

# 低碳能源系统中的智能建筑

## ——为欧洲带来切实益处的十大原则



发布：欧洲建筑性能研究院（BPIE）

主要作者：

Maarten De Groote, Mariangiola Fabbri

联合作者：Jonathan Volt, Oliver Rapf

校对和编辑团队：Cosmina Marian,

Marine Faber, Roberta D'Angiolella

图片设计：Generis

版权所有：欧洲建筑性能研究院（BPIE）

编译：《暖通空调》杂志 张磊华

欧洲建筑性能研究院（BPIE）是欧洲一个非盈利性智库，致力于独立信息分析和传播，支持以实际数据为依据的建筑性能法规的制定。它提供政策分析、政策建议和实施支持。

更多信息请访问：[www.bpie.eu](http://www.bpie.eu)。

### 0 综述

低碳化是全球经济势在必行的新发展趋势，同时还包括诸如数字化、大规模定制化、产品服务化、大循环和资源高效利用等其他变化。我们所了解的这些将对能源系统产生根本性影响。它将从集中式的、以化石燃料为基础的、高能耗系统转变为高效的、分散的、可再生能源为基础的和相互依存的系统。不断增长的、与电网连接的可再生能源系统（RES）数量及能耗降低是达成可持续的和低碳能源系统的基本。同时，不同 RES 对间歇发电的电网施加额外压力，这是由于电网基础设施并不具备吸收大量分散式发电设施的能力。在这种变革中，建筑可以起到有利的作用（见图 1）。

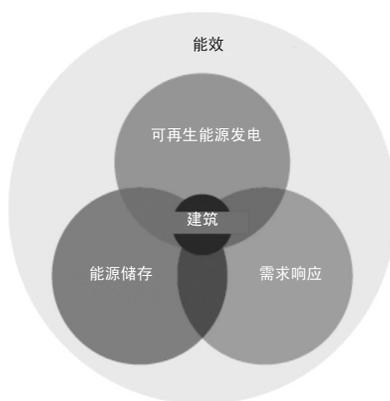


图 1 与能源系统灵活连接和同步的建筑系统（来源：BPIE）

如果将建筑看作一个使用不同形式能源供应的独立系统，我们将看到巨大的发展机遇。建筑正处于一个过渡阶段，从无响应和高用能需求的系统变成高效和微能源集成的能源消耗、生产、储存和供应体系，从而使得系统更灵活和高效。

欧洲建筑能效指令（EPBD）提出了 2021 年所有新建建筑必须达到近零能建筑（nZEB）的要求，这大幅提升了欧盟高能建筑的水平 and 关注度。针对 nZEB 的定义也将更新，以反映变革中的能源市场应涵盖现有建筑的新可能性。

所有建筑向 nZEB 水平的转变将有助于缓解能源系统的压力，通过温室气体（GHGs）减排带来环保效益，基于能源开支降低带来社会效益，以及通过更智能和更动态的能源使用带来更好的居住环境和经济效益。如果欧盟认真考虑将其环境和能源目标与巴黎协议同步，在该领域采取综合性行动势在必行。在欧洲，建筑能耗和 CO<sub>2</sub> 排在总量中占比分别达到 40% 和 36%，因此它拥有

最大的、未开发的减排潜能。

利用恰当的政策支持，建筑可以成为欧盟能源系统改革的领导者，从而加快建筑、交通和能源3个最大的CO<sub>2</sub>排放者的改革速度，降低他们对环境的影响。

人们大部分时间都在消耗能源，建筑可以节约、生产、储存和使用能源。用户通过授权终端自行控制他们自己房屋的能源系统，可以出台智能业务模式和具有成本效益的解决方法。一旦成为可能，建立在合理规则基础上的明确而公平的能源系统，包括动态价格体系是必要的。将建筑潜能作为微能源中心可带来巨大的社会效益。

一个微能源中心可看作一栋建筑或一个建筑群与能源系统进行灵活连接和同步，它可以进行发电、能源储存和（或）高效能源利用。它是灵活的，适应需求并同时强化能源系统。

所谓微能源中心（Energy-hubs）：

1) 通过优化建筑架构和技术系统之间的联系，使得建筑能效处于最高水平；

2) 授权业主成为他们自己的可再生能源发电和利用的专家；

3) 允许终端用户降低他们的能源开支；

4) 促进可再生能源、智慧城市和电动车的发展；

5) 降低需求峰值和解锁需求侧储能和灵活性。

## 1 十大原则



### 1) 原则一： 最大限度提升建筑能效

能效和需求灵活性措施是完全互

补的。由此，将焦点从能效转向能源灵活性是不可取的，除非首先充分释放能效潜力。与2005年水平相比，深化现有建筑的能源改革可以到2050年降低80%的能源需求。

为降低季节性整体负荷和日常峰值负荷，大幅削减能源需求是必要的。由于需求响应的实际潜力与热能应用息息相关，热泵市场的发展趋势平衡了电力需求的大幅提升，强调了建筑的潜能和需求应更好地与电网互动。

从使用传统燃料的锅炉向电驱动供暖系统转变可能引起峰值电力需求的大幅增长。需求响应可以平衡这种峰值，为此小型热泵更适合。另外，热泵可以在建筑中达到最佳性能，同时降低热能需求，再次强调高效建筑的重要性。

一栋高效建筑可以使终端用户改变其供暖或空调需求：精心设计和高效的建筑更好地保证了理想的室内温度，并维持更长时间，这使得他们更适合预供暖或预供冷，允许能耗移动至其他时间段。



### 2) 原则二：提高建筑自身或周边可再生能源利用和自消费

欧盟的气候目标框架和建筑能效要求推动着新建筑向近零能水平发展，同时整合小型可再生能源系统。热泵、生物质锅炉、光电和太阳能光热板等建筑自身或周边可再生能源安装技术正成为主流。

甚至在油价非常低的阶段，德意志银行预计，随着全球市场的数量增长，太阳能发电价格变得可与当前零售电价相媲美，原因在于太阳能板成本的不断下滑和融资客户收购成本的提高。

尽管预先知道了有关电网平价以及

建筑能效和可再生能源指令的内容扩展推动建筑自身可再生能源系统的发展，建筑自身（或周边）可再生能源发电和自消耗也并没有完全释放他们的潜能。在所有欧盟成员国中，绿色能源发电的瞬时储存或使用是不被允许或鼓励的。由此，可再生电力通常是被输入公共电网，而不是就地使用。

企业、家庭和当地社区自行发电的趋势开启了降低成本的机遇。在电网平价体系之下，消费者可以通过自行发电来节约费用，而不是从电网买电。这不仅有助于终端用户限制他们的能耗，同时也鼓励他们更好地控制自己的能源系统，提高电网安全水平。鼓励自消耗将使得能源供应商变得更灵活、创新和更快地达到集中和分散发电的平衡水平。它还将带来社会效益，原因在于它可以降低能源系统成本，可以更多利用可再生能源，同时作为实现欧盟气候和能效目标的核心。

在一个动态的能源市场，终端用户与区域供暖相结合甚至可以销售他们多余的能源，削减供暖负荷峰值，使得区域供暖供应商减少峰值负荷锅炉运行，这些锅炉通常使用传统能源资源燃烧。区域供暖可以利用废热，如空调系统或数据中心的热回收，利用光电太阳能板以及地热和太阳能驱动的热泵。

自消费在微型能源中心原理中起着重要作用。可再生能源以及新储能能力和需求响应促进了能源市场的灵活性和需求响应促进了能源市场的灵活性，具备将建筑转换成能源生产者的潜力可以支持能源系统的其他元素，如电动汽车。



### 3) 原则三： 推动建筑能源储存能力

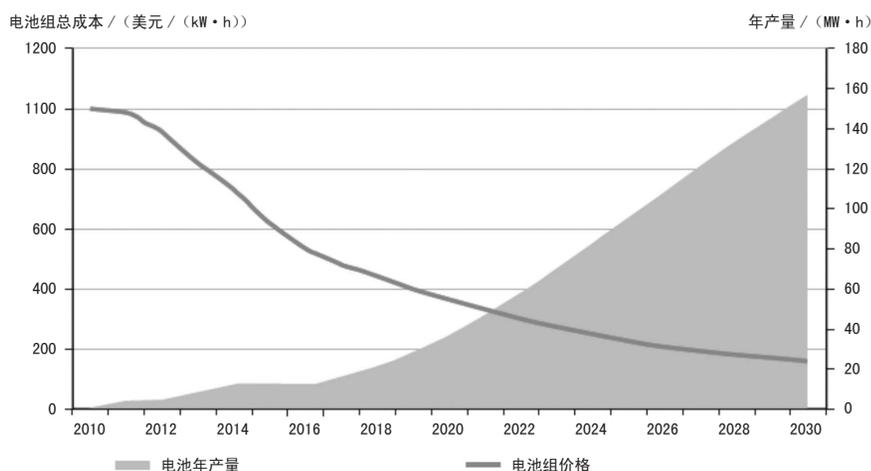


图2 2010—2030年锂电池组成本和产量（来源：Bloomberg New Energy Finance）

在一个复杂多变的能源环境中，可以快速适应负荷运行的技术、当需要时可以吸收或释放能源或将一种特定最终能源转换成其他能源形式的技术将变得更具价值。

根据世界能源委员会的预测，规模化经济正引领家用电池系统成本的大幅下降，并指出，大型能源储存系统用电池的成本在未来15年内将下滑70%，如图2所示。

电池组项目预计将在未来建筑储能投资中占有较大份额，但以热能和氢能储存为代表的其他技术方案也必须考虑。

家用热水储存是众所周知的技术，它通常与太阳能光热板结合使用。尽管成本非常低，但在建筑墙面和屋顶等大面积进行热量或冷量的储存仍不普遍，从实用方面上仍存在未开发的潜力。另一个创新技术应是“相变材料”作为建筑材料，这可以利用发生在特定温度水平的过程中，潜在地储存热量或冷量。

无论是热能还是电能的储存都可以平衡每天和季节性变化的能源供应和需求，从而减少昂贵的峰值能源供应。通过负荷变化和削峰填谷，能源储存的可

能性将促进不同时间的消费变化。通过以最佳方式利用可行的廉价可再生能源，储存可以使能源系统更具成本效益。

没有任何单一的能源储存方案可以满足所有欧洲地区的所有需求。产品、技术和市场发展将确定集中式和分散式能源储存方案在能源系统中的份额。

#### 4) 原则四： 整合建筑需求响应能力

需求响应（DR）是通过降低峰值能耗和避免电网失衡转移能源需求的能力。它可以更具成本效益地应用需求响应来满足需求，而不是增加电网基础设施。需求响应利用价格信号重新安排终端用户的消费来操纵能源需求，而不是利用不稳定发电的供应侧进行电网平衡。

需求响应是能源供应安全、可再

生能源整合、增长的市场竞争和终端用户授权的重要推动者。来自工业、商业和住宅的终端用户通过不同的行动参与需求响应：在能耗不会发生变化的其他时段暂时减少能源使用（如降低室内温度），将能源需求移动到时段（如在用电高峰期之前启动建筑空调系统）或临时使用自身发电而不是电网电力（如利用可再生能源资源的微型热电联产）。

欧盟的需求响应市场仍处于初始阶段。目前仅有少数需求响应服务供应商，在大多数欧盟成员国中，只有最大型的拥有他们自己的双边能源购买协议的工业终端用户可以参与需求响应计划。

在欧洲的商业和住宅建筑中，需求响应很难应用，但步伐已经向前迈进，新手机应用界面的开发允许终端用户查看他们的家用设备和温控器的运行状态并进行相关控制，使得需求响应技术通过智能手机的简单触击就可实现（见图3）。

只有企业或组织代表消费者才能实现大范围的需求响应，从汇集的资源中获取价值。对于住宅和商用市场的需求响应可能更倾向于使用能源管理系统（EMS）和诸如智能仪表、智能温控器、照明控制等新技术和其他带有智能终端设备的负荷控制技术。



图3 智能家电启动智能控制和自动需求响应（来源：丹佛斯，2016年）



## 5) 原则五：降低建筑供暖和空调用能碳排放

建筑的供暖和空调用能在欧盟能源系统中的占比较大，同时仍依赖化石燃料作为主要能源资源（75%）。电气化是迈向低碳经济的根本，供暖和电气系统的协同作用也应被开发和利用。

值得注意的是，几乎半数的欧盟现有建筑使用低效的独立锅炉，他们都是1992年以前安装的。淘汰这些使用传统燃料的低效锅炉，鼓励热泵和区域供暖等低碳系统是可行的，但是这必须在一个政策性框架中进行，以避免限制效率的提升和资产的升值。

建筑业主和施工专业人员对智能和前瞻性规划的不理解和认识的匮乏是目前急需解决的挑战。淘汰老旧供暖系统通常有时间压力（如突然发生故障的情况），复杂的流程或缺乏可靠、易懂的信息资源使得建筑业很难作出正确选择。这导致终端用户选择了非持续化的方案，多年来市场发展进入瓶颈。

基于燃料消耗和CO<sub>2</sub>排放，单独的热泵与区域供暖相结合被广泛认为是解决供暖问题的关键技术。同时，需求响应的真正潜能也存在于热能电器中。

正如原则一所提到的，从传统燃料锅炉向热泵的转换将导致电力峰值需求。需求响应可以降低峰值，基于此目的，小型热泵更适合。

在欧洲实现具成本效益的低碳目标将需要政治引导和积极的承诺，以打破对高碳排放、不灵活资产的传统投资的依赖。



## 6) 原则六：允许用户利用智能仪表和控制系统

智能仪表可以让终端用户更好地了

解和控制他们的能源系统。能耗的精确测量可以提供实时用能数据，这可以满足稳定需求响应服务的要求。如果没有智能仪表让住宅和商用建筑的终端用户在需求响应过程中获得节能补偿，市场将失去其主要动力，这可能限制了需求响应的全面应用。

供暖、空调和家用电器的智能控制使得建筑用户可以手动或自动调整他们的用能，考虑他们自身的喜好、所需负荷和价格因素，从而更高效地使用能源，降低电网峰值负荷。当然，只要没有来自电网的可变的价格信号自动开启或关闭这些设备，这将继续成为一个有限使用方式。在商用和住宅建筑中使用需求响应，这是非常重要的先决条件。

随着新技术的发展，综合性和持续控制的能耗监控和技术系统可以为终端用户提供建筑用能的实际数据，同时通知用户非正常能耗状态、技术缺陷和需要维护等信息。这些服务将提高用户的信心。



## 7) 原则七：为所有消费者提供动态价格信号

基于技术进步，随时间变化的定价现在已经成为一条提升能效的可能途径，从而更智能地使用电网和释放峰值负荷。针对工业、商业和住宅消费者的动态价格信号的可行性是需求响应的要求。当前动态定价的税收没有达到他们的潜在影响，原因在于价格设定的差异太小而不足以刺激需求响应。

一成不变的电费可能是易于被接受的，因为它比较简单，但实际上，消费者更愿意在非高峰期使用电力，那时价格更便宜，这基本上是补贴那些更多时间在昂贵的峰值电费时期运行设备的

人。

只要没有来自电网的波动价格信号启动或关闭商用和工业设备以及家用电器，智能空调系统和解决方案将不能全面推广，需求响应服务也不能被采纳。

非集中式能源储存能力和可再生能源自消费的发展也可通过动态定价的方式推广。随时间变化的价格可以使能源在价格较低时进行储存，这样能源储存更有利。在高价时段降低需求可以降低整个时段的销售市场价格，这不仅对需求响应服务商有利，也有利于整个社会。



## 8) 原则八：培育商业模式，聚合微能源中心

欧洲能源系统和建筑领域的改革不能仅依靠政府资金的支持。引入私人投资的有效路径是鼓励第三方驱动的商业模式，整合服务，有利于规模经济。这些聚合体，如Uber或Airbnb，已经进入能源市场，但对于投资者来说仍是一条不明确的、不稳定的途径。

政策制定者必须具备前瞻性视角，为未来未知的技术断层和新的以服务为导向的商业模式创造发展空间。如果没有在该领域的巨大进步，欧盟将很难到2050年达成其设定的气候和能效目标。不幸的是，欧洲大部分市场是为过去的的需求而设计；没有巨大创新，它将成为实施更持续化能源系统的壁垒。政府资金可以通过开发一套针对私人投资者的良好运行体系更好地利用私人融资，包括一个明确的法规框架、易于掌握的标准（如同能源管理）和长期的、透明的战略。如果包括回报，私人领域是愿意投资的。

由于每一个独立消费者的直接收益是有限的，只有机构作为终端用户的代

表才能运行批量需求响应服务。这些商业案例的可行性取决于经济规模、吸引足够资源的能力和参与其中的终端用户的意愿。所提供的服务必须是用户友好的，为客户提供明确的附加值以移交控制。需要解决的一个挑战是对于多数消费者来说最简便和廉价的方式是“一切照常”。

需要解决的重要问题与数据安全和隐私问题有关。第三方机构必须制定有关信息使用和保密性的公开政策，并提前说明数据收集、分析和使用的目的和方法。

集成商可以使用智能仪表和获取实时能耗数据，通过智能技术解决方案获得大量资源的价值。缺少智能仪表或缺乏数据获取将完全限制集成驱动的商业模式的采用，由此限制建筑业需求响应的采用。

### 9) 原则九： 建设智能互联社区

建筑是城市地区的重要组成，从一个区域视角将他们变得更智能和互联可以为整个社会带来真正价值。能效提升、当地可再生能源资源的使用、供需冲击的适应性和经济发展是区域内各个建筑联合可能带来的益处。

智能社区将在可持续能源系统改革中起着重要作用。在欧洲城市中，城市范围内的供暖和空调需求正稳步增长。智能区域能源解决方案可以比旧系统更好地使用一次能源流。他们也可以更具成本效益地整合可再生能源资源进入供暖和空调领域。一个区域性方案，包括智能技术解决方案、需求灵活性和储存可以最大限度地采用当地可再生能源。智能社区可以利用来自工业流程中的废

热为住宅和办公建筑提供区域供暖。

由于城市形式是多样的，复杂的，以实现区域能源相关目标为目的的能源规划必须建立在整体性和综合性的基础上，包含评估和协调各方需求。为提高认识，城市还应为智慧社区的具体利益以及不同政策和商业模式的企业和消费者提供相关证据。

各国、各地区和城市必须共同合作，确保一个运行良好的管理体制，推动更环保和高效的城市改革。技术解决方案使得各类能源和不同模式的大数据收集成为可能。它为政策制定者提供了更多的工具量身定制能源政策，当然也存在建筑行业开发新服务的潜力。

同时，智能社区为电动车进入市场创造空间。建筑可以直接带来可再生能源电力，有潜力在建筑或区域水平使用非集中式储能，推动电动车的发展。

### 10) 原则十：完善基础设施推动未来电动车市场发展

电动汽车和建筑是欧洲达成其气候和能效目标的关键。更绿色的汽车将提升空气品质，减少温室气体排放。智能建筑的优势将加速这种发展。

电动汽车在欧洲市场的使用不断增长。例如，在挪威，目前销售的新车中近四分之一是电动车，各政治派别已经达成一致，到2025年实现挪威所有新车100%使用绿色能源。

在英国，到2030年，高达60%的新车应是电动汽车。电动车的迅猛发展以及建筑中电供暖的巨大份额都将加大对电网的压力。这种趋势应鼓励智能建筑和电动车整合战略的实施，以避免系统超载。

这不仅仅是建筑更智能，汽车和他

们的充电站也如此。智能充电可以避免对峰值电力的需求，汽车也可作为储能载体，为电力系统提供有价值的服务。智能解决方案将管理汽车和建筑之间的供需，以最佳方式利用他们各自独立的储能设施。建筑和汽车的灵活负载和非集中式储能潜力的结合将最大限度地整合当地可再生能源。如果消费者的方案得到政府刺激计划的支持，整个社会将获得巨大效益。

目前，大多数电动汽车充电都在家里和工作地点，逐渐地，建筑将成为充电站—现代化的加油站—提供可再生能源，而不是化石燃料。

电动汽车仍是昂贵的，但他们主要针对高端消费市场，可以实现绿色承诺，当然也存在炒作的因素，这是使他们除了价格以外仍具吸引力的原因。

但是，在不久的将来，随着电动汽车在市场的份额越来越高，它们将被更多的终端消费者所使用，使他们能够满足自身的交通能源需求。

电动汽车普及的另一个重要原因是对于锂电池的高需求，这个储能设备的主要技术可以与公共电网和屋顶太阳能设备相连接。

## 2 结论

上述10大原则是建筑在能源系统改革中充分发挥作用的基础，将建筑塑造成为微型能源中心，解锁新的和定制的服务。技术和必须发展以高效和响应的方式管理需求以及整合能源储存。同时需要能源和建设领域中不同组成部分的强有力互动。新经济生态系统将出现，它将打破部门界限，整合创新和引领建筑成为微能源中心。