

煤化工（煤基甲醇）碳排放量计算模型构建

丁永平¹ 孙书桩² 李晓强¹ 邱雨声³

1 国家能源集团 宁夏煤业有限责任公司煤制油化工工程建设指挥部

2 郑州大学 化工学院

3 北方民族大学 化学与化工学院

DOI:10.12238/etd.v6i8.17078

[摘要] 随着国家双碳目标的提出,省级政府也陆续出台了“碳达峰碳中和”相关政策。目前,已有三十余个省市和地区公布碳达峰行动方案,宁夏回族自治区也已发布《宁夏回族自治区碳达峰实施方案》、《宁夏碳达峰碳中和科技支撑行动方案》、《宁夏重点行业领域碳达峰碳中和技术发展路线》,积极响应国家“3060”目标。“碳达峰、碳中和”将对我国未来的能源格局产生重大影响。经历了几十年的高速增长后,煤炭企业的发展将受到巨大挑战:节能减排将直接削减煤炭消耗量,新能源价格竞争力增强、将逐步替代火电,社会对煤炭环保认可度较低、制约煤企甚至煤化工发展。如何形成一套简约明了方便实用的煤化工产业全过程碳排放的测算方法、数据取值、计算模型和核算范围显得异常迫切和实用,本文以煤化工煤基甲醇为例,构建碳排放测模型。

[关键词] 碳排放; 煤制油化工; 计算模型构建; 煤基甲醇

中图分类号: TQ53 文献标识码: A

Construction of a Carbon Emission Calculation Model for Coal Chemical Industry (Coal-based Methanol)

Yongping Ding¹ Shuzhuang Sun² Xiaoqiang Li¹ Yusheng Qiu³

1 Coal-to-Liquids and Chemicals Engineering Construction Headquarters, CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd.

2 School of Chemical Engineering, Zhengzhou University

3 School of Chemistry and Chemical Engineering, North Minzu University

[Abstract] With the introduction of the national dual-carbon goals, provincial governments have successively issued policies related to "carbon peak and carbon neutrality." To date, over thirty provinces, cities, and regions have released carbon peak action plans. Ningxia Hui Autonomous Region has also published the "Ningxia Carbon Peak Implementation Plan," "Ningxia Technology Support Action Plan for Carbon Peak and Carbon Neutrality," and "Ningxia Technology Development Roadmap for Carbon Peak and Carbon Neutrality in Key Industries," actively responding to the national "3060" target. "Carbon peak and carbon neutrality" will significantly impact China's future energy landscape. After decades of rapid growth, the development of coal enterprises will face substantial challenges: energy conservation and emission reduction will directly reduce coal consumption, the increasing cost competitiveness of new energy will gradually replace thermal power, and low public recognition of coal's environmental performance will constrain the development of coal enterprises and even the coal chemical industry. It is therefore urgent and practical to establish a concise, clear, convenient, and practical method for calculating carbon emissions across the entire coal chemical industry process, including data, calculation models, and accounting boundaries. This paper takes coal-based methanol in the coal chemical industry as an example to construct a carbon emission calculation model.

[Key words] Carbon Emission; Coal-to-Liquids and Chemicals; Calculation Model Construction; Coal-based Methanol

“十四五”是煤化工企业开拓创新实现煤化工产品高端化差异化新突破的关键时期,还是光伏、CCUS发展的窗口期以及氢能产业的培育期。2023年11月28日,国家能源局研究起草了《煤炭清洁高效利用行动计划(2024-2027年)(征求意见稿)》,全面提升煤炭清洁高效利用水平,加快高质量发展和低碳转型,推动碳达峰碳中和“双碳”目标实现。煤制油化工企业既要保证推动产业升级,也要保证碳减排手段的深入布局,否则将在后续发展中失去先机陷入被动。因此需要企业在开展安全、高效的生

产活动同时还要多元发展、齐头并进,对企业绿色低碳运营管理提出了严格的要求。

为实现“双碳”目标,高碳排放的煤制油化工企业亟需对现有生产线实施系统性改造与升级,推动关键环节生产工艺的深度革新。具体措施包括采用低碳或无碳原料替代传统高碳排放原料,引进高效节能型反应器和分离设备以降低能耗,优化技术路线与操作参数提升过程效率,探索与绿氢、光伏等可再生能源耦合的技术模式,并加强碳排放在线监测、捕集与封存能力建设。然而,此类改造在短期内面临巨大的初始投资压力,导致设备更新、技术引进及系统调试成本显著增加,进而引发产品全成本系统性上升,对企业资金链和市场竞争形成严峻挑战。

随着我国碳交易市场体系的不断完善,并逐步由电力行业扩展至石化、化工、钢铁、水泥等高排放行业后,企业实现双碳目标的路径也将更多依靠碳市场机制进行调节。在这一机制下,交易的核心对象——碳配额——随着国家减排力度加强和总量控制收紧,将日益成为稀缺资源。未能有效采用节能降碳技术、清洁能源替代等措施的企业,其实际排放可能远超所获配额,不得不以更高成本从市场购买配额缺口,甚至面临履约处罚。这类额外支出的增加,会直接传导至产品生产成本中,造成系统性提升。在市场竞争日趋激烈的环境下,高碳产品由于成本劣势,可能逐步失去价格竞争力,影响企业市场份额和盈利能力,从而倒逼企业主动推进低碳转型^[1]。

鉴于此,针对国家双碳战略目标和公司绿色低碳高质量发展迫切需求,通过以煤化工煤制甲醇为例,构建全过程测算整个项目碳排和数据取值、计算方法、核算范围等模型,为煤制油化工基地碳资产核算和新建项目碳排核算提供可操作经验分享。

煤制甲醇装置消耗的主要能源包括:煤炭、电力、天然气等,其中煤炭主要用作甲醇原料,其它用作锅炉燃料。在能源消耗过程中,以煤炭为原料,产出甲醇等化工产品;以煤炭作为燃料,通过热电装置产出电力和热力,供化工生产过程使用。在生产过程中,产出的甲醇等能源又用作原料,投入到生产过程中。除煤炭外,购入的能源大约仅占综合能源消费量的3%,所以,煤炭在煤制甲醇的能源消费结构中,实际占比达到97%。如何对煤制甲醇全过程建立详细全面的碳排放测算模型对于企业来说,应对今后“双碳”目标下“碳配额”等相关一些列政策尤为重要。

1 碳排放报告的规范要求

碳排放核算规范《温室气体排放核算方法与报告指南》要求:

表1 碳排放核算规范要求

序号	源类别	排放量
1	燃料燃烧CO ₂ 排放	吨CO ₂
2	火炬燃烧CO ₂ 排放	吨CO ₂
3	工业生产过程CO ₂ 排放	吨CO ₂
4	企业CO ₂ 回收利用量	吨CO ₂
5	企业净购入电力隐含CO ₂ 排放	吨CO ₂
6	企业净购入热力隐含CO ₂ 排放	吨CO ₂
7	企业温室气体排放总量	吨CO ₂

2 构建碳排放自动测算模型的过程

分析和梳理煤基甲醇项目碳排放源、产生碳排放燃烧介质等。

煤基甲醇项目碳源主要为原料带入、燃料直接燃烧、购入外部市政电力隐含、购入外部蒸汽隐含等碳源1。

通过确定碳排放核算取值、导入计算公式等,构建快速测算碳排放量模型。

蒸汽排放热量,需要根据蒸汽压力、温度查焓值后计算,计算过程如下:

测算依据:《温室气体排放核算方法与报告指南》

CO₂排放量=热力排放因子×购入蒸汽热量

购入蒸汽热量=蒸汽质量×(蒸汽热焓-83.74)×0.001

2.1热力排放因子。由供热单位提出CO₂排放因子,如果无数据,可取0.116t/GJ,其中GJ是蒸汽热量,需要根据蒸汽的压力和温度查出焓值后进行计算。

3 电力系统排放因子

根据每年当地自治区发改委关于电力系统碳排放因子发布数据采纳。

3.1碳氧化率%。根据《温室气体排放核算方法与报告指南》附录查找对应燃料种类。

3.2燃料燃烧碳排放。排排放量=燃料消耗量×燃料含碳量×碳氧化率×44/12依据《温室气体排放核算方法与报告指南》代入变量,在Excel中创建碳排放测算模型,模型界面如下:阴影部分为手动输入变量,无阴影部分为固定参考值。当手动输入可变量后,模型自动测算出碳排放量和总量自动叠加,如下表格中假设各种变量的消耗都是1。

4 模型数据分析

该模型通过多种方式开展数据分析以核算碳排放量。对于燃料直接燃烧、原料带入、产品带出等排放源,依据《温室气体排放核算方法与报告指南》附录二查取燃料含碳量、碳氧化率等固定值,结合手动输入的消耗量,利用CO₂系数等计算相应碳排放量,其中产品带出量会因综合利用或自我消纳从总量自动扣除。CO₂回收利用量则根据纯度、密度及手动输入的回收量计算。净购电力的碳排放,其排放因子依据自治区发改委文件确定(每年有变化),结合手动输入的购电量计算;净购蒸汽的碳排放,

蒸汽排放因子可根据供热单位提供的因子或取综合定值, 蒸汽热量需根据蒸汽压力、温度查值后, 再结合公式与手动输入的相关量计算, 最终汇总得到碳排放总量^[2]。

表2 碳排放核算模型

序号	排放源	介质	固定值			可变量	
			燃料含碳量 t/万标方 或 t/t	碳氧化率%	CO ₂ 系数	消耗量 万 标方/ t	碳排放总 量 t/CO ₂
一	燃料直接燃烧	天然气	5.9642	99	3.66	1	21.65
		煤(均值)	0.5461	99	3.66	1	1.98
		汽油	0.8467	98	3.66	1	3.04
二	原料带入碳量	煤(均值)	0.6903	99	3.66	1	0.69
		乙二醇	0.3868	38.7	3.66	1	0.38
三	产品带出碳量	精甲醇	0.375	37.5	3.66	1	-0.37
		废甲醇	0.2947	37.5	3.66	1	-0.29
		杂醇油	0.234	37.5	3.66	1	-0.23
		粗渣	0.0399	99	3.66	1	-0.039
		细渣	0.1629	99	3.66	1	-0.16
四	CO ₂ 回收利用量	/	纯度%	密度 t/万 标方		回收量 万 标方	
		下游利用和回收	98%	19.7		1	0.19
五	净购电力	/	排放因子 t/MW t/t	/	热量 GJ=	购电 量 MW t	
		/	0.5681	/	/	1	0.56
六	净购蒸汽	/	0.112	/	(X-83.74) *0.001	1	0.11
	碳排放总量						27.51

5 减碳路径建议

从碳源分析可知, 由原料、产品链、工艺技术、能源利用等方面入手, 可采取的CO₂减排措施主要概况为十六个字“源头降碳、过程减碳、末端捕碳、多元化固碳”:

5.1从原料端来减少碳源输入。煤制油化工企业是在加工转化煤原料, 在加工转化过程中有高碳和低碳的原料可选, 从原料端实现源头降碳2。“源头降碳”可从此处着手, 如主工艺原料采用部分天然气替代煤炭, 或原料中加入天然气, 减少原料煤炭的消耗和碳排放;

5.2采用先进工艺技术。采用先进生产工艺是降低碳排放的重要手段之一, “过程减碳”可从此处着手, 如采用包括节能型流程、优化过程参数(如转化率、回流比、循环比等), 提高装置操作弹性, 改进反应操作条件, 降低能量消耗, 包括采用高效换热器、泵、压缩机等传质、换热、旋转等节能设备, 并提高单体设备的生产能力, 从工艺环节上实现节能降耗减排。

5.3新能源耦合利用。项目结合政策支持, 采用新能源耦合降低碳排放, “过程减碳”也可从此处着手, 如采用光伏发电生产绿电耦合替代燃料煤发电; 绿电解水制取绿氢耦合煤制油化工, 减少耐硫变换负荷, 煤制油化工过程中氢气的比例调节主要依靠耐硫变换装置, 但变换所产氢气的体积比是副产二氧化碳的两倍, 采用绿氢替代灰氢可直接降低碳排放; 绿电解水制氢同时副产绿氧可耦合替代传统空分制氧, 空分制氧过程消耗大量高压蒸汽, 高压蒸汽来自燃煤动力锅炉, 因此采用绿氧耦合可间接减低碳排放; 甲醇作为煤制油化工的通用类产品和过程原料, 生产过程碳排放较高, 可采用绿氢生产绿醇作为煤基甲醇生产负荷的补充, 可有效降低原料煤、燃料煤及过程间接碳排放。近几年煤制油化工已经出现了大量的新能源耦合利用技术的介入^[3]。

5.4二氧化碳捕集和封存、二氧化碳制化学品。二氧化碳捕集、封存和利用, “末端捕碳和多元化固碳”可从此处着手, 当前, 二氧化碳综合利用技术已趋向多元化, 重点包括华能西安热工研究院, 2021年建成5兆瓦超超临界CO₂发电机组; 中煤鄂能化10万吨/年液态阳光, 二氧化碳加绿氢制甲醇技术示范项目; 河南能源化工集团新乡中新化工有限责任公司30万吨/年二氧化碳制纯碱项目; 江苏奥克化学有限公司采用辽宁省石油化工规划设计院技术建成了万吨级CO₂制备锂电池电解液溶剂技术研发及重大科技示范项目, 并实现了稳定运行等。

6 结束语

面对“双碳”目标下煤化工行业绿色转型的迫切需求, 本文以煤基甲醇为例, 构建了覆盖燃料燃烧、原料与产品碳流、外购能源及CO₂回收利用等全过程的碳排放测算模型, 通过明确数据来源、计算方法与核算边界, 并在Excel中实现变量输入与结果自动生成, 有效提升了碳核算的可行性和效率, 为煤制油化工项目碳资产管理与低碳发展提供了系统、实用的方法支撑。同时, 从原料替代、工艺优化、绿电绿氢耦合以及CO₂资源化利用等方面提出减排路径, 为行业加快碳中和进程提供了技术方向和实践参考。



图1 模型数据分析示意图

致谢:

感谢宁夏煤业有限责任公司《高含煤粉二氧化碳尾气捕集与催化集成技术开发》项目(20250563A)支持。

[参考文献]

[1]刘永,邓蜀平,蒋云峰.煤基液体燃料生产过程温室气体CO₂排放与能效问题研究[J].洁净煤技术,2010,16(1):106-109+128.

[2]刘耀权.“双碳”目标下煤化工低碳转型发展方向研究[J].上海节能2025,(04):586-590.

[3]黄丽丽,宋碧桑,王鸿,等.氢电耦合的应用场景、发展现状与挑战分析[J].中国资源综合利用,2024,42(06):129-133.

作者简介:

丁永平(1980--),男,宁夏人,国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工工程建设指挥部高级工程师。

孙书桩(1995--),男,河南鹤壁人,郑州大学化工学院助理研究员。

李晓强(1983--),男,宁夏人,国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工工程建设指挥工程师。

邱雨声(1994--),宁夏银川人,北方民族大学化学与化工学院讲师。