

日本“静脉产业”对我国再生资源发展的启示

李 纓

(中国科学技术交流中心, 北京 100045)

摘 要: 日本经过近 40 年的实践和努力,“静脉产业”已经成为一个现代化的产业体系,有效地解决了资源短缺和环境问题,成为经济社会发展的不可缺少的组成部分。研究和借鉴日本的做法,成功地将传统的“资源—产品—废弃物”地线性经济模式改造成“资源—产品—再生资源”闭合循环经济模式,适时地建立我国的现代化“静脉产业”,对解决当前“环境”和“资源”两大制约发展的瓶颈问题,形成新的经济增长点,解决就业问题,以及实践科学发展观和实现可持续发展有着重要的意义。最后,就规划和设计适合中国国情的“静脉产业”系统,提出了 4 点建议。

关键词: 日本; 静脉产业; 环境; 资源循环

中图分类号: F131.345; F205(313) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2012.10.009

“静脉产业”(VenousIndustry)一词最早是由日本学者马场研二于 1985 年提出的。他把利用地球上各种资源和技术加工成商品供人们消费的产业链称之为“动脉产业”,而把消费后排出废弃物的回收并通过各种技术进行再资源化相关领域,形象地称为“静脉产业”。马场提出的“静脉产业”的思想,可谓全新的社会发展系统观,要求人在生产和消费的同时必须考虑之后的回收和再利用,并通过“静脉产业”来完成系统的闭合循环;只有当“动脉产业”和“静脉产业”均衡发展时,社会生产才能实现可持续的发展。

日本经过近 40 年的实践和努力,“静脉产业”已经成为一个现代化的产业体系,并有效地解决了资源短缺和环境问题,成为经济社会发展的不可缺少的组成部分。

借鉴日本的做法,适时地建立我国的现代化“静脉产业”,对解决当前“环境”和“资源”两大制约发展的瓶颈问题,形成新的经济增长点,缓解就业问题,以及实践科学发展观、实现可持续发展有着重要的意义。

一、必须建立健全“静脉产业”

1. 人类近 200 年的活动,使得自然资源从地下移至地上

产业革命以后,地球人口急剧增加,与此同时,地下资源被不断开采,致使地下资源向地面快速转移,见图 1 所示;随着人类活动和开采量的增加,地下可开采资源量不断减少,一些金属剩余的是可开采年已极为有限,见表 1。

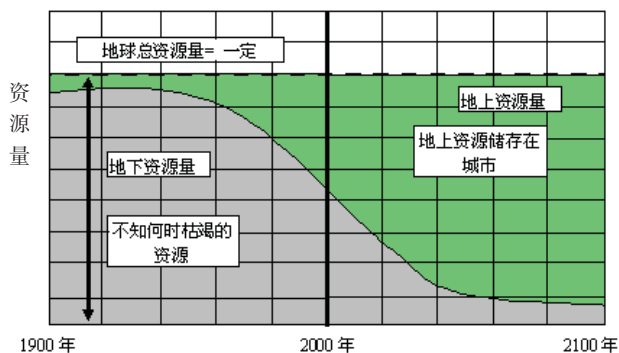


图1 地下资源与地上存量变化趋势

作者简介: 李纓(1953-), 男, 研究员, 主要从事对日科技交流与合作工作。

收稿日期: 2012年6月19日

表1 一些金属剩余可开采年

金属	剩余 开采年	金属	剩余 开采年	金属	剩余 开采年
铁	92	银	14	钨	40
铜	31	钢	6	镍	41
锡	22	锑	16	钼	48
铅	17	锌	22	钴	122
金	17	钽	33	锂	194

由于物质不灭的定义，这些原在地下的资源，逐步转化为地表的二氧化碳和和其他各种产业废弃物，地面的产业废弃物逐渐成为资源的主要存在形式。为此，人类要继续获取资源必须将以开采地下资源为主的形式，转变为利用地上产业废弃物为主

体的新的资源获取形式。

日本独立行政法人物質・材料研究机构(NIMS)2008年1月对日本近100年来废弃物中金属资源的存量进行了测算，见表2所示。

由表2可见，日本国内近100年积存的各种形式的废弃物资源量中，金6800吨，约占全球天然储量的16%；银60000吨，约占全球天然储量的22%；钢1700吨，约占全球天然储量的61%；铅5600000吨，约占全球天然储量的10%，这4种金属在日本的天然储量，均为世界排名第1。另外，日本废弃物中，锂、钼的存量分别为150000吨、2500吨，其天然储量世界排名为第6和第3位；废弃物中，铁的存量约12亿吨，铝6000万吨，铜3800万吨。

表2 日本NIMS 测算废弃物资源存量

金 属	世界金属量		日本废弃物中金属量			日本金属埋藏量在世界排名
	年消费量/吨	埋藏量/吨	存量/吨	占世界埋藏量比例/%	与世界消费量之比	
铝 Al	177 000 000	25 000 000 000	60 000 000	0.24	0.3	12
锑 Sb	112 000	1 800 000	340 000	18.89	3.0	3
铬 Cr	20 000 000	810 000 000	16 000 000	1.98	0.8	4
钴 Co	57 500	7 000 000	130 000	1.86	2.3	6
铜 Cu	15 300 000	480 000 000	38 000 000	7.92	2.5	2
金 Au	2 500	42 000	6 800	16.19	2.7	1
钢 In	450	2 800	1 700	60.71	3.8	1
铁 Fe	858 000 000	79 000 000 000	1 200 000 000	1.62	1.4	11
铅 Pb	3 300 000	57 000 000	5 600 000	9.82	1.7	1
锂 Li	21 100	4 100 000	150 000	3.66	7.1	6
钼 Mo	179 000	8 600 000	230 000	2.69	1.3	6
镍 Ni	1 550 000	64 000 000	1 700 000	2.66	1.1	9
铂 Pt	445	71 000	2 500	3.52	5.6	3
稀土金属 RE	123 000	88 000 000	300 000	0.34	2.4	6
银 Ag	19 500	270 000	60 000	22.22	3.1	1
钽 Ta	1 290	43 000	4 400	10.23	3.4	3
锡 Sn	273 000	6 100 000	660 000	10.82	2.4	5
钨 W	73 300	2 900 000	57 000	1.97	0.8	5
钒 V	62 400	13 000 000	140 000	1.08	2.2	4
锌 Zn	10 000 000	220 000 000	13 000 000	5.91	1.3	6

日本国内已有相当多的以废弃物形式存在的金属积存量超过了世界总储量的 10%，其中，以电子垃圾形式存在的黄金储量甚至超过了世界第一黄金大国南非的总储量。

另据日本专业杂志《金属时评》公布的数据显示，从 1 吨废旧手机中，可以提炼 400 克黄金（1 个手机重量 80 克，含金 0.032 克）、2.3 公斤银、172 公斤铜；从 1 吨废旧个人电脑中，可提炼出 300 克金、1 公斤银、150 公斤铜和近 2 公斤稀有金属等。而天然矿山通常情况下，开采 1 吨金砂仅能提炼出 5 克黄金。因此，相比之下，就有人把生活、产业废弃物看成是高纯度“城市矿山”。理论上说，这种以废弃物形式存在的资源，品位一般要高于自然界的矿物，如果方法得当，其利用成本可以低于开采自然界的矿物，因此，这成为今后人类维持生存的主要资源来源。

2. 地上产业废弃物如不加科学处理，不但造成资源的浪费，还将严重威胁着人类的生存环境

转移到地面上的生活、产业废弃物，如不加以科学地再资源化处理，对人类生存环境的严重危害是不言而喻的。以荧光灯管为例，每一荧光灯管水银含量 10~100 毫克不等（见表 3），仅日本，一年就废弃 6 亿根荧光灯管。这些灯管中的水银被酸雨溶解后，进入饮水和食物链，给人类带来危害。

表3 灯管中水银含量

荧光灯类型	每根水银含量/毫克
直管 20 瓦	15~20
直管 40 瓦	20~30
直管 110 瓦	60
园管	10~30
水银灯	100

中国是世界上最大的荧光灯管生产国。据中国商务网的统计，2011 年，中国当年共生产了 35 亿只荧光灯，其回收无害化处理几乎为零。在 1980—2010 年，中国仅荧光灯一项累计社会废弃量就近千亿支，造成的污染不可小视。

据日本环境厅的资料，一台 21 英寸电视机的阴极彩管约含有 1 公斤的铅。中国已进入彩电大量报废时期，若每年报废 1 000 万台彩电及旧电脑显

示屏，就会产生 10 000 吨的铅污染。

日本环境杂志 2004 年 6 月期报道，电池中含有各种重金属，如镍镉电池中，Cd 250 毫克/克，Mn 44 毫克/克，Ni 210 毫克/克；锰电池含有 Zn，Mn，Fe；碱电池含有 Mn，Zn，Fe，Gu，Ni；镍氢电池含有 Ni，Fe，Al，Co，Mn，Zn；等等。此外，纽扣锌锰电池的汞含量约为 0.5%~1%。

根据中商情报数据网的数据，2009 年，我国共生产各类电池 400 亿支，其纽扣锌锰电池 80 亿个，用汞约 100 吨，而整个电池回收量不足 2%。另外，2009 年，全年生产了 12 000 万千伏安时的铅酸电池，其固定回收仅约为 10%。

2010 年，中国手机产量 9.98 亿部，笔记本电脑 2.44 亿台（工信部数据），其他各类电子家电均以 30% 以上的年增长速度发展。为生产这些家电等产品，2009 年，中国共生产电石法聚乙烯 915 万吨，使用汞触媒 7 000 吨，耗汞 550 吨。在各类家电产量剧增，大量销费的同时，废旧电子及其他废弃物垃圾已成为中国增长速度最快、危害最大的环境污染物之一。各类废弃垃圾正以排山倒海之势逐渐包围我们的城市，侵蚀土地和江河湖海，严重地危害我们的生存环境。

3. “静脉产业”在解决“环境”和“资源”问题的同时可形成重要的新兴产业

日本所从事的“静脉产业”已完全不同于传统意义上的“垃圾回收”产业，“同和（DOWA）产业”、“フルヤ金属”及“JFE”等一批“静脉产业”相关企业采用先进的技术，通过对各种回收的电子废弃物进行再资源化，创造了巨大的产值，形成了新的产业。

日本秋田 DOWA 公司，2010 年，从“电子垃圾”中，回收提取黄金 7.4 吨、银 321 吨、电解铜 68 846 吨、铅 12 060 吨、锌 154 069 吨；从汽车尾气过滤器中，回收提取白金约 15 吨（世界总产量约 150 吨）；从锂离子电池、核反应堆废料、液晶电视面板中，提炼出铋（Bi）100 公斤、钼 60 公斤、铈 30 公斤，以及其他 17 种稀有贵重金属。

日本“フルヤ金属”是专门从事从废弃的计算机硬盘中提取钌（ruthenium）的企业，2009 年，共提取钌 20 吨，使得世界钌市场价格大跌。

有资料显示,2000年,日本回收和资源再生产业产值为21兆日元,创造了57万个就业岗位;2004年,美国“静脉产业”创造了2360亿美元的毛利润,这相当于一年全美汽车工业产值,而且提供了几十万个就业机会。理论上计算,通过对旧家电及其他产业废弃物的利用,与通过采矿、运输、冶炼得到的金属相比,可以减少97%的矿山废弃物、86%的空气污染、76%的水污染;节约74%的能源、减少40%的用水。

二、日本发展“静脉产业”的做法

虽然理论上说,每一部手机中约含有0.032~0.17克黄金,但要想得到这种金属,变废为宝,将废弃物产业(垃圾产业)改造成有利可图、可持续发展的新兴产业,并非是一件容易的事,必须解决好政策法规环境和科技支撑两个关键问题,建立起与企业生产、产品消费(动脉系统)相同步的废弃物回收利用的物质闭环流动现代化的“静脉产业”经济系统。日本在这方面做了长期不懈的努力,形成了一整套行之有效的做法,成功地将传统的“资源—产品—废弃物”的线性经济模式改造成“资源—产品—再生资源”闭环经济模式,从而使经济活动对自然生态系统的破坏和影响降到最低程度,“静脉产业”已经成为国家和产业赖以生存的关键性战略性产业。

(一) 建立废弃物回收利用物质闭环流动系统

日本以新的系统观,建立起覆盖全社会生产和生活活动的废弃物回收利用物质闭环流动系统,形成了集经济、技术和社会于一体的“静脉产业”体系。

经过40年的努力,日本形成了“容器包装”、“家电”、“纸张”、“建筑废弃物”、“汽车”、“食品残渣”和“电池”等10大类,69品种废弃物回收、再资源化产业系统,建立了全国统一的回收制度和回收体系,根据废弃物性质的不同,组成了分别由生产者(家电等)、回收业者(金属、汽车等)、自治体、废品回收协会等不同的网络,负责回收和再资源化。

日本的“静脉产业”系统分为3个层面:小循环——企业内实现绿色生产和设计,减少能源及中间物料消耗,对排出物在企业内部进行回收处理;

中循环——在区域内按照工业生态学原理,对企业间上下游进行合理布局,形成共生关系,减少消耗;大循环——对社会产业、生活的废弃排出物进行全面的控制和管理,建设“静脉产业”,完成闭合式循环。

对废旧家电,日本制定了以家电制造企业为责任人的回收处理体制,如东芝、索尼等联合建立了处理网络并现代化的处理中心;对餐饮及食品制造过程产生的残渣(日本家庭排除餐饮残渣每年大约1600万吨,食品制造过程产生有机废弃物340万吨)采取了以专业回收公司为主体的处理回收做法,并强化已有的3000家农业有机肥堆肥中心的作用,采用现代化的大型沼气及其他方法,在技术上致力解决残饭剩菜等废弃物中含盐量过大影响有机肥质量的问题,使得餐饮残渣及其他有机废弃物的循环利用比例不断扩大。

2010年,日本全国49个家电处理中心实际再资源化处理了4种家电1849万台,再资源化率为:空调88%(法定70%)、显像管电视86%(法定55%)、液晶等离子电视86%、冰箱75%(法定60%)、洗衣机干燥机85%(法定65%)。此外,塑料瓶、玻璃瓶、铝制或铁制饮料罐、纸制包装箱、废纸及玻璃等再资源化率均超过80%,在世界上处于最高水平,并均超过了日本法定的回收再资源化规定比例。

(二) 建立完备的环境执法监督体系

将各种产业生活废弃物分门别类,按照资源再循环的需要收集起来,这是实现“静脉产业”的第一步。为了做到这一点,日本建立了完整、具有前瞻性的法规体系,采取了基本法统筹综合法和专门法的模式。其法律分为3个层次:第一是基本法层面,设立了《环境基本法》和《循环型社会形成推进基本法》;第二是综合法层面,建立了《固体废弃物处理和公共清洁法》和《资源有效利用促进法》;第三是各种专项法,制定了《容器包装分类回收及再生利用促进法》、《特定家用电器再生利用促进法》、《建筑废弃物回收利用促进法》、《食品循环利用法》、《绿色采购法》、《废旧电池处理规定》及《废旧汽车处理规定》等。

日本对废弃物处理参与者采取准入制度,用法律规定从事废弃物处理的业者必须有技术能力和资

质,并规定处理业者对处理过程中产生二次污染等负有相应的责任。

1. 制定系列政策措施,促进产品全周期循环利用

为了配合法律的实施,日本制定了一系列的政策措施,调动全社会的积极性,促进产品全周期的循环利用,使得宝贵的自然资源更好地体现出其价值。

(1) 税收优惠政策,包括:对废旧塑料制品类再生处理设备在使用年度内,除普遍退税外,还按取得价格的14%进行特别退税;企业设置资源回收系统,由非赢利性的金融机构提供中长期优惠利率贷款;等等。

(2) 价格优惠政策,规定废旧物资要实行商品化收费,即废弃者应该支付与废旧家电收集、再商品化等有关费用。

(3) 生态工业园区补偿金制度,即国家对入园企业给予初步建设经费总额1/3~1/2的经费补助,地方政府也有一定的补贴。

(4) 政府奖励政策,旨在鼓励市民参与回收有用废弃物的“资源回收奖”。

日本率先在世界上实行购买家电时征收家电废旧回收利用循环费(现阶段,洗衣机为2400日元、电视2700日元、空调3500日元、冰箱4600日元)。为了促进废弃手机的回收,在全国1800家大型手机销售网点,设立有奖励回收点,最高得奖者可获得5万日元的奖品。日本在所有电池销售店均设立了电池回收点,并每年公布各市、村、町的回收量,奖励回收工作做得好的行政单位。

2. 严格执法,打击各种不法废弃物投弃现象

建立严密的、有效的非法投弃监控系统,这是实现和发展“静脉产业”重要的环节。在日本,警察直接有责任对发现的不法投弃进行取证、调查、罚没、直至刑事诉讼(日本并没有类似我国城管系统)。对于不加分类或分类不合格的垃圾,自治体城市垃圾回收系统可以拒绝回收,并对不法垃圾抛弃户进行曝光。这些方法非常有效地解决了垃圾分类问题,使得各种不法投弃大为减少。

(三) 为现代化“静脉产业”提供科技支撑

手机中,含有总重量约为8.5克的锂、钽、

镍、钴等85种稀有金属;含45.5克铁、铜、银、铝、金等常见金属。但是,要将这些金属经济地回收起来,绝非一件容易的事,必须具备完整的科技支撑体系,形成现代化的回收产业。

1. 在产品设计阶段即考虑易于回收利用

从设计阶段开始,除考虑产品基本功能外,还必须考虑怎样在产品生命周期末易于回收利用的问题,将“减量化、易拆解、易分类、易回收”问题作为产品设计、开发的核心问题加以考虑。例如,对一个塑料饮料瓶,日本经过研究已形成一系列标准,规定不得使用非透明、有色塑料;也规定了瓶盖的颜色、材料及拧入方式,以方便回收,降低回收成本。

日本在工科大学普遍设立了“产品循环设计工学科”,从材料、结构、能耗、产业结构合理配置等方面,培养“静脉产业”所需的设计人才,“绿色设计”和“产品周期终生管理”是实现“静脉产业”技术层面的第一步。

2. 突破“静脉产业”的一些关键共性技术

日本企业对“金属高效提炼分离”、“微生物选矿”、“稀土类金属回收”、“高效粉碎”、“建筑废材循环利用”及“石棉、玻璃纤维类废弃物利用”等等共性技术,分门别类地进行开发,已可以成套地提供“电池”、“废弃日光灯管”及“轮胎”等的回收处理再资源化系统,为高效、低污染、低成本的“静脉产业”的形成,提供了技术支撑。

日本DOWA等企业,可以从电子垃圾中一次性地分离17种金属;日本东北大学农学研究科开发了线状菌分解塑料的生产线;东大、帝人、住友化学组成的产学研联合体,研究出利用50%的二氧化碳加上部分环氧化物(epoxide)合成树脂包装材料的新工艺,打开了最大的废弃物“二氧化碳”的利用之门;东大冈布轍教授开发了利用细菌细胞壁磷酸基吸附“铥”和“镧(Thulium)”的技术,可以使吸附能力提高10万倍。

日本利用高科技彻底地改造了传统的“收废品业”,取得了一系列的重要成果,为“静脉产业”的形成提供了重要的科技支撑。

3. 设立专项研究经费,建立国家级及民间研究中心

日本设立了国家的“循环型社会形成推进、下

一代循环社会技术基础整備”专项研究经费，建立了一批国家级及民间的研究中心，并在各综合大学中均设有资源环境学科，在基础研究及应用研究方面开展了大量的工作。

日本政府及民办的一些“静脉产业”相关的研究所，主要有产业综合研究所/环境管理研究所、国立环境研究所、丰田汽车回收处理研究所，环境循环研究所、雨水回收利用研究所及各县的资源循环综合研究中心等。

4. 建立产品全周期信息跟踪系统

日本已对重要的一些产品的资源投入—产品流通—回收处理的全过程，进行信息跟踪。以汽车为例，当年，多少汽车报废；多少报废车由日本国内的“业者”拆卸，这些“业者”共回收多少“氟利昂”、多少“安全气囊”；回收的零部件，有多少被再利用，多少变为金属、橡胶及塑料等再生资源，均有详细的统计。每一个行政自治体的回收情况，也均有详细的统计。

这些信息数据对准确了解资源流向，把握系统的情况，起到重要的作用。

三、对我国发展“静脉产业”的几点建议

1. 应从国家战略安全高度认识建立“静脉产业”的重要性和紧迫性，不失时机地建立起适合我国国情的“静脉产业”，解决我国“资源”和“环境”两大制约经济发展的瓶颈问题，形成新的战略产业

根据中国五矿集团的统计，2009年，中国铁矿石对外依存度为64%，铜为80%，镍为70%，铅和铝矾土等都超过了50%。国内并不丰裕的存量资源根本无法满足日益增长的大量需求，而目前全球资源日渐稀缺且主要能源矿产地带基本被以美国为首的发达国家所控制。在此情况下，若中国不能克服资源供应瓶颈，不尽快转变经济增长模式，切实提高资源利用效率，则一旦在资源获取方面遇到国际阻力，中国经济发展的可持续性将会遇到阻碍。同时，中国业已非常脆弱的生态环境也难以承载既有增长模式造成的进一步污染。为此，“静脉产业”的观点，抓住了当前我国资源相对短缺而又大量消耗的症结，对构建和谐社会的可持续发展有着迫切的现实意义。

我国应在政府产业、科技、环境等部门设立专

门机构，规划和设计好适合中国国情的“静脉产业”系统，解决好制度政策设计和科技支撑两个关键环节问题，引导全社会以新的“系统观”、“经济观”、“价值观”，考虑生产、生活与环境、生态、资源的关系，建立“静脉产业”，发展循环经济。

2. 应适当地控制“资源性低附加价值产品”的出口，保护环境和国内不多的资源

根据日本环境研究所的计算，每一美元的产品中含有的可再生资源大约在20%~70%，技术附加值越低，产品中资源含量的比重越大。日本等“静脉产业”做得好的国家，在大量进口廉价产品的同时，还通过产品的进口，在国内积累了可重复使用的再生资源。以塑料制品为例，每一公斤塑料制品约需3公斤以上石油制成。因此，低附加价值的产品大量出口实际是把宝贵的资源也送出国门。

目前，中国低附加价值类产品的出口量极大，因此，应从资源和环境角度，重新审视出口政策，适当地提高资源消耗型产品环境、资源方面的门槛，控制出口量。

3. 应做好发展“静脉产业”所需装备和技术的研发布局工作

随着“静脉产业”产业规模的扩大和深度的增加，将需要各种专用的成套技术和装备。日本有关资料表明，相关产业的装备规模超过1000亿美元，领域涉及机械自动化、生物化学、有机合成等等。中国国情特殊，如何做好适合本国国情的装备技术开发布局工作十分重要。

4. 应扩大“静脉产业”相关技术和政策与日本的交流合作，积极引进一些共性关键技术

日本在建设和发展“静脉产业”方面积累了丰富的经验，有了一套十分完整的做法，相关技术和装备具有世界领先水平。我国应加强对日循环经济方面的技术合作，可以考虑适当从日本引进一些共性关键技术，以较快地降低目前资源进口量和环境的负荷（引进技术的花费与环境治理和进口资源的代价相比要小得多）问题。■

参考文献：

- [1] 馬場研二. 地上資源が地球を救う: 都市鉱山を利用するリサイクル社会へ[M]. 東京: 技報堂出版, 2008.
- [2] 循環型社会白書(平成21年版)[R]. 東京: 環境省, 2009.

- [3] 亚洲资源循环最前线[R]. 经产省环经济局, 2008.
- [4] 建设循环型社会[R]. 废弃物循环学会, 2009.
- [5] 循环型社会白書(平成17年版)[R]. 東京: 環境省, 2005.
- [6] 家电回收处理法实际执行效果评价[R]. 筑波市, 日本: 国立环境研究所, 2004.
- [7] 循环型社会发展研究最终报告[R]. 筑波市, 日本: 国立环境研究所, 2010.
- [8] 资源型废弃物有效管理研究计划[R]. 筑波市, 日本: 国立环境研究所, 2010.
- [9] 寺田俊一. 汽车的回收处理——静脉产业的现状与未来. 東京: 东洋经济新闻社, 2010.
- [10] 小邦宏志. 静脉产业—廃棄物処理はビッグビジネスになる[N]. 时评社, 2002-02.
- [11] 独立行政法人物質・材料研究機構. わが国の都市鉱山は世界有数の資源国に匹敵[R/OL]. (2008-01-11). <http://www.nims.go.jp/news/press/2008/01/200801110/p200801110.pdf>.

Building a modern “vein industry” is of great significance for China’s future development

LI Ying

(China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045)

Abstract: After nearly four decades of practice and hard work, “vein industry” has become a modern industrial system for effectively solving the shortage of resources and environmental issues, and also an indispensable part of economic and social development. By studying the Japanese practice of transferring the traditional linear economy model of “from resources to product then to the reject” into a recycling model of “from resources to product then to reproducible one”, China should establish its own modernized “vein industry” in time to solve the current “environment” and “resources” two bottlenecks for development. It is of great significance for China to realize its economy growth and employment increasing, and to practice the scientific concept of development to achieve sustainable development. This paper gives several suggestions on designing and fulfilling a “vein industry” system suitable for Chinese national condition and its development route.

Key words: Japan; venous industries; environment; resource recycling