

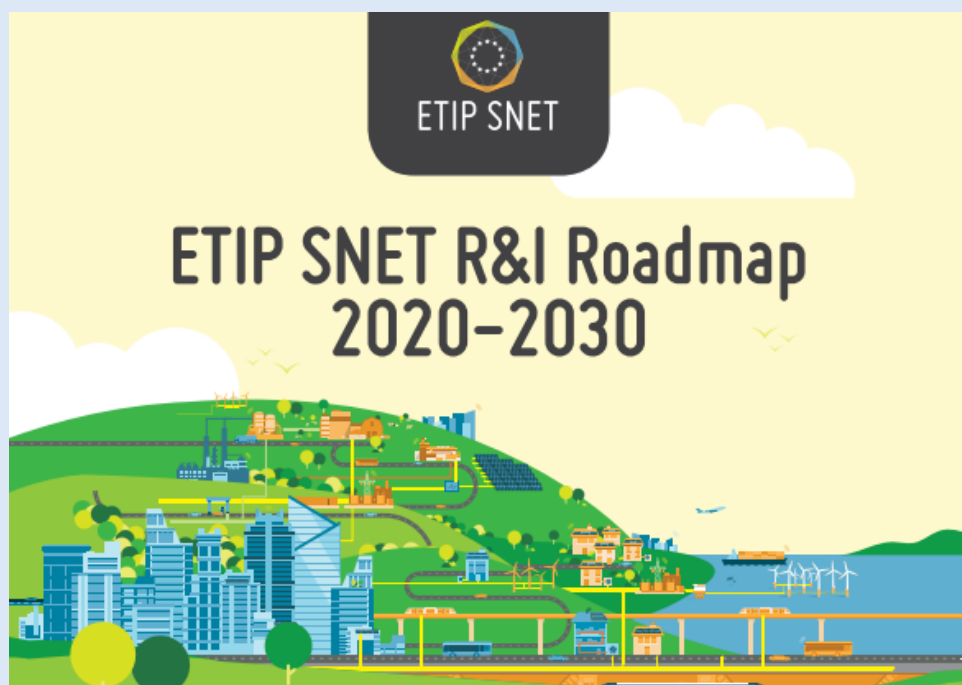
“变革性洁净能源关键技术与示范” A 类先导专项

“面向国家能源结构变革战略研究” 课题



# 洁净能源重大信息专报

2020 年第 04 期（总第 06 期）



## 欧盟综合能源系统战略布局分析

欧盟为推动到 2050 年实现构建深度电气化、广泛数字化、完全碳中和的循环经济愿景，近年来全面规划未来综合能源系统短中长期战略，打出系列“组合拳”：2018 年 6 月提出了面向 2050 年的综合能源系统愿景，确定长期目标；2020 年 2 月根据该愿景制定了到 2030 年的研发路线图（7 月更新），确定中期目标；2020 年 5 月基于路线图框架发布了 2021-2024 年的研发实施计划，短期分阶段落实路线图具体行动。本期专报针对欧盟综合能源系统战略布局进行了梳理和总结，供决策参考。

中国科学院洁净能源创新研究院  
中国科学院武汉文献情报中心

# 目 录

2020 年第 04 期 (总第 06 期)

◆ <b>一、欧盟综合能源系统 2050 愿景</b>	
1.1 欧盟确定 2050 实现碳中和政策目标.....	2
1.2 欧盟提出综合能源系统 2050 愿景.....	5
1.3 欧盟实现 2050 愿景的近中期行动.....	7
◆ <b>二、欧盟综合能源系统 2030 路线图</b>	
2.1 2030 综合能源系统研发示范预算.....	9
2.2 重点研究领域布局.....	10
◆ <b>三、欧盟综合能源系统 2024 研发计划</b>	
3.1 消费者、产消合一者和公民能源社区.....	14
3.2 系统经济性.....	15
3.3 数字化.....	16
3.4 系统设计和规划.....	18
3.5 灵活性技术和系统灵活性.....	21
3.6 系统运行.....	23

当前全球新一轮能源革命不断深化，加速构建未来多能融合、互补利用的综合能源系统，实现能源资源的优化配置和高效低碳利用，成为世界发达国家的能源发展战略重点。以欧盟为代表的一些主要发达国家和地区已经提出了符合本国国情和能源、气候目标的综合能源系统概念，并做出了相应的科技研发战略布局和规划。

欧盟能源低碳转型一直走在世界前列，提出到 2050 年成为首个繁荣、现代、有竞争力的碳中和经济体。其认为能源系统应作为一个整体进行规划和运行，将不同能源载体、基础设施和消费部门联系起来。为此，近年来欧盟进行了全面规划，打出构建未来综合能源系统的“组合拳”（图 1）：2018 年 6 月提出了面向 2050 年的综合能源系统愿景，**确定长期目标**；2020 年 2 月根据该愿景制定了到 2030 年的研发路线图（7 月更新），**确定中期目标**；2020 年 5 月基于路线图框架发布了 2021-2024 年的研发实施计划，**短期分阶段落实路线图具体行动**。本专报针对欧盟综合能源系统战略布局进行了梳理和总结，供决策参考。

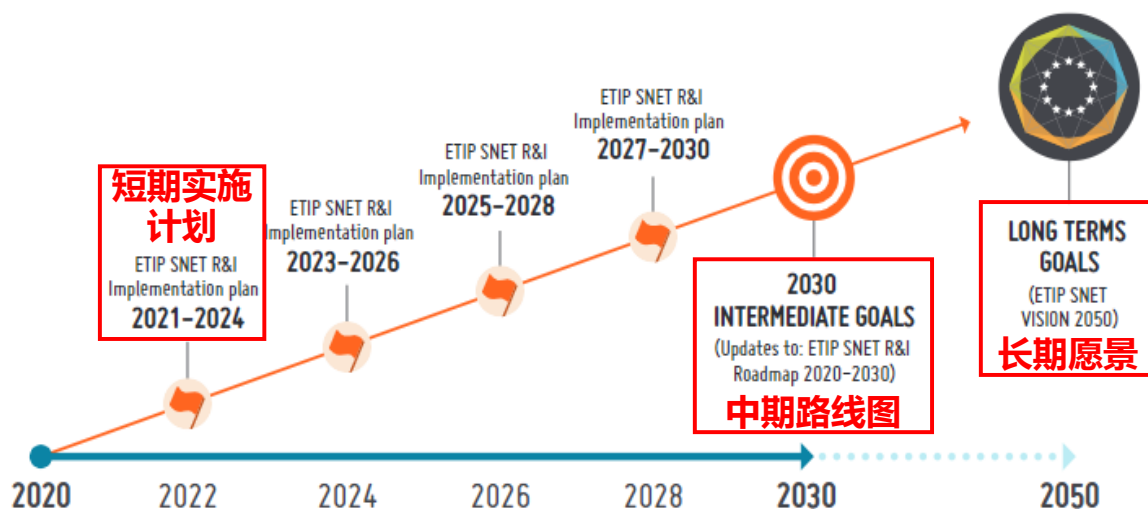


图 1 欧盟构建综合能源系统近中长期战略部署

# 一、欧盟综合能源系统 2050 愿景

## 1.1 欧盟确定 2050 实现碳中和政策目标

欧盟在能源绿色转型方面一直走在世界前列，整合能源与气候政策，从 2010 年起陆续发布了《能源 2020 战略》<sup>1</sup>、《能源 2050 路线图》<sup>2</sup>、《能源与气候 2030 战略》<sup>3</sup>等能源气候战略规划，构建起短、中、长期可持续、前瞻性的能源气候战略框架，以推进欧盟能源体系向绿色低碳转型。上述政策文件提出了面向 2020、2030 和 2050 年的碳减排、可再生能源占比和能效的具体发展目标，其中部分目标在 2018 年有所修订。

2018 年 11 月，欧盟委员会通过了《欧洲远期战略愿景——给所有人一个清洁星球》<sup>4</sup>，即到 2050 年将欧洲建成繁荣、现代、有竞争力的碳中和经济体。为了实现这一愿景，欧盟委员会在 2019 年底发布的《欧洲绿色协议》<sup>5</sup>中，进一步提高了欧盟 2030 和 2050 年的气候变化目标，阐明了迈向碳中和经济体的行动路线，提出了包括发展清洁能源、提高能效减少排放、向可持续交通转型、阻止气候变化等多主题行动计划。迄今为止，欧盟确定的气候与能源目标如表 1 所示。

<sup>1</sup> Energy 2020: A strategy for competitive, secure, and sustainable energy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1409650806265&uri=CELEX:52010DC0639>

<sup>2</sup> Energy Roadmap 2050. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/;ELX\\_SESSIONID=pXNYJKSFbLwdq5JBWQ9CvYWYJxD9RF4mnS3ctywT2xXmFYhlnlW1!-868768807?uri=CELEX:52011DC0885](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/;ELX_SESSIONID=pXNYJKSFbLwdq5JBWQ9CvYWYJxD9RF4mnS3ctywT2xXmFYhlnlW1!-868768807?uri=CELEX:52011DC0885)

<sup>3</sup> A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576151570629&uri=CELEX:52014DC0015>

<sup>4</sup> A Clean Planet for all. [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com\\_2018\\_733\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_en.pdf)

<sup>5</sup> The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_19\\_6691](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6691)

表 1 欧盟能源与气候战略政策制定的发展目标

	2020 年目标/%		2030 年目标/%		2050 年目标/%	
	2009 年提出	2014 年提出	2018 年修订	2020 年更新	2011 年提出	2019 年更新
温室气体减排 (比 1990 年)	20	40	40	60*	60	100
可再生能源在 能源消费占比	20	27	32	-	-	-
能效提升	20	27	32.5	-	-	-

\*欧盟委员会于 2019 年 12 月 11 日发布《欧洲绿色协议》提出拟将温室气体减排目标提升至 50%-55%，2020 年 9 月 17 日提交《欧洲气候修正法案》明确该目标为 55%，欧洲议会 10 月 6 日通过该法案并将目标进一步提升至 60%，法案将提交至欧盟部长理事会以获得最终批准。

实现 2050 年碳中和欧洲需要达成一些关键目标，如：（1）实现建筑、运输、工业和能源系统脱碳；（2）使消费者和社区参与能源系统；（3）数字化作为环境友好转型和参与型能源市场的推动力；（4）降低交通排放；（5）提高综合能源系统的可靠性、适应性和弹性。为此，欧盟设定了到 2030 年的一系列明确发展指标，要求能源系统所有利益相关方都参与其中，包括终端用户、电/气/热/冷供应商、其他市场参与者、电网运营商、政府和监管机构等。到 2030 年的具体发展指标包括（图 2）：

- 与 1990 年相比，温室气体排放量减少 40%，可再生能源至少占终端能源消费总量的 32%；
- 电力成为主要能源载体，在终端能源需求占比从 2015 年的 22% 增至 29%，可再生能源在总发电量占比达到 57%；
- 能源系统灵活性得到提高（包括需求方和发电方，还包括储能，如通过电池以及使用碳中性或无碳气体和液体），从而为拥有更多分布式能源、更灵活需求和更多储能设备的未来能源系统提供服务；
- 尽管交通用电（火车、有轨电车除外）在总用电量中的



份额仍然有限，但电动汽车同时充电可能会给配电网带来运营挑战以及电力质量和电力系统稳定性问题，需通过智能充电防止此类运行难题；

- 住宅用电占终端电力消费总量的 30%，供热和制冷用电大幅增加；
- 工业用电转向碳中性供热，电气化、氢气或绿色燃料的使用将取决于热量需求和温度需求；
- 第三产业（服务）的用电量达到终端电力消费总量的 25%，而且能效大幅提升；
- 由于新的法规和治理流程促进了自我消费、可持续生物能和能源社区的普及，家庭消费者成为了“主动消费者”；
- 分布式可再生能源进一步普及，并整合到建筑物和当地环境中；
- 核能在终端能源消费中占比保持稳定(2015年为 14%)；
- 天然气占比（不包括非能源用途）保持在 20%。



图 2 欧盟计划到 2030 年实现的指标

## 1.2 欧盟提出综合能源系统 2050 愿景

能源技术的研发与创新是实现能源转型目标的关键，欧盟通过“战略能源技术规划”(SET-Plan)统筹能源技术研发创新。在 SET-Plan 框架下，欧盟创建了欧洲能源转型智能网络技术与创新平台(ETIP SNET)，指导综合能源系统相关研究、开发与创新。基于当时的能源转型目标，ETIP SNET 在 2016 年 12 月提出了未来 10 年(2017-2026 年)的研发创新路线图<sup>6</sup>，从能源整体转型的系统视角，提出应从发展智能电网扩展为发展包含电、气、热网的综合能源系统，尤其关注将所有灵活性解决方案集成至电力系统中，并在次月提出 2017-2020 年的短期研发实施计划<sup>7</sup>，明确了相关研究创新的优先事项。

2018 年 6 月，基于欧盟新的能源与气候战略构想，ETIP SNET 正式提出了《综合能源系统 2050 愿景》<sup>8</sup>(以下简称“2050 愿景”)，即“建立低碳、安全、可靠、灵活、经济高效、以市场为导向的泛欧综合能源系统，到 2050 年实现完全碳中和以及循环经济，同时在能源转型期间增强在全球能源系统产业的领导地位”。2050 愿景构想了欧洲未来的综合能源系统，以电力系统为主体，将储能技术和各种能源载体网络通过转换技术融合在一起，如图 3 所示。2050 愿景基于如下的关键假设：(1) 能源系统(几乎)所有部门的广泛电气化；(2) 各部门能效大幅提高；(3) 各部门碳排放大幅降低。要实现上述目标，需要

<sup>6</sup> Final 10-year ETIP SNET R&I roadmap covering 2017-26. [https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2017/03/Final\\_10\\_Year\\_ETIP-SNET\\_RI\\_Roadmap.pdf](https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2017/03/Final_10_Year_ETIP-SNET_RI_Roadmap.pdf)

<sup>7</sup> ETIP SNET Implementation Plan 2017-2020. <https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2017/10/ETIP-SNET-Implementation-Plan-2017-2020.pdf>

<sup>8</sup> ETIP SNET VISION 2050 – Integrating Smart Networks for the Energy Transition: Serving Society and Protecting the Environment. <https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2018/06/VISION2050-DIGITALupdated.pdf>

大量部署可再生能源用于供电和供热/制冷，加快部署智能电网技术，通过能源存储和转换技术将上述技术和多种能源载体综合运用在所有部门中，建立广泛运用循环经济的能源系统。

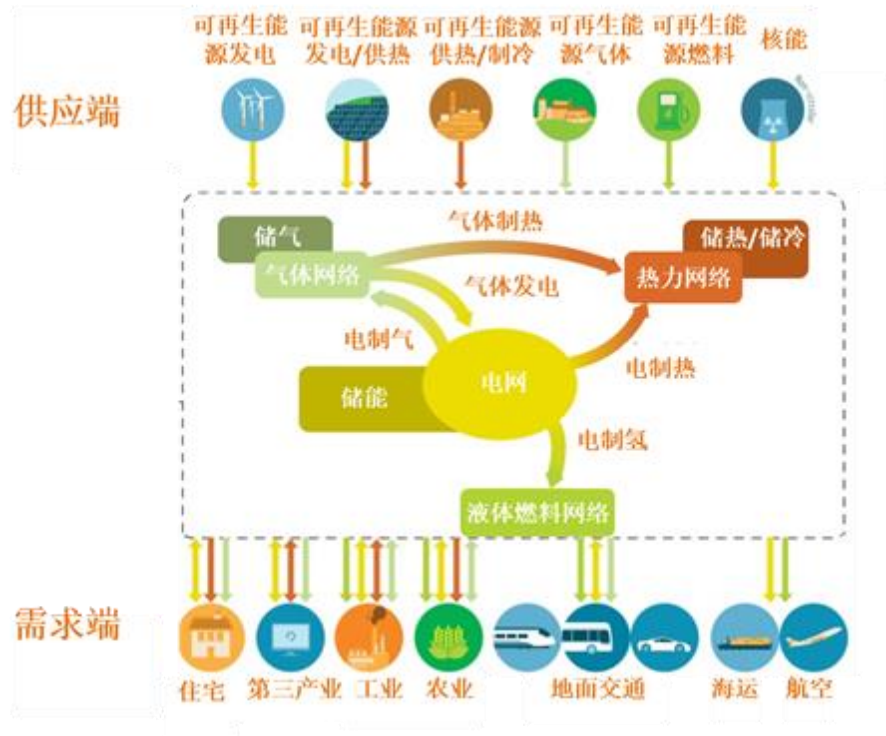


图3 欧盟综合能源系统 2050 愿景

在欧盟 2050 愿景中，未来综合能源系统将由四个相互连接和关联的层级组成：（1）市场层，确保发电方、零售商、集成商、消费者、电网运营商、能源转换和存储管理方以及其他市场参与者之间的交换；（2）通信层，支持能源系统的纵向和横向集成以及信息和市场的传递；（3）物理系统层，包括满足消费者需求的多种能源发电、电力转换、存储和网络等自动化能源基础设施；（4）数字基础设施层，可支持能源网络的运营，实现综合能源系统的更高水平自动化管理。这四个层级与能源效率一起，构成了实现 2050 愿景的五大基本目标，即：



- 能源系统的高效组织；
- 能源市场作为转型的关键推动力；
- 数字化为综合能源系统提供新服务；
- 基础设施作为转型的关键；
- 高效用能。

### 1.3 欧盟实现 2050 愿景的近中期行动

基于上述愿景，ETIP SNET 于 2020 年 2 月发布了《综合能源系统 2020-2030 年研发路线图》草案，并在 7 月发布了最终版本<sup>9</sup>（以下简称“2030 路线图”），明确了未来十年欧盟综合能源系统研究和创新的重点领域和优先事项，并计划为此投入 40 亿欧元资金。为支撑实现 2050 愿景的 5 大基本目标，路线图提出了到 2030 年欧盟综合能源系统应具备的 12 项功能，并将围绕 6 大研究领域开展共计 120 个研发和示范任务（错误!未找到引用源。）。

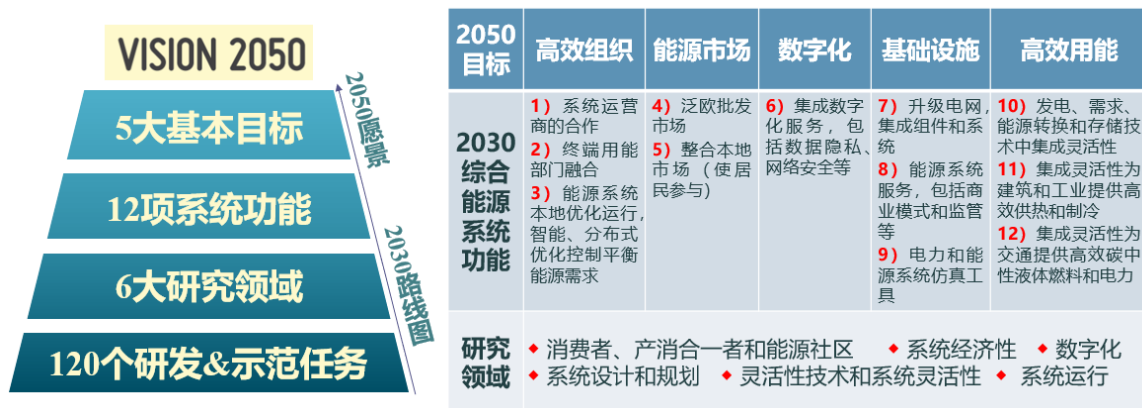


图 4 欧盟综合能源系统 2050 愿景与 2030 路线图的对应关系

2030 路线图将分 4 个阶段实施，即 2021-2024 年、2023-

<sup>9</sup> ETIP SNET R&I Roadmap 2020-2030. [https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2020/02/Roadmap-2020-2030\\_June-UPDT.pdf](https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2020/02/Roadmap-2020-2030_June-UPDT.pdf)

2026年、2025-2028年、2027-2030年，每个阶段将提出落实路线图具体行动的实施计划。2020年5月，ETIP SNET即发布了第一阶段《2021-2024年综合能源系统研发实施计划》<sup>10</sup>（以下简称“2024实施计划”），基于2030路线图框架所明确的重点研究领域及技术主题，提出了第一阶段将实施的关键研究创新优先事项及相应预算（约9.55亿欧元）。欧盟还将陆续制定后续阶段的多年期研发实施计划，并在2030年提出远期新的路线图，以最终实现2050愿景目标。

---

<sup>10</sup> ETIP SNET R&I Implementation Plan 2021 – 2024. [https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2020/05/Implementation-Plan-2021-2024\\_WEB\\_Single-Page.pdf](https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2020/05/Implementation-Plan-2021-2024_WEB_Single-Page.pdf)

## 二、欧盟综合能源系统 2030 路线图

### 2.1 2030 综合能源系统研发示范预算

2030 路线图提出了 6 个重点研究领域：消费者、产消合一者（Prosumer）和公民能源社区<sup>11</sup>；系统经济性；数字化；系统设计和规划；灵活性技术和系统灵活性；系统运行。在每个重点领域均明确了相应的关注主题及研发示范任务、进度安排和预算，总计涉及 24 个主题的 120 个任务，总经费达到约 40 亿欧元。上述任务将分四个阶段实施，第一阶段（2021-2024 年）将投入总计 9.55 亿欧元支持研究与创新优先事项。2030 路线图及 2024 实施计划相应的预算分配如表 2 所示。其中，大部分预算（75%）用于示范任务，仅有 25%用于研究任务。从领域来看，“数字化”领域的示范任务预算最高，占示范总预算的 22%；其次是“系统设计和规划”的示范任务（15%）。

表 2 欧盟综合能源系统 2020-2030 研发及示范任务预算

研究领域	关注主题	预算（亿欧元）			
		2021-2024 年		2020-2030 年	
		研发	示范	研发	示范
1) 消费者、产消合一者和公民能源社区	<ul style="list-style-type: none"> <li>能源基础设施的社会接纳和环境可持续性；</li> <li>调节消费者行为；</li> <li>消费者和产消合一者设备控制</li> </ul>	0.04	0.73	-	2.15
2) 系统经济性	<ul style="list-style-type: none"> <li>商业模式；</li> <li>市场设计与治理</li> </ul>	0.68	0.18	1.20	3.20
3) 数字化	<ul style="list-style-type: none"> <li>协议、标准化和互操作性；</li> <li>数据通信；</li> </ul>	2.10	0.31	3.20	8.40

<sup>11</sup> 欧盟在 2019 年修订的欧盟电力指令（EU）2019/944 中提出了“公民能源社区”（citizen energy community）概念，即基于自愿和开放参与原则，由自然人、地方当局（包括市政当局）或小型企事业单位等作为其成员或利益相关方并有效掌控的法律实体，该实体可以开展发电（包括可再生能源发电）、配电、供应、消费、聚合、储能、能效、电动汽车充电或其他能源服务，主要目的是为其成员或利益相关方或所在地区带来环境、经济和社会效益，而不是获得财务盈利。公民能源社区能够促进公民以低成本和公平获取当地清洁的可再生能源及其他能源服务，使消费者能够管控和担负起实现能源需求自给自足的责任，参与到能源市场改革和项目建设的决策过程，并为公民和当地企业创造投资机会并获得回报进而反哺本地经济，为社区带来社会经济效益。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 数据和信息管理;</li> <li>• 网络安全与隐私;</li> <li>• 端到端架构</li> </ul>				
4) 系统设计和规划	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 综合能源系统架构;</li> <li>• 长期规划 (系统开发);</li> <li>• 资产管理与维护;</li> <li>• 系统稳定性分析</li> </ul>	0.86	1.01	1.60	6.00
5) 灵活性技术和系统灵活性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 需求灵活性;</li> <li>• 发电灵活性;</li> <li>• 储能灵活性及能量转换灵活性;</li> <li>• 网络灵活性;</li> <li>• 交通灵活性</li> </ul>	1.31	0.32	2.80	4.40
6) 系统运行	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 状态评估和监控;</li> <li>• 短期控制;</li> <li>• 中长期控制;</li> <li>• 预防性控制/恢复;</li> <li>• 控制中心技术</li> </ul>	0.89	1.12	1.20	5.60
	总计	5.87	3.68	10.00	29.75

## 2.2 重点研究领域布局

### 领域 1: 消费者、产消合一者和公民能源社区

该领域研究旨在帮助能源消费者和产消合一者（个人、社区、商业用户、行业）更好地融入能源系统。重点关注主题包括：①能源基础设施的社会接纳和环境可持续性；②调节消费者（包括能源社区）能源生产消费行为；③消费者和产消合一者的设备控制。

该领域将投入约 2.15 亿欧元用于示范，以实现如下领域突破：点对点交易；自底向上聚合；可灵活进行发电和负荷管理的运营市场平台，包括优化电动汽车等负荷；组织形式的变革，如能源互助、点对点交易、合作社的新职能等。

### 领域 2: 系统经济性

该研究领域涉及与能源系统相关的商业模式、市场设计、管理和运营，不同空间规模的能源市场设计，适用于能源价值链不同产品和服务的商业模式，以及基于欧盟和成员国法令、政策和法规、电网规则、终端用能行业规则的市场管理模式。重点关注主题包括：①商业模式；②市场设计与治理（包括零售、批发、跨境、辅助服务、灵活性市场等）。

该领域将投入约 1.2 亿欧元用于技术研究，3.2 亿欧元用于示范，以实现如下领域突破：辅助服务市场；灵活性技术的利用；开发融合各种能源载体的（本地）市场；示范项目及区域灵活性优势的探索利用；将部分资本支出转化为运营支出，并降低总体成本；分布式能源资源的新补偿方案。

### 领域 3：数字化

该领域旨在解决数字技术在能源系统的集成。将解决与能源系统运行相关的问题，如用于能源系统运行和控制的数字基础架构，以及开发用于数据通信、交换和分析的工具和网络。此外，该领域还将考虑能够促进市场和用户参与的数字应用程序。重点关注主题包括：①协议、标准化和互操作性；②数据通信；③数据和信息管理；④网络安全与隐私；⑤端到端架构。

该领域将投入约 3.2 亿欧元用于技术研究，8.4 亿欧元用于示范，以实现如下领域突破：端到端架构；网络安全和物联网（IoT）；网络安全的点对点概念（如区块链）；现场设备传感器、数据、服务、能源消费者和产消合一者之间实现可互操作、保护隐私的连接，以逐步扩展分布式多方控制系统。

### 领域 4：系统设计和规划



该领域旨在解决综合能源系统的设计和规划问题，以更好地融合多种能源。将从多个角度综合利用综合能源系统规划和分析的必要方法和工具，基于可靠且透明的假设、参数和关系进行场景设置，采用综合且全面的规划工具，从整体上解决能源系统问题，使所有能源载体能够相互作用并相互促进。这一整体能源系统架构有助于智能电力系统的可靠、经济和环境友好运行，包括开发创新的资产和生命周期管理方法和相关技术，以及进行资产维护。重点关注主题包括：①综合能源系统架构；②长期规划（系统开发）；③资产管理与维护；④系统稳定性分析。

该领域将投入约 1.6 亿欧元用于技术研究，6 亿欧元用于示范，以实现如下领域突破：储能；区域综合能源系统；分布式能源系统的连接、监测和控制技术的大规模部署；综合智能电网系统；整合所有能源载体的新型拓扑结构和设备；新的网络规划程序，包含分布式能源系统和电网灵活性技术；分布式能源系统预测技术的大规模部署；现代控制中心；数据管理；人机交互；培训；建模；无人机；增强现实/虚拟现实；可穿戴设备；微元网（Web of Cells）架构。

### 领域 5：灵活性技术和系统灵活性

该领域旨在开发解决方案和工具，以确保有足够的灵活性来应对融合程度不断加深的综合能源系统所有不确定性和波动性。该研究领域所解决的灵活性问题涵盖了整个能源系统，并跨越不同能流。重点关注主题包括：①需求灵活性；②发电灵活性；③储能灵活性及能量转换灵活性；④网络灵活性；⑤交

通灵活性。

该领域将投入约 2.8 亿欧元用于技术研究，4.4 亿欧元用于示范，以实现如下领域的突破：灵活性资源；包括电动汽车在内的储能资源；输电网运营商-配电网运营商-消费者的市场就位；灵活性的标准化；将技术和预测相结合提升波动性可再生能源资源的灵活性；住宅需求响应；电动汽车智能充电及“车辆到电网”（V2G）技术；岛屿能源系统灵活性；基于无碳和碳中性燃料的火电厂灵活性；可再生能源和脱碳气体集成的灵活性；热电联产的灵活运行；通过部门融合实现系统灵活性。

#### 领域 6：系统运行

该领域涉及开发整体控制架构的工具和系统，如分级系统控制、协调协作概念，以及开发输配电系统的直接或间接控制解决方案，以确保综合能源系统能够在波动性、约束和不确定性不断增加的情况下，保持最佳运行。该领域将利用先进的监测、控制、保护技术，以及所有相关部门的先进预测能力，实现能源系统的可观测性。重点关注主题包括：①状态评估和监控；②短期控制；③中长期控制；④预防性控制/恢复；⑤控制中心技术。

该领域将投入约 1.2 亿欧元用于技术研究，5.6 亿欧元用于示范，以获得如下领域的突破：更高水平的自动化；更复杂的功能；集成系统的运行工具；新的运行规划程序；大规模可再生能源资源的预测；现代控制中心；数据管理；人工智能；大型直流-交流电网；微元网（Web of Cells）。

## 三、欧盟综合能源系统 2024 研发计划

根据 2030 路线图确定的研发资助框架，欧盟将在 2021-2024 年投入 9.55 亿欧元，实施第一阶段的研发计划。在 2024 研发计划中，围绕 2030 路线图确定的 6 大研究领域，明确了第一阶段将在 24 个主题开展 112 个研发及示范任务。6 大重点领域将进行的具体研发及示范任务如下：

### 3.1 消费者、产消合一者和公民能源社区

#### 主题 1：能源基础设施的社会接纳和环境可持续性

**研发及示范任务：**本主题将投入 360 万欧元用于研发，1140 万欧元用于示范，主要包括：①开发促进利益相关方参与的有效方法和工具，以提高公众对新建输电线路、变电站、储能设施、发电站、天然气基础设施的接受度；②提高消费者对新型电力/能源系统的理解和认识，尤其是作为消费者/产消合一者积极参与电网运营，研究公民参与能源社区的社会和经济影响，包括提高系统灵活性和可持续性；③减少或消除能源基础设施对环境的影响，如水电站（水力调峰、沉积物管理、鱼类迁徙和保护、水质保护）、变压器和输电线路噪声、输电线路塔架设计对景观影响等。

#### 主题 2：调节消费者（包括能源社区）能源生产消费行为

**研发及示范任务：**本主题领域将投入 2900 万欧元用于示范，主要示范任务包括：①开发调整消费者和产消合一者能源生产消费行为的方法和工具，包括在线测量用电量和发电量、

动态分时电价和全环境效益(舒适性和安全性等)的行为研究;  
②开发方法和工具以支持提升行业能源消费适应性的活动。

### **主题 3: 消费者和产消合一者的设备控制**

**研发及示范任务:** 本主题将投入 3300 万欧元用于示范, 主要示范任务包括: ①通过智能手机等低成本技术, 实现产消合一者电力消费/生产的直接无线控制; ②通过用于智能家电的家用信息技术 (ICT), 实现对消费者需求的直接控制。

## **3.2 系统经济性**

### **主题 1: 商业模式**

**研发及示范任务:** 本主题将投入 2200 万欧元用于研发, 主要研发任务包括: ①产消合一者提供辅助服务的商业模式; ②零售商和聚合商 (Aggregator)、能源服务公司和能源社区的商业模式; ③能源数据分析服务供应商的商业模式; ④电动交通网络储能商业模式; ⑤利用天然气/生物质热电联产在低剩余负荷时供热、高剩余负荷或储热时发电的商业模式。

**主题 2: 市场设计与治理 (包括零售、批发、跨境、辅助服务、灵活性市场等)**

**研发及示范任务:** 本主题将投入 4560 万欧元用于研发, 1840 万欧元用于示范, 主要包括: ①泛欧市场设计, 促进大规模波动性可再生能源、储能、需求响应、电动汽车等的集成; ②跨境输电系统运营商市场设计 (涉及多个配电系统运营商、聚合商和运行区域), 跨境辅助服务市场设计 (包括储备联合采购, 储备共享, 针对频率响应、惯性响应、无功功率、电压控

制和潮流控制的快速爬坡服务); ③利用集中式储能和虚拟电厂提供辅助服务的市场规则和协调机制, 包括利用可再生能源、灵活热力发电(小型和微型热电联产)、热泵、电动汽车等; ④协调通信、智能电表和平台并考虑电网物理约束, 进行输配电系统运营商辅助服务的市场设计和成本效益分析; ⑤本地能源市场设计, 开发本地能源社区的零售(点对点)市场, 具有电力平衡和低压/中压电网控制能力; ⑥大规模需求响应市场的设计, 通过智能电表等技术获得基于需求负荷的市场模型; ⑦针对储能设备所有者和运营商(包括电动汽车)的市场设计, 以及储热市场设计; ⑧在低剩余负荷或负荷不足情况下, 通过天然气网提供系统平衡服务的市场规则; ⑨水循环管理运营商提供系统服务的市场设计。

### 3.3 数字化

#### 主题 1: 协议、标准化和互操作性

**研发及示范任务:** 本主题将投入 6100 万欧元用于研发, 主要研发任务包括: ①开发数据交换协议/接口以建立融合所有参与者的市场, 开发基于随机模型的不同时间尺度市场的运行处理协议, 以及用于市场订单加密和认证的通用标准化模型; ②开发设备和电网间、设备和远程管理平台间的标准化通信协议和 ICT 基础设施; ③开发智能变电站通信接口; ④开发支持输/配电系统运营商信息交换的通用设备接口和协议。

#### 主题 2: 数据通信

**研发及示范任务:** 本主题将投入 2370 万欧元用于研发,



1130 万欧元用于示范，主要包括：①支持需求汇聚与控制的通信基础设施，通过机器到机器（M2M）或人工智能到人工智能为能源网络服务提供电信解决方案（包括用于设备、多址边缘计算或云级决策的人工智能算法）；②监测和控制分布式发电的 ICT 基础设施，包括标准和协议；③智能电表数据通信基础设施，可进行近实时监测，包括用于时间同步和时间戳的非全球导航卫星系统，考虑端到端通信的延迟、数据包丢失和抖动；④优化 ICT 基础设施安装，包括成本、准确性、冗余性等，用于针对性风险维护的数据收集和处理。

### **主题 3：数据和信息管理**

**研发及示范任务：**本主题将投入 6600 万欧元用于研发，主要研发任务包括：①不同来源数据的大数据管理，包括：智能仪表、智能传感器、社交媒体、管理工具、市场平台、数据分析支持的数据驱动工具、人工智能和数字孪生；②研究物联网技术在输/配电系统运营商规划、资产管理、运营和市场活动中的利用。

### **主题 4：网络安全与隐私**

**研发及示范任务：**本主题将投入 2400 万欧元用于研发，主要研发任务包括：①电网基础设施网络安全保护的方法和工具，可避免通过物理安装（如主变电站和辅助变电站、中压和低压线路、输/配电系统运营商的网络安全策略）注入虚假数据；②分布式能源管理的数据保护，包括分散式存储；③研究并行使用传统数据采集与监视控制系统作为远程监控手段的风险和漏洞；④研究使用公共 ICT 和无线基础设施搭建智能电网存在的

风险和漏洞。

### 主题 5: 端到端架构

**研发及示范任务:** 本主题将投入 3530 万欧元用于研发, 1970 万欧元用于示范, 主要包括: ①输配电网数字化, 创建互操作电网和通信网络的数字化模型; ②增强架构设计, 在不同电压水平、不同时间段进行数据交换, 具有增强的输/配电系统运营商通信接口; ③在新的软硬件架构方案上应用基于 ICT 的先进方法(物联网、边缘计算、云计算、网络安全、区块链等)进行数据存储和计算。

## 3.4 系统设计和规划

### 主题 1: 综合能源系统架构

**研发及示范任务:** 本主题将投入 3450 万欧元用于研发, 3750 万欧元用于示范, 主要包括: ①开发包括所有主要能源载体的能源系统模型, 涵盖产消合一者、能源社区、电动交通、输配电网(低、中、高压)、国家/区域电力和天然气交换的整个能源链条; ②协调高压(超高压)和中压配电系统, 开发包括储能基础设施以及天然气和供热基础设施的输电系统; ③开发公民能源社区, 具有协调本地多能流运行的能源管理系统, 包括储电、“电力转换为其他能源载体”(P2X), 以及“其他能源载体转换为电力”(X2P, 包括基于氢能和燃料电池的热电联产); ④多载体复合储能系统研究, 包括与单独储能设备的经济效益比较、通过电制热平衡供需和储能、热力和电力之间的动态交互、建筑应用、考虑热负荷惯性的耦合能源系统动力学; ⑤在

电力系统不同电压水平下，优化协调电力存储的分布和规模，用于快速和慢速功率响应，以及未来储能设施辅助补充服务；⑥优化协调抽水蓄能、天然气、热化学和化学储能的分布及规模，以满足季节性需求；⑦开发分布式模块化控制结构微元网，可利用所有能源载体系统的灵活性，实时控制电压和频率（包括交流、交流/直流混合和直流微电网、本地存储、智能变压器）；⑧交直流综合配电网，包括大规模供暖、家用和商用热泵、电动汽车充电站等，通过交流配电系统、智能变压器、中/低压直流、交直流混合电网、直流微电网及本地储能等提供灵活性；⑨开发基于不同优化准则的高压直流电网设计优化算法，以及在同一塔架或平行线路上使用现有基础设施的直流和交流线路的并行布线。

## 主题 2：长期规划（系统开发）

**研发及示范任务：**本主题将投入 2320 万欧元用于研发，2480 万欧元用于示范，主要包括：①综合能源系统规划，包括热、冷、气、电力网络，并扩展至城市废水、饮用水和公共交通网络；②进行欧盟层面的低成本可再生能源投资规划，考虑替代市场设计的影响和基础设施发展要求，并利用所有灵活性手段；③电力系统灵活性规划，包括电网设计，应对自然灾害和人为攻击的储能和需求灵活性，基于随机方法的灵活运行规划；④开发分布式能源以解决规划导致的网络约束，进行高、中、低压电网加固和低、中压电网扩建规划，并使用智能仪表、各级监控系统、故障检测等的的数据；⑤考虑分布式能源随机性的概率规划，包括可再生能源、需求响应、储能、供暖/制冷以

及移动需求的不确定性；⑥配电系统规划和资产管理，以适应电动汽车与快充、超快充和感应充电的大规模集成；⑦低、中压直流工业和住宅电网规划，降低辅助系统成本并提升家庭供电安全。

### 主题 3：资产管理与维护

**研发及示范任务：**本主题将投入 1790 万欧元用于研发，1110 万欧元用于示范，主要包括：①开发老化和故障模型用于低/中压电网维护规划，考虑极端事件的维护，电力系统部件、ICT 基础设施和智能电表的不同时间阶段（从运行到规划）；②开发输电系统部件状况健康状态评估模型，如与部件磨损、变压器油池油位、开关柜六氟化硫液位和故障概率有关的健康状况，研究影响高压输电系统元件寿命的参数；③基于模型的组件故障检测和状态监测，开发适用于高压系统有害环境作业的机器人、现场维护无人机，改善由于环境（树木生长、风力）和运营影响资产寿命的高压系统部件维护；④通过数字通信和监控设备进行远程低/中压维护操作；⑤高、中压资产管理，考虑对自然灾害、恐怖主义、网络攻击等罕见、严重事件的恢复能力；⑥对维修作业员进行培训以适应数字环境（即人机界面）和新型机器人，优化用于收集和处理数据的 ICT 基础设施的维护成本；⑦优化储能系统寿命和失效模式，包括随机循环曲线、资本支出、运营成本、效率；⑧优化水电和抽水蓄能机组维护的智能传感器及在线监测与诊断系统；⑨利用快速循环能力和燃料灵活性提高火电机组寿命。

### 主题 4：系统稳定性分析



**研发及示范任务：**本主题将投入 1060 万欧元用于研发，2740 万欧元用于示范，主要包括：①通过分布式发电、储能和需求灵活性以及配电网连接的微电网和纳米电网支持电网稳定，实现大容量输电网的稳定和控制；②开发电力电子变换器以提供合成惯性控制，以及附加振荡阻尼控制等概念；③孤岛模式下交直流混合微电网的稳定性与控制；④开发基于换流器的稳定性模型和工具；⑤开发高比例波动性可再生能源输电系统转子角、电压和频率稳定性模型和技术；⑥开发和验证不同环境下多种技术和能源载体组成的综合网络和系统组件的等效模型，以确保能源系统的稳定性；⑦开发大规模区域间振荡的分析方法和工具，研究具有多控制系统电网的动态稳定性。

### 3.5 灵活性技术和系统灵活性

#### 主题 1：需求灵活性

**研发及示范任务：**本主题将投入 950 万欧元用于研发，1850 万欧元用于示范，主要包括：①优化输配电系统运营商对需求侧响应的利用；②与电信运营商紧密合作进行直接负荷控制；③将主动需求管理纳入输电系统运营商的规划和运营中，以满足最终用户和聚合商的需求，并延迟电网投资；④开发集成能源密集型产业(如钢铁生产)和大容量储能的需求灵活性模型。

#### 主题 2：发电灵活性

**研发及示范任务：**本主题将投入 3970 万欧元用于研发，1330 万欧元用于示范，主要包括：①开发追踪风力涡轮机和太阳能光伏最大功率点的有效控件，用于灵活性和储备共享；②



增加水力发电和抽水蓄能电站运行灵活性，减少突然断电对寿命和安全的负面影响；③提高火电灵活性，在不影响废热回收情况下提高效率并降低温室气体排放；④使用碳中性燃料（氢、生物燃料）提高火电燃料灵活性；⑤开发和测试集成灵活中小型火电、供热和制冷、储能的解决方案，并进行影响研究和示范；⑥开发各种规模的高效集成热电联产机组，并以氢、生物燃料为动力；⑦建立基于水力发电数据的水电系统模型，开发基于最新气候模拟的水库和河流来水量数据集。

### **主题 3：储能灵活性及能量转换灵活性**

**研发及示范任务：**本主题将投入 4000 万欧元用于研发，主要研发任务包括：①电网（包括微电网）运行的储能灵活性；②集成储能系统与常规发电机（例如热电联产、水电和火电），以提高灵活性并改善运行；③利用储能灵活性为家庭/建筑物/工业集中供热（和制冷）系统提供平衡服务；④大规模应用电力转化为天然气技术；⑤由可再生能源发电、部门融合和储能组成的独立建筑、居住区以及中小型企业 and 工业电力系统，涉及电力与氢气、燃料、天然气、热量、化学品之间的转换。

### **主题 4：网络灵活性**

**研发及示范任务：**本主题将投入 2400 万欧元用于研发，主要研发任务包括：①通过灵活的交流输电系统、移相变压器和高压直流输电、智能变压器、柔性软开关点、灵活的交流配电系统和故障限流器，提高输配电网灵活性；②通过配电网重构提高灵活性；③标准化高压直流多终端网络，协调不同地区之间的电力流，并连接海上和陆上风电场；④开发用于输配电网

容量计算的动态线路容量解决方案。

### 主题 5: 交通灵活性

**示范任务:** 本主题将投入 1800 万欧元用于研发, 主要研发任务包括: ①开发集中和分布式算法以有效管理电动汽车充电; ②交通运输供电网的能源管理, 通过公共连接点变电站的储能设施向配电系统运营商提供辅助服务; ③通过交通电气化提供灵活性服务, 尤其是在配电网运营中应用“电网到车辆”(G2V)和“车辆到电网”(V2G)技术, 提供负荷平抑、系统平衡和电压支持等服务。

## 3.6 系统运行

### 主题 1: 状态评估和监控

**研发及示范任务:** 本主题将投入 1920 万欧元用于研发, 680 万欧元用于示范, 主要包括: ①利用智能监控设备进行输电系统的稳态和动态状态评估; ②利用智能电表用户数据增强低中压配电系统的可观测性和状态评估; ③通过算法和工具提升可再生能源资源的实时可观测性, 并改进预测用于运行规划。

### 主题 2: 短期控制

**研发及示范任务:** 本主题将投入 600 万欧元用于研发, 1400 万欧元用于示范, 主要包括: ①优化负荷频率控制, 考虑电信基础设施、延迟和可靠性要求; ②研究可再生能源对电网初级电压和频率控制的作用, 重点针对孤岛等系统; ③极低或无惯性配电网(互连或孤岛)的初级电压和频率控制, 通过分布式能源、本地储能和负荷以及虚拟电厂。

### 主题 3: 中长期控制

**研发及示范任务:** 本主题将投入 810 万欧元用于研发, 2890 万欧元用于示范, 主要包括: ①先进的可再生能源预测, 考虑天气预测、历史数据和在线测量等; ②基于天气、降水模型和实时传感器的水电预测; ③通过发电量和负荷短期预测, 并利用用户行为和灵活负荷免受电网的位置约束; ④优化高度不确定条件下的发电机组调度、储备分配和最优潮流; ⑤优化配电网配置, 包括增强配电监控能力、自动中低压系统拓扑识别以及日前预测; ⑥控制技术在二次变电站中的大量使用。

### 主题 4: 预防性控制/恢复

**研发及示范任务:** 本主题将投入 2260 万欧元用于研发, 3140 万欧元用于示范, 主要包括: ①通过增加分布式能源系统的连接, 保护具有低故障电流的配电网; ②直流电网保护, 继电器和断路器保护, 开发兼具互操作性和标准化的多供应商解决方案; ③配电网运营措施, 如拓扑优化和分布式能源运营规划, 以提高抵御自然灾害、恐怖主义和网络攻击的能力; ④通过分布式能源和储能实现自下而上的恢复, 包括通过微电网和微元网的计划性孤岛技术; ⑤电力系统自动恢复的配电层故障自动清除自愈技术; ⑥考虑无功功率和电压控制的高效减负荷技术和工具; ⑦配电网中多能源载体的安全支持; ⑧基于联络线和/或黑启动装置协调的泛欧或多区域系统恢复。

### 主题 5: 控制中心技术

**研发及示范任务:** 本主题将投入 3290 万欧元用于研发, 3110 万欧元用于示范, 主要包括: ①开发输电系统的广域监控

架构以及高性能和高速通信基础架构，结合传感技术、自动化和控制方法；②开发输电系统运营商能源管理平台以及相关监控系统，能够与本地市场互动，并具有故障管理自愈功能等；③开发配电系统运营商能源管理平台，使用户能够主动参与能源市场和电网运行优化，与其他参与者（零售商、聚合商、输电系统运营商）进行互操作，以获取电网状态和智能电表数据用于数据处理；④分布式网络控制的控制中心体系结构；⑤防孤岛保护，计划性孤岛的控制；⑥利用数字化模型，为输配电系统运营商开发先进的技能训练模拟器，以适应新的网络能源管理平台（包括多能源载体系统）；⑦开发用于各种电压等级的能源管理系统控制室的先进人机交互界面，以支持运营商的预防和纠错决策。



## 《洁净能源重大信息专报》

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心  
联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号 (430071)  
联系人：陈伟 郭楷模 岳芳  
联系电话：(027) 87199180  
电子邮件：[energy@whlib.ac.cn](mailto:energy@whlib.ac.cn)