

工业绿色发展工程科技战略及对策

“工业绿色发展工程科技战略及对策研究”课题组

摘要: 本文针对钢铁、有色、石化、化工、建材、造纸等流程制造业及所涉及行业的通用机械和某些高耗能的工业装备的绿色发展问题开展研究,分析了绿色发展、循环发展、低碳发展之间的内涵与关系,分析研究了当前以六大流程制造业为代表的流程制造业和工业装备领域所处现状和面临的挑战,以及对绿色发展具有的重要影响;并结合六大流程制造业能源消费总量和污染物排放总量的峰值分析,提出了工业绿色发展工程科技战略的思路和目标,强调流程制造业应在拓展功能基础上融入循环经济,并提出了若干引领性重大工程和相应的示范带动项目以及一系列关键技术。

关键词: 流程制造业; 工业装备; 绿色发展; 拐点分析; 工程科技; 战略对策

中图分类号: T-1 **文献标识码:** A

Strategic Study on Green Development Engineering for Industry

The Research Group for Strategic Study on Green Development Engineering for Industry

Abstract: The green development problems of steel industry, nonferrous metal industry, petrochemical industry, chemical industry, construction material industry, papermaking industry, and related industrial general machines and some high energy consumption equipment have been researched. The connotations and relationships among green development, recycling development and low-carbon development are discussed. And the present status, challenges and important influences on the green development of the six major process industries and industrial equipment were analyzed. Meanwhile, the break points (peak values) of total energy consumption and total pollutant emissions of the six major process manufacturing industries are analyzed. Then, strategy solutions and targets of green development engineering for industry are put forward. However, it should be emphasized that process manufacturing industry should be integrated into the circular economy based on function expansion. Finally, some leading engineering projects and corresponding demonstration projects and a series of key technologies are put forward.

Key words: process manufacturing; industry equipment; green development; peak analysis; engineering technology; strategies and countermeasures

绿色化发展与产业结构调整 and 生态文明建设紧密相关,都体现着社会主义核心价值观。党中央、国务院《关于加快推进生态文明建设的意见》提出,“协同推进新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化和绿色化”,首次提出“绿色化”,与原来倡导

的“新四化”并举,具有重大意义。生态文明和“绿色化”理念与社会主义核心价值观一脉相承。

绿色发展也是《中国制造2025》的重要组成部分,同时也是提高中国经济硬实力的强大杠杆。作为我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领,

收稿日期: 2015-07-15; 修回日期: 2015-07-24

基金项目: 中国工程院重大咨询项目(2013-ZD-3, 2013-ZD-4-15)

本文由《“工业绿色发展工程科技战略及对策”项目综合报告》《制造强国战略研究·综合卷》改写

本刊网址: www.engingsci.cn

《中国制造2025》提出了九大战略任务和重点，其中第五个就是全面推行绿色制造：加大先进节能环保技术、工艺和装备的研发力度，加快制造业绿色改造升级；积极推行低碳化、循环化和集约化，提高制造业资源利用效率；强化产品全生命周期绿色管理，努力构建高效、清洁、低碳、可循环的绿色制造体系。

工业(制造业)是实体经济的主体，是国民经济的支柱，也是国家安全和人民幸福生活的物质基础。近十年来我国工业行业取得的成绩举世瞩目，但是工业粗放式快速发展给生态环境造成的影响也触目惊心。空气质量下降、重金属污染加剧、水源和土壤被破坏等生态环境恶化，严重影响大众的健康。我国工业发展已到了刻不容缓向“绿色发展”的重要转型期。推进工业绿色发展，对于建设资源节约型、环境友好型社会和促进生态文明建设，具有重大意义。

一、工业绿色发展的内涵

绿色发展是培育新的经济增长点、保护生态环境活动的总和，是资源承载能力和环境容量约束下的可持续发展。广义的绿色发展包括存量经济的绿色化改造和发展绿色经济两方面，覆盖了国民经济的空间布局、生产方式、产业结构和消费模式；狭义的绿色发展包括绿色生产制造过程、产品绿色化、节能减排、清洁生产、企业绿色化。发展绿色经济、推动经济绿色转型制定相应的战略目标和框架，要从工业、农业和服务业三大产业全面推动，调整产业结构，加速经济由劳动力密集型向技术密集型转变。

循环经济以3R为基本原则，即Reduce(减量化)、Reuse(再利用)、Recycle(再循环)。但3R只是原则，不是全部要素，实施循环经济应该在一定条件下将物质、能量、时间、空间、资金有效地整合在一起。循环经济必须注意物质循环链、能量利用链的构建，还应在合理的时间、空间配置前提下，以生态系统和生态链的方式构成相关的产业集群。因此，循环经济是有循环成本的、有资金流动和增值内涵的，是有利于形成“资源—产品—废弃物—资源再生”的再生循环发展模式，实现经济效益、社会效益和环境效益协同发展的经济模式。

低碳发展源自气候变化领域，本质是能源与发展战略调整，核心是能源技术创新、碳汇技术的发展和制度创新以降低单位国内生产总值(GDP)的碳强度，避免温室气体浓度升高而影响人类的生存和发展(如气候变化异常、出现灾害天气等)。低碳发展的着眼点是未来几十年的国际竞争力和低碳技术市场，具体体现在能源效率提高、能源结构优化以及消费行为的理性化。

绿色发展、循环发展、低碳发展是相辅相成的，相互促进的，可构成一个有机整体。绿色化是发展的新要求和转型主线，循环是提高资源效率的途径，低碳是能源战略调整的目标。从内涵看，绿色发展更为宽泛，涵盖循环发展和低碳发展的核心内容，循环发展、低碳发展则是绿色发展的重要路径和形式，因此，可以用绿色化来统一表述。

工业(制造业)的门类繁多，如果按生产方式、生产过程中物质(物料)所经历的变化(变换)和产品特点分类，则制造业可以分为流程制造业与制品(装备)制造业两大类。2012年流程制造业的能耗约占工业能耗的64%以上，应是绿色化的重要切入口，就钢铁、有色金属、石化、化工、建材、造纸等流程制造业而言，工业绿色发展应以绿色、循环、低碳发展的理念为导向，拓展流程工业的功能——即流程制造业应该实现优质产品制造功能、能源高效转换功能、废弃物处理—消纳及再资源化功能。实现各行业的转型升级，同时应高度重视通过产业结构调整为抓手，推进广义的绿色发展。

本文关于“工业绿色发展工程科技战略及对策”的研究主要针对钢铁、有色金属、石化、化工、建材、造纸六个流程工业行业和涉及以上流程工业的通用机械和某些高耗能的工业装备，未包括电力、采矿等行业。

二、流程制造业的现状和存在的问题

(一) 现状

我国工业发展迅速，产品产量居世界前列。钢铁、有色金属、石化、化工、建材、造纸等行业是典型的流程制造业，这些行业的产品产量除石化产品外连续多年位居世界第一，在国际上具有举足轻重的地位。2013年，我国粗钢产量为

8.22×10^8 t, 约占全球的 52 %; 电解铝产量为 $2.204 6 \times 10^7$ t, 约占全球的 46 %; 化肥产量为 $7.153 7 \times 10^7$ t, 约占全球的 35 %; 水泥产量为 2.414×10^9 t, 约占全球的 58 %; 纸和纸板产量约为 1.01×10^8 t, 约占全球的 25 %。

资源需求量大, 对外依存度高。六大行业对全球资源的需求量大、对外依存度高, 2013 年铁矿石超过 67 %, 铜精矿、铝土矿分别达到 60 %、52 %, 原油达到 57 %, 钾盐达到 50 %, 资源供求矛盾加剧。

积极推广应用节能新技术, 工业能效不断提高。“十一五”期间, 全国规模以上工业增加值能耗从 2.59 tce/万元 (1 tce=293 亿焦耳) 降低至 1.92 tce/万元, 以年均 8.1 % 的能耗增长支撑了 14.9 % 的工业增加值的增长。“十一五”期间六大流程制造业单位产品的能耗下降幅度分别为: 钢铁降低 12.1 %、电解铝降低 36.6 %、铜冶炼降低 35.9 %、炼油降低 15.1 %、氮肥降低 12 %、水泥降低 28.6 %、纸和纸板降低 22 %, 缩小了与国外先进水平的差距。

污染物排放强度不断下降。工业废水排放的强度从 2001 年的 46.5 t/万元降低至 2012 年的 11.1 t/万元; 同期, 工业废气中 SO_2 排放强度降低约 11.6 %。“十一五”期间, 六个流程制造业的典型污染物排放强度也大幅度降低: 钢铁行业吨钢粉尘排放量降低 36.09 %、吨钢 SO_2 排放量降低 40.78 %; 有色行业重金属汞排放量降低 59.6 %、铅排放量降低 58.5 %、砷排放量降低 51.8 %; 建材行业万元产值的烟粉尘排放量降低 84.9 %、 SO_2 排放量降低 75.8 %; 造纸行业的万元产值化学需氧量 (COD) 排放量降低 73.91 %; 化工行业万元产值 SO_2 排放量降低 64 %、氨氮排放量降低 80.58 %。

(二) 存在的问题

(1) 产能过剩、产出过剩, 能源和环境问题日益突出。我国工业在快速发展的同时, 出现了重化工业产能、产出严重过剩, 资源对外依存度不断提高和环境负荷沉重等问题。依靠工程科技创新实现工业绿色发展很重要, 它促使工业行业的单位产品能耗和污染物排放强度不断降低。但是, 如果工业结构不合理, 产出总量以数倍之势增加, 规模过大, 工业的能源消耗总量和污染物排放总量仍处于上升趋势, 一定程度上抵消了科技进步带来的效果。与

2000 年相比, 2012 年六个流程制造业的产量大幅度增加: 粗钢增加了 4.69 倍、电解铝增加了 5.78 倍、水泥增加了 2.68 倍、纸和纸板的产量增加了 3.12 倍, 等。同期六大行业总能耗占工业 (制造业) 总能耗的比例由 55 % 增长至 64.5 %。从工业污染排放总量看, 2012 年全国工业废水排放总量为 2000 年的 1.2 倍; 工业废气排放总量为 2000 年的 4.3 倍; SO_2 排放量为 2000 年的 1.3 倍。

(2) 工程科技尚不能满足发展需求, 资金支持强度不足。时至今日, 工业能效进一步提高和污染治理的难度越来越大, 同时, 工业绿色发展的理念有待深化, 工业领域重末端治理、轻源头预防和过程控制的现象尚待进一步解决。具体体现在: 工业绿色技术创新驱动力弱, 源头削减、过程控制、清洁生产等方面科技开发投入明显低于产品、装备的开发投入; 在多种污染物协同减排、重金属污染减量、有毒有害原料被替代和主要污染物的源头削减等领域缺乏先进有效的实用技术, 不能满足新环保标准的要求。

(3) 环保执法不公、监管不到位, 导致企业间存在不公平竞争。从制度层面看, 原有的环境管理法律法规对于污染超标的处罚处置力度不够, 导致“守法成本高、违法成本低”; 从执法层面看, 由于资金和资源的缺乏, 我国环境监管和执法无法全面覆盖, 执法不到位, 普遍存在“抓大放小”现象, 对国有企业、大企业监管多、检查相对严, 不少地方还存在着规模以上的企业能监管, 规模以下的企业无法监管的现象, 出现了不同规模和不同所有制企业之间、“入统”与“不入统”企业之间不同负担的不公平竞争, 某种程度上加大了生态环境的压力。

(4) 工业装备运行效率低、效果差。我国工业装备的工艺技术水平总体有所提高, 但普遍存在装备与工艺流程不匹配、导致有些装备运行效率低下、运行可靠性差等现象, 这不利于工业绿色发展; 还存在着环保装备方面的创新跟不上行业发展和主体装备水平的现象, 同时由于环保设备运行维护和检修等管理不到位, 导致部分环保设备运行效率低、效果差, 难以稳定达到环保要求。

(5) 重化工业产品出口导向加重国内资源、能源和环境的负担。在高投资和出口导向的经济发展

模式下,我国重化工行业近年的进出口结构和数量高度不平衡,钢铁、有色金属、石化、化工和建材都有不同程度的出口增长。在重化工产品的出口量中,其中包括大量隐含能源的出口,并承担了大量的温室气体转移排放;同时也使国内的环境负荷进一步加重。

(6) 体制机制有待进一步深化改革。现有制度体系、考核机制、激励机制等尚不适应绿色化转型的发展,具体体现在:片面追求国内生产总值增长,环境保护的基本国策未得到应有的重视和有效的监察、执法;领导干部的考核晋升机制与绿色化发展、生态文明建设的绩效关联尚不够紧密;鼓励技术创新、技术转让和应用的机制存在一定障碍等。

三、流程制造业发展的拐点分析和趋势判断

(1) 在不同行业需求情景下,对2020年六个流程制造业能源消费总量和主要污染物排放总量的峰值进行了分析。分析前提是六大行业以内需为主的结构调整和淘汰落后产能的目标得到实现,环保执法和污染物排放总量控制落实到位,且各行业技术支撑到位。

六个流程制造业的产出总量和能源消费总量的峰值的“拐点”分析:钢铁、建材、造纸三大行业的“拐点”出现在2015年左右;而有色金属、石化、化工三大行业的“拐点”出现在2025—2030年,其中某些产品的产出“拐点”也可能出现在2020年以前。

主要污染物排放总量的峰值将比能源消费总量的峰值提前出现,但由于工业规模过大,主要污染物排放总量依然巨大。

(2) 钢铁、有色金属、石化、化工、建材和造纸六个流程制造业仍将是国民经济特别是实体经济不可缺少的重要基础产业,同时也是未来工业绿色发展最重要的领域。六大行业的绿色发展应以绿色、低碳、循环发展的理念为导向,拓展功能,即流程制造业应同时具有优质产品制造功能、能源高效转换功能、废弃物处理—消纳及再资源化功能,以实现各行业的转型升级,推进工业绿色化发展。

(3) 流程制造业应在拓展功能的基础上,进一步打破行业隔绝,构筑产业间以及产业与社会之间的“生态链”,建立循环经济园区,发展循环经济。

四、流程制造业绿色发展的战略目标

(1) 到2020年,流程制造业的规模扩张趋势得到有效控制,产业结构调整见成效;流程制造业的功能拓展为具有“优质产品制造、能源高效转换、废弃物处理—消纳及再资源化”的三大功能。

(2) 流程制造业的能耗强度和污染物强度进一步明显下降;工业总能源消耗维持在2012年的水平不增长,六大行业的总能耗占工业总能耗的比例下降到55%;污染物排放总量降低20%。

(3) 行业间及与社会的生态链接技术得以突破并形成规模,促进工业和经济发展融入到生态文明建设中。

(4) 工业装备(包括环保装备)要从设计、制造、运行、在役再制造和再制造入手,提升技术、运行和智能化水平,实现工业装备全生命周期内的绿色化。

(5) 基本形成具有我国自主创新特色的工业绿色发展的工程科技支撑体系。

五、工程科技战略对策

工业绿色发展的总体战略思路是贯彻落实中国共产党第十八次全国代表大会精神,“发展理念创新,产业结构调整,科技创新驱动,政策法规保证”。工业绿色发展工程科技的战略对策如下。

(1) 推进源头削减和末端治理的有机结合,开发和突破一批面向未来的各行业绿色化转型的共性关键技术。

(2) 推进科技创新与政策导向的有机结合,加快工业行业及企业能源、资源利用的绿色转型。

(3) 持续深化信息技术在工业过程中的应用,进一步推进物质流、能量流和资金流的深度融合。

(4) 重视并开发工业行业间及其与社会间的物质/能量链接的关键技术,建设和实施一批工业生态园区的示范工程。

为此,提出五大引领性重大工程以及41项示范带动项目和各行业三类关键技术共173个。五大引领性重大工程为:①节能环保系统集成优化工程;②绿色工艺改造及产品创新工程;③绿色产业生态链接工程;④信息化、智能化提升改造工程;⑤工业装备优化提升工程。

六、工业绿色发展的政策建议

(1) 建立和实施工业绿色化发展的战略, 推动工业转型升级。启动研究新常态下以结构调整、产业升级为主线的合理需求和总量控制问题, 加快工业结构调整, 优化工业布局, 有效削减过剩产能, 有效控制产出总量, 制订全局性的“十三五”工业绿色化发展战略规划。

(2) 强化环境保护行政监督, 严格行政问责。认真执行环境保护法和污染物排放标准, 加强监管, 强化环保问责制。切实提高环保执法力度和公平性, 改变执法成本高、违法成本低现状, 逐步建立公平的竞争平台。

(3) 坚持以企业为主体, 加快提升创新能力。坚持市场导向, 协同创新, 完善科技创新体系, 重视并加快从研发成果到产业化、工程化的转化速度, 从机制上突破从研发成果到产业化、工程化难的瓶颈; 重视标准的引领作用, 定期修订发布环保和能耗标准的同时, 要发布相应经济的、可行的技术

指南。

(4) 流程制造业(特别是重化工业)应坚持以内需为主, 不能以大量出口作为化解过剩产能的出路。要严格限制高耗能和低附加值产品出口; 鼓励加工成高端制成品和机电产品间接出口; 要鼓励废钢、废旧有色金属和废纸等再生资源的进口; 结合“一带一路”战略, 鼓励以高技术项目走出去, 带动到国外建钢厂、石化厂和化工厂等, 产品就近生产、销售。

(5) 加强依法统计、监测, 健全基础资料, 强化部门责任。完善工业能源、环保监测的统计制度和办法; 完善和推广应用基于工业互联网的装备健康能效监测诊断体系, 建立第三方机构负责工业装备监测和评估装备效能等级。

(6) 引导绿色消费模式。提倡与绿色、低碳、循环理念相适应的绿色消费模式, 加强对各阶层的宣传, 反对奢侈、浪费, 提倡全社会消费观念向绿色化转变。