

基于投入产出技术的制造业各部门 循环经济水平分析 ——以辽宁省数据为例

李 森^{1,2},何海英¹,梁洪源¹

(1. 沈阳建筑大学商学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中科院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要:基于循环经济思想,以传统投入产出表为基础,引入自然资源和环境2个因素,分别建立循环经济实物型和价值型投入产出表,并以辽宁省为例,使用2002年和2012年投入产出数据,对制造业各部门的循环经济效率进行了对比分析。研究发现,制造业整体循环经济效率水平有了一定幅度的提高,多数部门单位产值能耗等指标下降趋势明显,固废的综合利用量显著提高。最后,在实证研究的基础上,提出应当继续增加节能减排关键技术攻关投入,加大高排放部门的治理力度,并制定严格的环保达标制度,以带动制造业整体循环经济效率的提升。

关键词:制造业;循环经济;效率分析;辽宁省

中图分类号:F424.6 **文献标志码:**A

我国是制造业大国,2015年制造业总产值稳居世界第一位,制造业增加值增速达到7.0%,为第二产业3大门类中增速最快的产业。制造业的快速发展为我国社会和经济作出了突出的贡献。但是必须清楚地认识到,我国目前还不是制造业强国,制造业的很多部门还存在着“高消耗、高污染、低附加值”的情况^[1]。由于长时间的粗放发展,制造业同环境之间的矛盾越来越大,特别是在对生产资料需求快速增加的情况下,各类生产所需的自然资源供给不足的现象日益明显,严重影响了制造业的正常生产和经营,我国制造业的长期持续发展受到了巨大的挑战^[2]。

循环经济的概念最早是由美国经济学家波尔丁于1962年提出的。他指出传统线性

的经济增长方式是不可持续的,需要将其转化为闭环的生态型经济发展模式。此后,循环经济的思想开始受到各国政府和经济学家的重视,并同知识经济一起成为国际社会的两大发展趋势。循环经济是一种新型的经济发展模式,具体表现为多产业的有机融合与协调发展,而基于投入产出表的投入产出技术正好能够满足循环经济的这一要求,因此被应用于循环经济水平的测度研究之中^[3]。目前,已经有一些学者基于循环经济的特点,对传统的投入产出模型进行了修改。王德发等^[4]在对工业部门的绿色GDP核算研究中,构建了能源环境投入产出表;杨顺顺等^[5]构建了一个部门间以负产品关联的投入产出分析模型;王俊等^[6]将循环经济部门独立出

来,建立了价值性循环经济投入产出表;李珊珊^[7]基于废弃物投入产出分析,建立了企业循环经济评估模型;佟仁城等^[8]构建了实物型和能值型的循环经济投入产出模型,并根据循环经济的实施过程将部门细分。

从现有研究情况看,基于投入产出技术的循环经济相关研究有 2 个特点。目前,循环经济投入产出表的理论模型构建研究较多,但是由于污染物、循环资源的定价等方面问题,使用投入产出技术对循环经济水平进行实证研究的还很少;现有的实证研究几乎均使用某一年度数据,不能全面反映各部门循环经济水平的演化过程。因此,笔者使用不同年度投入产出数据进行对比分析,能够更加全面反映制造业各部门循环经济效率及其动态变化情况。

一、部门调整及数据来源

1. 部门调整

投入产出表中包含的部门众多,而笔者主要针对制造业进行研究,因此,在实证研究前需要对投入产出表中的产业部门进行调整,根据制造业分类标准,最终确定 16 个产业部门(见表 1)。

表 1 制造业部门分类表

序号	部门	序号	部门
1	食品及烟草	9	金属冶炼及压延加工业
2	纺织业	10	金属制品业
3	纺织服装皮革制品	11	通用、专用设备制造业
4	木材加工及家具制造	12	交通运输设备制造业
5	造纸印刷制造	13	电气机械及器材制造业
6	石油加工业	14	通信设备制造业
7	化学工业	15	仪器仪表制造业
8	非金属矿物制品业	16	工艺品及其他制造业

研究还需要构建制造业循环经济投入产出表,笔者在传统投入产出表的基础上,增加了资源恢复部门和污染物治理部门。恢复部门分为煤炭、油气 2 类;污染物治理部门分为废水、废气、固废 3 类。

2. 数据来源

数据主要来自《辽宁投入产出表》,目前,我国每 5 年编制一次投入产出表,2012

年投入产出表是可以获得的最新数据,因此,选择 2012 年投入产出表数据为样本,并同 2002 年数据进行对比分析,其他数据来自于《辽宁省统计年鉴》。

二、制造业循环经济投入产出模型的建立

传统投入产出表没有对产业部门类型进行区分,为了满足对制造业各部门循环经济水平评价的需要,在中间投入部分引入了资源 和环境 2 个因素。其中,资源投入是指制造业生产所需的原材料;环境投入是指制造业生产过程中所产生的各类废弃物。而在中间使用部分增加了恢复和治理部门,这样就构建了制造业循环经济投入产出表的第一象限(见表 2)。

表 2 制造业循环经济投入产出表第一象限

投入	产出		
	资源恢复部门	生产部门	污染物治理部门
资源使用部门	a_{ij}^r	a_{ij}^p	a_{ij}^w
生产部门	b_{ij}^r	b_{ij}^p	b_{ij}^w
污染物排放部门	c_{ij}^r	c_{ij}^p	c_{ij}^w

表 2 中, a_{ij}^r 、 a_{ij}^p 、 a_{ij}^w 分别表示资源恢复、生产和污染物治理的 j 部门对资源使用部门 i 的消耗量; b_{ij}^r 、 b_{ij}^p 、 b_{ij}^w 分别表示资源恢复、生产和污染物治理的 j 部门对生产部门 i 的消耗量; c_{ij}^r 、 c_{ij}^p 、 c_{ij}^w 分别表示资源恢复、生产和污染物治理 j 部门的污染物 i 的排放量。

同时,由于传统投入产出表中不包含这些部门,因此,在进行部门调整后,需要对原有投入产出表中的数值作进一步调整,以确保投入产出数据的平衡,在此借鉴雷明等^[9]人的做法,将恢复和治理部门数据在林业和通用、专用设备部门分别进行调整。

1. 横向平衡关系

在投入产出表中,横向各部门的投入和产出具有平衡关系,在此基础上构建的循环经济投入产出表同样具有这样的平衡关系,并因为引入了新的部门,形成了 3 组平衡关系,包括资源消耗、生产和污染物排放,其计算过程为

$$\sum_{j=1}^l a_{ij}^r + \sum_{j=1}^m a_{ij}^p + \sum_{j=1}^n a_{ij}^w + f_i^r = q_i^r \quad (1)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, l$ 。

$$\sum_{j=1}^l b_{ij}^r + \sum_{j=1}^m b_{ij}^p + \sum_{j=1}^n b_{ij}^w + f_i^p = q_i^p \quad (2)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

$$\sum_{j=1}^l c_{ij}^r + \sum_{j=1}^m c_{ij}^p + \sum_{j=1}^n c_{ij}^w + f_i^w = q_i^w \quad (3)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

式中: f_i^r 、 f_i^p 、 f_i^w 分别表示最终产品对资源、生产部门的使用量及对污染物排放的治理投入; q_i^r 、 q_i^p 、 q_i^w 分别表示资源和生产的总产量及污染物排放总量。

2. 直接消耗系数

直接消耗系数是投入产出技术最重要的分析指标,能够直观的反映出 2 个部门之间的直接联系^[10]。在构建的循环经济投入产出表中,直接消耗系数主要体现各部门间的资源使用效率以及污染物排放情况。由于在中间投入部分,共有资源使用、生产和污染物排放 3 个类别,因此,可以分别得到这些部门的直接消耗系数。

(1)资源使用直接消耗系数。由表 2 可知中间使用也分为 3 类,包括资源恢复、生产和治理部门,可以分别对这 3 个部门的直接消耗系数进行计算,其计算过程为

$$\begin{cases} \beta_{ij}^r = \frac{a_{ij}^r}{q_j^r} \\ \beta_{ij}^p = \frac{a_{ij}^p}{q_j^p} \\ \beta_{ij}^w = \frac{a_{ij}^w}{q_j^w} \end{cases} \quad (4)$$

(2)生产直接消耗系数。同资源使用消耗一样,生产部门的直接消耗系数也可以分成 3 种情况,其计算过程为

$$\begin{cases} \gamma_{ij}^r = \frac{b_{ij}^r}{q_j^r} \\ \gamma_{ij}^p = \frac{b_{ij}^p}{q_j^p} \\ \gamma_{ij}^w = \frac{b_{ij}^w}{q_j^w} \end{cases} \quad (5)$$

(3)污染物直接排放系数。污染物的排放系数主要反映该部门生产单位产品所产生的污染物数量,其计算过程为

$$\begin{cases} \theta_{ij}^r = \frac{c_{ij}^r}{q_j^r} \\ \theta_{ij}^p = \frac{c_{ij}^p}{q_j^p} \\ \theta_{ij}^w = \frac{c_{ij}^w}{q_j^w} \end{cases} \quad (6)$$

3. 资源恢复系数

资源在使用时需要交纳一定的资源恢复费用,用该项费用同资源使用费用的比值来表示资源恢复系数,该系数体现了该部门的循环经济水平,其计算过程为

$$\mu_i = \frac{Q_j^r}{q_j^r} \quad (7)$$

其中, Q_j^r 为总恢复量。

4. 污染物治理系数

污染物治理需要投入资金,污染物对环境所造成的负面影响也可以进行价值量化,使用两者的比值来表示污染物治理系数,其计算过程为

$$\varphi_i = \frac{Q_j^w}{q_j^w} \quad (8)$$

其中, Q_j^w 为治理总投入。

5. 完全消耗系数

将各部门的直接消耗系数以及资源恢复系数和污染物治理系数带入到循环经济投入产出表的横向平衡关系中,经过公式变换,得到了各部门的完全消耗系数。其计算过程为

$$B = \begin{bmatrix} I - \mu B^r & -B^p & -\varphi B^w \\ -\mu \Gamma^r & I - \Gamma^p & -\varphi \Gamma^w \\ -\mu \Theta^r & -\Theta^p & I - \varphi \Theta^w \end{bmatrix}^{-1} - I \quad (9)$$

其中, B 、 Γ 、 Θ 分别为资源使用直接消耗系数、生产直接消耗系数、污染物直接排放系数的矩阵。

三、制造业循环经济水平实证研究

1. 实物型投入产出分析

根据相关计算公式,得到辽宁省制造业各部门石油和煤炭的单位产值能耗变化情况

(见表 3)。

表 3 辽宁省制造业各部门单位产值能源消耗系数变动情况

部门 序号	煤炭消耗系数		石油消耗系数	
	2002 年	2012 年	2002 年	2012 年
1	0.172	0.036	0.005	0.006
2	0.304	0.062	0.003	0.006
3	0.035	0.026	0.003	0.008
4	0.075	0.023	0.004	0.008
5	0.931	0.081	0.010	0.008
6	0.187	0.130	4.304	1.213
7	0.657	0.178	0.509	0.292
8	1.022	0.353	0.059	0.019
9	2.799	1.086	0.044	0.007
10	0.050	0.022	0.013	0.014
11	0.093	0.058	0.005	0.013
12	0.132	0.020	0.015	0.010
13	0.085	0.022	0.005	0.007
14	0.018	0.004	0.001	0.002
15	0.085	0.012	0.003	0.011
16	0.020	0.071	0.003	0.009
均值	0.702	0.243	0.635	0.162

从表 3 可知,辽宁省制造业各部门对 2 种能源形式的单位产值消耗量的均值有了显著的下降,在资源的减量化方面制造业的循

表 4 辽宁省制造业各部门单位产值污染物排放系数变动情况

部门 序号	废水排放系数		废气排放系数		固废排放系数	
	2002 年	2012 年	2002 年	2012 年	2002 年	2012 年
1	17.239	2.396	0.739	0.076	0.453	0.059
2	48.359	23.086	1.334	0.265	0.365	0.131
3	5.407	2.064	0.143	0.022	0.046	0.008
4	3.634	0.235	0.396	0.121	0.148	0.018
5	12.846	7.242	2.314	0.367	0.848	0.220
6	3.456	0.870	0.761	0.207	0.197	0.068
7	28.019	3.598	1.878	0.327	1.126	0.494
8	5.602	0.415	7.547	1.474	0.588	0.179
9	10.756	0.923	5.456	1.896	1.944	0.737
10	3.772	0.942	3.781	0.127	0.042	0.044
11	1.875	0.145	0.106	0.017	0.059	0.005
12	4.259	0.394	0.292	0.073	0.079	0.012
13	2.328	0.241	0.215	0.048	0.028	0.003
14	1.956	2.460	0.158	0.272	0.019	0.009
15	16.374	0.367	1.849	0.020	0.217	0.002
16	2.033	1.361	0.942	0.162	0.031	0.082
均值	10.495	2.921	1.745	0.342	0.387	0.129

由表 4 可知,各部门的污染物排放系数均值有了一定水平的下降,其中,废水和废气

循环经济水平有了明显提升。但是一些部门的能耗水平还有待进一步提升。

在煤炭消耗部分,金属冶炼业的能耗最高,其完全消耗系数 2012 年达到了 1.086,这是因为目前煤炭仍然是该部门的主要能源形式。为了进一步降低辽宁省制造业单位产值煤炭的消耗量,可以加大金属冶炼部门节能技术的研发和应用力度。在石油消耗部分,石油加工部门的单位产值能耗最高,虽然同 2002 年相比已经有了较大幅度的下降,但在 2012 年其数值仍然高达 1.213。究其原因,一方面是由于该部门在生产的过程中需要消耗大量的石油作为能源;另一方面是由于在部分生产中,将石油作为一种原材料进行使用。同时,工艺品及其他制造业等部门的石油能耗水平有所提高,因为这些部门的能源消费结构发生了变化,煤炭的消费量逐渐下降,石油的消费比重逐年提高。

在对各部门投入端的减量化进行分析后,再进一步对辽宁省制造业各部门输出端的减量化情况进行研究。3 种废弃物的单位产值排放量如表 4 所示。

的减排效果十分明显。从单项污染物的排放情况来看,首先,在废水排放部分纺织业的排

放系数最高,远高于其他部门,此外,通信设备制造业的排放系数有所上升。因此,在继续加大纺织业减排投入力度的同时,也应重点关注通信制造业等新兴部门的减排工作。其次,在废气排放部分,多数制造业部门的减排幅度都很大,但是非金属矿物制品业部门的废气排放系数较高,究其原因一方面是因为消耗能源产生废气,另一方面是因为生产过程中所产生的粉尘等。最后,在固废排放部分,多数制造业部门的排放水平有了较大的提高,其中,化学工业的排放系数最大,需要在未来进一步加大对这个部门的治理力度。

固体废物的综合利用量也是反映制造业循环经济水平的重要指标,各制造业部门的固废综合利用量如表 5 所示。

表 5 辽宁省制造业各部门的固体废物综合利用量变动情况

万 t

部门 固废综合利用量			部门 固废综合利用量		
序号	2002 年	2012 年	序号	2002 年	2012 年
1	75.83	145.06	9	659.29	2 094.05
2	18.60	26.02	10	3.06	34.50
3	2.71	3.34	11	15.08	18.57
4	5.13	9.47	12	13.18	19.82
5	36.91	78.93	13	2.18	3.03
6	53.40	128.79	14	2.21	3.69
7	284.91	1 088.38	15	2.14	0.20
8	86.38	268.04	16	0.67	11.55

由表 5 可知,多数制造业部门的固废综合利用量有了一定程度的上升,仅仪器仪表制造业的固废综合利用量下降。

2. 价值型投入产出分析

为了全面反映辽宁省制造业循环经济水平的变化情况,通过对相关数据进行价值化处理,构建了价值型的循环经济投入产出表。首先对恢复部门进行价值化处理,根据国务院(1994)第 150 号令,矿产资源的补偿费率为 1.25%,以煤炭资源为例,2012 年煤炭业的产值为 325 亿元,补偿金额为 4.06 亿元。同时,根据式(7)得到了这 2 个部门的恢复系数均为 1.25%。

根据环保部门公布的数据,废水、废气和固体废物的处理成本分别为 0.55 元/t、

14.88 元/万 m³、19.15 元/t,并根据式(8)分别计算出废水、废气、固体废物的消除系数,得到 2012 年 3 种废弃物的消除系数分别为 95.1%、90.02%、99.28%。由于篇幅所限,仅列出 2012 年制造业各部门能源消耗系数和污染物系数的相关数据(见表 6、表 7)。

表 6 2012 年辽宁省制造业各部门能源消耗系数

部门 序号	煤炭直接 消耗系数	油气直接 消耗系数	煤炭完全 消耗系数	油气完全 消耗系数
1	0.002	0.003	0.035	0.363
2	0.003	0.003	0.047	0.533
3	0.001	0.004	0.038	0.435
4	0.001	0.004	0.039	0.424
5	0.004	0.005	0.047	0.499
6	0.006	0.650	0.112	2.453
7	0.009	0.157	0.077	1.222
8	0.017	0.010	0.067	0.512
9	0.053	0.004	0.131	0.629
10	0.001	0.007	0.072	0.479
11	0.003	0.007	0.065	0.446
12	0.001	0.005	0.053	0.409
13	0.001	0.004	0.075	0.522
14	0.000	0.001	0.047	0.453
15	0.001	0.006	0.050	0.489
16	0.004	0.005	0.034	0.290

表 6 中列出了 2012 年辽宁省制造业各部门煤炭和油气的消耗系数,在煤炭消耗部分,金属冶炼、石油加工业等部门的完全消耗系数较高,而工艺品及其他制造业部门的完全消耗系数较低。在油气消耗部分,同样也存在着消耗的不均衡现象,石油加工业、化学工业等部门的完全消耗系数较高,工艺品及其他制造业、食品及烟草等部门的排放系数较低。可以看出实物型和价值型投入产出表的分析结果是基本一致的。

表 7 中列出了 2012 年辽宁省制造业各部门污染物排放系数,在废水排放部分,纺织业、造纸印刷制造等部门的完全排放系数较高,而非金属矿物制品业等部门的排放系数较低。在废气排放部分,金属冶炼、石油加工业等部门的排放系数较高,亟需加强对这些部门治理的投入力度;而工艺品及其他制造业、食品及烟草等部门的排放系数较低。在固废排放部分,石油加工业、化学工业等部门

表 7 2012 年辽宁省制造业各部门污染物排放系数

部门 序号	废水直接 消耗系数	废气直接 消耗系数	固废直接 消耗系数	废水完全 消耗系数	废气完全 消耗系数	固废完全 消耗系数
1	0.003	0.003	0.001	0.009	0.057	0.034
2	0.025	0.009	0.003	0.049	0.081	0.044
3	0.002	0.001	0.000	0.027	0.062	0.035
4	0.000	0.004	0.000	0.008	0.064	0.034
5	0.019	0.013	0.005	0.035	0.082	0.043
6	0.001	0.007	0.002	0.018	0.171	0.099
7	0.004	0.011	0.011	0.017	0.116	0.073
8	0.001	0.051	0.004	0.008	0.132	0.044
9	0.001	0.066	0.016	0.010	0.180	0.070
10	0.001	0.004	0.001	0.008	0.106	0.046
11	0.000	0.001	0.000	0.007	0.089	0.040
12	0.000	0.003	0.000	0.007	0.078	0.036
13	0.000	0.002	0.000	0.008	0.108	0.048
14	0.003	0.009	0.000	0.012	0.086	0.037
15	0.000	0.001	0.000	0.009	0.080	0.039
16	0.002	0.006	0.002	0.009	0.052	0.026

的排放系数较高,而工艺品及其他制造业等部门的排放系数较低。

四、提升制造业循环经济水平的对策建议

通过实证研究发现,辽宁省部分制造业部门有着很大的减排潜力,制造业整体循环经济水平有待进一步提升。结合辽宁省制造业各部门循环经济发展现状,提出如下对策建议:

- (1)增加节能减排关键技术攻关投入。在制造业部门生产的各个环节上,加大节能减排关键技术的攻关投入。制造业企业应当同高校、科研院所进行合作,对生产流程进行优化,降低单位产值的能耗和污染物排放量,并提高资源的循环使用量。政府也应积极参与节能减排技术的推广和应用,带动制造业整体循环经济水平的提高。
- (2)加大对高污染部门的治理力度。根据实证分析结果,应当加强对金属冶炼及压延加工业、石油加工业、纺织业等高污染部门的治理力度。政府应当成立专门的环保领导小组,对重点企业的排放情况进行实时监控,并严厉查处涉及环境污染的无证经营行为。
- (3)制定严格的环保达标制度。政府应当依托工商登记注册职能,加大对高耗能、高污染企业准入的审核力度,从源头上杜绝环

保不达标企业进入市场。针对现有环保不达标企业设定环保达标倒计时,对于到期后仍不达标企业,政府应强制其关停整顿并禁止其生产产品在市场上进行销售。

五、结 语

笔者构建了制造业循环经济投入产出表,分别从实物量和价值量的角度分析了辽宁省制造业各部门的能源消耗、污染物排放和废弃物循环利用情况。研究发现辽宁省制造业整体循环经济水平有了明显的提升,但金属冶炼、石油、纺织等部门的能源消耗和污染物排放系数仍然较高,应当重点进行治理。辽宁省是我国的制造业大省,随着国家越来越重视环境保护工作,政府、企业应当共同努力,不断提升制造业循环经济水平,实现制造业的可持续增长,为改善地区环境质量做出应有的贡献。

参考文献:

[1] 王玉玲. 中国制造业发展:成就、困境、趋势和现实选择[J]. 税务与经济,2017(5):10-18.

[2] 聂荣,李森. 我国省域工业循环经济效率评价及其影响因素研究[J]. 生态经济,2016(4): 89-92.

[3] 吉小燕,郑垂勇. 基于循环经济的投入产出表

的改进[J]. 统计与决策,2007(3):49-50.

[4] 王德发,阮大成,王海霞. 工业部门绿色 GDP 核算研究 2000 年上海市能源环境经济投入产出分析[J]. 财经研究,2005(2):66-75.

[5] 杨顺顺,栾胜基,王颖. 基于负产品投入产出分析的循环经济量化评价及实证研究[J]. 中国人口资源与环境,2007(6):77-82.

[6] 王俊,李俊霖. 循环经济的投入产出分析[J]. 南方经济,2006(11):14-21.

[7] 李姗姗. 基于废物投入产出视角的循环经济定量评估[J]. 统计与决策,2014(14):22-24.

[8] 佟仁城,刘轶芳,许健. 循环经济的投入产出分析[J]. 数量经济技术经济研究,2008(1):40-52.

[9] 雷明,赵欣娜. 动态效应 网络效应 产业“三E”绩效:基于绿色投入产出核算和动态网络 Malmquist 模型[J]. 经济学报,2014(4):158-187.

[10] 王勇. 中国投入产出核算:回顾与展望[J]. 统计研究,2012(8):65-73.

Analysis of Manufacturing Department Circular Economy Efficiency Based on Input-Output Technology : Taking Data in Liaoning Province as an Example

LI Sen^{1,2}, HE Haiying¹, LIANG Hongyuan¹

(1. Business School, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract:Based on the idea of circular economy and the traditional input-output table, we introduce two factors of natural resource and environment, and respectively establish circular economy input-output table in physical and valuable type. Taken Liaoning province as an example, the circular economy efficiency of manufacturing department is analyzed with input-output data in 2002 and 2012. Through the research, we find that the overall recycling economy efficiency of manufacturing industry has been increased to a certain extent. The indicators of energy consumption per unit of output in most departments have shown a significant downward trend, and the comprehensive utilization of solid waste significantly increases. Finally, on the basis of empirical research, it is suggested that the key technologies of energy conservation and emission reduction should be increased, the governance of high emission departments should be increased, and the strict environmental protection standard system should be established to promote the improvement of the overall recycling economy in the manufacturing industry.

Key words:manufacturing industry; circular economy; efficiency analysis; Liaoning province