

将能效作为 中国电力行业的一种资源

作者

David Crossley



RAPTM

睿博能源智库

鸣谢

本政策报告由睿博能源智库资深顾问David Crossley先生编写，David Crossley先生拥有能源领域长达39年的丰富经验，致力于向政府、监管部门、能源企业、行业协会和非政府组织等提供可持续能源政策和项目咨询服务。现为中国政府、监管机构和电力行业提供需求侧管理和节能相关的技术支持。

本报告由Max Dupuy、Chris James、Bob Taylor和Frederick Weston参与核校。同样感谢何泉和王轩对中文版报告的翻译、校对和制作做出的贡献。

如何引用本文

Crossley, David. (2014). 《将能效作为中国电力行业的一种资源》

北京，中国：睿博能源智库

可在以下链接获得该报告：<http://www.raonline.org/document/download/id/7251>

本报告的英文版本可以从我们的网站下载：

<http://www.raonline.org/document/download/id/7259>

本报告的电子版及其他出版物请参看我们的网站：

www.raonline.org

希望加入我们的订阅名单，请发送您的联系信息到：

China@raonline.org

2014年8月

目录

内容提要	iii
缩略词	iv
1. 引言	1
1.1 将能效作为资源	1
1.2 北美经验	1
2. “能效资源”的多重效益	5
2.1 为电力系统带来的效益	6
2.2 为电力用户带来的效益	8
2.3 产生的社会效益	9
3. 将能效纳入资源规划	11
3.1 电力行业资源规划	11
3.2 能效资源规划方法	12
3.2.1 确定能效潜力	12
3.2.2 估算实施能效措施后可避免的成本	14
3.2.3 开展能效措施	15
3.2.4 确定成本效益	16
3.2.5 开发能效项目和项目组合	18
3.2.6 评估能效项目的影响	20
3.2.7 获取能效资源	21
3.2.8 评估、测量和验证	22
4. 将能效作为资源	24
4.1 综合资源规划	24
4.1.1 综合资源规划的方法	25
4.1.2 综合资源规划的实施	25
4.1.3 综合资源规划案例研究	27
4.2 区域性资源规划	29
4.2.1 区域性规划的方法	29
4.2.2 区域性规划的实施	31
4.2.3 区域性规划案例研究	31
4.3 能效电厂的概念	34
4.3.1 能效电厂的方法	34
4.3.2 能效电厂的实施	35
4.3.3 能效电厂案例研究	37
5. 结论：中国应将能效作为一种资源使用	43
参考文献	44

图索引

图1: 截止2014年4月美国出台实施能效资源标准的州分布图.....	2
图2: 加利福尼亚州电力能效项目年节电量.....	3
图3: 加州和美国其他州的人均用电量对比.....	4
图4: 电力能效的多重效益.....	5
图5: 美国不同电力资源的平准化成本.....	6
图6: 不同类型的能效潜力.....	13
图7: 能效活动的层次.....	15
图8: 综合资源规划流程.....	24
图9: 美国实行综合资源规划或类似流程的州分布图.....	26
图10: 太平洋公司综合资源规划建模流程和风险分析流程.....	28
图11: 美国和加拿大的独立系统运营商和地区性输电组织.....	30
图12: 西北电力与节能委员会的建模和规划流程.....	32
图13: 西北电力与节能委员会绘制的能效供应曲线.....	33

表索引

表1: 电力系统实施能效可避免成本的典型构成.....	14
表2: 采用不同成本效益检验法解决的问题.....	17
表3: 能效项目类型.....	19
表4: 能效项目管理与交付职能概述.....	21
表5: 传统电厂 (CPP) 和能效电厂 (EPP) 的特点.....	34
表6: 传统发电厂与能效电厂之对比.....	35
表7: 各种能效电厂模式的显著特点.....	38
表8: 广东能效电厂项目一期实现的年节能量和减排量.....	41

内容提要

本报告研究表明，全球许多国家和地区的供电公司都在将终端能效作为资源，用于满足客户对能源服务的需求。能效被视为是一种具有成本效益的方案，可替代对供电侧资源的投资（比如：建设发电厂和电网扩容）。通过这一方式，能效可为电力系统、电力用户乃至整个社会带来诸多好处。将能效纳入到电力系统资源规划中的做法在许多国家和地区得到了竞相采用。一些国家和地区建立起综合性政策、监管和组织体系，来推动能效作为资源在电力系统中使用。本文介绍了三个案例研究，包括中国广东能效电厂。该案例表明，以低于传统发电成本实现节电和节约容量具有可行性，同时还可从中获得其他收益。

在中国，煤电厂造成的空气污染正在成为日益突出的一大难题，因此将能效作为电力系统的资源显得尤为重要。能效既能满足中国对能源服务的部分需求，又有助于减少空气污染，在中国目前开展的“清洁空气行动计划”中发挥着重要作用。

中国政府很早以前就制订了相关政策，要求大范围开展能效项目，特别是在工业领域。最近，中央政府又出台了一项细则，要求电网企业落实能效政策。对于政府而言，目前需要做的是强化政策与监管机制，通过推广电网公司开展的能效项目、通过在中国实施能效项目，将能效作为电力系统资源，实现节电和容量节约。这样做的好处是，避免了今后大量新建发电厂和扩建电网基础设施的必要。

电网公司是中国将能效作为电力系统资源中的关键环节。和许多其它国家的电网公司一样，中国的电网公司一开始可能不太愿意考虑将能效作为一种资源。他们可能会对能效是否可以预测、是否可以像供应侧资源一样“可靠”等心存顾虑。本文通过电力企业开展能效项目的实践经验，打消这些企业的顾虑。另外，电网公司还担心鼓励客户节约用电是否会影响收入。在国有资产监督管理委员会按收入和利润评估电网公司绩效的大前提下，收入的减少必定是电网公司实施能效项目道路上的一大障碍。如果改变评估电网公司业绩的标准（尤其是开发出一套指标来衡量电网公司提供能效的业绩），这一障碍自然就会消失。能效作为电力系统资源所产生的多重效益，将会为中国改变电网企业绩效评价机制提供充分的佐证。

缩略词

ADB	Asian Development Bank (亚洲开发银行)
CNY	Chinese yuan or renminbi (人民币, 货币单位)
CPP	Conventional power plant (传统发电厂)
DSM	Demand-side management (需求侧管理)
EERS	Energy Efficiency Resource Standard (能效资源标准)
EM&V	Evaluation, measurement and verification (评估、测量和验证)
EPP	Efficiency power plant (能效电厂)
ESCO	Energy services company (节能服务公司)
ESF	Energy Saving Fee (节能费)
FERC	Federal Energy Regulatory Commission (美国联邦能源监管委员会)
IOU	Investor-owned utility (由投资者拥有的电力公司)
IRP	Integrated resource planning (综合资源规划)
ISO	Independent system operator (独立系统运营商)
kW	Kilowatt (千瓦)
kWh	Kilowatt-hour (千瓦时)
LTPP	Long-Term Procurement Plan (长期采购计划)
M&V	Measurement and verification (测量与验证)
MW	Megawatt (兆瓦)
MWh	Megawatt-hour (兆瓦时)
PMO	Project Management Office (广东能效电厂项目管理办公室)
POU	Publicly-owned utility (由政府拥有的电力公司)
RTO	Regional transmission operator (区域输电公司)
tce	Ton of standard coal equivalent (tce即吨标准煤; 1tce=29.3076吉焦。中国通常将所有能源数据转换为吨标准煤。)
USD	United States dollar (美元, 货币单位)

1.引言

1.1 将能效作为资源

在许多国家和地区，电网公司将终端能效作为一种资源，来满足客户对能源服务的需求。能效被视为比投资供应侧资源（比如：建设发电厂和电网扩容）更具有成本效益的替代方案。本文旨在深入探讨这一理念，促使中国政府 and 电网企业将能效作为资源组合中可靠的组成部分，来满足电力用户的需求。

对于许多人来说，“能效就是资源”这一概念听起来还很新奇。通过提高能源使用效率节约的能源是无形的，因为它还是尚未消耗的能源。通过将实施能效措施前后的用能量进行对比，便可准确计算出实际节能量。事实上，人们在如何界定和计算各种节能项目和措施的节能成效方面已经积累了30多年的丰富经验¹。

我们可以从以下方面确定和分析能效项目的节能成效：年节省的能源总量；节能持续的时间跨度（单位：年）；以每千瓦、千瓦时或年度煤炭当量（单位：吨标准煤/年）的平均估算成本获得。

这样便可以很容易地将能效资源与供应侧资源（比如：发电厂或煤矿产生的能源）加以对比。比如：中国一些地方现正基于“能效就是资源”的理念，纷纷建设“能效电厂”²。这些都是将节能项目组合在一起，从而更方便地从容量、能源服务供给和成本等方面与发电厂进行对比³。

在中国，电网公司通常都是从发电企业大批购电、通过输配电网将电能从发电厂输送到终端用户所在地，然后向终端用户收取电费。电网公司通常不负责编制资源投资计划、不考虑是否有充足的资源供应来保障终端用户的长期需求，这些都由省政府和地方政府负责。因此，在中国，将能效作为资源加以利用，需要电网公司与保障资源供应来满足终端用户需求的政府机构之间相互配合。

1.2 北美经验

在北美，电力公司开展“节能”项目始于上世纪70年代能源危机之时，当时是为了帮助电力用户应对不断飙升的能源价格。随后，出现和发展了一系列由电力公司发起的能效项目。从那时起，能效逐渐被视为是电力公司投资和运营必不可少的重要组成部分。电力能效项目为电力系统和电力用户带

1. Taylor (2013).

2. Zhou and Hu (2010).

3. Schultz (2009).

来了巨大的能源和经济效益。今天，能效被视为是电力系统的一项重要资源，有助于减少温室气体排放、为电力用户节省用电成本并创造了就业机会⁴。

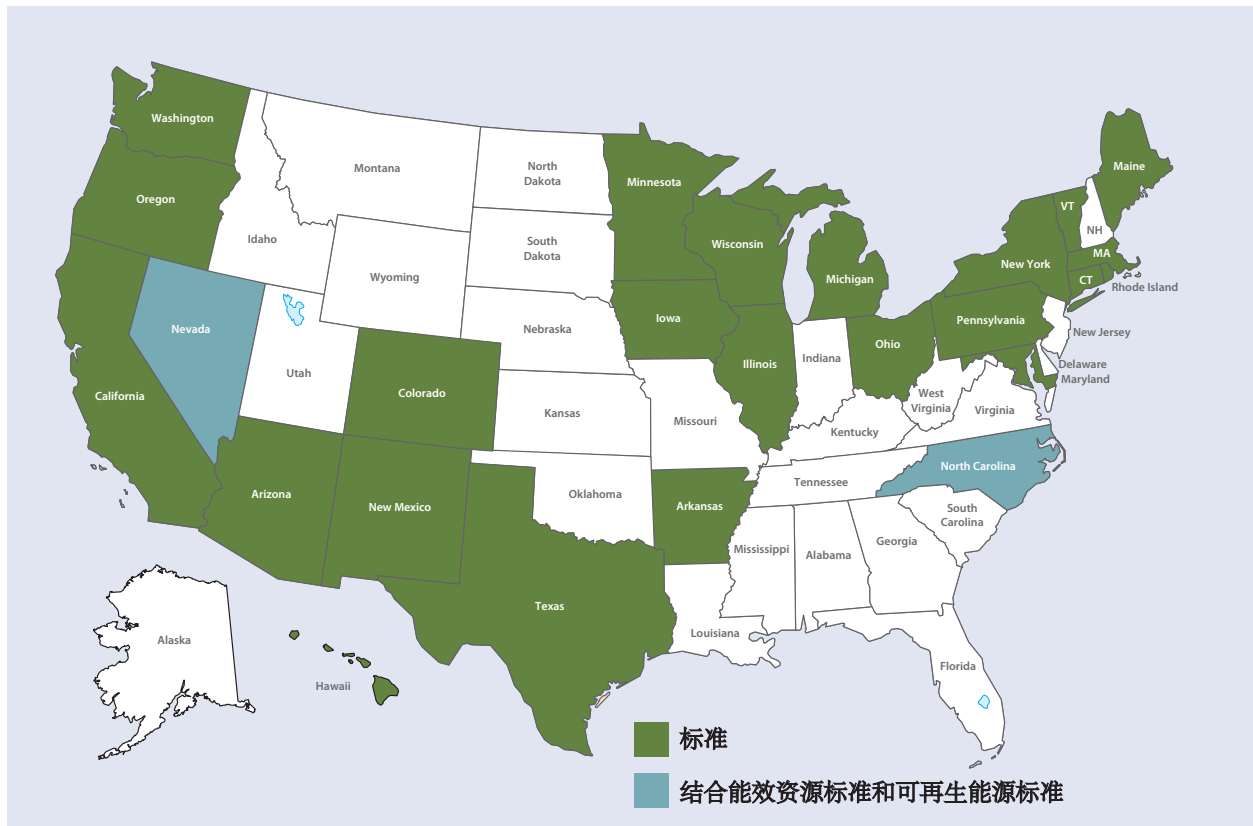


图1: 截止2014年4月美国出台实施能效资源标准的州分布图⁵

为避免经济影响和缓减气候变化，北美地区的立法部门和监管部门正在大力推行将能效作为一项电力系统资源采购。美国电力监管部门正在制订能效资源标准（EERS），细化电力公司或非电力公司通过实施电力用户能效项目必须满足的长期节能目标。图1显示的是2014年4月份美国颁布长期能效资源标准（3年以上）的25个州。这25个州的售电量占全美售电总量的近60%。如果各州能够保持当前的能效资源标准指标到2020年，则将会产生232,000千瓦时的节电量，相当于全美2011年售电量的6%以上⁶。

4. 美国节能经济委员会（ACEEE）（2014a）.

5. 美国节能经济委员会（ACEEE）（2014b）.

6. 美国节能经济委员会（ACEEE）（2014b）.

北美政府主管部门鼓励开展能效资源采购项目的主要原因是为了确保供电公司能够以最低的成本开发资源、减少用能的环境影响、提高能源供应安全和降低电力用户的电费支出。这些目标在各州实施的优先等级不尽相同，透过不同的优先排序，各州开展和实施能效项目的方式便可窥见一斑⁷。

在加利福尼亚州，电力公司自上世纪70年代中期就开始实施电力能效项目了。图2显示的是1976年以来加州由投资人拥有的电力公司（IOUs）和政府拥有的电力公司（POUs）实施能效项目后每年的节电量。

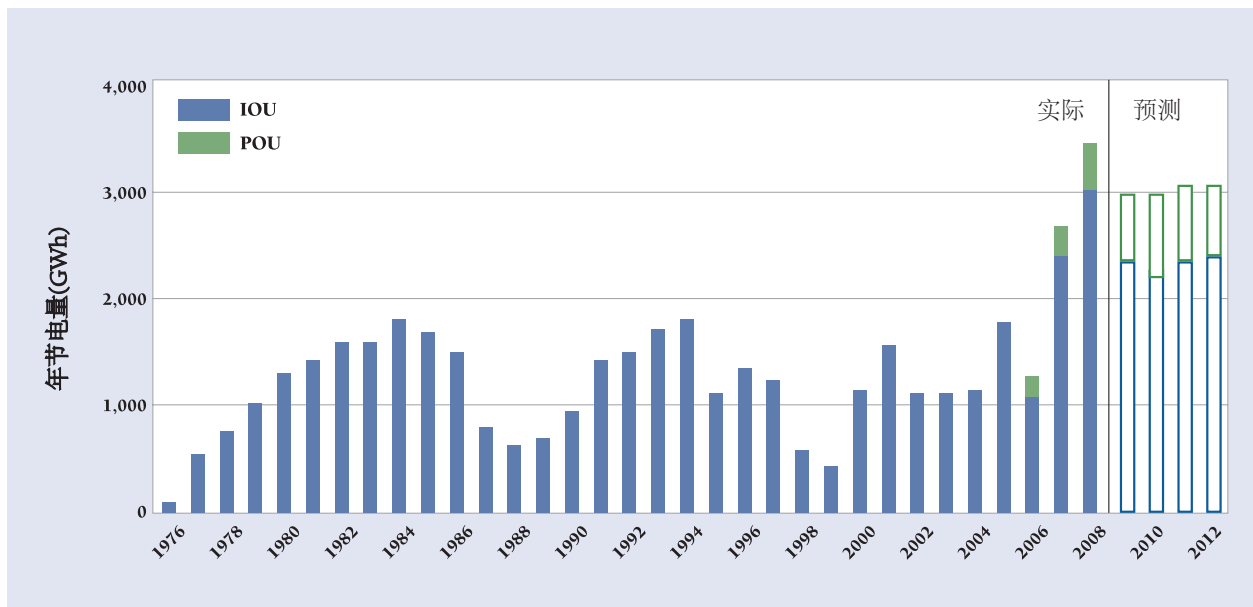


图2：加利福尼亚州电力能效项目年节电量⁸

7. Taylor, Trombley, 和Reinaud (2012).

8. Martinez, Wang, 和 Chou (2010).

自上世纪70年代以来，在近40年的时间里，加州人均用电量一直保持稳定，而美国其他州的人均用电量均上升了50%以上（见图3）。尽管加州人均用电量与全美人均用电量有差异可能是存在能源政策以外的其它因素（比如：工业构成和家庭平均规模），但电力公司开展的能效项目功不可没。

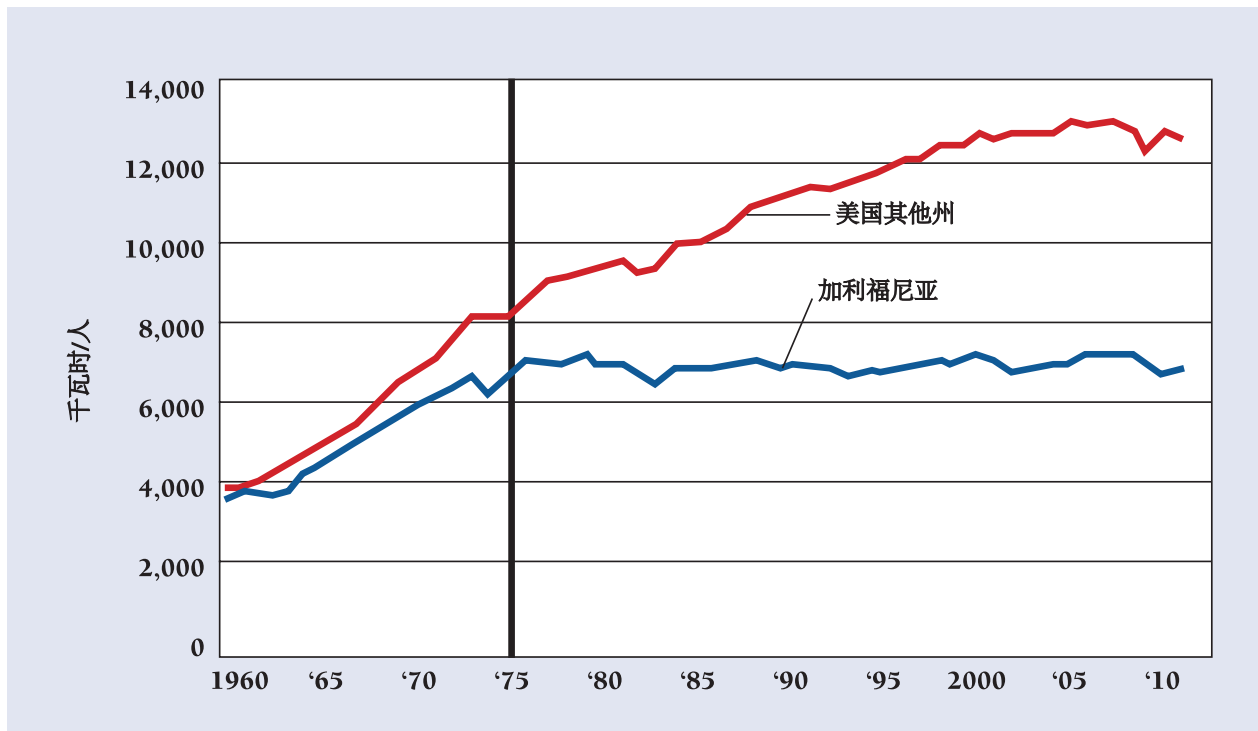


图3：加州和美国其他州的人均用电量对比⁹

9. Martinez (2013).

2. “能效资源”的多重效益

提 高用电效率最根本的效益是减少了电力用户所需的电量。此外，能效措施还有助于减少高峰时段电力系统负荷量，降低容量要求。像中国这样电力需求高速增长的国家，即使实施能效措施后，总的能源和容量需求仍会不断上升，但所需的能源和容量总量还是会比未实施能效措施时要低。

通过降低能源和容量的需求量，能效还创造了广泛的多重效益。其中一些效益对电力系统产生了直接影响，还有一些甚至完全超出了电力领域本身；有些可以很容易地用金钱衡量，而有些则不太可能以经济效益量化；有些减少了电力用户的电费支出，另一些则产生了更广泛的社会效应。

美国近期的一项研究¹⁰中，将实施电力能效措施的效益进行了综合分类。这些效益分为三大类，如图4所示：

- 为电力系统带来的效益；
- 为电力用户带来的效益；
- 产生的社会效益。

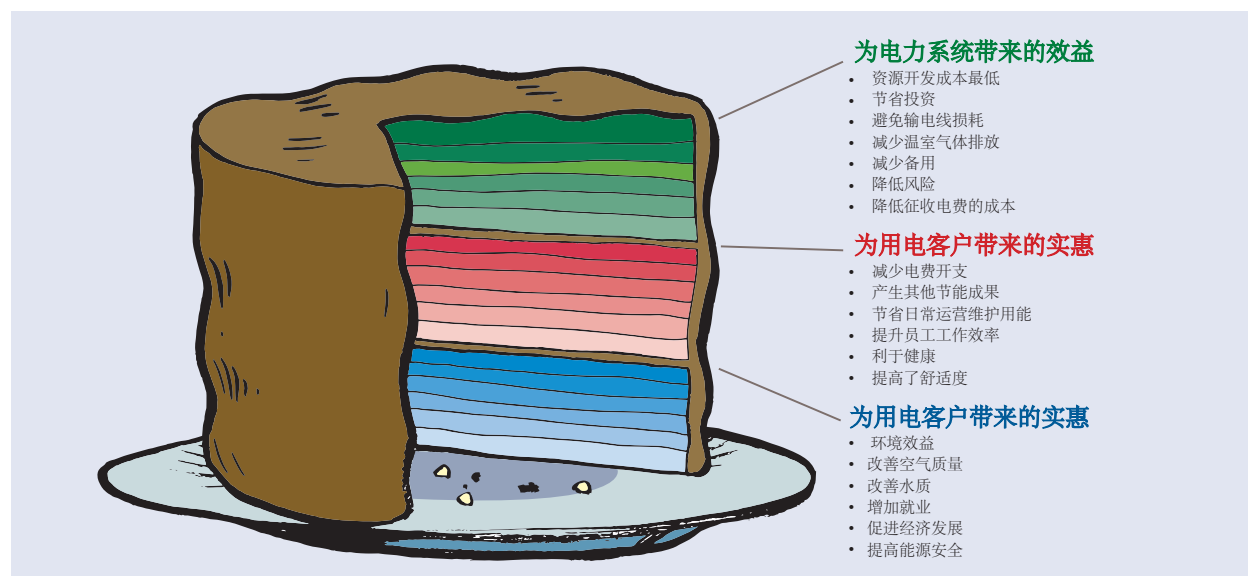


图4：电力能效的多重效益¹¹

10.Lazar 和 Colburn (2013).

11.改写自Lazar 和Colburn 文章 (2013).

2.1 为电力系统带来的效益

以最低成本开发资源。提供能效资源的成本远低于增加供电资源的成本。在大多数电力系统中，提供可靠的能效资源来满足电力需求（用电量和容量）的成本，要远低于新建供电设施（比如新建发电厂）的成本，这还是在没有考虑环境和其它外部因素的前提下。图5显示的是未补贴的情况下，美国不同电力资源的的平准化成本。能效数据摘自2009年至2012¹²年电力公司能效项目成本调研报告，供电成本数据摘自电力行业标准手册¹³。显然，能效措施比其他任何方案都更经济（风能成本可能也很低）。

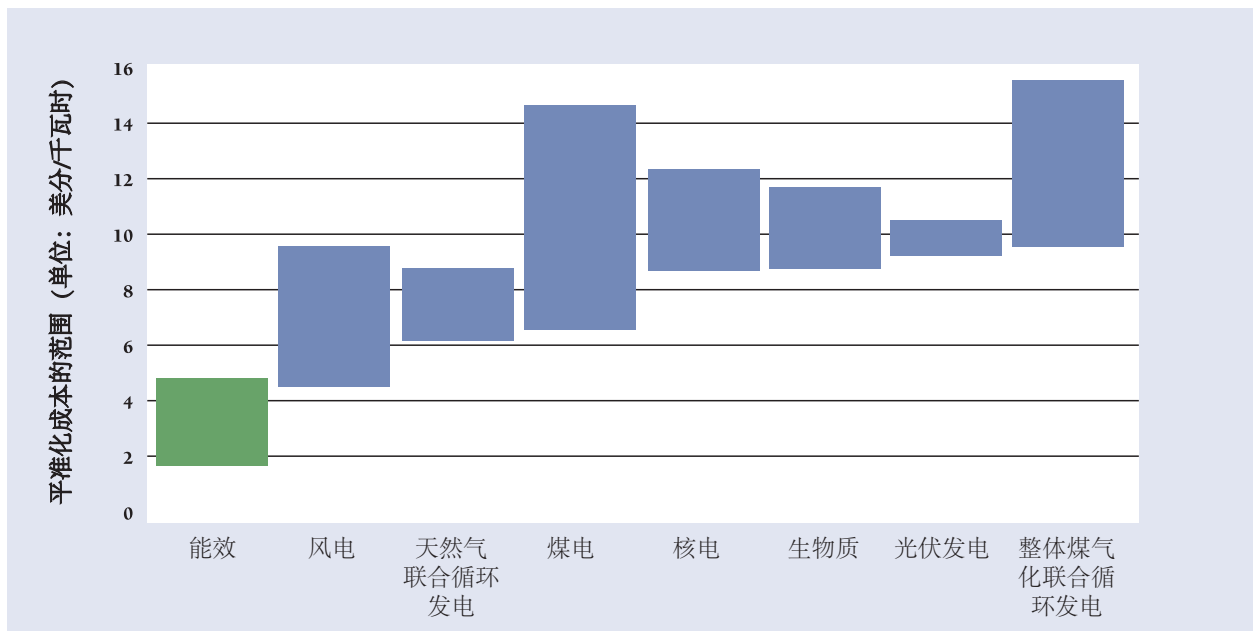


图5：美国不同电力资源的平准化成本¹⁴

节省发电、输电和配电容量的成本。由于消减了电力系统供电量、高峰容量要求，需要的发电厂数量减少，向终端电力用户输电所需的输电线亦减少，最终对这些资产的投资就会减少。

避免输电线损耗。电力用户实现节能，即意味着减少了需从发电厂通过输配电线输送至电力用户所在地的电量。随着输电线荷载加重，线路损耗会相应呈指数级增加，通过实施能效措施便可大大降低输电线上的损耗。通过实施能效措施降低用户峰时需求的做法因为避免了峰时边际线损，因此可在

12.Molina (2014).

13.Lazard Ltd (2013).Lazard Ltd (2013).

14.Molina (2014).

发电层面产生更多的节能量。在美国，高峰时段的边际线损可减少20%（即通过实施能效措施避免的损耗）¹⁵。

备用需求降至最低。电力系统以发电容量的形式储备电能，这些备用容量可在电厂突然掉网时提供及时的后备支持服务。通常情况下，备用需求按任意时刻需求的百分比计算，比如：美国火电系统的备用通常为电力需求的13%至15%。将避免线损和减少备用两项相叠加，峰时能效措施产生的效益可达到电力用户所在地实测容量节约量的1.4倍左右¹⁶。

减少温室气体排放。通过实施能效措施替代发电，减少电力行业的排放。美国环保署（EPA）正在提议为各州编制排放指南，随后纳入发展规划中，以应对既有火电设备产生的温室气体排放¹⁷。特别是，美国环保署正在提议针对不同州按基本电价设定电力领域二氧化碳排放目标，并为此制定州排放指南，纳入发展规划中，最终实现各州排放目标。在美国环保署的提议下，各州将利用电力公司开展的能效项目，实现节能减排目标。

降低风险。电力资源规划，特别是供电资源建设和运营规划，充满不确定性，隐藏着许多风险。通过实施能效措施，有助于在一定程度上降低这些风险。

能效项目有其独特性，它们都是由成千上万个单独的资源组成，不太可能同时出现故障，因此从发生故障的角度考虑，风险小于电厂。在美国，大量分析表明，采取由众多单独的小型设备组成的资源组合方案要比少数几台大型设备组成的资源更可靠、可预测性更高¹⁸。

能效具有高度可预测性和可靠性，可以使电力系统和整个社会避免电能过剩、电力短缺和周期性断电的风险。尤其是为确保中长期电力可靠性而采取多种组合措施时，获取能效资源可有效防止断电、缺电以及电价波动（包括价格飞涨）事件的发生。

实施能效项目通常要比建设供应侧基础设施来得快，基础设施通常需要多年才能建设起来。能效资源还易于升级，如果电力负荷比预期上升速度快或慢时，能效资源会比建设新供电资源更容易调节。另外，由于能效可逐步递增，因此可为大型供电项目的需求评估赢得时间。

减少欠费、降低收电费成本。面向低收入家庭开展的能效项目有助于电力公司减少拖欠电费的现象、降低收电费的成本。实施能效措施有助于减少低收入家庭的用电量、减少电费开支。这在一定程度上减少了拖欠电费的现象，减少了欠费家庭的供电需求，降低了收电费的成本。美国近期开展的一

15.Lazar和 Colburn (2013).

16.Lazar 和 Colburn (2013).

17.美国环保署 (2014).

18.Lazar 和 Colburn (2013).

项研究表明，这些效益能够仅以低收入家庭房屋耐候改造项目10%的成本而获得¹⁹。

2.2 为电力用户带来的效益

减少电费开支。减少电费开支是提高能效水平给电力用户带来的一大实惠。实施低成本能效措施后，电力用户不需要购买原先那么多的电量，电费因此减少。此外，依靠成本极低的能效资源，电力公司避免了使用价格高昂的供电资源。而且，电价中不包含可避免的新增发电量的成本，因此用户可以享受到相对较低的电价。能效方案下的电价降价速度以及降幅主要取决于电力负荷的增速以及新增供电与能效资源的边际成本之差。

实现运营和维护节能。将标准电器和设备更换成节能设备，通常可带来运营维护环节的节能。比如，将白炽灯更换成LED灯可节约80%的照明用电。此外，LED灯的平均使用寿命为24000个小时，而白炽灯约为1000个小时、CFL灯约为8000个小时²⁰。安装LED灯避免了频繁更换灯具的需要，既节约了灯具成本，又省却了更换灯具的人力成本。

节省其它资源。通过各种措施，还可以节约其他燃料，如：煤、天然气、燃油、丙烷和木材；一些能效项目还可以节约水资源。此外，一些能效项目的上下游节能（比如：水泵或水处理过程中实现的节能）还能避免化石燃料的使用。

提高员工工作效率。将旧空调或照明系统更换成新的、效率更高的系统可以提高员工工作效率。节能空调是企业主在炎炎夏日可以选择的一项重要人工效率投资。员工对办公环境抱怨最多的一项就是照明灯在电脑屏幕上反光眩目；将这些照明系统更换成节能型非直接照明即可解决这一问题，提高员工工作效率²¹。

健康效益。在企业和居民住宅内实施能效措施，通常可提升室内空气质量、改善湿度控制并获得其他环境效益。比如，对天花板进行隔热处理时，通常还可以解决屋顶通风问题。2008年，新西兰发起了一项为期4年的节能计划，以改进国内低收入家庭的用能状况。对第一年首批4万户家庭进行的评估表明，这些家庭的健康状况得到了极大改善，包括²²：

- 因呼吸性疾病到医院就诊的人数减少了43%；

19.Kunkle 和Schueler (2011).

20.Lazar 和 Colburn (2013).

21.建筑能效研究所 (2014).

22.Telfar-Barnard et al. (2011).

- 工作缺勤天数下降了39%；以及
- 学生缺课天数下降了23%。

提高舒适度。一些能效措施可以提升电力用户的舒适度，如：在楼内安装密封条（按鼓风门测试标准），可以减少气流、降低湿度、减少细菌和霉变，改善整幢楼的热平衡。比如在上图新西兰的例子中，通过对整个供暖系统、窗户和隔热设施进行升级，大大提高了住户的健康水平和舒适度。

2.3 产生的社会效益

环境效益。从环保的角度讲，能效资源是最为清洁的能源资源。它可以降低土地足迹和生态影响、空气和其他当地污染影响，避免了很多供电资源产生的碳排放。在改善空气质量和减少碳排放的规划中，实施能效措施通常都位于低成本节能措施名单榜首或前几位。

改善空气质量。发电厂一般都会控制一些污染物的排放，但剩下的还是会通过烟囱排向大气中。一些污染物的排放威胁着人类的健康和幸福；有的在大气中还会发生化学反应，在空气中传播时会产生有害污染物。实施能效措施可使污染最严重、对人类健康危害最大的电厂加速退出市场，产生的效益可以是全国能效平均效益的数倍。

改善水质。电厂日常运营消耗大量的水。尽管一些污染物的排放受管控，但实际上所有蒸汽电厂（煤电厂和天然气发电厂）都会产生有害物质，对整个生物圈产生负面影响。与改善空气质量一样，实施能效措施、加快污染严重的发电厂退出市场还可大大改善水质。

增加就业。发电业虽投资巨大，但并不是劳动密集型行业，即使在燃料生产企业（比如煤矿）也是这样。相反，能效措施则需要大量劳动力，通常技能型人才占很大比例，单位节能量创造的就业机会比发电和输配电环节高。

实施能效措施还可以带动其他领域的就业。在美国，对加州自上世纪70年代中期以来实施的能效项目进行的回顾性分析表明，能效措施使加州家庭可以将更多的支出用在其他商品和服务上，创造了约150万个全职工作机会，总收入超过了450亿美元，这些成果都源于1972年到2006年有记载的560亿美元的家庭节能量²³。

经济发展效益。通常，能效投资远低于被取代能源的成本，由于电费开支下降了，电力用户的可支配收入便有所增加，其中很大一部分都用于当地消费，流通于当地经济，因此带来了多重效应。在美国的研究表明，能效创造的地方经济效益可达到所节约能源的两到四倍²⁴。

23. Roland-Holst (2008).

24. Geller, DeCicco, 和 Laitner (1992).

加强能源安全。能效帮助缓解了供电短缺或损耗问题。因供电问题引发的矛盾远远超出了供配电业本身。各种业务的开展都离不开可靠且经济的供电。通过实施能效措施来尽可能减少电力需求，便可以化解面临的供电可靠性风险²⁵。

²⁵Lazar 和 Colburn (2013).

3.将能效纳入资源规划

将能效作为电力资源加以利用，须先将其纳入电力行业的资源规划中。

3.1 电力行业资源规划

电力行业资源规划者们必须在对未来燃料价格、经济情况、技术发展和政府政策等信息有限的条件下，对如何满足未来电力需求做出决策。因此，对于规划过程来说，评估无法满足用电需求的风险非常重要。

在美国，电力公司及其他电力行业资源规划者通常都是针对未来数年的电力需求制订相应规划。这一长远规划涉及多方利益相关者，需要进行大量数据估算。一些电力公司还须按要求公布资源规划内容，回答监管部门、消费者维权人士，或其他利益相关者提出的相关问题。

美国电力行业的长远资源规划由三大步骤组成²⁶：

1. 对规划期的用电负荷进行预测；
2. 确定用于满足需求的既有资源和未来资源组合；
3. 评估可选资源组合的成本和风险。

负荷预测。进行负荷预测是整个资源规划过程中关键的第一步。其中要利用复杂的建模技术，来预测各用户在规划期内的耗电量和峰时需求。影响预期需求的因素有很多：气候、人口、用户行为、技术适应性和经济走向等。然而，准确预测这些变量并非易事。负荷预测人员通常需要在能效项目或需求响应项目开始之前，预测出用户耗电总量（单位：MWh）和相应的峰时容量需求（单位：MW）。预测时可能会对“自然发生”能效（即不实施电力能效项目也会减少的负荷量）给予一定考虑。为有效支持能效资源的使用，负荷预测应专门认定除“自然发生”的能效以外、通过实施电力能效项目减少的负荷。

资源组合。完成负荷预测后，电力公司就可以构建若干个能满足预期负荷的资源组合，这个组合应同时涵盖供电侧和需求侧资源。需求侧资源通常包括能效和需求响应，这些资源都是基于现有电力能效项目和新能效项目可能产生的节能量和需求响应负荷减少量来确定的。电力公司首先要采用一系列遴选标准来理清这些潜在资源的特点，包括：现有资源的可用性和现有供电合同的续签；新资源的

26. Wilkerson, Larsena 和 Barbose (2014).

投资、固定成本和可变成本；燃料和输电基础设施的获取；地方、州、联邦法规未来走势以及投资回报等等。构建起各种可选资源组合后，电力公司从中选出一套最符合遴选标准（如：成本最低、风险最小）的组合作为最佳组合。然后，电力公司将选定的最佳组合及负荷预测结果提交监管部门或相关政府部门审核批准。

资源组合的风险和不确定性。电力资源规划过程中存在许多风险源，未来燃料价格、立法、气候、建设时间表和能源需求等均充满了不确定性。如果某一变量预测不准，就可能会对电力公司构建最佳资源组合产生巨大影响，可能影响到电力公司满足未来需求的能力、影响到电力公司的成本，甚至影响到电力用户。电力公司可采用多种方法来评估资源规划中的风险和不确定性，包括情景分析、敏感度分析和概率分析。

3.2 能效资源规划方法

在美国，“国家能效行动计划领导小组（the National Action Plan for Energy Efficiency Leadership Group）”编制了一套《能效资源规划指南》（《Guide to Resource Planning with Energy Efficiency》）。该指南列出了以下资源规划阶段可采用的相应方法²⁷：

- 确定能效潜力；
- 估算实施能效措施后能避免的成本；
- 开展能效措施；
- 确定成本效益；
- 开发能效项目和项目组合；
- 评估能效影响力；
- 购买能效资源；
- 评估、测量和验证。

3.2.1 确定能效潜力

通过开展能效潜力研究，可确定实施能效措施的节电量潜力（kWh）和节电容量潜力（kW）。图6显示的是不同类型的能效潜力。

首先，估算**技术潜力**，即对所有用户实施一切技术上可行的节能措施后可以节约的电量和容量。

27. 国家能效行动计划 (2007).

之后，通过一系列现实筛选条件，对估算的**技术潜力**进行修正。

利用成本效益和项目参与资格标准调整估算的技术潜力即可得出**经济潜力**。下文第3.2.4节介绍了评估成本效益时进行的各种检验，每一检验反映了不同利益相关者在能效项目中的不同利益。

通过估算市场阻碍和项目推广中的限制因素对经济潜力的影响程度，即可得出**可实现的潜力**。

最后，在考虑可实现的潜力、既定预算、人员配备和时间限制的基础上，估算出的真正可节约的电量和容量就是**项目潜力**。项目潜力指的是某一特定能效项目预计可实现的节约量²⁸。

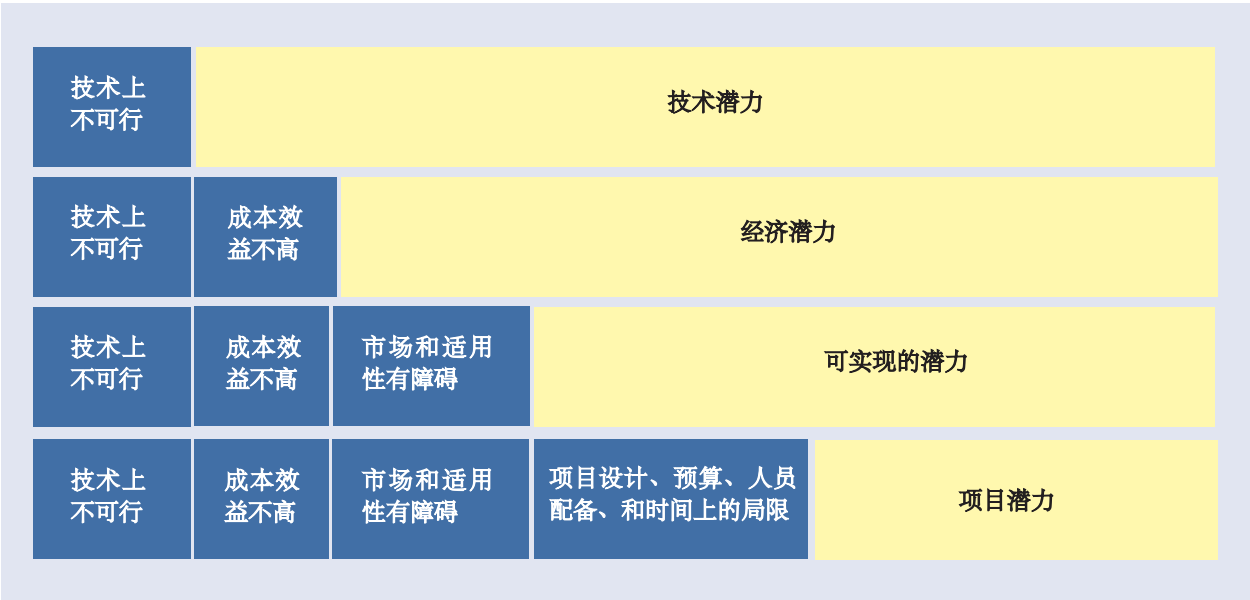


图6: 不同类型的能效潜力²⁹

能效潜力研究的范围和采用的研究方法，因目标设定的不同和实施主导的不同而各有差异。具体分为三大类³⁰：

政策研究：此研究通常层次较高、主要用于制定政策共识，以启动新的能效项目或对既有项目进行调整。政策研究可由希望详细了解立项效益的监管部门或立法机构委托，或委托由希望引起监管部门和政策制订者对能效效益重视的第三方节能机构开展。

规划研究：是电力公司内需求侧规划者开展的活动，以便于将能效整合到电力资源规划中。规划

28. 国家能效行动计划 (2007).

29. 国家能效行动计划 (2007).

30. 国家能效行动计划 (2007).

研究的目的是，识别出可作为供应侧资源（发电，输电和配电）低成本替代方案的能效机遇。

项目设计研究：可由电力公司或第三方实施，用于开发具体的能效项目。此外，还可用于制定针对用户的项目，如：推广和宣传、优惠，或者其他财政激励以奖励用户购买节能设备。

3.2.2 估算实施能效措施后可避免的成本

量化能效效益常用的方法是对长期“可避免成本”进行预测，即未实施能效措施时的成本。比如，如果某配电公司预计用户购电成本为70美元/MWh，则70美元/MWh就是实施能效措施实现的节能价值。此外，电力公司可能无需采购太多系统容量、无需对输配电系统进行太多升级、无需购买很多排放额度或无需产生其他一些成本。这些附加效益的价值可能在30美元/MWh。因实施能效措施节约的所有这些开支都直接计作“可避免成本”，在上面的例子中，这一数字合计为100美元/MWh。

估算可避免成本为评估能效效益提供了量化值。在上面的例子中，电力公司通过实施能效措施，每兆瓦时的电节省了100美元。对此，我们可以说能效创造的价值或效益为100美元/MWh。

表1显示的是电力系统可避免成本的构成及其价值评估标准。

表1：电力系统实施能效可避免成本的典型构成³¹

可避免的成本项	评估标准
电量（含损耗）	批量购电量的减少量或发电厂运营成本的减少量。 损耗系数。
发电容量（含损耗）	基于修订的负荷预测数据而推迟建设发电厂所带来的价值。 损耗系数。
辅助服务	随电量和容量下降带来的辅助服务成本的下降。
输配电容量	因推迟为满足客户峰时需求增长而扩建输配电容量所带来的价值。 注意，推迟扩建输配电容量所带来的价值，可能在同一供电区域内不同网点各有不同，也会根据容量节约量与当地峰时需求时间的重合程度不同而不同。
需求下降对电价的影响	在以现货市场购电的国家和地区，现货市场购电总成本随需求曲线下降而出现下降。
水、燃油或其他资源的节约量	取决于电力系统的特性以及能效项目的类型，可以包括其他避免的成本。

31. 改写自国家能效行动计划 (2007)。

对于电力公司来说，估算能效措施的长期可避免成本最简单的方法可能是对预期电价进行内部预测，或将避免的成本与建设和运行下一发电厂或其他供电侧资源的成本进行对比。这一方法可能会对外保密，因为活跃于市场购电的电力公司可能不希望公开自己的预期电价。为开发更加透明的资源规划流程，可避免成本的预测可由适当的公共机构（如：政府部门或监管机构）进行制定³²。

3.2.3 开展能效措施

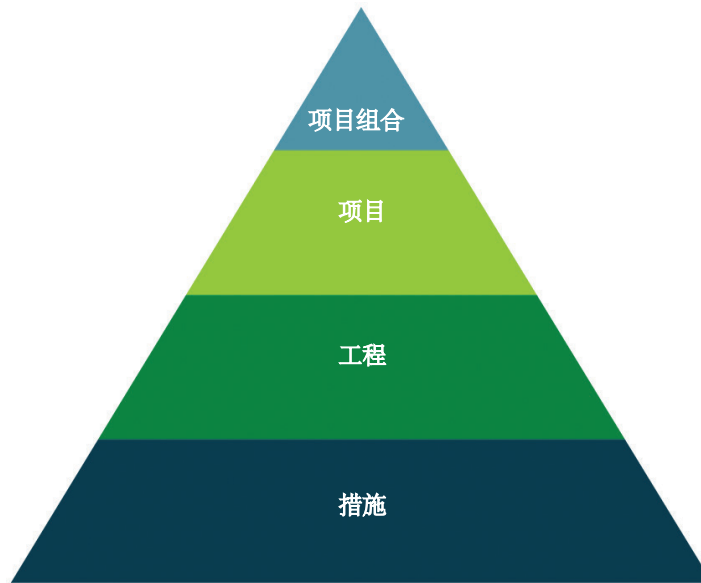


图7：能效活动的层次³³

图7显示了能效活动的层次。

能效“措施”是指为减少某一特定类型负荷而采取的具体措施。例如，将白炽灯更换成节能灯或LED灯就是一项照明节能措施。通常，这些措施结合在一起，就形成了一个“工程”，工程通过协调的活动，在某一设施或场地开展一项或多项节能措施。

将同类工程汇集在一起，就形成了“项目”，通过开展项目，带动某一特定细分市场用户实施更多的能效措施。比如：一个照明能效项目通常含有多个不同的照明措施，在不同的设施或现场实施。

将一个个项目组合在一起，就构成了一个或多个在电力公司或项目管理层面实施的“项目组合”。“项目组合”可以是：（1）针对同一目标市场（如：针对住宅区域的项目组合）、技术（如：电机能效

32. 国家能效行动计划 (2007).

33. 州和地方能效行动网络 (2012).

项目)或机制(如:贷款机制)的相似能效项目,或者(2)由同一项目管理人管理的所有能效项目的集合³⁴。

开发能效措施时,需首先确定系统负荷、减少具体负荷不同方法的成本和影响,然后选择要采用的具体方法。从规划的角度讲,每项措施考虑的核心都是对用电负荷影响及其增量成本。对用电负荷的影响分为两种:电量影响和需求影响。电量影响是指实施能效措施后减少的用电量(kWh),需求影响是指减少的峰时容量(kW)³⁵。

3.2.4 确定成本效益

目前有多种方法可用于评估能效的成本效益。最常见的方法就是加州公用事业委员会(California Public Utilities Commission)发布的标准惯例手册《需求侧计划和项目经济性分析》(《Economic Analysis of Demand-Side Programs and Projects》)中介绍的成本效益检验方法³⁶。

加州标准惯例手册中介绍了五种成本效益检验方法,每种检验对应反映某一类利益相关方对能效影响的看法。

对参与者成本的检验。此检验量化的是电力用户参与能效项目获得的效益和投入的成本。因为一些客户不会完全基于可量化的变量决定是否参与能效项目,因此此项检验并不能完全验证某一项目对用户的效益和成本。

对缴电费用户影响措施的检验。此检验衡量的是能效项目实施后,随着管理方收入和运营成本的变化,客户电费账单和电价发生的变化。如果收入高于管理方实施能效项目的总成本,电价就会下降。相反,如果收入所得低于项目管理方的成本投资,则电价就会上涨。即使电价上涨,如果能效项目的实施带动了电力用户购电量下降的话,对于参与能效项目的单个用户来说,电费开支还是有可能下降。

对项目管理方成本的检验。即对电力公司成本的检验。此检验衡量的是某一能效项目作为一项资源方案由项目管理方投入的净成本,不包括任何由项目参与用户投入的净成本。

对资源总成本的检验。此检验衡量的是能效项目作为一项资源方案投入的总成本,包括参与者和项目管理方的成本。此检验体现的是能效项目对项目参与用户和虽未参与项目、但随着项目对电价的影响而承担了部分项目成本的用户产生的整体影响。

34.州和地方能效行动网络(2012).

35.国家能效行动计划(2007).

36.加州公用事业委员会(2001).

对社会成本的检验。此项检验有时被看作是另一种形式的资源总成本检验。社会成本检验的不同之处在于，它涵盖了外部因素的影响，使用了与资源总成本检验不同的（社会）折现率。对社会成本的检验超越了资源总成本检验，它是对资源总成本变化对整个社会（而不仅仅是项目管理方和电力用户）的影响进行的量化。

一个常见的误区是，人们认为会有一种最佳能效成本效益评估方式。加州标准惯例手册介绍的五种检验法很准确有效，但每种检验都是从不同角度回答不同的问题，如表2所示³⁷。

从监管机构的角度考虑，资源总成本检验或社会成本检验都是合适的成本效益检验法。资源总成本检验衡量的是能效项目对某一社区或地区产生的净效益，所有通过此检验合格的能效措施都可以使社区或地区的用电总成本降下来。因此，资源总成本检验是评估能效项目使用的主要检验法。资源总成本检验只涵盖了直接成本和效益，而不包括外部因素或非经济因素。希望在成本效益检验中涵盖这些因素的监管部门，可以采用社会成本检验法，将外部因素（如排放）纳入考虑范畴。资源总成本检验和社会成本检验均不单独认定谁是能效项目的投资主体和受益群体，因此，评估特定利益相关方的成本和效益时可采用其他成本效益检验法。

表2：采用不同成本效益检验法解决的问题³⁸

对参与者成本检验	电力用户是否值得实施能效项目？ 用户是否愿意参与电力公司的能效项目？
对缴电费用户影响措施的检验	能效项目对电力公司营业利润有何影响？ 是否需要调整电价才能持平营业利润？
对项目管理方成本的检验	电力公司的总成本在上升还是下降？ 为维持电力公司财务状况，电费总收入（即营业收入要求）需做何调整？
对资源总成本的检验	电力公司及其用户的净投资和效益是什么？ 累计效益是否高于总成本（无论投资主体和受益群体）？ 社会承担的用能成本增加了还是减少了？
对社会成本的检验	能效项目覆盖群体获得的总效益是什么（包括间接效益）？ 累计效益（包括间接效益）是否高于总成本（无论投资主体和受益群体是谁）？

37. 国家能效行动计划 (2007).

38. 改写自“国家能效行动计划” (2007).

3.2.5 开发能效项目和项目组合

提高能效有多种方法，同样，能效项目也分为不同类型。表3列出了能效项目的主要类型。

通常而言，能效项目的设计意图都是为了在项目组合层面达到最基本的成本效益水平。但在设计项目时还可能会考虑其它因素，具体考虑哪些因素，取决于项目本身除节能和降低需求外还要实现的其他目标。其他因素可包括：确保有专门项目针对“老大难”用户；确保项目具有可持续性；确保项目有宣传和培训环节。此外，能效项目设计过程中可能还要考虑一些政策因素，如：政策上要求尽可能减少建设初期错失改进建筑物能效的机会。

能效项目和项目组合的开发，应依国家和地区的不同而采用不同的标准。比如，加州公用事业委员会要求开展的能效组合必须依赖由供电区域提供资金，资源总成本比高于1.0。该委员会还要求自己的员工对项目组合加以汇总整理，确定是否实现了以下目标³⁹：

- 最大程度实现了节能；
- 成本效益高；
- 地域分布均匀；
- 目标市场多样化；
- 客户层级平衡；
- 天然气和电力项目投入和节能量平衡；
- 项目多样化；
- 为项目参与者提供多种语言文件。

39.国家能效行动计划 (2007).

表3：能效项目类型⁴⁰

能源审计	由专业外包商或电力公司代表对用户设备进行调研或现场考察。期间要进行能源审计，对用户设备进行检查、对客户进行指导、对适当的能效项目进行推广。
优惠方案	返现项目： 对购买节能电器或装置的用户提供返现。 上游优惠项目： 向节能电器或装置生产厂商和批发商提供优惠，使其能够在向电力用户销售时提供优惠价格。排除电力用户申请折扣的需求。
直接安装	项目管理方或第三方合同方为电力用户直接安装能效措施，如：在商业照明改造项目中，直接安装新型节能灯。
宣传与培训	宣传并培训用户、零售商、建筑师、承包商和建筑巡检人员如何识别出能效机遇、正确实施节能措施、对设备进行维护保养，以确保设备平稳高效地运行。
贷款和“电费账单融资”或拨款	提供资金支持，消除因能效措施初期投资大而造成的阻碍。 “电费账单融资”模式下，购买节能电器的成本通过电费账单分期小额支付。
招标/标准绩效合同	使第三方外包商能够开发能效项目，从而为项目管理方带来节电和降低需求的结果。外包商通常比电力公司或项目管理方能够更加有效地利用与电力用户的关系。
上中游激励措施	向生产厂商、经销商或分销商提供激励政策或支持，推广节能产品。
更换废旧产品	鼓励电力用户在更换旧的用电设备时购买和安装高能效设备或电器，如：鼓励电力用户购买“能源之星”认证设备。
提早更换	鼓励用户将目前仍在使用的电器或设备更换成更加节能的电器或设备。通常情况下，因为需要对节能设备提供接近全额的财政补贴来吸引客户，因此要比更换废旧产品的投入高。
新建工程	针对新建工程，实施高于建筑标准的能效措施，有时又称之为“错失机会”项目，因为建筑物一旦竣工，一些能效升级项目实施起来投资非常大，甚至不可能再实施。
试运行	确认新建建筑是否能运行良好，比如：建筑外立面密封性好、风道未变形或弯曲。

40. 改自“国家能效行动计划”（2007）。

3.2.6 评估能效项目的影响

为规划而评估能效项目影响的方法主要有两种：“由上至下”或“由下至上”⁴¹。

由上至下的方法通常耗时少。为估算节能成果，此方法通常会对实施能效措施前后的电费帐单数据进行统计对比。或者，将参与能效项目的电力用户的帐单数据与未参与用户的数据进行对比。如某一能效项目未获得帐单数据的话，则可以采用其他类似项目的汇总数据，从而评估能效项目的影响。此分析法可能更适用于刚刚开始实施能效措施的国家 and 地区。

由下至上的方法是对终端用能详细数据进行分析。由下至上模式是基于特定类型的能效措施产生的节能量来估算能效项目的影响。由下至上分析中通常会利用工程设计模式、通过对节能电器和设备的特性与标准电器和设备的特性进行对比，估算减少的用能量。利用工程模式需要投入的工作量差异很大。一些情况下，可根据工程公式（如：亮度相同的白炽灯与节能灯或LED灯在瓦数上的不同）进行分析。其他情况下，可建立复杂的模拟模型或对工业工艺流程的实际模拟而进行分析。

可利用与估算节能量一样的方法，对减少的容量需求进行估算。在估算节省的容量时，还需考虑另一个因素，即产生容量节约的时间。容量节约量的估算一般取系统一致性峰值时段，即：电力公司在一年中某一小时的最大容量需求。此估算适用于某些规划（如：长期发电规划）来说非常有用，但对其他场合可能就不太适用了。最大需求随季节变化而变化，在同一供电区域的不同网点也有所不同。比如，如果希望通过实施能效项目，推迟更换或增加电网设施（如：配电站或架设新线），则估算的基准就是该设施上的需求达到最大时节约的容量。这一最大需求可能因系统一致性峰时发生的时间不同而不同。

为了将能效纳入资源规划中，在估算节约的容量时应采用与资源规划者对容量价值一致的定义。还应注意，应确保该电力公司内的其他部门在不同场合中不会使用同样的估算数据，因为平时经常会发生“死搬硬套”的现象，将数据错误地用于不合适的场合。比如，可以将实施能效措施带来的需求减少值应用于一项基于12个月峰时需求平均降幅的输电研究中，但用于发电规划就不合适了，发电规划只是与某一年的峰时需求有关⁴²。

此外，在将能效纳入资源规划时还需要考虑进行两次调整⁴³：

- 高峰时段过后实施能效措施节约的容量不应计入当年；
- 应明确已计入当前负荷预测基准情形的能效项目电量和容量的节约数据，以免重复计算。

41. 国家能效行动计划 (2007).

42. 国家能效行动计划 (2007).

43. 国家能效行动计划 (2007).

首次调整很简单直接，只需要纳入规划流程便可。关键是如何采用峰时到来之前的一段时间成功预测能效措施节约的容量。比如，对于夏季高峰电网而言，一年中的第二个季度就是计算容量节约量的时期。

第二次调整则需要分析人员熟知数据状况并掌握预测负荷的方法。通过以下方法可避免重复计算：（1）从负荷预测中去掉能效影响，或（2）从能效影响预测数据中去除已经计入基准负荷预测的电量和容量节约数据。

3.2.7 获取能效资源

不同的组织可通过不同方式获取能效资源。最常见的是，电力公司直接开发、设计和管理能效项目。或者，其他组织参与能效项目的实施，然后通过各种机制，将节约的电量和容量整合到电力资源规划中。

表4：能效项目管理与交付职能概述⁴⁴

总体管理与协调	财务和预算管理： 开发、维护会计体系；建议和管理项目组合的预算。 合同管理： 维护与主要承包商的合同（如果有的话）。 报告系统和信息管理系统： 编制年报；彰显成就；维护向监管部门和政府报告使用的信息技术系统。
项目开发、规划和预算	推进资源规划流程。 项目设计；提交项目总体介绍和预算，供监管机构和政府审批。 筛选项目和措施，包括针对成本效益的初次筛选。
项目管理和控制	管理和监督具体项目。 提供详细的项目设计，根据以往经验和市场反应提出修改意见。 开发质保标准和跟踪机制，以确保有效交付项目。 建立争议解决流程。
项目交付与实施	设计项目市场推广与宣传活动并予以实施，推广具体项目。 提供项目交付服务，包括：能效审计、技术和设计支持、融资支持和激励政策、合同方（如果有的话）的委托、合同方认证和培训。 管理对电量与容量节约情况进行的评估、测量和验证流程；开发评估、测量和验证流程；通过验证结果为合同方支付款项（如果有的话）。 开发针对电力用户设施的具体能效项目。
市场评价和项目评估	了解特定能效市场和能效潜力的特点。评估项目影响力。 审查项目流程和管理情况，以提高项目效力。

44. 改自“国家能效行动计划”（2007）。

无论涉及到哪些利益相关者，都必须利用各种职能进行有效管理、控制和交付能效项目组合（见表4）。这些职能通常由某一组织作为项目管理方实施。项目管理方可以是电力公司、政府部门或为实施项目管理职能而专门设立的第三方组织。项目管理方必须基于项目管理方和第三方外包商提供能效计划的核心资质和能力、监管部门和政府的政策方向，来设定获取各种能效资源的最有效方式。比如，项目管理方通常对总体管理、协调以及对项目开发、规划和预算等职能独自承担或者承担主要责任⁴⁵。

3.2.8 评估、测量和验证

评估、测量和验证（EM&V）是指用来确定能效项目有效性和影响力的过程。“评估”一词是指对项目绩效和实施情况进行的实时或回顾性评价。“测量和验证”（M&V）是评估的一部分，是指对某一现场或项目实际节能量和容量节约情况的计算，具体包括：收集数据、直接测量、计算机建模和其他节能成果验证方法。电力公司和第三方合同商通过“评估、测量和验证”方法，计算实施能效项目产生的实际影响。根据“评估、测量和验证”结果得出的必要信息，可为改进项目实施之前所做的资源规划中估算的能效影响结果发挥所需的作用⁴⁶。

能效评估活动可通过不同方式划分类别，其中一种是将评估作为形式性评估或结果性评估来对待的。形式性评估有助于尽可能提升能效项目的有效性。结果性评估是记录能效项目的成果。但最常见的方式是，将能效评估分为影响力评估、流程评估或市场评估⁴⁷。

影响力评估。是指对能效项目引起的变化进行的结果性评估。影响力评估通常主要包括：量化与项目相关的用电量和用电需求的变化，计算非能源效益（或衍生效益），比如：因实施项目直接或间接减少的排放和创造的就业机会都可以通过影响力评估进行估算。影响力评估通常可为成本效益分析提供支持，证明项目成果价值（即节约的电量和容量以及减少的排放）与为实现这些效益所投入的成本之间的关系。

流程评估。是指对能效项目进行的系统化评价，目的是记录项目运作情况、识别并提出改进建议，以提升项目获取能效资源的效率或效力同时确保参与者的高水平满意度。比如，流程评估可包括对项目交付情况的评价，从项目设计到实施，识别出遇到的瓶颈、成功和失败之处，局限以及改进潜

45. 国家能效行动计划 (2007).

46. 国家能效行动计划 (2007).

47. 州和地方能效行动网络 (2012).

力。识别改进潜力的时间表对于在此过程中校正问题至关重要。流程评估还为解释影响力评估的结果奠定了基础。

市场评估。此为“评估、测量和验证”中一项范畴广泛的活动，可记录能效项目的市场地位。其中一个特别的类型是市场效应评估，对实施一个或多个能效项目后市场结构或功能的变化特点或者市场参与者行为变化的特点进行评估。市场效应评估可包括评估市场对未来能效项目可以发挥的作用。如果评估目标是为利益相关者或监管机构进行成本效益评估，如果不包括评测市场效应的话，会导致对项目整体效益或成本效益的低估（或高估）。

根据经验，“评估、测量和验证”投资一般占能效项目总支出的2%至5%，但一些国家和地区可能会高于这一比例。整体而言，评估人员建议，“评估、测量和验证”工作的目的应是：获得满足计划或项目预算和目标要求的最准确数据。以往的“评估、测量和验证”经验表明，如果评估数据不准确，就会导致收益递减。最好能够按照“投入10%的‘评估、测量和验证’精力，获得90%的验证准确性”这样的法则进行评估。因此，开展影响力评估的策略之一是，通过验证重要但不确定的影响力驱动因素减少估算错误的传播。比如，在照明项目中，项目的影响力相当于照明工作小时数乘以更换节能灯后减少的电功率（瓦特）。如果运行时间已经固定，则“评估、测量和验证”主要测量一下瓦特的变化就可以了⁴⁸。

48. 国家能效行动计划 (2007).

4. 将能效作为资源

本章将介绍三种综合性政策、法规和机构体系，帮助推动能效作为电力系统资源的利用。

- 综合资源规划；
- 区域资源规划；
- 能效电厂概念。

此外，本章还将介绍三个案例研究，两个来自美国、一个来自中国。

4.1 综合资源规划

综合资源规划（IRP）是主要在美国及其他一些国家采用的规划流程，在中国已经开展了一些理论性的研究⁴⁹。综合资源规划检验未来电力需求预期增长，同时评估能够满足系统预期负荷的替代资源，包括需求侧资源。规划的目标是为了电力公司及其终端用户识别出成本最低的资源组合⁵⁰。图8显示的是综合规划的大致流程。

综合资源规划流程优于传统资源规划是因为它将需求侧管理（包括能效和需求响应）作为一种资源。成功的综合资源规划可以以最低成本实现可靠的发电和输电。

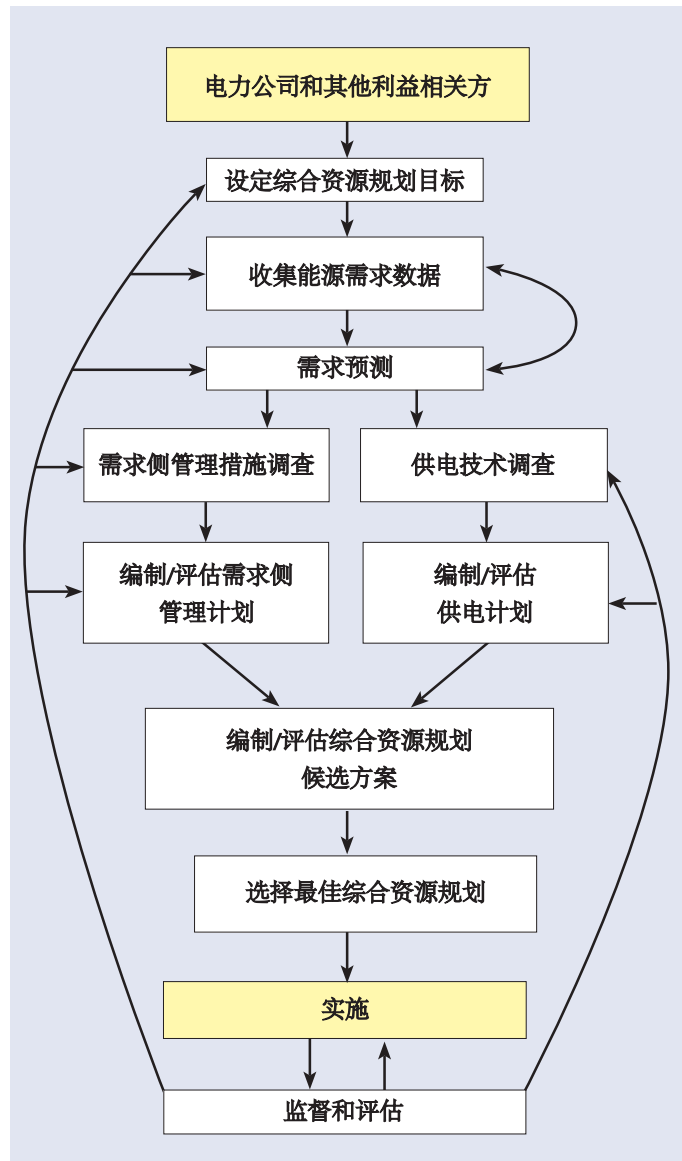


图8：综合资源规划流程⁵¹

49.周景宏、胡兆光 (2010).

50.Crossley (2013).

51.Tellus 研究所 (日期不详).

4.1.1 综合资源规划的方法

综合资源规划法的创新之处在于，它超越了传统电力行业资源规划的范畴，提供了更广泛的选择，尤其是涵盖了需求侧资源。成功的综合资源规划，基本上都要先判定需求侧资源的规模、位置、成本和对电力行业的价值，以及满足用户用电需求所需的最经济的发电和需求侧资源组合⁵²。

理想状态下，综合资源规划流程应着眼于广泛的方案来满足未来需求，包括在评估各种方案时考虑一切社会和环境成本。评估的供电侧方案应包括：持续运行现有电厂、建设新电厂、从其他发电厂购电以及鼓励用户自主进行分布式发电。需求侧方案应包括：发电以外的替代方案，例如，投资需求侧管理项目、推动建设能效建筑或改造既有建筑、减少输配电系统线损以及其他满足未来电力需求可以采取的低成本可靠手段⁵³。

综合资源规划流程还应考虑未来对当地和区域输配电网基础设施的要求、制订现有线路升级计划或架设新线、部署需求侧资源，从而缓解电网的局限性。

这一广泛的规划流程为按衡量标准（特别是成本效益）评估需求侧资源、将其作为满足预测未来电力需求和电网基础设施要求的方法提供了契机。

综合资源规划的实施，大多比较直接、技术性较强，需遵循成熟的电力规划方法。但有时又要引入新方法，进行较为复杂的分析。比如，大部分需求侧资源都与供电侧资源截然不同。需求侧资源通常规模较小、不够稳定、不像供电侧资源可预测那样“可靠”。但这些不足之处可通过技术手段加以弥补，从而将一些需求侧措施准确定向在某个特定时间段或地域。而对于供电侧资源来说，进行这样的定位则要困难的多。定向可以使需求侧措施得到有效利用，在系统峰时或批发电力市场出现高电价时段以及在电网受限的地方提供需求响应⁵⁴。

4.1.2 综合资源规划的实施

综合资源规划由美国在上世纪80年代和90年代初率先实施，当时美国多个州的监管部门要求私有垂直一体化的大型垄断电力公司必须实行综合资源规划，适用范围主要以电力公司服务的地域为准，电力公司拥有的全部资源（不限地域）均包括在内。但对于不归电力公司拥有的且不在服务地域内的资源，如果成本低、满足资源安全和可靠性标准的话，亦可考虑涵盖在其中。

1992年，联邦《能源政策法》对“综合资源规划”进行了明确定义，要求从联邦电管局（如：

52.Lazar (2011).

53.Lazar (2011).

54.Crossley (2013).

波利维尔盐洼电力管理局) 购电的电力公司, 需制定出综合资源规划。《能源政策法》提供基本准则, 由州和地方政府出台管理电力公司长期规划的相关细则和要求。州一级规划须通过立法、规范、政府规定或综合资源规划法律法规实施⁵⁵。

图9显示的是哪些州要求电力公司编制和备案(提交) 正式的综合资源规划, 以及哪些州采用长期采购计划(LTP) 框架作为综合资源规划替代方案。长期采购计划涵盖综合资源规划中的大部分内容, 但通常规划期限相对较短⁵⁶。

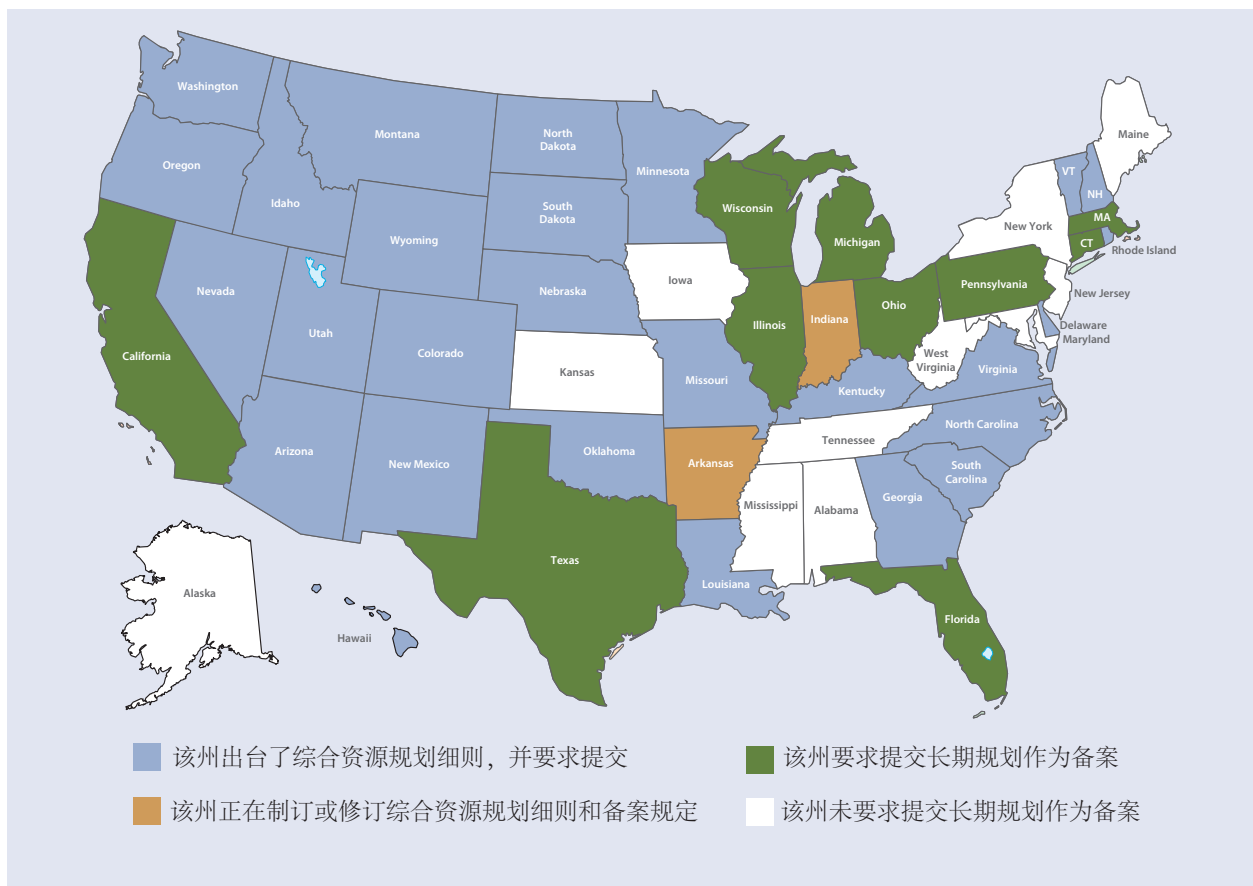


图9：美国实行综合资源规划或类似规划过程的州分布图⁵⁷

55. Wilkerson 等 (2014).

56. Wilkerson 等 (2014).

57. Wilson、Biewald (2013).

尽管综合资源规划最初在美国各电力垄断公司采用，但这种规划流程后来在其他国家和地区亦有采用。

丹麦1994年出台的《电力法》规定，配电公司和零售供电公司必须编制需求侧管理计划。因此，发电和输电公司以及独立系统运营商（ISO）都起草了发电和输电方案。丹麦能源署编制了相关指南，并负责协调20年国家总规划⁵⁸。

在南非，国家能源部制订了2010年至2030年国家综合电力资源规划，于2011年3月颁布。按照当时规定，该计划由南非能源部每两年修订一次，2013年进行了第一次修订⁵⁹。最初的综合资源规划设定了一系列能效“蓝图”，确定了满足2030年预期需求增长的最佳发电技术，包括可再生能源发电。2013年修订后的综合资源规划加入了多个政府目标，包括：可负担的电力、碳减排、节水、地方和区域化发展，并制定了多元化发电资源和电力领域逐步低碳化的平衡战略。

在英国，随着综合资源规划研究的推动，2012年和2013年对电力市场进行了改革，确定了满足长期气候目标所需的发电和需求侧资源组合⁶⁰。

4.1.3 综合资源规划案例研究

以下案例研究简要介绍了美国垂直一体化的电力公司—太平洋公司实施的综合资源规划流程。太平洋公司业务遍及美国6个州，覆盖13.6万平方英里区域，服务170万电力用户。公司由三大业务单元组成：太平洋电力公司（负责俄勒冈州、华盛顿和加利福尼亚州的业务）；落基山电力公司（业务覆盖犹他州、怀俄明州和爱达荷州）和太平洋能源公司（经营各种发电资产组合）。

太平洋公司每两年制订一次综合资源计划，每逢奇数年向电力委员会提交该计划备案。6个业务所在州中，有5个州向公司寄达了关于综合资源规划是否满足委员会综合资源规划标准和准则的正式告知（“综合资源规划回复函”）。每逢偶数年时，公司就会对近期资源成本、负荷预测、监管情况和市场信息进行分析，然后对最佳资源组合和行动计划进行调整⁶¹。

太平洋公司的综合资源规划流程使用了系统建模工具，将其作为分析框架的一部分，用于确定替代性资源组合的长期经济性和运作绩效。这些模型通过模拟新资源替代方案与公司现有资产的整合情况，在综合考虑风险、供电可靠性、不确定性和政府能源资源政策的基础上，选出最具成本效益的最佳组合。

58. D'Sa (2005).

59. 南非能源署 (2013).

60. 英国能源与气候变化国务大臣 (2011).

61. 太平洋公司 (2011b).

2011年3月31日，太平洋公司向各州监管委员会提交了公司的第11个综合资源规划⁶²，并得到了爱达荷州、俄勒冈州、犹他州、华盛顿和怀俄明州的回复。

综合资源规划的核心内容包括：

- 资源组合建模流程与设想；
- 资源需求调查，重点为20年规划期前10年的需求，
- 满足此需求的供电侧和需求侧最佳资源组合；以及
- 行动规划，确定未来2到4年实施此规划要采取的步骤。

太平洋公司采用了一套综合性组合建模流程：利用“系统优化器”（System Optimizer）模型，通过确定扩容计划，对每一优化后的组合进行发电成本模拟，评估资源组合风险⁶³。图10显示的是太平洋公司的建模流程示意图。

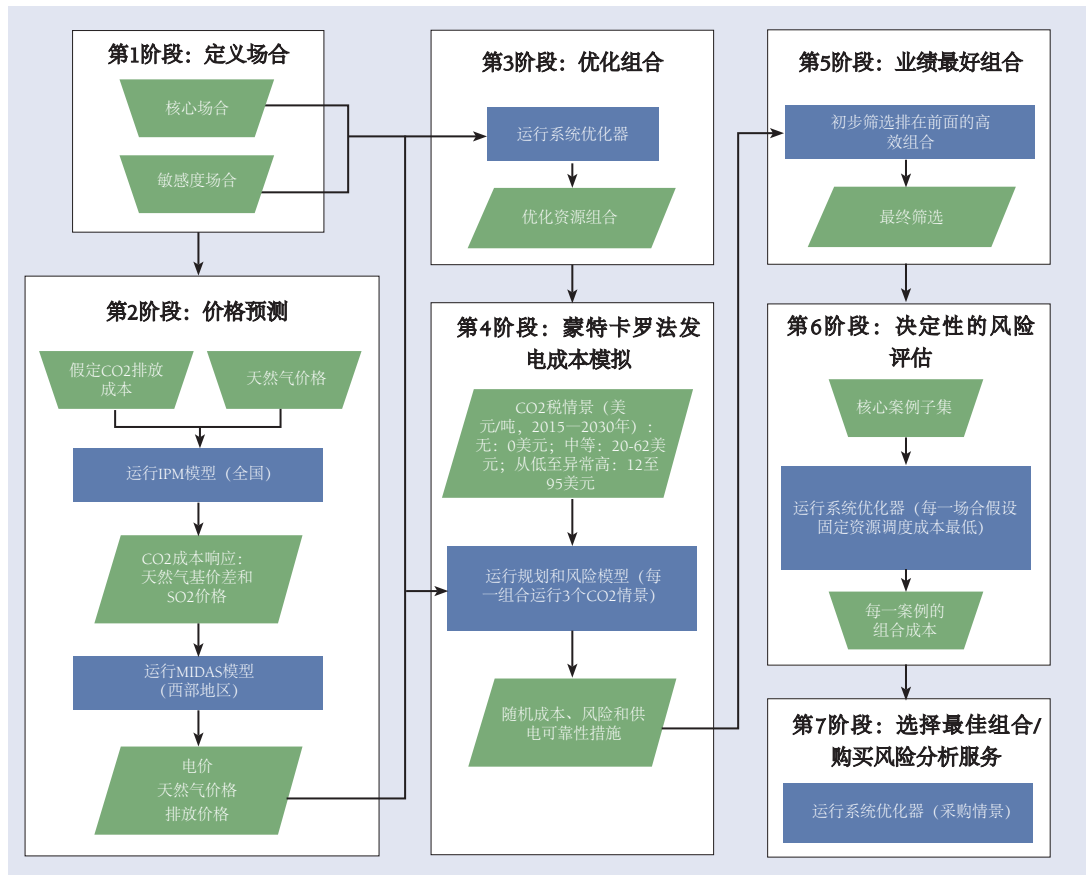


图10：太平洋公司综合资源规划建模流程和风险分析流程⁶⁴

62. 太平洋公司（2011a）。

63. Wilson 和 Biewald（2013）。

64. 太平洋公司（2011a）。

太平洋公司在业界独树一帜，将能效作为供电侧资源进行建模，而不是对负荷进行简单修正。在模型中给出一定量既定成本的能效，将这些能效资源与模型中的其他备选资源进行对比。太平洋公司的第11个综合资源规划模型中的能效资源数据来源于2010年的能效潜力研究，该研究对太平洋公司服务区域内超过1.8万项的能效措施的规模、类型、时间、位置和成本进行了估算⁶⁵。

在太平洋公司的模型中，能效措施被称之为“第2类需求侧管理”，而基于容量的措施分为两类：“第1类需求侧管理”（包括可调度的需求响应项目）和“第3类需求侧管理”（包括电价激励的需求响应）。围绕“第2类需求侧管理”措施，太平洋公司按平准化成本，将其打包分成了9组纳入模块中，为综合资源规划模拟了1400条供给曲线。

能效措施在建模中“表现”很好，成为到2030年所有建模组合中增加最多的资源，通过实施能效措施，太平洋公司最佳组合中能效的累计增加容量超过了2500MW。将这么多的能效纳入资源组合后，为太平洋公司的用户大大节约了电费开支。如果不将能效纳入太平洋公司的资源组合中，则电力公司就需要投入更多的资金、增供2500MW的供电侧资源来满足预期负荷⁶⁶。

对于太平洋公司而言，2011规划只不过是演化过程中的一部分。在这一过程中，既考虑了当前的信息，又体现了系统建模能力的持续提升，以解决新问题和扩大分析范围。太平洋公司的最佳组合和行动计划，不仅仅是一个反映资源购买承诺的静态产物，而是一个考虑资源获取途径、可根据市场和监管条件变化灵活调整的框架⁶⁷。通过广泛进行资源组合情景建模，分析资源获取途径，增加最佳组合和行动计划。在满足当时各类法律法规的基础上，获取资源决策源于太平洋公司的采购流程，而这一流程是由综合资源规划和业务规划流程支撑的。

4.2 区域性资源规划

在美国，除各电力公司开展资源规划外，州和地区一级还要进行电力行业规划。

4.2.1 区域性规划的方法

在美国，不同类型的组织都在参与区域性电力行业资源规划。以前，电力行业主要由垂直一体化的电力公司构成，这些公司在指定服务区域承担发电、输电、配电和售电等全部职能。在此模式下，大部分资源规划都由各电力公司独立完成。

65. Wilson 和 Biewald(2013).

66. Wilson 和 Biewald (2013)

67. 太平洋公司 (2011a).

上世纪90年代出台的《能源政策法》（1992年），以及联邦能源监管委员会颁布的特别法令，要求逐步放开输电业务。1996年4月，联邦能源监管委员会针对放开电力领域业务颁布了两项细则。《指令888》⁶⁸规定了所有批发电力市场的买方和卖方享有进入输电网络、输电定价和回收搁置成本的平等权利；《指令889》⁶⁹规定了拥有或经营输电设施的辖区电力公司须建设电子系统，用以公布公司可用输电容量的相关信息。之后，要求进行跨地区和地区之间的输电规划（而不是仅限于单独的电力服务区域内）。一些地区设立了独立系统运营商（ISO）和区域性输电运营商（RTO），美国一些地方输电系统的日常运营、批发电力市场的有效管理以及长期可靠性规划现在都由独立的系统运营商或区域性输电运营商负责管理（见图11）。

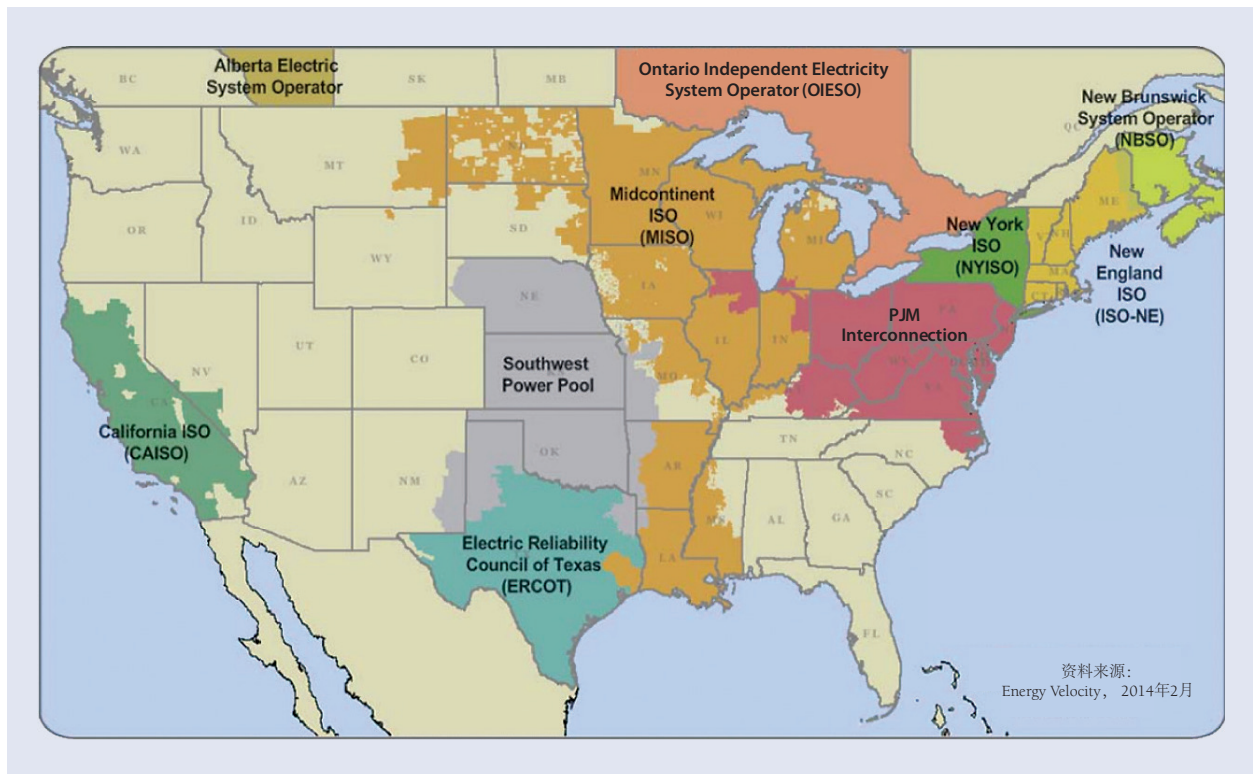


图11：美国和加拿大的独立系统运营商和地区性输电组织⁷⁰

68.美国联邦能源监管委员会 (1996a).

69.美国联邦能源监管委员会 (1996b).

70.美国联邦能源监管委员会 (2014).

4.2.2 区域性规划的实施

随着对地区输电规划的日益关注，美国一些地方成立了专门的机构，在指定地理区域实施更广泛的电力行业资源规划。这些机构通常都是以综合资源规划的形式，将能效作为资源加以利用。

4.2.3 区域性规划案例研究

1980年，美国西北地区按照联邦《西北电力与节能法案》，成立了西北电力与节能委员会，负责领导华盛顿州、俄勒冈州、爱达荷州和蒙大拿州四个州的电力资源规划工作。根据该《法案》，委员会须制订地区未来低成本电力需求规划，识别出目标资源组合。然后由州政府使用竞争机制获得资源。

《法案》规定了委员会采用的电力规划方法的基本特点，并在首个电力规划中实施（首个电力规划于1983年获得通过）。委员会在首个电力规划中确定了综合资源规划的基本原则和方法。此后，每次编制新计划时都会对方法和工具进行改进。2010年3月，委员会通过了第六个电力计划⁷¹。

《法案》规定了委员会电力规划的基本范围和立场。电力规划必须是满足区域长期（20年）电力需求的战略，目标是建立一套以最低的成本、确保充足、高效、经济和可靠供电的资源战略。电力规划应着眼于长远发展，将整个区域供电系统的成本降至最低。纳入规划中的资源应具有成本效益，即应能确保资源战略“以不高于类似低成本可靠和可用替代措施或资源的预估系统成本，满足或减少用户的电力需求。”系统成本包括资源有效使用寿命期内的所有成本，包括可量化的环境成本⁷²。

《法案》的一大创举是，它将“节能”（能效）作为一项资源引入了其中。能效被指定为第一优先级的资源，对于规划来说，比其它资源的成本低10%。《法案》还规定了继能效之后其他资源的优先等级：排在第二的是可再生资源发电，之后是高效发电（比如：热电联产），最后是其他发电资源⁷³。

将能效作为首要资源纳入电力规划，这对于委员会制订规划方法来说具有深远意义。委员会要想实现《法案》下的低成本目标，并不关联到电本身的成本，而是与电向用户提供服务的成本有关，比如烹饪食物，或者将室温保持在舒适的水平。用电服务成本的最小化与电自身成本最小化是完全不同的概念。前者关注的如何将用户的电费帐单金额降下来，而不是降低电价或发电成本⁷⁴。

71. 西北电力与节能委员会 (2011).

72. 西北电力与节能委员会 (2011).

73. 西北电力与节能委员会 (2011).

74. 西北电力与节能委员会 (2011).

在出台《西北电力与节能法案》之前，通常采用的规划流程非常简单：先预测电力需求，然后将各种资源叠加在一起来满足需求。将能效作为资源加以利用是对整个流程的颠覆，特别是建立了反馈环节，将委员会的规划变成了一个反复的过程。

图12列出了委员会的建模和规划的大致流程。委员会首先利用经济学和人口统计学预测，以及电价初步预测数据，对电力需求进行初步预测。然后将此需求预测作为基准，因假定在规划期内终端能效不会有所提高，因此又将该预测称为“冻结效率”（frozen efficiency）预测。继而开发出满足“冻结效率”预测需求的低成本资源战略，包括能效改进。由于发电资源成本和售电量都发生了改变，成本回收随之发生变化，因此这一资源战略会对电价产生影响。电价变化又会引起需求发生变化，最后又回到了流程的起点。这一循环建模和规划流程相互影响，直至电价起点和终点接近于一致⁷⁵。

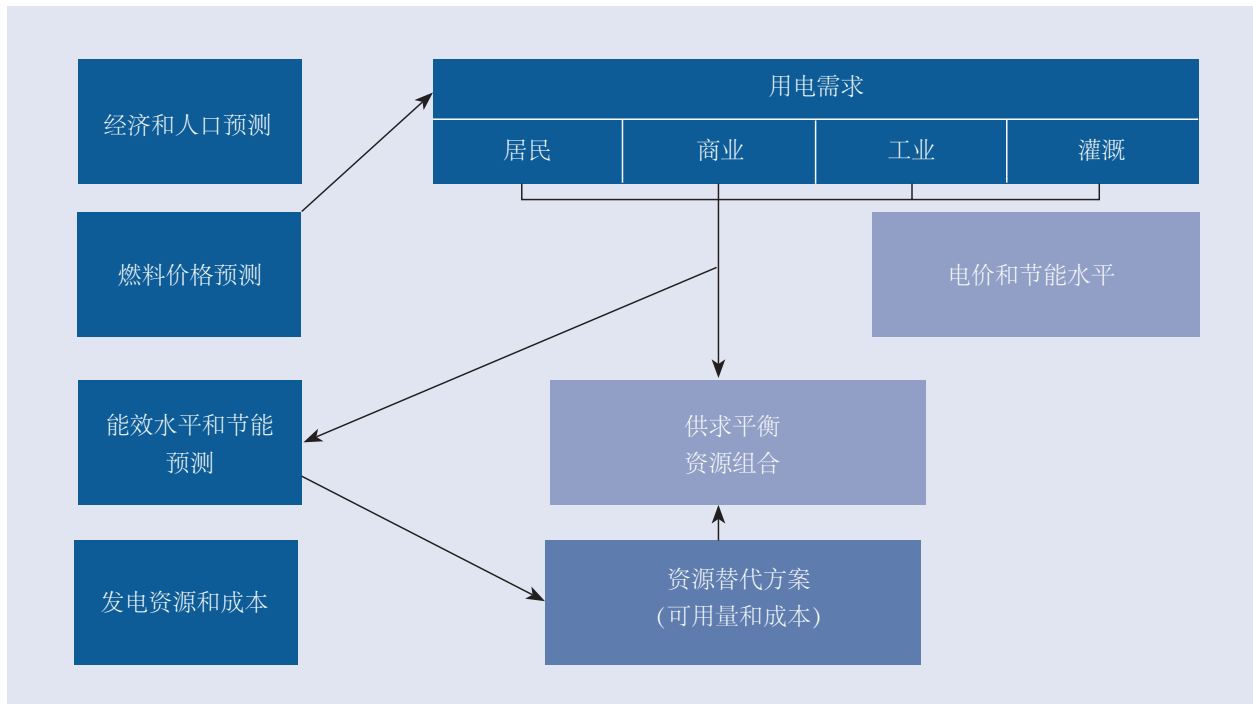


图12：西北电力与节能委员会的建模和规划流程⁷⁶

开展电力规划期间，对西北地区电力系统能效改进潜力的估算，依据是不同用电场合和用电行业的数百个节能个案的技术评估结果。第六次电力规划共对1400项不同的能效措施进行了评估。

75. 西北电力与节能委员会 (2011).

76. 西北电力与节能委员会 (2011).

鉴别出两种能效改进措施。第一种是在新建建筑物或新设备采购时具有成本效益的能效措施。这种能效改进措施被归类为“错失机会”投资，此投资的时间与经济发展以及建筑和设备更换周期有关。第二种是在既有建筑或设备的改造时具有成本效益的节能措施。这类节能措施可随时开发，因此被称之为“灵活决定”能效投资⁷⁷。

在将估算的节能量纳入电力规划之前，对各项能效措施在成本效益、获得具有成本效益的节能潜力的制约、以及随着时间变化对增长率的限制等方面进行筛选。将估算的每项能效措施的节能量汇总后合成供给曲线，一条是“灵活决定”能效，另一条是“错失机会”能效。供给曲线是对未来不同成本和时间下可获节电量的总结。

图13显示的是两种能效措施的供给曲线。通常情况下，委员会不会投入过多精力去寻找节省每兆瓦时电量耗资100美元的措施。因此，供给曲线不会随着成本高出这一水平而大幅上升。

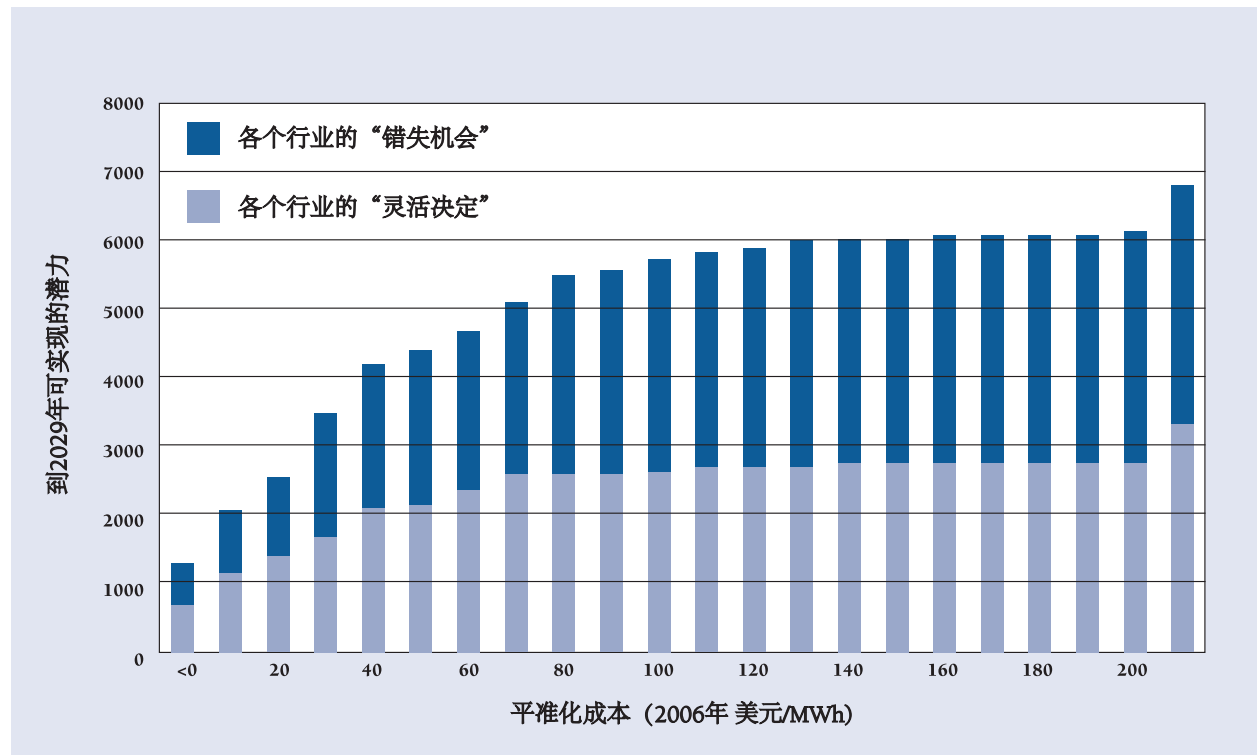


图13：西北电力与节能委员会绘制的能效供给曲线⁷⁸

77. 西北电力与节能委员会 (2011).

78. 西北电力与节能委员会 (2011).

4.3 能效电厂的概念

“能效电厂”（EPP）的概念由睿博能源智库于2004年在中国率先提出，当时传统电厂已经拥有完善的规划和投资框架，而能效在这一块却是空白，这也是中国传统发电融资机构面临的一个挑战。

能效电厂由多个精选的能效项目组合而成，能够在特定时间期限内提供指定的负荷减少量，且可靠性与传统电厂相当。

与传统发电厂相比，能效电厂成本低、清洁且易于规划。此外，能效电厂可以通过与传统电厂一样的方式“构建”和获得融资。通过将能效项目组合在一起，可以对能效电厂的成本与传统发电成本进行对比。对两者成本进行比较后，可将能效资源整合到电力资源规划。但是，要实现这一目标，首先必须保证一系列政策和财务安排到位。

自有能效电厂这一概念起，便开始在中国传播开来⁷⁹，比如：中央政府在构建需求侧管理城市试点项目时就采用了能效电厂的概念。但是，能效电厂在中国的实施并未紧扣这一概念的初衷，特别是在与资源规划挂钩方面，能效作为资源并未得到很好的落实。

4.3.1 能效电厂的方法

能效电厂概念结合采用了国际上许多非常出色的能效经验。能效电厂一定程度上可以解释为与传统电厂相反。表5列出的是传统电厂和能效电厂每发一度电或节约一度电存在的差别。在表5中，假定了中国典型传统煤电厂的容量为300MW，每年约运行6000个小时。表6显示的是与传统电厂一样，能效电厂必须经历规划、融资、建设和运行管理各个阶段，它的绩效须得到测量和验证。

表5：传统电厂（CPP）和能效电厂（EPP）的特点⁸⁰

	传统电厂	能效电厂
容量	300兆瓦	300兆瓦
年发电量/年节电量（MWh）	150万	150万
单位发电（kWh）燃料耗用量	340克标煤	0
单位发电（kWh）二氧化硫排放量	4克	0
单位发电（kWh）平均成本估算	0.35—0.40元	0.15元

79.周景宏，胡兆光（2010）。

80.Moskovitz 等（2007）。

表6：传统发电厂与能效电厂之对比⁸¹

	传统电厂	能效电厂
规划	中国的规划流程不透明。筛选拟建电厂以是否符合政府政策和法规为准。	通过综合资源规划流程，确定能效电厂能效项目的最佳类型、规模和位置。
融资	利用债券、股权融资或其他来源的资金作为投资成本融资。	利用债券、投权或其他来源的资金作为投资成本融资（用来支持对用户的优惠和其他激励政策）。
建设	传统电厂必须进行设计和施工。大多数部件须订购。须雇佣和使用各种专业外包商。	能效电厂的能效项目的设计原则是必须能够以合理的成本实现预期节能成果。部分项目必须订购节能产品。须雇佣和使用各种专业外包商。
运行	运行成本取决于发电厂的类型。煤电厂和天然气发电厂的运行成本高，水电和风能发电的运行成本低。	能效电厂能效项目基本无运行成本。
绩效	发电厂的绩效（和运行成本）具有不确定性风险，评测绩效的指标是实际发电量。	可合理预测节能量，无风险。按照既定的“测量与验证”协议来确定实际节电量。
成本回收	传统发电厂靠电厂运行期内收取的电费回收投资和运行成本。	能效电厂通过在能效投资期间为节能支付的费用来回收成本。资金来源视所选能效电厂的模式不同而不同。

如果有政府相应的政策和行动支持，能效项目可通过与传统发电厂一样的方式融资和回收成本。对于传统发电厂来说，投资和运行成本都是随着发电厂的运行实时回收的。同样，能效电厂的成本亦可随着能效电厂节能进程的推进实时回收。通过以建设传统发电厂类似的成本分摊方式，分摊能效电厂全部活动的成本，便可使投资成本得到回收。

睿博能源智库开发了一套应用软件，即“能效电厂计算器”⁸²，该软件同时具备中英文版本，可帮助规划者们对能效电厂的“建设”进行评估和规划。

4.3.2 能效电厂的实施

睿博能源智库明确了四种实施“能效电厂”的常用模式⁸³，所有模式都具有以下共同特点：

81. Moskovitz 等. (2007).

82. 能源与环境经济学公司 (2011).

83. Moskovitz 等 (2007).

- 认定和评估能效潜力。筛选出成本效益高的能效措施，汇聚成一个大规模（300MW左右）的能效电厂。形成一定的规模，有利于开展大规模的低成本外部融资、降低金融风险、管理成本以及交易成本。
- 确认能效措施的投资成本；由监督节能项目设计与交付，监管偿贷过程的项目管理方负责获得贷款或其他资金来源，该项目管理方必须是负责的、有资质的、且值得信任的。
- 由节能服务公司、客户、承包商，以及项目管理方监督下的其他组织联合交付能效项目。
- 由一个或多个主管政府机构或独立第三方测量和验证实际节能量。
- 贷款均在能效项目投资有效期内还清。
- 整个过程须由政府批准和监督。

四种模式之间的主要差别是资金来源不同、电网公司的角色不同、与电力改革的结合程度不同。所有模型均可行、有效，但多数需要中央政策改革支持。有些即使不需要中央政策改革，但也会从改革中颇受裨益⁸⁴。

模式1：能效电厂与电力行业改革全面结合。模式1最全面、效力最大。这一模式把能效放在首位，将能效视为发电的完全替代。此外，还综合考虑了国家目标以及电网公司的盈利能力。在此模式下，电网公司必须通过低成本整合传统电厂和能效电厂来规划和获取资源组合资源，从而满足客户需求。由于能效电厂比传统电厂更为经济，因而此模式能大幅提高能效电厂的使用率。在中国实施这一模式还需要大刀阔斧改变电力行业当前的监管方式，包括确保对传统电厂和能效电厂的成本一视同仁。

目前在中国，电网公司从传统发电厂购电的成本是计入电价的；能效电厂的节电成本亦有望包含在电价中。按照2010年11月颁布的“关于印发《电力需求侧管理办法》的通知”（发改运行[2010]2643）⁸⁵要求，中国各电网公司须进行需求侧管理（DSM），包括实施能效和用电负荷管理，以实现减少售电量（GWh）和降低峰时需求（MW）等指标。《办法》规定，电网公司开展电力需求侧管理产生的合理成本可以计入供电成本。到目前为止，由于尚未出台相应的实施细则，电网公司都还没有开始采用这一机制。待实施细则出台后，电网公司便可以利用该机制为能效电厂获得资金。

模式2：通过对所有售电量征收小额统一收费为“能效电厂”出资。模式1和模式2的区别主要体现在以下两方面：首先，电网公司的作用大大削弱，仅扮演了偿还能效电厂投资收费人的角色。其次，能效电厂的成本计入电价内的方式不同。在模式1下，电价调整既要收取能效电厂的相关成本，又要激

84. Moskovitz等. (2007).

85. 中国国家发改委 (2010).

励消费者增加能效投资。模式2下，能效电厂的成本回收通过对发电商或者用户电价统一征收小额附加来完成（在美国称为“系统收益费”）。模式2下，可采用综合资源规划来确定能效电厂的潜在规模和成本。这种通过“系统收益费”为能效电厂融资的方法，已被国际上许多国家和地区采用，美国佛蒙特州就是一个最好的例子。

模式3：政府出资。模式2和模式3的区别主要体现在资金来源上。在模式3下，能效电厂的成本直接由政府出资。政府出资可来自现有财政收入或新税收（专为鼓励节能设立的税种，比如能源税或污染税）。

模式4：由参与项目的用户直接出资。模式4是能效电厂组合方法与传统贷款方法或节能服务公司方法的有机结合，由选择投资能效项目的电力用户承担投资成本。具体能效项目由参与投资的用户或节能服务公司提议，之后进行项目技术性、经济性和财务可行性评估。通过评估的项目组合在一起，构成一个能效电厂，逐一进行贷款审批。虽然每笔贷款针对某一特定参与者，但出于风险管理和还款目的，所有参与者视为一个整体。贷款的偿还以“节能费”（ESF）的形式设立，等于整个能效电厂每节电1千瓦小时的平均成本，每一参与者以相同的单位“节能费”乘以估算的特定项目的节电量计算总费用。

对此，有多种有效的方案可供选择。最好的方案是：将“节能费”计入参与用户的电费帐单中，单独作为一项收费项，但不计作电价的一部分。电网公司只收取“节能费”并将资金转给实际借款人（政府指定的实体），然后由他们偿还贷款。此外，贷款还可以以周转资金的形式设立，其中，来自“节能费”的那部分资金用于资助更多的能效项目。

表7总结了“能效电厂”的四种实施模式以及每种模式的显著特点，另外，还汇总了每种模式在实施前需要对政策进行的主要改革，并介绍了国际上每种模式的最佳实例。

4.3.3 能效电厂案例研究

2008年，由亚洲开发银行（ADB）出资，在中国广东省建立“能效电厂”（EPP）项目⁸⁶。在亚洲开发银行与中国中央政府签订的原框架融资协议中，计划投资1.42亿美元建设一个107MW的能效电厂，其中亚洲开发银行提供1亿美元贷款，贷款期限15年⁸⁷。其余由实施企业（亦称为“次级借款人”）自筹资金。但在实际运作中，次级借款人的投资大大超额，实际投资总额达到了2.69亿美元，可供建设一个154 MW的能效电厂。广东能效电厂采用的是模式3，在能效项目中涉及到外部融资。在亚洲

86. Yi and Wen (2013).

87. 亚洲开发银行 (2008).

表7：各种能效电厂模式的显著特点⁸⁸

	模式1 成本通过电价回收	模式2 通过“系统收益 费”出资	模式3 政府出资	模式4 由参与项目的用户 出资
规划与投资	能效被作为电力行业规划和投资过程中的资源。通过研究认定所有成本效益高的能效，确定能效量。	选择是否将能效作为规划的一部分加以分析均可。能效资金水平由政府决定，电网公司通过“系统效益费”收取。	选择是否将能效作为规划的一部分加以分析均可。能效资金水平由政府决定。	由参与者识别能效潜力。能效资金水平决定了用户愿意实施的能效项目的数量和规模。
电网公司的角色	电网公司完全介入能效潜力评估，对能效项目的设计和资金水平提出设想。	电网公司收取“系统收益费”，并将资金转给能效项目管理方。	电网公司无显著作用。	电网公司可向参与者收取“节能费”（偿还贷款）。
还款资金来源	最好基于以加大客户能效投资为目的的激励政策制订电价政策，比如：阶梯电价、分时电价、新建筑安装费等。	“小额统一系统收益费”计入所有用户的电费中。	政府能效资金（可通过提高税金、用能或排污费的形式筹资）。	“节能费”计入参与用户的电费帐单中（基于节电量和贷款本金）。
中国政策需做出哪些关键改革	需要对规划、投资、市场、电价政策和定价方法等进行改革。	采用“系统收益费”政策，认定能效项目管理人。对规划进行改革会提升项目成果。	由政府决定能效项目资金源；需认定能效项目管理人。	需认定能效项目管理人。
国际最佳实例	美国加州	美国佛蒙特州	韩国	美国多个州的贷款项目

银行的这一案例中，广东省政府提供了一小部分配套资金。

中国政府于2008年初批准立项，亚行董事会于当年6月份审批通过。2008年9月签署了贷款协议，2009年1月项目投入运行，并最终于2009年2月开始实施，同时签署了首批子项目协议。第二批子项目贷款协议于2010年5月生效，第三批（也是最后一批）于2012年2月生效。

88.Moskovitz 等. (2007).

待项目完成时，将建成相当于154MW传统电厂的能效电厂，实现年节电量810GWh。广东项目规模较小，仅为该省2008年用电总量的0.2%左右。尽管规模不大，但作为能效项目在国内的“试水”，可为将来在中国和其他国家开展能效电厂项目提供重要经验⁸⁹。

广东能效电厂的组织主要通过“项目管理办公室”（PMO），负责管理和协调能效电厂业务。项目办由广东省发改委，广东省财政局、广东节能监测中心以及其他省级机构委派的代表组成，直接向由省政府高层领导组成的能效电厂指导委员会汇报。项目办决定外聘第三方金融公司广东粤财信托公司管理子项目贷款，包括辅助管理财务收支。该公司还主要负责子项目评估工作。

按融资框架协议规定，广东能效电厂的子项目可以包括如下设备的改造⁹⁰：

- 电机和电机驱动系统；
- 变压器和无功功率补偿装置；
- 照明设备；
- 暖通空调设备；
- 空气压缩机和泵系统；
- 工业废能回收；
- 工业锅炉和工业废热发电；
- 其他相关节能项目。

实施企业（次级借款人）可以是终端电力用户，也可以是节能服务公司，但必须自筹子项目的部分资金。框架融资协议规定，次级借款人提供的配套资金不得低于子项目总投资的20%。子项目的总经济效益必须高于总经济成本，内部收益率高于12%的贴现率，投资回收期（总投资成本除以每年节省的电费）低于5年。任何有税务不良记录、信用不良记录或欠薪记录的企业，均不得参与项目。申请企业的负债权益比率还必须低于75%⁹¹。

广东能效电厂子项目的申请、审核、批准和评估等流程如下⁹²：

- 拟贷款的次级借款人先提出申请，申请书必须包括项目简介，内容包括：技术描述、实施方法、预计节能量、预估投入资金、自筹部分资金的计划等。
- 申请受理后，项目管理办公室准备进行初始技术审核。与此同时，金融中介机构（粤财信托公司）对子项目进行财务评估（包括借款人的信用度）。

89.Dupuy、Weston (2010).

90.亚洲开发银行 (2008).

91.亚洲开发银行 (2008).

92.Dupuy、Weston (2010).

- 初审完成后，拟贷款申请人聘请工程公司撰写可行性研究报告。
- 广东发改委对子项目进行审查。
- 之后由国家发改委和财政部对子项目进行审查，最后签订合同。
- 项目实施过程中，金融中介机构（粤财）对放款和还款情况进行监测，定期向项目管理办公室和省发改委报告。
- 子项目借款人的设备采购必须严格遵守亚洲开发银行采购准则⁹³。采购每批设备时，借款人均须获得项目管理办公室的“无异议函”（说明认可其采购方法），方可从粤财提取资金。
- 项目评估必须由第三方机构完成。

2013年8月，亚洲开发银行完成了评估报告，公布了广东能效电厂项目的一期结果。最初，只有9个子项目被认定和通过了一期项目评估。由于这是投资项目的第一期，也是亚洲开发银行在广东省的第一个试行能效项目，所以处理子项目申请的时间稍长一些。处理申请的过程中，有4个子项目借款候选企业决定使用自有资金和其他渠道资金实施子项目、或因市场变化以及出于其他考虑而无法实施子项目。因此又增加了3个候选次级借款人，对3500万美元的贷款做了重新分配。

亚洲开发银行的一期贷款已全部发放，项目一期已于2012年2月3日结束。一期项目原定：在所有子项目完成时，能效电厂建设容量达到38 MW、年节能量达188 GWh。但在完工报告中显示，一期项目已交付能效电厂容量130MW，节约能源651 GWh，实际上已超过广东能效电厂项目三期目标总和以及亚洲开发银行总贷款额（1亿美元）⁹⁴。表8给出了项目一期的年节能量和减排量。

以下是一期实施的子项目详细情况（见表8）。广州智光电气公司为大型用户的168个变速变频工业电机驱动系统实施了节能改造。广州金冠（G.K.）公司对商业建筑中的暖通空调(HVAC)系统实施了节能改造，升级了88套工业电机驱动系统。珠海南方华力通特种变压器公司为直接终端用户更换了88台节能型变压器。珠海查利节能环保公司实施了一个蒸汽余热回收项目和三个工业锅炉改造项目。广东中钰科技公司为电网公司和其他终端用户安装了13631台配变监测终端。广东韶钢松山公司进行了一项技术改造，对其烧结厂的环冷机余热进行了回收再利用。开平富莱电气设备公司为大型直接终端用户安装了144套无功功率补偿装置以实现节能。广东海鸿变压器公司将终端电力用户的1318台低效变压器更换为高效节能型变压器⁹⁵。

93. 亚洲开发银行 (2013b).

94. 亚洲开发银行 (2013a).

95. 亚洲开发银行 (2013a).

表8：广东能效电厂项目一期实现的年节能量和减排量⁹⁶

次级借款人	节电量 (kWh)	转换为 标煤当量 (吨标准煤/年)	二氧化碳 减排量 (吨/年)	二氧化硫 减排量 (吨/年)	氮氧化物 减排量 (吨/年)	总悬浮颗粒物 减排量 (吨/年)
广州智光电气公司	393,969,690	130,010	307,296	3,546	788	1,379
广州金冠 (G.K) 公司	75,895,968	25,046	59,199	683	152	266
珠海南方华力通特种变压器公司	1,305,393	431	1,018	12	2.6	5
珠海查理科技节能环保公司	6,205,784	2,048	4,841	56	12	22
广东中钰科技公司	77,639,467	25,621	60,559	699	155	272
广东韶钢松山股份有限公司	82,467,240	27,214	64,324	742	165	289
开平莱福电气设备公司	519,697	172	405	5	1	2
广东海鸿变压器公司	12,895,134	4,255	10,058	116	26	45
总计	650,898,373	214,797	507,701	5,858	1,302	2,278

项目一期成功地推动了广东省节能服务业的发展。两个一期项目的次级借款人（节能服务公司）是广州金冠（G.K.）公司和珠海查利节能环保公司。另外两个次级借款人是广州智光电气有限公司和广东中钰科技有限公司，这两家公司早在2011就已成立了自己的节能服务公司。

一期子项目大多是工业领域的节能项目。其它两期则不然。例如，二期项目包含了大量非工业项目，其中包括LED路灯照明工程、太阳能工程等。

一期贷款期限为15年，有12年的宽限期，允许转贷新的子项目进行还款。这里的宽限期较通常的宽限期要长一些，以便于效益最大化：可将全额贷款转贷给更多的次级贷款人，从而最大程度提高节能量和减排量。为最大限度提高资金周转效益，每个子项目的贷款期最长不超过3-5年，包括1-2年的宽限期。在整个一期贷款期限内（15年），收回的子贷款资金可再次重新周转，或者转贷给更多次级贷款人。

96. 亚洲开发银行 (2013a).

总之，广东能效电厂是一次开创性的项目，实现了真正的节能减排，为今后能效电厂的推广奠定基础。因此，最好将其作为一次试水和能力建设演练。广东省政府成功组建了“项目管理办公室”（PMO），作为行政管理中心成功运作。项目管理办公室和其他省政府主管部门成功展示了其在节能工作中具有的经济技术和财务等管理能力。

今天看到的广东能效电厂项目偏离于当初设想（由系列项目构成，节能量相当于一座传统煤电厂的产量），而是一个由分散的、不相关的能效项目产生的节能量的体系。这些节能量可在识别后进行分类，但还未纳入综合资源战略中用于满足全省能源总需求⁹⁷。

睿博能源智库（RAP）建议，未来的“能效电厂”应该是：

1. 电网公司参与能效电厂的发展和实施；
2. 从商业贷款转向由电网公司直接出资的能效项目，通过将节能成本计入电价中，回收资源采购成本；
3. 建立能效电厂模型，衍生到大型设施节能改造项目以外的多种项目类型。

97.Dupuy、Weston (2010).

5. 结论：中国应将能效作为一种资源使用

本报告研究表明，全球许多国家和地区的供电公司都在将终端能效作为资源，用于满足客户对能源服务的需求。能效被视为是一种具有成本效益的方案，可替代对供电侧资源的投资（比如：建设发电厂和电网扩容）。通过这一方式，能效可为电力系统、电力用户乃至整个社会带来诸多好处。将能效纳入到电力系统资源规划中的做法在许多国家和地区得到了竞相采用。一些国家和地区建立起综合性政策、监管和组织体系，来推动能效作为资源在电力系统中使用。本文介绍了三个案例研究，包括中国广东能效电厂。该案例表明，以低于传统发电成本实现节电和节约容量具有可行性，同时还可从中获得其他收益。

在中国，煤电厂造成的空气污染正在成为日益突出的一大难题，因此将能效作为电力系统的资源显得尤为重要。能效既能满足中国对能源服务的部分需求，又有助于减少空气污染，在中国目前开展的“清洁空气行动计划”中发挥着重要作用。

中国政府很早以前就制订了相关政策，要求大范围开展能效项目，特别是在工业领域。最近，中央政府又出台了一项细则，要求电网企业落实能效政策。对于政府而言，目前需要做的是强化政策与监管机制，通过推广电网公司开展的能效项目、通过在中国实施能效项目，将能效作为电力系统资源，实现节电和容量节约。这样做的好处是，避免了今后大量新建发电厂和扩建电网基础设施的必要。

电网公司是中国将能效作为电力系统资源中的关键环节。和许多其它国家的电网公司一样，中国的电网公司一开始可能不太愿意考虑将能效作为一种资源。他们可能会对能效是否可以预测、是否可以像供应侧资源一样“可靠”等心存顾虑。本文通过电力企业开展能效项目的实践经验，打消这些企业的顾虑。另外，电网公司还担心鼓励客户节约用电是否会影响收入。在国有资产监督管理委员会按收入和利润评估电网公司绩效的大前提下，收入的减少必定是电网公司实施能效项目道路上的一大障碍。如果改变评估电网公司业绩的标准（尤其是开发出一套指标来衡量电网公司提供能效的业绩），这一障碍自然就会消失。能效作为电力系统资源所产生的多重效益，将会为中国改变电网企业绩效评价机制提供充分的佐证。

参考文献

- American Council for an Energy-Efficient Economy. (2014a). Energy Efficiency Programs. Retrieved 7 March 2014, from <http://www.aceee.org/portal/programs>.
- American Council for an Energy-Efficient Economy. (2014b). Policy Brief: State Energy Efficiency Resource Standards (EERS) Activity. Accessible at <http://www.aceee.org/files/pdf/policy-brief/eers-04-2014.pdf>.
- Asian Development Bank. (2008). Framework Financing Agreement: Guangdong Energy Efficiency and Environment Improvement Investment Program. Manila: ADB. Accessible at <http://www.adb.org/sites/default/files/projdocs/2008/39653-PRC-FFA.pdf>.
- Asian Development Bank. (2013a). Completion Report: People's Republic of China: Guangdong Energy Efficiency and Environment Improvement Investment Program, Tranche 1. Manila: ADB. Accessible at <http://www.adb.org/sites/default/files/projdocs/2013/39653-023-prc-pcr.pdf>.
- Asian Development Bank. (2013b). Procurement Guidelines. Manila: ADB. Accessible at <http://www.adb.org/sites/default/files/Guidelines-Procurement.pdf>.
- California Public Utilities Commission. (2001). California Standard Practice Manual: Economic Analysis of Demand-Side Programs and Projects. San Francisco: CPUC. Accessible at http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/004ABF9D-027C-4BE1-9AE1-CE56ADF8DADC/0/CPUC_STANDARD_PRACTICE_MANUAL.pdf.
- 中华人民共和国国家发展和改革委员会“关于印发《电力需求侧管理办法》的通知(发改运行[2010]2643)。”北京：中华人民共和国国家发展和改革委员会：http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/jjyx/dzxqcg/201011/t20101116_381342.html.
- Crossley, D. (2013). Effective Mechanisms to Increase the Use of Demand-Side Resources. Global Power Best Practice Series #3. Montpelier, Vermont: The Regulatory Assistance Project. Accessible at <http://www.raponline.org/document/download/id/6359>.
- D'Sa, A. . (2005). IRP and power sector reform in developing countries. Energy Policy, 33, 1271-1285. dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.003
- Dupuy, M., & Weston, F (2010). The Guangdong Efficiency Power Plant: An Assessment of Progress Montpelier, VT.: The Regulatory Assistance Project. Accessible at <http://www.raponline.org/document/download/id/7197>.
- Energy and Environmental Economics Inc. (2011). EPP Calculator. San Francisco, CA.: E3. Accessible at <http://www.raponline.org/document/download/id/907>.

- Federal Energy Regulatory Commission. (1996a). Order No 888: Transmission Open Access. Promoting Wholesale Competition Through Open Access Non-discriminatory Transmission Services by Public Utilities; Recovery of Stranded Costs by Public Utilities and Transmitting Utilities (Final Rule). Washington, D.C.: FERC. Accessible at www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/order888.asp.
- Federal Energy Regulatory Commission. (1996b). Order No 889: OASIS: Open Access Same-Time Information System (formerly Real-Time Information Networks) and Standards of Conduct (Final Rule). Washington D.C.: FERC. Accessible at www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/order889.asp.
- Federal Energy Regulatory Commission. (2014). Regional Transmission Organizations (RTO)/Independent System Operators (ISO). Retrieved 2 April 2014, from <http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/rto.asp>.
- Geller, H., DeCicco, J., & Laitner, S. (1992). Energy Efficiency and Job Creation: The Employment and Income Benefits from Investing in Energy Conserving Technologies. Document No: ED922. Washington D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy. Accessible at <http://aceee.org/node/3078?id=670>.
- Institute for Building Efficiency. (2014). Productivity Gains from Energy Efficiency. Retrieved 17 July 2014, from <http://www.institutebe.com/Building-Performance-Management/Productivity-Gains-from-Energy-Efficiency.aspx>.
- Kunkle, R., & Schueler, V. (2011). Washington State Low-Income Weatherization Program Evaluation Report for FY2010. Document No: WSUEEP11-025. Olympia, Washington: Washington State University Extension Energy Program. Accessible at http://www.commerce.wa.gov/Documents/HIPWeatherization-2010-Final-Wx_Eval.pdf.
- Lazar, J. (2011). Electricity Regulation in the US: A Guide. Montpelier, Vermont: The Regulatory Assistance Project. Accessible at www.raponline.org/document/download/id/645.
- Lazar, J., & Colburn, K. (2013). Recognizing the Full Value of Energy Efficiency. Montpelier, Vermont: The Regulatory Assistance Project. Accessible at <http://www.raponline.org/document/download/id/6739>.
- Lazard Ltd. (2013). Levelized Cost of Energy Analysis Version 7.0. Accessible at http://j.mp/Lazard_LCOE_ver7.
- Martinez, S. (2013). California Leads the Nation in Energy Efficiency - Part 2: Myth-Busting the Naysayers. Retrieved 29 May 2014, from http://switchboard.nrdc.org/blogs/smartinez/california_energy_myth_busting.html.
- Martinez, S., Wang, D., & Chou, J. (2010). California Restores its Energy Efficiency Leadership. San Francisco: Natural Resources Defence Council. Accessible at http://docs.nrdc.org/energy/files/ene_10030901a.pdf.

- Molina, M. (2014). The Best Value for America's Energy Dollar: A National Review of the Cost of Utility Energy Efficiency Programs. Research Report U1402. Washington DC: American Council for an Energy-Efficient Economy. Accessible at <http://www.aceee.org/node/3078?id=5189>.
- Moskovitz, D., Weston, F., Jiang, L., Zhou, F., Yu, C., Hu, Z., & Liu, S. (2007). Meeting China's Energy Efficiency and Environmental Goals with Efficiency Power Plants (EPPs). Montpelier, VT.: The Regulatory Assistance Project. Accessible at <http://www.raponline.org/document/download/id/6182>.
- National Action Plan for Energy Efficiency. (2007). Guide to Resource Planning with Energy Efficiency. Prepared by Snuller Price et al. Energy and Environmental Economics, Inc. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency. Accessible at www.epa.gov/cleanenergy/documents/suca/resource_planning.pdf.
- Northwest Power and Conservation Council. (2011). An Overview of the Council's Power Planning Methods. Portland, OR: NPCC. Accessible at http://www.nwcouncil.org/media/29998/2011_02.pdf.
- PacifiCorp. (2011a). 2011 Integrated Resource Plan. Volume 1. Portland, Oregon: PacifiCorp. Accessible at www.pacificorp.com/content/dam/pacificorp/doc/Energy_Sources/Integrated_Resource_Plan/2011IRP/2011IRPMainDocFinal_Vol1-FINAL.pdf.
- PacifiCorp. (2011b). Integrated Resource Plan. Retrieved 6 September 2011, from www.pacificorp.com/es/irp.html.
- Roland-Holst, D. (2008). Energy Efficiency, Innovation, and Job Creation in California. Berkeley, California: Center for Energy, Resources, and Economic Sustainability, University of California Berkeley. Accessible at http://are.berkeley.edu/%7Edwrh/CERES_Web/Docs/UCB%20Energy%20Innovation%20and%20Job%20Creation%2010-20-08.pdf.
- Schultz, R. (2009). Energy Efficiency Power Plants: A Policy Option for Climate-friendly Air Quality Management in China. Montpelier, VT: The Regulatory Assistance Project. Accessible at <http://www.raponline.org/document/download/id/265>.
- South Africa Department of Energy. (2013). Integrated Resource Plan for Electricity (IRP) 2010-2030. Update Report 2013. Pretoria: DOE. Accessible at http://www.doe-irp.co.za/content/IRP2010_updatea.pdf.
- State and Local Energy Efficiency Action Network. (2012). Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide. Prepared by Steven R. Schiller, Schiller Consulting, Inc. Golden, CO.: Accessible at http://www1.eere.energy.gov/seeaction/pdfs/emv_ee_program_impact_guide.pdf.
- Taylor, R. (2013). Energy Efficiency Resource Acquisition Programs. Institute for Industrial Productivity. Accessible at http://www.iipnetwork.org/IIP_EEResourceAcquisitionSummary_China.

- Taylor, R., Trombley, D., & Reinaud, J. (2012). Energy Efficiency Resource Acquisition Program Models in North America. Institute for Industrial Productivity. Accessible at http://www.iipnetwork.org/IIP_resource_acquisition.pdf.
- Telfar-Barnard, L., Preval, N., Howden-Chapman, P., Arnold, R., Young, C., Grimes, A., & Denne, T. (2011). The Impact of Retrofitted Insulation and New Heaters on Health Services Utilisation and Costs, Pharmaceutical Costs and Mortality. Evaluation of Warm Up New Zealand: Heat Smart. Otago, New Zealand: He Kainga Oranga, the Housing and Health Research Programme, University of Otago. Accessible at <http://www.healthyhousing.org.nz/research/current-research/evaluation-of-warm-up-new-zealand-heat-smart/>.
- The Tellus Institute. (Undated). Best Practices Guide: Integrated Resource Planning for Electricity. Washington, D.C.: USAID. Accessible at pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACQ960.pdf.
- United Kingdom Secretary of State for Energy and Climate Change. (2011). Planning Our Electric Future: A White Paper for Secure Affordable and Low-Carbon Electricity. London: Department of Energy and Climate Change. Accessible at https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48129/2176-emr-white-paper.pdf.
- United States Environmental Protection Agency. (2014). Carbon Pollution Emission Guidelines for Existing Stationary Sources: Electric Utility Generating Units. Retrieved 17 July 2014, from <https://www.federalregister.gov/articles/2014/06/18/2014-13726/carbon-pollution-emission-guidelines-for-existing-stationary-sources-electric-utility-generating>.
- Wilkerson, J., Larsena, P., & Barbose, G. (2014). Survey of Western U.S. Electric Utility Resource Plans. Energy Policy, 66, 90–103. [dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.029](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.029)
- Wilson, R., & Biewald, B. (2013). Best Practices in Electric Utility Integrated Resource Planning. Montpelier, VT: The Regulatory Assistance Project. Accessible at www.raponline.org/document/download/id/6608.
- Yi, D., & Wen, J. (2013). Study on innovative mechanism of Guangdong EPP program financing model. Energy of China, 35(6), 41-44. [dx.doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2013.06.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2013.06.008)
- 周景宏, 胡兆光 (2010) : “电力综合资源战略规划模型与应用”, 《电力系统自动化》 34(11), 19-22. http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_dlxtzdh201011004.aspx.

睿博能源智库 (Regulatory Assistance Project (RAP)™) 是一个全球性专家咨询机构。主要关注全球能源政策的经济 and 环境的可持续发展。RAP在能源政策方面有资深的经验，致力于提高经济效率、保护环境，确保电力系统的可靠性和扩大社会效益。

RAP的专家组由前任政府官员和能源高管组成，我们在广泛的能源和环境领域为政府提供技术和政策援助。

RAP在中国

睿博能源智库自1999年开始在中国工作，目前在北京成立了长期办公室。RAP帮助中国政策制定者制定和实施相关政策，来促进可持续经济发展、增加能源系统可靠性、改善空气质量和公众健康，从而为中国长期而显著的减少温室气体排放作出贡献。

通过和美国能源基金会的密切合作，我们在能效、市场和监管政策改革、可再生能源和环境政策方面提供技术支持和国际经验。我们的国际合作伙伴包括劳伦斯伯克利国家实验室 (LNBL) 的中国能源小组、资源解决方案中心 (CRS) 和自然资源保护委员会(NRDC)等。

睿博最近发表的文章

- 对中国电力行业政策的建议：应对能源、气候和空气质量挑战的实用解决办法
- 提高煤炭质量的驱动因素：原理，成本及其好处
- 中国电网企业开展电力需求侧管理工作中节能服务公司的运作机制
- 中国利用节能数据平台确定和验证节能量
- 煤炭国际最佳实践
- 政府监督电网企业在中国开展电力需求侧管理工作：国际经验及其建议
- 中国排放标准问题答复



The Regulatory Assistance Project™ • 睿博能源智库

中国 • 欧盟 • 美国 • 印度

Beijing, China • Berlin, Germany • Brussels, Belgium • Montpelier, Vermont USA • New Delhi, India

北京市朝阳区建国门外大街19号国际大厦2504室 • 邮编:100004 • 电话: +86-10-8526-2241

CITIC Building, Room 2504 • No 19 Jianguomenwai Dajie • Beijing 100004 • phone: + 86-10-8526-2241

www.raponline.org

中国



www.raponline.org