# 基于生命周期评价的生物质发电系统环境影响分析

*摘要：以我国建设中的装机容量为25MW的秸秆直燃发电系统为研究对象，采用生命周期评价的方法，系统、全面地评价它对生态环境的显见和潜在的影响。对生物质直燃发电系统的关键技术环节改善与降低环境影响的关系进行了讨论。*

**O前言**

本文对生物质直燃发电进行全生命周期环境影响评价，其目的一是对于利用生物质这一可再生能源发电较之燃煤发电可能带来的环境改善进行客观和定量的评价；--是虽然生物质是清洁能源，但如果转化技术不清洁、不环保，生物质发电系统也有可能给环境带来影响和危害，采用生命周期评价可以全面认识和比较生物质发电各个环节的环境负荷和资源、能源消耗，从而考虑在生命周期内节约资源、改进技术、保护环境，使系统对环境的影响降低到最低水平。

本文针对国内建设中的装机容量25MW的生物质直燃发电厂进行生命周期评价。系统收集了技术数据、设备制造数据、环境数据、资源数据等，建立了完整的LCA评价支撑数据库，在此基础数据库上进行了生命周期评价。

**1生命周期评价过程**

1．1研究对象

本文选取评价对象是装机容量25MW的生物质直燃发电系统。按照目前的设计条件，设定发电效率16．1%，年发电6000h。原料为玉米秸秆，消耗量为1．4kg／kWh，秸秆搜集半径约为20km，电厂寿命为20a。以系统每生产1×104 kwh电所造成的环境影响进行计算和分析，即系统的功能单元为1×104kWh电。系统的工艺流程主要是生物质搜集、粉碎后送入燃烧锅炉，产生高温高压蒸汽进入蒸汽轮机做功发电，做功后的蒸汽经冷却塔冷却循环利用。

1．2系统边界

本文将生物质直燃发电系统的生命周期分为4个阶段，并在建立评价模型时做了如下简化与假设：

①准备阶段，即系统运行前的一系列基础建设，独立于系统运行又与系统生命周期的消费和排放密不可分的阶段。这个阶段包含两部分：一是化石能源的开采和常规电力的生产，为生物质直燃发电系统的建设和运行系统提供所需的煤炭、石油、电力等；二是生物质直燃发电电站建设。本文假设准备阶段所用的电力均采用煤电，电站建设过程中的物料损耗按全国平均损耗水平计算，能量消耗不计；

②生物质获取阶段，这个阶段也分为两部分：一是秸秆的生产，主要是指施肥以及收割；二是秸秆的捆包。考虑到秸秆属于农业废弃物，本文计算中不记入秸秆种植和收割过程的消耗和排放；

③运输阶段，指将秸秆用柴油拖拉机运输到电厂；

④发电阶段，秸秆预处理后进行燃烧发电。本文未考虑电站报废和相应的废弃物处理。设定发电系统各环节产生的污染物直接排放环境，不进行后处理和再利用，电厂自消耗电用本系统自发电。系统边界如图1所示。

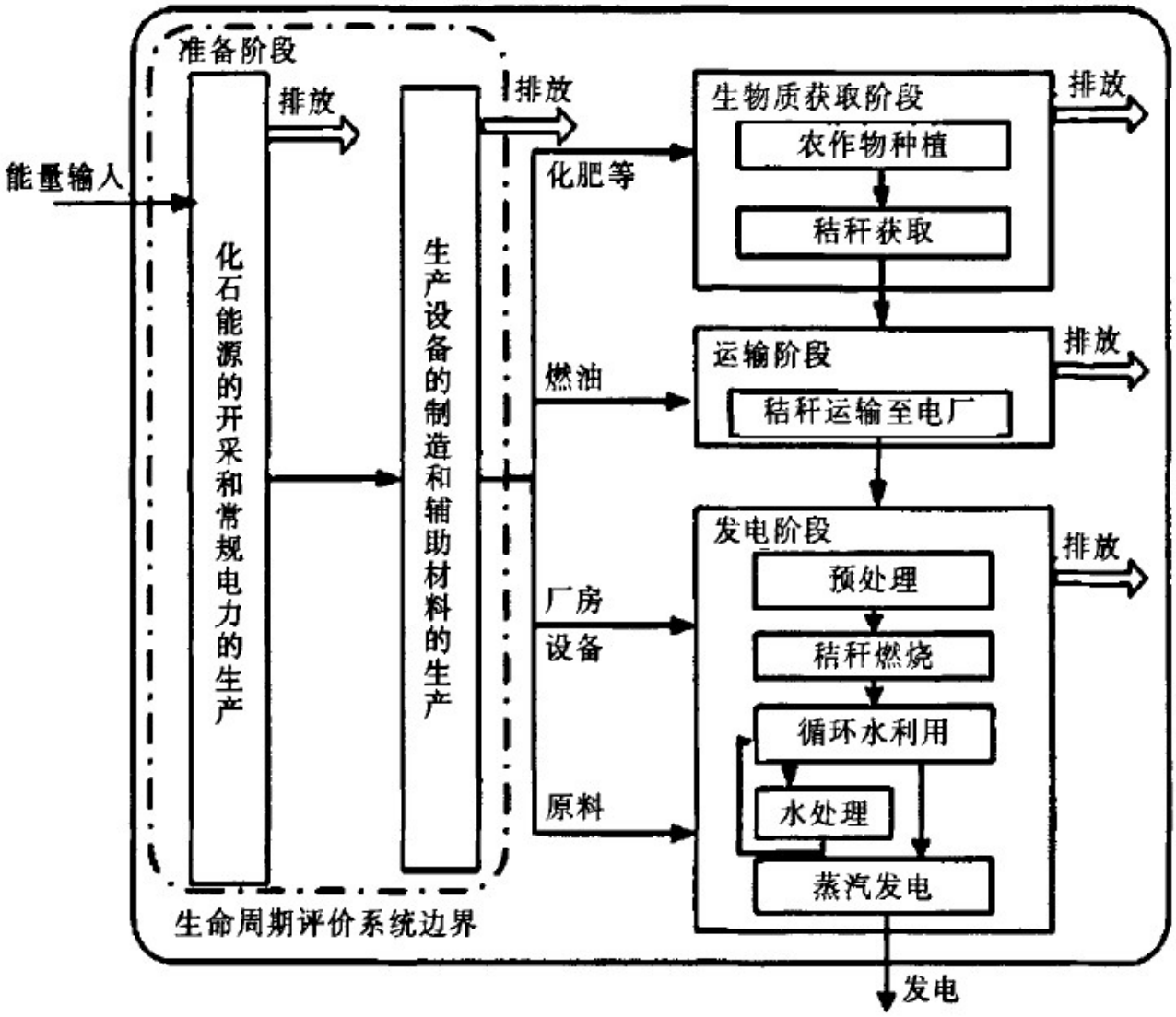


图 1　生物质直燃发电系统生命周期评价边界

Fig. 1　LCA boundary of biomass direct combustion power generation system

1. 3生命周期评价方法

本文采用的LCA评价方法为丹麦技术大学开发的工业产品设计方法(EDIP方法)，即采用政策目标距离法确定标准化基准和不同环境潜质的重要性权重。国内杨建新等人基于以上方法建立了中国的标准化基准和权重因子，定义了中国的区域污染当量因子，并对国内钢铁、煤炭等国家基础行业进行了分析。本文作者采用这一方法已做了生物质气化发电系统的生命周期评价。

表1 生物质直燃发电系统部分输入数据[4-11]

Table 1 Input inventory of biomass direct combustion power generation system (单位:kg)

| 原料 | 生物质获取 | 运输 | 电厂建设 | 电厂运行 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|
| 原铁矿 | 0 | 5446 | 373604 | 0 | 379050 |
| 原煤 | 0 | 2619 | 194208 | 0 | 196827 |
| 石灰石 | 0 | 312 | 21240 | 0 | 21551 |
| 原铜矿 | 0 | 0 | 318770 | 0 | 318770 |
| 耕地 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12036 |
| 原油 | 456960 | 274183 | 0 | 0 | 731143 |
| 水 | 0 | 15726 | 1119073 | $1.5\times10^{9}$ | $1.631\times10^{11}$ |

表1和表2分别为生物质直燃发电系统的部分原始输入、输出数据。由于此系统涉及很多产业如钢铁、煤炭、农业、运输等，所以数据采集来源广泛。

1. 4环境影响指数

通过对以上数据进行分类、无量纲化、标准化，最后加权评估，最终得到了环境影响指数，本文对于生物质直燃发电系统计算了8种环境影响指数。表3为各类环境影响类型中所包含的主要污染排放物及污染物的换算当量因子。

表 2　生物质直燃发电系统部分输出数据[4~11]

Table 2　Output inventory of biomass direct combustion power generation system　(单位：kg)

| 污染物 | 生物质获取 | 运输 | 电厂建设 | 电厂运行 | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|
| 烟粉尘 | 15868 | 8523 | 38334 | 8514 | 98609 |
| $SO_2$ | 6845 | 3676 | 84990 | 0 | 124548 |
| CO | 5246 | 2818 | 9922 | 0 | 27672 |
| $NO_X$ | 6804 | 3654 | 16062 | 0 | 39292 |
| $CH_4$ | 1523 | 818 | 30411 | 0 | 314810 |
| $CO_2$ | 3198883 | 1718190 | 5290520 | 31259600 | 61679527 |
| $N_2O$ | 105 | 56 | 397 | 0 | 70193 |
| 氨气 | 0 | 0 | 193 | 0 | 235622 |
| 废水 | 8311748 | 4464422 | 303127829 | 44180000 | 371900487 |
| 悬浮物 | 110 | 59 | 923178 | 0 | 938220 |
| 铁 | 94 | 50 | 2026 | 0 | 2856 |
| 铅(Pb) | 1561 | 839 | 9 | 0 | 3140 |
| COD | 1996 | 1072 | 7 | 177 | 13990 |
| $NH_4^+$-N | 0 | 0 | 0 | 44 | 106005 |
| $NO_3^-$-N | 0 | 0 | 486 | 0 | 234888 |
| 氰化物 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1029 |
| 尿素 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10601 |
| 油 | 22644 | 12162 | 6994 | 22 | 52469 |
| 挥发酚 | 217 | 117 | 14 | 0 | 13507 |
| 粉煤灰 | 32739 | 17585 | 308258.821 | 0 | 598307 |
| 煤矸石 | 49456 | 26564 | 1133623.85 | 0 | 1567506 |
| 废渣 | 1316420 | 707078 | 13321309.1 | 0 | 17619553 |
| 高炉渣 | 0 | 0 | 875504.589 | 8340000 | 9215505 |
| 坑采废石 | 0 | 0 | 32674196.7 | 0 | 32674197 |
| 尾矿 | 0 | 0 | 8053786.89 | 0 | 8053787 |
| 尘泥 | 0 | 0 | 1226948.52 | 0 | 1226949 |

## 2结果与讨论

### 2. 1全生命周期的环境影响

生物质直燃发电系统的生命周期评价的加权环境影响潜值如图2所示。由于生物质获取阶段消耗以柴油打捆机为主，与运输阶段的消耗原料是一样的，所以在进行环境影响计算时，将打捆机消耗并入运输阶段。

表 3　主要的环境影响类型和当量因子

Table 3　Categories of environmental impact and equivalent factors

| 影响类型 | 物质 | 当量因子 | 影响类型 | 物质 | 当量因子 |
|---|---|---|---|---|---|
| 全球变暖潜值 GWP | $CO_2$ | 1 | 人体毒性潜值 HTP | CO | 0.012 |
| | $CH_4$ | 21 | | $SO_2$ | 1.2 |
| | $NO_X$ | 320 | | $NO_X$ | 0.78 |
| | $N_2O$ | 290 | | BaP | 1.7 |
| 酸化潜值 AP | $SO_2$ | 1 | 水生生态毒性潜值 AEP | 苯 | 3.9 |
| | $NO_X$ | 0.7 | | BaP | 750 |
| | $NH_3$ | 1.88 | | 苯 | 2.9 |
| 光化学臭氧形成潜值 POCP | 甲醛 | 0.421 | | 甲苯 | 2.9 |
| | NMHC | 0.0377 | | 萘 | 2.9 |
| | VOC | 1 | | 铜 | 200 |
| | 苯 | 0.189 | 固体废弃物潜值 SWP | 煤矸石 | 1 |
| | 甲苯 | 0.563 | | 废渣 | 1 |
| 水体富营养化潜值 NP | $NO_X$ | 1.35 | | 高炉渣 | 1 |
| | $NH_3$ | 3.64 | 烟尘及灰尘潜值 Dust-P | 烟粉尘 | 1 |
| | COD | 0.23 | | 粉煤灰 | 1 |
| | $NO_3^-$ | 1 | | 尘泥 | 1 |

在生物质直燃发电系统的各类环境影响类型中，固体废弃物潜值最大，处于第二位的是工业烟尘及灰尘形成的潜值，这两项排放来源于生物质发电电站中的钢筋混凝土制循环水冷却塔建设。混凝土的固化过程中以及水泥的生产会造成大量的固体废弃物和烟尘污染，此评价中设定水泥生产采用目前使用较多的干法工艺。还有少部分的固体废弃物污染是在电厂运行阶段秸秆燃烧后的灰分，但由于灰分可以再循环利用，造肥还田，这部分排放没有记人。

从图2我们可以看出，固体废弃物潜值及工业烟尘及灰尘潜值与其它指标相比存在量级上的差异，在同一图其他指标的大小不能反映出来，因而在图3表示了其他6种环境影响潜值分析结果，在剩余的环境影响潜值中人体毒性潜值较严重，这部分污染主要发生在捆包和运输阶段消耗化石燃料，产生S02、C02、NOx。温室效应影响主要在电厂运行部分燃烧生物质所排放的c02，如果考虑到生物质的碳循环特点，不记入生物质燃烧产生的c02，则生物质直燃发电全生命周期的温室气体排放主要来源于运输阶段。

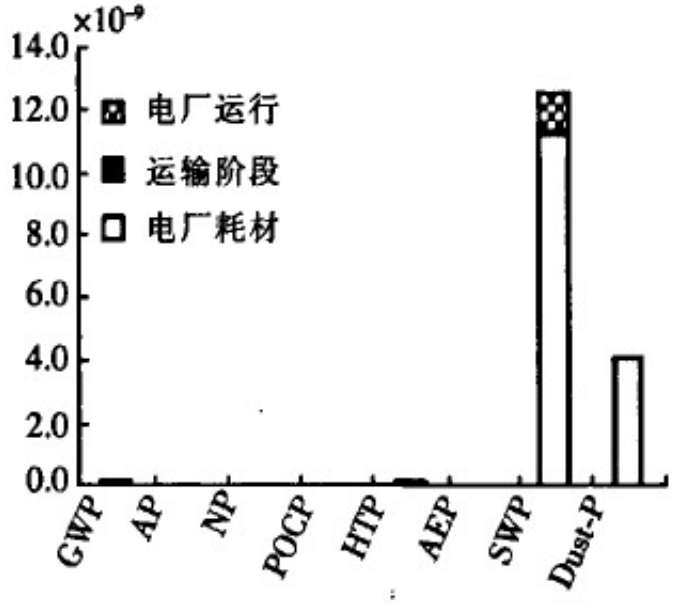


图 2　全生命周期的加权环境影响潜值分析

Fig.2　Weighed life-cycle environmental impact potential analysis

2．2混凝土生产方式对评价的影响

由2．1小节的研究可知，由于混凝土生产过程的排放对生物质直燃发电的全生命周期评价影响很大，混凝土生产工业的改进将可以改善生物质发电整体产生的环境负荷，据文献介绍，在混凝土生产过程中，掺入适量的粉煤灰是一种新的工艺，不仅可以降低能耗和污染排放，而且可以将燃烧排放的粉煤灰回收利用。本文讨论了如果电站建设使用的混凝土为采用先进技术生产时能够给生物质直燃发电生命周期的环境影响带来的改善。

新的混凝土中，掺人的粉煤灰的品级越高，掺混粉煤灰废弃物排放量也相应减少，其能耗和环境影响越小；但随着掺人粉煤灰的增加，混凝土的综合性能如混凝土的强度、耐久性以及可再生循环性等性能就越差。表3表示了在达到混凝土综合性能要求的前提下，不同的粉煤灰掺入量时的混凝土生产排放情况，同时也列出了对整个生物质发电系统的环境评价的影响。如表可见，改善混凝土生产工艺后，生物质直燃发电全生命周期的固体废弃物排放可以比原排放约降低25%，提升了生物质直燃发电系统的整体环境优势。

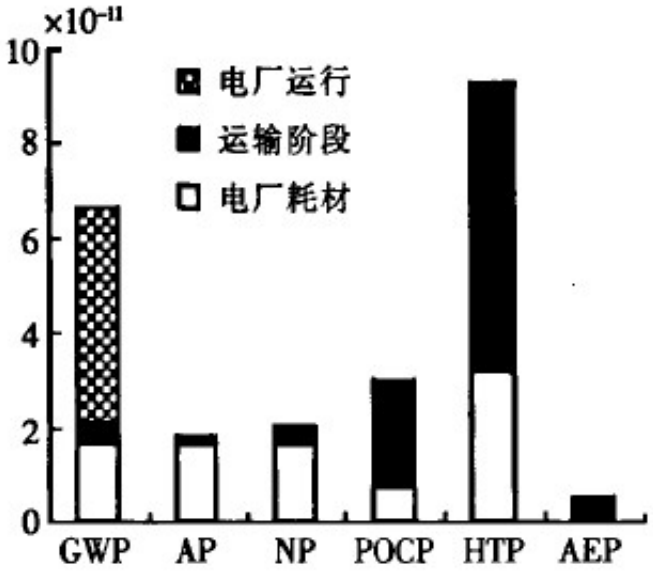


图 3　除去固体废弃物潜值和工业烟尘及灰尘潜值的环境影响潜值分析

Fig.3　Weighed LCI potential analysis expecting SWP and Dust-P

2．3生物质直燃发电、生物质气化发电和常规火电的比较

表4列出了3种发电方式主要污染物的排放数据，图中生物质发电的C02排放量中没有记人生物质燃烧排放的C02。结果表明，生物质发电的温室气体和污染物排放远低于常规电力。两种生物质发电相比，直燃发电在C02的排放上低于生物质气化发电，在S02、NOz的排放高于生物质气化发电。

表 4　掺入粉煤灰的量对环境和系统的影响

Table 4　Impact of fly-ash concrete content on the system and environment

| 掺入粉煤灰 | 混凝土工艺本身降低的消耗或排放/% | | | | 对生物质发电 LCA 评价的影响 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 煤耗 | $CO_2$ 排放量 | $NO_x$ 排放量 | $SO_2$ 排放量 | SWP 的减少率/% |
| 55% Ⅰ级粉煤灰 | 30.6 | 31.4 | 27.5 | 28.0 | 25.0 |
| 40% Ⅱ级粉煤灰 | 22.3 | 22.8 | 25.1 | 22.5 | 19.0 |
| 10% Ⅲ级粉煤灰 | 5.6 | 5.7 | 4.9 | 5.0 | 5.0 |

表 5　3 种发电方式主要污染物排放数据

Table 5　Major pollutant of three generation system

| 排放 | 直燃发电 | 火电[4] | 气化发电 |
|---|---|---|---|
| $CO_2$/t | 4.6 | 10 | 7.70 |
| $SO_2$/kg | 9.3 | 80 | 2.58 |
| $NO_X$/kg | 2.9 | 50 | 1.11 |

图4比较了两种生物质发电的全生命周期环境排放，生物质气化发电在不考虑焦油处理时，会排放一定量的化学污染物，造成光化学臭氧形成潜值和水体富营养化潜质的增大；直燃发电的固体废弃物及烟尘是主要污染物，这两项污染比生物质气化发电严重。

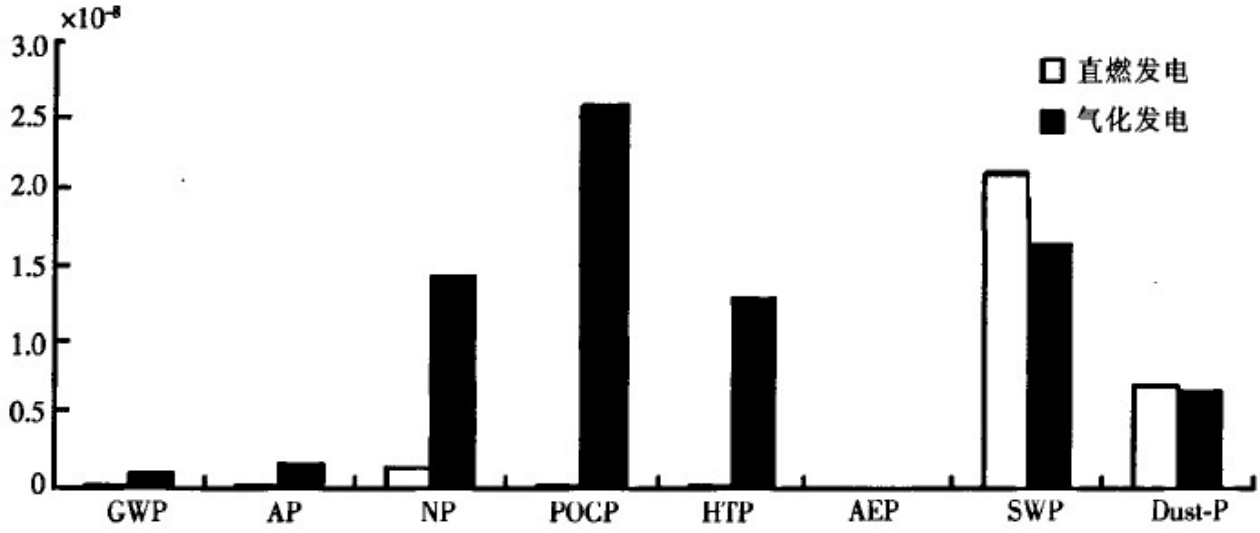


图 4　生物质直燃发电和气化发电环境影响潜质比较

Fig.4　Comparison of life-cycle environmental impact between biomass direct combustion power generation and biomass gasification power generation

**3结论**

本文通过对生物质直燃发电系统准备与运行两大阶段的各个生产环节进行生命周期清单分析，得出整个系统的环境影响。生物质直接燃烧发电系统对环境的污染主要来自电站建设中消耗的混凝土，混凝土生产带来固体废弃物及粉尘排放，通过改善混凝土的生产工艺可以降低发电系统的环境排放。通过评价可知建材生产和化石能源消费的排放都会从生物质发电的全生命周期评价中反映出来，影响可再生能源利用的环境友好。

本文基于国内正在建设的生物质直燃发电系统进行了全生命周期评价，所得结果定量的表明了生物质发电优越的环境效益，生物质直接燃烧发电和气化发电两种系统的环境排放都显著优于火电厂，但两种发电系统对环境的影响重点不同，前者主要发生在建设阶段，后者主要发生在电站运行中的污染物排放，评价结果讨论了生物质发电过程中产生环境影响的主要排放环节艺r及有效控制对策。（林琳，赵黛青，李莉）

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/59301.html