

部门耦合：加速能源转型的关键概念

© IRENA 2022

除非另有说明，本出版物中的材料可自由使用、分享、复制、打印和/或存储，前提是对 IRENA 作为来源和版权持有者的适当承认。本出版物中归属于第三方的材料可能受单独的使用条款和限制的约束，使用此类材料前可能需要获得这些第三方的适当许可。

ISBN: 978-92-9260-487-5

引用：IRENA 行动联盟（2022），《部门耦合：加速能源转型的关键概念》，国际可再生能源署，阿布扎比。

关于联盟

IRENA 行动联盟汇集了来自世界各地的领先可再生能源参与者，共同目标是推进可再生能源的采用。该联盟促进公私部门之间的全球对话，以制定行动，增加可再生能源在全球能源组合中的份额，并加速能源转型。

关于本文

本文由联盟“迈向 100%可再生能源”工作组成员联合制定。基于公司和国家代表的案例研究和第一手访谈，本文概述了部门耦合作为一种策略，通过在终端使用部门中直接或间接使用电力来增加能源系统的灵活性和可靠性。本文特别旨在支持政府和公司在决策和实施过程中，将部门耦合作为迈向 100%可再生能源和净零排放未来的强大工具。

免责声明

本出版物及其中的材料按“现状”提供。IRENA 和 IRENA 行动联盟已采取所有合理预防措施来验证本出版物中材料的可靠性。然而，IRENA、IRENA 行动联盟或其任何官员、代理、数据或其他第三方内容提供商不提供任何明示或默示的保证，并对使用本出版物或其中材料的任何后果不承担任何责任。其中包含的信息不一定代表 IRENA 所有成员或 IRENA 行动联盟成员的观点。提及特定公司、项目或产品并不意味着任何认可或推荐。本出版物中采用的名称和材料的呈现并不意味着 IRENA 或 IRENA 行动联盟对任何地区、国家、领土、城市或区域的法律地位、其当局或边界的划定表达任何意见。

致谢

贡献作者：Rainer Hinrichs-Rahlwes（欧洲可再生能源联合会）、Anna Skowron（世界未来理事会）、David Renné（国际太阳能能源学会）、Andrzej Ceglarz（可再生能源电网倡议）、Hans-Josef Fell、Lena Tischler、Sophia Leandra Binz、Sophie Marquitan（能源观察组）、Rohit Sen、Kanak Gokarn、Margaux Blache（ICLEI - 可持续发展的地方政府）、Lotta Pirttimaa（海洋能源欧洲）、Bharadwaj Kumamuru（世界生物能源协会），以及 Anindya Bhagirath 在 Rabia Ferroukhi（IRENA 知识、政策和金融中心主任）的监督下。

进一步致谢：Britta Schaffmeister 和 Benjamin Lehner（荷兰海洋能源中心）、Steven Vanholme（EKOenergy）、Silvia Piana 和 Ibtissem

Hammi (Enel Green Power)、Reshmi Ladwa (GWEC)、Jon Lezamiz Cortazar (Siemens Gamesa 可再生能源), 以及 Emanuele Bianco、Yong Chen、Jinlei Feng、Ranya Oualid 和 Giedre Viskantaite (IRENA) 提供了宝贵的审查和反馈。

1. 引言

要成功实现联合国 2030 年可持续发展议程和 2015 年巴黎协定中设定的目标, 需要全球能源系统快速向高比例并最终 100% 可再生能源转型。随着越来越多的国家宣布雄心勃勃的承诺和行动, 以逐步淘汰化石燃料并制定与 2050 年或更早实现净零排放一致的政策, 可再生能源需要在所有部门中发挥主导作用。可再生能源在 COVID-19 大流行期间展现出持续的韧性, 并将继续引领各部门的脱碳。国际可再生能源署 (IRENA) 的发现表明, 2018 年终端使用部门的可再生能源份额如下: 电力 26%、工业 14%、交通 3%、建筑 34%。与其它部门相比, 电力部门的可再生能源渗透率已显著推进。增加部门内和部门间可再生能源的份额将需要迅速和显著扩大努力的领域, 如终端使用电气化、可再生能源的直接使用、能源效率和基础设施发展。部门耦合策略和技术有潜力通过增强能源系统的灵活性来整合更高的可再生能源份额。耦合不同部门有很多优势: 它增加了各部门的能源可再生份额, 从而缓解了能源相关排放, 包括温室气体, 例如通过在交通中取代汽油和柴油, 或在建筑中取代天然气、煤炭和石油用于加热。部门耦合还可以通过扩展来自可变可再生能源的电力调度选项来提供增加的电网灵活性——如果耦合部门能够以智能

方式互操作。这些调度选项有效地增加了各部门的能源可再生份额，从而降低了能源相关排放。例如，如果实施智能充电系统并提供明确的经济社会激励，电动汽车的电池可以在车辆未使用时重新注入电力到电网中。数字化、电气化和去中心化的持续进步正在为电力部门做出重大贡献，同时也使低成本可变可再生能源的平稳和智能系统整合成为可能。电气化终端使用部门——直接或间接——的目标带来了强大的经济和环境效益。可再生电力为直接和间接电气化提供了各种机会，允许传统非电力终端用户从中受益，同时降低他们的碳足迹。要利用这些机会，确保集成系统能够以智能方式互操作，从而高度灵活，这是至关重要的。这包括物理系统和市场设计。诸如私人或商业电池存储、电动汽车、绿色氢气和电力到气体等技术可用于将不同部门与电力部门耦合，以实现高度互联、灵活和集成的能源系统。本文概述了部门耦合作为一种策略，通过在终端使用部门的应用中使用电力来增加能源系统的灵活性和可靠性，旨在加速向 100%可再生能源转型。本文特别旨在支持政府和公司在决策和实施过程中，将部门耦合作为迈向 100%可再生能源和净零排放未来的强大工具。

部门耦合的定义

部门耦合没有普遍同意的定义。IRENA 将部门耦合定义为将电力部门与更广泛的能源部门互连的过程，从而通过增强电网灵活性促进更高比例的可变可再生能源来源整合到电力组合中。在本文中，IRENA 行动联盟制定了更全面的部门耦合定义，它超越了为电力系统提供灵活性，向促

进所有部门 100%可再生能源基能源供需转型扩展。要成为向所有终端使用 100%可再生能源转型的强大驱动因素，部门耦合的概念需要扩展超出为电力系统提供灵活性，向促进所有部门全面可再生能源基可靠能源供需的集成转型。部门耦合重点结合至少两个不同的能源需求和生产部门。启用技术包括智能电网、区热和区冷、抽水蓄能的短期和季节性存储、电池、绿色氢气和其他创新或现成可用解决方案，用于平衡资源可用性和能源需求。这导致了终端使用的直接或间接电气化水平显著提高和系统整合。调整能源市场设计可以有效支持向更电气化和可再生能源基能源系统的转型。

IRENA 行动联盟迈向 100%可再生能源工作组

行动联盟白皮书系列 - 迈向 100%可再生能源

- 迈向 100%可再生能源：现状、趋势和经验教训（2019）
- 迈向 100%可再生能源：公用事业转型（2020）
- 迈向 100%可再生能源：公司向 100%可再生能源转型：聚焦加热和冷却（2021）
- 部门耦合：加速能源转型的关键概念（2022）

2. 部门耦合：现状和趋势

2.1 概述：部门耦合

部门耦合广泛描述了一种优化能源系统的重要策略，通过在终端使用部门的应用中使用电力来增加其灵活性和可靠性，旨在加速向 100% 可再生能源转型。这种结合不同能源供需选项的概念已应用于能源系统多年。其中一种策略是将能源来源链接到服务类型，如热或交通。第二种策略包括开发能源载体之间的全新链接，以允许无法直接电气化的过程的间接电气化，例如工业操作。例如，可再生能源电力可以通过各种部门耦合技术提供加热服务，如热泵和电阻锅炉，并为取代石油基交通燃料或化石燃料基电力的电动汽车供电。电解和甲烷化是应用电力生产绿色氢气或甲烷用于工业、住宅使用和交通的间接手段。各种能源服务可以在不同时间使用各种应用提供。要使系统完全基于可再生能源，价值链的任何步骤都不能使用来自化石来源的电力。随着部门耦合技术的应用增长，可再生电力的需求将增加。在数字化智能和智能能源管理系统增强灵活性的支持下，系统操作的可靠性可以维持；反过来，这将促进可再生电力在能源组合中的渗透。

2.2 部门耦合中的技术应用

已开发了广泛的技术和应用来实施不同部门的耦合——大多数基于直接或间接电气化迄今使用其他能源形式的过程。这些包括用于烹饪、热

泵或热水锅炉的可再生电力的直接使用，以及通过绿色气体如氢气、生物燃料和电子燃料的间接使用。

建筑

建筑中直接电气化的使用正在增加，不仅用于电器，而且越来越多用于加热和烹饪。热泵正成为提供建筑加热和冷却服务的重要和高效技术。它们可以通过从地面或空气中转移热量到建筑中实现高达 400%的效率，而不是直接产生热。

部门耦合项目示例

公司	国家	部门	技术	描述
BANULA	德国	电力、交通	太阳能光伏	BANULA 是电动移动生态系统的转型项目。电动移动作为能源系统的一部分全面整合。电动汽车根据其实际负载行为平衡，并在未来通过电动移动服务提供商的双向负载管理进行供电，从而启用以客户为中心的服。私有财产上的充电点运营商被启用将充电点使用的能源与财产和实际业务的能源分离。消费者被启用在任何充电点自由选择其供应商，与家庭充电相同舒适和信任，但独立于其位置。新的生态系统降低了提供灵活性的障碍。BANULA-IT 网络通过区块链技术使交易和能源交易不可篡改。
Vulcan Energy Zero Carbon Lithium	德国	电力、加热、采矿	从生产井中地热能的共生与锂提取耦合	Vulcan 零碳锂项目的目标是到 2024 年率先实现第一个零碳锂项目——氢氧化锂的生产。位于斯图加特 60 公里处，靠近欧洲汽车和锂离子电池制造行业的所在地，Vulcan 的愿景是交付一个净零 CO2 足迹的项目，作为其环境、社会和治理的一部分。
Liquid Wind	瑞典	电力、航运	氢气和生物质	Liquid Wind 计划使用低成本电力生产氢气。从生物质燃料共生工厂的氢气和 CO2 将用于生产甲醇作为航运部门的液体燃料。公司已建立了一个强大的供应商联盟，其中一些也是 Liquid Wind 的共同所有者。他们已为第一座工厂选择了一个站点，并有承诺的燃料客户。

First Grid Integration with Solar Irrigation Pump System	孟加拉国	电力、热、农业	太阳能光伏灌溉泵	First Grid Integration 使用太阳能光伏在每年六到七个月灌溉农田。在剩余月份，它旨在将泵产生的未使用电力反馈到电网中。从长远来看，这将减少能源进口，并允许额外能源用于其他终端用途。
Marine energy-cooled data centres	芬兰	工业、冷却、数据中心	海洋能源	Google 正在建造第二个使用海洋冷却的数据中心，使用海水空调技术。海水空调使用来自海洋、河流和湖泊的深冷水作为传统空调系统的替代品。
Marine energy integrated in coastal protection infrastructure	荷兰	工业、电力	海洋能源	使用盐水平差，蓝色能源可以发电。通过逆转蓝色能源的方法，海水可以转化为饮用水。这种脱盐形式已成功测试，现在将在 Afsluitdijk 的 REDstack 测试站点扩展。
Marine energy desalination	美国	工业、电力、脱盐	电力和海洋能源	美国能源部的 Waves to Water 竞赛旨在利用海洋波浪的动力，使用模块化脱盐系统生产饮用水。这些系统使用海洋波浪的动力生产清洁饮用水，可用于灾难恢复以及沿海和偏远社区。
Energy Superhub Oxford (ESO)	英国	交通、热	能源存储和地源热泵	牛津市政府促进了世界上最大的混合能源存储系统——Energy Superhub Oxford。该系统将有助于脱碳牛津的两个主要碳排放来源：交通和热系统。该项目将到 2032 年每年减少 44,000 吨 CO ₂ ，并减少 40% 的排放。超级枢纽包括一个 50 兆瓦电网规模电池，支持 10 公里电动汽车充电点网络和地源热泵服务约 300 户家庭。目前，ESO 可以整合多种能源来源来管理能源需求。然而，由于牛津是 UK100 网络的一部分，ESO 将到 2050 年完全运行于可再生能源。
Holzkirchen Geothermal combined heat and power plant	德国	电力、区热	地热	Holzkirchen 的 3.2 MW 地热热电联产厂使用二元循环技术从约 150° C 的地热流体发电。它用工厂的残余能源供应当地热网络。