

2020年中国工业部门 实现节能潜力的技术路线图研究

*Roadmap study on achieving technical energy conservation potential
in China's industrial sector by 2020*

戴彦德 / 熊华文 / 焦 健 ◎ 著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

2020年中国工业部门 实现节能潜力的技术路线图研究

*Roadmap study on achieving technical energy conservation potential
in China's industrial sector by 2020*

图书馆
章

戴彦德 熊华文 焦 健◎著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

2020 年中国工业部门实现节能潜力的技术路线图研究 / 戴彦德, 熊
华文, 焦健著. — 北京: 中国科学技术出版社, 2013.10

ISBN 978-7-5046-6413-6

I. ① 2… II. ①戴… ②熊… ③焦… III. ①工业企业—节能—技术
发展—中国 IV. ① TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 201384 号

2020 年中国工业部门实现节能潜力的技术路线图研究

责任编辑: 吕 鸣

装帧设计: 北京宝蓄元科技发展有限公司

责任校对: 王勤杰

责任印制: 张建农

出 版: 中国科学技术出版社

发 行: 科学普及出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编: 100081

电 话: (010) 62173865

印 刷: 北京梨园印刷厂

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 18.25

字 数: 318 千字

版 次: 2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5046-6413-6 / TK · 20

定 价: 98.00 元

课题组成员

课题组组长

戴彦德	国家发展和改革委员会能源研究所	副所长、研究员
-----	-----------------	---------

课题副组长

熊华文	国家发展和改革委员会能源研究所能源效率中心	副主任、副研究员
-----	-----------------------	----------

焦 健	中国能源研究会能效与投资评估专业委员会	副主任兼秘书长
-----	---------------------	---------

课题组成员

刘 蕾	中国能源研究会能效与投资评估专业委员会	助理研究员
-----	---------------------	-------

王 芳	中国能源研究会能效与投资评估专业委员会	博士
-----	---------------------	----

吴 瑞	中国能源研究会能效与投资评估专业委员会	项目助理
-----	---------------------	------

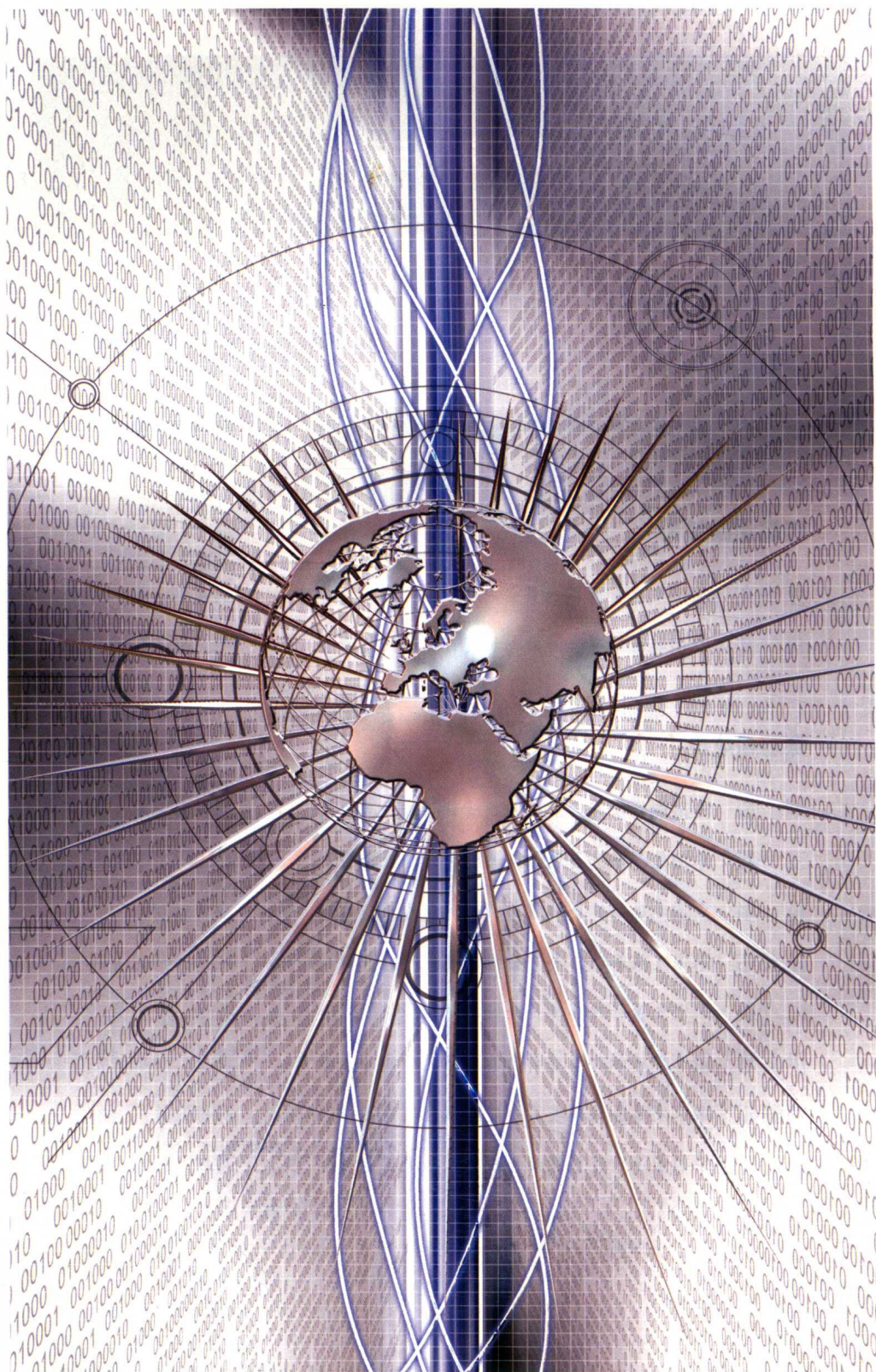
杨宏伟	国家发展和改革委员会能源研究所能源效率中心	主任，研究员
-----	-----------------------	--------

白 泉	国家发展和改革委员会能源研究所能源效率中心	主任，研究员
-----	-----------------------	--------

伊文婧	国家发展和改革委员会能源研究所能源效率中心	博士，助理研究员
-----	-----------------------	----------

刘静茹	国家发展和改革委员会能源研究所能源效率中心	副研究员
-----	-----------------------	------

朱 琳	中国能源研究会能效与投资评估专业委员会	高级工程师
-----	---------------------	-------



前 言

新世纪以来，中国经济又经历了十年的快速发展。这十年，中国的产业结构优化升级，农业基础不断加强，经济实力、综合国力、人民生活水平迈上了新台阶。这十年，中国经济年均增长 10.5%。尤其是“十一五”以来，国民生产总值以年均超过 4.5 万亿元的高速增长规模，从 1 万亿美元上升到 6 万亿美元，由世界第六位跃居为第二位，实质性地缩小了与世界发达国家的距离。这十年，中国工业领域发展取得了长足的进步。产业规模及产量快速增长，产业及产品结构调整稳步推进，技术装备水平和管理水平显著提升，能源利用效率不断提高，单位工业增加值能耗持续降低，产品单耗与世界先进水平的差距日益缩小。

未来十年，中国不仅要解决超过全球 1/5 的人口穿衣吃饭问题，还要全面建成小康社会。作为世界上最大的发展中国家，唯有发展才是硬道理。工业化与城镇化进程不断向前推进，离不开大量资源、能源的支撑。然而，如果依照前十年的发展模式和增长速度，能源消费总量维持每年近 2 亿 tce 的增幅，到 2020 年中国能源消费总量将超过 50 亿 tce。那时，无论是中国的资源保障，还是国家的能源安全，以及环境的承载能力，都将面临巨大的威胁与挑战。

因此，中国未来的发展必须坚持经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态建设五位一体，实现全面、协调、可持续发展。中国政府提出了到 2020 年实现单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45% 的碳强度控制指标。根据测算，提高能效、降低单位 GDP 能耗对实现 2020 年碳强度下降目标的贡献率接近 90%，而工业部门仍然是未来十年提高能源利用效率、降低单位 GDP 能耗的重点。科学、细致地测算技术上可行、经济上合理的存量节能潜力和增量节能潜力对指导工业部门节能工作、明确工作方向和重点、制定合理的政策措施具有重要意义。

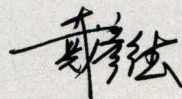
在上述背景下，国家发展和改革委员会能源研究所组织开展了《2020 年中国工业部门实现节能潜力的技术路线图》课题研究。这项研究从描述和分析各主要耗能行业的发展状况、能源消费情况以及主要耗能环节和能效水平入手，对工业部门适用节能技术的应用现状、适用条件、节能效果、单位投资、典型案例等要素进行了分析，评估了各项技术的推广应用前景和节能潜力。在此基础上，以 2010 年为基年、以 2015 年和 2020 年为目标年，给出了在不同产能类型上实现技术节能潜力的具体路线，以及推广应用各项节能技术的目标要求，构成了实现工业部门节能潜力的技术路线图，并对实施路线图的前景和投资需求进行了分析和测算。

作为研究成果，本书正文共分八章，包含近 2 万个基础数据和计算数据。其中，第一章为研究背景、内容和方法论。简单介绍了本研究的背景和意义，以及所需回答的主要问题，重点阐述了本技术路线图研究所采用的视角、假设、原则和研究方法论等内容。第二章为“十一五”中国工业部门能源消费与节能成效。从工业经济增长和能源消费的角度，分析总结了近十年来中国工业发展的现状、能耗状况、工业部门节能所取得的成效，以及实现节能目标的主要途径。第三章为实现 2020 年碳强度控制目标对工业部门的要求。通过对提高能效和发展非化石能源两者对 2020 年碳强度下降目标的贡献度的比较，得出了非化石能源发展迅速但贡献有限，工业部门技术节能仍是未来十年节能工作重点的重要结论。第四章为主要耗能行业能源利用现状。从行业发展概况、能源消费状况、主要耗能环节和能效水平三个方面分别对工业领域六大行业进行了研究、分析与总结。第五章为主要行业节能技术应用现状及展望。从主要行业节能技术应用现状入手，结合简单技术原理、技术应用现状、典型案例等层面，对在技术可行、经济合理条件下，所选取的节能技术进行了深刻分析，并确定了各项节能技术的应用潜力和推广目标。第六章为未来十年主要行业产量构成情景。主要是通过对既有改造产量、淘汰并等量替换的落后产量，以及纯新增产量三个层面的分析，展现出不同时间节点的产量构成情景。第七章为工业部门实现技术节能路线图的前景展望及投资保障。基于前述的研究和总结，描绘出未来工业部门实现节能潜力的技术路线图，

并从最大节能潜力、目标节能量、实现路线图的途径以及工业产品单位产品能耗等不同层面,对不同时间节点(目标年)上实现路线图的前景进行了展望。第八章为主要研究结论和政策建议。为满足各类读者的需求,本书还包括一个附录,对各行业工艺流程进行了简述。

本课题由美国能源基金会资助,国家发展和改革委员会能源研究所联合中能世通(北京)投资咨询服务中心和中国能源研究会能效与投资评估专业委员会共同完成。在近两年的研究工作中,国家发展和改革委员会陆新明处长、金明红副处长、蒋靖浩博士,工业和信息化部机关党委余薇副书记、尤勇副处长给予多次指导;原国家能源局白荣春司长,中国水泥协会曾学敏常务副会长,中国钢铁工业协会黄导处长,钢铁研究总院郦秀萍博士,中国石油和化学工业联合会李永亮副处长,中国有色金属工业协会邵朱强副处长,国家节能中心孙颖处长、辛升博士,中节能咨询有限公司许泓副总经理、逢锦福主任,中国质量认证中心徐少山处长、王志刚副处长,中国节能协会节能服务产业委员会赵明副主任,国瑞沃德(北京)低碳经济技术中心王健夫主任,以及美国能源基金会工业项目何平主任、桑晶女士等专家多次参加课题研讨会并提出了许多宝贵意见。在此,向他们表示衷心的感谢!

有限的资源,无限的技术,节能永无止境!本书力求全面、客观、科学、清晰地描绘未来十年中国工业部门实现节能潜力的技术路线图。鉴于时间仓促、水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。



2013年6月



目 录

执行总结	1
Executive Summary	8
第一章 研究背景、内容和方法论	16
一、研究背景和意义	16
二、需要回答的主要问题	17
三、关于技术路线图	18
四、技术路线图研究方法论	21
(一) 边界确定原则	21
(二) 技术遴选原则	25
第二章 “十一五” 中国工业部门能源消费与节能成效	28
一、工业经济增长和能源消费	28
(一) 工业发展现状	28
(二) 工业能源消费状况	32
二、工业部门节能成效	35
(一) 工业部门总体能源利用效率不断提高	35
(二) 主要工业产品单位能耗持续下降	36
(三) 工业部门对全国节能目标的完成起到重要的支撑作用 ...	38
(四) 工业部门形成技术节能量的两大主要途径	39
第三章 实现 2020 年碳强度控制目标对工业部门的要求	41
一、2020 年能源需求前景展望	41

二、实现 2020 年碳强度控制目标的有效措施	42
(一) 发展非化石能源	42
(二) 降低单位 GDP 能耗	43
三、工业部门技术节能是实现 2020 年节能目标的关键	44
(一) 实现 2020 年节能目标的潜力与途径	44
(二) 工业部门节能仍是未来十年节能工作的重点	46
(三) 技术节能仍然是工业部门节能量的重要来源	46

第四章 主要耗能行业能源利用现状

一、钢铁行业	47
(一) 行业发展状况	47
(二) 能源消费状况	48
(三) 主要耗能环节和能效水平	49
二、水泥行业	57
(一) 行业发展状况	57
(二) 能源消费状况	60
(三) 主要耗能环节和能效水平	61
三、石化和化工行业	64
(一) 行业发展状况	64
(二) 能源消费状况	66
(三) 主要耗能环节和能效水平	68
四、有色金属行业	78
(一) 行业发展状况	78
(二) 能源消费状况	79
(三) 主要耗能环节和能效水平	81
五、电力行业	86
(一) 行业发展状况	86
(二) 能源消费状况	89
(三) 主要耗能环节和能效水平	90
六、通用用能领域	90
(一) 工业锅炉	91

(二) 电机系统	93
(三) 照明系统	97
(四) 余热利用	103

第五章 主要行业节能技术应用现状及展望 104

一、节能技术应用现状	104
(一) 钢铁行业	105
(二) 水泥行业	120
(三) 石化和化工行业	124
(四) 有色金属行业	148
(五) 电力行业	157
(六) 通用领域	165
二、节能技术应用潜力	175
(一) 钢铁行业	175
(二) 水泥行业	180
(三) 石化和化工行业	182
(四) 有色金属行业	192
(五) 电力行业	197
三、节能技术推广目标	200
(一) 钢铁行业	202
(二) 水泥行业	203
(三) 石化和化工行业	203
(四) 有色金属行业	206
(五) 电力行业	208
(六) 通用用能领域	208

第六章 未来十年主要行业产量构成情景 211

一、钢铁行业	211
二、水泥行业	212
三、石化和化工行业	212
(一) 原油加工行业	212

(二) 乙烯行业	213
(三) 合成氨行业	214
(四) 烧碱行业	215
(五) 纯碱行业	215
(六) 电石行业	216
四、有色金属行业	217
(一) 电解铝行业	217
(二) 氧化铝行业	218
(三) 铜冶炼行业	218
五、电力行业	219

第七章 工业部门实现技术节能路线图的前景展望及投资保障 221

一、工业部门节能技术路线图	221
二、实现路线图的前景展望	222
(一) 为完成节能目标提供坚实的节能量支撑	222
(二) 为推动主要工业产品单耗持续下降提供有力保障	242
三、重大关键技术识别	243
四、实现路线图的投资保障	245
(一) 各行业和领域投资需求	245
(二) 不同类型技术单位节能量投资成本比较	246

第八章 主要研究结论和政策建议 248

一、主要研究结论	248
二、相关政策建议	251

附录：各行业工艺流程简述 253

表目录 270

图目录 272

执行总结

一、本研究的目标及所做工作

科学、细致地测算技术上可行、经济上合理的存量节能潜力和增量节能潜力，对指导工业部门节能工作、明确工作方向和重点、制定合理的政策措施具有重要意义。但目前对节能潜力的测算多侧重于宏观层面，主要通过单耗的对比计算得到，比较粗略，对具体的实现途径和技术支撑缺乏细致的分析，导致结果的实用性和可参考性不强。

本研究即瞄准上述问题，从分析各行业、各领域能源利用现状，以及主要耗能行业的技术装备状况、存在的能效提升潜力和空间等方面入手。研究中，收集主流的适用节能技术信息，对其进行一定假设条件下的市场前景分析和预测，估计各项技术运用后可以实现的节能量及带来的能效改善程度。汇总后，得到中国工业部门在未来一段时期有较强技术支撑、能够挖掘出来的技术上可行、经济上合理的节能潜力，并据此提出实现这些节能潜力的路线图，以及相关保障政策和措施的建议。

本研究所作的主要工作包括：① 总结和评价“十一五”中国工业部门节能进展；② 分析实现 2020 年碳强度控制目标对工业部门节能尤其是技术节能的要求；③ 从行业发展概况、能源消费状况、主要耗能环节和能效水平三个方面对主要耗能行业能源利用现状进行分析；④ 从技术原理、技术应用现状、

典型案例等方面对主要行业节能技术应用现状进行分析，确定各项节能技术的应用潜力和推广目标；⑤ 通过对既有改造产量、淘汰并等量替换的落后产量，以及纯新增产量三个层面的分析，给出各行业不同时间节点的产量构成情景；⑥ 在上述分析的基础上测算工业部门实现技术节能路线图能形成的节能能力及投资需求。

二、研究的基本思路

工业节能技术路线图是指达到工业技术节能目标、实现单位产品能耗下降的各种不同的途径、路线和方法，是多种技术措施和政策措施的集合与优化。具体而言，主要包括三部分：一是对落后产能进行淘汰，并用先进产能进行替代；二是在保留的既有产能中实施全面的节能技术改造，挖掘存量的节能潜力；三是对纯新增产能强化能效源头控制和市场准入，保证达到最先进的能效水平。

本报告以 2010 年为基年，并以 2015 年和 2020 年为目标年，以支撑中长期节能目标实现为出发点，将产能分为既有产能、淘汰落后并等量替代的产能和纯新增产能三部分，分别研究这三类产能实现节能潜力的技术路线图。其中，对后两项产能不做具体技术分析，仅按当前市场准入条件和固定资产投资“能评”等政策要求，默认这些产能应用了全部先进、适用的节能技术，技术装备和能效水平达到先进水平，据此计算相应节能量。

对既有产能，首先对基本现状要素进行分析，剔除政策、市场和资金等不确定因素，假定各项节能技术在适用产能中达到最大推广比例，计算技术上可行的最大节能潜力。其次，瞄准节能量和单耗下降目标，考虑资金、技术、意愿等各种约束条件，对各项技术的效果、效益、潜力、市场等特性进行对比分析、优先排序和综合平衡，给出基于合理匹配和优化组合原则的各项节能技术在既有产能上的实际推广应用比例目标和要求，以此为基础构成既有

产能实现节能潜力的技术路线图。

三、主要结论

（一）“十一五”工业部门对全国节能目标的完成起到重要支撑作用，先进技术应用和淘汰落后产能是工业部门形成技术节能量的两大主要途径

“十一五”期间，全国万元 GDP 能耗累计下降 19.1%，形成节能量 63334 万 tce；其中工业部门单位工业增加值能耗累计下降 20.6%，形成节能量 49930 万 tce，对全国总节能量的贡献率达到 78.8%。全国节能工作的重点在工业部门，推动工业部门节能对全国节能目标的完成发挥了至关重要和举足轻重的作用。

由 26 种工业产品单耗下降形成的技术节能量为 32033 万 tce，对工业部门节能的贡献率达到 64.2%。通过先进技术应用和淘汰落后产能提高主要产品能源利用效率是工业部门形成节能量的重要源泉之一，是推动工业部门节能工作取得显著成效的决定性因素，对工业节能乃至全社会节能发挥了关键性的贡献和作用。

（二）降低单位 GDP 能耗是实现 2020 年碳强度下降目标的关键，而工业部门技术节能仍是未来十年实现单位 GDP 能耗下降目标的重要途径

根据对非化石能源未来发展规模和潜力的评估结果，测算出发展非化石能源对实现 2020 年碳强度下降目标的贡献度为 10.5%~11.9%。提高能效、降低单位 GDP 能耗对实现 2020 年碳强度下降目标的贡献率接近 90%，是实现碳强度下降目标最有效和最可依赖的手段。

对“十二五”和“十三五”分别实现单位 GDP 能耗下降 16% 和 14% 节能目标进行情景分析的结果表明，工业部门因主要耗能产品单耗下降而形成的技术节能量需要分别达到 27400 万 tce 和 25320 万 tce，对实现节能目标的贡献度分别为 34.1% 和 29.3%，是保证目标实现的第一大重要途径。

（三）存量挖潜、新增产能能效源头控制、淘汰落后产能是工业节能技术路线图的三大组成部分，通过实施技术路线图到 2020 年可实现节能量 5.05 亿 tce

工业节能技术路线图由三部分构成。一是对落后产能进行淘汰，并用先进产能进行等量替代；二是在保留的既有产能中实施全面的节能技术改造，挖掘存量的节能潜力；三是对纯新增产能强化能效源头控制和市场准入，保证达到最先进能效水平。

2010~2020 年，通过实施上述技术路线图，钢铁、水泥、石化和化工、有色、电力和通用用能领域六大行业和领域可实现节能量 50464 万 tce。其中，既有产能通过节能技术改造可实现的节能量为 25244 万 tce，占总节能量比重的 50.0%；淘汰落后全部采用先进技术进行等量替代可实现节能量为 7074 万 tce，占总节能量的比重为 14.0%；纯新增产能通过普遍应用先进节能技术、保证达到最先进能效水平途径可实现的节能量为 18146 万 tce，占总节能量的比重为 36.0%。

（四）深入挖掘既有产能的改造节能潜力是工业节能技术路线图的重中之重，通用节能技术和通用用能领域仍是未来关注重点

未来十年，在工业节能技术路线图的三大组成部分中，既有产能实施节能技术改造形成的节能量对总节能量的贡献率达到一半，是最为重要的途径，必须予以重视。

2020 年，六大行业和领域既有产能存在的技术可行的最大节能潜力为 40618 万 tce，按照确定的技术路线图既有产能改造能够实际形成的节能量为 25244 万 tce，占存量节能潜力的比重为 62.2%。如果加大力度，这一比例还能有所提高，既有产能改造形成的节能量对宏观节能目标的支撑力度还可进一步增强。

在既有产能节能改造中形成节能能力最多是五大工业行业中的行业通用节能技术和通用用能领域技术，分别达到 786 万 tce 和 13428 万 tce，两项占全部既有产能改造实际形成节能量的比重合计为 56.3%。通用节能技术和通