

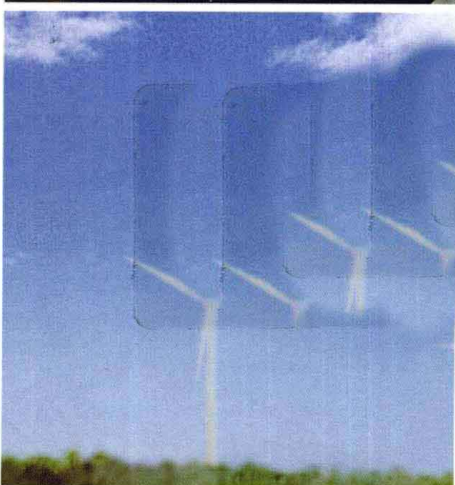
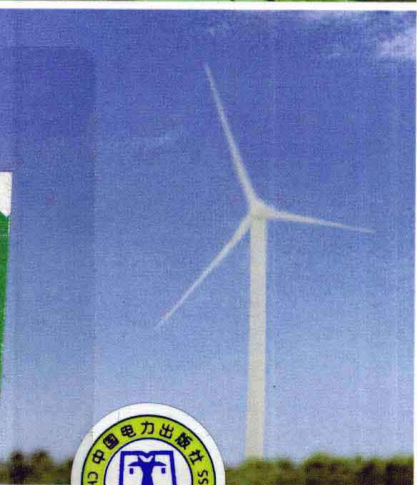
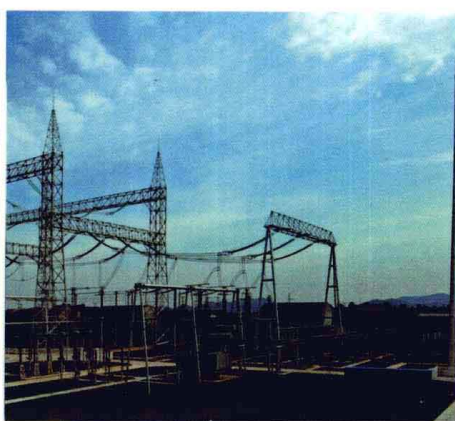
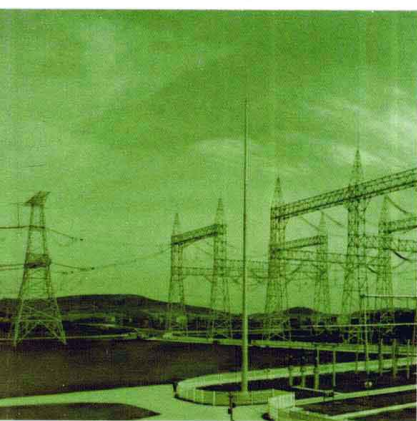
国际电工委员会(IEC) 著
国家电网公司国际合作部 译
中国电力科学研究院

IEC

2010~2030年白皮书

——应对能源挑战

智能电气化——提高能效之路



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

国际电工委员会(IEC) 著
国家电网公司国际合作部 译
中国电力科学研究院

IEC 2010~2030年白皮书

——应对能源挑战

智能电气化——提高能效之路



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

IEC 2010 ~ 2030 年白皮书: 应对能源挑战 / 国际电工委员会 (IEC) 著; 国家电网公司国际合作部, 中国电力科学研究院译. —北京: 中国电力出版社, 2011.1

ISBN 978-7-5123-1251-7

I. ① I… II. ① 国…② 国…③ 中… III. ① 电力工业 - 节能 - 白皮书 - 世界 - 2010 ~ 2030 IV. ① F416.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 255926 号

Copyright © IE Geneva, Switzerland. 2010. All rights reserved.

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

880 毫米 × 1230 毫米 16 开本 9.125 印张 243 千字

印数 0001—1500 册 定价 98.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《IEC 2010 ~ 2030 年白皮书——应对能源挑战》

编 译 组

主 审 杜至刚 程梦蓉 郭剑波 于永清

翻 译 范建斌 (绪论、第 1 部分)

王晓刚 (第 2 部分、第 3 部分)

段 琨 (第 4 部分、第 5 部分)

张佩佩 (第 6 部分、第 7 部分)

马千里 (第 8 部分、附录)

审 校 范建斌 王晓刚 王 朗 马千里

李 鹏 李 博 林 一 吴 鸣

未来数十年，全世界将面临能源供给和低碳排放所带来的双重挑战。节能与提高能效是应对这些挑战的关键。我们的世界是紧密互联的整体，寻求能效解决方案需要包括发达国家和发展中国家在内的全世界的共同努力，以确保其安全性、通用性及影响力。

然而，离开了衡量标准，降低和优化能源消费的努力注定收效甚微。正如第一任 IEC 主席 Lord Kelvin 常说的那样：“没有衡量标准，就无法改进！”这句话用在这里即为：离开衡量标准，就无法有效地证明能效的改善。IEC 已经发布并将继续提出此类衡量标准，作为确定基准、能源审核及合格评定的基础。

IEC 同时肩负着提出整体能效解决方案的使命——智能电气化。

电能是最易控制的能源形式。IEC 认为

电能将是减缓气候变化最重要的贡献者。电能易于控制、没有重量，易于输送和配置。在用户端比多数能源更为清洁，同时也可清洁生产。它代表着最有效的能源产生和消耗模式，也是未来全球致力于节能的智能化途径。

IEC 谨以本书奠定研讨电力能效的基础。

为了确定工作重点，IEC 广泛研究了现有提高能效的机会和技术。在此基础上，IEC 已经建立了一个可模拟未来 20 年情况的模型。

本书是上述思路的总结，同时也作为路线图和建议，以指导 IEC 制定短期和长期最佳能效的标准。

本书由 IEC 市场战略局 (MSB) 编写。IEC 成立 MSB 的目的在于明确主要技术趋势

和市场需求。MSB 制定战略，力求最大程度上反应市场实际需求，从而确定 IEC 技术与合格评定工作重点，同时提高 IEC 对不断革新和快速发展市场的回应速度。

MSB 由 15 位来自业界和 IEC 的技术官员组成^❶。

概 要

第 1 部分内容主要包括能源需求、能源挑战、气候变化带来的挑战以及行动要点。

第 2 部分总结各种可用的方法及其降低 CO₂ 排放量和提高能效的潜力。

第 3 部分给出能效的定义，回顾了具有显

著提高发电能效潜力的技术创新。同时概括了建筑物、家庭、工业、运输领域内使用电力、提高能效的途径。

第 4 部分重点阐述在发电阶段减少 CO₂ 排放量的可能性，以及碳捕捉与存储。

第 5 部分提出不同能源使用带来的总体影响及长期降低碳减排能力的灵敏度分析。

第 6 部分阐述能源链上需做的改善，从而降低 CO₂ 排放，减缓气候变化。

第 7 部分列举了成功实施能效解决方案的关键因素。在第 8 部分中，本书的编写组织 MSB 向 IEC 提出了一些重要建议。

❶ 国家电网公司副总经理舒印彪为 15 位成员之一，是本书的主要编写人员。（译注）

目 录

绪论
概要

第 1 部分 问题阐述	1
1.1 经济	2
1.2 人口	2
1.3 能源需求	2
1.4 各地区人口和能源需求分布	2
1.5 能源类型分布	2
1.6 能源使用分布	2
1.7 二氧化碳排放	3
1.8 面临的挑战	3
第 2 部分 解决方案框架	5
2.1 应对范围	6
2.2 行动目标	6
2.3 可应用的手段	6
2.4 变革前景	8
第 3 部分 能效	11
3.1 能效的概念	12
3.2 当前电力能源链	12
3.3 化石燃料发电	13
3.4 联合发电（热电联产，CHP）	14
3.5 燃料电池及其与热电联产及煤气化技术的联合应用	14
3.6 输配电（T&D）	14
3.7 建筑用电	15
3.8 工业用电	16
3.9 交通运输电气化	17
第 4 部分 减少二氧化碳排放——“无碳化”	19
4.1 可再生能源	20
4.2 核能发电	21
4.3 二氧化碳（碳）捕捉和封存（CCS）	21

第 5 部分	这些措施是否够用？——敏感性分析	23
5.1	原有因素保持不变	24
5.2	应用第 3 部分和第 4 部分技术可实现的效果	24
5.3	发电和其他方面的革新性策略	24
5.4	敏感性分析结果	25
第 6 部分	重新设计：未来能源链	27
6.1	重新设计的必要性和参考构架的作用	28
6.2	电网架构	28
6.3	能源和电力终端使用的架构	29
6.4	能源和电能存储	30
6.5	微电网	32
6.6	未来能源链可能引发的问题	33
第 7 部分	成功实施方案的关键因素	35
第 8 部分	建议	37
8.1	对 IEC 发展定位的建议	38
8.2	总体建议	38
8.3	具体建议	40
8.4	技术列表	40
附录		43
附录 A	世界一次能源燃料需求走势图	44
附录 B	温室气体排放和气温上升趋势预测图	45
附录 C	“550”和“450”政策下，能源消耗中二氧化碳的减排量	46
附录 D	能效与二氧化碳减排的系统评估	47
附录 E	联合循环发电厂	49
附录 F	煤气化和燃料电池（IGFC）一体联合循环技术	50
附录 G	建筑能源使用分析及数据	51
附录 H	材料处理的参考结构图示	55
附录 J	第四代核能发电	56
附录 K	碳捕捉和封存	57
附录 L	二氧化碳减排措施敏感性分析	58
附录 M	沙漠（DESERTEC）项目	61

第1部分

问题阐述

本部分中的基本信息大多来源于国际能源署(IEA)的《世界能源展望:2008》^①,并增加了电力领域的内容。

1.1 经济

从现在到2050年,世界经济将增长4倍,而中国和印度等国家的国内经济则会增长10倍左右。

世界经济增长虽然极大地改善了人民生活水平,但也带来了更大的能源需求。如果不能缓解经济增长对能源需求的依赖和能源供应对化石燃料的依赖,则经济发展对自然资源 and 环境的破坏是不可避免的。

1.2 人口

2006年世界人口为65亿,按平均每年增长1%的速度估算,预计2030年世界人口将达82亿。鉴于1990~2006年,世界人口每年增长了1.4%,世界人口增长率在这一规划期可能会逐渐下降,但非经合组织成员国家人口仍将保持最快的增长速度。

1.3 能源需求

人口的增长和新兴工业化国家的发展带来了巨大的用电需求。国际能源署提供的世界能源需求预测中,假设世界各国从2008年中期开始不再出台新的政策(即原有因素保持不变),预测2006~2030年世界一次能源需求将增长45%(年均增长1.6%),到2050年世界能源需求将翻一番(增长100%)。2050年,世界电能需求将增长两倍。

1.4 各地区人口和能源需求分布

目前,世界仍有16亿无电人口,然而他们在未来数十年内会有用电要求。而且世界新增人口将集中在发展中国家,因此,任何能预想到的能效和能源消费举措,都应该考虑到发展中国家能源配送基础设施落后不能满足日益增长的需求这一因素。

2006年,城市消耗的能源占世界的67%,占世界能源消耗所产生二氧化碳总量的71%,人均消耗和排放平均值均大于农村。

1.5 能源类型分布

未来20年,发电和供热需求将在世界一次能源需求中占更大比重。2006年此类需求占38%,2030年将超过42%。

化石燃料在2030年仍将是主要的能源来源——约占80%(见附录A)。煤仍将是主要的发电和供热来源,其比例在预测期内将保持在47%左右。石油仍是一次能源中最主要的燃料,但其比例从2006年的34%下降至2030年的30%,而天然气的比例会从21%升至23%,核电的比重将从2006年的16%跌至2030年的13%,水电的比例将保持在6%。2006~2030年,非水电可再生能源[光伏(PV)、风能、生物能和垃圾发电]在世界范围内将以平均每年6.2%的速度增长,增长速度在各种能源中最高,2030年比例升至10%,但作为能源来源仍然发展有限。

1.6 能源使用分布

国际能源署《世界能源展望:2008》指出,工业、交通运输和建筑/服务业^②的一次能源消耗几乎相当,各占能源消耗的1/3。但从电力能源消耗的构成看,工业消耗占一半左右,其他各

① 最新版本为2009版本,与本书引用版本没有明显变化。

② 在该文件中建筑/服务业包括农业。

行业占另一半。

在工业、建筑及服务业，电能是主导能源，需求增长也最快。在交通运输领域，电能使用却几乎为零，但电能逐渐用于交通运输将是能源问题的一个重要解决方案。工业电能需求增长最快，在建筑及服务业则最慢。

1.7 二氧化碳排放

目前，能耗产生的二氧化碳排放每年在 28Gt 的水平，占世界温室气体排放总量的 70%。其中，发电过程中排放的温室气体占到能源消耗排放温室气体总量的一半左右，大约 11Gt。

如果不采取任何举措（原有因素保持不变），国际能源署《能源技术展望：2008》中估计温室气体排放总量到 2030 年将达 42Gt，到 2050 年达 62Gt，这种增长会导致全球温度上升 6℃（见表 1.1）。

表 1.1 原有因素保持不变的情况下

二氧化碳排放量 (Gt)

年份	能源消耗产生 CO ₂ 排放	发电过程产生的 CO ₂ 排放
现在	28	10.8
2030 年	42	17.8
2050 年	62	29

很明显，这种发展是不可持续的。联合国政府间气候变化小组（UN IPCC）指出，如果要把全球气温上升控制在 2℃，必须将大气中二氧化碳浓度保持在 450ppm（ 450×10^{-6} ）以下（每一百万单位体积的气体中的某气体单位含量），

相应 2050 年温室气体的排放量不能超过现排放量的一半。附录 B 和 C 包含了三种情形的对比，即原有因素保持不变、二氧化碳浓度为 450ppm（ 450×10^{-6} ）及浓度为 550ppm（ 550×10^{-6} ）时的情形。

1.8 面临的挑战

我们面临双重挑战：一是纯粹能源上的挑战，二是气候上的挑战。我们需要新的战略，该战略必须是国际化的，而非局部。必须要降低经济发展对能源消耗的依赖。

总而言之，我们面临的挑战是在确保能源供应的同时保护环境，其关键是：

- （1）缓解化石燃料使用对气候的影响。
- （2）满足全球人口增长引发的能源增长需求。
- （3）向 16 亿无电人口提供电力。
- （4）保证世界各国稳定安全的能源供应。
- （5）将电力远距离输送到负荷中心。

若用数据表述，则 2050 年面临的挑战是：

- （1）能源需求将翻一番。
- （2）同时，二氧化碳必须减排 1/2。

量化的结果是能效提高 4 倍。

本书是由电力领域的组织编制的，其职责权限不能涵盖所有能源领域。但是，鉴于应对能源挑战的一致性要求，所有形式的能源生产和应用应采取联合举措。

第2部分

解决方案框架

2.1 应对范围

(1) 缓解气候变化经济意义重大。正如气候变化的经济学报告《斯特恩报告》^①指出,如果对气候变化坐视不理,将造成全球国民生产总值(GNP) 5%~20%的损失,然而采取相应措施的开销只占全球 GNP 的 1%。

(2) 政治上对缓解气候变化的支持。政治上的减排承诺将为未来 30 年的二氧化碳减排行动提供纲领。

1) 《京都议定书》要求,到 2012 年二氧化碳排放量在 1990 年的基础上削减 8%。

2) 2007 年 3 月欧盟议会会议确定,到 2020 年二氧化碳排放量在 1990 年的基础上,至少削减 20% 的目标。

3) 一些国家希望,到 2050 年温室气体排放量比 1990 年水平降低 50% 左右。

4) 哥本哈根会议之后,波恩、墨西哥会议等将继续努力推进减排工作。

(3) 减排的一个关键因素是电力。

1) 世界每年消耗化石燃料中的 31% 用于发电。

2) 工业使用的最终能源 1/3 来自电力,且每年以 2.7% 的速度增长。

3) 建筑及服务业使用能源的 1/3 来自电力,且每年以 2.3% 的速度递增。

4) 把电力引入交通运输业将控制二氧化碳排放,促进经济效益增长。

5) 其他形式的能源应用中引入电力将提高能效。

2.2 行动目标

能源问题可以通俗描述为:人口越多,能源

使用越多;能源使用越多,二氧化碳排放就越多;二氧化碳排放越多,对气候的影响就越大。公式表达则为:任意时刻,二氧化碳的排放总量等于人口乘以人均能源消耗量乘以单位能源消耗二氧化碳排放量。

$$CO_2 = P \times [E/P] \times [CO_2/E]$$

式中 CO_2 ——二氧化碳排放量;

P ——人口;

$[E/P]$ ——人均能源消耗量;

$[CO_2/E]$ ——单位能耗二氧化碳排放量。

假定人口 P 值给定,则必须通过削减 $[E/P]$ 和 $[CO_2/E]$ 来减少二氧化碳排放(参见附录 C)。

降低人均能源消耗量的措施是提高能效,包括短期、中期和长期措施。采取短期举措即可带来重大收效。两个重要策略是:提高电能使用效率和使用电能替换部分化石燃料。

降低单位能耗二氧化碳排放量的措施是能源的无碳化,选择不会产生碳排放或碳排放较小的能源形式(可再生能源、生物能源、碳捕捉和封存以及核能)。这种举措的收效是中长期的。

可采取的措施有:投资——减少人均能源消耗量和单位能耗二氧化碳排放量;技术——找出性价比最高的减排方法(不同国家可能会有区别);个人行动——政府和个人的投入(比如购买高效设备或电价补贴),以及改变生活习惯以节能。

2.3 可应用的手段

2.3.1 可用手段及其潜在效果

以下是发电和用电过程中减少二氧化碳排放的可行举措,主要采用成熟技术。

(1) 通过提高能效,减少终端能源消耗。

^① http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm.

- 应用现有技术可节约 30% 左右的能源。
 - 重点在于节能技术的推广应用，不仅适用于新建设施和设备，而且适用于已有设施和设备。
 - 能源终端用户的使用习惯需要改变，以减少高耗能活动。
- (2) 减少输配电损耗（目前为 9%）。
- 收效与现有损耗率相关。
- (3) 提高发电效率（所消耗一次能源只有 1/3 被转化成电力）。
- 现有发电机组的技术改造需要时间和资源。
 - 很多国家仍在廉价使用煤炭资源。
- (4) 增加可再生能源尤其是分布式发电（其二氧化碳排放几乎是零）。
- 面临经济制约因素（需要降低成本，给予补贴）和自然条件限制（土地、风能资源……）。
- (5) 改变化石燃料使用构成，转向低碳排放燃料（减少用煤、热电联产、核能、循环燃气涡轮机……）。
- 无法进行技术改造的现有电厂将拖延整体收效。
- (6) 在发电环节通过碳捕捉和封存技术限制 CO₂ 排放。
- 该技术及其可行的商业模式还需要论证。
- (7) 目前交通运输 99% 依赖化石燃料（石油），将电力引入交通运输行业可以提高其能效。

2.3.2 测量和评估可能的应对举措

由于电能使用可以评估和控制，因此电力是

提高能效的一个关键因素。能效测量和评估的核心建立在几个基本概念上。计算要尽可能以电力为单位且要经过验证，以便了解能效控制的效果。对发电、输电、配电到用电的每个过程，都应该定义电力能效指标，并对每个过程的每个环节均进行能效测量，记录每一能效测量值和采用最佳可用技术（BAT）能够带来的改进效果。减少二氧化碳排放应该基于解释性信息，包括：发电资源及其他资源的使用信息，性能信息（如发电、储能和输电效率）和对电力系统全寿命周期分析以计算 CO₂ 排放等（参见附录 D）。

总之，两个最重要的方面是：

- (1) 必须采用系统方法，考虑全寿命周期。
- (2) 每个环节都需要测量和评估。

交通运输行业在能效问题上将越来越重要，在电动汽车普及后尤其如此，但本节尚未涵盖这一领域。

2.3.3 电气化的影响

能效评估方法应该考虑电气化的影响，也就是说，将用能方式从其他能源（通常是化石能源）转向电力。由于电力易于控制和测量，同时又广泛应用于各种不同场合，因此电气化可较大地削减能耗。一般来说，节能总量等于实现电气化的节能量减去电气化过程中的能耗（见图 2.1）。

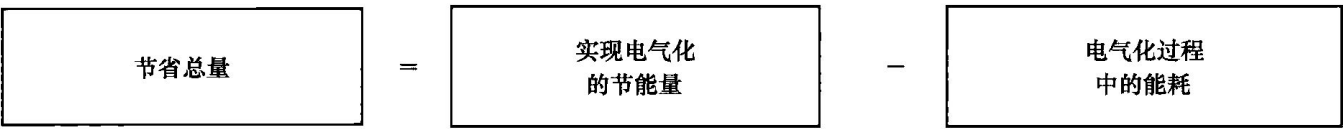
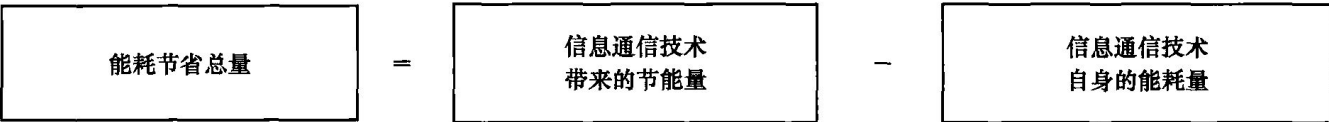


图 2.1 电气化降低的能耗

2.3.4 信息和通信技术的影响

能效测评方法还应该考虑智能化的引入或信息和通信技术的延伸。例如，如果电子通信可以

替代人们的交通往来，化石燃料的消耗就会减少。总体来说，能耗节省总量等于信息与通信技术带来的节能量减去信息通信工具设备的能耗量（见图 2.2）。



Source: “Deliverable 1 : Definition” , Focus Group on ICTs and Climate Change, ITU-T

图 2.2 信息通信技术降低的能耗

2.3.5 行为改变

部分改变个人和社会的行为可能会产生明显的效果。这种改变涵盖了从使用电视电话会议，到选择对环境生态危害小的交通工具，直至彻底改变人们休闲方式等。促使改变的个体行为还包括人们对自然的关爱、时尚的改变、非强制性的激励（如经济方面）措施和强制性政策等方面。尽管从社会的角度考虑，行为改变是降低能源消耗的最有效手段，但是本书不作详细的分析和提

议。这是因为 IEC 同其他技术领域和标准制定组织一样，在社会和政府有相应的意识之前采取行动（甚至发表意见）并无实际意义。

2.4 变革前景

现在，发电主要是集中式的，能源只能从发电厂到用户单向传输和配送，用户不了解能源的整体使用情况。表 2.3 简要描绘了一些可预见的发展变革。

表 2.3 变 革 前 景

领 域		现 在	2020 年	2030 年及以后
发电		集中式	(1) 集中式（更高效火电和核电） (2) 分布式 (3) 可再生能源（10% ~ 20%）	(1) 集中式化石能源和核能 (2) 集中式和分布式可再生能源（40% ~ 45%） (3) 微电网
输配电	大规模	潮流：单向，信息技术（IT）控制	潮流：主要单向，UHVAC 和 UHVDC，信息技术（IT）优化控制	(1) 主要电网为 UHVAC 和 UHVDC，信息技术优化控制 (2) 电网互联
	小规模	(1) 潮流：单向 (2) 从单向向双向改变	(1) 潮流：双向 (2) 进一步发展和引入信息化控制	(1) 潮流：双向 (2) 互联及信息技术优化控制
用电		用户没有能源使用信息	(1) 智能用电数据 (2) 用户也可以向电网供电	(1) 用户可以通过能源管理系统优化电能使用和发电并减少二氧化碳排放 (2) 高效的终端使用

(1) 关于发电。可以预测，到 2020 年仍将以使用化石燃料的集中式发电为主，但在用电侧，可再生能源分布式发电已开始推广（占 10% ~ 20%）。考虑到这一变革和集中式可再生能源发电等因素，估计到 2050 年可再生能源发

电量将占总电力使用量的 40%，而目前只占 8%。
(2) 关于输配电。主要的交 / 直流电网将实现并网，用户不仅用电而且将实现分布式发电。电网设计上，小型和大型电网将实现并网。包括发电和输配电的电网示意图如图 6.1 所示。

(3) 关于能源使用。生产商和消费者建立双向关系，能源消耗的精确测量为灵活用能奠定了基础。

(4) 关于建筑及服务。建筑将在能源消耗和能源生产方面都发挥积极作用。借助信息和通信技术，建筑在未来能够根据自身（如功能的差

异）和电网的实际情况调节能源使用。所有建筑设施通过应用信息通信技术和分布传感设备，与建筑和能源管理系统融为一体。

(5) 电动汽车。电动汽车通过接口可以接入电网，电能存储技术也将得到应用。