

资源价值流视角下发电企业碳足迹与经济成本评价——燃煤发电与生物质发电比较研究

王斯一, 张彩虹, 米锋

(北京林业大学经济管理学院, 北京100083)

摘要: 电力行业是我国碳排放的重要来源, 发电企业碳减排的施行对我国践行低碳经济有重要意义。文章以燃煤发电企业与生物质发电企业为例, 运用资源价值流方法, 在分析全生命周期流程企业经济成本与碳足迹的流动和结转的同时, 探讨各阶段经济成本与碳排放, 有助于企业实施具有针对性的碳控制和碳减排。经计算, 生物质发电经济成本高于燃煤发电, 但每kwh燃煤发电的碳足迹是生物质发电的6.05倍, 在仅考虑市场经济成本条件下, 传统能源发电具有明显优势, 但纳入环境效益和低碳经济因素, 生物质发电则更有潜力。从生命周期阶段来看, 两者90%以上碳足迹均来源于生产阶段, 在此阶段如何寻求碳减排有效途径对企业低碳目标的实现有重要意义。

引言

电力行业, 尤其是燃煤发电是我国环境污染和碳排放的重要来源[1]。如何兼顾经济发展与环境保护, 实现我国电力行业的低碳化发展, 是我国电力企业面临的巨大挑战[2]。生物质能源作为重要可再生能源[3], 其低碳、低硫、少氮[4]的环境特性为适量补充或替代燃煤发电带来可行性, 对电力行业减排任务的完成与我国低碳经济的施行有着积极推动作用[5, 6]。

碳足迹作为碳排放衡量指标[7, 8], 为发电企业的碳排放评价提供了有效工具, 从完整生产流程中揭示各生产阶段的碳排放过程, 能够具体衡量发电过程中的碳排放量[9-12], 企业管理决策的制定应当充分考虑基于价值链分析的碳足迹[13], 以深度分析企业碳排放的本质过程, 找出碳排放量居高不下的瓶颈环节。当前碳足迹研究的重点主要集中在燃煤发电行业[15, 16]和钢铁行业[17], 刘韵[15]、阎建明[16]、王云[18]均对燃煤发电中各阶段的碳足迹、碳捕捉和碳封存进行了生命周期评价。针对传统能源与可再生能源碳足迹的比较, 贾亚雷[19]对比了燃煤发电与风光发电生命周期内的碳足迹及环境负荷影响; 黄思维等[20]通过环境和经济两个角度综合对比生命周期各阶段颗粒燃料和煤炭, 认为生物质燃料是煤炭较为理想的替代能源。然而, 现有碳排放成本较多集中于宏观与中观角度, 涉及企业微观角度较少, 且更多侧重碳排放事后补偿研究, 对于企业生命周期碳排放测算控制较忽略。

资源价值流将传统人、财、物的会计核算扩展到环境经济的范围, 不仅包含各类资源成本、收益, 还加入了产生的废弃物对环境系统的损害价值[21, 22]。将碳排放、环境效益与资源价值流相结合的研究日益增多, 肖序等[23]首次提出资源价值流会计这一理念并构建方法, 提倡使用该方法计算碳足迹, 基于逐步结转模式将外部碳因子纳入企业碳成本管理和经营决策中; 汤晓东[24]将资源流转方法应用于碳排放成本的计算, 计算资源、能源消耗导致的直接碳排放以及外购能源带来的间接碳排放。资源价值流的核算方法克服了单纯使用物质流进行分析的局限性, 对能源、资源等在企业内部不同空间发生的位移进行价值确认[25], 补充了针对外部环境损害的测量。基于低碳理论的资源价值流在分析企业经济成本的同时, 还将生产经营过程中所引起的非期望产出碳排放纳入成本计算, 可以改变以往排放物所带来的环境损失并未以合适的市场价格体现的不足。

本文基于资源价值流与碳足迹方法, 构建电力企业价值流程, 使经济成本与碳排放成本的流动和结转在其中体现, 并对纳入碳足迹评价前后的生物质发电企业与燃煤发电企业效益做出对比分析, 不仅可以帮助相关企业测算总的碳成本, 直观判断生物质能源是否具有环境优势, 还能够令企业发现不同阶段碳排放情况, 有助于碳排放成本的分析、考核和控制, 以便探寻存在碳减排机会的流程, 有针对性地实施碳减排计划。

1 研究方法

1.1 发电企业资源价值流程分析

从资源价值流角度度量, 生物质能源发电主要包括原料获取、运输以及生产使用3个阶段, 具体涵盖原材料收购、预处理(筛分、干燥)、运输、发电、除尘、废弃物处理等过程; 为易于比较, 同样将燃煤发电流程划分为原料获取、运输、生产使用3阶段, 具体环节包括煤炭开采、洗选加工、运输、锅炉燃煤、脱硫除尘、废弃物处理。伴随大量能源资源消耗, 以上流程均会产生直接和间接碳排放, 生物质发电与燃煤发电价值流过程如图1所示。

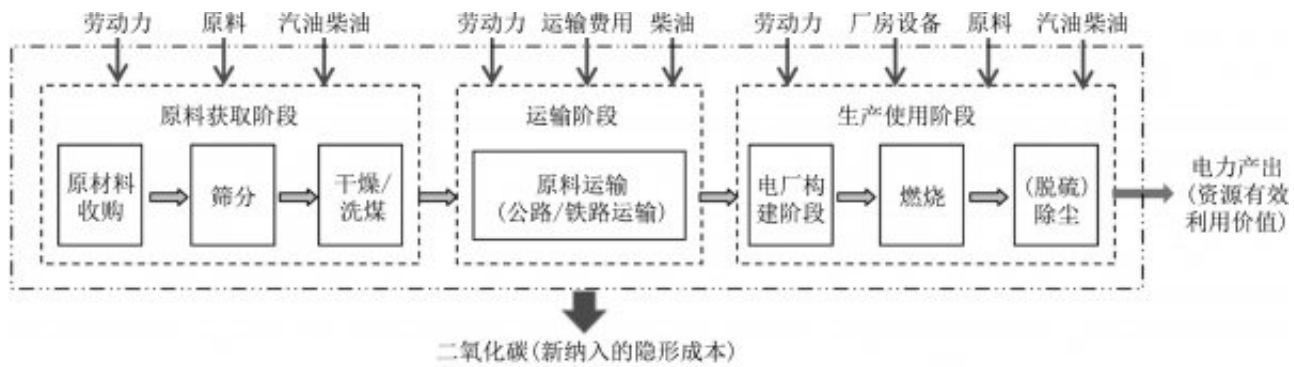


图1 发电企业价值流过程

1.2碳足迹评价标准及核算方法

基于发电企业资源价值流程，对每阶段直接和间接产生 CO_2 （或 CO_2 当量）排放量及由此而产生的补偿为研究对象。直接排放源，指企业拥有或控制的，如工厂、管道、公司设备、交通工具等所产生的碳排放；间接排放是所消耗外购能源，如电、蒸汽等以及价值链上下游，如原材料开采、使用期间所产生的碳排放之和。

通常碳排放量的计算方法主要有实际测量法、质量平衡法以及排放系数法（排放因子法），其中排放系数法应用较为广泛，本文拟采用IPCC推荐系数法进行碳排放计量与计算。在发电企业的价值流过程中，假设共有 m 个直接碳排放源以及 n 个间接碳排放源。对于直接碳排放源的计量可用公式计量， DCEm 表示第 m 种直接碳排放源的碳排放， Cm 为产生直接碳排放的活动强度， EFm 表示该项活动的排放系数。对于间接碳排放而言，碳排放公式可表示为 $\text{ICE n}=\text{Cn} \times \text{EFn}$ ， ICE n 表示第 n 种间接碳排放源的碳排放， Cn 为产生间接碳排放的活动强度， EFn 表示该项活动的排放系数。因此，发电企业的碳足迹 CE 可总结为 $\text{CE}=\text{Cm} \times \text{EFm}+\text{Cn} \times \text{EFn}$ 。

1.3经济成本核算方法构建

在企业发电资源价值流的原料开采获取阶段、运输阶段以及燃烧发电阶段，产生的不同经济成本价值流如下：

原料获取阶段经济成本 $\text{C1}=\text{C工具购买}+\text{C工具使用}+\text{C人工成本}+\text{C原料}$

其中， C工具购买 成本指某类固定资产年折旧额； C工具使用 包含所使用开采、收集工具购买成本以及使用时的能源消耗，主要指化石能源的消耗量； C人工成本 指生物质获取阶段所使用的人力成本；对于生物质发电来讲，还包含原料成本 C原料 ，即秸秆、木质生物质能源的获取成本，具体为 $\text{C原料}=\text{Qi原料} \times \text{Pi原料}$ ， Qi原料 表示第 i 种原材料的数量， Pi原料 为第 i 种原材料的价格。

运输阶段经济成本 $\text{C2}=\text{C车辆购置折旧}+\text{C运输费用}+\text{C人工成本}$

在原料运输阶段，成本的消耗主要是车辆的购置以及车辆、火车运行所需要的煤炭、柴油、汽油或天然气等能源。其中， C车辆购置折旧 指某一年运输车辆的固定资产折旧额，按规定，汽车等运输工具按照4年进行折旧。 C运输费用 主要包括车辆运输中消耗的能源成本。

燃烧发电阶段经济成本 $\text{C3}=\text{C电厂构建折旧}+\text{C设备折旧}+\text{C财务费用}+\text{C维护}+\text{C水}+\text{C电}+\text{C人工}$

电厂的建设是一项较为大型和复杂的工程，构建时需要大量资金的投入用以建设或购买厂房，置备生产设备，若企业资金源自贷款则涉及到财务费用，这些固定成本根据一定的折旧年限折现，以计算其每一年的摊销成本。在运行发电阶段，经济成本较为复杂，不仅包括了设备的维护成本，还包括了生产中所消耗的水费、电费、人工成本等。

2应用分析

2.1研究对象

生物质发电以内蒙古通辽市A公司为例。该公司成立于2006年6月，其生物质发电项目是我国第一个林木生物质直燃

发电示范项目，装机规模 $2 \times 15\text{MW}$ ，年耗燃料约30万吨。项目于2013年8月取得《发电许可证》，2014年11月25日开始收购燃料，2015年2月1日正式投产发电。

内蒙古B发电公司是一家以低热值煤为发电原料的发电厂。公司于2003年投入建设，2006年3月正式投产使用，2010年二期工程投入使用。

2.2 碳足迹核算

2.2.1 生物质发电碳足迹核算

（1）生物质原料获取阶段

生物质发电的原料处理分为收割与粉碎两道工序。收割过程采用割灌机，每收割1吨原料，消耗柴油成本约3元，粉

²/kg，柴油密度 0.8g/ml ，可计算该公司原料获取及初加工碳排放量=原料消耗量 $\times$ 原料获取平均电耗 $\times$ 柴油密度 $\times$ 柴油碳排放系数，即0.129万吨碳排放。

（2）生物质运输阶段

电厂原料收购半径约为65公里，运输工具为5t载重燃油货车，百公里耗油均值为 21.8kg ，据柴油碳排放系数计算得原料运输碳排放系数为 0.693kgCO_2

/km。运输用卡车装车容量为5t，进而计算得原料运输 CO_2 排放量=运输距离 $\times$ 运输趟数 $\times$ 原料运输碳排放系数，共计0.162万吨碳排放。

（3）生物质燃烧发电阶段

生物质发电使用的发电机组运行时均通过耗电产生动能，该公司的厂用电约为总发电量的10%。由电力碳排放系数 $0.785\text{kgCO}_2/\text{MJ}$ ，计算该公司生物质发电碳排放量=用电量 $\times 3.6 \times$ 电耗碳排放因子，共计2.826万吨碳排放。

生物质电厂的废弃物处理包括粉尘处理和污水处理。该公司粉尘处理使用布袋除尘工艺。由于发电阶段产生出的尘渣较少，所以并未运输出售，因此不涉及碳排放。污水处理方面，电厂使用自有污水处理系统且消耗电能，电耗来自电厂用电，故不重复计算碳足迹。

（4）生物质发电碳足迹汇总

综合以上分析，A生物质发电厂整个生产流程中碳足迹核算结果汇总如表1所示。

表 1 生物质电厂碳足迹及影响因素

排放环节	主要影响因子	碳排放量(万吨)	占比(%)
原料获取及初加工	原料获取平均油耗、柴油密度、柴油碳排放系数	0.129	4.14
原料运输	运输距离、运输趟数、运输碳排放系数	0.162	5.20
生物质发电	平均电耗、电耗碳排放系数	2.826	90.66
合计		3.117	100



图 2 生物质发电厂碳足迹

A 生物质电厂 2016 年度碳足迹为 3.117 万 t，该年总发电量为 1 亿 kwh，因此生产每度电碳排放量为 0.312 kg。

2.2.2 燃煤发电碳足迹核算

（1）煤炭获取阶段

B 燃煤电厂年消

耗低热值煤 300 万吨，煤炭来源为同

一集团煤矿，开采阶段设备平均电耗 1.2 kWh/m³ 煤，水耗 76 t/万 m³

煤。据 IPCC 2006 电耗碳排放系数 0.785 kg CO₂/MJ，煤密度 750 kg/m³

，可计算 B 企业燃煤开采与加工碳排放量 = 开采量 ÷ 煤的密度 × 开采平均电耗 × 3.6 × 电耗碳排放系数，共计 1.357 万吨碳排放。

（2）煤炭运输阶段

B 燃煤电厂建立目的是消耗相邻同一集团煤矿产生的低热值煤，因此仅需采用卡车向 5 公里内的煤矿调度拉煤，相对于其他燃煤企业大大节省了运输阶段的碳排放。运输工具为装车容量 40 t 柴油汽车，百公里耗柴油 31.1 kg，计算得原料运输碳排放量 = 运输距离 × 运输趟数 × 运输碳排放系数，共计 0.036 万吨碳排放。

（3）燃煤发电过程

燃煤发电中锅炉燃烧是生产阶段占比最大的碳排放源，碳足迹全部由煤炭中碳元素产生，原料的平均含碳量为 70%。可计算煤炭燃烧产生碳排放量 = 煤炭燃烧量 × 平均含碳量 × 44/12（CO₂ 分子质量/碳分子质量），即 770 万吨碳排放。

煤炭中均含有不同比例硫元素，尾气需脱硫净化处理才可排放，B 电厂煤炭原料含硫量 0.5%，使用湿式石灰石石膏法对硫进行置换，脱硫效率可达 99%。碳排放量 = 煤炭燃烧量 × 煤炭含硫量 × 44/32（CO₂ 分子质量/硫分子质量）× 脱硫效率，即 2.042 万吨碳排放。

废弃物处理主要涵盖固体与污水处理两方面。固体废弃物指煤炭燃烧后剩余灰渣和石灰石脱硫后产生的石膏。B 电厂年均产生灰渣量为原料的 33%，约 99 万吨。脱硫阶段年消耗石灰石 5 万吨，产生石膏 0.216 万吨，企业每年所产生的固体废弃物总量为 99.216 万吨。采用运载量为 40 吨的卡车运输至距离 2 公里的排灰厂统一处理。计算得固废运输碳排放量 = 运输距离 × 运输趟数 × 运输碳排放系数，即 0.005 万吨碳排放。污水处理方面，该公司拥有厂内的污水处理系统且消耗电能，无需重复计算。

（4）燃煤发电碳足迹汇总

综上所述，B 电厂整个生产流程中碳足迹综合如表 2 所示。

表 2 燃煤电厂碳足迹及影响因素

排放环节	主要影响因子	CO ₂ 排放量(万吨)	占比(%)
煤炭开采加工	单位煤炭生产量碳排放系数	1.357	0.175
燃煤运输	运输距离、运输趟数、柴油碳排放系数	0.036	0.005
燃煤发电	煤炭燃烧量、平均含碳量	770.000	99.56
尾气脱硫	煤炭燃烧量、煤炭含硫量、脱硫效率	2.042	0.26
废弃物处理	运输距离、运输趟数、运输的排放系数	0.005	0.00
合计		773.440	100



图 3 燃煤发电厂生命周期中碳足迹

B电厂2016年碳足迹为773.44万吨，其中99%的排放来自于燃煤发电环节。2016年该电厂总发电量为43.2亿度，可计算出该电厂单位发电量的碳足迹为1.792kgCO₂/kW.h。但应注意，因B电厂与同一集团的煤矿近邻优势所在，该厂的燃煤运输环节的碳排放远少于其他燃煤发电企业。

2.3经济成本核算

2.3.1生物质发电企业经济流核算

（1）原料获取阶段经济流

此阶段电厂投入工具主要包括割灌机、劈刀机、破碎机、削片机等，在企业设备购买价格的基础上折旧计算，年折旧额总计为101491.70元。该电厂原料获取采用经纪人制度，由经纪人配送原料，2016年公司共收集原料18万吨，其中林木类8万吨，玉米秸秆玉米芯7.8万吨，其他2.2万吨。在经纪人制度下，原料价格为到场价格，即已涵盖收集过程中消耗成本，此处借用原料收购价格减去运输成本作为原料获取阶段的原料+人工+能耗成本。原料到场价格在标准水25%情况下，林木质、玉米秸秆、玉米芯均为300元/吨，18万吨原料消耗5400万元，减去运输费用900万元，约为4500万元。

生物质获取阶段经济成本总计45101491.70元，此阶段单位成本为0.45元/kwh。

（2）运输阶段经济流

生物质原料从集结点或农户收集处运往发电厂，每车约装载10吨，据公司提供运输成本50元/吨，2016年原料收购量18万吨，运输费用为900万元，单位成本0.09元/kwh。

（3）发电阶段经济流

厂房、锅炉房等厂房建造费用按使用年限20年折旧，折旧额2614372.92元；包括锅炉、发电机、汽轮机等大量生产设备，2016年折旧额为5880963.63元；技术工人约为全体员工的80%，共120人，工资3000元/月，年工资共计4320000元；年生产用水量约20万吨，当地工业自来水电价为3.8元/吨，共计用水成本760000元。

生物质发电阶段经济成本总计13575336.55元，单位成本0.13元/kwh。

2.3.2燃煤发电企业经济流核算

（1）获取阶段经济流

B燃煤电厂依托的煤矿煤炭开采能力为3400万吨/年，其中供给B电厂300万吨/年，该煤矿固定资产投资额70亿，每年维修费用20亿。原料开采阶段工人主要为设备司机1500人，维修人员1500人，平均工资为10万元/年。开采中消耗的柴油、电力、水分别为11.92元/吨、0.96元/吨和0.31元/吨。每吨煤开采成本总计为155元。内蒙低热值煤坑口均价为200元，因此B电厂燃煤的机会成本为60000万元。

因此，煤炭开采阶段电厂共消耗成本为106500万元，电厂年销售电量41亿kwh，开采阶段单位成本为0.26元/kwh。

（2）运输阶段经济流

电厂燃煤由附近煤矿直接提供，当前采用承载量为40吨卡车进行运输，运输距离约5公里。据该厂煤炭经销商数据，公路运输成本为0.3~0.35元/t·km，铁路运输为0.12~0.3元/t·km。煤炭运输阶段成本为525万元，单位成本为0.001元/kwh。由于此项目为煤电一体化项目，电厂依煤矿而建，故运输成本较低。

（3）发电阶段经济流

该电厂一期厂房设备固定资产投资共计12.8亿元，二期固定资产投资28.2亿，设备维修费用小修年份花费2000万元，大修年份花费3000万元。煤炭发电过程中污染排放较大，该项目在除尘脱硫脱硝以及水处理上都采取相应设备投放，固定资产投资中，环保设备包括除灰系统300万元，水处理系统500万元，脱硫脱硝系统2亿元，水处理后可达纯水标准，脱硫脱硝率均在99%以上，设备产生灰渣直接运输到1km以内的排灰厂。生产用电占厂用电的10%，生产用水成本为0.2kg/kwh。发电阶段员工人数包括一线发电工人300人，设备维护工人200人，平均工资为9万元/年。

经计算，煤炭发电阶段成本为51660万元，单位成本为0.1260.0946元/kwh。

2.4碳足迹与经济成本流转的双维度综合分析

通过以上对生物质发电和燃煤发电的碳足迹以及经济成本的计量，绘制结果如图4所示。

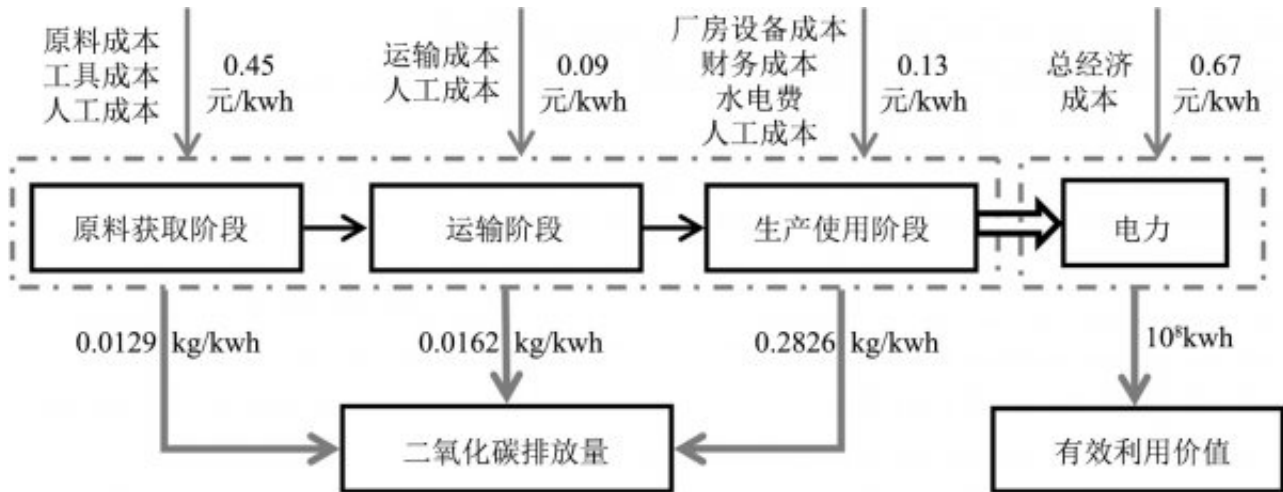


图4 生物质发电综合分析

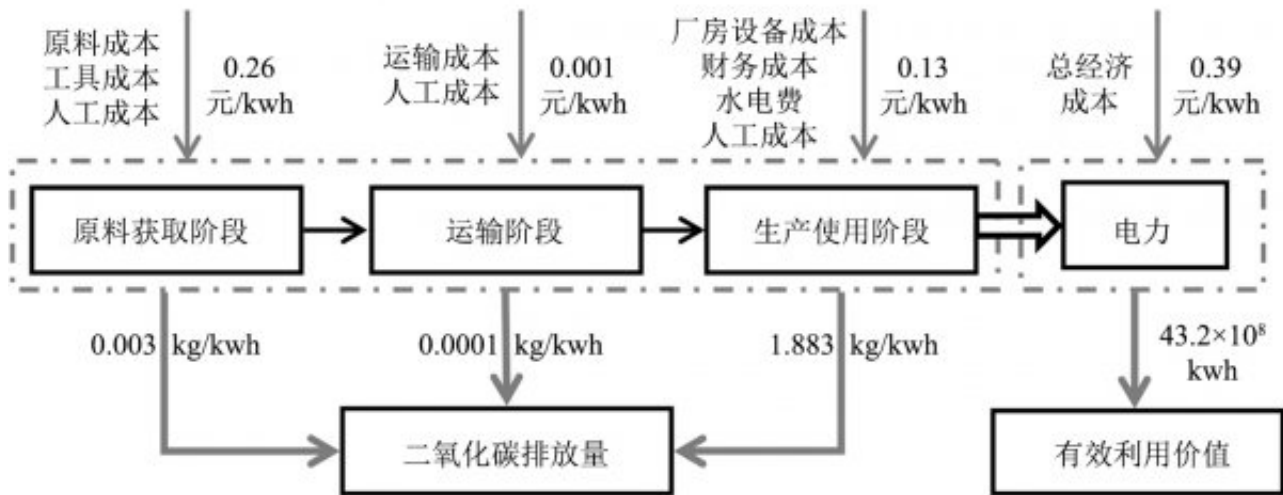


图5 燃煤发电综合分析

从经济价值成本来讲，在原料获取与运输阶段，生物质发电明显高于燃煤发电，在生产使用阶段两者基本相同，前者经济总成本0.67元/kwh远远高于后者的0.39元/kwh。对于生产阶段碳足迹来说，在原料获取与运输阶段，生物质发电具有劣势，比燃煤发电多排放CO₂ 0.026kg/kwh，然而在生产试用阶段其环境效益则显著显现，单位碳足迹仅为燃煤发电1/7，单位发电量少产生1.5744kg CO₂。

3讨论

本文通过对比测算生物质发电和燃煤发电资源价值流程中碳足迹及经济成本的流转与构成，得出生物质发电有明显低碳价值，与相关学者对新能源的研究结果相符合。

现有发电碳足迹或成本研究大多侧重于对企业进行整体评价，鲜有深入企业内部对各阶段具体探索。然而，发电企业生产运营流程复杂多样，整体评价不利于管理者有效识别主要碳排放源，从而无法制定相应措施。文本通过对生物质发电以及燃煤发电从原料获取阶段到生产使用阶段资源价值流的核算，不仅计算了发电企业完整流程中经济成本与碳排放逐步结转的动态变化，还分析出各阶段的构成。对比经济成本可知，生物质发电原料获取与运输阶段成本较高，因此如何选择合适的原料供应系统、提高原料收割归集、预处理技术，优化收集半径与路径是当前降低生物质发电经济成本可能的最有效途径。通过碳足迹对比，发现燃煤发电生产环节碳足迹贡献极为可观，所以清洁能源的替代、提高燃煤效率、改善燃煤技术、污染物的收集与治理都对低碳经济有重要意义。

尽管本文使用实际调研数据计算，但其统计可能存在缺失或相应偏差，导致本文结果不能精确反应实际情况。另由于本文选取燃煤发电企业为低热值煤电厂且与煤矿毗邻，所以其碳足迹可能较其他电厂偏低，但是在偏低的情况下，碳足迹仍远远多于生物质发电，可见后者减排的巨大潜力。

4结论

本文以生物质发电企业与燃煤发电企业为例，通过对资源价值流中经济成本与碳足迹的评估，得到企业完整流程中经济与碳足迹的总量和构成。每千瓦时生物质发电经济成本0.67元，高于燃煤发电0.39元，而每千瓦时燃煤发电的碳足迹则是生物质发电的6.05倍，尤其在生产阶段的碳足迹更是高达7倍。对于每千瓦时电力，燃煤发电要比生物质发电多产生1.5744kg的碳，虽绝对量较小，但我国电力需求量巨大，随着一定量生物质发电对燃煤发电的替代，会使碳减排取得有效进展。

从原料获取阶段到生产使用阶段的核算，发现由于燃煤电厂规模经济效应明显，原料获取阶段其碳足迹小于生物质电厂；对于两者而言，90%以上碳足迹均来源于生产阶段，分别贡献了90.66%和99.56%的碳足迹，但每千瓦时燃煤发电的碳足迹约7倍于生物质发电，在仅考虑市场经济成本的条件下火电具有明显优势，随着环境效益和低碳经济因素的纳入，生物质发电则更具有潜力。

参 考 文 献

- [1] 姜克隽. 中国电力行业绿色低碳路线图: 汉英对照 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 5~8.
- [2] 陈晓科, 周天睿, 李欣, 等. 电力系统的碳排放结构分解与低碳目标贡献分析 [J]. 电力系统自动化, 2012, (2): 18~25.
- [3] Escudero M, et al. Quantitative Analysis of Potential Power Production and Environmental Benefits of Biomass Integrated Gasification Combined Cycles in the European Union [J]. Energy Policy, 2013, 53 (3): 63~75.
- [4] Bertrand V, Dequiedt B, Cadre E L. Biomass for Electricity in the EU-27: Potential Demand, CO₂ Abatements and Breakeven Prices for Co-firing [J]. Energy Policy, 2014, 73 (5): 631~644.
- [5] 张剑波, 李建新, 郑皎, 等. 中小型生物质气化炉清洁发展机制 (CDM) 项目减排效益分析 [J]. 农业工程学报, 2011, (S1): 291~294.
- [6] 杨艳, 朱庚富, 王圣, 等. 秸秆发电环保性能研究 [J]. 环境科学与管理, 2011, 36 (6): 139~142.
- [7] 王永琴, 周叶, 张荣. 碳排放影响因子与碳足迹文献综述: 基于研究方法视角 [J]. 环境工程, 2017, (1): 155~159.
- [8] 孙艳芝, 沈镭. 关于我国四大足迹理论研究变化的文献计量分析 [J]. 自然资源学报, 2016, (9): 1463~1473.
- [9] 鄢晓非, 周建亮. 基于 LCA 理论的建筑能耗及碳排放模型构建 [J]. 四川建筑科学研究, 2015, (6): 129~132.
- [10] 沈月琴, 曾程, 王成军, 等. 碳汇补贴和碳税政策对林业经济的影响研究——基于 CGE 的分析 [J]. 自然资源学报, 2015, (4): 560~568.

- [11] 闫云凤. 京津冀碳足迹演变趋势与空间、产业分布 [J]. 经济与管理研究, 2016, (11): 75~81.
- [12] 赵先贵, 肖玲, 马彩虹, 等. 山西省碳足迹动态分析及碳排放等级评估 [J]. 干旱区资源与环境, 2014, (9): 21~26.
- [13] Dutta S, Lawson R. Broadening Value Chain Analysis for Environmental Factors [J]. Journal of Cost Management, 2008, (3): 5~14.
- [14] 刘韵, 师华定, 曾贤刚. 基于全生命周期评价的电力企业碳足迹评估——以山西省吕梁市某燃煤电厂为例 [J]. 资源科学, 2011, (4): 653~658.
- [15] 阎建明, 朱开伟, 刘贞, 等. 电煤供应过程碳足迹分析 [J]. 重庆理工大学学报 (社会科学), 2015, (7): 28~36.
- [16] 侯玉梅, 梁聪智, 田歆, 等. 我国钢铁行业碳足迹及相关减排对策研究 [J]. 生态经济, 2012, (12): 105~108.
- [17] 王敏, 王普查, 邓建高. 基于循环经济的资源价值流成本核算方法研究——以钢铁制造企业为例 [J]. 科技管理研究, 2015, (12): 229~232.
- [18] 王云, 赵永椿, 张军营, 等. 燃煤电厂醇胺化学吸收法捕集和封存 CO₂ 全生命周期碳排放分析 [J]. 动力工程学报, 2011, 31 (5): 362~368.
- [19] 贾亚雷, 王继选, 韩中合, 等. 基于 LCA 的风力发电、光伏发电及燃煤发电的环境负荷分析 [J]. 动力工程学报, 2016, 36 (12): 1000~1009.
- [20] 黄思维, 周定国. MDF 企业木废料颗粒燃料和煤的生命周期评价 [J]. 四川林业科技, 2014, 35 (1): 73~77.
- [21] 张彩平, 张莹. 基于资源价值流的碳绩效评价指标及其在钢铁企业的应用 [J]. 湖南财政经济学院学报, 2016, (1): 39~47.
- [22] 罗喜英, 高瑜琴. 资源价值流分析在循环经济“3R”原则中的运用 [J]. 生态经济, 2015, (9): 43~47.
- [23] 肖序, 郑玲. 低碳经济下企业碳会计体系构建研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21 (8): 55~60.
- [24] 汤晓冬, 张白玲. 资源价值流转视角下的碳排放成本分析 [J]. 商业会计, 2013, (4): 17~20.
- [25] 王敏, 王普查, 邓建高. 基于循环经济的资源价值流成本核算方法研究——以钢铁制造企业为例 [J]. 科技管理研究, 2015, 35 (12): 229~232.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/190514.html>