

# 重点高耗能行业煤利用过程中的节能问题研究

金涌<sup>1</sup>, 陈勇<sup>2</sup>, 胡山鹰<sup>1</sup>, 赵黛青<sup>2</sup>, 马晓茜<sup>3</sup>, 王辅臣<sup>4</sup>, 呼和涛力<sup>2</sup>

(1. 清华大学化学工程系, 北京 100084; 2. 中国科学院广州能源研究所, 广州 510640; 3. 华南理工大学电力学院, 广州 510640; 4. 华东理工大学洁净煤技术研究所, 上海 200237)

**摘要:** 高耗能行业不仅能耗高也是能源密集型产业, 并且煤和电占据行业能源消费结构中的主导地位。高耗能行业面对能源资源供应紧张、降低能耗以及低碳可持续发展的迫切需要, 必须优先节能, 并要重视和发展煤炭利用过程中的节能战略。本文围绕我国石化、钢铁、建材、化工、有色金属、造纸、纺织七个高耗能行业煤炭利用过程中的节能问题开展研究, 突出发展要以节能为本的重要理念, 在系统掌握当前我国高耗能行业煤炭利用情况的基础上, 比较分析国内外技术水平的差距; 通过运用态势 (SWOT) 分析法及产业技术路线图研究, 总结各行业在节能方面面临的挑战和机遇; 凝练了高耗能行业煤炭利用过程的节能途径及重点节能技术方向; 最后强调了煤炭利用过程中节能对高耗能行业可持续发展的重要作用。

**关键词:** 煤炭; 高耗能行业; 态势分析; 技术路线图; 节能技术

中图分类号: TK01+8 文献标识码: A

## Research on Energy Saving of Coal Utilization in High Energy Consuming Industries

Jin Yong<sup>1</sup>, Chen Yong<sup>2</sup>, Hu Shanying<sup>1</sup>, Zhao Daiqing<sup>2</sup>, Ma Xiaoqian<sup>3</sup>,  
Wang Fuchen<sup>4</sup>, Huhetaoli<sup>2</sup>

(1. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Guangzhou Institute of Energy Conversion, China Academy of Science, Guangzhou 510640, China; 3. College of Electrical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 4. Institute of Clean Coal Technology, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** High-energy consuming industries are typically energy-intensive, and it is worthy of noting that coal and electricity play dominant role in energy consumption structure for these industries. Under the circumstances of energy resources shortage as well as the urgent needs for energy-consuming reduction and low-carbon sustainable development, energy conservation, along with significant emphasis on energy saving strategy in coal utilization should be prior to other solutions. This paper studies the energy saving issues in seven industries including petrochemistry, iron & steel, building materials, chemistry, non-ferrous metals, papermaking and textile, and highlights the concept of energy-conservation-oriented development. With comprehensive recognition of current coal utilization in energy-intensive industries, the technical gaps between home and abroad are further analyzed. Subsequently, the SWOT analysis and research on industrial technology roadmaps are applied for elaborating various challenges and chances for these industries, thereby leading to the effective energy-saving paths and major technical development directions. Finally, the role of energy conservation in coal utilization was emphasized regarding to its great significance for sustainable development of the high-energy consuming industries.

**Key words:** coal; high energy-consumption industries; SWOT analysis; technology roadmapping; energy-saving technology

收稿日期: 2015-11-18; 修回日期: 2015-11-25

作者简介: 金涌, 清华大学化学工程系, 教授, 中国工程院院士, 主要从事化工流态化技术以及循环经济理论研究;

E-mail: jiny@mails.tsinghua.edu.cn

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”(2011-ZD-7)

本刊网址: www.enginsci.cn

## 一、前言

我国的煤炭消费约占总能耗的 70%，这是造成一些能源和环境问题的主要原因。2012 年我国工业消耗煤炭  $3.36 \times 10^9$  吨标准煤，其中石化、钢铁、建材、化工、有色金属、造纸、纺织等高耗能行业消耗煤炭  $1.17 \times 10^9$  吨标准煤，占工业用煤的 1/3 以上。“十一五”期间，大部分高耗能行业和重点耗能企业完成了国家或地方政府下达的节能目标任务，但主要工业产品综合能耗相比国际先进水平平均高出 30%。“十二五”期间我国高耗能行业和重点耗能企业面临煤炭供应紧张及节能减排目标提高的压力，需完成的万元工业增加值能耗下降 18%~20%。而这一目标的完成，对全社会完成单位国内生产总值(GDP)能耗下降 16% 的节能目标，有着至关重要的影响。因此，推动高耗能行业煤炭利用过程中的节能是我国可持续发展战略的重大需求。

## 二、国内外重点高耗能行业能源消费结构和煤炭消费概况

### (一) 国内高耗能行业能源消费结构及煤炭利用状况

图 1 显示 1995—2012 年我国高耗能行业煤炭的消费趋势<sup>[1]</sup>。除电力、采掘及其他行业，石化、钢铁、建材、化工、有色金属、造纸、纺织七大高耗能行业的煤炭消耗占全国煤炭消耗量的 35% 左右。其中，钢铁、石化、建材和化工四个行业的煤炭消费量最大，约占七大行业煤炭总消费量的 90%。

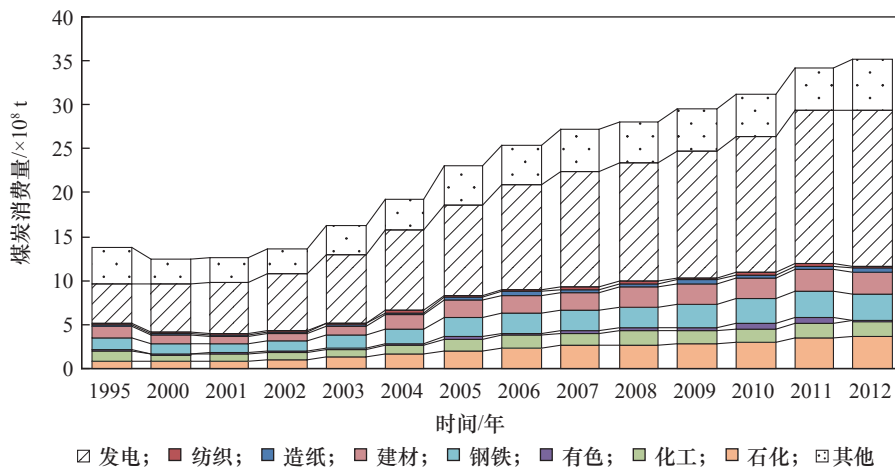


图 1 1995—2012 年高耗能行业煤炭消费趋势

图 2 显示 2010 年各行业终端能源消费中煤炭及电力的消费比重<sup>[2]</sup>。煤炭和电力的消费在各行业的能源结构中占不小的比例。随着各行业的快速发展自然带动了煤炭和电力消费的增长，而电力又是煤炭能源的头号消费大户，因此这些行业的发展直接和间接的消耗了大量的煤炭资源。为使高耗能行业保持可持续发展，大力发展煤炭清洁高效节能技术是主要的发展方向。

### (二) 国外高耗能行业能源消费结构及煤炭利用状况

图 3 显示国外高耗能行业的能源消费结构图。由图可以看出，日本的化工行业主要以石油为主，占该行业能源消费的 80%，德国的制浆造纸行业主要以天然气和电力为主，煤炭只占 6.5%，英国的纺织行业主要以天然气及其他能源消费为主，煤炭只占 7%，相比中国造纸和纺织行业煤炭消费占 49% 和 24% 占比低很多。再看煤炭消费较多的钢铁和建材行业，2010 年日本其所占的比例也达到了 71.2% 和 46.8%，相比这一比例的中国钢铁和建材行业煤炭消费比例要低 15% 和 24%。

## 三、重点高耗能行业煤炭利用过程的节能技术

高耗能行业是生产过程耗能较多且消耗能源密集型的产业。我国虽然在过往的十几年中，通过推进节能技术的发展，降低了主要产品的单位能耗，提升了能效的整体水平。但由于高耗能行业比重较大，单位产品能耗过高问题依然较为突出。因此，

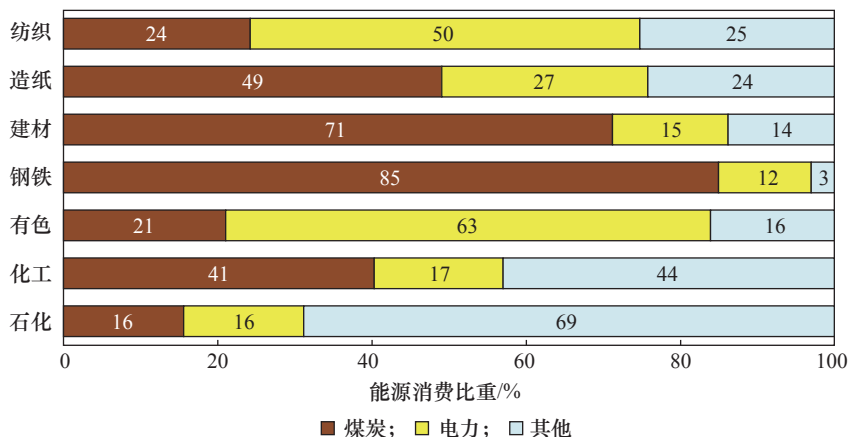


图2 2010年高耗能行业煤炭及电力消费比重

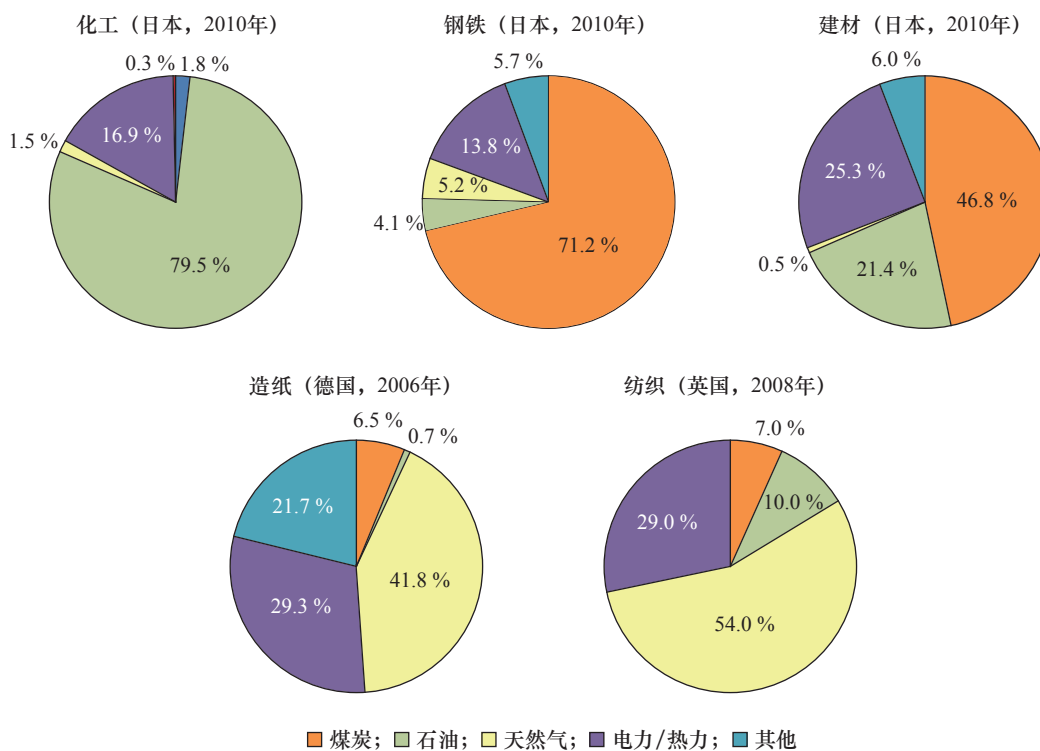


图3 国外高耗能行业能源消费结构

加快产业转型升级，解决高耗能行业的能耗过高问题仍是重中之重。表1中列出了高耗能行业现行的主要节能措施及技术。

虽然我国高耗能行业发展取得了巨大的成就，节能方面也有显著的效果，但主要工业产品综合能耗与国际先进水平相比平均约高出30%（见图4）。表2显示国内外高耗能行业主要节能技术关键指标的对比。钢铁和建材行业的关键性节能技术指标与国外先进水平还有较大的差距，特别是配套设施的国产化率还比较低。“十二五”期间，中国高耗能

行业和重点耗能企业面临煤炭供应紧张、价格上涨、节能减排目标提高的压力。

#### 四、高耗能行业煤炭利用过程中节能面临的挑战和机遇

##### （一）高耗能行业煤炭利用态势分析

高耗能行业以煤为主要能源的现状，将给节能和环保带来技术和管理的难题，企业自身生产力的发挥受节能减排的限制还面临着很大的挑战。与

表 1 高耗能行业的主要节能措施及技术

行业	主要节能技术
石化	燃煤锅炉利用炼厂的高硫石油焦发展流化床锅炉和造气—联合循环过程；煤制氢方面调整炼化加工流程，采用先进煤制气产氢工艺与重油加氢工艺进行耦合；煤-天然气共气化技术，包括炼化一体化技术；汽电或热电联产技术；系统优化技术等 <sup>[3,4]</sup>
化工	先进煤气化技术；先进合成气净化（变换、脱硫、脱碳）技术；先进高效的合成催化剂（合成氨、甲醇、间接液化、甲醇制烯烃（MTO）、甲醇制芳烃（MTA）、乙二醇等技术；煤炭分级利用及多联产技术等 <sup>[5,6]</sup>
有色金属	先进冶炼技术；有色金属再生技术；冶炼烟气余热回收技术 <sup>[7,8]</sup>
钢铁	干熄焦（CDQ）；高炉炉顶余压发电（TRT）；煤气回收；工序连续化（CC）；煤调湿（CMC）；高炉高温富氧喷煤（PCI）技术；蓄热式燃烧；电炉炼钢节能技术；氢炼铁、生物碳资源炼铁技术；高炉炉顶煤气循环利用技术（TGR-BF）；熔融还原炼铁工艺；日本环境和谐型炼铁工艺技术开发项目（COURSE50） <sup>[9-11]</sup>
建材	可燃性废弃物作替代水泥窑燃料技术；水泥窑中低温余热发电技术等 <sup>[12,13]</sup>
造纸	加热间歇蒸煮技术；各式连蒸技术；蒸煮工序乏汽回收技术；黑液、污泥资源化利用技术；余热、余压、余能回收利用技术等 <sup>[14,15]</sup>
纺织	节能电机、空调自动控制等技术；差别化直纺技术；新型纺丝冷却技术；废水余热资源循环利用技术等 <sup>[16,17]</sup>

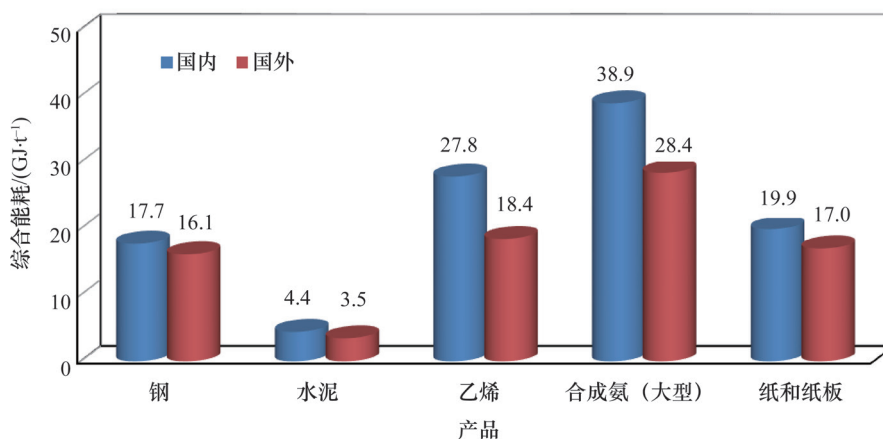
图 4 2010 年高耗能行业主要产品综合能耗与国际比较<sup>[2]</sup>

表 2 国内外高耗能行业主要节能措施及技术

节能技术	指标	国内水平	国外水平
高炉富氧喷煤技术	喷煤比 / (kg·t <sup>-1</sup> )	149	266
干熄焦技术 (CDQ)	普及率 / %	80	100
烧结余热梯级回收技术	普及率 / %	20	40
高炉炉顶余压余热发电技术 (TRT)	装备率 / %	80	100
转炉煤气回收技术	吨钢回收气量 / m <sup>3</sup>	74	110
电炉钢技术	比例 / %	10	40
新型干法水泥窑垃圾混烧代煤技术	能耗 / (GJ·t <sup>-1</sup> )	3.5	3.1
新型干法水泥纯低温余热回收发电技术	发电量 / (kW·h·t <sup>-1</sup> )	24~36	28~39

此同时，世界经济格局的变化及全球低碳发展为产业进一步转移和高耗能产业加快调整升级提供了契机。并且国家支持对节能技术的引进、研发和推广，相关政策法规的确立为节能技术带来了机遇。针对高耗能行业煤炭利用过程中的节能问题，运用系统论的观点综合考虑各行业发展的优势、劣势、机会

和威胁等因素，建立了态势分析模型。表 3 给出高耗能行业煤炭利用中节能问题的态势分析结果。

## （二）重点高耗能行业煤炭清洁高效利用技术路线图

重点高耗能行业近、中、长期，煤炭清洁高效利用的技术路线如图 5、图 6 所示。

表 3 高耗能行业煤炭利用中节能的态势分析

	优势	劣势
因素	1. 我国经多年发展已形成一定规模产业集群 2. “十一五”节能工作, 使高耗能行业形成了一定的技术及能源管理基础 3. 企业的节能意识日益提高 4. 国内一批节能技术的应用, 为企业创造了良好的经济效益	1. 地区、企业发展不均衡, 存在一些落后产能和需淘汰的高耗能设备, 平均能效与世界先进水平差距较大 2. 装备相对落后, 使煤炭利用效率较低 3. 部分产业聚集地区缺乏前期节能园区规划, 能源综合利用效率不高
机会	优势与机会策略 1. 借助政策扶持, 充分利用财政、税收、金融等政策, 促进节能技术的研发和推广 2. 充分利用国际产业转移等有利因素, 推动产业结构调整 and 升级, 提高整体工艺和装备水平 3. 充分发挥节能的技术经济优势, 为企业创造更大的效益 4. 积极引进国外煤炭利用过程中的节能技术、吸收、消化、实现国产化	劣势与机会策略 1. 加强自主创新, 走国产化道路, 通过对节能减排共性和关键技术的研发, 提升用能技术水平 2. 加大节能减排技术产业化示范、加快节能减排技术推广应用, 提升产业的整体节能水平 3. 利用政府强有力的引导作用, 充分调动投资者的积极性, 达成合作共识, 增大投资资金 4. 以产业调整为契机, 对产业集聚园区进行统一用能规划, 为实现区域煤炭利用节能创造条件
威胁	优势与威胁策略 1. 进一步淘汰落后产能, 加强节能评估和监督 2. 结合行业用能特点, 研发具有特色的煤炭利用节能技术 3. 借政策扶持和技术本身吸引力, 对行业内企业统一培训, 促进技术的交流和推广 4. 利用国家能源结构调整的契机, 充分发挥资源综合利用的优势, 提升用能水平 5. 加强国内外交流, 吸收国外先进技术 6. 加快专业技术人才的培养步伐	劣势与威胁策略 1. 加大政府、企业的研发投入, 解决关键技术难题, 提高整体效率, 降低成本, 提高竞争力 2. 加大政策扶持力度, 吸引投资, 用于设备改进, 争取尽快回收成本并赢利 3. 利用政府强有力的引导作用, 促成区域能量综合利用, 扩大技术应用规模

## 五、高耗能行业煤炭利用过程节能途径及重点节能技术方向

### (一) 高耗能行业煤利用过程的节能途径

高耗能行业主要有三个节能途径：一是技术节能，即上述煤利用过程重点节能技术水平的不断提高和创新所实现的节能和节煤；二是结构节能，即通过调整能源结构和工艺路线达到提高用能效率、减少煤炭消耗的目的；三是管理节能，即通过健全能源管理制度、加强能源计量管理和系统节能，以提高能源利用效率。

### (二) 煤利用过程重点节能技术方向

通过对高耗能企业的系统调研，结合态势分析

和全生命周期分析<sup>[18~20]</sup>，筛选出了四个重点节能技术方向：煤气化及煤-天然气共气化制备合成气技术；二次能源高效转换技术；高炉高效率喷煤及喷吹塑料技术；工业锅炉窑炉替代燃料混烧代煤技术。

1. 煤气化及煤-天然气共气化制备合成气技术  
 包括煤制氢技术和煤-天然气共气化制备合成气（共生耦合）技术。煤制氢技术是先将煤炭气化得到以 H<sub>2</sub> 和 CO 为主要成分的气态产品，然后经过净化、CO 变换以及分离、提纯等处理而获得一定纯度的产品氢。再通过重油加氢处理得到轻油，相比之下，煤制氢比煤制油可以大幅节约资源能源消耗。煤-天然气共气化制备合成气（共生耦合）技术是基于天然气蒸汽转化法和煤气化技术耦合发展

	近期(+5 a)	中期(+10 a)	长期(+20 a)
石化行业	石化企业亟需加强对能源的节约以降低成本	轻质原油需求的快速增长导致石油炼制对于氢的需求快速增长	
	成熟的煤气化技术为石化企业利用煤资源提供保障, 逐步加强以煤炭为原料的先进煤气化技术; 加强对煤制氢过程中节能技术的推广应用, 以实现石化行业的成本降低	推广应用煤炭耦合利用技术, 包括煤和天然气、生物质等富氢资源的共气化制备氢气等技术, 弥补炼厂氢气来源的不足	
	研发适用于石化企业制氢的煤制合成气成套技术	研发煤炭与天然气共气化技术	
	含在氨、甲醇、炼焦和电石	发展煤制油、煤制烯烃和煤制天然气	多联产技术和碳的分级利用技术
化工行业	淘汰落后产能, 使化工产品综合能耗达到或接近世界先进水平	开发自主知识产权技术, 降低成本和能耗, 发展循环经济	跨行业联产, 高效节能
	装置规模大型化, 高温除尘、脱硫技术	合成催化剂的开发	CO <sub>2</sub> 捕集与减排煤分级利用的大型化
	先进的节能技术, 高温除尘、脱硫技术	廉价催化剂的开发、合成过程关键设备的开发	煤分级利用技术的大型化研究
	余能、余热等节能技术的推广利用, 包括强化传热、烟气余热利用等技术	能量梯级利用技术, 包括低温余热回收技术	全系统能量优化利用技术
有色金属行业	淘汰落后、竞争力差的产能, 使有色技术产品综合能耗达到或接近世界先进水平	开发自主知识产权技术, 降到成本和能耗, 发展循环经济	跨行业联产, 高效节能
	新型节能技术, 低温余热高效回收技术	高效节能技术与装备	高效节能技术装备、全系统能量平衡与优化技术、CO <sub>2</sub> 捕集
	新型、先进的节能技术, 低温余热回收技术	全系统能量网络的模拟与仿真技术	全系统能量网络的模拟与仿真技术
	成熟节能技术推广(CDQ、TRT等)	二次能源回收及梯级利用, 钢厂制造流程能量最佳利用系统的集成	
钢铁行业	钢厂能源介质优化管理与高效利用	提高二次能源回收效率与回收量, 进一步降低能耗	
	二次能源回收新技术及其成套设备、转炉煤气极限回收关键技术	钢厂能源分配、平衡与优化	
	钢厂能源需求预测与调控	钢厂能量网络模型与仿真	

图 5 4 种重点高耗能行业煤炭清洁高效利用技术路线图  
注: CDQ 为干熄焦技术, TRT 为高炉炉顶煤气压差发电技术。

	近期(+5 a)	中期(+10 a)	长期(+20 a)
建材行业	新型干法水泥窑纯低温余热发电技术与新型干法水泥窑垃圾混烧代煤技术	新型干法水泥生产比重达到 100 %	
	降低水泥厂万元增加值能耗 20 % 提高新型干法水泥生产线吨熟料发电量	增加新型干法水泥窑垃圾混烧代煤的比重, 进一步降低水泥厂万元增加值能耗	
	新型干法水泥窑纯低温余热发电技术及垃圾焚烧厂和水泥厂的结合及其成套设备	配套设备技术成熟	
	高发电能力水泥窑余热发电关键技术	提高垃圾混烧代煤关键技术	
造纸行业	废纸浆占主要比例, 依赖进口废纸浆; 引进煤炭清洁高效利用技术、消化、吸收、国产化; 原料供给充足, 造纸能耗降低	废纸回收需进一步提高; 纤维原料供给仍紧张; 单位投资少, 单机产能大; 部分先机煤炭清洁高效利用方式的运用和推广	废纸浆与木浆等原料结构合理, 林纸一体化效益初现; 效率较高、运行可靠性高; 形成规模化生产的造纸产业基地
	工艺适应性强, 技术复杂, 品种繁多, 具有机、电、仪、计算机相结合的高新技术配套产品, 争取接近国际先进水平; 初步实现造纸产业的能量梯级利用	高质量, 高效率, 节能、降耗, 减排的纸浆设备; 实现起造纸行业的黑液、污泥高效、资源化利用	纤维原料供给充足; 大型纸浆造纸设备国产化, 产业布局合理, 区域热电冷三联供条件成熟, 包括原材料的整个造纸流程一体化, 部分超大型企业, 或者超大型产业园区聚集, 实现热电冷三联供、高效率能量梯级利用
	废纸回收系统不完善; 与现代高新技术关联度大、结合紧密, 应用基础性研究实验装置建设费用高、难度大, 技术开发性新装备中试生产线投入多; 造纸产业煤炭清洁高效利用科研平台搭建; 相关配套制度的保障	纤维原料利用率低, 水耗能耗大; 国内企业自主研发能力不高	林纸一体化规划不够完善, 林权制度需进一步改革; 建立造纸标准化产业链
	初步建立废纸回收系统, 降低进口原料依赖; 加快淘汰效率低下落后企业, 发挥高等学校和科研、设计院所作用, 加强人才培养和科技创新, 提高科技研发人员数量和纸浆造纸装备, 能过技术改造等, 提高能量梯级利用效率	适当调整产品结构, 完善废纸回收系统, 提高木材纤维利用率; 加大资金投入, 引进高新技术和高层次人才, 通过产学研、重大科技攻关等解决造纸行业煤炭清洁高效利用的关键技术; 建立示范基地, 同时对相关技术进行推广	推进林纸一体化, 提高国产木浆、回收废纸浆的比重; 大型制浆造纸项目的研制, 大型园区冷热电三联供的技术优化; 在全国推进造纸产业煤炭清洁高效利用新技术研发基地的建设, 规模化的推广造纸产业煤炭清洁高效利用技术
纺织行业	降低行业能源成本	发展高效节能技术	充分满足国民经济发展需求
	淘汰落后产能, 行业综合能耗达到或接近世界先进水平	开发自主知识产权技术, 充分降低综合能耗	实现产业现代化, 能量梯级利用
	设备智能化、大型化	热电联产, 能量梯级利用	行业标准化, 煤综合利用行业化
	高效节能设备产业化	先进节能技术, 余热回收技术	产业能量利用系统优化

图 6 3 种重点高耗能行业煤炭清洁高效利用技术路线图

起来的新型技术。煤和天然气进行耦合利用共气化, 不仅可以借助煤炭较高的含碳量有效调节合成气的氢碳比, 使之符合一般工业使用范围 ( $H_2/CO = 1.0 \sim 2.0$ ), 而且可以用煤气化多余的热量来补充天然气蒸汽转化所需要的热量, 进行能量耦合

利用, 有效降低整体能耗。

## 2. 二次能源高效转换技术

高耗能行业生产过程的余热、余压、余能资源非常丰富, 通过高效转换这些二次能源, 可以大幅度降低单位产品生产能耗和排污负荷, 提高煤炭能

源的利用效率。

在钢铁行业，工业生产中所用煤炭热值有 34% 左右转化为副产煤气（焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气）和生产过程中所产生的余压、余热和余能。据分析，钢铁企业所产生的二次能源量占钢铁企业总能耗的 15% 左右。利用二次能源回收技术，可以大幅度降低单位产品生产能耗和排污负荷，主要有：干熄焦技术、烧结合热梯级回收、高炉炉顶煤气压差发电技术和干法转炉煤气回收等技术、二次能源高效转换技术、高效热电联产技术、低温余热利用技术、固体炉渣余热利用技术等。

在建材行业，完全利用水泥生产的废气作为热源的纯低温余热发电，整个热力系统不燃烧任何一次能源，在回收大量的对空排放造成环境热污染的废气的同时，所建余热发电工程不对环境造成任何污染。代表性的技术有新型干法水泥窑纯低温余热发电技术。

在有色金属行业，冶炼过程的余热资源非常丰富，利用余热降低产品综合能耗的潜力很大。余热资源回收技术有：梯级回收和梯级利用技术，提高余热资源品位，提高余热回收工质利用率，减少新水耗量；采用余热汽轮机直接驱动大型风机等；将低温温差发电技术利用于有色冶金生产的余热回收，可进一步回收低温余热。

在造纸和纺织行业主要采用能量梯级利用技术，提高能源使用效率。能量梯级利用技术有：对生产过程中的蒸汽、用热等进行能量梯级利用；采用各种余热回收技术，如高品位余热余能用于发电，低温余热用于空调、采暖或生活用热；碱回收炉排气用于加热蒸煮木片，化学制浆过程的二次热能利用，预热木片磨木浆（TMP）的热回收利用，造纸机干燥部供热蒸汽的合理使用，烘干部热回收等。同时集中供冷与集中供热可以有效降低供冷与供热的能耗，实现煤的高效利用，达到节能降耗的目的。自备电站采用冷热电三联供，或者中小型企业采用区域集中的方式，建立区域集中冷热电三联供，可以有效提高电站的燃料利用效率。该技术发展主要包括两个方面：自备电站采用冷热电三联供、建立中小型企业区域集中冷热电三联供。

### 3. 高炉高效率喷煤及喷吹塑料技术

高炉喷煤技术是通过在高炉冶炼过程中喷入大量的煤粉并结合适量的富氧、达到节能降焦、提高产量、降低生产成本和减少污染的目的。随着炼焦煤资源的日益短缺以及环保要求的日益严格，高炉喷煤愈加显得重要，高炉大喷煤力求大幅度地降低焦比成为国内外钢铁企业不断追求的重要目标。因而必须提高高炉风口喷吹煤粉或其他燃料替代比。

高炉喷煤代替焦炭，减少了高炉炼铁对焦炭的需求，就可以使焦炉少生产焦炭或少建焦炉，从而减少对环境的污染。提高喷煤比的措施中，如高压、富氧、高风温有利于提高煤粉置换比，实现提高煤比。高炉风温每提高 100℃，高炉喷煤比提高 20~40 kg·t<sup>-1</sup>，高炉焦比降低 15~30 kg·t<sup>-1</sup>。氧含量升高 1%、增产 4.79%、降低燃料比 1%、可以多喷煤 10~15 kg·t<sup>-1</sup>。

高炉喷吹煤粉是炼铁系统结构优化的中心环节，是国内外高炉炼铁技术发展的大趋势。目前若干种喷煤工艺流程已经趋于成熟，近期内不会再有新的喷煤工艺出现，250 kg·t<sup>-1</sup> 以上的喷煤比仍将通过现有的喷煤工艺来实现。喷煤技术的研究重点将向长期高煤比、高利用系数和长寿化及开发进一步减排二氧化碳的方向发展。

### 4. 工业锅炉窑炉替代燃料混烧代煤技术

建材行业利用生活垃圾部分代替煤在水泥窑里焚烧具有优异的环保友好性，是生活垃圾便废为宝、最合适的办法。水泥窑的容积大、热容量高、窑内物料最高温度达 1550℃、气体最高温度达 1800℃。废料在窑内被焚烧 20 min 以上，其中的有害成分可得到充分的氧化、使之化解成无害物。燃烧后产生的烧结物在高温的作用下充分溶解，不留残渣，同时还能成为水泥原料，不影响水泥的质量。在“十一五”期间安徽海螺集团有限责任公司通过与日本川崎公司进行多次技术的交流、开发出具有自主知识产权的利用新型干法水泥窑处理城市垃圾系统。

造纸行业随着环保压力的不断增大，造纸厂产生的黑液、污泥需要厂区内处理，实现零排放。目前造纸污泥处理方法有：和页岩掺和制成新型墙体材料，用作替代部分燃料进行掺烧，做泥浆纸。而污泥掺烧以其减容性好，处理量大等优势，成为

目前造纸污泥处理的重要技术方向。

### (三) “十二五”期间各行业综合节能贡献度分析

从行业主要产品产量的预测值及节能目标值的数据,估算该高耗能行业的总节能量。图7为“十二五”期间高耗能行业的节能结构。在“十二五”期间,七大高耗能行业总的节能量达到约 $1.4 \times 10^8$ 吨标准煤,其中结构节能达到约 $0.627 \times 10^8$ 吨标准煤,约占45.1%;技术节能约达到 $0.607 \times 10^8$ 吨标准煤,约占43.5%;管理节能达到约 $0.16 \times 10^8$ 吨

标准煤,约占11.4%。可以看出,除了技术节能之外结构节能的贡献也同等重要。如在钢铁行业电炉炼铁的普及率从10%提高到20%就可节能 $1.7 \times 10^7$ 吨标准煤;随着工业化进程的加快,废钢资源会越来越多,炼钢炉多“吃”废钢,可以逐步降低铁钢比等,这也将为节能做出较大贡献。

“十二五”期间全国实现节约能源 $6.7 \times 10^8$ 吨标准煤,因此,上述七大行业结构节能、技术节能和管理节能所形成的 $1.4 \times 10^8$ 吨标准煤的节能量,在全国节能量中的贡献度达到约21%。

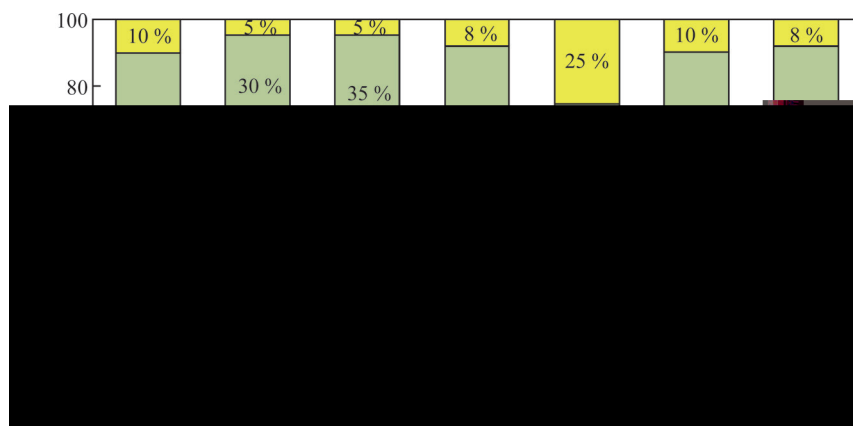


图7 “十二五”期间高耗能行业的节能结构

## 六、结语

本文以实现节能为目标,运用态势分析和技术路线图研究,对我国七大重点高耗能行业煤炭利用过程进行全面分析,得出以下结论。

(1) 突出了以节能为本的重要理念,强调了煤利用过程中节能对高耗能行业的可持续发展的重要作用。

(2) 七大高耗能行业所消耗的煤炭约占工业用煤的1/3以上,其中石化、钢铁、建材和化工行业的煤炭消耗占七大行业的90%,应成为重点节能对象。

(3) 七大高耗能行业凝练出四个重要的技术方向:煤气化及煤-天然气共气化制备合成气技术;二次能源高效转换技术;高炉高效率喷煤及喷吹塑料技术;工业锅炉窑炉替代燃料混烧代煤技术。然后绘制了重点节能技术路线图。

(4) 在行业的节能结构中除了技术节能,结构

节能(产业结构)的贡献也同等重要,约占总节约能量的45%左右。

(5) 应挖掘技术节能、结构节能和管理节能等三方面的节能潜力。在具体政策的保障下,到“十二五”末期,七大高耗能行业总节约能量达到约 $1.4 \times 10^8$ 吨标准煤,对全国节能目标的贡献度达到21%。

### 参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [2] 国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [3] 闵剑. 煤制氢在炼厂中应用的技术经济分析. 当代石油和石化[J]. 2010, 9: 27-19, 39.
- [4] 欧阳朝斌, 宋学平, 郭占成, 等. 天然气-煤共气化制备合成气新工艺[J]. 化工进展, 2004, 23(7): 751-754.
- [5] 梁龙虎. 跨行业联产是煤化工产业发展的高效节能之路[J]. 石油和化工节能, 2009(6): 4-8.
- [6] 尚建选, 王立杰, 甘建平. 大型煤制烯烃循环经济示范项目的特点和节能减排效果分析[J]. 化学工业, 2010, 28(7): 39-42.
- [7] 李盼, 李亚光. 金属镁冶炼中的高温废气余热回收[J]. 能源技术, 2007, 28(5): 304-306.
- [8] 张文海, 汪金良. 有色重金属短流程节能冶金产业技术发展方

- 向[J]. 有色金属科学与工程, 2010, 1(1): 11-14.
- [9] 蔡九菊. 中国钢铁工业能源资源节约技术及其发展趋势[J]. 世界钢铁, 2009, 4: 1-13.
- [10] 陈丽云, 张春霞, 许海川, 等. 钢铁工业二次能源产生量分析[J]. 过程工程学报, 2006, 6(1): 123-127.
- [11] 刘浏, 干勇, 张江铃, 等. 钢铁联合企业能源循环利用的分析研究[J]. 钢铁, 2006, 41(6): 1-4.
- [12] 宋新南, 宋爽. 城市污泥垃圾与煤炭混烧处理技术的新进展[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(4): 38-41.
- [13] 李宇鑫. 水泥工业纯低温余热发电的现状与展望[J]. 锅炉制造, 2007, 1: 4-6.
- [14] 房桂干. 我国造纸工业节能减排现状和应采取的对策[J]. 江苏造纸, 2007, 4: 13-21.
- [15] 邝仕均. 制浆造纸工业的节能技术[J]. 中国造纸, 2010, 29(10): 56-63.
- [16] 林琳. 印染行业节能减排现状及重点任务[J]. 印染, 2008, 2: 40-43.
- [17] 刘丽丽, 李义民, 晁会云. 山西纺织企业管理创新探讨[J]. 管理观察, 2008, 25: 60-61.
- [18] 安静, 薛向欣. 高炉-转炉钢铁生产流程环境影响研究[J]. 钢铁, 2011, 46(7): 90-94.
- [19] 姜睿, 王洪涛. 中国水泥工业的生命周期评价[J]. 化学工程与装备, 2010, 4: 183-187.
- [20] 张有国. 煤化工产品能耗分析与思考[J]. 石油和化工节能, 2011(2): 3-6.