

# 炼化企业汽油及柴油生产阶段碳排放分析

王陶\*, 张志智, 孙潇磊

(中国石油化工股份有限公司大连石油化工研究院, 辽宁 大连 116045)

**摘要:**选择 PAS2050 规范作为基本计算依据, 利用碳足迹技术对中国石化某炼化企业汽油及柴油生产阶段碳排放进行分析, 温室气体核算时间范围为 2018 年全年。计算结果表明, 该企业汽油生产阶段碳排放为 0.256 3 t CO<sub>2</sub> e/t 汽油; 柴油生产阶段的碳排放为 0.263 8 t CO<sub>2</sub> e/t 柴油。通过对排放源的碳排放分析发现, 燃料气、电及蒸汽为主要碳排放源, 生产企业应对这 3 种排放源进行重点监控。通过对单元装置碳排放分析发现, 加氢装置是主要碳排放装置, 优化加氢装置氢气来源对实现石化产品生产阶段碳减排具有重要意义。

**关键词:**炼化企业; 汽油; 柴油; 生产阶段; 碳排放; 排放系数

中图分类号: TE626

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2020)S-0234-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2020.S.051

## Carbon emission analysis on gasoline and diesel production stages in refining and chemical enterprise

WANG Tao\*, ZHANG Zhi-zhi, SUN Xiao-lei

(Dalian Research Institute of Petroleum and Petrochemicals, Sinopec Corp., Dalian 116045, China)

**Abstract:** Based on PAS2050 standard, carbon footprint technology is utilized to analyze carbon emission in gasoline and diesel stages in a refining and chemical company of Sinopec Corp. The time boundary for greenhouse emission evaluation is limited in 2018. Calculation results indicate that the final carbon emission in gasoline production stage is 0.256 3 tCO<sub>2</sub>e per ton of gasoline; that in diesel production stage is 0.263 8 tCO<sub>2</sub>e per ton of diesel. Through carbon emission analysis on emission sources, it is found that fuel gas, electricity and steam are the main carbon emission sources, the company shall focus on monitoring these three emission sources. It is found through analysis on production units that several hydrogenation units are the main carbon emission units. It is of great significance to optimize hydrogen source for hydrogenation unit to achieve carbon emission reduction in the production stage of petrochemical products.

**Key words:** refining and chemical enterprise; gasoline; diesel; production stage; carbon emission; emission coefficient

近年来, 日益严重的全球气候变暖已成为世界聚焦的重点问题之一<sup>[1-2]</sup>, 发展低碳经济正成为世界经济发展的主要趋势。以欧美为主的部分发达国家已率先意识到低碳发展的重要性<sup>[3]</sup>, 更早地利用自身技术和资本优势推出碳标签、碳市场、碳税收等低碳举措<sup>[4]</sup>, 以强化其经济竞争优势。作为温室气体排放量最大的国家之一, 中国正承受着前所未有的减排压力, 低碳发展成为中国经济发展的必然选择<sup>[5]</sup>。

石油石化行业由于其特殊的能源属性, 对化石燃料依赖度极高, 是低碳发展的重点行业之一。近年来, 国内各大石油和能源公司积极开展了低碳技术的研发, 尤其是炼化企业, 迫切需要有效的减排手段, 以应对其逐年增加的温室气体排放量<sup>[6]</sup>。在纷繁复杂的减排手段中, 找准目标、精准施策对炼化企业至关重要。应用碳足迹技术可对产品生产过程进

行综合考量<sup>[7]</sup>, 识别产品生产过程中的碳排放热点, 从而更加有针对性地实施减排技术, 为企业碳减排提供指导和依据。本研究以某炼化企业汽、柴油产品作为研究对象, 选择合适的标准及评价方法对产品生产阶段的碳足迹进行核算, 并对生产阶段碳排放热点进行分析, 识别重点排放源及单元装置。功能单位为 1 t 产品的 CO<sub>2</sub> 排放当量, 即 t CO<sub>2</sub> e/t, 核算时间范围为 2018 年全年。

## 1 计算方法

### 1.1 计算流程

选择英国标准协会发布的 PAS2050 规范作为计算的基本依据<sup>[8]</sup>, 对中国石化某炼化企业汽油及柴油生产阶段碳足迹进行计算, 并对其碳排放热点进行分析, 核算流程如图 1 所示。

收稿日期: 2020-04-27; 修回日期: 2020-06-04

基金项目: 中国石油化工股份有限公司项目中国石化温室气体盘查和 CDM 方法学研究(314014)

作者简介: 王陶(1991-), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为低碳技术, 通讯联系人, wangtao.fshy@sinopec.com。

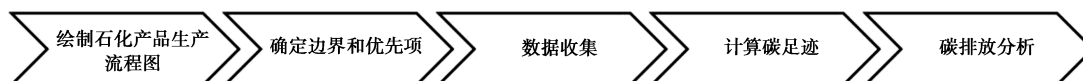


图1 产品碳足迹核算流程

## 1.2 计算公式

石化产品生产过程中会涉及到多种单元装置,每个单元装置的碳排放可能涉及能耗排放、烧焦排放及氢耗排放,计算公式如式(1)所示:

$$E_s = \sum E_i \times Q_i / P + (H/P) \times (44/12) + E_{H_2} \times W_{H_2} \quad (1)$$

式中: $E_s$ 为单元装置的碳排放系数,t CO<sub>2</sub> e/t; $E_i$ 为不同排放源的碳排放因子,t CO<sub>2</sub> e/t; $Q_i$ 为不同排放源的消耗量,t; $P$ 为加工的油料质量,t; $H$ 为装置的催化剂烧焦量,t; $E_{H_2}$ 为加氢装置的单位氢耗,t H<sub>2</sub>/t; $W_{H_2}$ 为制氢排放系数,t CO<sub>2</sub> e/t H<sub>2</sub>。

采用不同单元装置的碳排放加和计算产品生产过程的温室气体的排放,如式(2)所示:

$$E_a = \sum (E_{si} \times R_i) \quad (2)$$

式中: $E_a$ 为生产阶段的碳排放系数,t CO<sub>2</sub> e/t; $E_{si}$ 为不同单元装置的碳排放系数,t CO<sub>2</sub> e/t; $R_i$ 为回溯法得到的不同单元装置的比重。

式(2)中对于单元装置比重 $R_i$ 的确定遵循如下原则<sup>[9]</sup>:以最终生产1 t石化产品为基准,只考虑生产目标产品所涉及的物料,而共生产品不予考虑。按照生产流程的逆过程对单元装置比重系数进行逐级回溯,若后端单元装置所加工物料仅来自于一个前端单元装置,则该前端单元装置比重系数同后端单元装置相同;若后端单元装置所加工物料来自于两个或两个以上前端单元装置,则该前端单元装置比重系数需按照其为后端单元装置提供的加工物料质量进行比例分配。

## 1.3 基本参数

根据《省级温室气体排放清单》、《综合能耗计算通则》及国家发改委电网排放因子数据,汇总得到各排放源碳排放因子如表1所示。

表1 各排放源的碳排放因子

排放因子/(t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )	数值	排放因子/(t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )	数值
电力/(t CO <sub>2</sub> e·MW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	0.9680	循环水	0.0002
燃料气	3.0144	除盐水	0.0037
3.5 MPa 蒸汽	0.3294	除氧水	0.0243
1.5 MPa 蒸汽	0.2995	氮气/(t CO <sub>2</sub> e·Nm <sup>-3</sup> )	0.0006
0.5 MPa 蒸汽	0.2471	压缩风/(t CO <sub>2</sub> e·Nm <sup>-3</sup> )	0.0001
新鲜水	0.0006		

## 2 汽油碳排放分析

### 2.1 汽油生产流程

原油通过管线运输进厂后存储在原油罐区,后经过常减压蒸馏装置生产蜡油,蜡油经催化裂化装置成为轻质油及催化柴油,其中轻质油经S-ZORB装置成为汽油料,催化柴油经柴油改质装置成为重汽油,两种油料经调和后成为汽油产品。调和的比例为S-ZORB汽油料与重汽油质量比为4:1。

### 2.2 汽油生产阶段碳排放计算

#### 2.2.1 汽油生产阶段单元装置能耗排放

根据企业提供的能耗数据,汽油生产涉及单元装置能耗如表2所示。根据式(1)并结合表2数据,计算得到各单元装置的能耗排放情况如表3所示。

表2 汽油生产阶段单元装置的能耗

排放源	原油罐区	常减压蒸馏	催化裂化	S-ZORB	柴油改质
装置加工量/t	4646581	4646581	3273145	1421226	699189
新鲜水/t	2002	4368	201948	1978	0
循环水/t	68455311	11781425	55694096	1225374	19757632
除盐水/t	0	43168	439564	0	26598
除氧水/t	0	0	0	1503	13671
电/(MW·h)	6240.33	28940.37	68954.21	7159.02	23694.67
3.5 MPa 蒸汽/t	0	0	-336198	0	149983
1.5 MPa 蒸汽/t	0	65681	-260093	12291	-160137
0.5 MPa 蒸汽/t	0	23334	0	0	0
燃料气/t	0	47390	0	8462	2768
氮气/Nm <sup>3</sup>	0	25031	1956636	6152385	2816520
压缩风/Nm <sup>3</sup>	1099831	3198568	59846543	6123992	3060131

表3 汽油生产阶段单元装置能耗碳排放

单元装置	原油罐区	常减压蒸馏	催化裂化	S-ZORB	柴油改质
排放系数/(t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )	0.00427	0.04286	-0.03112	0.02864	0.05592

### 2.2.2 汽油生产阶段单元装置烧焦排放

汽油生产所涉及的单元装置中,催化裂化装置及 S-ZORB 装置存在催化剂的烧焦排放。根据企业统计数据,2018 年催化裂化装置烧焦量为 16 万 t,根据式(1)计算得到催化裂化装置的烧焦排放量为 586 666.67 t CO<sub>2</sub> e,烧焦排放系数为 0.179 2 t CO<sub>2</sub> e/t;S-ZORB 装置烧焦量为 300 t,根据式(1)计算得 S-ZORB 装置的烧焦排放量为 1 100 t CO<sub>2</sub> e,烧焦排放系数为 0.000 8 t CO<sub>2</sub> e/t。

### 2.2.3 汽油生产阶段单元装置氢耗排放

生产过程中 S-ZORB 装置及柴油改质装置涉及到氢耗排放,所用氢气均来自该企业 5 万 t 制氢装置,制氢排放系数 5.15 t CO<sub>2</sub> e/t H<sub>2</sub>。根据企业统计数据,2018 年 S-ZORB 装置消耗氢气 1 978 t,根据式(1)计算得 S-ZORB 装置的氢耗排放系数为 7.158×10<sup>-3</sup> t CO<sub>2</sub> e/t;柴油改质装置消耗氢气 14 000 t,根据式(1)计算得到柴油改质装置氢耗排放系数为 0.103 1 t CO<sub>2</sub> e/t。

### 2.2.4 汽油生产阶段碳排放

根据以上计算结果,对各单元装置的排放系数进行汇总,如表 4 所示。按照回溯法确定各单元装置在生产过程中所占的比重,根据式(2)对汽油生产阶段碳排放进行计算,得到汽油产品生产阶段的碳排放为 0.256 3 t CO<sub>2</sub> e/t。

表 4 汽油生产阶段碳排放汇总

汽油组分	装置 比重	单元装置	碳排放系数/ (t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )	排放量/ (t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )
原油	1	原油储罐	0.00427	0.00427
蜡油	1	常减压蒸馏	0.04286	0.04286
轻质油	0.8	催化裂化	0.14810	0.14810
催化柴油	0.2			
S-ZORB 汽油料	0.8	S-ZORB	0.03660	0.02928
柴油改质汽油料	0.2	柴油改质	0.15900	0.03180
合计				0.25630

### 2.3 汽油生产阶段排放源热点分析

根据汽油生产阶段碳足迹的计算结果,对汽油生产阶段的能耗和耗能工质等排放源进行碳排放热点分析,结果如表 5 所示。可以看出,电、燃料气及蒸汽的排放对汽油生产阶段碳排放影响最大;新鲜水的影响最小。

表 5 汽油生产阶段排放源热点分析

排放源	占比/%	排放源	占比/%
新鲜水	0.03	1.5 MPa 蒸汽	20.54
循环水	5.35	0.5 MPa 蒸汽	0.82
除盐水	0.37	燃料气	31.25
除氧水	0.08	氮气	1.92
电	25.13	压缩风	1.55
3.5 MPa 蒸汽	12.97		

### 2.4 汽油生产阶段单元装置排放热点分析

对汽油生产阶段的单元装置进行碳排放热点分析,结果如表 6 所示。可以看出,催化裂化装置由于催化剂烧焦排放量较大,成为汽油生产阶段最主要的碳排放热点;其次,由于氢耗排放量很大,使柴油改质装置成为汽油生产阶段的重要碳排放热点之一;原油罐区对生产阶段的碳排放影响最小。

表 6 汽油生产阶段单元装置排放热点分析

单元 装置	原油 罐区	常减压 蒸馏	催化 裂化	S-ZORB	柴油改 质
占比/%	1.67	16.72	57.78	11.42	12.41

## 3 柴油碳排放分析

### 3.1 柴油生产流程

原油通过管线运输进厂后存储在原油罐区,后经过常减压蒸馏装置生产渣油及柴油料,其中渣油经焦化装置及柴油加氢装置成为产品柴油(路线 1),柴油料经汽柴油加氢装置成为产品柴油(路线 2),2 种路线所获得的产品柴油质量比为 1:1。

### 3.2 柴油生产阶段碳排放计算

#### 3.2.1 柴油生产阶段单元装置能耗排放

根据企业提供的能耗数据,柴油生产所经过的单元装置能耗如表 7 所示。根据式(1)并结合表 7 数据,计算得到各单元装置的能耗排放情况如表 8 所示。

表 7 柴油生产阶段单元装置的能耗

排放源	原油 罐区	常减压 蒸馏	焦化	柴油 加氢	汽柴油 加氢
装置加工量/t	4646581	4646581	648038	229013	711041
新鲜水/t	2002	4368	2588	0	1846
循环水/t	68455311	11781425	7473502	5704199	2535164
除盐水/t	0	43168	22385	21222	52500
除氧水/t	0	0	54057	0	39373

续表

排放源	原油罐区	常减压蒸馏	焦化	柴油加氢	汽柴油加氢
电/(MW·h)	6240.33	28940.37	11176.69	20549.3	22359.96
3.5 MPa 蒸汽/t	0	0	97698	0	127576
1.5 MPa 蒸汽/t	0	65681	-114189	26730	-102154
0.5 MPa 蒸汽/t	0	23334	0	0	-34332
燃料气/t	0	47390	15412	3759	6314
氮气/Nm <sup>3</sup>	0	25031	378866	1210817	255293
压缩风/Nm <sup>3</sup>	1099831	3198568	2800809	1171562	1001699

表 8 柴油生产阶段单元装置能耗碳排放

单元装置	原油罐区	常减压蒸馏	焦化	柴油加氢	汽柴油加氢
排放系数/(t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )	0.00427	0.04286	0.09052	0.1803	0.06404

### 3.2.2 柴油生产阶段单元装置氢耗排放

柴油生产过程中柴油加氢装置及汽柴油加氢装置涉及到氢耗排放,所用氢气均来自该企业 5 万 t 制氢装置,制氢排放系数 5.15 t CO<sub>2</sub> e/t H<sub>2</sub>。根据企业统计数据,2018 年柴油加氢装置消耗氢气 3 750 t,根据式(1)计算得到柴油加氢装置的氢耗排放系数为 0.055 33 t CO<sub>2</sub> e/t;汽柴油加氢装置消耗氢气 8 900 t,根据式(1)计算得到汽柴油加氢装置氢耗排放系数为 0.043 2 t CO<sub>2</sub> e/t。

### 3.2.3 柴油生产阶段碳排放汇总

根据以上计算结果,对柴油生产阶段各单元装置的排放系数进行汇总,如表 9 所示。按照回溯法确定各单元装置在生产过程中所占的比重,根据式(2)对柴油生产阶段碳足迹进行计算,得到柴油产品碳排放为 0.263 8 t CO<sub>2</sub> e/t。

表 9 柴油生产阶段碳排放汇总

柴油组分	装置比重	单元装置	碳排放系数/(t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )	排放量/(t CO <sub>2</sub> e·t <sup>-1</sup> )
原油	1	原油储罐	0.00427	0.00427
渣油	0.5	常减压蒸馏	0.04286	0.04286
柴油料	0.5			
加氢柴油	0.5	焦化	0.09052	0.04526
路线 1 柴油	0.5	柴油加氢	0.23560	0.11780
路线 2 柴油	0.5	汽柴油加氢	0.10720	0.05360
合计				0.26380

### 3.3 柴油生产阶段排放源热点分析

根据柴油生产阶段碳足迹的计算结果,对柴油生产阶段的能耗和耗能工质等排放源进行排放热点分析,结果如表 10 所示。可以看出,电、燃料气及蒸汽的排放对柴油生产阶段碳排放影响最大,是最重要的碳排放热点;新鲜水的影响最小。

表 10 柴油生产阶段排放源热点分析

排放源	占比/%	排放源	占比/%
新鲜水	0.01	1.5 MPa 蒸汽	9.48
循环水	2.70	0.5 MPa 蒸汽	1.71
除盐水	0.15	燃料气	37.89
除氧水	0.61	氮气	0.68
电	26.89	压缩风	0.23
3.5 MPa 蒸汽	19.68		

### 3.4 柴油生产阶段单元装置排放热点分析

对柴油生产阶段的生产装置进行碳排放热点分析,结果如表 11 所示。由于氢耗排放量很大,使柴油加氢装置及汽柴油加氢装置成为柴油生产阶段最主要的碳排放热点;其次,焦化装置及常减压蒸馏装置也是重要的排放热点;原油罐区对生产阶段的碳排放影响最小。

表 11 柴油生产阶段单元装置排放热点分析

单元装置	原油储罐	常减压蒸馏	焦化	柴油加氢	汽柴油加氢
占比/%	1.62	16.25	17.16	44.66	20.32

## 4 结论

(1)通过对汽油及柴油生产阶段的碳足迹进行计算,汽油生产阶段的温室气体排放为 0.256 3 t CO<sub>2</sub> e/t 汽油,柴油生产阶段的温室气体排放为 0.263 8 t CO<sub>2</sub> e/t 柴油。

(2)通过对汽油及柴油生产阶段的排放热点分析发现,汽、柴油生产过程中,燃料气、电及蒸汽都是最重要的排放热点。应对相应装置采取节能措施,如加热炉应用耐高温陶瓷涂料等,减少加热过程中的能耗损失,提高加热炉效率,降低燃料气的使用;同时提高热电装置生产热电的比例,提高热力生产,降低电力生产,从而降低生产过程中电力及蒸汽的能耗排放。

(下转第 241 页)

### 3 结论

综合上述分析,导致该烧结机脱硝催化剂失活的原因主要有:①脱硝系统长期在低温( $\leq 300^{\circ}\text{C}$ )下运行,促进了硫酸氢铵的生成和累积;②烧结机烟气灰分中含有大量的可溶性碱金属化合物,且烟气水分含量高,催化剂表面存在硫酸氢铵,形成了大量由K、Na、S等元素组成的复杂盐类,上述碱金属化合物及复杂盐类附着于催化剂微孔及表面,覆盖了脱硝催化剂活性位且造成催化剂碱金属中毒。上述两个原因共同导致催化剂失活。

烧结机烟气温度低、烟气中灰分组成复杂、水含量高的特点是导致烧结机脱硝催化剂中毒的根本原因,因此脱硝-除尘-脱硫的常规烟气处理工艺难以满足烧结机脱硝催化剂长期稳定运行的要求,而先除尘脱硫再脱硝的工艺可有效去除烟气中的灰分和硫,能够最大限度避免脱硝过程中硫酸氢铵的生成和灰分中碱金属导致催化剂中毒的问题,是烧结机脱硝的较优技术路线。

#### 参考文献

- [1] Lei Z G, Wen C P, Chen B H. Optimization of internals for selective catalytic reduction (SCR) for NO removal[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 45(8): 3437-3744.
- [2] 徐青,郑章靖,凌长明,等.低温选择性催化还原脱除NO<sub>x</sub>的催化剂的研究进展[J].环境污染与防治, 2011, 33(6): 81-85.
- [3] 史夏逸,董艳苹,崔岩.烧结烟气脱硝技术分析比较[J].中国冶金, 2017, 27(8): 56-59.
- [4] 田凡,车帅,任栋.我国钢铁行业烧结烟气脱硫的概况[J].冶金能源, 2017, 36(S1): 115-117.
- [5] 刘传鹏,杨东伟,惠建明,等.烧结余热梯级利用及脱硫脱硝一站式解决方案[J].钢铁研究学报, 2016, 28(10): 50-54.
- [6] 朱春华,陆强,庄柯,等.燃煤电厂中中毒SCR脱硝催化剂的失活特性研究[J].应用化工, 2018, 47(6): 1145-1161.
- [7] 姚燕,王乐乐,李乐田,等.燃煤电厂选择性催化还原脱硝催化剂中毒分析[J].热力发电, 2018, 47(10): 31-36.
- [8] 张道军,马子然,孙琦,等.硫酸氢铵在钒基选择性催化还原催化剂表面的生成、作用及防治[J].化工进展, 2018, 37(7): 2635-2643.
- [9] 王乐乐,何川,王凯,等.SCR脱硝催化剂低负荷运行评估技术研究与应用[J].热力发电, 2018, 47(10): 24-30.
- [10] 石晓燕,丁世鹏,贺泓,等.改进钒基SCR脱硝催化剂的抗碱金属中毒性能[J].环境工程学报, 2014, 8(5): 2031-2034.
- [11] 梅笛,谢峻林,方德,等.SCR脱硝催化剂的碱及碱土金属中毒研究进展[J].硅酸盐通报, 2014, 33(6): 1398-1402.
- [12] 胡石磊,叶代启.钾对催化剂选择性催化还原氮氧化物的性能影响特性研究[J].环境污染与防治, 2008, 30(7): 43-46.
- [13] 宋玉宝,刘鑫辉,何川,等.SCR催化剂低负荷运行硫酸氢铵失活研究[J].中国电力, 2019, 52(1): 144-150. ■
- [1] Lei Z G, Wen C P, Chen B H. Optimization of internals for selective catalytic reduction (SCR) for NO removal[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 45(8): 3437-3744.
- [2] 姜睿.碳减排是企业实现可持续发展的选择[J].中国能源, 2017, 39(5): 41-44.
- [3] 韩玉辉.低碳经济与中国经济发展模式转型研究[J].中国高新技术企业, 2017, (2): 1-2.
- [4] 刘小媛.碳标签制度下不同成员参与减排的供应链决策[D].重庆:重庆交通大学, 2018.
- [5] 刘洋.低碳背景下国内石化企业碳金融策略研究[D].北京:对外经济贸易大学, 2016.
- [6] 牛亚群,董康银,姜洪殿,等.炼油企业碳排放估算模型及应用[J].环境工程, 2017, 35(3): 163-167.
- [7] 李楠.产品碳足迹标准对比及其供应链上的影响研究[D].北京:北京林业大学, 2019.
- [8] British Standard Institution (BSI). How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain: BIP 2181—2011, The guide to PAS 2050: 2011[S]. London: BSI, 2011.
- [9] 孙潇磊,张志智,尹泽群.沥青产品的碳足迹研究[J].石油炼制与化工, 2017, 48(12): 88-92. ■

(上接第237页)

(3)通过对汽油及柴油生产阶段单元装置的排放热点分析发现,受氢耗排放影响,几个加氢装置都是主要的排放热点,因此应优化氢气来源,降低制氢装置的制氢排放系数;对于催化裂化装置,应优化工艺参数及催化裂化原料,减少由于烧焦排放而产生的温室气体;此外应进一步实施节能技改措施,提高单元装置加热炉的能源利用效率。

(4)产品生产阶段作为唯一受生产企业控制的阶段,是重要的减排阶段。找准排放热点,降低生产阶段碳排放,将为企业的减排技术筛选和碳减排提供指导和依据。

#### 参考文献

- [1] 方旭斌.零件生产过程碳足迹核算模型及其应用[D].杭州:浙江理工大学, 2018.