

石油资源纵向流动的环境效应分析

——以某大型石油炼化企业为例

苑蓓¹, 赵媛^{1,2}, 郝丽莎¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 南京师范大学金陵女子学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 石油资源纵向流动,即炼油化工企业作为承接上游开采和下游消费所进行的石油资源加工环节,在此过程中,会产生大量的废气、废水等污染物质.以某一大型炼化企业为例,定量分析了石油纵向流动各环节的废气、废水排放量,明确了石油加工过程所产生的环境效应,为炼化企业的减排工作提出对策建议.

[关键词] 石油资源,纵向流动,环境效应

[中图分类号] TE99 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2013)01-0078-08

Analysis on the Environment Effects of Oil Resources Vertical Flow

—Taking a Large Petrochemical Enterprise as an Example

Yuan Bei¹, Zhao Yuan^{1,2}, Hao Lisha¹

(1. School of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Oil resources vertical flow is the processing step by the oil refining and chemical enterprises. It links the upstream mining and downstream consumption of petroleum resources processing which will produce a lot of waste gas, waste water and so on. In this paper, a large petrochemical enterprise is used as an example to quantitatively analyze the amount of waste gas, waste water emissions and make clear the environment effect in oil resources processing. Then some suggestions and countermeasure for refining enterprises reduction work are proposed.

Key words: oil resources, vertical flow, environment effects

资源流动是指在人类活动作用下,资源在产业或不同区域之间所产生的运动、转移和转化.资源流动既包括资源在不同地理空间资源势的作用下发生的空间位移,即横向流动,也包括资源在原态、加工、消费、废弃这一链环运动过程中形态、功能、价值的转化过程,即纵向流动.对资源纵向流动的深入研究,有助于分析资源要素之间的关系,评价资源系统的运转效率,进而为以该资源为链条涉及到的不同部门的高效发展提供依据^[1].石油资源流动是一种类“流”系统^[2],涉及到开采部门、加工炼化部门及最终的消费企业和个人等多个对象.在这个过程中,既有石油资源的空间横向流动,也有纵向流动,即炼油化工企业作为承接上游开采和下游消费所进行的石油资源加工环节.在石油资源横向流动方面,赵媛、程淑佳等对我国石油资源流动源—汇系统空间格局^[3]、原油管网结构布局^[4]以及我国石油进口地域演进进行了分析^[5].在石油资源纵向流动方面,袁宝荣等研究了2002年我国单位原油生产的完整生命周期清单,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^[6].刘晓洁等构建了基于生命周期分析模型的中国石油资源流动全景图,探讨了石油资源自开采、炼制、消费和排放过程的环境影响全景分析^[7].申满对、吴德良介绍了劣质原油分类并根据原油的品质,对原油加工工艺进行了合理的选择,也对原油加工过程中硫和重金属的分

收稿日期:2012-11-01.
基金项目:国家自然科学基金(41101541)、教育部博士点专项科研基金(20103207120015)、江苏省高校自然科学研究计划项目(2010105TSJ0117).
通讯联系人:赵媛,博士,教授.研究方向:能源经济与区域可持续发展. E-mail: zhaoyuan@njnu.edu.cn

布进行了研究,着重分析了原油中硫及重金属带来的环境问题,并对废气污染、含重金属镍的固体废物的污染提出了相应的环境保护对策^[8]. 成升魁选取了煤炭、石油及林木研究其资源与产品流动及其环境影响,把资源流动过程分解为开采、加工、转化、消费等几个关键环节,评价其资源利用效率和环境影响,并寻求改善的途径^[9]. 潘玉英等通过频度统计—资料调研—专家咨询的方法,建立了炼油行业清洁生产评价的一般性指标体系,采用定性指标也参与定量化评价的方法,对某炼油厂新建 600 万 t/a 常减压蒸馏装置进行了清洁生产评价实践,判断出其清洁生产潜力,提出了清洁生产改进措施^[10]. 易莉分析了油田开发带来的主要环境问题,并结合新疆吐鲁番地区油田开发的实际,从石油开发的建设期和运营期两个方面出发,初步分析了吐鲁番地区油田开发对环境的影响^[11]. 袁宝荣等通过计算得到了 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,涉及到的污染物排放包括液态污染物、固体废弃物和 CO₂、SO₂、NO_x、CO、CH₄、烟尘等气态排放物^[12]. 赵敏华和张国平利用 CVM 方法对榆林地区靖边县新庄村、瓦房村和延安市川口镇刘渠村在石油开发生产过程中所造成的生态环境价值损失进行定性分析和定量评价^[13]. 董志强等对石油开采、运输、炼制、使用这 4 个阶段中所造成的废弃物排放、能量消耗等情况进行了分析和计算^[14]. 但目前对石油资源流的应用研究多集中于宏观层面和中观层面,对于微观层面,包括针对企业、家庭消费的资源流研究很少^[15]. 而炼油化工企业作为承接上游开采和下游销费的加工环节,流动过程中必定会排放出一定量的污染废弃物质,其环境影响不容忽视. 深入研究石油纵向流动的环境效应,明确各环节污染排放特点,对于实现石油资源利用与经济、社会和生态的协调发展,具有重要的研究价值和实践意义.

本文以长三角地区 L 石化公司为实证研究对象,深入企业进行调研,取得了第一手的纵向流动过程生产资料,包括年度统计资料生产计划书等,在此基础上研究石油资源的纵向流动过程及其各环节的环境效应,提出对策建议,以期更好地促进石油炼制行业的可持续发展. L 石化公司主要进行石油炼制及石化产品的加工生产和销售,拥有炼油、化工等大型生产装置,原油加工手段齐全,生产技术力量雄厚,已成为千万吨级的炼油基地,是我国重要的石油化工生产基地之一,未来几年将建设发展为具有更高产量原油加工能力的炼化企业,进入世界特大型燃油生产企业的行列,具有典型性和代表性.

1 石油资源纵向流动过程

石油资源进入微观层面的纵向流动过程,也即石油的加工过程. 石油的加工过程大体可分为炼制和化工两个部分(如图 1 所示)^[16]. 前者以原油为基本原料,通过一系列炼制工艺(或过程),例如常减压蒸馏、催化裂化、催化重整、延迟焦化、炼厂气加工及产品精制等,把原油加工成各种石油产品,如各种牌号的汽油、煤油、柴油、润滑油、溶剂油、重油、蜡油、沥青和石油焦等;后者是把经蒸馏得到的馏分油进行热裂解,分离出基本原料,再合成生产各种石油化学制品.

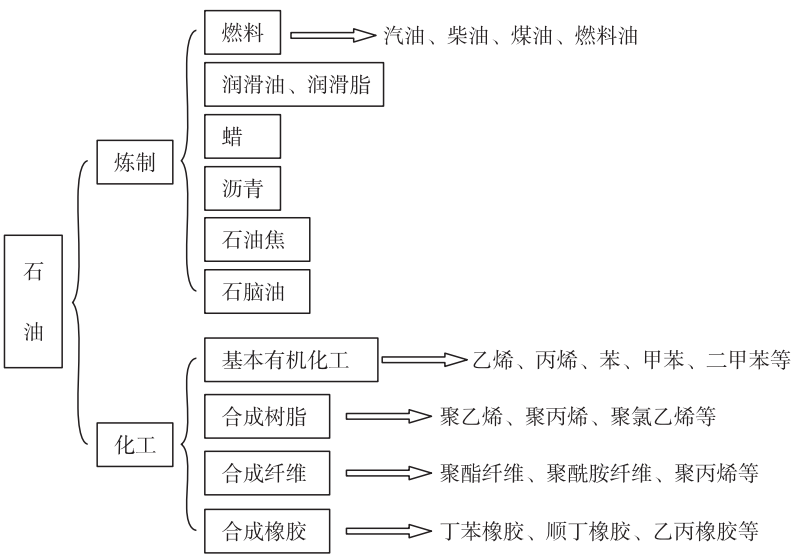


图 1 石油加工产品示意图
Fig. 1 Sketch map of oil processing product

从数量上看,石油炼制是石油加工的主要部分,一般燃料占全部石油产品的 90% 以上^[17],同时,L 企业石油的绝大部分用于炼制环节,石油化工部分所占比例有限,因此本文对于石油纵向流动的环境效应分析着重于炼制环节.石油炼制过程分为流入、消耗和流出 3 个部分.其中流入端表示炼制过程中投入的各种物质及其质量;消耗环节代表生产过程中耗费的物质及损失量;流出部分给出了终端产物及其所占的份额.L 企业原油炼化过程中,生产投入物质包括国产原油、进口原油 1 360 万 t,航煤组分油 33 万 t,及其他如氢气、催化汽油、甲醇、蜡油、重整料等炼化原料,共计 1 481.54 万 t;加工过程中消耗了包括燃料气、燃料油、烧焦在内的 80.57 万 t 物质,同时损失掉 7.27 万 t 物质,共计 87.84 万 t;在经过一系列的工艺环节后,最终得到不同牌号的汽油、煤油、柴油、溶剂油等油品,沥青、石油焦、轻油、气体、苯类产品,以及硫磺、回收污油和氨水等,共计 1393.70 万 t(如图 2 所示).

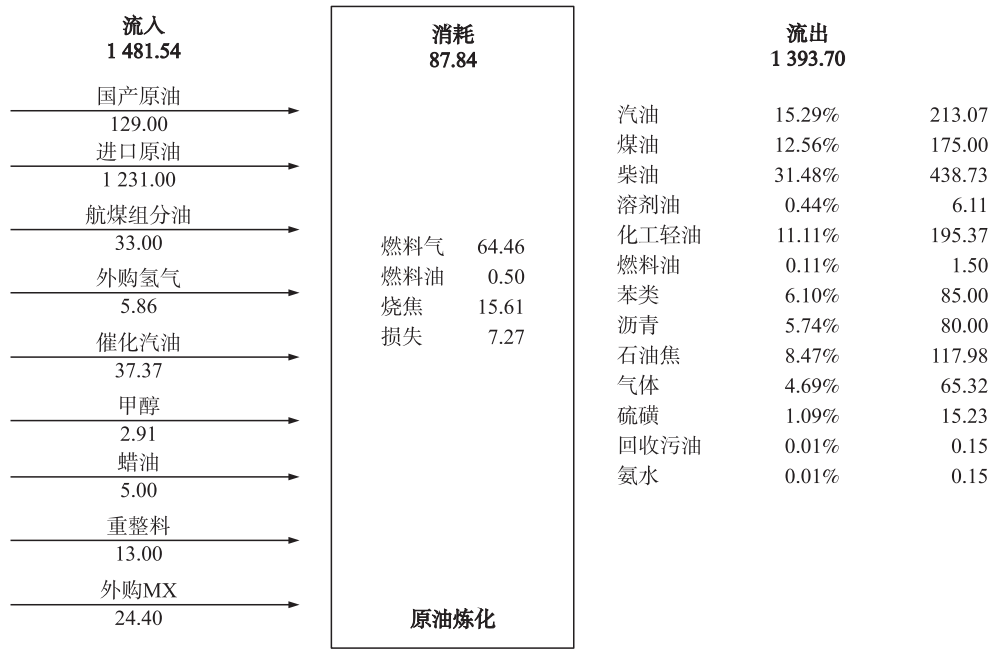


图 2 L 企业石油资源纵向流动过程示意图(单位:万 t)

Fig.2 Sketch map of petroleum resources vertical processing flow in L petrochemical enterprise

2 石油资源纵向流动的环境效应分析

2.1 石油资源纵向流动的环境效应

石油炼化过程中,受现有技术水平的制约,不可避免地排放出一定量的废气、废水、废渣.其中,废气主要包括 SO₂、NO_x、CO、H₂S 和烟尘,烃类不凝气,轻质烃类以及轻质含硫化合物,颗粒物、镍及其化合物,非甲烷总烃等;废水主要为含硫污水、含油污水、含盐污水、含碱污水、生活污水和生产废水;废渣包括酸、碱废液,废催化剂,页岩渣,油泥,有机废液,污泥,水处理絮凝泥渣,油泥、浮渣,剩余活性污泥,焚烧灰渣以及检修废弃物等.这些废弃物质对大气、水体及土壤、生物都会产生一定的影响.如废气中的含硫氮气体,极易导致酸雨;又如炼油过程中的废水如果不能很好地回收或者科学处理,就有可能污染地下水水质,汇入海洋后会海洋的自净能力,产生海洋荒漠化现象,进而影响动植物乃至整个区域生态环境;而废渣对于土壤成份的影响也是不可估量的.

2.2 L 企业石油资源纵向流动的环境效应分析

按照 L 企业石油资源纵向流动的主要生产过程,从石油蒸馏、催化裂化、催化重整、热加工、催化加氢和硫磺回收等环节,依据《石油石化炼制工业污染物排放标准(编制说明)》^[18](以下简称《编制说明》),计算出 L 企业将石油转化为最终产品所产生的污染物排放量.以《编制说明》中设备加工量为参照,认为在一定加工量范围内,加工量越多的设备,单位时间内的排放量也越多,据此得到 L 企业不同加工过程的单位排放量,同时 L 企业某些加工环节会采用多套设备,而每套设备的开工天数有所不同,计算出不同设备的运行时间,最终得到各个炼油过程的排放量.

$$P_l=P_i\times\frac{J_1}{J_2}\times T,$$

(1)

式中, P_l 为 L 企业炼油装置的排放量, P_i 为《编制说明》中给出的单位时间排放量, J_1 为 L 企业石油炼油装置的加工量, J_2 为《编制说明》中给出的参考装置加工量, T 为 L 企业设备开工时间.

2.2.1 石油加工中的废气排放

表 1 为《编制说明》中给出的主要加工过程单位时间废气排放量及参考装置加工量. 从表 1 可以看出,催化裂化过程的单排量最大,达到 26.01 万 Nm³/h,其次是催化重整以及石油蒸馏过程,分别为 20.66 万 Nm³/h 和 16.22 万 Nm³/h.

表 1 石油加工过程单位时间废气排放量及参考装置加工量

Table 1 Amount of emissions per unit time and reference device runs in oil processing processs

加工过程	废气单排量/(万 Nm ³ /h)	加工量/万 t	加工过程	废气单排量/(万 Nm ³ /h)	加工量/万 t
石油蒸馏	16.22	800	蜡油加氢	1.8	281.59
催化裂化	26.01	250	柴油加氢	5.23	328.39
催化重整	20.66	154	炼厂气加工	25 kg/h	76.69
热加工	9.54	182	氢气提纯	2.25	15.33
航煤加氢	0.21	40.36	硫磺回收	6	15.45

2.2.1.1 石油蒸馏过程

常减压装置的废气主要为加热炉烟气,主要污染物是 SO₂、NO_x、CO、H₂S 和烟尘;烃类不凝气;安全阀放空,采样,检修放空系统,管线、阀门、机泵等泄漏出的轻质烃类,加上因含烃气体未经脱硫所含有的轻质含硫化物^[19].

L 企业共有 3 套常减压蒸馏设备. 2011 年 3 套常减压设备正常开工,其中 I 套常减压设备加工量为 255 万 t,主要加工国产原油以及西非地区石油,加工天数为 340 d; II 套常减压设备加工量为 330 万 t,主要加工地中海地区与南北美地区的混合石油,加工天数为 360 d; III 套常减压设备主要加工中东地区石油 775 万 t,加工 345 d, III 套常减压设备的轻油收率最高,达到 40.58%. 根据式(1),计算得出 L 企业石油蒸馏过程共产生废气 229 481 万 Nm³.

2.2.1.2 催化裂化过程

催化裂化环节是石油炼制企业重质油轻质化的主要手段,在其催化剂再生单元这一工艺过程中催化剂再生器会产生烟气,虽然经过多级分离器后绝大部分颗粒物会被回收,但仍然有一部分气体和催化剂颗粒经排气筒排入大气,主要污染物为 SO₂、NO_x、颗粒物、镍及其化合物、非甲烷总烃和 CO. 2011 年 L 企业催化裂化装置开工天数达到 360 d. 根据式(1),计算得到催化裂化环节废气排放总量为 224 726 万 Nm³.

2.2.1.3 催化重整过程

催化重整过程的废气污染主要集中在加热炉烟气以及安全阀放空气环节,在异构化制备苯、二甲苯的进料加热炉环节也会产生烟气等废气^[20]. L 企业 I 套催化重整装置加工 68 万 t,2011 年开工 335 d, II 套连续重整以及 PX 异构化装置加工 106.66 万 t,开工 340 d. 经计算共产生废气 267 690 万 Nm³.

2.2.1.4 热加工过程

延迟焦化工艺的废气主要来源有 3 种,一种是加热炉烟气,是由燃料燃烧排放的废气,主要污染物为 SO₂、氮氧化物、烟尘;第二种是除焦时排放的废气;最后一种是冷焦水罐(池)不凝气. L 企业共有 3 套热加工设备,2011 年 L 企业共有 3 套延迟焦化设备,加工量分别为 146 万 t、52 万 t 和 185 万 t,加工天数分别为 345 d、355 d 和 358 d. 经统计,共产生废气 168 557 万 Nm³.

2.2.1.5 催化加氢过程

加氢裂化装置废气产生源主要为工艺加热炉,加热炉均以炼厂干气或燃料油为燃料,产生的废气经排气筒排放. L 企业有 2 套加氢裂化装置,加工量分别为 68 万 t 和 155 万 t. 因《编制说明》中未给出加氢裂化装置排污数据,因此参考李冬梅(2011)研究成果,两套装置加工吨原料废气产生量分别为 666 Nm³/t 和 431 Nm³/t^[21],根据加工量和加工吨原料废气产生量,计算出 L 企业加氢裂化装置共产生废气 112 093 万

Nm³[21]。航煤加氢、蜡油加氢、柴油加氢以及汽油加氢装置的废气主要是加热炉烟气。L 企业有 1 套航煤加氢装置, 1 套蜡油加氢装置, 2 套柴油加氢装置和两套汽油加氢装置。由于《石油石化炼制工业污染物排放标准(编制说明)》没有给出汽油加氢装置废气排放标准, 该装置计算参照刘天齐(1990)《石油化工环境保护手册》[22], 加工 6.46 万 t 汽油, 产生废气 0.554 9 Nm³/h。催化加氢过程不同设备的加工量、加工天数及废气排放量如图 3 所示。计算显示, L 企业催化加氢工艺中共产生废气 186 220 万 Nm³。

2.2.1.6 炼厂气加工过程

液化气脱硫脱硫醇过程会产生一部分的工艺废气, 主要是通过装置高点排向大气, 废气内主要含有微量烃类。这一过程主要有炼厂气(液化气、干气)脱硫脱硫醇、氢气提纯等工艺环节。2011 年 L 企业液化气脱硫装置共有 3 套装置开工, 加工量为 37.27 万 t, 开工 350 d; 干气脱硫三套装置加工总量为 31.36 万 t, 开工 355 d, 根据式(1)计算得出, 产生工艺废气 18.9 万 t。氢气提纯装置加工量为 15.33 万 t, 加工 340 d, 共产生废气 74 068 万 Nm³。

2.2.1.7 硫磺回收过程

硫磺回收装置中的废气主要来自焚烧炉烟气经烟囱连续排向大气, 主要污染物是 SO₂、NO_x 和烟尘[23]。L 企业共有 3 套硫磺回收设备, 加工数量分别为 10.84 万 t、5 万 t 和 4 万 t, 加工天数分别为 320 d、355 d 和 335 d, 共产生废气 61 362 Nm³。

综合上述 7 个主要过程废气产生情况, 2011 年, L 企业共产生废气 1 211 104 万 Nm³, 平均加工 1 t 石油产生废气 0.89 Nm³ 的废气。其中, 催化重整过程产生废气最多, 占 22.1%; 其次是石油蒸馏以及催化裂化过程, 分别占到总量的 18.95% 和 18.56%; 催化加氢过程产生废气占 15.29% (如表 2 所示)。因此, 如何有效降低催化重整、石油蒸馏以及催化裂化过程的排放量是减少废气总量的关键。

为减少废气排放, L 企业对常减压装置“三顶气”回收脱硫净化工艺进行改造。此外, 为了从源头减少硫化物, L 企业从国内天然气“西气东送”开始, 便成为天然气的固定用户, 同时采用瓦斯脱硫、水煤浆制气等技术, 使公司使用天然气、脱硫瓦斯、水煤浆的比例逐年提高, 每年减少 SO₂ 外排 5 500 t, 减少烟尘外排 1 000 t。从 2010 年开始, 引进国内最新研发的“吸收-吸附-脱硫”处理技术, 先后完成了对污油罐、粗柴油罐、酸性水罐区呼吸气和重油催化装置工艺尾气的治理, 使装置现场的异味大大减轻, 实现了这些气体的达标排放。同时 L 企业先后引进了硫磺回收和尾气加氢处理技术、LO-CA 吨硫磺回收技术, 对煤化工制氢装置的硫化氢酸性气体和炼油装置含硫化氢的工艺废气进行处理, 使硫回收率达到 99.9%; 引进了石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术, 使热电装置煤粉炉烟气的脱硫效率达到 95% 以上。

2.2.2 石油加工中的废水排放

炼油企业生产过程中产生的污水分为含硫污水、含油污水、含盐污水、含碱污水、生活污水和生产废水。各加工过程废水排放点及单位时间排放量见表 3。

根据式(1), 计算得到 2011 年 L 企业共产生废水 859.9 万 t, 平均加工 1 t 石油废水排放量为 0.632 t。综合各加工过程, 在凝结水站、热工系统、化验和机修、压舱水、循环水厂等环节排放量很大, 占到总排放量的 45.3%。因此“十一五”期间, L 企业进行排水系统改造, 包括炼油北区生产装置清污分流、污污分流; 含油污水输送系统完善改造; 油品苯类罐区清污分流及防渗漏措施; 污水处理场改造; 化肥老装置厂前区实施清污分流排水系统; 化工一厂将上游来水和厂排污系统分开, 从而实现企污分流; 同时, 新建一套酸性水

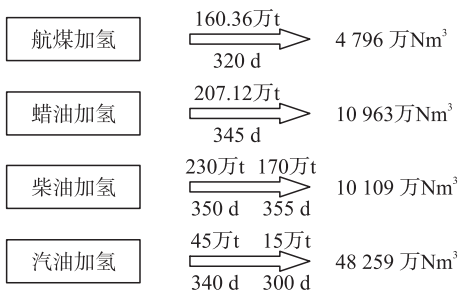


图 3 L 企业催化加氢过程废气排放量
Fig.3 Emissions of catalytic hydrogenation process in L petrochemical enterprise

表 2 L 企业各加工过程废气排放量及比重
Table 2 Amount of exhaust emissions and specific gravity of every oil processing process in L petrochemical enterprise

加工过程	废气排放量(万 N·m³)	占废气总排放量比重/%
石油蒸馏	229 481	18.93
催化裂化	224 726	18.54
催化重整	267 690	22.1
热加工	168 557	13.91
催化加氢	186 220	15.36
炼厂气加工	74 068	6.1
硫磺回收	61 362	5.06
合计	1 211 104	100

为天然气的固定用户, 同时采用瓦斯脱硫、水煤浆制气等技术, 使公司使用天然气、脱硫瓦斯、水煤浆的比例逐年提高, 每年减少 SO₂ 外排 5 500 t, 减少烟尘外排 1 000 t。从 2010 年开始, 引进国内最新研发的“吸收-吸附-脱硫”处理技术, 先后完成了对污油罐、粗柴油罐、酸性水罐区呼吸气和重油催化装置工艺尾气的治理, 使装置现场的异味大大减轻, 实现了这些气体的达标排放。同时 L 企业先后引进了硫磺回收和尾气加氢处理技术、LO-CA 吨硫磺回收技术, 对煤化工制氢装置的硫化氢酸性气体和炼油装置含硫化氢的工艺废气进行处理, 使硫回收率达到 99.9%; 引进了石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术, 使热电装置煤粉炉烟气的脱硫效率达到 95% 以上。

汽提装置,对综合污水处理场进行改造,实施污水回用.在装置导凝口、排污阀等污水非正常排放渠道上铅封,给易产生气体外泄的含油污水井加密闭.2007年,该公司污水处理装置的污油回收量比上年下降39.5%,2008年,污油回收量比上年再度下降63.2%.这些措施有效地降低了炼油环节的废水量.根据L企业的相关资料,计算得到2006~2008年L企业废水年排放总量及加工吨石油废水排放量,如图4所示.

表3 石油加工过程废水排放点及单排量

Table 3 Wastewater discharge area and single displacement in oil processing process

加工过程	产生废水点	废水单排量/(t·h ⁻¹)
石油蒸馏	电脱盐排水、塔顶油水分离器排水、机泵冷却水、含油雨水以及油品采样等 ^[24] .	90.3
催化裂化	分馏塔顶油水分离器切水及富气水洗水.	67.2
催化重整	设备低点排放的含油污水,设备低点及各采样点排放的轻污油等.	重整过程 72 预分馏 45.5 异构化 16.5
热加工	分馏塔顶油水分离器、稳定进料油水分离器等处的排水;接触冷却塔顶油水分离器排水、冷焦排水、切焦排水、机泵冷却水;余热锅炉或蒸汽发生器排污扩容冷却器排水等 ^[25] .	19.5
催化加氢	高、低压分离器中排除大量含硫以及氨的废水等.	加氢裂化 38.6 航煤加氢 8 蜡油加氢 3 柴油加氢 27.2
炼厂气加工	碱洗后水洗排水.	制氢 3 脱硫脱硫醇 9
硫磺回收	来自废热锅炉和硫冷凝器的含盐废水,还有一部分是来自装置区内的机泵冷却水等含油污水.	13.8
其他	凝结水站、热工系统、化验和机修、压舱水、循环水厂等.	265.3

资料来源:除标注来源外,其余资料均来源于《石油石化炼制工业污染物排放标准(编制说明)》.

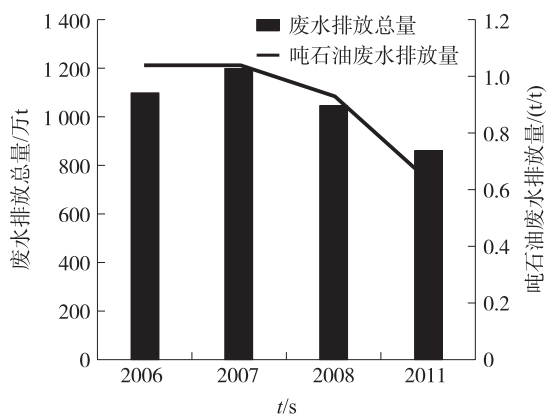


图4 2006~2011年L企业废水排放总量及加工吨石油废水排放量
Fig.4 Wastewater emission and wastewater discharge of treating a ton of petroleum in L enterprise in 2006-2011

可以看出,虽然L企业石油加工量逐年上升,但是废水排放量以及吨石油废水排放量却呈下降趋势.2011年,废水排放总量及加工吨石油排放量比2006年分别下降了21.82%和39.19%.

3 结论与建议

本文依照国家环保局、中国石油化工集团公司编制的《石油石化炼制工业污染物排放标准(编制说明)》及相关论文、书籍等资料,参考第一手企业生产资料,定量分析了石油纵向流动各环节的污染排放量,明确了石油加工过程所产生环境效应,总结出在整个炼化过程中,催化重整、石油蒸馏以及催化裂化过程的排放量是减少废气总量的关键,凝结水站、热工系统、化验和机修、压舱水、

循环水厂等环节的废水排放量多,必须针对以上环节加强减排工作,因此提升相应环节的工艺生产技术是当前节能减排工作的重点.为了更好地促进石油炼制行业的可持续发展,提出以下建议:

- (1)提升工艺生产技术,特别需要重视“三废”减排和回收技术及装置的研发、推广投入.如增加加氢精制能力,发展催化汽油异构化、加氢脱硫和催化柴油加氢脱硫工艺,适应加工进口含硫原油需要的配套技术;实施污污分治,把电脱盐污水、经过脱臭的碱渣废水以及未全部回用的含硫污水汽提净化水等高浓度的污水与其他低浓度污水分开处理;发展石油深加工工艺,提高资源利用效率,减少污染排放.
- (2)扩大清洁燃料生产,重视环境友好产品.催化裂化是我国石油加工工艺的主要路线,但是我国加氢、催化重整以及异构化的能力相对较小,而欧美国家的加氢和清洁生产产品生产工艺比例已经达到80%以上,我国目前仅为50%左右.随着环保要求的不断提高及汽车工业的发展,清洁燃料的生产是目前乃至今后相当长时间内炼油工业的发展趋势.
- (3)完善法规体系,强化监督管理.要进一步完善炼油行业清洁生产的配套规章、技术路线等内容,并

制定具体的总体规划和实施方案. 要健全监督执法体系,进一步规范炼油企业的生产过程,加强对建设项目的管理,实施重点排污企业公告制度,确保清洁生产的有效实施.

(4)加强企业间的技术合作和信息交流. 确立清洁生产的示范性企业,加快推行石化行业清洁生产,探索建立与市场经济体制相适应的政府推动清洁生产的管理体系、政策体系和运行机制. 同时要积极促进国际交流与合作,学习借鉴国外推行节能减排的成功经验,降低石油炼制过程中的污染物质排放.

[参考文献](References)

- [1] 成升魁,闵庆文,闫丽珍. 从静态的断面分析到动态的过程评价[J]. 自然资源学报,2005,20(3):407-414.
Cheng Shengkui,Min Qingwen,Yan Lizhen. From static assessment to dynamic processing;resources flow and its contents and methods[J]. Journal of Natural Resources,2005,20(3):407-414. (in Chinese)
- [2] 赵媛,郝丽莎. 20 世纪末期中国石油资源空间流动格局与流场特征[J]. 地理研究,2006,25(5):753-764.
Zhao Yuan,Hao Lisha. The spatial structure of crude oil flow and the characteristic of its flow field in China[J]. Geographical Research,2006,25(5):753-764. (in Chinese)
- [3] 赵媛,杨足膺. 中国石油资源流动源-汇系统空间格局特征[J]. 地理学报,2012,67(4):455-466.
Zhao Yuan,Yang Zuying. The evolution of spatial displacement pattern of China's crude oil flow source-sink system[J]. Acta Geographica Sinica,2012,67(4):455-466. (in Chinese)
- [4] 赵媛,牛海玲,杨足膺. 我国石油资源流流量位序-规模分布特征变化[J]. 地理研究,2010,29(12):2122-2131.
Zhao Yuan,Niu Hailing,Yang Zuying. Study on the rank-size distribution and variation of crude oil flow in China[J]. Geographical Research,2010,29(12):2122-2131. (in Chinese)
- [5] 程淑佳,魏冶. 中国原油进口地域格局演进分析[J]. 世界地理研究,2010,19(3):42-49.
Cheng Shujia,Wei Ye. Analysis of the regional structure evolution of China's crude oil imports[J]. World Regional Studies,2010,19(3):42-49. (in Chinese)
- [6] 袁宝荣,聂祚仁,狄向华,等. 中国化石能源生产的生命周期清单:生命周期清单的编制结果[J]. 现代化工,2006,26(4):59-61.
Yuan Baorong,Nie Zuoren,Di Xianghua,et al. Life cycle inventories of fossil fuels in China:final life cycle inventories[J]. Modern Chemical Industry,2006,26(4):59-61. (in Chinese)
- [7] 刘晓洁. 石油资源流动效应与机理研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2006.
Liu Xiaojie. Effects and mechanism of oil resources flow[D]. Beijing:Graduate University of Chinese,Academy of Sciences,2006. (in Chinese)
- [8] 申满对,吴德良. 劣质原油加工及其主要环境问题与对策[J]. 炼油技术与工程,2011(7):39-45.
Shen Mandui,Wu Deliang. Processing of low-quality crudes and environmental problems & countermeasures[J]. Petroleum Refinery Engineering,2011,41(7):39-45. (in Chinese)
- [9] 成升魁. 资源流动的环境效应[J]. 资源与生态学报:英文版,2010,1(1):2415-2436.
Cheng Shengkui. Resources flow and its environmental impacts[J]. Journal of Resources and Ecology:English Edition,2010,1(1):2415-2436.
- [10] 潘玉英,全纪龙,袁九毅. 石油炼制项目环境影响评价中的清洁生产评价[J]. 环境科学与技术,2009,32(10):185-189.
Pan Yuying,Tong Jilong,Yuan Jiuyi. Clean production evaluation in environmental impact assessment of petroleum refining projects[J]. Environmental Science & Technology,2009,32(10):185-189. (in Chinese)
- [11] 易莉,刘志辉,李帅,等. 石油开发对环境影响的初步分析及评价——以新疆吐鲁番地区为例[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(4):31-36.
Yi Li,Liu Zhihui,Li Shuai,et al. Oil exploitation impact on the environment-taking an example of turpan region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2007,21(4):31-36. (in Chinese)
- [12] 袁宝荣,聂祚仁,狄向华,等. 中国化石能源生产的生命周期清单(Ⅱ)[J]. 现代化工,2006,26(4):59-61.
Yuan Baorong,Nie Zuoren,Di Xianghua,et al. Life cycle inventories of fossil fuels in China(Ⅱ):final life cycle inventories[J]. Modern Chemical Industry,2006,26(4):59-61. (in Chinese)
- [13] 赵敏华,李国平. 效益转移法评估石油开发中环境价值损失的实证研究[J]. 工业技术经济,2006,25(11):96-99.
Zhao Minhua,Li Guoping. The benefit transfer method for assessment of petroleum development in environmental value loss:an empirical study[J]. Industrial Technology & Economy,2006,25(11):96-99. (in Chinese)

- [14] 董志强,马晓茜,张凌. 石油利用对环境影响的生命周期分析[J]. 石油与天然气化工,2004,33(6):456-459.
Dong Zhiqiang, Ma Xiaoqian, Zhang Ling. Life cycle assessment of oil utilization on environment impact [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2004, 33(6): 456-459. (in Chinese)
- [15] 沈镭,刘晓洁. 资源流研究的理论与方法探析[J]. 资源科学,2006,28(3):9-16.
Shen Lei, Liu Xiaojie. Discussion on theories and methods of resources flow[J]. Resources Science, 2006, 28(3): 9-16. (in Chinese)
- [16] 邬国英,杨基和. 石油化工概论[M]. 北京:中国石化出版社,2000:15-16.
Wu Guoying, Yang Jihe. Introduction of Petroleum Chemical Industry[M]. Beijing: Oil Industry Press, 2000: 15-16. (in Chinese)
- [17] 张叔岩. 世纪上半叶的中国石油工业[M]. 北京:石油工业出版社,2001:11.
Zhang Shuyan. China's Oil Industry in the First Half of the 20th Century[M]. Beijing: Oil Industry Press, 2001: 11. (in Chinese)
- [18] 中国石油化工集团公司. 石油石化炼制工业污染物排放标准(编制说明)[Z]. 北京:中国石油化工集团公司,2010.
China Petrochemical Corporation. Discharge Standard of Pollutants for Petroleum Refining Industry(Explanation of Compiling) [Z]. Beijing: China Petrochemical Corporation, 2010. (in Chinese)
- [19] 孙鉴. 中国石化济南分公司常减压蒸馏装置清洁生产技术研究[D]. 济南:山东大学环境科学与工程学院,2006.
Sun Jian. Cleaner production technology research of atmosphere vacuum distillation units in Sinopec Group Jinan branch [D]. Jinan: Institute of Environmental Science and Engineering, Shandong University, 2006. (in Chinese)
- [20] 杨载松. 石化厂催化连续重整联合装置建设项目环境影响分析与实例研究[D]. 广州:暨南大学理工学院,2010.
Yang Zaisong. Analyses and case study on environmental impact of continuous catalytic reforming combination unit construction project in petrochemical plant[D]. Guangzhou: Institute of Technology, Jinan University, 2010. (in Chinese)
- [21] 李冬梅. 石油炼制行业加氢裂化装置清洁生产指标体系的构建[J]. 环境保护与循环经济,2011,31(11):39-41.
Li Dongmei. Cleaner production index system of hydrocracking units[J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2011, 31(11): 39-41. (in Chinese)
- [22] 刘天齐. 石油化工环境保护手册[M]. 北京:中国石化出版社,1990:70.
Liu Tianqi. Petrochemical Environmental Protection Manual[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 1990: 70. (in Chinese)
- [23] 何鹏. 硫磺回收装置污染源的控制[J]. 齐鲁石油化工,2010,38(4):296-298.
He Peng. Analysis and control of pollution source in sulfur recovery unit[J]. Qilu Petrochemical Technology, 2010, 38(4): 296-298. (in Chinese)
- [24] 张孝治. 发展催化裂化的环境保护技术[J]. 石油炼制,1987(4):14-19.
Zhang Xiaozhi. Development environmental protection technology of the catalytic cracking[J]. Petroleum Refining, 1987(4): 14-19. (in Chinese)
- [25] 李林,杨忠友,魏相文,等. 延迟焦化装置的清洁生产措施[J]. 炼油技术与工程,2011,41(4):56-57.
Li Lin, Yang Zhongyou, Wei Xiangwen, et al. Measures for clean production of delayed coking unit[J]. Petroleum Refinery Engineering, 2011, 41(4): 56-57. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]