

# 中美电力行业应对气候变化比较

长策智库

[www.changce.org](http://www.changce.org)

胡军峰<sup>1,2</sup>, Fredrich Kahl<sup>3</sup>, 丁建华<sup>4</sup>

(1 华北电力大学, 2 长策智库, 3 美国加州大学伯克利分校, 4 美国 E3 公司)

**摘要:** 中美电力行业在各自国家都是 CO2 排放最多的行业, 因此也是应对气候变化最受关注的行业。但是由于经济发展阶段和资源禀赋不同, 中美电力行业也存在很多不同, 包括电力需求结构, 电力负荷特性, 电力需求增长, 发电结构, 调度方式, 调峰方式和辅助服务方式等方面。同时中美电力行业在应对气候变化方面所采取的政策也不同, 美国更注重需求侧政策, 中国更注重供给侧政策。因此在借鉴美国电力行业应对气候变化方面, 不能全盘照搬, 应该结合中国电力行业特点进行深入分析, 以明确可以借鉴之处, 找出真正适合中国电力行业应对气候变化的政策和措施。

## 1、导论

全球气候变化是全世界面临的严峻挑战, 其中人类活动所导致的 CO2 排放加剧是最主要的原因。全球 CO2 排放在 2006 年已经达到 291.95 亿吨, 而且还在继续增加, 但是为了应对气候变化, 全球 CO2 排放在 2050 年需要下降到 100 亿吨的水平, CO2 减排的任务非常艰巨。

中国和美国是世界上 CO2 排放最多的国家, 合计占了全球 CO2 排放 40% 多的比重, 未来比重还有可能进一步加大, 因此为了实现全球 CO2 排放目标, 中国和美国起着至关重要的作用。

无论在中国还是美国, 电力行业都是 CO2 排放最多的行业, 占了各自国家超过 40% 的排放量。因此电力行业对于中国和美国应对气候变化至关重要, 中美要想成功实现 CO2 减排, 必须对电力行业加以重视。只有电力行业的 CO2 减排成功, 各自国家的 CO2 减排目标才有可能实现。而且电力行业相对其它行业而言比较集中, 政策实施的效果相对明显, 也可以对应对气候变化, 减少 CO2 排放做出重要的贡献。

## 2、中美电力行业对比

电力行业作为关键的能源供给基础行业, 在中国和美国都占据着极为重要的

地位。但由于经济发展阶段和资源禀赋不同，中美电力行业还是有着很大的区别。

## 2.1 电力需求结构不同

美国 2009 年净电力需求为 35755 亿 KWh<sup>1</sup>，其中居民电力需求为 13629 亿 KWh，占 38.12%，工业电力需求为 8819 亿 KWh<sup>2</sup>，占 24.67%，商业电力需求为 13307 亿 KWh<sup>3</sup>，占 37.22%。中国 2009 年净电力需求为 31515 亿 KWh<sup>4</sup>，其中居民电力需求为 4575 亿 KWh，占 14.52%，工业电力需求为 22056 亿 KWh<sup>5</sup>，占 69.99%，商业电力需求为 3944 亿 KWh，占 12.51%。如图 1 所示。

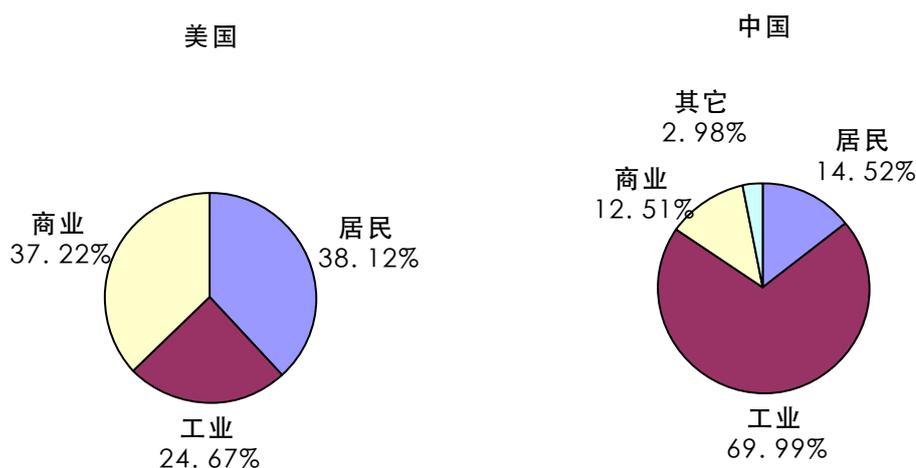


图 1 中美电力需求结构对比

图 1 显示，由于中美所处经济发展阶段不同，电力需求的结构存在巨大的差别。美国主要是居民和商业用电占据较大的比重，而中国则是工业用电占据较大的比重。由于工业用电相对比较集中，电力需求也比较平稳，因此满足需求相对容易，电网结构也相对比较简单，而居民和商业用电则比较分散，电力需求波动性和随机性也较大，满足相对困难，电网结构也需要更为复杂。随着经济发展，中国的居民和商业电力需求所占比重也会逐渐增加，电力行业需要解决的问题也会越来越复杂。

## 2.2 电力负荷特性不同

美国 2009 年最高用电负荷为 72596 万 KW<sup>6</sup>，相应可计算出美国 2009 年负

<sup>1</sup> 美国用电量统计口径为净用电量，即不包括厂用电、输电线损和抽水蓄能用电量。美国的数据都来源于美国能源信息署，后面不再特别说明。

<sup>2</sup> 美国工业用电量中包括农业用电量。

<sup>3</sup> 美国商业电力需求为美国商业和交通用电量合计。

<sup>4</sup> 中国用电量统计口径为全社会用电量，为与美国相比较，此处数据将厂用电、输电线损和抽水蓄能用电量扣除。中国的数据都来源于中国电力企业联合会，后面不再特别说明。

<sup>5</sup> 中国工业电力需求为工业和建筑业用电量合计，扣除厂用电、输电线损和抽水蓄能用电量，不包括农业用电量。

<sup>6</sup> 美国最高用电负荷分夏季和冬季分别统计，但中国只统计最高用电负荷，不分季节。为便于比较，美国

荷率为 56.22%。中国 2009 年最高用电负荷为 54111 万 KW，相应可计算出中国 2009 年负荷率为 66.49%。如图 2 所示。

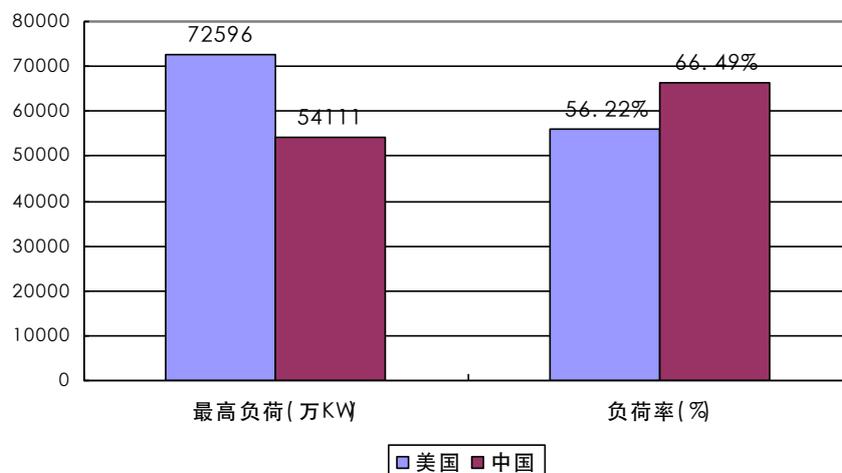
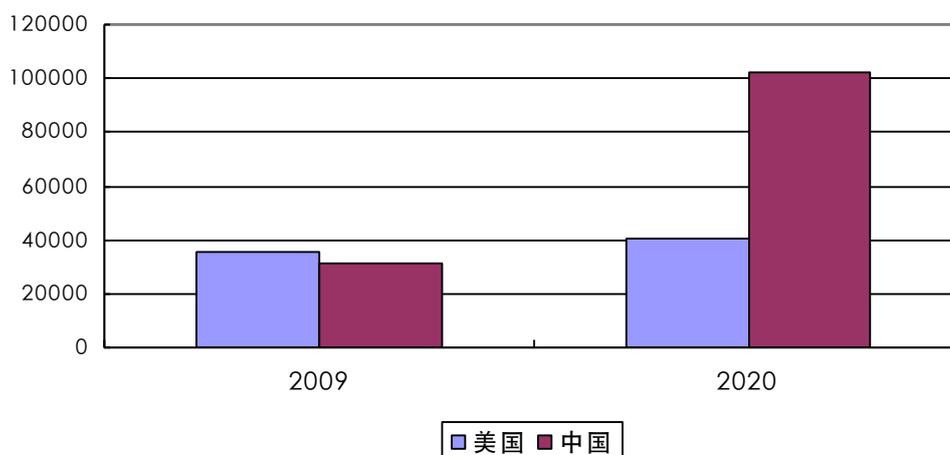


图 2 中美电力负荷特性对比

可以看出，美国的负荷波动比中国剧烈得多。2008 年最高用电负荷美国是中国的 1.34 倍，用电量则美国只是中国的 1.13 倍。为了满足剧烈波动的负荷需求，美国需要有足够的调峰发电能力，中国负荷波动则相对较小，调峰需求不如美国强烈。

### 2.3 电力需求增长不同

美国 1996-2009 年的平均电力需求增长率为 1.10%，中国 1996-2009 年的平均电力需求增长率为 10.02%<sup>7</sup>，如果未来中美电力需求增长速度保持不变，则到 2020 年美国净用电量将达到 40330 亿 KWh，中国净用电量将达到 102260 亿 KWh，中国电力需求将是美国的 2.5 倍。如图 3 所示。



最高用电负荷采用 2009 年夏季最高用电负荷数据。

<sup>7</sup> 中国 1996 年电力需求没有统计抽水蓄能用电量，因此中国电力需求增长率按照全社会用电量计算。而且按照净用电量计算出的电力需求增长率与此处数据差别应该不大。

图 3 中美电力需求增长对比（亿 KWh）

由于中国正处于经济高速增长的时期，电力需求增长也相对很快。为了满足高速增长的电力需求，中国需要新建大量的发电机组，其中既包括化石能源发电，也包括非化石能源发电，这些发电机组如何布局 and 协调是中国面临的一个很重要的问题。美国的电力需求增长则较慢，不需要过多考虑新增发电机组的问题。

## 2.4 发电结构不同

美国 2009 年净发电量为 39531 亿 KWh<sup>8</sup>，其中煤电为 17645 亿 KWh，占 44.64%，天然气发电为 9204 亿 KWh，占 23.28%，水电为 2721 亿 KWh，占 6.88%，核电为 7987 亿 KWh，占 20.20%，可再生能源发电量为 1411 亿 KWh<sup>9</sup>，占 3.57%，中国 2009 年发电量为 36812 亿 KWh<sup>10</sup>，其中火电为 30117 亿 KWh<sup>11</sup>，占 81.81%，水电为 5177 亿 KWh，占 14.06%，核电为 701 亿 KWh，占 1.90%，风电为 276 亿 KWh，占 0.75%。如图 4 所示。

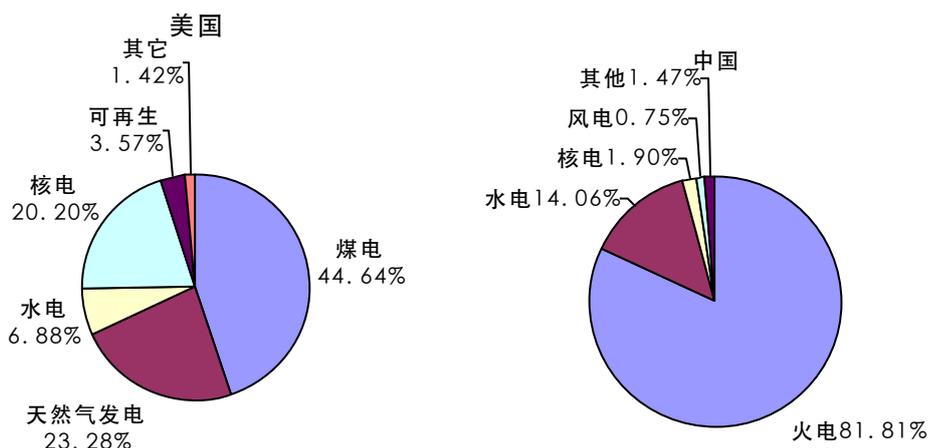


图 4 中美发电结构对比

可见，中美两国发电机组都是以火电为主，美国占了将近 70%，中国则占了 80%，但是美国火电中还有将近 1/3 的天然气发电，中国则主要都是煤电。由于天然气发电较为清洁，CO<sub>2</sub> 排放较少，在同等火电发电量的情况下，中国 CO<sub>2</sub>

<sup>8</sup> 美国发电量统计为净发电量，即不包括厂用电和抽水蓄能用电量。

<sup>9</sup> 美国可再生能源发电包括小水电、风电、太阳能发电、地热发电、潮汐发电、生物质能发电等。

<sup>10</sup> 中国发电量为全社会发电量，包括厂用电和抽水蓄能用电量。2009 年全国 6000 千瓦及以上电厂厂用电率为 5.76%，其中火电厂用电率为 6.62%，水电厂用电率为 0.40%，但是核电和风电的厂用电率没有统计，无法估算各自的净发电量。但是厂用电是否扣除对发电结构影响不大，因此中国发电结构指全社会发电量结构，未扣除厂用电和抽水蓄能用电量。

<sup>11</sup> 中国火电包括煤电和天然气发电，但是天然气发电量没有统计。根据作者粗略统计，2008 年中国燃气电厂有 74 个，发电量为 497 亿 KWh，占火电发电量不足 2%，可以忽略，因此可以粗略认为中国火电发电量就是煤电发电量。

排放比美国要多。另外美国核电发电量占了 20%，中国则只有大约 2%，美国核电发电量大约是中国 10 倍，水电美国比中国少一些，可再生能源发电美国则大大领先。

## 2.5 调度方式不同

美国的调度方式采用边际成本调度的方式，即按照发电机组的边际成本排序，优先调度边际成本低的发电机组上网发电。中国的调度方式则更多采用行政命令的发式，发电机组在建设审批时会预先设定一个发电利用小时数，上网发电时按照预先设定的发电利用小时安排。由于行政干预往往采用平均分配的方式，因此中国的调度方式体现为平均调度的特点。由于平均调度不考虑各个发电机组的成本，为满足同样的电力需求，平均调度相比其他调度方式所需成本往往较高，CO<sub>2</sub> 减排效果也往往较差。为了改变调度方式的弊病，中国于 2007 年开始在 5 个省份试点节能发电调度，即优先调度非化石能源发电，然后调度天然气发电和煤电，煤电的调度顺序按照供电煤耗的顺序安排发电。如表 1 所示。

表 1 中美调度方式区别

项目	美国	中国
调度方式	边际成本调度	平均调度 节能调度试点

## 2.6 调峰方式不同

由于调度方式不同，中美在满足高峰负荷的方式上表现也不一样。由于天然气发电的边际成本较高，在边际成本调度中往往排在最后，因此在美国主要由天然气发电机组和水电机组来满足高峰负荷。而在中国则主要表现为由煤电来满足高峰负荷。2009 年中美各种发电方式的年利用小时数如表 2 所示。

表 2 2009 年中美发电技术年利用小时

发电技术	美国	中国
年利用小时		
煤电	5589	4865 <sup>12</sup>
天然气 NGCC 机组	3723	—
天然气 NG 调峰机组	858	—
水电	3486	3328
核电	7910	7716

<sup>12</sup> 中国为火电年利用小时，因为中国火电机组基本上为煤电机组。

可再生能源发电	2961	2077 <sup>13</sup>
---------	------	--------------------

可以看到，中美两国煤电机组的年利用小时数差别很大。中国煤电机组年利用小时为 4865 小时，是美国利用程度的 87.05%。美国主要通过天然气机组进行调峰，其他机组比如煤电、水电、核电等则主要满足基础负荷需求，而在中国则主要通过煤电机组进行调峰，相应利用小时数相对较小。

## 2.7 辅助服务方式不同

由于电力负荷预测和实际情况总会存在一定的差别，以及风电等可再生能源发电的随机性等特征，电力行业不可避免需要提供辅助服务。辅助服务根据要求不同可以大体分为三类，即自动调节辅助服务、旋转备用辅助服务和启动备用辅助服务。中美在辅助服务的技术上差别不大，但是在辅助服务的利用补偿机制方面却存在巨大的差别。

美国辅助服务利益补偿主要通过市场机制进行，通过辅助服务电力市场的方式确定辅助服务补偿标准，中国则主要通过行政法规的方式，通过电力监管委员会制定辅助服务补偿标准来补偿电厂提供的辅助服务，其中自动调节辅助服务还要求电厂必须义务提供。

## 3、中美电力行业应对气候变化政策异同

电力行业应对气候变化的政策大体分为两类，即需求侧政策和供给侧政策。中美电力行业应对气候变化的政策在很多方面相一致。但是由于中美电力行业特点不同，中美电力行业在应对气候变化方面所考虑的重点以及采取的政策也存在差别，美国更多采取的是需求侧政策，而中国更多采取的是供给侧政策。

### 3.1 需求侧政策异同

表 3 中美电力行业需求侧政策异同

需求侧政策	美国	中国
相同	终端能效管理	
	需求侧管理	
	分时电价政策	
	阶梯电价政策	
不同	分布式发电政策	差别电价政策
	供电可靠性合同管理	

需求侧政策一般有两个目的，一个目的是减少电力需求，另一个目的是降低

<sup>13</sup> 中国为风电年利用小时，因为中国可再生能源发电主要是风电。

电力负荷波动。有的需求侧政策只能实现一个目的，即或者减少电力需求，或者降低电力负荷波动，有的需求侧政策则两个目的都可以实现。单纯减少电力需求的政策包括终端能效管理、差别电价政策、阶梯电价政策，单纯降低电力负荷波动的政策包括分时电价政策、供电可靠性合同管理，既可以减少电力需求又可以降低电力负荷波动的政策包括需求侧管理政策和分布式发电政策。中美在需求侧政策方面既有相同的方面也有不同的方面，如表 3 所示。

可以看到，中美共同采用的需求侧政策包括四类，即终端能效管理、需求侧管理、分时电价政策和阶梯电价政策，另外美国还有分布式发电政策和供电可靠性合同管理，中国则有差别电价政策。

### 3.2 供给侧政策异同

供给侧政策一般也有两个目的，一个目的是提高非化石能源发电比例，一个目的是提高化石能源发电效率。提高非化石能源发电比例的政策包括可再生能源配额政策，可再生能源电价补偿政策，提高化石能源发电效率的政策包括关停小火电政策、新增火电机组能效标准政策、输配电能效标准政策，两个目的都可以实现的政策包括节能调度政策、碳税政策和碳交易政策。中国供给侧政策的异同如表 4 所示。

表 4 中美电力行业供给侧政策异同

供给侧政策	美国	中国
相同	可再生能源配额政策	
不同	可再生能源电价补贴政策	标杆电价政策
	碳交易政策	关停小火电政策
		新增火电机组能效标准
		节能调度政策
		输配电能效标准

可以看到，在电力行业供给侧政策方面，中美相同的政策为可再生能源配额政策，另外美国的供给侧政策还包括可再生能源电价补贴政策和碳交易政策，中国包括标杆电价政策、关停小火电政策、新增火电机组能效标准政策、节能调度政策和输配电能效标准政策。

## 4、中国电力行业应对气候变化的挑战

相比美国电力行业，中国电力行业应对气候变化时既有可以借鉴美国电力行业的地方，也有自己需要解决的独特的难题，因此更具有挑战。

中国电力行业在应对气候变化时需要考虑的挑战包括以下几个方面：

(1) 电力需求增长迅速。

中国电力需求增长比美国要迅速的多。美国电力需求一般每年增长 1-2%，而中国电力需求则达到每年增长 8-10%。按照现有的增长速度，中国电力需求将在 2011 年超过美国，并在 2020 年达到美国的 2-2.5 倍。为了应对如此迅速的电力需求增长，中国电力行业需要快速增加电力供给能力，其中化石能源发电必将占据绝大多数的比重，应对气候变化将更为困难。

(2) 电力负荷波动日益剧烈。

随着经济发展，中国居民和商业的电力需求比重也必然增加，电力负荷波动应该趋向于增大，未来将越来越和美国负荷特性相一致。因此有必要在这一方面借鉴美国的经验，一方面注重降低负荷波动的需求侧政策，另一方面注重如何用最低成本、最高可靠性和最低环境影响的发电方式来满足电力调峰需求。

(3) 发电结构以煤为主。

中国的资源禀赋决定了中国的发电结构在未来仍将以煤电为主，其他发电技术机组只可能作为补充。这种发电结构导致两个困难，一个困难是调峰能力较差，无法很好的满足电力系统调峰需求，另一个困难是在同等发电量的情况下，煤电的 CO<sub>2</sub> 排放因子较高，CO<sub>2</sub> 减排困难。因此可以借鉴美国经验，考虑采用天然气发电、抽水蓄能等进行调峰。

(4) 调度方式亟待转变。

中国目前的调度方式无论是在成本还是在应对气候变化方面都较差，2007 年在 5 个省份开始试点节能调度，但是却无法很好地解决利益补偿以及电力系统调峰需求。因此可以借鉴美国电力行业经验，考虑采用边际成本调度方式。

(5) 辅助服务市场还未建立。

中国辅助服务还是采用行政命令的方式，通过行政法规对辅助服务的补偿标准进行设定。这种方式确定的辅助服务补偿标准往往与实际成本水平相脱节，而且当辅助服务成本变化时，补偿标准的改变则较为缓慢。因此可以借鉴美国的经验，建立辅助服务市场，通过市场机制来确定辅助服务补偿标准。

(6) 市场机制减排配套措施缺失。

美国电力行业应对气候变化的措施更多采用市场机制进行。比如需求侧政策更多采用能效市场方式，通过市场手段激励大家采取终端能效措施，减少电力需求，供给侧政策更多采用碳交易方式，通过碳排放指标的确定和交易来减少电力行业 CO<sub>2</sub> 排放。但是能效市场的前提是市场化的终端电价机制，碳交易则要求

有合理的碳排放指标的确定和市场化的上网电价机制。这些在中国都不存在，因此也无法采用美国的市场机制 CO2 减排方式。

## 5、结论

中国和美国是世界上 CO2 排放最多的国家，占了全球 CO2 排放总量的 40% 多，因此承受的 CO2 减排压力将越来越大。因此中美两国需要加强联系，在未来 CO2 减排的过程中起领导地位。其中中美两国的电力行业在各自国家又都是 CO2 排放最多的行业，都占各自国家 CO2 排放总量的 40% 以上，因此在 CO2 减排方面电力行业在各自国家都是最受关注的行业。

但是两个国家由于经济发展阶段和资源禀赋的区别，电力行业存在很大差别，因此在应对气候变化方面并不能够简单互相借鉴。中美电力行业存在差别的领域包括电力需求结构、电力负荷特性、电力需求增长、发电结构、调度方式、调峰方式和辅助服务方式等。相应在应对气候变化上所采取的政策也各有差别，美国更注重需求侧政策，中国更注重供应侧政策。

相比美国电力行业，中国电力行业在应对气候变化上挑战更多，困难更大，包括电力需求增长迅速，电力负荷波动日益剧烈，发电结构以煤为主，调度方式亟待转变，辅助服务市场还未建立，市场机制减排配套措施缺失等，其中在解决电力负荷波动、调度方式和辅助服务市场等问题上可以借鉴美国电力行业的经验，尤其在需求侧能效管理和如何用最低成本、最高可靠性和最低环境影响的发电方式来满足电力需求的方面可以借鉴美国的成功经验，2010 年 11 月 4 日国家发改委和国家电监会等六部门联合发布《电力需求侧管理办法》，就是在需求侧能效管理方面一个良好的例子，但是如何用更好的发电方式满足电力需求则进展较少。其他问题则可能无法借鉴美国电力行业的经验。

因此对于中国电力行业应对气候变化而言，需要在深入研究和分析美国电力行业经验的基础上，对各种 CO2 减排政策在中国电力行业的适用性进行研究，以确定适合中国电力行业的真正可行的应对气候变化政策，为中国 CO2 减排做出贡献。

### 参考文献：

- [1] 中国电力企业联合会网站. [www.cec.org.cn](http://www.cec.org.cn)
- [2] 中国电力企业联合会，改革开放三十年的中国电力，北京：中国电力出版社，2008.
- [3] 中国电力企业联合会，中国电力行业年度发展报告 2009，北京：中国电力出版社，2009.

- [4] 中国电力企业联合会，中国电力行业年度发展报告 2010，北京：中国电力出版社，2010.
- [5] 中国电力企业联合会，中国电力工业统计数据分析 2010.
- [6] 美国能源信息署网站. [www.eia.gov](http://www.eia.gov)