

中国化石能源生产的生命周期清单(Ⅱ) ——生命周期清单的编制结果

袁宝荣, 聂祚仁, 狄向华, 左铁镛

(北京工业大学材料学院, 新型功能材料教育部重点实验室, 北京 100022)

摘要: 计算得到 2002 年我国单位原煤、原油和天然气生产的完整生命周期清单。该清单包括各类初级资源的投入和污染物的排放, 初级资源包括原煤、原油和天然气, 污染物包括液态污染物、固体废弃物和 CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄、烟尘等气态排放物。该生命周期清单为化工产业及几乎所有材料与产品生命周期清单或生命周期评价分析提供了必需的基础数据。

关键词: 化石能源; 生命周期清单; 生命周期评价

中图分类号: TQ-9

文献标识码: C

文章编号: 0253-4320(2006)04-0059-03

Life cycle inventories of fossil fuels in China(Ⅱ):

Final life cycle inventories

YUAN Bao-rong, NIE Zuo-ren, DI Xiang-hua, ZUO Tie-yong

(Key Laboratory for Advanced Functional Materials of the Ministry of State Education, College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The life cycle inventories for production of raw coal, crude oil and natural gas in China in 2002 were calculated. This involves the consumption of fossil fuels and the emissions during their life cycle. The input includes the consumption of raw coal, crude oil and natural gas, and the output includes water pollutants, solid wastes and gaseous state pollutants such as CO₂, SO₂, NO_x, CO, CH₄ and dust. The inventories would provide reference data for life cycle inventory analysis or the life cycle assessment of the chemical industry and even all of the industries related to materials and their products.

Key words: fossil fuel; life cycle inventory; life cycle assessment

化石能源生产的相关生命周期清单不仅是开展工业及其产品生命周期评价(LCA)分析的基础, 其结果本身也能阐明能源生产的基本环境行为。该研究开展中国化石能源生产相关生命周期清单的编制与分析, 系统边界为化石燃料生产的生命周期过程, 包括开采过程的能源消耗、工艺过程直接排放、相关工业锅炉排放、运输过程排放以及主要原燃料的生命周期消耗与排放。主要研究工作分两部分介绍, 第一部分计算得到 2002 年我国原煤、原油和天然气开采过程中直接相关的能源消耗和污染物排放, 包括开采过程直接排放、相关工业锅炉排放以及运输相关排放^[1], 本文在此基础上进一步考虑原油炼制的环境负荷, 以计算得到最终的生命周期清单结果。

1 原油炼制过程的环境负荷

原油炼制过程中, 除作为原料的原油输入以外,

主要消耗电力和燃料油。2002 年我国每加工 1 t 原油耗电 62.82 kWh, 同时耗燃料油 9.05 kg^[2]。从生命周期的角度来分析, 电力和燃料油作为次级能源, 在其生产过程中都消耗初级资源并产生环境排放。

1.1 成品油生产的初级资源消耗

炼油工业是我国整个石油工业中非常重要的一环。原油经过炼制加工可生产出汽油、煤油、柴油等液体燃料和其他石油产品。为了对原油在加工过程中的多种产品进行分配, 首先要选定分配基准。本研究以各种能源产品在其总发热量中所占的比重作为分配原则, 根据原油炼制过程的投入和产出情况^[2], 可计算得到 2002 年中国炼油工业的基本输入、输出情况: 每生产 1 kg 汽油, 需要消耗 1.31 kg 原油; 生产 1 kg 煤油, 同样消耗 1.31 kg 原油; 而生产 1 kg 的柴油、燃料油、液化石油气和炼厂干气, 则分别需要消耗 1.29、1.27、1.25 kg 和 1.40 kg 原油。

收稿日期: 2005-12-10

基金项目: 国家“863”计划项目(2001AA320201); 北京市自然科学基金重点项目(2011001)

作者简介: 袁宝荣(1967-), 女, 博士生, 从事能源工业和化学工业的生命周期评价研究; 聂祚仁(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态环境材料方面的研究, 通讯联系人, 010-67391567, zmie@bjut.edu.cn。

由于我国火力发电量在总发电量中占据绝对主导地位,始终超过 80%,本文对电力相关环境负荷进行近似处理,以火力发电相关环境负荷指标来代表整个发电工业相应指标。考察 2002 年我国火力发电的基本输入情况^[2],结合已计算得到的炼油过程基本物质流关系,以及 2002 年中国火力发电的厂用电率 7.10% 和线路损失率 7.52%^[3],可以计算得到 2002 年我国单位售电,即用户每得到 1 kWh 电量的初级资源消耗分别为 0.58 kg 原煤、 1.44×10^{-2} kg 原油和 9.69×10^{-4} m³ 天然气。

由计算得到的炼油过程基础物质流关系和电力生产初级资源消耗,可以计算得到 2002 年我国燃料油生产在生命周期范围内的初级资源消耗强度:生产 1 kg 的燃料油,分别需要消耗 4.77×10^{-2} kg 原煤、1.32 kg 原油和 7.95×10^{-5} m³ 天然气。

1.2 成品油生产的环境性排放

如果仅仅考虑使用过程,燃料油燃烧时产生污染物排放,电力则非常清洁;但从生命周期的角度来分析,电力和燃料油作为次级能源,在其生产过程中都产生环境性排放。因此,要得到成品油生产过程的生命周期排放,不仅要考虑生产过程中的直接排放,还要对电力和燃料油进行环境性排放的上游追溯。

在成品油生产的生命周期中,环境性排放来源于 4 个方面:①原油炼制过程中的直接排放;②炼制过程所消耗原油的生命周期排放;③炼制过程所耗

电力的生命周期排放;④炼制过程所耗燃料油的生命周期排放。

关于原油炼制过程中的直接排放,液态废弃物和固体废弃物可直接得到统计数据,而气态污染物的排放量则可进行估算,其方法与油气开采过程中气态污染物的计算相同,可参见本研究的前部分工作。经计算,燃料油生产过程中 CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄ 和烟尘的生命周期排放强度分别为 3.01、 1.03×10^{-2} 、 7.24×10^{-3} 、 1.67×10^{-4} 、 8.36×10^{-5} kg/kg 和 2.12×10^{-3} kg/kg。

炼制过程所消耗原油的生命周期排放采用原油开采过程的污染物直接排放来近似处理,引用前文结果。此简化会对最终结果造成一定偏差,但考察国外相关研究结果,该偏差可以忽略不计。炼制过程所耗燃料油的生命周期排放在本研究中被直接忽略。由于原油炼制过程中燃料油的消耗量尚不足原油消耗量的 1%,对计算结果造成的影响可以接受。

原油炼制过程所耗电力的生命周期排放可采用狄向华^[4]的计算结果,其中,CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄ 和烟尘的生命周期排放强度分别为 1.07、 9.93×10^{-3} 、 6.46×10^{-3} 、 1.55×10^{-3} 、 2.60×10^{-3} kg/kWh 和 2.02×10^{-2} kg/kWh。

由此可计算得到我国成品油生产的生命周期排放情况,结合对成品油生产初级资源消耗关系的考察,可以得到 2002 年我国各类成品油生产的生命周期排放清单,如表 1 所示。

表 1 2002 年我国各类成品油生产的生命周期清单

kg

	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化石油气	炼厂干气
输入项目						
原煤	4.77×10^{-2}	4.77×10^{-2}	4.73×10^{-2}	4.63×10^{-2}	5.56×10^{-2}	5.10×10^{-2}
原油	1.32	1.32	1.31	1.28	1.54	1.41
天然气	7.95×10^{-5}	7.95×10^{-5}	7.87×10^{-5}	7.72×10^{-5}	9.26×10^{-5}	8.50×10^{-5}
输出项目						
汽油	1.00	0	0	0	0	0
煤油	0	1.00	0	0	0	0
柴油	0	0	1.00	0	0	0
燃料油	0	0	0	1.00	0	0
液化石油气	0	0	0	0	1.00	0
炼厂干气	0	0	0	0	0	1.00
CO ₂	0.22	0.22	0.22	0.21	0.26	0.24
SO ₂	1.17×10^{-3}	1.17×10^{-3}	1.15×10^{-3}	1.13×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.25×10^{-3}
NO _x	8.48×10^{-4}	8.48×10^{-4}	8.40×10^{-4}	8.23×10^{-4}	9.88×10^{-4}	9.07×10^{-4}
CO	1.35×10^{-4}	1.35×10^{-4}	1.33×10^{-4}	1.31×10^{-4}	1.57×10^{-4}	1.44×10^{-4}
CH ₄	2.17×10^{-4}	2.17×10^{-4}	2.15×10^{-4}	2.11×10^{-4}	2.53×10^{-4}	2.32×10^{-4}
烟尘	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-3}	1.73×10^{-3}	1.70×10^{-3}	2.04×10^{-3}	1.87×10^{-3}
液体废物	0.77	0.77	0.76	0.75	0.90	0.83
固体废物	7.77×10^{-3}	7.77×10^{-3}	7.70×10^{-3}	7.55×10^{-3}	9.05×10^{-3}	8.31×10^{-3}

注:天然气单位为 m³。

2 初级能源生产的生命周期清单

由原煤生产、油气开采的初步清单和原油炼制过程的生命周期清单结果,可以计算得到我国原煤、原油和天然气生产的完整生命周期清单,如表2所示。该生命周期清单既包括各类初级资源的投入,也包括生命周期过程中液态污染物、固体废弃物和各气态污染物的排放。

表2 2002年我国初级能源生产的生命周期清单 kg

	原煤	原油	天然气
输入项目			
原煤	1.00	1.27×10^{-3}	1.18×10^{-3}
原油	8.59×10^{-4}	1.30	3.27×10^{-2}
天然气	5.13×10^{-8}	2.11×10^{-6}	1.32
输出项目			
原煤	1.00	0	0
原油	0	1.00	0
天然气	0	0	1.00
CO ₂	6.19×10^{-3}	8.04×10^{-2}	7.48×10^{-2}
SO ₂	7.45×10^{-6}	2.06×10^{-4}	1.91×10^{-4}
NO _x	4.29×10^{-5}	2.00×10^{-4}	1.87×10^{-4}
CO	5.17×10^{-6}	7.77×10^{-6}	7.23×10^{-6}
CH ₄	9.32×10^{-3}	7.86×10^{-6}	7.32×10^{-6}
烟尘	9.07×10^{-4}	9.86×10^{-5}	9.18×10^{-5}
液体废物	0.37	0.61	0.57
固体废物	4.92×10^{-2}	6.16×10^{-3}	5.76×10^{-3}

注:天然气单位为 m³。

由表2可以看到,我国原油和天然气的开采损耗率均为30%左右,其主要用于开采过程的能源消耗。单位原煤与原油的开采相比,原煤相关生命周期中的CO₂、SO₂、NO_x和烟尘排放均远低于原油开采,CH₄的排放远高于原油开采,体现出明显不同的环境排放特征。由于本研究采用发热量作为油气分配原则,因此计算得到的生命周期清单中,每kg原油开采相关各污染物的生命周期排放相当于每m³

天然气开采相应污染物排放量的1.07倍。

3 结论

通过调查和收集相关的技术参数和数据,计算得到2002年中国原煤、原油和天然气生产的生命周期清单。该生命周期清单既包括各类初级资源的投入,也包括生命周期过程中各污染物的排放。该生命周期清单不仅可以应用于化工行业,而且可为其他行业材料及其产品的生命周期清单或生命周期评价提供参考。形成的主要结论包括:

(1)2002年我国每净产出单位kg原煤,在生命周期范围内CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄、烟尘、液态废弃物和固体废弃物的排放量分别为 6.19×10^{-3} 、 7.45×10^{-6} 、 4.29×10^{-5} 、 5.17×10^{-6} 、 9.32×10^{-3} 、 9.07×10^{-4} 、0.37 kg和 4.92×10^{-2} kg。

(2)2002年我国每净产出单位kg原油,使原油储量减少1.30 kg,在生命周期范围内CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄、烟尘、液态废弃物和固体废弃物的排放量分别为 8.04×10^{-2} 、 2.06×10^{-4} 、 2.00×10^{-4} 、 7.77×10^{-6} 、 7.86×10^{-6} 、 9.86×10^{-5} 、0.61 kg和 6.16×10^{-3} kg。

(3)2002年我国每净产出单位m³天然气,使天然气储量减少1.32 m³、原油储量减少 3.27×10^{-2} kg,在生命周期范围内CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄、烟尘、液态废弃物和固体废弃物的排放量分别为 7.48×10^{-2} 、 1.91×10^{-4} 、 1.87×10^{-4} 、 7.23×10^{-6} 、 7.32×10^{-6} 、 9.18×10^{-5} 、0.57 kg和 5.76×10^{-3} kg。

参考文献

- [1] 袁宝荣, 聂祥仁, 狄向华, 等. 中国化石能源生产的生命周期清单 I: 能源消耗与直接排放[J]. 现代化工, 2006, 26(3): 59-62.
- [2] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴(2000—2002)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [3] 中国电力年鉴编辑委员会. 中国电力年鉴 2003[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [4] 狄向华, 聂祥仁, 左铁镛. 中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单[J]. 中国环境科学, 2005, 25(5): 632-635. ■
- [5] 尹大军, 阮中伟, 郝孟忠. LS系列硫磺回收催化剂工业装置使用总结[J]. 石油化工环境保护, 2001, 24(4): 51-55.
- [6] 祝强. 硫磺回收工艺中SO₂/H₂S的工业色谱仪在线分析[J]. 石油化工环境保护, 1996, 19(1): 62-64.
- [7] 征新剑, 谢钟元. 硫磺回收装置n_{H₂S}:n_{SO₂}比率质量控制[J]. 石油与天然气化工, 1994, 24(2): 107-113.
- [8] 赵银亮. 硫磺回收装置扩能改造[J]. 石油化工设计, 2001, 18(1): 46-49. ■

(上接第55页)

- [13] 陈德胜, 汪建华. 10 kt/a 硫磺回收装置技术特点及运行分析[J]. 石油化工环境保护, 2003, 26(4): 32-35.
- [14] 唐昭峥, 胡文宾, 毕立雪. LS-901 抗硫酸盐化作用催化剂的研制[J]. 石油炼制与化工, 1995, 26(12): 30-35.
- [15] 唐昭峥, 胡文宾, 李振华, 等. LS系列硫磺回收催化剂的应用[J]. 大氮肥, 2002, 25(3): 196-200.