



## 欧内斯特·奥兰多·劳伦斯 伯克利国家实验室

---

# 为中国开发的低碳指标体系

**Lynn Price, Nan Zhou, David Fridley, Stephanie Ohshita, Hongyou Lu, Nina Zheng, Cecilia Fino-Chen**

中国能源研究小组  
能源分析处  
环境能源技术部  
劳伦斯·伯克利国家实验室

**2011年11月**

本报告通过美国能源部合同编号 No. DE-AC02-05CH11231，获得能源基金会中国可持续能源型项目的支持。

## 免责声明

本报告在撰写过程中得到美国政府的支持。尽管我们相信本报告中所包含的相关信息是正确的，但无论是美国政府还是美国政府的任何机构，或是加利福尼亚大学的董事，或是上述机构的任何雇员在此都不提供任何明确或隐含的担保，也不对上述披露的任何信息、图表、产品或程序的准确性、完整性或可用性承担任何责任，或是承诺上述信息不对任何私有权益构成侵犯。在本报告中，我们对特定商业产品、程序或服务商品名称、商标名称、制造商或其他信息的援引并不一定构成或是隐含美国政府或是美国政府任何机构及加利福尼亚大学董事对其支持、建议或拥护。本报告作者在本报告所表达的观点和看法并不一定代表或反映美国政府、任何美国政府机构及加利福尼亚大学董事的观点和看法。

欧内斯特·奥兰多·劳伦斯·伯克利国家实验室是一个推行平等就业机会的雇主机构。

# 为中国开发的低碳指标体系

Lynn Price, Nan Zhou, David Fridley, Stephanie Ohshita,  
Hongyou Lu, Nina Zheng 和 Cecilia Fino-Chen

中国能源小组  
能源分析处  
环境能源技术部  
劳伦斯 伯克利国家实验室

## 摘要

2009年，中国政府做出承诺，到2020年其二氧化碳排放强度（二氧化碳/单位国内生产总值GDP）将在2005年水平基础上下降40%到45%。2011年3月中国政府出台的“十二五”规划也提出2011至2015年间碳排放强度降低17%的目标。中国国家发展与改革委员会（NDRC）也出台了发展低碳城市的相关政策，并宣布选取了5个省份和8个城市开展低碳城市工作试点，但中国政府至今尚未对如何确定一个城市或省份是“低碳的”进行明确说明。

低碳发展在宏观层面的一些指标，比如说单位GDP能源消耗量或单位GDP二氧化碳排放量，或者是人均能源消耗量或人均二氧化碳排放量都过于笼统，因此在评价一个城市或一个省份是否真的是“低碳”方面并不是特别有用。相反，基于终端用能行业（工业领域、居住领域、商业领域、交通行业、电力行业）的指标在定义“低碳”方面提供了一种更好的方法，也能够让我们更好地去采取行动降低与能源相关的碳排放。

本报告展示了在各省和城市层面进行低碳指标体系开发的一套方法论，并对这套方法论进行了验证，根据现有的省级和城市级的有关数据，本报告也提供了终端低碳指标体系的初步结果。在报告开篇部分，我们对城市之间、地区之间或是国家之间进行碳排放对比时通常使用的一些宏观指标进行了探讨，报告然后对为中国开发出一套更加有效的低碳指标方法论进行了探讨，并以中国6个试点省份和城市（北京、上海、山西、山东、广东和湖北）为案例展示了这一指标体系的初步结果。在结尾部分，本报告对低碳指标体系开发过程中的数据问题和其他问题进行了探讨，并对未来改进措施提出了意见和建议。

# 为中国开发的低碳指标体系

Lynn Price, Nan Zhou, David Fridley, Stephanie Ohshita,

Hongyou Lu, Nina Zheng 和 Cecilia Fino-Chen

中国能源小组

能源分析处

环境能源技术部

劳伦斯 伯克利国家实验室

## 1、概述和目标

2009年，中国政府作出承诺，到2020年其二氧化碳排放强度（二氧化碳/单位国内生产总值GDP）将在2005年水平基础上下降40%到45%。2010年8月，经国务院批准，中国国家发展与改革委员会出台了发展低碳城市的政策，并宣布选取5个省份和8个城市进行低碳城市发展的试点（NDRC，2010），其中选取的五个省份分别是广东、辽宁、湖北、陕西和云南，选取的八个城市分别是重庆、天津、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳和保定。2011年3月，中国政府制定的“十二五”规划也提出了2011年至2015年间中国碳排放强度降低17%的目标。

考虑到上面提到的各种不同的二氧化碳排放强度减排目标，对“低碳”进行清晰地定义就显得非常重要，而“低碳”在当前中国也成了一个比较流行的词汇。除了对“低碳”这个概念进行定义之外，也有必要开发出确定一个城市或地区是否满足“低碳”定义的指标，从而对该城市或地区在向更多低碳活动转变过程中的当前状况和相关措施进展进行评估。

低碳发展在宏观层面的各种指标，比如说单位GDP能源消耗量、单位GDP二氧化碳排放量，或是人均能源消耗量或人均二氧化碳排放量都过于笼统，其在衡量一个城市或省份是否真的低碳方面并不是特别有意义，而且也不能针对何处还存在能效不高的情况、哪些地方还需要采取行动提供任何指引。相反，基于终端用能行业（工业领域、居住领域、商业领域、交通行业、电力行业）的指标在定义“低碳”方面提供了一种更好的方法，也能够让我们更好地去采取行动降低与能源相关的碳排放。

本研究项目的目标就是开发出在省份和城市层面上低碳指标体系的方法论，本报告对建立的方法论进行了概要说明，并根据现有省份和城市层面的相关数据提出了终端低碳指标体系的初步结果。在报告开篇部分，我们对城市之间、地区之间或是国家之间进行碳排放对比时通常使用的一些宏观指标进行了探讨，报告然后对为中国开发出一套更加有效的低碳指标方法论进行了探讨，并以中国6个试点省份和城市（北京、上海、山西、山东、广东和湖北）为案例展示了这一指标体系的初步结果。在结尾部分，本报告对低碳指标体系开发过程中的数据问题和其他问题进行了探讨，并对未来改进措施提出了意见和建议。

## 2. 宏观层面的指标

在宏观层面，衡量一个城市、一个地区或是一个国家碳排放强度的指标通常都是基于单位 GDP 二氧化碳排放量，或者是基于人均二氧化碳排放量。

### 2.1 宏观经济层面（GDP）指标

经济层面的碳排放指标，或是单位 GDP 二氧化碳排放量一般由两部分组成：（1）能源强度，其定义是单位经济活动所消耗的能源量；（2）能源供应的碳排放强度，其定义是每单位能源消耗量所产生的碳排放量（美国能源信息署，2004）。正如下面这个公式所揭示的那样，将上述两个部分相乘就能得到一个国家的碳排放强度，其定义就是每美元经济活动所产生的二氧化碳排放量。

$$\text{能源强度} \times \text{能源供应的碳排放强度} = \text{经济活动的碳排放强度或是} (\text{能源消耗量}/\text{GDP}) \times (\text{碳排放量}/\text{能源消耗量}) = (\text{碳排放量}/\text{GDP})$$

就能源强度来说，需要指出的是，在能源强度计算过程中，能源计算范围的不同也会导致计算结果的不同，特别是要区分出终端能源和一次能源之间的差别。这对相关数据的收集以及指标体系的构建来说都非常重要。终端能源或是终端能源消费指的是送达终端消费地点的能源，这就不包括电厂发电效率以及输配电过程中所产生的电损。一次能源不仅包括终端能源消费量，也包括电力生产和电力输配电过程中所消耗掉的能源量。通过下面的公式就可以揭示出一次能源与终端能源之间的关系：

$$\text{终端能源} = \text{燃料使用量} + \text{电力使用量}$$

$$\text{一次能源} = \text{终端能源} + \text{电力生产所消耗的能源和输配电电损}$$

在中国，电力（单位千瓦时）在转换成能源（单位是千克标准煤）时，一次能源计算采用的转换系数是 0.404 千克标准煤/千瓦时，终端能源计算采用的转换系数是 0.1229 千克标准煤/千瓦时。<sup>1</sup>

表 1 就对中国四个大城市（北京、天津、上海和重庆）、五大自治区中间的四个（新疆、内蒙古、宁夏和广西，西藏由于缺乏相关数据未被选取）和 22 个省份的情况进行了比较，采用了三大宏观层面的经济指标：一次能源消耗量/GDP，终端能源消耗量/GDP 和终端二氧化碳排放量/GDP。如果我们将目光仅仅投向四大直辖市，采用上述这三项指标，通过表 1 我们就可以看出北京、天津和上海都可以被认为是“低碳”城市，因为上述三个城市的单位 GDP 能源消耗量和单位 GDP 排放量都比重庆和中国大部分的省份和自治区要低。

---

<sup>1</sup> 为了准确地将电力转换成一次能源，我们应该采用能够反映电力生产能效以及电力输配电过程中损耗的转换因子。2008 年，这一转换因子为 3.11，等同于中国火电发电行业平均 32.15%的能效水平，其中包括输配电过程中的损耗。（国家统计局，Anhua and Xingshu 2006; Kahrl and Roland-Holst 2006）。

**表 1 中国大型直辖市、自治区和各省 2008 年宏观经济层面指标比较表**

地区	一次能源使用量	地区	终端能源使用量	地区	基于能源消耗的碳排放
	一次能源消耗量/GDP		终端能源消耗量/GDP		终端二氧化碳排放量/GDP
	千克标准煤/RMB		千克标准煤/RMB		千克二氧化碳/RMB
北京	0.07	北京	0.05	北京	0.16
广东	0.08	广东	0.05	广东	0.16
上海	0.08	浙江	0.05	福建	0.17
江苏	0.08	江苏	0.05	湖北	0.17
浙江	0.08	福建	0.05	浙江	0.18
江西	0.08	上海	0.06	广西	0.18
福建	0.09	江西	0.06	海南	0.19
天津	0.09	天津	0.07	江苏	0.19
海南	0.09	海南	0.07	四川	0.19
黑龙江	0.10	广西	0.07	上海	0.19
山东	0.10	山东	0.07	江西	0.21
陕西	0.10	安徽	0.07	天津	0.23
广西	0.10	黑龙江	0.07	湖南	0.24
安徽	0.10	河南	0.07	陕西	0.25
湖南	0.11	陕西	0.07	云南	0.25
四川	0.11	湖南	0.07	重庆	0.25
重庆	0.11	四川	0.08	安徽	0.26
河南	0.11	重庆	0.08	山东	0.27
吉林	0.12	湖北	0.09	黑龙江	0.27
湖北	0.12	吉林	0.09	河南	0.29
辽宁	0.13	辽宁	0.10	吉林	0.3
云南	0.15	云南	0.10	辽宁	0.34
河北	0.16	内蒙古	0.12	青海	0.37
新疆	0.16	河北	0.12	新疆	0.37
内蒙古	0.16	甘肃	0.12	贵州	0.37
贵州	0.19	新疆	0.13	甘肃	0.40
甘肃	0.19	贵州	0.13	内蒙古	0.41
山西	0.21	山西	0.15	河北	0.43
青海	0.25	青海	0.15	山西	0.54
宁夏	0.29	宁夏	0.17	宁夏	0.73
平均值-未加权	0.127		0.088		0.286

资料来源：国家统计局 2009；国家统计局，2010；联合国政府间气候变化专门委员会，1996。

注：相关数据仅为中国大陆数据，西藏地区相关数据暂无。

一次能源消耗量：每一个省份终端能源消耗量按照 0.404 千克标准煤/千瓦时的电力转换系数换算而成。

终端能源消耗量：每一个省份终端能源消耗量按照 0.1229 千克标准煤/千瓦时的电力转换系数换算而成。

基于能源消耗的碳排放量：电力排放量计算在电力消耗地点的排放中。其中有关碳排放数据还包括为非能源目的而使用石油产品中所封存的碳排放，比如说沥青和润滑油，其中这部分碳排放量大约为 1.5 亿吨二氧化碳（Fridley, et al. 2011）。

尽管从中国内部各直辖市、自治区和各省份之间比较的角度来看，上述这种比较透露出了一定的信息，但是这种比较无法反映这些地区与全球情况相比是一个什么样的情况。表2就列出了中国四大城市和世界其他大型城市的比较情况<sup>2</sup>。对比的结果显示中国四大直辖市，包括与其他国内城市、地区和省份相比起来显得是“低碳”的三大直辖市，无论是终端能源消耗量还是二氧化碳排放强度都比世界范围内遴选出来的各大城市要明显高出很多。

**表 2 中国四大直辖市与世界范围内遴选的城市在宏观经济指标方面的比较情况，2008 年**

城市名称	终端能源消耗量/GDP (千克标准煤/RMB)	城市名称	二氧化碳排放量/GDP (千克二氧化碳/RMB)
奥斯陆	0.005	奥斯陆	0.004
赫尔辛基	0.006	布鲁塞尔	0.008
阿姆斯特丹	0.006	斯德哥尔摩	0.009
布鲁塞尔	0.006	东京	0.010
东京	0.006	赫尔辛基	0.011
哥本哈根	0.006	苏黎世	0.011
里斯本	0.007	哥本哈根	0.012
维也纳	0.008	罗马	0.012
香港	0.008	台北	0.013
台北	0.008	巴黎	0.014
大阪	0.008	维也纳	0.014
伦敦	0.008	阿姆斯特丹	0.016
纽约	0.009	大阪	0.016
斯德哥尔摩	0.009	伦敦	0.024
巴黎	0.009	横滨	0.025
苏黎世	0.010	纽约	0.026
罗马	0.010	香港	0.027
横滨	0.012	首尔	0.028
柏林	0.012	里斯本	0.030
新加坡	0.015	新加坡	0.030
首尔	0.016	柏林	0.030
北京	0.045	洛杉矶	0.037
上海	0.057	北京	0.160
天津	0.065	上海	0.193
重庆	0.082	天津	0.228
洛杉矶	N.A	重庆	0.253

资料来源：国家统计局，2009；国家统计局，2010；联合国政府间气候变化专门委员会，1996；英国经济学人智库，2011；英国经济学人智库，2009；世界银行，2010。

注：选取的国际城市相关数据位 2008-2009 年度数据；纽约市的数据位 2005 年数据，伦敦的数据位 2006 年数据。国际指标比较方面使用的两个汇率分别是：（1）在将美元转换成人民币时，针对亚洲绿色城市指标，2010 年年均美元对人民币汇率为 0.147679；（2）在将欧元转换成人民币时，针对欧洲绿色城市指标，2008 年全年欧元对人民币的平均汇率为 0.098443。以上两种汇率均来源于加拿大银行的历史汇率数据库，网址为 <http://www.bankofcanada.ca/rates/exchange/>。

<sup>2</sup> 请注意有些会影响比较准确性的因素会使得上述比较复杂化，比如说不同国家货币之间的汇率差异（可以使用购买力平价来进行比较）。

## 2.2 宏观层面的人口指标

与宏观层面的经济指标相类似，使用人口而非 GDP 作为分母的指标体系也可以被用来对各个城市、地区和省份进行比较。表 3 就列出了 2008 年中国 30 个省份、自治区和直辖市在人均一次能源消耗量、人均终端能源消耗量和人均终端二氧化碳排放量方面的比较情况。  
**表 3 中国大型直辖市、自治区和省份 2008 年宏观人均指标比较情况**

地区	一次能源使用量	地区	终端能源使用量	地区	基于能源消耗的 碳排放量
	人均一次能源消 耗量		人均终端能源消 耗量		人均二氧化碳排 放量
	吨标准煤/人		吨标准煤/人		吨二氧化碳/人
江西	1.11	海南	0.80	河南	2.13
安徽	1.25	重庆	0.85	新疆	2.47
广西	1.26	山东	0.87	甘肃	2.62
海南	1.36	辽宁	0.99	湖南	2.73
四川	1.37	河北	0.99	吉林	2.77
贵州	1.47	甘肃	1.01	山东	2.85
云南	1.52	内蒙古	1.06	青海	2.91
湖南	1.58	湖北	1.12	天津	3.09
陕西	1.66	陕西	1.16	黑龙江	3.67
河南	1.73	新疆	1.19	河北	3.99
黑龙江	1.80	贵州	1.22	贵州	4.02
重庆	1.83	广西	1.31	云南	4.13
甘肃	1.89	黑龙江	1.35	辽宁	4.28
湖北	1.96	云南	1.39	陕西	4.66
福建	2.18	四川	1.44	江苏	4.92
吉林	2.31	吉林	1.50	重庆	5.26
广东	2.46	安徽	1.70	内蒙古	5.59
新疆	2.64	河南	1.74	四川	5.87
山东	2.76	江西	1.81	宁夏	6.09
江苏	2.77	湖南	1.97	江西	6.11
浙江	2.88	宁夏	2.07	上海	6.38
河北	3.02	北京	2.25	安徽	7.29
辽宁	3.48	山西	2.36	广东	8.19
北京	3.57	广东	2.48	北京	8.69
山西	3.71	上海	2.60	浙江	8.98
青海	3.84	江苏	2.72	广西	9.59
天津	4.28	青海	2.81	福建	10.82
宁夏	4.66	浙江	3.09	山西	11.85
内门股	4.74	福建	3.36	海南	11.95
上海	5.08	天津	3.50	湖北	12.06
平均值-未加权	2.539		1.757		5.866

资料来源：国家统计局，2009；国家统计局，2010；联合国政府间气候变化专门委员会，1996。

注：相关数据仅为中国大陆数据，西藏地区相关数据暂无。

一次能源消耗量：每一个省份终端能源消耗量按照 0.404 千克标准煤/千瓦时的电力转换系数换算而成。

终端能源消耗量：每一个省份终端能源消耗量按照 0.1229 千克标准煤/千瓦时的电力转换系数换算而成。

基于能源消耗的碳排放量：电力排放量在电力使用地进行计算。其中有关碳排放数据还包括为非能源目的而使用石油产品所封存的碳排放，比如说沥青和润滑油，其中这部分碳排放量大约为 1.5 亿吨二氧化碳（Fridley, et al. 2011）。

使用人均指标体系所显示的中国四大直辖市能源消耗和排放情况与使用 GDP 作为分母的指标体系的情况有所不同。就人均来说，在四大直辖市中，重庆无论是人均能源消耗量还是人均二氧化碳排放量都是最低的，而上海、北京和天津从人均上来说都不能算是低碳城市。在使用人均终端能源消耗量和人均二氧化碳排放量两相指标将中国四大直辖市和世界范围内遴选出来的其他城市相比时，重庆市人均能源消耗量在所有中国直辖市中是最低的，但同时却有很多其他国家的城市比重庆的人均二氧化碳排放量低，这可能是由于这些城市使用的燃料结构更加低碳。与国际范围内遴选的其他城市相比，北京的人均终端能源消耗量也比相对比较低，但同样的，作为中国首都城市的背景其人均二氧化碳排放量相比大部分的其他城市也要高，这主要是由于中国的燃料消费结构中对煤的过度依赖。但整体上来说，中国各城市在能源消费和碳排放方面基本与国际最佳做法接近，而不像基于 GDP 指标体系所显示的那样，中国各城市碳排放强度达到遴选的国际城市的 20 倍，上述这种比较显示出在确定一个城市或是一个省份是否低碳时指标的选取具有非常重要的意义。<sup>3</sup>

**表 4 中国四大直辖市与世界范围内遴选的城市在宏观人均指标方面的比较情况，2008 年**

城市名称	人均终端能源消耗量 (吨标准煤/人)	城市名称	人均二氧化碳排放量 (吨二氧化碳/人)
重庆	1.38	奥斯陆	2.19
香港	1.54	罗马	3.50
里斯本	1.66	斯德哥尔摩	3.62
首尔	2.14	首尔	3.70
横滨	2.48	苏黎世	3.70
台北	2.48	布鲁塞尔	3.91
阿姆斯特丹	2.55	台北	4.20
伦敦	2.55	重庆	4.28
北京	2.56	东京	4.80
柏林	2.65	巴黎	5.04
维也纳	2.69	维也纳	5.19
哥本哈根	2.75	横滨	5.20
罗马	2.89	哥本哈根	5.38
东京	2.90	香港	5.40
布鲁塞尔	2.97	伦敦	5.90
纽约	3.03	赫尔辛基	6.01
赫尔辛基	3.03	纽约	6.50
天津	3.10	柏林	6.57
苏黎世	3.24	阿姆斯特丹	6.66
奥斯陆	3.24	新加坡	7.40
巴黎	3.30	里斯本	7.47
斯德哥尔摩	3.58	大阪	7.60
新加坡	3.74	北京	8.69
上海	3.79	洛杉矶	9.60
大阪	3.88	天津	10.82
洛杉矶	N.A	上海	11.95

资料来源：纽约市，2011；英国经济学者智库，2011；英国经济学者智库，2009；国家统计局，2009；国家统计局，2010；联合国政府间气候变化专门委员会，1996；世界银行，2010。

注：国际城市的相关数据为 2008-2009 年度数据，纽约市的数据为 2010 年数据。

<sup>3</sup> 世界各个城市在人均二氧化碳排放量比较方面有着不同的做法（碳披露项目，2011；纽约市，2011；毕马威会计师事务所，2010），这些做法都强调了数据质量、边界判定、转换因子等的重要性。所有这些问题在中国使用人均二氧化碳排放量指标时都适用。

## 宏观层面指标存在的问题

根据我们在前面部分的讨论，由于存有很多问题和受很多潜在因素的影响，上述两类宏观指标在应用于“低碳”城市或省份的定义时并不是特别可取。在我们所观察的 30 个省份和城市，这两类指标存在的问题包括：

- 宏观层面的指标并不能准确地反映终端能源消耗或碳排放强度，因为这两类指标形成过程中是自上而下的，而且其目的也是对一个国家整体的能源消耗情况做一个笼统的说明；
- 直到 2010 年全国人口普查之前，在中国各省份和城市的人口统计中并没有纳入流动人口的数量，这就会导致很多大型沿海城市和省份在计算人均能源消耗量存在过度计算的问题，因为这些省份和城市有不小的流动人口，比如说北京和上海两地，同时又会导致在其他地区计算人均能源消耗量的不足；
- 由于数据来源的渠道不同、对同一概念定义的不同、汇率、转换系数等等不同，跨国之间的比较也存有一些额外的问题，很多情况下要确保结果的可比性都是很困难的。

潜在的影响因素包括：

- 不同省份和城市之间经济结构不同（比如说第一产业、第二产业和第三产业的结构），要在不同省份和城市之间进行更加公平的比较，我们就应该将这些结构上的差异考虑在内；
- 不同地区的收入水平也是不一样的，通过来说中国东部地区城市和省份的收入要更高一些，这样一来东部地区城市和省份的汽车保有率也会高一些，从而消耗的燃料也要多一些，从而居所消耗的能源量也更高；
- 建筑领域的能源消耗量高度依赖于各个地区的天气状况，但宏观层面的指标忽略了这些差异性，这也就可能导致评价结果的不准确。

经济活动能源强度（比如说能源消耗量/ GDP或二氧化碳排放量/ GDP）属于一个组合型的指标，它不仅反映了物理形态的能源效率，还反映了影响能源消耗量背后的经济结构。随着经济的不断发展，通常情况下经济活动的能源强度会不断下降，但是绝对能源消耗量和碳排放量还会不断上涨。尽管人均指标也许会为不同城市、省份和国家之间的比较提供了一个更为公平的基础，但我们在采用高度笼统的人均指标（比如说人均能源消耗总量或是人均二氧化碳排放量）时还是得有所注意。一个重工业发达但人口很小的城市，比如说给其他城市供应水泥和钢材的城市，尽管生活在该城市的居住在日常生活中所消耗的能源相对来说较少，但按人均计算能源消耗量时，该城市的数值会仍然偏高。同样的，位于寒冷地区的城市比位于温带地区的城市，其能源消耗量一定会更大一些。

因此开发出一套准确的指标体系和相关分项指标体系就十分重要，因为这背后的影响是巨大的，如果我们将本来不是低碳的城市或地区当成是低碳城市（或是相反），这也许会导致相关发展基金的不恰当使用，会导致我们在影响发展方面的努力偏离正确的轨道，鼓励了一些实际上对减少能源消耗量或二氧化碳排放量无益的行为习惯，并且会错失一些关注特定领域、能对实际上将某个地区转化成低碳城市起到最大影响的机会。

### 3. 针对中国的行业终端低碳指标体系

本研究项目的目的就是为中国各直辖市、自治区和各省低碳指标体系的开发探究一套方法论。为了解决前面提到的宏观经济层面指标所存在的一些问题，我们就开发出一套综合性的行业终端低碳指标体系。

使用这套指标体系的优势就在于：

- 其开发是基于国际相关经验而进行的（地方环境行动国际委员会，2009；Zhou et al. 2011），同时也考虑到了中国数据的可获得性和对中国具体国情的适应性；
- 在这套指标体系构建的过程中，我们使用了一个城市或省份整体能源消耗量或是二氧化碳排放量的基础性贡献因子—即主要终端主要能源消耗行业的能源消耗量和二氧化碳排放量：包括居住领域、商业领域、工业领域、交通领域和电力行业<sup>4</sup>。
- 该套指标体系纳入了五大终端能源消耗行业的能源消耗量和二氧化碳排放量，可以对其结果进行加权计算和汇总；
- 通过对五大终端能源消耗行业进行加权计算，我们就可以计算出某个省份或城市内不同能源消耗行业对能源消耗量或是二氧化碳排放量的占比；
- 在建筑领域，根据每个省的气候数据，该套指标体系还可以按照气候调整因子进行调整，从而确保不同城市之间的比较是公平和连贯的；
- 该指标体系是以操作和目标为导向的，其结果可测量，可比较，可以用来对低碳城市进行定义，可以按照能源消耗量和二氧化碳排放量水平来对不同城市进行排名，对能源效率和二氧化碳减排领域的进展进行追踪，并且可以据此建立起基准。

在报告这一部分，我们首先对行业终端低碳指标体系的方法进行阐述，然后我们就运用这一方法论来揭示节选出的 30 个中国省份和城市的具体结果，其中对 6 个省份和城市（北京、上海、山西、山东、广东和湖北）的结果进行了深入的分析，然后在本部分结尾部分，我们对这套新指标体系中发现的问题和有待改进的地方进行了探讨。

#### 3.1. 方法论

终端低碳指标体系的开发主要有以下四个关键步骤：

- 确定终端行业；
- 为选定的每一个终端行业确定指标（根据可获取的相关数据）；
- 为每一个省份或城市收集指标数据；
- 通过指数法和加权终端指标来计算低碳指标体系值。

#### 确定终端行业

---

<sup>4</sup> 居住领域包括建筑行业能源消耗量以及建筑内部电器和设备的能源消耗量。商业领域包括批发行业、零售行业、餐饮行业、建筑行业和其他商业服务领域。农业领域的能源消耗量没有纳入本报告的计算范围。

作为低碳指标体系开发的第一步，我们就是要确定经济领域的关键终端能源消耗行业，且能够获取这些行业的相关数据。对中国来说，我们就确定了五大行业，这五大行业几乎涵盖了现代生产和生活活动的所有方面：居住建筑领域、商业建筑领域、工业领域、交通领域和电力生产行业。这五大领域加起来构成了中国能源消耗量和相关二氧化碳排放量的全部。

### **为每一个终端行业确定指标**

在低碳指标体系开发过程中，第二个步骤就是为第一个步骤中确定的终端能源消耗行业确定指标，同样的，确保开发出来的每一项指标都能获取相关数据，这点至关重要。

#### **居住建筑领域**

对中国来说，居住建筑领域的终端低碳指标被定义为经过天气因素修正的人均居住建筑终端能源消耗量<sup>5</sup>。对这一指标应该按照天气进行调整，以便更好反映出不同气候区域的居住建筑在能源使用方面的不同需求，从而使得这一指标在不同城市 and 不同省份之间具有可比性。比如说，在极度寒冷地区（如哈尔滨），不经过天气调整的居住能源强度同气候温暖的城市（比如说昆明）不经过天气调整的居住能源强度根本无法直接进行比较，这是因为在不考虑天气因素的情况下，整体上比较低的能源强度并不一定表明能源效率就比较高。天气方面的变量可以通过计算制冷天数指数（CDD）和取暖天数指数（HDD）来得出，制冷天数指数和取暖天数指数度量的是同一个基准温度相比，在特定时间段内一个地区的冷/热程度，一般来说基准温度是 18 摄氏度。取暖天数指数是日平均气温和 18 摄氏度基准温度之间负差值的总和，制冷天数指数就是两者正差值的总和（Zhou et al. 2011）。

#### **商业建筑领域**

对中国商业建筑领域来说，终端低碳指标被定义为商业建筑终端能源消耗量/第三产业雇员总述之间的比值<sup>6</sup>。同商业建筑面积的数据相比（平方米），有关雇员总数的数量更加容易获得，但是基于每平方米能源消耗量的指标对于不同商业建筑来说应该更加具有可比性，这是因为每平方商业建筑的雇员数量可能会存有巨大的差异<sup>7</sup>。如果我们还能获得不同建筑类型的数据，然后我们就可以开展更加细致的比较，这是因为不同建筑类型的能源消耗结构是完全不同的，比如说零售场所、办公室、宾馆、教育机构、卫生健康机构等等。

#### **工业领域**

对中国工业领域来说，终端低碳指标被定义为工业终端能源消耗量/工业行业占当地 GDP 的比重（国家统计局，2010）。这一指标实际上是一个非常笼统的指标，它将所有工业能源消耗（和碳排放）活动汇总到一起，然后除以工业行业占当地 GDP 的比重，如果我

---

<sup>5</sup> 在这些指标开发过程中我们使用了终端能源消耗量。采用一次能源消耗量进行对比的结果显示在各城市的整体排序并没有太大的差异。我们在此最终还是选择终端能源消耗量，这主要是考虑到大部分的城市和省份都无法影响其所消耗电力生产的能源效率或是电力输配送过程中所消耗的电损。

<sup>6</sup> 由于相关数据缺失，在本报告的分析中我们对商业建筑领域的能源数据没有进行天气调整，为了获得更加准确的结果，在可能的情况下，我们应该进行这种调整。

<sup>7</sup> 对商业建筑领域来说，通过征收房产税的形式，有关建筑面积的数据可以从当地税务部门获得，或者是，当地建筑建设委员会或计划当局通过都会有建筑面积的记录，对这一指标来说，我们应该使用商业建筑面积的数据，而商业建筑雇员数量的数据。

们能获得工业增加值的数据，而非工业行业占当地 GDP 的比重这一数据，那么这将是非常理想的状态，但在中国有关工业增加值的数据只有在全国层面才有统计，这一指标还可以延伸开发出分项指标，比如说可以将某个城市水泥行业生产的整体能源强度与其他行业的能源消耗强度进行比较，比如说化工行业和钢铁行业，当然这种比较取决于是否能够获取相关数据。

### 交通领域

对中国交通领域来说，终端低碳指标被定义为交通领域的人均终端能源消耗量，这一指标度量的是一个城市周围运送人员和货物的能源消耗或碳排放强度，这一指标也可以按照不同的运输模式进行进一步的开发，但这十分具有挑战性，因为这需要知道所用公用交通模式（汽车、轻轨、地铁、货车等等）的使用情况（客运总里程数和货运总里程数）、所有私家车和出租车出行的总人次—出行次数—里程数以及这些不同出行模式的整体能源消耗量。

### 电力行业

对中国电力行业来说，终端低碳指标被定义为生产的每单位电力所产生的二氧化碳排放量，对电力供应中的脱碳追踪来说，每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量是一个很常见的指标。以每千克二氧化碳/千瓦时为单位，这一指标可以被用来追踪碳含量高的煤使用量的减少情况以及能源生产结构中可再生能源、天然气和核能的使用影响情况。这一指标还可以作为排放因子用来确定每一个终端行业所适用电力的碳排放情况。

### 为每一个省份/城市收集指标数据

在构建分行业的终端低碳指标体系过程中，接下来的一个步骤就是为每一个省份或城市识别并收集所需要的数据。在中国，为开发上面所列的指标体系的所有数据都来源于中国国家统计局所公布的相关数据。在收集这些数据的过程中，我们应该了解数据的定义和界定，从而确保这些指标体系的可比性，这点是十分重要的。

比如说，在提供了整体能源消耗量数据的情况下，了解电力的数据是按照终端能源换算而来还是按照一次能源换算而来就很重要，终端低碳指标体系使用的是终端能源消耗量，所以电力行业的指标应该与每一个终端行业所采用的指标保持一致<sup>8</sup>。另外重要的一点就是相关经济数据应该取自同一个基准年份，在本报告中，中国低碳指标体系开发过程中所适用的能源数据来源于中国国家统计局发布的《2009 年中国能源统计年鉴》（国家统计局，2009），有关经济数据来源于国家统计局发布的《2010 年中国统计年鉴》（国家统计局，2010），而且 2010 年的经济数据还按照国家统计局公布的价格指数换算成了 2005 年的 RMB 数值。二氧化碳排放量的相关数据来源于联合国政府间气候变化专门委员会（联合国政府间气候变化专门委员会，1996）。

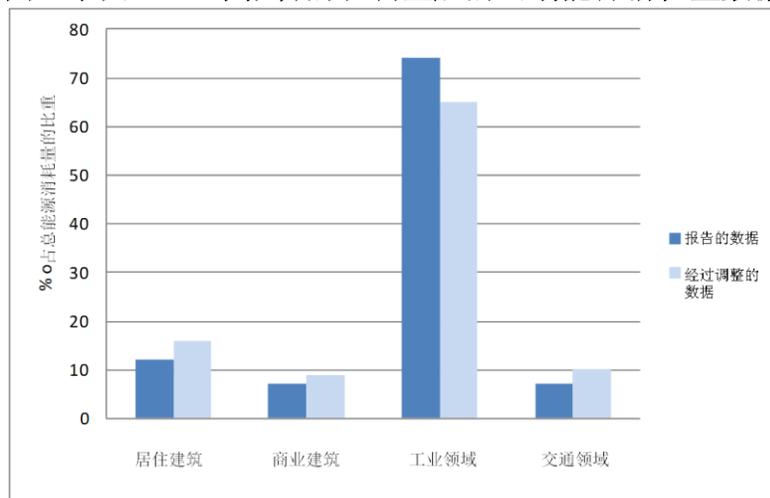
---

<sup>8</sup> 通过对一次能源消耗量计算的低碳指标体系与本报告中采用终端能源消耗量所展示的低碳指标体系结果进行比较，我们发现在计算出来的指标值方面并没有太大的差异。

取决于基础数据的质量和数据之间的可比性，有时候我们也需要对这些数据进行一些调整，比如说，就中国居住领域来说，我们就需要对相关数据进行调整，以便确保所有居住领域的能源消耗都能够被纳入到这一指标中来。通常情况下，工业单位的居住能源消耗量会被纳入到工业领域的能源消耗量进行计算，同居住建筑领域一样，工业领域的交通能源消耗量也有可能需要从工业领域能源消耗量数据中分离出来，并加总到交通领域的数据当中去，从而确保能够更加准确地反映出这一终端行业的能源消耗情况。图 1 就是 2010 年调整后的中国能源消耗量数据（Zhou et al. 2007），但是需要指出的是本报告撰写过程中，我们并没有进行这种调整，因为本报告仅依赖中国官方公布的相关数据撰写而成。

对工业领域、居住领域、商业领域和交通领域的石油制品使用量，我们都进行了调整。在工业领域、居住领域、商业领域和农业领域报告的汽油使用量都重新分配到交通领域，交通领域的煤油和燃料油消耗量有所减少，这主要是考虑到不同省份之间以及国际航班所使用的航空燃油量和船只所使用的燃料油。由于缺少更加详实的数据，因此我们就对总消耗量做了减少 50% 的处理<sup>9</sup>。

**图 1 中国 2000 年报告的和调整后的终端能源消耗量数据**



资料来源： Zhou et al. 2007.

<sup>9</sup> 这一 50% 的减少因子来源于对中国 2009 年航空燃油和航运燃油使用量的具体分析。2009 年，中国 94% 的煤油消耗量为航空煤油，49% 的中国燃料油都用于交通，无论是对航空燃油来说还是对燃料油来说，上述数据都没有在国内航班/船只和国际航班/船只之间做进一步的划分，考虑到某些航班还是省内航班（尽管大部分航班都不属于这种情况），而且有些海运燃料油也是被用来在省内从事海运（尽管大部分情况都不是这样的），我们估计大约 80% 的航班/船只都是从事省际或国际航运的。根据这一估算，在 3970 万吨整体煤油和燃料油消耗量中，大约有 2070 吨是用于省际和国际航运的，也就是说为总消耗量的 50%。

## 通过指数法和加权终端指标来计算低碳指标体系值

一旦确定了终端行业及其指标，并且收集到了相关数据并在必要时对相关数据进行了修正后，终端本地碳指标计算过程中的最后一个步骤就是对每一个终端行业的低碳指标按照指数法进行计算，然后乘以加权因子，然后将这一计算结果加总到电力行业经过指数法和加权计算出来的指标。我们需要对每一个大型直辖市、自治区和各个省份都进行这样的指数法和加权计算。

终端行业的加权因子就是每一个终端领域在居住领域、商业领域、工业领域和交通领域加总的总体能源消耗量所占的比重。通过这种加权计算，每一个终端领域的能源消耗量就能够反映出该行业领域在某个城市或省份整体能源消耗量中所具有的重要性，电力生产行业的加权因子就是电力行业占某个城市或省份总体能源消耗量的比率，公式（1）就列举了

$$(1) \text{ 低碳指标体系} = \left\{ \left( \frac{PR/Cap}{NR/Cap} \times 100 \right) \times \frac{PR}{PT} \right\} + \left\{ \left( \frac{PC/E}{NC/E} \times 100 \right) \times \frac{PC}{PT} \right\} + \left\{ \left( \frac{PI/I \text{ GDP}}{NI/I \text{ GDP}} \times 100 \right) \times \frac{PI}{PT} \right\} + \left\{ \left( \frac{PTr/Cap}{NTr/Cap} \times 100 \right) \times \frac{PTr}{PT} \right\} + \left\{ \left( \frac{PCO_2/Pp}{NCO_2/Pp} \times 100 \right) \times \frac{PElec}{PT} \right\}$$

其中:

PR = 省级居住领域的终端能源消耗量  
NR = 国家层面的居住领域终端能源消耗量  
Cap = 人均  
PT = 省级总体终端能源消耗量  
PC = 省级商业领域终端能源消耗量  
NC = 国家层面的商业领域能源消耗量  
E = 雇员总数  
PI = 省级工业领域终端能源消耗量  
NI = 国家层面的工业领域终端能源消耗量  
I GDP = 工业占 GDP 的比率  
PTr = 省级交通领域终端能源消耗量  
NTr = 国家层面的交通领域终端能源消耗量  
PCO<sub>2</sub> = 省级二氧化碳排放量  
NCO<sub>2</sub> = 国家层面的二氧化碳排放量  
Pp = 生产的电力  
PElec = 省级电力使用量

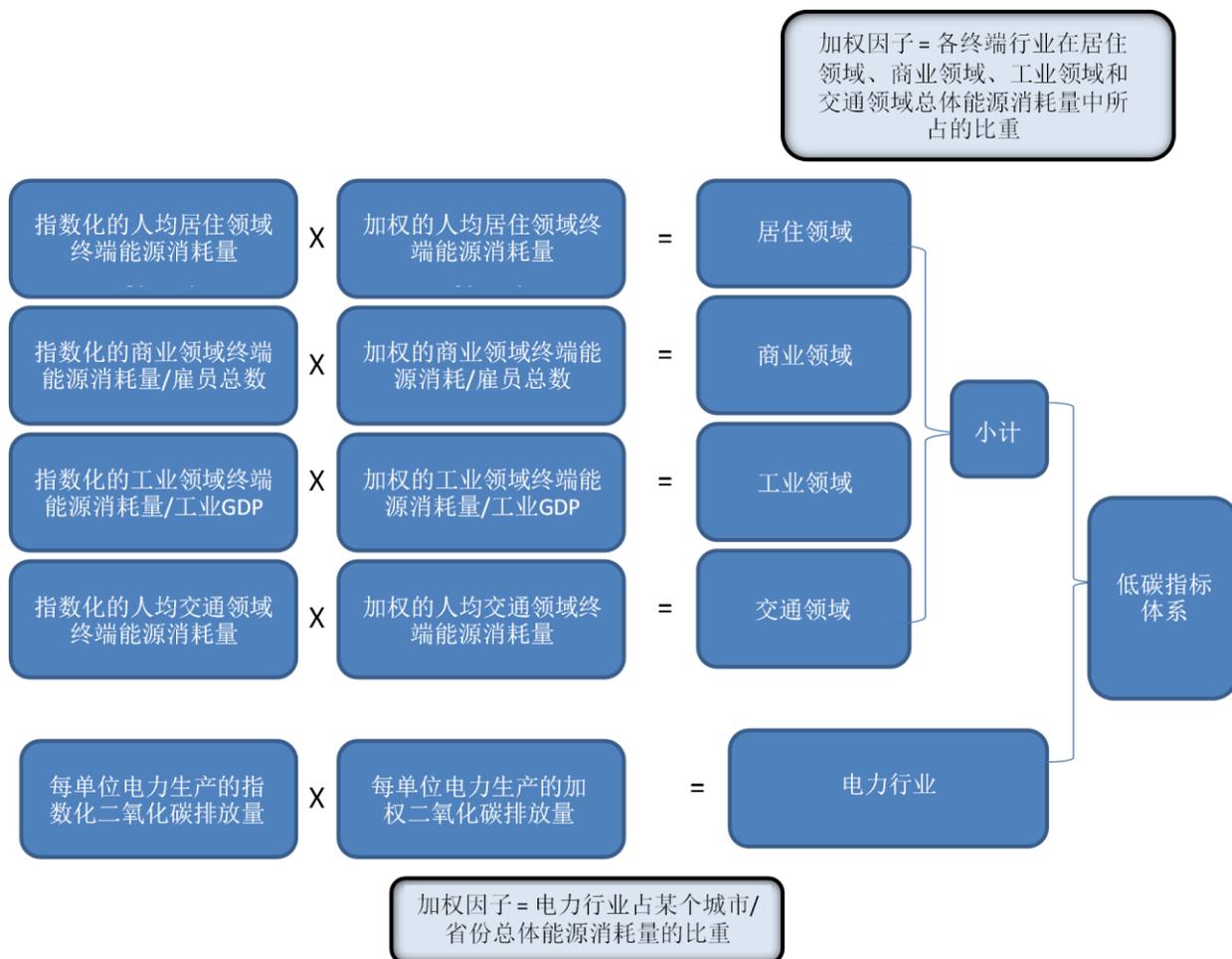


图 2 加总的低碳指标体系计算过程

### 3.2 终端低碳指标体系计算结果

在本部分，根据 2008 年的相关数据，本报告对中国不同行业层面的终端低碳指标体系计算结果进行了描述。表 5 就列出了中国大型直辖市、自治区和有关省份不同行业的终端指标体系 2008 年的计算值。

表 5 2008 年中国大型直辖市、自治区和有关省份终端行业指标值

地区名称	电力	居住领域	商业领域	工业领域	交通领域
	每单位电力生产的二氧化碳排放量	居住领域终端能源消耗量/人均（经过天气修正的）	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	工业领域终端能源消耗量/工业 GDP	交通领域终端能源消耗量/人均
	千克二氧化碳/千瓦时	吨标准煤/人均	吨标准煤/人均	吨标准煤/10,000 RMB（2005 年的可比价）	吨标准煤/人均
北京	0.664	0.385	0.978	0.908	0.584
天津	0.889	0.318	1.396	0.828	0.390
河北	0.995	0.214	0.661	1.871	0.122
山西	0.958	0.308	0.681	2.091	0.255
内蒙古	1.231	0.642	1.661	1.652	0.444
辽宁	1.039	0.301	0.496	1.420	0.335
吉林	1.256	0.246	0.668	1.517	0.243
黑龙江	1.040	0.364	0.479	0.962	0.155
上海	0.829	0.280	1.572	0.796	0.728
江苏	0.803	0.095	0.345	0.828	0.178
浙江	0.695	0.153	0.430	0.678	0.245
安徽	0.890	0.084	0.169	1.372	0.083
福建	0.563	0.145	0.426	0.804	0.217
江西	0.882	0.087	0.184	1.115	0.087
山东	0.975	0.134	0.884	0.983	0.229
河南	0.981	0.128	0.160	1.066	0.083
湖北	0.321	0.156	0.374	1.453	0.253
湖南	0.596	0.124	0.380	1.398	0.114
广东	0.659	0.228	0.463	0.631	0.260
广西	0.371	0.063	0.266	1.296	0.141
海南	0.566	0.069	0.457	1.793	0.248
重庆	0.797	0.147	0.249	1.584	0.173
四川	0.440	0.149	0.243	1.296	0.115
贵州	0.690	0.115	0.592	2.162	0.116
云南	0.558	0.059	0.241	1.958	0.161
陕西	0.847	0.170	0.546	0.931	0.214
甘肃	0.640	0.207	0.221	2.219	0.121
青海	0.314	0.448	0.926	2.152	0.220
宁夏	1.022	0.215	0.735	3.369	0.254
新疆	0.808	0.304	0.756	1.962	0.280

资料来源：国家统计局，2009；联合国政府间气候变化专门委员会，1996。

注：相关数据仅为中国大陆数据，西藏地区相关数据暂无。

一次能源消耗量：每一个省份终端能源消耗量按照 0.404 千克标准煤/千瓦时的电力转换系数换算而成。

终端能源消耗量：每一个省份终端能源消耗量按照 0.1229 千克标准煤/千瓦时的电力转换系数换算而成。

基于能源消耗的碳排放量：电力排放量在电力使用地进行计算。其中有关碳排放数据还包括为非能源目的而使用石油产品所封存的碳排放，比如说沥青和润滑油，其中这部分碳排放量大约为 1.5 亿吨二氧化碳（Fridley, et al. 2011）。

按照公式（1），为了构建一个单一的终端低碳指标，表 5 中所列示的相关指标值需要再次进行指数计算。每一项指标都必须按照未加权的全国平均值进行指数计算，从而能够将

不同的指数值加以汇总。表 6 所列示的就是经过指数化计算的结果。指数化结算结果位于 100 以下表明对于该项特定指标，这个省份或是城市位于全国平均水平以下。指数化结算结果位于 100 以上的表明该省份或城市该项指标位于全国平均水平以上。

**表 6 中国大型直辖市、自治区和相关省份 2008 年经过指数化计算的终端行业指标情况**

地区名称	居住领域终端能源消耗量/人均 (经过天气调整的)	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	工业领域终端能源消耗量/工业 GDP	交通领域人均终端能源消耗量	电力行业二氧化碳排放量/千瓦时
	指数	指数	指数	指数	指数
北京	182	166	63	249	85
天津	151	237	57	166	116
河北	101	112	129	52	128
山西	146	116	144	108	123
内蒙古	304	282	114	189	158
辽宁	143	84	98	143	134
吉林	117	114	105	103	161
黑龙江	173	81	66	66	134
上海	132	267	55	310	107
江苏	45	59	57	76	103
浙江	73	73	47	104	89
安徽	40	29	95	35	114
福建	69	72	55	92	72
江西	41	31	77	37	113
山东	63	150	68	97	125
河南	60	27	74	35	126
湖北	74	64	100	108	41
湖南	59	65	97	49	77
广东	108	79	44	111	85
广西	30	45	89	60	48
海南	33	78	124	105	73
重庆	69	42	109	74	102
四川	70	41	89	49	57
贵州	54	101	149	50	89
云南	28	41	135	69	72
陕西	80	93	64	91	109
甘肃	98	38	153	51	82
青海	212	157	173	94	40
宁夏	102	125	233	108	131
新疆	144	129	135	119	104
全国平均值	100	100	100	100	100

尽管如此，表 6 中的指标值也并不能完全解释各个省份或城市的具体情况，这主要是因为这些指标值没有将每一个终端行业领域的能源消耗量占每个省份的比重考虑在内。因此，接下来的一个步骤就是要根据四个终端行业领域中（居住领域、商业领域、工业领域和交通领域）每一个领域的能源消耗量比重来计算为加权因子，同时也要计算各省/城市电力消耗量占全省/城市能源消耗量的比重（结果表 7 所示）。然后再将这些加权因子乘以每一个终端行业领域的指数值。

表 7 中国大型直辖市、自治区和相关省份 2008 年终端行业领域指标的加权因子

地区名称	居住领域能源消耗量占总体终端能源消耗量的比重	商业领域能源消耗量占总体终端能源消耗量的比重	工业领域能源消耗量占总体终端能源消耗量的比重	交通领域能源消耗量占总体终端能源消耗量的比重	电力消耗量占全省能源消耗量总量的比重
	%	%	%	%	%
北京	0.15	0.20	0.41	0.24	0.19
天津	0.10	0.09	0.69	0.13	0.17
河北	0.09	0.04	0.81	0.06	0.14
山西	0.11	0.04	0.76	0.10	0.16
内蒙古	0.12	0.08	0.67	0.14	0.18
辽宁	0.10	0.04	0.73	0.13	0.15
吉林	0.10	0.06	0.71	0.14	0.12
黑龙江	0.16	0.05	0.66	0.12	0.16
上海	0.08	0.12	0.59	0.21	0.20
江苏	0.06	0.04	0.80	0.10	0.26
浙江	0.09	0.07	0.70	0.15	0.31
安徽	0.10	0.03	0.77	0.10	0.20
福建	0.09	0.06	0.68	0.16	0.27
江西	0.09	0.04	0.76	0.11	0.17
山东	0.07	0.08	0.73	0.12	0.17
河南	0.10	0.02	0.80	0.07	0.21
湖北	0.11	0.05	0.66	0.18	0.16
湖南	0.10	0.06	0.73	0.11	0.17
广东	0.11	0.07	0.65	0.18	0.28
广西	0.07	0.05	0.71	0.17	0.21
海南	0.05	0.08	0.61	0.26	0.17
重庆	0.10	0.04	0.72	0.13	0.14
四川	0.15	0.05	0.68	0.12	0.17
贵州	0.15	0.13	0.61	0.12	0.20
云南	0.08	0.03	0.72	0.16	0.19
陕西	0.14	0.08	0.59	0.18	0.17
甘肃	0.13	0.03	0.74	0.10	0.22
青海	0.12	0.07	0.72	0.09	0.28
宁夏	0.06	0.04	0.81	0.09	0.28
新疆	0.11	0.05	0.70	0.14	0.11
全国总计	0.10	0.06	0.71	0.13	0.19

注：终端行业领域的各项比重加总到一起为 100%，电力行业的比重为同其他能源来源相比（比如说煤，天然气），各省所适用能源中电力所占的比重。

表 8 所列表的是 30 个中国省份、自治区和直辖市各自的终端低碳指标体系的加总结果，在图表的左边一栏，各个省份的加总结果按照在中国相关报告中的典型排序方式进行排列，但在图表右边一栏，我们又按照升序对上述结果进行了重新排序。较低的终端低碳指标值意味着更为“低碳”。在评估的 30 个城市、自治区和省份中，中国四大直辖市，即重庆、天津、北京和上海分别位列第 15, 16, 26 和第 29 位。由于这一评估结果将所有的能源消耗行业领域以及电力行业都考虑在内，而且是基于能源消耗量而得出（出口的能源量不计

算在内，但进口的能源量是计算在内的），所以使用终端能源消耗值过程中经常出现的“碳泄漏”问题就得以避免。

**表 8 中国大型直辖市、自治区和相关省份 2008 年终端低碳指标**

地区名称	终端低碳指标	地区名称	终端低碳指标
北京	163	福建	83
天津	115	江苏	85
河北	140	江西	87
山西	159	浙江	87
内蒙古	188	广东	88
辽宁	127	广西	88
吉林	126	四川	89
黑龙江	107	陕西	92
上海	161	河南	95
江苏	85	湖南	99
浙江	87	山东	100
安徽	104	湖北	103
福建	83	安徽	104
江西	87	黑龙江	107
山东	100	重庆	112
河南	95	天津	115
湖北	103	海南	123
湖南	99	吉林	126
广东	88	云南	126
广西	88	辽宁	127
海南	123	贵州	135
重庆	112	河北	140
四川	89	新疆	145
贵州	135	甘肃	150
云南	126	山西	159
陕西	92	上海	161
甘肃	150	北京	163
青海	180	青海	180
宁夏	247	内蒙古	188
新疆	145	宁夏	247

注：较低的终端低碳指标值表明更为“低碳”。

上述结果可以被用来定义什么样的直辖市、自治区或省份才是“低碳”的，基于表 8 中所列示的相关结果，一个可能的做法就是将所有低碳指标值低于 100 的地区都认为是“低碳”的。另外一个做法就是制定 5 到 10 个指标值最低的地区作为“低碳”城市的代表。由于在本报告的分析，我们对一系列情况不同的城市、自治区和省份适用了同样一套方法论，因此我们在此不建议制定一个特定的指标值。如果将这套方法论用于更加同质化的对象组合（比如说仅仅是城市），其得出的相关结果就可以被用来为符合什么样条件的城市才是“低碳”的选取一个特定指标值。

图 3 是终端人均二氧化碳排放量指标结果在地理上的分布图。从图 3 我们可以看出人均二氧化碳排放量在中国北方工业城市最高，然后是东部的各个临近省份以及西边边远地区的

新疆。但是由于各个省份之间经济结构或气候状况的不同，因此这一指标在各个省份之间的比较也有不合理的地方。

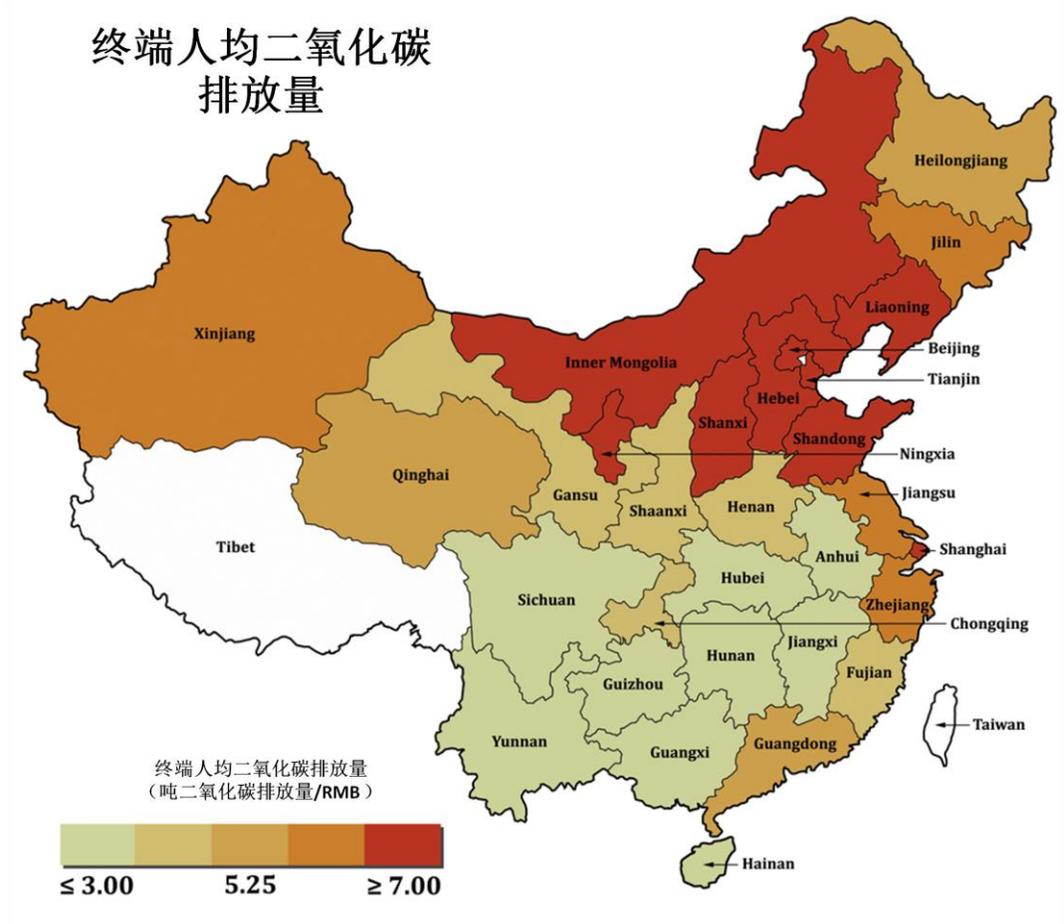


图 3 终端人均二氧化碳排放量指标结果

图 4 显示的是单位 GDP 终端二氧化碳排放量的情况。单位 GDP 二氧化碳排放量比较高的省份主要集中在中国西部和北部地区，而中国沿海地区和南部地区省份的单位 GDP 二氧化碳排放相对来说较低。这种基于经济发展程度的指标偏袒了这些经济更加发达的地区或是能源消耗地区，使得这些地区看起来更加“低碳”，而非这些能源生产省份。

图 5 列出的是低碳指标体系的结果，根据这套指标体系，中国东部和南部省份在碳排放方面的排序位次最低，其中一个特例就是上海，如果使用这套综合指标体系来衡量，上海的碳排放很高，这主要是由于其主导的某些碳排放强度高的行业，对于这点在后面部分还有进一步的解释和说明。除了几个特例之外，使用低碳指标体系来衡量，中国东部和南部地区相比北部和西部地区碳排放更低。

### 单位GDP终端二氧化碳排放量

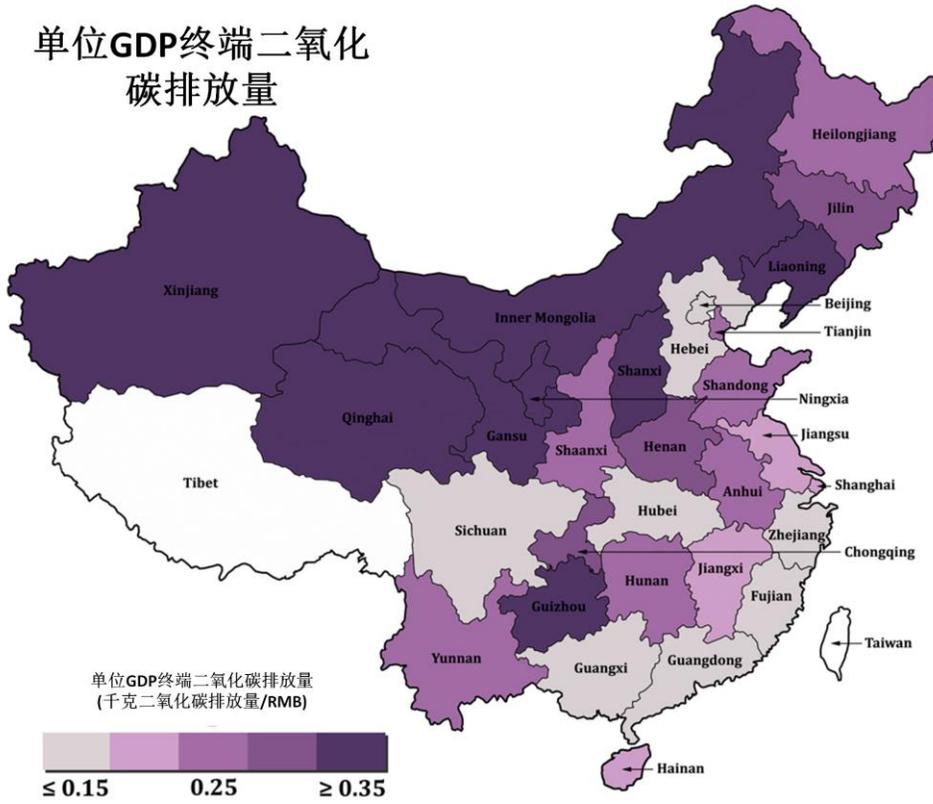


图 4 单位 GDP 终端二氧化碳排放量指标结果

### 终端低碳指标

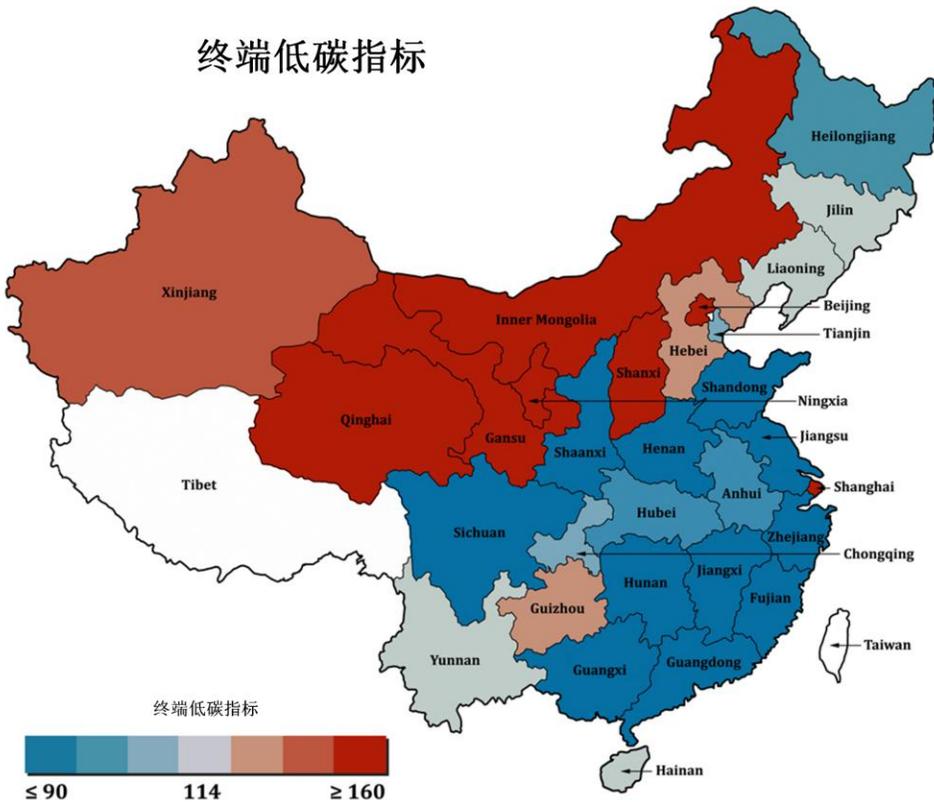


图 5 终端低碳指标体系结果图

为了进一步理解行业终端低碳指标体系与前面提到的两个经常采用的宏观经济层面的指标（基于经济和基于人口的）以及五个终端不同行业的单项指标的比较情况，我们选取了 6 个中国省份和城市（北京、上海、山西、山东、广东和湖北）进行了进一步的详细评估，选取出来的这 6 个省份和城市基本代表了中国各个省份不同的经济发展水平。针对选取出来的每一个城市或省份，我们都对其在终端行业指标体系中的整体排序情况进行了简要说明。

**北京**

在我们评估的 30 个大型直辖市、自治区和相关省份中，若使用基于 GDP 的相关标准来衡量，北京在“低碳”方面的排序位次非常高，即在单位 GDP 终端能源消耗量方面排名全国第一（参见表 9）。作为中国的首都，北京拥有高度发达的、经济生产效率高的商业领域，因此这一位次本身并没有什么让人感到惊奇的地方。另外一方面，，在使用基于人口的指标来衡量时，北京就显示不是这么“低碳”了，人均一次能源消耗量、人均终端能源消耗量和人均二氧化碳排放量均位于全国第 24 位，同样的，作为一个人口高度集中的城市，这一结果也不会让人们感到惊奇。在 2010 年之后，北京在人均指标方面的排序位次很有可能会上升，这是因为 2010 年的人口普查将之前没有纳入的流动人口也纳入了人口普查的范围，在本报告中的相关指标值中这部分流动人口还没有纳入到人口计算中来，但在 2010 年以后这部分人口将纳入北京人口进行计算。

就不同行业的终端指标来看，北京再次表现尚可，其中一项基于 GDP 的指标全国排序第 7（工业领域终端能源消耗量/工业 GDP），在每千瓦时电力生产所产生的每千克二氧化碳排放量指标方面，北京也位于第 11 位。总体上来说，若将不同行业的终端指标值汇总到终端低碳指标体系总，北京在全国 30 个省份中排名第 27 位，这主要是居住建筑领域人均使用的能源量较高，商业建筑领域每个雇员能源消耗量较高以及交通领域的人均能源消耗量也较高，尽管目前北京的地铁系统在快速发展过程中，北京也引入了快速公交系统。

**表 9 北京在宏观指标和行业指标方面的排名情况**

宏观层面的指标	北京的排名情况	不同行业终端指标	北京的排名情况
单位 GDP 一次能源消耗量	1	居住领域人均能源消耗量	28
单位 GDP 终端能源消耗量	1	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	27
单位 GDP 终端二氧化碳排放量	1	工业领域终端能源消耗量/GDP	7
人均一次能源消耗量	24	交通领域终端能源消耗量/人均	29
人均终端能源消耗量	24	每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量	11
人均终端二氧化碳排放量	24	终端低碳指标体系	27

**上海**

与北京类似，作为中国的金融中心，上海按照基于 GDP 的指标排序在低碳方面位于全国第 3（见表 10），而且还与北京类似的是，这个人口众多的城市在人均能源消耗量和人均二氧化碳排放量方面的排名并不是太好（分别为第 29 位和第 30 位）。目前上海正在致力于将自己发展成为中国的顶级航运中心，毫无疑问，这必将导致其在交通领域的能源消耗量不断增大，导致在交通领域这项指标上，上海位于我们所观察的 30 个省份和城市中最

后一名。上海在居住领域人均能源消耗量和商业领域人均能源消耗量方面的排名也非常靠后，但是上海的工业领域相对来说还是比较低碳的，工业领域单位工业 GDP 的终端能源消耗量指标排名位于全部 30 个省份和城市的第三位。尽管单位电力生产所产生的二氧化碳排放量处于中等水平（位于第 17 位），上海在总体终端低碳指标方面的排名是第 26 位，从而使得上海成为中国最不低碳的几个地区之一。

**表 10 上海在宏观指标和行业指标方面的排名情况**

宏观层面的指标	上海的排名情况	不同行业终端指标	上海的排名情况
单位 GDP 一次能源消耗量	3	居住领域人均能源消耗量	22
单位 GDP 终端能源消耗量	6	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	29
单位 GDP 终端二氧化碳排放量	10	工业领域终端能源消耗量/GDP	3
人均一次能源消耗量	30	交通领域终端能源消耗量/人均	30
人均终端能源消耗量	30	每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量	17
人均终端二氧化碳排放量	29	终端低碳指标体系	26

### 山西省

拥有丰富的煤炭储量，煤炭开采行业在山西具有举足轻重的作用，但无论是按照基于 GDP 的宏观层面的指标，还是按照基于人均的宏观层面指标来衡量，山西在“低碳”方面的排名都很低（见表 11）。不同行业终端指标值也表明在中国大型直辖市、自治区和相关省份中，无论是居住领域人均能源消耗量还是交通领域人均能源消耗量，无论是商业领域每个雇员能源消耗量还是工业领域每单位工业 GDP 的能源消耗量方面，以及每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量方面，山西省都位于下半列，这表明山西不仅需要花大力气提高能源效率，而且山西也需要转变经济发展方式，更多转向碳排放强度更低的第二产业，从而减少能源消耗量、二氧化碳排放量以及多年自然资源开采所带来的相应环境压力。

**表 11 山西省在宏观指标和行业指标方面的排名情况**

宏观层面的指标	山西省的排名情况	不同行业终端指标	山西省的排名情况
单位 GDP 一次能源消耗量	28	居住领域人均能源消耗量	25
单位 GDP 终端能源消耗量	28	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	22
单位 GDP 终端二氧化碳排放量	29	工业领域终端能源消耗量/GDP	26
人均一次能源消耗量	25	交通领域终端能源消耗量/人均	23
人均终端能源消耗量	26	每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量	22
人均终端二氧化碳排放量	26	终端低碳指标体系	25

### 山东省

在单位 GDP 能源消耗量方面，山东省的排名相对较好（在全国排名第 11 位），在单位 GDP 终端二氧化碳排放量方面，山东省的排名稍稍位于全国平均水平之后（位于第 18 位）（见表 2）。在人均一次能源消耗量、人均终端能源消耗量和人均二氧化碳排放量方面，山东省的排名情况就更加低了（分别位于第 19、第 20 和第 22 位）。在按照不同行业细分的终端指标来衡量时，我们可以看到山东省居住领域和工业领域都相对来说比较“低碳”（两项指标排名均为第 10 位），而商业建筑领域、交通领域和电力生产领域的排名则更低。最为中国的重工业大省之一，山东省在工业领域的指标方面排名反倒是相对“低碳”些，

这主要是由于山东对工业能效比较关注，并且花大力气提高工业领域的能效。由于工业领域的能源消耗量占到全省能源消耗量的 74%，相对较高的工业能效很明显对山东在“低碳”方面的排名起到了积极的贡献，山东在全国大型直辖市、自治区和相关省份中的排名为第 11 位。

**表 12 山东省在宏观指标和行业指标方面的排名情况**

宏观层面的指标	山东省的排名情况	不同行业终端指标	山东省的排名情况
单位 GDP 一次能源消耗量	11	居住领域人均能源消耗量	10
单位 GDP 终端能源消耗量	11	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	25
单位 GDP 终端二氧化碳排放量	18	工业领域终端能源消耗量/GDP	10
人均一次能源消耗量	19	交通领域终端能源消耗量/人均	17
人均终端能源消耗量	20	每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量	23
人均终端二氧化碳排放量	22	终端低碳指标体系	11

### 广东省

与山东省相类似，广东省工业领域消耗了全省所消耗能源的最大部分（占比达到了 64%）。广东省的工业生产主要集中于高附加值的产品，因此在按照单位 GDP 整体能源消耗量和单位 GDP 终端二氧化碳排放量指标衡量时，广东的排名情况都非常好（在终端能源消耗量、一次能源消耗量和终端二氧化碳排放量方面的排名分别是第 2、第 2 和第 2 位），若按照人均指标来衡量，广东省人均能源消耗量和人均二氧化碳排放量的排名分别下降到第 16 位和第 17 位（见表 13）。

按照不同行业终端指标来衡量，广东省在居住建筑领域（排名为第 20 位）和交通领域（排名为第 24 位）并不是很“低碳”，而在商业建筑领域（排名为第 15 位）和电力生产领域（排名为第 10 位）的排名情况却要好得多。一个非常有趣的现象就是，在单位工业 GDP 的工业终端能源消耗量方面，在所有大型直辖市、自治区和相关省份中广东排名第一，由于工业领域能源消耗量占到了全省能源消耗总量的 66%，因此工业领域的这一排名极大助推了广东在“低碳”方面的整体排名情况（在中国位于第 5 位）。

**表 13 广东省在宏观指标和行业指标方面的排名情况**

宏观层面的指标	广东省的排名情况	不同行业终端指标	广东省的排名情况
单位 GDP 一次能源消耗量	2	居住领域人均能源消耗量	20
单位 GDP 终端能源消耗量	2	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	15
单位 GDP 终端二氧化碳排放量	2	工业领域终端能源消耗量/GDP	1
人均一次能源消耗量	17	交通领域终端能源消耗量/人均	24
人均终端能源消耗量	16	每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量	10
人均终端二氧化碳排放量	16	终端低碳指标体系	5

### 湖北省

在单位 GDP 一次能源消耗量和终端能源消耗量方面，湖北省的排名情况处于中等水平（分别位于第 20 位和第 19 位），在人均一次能源消耗量和人均终端能源消耗量方面的排名情况也是如此（分别位于第 14 位和第 15 位）（见表 14）。但是，由于湖北省内几大

湖的水资源供应非常充足，提供了非常丰富的水电资源，因此湖北省内单位电力生产所产生的二氧化碳排放量非常低，使得其在全国各大直辖市、自治区和相关省份中的排名为第 2 位，这样一来，其单位 GDP 二氧化碳排放量和人均二氧化碳排放量也都非常低，分别位于第 4 位和第 6 位。

尽管在电力生产方面，每千瓦时电力生产所产生的二氧化碳排放量非常低，位于全国第 2 位，但湖北在终端低碳指标体系方面的排名为第 12 位，这主要是由于湖北其他终端行业的排名非常低，特别是在交通领域（位于第 21 位）和工业领域（位于第 18 位）。

**表 14 湖北省在宏观指标和行业指标方面的排名情况**

宏观层面的指标	湖北省的排名情况	不同行业终端指标	湖北省的排名情况
单位 GDP 一次能源消耗量	20	居住领域人均能源消耗量	15
单位 GDP 终端能源消耗量	19	商业领域终端能源消耗量/第三产业雇员总数	10
单位 GDP 终端二氧化碳排放量	4	工业领域终端能源消耗量/GDP	18
人均一次能源消耗量	14	交通领域终端能源消耗量/人均	21
人均终端能源消耗量	15	每单位电力生产所产生的二氧化碳排放量	2
人均终端二氧化碳排放量	6	终端低碳指标体系	12

### 3.3 行业层面低碳指标体系存在的相关问题

尽管同简单的单位 GDP 能源消耗量、单位 GDP 二氧化碳排放量或是人均能源消耗量以及人均二氧化碳排放量指标相比，我们在前面部分讨论的行业层面低碳指标代表了一种进步，但是在为中国开发这套指标体系的过程中也发现了一些问题。

就商业建筑领域来说，理想的指标将是经过天气调整的单位商业建筑面积（平方米）能源消耗量，但是在中国地方层面的商业建筑面积的数据非常难以获得，所以我们在计算过程中使用了第三产业雇员总数作为替代指标。此外，根据不同商业建筑类型而更加细分的指标将更加有助于我们理解不同商业建筑的能源消耗情况，并对相关领域的进展情况追踪，但是中国这方面的数据，无论是在省级层面，还是在城市层面都比较难以获取。

就工业领域来说，在本报告中我们使用工业行业占地区 GDP 的比重作为分母，但一个更好的指标值就是省级或城市层面的工业领域附加值。但同样的，对中国来说，工业领域的附加值相关数据只有在国家层面上才有统计。

就交通领域来说，如果能够获得有关所有公共交通模式（公共汽车、轻轨、地铁等）使用（出行人次—里程数）的更加具体的信息、所有私家车和出租车出行的总人次—出行次数—里程数以及这些不同出行模式的整体能源消耗量，这将是十分有益的，有助于开发出更加详细的指标和标准，但是对中国来说，这方面的信息在省级和城市层面也不能够获取。

就电力行业来说，本报告在计算中所使用的指标是基于相关省份整体电力生产量，其单位为每千瓦时电力生产所产生的二氧化碳排放量，这种计算方法对大型水电生产省份和出口省份比较有利，比如说湖北省（在全国排名第 2 位），因为与其他以煤为主发电的省份，比如说山东相比（全国排名第 23 位），这些省份电力生产过程中所产生的二氧化碳排放量更低，这一做法的相关优缺点包括：

- 这一做法更加符合电力生产消费的供应侧情况。几乎所有的省份都不仅进口电力，而且也向区域性电网出口电力，当前这种以各个省份为基础的计算方法并没有将出口电力生产过程中所产生的二氧化碳排放量计算在外，同时也没有将进口电力所产生的二氧化碳排放量计算在内，因此对特定省份来说，目前电力行业的指标值也许未能准确地反映出其实际的终端能源消耗情况，导致主要电力出口省份的排放量被过度放大，而主要进口省份的排放量又被过度低估。如果能将计算范围由不同省份扩大到地区电网，这将能够更好的反映出不同省份之间实际电力生产所产生的二氧化碳排放情况；
- 基于电网的计算方法也能够减少可再生能源发电占比比较高的省份与化石能源发电占比比较高的省份之间的差异，正如我们在山西和湖北两个省份的例子中看到的那样，使用化石能源生产同样数量电力的省份比使用更加可再生能源的省份所产生的二氧化碳排放量要多，如果按照电网来进行计算就有助于理清这方面的差异。
- 新方法在实施过程中所面临的一个挑战就是基于电网的指标计算要比以各个省份为基础的计算更加难，这是因为有些电网的边界与相关省份的省界并不一定吻合，这样一来，在电网边界与相关省界并不吻合的情况下，为了能够以电网为基础进行指标计算，我们就需要获得额外的省级以下层面的相关数据，或者是从其他的渠道提供进行全电网范围的指标计算。中国国家发展与改革委员会的确发布有关电网电力生产的相关数据，但这些数据仅仅包括火力发电量，所以并不能反映出非化石能源的电力生产量。

## 4. 结论和建议

通过前面部分的论述，我们可以看到基于单位GDP能源消耗量或单位GDP二氧化碳排放量或是人均能源消耗量或人均二氧化碳排放量的单一指标，并不能够完全解释或是反映特定城市或省份的终端能源消耗情况和二氧化碳排放情况，因为这类宏观层面的指标可能会导致不同省份之间比较结果的不准确，或是出现令人费解的结果，也会导致在评定一个城市或省份是否“低碳”方面出现不准确的结果，导致相关发展基金的不合适使用，会导致我们在影响发展方面的努力偏离正确的轨道，鼓励了一些实际上对减少能源消耗量或二氧化碳排放量无益的行为习惯，并且会错失一些关注特定领域、能对实际上将某个地区转化成低碳城市起到最大影响的机会。

本报告所开发的不同行业终端低碳指标体系在构建过程中使用了一个城市或省份能源消耗量或是二氧化碳排放量整体水平的基础性贡献因子—即主要耗能终端领域的能源消耗和二氧化碳排放情况：居住建筑领域、商业建筑领域、工业领域、交通领域和电力行业。这套指标体系为我们明确什么地方的能源效率不高，我们需要在哪些地方采取行动从而使得某个城市或省份能够变得更加“低碳”提供了更加有力的指引。该套指标体系是以操作和目标为导向的，其结果可测量，可比较，可以用来对低碳城市进行定义，可以按照能源消耗量和二氧化碳排放量水平来对不同城市进行排名，对能源效率和二氧化碳减排领域的进展进行追踪，并且可以据此建立起基准。

尽管同宏观层面的指标相比，这套综合性的行业终端指标体系能够更加准确地反映出一个省份或一个城市的能源消耗情况，为了提高中国政府对这套指标体系的认可和采纳，我们还需要在下面这些方面做出进一步的努力：

- 收集更多城市层面的数据。从我们在本报告中所附的一些图表，我们可以看到城市层面的能源消耗量只有在几个大型中国城市才能获取，我们建议中国中央政府和各省级政府鼓励各个城市的政府去收集所需要的相关信息和数据，并为之制定一系列明确的政策，对统计体系进行标准化，并为其提供必要的资金支持。
- 加强对优化指标相关数据的收集，比如说商业建筑领域每平方米的能源消耗量以及电网范围内的电力行业二氧化碳排放情况。正如我们在前面所讨论的那样，用每平方的指标值来代替第三产业的雇员总数对商业建筑领域的指标体系来说更加有意义，因为商业建筑领域的能源使用一般来说应该是按照建筑面积来计算的。对工业领域的指标来说，最好是能用工业行业附加值来代替工业行业占当地 GDP 的比重值。
- 一旦在收集到了所需要的数据后，应对更多的城市指标值进行计算并对更多城市进行“低碳”方面的排序；
- 使用不同行业领域的终端低碳指标体系，按照能源消耗量和二氧化碳排放量水平来对不同城市进行排名，对能源效率和二氧化碳减排领域的进展进行追踪，并且据此建立基准；

- 为在行业层面和终端使用层面促进低碳指标体系的开发制定相关政策和规划；
- 如果能够收集到相关数据，我们还可以在特定行业领域开发出更加细化的指标，从而为更加具有针对性的评估并提出政策建议打下基础。比如说在电力行业，火力发电厂的能效和可再生能源在能源生产中所占的比重等数据就可以被进一步使用。在建筑领域，能源效率更高的建筑（经过美国能源及环境设计先导计划（LEED）认证的建筑或绿色建筑）或是能效较低的建筑所占的比重也可以加以使用（Zhou, et al. 2011）。

对于政府官员、城市规划人员以及相关研究人员来说，他们在促进城市或地区低碳指标体系开发的过程中可以动用很多的资源，其中很多资源都已经被 Zhou et al. (2011) 收录成集，这其中既有国际上也有中国自己的相关经验，可以为中国地方政策在低碳计划或是气候变化行动规划方面制定成功的政策和措施提供信息。

## 致谢

本文作者在此对能源基金会的胡敏表示感谢，感谢她为本篇报告所作的重要贡献。此外我们还想对以下人员表示感谢，他们是可持续能源伙伴研究所（Sustainable Energy Partnerships）的 Adam Hinge，世界银行能源行业管理援助规划（ESMAP）的刘峰，国家发改委能源研究所的徐华清和胡秀莲，中国社会科学院的庄贵阳，清华大学的苏明山，中国人民大学的宋国军，江森自控建筑设施效益研究院的 Julia Currie，劳伦斯伯克利国家实验室中国能源小组的沈波。感谢他们审阅了本篇报告并提出了相关建议。最后我们还要对旧金山大学的 Tiffany Tona 表示感谢，感谢她为本报告指标制图所做的贡献。

本报告由美国能源部下设的能源基金会中国可持续能源型项目提供支持，合同编号为 No. DE-AC02-05CH11231。

## 参考文献

Anhua, Z. and Z. Xingshu. 2006. *Efficiency Improvement and Energy Conservation in China's Power Industry*.

[www.hm-treasury.gov.uk/d/final\\_draft\\_china\\_mitigation\\_power\\_generation\\_sector.pdf](http://www.hm-treasury.gov.uk/d/final_draft_china_mitigation_power_generation_sector.pdf)

Carbon Disclosure Project, 2011. *CDP Cities 2011: Global Report on C40 Cities*.  
<https://www.cdproject.net/Documents/CDP-Cities-2011-Report.pdf>

City of New York, 2011. *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions*. NY: Mayor's Office of Long-Term Planning and Sustainability. [http://www.nyc.gov/html/om/pdf/2011/pr331-11\\_report.pdf](http://www.nyc.gov/html/om/pdf/2011/pr331-11_report.pdf)

Economist Intelligence Unit. 2009. *European Green City Index*. Munich: Siemens AG.

Economist Intelligence Unit. 2011. *Asian Green City Index*. Munich: Siemens AG.

Energy Information Administration (EIA). 2004. *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2003*. Washington, DC: IEA. <http://www.eia.gov/oiaf/1605/archive/gg04rpt/trends.html>

Fridley, D., N., Zheng and Y. Qin. 2011. *Inventory of China's Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions in 2008*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL-4600E)  
[http://china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/China\\_Emissions\\_Inventory\\_2008.pdf](http://china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/China_Emissions_Inventory_2008.pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Volume 3)*. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>

International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI) – Local Governments for Sustainability. 2009. *U.S. Mayors Climate Protection Agreement Climate Action Handbook*.  
[http://iclei-usa.org:10080/mount\\_iclei/iclei/action-center/planning/climate-action-handbook](http://iclei-usa.org:10080/mount_iclei/iclei/action-center/planning/climate-action-handbook)

International Energy Agency. 2010. *Energy Efficiency Policies and Measures Database*. Paris: IEA. <http://www.iea.org/textbase/pm/?mode=pm>

Kahrl, F. and D. Roland-Holst. 2006. *China's Carbon Challenge: Insights from the Electric Power Sector*. [http://are.berkeley.edu/~dwrh/CERES\\_Web/Docs/CCC\\_110106.pdf](http://are.berkeley.edu/~dwrh/CERES_Web/Docs/CCC_110106.pdf)

KPMG. 2010. *City Typology as the Basis for Policy: Towards a Tailor-Made Approach to the Benchmarking and Monitoring of the Energy and Climate Policy of Cities*.  
<http://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/City-typology-as-the-basis-for-policy.pdf>

National Bureau of Statistics (NBS). 2008. *China Energy Statistical Yearbook 2008*. Beijing: NBS.

National Bureau of Statistics (NBS). 2009. *China Energy Statistical Yearbook 2009*. Beijing: NBS.

National Bureau of Statistics (NBS). 2010. *China Statistical Yearbook 2010*. Beijing: NBS.

National Development and Reform Commission (NDRC). 2010. *The Notice of Piloting Low-Carbon Provinces and Low-Carbon Cities*, August 2010. [http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100810\\_365264.htm](http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/t20100810_365264.htm)

World Bank. 2010. *Cities and Climate Change: An Urgent Agenda*. Washington, DC: World Bank.

Zhou, N., L. Price, S. Ohshita, N. Zheng, K. Jiang. 2011. *A Low Carbon Development Guide for Local Government Actions*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.

Zhou, N., M. McNeil, D. Fridley, J. Lin, L. Price, S. de la Rue du Can, J. Sathaye, and M. Levine. 2007. *Energy Use in China: Sectoral Trends and Future Outlook*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL-61904)  
[http://china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/LBNL61904.Energy\\_Use\\_in\\_China\\_Sectoral\\_Trends\\_and\\_Future\\_Outlook.2007.pdf](http://china.lbl.gov/sites/china.lbl.gov/files/LBNL61904.Energy_Use_in_China_Sectoral_Trends_and_Future_Outlook.2007.pdf)