

引用格式: 赵建安, 钟帅, 沈镭. 中国主要耗能行业技术进步对节能减排的影响与展望[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2211-2222.
[Zhao J A, Zhong S, Shen L. Impact and prospect of technical progress in China's major energy intensive industries on energy conservation and emission reduction[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2211-2222.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.01

中国主要耗能行业技术进步对节能减排的影响与展望

赵建安^{1,2}, 钟 帅^{1,2}, 沈 镭^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 在中国能源消费规模不断增长背景下, 实现2030年中国对世界的节能减排承诺, 只有两个基本路径: ①通过产业结构调整优化能源消费结构, 实现静态节能减排; ②通过科技创新与技术进步, 降低单位能源消费碳排放因子, 实现动态节能减排。动态节能减排主要包括三个方面: ①通过全面系统化工程技术的创新与进步, 增加核能、水能、风能、太阳能、地热能等各类低碳能源供给; ②主要耗能产业部门技术装备革新, 进一步提高化石能源氧化因子, 提升能源消费转换效率; ③通过新材料开发和工艺技术进步, 增加低碳原材料替代和消费规模。本文主要针对电力、钢铁和建材等高能耗原材料、交通运输、建筑四大能源消耗领域及产业部门, 基于上述动态节能减排的三个层面探讨至2030年时序节点时的节能减排前景。基本结论是: 至2030年, 技术进步能够对促进节能减排发挥重要作用, 但难以产生革命性影响。

关键词: 主要耗能行业; 技术进步; 节能减排; 中国; 展望

DOI: 10.18402/resci.2017.12.01

1 引言

2015年6月中国政府正式发布了《强化应对气候变化行动—中国国家自主贡献》文件, 承诺到2030年, 单位GDP二氧化碳排放比2005年下降60%~65%, 非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右, 森林蓄积量比2005年增加450亿m³左右^[1]。2016年9月3日在G20杭州峰会上, 习近平主席正式向联合国提交了气候变化《巴黎协定》批准文书, 向世界做出了新的庄严承诺, 并强调: “中国是负责任的发展中大国, 是全球气候治理的积极参与者。中国将落实创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念, 全面推进节能减排和低碳发展, 迈向生态文明新时代”^[2]。

应对气候变化的关键着力点之一在于推动主要耗能行业实现大幅度的节能减排。国内外关注气候变化与减排策略的研究已经认识到电力、钢

铁、水泥、交通运输、建筑等主要耗能行业技术变化及其产品生命周期变化对于碳排放变化存在重要影响。近10年来, 荷兰、美国、爱尔兰、挪威、中国等国家纷纷开展了高耗能产业技术发展及其产品生命周期研究。例如, 研究钢铁和水泥等基础原材料使用存量变化趋势及其影响因素^[3-5]、能源消耗与碳排放^[6,7]、水泥行业生产工艺的碳排放因子测算等^[8-11]。其中, 关注中国的研究由于缺乏对高耗能行业实际技术情况及其变化趋势的系统考察, 造成了两个问题: 一是在微观分析上采用国际通用技术参数可能难以评判中国企业碳排放的真实情况; 二是宏观上常常高估了中国高耗能行业碳排放而不利于合理规划中长期碳减排政策目标以及相应措施的改进和完善。

在中国尚未完成工业化与城镇化, 能源消费规模仍将进一步增长背景下, 要实现到2030年中国对

收稿日期: 2017-09-07; 修订日期: 2017-11-05

基金项目: 中华人民共和国科学技术部2016年国家重点研发计划项目(2016YFA0602800); 国家自然科学基金重点基金项目(71633006); 国家自然科学基金青年基金项目(41501604)。

作者简介: 赵建安, 男, 山西洪洞人, 研究员, 主要从事资源开发利用与区域经济发展研究。E-mail: zhaoja@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 钟帅, E-mail: zhongshuai@igsnrr.ac.cn

世界的节能减排承诺,只有两个基本实现路径:一是通过产业和能源消费结构调整,缓解增长幅度与速率,实现静态节能减排;二是通过科技创新与技术进步,缓解能源消费增长幅度和降低单位能源消费碳排放因子,实现动态节能减排。动态节能减排主要包括三个方面:(1)通过全面体系化工程技术的科技创新与技术进步,增加核能、水能、风能、太阳能、地热能等各类清洁能源有效供给与低碳化石能源替代;(2)主要耗能产业部门技术装备革新,进一步提高既有化石能源氧化因子,从而提升能源消费转换效率;(3)通过新材料开发和工艺技术进步,增加低碳原材料替代和消费规模。本文将对中国主要耗能部门到2030年实现动态节能减排的技术进步方面的可能发展路径开展分析和讨论。

2 主要耗能行业的辨析与选择

2.1 中国能源消费结构与主要耗能行业判定

进入21世纪,中国能源消费呈现快速增长态势,尤其是在2003年以后,重型化的产业规模扩张与产业结构演进,使中国能源消费量在2016年达到了436亿tec^[12],为2000年能源消费量的2.97倍和2010年的1.21倍,同期全国能源生产总量从2000年的139亿tec增长到2010年的312亿tec和2016年的346亿tec,生产总量净增长208亿tec;同时,由于中国常规化石能源资源以煤炭为主,虽致力于水能、风能、太阳能等清洁能源开发利用,但多年来煤炭消费高居不下,到2016年一次能源消费结构煤炭仍占62%^[12,13]。

近年来因中国经济增长减速使能源消费增幅减缓,但作为全球制造业大国的工业能源消费依然占据高位,工业能源终端消费一直在68%以上(参见表1)。

从工业行业能源消费来看,火力发电、黑色金属冶炼、有色金属冶炼、非金属矿物制品、化学原料及化学制品等能源转换和原材料加工业是工业部门中的耗能大户。鉴于有色金属和化学原料及其制品业涉及门类较为复杂,且以电力消费和以煤炭、天然气等能源为原材料,在此仅以火电、黑色金属(钢铁生产)、非金属矿物制品业(水泥生产)为主要分析对象。2000年以来,三大行业占工业能源消费比重合计一直在40%以上(加上电力生产煤炭消耗将占75%以上)。但近年电力热力生产供应业占比相对下降,煤炭消费量也在同步下降,表明钢铁、水泥这类原材料行业仍然是工业能源消费的主要行业;同时电力热力生产供应业自身能源消费在下降,因水电、风电、光伏、核电等装机规模与发电量的增长,以煤炭为原料的火力发电及热力生产的比重也在降低(参见表2,图1)。

相关研究表明,中国目前建筑能耗包括建筑生产和使用的全过程(广义能耗),一般建筑能耗(施工、供热、供暖、制冷、照明等)占到全部能源消费的

表2 2000–2014年中国电力、黑色金属、非金属制品行业能源消费结构

Table 2 The energy consumption percent of electric power and metal and non-metal production sectors in China from 2000 to 2014

能源消费结构	2000年	2010年	2014年
工业能源消费量/万tec	89 634	231 101	295 686
黑色金属冶炼能耗比重/%	18.74	24.90	23.45
非金属制品业能耗比重/%	11.27	11.98	12.38
电力热力生产供应能耗比重/%	10.81	9.77	8.71
电力热力生产煤炭消费比重/%	44.13	48.41	42.78

注:①根据国家统计局在线公开数据库“国家数据”(http://data.stats.gov.cn/)整理;②电力热力生产煤炭消费量为加工转换消费量占全部煤炭消费比重。

表1 2000–2015年中国工业、交通运输等终端能源消费结构

Table 1 The energy end-use consumption percent of industry and transportation in China from 2000 to 2015

能源消费结构	2000年	2005年	2010年	2014年	2015年
能源终端消费量/万tec	140 476	250 877	337 469	413 162	430 000
工业消费量/万tec	96 871	177 775	238 652	283 420	292 276
交通运输等消费量/万tec	11 447	19 136	27 102	36 336	38 318
工业消费比重/%	68.96	70.86	70.72	68.60	68.00
交通运输等消费比重/%	8.15	7.63	8.03	8.79	8.91

注:①根据国家统计局在线公开数据库“国家数据”(http://data.stats.gov.cn/)整理;②2015年数据为能源消费量。

2017年12月

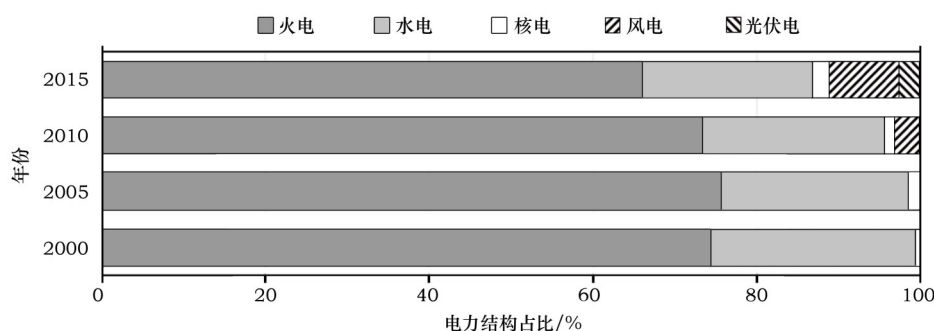


图1 2000~2015年中国电力生产结构变化

Figure 1 The structure change of electric power product in China from 2000 to 2015

20%~30%^[14,15],其中90%以上是建筑使用过程能耗,以电力消费方式为主,故建筑能耗的技术节能减排亦是本文考察和分析的重要内容。

综上,本文所分析和讨论的主要对象将集中于火电、钢铁、水泥、交通运输和建筑等五大重点耗能行业节能减排的技术进步。

2.2 技术进步的节能减排路径

实现节能减排的主要途径可概括为结构性节能、技术节能、管理节能三个方面,进一步可将实现节能减排的路径划分为存量和增量两个方面^[16]。存量节能减排是指通过调整产业结构、压缩市场需求,直接降低各产业部门生产规模,以减少化石能源及整个能源的消费量所产生的节能减排量,而增量节能减排是指通过科技创新和技术进步,以清洁能源替代化石能源,降低技术装备和单位产品能耗所节能的减排量。

从中国的现代化进程分析,存量节能减排只有在基本完成工业化与城镇化后,对钢铁、水泥等各类原材料的市场刚性需求达到峰值期才能出现,预计中国即将在2020年左右出现这一格局。而增量不受刚性市场需求限制,只要技术成型,并具有产业化的经济可行性,并加以一定的政府举措即可推进实施。可将增量节能减排技术进步划分为供给与需求两种类型(见图2)。本文针对火电、钢铁、水泥、交通运输和建筑等产业和部门实现两类增量节能减排技术分别进行潜力的讨论和分析。

2.3 产业技术进步节能减排潜力

对于判断主要高耗能产业是否通过技术进步实现节能减排,以及通过技术进步所产生的产业技

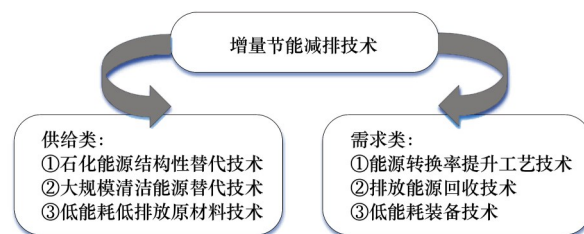


图2 增量节能减排技术类型

Figure 2 Types division of incremental energy-saving emission reduction technology

术进步潜力,在此以数学公式表达为:

$$a_i = (a_{i, \text{静}} + a_{i, \text{动}}) \quad (1)$$

公式(1)是将 a_i 分解为静态节能减排 $a_{i, \text{静}}$ 和动态节能减排 $a_{i, \text{动}}$ 后 i 产业碳排放量 t 年之后的累积变化率(或累积增长率)。

$$a_{i, \text{静}} = \frac{\prod_t gC_i(t)}{\prod_t gQ_i(t)} = \prod_t \frac{gC_i(t)}{gQ_i(t)} \quad (2)$$

公式(2) $\prod_t gC_i(t)$ 与其产值在同样年份之后的累积变化率(或累积增长率) $\prod_t gQ_i(t)$ 之比的乘积,也可以表示为 i 产业的碳排放量变化率与其产值的变化率的比值在 t 年之后的累积变化率。

$$a_{i, \text{动}} = \prod_t \left[\sum_j a_{ij}(t) \right] \quad (j=1,2,3,4,5,6) \quad (3)$$

公式(3)则表示 i 产业动态节能减排的贡献 $\alpha_{\text{动}}$ 是由该产业 j 类特定技术的减排效应 a_{ij} 之和在 t 年之后的累积效应过程。

其中,按照之前的划分, j 共分为6类技术。

通过测算不同产业的不同技术进步类型,就能

获得各个产业部门在各阶段结构变化技术进步潜力综合参数。

3 主要耗能工业节能减排技术进步分析

3.1 电力工业

自2011年中国一直占据全球最大电力生产国位置,2015年全国电力总装机规模达14.83亿kW,全年发电量601万亿kW·h,分别占全球总量24.73%和25.98%^[17]。作为全球最大电力生产与消费国,中国人均电力装机和用电量均超世界平均水平^[18]。但因资源限制,以煤为主的火力发电依然占据主导地位,成为中国碳排放最大的产业排放来源。近年来中国水电、风电、太阳能电等清洁能源装机规模大幅度增长,2016年全国16.46亿kW·h装机总量中,水电、风电和太阳能电已分别占到20.18%、9.03%和4.70%;598 970亿kW·h的电力生产总量中,水电、风电和太阳能电分别占19.71%、4.02%和1.11%^[19],火电生产量仍占据71.60%主导地位。虽然水电、风电、太阳能电等呈现出较快的发展态势,但以煤为主的火电建设仍呈高增长态势,2017年国家能源局为煤电规划建设发出警示,全国一半省区煤电规划建设主要指标处于“红色”或“橙色”预警之中^[20]。

电力生产需要成为未来国家节能减排目标实现的主要产业部门之一。在技术进步方面,近年来中国电力产业部门的技术进步呈现出较快的提升格局,但总体上未呈现出重大节能减排的技术进步态势,尤其是化石能源替代的产业化技术,如可燃

冰、核聚变、液态氢等系统集成技术,均难以在2030年前实现产业化。在供给类技术进步方面,主要是风电、太阳能电灯大规模清洁能源替代技术进步较为活跃,但如果大规模风光电集能与储能技术不能实现重大突破,火力发电的高比重就难以调整;在需求类技术进步方面,主要是能源转换率提升的工艺技术、低能耗装备技术等方面亮点较多(表3)。

电力生产行业节能减排在技术进步方面的综合性考量指标,是火电生产供电煤耗的进一步下降。自2001年以来,中国年均供电煤耗已下降近70g/(kW·h),2016年6000kW及以上电厂平均供电煤耗已下降到312g/(kW·h)^[19,21],与按国别划分的世界先进水平差距不大,按工厂级别划分的先进水平(280g/(kW·h))尚有32g或10%左右的差距。

因此,如果中国电力生产不能实现以煤为主的化石能源消费电力生产转型,即化石能源替代实现革命性的技术进步,则在中国电力生产中,主要依靠技术进步实现节能减排恐难实现。到2030年,以现有电力生产的技术进步水平,中国电力生产的技术进步节能减排潜力不会超过20%。

3.2 钢铁工业

中国是世界最大钢铁生产国,2015年全国粗钢产能11.3亿t^[22],虽然中央政府全面推进钢铁、煤炭去产能,但2016年粗钢有效产能却净增3659万t^[23],达11.67亿t;同年粗钢产量8.08亿t,占全球49.64%。仅在2011—2015年,中国累计产钢量就达到38亿t^[24]。而在2000年时,中国粗钢产量为1.28亿t,虽位居第一,但仅占世界的15.24%。同期中国

表3 电力生产行业节能减排技术进步主要类型与领域

Table 3 The main types of technical progress of energy conservation and emission reduction in electric power sector

供给类			需求类		
化石能源结构替代技术	清洁能源替代技术	低能耗低排放技术	能效提升工艺技术	排放能源回收技术	低能耗装备技术
①增压流化床联合循环发电技术(IGCC-PFBC);②节油点火技术;③CP1000与CP1400核电技术	①分布式风光互补发电技术;②规模化光热发电技术;③磁悬浮风力发电技术;④大规模风光电集能与储能技术;⑤水力梯度发电智能联合调度技术;⑥新型储能材料技术	①脱硫技术(旋转喷雾、炉内喷钙、电子束照射、NID法);②脱硝技术(低NO _x 燃烧、烟气脱硝、液体吸附、微波、微生物法等);③除尘技术(惯性除尘、旋风除尘、静电除尘法等)	①高参数、超临界机组燃烧技术;②高参数、超临界机组燃烧技术;③热电联产改造技术;④常压流化床联合循环发电技术(AFBC);⑤智能电网技术	①电站锅炉排烟余热综合技术;②除氧器余汽回收技术	①空气预热器改造技术;②风机节能改造技术;③汽轮机本体与辅机防风防漏改造技术;④电器变频调速技术

注:根据相关节能减排技术集成。

2017年12月

钢铁工业吨钢综合能耗从2000年的784kgec/t,下降到2015年572kgec/t^[24,25],中国钢铁工业吨钢综合能耗已接近世界先进水平。

钢铁工业因过大产能正成为国家“三去一降一补”重点行业,淘汰落后产能也成为节能减排的重要内容;同时,业界预测中国钢铁消费需求已达峰值,2020年后将呈下降趋势,预计2030年钢材实际消费量为4.92亿t(折合粗钢表观消费量5.18亿t)^[26]。由此亦成为中国钢铁工业存量节能减排的主要途径。

中国钢铁工业产能快速扩张同时伴随着技术装备的全面进步。2015年1000m³及以上级别高炉已占72%,100t以上转炉(电炉)占比超过65%,高炉自动化程度和炉龄全面提升,连铸比接近100%,主要钢铁生产企业技术装备水平基本达到国际先进水平^[26],相应的节能减排技术进步举措,在主要钢铁生产企业已得到不同程度应用。因此,未来从技术装备层面实现节能减排的空间越来越小。

实现大幅度节能减排的一项重要举措是降低铁钢比。据现有研究,中国目前铁钢比为0.90左右,要比世界平均水平高出0.24,也比中国以外的各国平均铁钢比水平高0.38。仅此一项,中国吨钢综合能耗就比工业发达国家高出(80~100)kgec/t^[27]。按照国务院发布的《“十三五”节能减排综合工作方案》,到2020年吨钢综合能耗要下降到560kgec/t^[27]。如果到2030年前中国钢铁产能依然以长流程(高炉-转炉)为主,而淘汰落后产能的同时大容量高炉规模不断扩张,铁钢比将居高不下,铁矿石、电价定价机制也不利于废钢电炉钢发展,加之国内废钢资源相对短缺,而且废钢资源也是发达国家钢铁工业争夺的重要原料^[28,29]。通过提高电炉炼钢比重,以

降低铁钢比的前景不容乐观,估计到2030年铁钢比可能降低到0.8左右(参见表4)。

综上,到2030年以前中国钢铁工业通过技术进步实现较大幅度的节能减排预计难以实现。预计依靠技术进步实现节能减排,进一步降低吨钢综合能耗的潜力只有10%左右(参见表4)。

3.3 水泥工业

中国也是世界最大水泥产能与生产国。2016年中国水泥熟料产能18.3亿t,新型干法水泥生产线累计达到1769条^[30],熟料实际总产能为20.22亿t,熟料产量13.76亿t,水泥产量24.03亿t^[31],产能、产量近年来一直占全球55%~60%,多年稳居全球第一位^[32]。作为工业化与城市化基本材料,水泥行业规模扩张在时间上与钢铁同步,即大规模扩张于2003年前后。同期也是水泥节能减排取得较大成效时期,吨水泥综合能耗从2000年168kgec/t^[33,34],到2015年下降到93kgec/t,吨水泥熟料综合能耗下降到112kgec/t^[25,35,36]。与世界水泥生产先进能耗水平比较,尚有(10~15)kgec/t的下降空间。

水泥行业也是国家“三去一降一补”重点行业。但在淘汰落后产能同时,通过更新改造、上大压小实际产能仍在增长,按实际产能计算的产能利用率只有68.05%,而合理的产能利用率至少要压减40亿t熟料产能;同时,近年水泥市场已表明,中国水泥消费需求已处在峰值“平台期”^[31],水泥总产量在2020年将进入到下降期,到2030年将进一步下降。据有关专家测算,到2030年中国水泥需求量将下降至10亿t以下^[37,38]。故中国水泥生产量下降是大势所趋,存量节能减排将是到2030年前中国水泥行业的主要途径。

表4 钢铁生产行业节能减排技术进步主要类型与领域

Table 4 The main types of technical progress of energy conservation and emission reduction in iron and steel sector

供给类			需求类		
化石能源结构替代技术	清洁能源替代技术	低能耗低排放技术	能效提升工艺技术	排放能源回收技术	低能耗装备技术
①块矿炼铁技术(熔融还原炼铁技术);②纳米微米节能材料技术;③高炉喷煤助燃剂技术	①高炉喷吹废旧塑料替代碳还原技术;②干熄焦燃烧技术;③蓄热式燃烧技术;④清洁电源利用提升技术	①微波炼铁技术-无碳炼铁工艺技术;②富氧燃烧技术;③转炉干法除尘技术;④降低烧结漏风技术	①高炉低温快速还原反应工艺技术;②氧化铁H ₂ 还原技术和炉顶煤气CO ₂ 分离技术;③热轧连铸比综合技术	①高炉煤气回收发电技术;②高炉冲渣水余热回收技术;③转炉煤气回收技术;④烧结余热利用技术	①风机节能改造技术;②电器变频调速技术

注:根据相关节能减排技术集成。

与钢铁工业相似,生产规模扩张同时水泥生产技术装备亦同步提升,到2016年熟料生产线平均产能超过1100t/d^[30],基本为新型干法生产工艺,新建和改造生产线最低标准产能为2500t/d,5000t/d配备9000kW和2500t/d配备4500kW低温余热发电为常态,部分生产线已处于国际乃至领先水平,通过成套技术装备更新改造实现节能减排的空间越来越小。

因中国水泥生产基本以水泥用石灰岩为主要原料,在产水泥基本为硅酸盐水泥,烧成窑基本燃料为煤,故水泥生产是典型的原料和燃料“双排放”,且原料碳排放大于燃料。目前水泥生产技术节能减排主要是从两个方面着手,燃料方面主要是通过增加协同处置技术,加大对城市垃圾和工业废弃物综合利用,以主要减少燃料,部分减少辅助原料;原料方面主要尽可能采用“四组份”配方,添加铁尾渣、高炉尾渣、转炉电炉尾渣、电石渣等,以降低石灰岩在原料中比重。从水泥生产现有技术体系判断,未来“两磨一烧”基本生产工艺,燃料以煤为主,原料以水泥用灰岩为主的基本格局将不会改变(参见表5);同时,预计到2030年通过现有成熟技术,实现技术进步的潜力将在15%左右。

4 交通运输行业节能减排的技术进步分析

与主要耗能工业不同,交通运输行业在规模上总体呈现持续增长态势。2011年以来,除全社会客运量因2013年公路客运量统计口径调整出现下降外,全社会客运周转量、货运量和货运周转量均呈现增长态势^[39]。因运输方式之间产生的运输量及周转量结构性变化,虽部分运输方式如全国铁路货物

发送量和货物周转量在近年下降,但铁路客运量却连年增长^[40]。中国已进入高铁运输时代,高铁成为居民国内中远距离出行主要选择方式,2011年至2016年全国铁路客运量从186亿人次增长到281亿人次,而同期铁路货运量则从393亿t下降到333亿t,货运周转量从294 658亿t·km下降到237 923亿t·km,表面成因是煤炭、矿石等大宗货运需求的下降,深层原因是中国经济结构正在发生变化,主要能源、原材料工业空间布局更趋合理,大宗煤炭、矿石来源日趋国际化和多样化,运输方式之间的竞争所致(如水运与铁路货物运输之间、管道运输与铁路货物运输之间、特高压电力输送与铁路煤炭运输之间等)。

上述格局表明,交通运输节能减排的主要路径在总体上不是存量节能减排(除部分运输方式市场需求下降外),主要需从增量节能减排,即将科技创新与技术进步作为节能减排的主要路径。因运输方式不同导致节能减排的基础性指标较为复杂,故技术节能减排的考量需分别考察不同运输方式的主要单位能耗(参见表6),再将不同运输方式单位能耗进行无量纲化处理。表6还反映出一个较为直观的现象:因运输装备的能源消费方式和额定功率预先在制造环节已确定,使用过程中交通运输装备的单位能源消耗,很难在技术进步方面产生较有前景的节能减排效果。预计由此产生的技术进步节能减排潜力到2030年不会超过5%,如果加上供给侧的技术进步,由此产生的潜力将达到20%左右。

由于交通运输实现技术进步节能减排,涉及到基础设施(轨道、道路、管道)建设与维护,运输装备制造与维护,运输过程与组织管理3个方面,尤其与

表5 水泥生产行业节能减排技术进步主要类型与领域

Table 5 The main types of technical progress of energy conservation and emission reduction in cement product sector

供给类			需求类		
化石能源结构替代技术	清洁能源替代技术	低能耗低排放技术	能效提升工艺技术	排放能源回收技术	低能耗装备技术
①农业、工业、交通运输等行业废弃油等燃料替代技术;②城市垃圾衍生燃料协同处置技术	①纯低温余热发电技术;②生物质燃油点火替代技术	①预分解窑外循环高固气比悬浮预热技术及NO _x 燃烧减排技术;②粉尘回收材料技术;③混合材替代技术	①原料辅料超细预粉磨技术;②在线料耗、能耗数据采集分析集成技术;③回转窑喷煤富氧燃烧技术;④工业废渣、污泥等辅助材料协同处置技术	①旋转变余热回收技术;②多次送风及余热回收技术	①技术装备产能协同技术;②新型蓖式冷却机技术;③高效辊压机、球磨机联合应用技术;④各类电器变频调速技术

注:根据行业相关节能减排技术集成。

2017年12月

表6 2013—2016年不同运输方式主要单位能耗指标变化

Table 6 Key energy consumption unit indicator in different transportation types from 2013 to 2016

运输方式及能耗	2013年	2014年	2015年	2016年
铁路单位运输工作量综合能耗 (9tec/(万t·km))	463	455	471	471
城市公交/(tec/万人次)	1.5	1.4	1.5	1.6
城市公交/(kgec/(百车·km))	47.6	48.1	48.9	48.5
公路客运/(kgec/(千人·km))	11.6	12.1	12.6	14.5
公路客运/(kgec/(百车·km))	-	29.3	28.7	29.7
公路货运/(kgec/(百t·km))	1.9	2.0	1.9	1.8
海洋货运/(kgec/(千t·nmi))	5.9	5.1	5.2	5.0
港口装卸/(tec/万t)	2.9	2.7	2.6	2.5
民航运输/(kgec/(t·km))	-	-	0.432	0.431

注:根据交通运输部在线发布的相关数据整理汇集(<http://www.mot.gov.cn/shuju/>)。

交通运输设施建设和运输装备制造高度相关。因此,积极推进国家现代综合交通运输体系和交通运输生态文明的建设与发展,贯彻落实节能减排综合方案^[25,41,42],从建设与制造环节(供给侧)强化科技创新和技术进步,提供清洁高效的设施与装备更为重要(参见表7)。

5 建筑节能减排的技术进步分析

与交通运输行业相似,由于中国城镇规模持续扩张,建筑行业能耗呈现出快速增长态势。虽然建筑施工建设过程的能耗占比近年来有所下降(建筑业能耗占全部能源消费从2010年的1.92%下降到2014年的1.77%),但消费总量却从6226万tec增长到7519万tec。而建筑使用过程消费比重90%以上的建筑过程能耗因面积规模而持续扩大。有研究

显示,中国北方城镇集中供热面积从2001年的14.60亿m²增长到2013年的55.66亿m²^[43];同时,建筑过程能耗因隐含在生产、消费各个行业以及居民生活消费中,使得能耗数据很难准确的掌握。

相关专业的典型抽样调查数据推算与研究成果表明,中国建筑能耗已占全国能源消费较高比重。中国建筑节能协会发布的《中国建筑能耗研究报告(2016)^[44]》称,2014年中国建筑能源消费总量81.4亿tec,占全国能源消费总量的19.12%,其中公共建筑能耗32.6亿tec,城镇居住建筑能耗30.1亿tec,农村建筑能耗18.7亿tec^[5]。清华大学建筑节能研究中心发布的研究成果认为中国民用建筑运行能耗占全国总能耗比例一直维持在20%~25%;2013年中国居住建筑面积为4460亿m²,总民用建筑面积为5450亿m²;至2013年末,全国城镇累计新建建筑节能建筑面积880亿m²,约占城镇民用建筑面积的30%,共形成8000万tec节能能力^[45]。但也有研究认为2015年建筑能耗已占到能源消费总量的27.45%,即有约5000亿m²建筑中97%属于高能耗建筑^[46]。总体上,相关研究以及国家有关规划、标准均认为中国建筑节能减排潜力较大^[43,45-47]。到2020年,从新建建筑和既有建筑改造两方面入手,中国建筑节能具有10亿tec的节能能力^[47,48]。

不管是哪一类建筑(公共建筑、民用建筑、公共设施等),其能耗均可落实到面积上,因此,以建筑单位能耗的年均降低水平可以视为技术进步节能减排(包括管理方面)的成效。只不过需要先分区域分类别(北方城镇采暖、公共建筑、城镇住宅、乡

表7 交通运输行业节能减排技术进步主要类型与领域

Table 7 The main types of technical progress of energy conservation and emission reduction in transportation

供给类			需求类		
化石能源结构替代技术	清洁能源替代技术	低能耗低排放技术	能效提升工艺技术	排放能源回收技术	低能耗装备技术
①高效燃料油替代技术; ②高密度车用、船用液化 燃气制造储存技术	①清洁能源转换装 备技术;②氢燃料 大规模制备技术; ③清洁能源快速换 装技术	①高效车用、机车、船 用、飞行器发动机装备 制造技术;②高效电动 混动成套运输装备制造 技术;③轻量化运输装 备材料技术;④低能耗 运输装备设计技术;⑤ 低能耗运输基础设施材 料技术	①交通枢纽客货高效 运输转换技术;②多 式联运组织与集约化 物流运行技术;③城 市智能交通运输空间 管理技术;④城市空 间高效利用站场设施 运行技术	①港场站废油废热 回收技术;②港场站 污染物处置技术	①高能耗运输装备 协同处置技术;②高 能耗运输装备监管、 淘汰运行技术;③既 有运输装卸设备“油 改电”技术;④运输 基础设施管理装备 低能耗技术

注:根据行业相关节能减排技术集成。

表8 建筑节能减排技术进步主要类型与领域

Table 8 The main types of technical progress of energy conservation and emission reduction in building energy saving

供给类			需求类		
化石能源结构替代技术	清洁能源替代技术	低能耗低排放技术	能效提升工艺技术	排放能源回收技术	低能耗装备技术
①高效热电联产替代技术;②各类燃气(煤层气、瓦斯气、天然气等)替代煤供热技术;③水-气联合循环蓄能技术	①地热能建筑持续供热技术;②城乡分布式建筑风光互补供热制冷技术;③清洁能源建筑蓄能技术;④水热能源替代供热制冷技术	①新型保温节能轻型墙体材料制造技术;②新型保温节能墙体涂料制造技术;③城乡社区布局规划与节能民用、公共建筑设计集成技术;④建筑垃圾回收再利用技术;⑤建筑施工节能集成技术;⑥低能耗照明与电器设备制造技术	①既有公共建筑节能改造集成技术;②既有小区与民用建筑近零耗绿色节能改造集成技术;③公共建筑智能使用节能管理技术;④北方不同区域供热采暖节能改造技术	①工业余热回收与建筑供热耦合节能技术;②谷电-冰水蓄能耦合节能技术	①公共建筑高能耗电机电器节能变频改造技术;②民用建筑集中供热监控节能改造技术;③公用设施与建筑节能改造集成技术

注:根据行业相关节能减排技术集成。

村住宅)核算单位面积能耗,再进行集成。而所需运用到的技术类型主要在表8中集中表达。

相关研究成果显示,通过技术进步实现建筑能耗的节能减排依然具有较大潜力。预计中国建筑节能到2030年在技术进步方面可产生25%~30%的单位面积能耗年均下降水平,建筑节能减排目标通过技术进步来实现的占比在75%左右。

6 结论与讨论

通过对工业生产领域的电力、钢铁、水泥生产和交通运输、建筑5个方面的分析,在当前中国经济与社会正在进行持续转型发展的大背景下,科技创新与技术进步将在到2030年的节能减排进程中发挥重要作用。其相关结论与讨论如下:

(1)到2030年的中国节能减排目标实现进程中,因能源科技创新和技术进步难以在产业领域实现革命性变化(如可燃冰、核聚变产业化等),故难以形成对煤炭、石油等化石能源消费的大规模替代,技术进步的贡献将不会起到决定性作用。

(2)因中国工业化的峰值将在2020年前后实现,钢铁、水泥在2020年以后出现总量需求下降,且下降幅度较大,导致静态节能减排或存量节能减排的潜在在规模上要高于科技创新与技术进步(包括管理在内,下同)所产生的节能减排潜力。

(3)由于中国电力、钢铁、水泥生产技术装备和技术水平在总体上已接近世界先进水平,通过技术进步实现节能减排的潜力将是有限的,预计技术进步对2030年的三大行业节能减排贡献率大致在

10%~20%之间。

(4)技术进步作为增量节能减排或动态节能减排,在交通运输领域的节能减排贡献将高于存量,但主要取决于供给类的技术进步格局,预计只考虑需求类技术进步的状态下,所产生的行业节能减排贡献率只有5%左右,加上供给类技术进步(制造业领域)的贡献率将达到20%左右。

(5)因建筑规模与总面积的绝对扩张,存量节能减排(有效撤除建筑面积)在建筑节能方面的贡献相对有限,而主要需通过技术进步来实现,依据中国当前建筑节能态势和技术进步的能效和作用,技术进步在建筑节能领域的贡献率将达到75%左右。

参考文献(References):

[1] 新华社. 强化应对气候变化行动—中国国家自主贡献[EB/OL]. (2015-06-30), http://news.xinhuanet.com/2015-06/30/c_1115774759.html. [Xinhua News Agency. Intensifying efforts to combat climate change, and China's national contribution[EB/OL].http://news.xinhuanet.com/2015-06/30/c_1115774759.html]

[2] 新华社,习近平同美国总统奥巴马、联合国秘书长潘基文共同出席气候变化《巴黎协定》批准文书交存仪式[EB/OL],http://news.xinhuanet.com/2016-09/03/c_1119506240.html. [Xinhua News Agency. President Xi Jinping has joined U.S. President Obama and U.N. secretary-general Ban Ki-moon on the ratification of the Paris agreement on climate change[EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/2016-09/03/c_1119506240.html]

[3] Müller B, Stoc D K. Dynamics for forecasting material flows—

2017年12月

- case study for housing in the Netherlands[J]. *Ecological Economics*, 2006, 59(1): 142-156.
- [4] Woodward R, Duffy N. 2011. Cement and concrete flow analysis in a rapidly expanding economy: Ireland as a case study[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2011, 55(4): 448-455.
- [5] Sandberg N H, Bergsdal H, Bergsdal H. 2011. Historical energy analysis of the Norwegian dwelling stock[J]. *Building Research & Information*, 2011, 39(1): 1-15.
- [6] Sandberg, N H, Brattebø, H. Analysis of energy and carbon flows in the future Norwegian dwelling stock [J]. *Building Research & Information*, 2012, 40(2): 123-139.
- [7] 于萍, 陈效速, 马禄义. 住宅建筑生命周期碳排放研究综述[J]. *建筑科学*, 2011, 27(4): 9-13. [Yu P, Chen X Q, Ma L Y. Review on Studies of Life Cycle Carbon Emission from Residential Buildings[J]. *Building Science*, 2011, 27(4): 9-13]
- [8] Shen L, Gao T M, Zhao J A, et al. Factory-level measurements on CO₂ emission factors of cement production in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 34: 337 - 349.
- [9] Gao, T, Shen L, Shen, M, et al. 2014. Analysis on differences of carbon dioxide emission from cement production and their major determinants[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 160-170.
- [10] 魏丹青, 赵建安, 金迁致. 水泥生产碳排放测算的国内外方法比较及借鉴[J]. *资源科学*, 2012, 34(6): 1152-1159. [Wei D Q, Zhao J A, Jin Q Z. Comparison of domestic and international calculation methods of CO₂ emission from cement production and the enlightenments for China[J]. *Resources Science*, 2012, 34(6): 1152-1159.]
- [11] 刘立涛, 张艳, 沈镭, 等. 水泥生产的碳排放因子研究进展[J]. *资源科学*. 2014, 36(1), 0110-0119. [Liu L T, Zhang Y, Shen L, et al. A review of cement production carbon emission factors: progress and prospects[J]. *Resources Science*, 2014, 36(1), 0110-0119.]
- [12] 国家统计局, 中华人民共和国2016年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL], 2017-02-28 http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201702/t20170228_1467424.html. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistics bulletin of the People's Republic of China on national economic and social development in 2016[EB/OL], http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201702/t20170228_1467424.html.]
- [13] 国家统计局, 中国统计年鉴2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [14] 徐敏, 《中国建筑能耗研究报告(2016)》发布[N]. *建筑时报*, 2016-12-08(008). [Xu M. "China construction energy re-search report (2016)" released. *Construction Times*, 2016-12-08.]
- [15] 前瞻产业研究院, 我国建筑能耗约占社会总能耗的33%[EB/OL], 2014-05-05, <http://www.chinairn.com/news/20140505/190538292.shtml>. [Forward- Looking Industry Research Institute, Energy consumption in China accounts for about 33% of total energy consumption[EB/OL], 2014-05-05. <http://www.chinairn.com/news/20140505/190538292.shtml>.]
- [16] 赵建安, 金千致, 魏丹青. 我国主要工业部门技术节能减排的潜力及实现途径探讨[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(6): 912-921. [Zhao J A, Jin Q Z, Wei D Q. China's energy saving and carbon dioxide emission reduction potential of main industries technology and its realizing way[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(6): 912-921.]
- [17] 智研咨询, 2016年全球发电量与装机规模分析[EB/OL], 2016-09-28. <http://www.chyxx.com/industry/201609/452723.html>. [ZHIYAN, Analysis of global power generation and installed capacity in 2016[EB/OL], 2016-09-28. <http://www.chyxx.com/industry/201609/452723.html>.]
- [18] 国家发展和改革委员会, 国家能源局. 电力发展“十三五”规划(2016-2020年)[EBOL], 2016-12-22. <http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201603/P020160318576353824805.pdf>. [National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Power Development "13th Five-Year Plan" (2016-2020) [EB/OL], 2016-12-22. <http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201603/P020160318576353824805.pdf>.]
- [19] 中国电力企业联合会规划发展部. 2016年全国电力工业统计快报[EB/OL], 2017-01-20, <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2017-01-20/164007.html>. [Planning And Development Department Of China Electric Power Enterprise Federation, National electric power industry statistics 2016[EB/OL], 2017-01-20. <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2017-01-20/164007.html>.]
- [20] 国家能源局. 国家能源局关于发布2020年煤电规划建设风险预警的通知(国能电力[2017]106号)[EB/OL], 2017-04-20. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto84/201705/t20170510_2785.html. [National Energy Administration, Notice Of The State Energy Administration On Issuing A Warning On The Risk Of Coal Power Planning For 2020 (National Energy Power[2017] 106) [EB/OL], 2017-04-20. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto84/201705/t20170510_2785.html.]
- [21] 谢龙, 我国火力发电能耗状况研究及展望[J]. *通信电源技术*, 2016, 33(1): 165-166. [Xie L. Research and prospects of energy consumption of thermal power generation in China[J]. *Telecom Power Technology*, 2016, 33(1): 165-166.]
- [22] 中国钢铁工业协会化解过剩产能工作组, 如何看待中国2016年化解钢铁过剩产能? [N]. *中国冶金报*, 2017-03-03(001). [Working Group for Resolving The Surplus Capacity, China Iron

- And Steel Association. How to view China's 2016 steel over-capacity reduction[N]. China Metallurgical Newspaper, 2017-03-03(001).]
- [23] 生意社, 2016年中国钢铁行业有效产能及总产量双升[EB/OL], 2017-02-13, <http://finance.sina.com.cn/roll/2017-02-13/doc-ifyamvns5126552.shtml>. [SunSirs, China's iron and steel industry produced two liters of effective production capacity and total output in 2016[EB/OL], 2017-02-13, <http://finance.sina.com.cn/roll/2017-02-13/doc-ifyamvns5126552.shtml>.]
- [24] 中国钢铁工业协会. 中国钢铁工业发展报告2016[R]. 2016. [China Iron and Steel Association, China steel industry development report 2016[R], 2016]
- [25] 国务院. “十三五”节能减排综合工作方案(国发[2016]74号)[EB/OL], 2017-01-05. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/05/content_5156789.html. [State Council, Comprehensive work plan for energy conservation and emission reduction of the 13th five-year plan (National Issues[2016] No. 74) [EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/05/content_5156789.html.]
- [26] 李新创, 高升. 钢铁工业绿色发展途径探讨[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2017, 9(1): 19-27. [Li X C, Gao S. Green development of the steel industry[J]. *Journal of Engineering Studies*, 2017, 9(1): 19-27.]
- [27] 杨晓东, 朱晓波. 我国钢铁工业低碳低耗发展之路怎么走? [N]. 中国冶金报, 2017-05-17(002). [Yang X D, Zhu X B. How to create the path for China's iron and steel industry low-carbon development[N]. China Metallurgical Newspaper, 2017-05-17(002).]
- [28] 邢世勋. 中国废钢铁产业发展现状与电炉钢展望[J]. 2016年钢铁制造技术与管理套路会议论文集[C], 山东淄博. 2016. [Xing S X. Development status of China's scrap steel industry and prospect of electric furnace steel[C]. 2016 steel ingots manufacturing technology and management routine conference proceedings[C], Zhibo, Shandong, 2016.]
- [29] 彭锋, 李晓. “十二五”中国废钢铁行业发展现状分析与“十三五”展望[J]. 中国冶金, 2016, 26(10): 29-32. [Peng F, Li X. “12th Five-Year” China's iron and steel scrap industry analysis of development status and prospect of “13th Five-Year” [J]. *China Metallurgy*, 2016, 26(10): 29-32.]
- [30] 中国水泥协会. 2016年新点火水泥熟料线19条, 产能2558万t [EB/OL], 2017-01-03, <http://www.dcement.com/Article/201701/134849152578.html>. [China Cement Association, In 2016, 19 new ignition cement clinker lines, with capacity of 25.58 million tons[EB/OL]. 2017-01-03, <http://www.dcement.com/Article/201701/134849152578.html>.]
- [31] 孔祥东. 评产能置换政策对水泥行业去产能的影响[EB/OL]. 2017-06-09, <http://www.dcement.com/Item/156786.aspx>. [Kong X D. The impact of capacity replacement policy on capacity of cement industry[EB/OL]. 2017-06-09, <http://www.dcement.com/Item/156786.aspx>.]
- [32] 中投顾问产业研究中心. 全球水泥产量规模状况分析[EB/OL]. 2016-12-09, <http://www.cbminfo.com/BMI/sn/469673/469675/6535083/index.html>. [CIC Consulting Industry Research Center, Global cement production scale analysis[EB/OL]. 2016-12-09. <http://www.cbminfo.com/BMI/sn/469673/469675/6535083/index.html>.]
- [33] 曾学敏. 水泥工业能源消耗现状与节能潜力[J]. 中国水泥, 2006, (3): 16-21. [Zeng X M. Energy consumption of cement industry and energy saving potential[J]. *China Cement*, 2006, (3): 16-21.]
- [34] 崔源声, 史伟. 中国水泥工业节能减排的潜力与发展战略[J]. 散装水泥, 2007, (3): 62-66. [Cui Y S, Shi W. The potential and development strategy of energy conservation and emission reduction in China cement industry[J]. *Sanzhuang Shuini*, 2007, (3): 62-66.]
- [35] 工业和信息化部节能与综合利用司. 工业绿色发展规划(2016-2020年)[EB/OL], 2016-06-30. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5143553/content.html>. [Department of energy conservation and comprehensive utilization of industry and information technology. Industrial green development plan (2016-2020) [EB/OL]. 2016-06-30, <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5143553/content.html>.]
- [36] 中国水泥协会. 水泥工业“十三五”发展规划(中水协字[2017]49号)[EB/OL]. 2017-06-06, <http://www.dcement.com/article/201706/156671.html>. [China Cement Association, Development plan of the 13th five-year plan for cement industry (2017, No.49)[EB/OL]. <http://www.dcement.com/article/201706/156671.html>.]
- [37] 史伟. 2011到2050年中国水泥需求量预测. 中国11省市硅酸盐发展报告(2011): 综合篇[R], 2012. [Shi W. China's cement demand forecast from 2011 to 2050. Report on development of silicate in 11 provinces of China: Mix and Match[R], 2012.]
- [38] 崔源声, 蒋永富, 田桂萍. 当前我国水泥工业面临的形势及未来发展前景展望[J]. 2015中国水泥技术年会暨第十七届全国水泥技术交流会论文集[C], 2015. [Cui Y S, Jiang Y F, Tian G P. The current situation and future prospect of cement industry in China[C]. 2015 China cement technology annual meeting and the 17th national cement technology exchange conference proceedings, 2015.]
- [39] 交通运输部综合规划司. 2016年交通运输行业发展统计公报[EB/OL], 2017-04-17, http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zhghs/201704/t20170417_2191106.html. [Transport Department Integrated Planning Division, 2016 transport industry develop-

2017年12月

- ment statistics bulletin[EB/OL], 2017-04-17, http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zhghs/201704/t20170417_2191106.html.]
- [40] 国家铁路局. 2016年铁道统计公报[EB/OL]. 2017-03-24, http://www.moc.gov.cn/tongjishuju/tielu/201703/t20170328_2182141.html. [National Railway Administration, Railway statistics 2016[EB/OL]. http://www.moc.gov.cn/tongjishuju/tielu/201703/t20170328_2182141.html.]
- [41] 国务院. “十三五”现代综合交通运输体系发展规划(国发〔2017〕11号)[EB/OL], 2017-02-28, http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/28/content_5171345.html. [State Council. Development planning of the modern comprehensive transportation system of the 13th five-year plan (National issues[2017] No. 11) [EB/OL]. 2017-02-28, http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/28/content_5171345.html.]
- [42] 交通部综合规划司. 推进交通运输生态文明建设实施方案(交规划发〔2017〕45号)[EB/OL], 2017-04-14, http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zhghs/201704/t20170414_2190311.html. Department Of Transport Integrated Planning Division, Promotion of the implementation plan for the construction of ecological civilization of transport([2017] No.45)[EB/OL]. 2017-04-14, http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/zhghs/201704/t20170414_2190311.html.]
- [43] 侯利恩. 中国建筑能源消费情况研究[J]. 华中建筑, 2015, (12): 94-100. [Hou L E. Research on the Chinese architecture energy resource consumption[J]. *Huazhong Architecture*, 2015, (12): 94-100.]
- [44] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告(2016)[EB/OL]. 2016-12-03, http://www.360doc.com/content/11611203/22/30514273_611657571.shtml. [CABEE (China Association of Building Energy Efficiency). Research report on energy consumption in China (2016) [EB/OL]. 2016-12-03, http://www.360doc.com/content/11611203/22/30514273_611657571.shtml.]
- [45] 清华大学建筑节能研究中心, 中国建筑节能年度发展研究报告 2015[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015. [Tsinghua University Building Energy Conservation Research Center. China's annual development study on building energy conservation 2015[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2015.]
- [46] 李青彦. 建筑节能行业观察[EB/OL], 2016-12-07, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20161021/782581.shtml>. [Li Q Y. Observation on building energy conservation industry[EB/OL]. 2016-12-07, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20161021/782581.shtml>.]
- [47] 住房和城乡建设部.《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》(建科[2017]53号)[EB/OL], 2017-03-01, <http://pwww.mohurd.gov.cnwjfb201703W020170314100832.pdf>. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development. The 13th five-year plan for building energy conservation and green building ([2017, No.53]) [EB/OL]. 2017-03-01, <http://pwww.mohurd.gov.cnwjfb201703W020170314100832.pdf>.]
- [48] 国家发展改革委员会, 住房和城乡建设部. 绿色建筑行动方案[EB/OL]. 2013-01-01, http://www.gov.cn/zwgk/2013-01/06/content_2305793.html. [National Development and Reform Commission, Ministry of Housing And Urban-Rural Development. Green building action plan[EB/OL]. 2017-03-01, <http://pwww.mohurd.gov.cnwjfb201703W020170314100832.pdf>.]

Impact and prospect of technical progress in China's major energy intensive industries on energy conservation and emission reduction

ZHAO Jian'an^{1,2}, ZHONG Shuai^{1,2}, SHEN Lei^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In June 2015 the Chinese government officially launched the declaration “strengthening action on climate change - China national independent contribution” with a commitment that until 2030 per unit GDP carbon emissions will be reduced by 60%~65% compared with 2005 levels and the non- fossil energy of primary energy consumption ratio will reach 20% . Under energy consumption growth, there are only two pathways to fulfill the promise of energy conservation and emission reduction (ECER) toward 2030. First, reconstructing the industrial structures to optimize energy structure, called a static ECER. Second, promoting the progress of scientific innovation and technical progress to reduce carbon emission factors per unit of energy consumption, called a dynamic ECER. Moreover, the dynamic ECER can be defined into three perspectives: (1) increasing the supply of nuclear energy, hydroenergy, wind energy, solar energy and geothermal energy, relying on comprehensive and systematic innovation and progress of engineering technology; (2) promoting the technology and equipment innovation in major energy intensive industries to further raise the oxidant factor of fuel energy and transfer efficiency of energy consumption; and (3) expanding the scale of raw material substitution and consumption by developing new material and process engineering. We focused on four major energy intensive industries: electricity, iron and steel, transportation and building materials, to discuss the prospect of ECER by 2030 based on three perspectives of dynamic ECER. Technical progress plays a vital role in promoting ECER until 2030, whereas it is difficult to create a revolutionary impact. A more reliable roadmap to lead the development of ECER in major energy intensive industries, with more concern on multiple solutions for technical application and improvement.

Key words: China's major energy intensive industries; technical progress; energy conservation and emission reduction; prospect