



WWF

报告

中国

2014

本报告与 NRDC
合作完成



中国2012年能流图和 煤流图编制及能源 系统效率研究

——胡秀莲



世界自然基金会 (WWF)

WWF是在全球享有盛誉的、最大的独立性非政府环境保护组织之一。自1961年成立以来，WWF一直致力于环保事业，在全世界拥有将近 520 万支持者和一个在100 多个国家活跃着的网络。WWF的使命是遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。为此 WWF 致力于：保护世界生物多样性；确保可再生自然资源的可持续利用；推动降低污染和减少浪费性消费的行动。



自然资源保护协会 (NRDC)

NRDC是一家国际非营利环保机构，拥有逾140万会员及支持者。自1970年成立以来，NRDC的环境律师、科学家及环保专家们一直在为保护自然资源、公众健康及环境而进行不懈努力。NRDC在美国、中国、印度、加拿大、墨西哥、智利、哥斯达黎加、欧盟等国家及地区开展工作。

关于作者

胡秀莲，国家发展和改革委员会能源研究所能源系统分析中心研究员，中国科学院广州能源研究所博士生导师，中国能源基础与管理标准化技术委员会委员，中国能源研究会系统分析专业委员会委员，全国科学技术名词审定委员会能源名词审定委员会副主任，《气候变化研究进展》英文版编审委员。曾担任能源研究所节能研究室主任；能源环境与气候变化研究中心主任；所学术委员会副主任。

研究顾问

杨富强 自然资源保护协会能源、环境与气候变化高级顾问
李琳 世界自然基金会中国项目执行总监

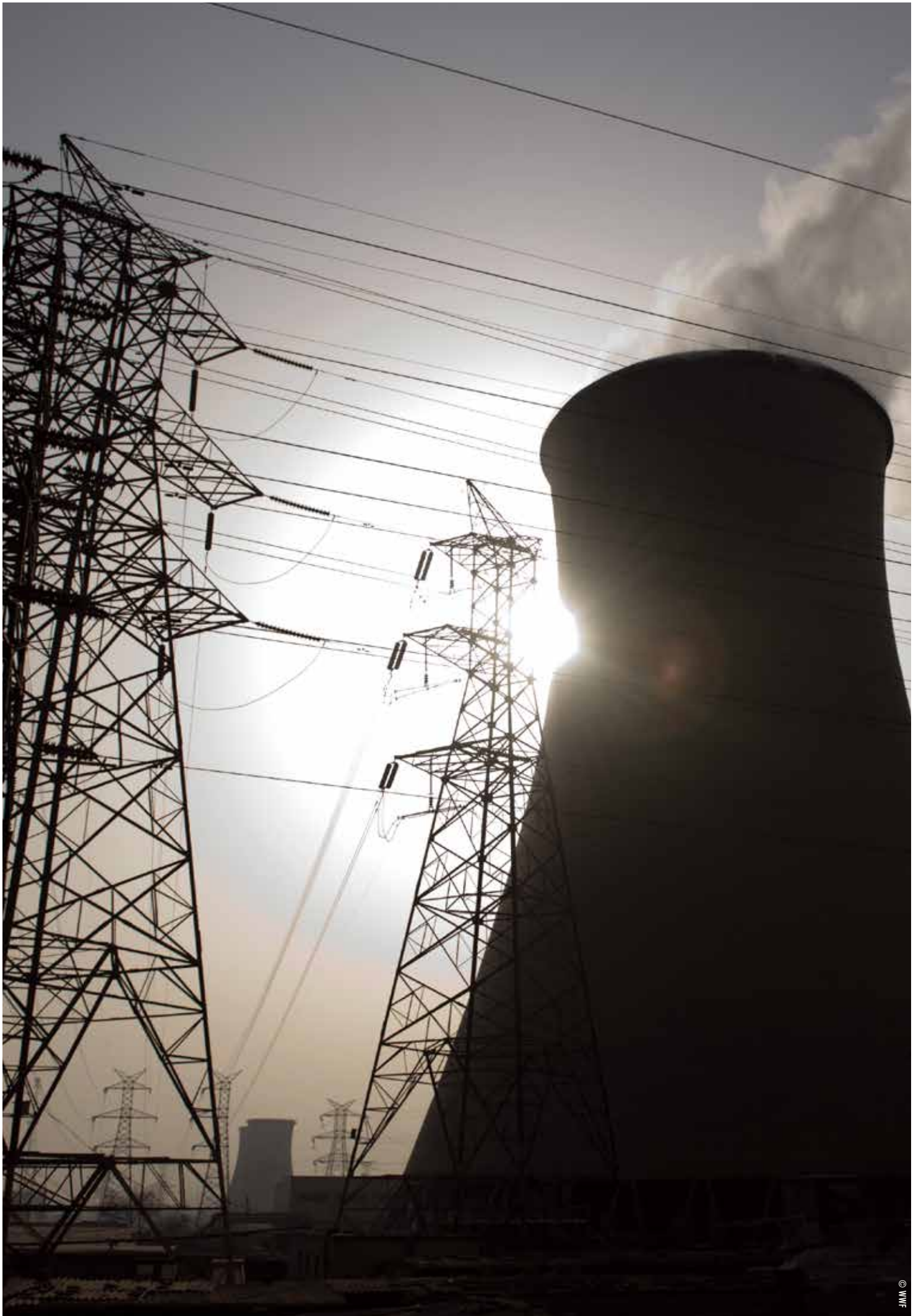
项目协调

卢伦燕 世界自然基金会中国气候与能源项目主任
高辉 世界自然基金会中国气候与能源项目官员

致谢

吴吟 中国能源研究会副理事长
周风起 国家发改委能源研究所研究员
戴彦德 国家发改委能源研究所研究员
张阿玲 清华大学核能技术研究院教授
朱红 国家统计局能源核算司处长
潘克西 上海复旦大学社会发展与公共政策学院教授
朱汉雄 上海复旦大学社会发展与公共政策学院研究助理
王庆一 中国能源研究会教授
许光清 中国人民大学环境学院副教授
赵跃进 中国标准化研究院研究员
王健夫 北京国瑞沃德低碳技术中心主任
黄本初 自然资源保护协会研究员
傅秋子 中国人民大学能源经济系





前言

改革开放三十多年来，依赖于大量廉价的化石能源，我国的经济飞速发展。然而，化石能源是一把双刃剑，它在推动经济增长，提高人民生活水平的同时，也对我们赖以生存的自然环境构成了严重威胁。

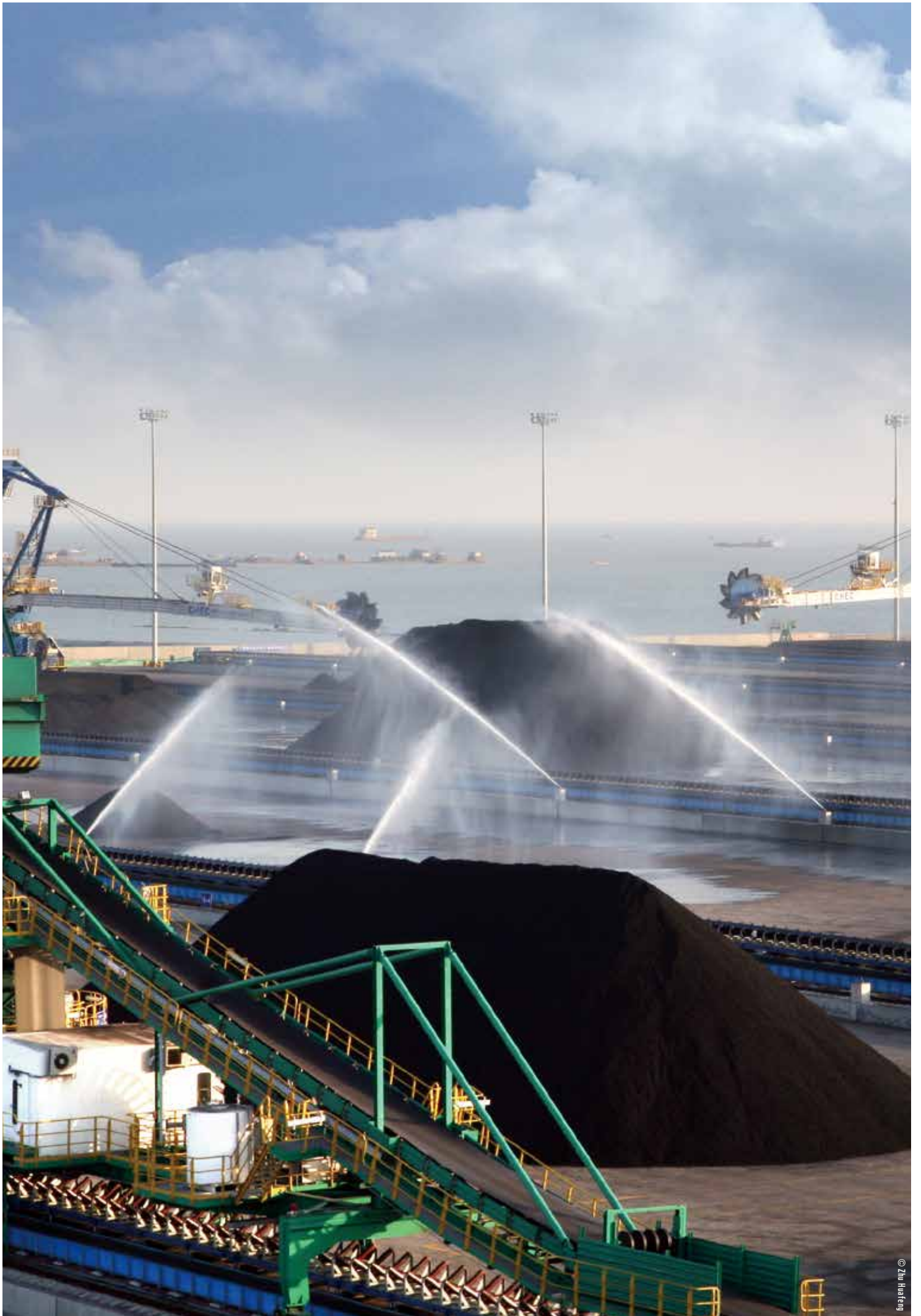
化石能源并非取之不尽、用之不竭，而是在可以预见的将来便会枯竭。即使化石能源并无枯竭之虞，消耗化石能源的高昂环境成本也终将让传统的发展模式难以为继。近几年，日益严重的雾霾笼罩中国主要的城市地区，便是燃烧化石能源造成的最直接的环境问题。空气质量的恶化严重影响了公众的健康和 生活质量，并导致了巨大的经济损失。同时，化石能源燃烧产生的二氧化碳也对全球气候和人类的生存环境产生了更广泛和深远的影响。

近十年来，在我国强有力的节能政策下，一些高耗能终端利用环节的效率得到较大幅度的提高，减排成果显著。然而，居高不下的煤炭消费比重已经成为我国能源系统效率继续提高的瓶颈。因此，在改善终端能效的同时，我国还需要一场基于控制煤炭开采和消费的能源转型。只有实现可再生能源对化石能源的大规模替代，才能根本解决化石能源带来的国内环境与全球气候变化问题。

为了实现应对气候变化、节约资源、保护环境的目标，自然资源保护协会（NRDC）与世界自然基金会（WWF）联合19家科研院所及社会团体开展了煤炭消费总量控制方案和政策的研究，以推动我国的能源结构转型。该研究致力于制定煤炭消费总量控制战略和路线图，推动我国出台相应政策使煤炭消费尽早达到峰值。

在此课题框架下，NRDC与WWF共同支持能源研究所能源系统分析研究中心的胡秀莲研究员开展了中国2012年能流图和煤流图编制及能源系统效率研究。该研究以可视化的方式呈现了2012年中国能源系统的各种能量流及各个能源转换环节的效率，并通过与中国1980年、1995年以及OECD国家的能源系统效率比较，发掘了改善我国能源系统效率的重点领域。

胡秀莲研究员及其他参与人员付出了卓著的努力，在较短的时间内完成了研究。研究成果将支持煤炭消费总量控制方案和政策研究工作，也为国内外相关研究提供有价值的参考，并最终贡献于我国的能源转型。



目录

| | |
|------------------------------------|----|
| 1.引言..... | 2 |
| 1.1 研究背景..... | 2 |
| 1.2 研究的意义和目标..... | 3 |
| 2.能流图和煤流图编制方法..... | 5 |
| 2.1 基本概念..... | 5 |
| 2.2 系统过程(环节)的划分..... | 5 |
| 2.3 构建环节和系统能源效率计算模型..... | 6 |
| 2.4 数据需求与来源..... | 7 |
| 2.5 确定终端用能设备效率..... | 9 |
| 3.我国2012年能流图和煤流图及相应的系统效率..... | 11 |
| 3.1 我国2012年能流图及能源系统效率..... | 11 |
| 3.2 我国2012年煤流图及煤炭系统效率..... | 17 |
| 4.能源系统效率的比较..... | 20 |
| 4.1 我国1980、1995和2012年能源系统效率比较..... | 20 |
| 4.2 我国与OECD国家能源系统效率比较..... | 22 |
| 5.结论和讨论..... | 23 |
| 参考文献..... | 25 |



1 引言

1.1 研究背景

在全球范围内能源效率问题持续倍受关注，提高能源效率在世界各国能源战略中均具有重要位置，提高能源效率和节能已成为保障能源的可持续供应、能源安全、减少当地环境污染和全球温室气体排放的优先选择。

美国等发达国家在保障能源可靠供应的前提下均将提高能源效率、发展替代和可再生能源，实现能源多元化和减少碳排放视为重要的能源发展战略和政策措施。高效和清洁利用能源也是我国能源可持续发展战略的重要内容。

近年来，发达国家投入大量资金，大力加强能源技术的研究与开发。美国1987年开始实施的“洁净煤技术计划”，其目标是充分利用技术进步，提高效率，降低成本，减少排放，到2010年使燃煤发电的热效率达到55%。日本政府1993年开始实施的“新日光计划（1993~2020年）”其目标是到2030年将节能量和新能源占能源供应量的比重增加到34%。发达国家这些中、长期重点研究开发课题，展示了21世纪世界能源科技的趋向，将对世界能源前景和全球环境的改善产生重大影响。例如，煤气化联合循环发电技术，可使供电效率达到43%~46%；应用燃料电池发电效率可达45%~60%，减排二氧化碳50%；电动汽车、汽油机稀薄燃烧、大型高效热泵集热系统等能源新技术均可大幅度提高能源利用效率。

能源效率贯穿在能源系统的各个环节，从能源资源开发、生产、输送、加工转换直到终端利用（部门、行业、企业、设备、一直到产品、甚至余能的回收利用等）。由于能源系统中各个环节提高能效的技术潜力在很大程度上还没有得到开发，全球的一次能源消耗中仅有三分之一被转化为终端使用的能源。

英国剑桥大学在2010年进行的一项研究（利用2005年的全球数据）表明，能源系统源头（资源开采）上提供的能源只有12%最终转化为有用的热、光和动能，这就意味着88%的能源消耗损失于能源系统的各个环节。虽然即使从理论上讲也不可能将所有这些损耗都从系统中消除，但能源系统效率的微小提高都对能源消费损失的降低贡献巨大。能源系统效率每提高1个百分点，就意味着减少了8个百分点的能源投入。

研究表明，我国的能源开采、供应与转换、输配技术、工业生产技术和其它能源终端使用技术与发达国家相比均有较大差距。九十年代中期与发达国家

相比，我国的能源开采效率低近30个百分点，中间环节效率低5个百分点，终端利用效率低10个百分点，能源系统总效率低10~20个百分点。

随着我国经济的发展，能源消费量增长迅速，2012年我国能源消费量达36.17亿吨标准煤，是2000年的2.6倍，然而，2000年以来我国煤炭消费占一次能源消费的比重却持续徘徊在70%左右。高比例的煤炭消费量不仅抑制了能源利用效率和效益的提高，也破坏力生态和大气环境，并持续排放了大量温室气体。

近十年来，尽管我国终端利用环节中一些高耗能行业 and 产品的能效得到较大幅度的提高，但由于能源系统中其他环节的节能潜力未被充分挖掘，致使全国能源系统的总效率并没有明显的提高。因此，如何从能源系统的角度来审视和评价我国能源生产与消费的方式和路径，技术进步程度和能源利用效率水平，节能的潜力、能力、效果和效益所在等，就显得尤为重要。这也可以为促进我国能源生产和消费领域的技术进步，选择和制定环境治理和减缓温室气体排放的对策、路径、规划和战略提供依据与支持。因此，本报告基于能源系统模型分析方法，构建我国2012年能流图和煤流图，用以分析和研究我国2012年能源系统和煤炭系统的效率。

1.2 研究的意义和目标

国内外的研究与实践已经证明，能流图和基于能流图开展的能源系统效率研究已成为支持和影响政策制定的工具、支持科学研究的平台、开展国际间交流和比较的基础。同时，可为国家能源统计体系的完善与改进提供支持。应用能流图可分析既定能源系统各环节的能源活动水平、消费结构、技术种类和水平以及能耗密度的现状、历史（演变）、未来趋势，并可用于校验情景分析的过程和结果；进行国家或地区等既定范围之间的对比分析；测量、监控、评估系统各环节能效水平及影响因素；分析和发现节能潜力所在；分析各种制约和驱动因素对系统能源效率变化的影响；选择和确定提高系统能源效率的对策和措施；支持提高系统能源效率的政策、规划和战略制定；评价和考核政策实施效果；服务于政府、产业、企业、科研院所、公众、媒体以及国际组织等。

构建全国能流图还可系统地了解国家能源系统各个环节之间的相互依存性；了解能源系统中某个环节的政策可能会对其他环节，甚至全国能源总系统产生的影响以及为进行控制、改善和监管提供支持；有助于最大程度地降低能源系统内由于某个环节实施的政策对其它环节带来的影响和风险。例如，能源投入环节中能源供应结构的变化，能源加工和转换环节中加工转换方式及技术的改变等均会对终端能源消费环节的能源效率产生影响。另外，利用能流图可以在考虑到成本、工程设计、空间和时间等因素的前提下，对能源系统各个环

节的各种技术做出优化选择，以及分析各环节技术变化对国家能源系统效率的影响和贡献。

能流图显示在一个复杂而相互依存的体系中，没有任何一个独立解决方案是最佳选择，提高系统效率需要系统中各个环节的努力和作为，需要在各个环节中持续的落实各种提高能效的技术措施。因此，只有明确系统各个环节的问题所在，采取相应的、具有针对性和最有效的解决方案，才能实现能源系统总体效率的提高。

应用能流图可建立能源统计与量化能源效率指标之间的联系，发挥能源效率指标在促进节能工作、监测能源利用和检验节能效果，以及制定政策过程中的作用；并建立与国际比较的平台，以支持更加广泛的政策制定等工作。

在NRDC与WWF共同支持下，能源研究所能源系统分析研究中心开展的“中国2012年能流图与煤流图编制及能源系统效率研究”项目旨在试图回答如下问题：

- (1) 我国2012年能源系统中各种能源生产量和消费量的流向、方式、技术及有效利用程度？
- (2) 我国2012年煤炭的生产和消费量流向、方式、技术、有效利用程度？
- (3) 与1980和1995年相比，我国2012年的能源系统效率是否有所提高？提高了多少？原因何在？
- (4) 我国2012年能源系统效率与发达国家的差距多大？差距何在？

2 能流图和煤流图编制方法

2.1 基本概念

能流图，也称能源系统网络图或系统能流及能源效率图。是可视化分析既定能源系统能源供需平衡和有效利用程度的工具。一个国家或地区从能源的生产、供应到消费的全过程构成这一国家或地区的能源系统。能源系统可按能源的种类对生产供应活动进行分类，也可按能源消费部门及其最终需要的能量形式对需求活动进行分类。能流图把能量从能源投入到最终利用的整个过程分解为相互衔接的若干个环节，用节点表示各环节的交接处，用带箭头的线段表示能量经各环节的流动情况，并根据不同的要求和用途在各线段上注明相应的数据（如能流量的大小、环节的相对效率等），图中的每一条路径都表示由某种能源资源到某种最终用途的可能途径。

编制能流图和煤流图的基本原理均遵循了热力学第一定律，即能量守恒与转换定律，其表述为：自然界的一切物质都具有能量，能量有各种不同形式，能够从一种形式转换为另一种形式，但在转换过程中，能量的总值不变。基于热力学第一定律，通过构建我国能流系统和煤流系统模型，应用系统和过程（环节）分析方法，可视化地描述了我国2012年能源和煤炭系统的能源流向，计算了能源和煤炭系统各环节的能源有效利用量和损失量，以及能源和煤炭系统的总有效利用量和损失量。

这种计算方法，反映了我国能源系统的结构特点。例如，有哪些能源生产部门，通过什么过程，按什么样的比例，提供了多少种类和数量的能源产品。这体现了能源的生产结构。又如，有哪些消费部门，通过何种工艺，按何种比例来消费这些能源产品。这体现了能源的消费结构。而由初级能源转换为最终消费形态或完成最终用途的相对效率，则体现了能源系统各过程用能技术的特点和能效水平。它不仅描述了我国能源系统从能源生产到最终使用过程的全貌，也便于根据不同需要，对某一部门的能源消费结构、利用状况和节能潜力进行综合分析。

2.2 系统过程(环节)的划分

按照我国能源系统投入能源的种类，包括：煤炭、原油、天然气，水电、核电、其他能源发电、生物质能等将能源供应（投入）活动进行分类，再将终

端能源消费按照部门、用途和设备进行分类。系统投入的各种能源沿着从一次能源投入到最终使用的实际流向，结合流动过程中能源活动的特点，分别将能源和煤炭系统环节划分如下：

能源系统的环节划分为：一次能源投入、一次能源输送、加工、转换、中心电站转换、二次能源及直接使用的一次能源输送和分配、终端消费、能源综合有效利用量八个环节。

其中，一次能源投入环节的能源活动分为各种能源的生产量、进口量、出口量、动用库存量等；加工环节的能源活动分为煤炭洗选、石油炼制等；转换环节的能源活动分为炼焦、煤制气、天然气液化、生物质能汽化和液化等；中心电站转换环节的能源活动分为各种能源发电和供热等；终端消费环节的能源活动则按照能源种类、部门、用途和耗能设备分别分为：电力、热力、焦炭、石油制品、原煤等十四种能源，工业、农业、交通、生活等八个部门，用电、用热、用煤、用石油制品等多种耗能设备。

同样，将煤炭系统的环节划分为：煤炭投入、煤炭输送、加工、转换、中心电站转换、二次能源及直接使用的煤炭输送和分配、终端消费、煤炭综合有效利用量等八个环节。

其中，煤炭投入环节的能源活动分为煤炭的生产量、进口量、出口量、动用库存量等；加工环节的能源活动分为煤炭洗选和型煤加工；转换环节的能源活动分为炼焦和煤制气；中心电站转换环节的能源活动分为原煤、洗煤和型煤发电和供热；终端消费环节的能源活动则按照能源种类、部门、用途和耗能设备分别分为：电力、热力、焦炭、原煤、洗煤、型煤等八种能源，工业、农业、交通、生活等八个部门（其中工业分为十九个行业），用电、用热、用煤、用焦炭等多种耗能设备。

2.3 构建环节和系统能源效率计算模型

本研究的系统和环节能源效率是按照物理概念来定义的，即系统中每一环节（过程）的能源效率等于其得到的有效利用能源量与实际消费的能源量之比。据此，构建的环节和系统能源效率计算模型如下：

(1) 环节的效率计算

系统中各环节的能源效率按公式（1）计算。

$$\eta_{pi} = \frac{E'_{pi}}{E_{pi}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

式(1)中： η_{pi} —第*i*环节的能源效率

E'_{pi} —第*i*环节产出的能源量

E_{pi} —第*i*环节投入的能源量

(2)能源（煤炭）系统效率计算

能源（煤炭）系统的能源效率可按下面二种方法计算：

① 按每个环节的相对效率之间的关系计算系统总效率：

$$\eta_{\text{系统总}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5 \times \eta_6 \times \eta_7 \times \eta_8 \dots \dots \dots (2)$$

式(2)中： η_1 — η_8 为各环节相对效率。

② 按每个环节的能源损失量与系统能源投入总量之间的关系计算系统总效率：

$$\eta_{\text{系统总}} = \left(100 - \sum_{i=1}^8 \Delta_i \right) \div 100 \quad (i=1,2,3,\dots,8) \dots \dots \dots (3)$$

式（3）中： Δ_i 为*i*环节的能源损失量占系统能源投入总量的比重。

2.4数据需求与来源

绘制能流图和煤流图均需要系统的、多维度的数据支持。数据的详尽程度和质量直接影响到能流图和煤流图的结构，以及所描述的能源系统效率的相对准确性。绘制我国2012年能流图和煤流图所需数据如表1所示。其中，我国2012年分品种的一次能源投入量、能源加工转换环节分能源品种的投入产出量和损失量、终端消费环节分品种和分部门的能源消费量数据可从国家统计局出版的《2013年中国能源统计年鉴》中直接或间接获得。

基于国家能源平衡表的数据，可以描述出我国2012年能源和煤炭从投入到分部门的终端消费量的流向，但不能按照能流图和煤流图既定的环节和应用系统过程分析模型计算出我国2012年的能源系统效率和煤炭系统效率。而缺失的终端消费环节分部门、分用途、分设备类型、分能源品种的能源消费量及相应的能源利用效率数据在国家能源平衡表以及相关的统计年鉴中是无法获得的，这是编制能流图和煤流图过程中遇到的最大挑战和必须要解决的问题。

为了获得这些关键数据，课题组在研究过程中收集和查阅了大量有关政府部门制定或颁布的国家、部门和行业规划，各部门和行业的统计年鉴，各行业协会的统计信息，国内外相关研究机构的研究报告，公开发表的论文和出版物

等资料文献，国家颁布的百项行业和产品能效标准的编制说明，召开了多次不同领域专家参与的咨询讨论会议，或应用一定的理论方法估算获得。在应用这些非官方、非系统性数据和信息过程中，为确保所用数据的质量和可用性，对数据的统计范围、口径、指标定义、具体数值及其时效性等均进行了界定、分析、核实和确认。

表1 绘制中国2012年能（煤）流图和计算能源系统效率所需数据

| 数据项目 | 能源品种 | 用能方式、能源活动水平、利用技术 |
|---|---|--|
| 一、可供全国消费的能源量 <ol style="list-style-type: none"> 1. 一次能源生产量 2. 回收能 3. 进口量 4. 出口量 5. 年末库存变化量 | 煤炭： 原煤、洗清煤、其他洗煤、型煤、煤矸石等 | 各数据项分能源品种的可供量和消费量。 能源系统各环节、分用能方式、分用途、分能源品种、分部门、分行业、分用能技术和设备类型的能源消费量和利用效率。 |
| 二、加工转换投入产出量 <ol style="list-style-type: none"> 1. 火力发电 2. 供热 3. 洗选煤 4. 炼焦 5. 炼油 6. 制气 7. 煤制品加工 | 焦炭及其制品： 焦炭、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、其他焦化制品 石油及其制品： 原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品 | 例如，工业部门不同行业使用的各种电动机的耗电量、构成及效率； |
| 三、损失量 <ol style="list-style-type: none"> 1. 一次能源输送损失 2. 加工转换损失 3. 至终端消费环节的损失 4. 终端消费损失（部门、行业、用途、设备） | 天然气： 天然气、液化天然气 热力 | |
| 四、终端消费量 <ol style="list-style-type: none"> 1. 农业 2. 工业：（煤炭开采和洗选、其他采掘业、纺织业、造纸业、石油加工和炼焦、化学、橡胶塑料、钢铁、有色、机械、建材、通用设备、汽车制造、其他制造业、电力、热力生产、非能源使用等。 3. 建筑业 4. 交通运输和仓储 5. 商业和零售 6. 城市民用 7. 农村民用 8. 其他 | 电力： 水电、火电、核电、风电等 生物质能： 成型燃料、沼气、液体燃料等其他能源 | |

2.5 确定终端用能设备效率

终端用能设备效率是计算终端消费环节能源效率必需的关键数据。用能设备种类繁多，用途广泛，特性各异，无论是在工业部门还是在建筑、交通和民用领域均没有系统的统计资料。在编制能流图过程中需要多途径的收集信息并进行筛选、归纳、整理和集成。在编制我国2012年能流图和煤流图过程中，终端用能设备是按照能源种类、部门行业和用途进行分类的。例如，煤炭可用于工业、建筑和民用等部门，工业部门的煤炭利用设备包括工业锅炉、工业窑炉、民用炉灶等，其他能源以此类推。以下案例是本研究在确定几种工业终端用能设备效率时所参考的基础资料。

例如，通过调查收集到的相关资料显示，我国工业锅炉集中被应用在冶金、化工、建材、造纸、供热、酿酒等行业。2012年全国在用工业锅炉超过62万台，总容量近200万蒸吨/时，其中燃煤工业锅炉约50万台，容量160万蒸吨/时，占工业锅炉总容量的80%以上，燃油燃气锅炉占15%，电加热锅炉约占1%，还有部分以沼气、黑液、生物质能为燃料的工业锅炉。燃煤工业锅炉年消耗煤炭约4.5亿吨标准煤。目前，我国工业锅炉平均单机容量仅3蒸吨/时，35蒸吨/时以下容量的锅炉约占总容量的95%，其中20蒸吨/时及以上的约占15%，2-10蒸吨/时的占75%，小等于1蒸吨/时的占5%。

在燃煤工业锅炉中，炉型各异，层燃锅炉约占燃煤工业锅炉总容量的80%，层燃锅炉中，链条炉排锅炉占容量的60%，往复炉排锅炉占25%，抛煤机、手烧炉等占15%。根据我国各省市特种设备检测机构对现有工业锅炉运行效率在全国范围内进行的现场测试结果显示：1-35蒸吨/时层燃锅炉热效率在38%-86%之间。如按照容量划分，小于2蒸吨/时的锅炉热效率在55%-60%之间，2-4蒸吨/时锅炉热效率在60%-65%之间，6-10蒸吨/时锅炉热效率在65%-70%之间，10-20蒸吨/时以上锅炉热效率在70%-75%之间；20蒸吨/时以上层燃锅炉的平均热效率可达到80%以上。我国层燃锅炉1-35蒸吨/时全容量平均热效率约65%左右，先进省份和发达地区全容量层燃锅炉平均热效率在68%左右。比国外低20%-25%。据此，在编制我国2012年能流图过程中，将燃煤工业锅炉的平均热效率确定为65%。

再如，基于收集到的行业能耗状况分析报告，为确定用于不同行业的工业窑炉的热效率提供了依据。我国2012年在用的燃煤工业窑炉超过16万台，年耗煤量约3亿t，平均热效率仅35%左右，比国外先进水平低20%-40%。用于水泥、砖瓦、石灰等行业的窑炉普遍规模小、装备陈旧、技术落后、运行管理粗放，缺乏除尘脱硫措施，平均热效率不到25%；用于钢铁行业的烧结迴转窑、石灰热工窑炉、耐火材料热工窑炉(如竖窑、隧道窑、梭式窑、迴转窑，还有少量倒焰窑)等，热效率一般在25%-50%之间。据此，在编制我国2012年能流图过程中，将

燃煤工业窑炉的平均热效率确定为35%。

2012年我国电动机的保有量超过15亿千瓦，总耗电量为3万亿kWh，约占社会总用电量的64%，其中工业领域电动机的总用电量约为2.6万亿kWh，占工业用电的75%。从功率上看，2012年非金属矿物开采及加工业电动机保有量最大，占全国工业系统电动机总保有量的18%，其次是化学工业、金属矿物开采及加工业、石油石化业和煤炭开采及加工业，其电动机保有量分别占13%、12%、12%和10%，其他制造业占35%。近年来，我国颁布了一系列有关电动机能效的国家标准，以促进高效电机的推广应用。在电动机能效等级标准中，不同功率和系列的电动机能效限定值一般都在84%以上，而且70%的在用电动机均要求达到限定值能效水平。为核准在用电动机的实际运行效率，课题组咨询了电动机领域的专家后发现，由于各行业在电动机运行过程中存在负荷不满，大马拉小车等实际情况，外加较低能效水平等级的电机在我国电机保有量中仍占较大比重，致使在运行电动机系统的总体能效水平不到70%，比国际先进水平低15到25个百分点。据此，在编制我国2012年能流图过程中，将工业用电动机系统的平均运行效率确定为65%。

在编制我国2012年能流图和煤流图过程中，经本研究确定的主要用能设备的效率值如图1所示。

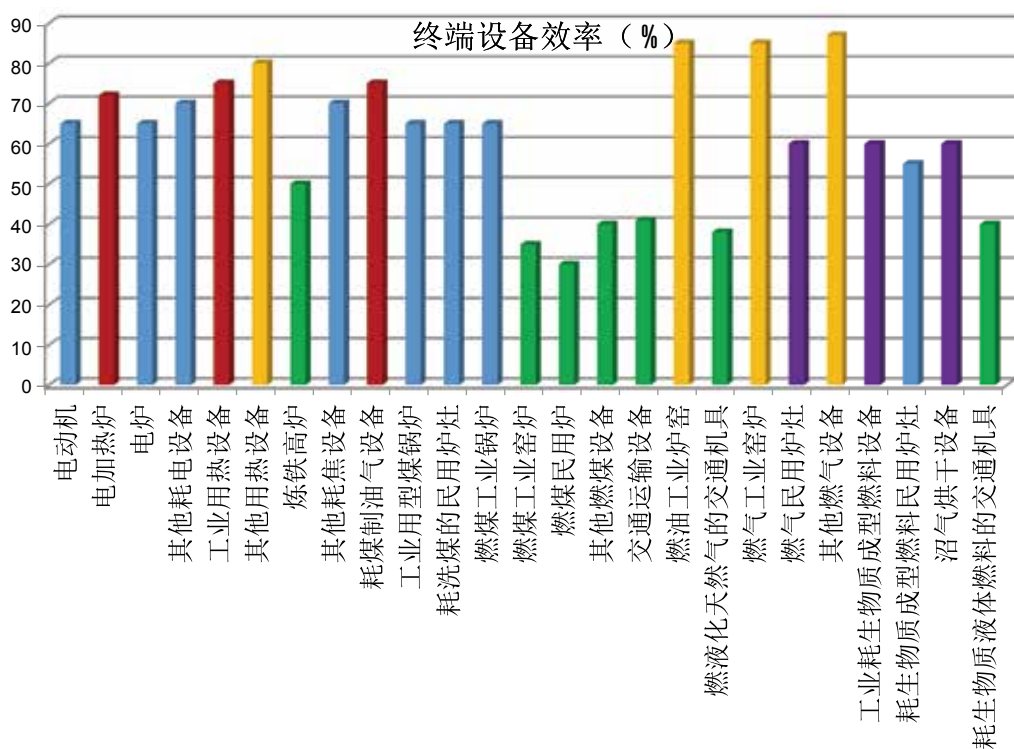


图 1 我国 2012 年主要终端用能设备效率

3 我国2012年能流图和煤流图及相应的系统效率

3.1 我国2012年能流图及能源系统效率

基于多种途径所获得的数据，应用环节和系统效率计算方法以及能源系统网络图和桑基图两种方式绘制的中国2012年能流图见图2和图3。图2中的单位为万吨标准煤。图3中的单位为百万吨标准煤。

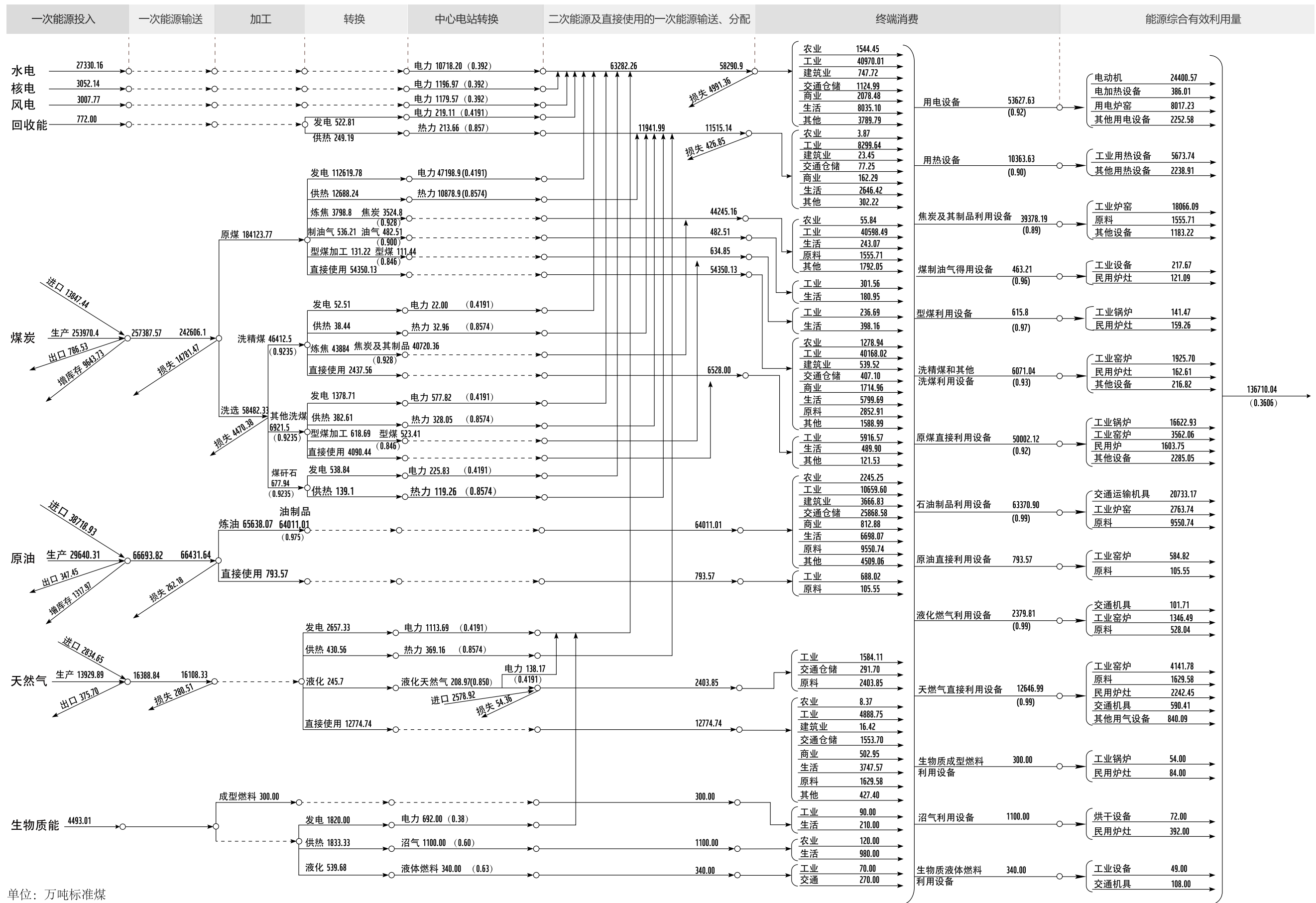
由图2可见，我国2012年能流图的环节被划分为一次能源投入、一次能源输送、加工、转换、中心电站转换、二次能源及直接使用的一次能源输送和分配、终端消费以及能源有效利用八个环节。能流图中的每条路径表示某种能源从投入到某种最终用途的一条可能路径。各条路径的支路反映了各种能源与工艺相互间的可替换性，流经每个环节的能源量写在表示该活动的连线的上方，括弧内的数字表示为环节或系统的效率。



中国 2012 年能流图 (网络图)

作者: 胡秀莲

©世界自然基金会(WWF)



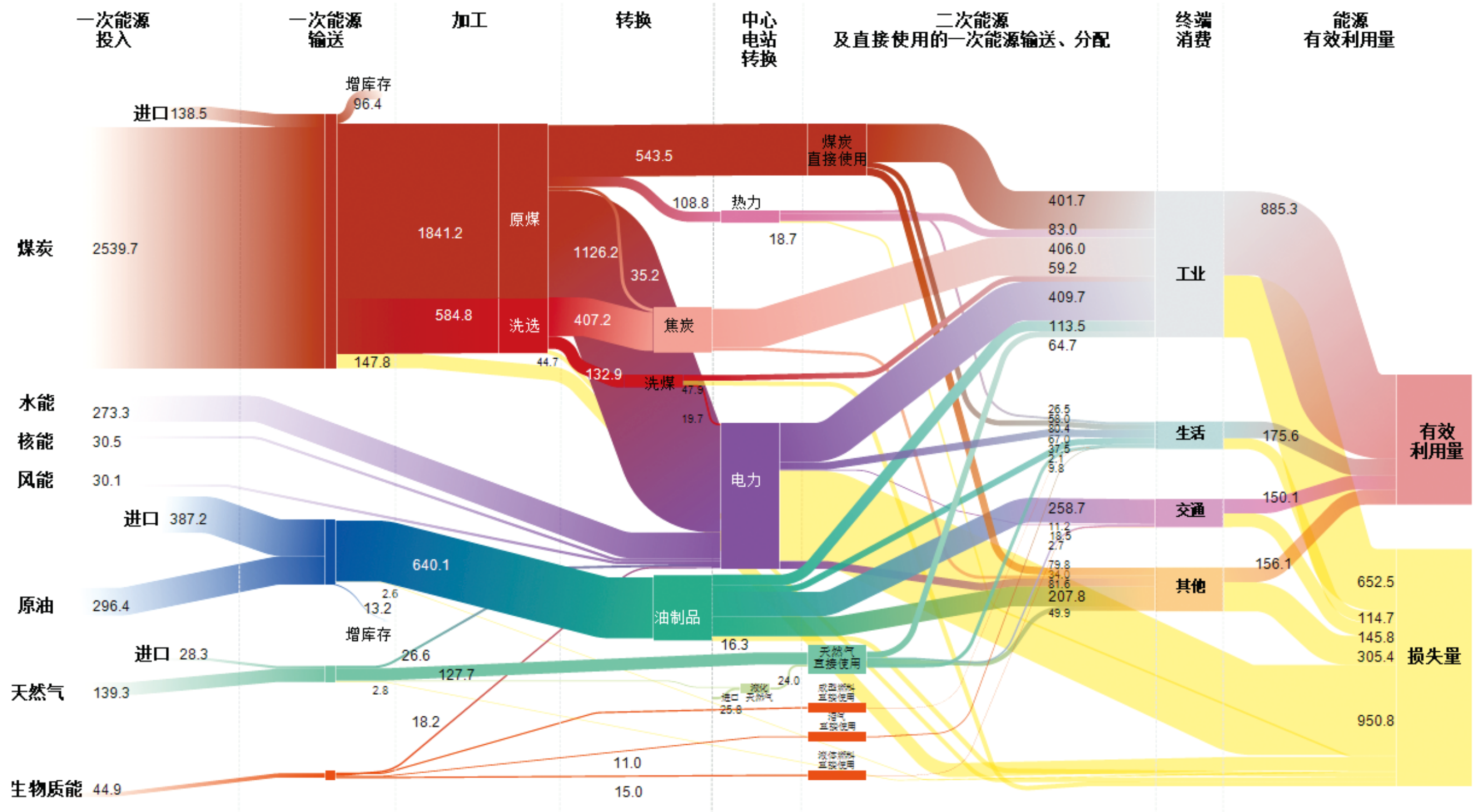
单位: 万吨标准煤

图 2: 中国 2012 年能流图 (能源系统网络图)



中国 2012 年能流图 (桑基图)

单位：百万吨标准煤



制图：傅秋子 资料来源：胡秀莲，“中国2012年能流图，”2014年。

图3：中国2012年能流图（桑基图）

能流图显示，我国2012年一次能源投入量在考虑生产量、调入调出量、进出口量和动用库存量后，投入系统消费的一次能源总量为37.91亿吨标煤。其构成为：水能7.21%；核能0.81%；风能等0.79%；煤炭67.89%；原油17.59%；天然气4.32%；生物质能1.19%；其他能源0.20%。

经一次能源输送环节，投入到加工环节的能源量为36.38亿吨标煤，其中煤炭24.26亿吨标煤，24%的原煤投入洗选加工，产出洗精煤、其他洗煤和煤矸石5.4亿吨标煤，洗选回收率为92.3%，76%的原煤流入转换环节；投入石油炼制的原油6.56亿吨标煤，占投入原油量的98.8%，产出各类石油制品6.4亿吨标煤，炼油效率97.5%，没有经炼制的原油直接流入下一环节，即转换环节。

经加工环节流入到转换环节的能源量为35.78亿吨标煤。通过炼焦和生物质能转换制沼气和液体燃料的转换后，产出的焦炭、煤气、煤制品、沼气、生物质液体燃料合计4.7亿吨标煤，转换效率分别为92.8%、90%、84.6%、85%、60%和63%。流经该环节没有投入转换的原煤、石油制品、天然气等能源直接流入下一环节，即中心电站转换环节。

流入“中心电站转换”环节的能源总量为35.27亿吨标煤。其中用于发电和供热的能源包括水能、核能、风能等新能源、煤炭、少量的洗煤和煤矸石、天然气和生物质能。共产出电力6.33亿吨标煤，其中，核电占1.89%，水电占16.9%，风电和生物质能电力占1.77%，火力发电占79.4%。火力发电中煤电占93.8%。平均发电效率为41.9%。用于生产热力的能源投入量1.39亿吨标煤，其中煤炭占91.4%，产出热力1.19亿吨标煤，平均产热效率为86%。由本环节流入“二次能源及直接使用的一次能源输送、分配环节”的能源量为26.12亿吨标煤。

在考虑电力和热力输送损失，电力和焦炭进出口，回收的热能以及天然气输送损失后，流入到终端消费环节的能源量为24.15亿吨标准煤。终端能源消费环节体现了三个层面的能源消费量及其构成，即分能源品种的终端能源消费量及构成；分部门的终端能源消费量及构成；分设备的终端能源消费量及构成。在终端消费环节不同层面上的能源消费量和构成是计算终端环节效率的基础和重要影响因素。图4至图6分别显示了终端消费环节在三个不同层面上的能源消费构成。

图4显示，在终端消费环节电力、焦炭、原煤和石油制品占终端消费环节能源消费总量的85.47%。其中，电力、焦炭、原煤和石油制品分别贡献了22.21%、16.31%、20.71%和26.25%。

图5显示，在终端消费环节工业、交通运输和民用三大部门的能源消费量占终端消费环节能源消费总量的89.12%。其中，工业、交通运输和民用部门分别贡献了66.22%、11.48%和11.42%。



图6显示，在终端消费环节工业锅炉、工业窑炉、交通运输机具和电动机四类设备的能源消费量占终端消费环节能源消费总量的88.9%。其中，工业锅炉、工业窑炉、交通运输机具和电动机设备分别贡献了28.04%、23.5%、21.81%和15.55%。

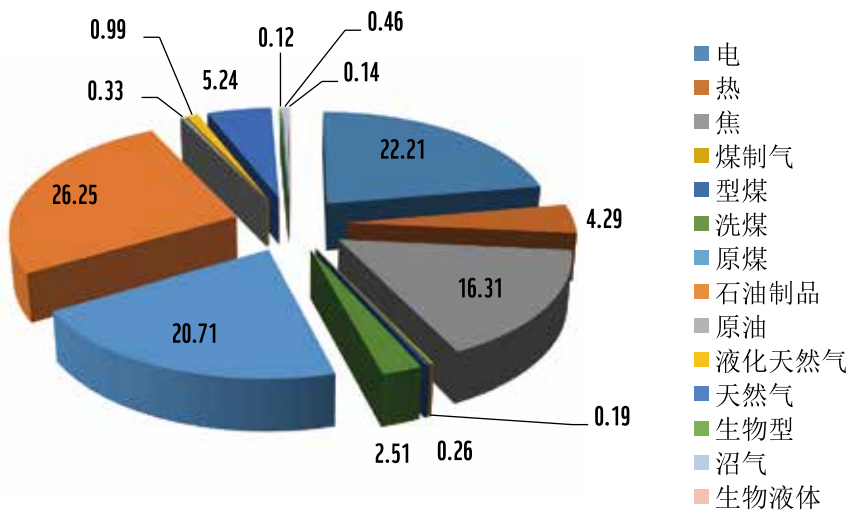


图4 终端消费环节分能源品种消费量构成 (%)

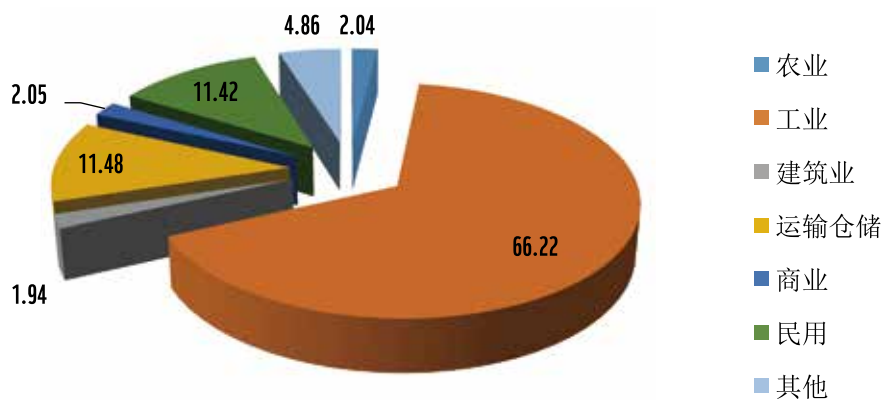


图5 终端消费环节分部门能源消费量构成 (%)

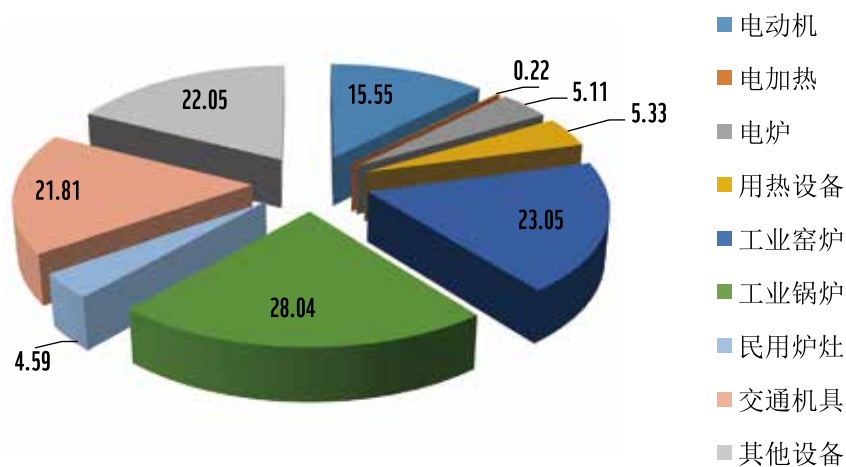


图 6 终端消费环节分设备能源消费量构成 (%)

基于终端消费环节分部门、分能源品种、分用能设备的能源消费量及其构成，再考虑各种用能设备的能源利用效率后，即可计算得出我国2012年能源系统终端消费环节的效率为**56.62%**。

基于上述得到的能源系统各个环节（过程）的能源效率，按本研究构建的能源系统效率计算模型，计算得出的我国2012年能源系统各环节效率和系统总效率如表2所示。即我国2012年能源系统投入的能源总量扣除在一次能源输送、加工、转换、中心电站转换、终端消费等环节的损失量后，能源系统的综合（总）有效利用率为**36.06%**。

表 2 我国 2012 年能源系统效率计算汇总表

| | 一次能源投入量及输送 | | 加工 | | 转换 | | 中心电站转换 | | 二次能源及直接使用的一次能源输送、分配 | | 终端能源消费及有效利用量 | |
|----------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------------------|-------|--------------|-------|
| | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 |
| 环节投入产出量 (亿吨标煤) | 37.91 | 36.38 | 36.38 | 35.78 | 35.78 | 35.27 | 35.27 | 26.12 | 26.12 | 24.15 | 24.15 | 13.67 |
| 环节相对效率 (%) | 95.96 | | 98.32 | | 98.59 | | 74.07 | | 92.43 | | 56.62 | |
| 能源损失率 (%) | 4.04 | | 1.61 | | 1.33 | | 24.12 | | 5.22 | | 27.62 | |
| 能源系统总效率 (%) | 36.06 | | | | | | | | | | | |

3.2我国2012年煤流图及煤炭系统效率

基于多种途径所获得的数据，应用与编制能流图相同的方法，以及应用系统网络图和桑基图两种方式绘制的中国2012年煤流图，见图7和图8。图7中的单位为万吨标准煤，图8中的单位为百万吨标准煤。

煤炭是我国能源系统的构成主体，2012年煤炭消费量25.74亿吨标准煤，占一次能源消费总量的67.89%。扣除煤炭输送环节的损失后，24.26亿吨标准煤的煤炭流入到加工环节，其中75.9%的煤炭直接流入转换环节，24.1%的煤炭通过洗选，产出了洗精煤、其他洗煤和煤矸石。扣除洗选损失后，流入转换环节的煤炭消费量为23.81亿吨标准煤，扣除炼焦、煤制油和制气的损失后流入到中心电站转换环节的煤炭消费量为23.41亿吨标准煤。

经过加工和转换环节后，流入到中心电站转换环节的煤炭消费量由原煤、焦炭、型煤、洗煤和少量的煤制油气构成。其中12.78亿吨标煤的原煤，和少量的洗煤和型煤用于生产电力和热力，占流入该环节能源消费量的54.6%，电力和热力的平均转换效率分别为41.9%和85.7%。考虑到流经该环节的原煤、焦炭、少量的型煤、洗煤和煤制油气和电力和热力转换过程的损失后，流入到二次能源及直接使用的煤炭输送、分配环节的能源量为16.56亿吨标准煤，扣除输送损失后流入到终端消费环节，供给终端用能设备的能源消费量为14.82亿吨标准煤。

煤流图中终端消费环节的能源消费量分部门构成中，工业占80.2%，民用占9.7%，其他部门占10.1%；分能源品种构成中，原煤直接用量占33.7%，电力占28.1%，焦炭及其制品占26.6%，热力占6.8%，煤制油气、型煤和洗选煤占4.8%。分设备消费量构成中工业锅炉占28%，工业窑炉占36%，电动机占19%，电炉和电加热设备占8.6%，民用炉灶占4.4%，其他设备占4%。

基于终端消费环节分部门、分能源品种、分用能设备的能源消费量及其构成，再考虑各种用能设备的能源利用效率后，即可计算得出我国2012年煤炭系统终端消费环节的效率为55.06%。

基于上述得到的煤炭系统各个环节（过程）的能源效率，按本研究构建的煤炭系统效率计算模型，计算得出的我国2012年煤炭系统各环节效率和系统总效率如表3所示。我国2012年煤炭系统投入的能源总量扣除在煤炭输送、加工、转换、中心电站转换、终端消费等环节的损失量后，煤炭系统的总有效利用率为31.71%。

中国 2012 年煤流图 (网络图)

作者: 胡秀莲

©世界自然基金会(WWF)

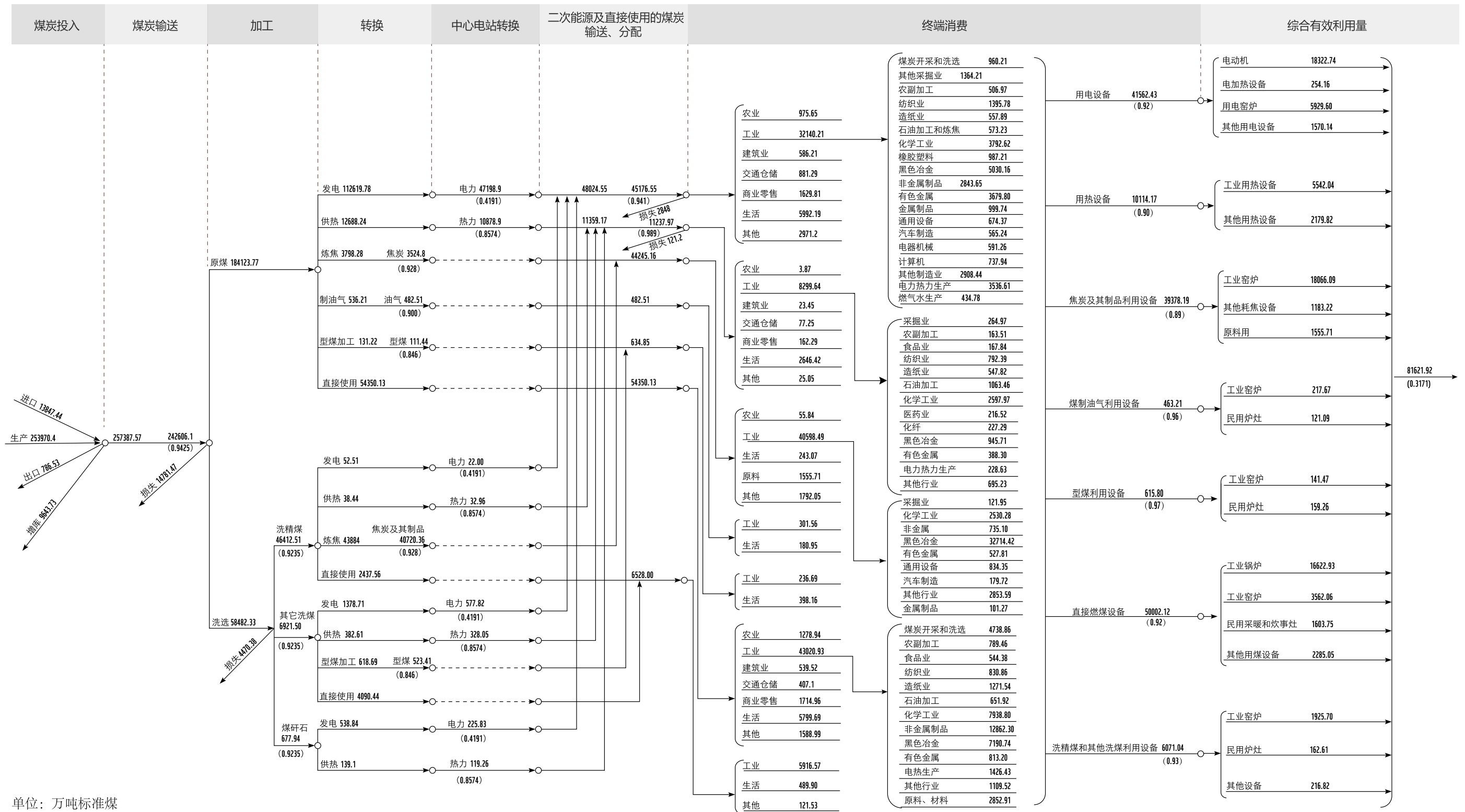
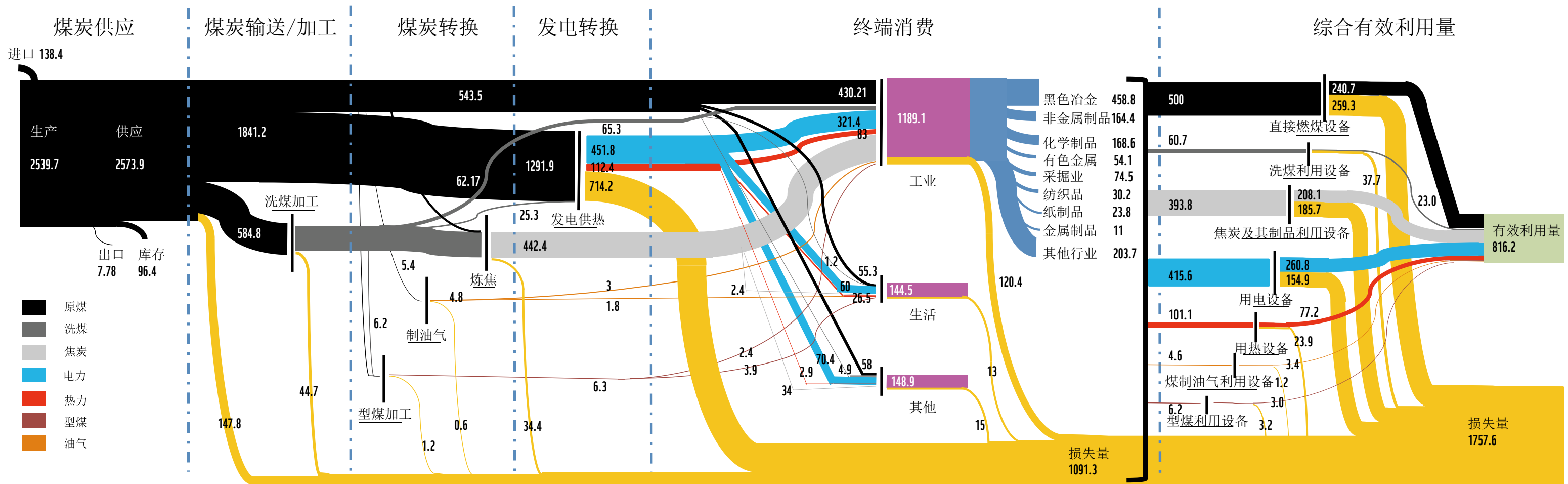


图 7: 中国 2012 年煤流图 (煤炭系统网络图)

中国 2012 年煤流图 (桑基图)

单位：百万吨标准煤



制图：黄本初

资料来源：胡秀莲，“中国 2012 年煤流图，” 2014.

图 8：中国 2012 年煤流图 (桑基图)

表 3 我国 2012 年煤炭系统效率计算汇总表

| | 一次能源投入量及输送 | | 加工 | | 转换 | | 中心电站转换 | | 二次能源及直接使用的一次能源输送、分配 | | 煤炭终端消费及有效利用量 | |
|-------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------------------|-------|--------------|------|
| | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 | 投入量 | 产出量 |
| 环节投入产出量 (亿吨标煤) | 25.74 | 24.26 | 24.26 | 23.81 | 23.81 | 23.41 | 23.41 | 16.56 | 16.56 | 14.82 | 14.82 | 8.16 |
| 环节相对效率 (%) | 94.25 | | 98.16 | | 98.3 | | 70.76 | | 89.49 | | 55.06 | |
| 损失率 (%) | 5.74 | | 1.74 | | 1.58 | | 26.6 | | 6.77 | | 25.86 | |
| 煤炭系统总效率 (%) | 31.71 | | | | | | | | | | | |

4 能源系统效率的比较

4.1 我国1980、1995和2012年能源系统效率比较

1981年和1997年，胡秀莲研究员应用相同的方法，编制了我国1980年和1995年能源系统网络图（能流图），并基于能流图分析计算了我国1980年和1995年能源系统各环节效率和能源系统总效率。为了对比分析我国1980年以来能源系统效率的变化，表4详细的给出了我国1980、1995和2012年能源系统各环节效率和能源系统总效率。

由表4可以看出，经过30多年的努力，我国能源系统总效率已由1980年的25.86%提高到1995年的32.12%和2012年的36.06%。在能源系统各环节中，对能源系统总效率影响较大的是“中心电站转换”和“终端利用”两个环节。

2012年我国中心电站转换环节的能源利用效率与1980年相比下降了10.3个百分点，略低于1995年的效率水平。主要原因是2012与1980年相比，用于发电的煤炭消费量大幅度上升，32年间的年均增长速度高达8.6%，同期能源消费量的年均增长速度为5.8%，用于发电的煤炭占一次能源消费量的比重由1980年的20%上升到1995年的24%和2012年的35%，如果将电力中的水电、核电等考虑进去，占比的增幅还要大。而燃煤发电效率却增幅不大，32年间仅提高了12.1%，年均仅提高0.38%。

2012年与1980和1995年相比，我国终端利用环节的能源利用效率有较大幅度的提高，由1980年33.4%提高到1995年的45.21%，又持续提高到2012年的56.62%，32年间提高了23.22个百分点。在终端利用部门中，民用和商业部门能源利用效率提高幅度较大，主要得益于能源消费结构的优化和技术进步。1980年以来，我国高耗能工业通过持续地实施节能技术改造、高新技术应用、余能回收利用等措施，使工业部门能源利用效率也有较大幅度的提高，由1980年的33.7%提高到1995年的44.16%和2012年的57.94%。另外，由于铁路牵引动力向内燃机和电力机车发展，公路运输柴油车比重上升以及交通运输方式的多元化等，致使交通运输部门的能源利用效率由1980年的15.6%提高到1995年的28.78%和2012年的41%。

表 4 我国 1980、1995 和 2012 年能源系统效率比较

| 能源系统各环节 | 效率 (%) | | | 效率变化 (百分点) | | |
|--------------------------|--------|-------|-------|------------|-----------|-----------|
| | 1980 | 1995 | 2012 | 1980-1995 | 1995-2012 | 1980-2012 |
| 1. 一次能源投入与输送 | 97.60 | 98.58 | 95.96 | -1.64 | -2.62 | -1.10 |
| 2. 加工 | | | 98.32 | | | |
| 3. 转换 | 95.80 | 96.90 | 98.50 | 1.10 | 1.60 | 2.70 |
| 4. 中心电站转换 | 84.37 | 75.02 | 74.07 | -9.35 | -0.95 | -10.30 |
| 5. 二次能源及直接使用的一次能源输送、分配 | 98.16 | 99.14 | 92.43 | 0.98 | -6.71 | -5.73 |
| 6. 中间环节效率 (1×2×3×4×5) | 77.43 | 71.05 | 63.69 | -6.30 | -7.36 | -13.74 |
| 7. 终端消费 | | | | | | |
| 农业 | 23.30 | 29.50 | 44.41 | 6.20 | 14.91 | 21.11 |
| 工业 | 33.70 | 44.16 | 57.94 | 10.46 | 13.78 | 24.24 |
| 建筑 | 57.00 | 56.00 | 53.35 | -1.00 | -2.65 | -3.65 |
| 交通 | 15.60 | 28.78 | 41.00 | 13.18 | 12.22 | 25.40 |
| 商业 | 23.50 | 38.41 | 55.57 | 14.91 | 17.16 | 32.07 |
| 其他 | 30.00 | 40.00 | 52.97 | 10.00 | 12.97 | 22.97 |
| 民用 | 23.50 | 35.64 | 60.48 | 12.14 | 24.84 | 36.98 |
| 终端消费环节效率 | 33.40 | 45.21 | 56.62 | 11.81 | 11.41 | 23.22 |
| 8. 能源系统效率 ((6×7)) | 25.86 | 32.12 | 36.06 | 6.26 | 3.94 | 10.20 |

来源：（1）表中 1980、1995 年数据来自周凤起、周大地主编《中国中长期能源战略》一书中 P11-P150 胡秀莲等“我国能源系统网络图及能源效率研究”，1999 年 2 月，北京，中国计划出版社。（2）2012 年数据来自本研究的中国 2012 年能流图。

4.2 我国与OECD国家能源系统效率比较

我国2012年能源系统效率与OECD国家比较（计算口径一致）见表5。

表 5 我国 2012 年能源系统效率与 OECD 国家比较（%）

| | 中国 | OECD 国家 | |
|--------------------------|---------------|---------|---------|
| | 2012 年 | 70 年代初 | 90 年代初 |
| 1. 一次能源投入到终端利用 (中间环节) | 63.69 | 76.0 | 75* |
| 2. 终端利用环节 | | | |
| 农业 | 44.41 | 30.0 | 36 |
| 工业 | 57.98 | 50.0 | 65 |
| 交通运输 | 41.00 | 23.0 | 30 |
| 城市民用和商业 | 55.57 - 60.48 | 45.0 | 60 - 65 |
| 终端利用环节效率 | 56.62 | 42.0 | 55 |
| 3. 能源系统总效率 (1×2) | 36.06 | 32.0 | 41 |

注：①本表中 OECD 国家 90 年代初的能效数据是 OECD 国家 70 年代末时的预测数，目前相应的实际数据无资料。

由表5可见，我国2012年能源系统总效率相当于OECD国家20世纪80年代的水平，与其90年代初的效率水平相比仍低5个百分点。由一次能源投入到终端消费的中间环节的效率与OECD国家的差距比较大，相差10-12个百分点；终端利用环节的效率比OECD国家20世纪90年代初的效率水平略高出了1.62个百分点。如果我国2012年中间环节的效率达到OECD国家90年代初的水平，我国2012年的能源系统总效率将提高到43%左右，比OECD国家的41%略高出2个百分点。

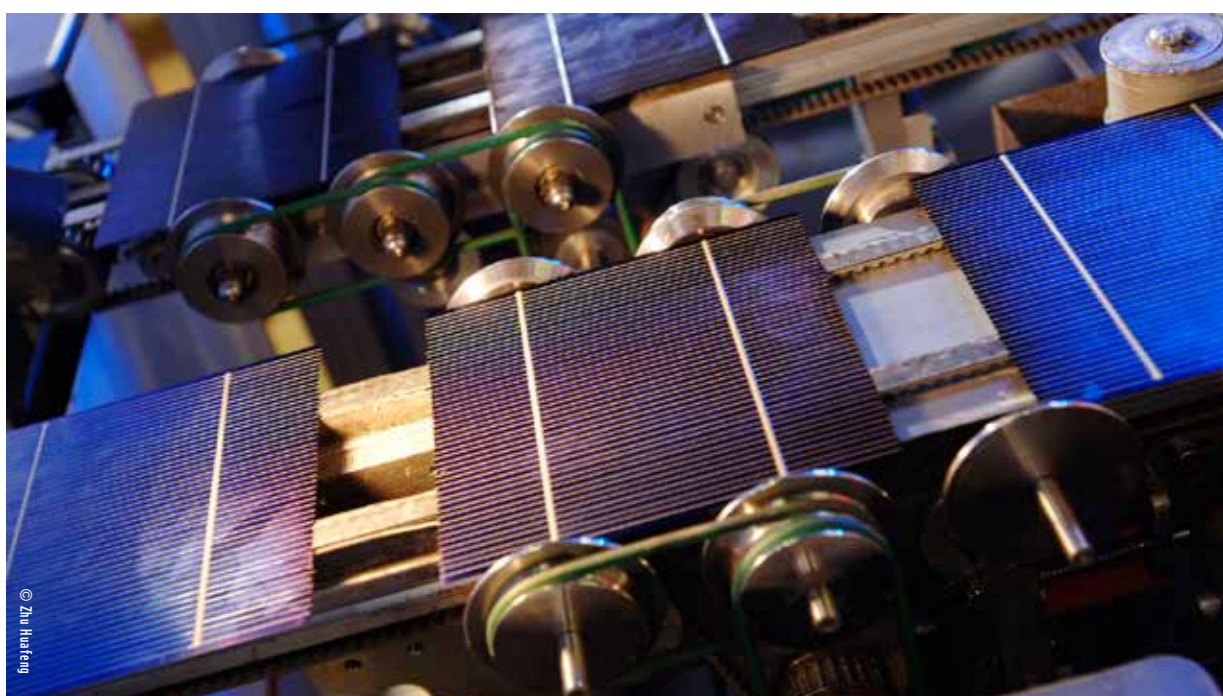
5 结论和讨论

1. 应用相同研究方法和能源系统效率分析模型，继1981年的“中国1980年能流图”以及1997年编制的“中国1995年能流图”后，课题组又编制了“中国2012年能流图”和“中国2012年煤炭系统网络图（煤流图）”，可视化地描述了我国2012年能源（煤炭）系统各种类能源（煤炭）生产供应和消费的流向，输送、加工、转换的方式和相应的技术水平，及其对本环节效率和能源（煤炭）系统总效率的影响。
2. 基于“我国2012年能流图”计算得出我国2012年能源系统各环节的相对效率依次分别为一次能源输送环节95.96%，加工环节98.32%，转换环节98.59%，中心电站转换环节74.07%，二次能源及直接使用的一次能源输送、分配环节92.43%和终端消费环节56.62%，能源系统总效率为36.06%；基于“我国2012年煤流图”计算得出我国2012年煤炭系统各环节的相对效率依次分别为煤炭输送环节94.25%，加工环节98.16%，转换环节98.3%，中心电站转换环节70.76%和终端消费环节55.06%，煤炭系统总效率为31.71%。
3. 研究结果表明，经过32年的努力，我国能源系统效率从1980年的25.86%提高到2012年的36.06%，累计提高了10.2个百分点，年均提高1.04%。32年间的前15年（1980-1995），我国能源系统效率从1980年的25.86%提高到1995年的32.12%，累计提高了6.26个百分点，年均提高1.46%。后17年（1995-2012）我国能源系统效率从1995年的32.12%提高到2012年的36.06%，提高了3.94个百分点，年均提高0.68%。能源系统效率提高的速率前15年大于后17年。
4. 能源效率贯穿在能源系统的各个环节，中国近10年来，尽管高耗能行业单位产品能耗均有较大幅度的降低，进而促进了终端消费环节能源效率的提高，但由于能源系统中其他环节，例如中心电站转换环节，能源输送环节的节能潜力尚未被充分挖掘，致使能源系统的总效率并没有明显的提高，这意味着节能，提高能源效率要注重系统节能，通过提高能源系统各个环节的能源效率，促进能源系统总效率的提高和实现最大化。
5. 能源系统各环节的能源活动水平、结构、密度是分析能源效率的关键元素。在过去的30年里，由于我国发电用煤的持续快速增长，工业能源消费在部门能源消费结构中的比重持续走高，致使这两个行业成为我国节能和提高能效潜力最大的重要领域。随着我国经济社会的转型和持续发展，人民生活水平的提高，在注重工业部门的同时要关注建筑、商业和交通部门的能效问题，因为这些领域的能源消费量的增长速度，占一次

能源消费和终端能源消费的比重在增大，能源消费密度不容乐观（如单位建筑面积采暖能耗、吨公里油耗等），对未来能源系统相应环节和能源系统总效率的影响将越来越明显。

- 通过对我国2012年能源系统效率与OECD国家20世纪90年代的平均能源系统效率进行对比分析发现，2012年我国终端消费环节的能源效率已经达到或略高于OECD国家20世纪90年代初的水平，但由于我国从一次能源投入到终端消费前的整个中间环节的能源效率与OECD国家仍相差10-12个百分点，致使我国2012年能源系统总效率与OECD国家20世纪90年代初的水平相比低了5个百分点，约为OECD国家20世纪80年代的水平。如果我国2012年中间环节的能源效率达到OECD国家90年代的水平，我国2012年的能源系统总效率将有可能提高到43%左右，比OECD国家20世纪90年代初的41%略高出2个百分点。

综上所述，能流图是一种分析方法和工具，能够以图形的方式，生动地表示能源系统各种能流量的比例及流向，能够以清晰的方式显示系统各种能源种类之间的复杂关系，能可视化的分析系统的能源供需平衡关系，能源有效利用与损失的关系，以及影响系统能源有效利用和损失的主要因素及其影响程度。然而，由于在编制能流图过程中受到所需数据数量及质量的影响，导致分析结果存在一定的不确定性，这些问题和挑战有待在更为广泛深入的应用实践中加以改进和完善。



参考文献

- 1.国家统计局,中国能源统计年鉴**2006-2013**,北京,中国统计出版社,2007-2014
- 2.戴彦德,白泉等.中国“十一五”节能进展报告[M].北京:中国经济出版社,2012
- 3.国家发改委能源研究所课题组.中国光伏发电平价上网路线图[R],2011
- 4.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**2011**[M].中国建筑工业出版社,2011
- 5.韩文科,张建国,谷立静.绿色建筑中国在行动[M].中国经济出版社,2013
- 6.韩文科,康艳兵,刘强等.中国**2020**年温室气体控制目标的实现路径与对策[M].北京:中国发展出版社,2012
- 7.国家发改委能源研究所课题组.能源技术路线图中国风电发展路线图**2050**[R],2011
- 8.清华大学中国车用能源研究中心.中国车用能源展望**2012**[M].北京:科学出版社,2012
- 9.姜克隽.中国电力行业绿色低碳路线图[M].中国环境科学出版社,2011
- 10.国家发展和改革委员会能源研究所课题组.中国**2050**年低碳发展之路:能源需求暨碳排放情景分析[M].科学出版社,2009
- 11.王仲颖.赵勇强.张正敏.中国生物液体燃料发展战略与政策[M].化学工业出版社,2010
- 12.王仲颖.任东明.高虎.中国非化石能源之路:**2020**年非化石能源满足**15%**能源需求目标的途径和措施研究[M].中国经济出版社,2012
- 13.王仲颖.任东明.高虎.中国可再生能源产业发展报告**2011**[M].化学工业出版社,2012
- 14.中国石油集团经济技术研究院,2011年国内外油气行业发展报告[R].中国石油集团经济技术研究院出版发行,2012
- 15.傅志寰、胡思继、姜秀山等.交通运输中长期节能问题研究[M].人民交通出版社,2011
- 16.中国工程院中国能源中长期发展战略研究项目组.中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究(电力·油气·核能·环境卷)[M].科学出版社,2011
- 17.中国工程院中国能源中长期发展战略研究项目组.中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究(可再生能源卷)[M].科学出版社,2011
- 18.中国工程院中国能源中长期发展战略研究项目组.中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究(节能·煤炭卷)[M].科学出版社,2011
- 19.国宏美亚(北京)工业节能减排技术促进中心编,中国工业节能进展报告(2011)——“十一五”工业节能成效和经验回顾[R].海军出版社,2012
- 20.中国电力企业联合会.风力发展可持续发展机制研究[R].中国电力企业联
- 21.国际能源机构IEA,《能源技术展望:面向**2050**年的情景与战略》,IEA,2009
- 22.麦肯锡,《中国的绿色革命:实现能源与环境可持续发展的技术选择》,麦肯锡,2009
- 23.胡秀莲等,中国减缓部门碳排放的技术潜力分析,中外能源,12卷4期,2007年8月
- 24.赵家荣主编,重点耗能行业能效对标指南,北京,中国环境出版社,2009

25. 交通运输部规划司, 2011, 2010年公路水路交通运输行业发展统计公报
26. 铁道部统计中心, 2011, 中华人民共和国铁道部2010年铁道统计公报
27. 钢铁研究总院, 中国钢铁工业协会, 钢铁行业单位产品能耗限额国家标准应用指南, 北京: 中国标准出版社, 2009
28. 国务院发展研究中心. 中国城镇化: 前景、战略与政策. 北京: 中国发展出版社, 2010
29. 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展报告. 北京: 中国建筑出版社, 2006-2011
30. 中国城市能耗状况与节能政策研究课题组, 城市消费领域的用能特征与节能途径. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
31. 住房和城乡建设部科技发展促进中心. 中国建筑节能发展报告2010. 北京: 中国建筑出版社, 2011
32. 中国化工节能技术协会. 中国石油和化工行业节能进展报告2010, 2011
33. 工信部. 建材工业“十二五”发展规划, 2011
34. 工信部. 水泥工业“十二五”发展规划, 2011
35. 工信部. 钢铁工业“十二五”发展规划, 2011
36. 工信部. 石油和化学工业“十二五”发展规划, 2011
37. 工信部. 工业节能“十二五”规划, 2012
38. 国家发改委. 国家重点节能技术推广目录(第一、二、三、四、五、六批), 2008-2014
39. 中国科学院. 工业节能政策与技术调研报告, 2011.
40. 中国钢铁工业协会, 2012年中国钢铁工业协会统计数据, 2013.
41. 中国金属学会统计数据, 2013.
42. 黄导. “十二五”钢铁工业余热资源高效合理利用的思考与建议, 2011.
43. 郦秀萍. 钢铁行业二次能源利用现状与前景分析, 2011.
44. 中国科学院. 工业节能政策与技术调研报告, 2011.
45. 国家能源局. 能源发展“十二五”规划, 2011.
46. 国家发改委. “十二五”节能规划, 2011.
47. 工信部. 钢铁工业节能减排的指导意见, 2010.
48. 工信部. 钢铁“十二五”发展规划, 2011.
49. 中科院. 中国科学院重点部署项目“工业节能关键共性技术研究及工业示范”任务书, 2011.
50. 清华大学建筑节能研究中心, 《中国建筑节能年度发展报告2012》. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.3.
51. 中国农村能源统计年鉴2013.





100%
再造纸



36.06%

中国能源系统效率从1980年的25.86%提高到2012年的36.06%。

-10.3%

由于发电用煤占比大幅上升,2012年中国中心电站转换环节效率比1980年下降了10.3%。



31.71%

2012年,中国煤炭系统总有效利用率为31.71%。

35%

发电用煤占一次能源比重由1980年的20%上升到2012年的35%。



我们致力于
遏止地球自然环境的恶化,创造人类与自然和谐相处的美好未来。
www.wwfchina.org