

问题探讨

石化企业 CO₂ 排放量估算与排放特征分析

张瑞波, 杨玉敏, 何庆生, 刘金龙

(中石化炼化工程(集团)股份有限公司 洛阳技术研发中心(SEGR), 河南 洛阳 471003)

摘要:为掌握石化企业 CO₂ 排放特征, 选取 3 个不同类型的炼厂进行 CO₂ 排放量估算。结果表明, 所选取的燃料型企业、炼化一体化型企业、燃料-润滑油型企业 CO₂ 排放系数分别为 0.222 t CO₂/t-原油、0.143 t CO₂/t-原油和 0.298 t CO₂/t-原油。石化企业 CO₂ 的排放总量大, 排放强度低, 排放源多且分散, 工艺排在直接排放中的占比最高。

关键词:石化企业; CO₂ 排放量; 估算

中图分类号: X502

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2019)02-0037-04

THE DISCUSSION AND ESTIMATION OF CO₂ EMISSIONS IN PETROCHEMICAL INDUSTRY

ZHANG Rui-bo, YANG Yu-min, HE Qing-sheng, LIU Jin-long

(The Luoyang R&D Center of Technology of SINOPEC Engineering (Group) Co., Ltd.

Luoyang 471003, China)

Abstract: CO₂ emissions were estimated for three different kinds of refineries to obtain the emission characteristics in petrochemical industry. The results showed that CO₂ emission coefficients were 0.222 t CO₂/t- crude oil for fuel type refinery, 0.143 t CO₂/t- crude oil for fuel-chemicals type refinery and 0.298 t CO₂/t- crude oil for fuel-lube type refinery. It also indicated that the CO₂ emissions in petrochemical industry had the characteristics of large quantity, low intensity as well as many decentralized emission sources. The process emission occupied the highest percentage of direct emission.

Key words: Refineries; CO₂ emission; Estimation.

全球气候变暖及极端天气的频发, 被普遍认为是由温室气体所引起, 而经济的高速发展使得人们向大气中排放的温室气体量急剧增加。在六种已认可的温室气体中(N₂O、CH₄、CO₂、HFCS、PFC_s及SF₆), 尽管N₂O的温室效应要比CO₂高300倍, 但由于CO₂的排放量最大, 影响也最为明显, 所以占到温室效应的60%以上。

化石燃料使用和工业发展排放了大量的CO₂。全球碳工程(the Global Carbon Project)网站每年发布全球碳收支报告, 2017年11月发布的“Global Carbon Budget 2017”指出^[1], 2016年全球来自化石燃料和工业的CO₂排放量为36.2 Gt

CO₂, 预测2017年将增长约2%, 达到36.8 Gt CO₂。中国近年来由于经济高速发展, 自2006年以来化石燃料和工业的CO₂排放量一直高居世界首位。根据“Global Carbon Budget 2017”, 2016年中国化石燃料和工业的CO₂排放量为10.13 Gt CO₂, 约占全球总排放量的28%, 较2015年下降0.3%, 预测2017年将达到10.5 Gt CO₂, 较2016年增长3.5%。中国的CO₂排放强度下降迅速, 但仍高于世界平均水平, 2016年排放强度为0.53 kgCO₂/USD/年, 而世界的平均值为0.29 kgCO₂/USD/年。CO₂减排任务艰巨, 中国政府出台各种措施减少CO₂排放, 降低CO₂排放强度。中国于2016年签署《巴黎协定》, 承诺将积极做好温室气体减排工作, 加强应对气候变化的国际合作, 展现

收稿日期: 2018-11-23

第一作者简介: 张瑞波(1962-), 男, 河南三门峡人, 高级工程师。

了全球气候治理大国的巨大决心与责任担当。

工业 CO₂ 的排放大户是火力发电、水泥建材、石油化工、煤化工及化肥等行业,其中火电行业的 CO₂ 排放占总工业排放的 50% 以上,石化企业排放 CO₂ 的比例在 15% 左右。石化企业作为 CO₂ 的排放大户,尽管行业标准《石油化工生产企业 CO₂ 排放量计算方法》(SH/T5000-2011) 已于 2012 年 7 月 1 日实施,但目前尚没有具体的排放数据公布。本文分析探讨了石化企业的 CO₂ 排放现状,并对选取的三个石化企业某年整体的 CO₂ 排放量进行了初步的估算,从而对整个石化企业的 CO₂ 排放量有初步了解。

1 石化企业的 CO₂ 排放源及分布

石油化工企业生产过程中消耗大量的能源,为高耗能企业之一,也是 CO₂ 的主要工业排放源之一。随着原油变重、质量变差以及超低硫清洁燃料标准的实施,石油化工行业所排放的 CO₂ 总量也将日益增加,预计到 2020 年石化企业 CO₂ 排放比例将上升到 20% 左右。

石化企业 CO₂ 排放源主要包括两大类:直接排放和间接排放^[2]。直接排放主要包括燃烧排放、工艺排放和逃逸排放。其中燃烧排放为化石燃料燃烧后的 CO₂ 排放,包括热电锅炉、蒸汽锅炉、加热器、加热炉、涡轮和火炬等固定源的 CO₂ 排放和其他移动源的排放;工艺排放是石油化工生产工艺过程中产生的 CO₂ 排放,产生工艺排放的主要装置有催化重整、催化加氢、催化裂化、乙烯氧化和制氢等;逃逸排放是各种设备部件泄露产生的 CO₂ 排放。由于逃逸排放排放量小且具有不确定性,再者逃逸排放的 CO₂ 量实际上已包含在工艺排放和间接排放的计算中,因此本文未考虑该部分的 CO₂ 排放量。间接排放是外购的电力、蒸汽或热所产生的 CO₂ 排放,总排放量为两者之和。一个典型石化企业的 CO₂ 排放源分布如图 1 所示。

2 石化企业 CO₂ 排放量计算方法

石化企业的 CO₂ 排放量计算方法主要参考美国石油学会(API)编制的《石油和天然气工业温室气体排放估算方法概要》及工业和信息化部发布的《石油化工企业 CO₂ 排放量计算方法》(SH/T 5000-2011)。

燃烧排放可根据不同燃料的热值和对应的

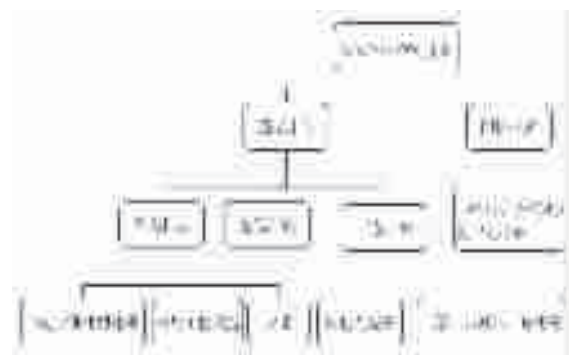


图 1 典型石化企业的 CO₂ 排放源分布

CO₂ 排放因子进行计算,不同燃料的低位热值和 CO₂ 排放因子可在相关文献中查找;工艺排放一般根据不同工艺的特点,参照工艺参数或测量数据计算工艺过程中的 CO₂ 排放量。典型炼厂中工艺排放比较大的工艺过程有催化剂烧焦再生、制氢变换、乙二醇生产等^[3]。炼厂外购的蒸汽和电力所对应的间接 CO₂ 排放,一般根据实际消耗量和相应的 CO₂ 排放因子进行计算。

在本计算中燃料气采用企业干气数据,其 CO₂ 排放因子为 2.220 t CO₂/t;燃料油 CO₂ 排放因子为 3.157 t CO₂/t,外购电力 CO₂ 排放因子为 0.860 kgCO₂/kW·h。

3 石化企业 CO₂ 排放量的估算

3.1 不同类型炼厂的 CO₂ 排放量计算结果

石化企业因加工原油品种、年加工量、加工流程和产品结构等的不同而分为不同的类型,其中根据产品结构的不同一般可分为三种类型:燃料型、燃料-化工型(炼化一体化型)和燃料-润滑油型。为考察不同类型炼厂的 CO₂ 排放特点,本文选取调查三个有代表性的典型石化企业,基于上述的 CO₂ 排放计算方法,分别对其进行 CO₂ 排放量计算。另外,计算中采用的不同炼厂炼油装置生产数据来自中石化内部资料,文中仅列出某燃料型炼厂 2015 年的各装置生产数据,如表 1 所示。

无论何种类型的炼厂,催化裂化装置都是 CO₂ 排放大户,由于缺乏待生剂上的碳含量数据,故催化裂化装置的 CO₂ 排放量采用主风量和废气中 CO₂ 和 CO 浓度的方法进行计算。表 2 为不同炼厂催化裂化装置的相关数据。

根据企业的生产数据和不同排放源对应的计算方法,对以上各类型企业的 CO₂ 排放量分别进行计算,炼厂整体的计算结果如表 3 所示。

表 1 燃料型炼厂某年的各装置生产数据

装置	加工量或产量, 10 ⁴ t/a	燃料气用量, kg/t	电力用量, kW.h/t
电脱盐	948.7		0.32
常减压	948.7	0.01	6.6
加氢裂化	95.07	14.3	61.42
催化裂化	300.64	0	20.78
连续重整	185.7	38.6	14.70
延迟焦化	240.48	19.8	16.02
制氢	1.0960/2.0439 (H ₂ 产量)	1013/2933	258/344
柴油加氢	301.7	4.02	18.01
航煤加氢	83.3614	3.3	2.33
蜡油加氢	292.6	2.21	23.35
气体分离	60.16		16.62
汽油脱硫醇	101.4	0	1.09
MTBE	5.99		4.8
聚丙烯	18.4342		289.14
异构化	5.25	5	23.44
乙苯-苯乙烯	7.1556	0.11	151.57
S-Zorb	51.6	2.51	1.47
液化气脱硫	60.71	0	1.18
硫回收	20.86	47.2	93.4
污水汽提	166.45		4.7
油气回收	206.00		240
瓦斯回收	1.47(火炬回收量)		482
CFB 锅炉	234.6156	0.01 万吨	54.52
动力锅炉	3.553		46.61
除盐水	410.7		1.38
循环水	18038		0.46
污水处理场	234.55		3.21

表 2 不同类型炼厂催化裂化装置有关数据

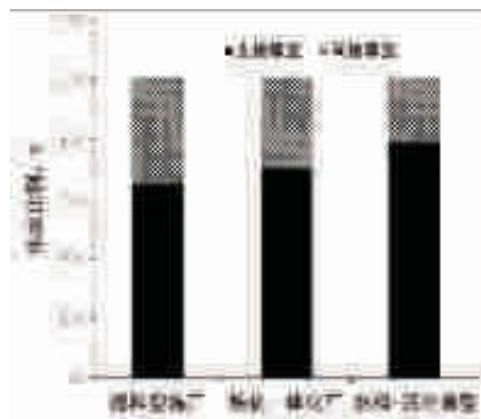
炼厂	开工天数 天/年	主风风量 Nm ³ /min	烟气 CO ₂ /CO 组成, %v	烧焦量 kg/t
炼化一体化型企业	365	1500	14.5/0	48.4
润滑油型企业装置 1	365	1850	15.6/0	75.9
润滑油型企业装置 2	365	2417	13.2/5.44	83.5

表 3 不同类型炼厂某年的 CO₂ 排放量计算结果

炼厂类型	原油加工量, ×10 ⁴ t	CO ₂ 总排放量, t		CO ₂ 排放系数, t CO ₂ /t 原油
		直接排放量, t	间接排放量, t	
燃料型	948.7	1445246	666159	0.222
燃料化工型	1158.6	1153700	501857	0.143
燃料润滑油型	504.3	1184543	317100	0.298

从表 3 的数据可以看出炼厂类型和规模对 CO₂ 排放系数有明显影响。炼化一体化型企业的 CO₂ 排放系数最小, 其次是燃料型企业, 而润滑油型企业最高, 说明炼化一体化型企业在物料和能量互供方面存在较大的优势; 企业规模越大, 能源综合利用水平越高, 节能和 CO₂ 减排效果更好, CO₂ 排放系数越小; 润滑油型企业规模 500 万 t/a 左右, CO₂ 排放系数最大, 而炼化一体化企业的加工能力超过 1 000 万 t/a, CO₂ 排放系数最小。

各个炼厂直接排放和间接排放的比例如图 2 所示。

图 2 炼厂 CO₂ 直接排放和间接排放的比例

从图 2 可以看出, 不论炼厂的类型如何, CO₂ 总排放中, 间接排放的比例在 20~35% 之间, 直接排放占大部分。降低企业的 CO₂ 排放量, 首先是通过技术改进, 从工艺上降低直接排放, 如降低催化裂化、延迟焦化等工艺的生焦量; 其次是通过提高燃料炉和锅炉的热效率从而降低燃烧排放等。随着节能新技术的不断涌现, 通过改进节能技术, 即可有效降低间接排放。

3.2 炼厂装置 CO₂ 排放量的分析

在企业的各炼油装置中, CO₂ 排放量比较大的装置一般有催化裂化、制氢、连续重整、延迟焦化、加氢和常减压等。图 3~图 5 为不同类型企业各炼油装置的 CO₂ 排放比例。

图 3 某燃料型炼厂各个装置的 CO₂ 排放比例

图 3 数据表明: 对某典型的燃料型炼厂, 催化裂化装置 CO₂ 排放量最大, 约占整个炼厂的 1/3, 其次是制氢, 其它 CO₂ 排放量较大的装置有连续重整、加氢、延迟焦化和 CFB 锅炉等。

图4 某炼化一体化炼厂各个装置的 CO₂ 排放比例

图4数据表明：对某典型的炼化一体化炼厂，制氢装置的 CO₂ 排放量最大，其次是常减压、催化裂化、加氢裂化、连续重整和延迟焦化等。因缺少化工板块的基础资料，所以图4数据仅代表该类型企业的炼油板块 CO₂ 排放比例。

图5 某燃料-润滑油型企业各个装置的 CO₂ 排放比例

图5数据表明：对某典型的润滑油型企业，催化裂化装置的 CO₂ 排放量最大，超过 50%，其次是连续重整、常减压、制氢和加氢等装置。

从图3~图5可看出，不同类型企业同类装置的 CO₂ 排放量差异较大。以催化裂化装置为例，CO₂ 排放量比例从 14.8% 到 55% 不等，这与企业的工艺流程、装置加工量、加工原料性质和目的产品等都有关系。在润滑油型企业中，催化裂化装置 CO₂ 排放量占比超过一半，主要原因是该催化裂化装置的加工量超过 200 万 t，加工量较大，且加工原料与其它两个不同类型企业的同类装置相比，原料性质最差，其密度达 926.5 kg/m³，掺渣比大于 25%，且残炭较高，这样便造成了催化剂上

的积碳量和装置的主风风量大，因此烟气量和其中的 CO₂ 及 CO 含量也较高，所以该装置 CO₂ 排放量远远高于其它装置的排放量；其次，该企业其它装置的 CO₂ 排放量相对较小，如一般企业内 CO₂ 排放量较大的制氢装置，由于该企业的氢气产量低，仅有另两个企业的 1/8~1/6，所以制氢装置的 CO₂ 排放量和占比就远远低于另两个企业，从而使整个企业的催化裂化装置 CO₂ 排放量占比偏大。

对于典型的炼化一体化型企业，制氢装置 CO₂ 排放量占比相对偏大，而催化裂化装置 CO₂ 排放量占比则相对偏小，这是由于该企业的制氢规模在三个企业中最大，而催化裂化装置的加工量最小，且加工原料性质较好，这样就造成制氢装置 CO₂ 排放量占比在三个企业中最大，而催化裂化装置占比最小。

不管石化企业的产品结构如何，其中的催化裂化、制氢、加氢、连续重整和延迟焦化等生产单元的 CO₂ 排放量均较大。实现炼化企业的绿色低碳升级，需首先重点关注企业此类装置的节能减排问题。

4 结语

石化企业 CO₂ 的排放特点是排放总量大，但与煤化工产业相比排放强度低，排放源多而分散。尽管不同类型炼厂的排放比例有差异，但总体上直接排放中工艺排放最多，燃烧排放次之；在总排放量中，间接排放的比例一般在 20~30% 左右。

催化裂化和制氢装置是炼厂 CO₂ 排放的主要装置，减少这些主要炼油装置的能源消耗实现节能是减少炼厂 CO₂ 排放的主要手段。

中国面临着国际社会控制温室气体特别是 CO₂ 排放的巨大压力，且随着全国碳交易市场的建立和碳税的可能实施，石化企业作为温室气体排放大户将受到很大程度的影响。炼厂应更加重视节能降耗，建立 CO₂ 和其他温室气体排放数据的计算和监测体系，减少 CO₂ 的排放，实现能源的清洁化生产。

参考文献

- [1] 孟宪玲. 炼厂二氧化碳排放估算与分析 [J]. 当代石油石化, 2010, 182(2): 13~16.
- [2] 高家燕. 石化企业温室气体排放量的计算 [J]. 乙烯工业, 2013, 25(4): 1~4.