s.t.: } U(y_j, j=1, 2, \dots, J) &\geq \bar{U} \end{aligned} \quad (7)$$

其中 y_j 和 p_j 为第 j 种商品与对应的商品市场价格, C 为消费者的预算成本, $U(\dots)$ 和 $\bar{U}$ 为消费者的效用函数与最低效用设定水平。(7)是“省”的经济思想,等价与提高商品的效用水平,或提高预算的效用水平。

第 j 种产品的边际效用为:

$$MU_j = \frac{\partial U_j(y_j, j=1, 2, \dots, J)}{\partial y_j} \quad (8)$$

其经济学意义为:在某一产品消费数量下每增加一单位产品的消费所能增加的效用水平。

求解(7)使以下方程式成立:

$$\frac{MU_j}{p_j} = \frac{MU_k}{p_k} = \beta, j, k = 1, 2, \dots, J; j \neq k \quad (9)$$

(9)表明在产品最佳消费状态,单位产品支付所获取的产品边际效用均等。

如果给定消费预算,消费者应尽可能地在预算限额下提高效用水平,其经济学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Max: } U &= U(y_j, j=1, 2, \dots, J) \\ \text{s.t.: } \sum_{j=1}^J p_j \times y_j &\leq \bar{C} \end{aligned} \quad (10)$$

这是“多”的经济思想,同样等价于提高商品的效用水平,或提高预算的效用水平。(9)仍然是方程式(10)的求解条件。

由于人们消费商品的不满足性,效用函数是递增的,所以不存在无预算约束的商品最佳消费数量。

(三)生产与消费全过程减量化

按照经济学原理,生产是为了消费,所以资源的使用应当按照需求而定。考虑需求节约条件下的生产节约型经济学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min: } C &= \sum_{i=1}^I w_i \times x_i \\ \text{s.t. } &\begin{cases} f_j(x_i, i=1, 2, \dots, I) \geq \bar{y}_j, j=1, 2, \dots, J \\ \text{Min: } C = \sum_{j=1}^J p_j \times y_j \\ \text{s.t. } U(y_j, j=1, 2, \dots, J) \geq \bar{U} \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

(11)先求消费过程满足既定效用水平 $\bar{U}$ 的节约型最优商品数量 $\bar{y}_j$ ($j=1, 2, \dots, J$), 然后求解生产过程满足商品需求量 $\bar{y}$ 的节约型最优资源投入数量 x_i^* ($i=1, 2, \dots, I$)。

考虑效用最大化条件下的生产节约型经济学模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min: } C &= \sum_{i=1}^I w_i \times x_i \\ \text{s.t. } &\begin{cases} f_j(x_i, i=1, 2, \dots, I) \geq \bar{y}_j, j=1, 2, \dots, J \\ \text{Max: } U(y_j, j=1, 2, \dots, J) \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^J p_j \times y_j \leq \bar{M} \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

(12)需要先求解消费过程预算约束的效用最大化的最优商品数量 $\bar{y}_j$ ($j=1, 2, \dots, J$), 然后求解生产过程满足商品需求量 $\bar{y}$ 的节约型最优资源投入数量 x_i^* ($i=1, 2, \dots, I$)。

从消费需要出发,节约型最优资源投入的经济学模型为:

$$\begin{aligned} \text{Min: } C &= \sum_{i=1}^I w_i \times x_i \\ \text{s.t. } &\begin{cases} U(y_j, j=1, 2, \dots, J) \geq \bar{U} \\ y_j = f_j(x_i, i=1, 2, \dots, I) \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

其中 $U(\cdot)$ 表示某一经济系统的整体效用函数或社会福利函数。(13)的求解方程式为:

$$\frac{\partial U_i(\cdot)}{\partial x_i} = \frac{\partial U_j(\cdot)}{\partial x_j} = \alpha \quad (14)$$

(14)表明在资源最优投入状态,单位资源的支付所获取的资源边际效用均等。

在模型(13)没有考虑产品市场的存在,也就忽略了产品价格在产品消费中的调节作用,这是不现实的,所以使用模型(11)和(12)均有可操作意义。

三、减量化的效率影响分析

(一)生产过程减量化的影响分析

根据生产过程资源的边际产值定义第 i 种资源的利用效率为:

$$E_i = \frac{\partial f(x_i, i=1, 2, \dots, I)}{\partial x_i} = MP_i \quad (15)$$

影响资源利用效率的因素是技术水平的变化,这反映在生产函数 $f(x_i, i=1, 2, \dots, I)$ 的结构和参数上。边际产值 $\frac{\partial f(x_i, i=1, 2, \dots, I)}{\partial x_i}$ 提高,因而 E_i 提高,所以要提高资源的利用效率就必须增强生产过程的技术创新。

价格变化会通过均衡条件(3) $\frac{MP_i}{w_i} = \frac{MP_j}{w_j} = \lambda, i, j=1, 2, \dots, I; i \neq j$ 影响资源的投入数量,进而影响资源的利用效率,即:在均衡条件下当资源的价格提高时, MP_i 提高,因而 E_i 提高,资源投入数量也必然减少。可见,调控资源的价格是调节资源利用效率的有效途径。

E_i 说明资源是否有必要继续投入生产过程,当 $E_i > 0$, 而且比较大时,说明有必要给生产过程继续投入资源,当 $E_i \leq 0$ 时就没有必要给生产过程投入资源。在有预算约束的多资源生产过程中,最优资源投入数量由(3)确定。

(二)消费过程减量化的影响分析

根据消费过程产品的边际效用定义第 j 种产品的利用效率为:

$$E_j^* = \frac{\partial U_j(y_j, j=1, 2, \dots, J)}{\partial y_j} = MU_j \quad (16)$$

影响产品利用效率的因素是效用函数,这反映在效用函数 $U(y_j, j=1, 2, \dots, J)$ 的结构和参数上。边际效用 $\frac{\partial U_j(y_j, j=1, 2, \dots, J)}{\partial y_j}$ 提高,因而 E_j^* 提高,所以要提高产品的利用效率就必须改善消费过程的偏好。

价格变化会通过均衡条件(9) $\frac{MU_j}{p_j} = \frac{MU_k}{p_k} = \beta, j, k=1, 2, \dots, J; j \neq k$ 影响产品的消费数量,进

而影响产品的利用效率,即:在均衡条件下当产品的价格提高时, MU_j 提高,因而 E_j^* 提高,产品消费数量也必然减少。可见,调控产品的价格是调节产品利用效率的有效途径。 E_j^* 说明是否有必要继续消费产品,当 $E_j^* > 0$, 而且比较大时,说明有必要继续消费产品,当 $E_j^* \leq 0$ 时就没有必要继续消费产品。在有预算约束的多产品消费过程中,最优产品消费数量由(9)确定。

(三)生产与消费全过程减量化的影响分析

在一个经济系统中,资源投入和产品消费是一个完整的经济过程。资源投入生产过程得到产品,产品在市场上销售获得收入;然后消费者在产品市场上购买产品用于消费,产品的消费产生效用;之后消费者又向生产过程提供生产资源进行下一轮生产,如此循环使得经济活动永续进行。就生产和消费的一个全过程而言,资源投入通过生产产品和产品消费使人们获得效用,达到生产发展和人民生活水平提高的要求。

设资源效用函数为: $U(y_j, (x_i, i = 1, 2, \dots, I), j = 1, 2, \dots, J)$, 根据边际效用定义全过程资源 x_i 的利用效率为:

$$E_i^* = \frac{\partial U}{\partial x_i} = \sum_{j=1}^J \frac{\partial U(\cdot)}{\partial y_j} \times \frac{\partial f_j(\cdot)}{\partial x_i} = \sum_{j=1}^J MU_j \times MP_{ji} \quad (17)$$

影响全过程资源利用效率的因素是效用函数 $U(y_j, j = 1, 2, \dots, J)$ 和生产函数 $f(x_i, i = 1, 2, \dots, I)$ 的结构和参数。边际效用 $\frac{\partial U(y_j, j = 1, 2, \dots, J)}{\partial y_j}$ 和边际产值 $\frac{\partial f(x_i, i = 1, 2, \dots, I)}{\partial x_i}$ 提高,因而 E_i^* 提高,所以要提高产品的利用效率就必须改善消费偏好和增强生产过程的技术创新。

$$\text{资源价格变化会通过均衡条件(14)} \quad \frac{\frac{\partial U_i(\cdot)}{\partial x_i}}{w_i} =$$

$$\frac{\frac{\partial U_j(\cdot)}{\partial x_j}}{w_j} = \alpha \text{ 影响产品的资源投入数量,进而影响}$$

全过程资源利用效率,即:在均衡条件下当资源的价格提高时,资源边际效用 MU 提高,因而 E 提高,资源投入数量也必然减少。可见,调控资源的价格是调节全过程资源利用效率的有效途径。

四、研究结论

经济学是研究人类经济活动中的稀缺性资源和产品的节约使用与利用效率问题,循环经济就是为了在经济活动中达到资源的节约和利用率提高。所以经济学原理不能描述当今诸多经济现象和经济结果,就应当实事求是地检查经济活动是否出了问题,科学地反思经济活动是否违背经济规律和人类生存和发展的自然生态规律,应当考虑如何改进和规范人类的经济活动,以提高人类生存和发展水平,促进人类社会的可持续发展。

生产过程的减量化分析是经典的生产经济学理论。事实上,不论是企业、产业,地区还是国民经济系统的高投入、低产出,以及一味追求生产规模和经济增长速度等经济行为不仅与循环经济的减量化原则相悖,因而违背经济规律与自然生态规律。

消费过程的减量化分析是经典的消费经济学理论。事实上,个人、家庭和政府的消费过程的高档次、豪华、奢侈和过多的商品消费,以及所谓的刺激需求和需求拉动促进经济增长等经济行为与循环经济的减量化原则相悖,因而违背经济规律与自然生态规律。

生产过程中要提高资源的利用效率,必须通过技术创新和调整资源(尤其是稀缺的不可再生资源)的价格;在消费过程中要提高产品的利用效率,必须促进改变人们的消费偏好和调整来自稀缺资源生产的产品价格。可见价格不仅是市场均衡的桥梁,而且是调控资源利用效率的重要工具。

参考文献:

- [1] Kenneth E. Boulding. EARTH AS A SPACE SHIP[R]. Washington State University, Committee on Space Sciences, 1965-05-10.

- [2] 国家环境保护总局科技标准司. 循环经济和生态工业规划汇编[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [3] 李兆前. 发展循环经济是实现区域可持续发展的战略选择[J]. 中国人口、资源与环境, 2002, 12(4): 51~56.
- [4] 谢振华. 关于循环经济理论与政策的几点思考[J]. 中国环境产业, 2003, (11): 6~9.
- [5] 徐松龄. 循环经济的理论平台与实验平台[N]. 光明日报, 2004-01-06.
- [6] 冯之浚. 论循环经济[J]. 中国软科学, 2004, (10): 1~9.
- [7] 钱 易. 发展循环经济是全面实现小康社会的必由之路[J]. 河北科技大学学报, 2005, 26(1): 4~9.
- [8] 金 涌, 胡山鹰, 陈定江. 循环经济的工程科学基础[J]. 建材发展导向, 2005, (2): 57~60.
- [9] 李兆前. 循环经济应从六方面推进[N]. 人民日报, 2005-08-11.
- [10] 诸大建, 黄晓芬. 循环经济的对象—主体—政策模型研究[J]. 南开学报(哲学社会科学版), 2005, (4): 86~93.
- [11] 吴季松. 新循环经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [12] 杨文华. 循环经济的生态理念与经济规律[J]. 上海环境科学, 2003, 22(增刊): 89~92.
- [13] 李兆前, 齐建国. 循环经济理论与实践综述[J]. 数量经济技术经济研究, 2004, (9): 145~154.
- [14] 杨雪峰, 张卫东. 资源减量化、信息替代与经济流程的转变[J]. 中国工业经济, 2005, (5): 5~12.
- [15] 杨忠直. 企业生态学引论[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [16] 杨忠直. 商业生态学与商业生态工程探讨[J]. 自然辩证法通讯, 2003, 25(4): 55~61.
- [17] 杨忠直. 以生态化标准推进我国产业发展[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2004, 4(1): 1~7.
- [18] 杨忠直. 循环经济的系统结构与运行分析[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2006, 6(3): 49~53.
- [19] 国家发展改革委员会, 环保总局, 科技部, 财政部, 商务部, 统计局. 发改环资[2005]2199号: 关于组织开展循环经济试点(第一批)工作的通知[Z]. 2005-10-27.

Economic Analysis of Reduction in Circular Economy System

YANG Zhong-zhi¹, SUN Hao-chen²

(1. School of Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052;

2. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Circular economy is an economic operation mode according to the norms of Reduction, Reuse and Recycle. In this paper, the economic models of reduction in processes of production and consumption in circular economy system are built under the guidance of economic thought; the solving equations for optimal resource input and goods consumption in reduction processes are driven. The effects on the utilization efficiency of resource and goods are analyzed by use of MP and MU which is based on the solving equations. It is believed that the reduction mechanism of circular economy system is one of scientific laws of human economic activities.

Key words: circular economy; reduction; utilization efficiency; economics