中德能源与能效合作
Energiepartnerschaft
DEUTSCHLAND - CHINA

Supported by:

Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

on the basis of a decision
by the German Bundestag

中德能源与能效合作伙伴

气候中和园区：工业园区的零碳转型指南

（完整版）

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

dena Deutsche Energie-Agentur

参与单位

版本信息

本指南是中德城镇节能示范项目的工作成果之一。该示范项目得到了德国联邦经济和气候保护部(BMWK)与中国国家发展和改革委员会(NDRC)共同指导和支持,由德国国际合作机构(GIZ)、德国能源署(dena)和中国节能环保集团(CECEP咨询公司)合作实施。该项目的目标是为城市片区或工业园区制定高效和可持续的综合能源系统规划与实施方案,并明确现有的--和经济上有意义的--节能和减少温室气体排放的潜力。

发行方
中德城镇节能示范项目

中德能源与能效合作伙伴

北京市朝阳区亮马河南路14号
塔园外交办公楼2–5
邮编:100600

德国国际合作机构(GIZ)
Torsten Fritsche
Köthener Str. 2
邮编:10963,柏林市

项目负责人
Maximilian Ryssel(胡天),王一惠
德国国际合作机构(GIZ)

作者
heatbeat engineering GmbH
Marcus Fuchs
Peter Remmen

德国能源署
Moritz Limbacher
Nana von Rottenburg
Susanne Schmelcher
Tim Sternkopf
Liu Yu
Zhang Hui

图片
P. 16: © Papuchalka-kaelaimages/Shutterstock.com; p. 19: © jamesteohart/Shutterstock.com; p. 29: © Kletr/Shutterstock.com; p. 36: © asharkyu/Shutterstock.com; p. 44: © icaroferracini/Shutterstock.com; p. 56: © Audley C Bullock/Shutterstock.com

版面设计
mischen, www.mischen-berlin.de

© 北京,2022年6月1日

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前,德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对,但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本报告仅代表作者的观点,而不代表项目合作伙伴的观点,如有任何信息纰漏或错误,报告作者负全责。本文件中的观点陈述代表委托方的意见。

气候中和园区：
工业园区的零碳转型指南

ABC *Agent-Based Control* 代理控制
AGEB *AG Energiebilanzen e.V.* 德国能源研究集团
BCR *Building Coverage Ratio* 建筑覆盖率
BDEW *Bundesverband der Energie-und Wasserwirtschaft e.V.* 德国能源与水利协会
BMWi *German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy* 德国联邦经济事务和能源部
CAPEX *Capital Expenditures* 资本支出
CBI *Climate Bonds Initiative* 气候债券倡议组织
CECEP *China Energy Conservation and Environmental Protection Group* 中国节能环保集团
CHP *Combined Heat and Power* 热电联产
COP *Coefficient of Performance* 性能系数
CSRD *Corporate Sustainability Reporting Directive* 企业可持续发展报告指令
CTS *Commercial, Trade and Services Sector* 工商服务业
Dena *German Energy Agency* 德国能源署
DNSH *Do No Significant Harm* 无重大危害
DGNB *German Sustainable Building Council* 德国可持续建筑委员会
DIN *Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardisation)* 德国标准
DSM *Demand-Side Management* 电力需求侧管理
EEN *Energy Efficiency Networks* 能源效率网络
ESCO *Energy Service Company* 能源服务公司
ESG *Environmental, Social and Governance* 环境、社会和治理
ETES *Electro-Thermal Energy Storage* 电热储能
EU *European Union* 欧盟
FAR *Floor Area Ratio* 容积率
FSI *Floor Space Index* 建筑面积指数
GBP *Green Bond Principles* 绿色债券原则
GFA *Gross Floor Area* 总建筑面积
GHG *Greenhouse Gases* 温室气体
GIZ *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* 德国国际合作机构
ICMA *International Capital Market Association* 国际资本市场协会
ICT *Information and Communications Technology* 信息和通信技术
ILO *International Labour Organisation* 国际劳工组织
IPSF *International Platform for Sustainable Finance* 国际可持续金融平台
KPI *Key Performance Indicator* 关键指标
LBBW *Landesbank Baden-Württemberg* 巴登-符腾堡州银行
LCA *Life Cycle Assessment* 全生命周期
LowEX *Low Exergy* 低能量
MPC *Model Predictive Control* 模型预测控制
NDRC *National Development and Reform Commission of the PRC* 中国国家发展和改革委员会
NFRD *Non-Financial Reporting Directive* 非财务报告指令
NGFS *The Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System* 绿色金融体系网络
NPV *Net Present Value* 净现值
OECD *Organisation for Economic Co-operation and Development* 经济合作与发展组织
OPEX *Operating expenses* 运营支出
P2G *Power-to-Gas* 电转气
P2H *Power-to-Heat* 电转热
PBC *People's Bank of China* 中国人民银行
PLC *Peak Load Contribution* 峰值负荷贡献
PV *Photovoltaic* 光伏
SDGs *Sustainable Development Goals* 联合国可持续发展目标
TEASER *Tool for Energy Analysis and Simulation for Efficient Retrofit* 用于高效改造的能量分析和模拟工具
TEG *Technical Expert Group on Sustainable Finance* 可持续金融技术专家组

目录

为什么要选择以实现气候中和为目标的园区转型之路? 7
园区气候中和转型意味着什么? 7
如何实现园区气候中和? 8

1 步骤一:发起并组织协调利益相关方 17
1.1 决策层面 18
1.2 执行层面 18

2 步骤二:定义城区/园区边界范围 20
2.1 能源园区的规模和边界范围限制的定义 20
案例展示:荷兰Kerkrade超循环庄园 23
2.2 能源园区的能源需求特点 24
2.3 能源园区的本地能源转换 27
案例展示:德国Meldorf北区和SmartQuart园区项目 28

3 步骤三:引入绿色与可持续金融 30
3.1 简而言之:什么是 "绿色金融"? 30
3.2 (绿色)金融的一个关键方面:评估风险和潜力 30
3.3 欧盟分类法 31
3.4 可持续金融解决方案 32
展示案例:德国柏林的Europaviertel 33
3.5 中国的可持续金融 34
3.6 绿色金融的未来 34

4 步骤四:制定能源方案之一 – 分析能源需求特征 37
4.1 各部门的能源使用情况 37
4.2 建筑的电力需求 38
4.3 建筑的热需求 38
展示案例:位于德国Erlangen的西门子园区 40
案例展示:位于中国山东济南的山东职业学院 41
4.4 园区内建筑之间的协同作用 42
展示案例:德国汉堡的港口城 43

5 步骤五:制定能源方案之二 – 分析能源潜力 45
5.1 能源供应的特点 45
5.2 不同的途径:"全电"和绿色氢能"全气"方案 45
现状 46
"全电"方案 47
"全气"方案 48
"全电"和"全气"方案的比较 49
展示案例:德国Esslingen西区和Shamrockpark 50
5.3 储电和储热技术的作用 52
展示案例:丹麦Esbjerg的电热储能(ETES) 54

6 制定能源方案之三 – 确定技术配置、规划不同情景 57
6.1 园区能源管理系统的设置 57
展示案例:位于德国曼海姆的Benjamin Franklin
本杰明-富兰克林村 60
6.2 情景规划:一个虚拟园区 60
园区及其系统边界的定义 60
能源需求的特征 61
本地能源特征 61
能源供应方案的定义和模拟 62
基准方案:分散式燃气锅炉 62
"全电"方案:余热废热和中央空气源热泵 62
"全气"方案:余热废热与氢能热电联产 64
方案比较 66

未来展望 70
参考文献 71
附录 72

前言

近期，各国政府相继公布了实现气候中和、碳中和目标的时间表。其中，德国计划于2045年实现气候中和，而中国的目标是争取在2060年前实现碳中和。全球已经明确了应对气候变化的重要时间节点。气候目标将进一步由国家、地区和地方政府进行精确定义与转化。因此，每个监管层面当前都进一步完善相关立法和政策体系。在此背景下，无论是政府管理部门还是企业，都需要采取有效措施，避免资产搁浅，并力争成为气候中和发展趋势下的领跑者。 因此，提高竞争力以及创造商机应成为实施层面落实气候中和、碳中和转型措施的主要动力。

为了实现气候中和、碳中和目标，私人企业、公共机构以及社会民众需要相互协作，共同创建零排放的城市生态系统。在这一过程中，综合性的园区/城区可以发挥重要的作用。园区/城区是能够系统性落实相关措施、解决具体问题， 从而实现气候中和最有效的层面。作为最大的可管理单位，园区/城区在众多终端用户和个体利益相关方之间产生协同效应，凝聚当地的实现气候中和的多种潜力。这些协同效应可以帮助能源生产供应方与不同用能领域之间实现部门耦合。 这可以使基础设施的综合运用显著地降低成本，并创造出新的商业模式。智能的电热冷联产联储系统以及电动汽车充放电站都是深度协同耦合可以采取形式。优化的电力和热力的转换可以最大限度地利用（本地）可用的可再生能源。

本指南为地方政府和决策者发展气候中和园区/城区项目提供了一个循序渐进、逐布实施的基本方法。指南描述了背景信息，提出了实用建议，列出了核心指标体系，并以此作为工具帮助实施者规划和量化项目措施。气候中和园区/城区项目的实施过程与传统的园区项目有很大的区别。了解这些差异并采取相应的行动，对于这类项目最终的成功将起到决定性的作用。本指南还对最新的科学理念和现有的商业策略进行了对比，并在描述中融合了优秀的实践案例。

本指南是2021年启动的中德“城镇节能”示范项目的工作成果之一。 该示范项目得到了德国联邦经济事务和能源部（BMWi）与中国国家发展和改革委员会（NDRC）共同指导和支持，由德国国际合作机构（GIZ）、德国能源署（dena）和中国节能环保集团（CECEP咨询公司）合作实施。项目前期，首先举办了“迈向2050-气候中和城区/园区”系列工作坊， 以梳理和总结德国在气候中和城区/园区方面的最新技术和解决方案。工作坊邀请了heatbeat engineering GmbH以及Frankfurt School of Finance & Management提供技术理论与金融政策方面的咨询。工作坊中，20余家德国企业积极参与了多次跨专业领域的综合性研讨会。 各方共同梳理和讨论了气候友好型城市发展的路径，特别是创新型能效提升和分布式能源解决方案。在对工作坊成果做了进一步整理和总结后，我们编制了“气候中和园区-工业园区的零碳转型指南”。

通向气候中和的园区转型之路

为什么要选择以实现气候中和为目标的园区转型之路?

城区/园区（以下统称园区）具备着实施节能减排和降低能源成本的潜力巨大。园区构成了国家和城市实现气候中和转型的一个重要元素。采用一体化、系统性的园区解决方案，不仅可以提高节能减排的潜力，还能带来许多附加优势，例如更好的工作环境和居住质量。园区内可实现不同部门之间的相互协同，比如能源部门（供暖、制冷、电力、交通）与终端用户部门（住宅、工商服务、工业、交通运输）之间的部门耦合。与单体建筑层面相比，园区可以通过整合基础设施的规划、建设、采购及使用来实现规模经济。提高系统效率可以降低成本，进而提高企业的竞争力和利润率， 这是综合园区的核心优势。一体化综合园区还可以被应用于多种情景，并作为不同地区内、不同环境下区域发展的蓝本范例。气候中和园区能够对地方能源转型作出重要贡献。 它不仅可以最大限度地利用当地所具备的实现气候中和的潜力（特别是可再生能源和余热废热资源），并且还可以更加高效地利用土地资源。园区作为不同产品与服务的共生平台，能够开启全新的商业模式。需要指出是，园区运作的成功在很大程度上取决于城市规划、能源、建筑、以及其他各方面监管框架的合理设置。

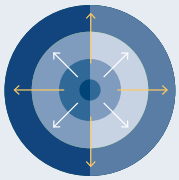
园区气候中和转型意味着什么?

在本指南及此前所开展的相关工作坊中，气候中和园区被定义为实现温室气体（GHG）净零排放的园区。如果能源需求可以全部通过利用可再生能源或余热废热来得到满足，而且当地气候中和的潜力已得到最大限度的开发，那么就可以认为，该园区基本实现了气候中和这一目标。因此，气候中和代表的是一个总体目标，它以温室气体排放作为衡量和判定依据。在高密度的城市地区，园区内部很难完全独立实现气候中和在。园区与附近区域的资源以及更高层级的基础设施进行耦合不可或缺。由于园区范围之外的转型具有诸多不确定性，服务于园区的基础设施运营商就需要了解并参考更高层级基础设施转型的总体规划。可以从中长期的角度对这些规划进行跟踪，同时，保持与国家层面的气候目标及措施规划的一致。

目前，在园区层面探索实现气候中和的实践仍处于起步阶段。无论是转型方案设计，还是长期规划落实，都还没有标准化的方法或准确适用的参数。在实践中，对转型进行探索的园区不仅需要确定项目边界范围和短期目标，而且还需要制定长期的转型战略。本指南旨在: 为致力于大幅降低能耗与排放、分阶段实现园区气候中和转型的先行者提供指导信息。

在接下来的“如何实现园区气候中和？”一章中，我们对园区实践气候中和转型的必要步骤和阶段进行了总结阐述。为了使阐述更为详尽易懂，我们以一个虚拟园区为例，在每个步骤的介绍中补充了相关的经济、能源和排放方面的基本计算和分析。

如何实现园区气候中和?



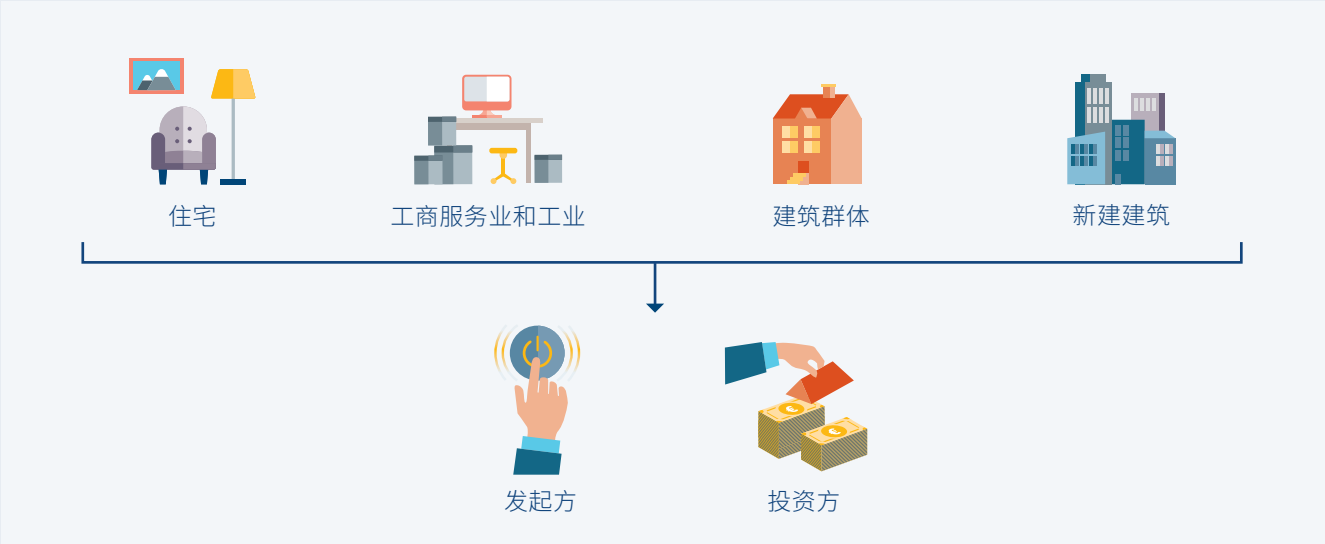
步骤一：
发起并组织协调利益相关方

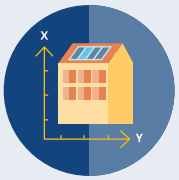
气候中和园区需要不同行业、不同专业的众多利益相关方共同参与。多方合作应基于跨部门跨学科的综合性规划、设计与管理，从而形成全新的合作模式。尤其在能源综合利用方面，会涉及到不同能源载体的交互作用，跨学科协作是必然的。此外，从需求侧（建筑领域和工业领域）入手，对能源供应进行更为合理的布局，也变得尤为重要。

践行气候中和园区的原动力来自于发起方的气候转型决议及其所确定的目标。后续加入的其他利益相关方也必须致力于实现这一共同目标。发起方和投资方组成了园区项目的核心团队。根据项目的规模和所有权结构，发起与投资也可以由同一家企业或机构来担任。单一利益相关方所担任的角色越多，协调沟通成本也就越低。所以，开发商往往会愿意寻找一个“核心客户”（有最大的稳定用能量的用户）或一个“核心资源供应方”（比如一个可以持续稳定提供大量工业余热的企业）。如果投资方同时也是园区系统的最终用户，那么实现气候中和的可能性就会大大增加。在实施过程中，如果并非由单一的利益相关方参与决策，则需要有一个面向各方的动员阶段。动员阶段中，应促使各利益相关方进行充分沟通，并最终达成必要的共识，例如，是否面向市场开放通用基础设施（如热网）的投资开发。一旦阐述清楚气候中和园区的整体发展理念与思路，就有可能吸引或找到仍然缺失的合作方。尽早吸纳利益相关方，并确保各方的共同承诺与积极参与，这对于落实后续工作非常有益。

在推动园区转型发展的过程中，除了核心团队，后续加入的利益相关方的共同参与必不可少，其中包括规划设计方、开发方、运营方以及终端用户。值得重视的是，应及早选定一个核心协调方作为气候中和园区项目的倡导者，持续在各方之间进行沟通与协调，以确保气候中和这一共同目标的顺利实现。在此，核心协调方需要汇总各利益相关方不同的专业知识、需求和要求。一个具有前瞻性的参与和协作方案可以大大增加各利益相关方之间的相互支持。

项目启动的相关部门和利益方





步骤二：
定义园区边界范围

在现有文献资料中，很难找到对于“园区”或者“能源园区”的明确定义。实际上，存在着许多不同的方法来把多个建筑或城市的某一区域定义为一个园区。园区的类别可以依据行政区域、基础设施（如交通线路或者大型功能性设施和机构）或社会环境来划分。最为常见的是，基于园区的面积大小以及园区内部建筑物的使用功能结构来定义园区。而能源系统平衡范围， 往往被用来定义能源园区。在这种情况下， 就特别需要对能源部门和终端用户群体进行区分。如何界定园区部门，在很大程度上取决于所涉及的利益相关方，这是因为，只有那些能够进行业务转型或者做出新的发展决策的部门，才有可能真正落实转型措施。

其次，必须对空间边界做出界定。这些边界可以是行政、建筑、自然或交通领域的边界。也就是说，空间边界的界定具有极大的灵活性。在某些情况下，周边的基础设施或区域，比如风电场，或是具有余热废热资源的大型工业区也可以被包括在内。主管土地使用规划和交通基础设施的各级地方政府部门是确定空间布局规划的关键协调方。

此外，还必须从全生命周期的角度考量园区的发展与建设。依据项目的界定范围，来决定是否只考虑运营阶段的能源需求，还是同时关注该园区建筑、基础设施和设备的全生命周期。随着建筑和技术设备的能效日益提高，隐含于材料和产品中的灰色能源和二氧化碳逐渐成为越来越重要的评判标准。对于生命周期存在着不同的划分。如果只考虑产品的生产阶段，也称“从摇篮到大门” (cradle-to-gate)； 如果考虑从产品生产到结束使用的完整过程，也称“从摇篮到坟墓”(cradle-to-grave)； 如果进一步通过回收、再利用等手段把材料和产品投入到一个新的生命周期中，就称其为“循环经济”(circular economy) 或“从摇篮到摇篮”(cradle-to-cradle)。建筑全生命周期的各个阶段如图2所示。

全生命周期各阶段概览

步骤三：
引入绿色与可持续金融

绿色金融是为园区项目提供融资以及确定气候中和相关评价指标的有益途径。它所包含的金融工具，比如绿色债券或绿色贷款，因其融资成本优势明显而变得越来越具有吸引力。此外，金融机构和金融企业受到日益严格的披露监管和报告法规的约束，与气候风险和减缓气候变化相关的披露已成为重要的市场声誉标准。将合适的金融方案（例如绿色债券、绿色贷款或驱动可持续发展的直接投资）与需要调整转型的能源系统进行匹配之前，应首先考量相应的金融框架，比如欧盟分类法。

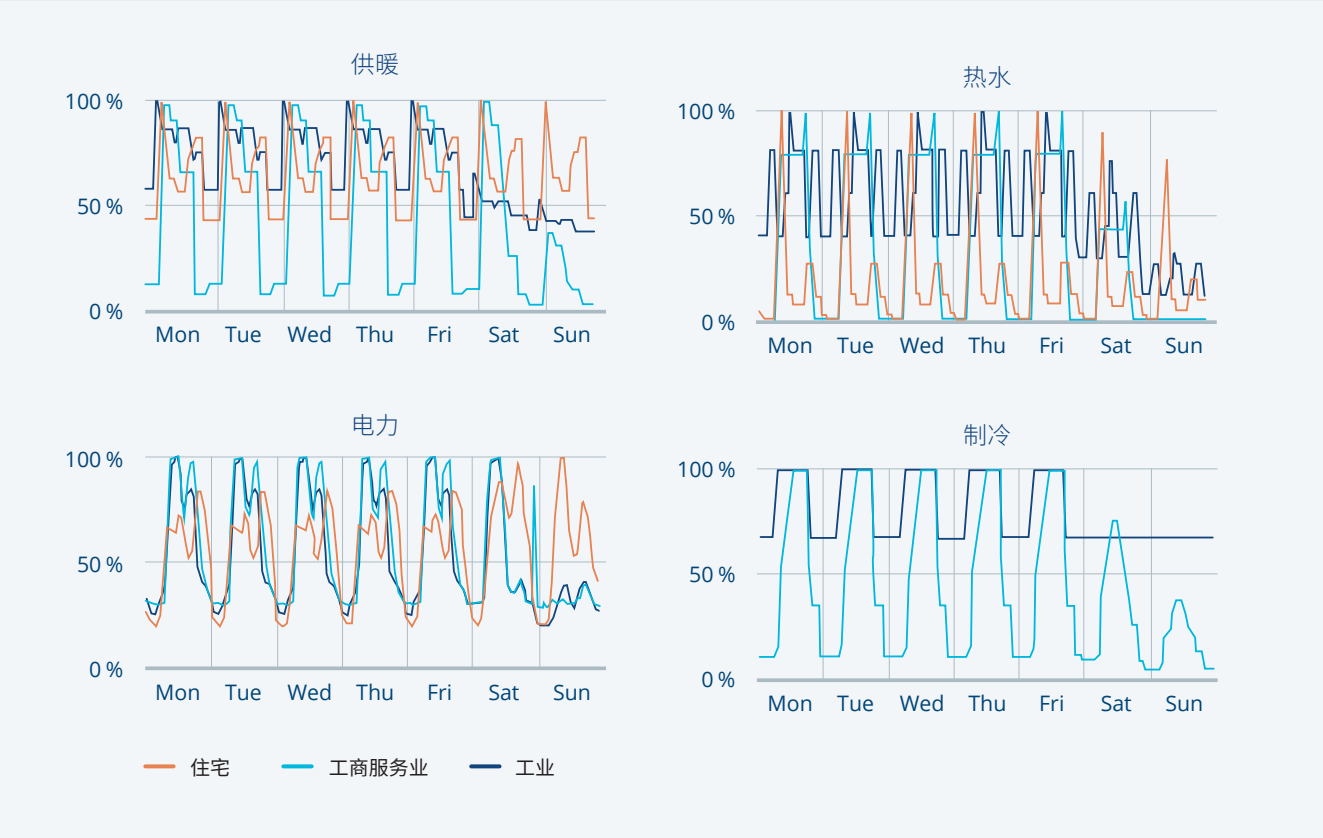
欧盟分类法框架下绿色金融工具选择的决策流程

步骤四：
制定能源方案之一 / – 分析能源需求特征

在分析园区整体的能源需求结构之前，核心团队应首先明确建筑领域的相关政策，为园区内的建筑建立一个合理的标准体系。后续参与项目的投资方也都必须遵照园区建筑标准的统一要求进行开发建设。此外，还应针对企业的行业特点和生产流程，尽早引入能源转型管理系统，不断向气候中和目标靠拢，实现能源转型。

园区能源需求的具体特征，以及不同类型能源需求（电力、供暖、制冷和交通）的时间分辨率应根据时间序列生成（例如每15分钟）。潜在的当地协同效应需要在这一步骤中尽早确定。其目的是，通过部门耦合，以及对需求侧特定负载情景的管理，在能源部门与终端用户部门之间调节需求和转移负荷。在这一步骤中，一般是根据需求情景来开展工作。从本步骤开始，必须整合应用数字化工具（比如模拟或数字孪生）。 这是因为，归一化的负荷曲线无法反映协同效应的复杂性以及所存在的优化潜力。

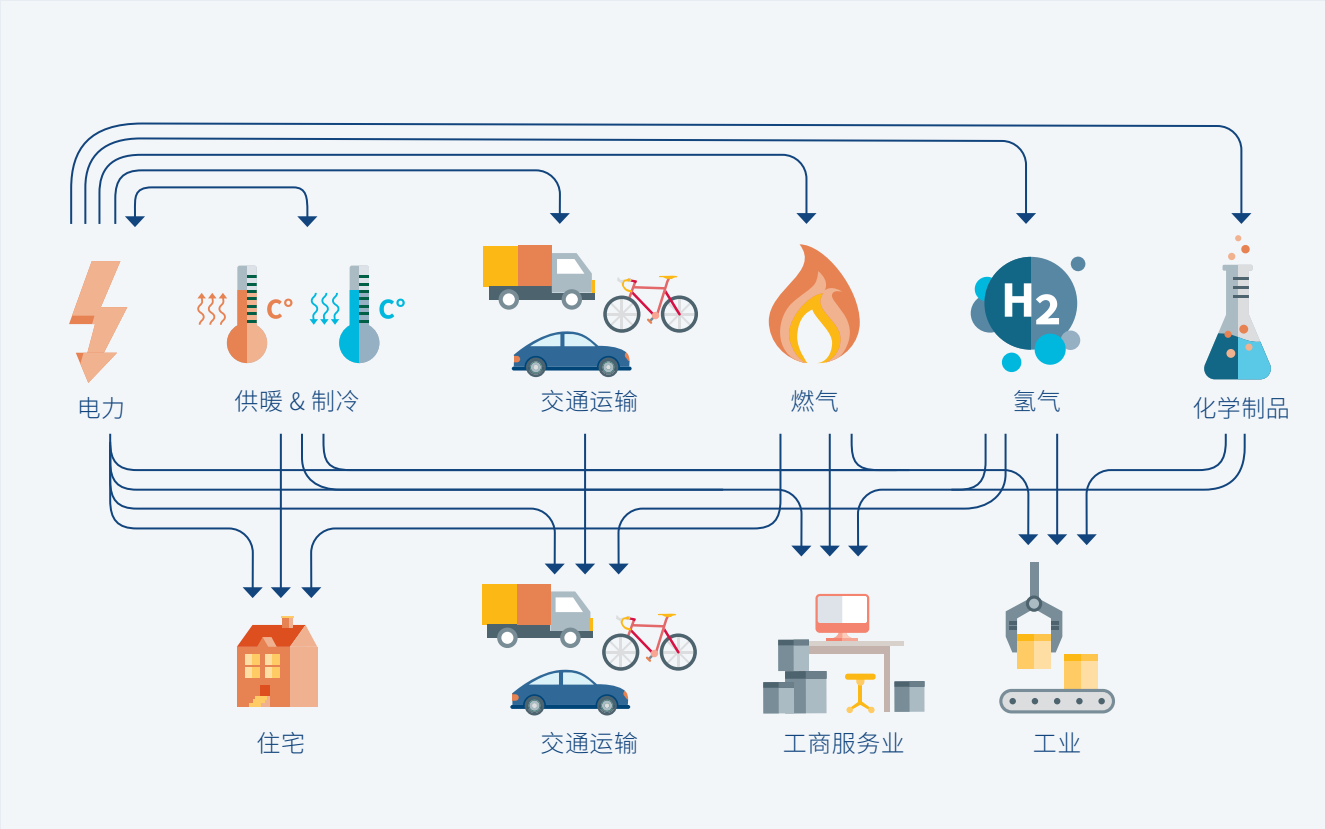
住宅、工商服务业和工业部门的供暖、热水、电力和制冷的负荷曲线



步骤五：
制定能源方案之二：
分析能源潜力

在对园区及其相应的能源需求特征进行分析后，园区能源供应是下一个应当进行考虑的重点。在这一步骤中，应确定并评估当地有利于实现气候中和的能源潜力。除园区内外近距离的潜力之外，还应考虑更大范围的周边区域，以确定更多的可选方案。在对能源潜力进行分析后，可以制定出不同的能源供应解决方案。能源潜力基本信息首先包括可用于安装光伏和光热组件的建筑屋面和空地面积，以及当地太阳能资源信息（太阳辐照度，日照量及日照小时数等）。重要潜力还包括区域内的风能、生物质能或地热能潜力等。　此外，还应特别关注余热废热潜力，如附近工业企业的工艺废热。

能源部门和终端使用部门的相互作用

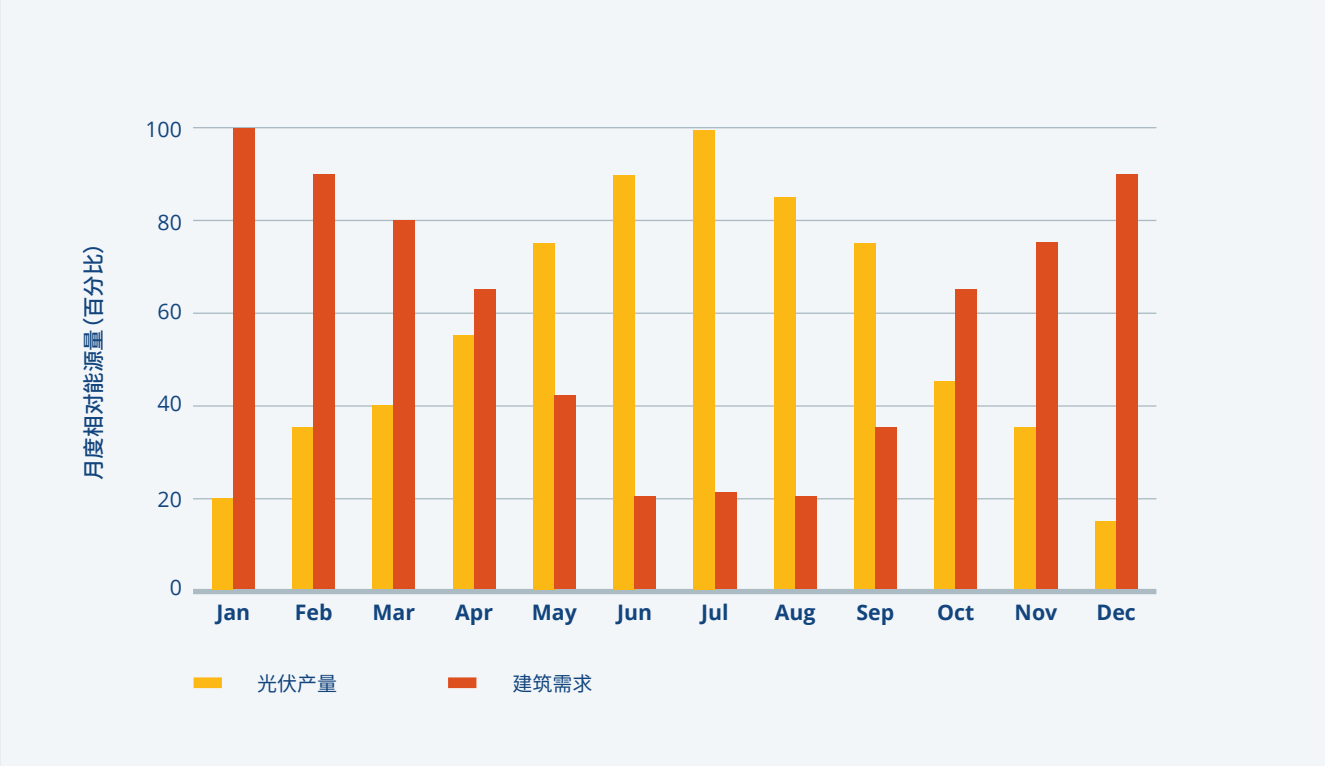


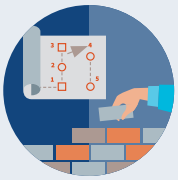
步骤六：
制定能源方案之三：
确定技术配置、规划不同情景

在这一步骤中，　应对能源系统配置进行设计供电、供暖和制冷技术的选择取决于能源需求（步骤四）以及可利用的气候中和潜力（步骤五）。在气候中和园区的实践中，部门耦合技术通常被用来优化需求侧管理及负载转移，从而提高整体系统效率。此外，通过储能技术，如储能电池和储热设备，能最大化地提高可再生能源的利用效率。而后者（储热）更有助于促成绿色电力与工业用热之间的部门耦合。

目前的发展显示，很难在短期内实现气候中和。一方面，区域性能源系统在很大程度上仍然依赖集中式的、以化石燃料为主的基础设施。另一方面，　它还取决于当地气候中和能源潜力的开发利用程度，　以及相关技术应用的经济可行性。因此，地方层级的规划需要在中央基础设施长期转型计划的支持下进行。此外，情景规划必须充分考虑到监管、社会经济、环境和技术等方面的外部变化与干扰。

月度相对建筑需求和潜在光伏发电量的比较



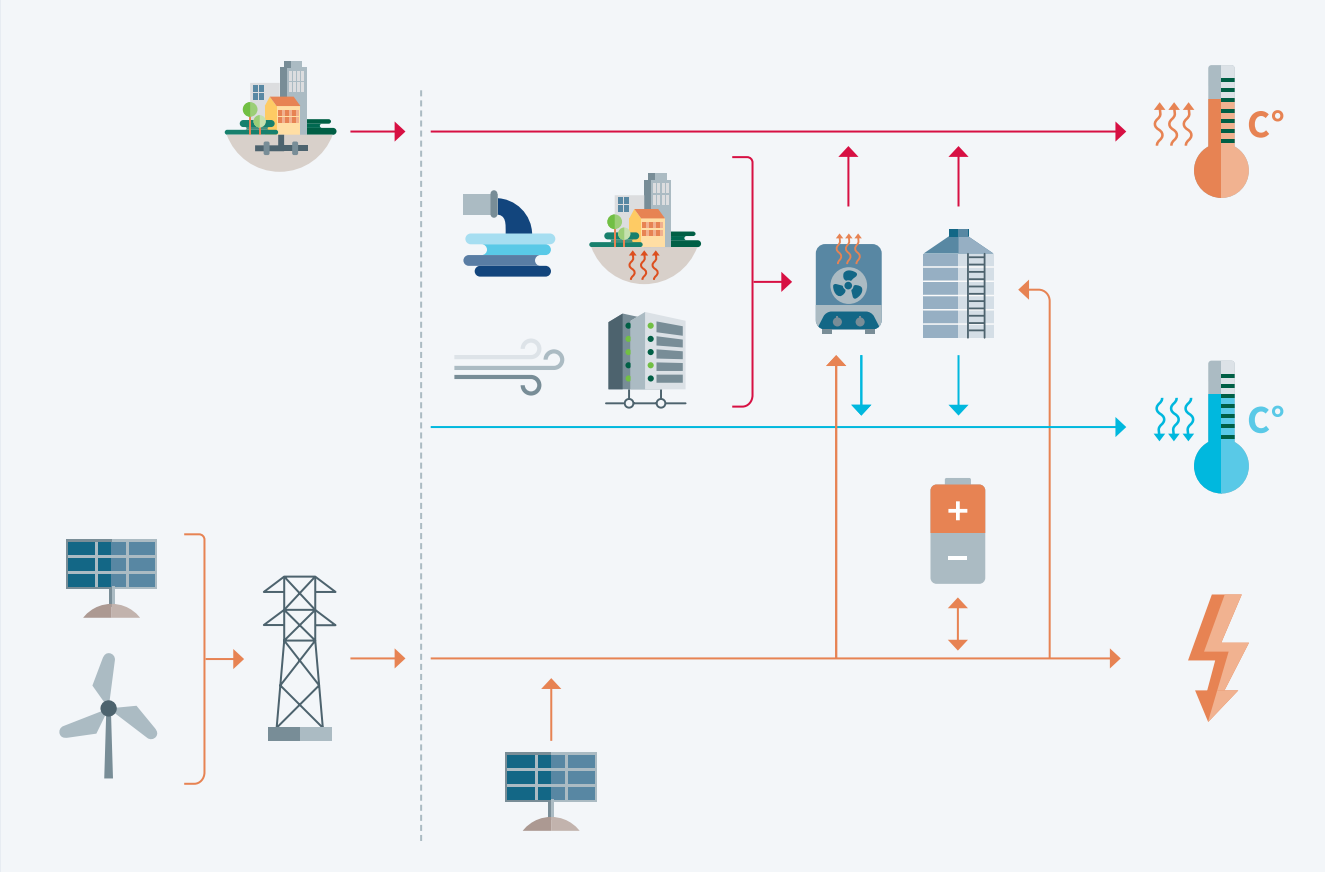


步骤七：
详细规划与实施落实

在这个步骤中，需要对已明确的基本方案予以细化和深化，使其得以具体落实和完整实施。通常情况下，这个阶段需要数年的时间。一般来讲，规划设计和建设实施要分别在基础设施层面和建筑层面上进行。这一阶段，基础设施和建筑的不同规划、设计、施工团队之间的交流互通是至关重要的。要达成团队间高效的沟通协作，就需要由经验丰富的项目管理者运用多种综合手段将不同专业、不同利益相关方紧密地联系起来。此外，　还应本着关注全生命周期（LCA）的原则，对设施与建筑在未来几十年可能发生的使用变更，以及对建筑拆解和材料再利用做出长期规划。

气候中和园区是一个全新的主题，并非所有的服务供应商都能在相关技术领域提供必要的专业知识。因此，从制定方案到细化设计，再到施工实施，都需要高水平的专业咨询支持。实施质量直接关系到提高能效和减少排放的实际效果。因此，前瞻性的全过程质量控制也对顺利实现预期目标起着关键作用。相关领域的企业网络可以在传播专业知识和实践经验方面提供支持，例如能源效率网络（EEN）。

“全电”方案的园区能源系统配置



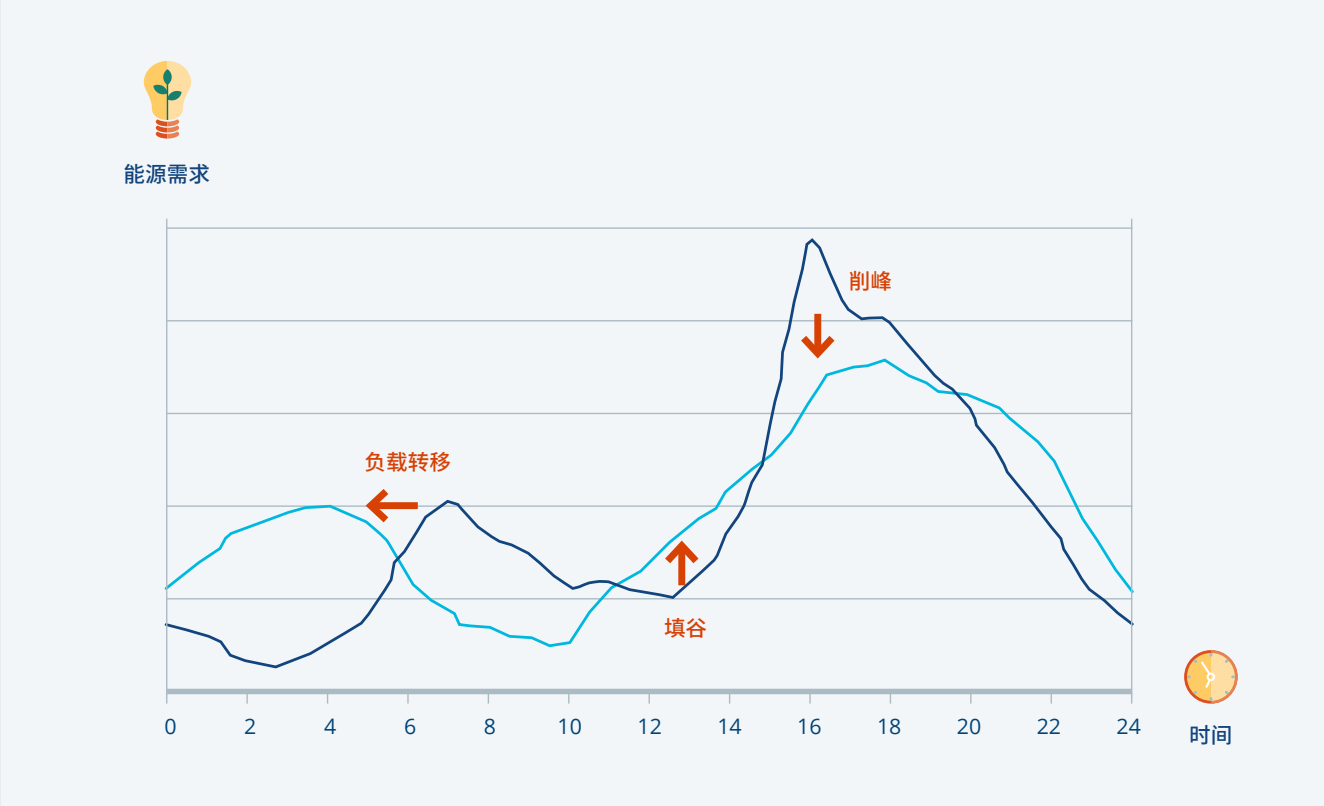
步骤八：
监测分析与优化运行

运行阶段是时间持续最长的一个阶段。运行的实际操作应尽可能接近或优于设计预期结果，从而验证系统的节能减排成效。低效运行的设备应及时得到排查和纠正，从而避免不必要的运行成本。监测、分析和优化是验证成效，并且及时发现和调整不合理系统配置的关键所在。

基于实时跟踪的控制系统是实现气候中和运行的一个重要部分。控制系统可以对部门耦合进行实时调整，从而将成本和温室气体排放降到最低。通过对控制系统的信号做出（自动）反应，来实现基础设施的优化使用，如电网、储能和能源供需互动。可以采用不同的需求侧管理策略，比如负载转移、填谷与削峰。

除了保证园区及其设施成功运行以外，还需要制定基础设施、设备以及材料使用后的再利用方案。模块化的设计、生产和施工不仅可以避免将材料、产品和设施锁定在特定的技术和单一的用途上，还可以避免环境危害和昂贵的废物处理费用。在自然资源日趋匮乏的今天，材料和产品的可回收性，以及建筑的可拆解与再利用性，正变得越来越重要。目前，建筑业在这一领域仍处于起步阶段，亟待转折与改变。

不同需求侧管理策略下的负荷曲线



步骤一：
发起并组织协调利益相关方

尽管每个气候中和园区有着各不相同的利益相关方，但不同类型园区中的重要角色相对来说具有高度相似性。根据利益相关方在整个流程中的地位和作用以及他们在发展决策中的影响力，可以将他们分为两类：在项目设计中起直接决定性作用的关键利益相关方（章节1.1）和众多在实施层面间接影响园区发展的次要利益相关方（章节 1.2）。图1对这些角色进行了概述。

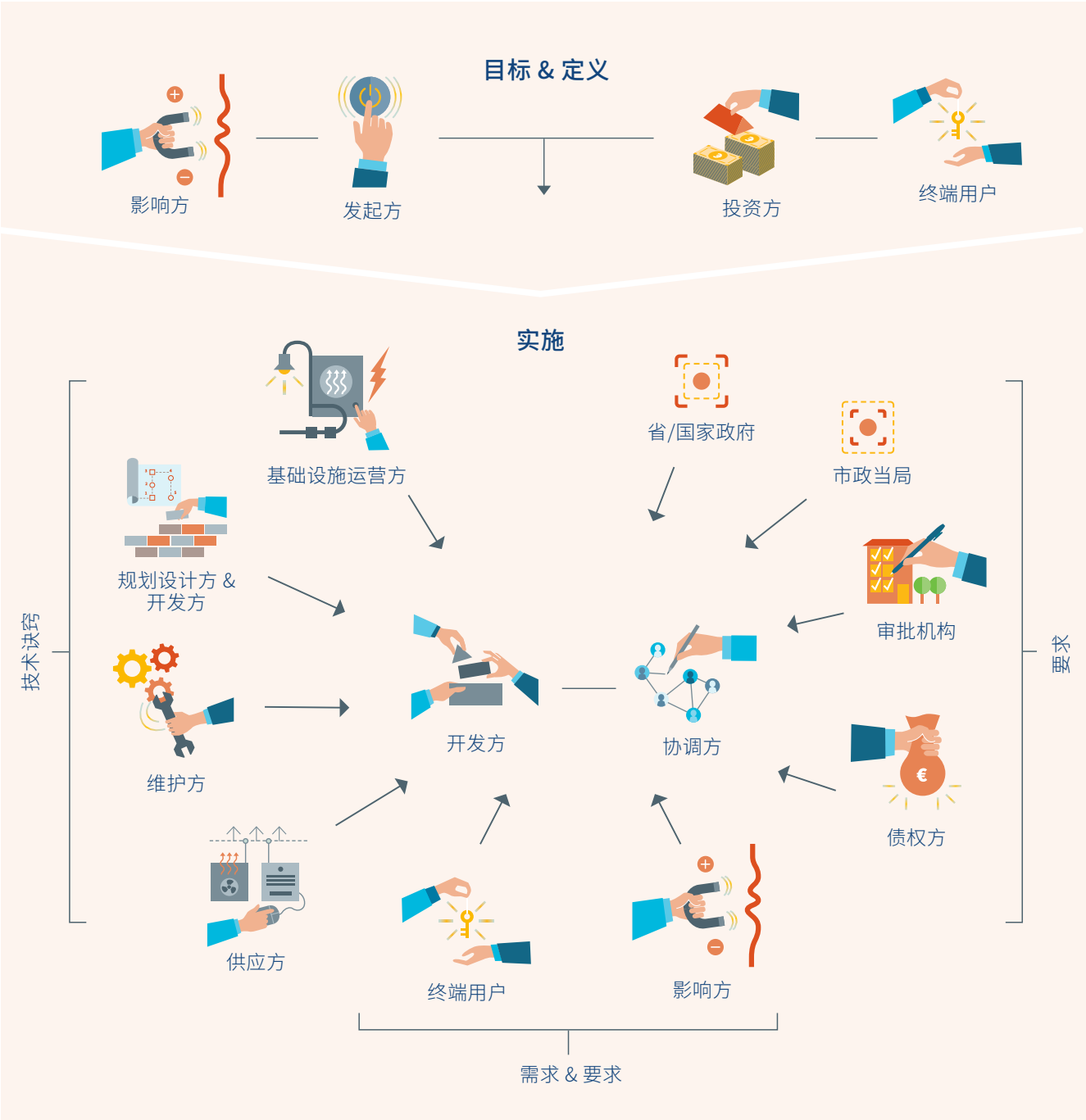


图1：园区内不同角色及其关系的概述

1.1 决策层面

最初决策层的两个关键角色包括发起方和投资方。发起方确定园区包括气候中和目标在内的各项决议目标。投资方为园区发展筹集必要的资金。理想情况下，这两个角色由一个利益相关方来担任。单一利益相关方所担任的角色越多，协调沟通成本也就越低，进而可以提高整个流程的效率。当然，这些角色也可以由多个投资方共同组成的团体来担任。

关键的利益相关方大多是从能源需求侧演变而来的，比如有着大量能源需求的建筑和工厂。这一角色也可以由能源服务公司（ESCO）或具有余热废热潜力的大型企业来担任，从而寻找潜在的客户群体。开发商往往会愿意寻求一个固定的“核心客户”（有最大的稳定用能量的用户）或一个“核心能源供应方”（比如一个可以持续稳定提供大量工业余热的企业），即一个具有重要经济与能源能力的单一利益相关方。如果投资方同时也是系统的最终用户，那么实现气候中和的可能性就会大大增加。

在成功组建核心团队后，应首先激励督促其他利益相关方共同实现以下几点：

- 对参与的各方进行动员
- 整合相关的专业知识与技术方案
- 通过涵盖更多的观点、专业知识以及其他相关要点来提高质量

初始决策层除了终端用户之外，还包括了邻近片区以及本地协会等有影响力的相关方。在这一方面，既有园区和新建园区之间存在着很大的差异。在建设项目开始时，终端用户尚不明确，因此用户需求更多是间接地形成的，例如由房地产市场来决定。

在实际执行过程中，如果园区不在一个单一的利益相关方的职权范围内，则需要有一个面向各方的动员阶段，从而吸纳其他必要的利益相关方。

成功的利益相关方管理的一个关键是来自园区发起方的稳定和长远的承诺。有时候如果发起方没有足够的资源与能力，一个具有良好沟通和调解能力的机构可以帮助园区长期的发展，并实施技术方案。长期的激励和承诺都是确保项目的连续性、利益相关方之间的执行水平的必要因素，同时也是将所有关键利益相关方联系在一起的重要因素。

1.2 执行层面

在执行层面上，合格的利益相关方还应担任其他几个角色。主要分为三类：技术专家团队（基础设施运营商、设计方、开发商和技术提供商）、提出需求方（地方政府、审批机构、资金方）和受影响群体（终端用户、本地协会）。

在投资方群体多元化的情况下，如私人企业和单独的房产业主，为了在整个项目期间保持较高的积极性和承诺，必须采取包容性的公关战略。动员与说服工作往往是充满困难的，在多元化的园区尤为如此。因此从执行单个的、相对不太复杂的项目部分开始，作为示范并呼吁大家加入能源转型运动中，可能是一个行之有效的手段。为了鼓励加入能源转型运动，这些示范的项目必须产生可见的效益来说服其他群体。这类好处可以是例如通过绿化老旧园区或升级改造标志性建筑来展示气候中和的种种好处。与建立热网相比，这些措施是可见的并且为该园区的个人行动创造了必要的动力。

如果各利益相关方之间没有一个交流对接的平台，建议由一个协调方从中推行倡导气候中和，并在利益相关各方之间进行协调调解。一旦目标存在冲突，协调方就可以作为调解人，从而确保该园区成功实现所设定的目标。一个具备前瞻性的参与规划可以大大地增加利益相关各方之间的整体支持程度。

启动园区发展

成功的利益相关方管理的一个关键是来自园区发起方的稳定和长远的承诺。有时候如果发起方没有足够的资源与能力，一个具有良好沟通和调解能力的机构可以帮助园区长期的发展，并实施技术方案。长期的激励和承诺都是确保项目的连续性、利益相关方之间的执行水平的必要因素，同时也是将所有关键利益相关方联系在一起的重要因素。

经验之谈：

在建设气候中和园区时，发起方应当意识到利益相关方群体的必要性、不同的角色职责以及他们对实现气候中和这一总体目标的实际贡献。在建设过程中共存在两个层面：决策层面和执行层面。所有参与的利益相关方都必须声明他们会为实现气候中和付诸行动这一意愿，并在整个过程中为实现这一目标做出具有建设性的贡献。

39

步骤二：
定义城区/园区边界范围

相关资料文献中并没有一个关于园区或者能源园区的明确定义。 实际上存在着不同的方法来定义多个建筑或城市的一部分作为一个园区。 园区的类别可以是由行政区域、基础设施(如交通线路或者大型医疗综合机构)或社会环境来划分。一个园区的定义通常是基于该园区的面积大小以及园区内部建筑物的使用结构来进行考量。能源平衡限制也被用来定义能源园区。

在本章节后文中可以找到对此更加详细的解释，尤其是对于定义能源园区或是园区整体能源概念至关重要的各个方面。在本指南中，“能源园区”一词可以理解为多个建筑群的局部区域，其中建筑和其他区域组件存在协同效应。考虑到这一点，本章将首先讨论能源园区的规模以及项目边界范围的定义（章节2.1）。然后将描述能源需求的特征（章节2.2）。在本章节最后（章节2.3）还将强调与园区边界范围定义相关的主题，即本地的能源转换与转换链。

2.1 能源园区的规模和边界范围限制的定义

如前文所述，相关资料文献中并没有一个关于园区或者能源园区的明确定义。这使得在早期阶段使用相关的关键性指标来描述建筑和区域作为一个园区的可能组成部分，并开始根据这些关键指标推导出对于气候中和园区合适的指标变得尤为重要。建筑和人口密度对于进一步的能源规划和方案设计尤其具有决定性意义。基于现有或规划区域的地区特征的重要参数及其定义可以在下面的表1和表2中找到。结构密度的定义部分来自德国工业标准（DIN标准），但也可以在国际上作为物理性定量标准应用在建筑群体上。

这些指标变量，尤其是结构密度指标，使得直接得出未来能源系统的最终形态成为可能。例如，容积率（FAR）可以用来直接确定理论上有多少屋顶表面可用于能源应用（不考虑任何上层建筑，如电梯和朝向）。为了更好地对结构密度进行分类，表3中提供了一些园区类型以及其典型的结构密度指标。Dettmar等人（2020）的分类和定义在此仅作例证，并不作为一个通用性的定义。根据这些案例的主要用途以及园区的各种设计可以清楚地表明，园区的结构形状和使用用途对一个园区能源系统具有决定性的影响。这一点将在下文中详细讨论。

利益相关方早期参与的重要性

目前已经有示范园区在探索实现气候中和的发展途径。工业和市政能源设施是这些示范项目的主要驱动力。所有这些项目都有一个共同的特点，即项目的利益相关各方在项目的早期阶段就被纳入其中，并因此在前期开展了可行性研究。从这些研究和试点项目中获得的经验对于最大限度利用可再生能源来说至关重要。

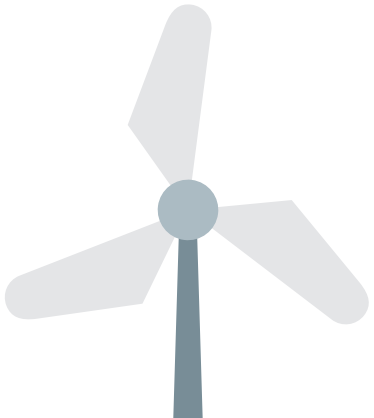
园区的现有项目和客户大多将碳中和而非气候中和作为目标。然而，由于气候中和与所有类型的温室气体排放高度相关，并且包括碳汇，因此在规划碳中和园区时应考虑到这种政治雄心。此外，在金融部门，所有的温室气体排放都被考虑用等价二氧化碳当量来计算。

类型	关键指标	单位
园区面积	开放空间面积	[公顷]
	交通区域面积	[公顷]
	建筑面积	[公顷]
人口统计	建筑数量	[ ]
	人口数量	[ ]
	雇员数量	[ ]
结构密度	总建筑面积 (GFA)	[平方米]
	容积率 (FAR)	[ ]
	建筑覆盖率 (BCR)	[ ]
	建筑体积	[立方米]

表1：园区边界范围限制的关键指标

结构密度	
总建筑面积 (GFA)	根据德国DIN 277-1:2005-02和DIN 277-2:2005-02标准，总建筑面积是指建筑物所有楼层的总面积之和。它的计算方法是将楼面面积乘以楼层数。总楼面面积是一个绝对值。
容积率 (FAR)	容积率，有时候也被称为建筑面积指数（FSI），是指建筑物的总建筑面积（GFA）和占地面积之间的比率。它通过考虑建筑的全部楼层来描述实际的结构密度。
建筑覆盖率 (BCR)	建筑覆盖率是指建筑面积与占地面积之间的比率，是一个简化的结构密度指标。
建筑体积	根据德国DIN 277-1标准，为确定房间总体积，总建筑面积需要乘以天花板高度。房间总体积是一个绝对值。

表2：结构密度解释定义



以上所提供的关键指标能够描述多个建筑物或整个园区的特征。然而，它们并没有明确划分出能够明确被定义为一个园区的指标规模（如园区面积或建筑数量达到怎样的规模）。因此，通常情况下，一个园区必须根据本地实际情况在空间上来进行划分。

然而，这种空间上的划分通常没有充分的考虑能源系统。相反，能源园区的能量和物质流的范围限制必须在进一步的步骤中才能得到。相关专业文献中对于城市层面的能源系统的定义和术语可以在这里拿来使用，并从城市层面转移到园区层面。

关于城市能源系统主题的研究对这一目的特别有帮助。根据Keirstead（2012）的说法，在此背景下的定义首先提供了Jaccard（2006）对能源系统的一般定义。他将能源系统定义为 “特定社会或经济中获取和使用能源的综合过程”。

这句话清楚地表明，一个能源系统，即使有自给自足的供应，也绝不仅限于一栋建筑、一个园区或一整个城市。生产和使用所需的产业链远远超出了一个城市的边界（例如，在亚洲生产光伏组件（然后再进口到欧洲进行组装使用））。Jaccard（2006）还表明，市场、相关机构和消费者行为会影响能源系统的规划和运作（“特定社会或经济”）。

这里可行的一种选择是纯粹的地理方法（“纯地理”），只考虑到行政边界内的所有产业技术。“地理加”的概念在“纯地理”的基础上包括能源流，可以通过合理的努力来进行跟踪（例如，从其他边界范围内进口电力）。Keirstead（2012）提供了第三种方法，称为“纯消费”，以居民活动作为指标而不是通过空间来划分。这种方法考虑到了一个城市居民的所有活动，活动的地点在这里并不重要。例如，一个度假胜地的能源消耗将被分配到度假者家乡的能源平衡计算当中。

Jaccard和Keirstead的理论表明，工艺流程也会影响园区以外能源平衡的评估（Jaccard, 2006; Keirstead, 2012）。为了量化这种影响，可以采用生命全周期评估（LCA）。LCA描述了一种定量方法，用于评估人类活动对环境的不同影响，并基于DIN EN ISO 14040进行了标准化。许多不同的参数可用于评估三个类别的环境影响：

- 能源需求（能源、一次能源、出口能源等。
- 全球变暖潜力（二氧化碳排放，以二氧化碳当量计算的全球变暖潜力）
- 其他环境影响（如淡水资源需求，酸化潜力）

德国标准DIN 15804定义了建筑产品的全生命周期分析，在该标准出台后，建筑或建筑的必要产品的总共四个生命周期阶段被区分开来。

住宅园区，含单户住宅和小型多户住宅，通常为1至3层，居住面积不超过260平方米	建筑覆盖率	0.12 – 0.17
	容积率	0.19 – 0.42
住宅园区，含有包含7至16个房间的大型公寓楼，建筑排列不规则且分散。	建筑覆盖率	0.13 – 0..17
	容积率	1.77 – 2.31
内城区，特征是混合性使用用途与高建筑密度。具体使用用途和特征因城市不同而存在很大的差异	建筑覆盖率	0.52 – 0.81
	容积率	1.17 – 2.05
商业园区，特点是包含单层建筑以及相邻或分离的2-3层办公和行政建筑。	建筑覆盖率	0.25 – 0.5
	容积率	0.4 – 0.6

表3：示范园区特征指标的平均值

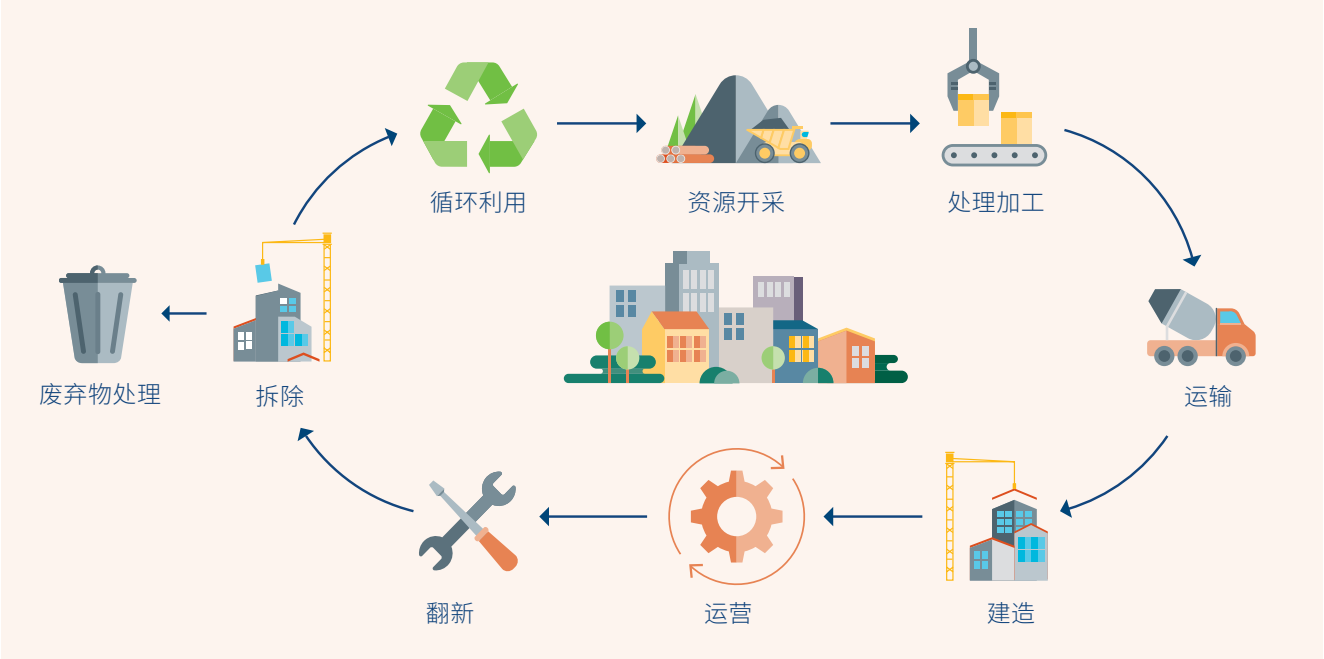


图2：全生命周期各阶段概览

1. 制造阶段：这包括所有可以归类到原材料及其提取、加工到最终产品和运输到施工现场的过程。例如，水泥生产包括对石灰石或粘土等原材料的提取和进一步加工的能源使用，以及对原材料的热处理，直至最终成品。

2. 施工阶段：施工阶段包括了所有与施工直接或间接相关的过程。例如将水泥进一步加工成混凝土（混凝土搅拌机的能源需求。

3. 使用阶段：所有确保建筑运行的过程在使用阶段一开始就已经确定，即电力和热力的供应。任何翻新改造也是使用阶段的一部分，这也与建筑材料息息相关。

4. 废弃阶段：生命周期的终点，包括所有用于拆除、废弃或回收的过程。

加上各阶段之间的运输和翻新，全生命周期可总结为如图2所示。

对不同生命周期阶段的定义使得界定能源平衡成为可能。一般情况下只考虑建筑或产品的使用阶段。对于建筑产品来说，建筑材料中所“约束”的能源（即从生产到投入使用所需要的能源）通常被称为 “灰色能源”，这种情况下通常需要考虑产品的生产阶段，因此也被称为 “从（产品的）摇篮到出口”。如果考虑到产品所有的生命周期阶段，则被称为 “从（产品的）摇篮到坟墓”。当产品（通过回收再利用等手段）被投入到一个新的生命周期中时，就会称其为“循环经济”或“从（产品的）摇篮到摇篮”。

应用全生命周期分析来评估园区和园区能源系统是具有市场前景的。然而可惜的是，全生命周期分析只在不同的项目阶段和所使用的产品组件方面提供指导，而没有进一步说明建筑或园区的能源平衡计算极限。一旦园区拥有一个复杂的产品组件供应链，那么如何确保它的可追溯性和透明度将成为一个主要挑战。

案例展示：荷兰 超循环庄园

荷兰政府的目标是到2050年彻底实现循环经济，中期目标是到2030年减少50%的原材料消耗。虽然很大一部分建筑和拆除垃圾已经作为道路材料进行了回收再利用，但是在其他方面，例如新建建筑物几乎没有使用回收材料。因此，建筑业需要进行突破性的重大创新来实现循环经济。这其中具有代表性的一个创新项目是位于Parkstad Limburg地区的Kerkrade超循环庄园。

在未来30年内，由于人口老龄化和年轻人向城市群迁移，Parkstad Limburg地区的人口预计将减少27%。因此，在20世纪60年代为解决住房短缺问题而建造的高层公寓楼将逐渐变得多余，尤其是它们已经不再符合当前对于居住舒适度的要求。Kerkrade超循环地产项目利用这样一栋10层高楼的材料，通过使用不同的回收技术建造单户试点住房，从而证明其可行性和可复制性。

使用回收材料建造这一过程并没有进行标准化，各个不同过程中一个主要区别是各利益相关方之间的交互协作。例如，建造以及建筑拆解解构公司需要从项目一开始就参与进来，因为建筑师需要根据现有的材料来设计新的建筑，这也就意味着设计规划的自由度相对较低。

该项目表明，使用高达95%的重复利用材料建造新的住房单元是可行的，尽管一定比例的新材料仍然是必要的。在三个试点建筑的建造过程中，测试了以下循环技术：

- 使用可回收材料的混凝土地基（其中新水泥占7%）
- 两栋房屋的主要承重结构直接从现有建筑上切割3D混凝土模块再利用。
- 第三栋房子的主要承重结构由使用可回收材料的混凝土制成（混凝土由骨料和水泥制成，结构墙新水泥使用占比为5%）
- 隔断墙和门框的直接再利用。
- 外墙是由砖块切下的部分、回收的混凝土和使用通过拆解建筑得到的碎石混凝土建造而成。
-

无论技术分解和回收水平如何，项目期间测试的所有再利用和回收策略在二氧化碳排放、材料中内含的（灰色）能源和节约材料方面都比传统建筑方法有着更好的表现。例如，与传统的混凝土建筑相比，隧道形状的三维混凝土模块的回收共降低了34%的二氧化碳排放、34%的内含（灰色）能源和95%的原材料。

每个建筑的材料护照是一个重要的工具，可以通过它来显示所使用材料的特点，以帮助后续的规划设计人员重新配置建筑材料。荷兰政府最近对为其建筑注册材料护照的开发商实行了税收优惠，并考虑将其作为所有新项目的强制性要求，力争在2050年前实现循环经济。

2.2 能源园区的能源需求特点

在对空间划分和系统边界进行了定义之后，能源需求的特征对于园区能源系统的总览来说是一个重要的出发点。从表4中可以得出以下需求的关键指标。

为了描述这些园区的能源使用特点，可以根据最终能源使用的形式来区分特定使用用途，或将其分配给特定的使用群体——部门。

为了避免不同部门概念的重叠，这里对最终使用部门和能源部门进行了区分。美国能源信息署将最终使用部门定义为住宅、工商服务业（CTS）、工业和交通运输业。然而，部门耦合的概念主要是指能源部门之间的协同作用。在更加广泛的定义中，部门耦合也适用于最终使用部门，从而发挥部门之间基础设施的协同作用。

能源部门最初通常可以根据园区大多数供电、供暖和制冷等能源形式来进行分类。然而可以很明显的观察出，这种划分必须始终在已进行了界定的园区的本地背景下进行考虑。供暖和制冷可以进一步按照温度等级和使用类型进行划分。其他的能源部门还包括交通运输和燃气基础设施，前提是在该园区存在这些部门。燃气一直以来主要指的是天然气，但从长远来看，氢气的占比逐渐提高亦或是氢能专用基础设施也是有可能的。交通运输

园区建设中的全生命周期评估

缺少对各个生命周期阶段的比较是推广全生命周期评估（LCA）的主要障碍。监管框架所应当提供的定义和明确的衡量标准在现阶段仍处于缺失的状态。由于产品的全生命周期主要是在规划和实施阶段来定位追踪，这个阶段需要一个清晰明确的信号，例如上游阶段的排放和影响，以及材料的回收、再利用和废弃处理。

资源开采和加工阶段：这里需要增加灰色能源数据的透明度和可用性。

施工阶段：需要气候中和建筑的定义和标准，以避免为每个项目重复地定义 “气候中和建筑”。

运营阶段：在这一阶段，温室气体排放已经可以得到准确的测量，相关排放应当出于税收和其他原因进行报告。一个可行的额外步骤是将更高的时间分辨率纳入运营产生的排放。这可以更充分地考虑中央基础设施的需求以及供应的安全性。

翻新阶段：到了这一阶段，再继续对运行阶段过度关注将不利于产品的改造翻新以及后续减少材料的投入，因此也不利于降低产品的灰色能源量。

回收和废弃处理阶段：产品模块化可以确保材料或产品在建筑亦或是园区的使用寿命结束后在另一个环节中被继续使用。

既是一个能源部门，也是一个使用部门。

电力和交通运输等能源部门之间的联系表明，原则上，电力部门几乎总是在部门耦合中发挥核心作用。这也反映在人们热议的 “电转X “概念中。X代表各种其他部门，例如，它们可以通过与电网的连接来满足自身的能源需求，同时在智能调节下提供灵活的电网服务，将它们与电力部门联系起来。这种电转X应用的例子是电转热、电转气或电转液。后者除了确定的能源部门外，还建立了相关部门与化学工业间的联系。然而，这些过程通常不直接与整个园区相关联，而是与以公司或集群为代表的个别终端用户相关联。

图3显示了能源部门和终端使用部门之间的各种相互作用。电转X技术在此发挥了关键作用，进一步强调了电力部门在地区发展中的重要性。各种相互依存的关系导致了地区开发商需要对一些重要问题作出答复。从这种复杂的相互作用中可以得出许多协同效应，这可以证明为这种整体观点所做的必要努力是合理的。

作为寻找这种协同作用的第一个指南，下图4基于Gobmaier等人（2007）的研究，按终端使用部门（住宅、工商服务业和工业）细分，显示了不同能源部门的参考负载曲线的示例。很明显，更加精准地考虑各个方面，比如供暖、生活热水制备和制冷，对于供暖部门是有帮助的。此外，不同的模式表明，如果时间模式不同，按使用部门对能源需求进行细分会有帮助。此外，不同的模式表明，如果能源需求不同，按使用部门划分可能会有所帮助。这样做可以使综合能源系统的协同作用显现出来。更深入的部门耦合可以进一步优化能源系统的运行。

类型	关键指标	单位
消耗量测量值	能源需求 最大负载	[千瓦时] [千瓦]
需求量计算值	规格需求/消耗	[千瓦时每平方米每年]
	规格需求/消耗	[千瓦时每人每年]
	规格需求/消耗	[千瓦时每工序]
	规格负载	[瓦每平方米]

表4：能源需求的关键指标

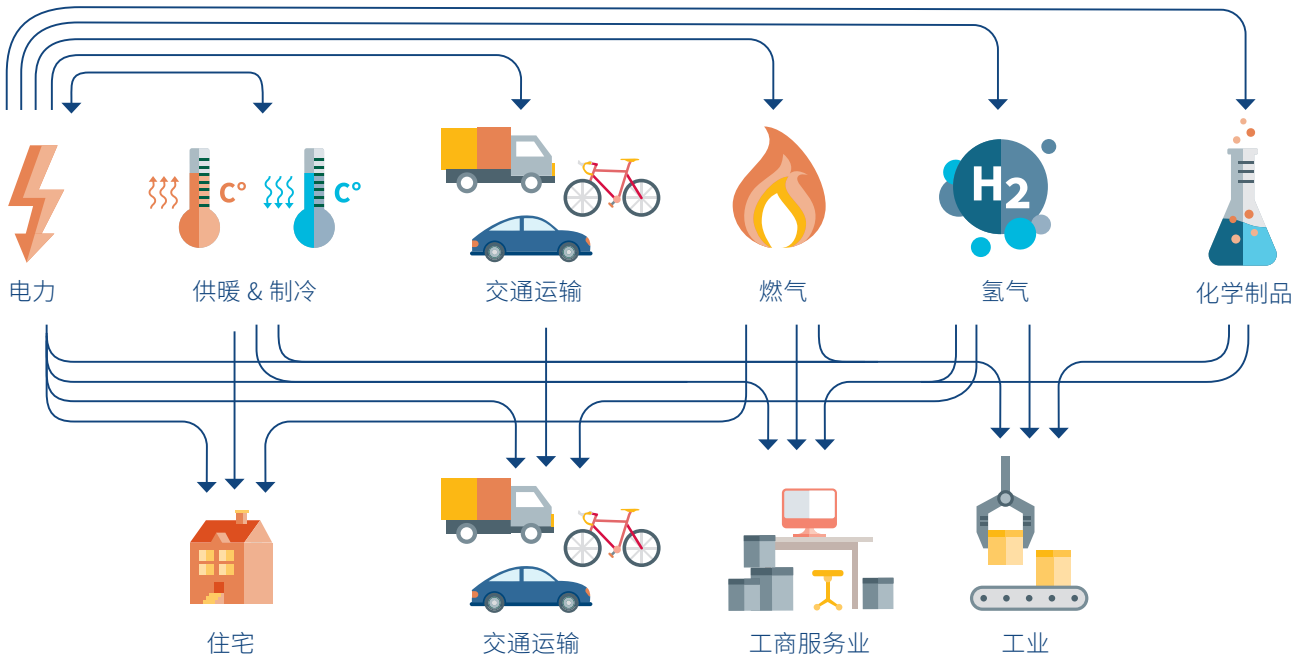
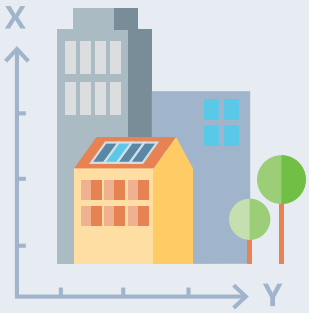


图3：能源部门和终端使用部门的相互作用

园区建设中的建模与仿真

不同能源部门、终端使用部门以及工业部门需要被纳入到整体规划中，使规划和建设发展密切同步。数字孪生可以通过数据汇总、模拟和后续优化来支持这一过程。同时，还需要考虑扩展性和模块化，以避免锁定，并为未知的事件、流程甚至技术创建互连。



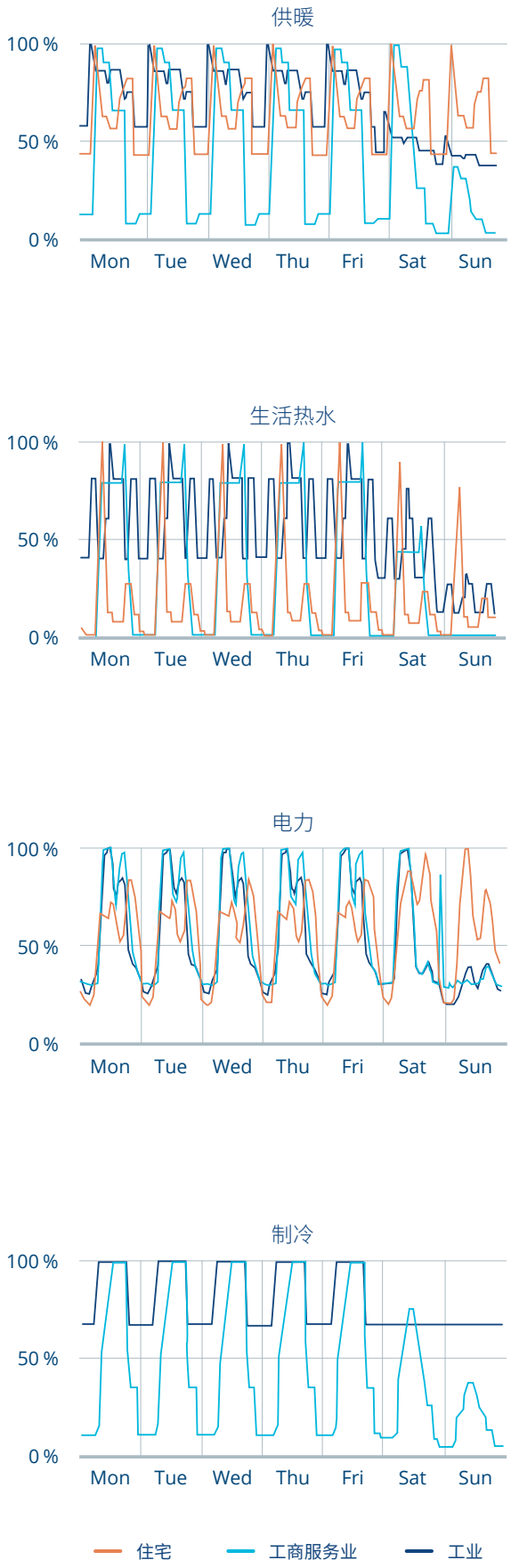


图4：住宅、工商服务业和工业部门的供暖、热水、电力和制冷的负荷曲线

2.3 能源园区的本地能源转换

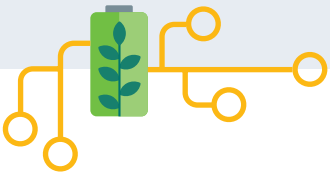
到目前为止，能源载体产业链上的能源转换是在园区之外进行的。综合性的园区规划正在将能源转换引入园区内部。

这已经清楚地表明，能源转换产业链可以远远超出本地园区的边界。然而，整合本地能源和本地能源转换对发展未来的园区项目至关重要。这里，“本地能源”或“本地能源转换”的概念是指一次能源在园区内进行转换。关于能源供应的关键指标可以从下列表5中得出：

如果将上一节关于本地生产的要求与实际数据进行比较，就会发现，由于可再生能源和消费模式对于天气的依赖性，本地的能源需求和生产并不总是重合的。一方面这清楚地表明，高能效园区需要储存能源，以便进行能源转移；另一方面，能源园区具有多模式的能源系统，即多个能源转换器，它们之间可以起到相互补充的作用。这一点将在步骤七和八中进一步具体说明。

缺少统一的监管框架

在实践中，监管框架是推广实施多模式能源系统从而实现气候中和转型的主要障碍。首先，缺乏定义、标准和技术要求阻碍了气候中和概念的发展。其次，与化石能源系统相比，目前对电网费、附加费和税收的规定并不利于部门耦合以及更加复杂的能源系统。各个部门诸如供暖、供电、供气和建筑部门在不同的政策层面（城市、区域、国家）进行监管，进一步加剧了立法和定价之间的矛盾问题。对于一个在能源和终端使用部门之间有着不同类型的能源转换的综合园区来说，修改监管框架是至关重要的。



类型	关键指标	单位
温室气体潜能	规格二氧化碳排放量	公斤二氧化碳当量每千瓦时
	规格二氧化碳排放量	公斤二氧化碳当量每工序
能源供应	能源生产	千瓦时每年
	最大发电量	千瓦
	规格发电量	千瓦时每平方米每年
	规格发电量	瓦每平方米
	一次能源系数	[ ]
能源供应成本	投入支出	欧元每千瓦
	运营支出	欧元每千瓦时

表5：本地能源转换的关键指标

案例展示：德国Meldorf北区和SmartQuart园区项目

一个（能源）园区可以自由选择其能耗计算平衡边界与限制。这一点在两个园区项目中得到了体现：Meldorf北区和SmartQuart园区。

Meldorf北区是德国Schleswig-Holstein石勒苏益格-荷尔斯泰因州的一个园区，一家印刷公司的余热废热为公共游泳池提供了热水加热。在这种最初的合作关系之后，又有14座公共建筑作为主要客户加入了扩大的热网。随后，又有90所房屋被接入热网。地面上的物理条件划定了能耗计算平衡边界，随着项目的进展，平衡边界从印刷厂的初始发热点和公共游泳池的散热器转移到更加广泛的区域，将附近的住宅区也包括了进去。该园区的重点是热力部门的能源供应，而没有在电力和交通运输部门进行更广泛的考量。各种附加设施，如太阳能热装置和季节性储热装置，已经逐步地添加进了现有的能源系统中。公共建筑作为固定客户，其热能需求为建立热网提供了必要的保证，这使得住宅区可以与现有的伙伴关系直接进行连接。

在另一个项目中，SmartQuart园区将多个园区虚拟地连接了起来。在这里，贝德堡（Bedburg）、凯泽斯（Kaisers-esch）以及埃森（Essen）市的一个新园区被虚拟地连接起来，一个园区的能源盈余被计入另一个园区。这三个园区都有各不相同的特点：在贝德堡有一个带蓄电和低排放热网的风力公园，在埃森有一个带蓄电的屋顶光伏系统，而在凯泽斯希则有一个与氢气生产设施和电网相结合的风力公园。所有园区都通过云端进行连接，确保三个地区共同实现气候中和的运行。电力部门是进一步应用于供热和移动部门的起点，因为它是一个实时测量的可再生能源生产来源。在各个利益相关方之中，综合能源公共事业部门和电网运营商集中控制和运营各类相关的技术设施。为了支持建设相关装置以及处理行政问题，各城市之间达成合作关系是必要的。在该项目中，各个小型企业作为组件供应商参与其中。

更多信息

经验之谈：

能源园区这个词并没有一个统一的定义或区分。一个园区的能耗计算平衡边界（无论是时间上的还是空间上的）必须在园区项目的启动阶段就确定下来。

从不同能源部门的不同轨迹来看，同时这些部门又是由各自使用部门的不同份额组成的，可以很明显地发现，园区内的部门耦合有助于优化过的能源系统的运行。如果能源消费越来越多地被可再生能源所覆盖，这就将变得尤为重要。因此，准确描述园区的能源需求是为园区开发最佳能源系统配置的关键步骤。

由于部门耦合和随后的电气化，气候中和园区的转换链正变得越来越复杂。此外，由于发电和需求之间缺乏同步性，增加了对能源存储和多模式能源系统的需求。本地能源基础设施，如热网和稳定的电力分配网络，可以为这些分散的多模式能源系统提供支持，因为它们的具体投资成本随着装置的大小而降低。

步骤三：
引入绿色与可持续金融

在确定了园区的能源计算平衡边界和行动领域后，考虑绿色融资方案是一个有益途径，因为项目开发商可以从有吸引力的融资方案中获益。 从金融工具和绿色金融分类法中得出的关键指标可以用来配置能源系统。章节3.1提供了绿色金融的政治背景，其主要的风险评估特征将在章节3.2中进行描述。 第3.3节解释了欧盟的分类标准，然后在章节3.4中介绍了具体的金融工具，接着在第3.5节中将介绍中国绿色金融的现状以及最后的章节3.6中对未来发展进行了预测。

3.1 简而言之：什么是“绿色金融”？

绿色金融始于《巴黎协定》第2.1c条，并在最近几年得到进一步明确。（European Union, 2016） 这也影响到了园区能源系统和可持续性方面的发展。此后，绿色金融这一话题的发展势头越来越好。资本流动必须转向可持续投资，以实现《巴黎协定》和联合国可持续发展目标（SDGs）所设定的气候目标。因此，金融体系在向低排放、资源节约和社会经济转型的过程中发挥着重要作用。除了 “可持续金融 “一词外，”绿色金融 “一词的使用也越来越多，前者包括绿色金融，但涵盖的范围更广。然而，这些术语并没有正式的定义，根据不同的背景和机构，它们经常被作为同义词使用，如表6所示。

3.2 绿色）金融的一个关键方面：评估风险和潜力

金融机构在评估其客户时越来越多地考虑到环境、社会和治理（ESG）风险，考虑哪些实际的和短暂的气候风险会对客户当前和未来的商业模式产生负面影响，以及由此可能产生的机会。此外，金融市场参与者（如金融机构、资产管理公司）越来越多地将气候相关方面的影响纳入其决策过程以及对公司和/或项目的评估。

风险主要有两种类型：物理气候风险和转型风险。物理风险是由于气候模式的事件（急性）或长期变化（慢性）而产生的风险，包括极端天气事件，如干旱、热带气旋、持续高温、海平面上升、火灾和生物多样

欧盟委员会	可持续金融是指在金融部门作出投资决定时考虑到环境、社会和治理（ESG）因素的过程，从而导致对可持续经济活动和项目的更长期投资。 在欧盟的政策背景下，可持续金融被理解为支持经济增长的金融，同时减少对环境的压力并考虑到社会和治理方面。(欧盟委员会OJ)
德国联邦政府	在金融市场上做决定时考虑到可持续性方面。除了气候和环境保护（绿色金融），可持续性也被理解为包括经济和社会方面（ESG方法）。(Die Bundesregierung, 2021)
中国人民银行	绿色金融是指通过贷款、私募股权基金、债券、股票和保险等金融服务，吸引私人资本投资绿色产业--如环境保护、节能和清洁能源--的一系列政策和制度安排。(o. A., 2021b)

表6：可持续金融和绿色金融的定义概述

理论与实践中的“绿色金融”

尽管“绿色金融”是一个能在多种场合下使用的热门词汇，但仍缺乏一个获得了广泛认可的确切定义。在我们工作坊上进行的民意调查结果显示，许多人都听说过这一个词，但是，他们不一定会使用或应用与绿色金融有关的工具（见下文的例子）或了解相关要求（例如，对公司的可持续报告要求）。此外，欧盟的行动计划及其工具到目前为止还没有完全涉及到每个公司，因此建立对该主题及其应用的广泛理解变得更加重要。

性丧失。转型风险是由向低碳经济转型过程中出现的政治、法律、技术和特定市场变化引起的。(Bloomberg, 2017)

对于寻求融资的公司来说，这意味着对披露气候相关信息的要求提高了，而且融资方对相关项目的承诺也增加了。出于这个原因，有必要在早期阶段考虑潜在的融资条件，并将其纳入规划过程。

越来越多的金融系统代表看到自己通过以下传输渠道在向气候中立性的转变中发挥着更积极的作用：风险管理、资本成本、风险暴露、提供流动性和溢出效应。

一些法规和政策决定推动了这一发展。2019年12月，欧盟委员会公布了绿色新政--一项发展战略，旨在使欧洲在2050年前成为第一个气候中和的大陆。（欧盟委员会）除了金融之外，建筑、能源生产、能源效率和可持续交通等都作为支持要素出现在绿色新政中。

此外，欧盟委员会在2018年春季发布了一份重要文件：《可持续发展融资行动计划》。该行动计划确定了实施可持续金融所需的三个主要目标：

1. 将资本流向可持续投资，以实现可持续和包容性增

2. 管理因气候变化、资源匮乏、环境退化和社会问题而产生的金融风险

3. 促进金融和经济活动的透明度和长期性。

为了实现这些目标并制定实施建议，欧盟成立了可持续金融技术专家组（TEG），汇集了来自不同学科的专家。专家们在2020年春天完成了工作，专家的建议也已经转化为立法。

众多的行动表明，可持续金融已经成为可持续发展转型的核心要素，银行和实体经济不应再忽视它。

3.3 欧盟分类法

欧盟分类法是实现这些气候目标的一个基本工具。它是一个环境友好型可持续性经济活动的分类系统。“可持续”和“绿色”这两个词一直有着不同的解释，为所谓的 “漂绿 “提供了空间。基于科学发现的环境友好型可持续经济活动的统一定义在所有经济参与者中形成了共同的理解，形成了公平竞争，最重要的是，为投资者提供了确定性。欧盟的分类法对哪些经济活动需要被认为是环境可持续的提供了一个共同的理解。重要的是要注意，它的目的不是要支配或判断投资。不符合分类法的项目或公司仍然可以获得资金，不应该被视为“棕色”的活动和/或公司。其主要的目的是：

- 让投资者放心，宣布为绿色的金融产品符合标准化的可持续发展标准，以及
- 提高对金融产品的环境影响的认识。

欧盟分类法的具体方法

欧盟的分类法是根据欧盟的六个环境目标制定的。

1. 缓解气候变化

2. 适应气候变化

3. 水和海洋资源的可持续利用和保护

4. 向循环经济过渡

5. 污染的预防和控制

6. 保护健康的生态系统

一个经济活动要被归类为环境友好型可持续性发展（根据欧盟的分类法），必须满足表7中列出的四个关键条件。

到目前为止，只对目标1（减缓气候变化）和目标2（适应气候变化）详细阐述了这些标准。如果是一个复杂的项目，如一个地区，或一个有多个部门和活动领域的公司，所有的经济活动都要单独考虑，并在评估结束后进行汇总。

欧盟分类法的应用

根据欧盟分类法条例，以下利益相关方需要应用欧盟分类法：

欧盟分类法的评估方案

相关信息：在评估一项经济活动时，必须依次完成四个条件（见表7）。如果该活动不满足一个条件，它必须被归类为 “不符合分类标准”。只有在所有四个条件都得到满足之后，一项经济活动才被认为是符合欧盟分类法的。然而，不符合标准并不意味着不能使用绿色金融产品。

- 向欧盟提供金融产品的金融市场参与者
- 根据《非财务报告指令》需要进行非财务申报的大型公司
- 欧盟成员国

非财务报告指令（NFRD）或企业可持续发展报告指令（CSRD）未涵盖的公司也可以使用欧盟分类法，以帮助制定其可持续发展战略，并从绿色金融产品所提供的低成本融资中获益。另一个动机可能是将分类标准的合规性用于营销目的，以吸引投资者。

金融市场参与者和大公司必须披露与环境可持续经济活动相关的销售收入、资本支出（CAPEX）和运营支出（OPEX）的比例。如果金融产品的广告具有环境特征和特点，分销机构应根据欧盟的分类标准，说明金融产品的基础资产和代表环境可持续经济活动的程度。欧盟成员国必须在未来的国家措施中参考欧盟的分类法，以促进环境可持续的金融产品。

3.4 可持续金融解决方案

在这些政治和社会发展的背景下，金融市场上出现了一些可持续金融产品。这些产品以传统的融资机制为基础，并通过纳入可持续性标准加以补充。

正如已经提到的，不符合可持续性标准的项目并没有被这些法规（如分类法规或非财务报告指令）明确排除在融资之外。可持续金融的目的是使经济向更可持续的方向转型，这包括促进那些尚未达到今天的标准，但已经设定了雄心勃勃的目标，要在某一日期达到这种标准的经济活动和公司。用禁令和严格的资金冻结来实现转型是不可能顺利和有效的。政策制定者和金融部门的参与者都意识到这个事实。

可持续的金融产品

在金融市场上，有股权融资和债务融资的基本区别。股权融资主要是指通过出售公司股份（股票）进行融资。在可持续金融领域，股票作为一种金融产品，没有任何区别。有兴趣的投资者只是在他们的投资决策中包括了关于基本商业模式的额外信息。而债务融资则是指债务工具的销售。作为对收到的贷款的回报，必须向债权人支付利息（以及根据个别规定的付款计划支付全部借款金额）。这种金融产品的例子是贷款和债券。

实质性贡献	经济活动对实现六项环境目标中的一项或多项目标做出了实质性贡献。。
无重大危害(DNSH)	经济活动不会对六个环境目标中的一个或多个目标造成重大危害。
最低社会保障措施	经济活动符合既定的最低社会保障措施(经合组织跨国企业准则和联合国商业与人权指导原则,包括国际劳工组织的核心劳工标准和国际人权法案)。
符合技术筛选标准	经济活动符合相应环境目标的技术筛选标准。

表7:欧盟分类法的关键条件

可持续金融标准

即使存在公认的可持续金融产品（如绿色债券、社会债券、与可持续性挂钩的债券）的国际程序指南，它们在个别情况下的结构也会有所不同。

绿色债券原则

ICMA绿色债券原则（GBP）是发行绿色债券的自愿准则。它们旨在通过透明度、披露和报告准则促进绿色债券市场的诚信。它们旨在帮助投资者，确保提供必要的信息来评估和评价发行的环境影响。(International Capital Market Association, 2020)

该计划的四个核心部分是收益的使用、项目评估和选择的过程、收益的管理以及最后的报告。

气候债券标准

气候债券标准由气候债券倡议组织（CBI）制定，是全球使用和认可的绿色债券发行的标准。除了坚实的绿色债券框架、报告要求以及详细的支出和债务工具定义之外，CBI还提供了一个气候债券认证计划，由第三方核查机构进行。该认证为 “发行人和投资者提供了保证，即绿色债务产品符合全球主要司法管辖区的标签要求，是以科学为基础的，并与《巴黎气候协定》的目标相一致，将升温限制在2度以下”。（气候债券倡议）

绿色金融产品，包括贷款和债券，可以区分为 “绿色“或 “可持续性相关”。这两个术语指的是金融资源的使用。至于绿色债券，发行人必须确保融资与提供确定的生态效益的CAPEX相匹配。资金可用于被定义为 “绿色项目 “的各种项目类别（International Capital Market Association, 2021），如可再生能源、清洁运输或可持续水管理，这些项目具有环境效益并符合特定的环境目标。与可持续性挂钩的债券为发行人提供了将债券的发行与透明的可持续性标准相联系的可能性。债券资金可用于一般的企业融资，与绿色债券相比，不指定用于特定目的。积极/消极的可持续发展是根据与可持续发展绩效目标相关的可衡量的、实质性的和雄心勃勃的关键绩效指标来评估的。实现或不实现定义的可持续发展目标会影响债券的财务特征。

展示案例:德国柏林的Europaviertel

一个专注于可持续发展和数字应用的新园区正在靠近柏林中央火车站的地方建设。这个项目的特殊之处在于，除了单一的大型投资者之外，还基于绿色债券进行了融资。绿色债券计划是由巴登-符腾堡州的地区性国家银行LBBW组织的。

要纳入绿色债券的范围，必须满足欧盟的分类标准。最终能源需求、二氧化碳排放、所有生命周期的废物处理等，都被认为是必要的绩效指标。这种方法导致了一些创新，例如通过铁路而不是公路运输来提供建筑材料。关于数据收集，德国可持续建筑委员会(DGNB)的认证很有帮助，因为许多性能指标已经在那里收集和调整。
该园区是一个生活、商业和办公的混合区，其土地已从以前的铁路用地转变为现在的土地。建筑标准KfW-55(节能建筑)适用，热能通过区域供热系统和多个分散的热电联产发电站提供。

随着房地产市场对可持续建筑需求的增加，可持续性和数字化是项目开发商的关键行动领域。同时，银行和投资者正在评估他们的投资组合和可持续性，以符合ESG和欧盟分类标准，避免搁浅的资产，这给市场带来了新的融资工具。

更多信息
(德语版本)

3.5 中国的可持续金融

作为世界上最大的经济体之一，中国在全球气候变化方面发挥着重要作用。几年前，中国就已经采取措施应对其城市和地区的高度空气污染。

因此，促进绿色金融的动机并不像欧洲那样产生于《巴黎气候协定》。相反，它是来自于改善空气质量的实际需要。然而，自2020年9月以来，二氧化碳排放也发挥了重要作用。当时，习主席宣布中国的目标是在2060年达到碳中和，在2030年实现碳达峰。

监管框架的发展

中国在绿色金融方面已经有了多年的经验，并经常在可持续金融数量的统计中处于领先地位。这一方面得益于中国中央政府对中国市场的规划，包括资金流动，另一方面也是由于中国自己对“绿色”的定义比欧盟的定义更加宽泛。

有几项准则是为了引导资金流向绿色项目，防止高污染项目（由中国政府定义）。这些准则包括《绿色信贷政策》（2007年）、《绿色信贷指南》（2012年）和中国银监会《关于实施绿色信贷关键绩效指标的通知》（2014年）。最后，在2016年，中国政府发布了《建立绿色金融体系的指导意见》。

《绿色债券认可项目目录》（2021年版）代表了中国的分类法，定义了哪些项目和行业被认为是绿色的。在2020年修订之前，有三个不同的国家标准，由于不一致，在国际投资者中造成不确定性。

在欧洲层面，首要目标是实现经济转型，使其沿着一条能够使欧洲大陆在2050年实现气候中和的道路前进，而不违反其他环境目标。在修订之前，《绿色目录》的目标是加强宣布为“绿色”的行业，并防止污染。因此，该目录代表了一个被认为是绿色本身的行业和项目的清单。

中国在国际上的合作

近年来，中国政府与其他国际倡议之间的合作有所增加，其中许多倡议旨在协调标准，并寻求个别努力之间的协同作用。这些合作包括：

- 共同主持G20绿色金融研究小组（2016-2018年）
- 作为创始成员参与绿色金融体系网络（NGFS）（2017年-至今）
- 中国-英国经济和金融对话
- 中国人民银行加入国际可持续金融平台（IPSF）（2019年-至今）

这一发展表明，中国对一个相互关联的绿色金融监管框架很感兴趣，国际投资者通常对其有信心。

绿色债券/绿色贷款市场

在已公布的图表中，中国多次位居绿色债券发行国的榜首。中国也经常被称为绿色金融领域的领先国家。值得一提的是，绿色的定义和对绿色金融产品的其他要求对这些产品的使用程度具有决定性作用。一个松散的、容易实现的定义，以及自愿报告和很少证明收益如何被使用，可能会导致这个市场的活动普遍增加。

尽管绿色目录已经稍作修改，标准也变得更加严格，但在解释图表时，重要的是了解截至2021年7月适用的标准。如上所述，如果项目和公司活跃在被定义为绿色的领域，则被视为绿色。直到2021年7月，这也包括对化石燃料的有效利用。同样，根据这些标准，绿色债券收益的50%可以作为运营资本（OPEX），其具体用途无需证明。同样，对于资金的使用情况也没有一致的披露要求。自2016年以来，中国一直是全球最大的绿色债券发行方之一。同时，中国的绿色债券中只有一半符合广泛认可的CBI标准。（Climate Bonds Initiative & SynTao Green Finance, 2020）在2020年，由于全球疫情的影响，数量自2015年以来首次出现下降。

在过去，中国的大多数绿色债券是由国家管理的银行发行的。尽管一段时间以来，非金融企业在发行人中的份额急剧上升，但绿色债券的发行特点是公共部门非常强大。从收益的使用情况来看，很明显，通过绿色债券筹集的资金主要用于清洁交通、清洁能源和污染防治等部门。

与绿色债券一样，在过去几年中，绿色贷款的发展也非常积极。绿色贷款的年增长率约为14%，明显高于传统贷款的增长率。这是因为有大量的补贴和激励措施。中国政府提供了许多支持性措施，如将绿色金融表现纳入银行的宏观审慎评估，地方政府的利率补贴，政府促销和能力建设行动，等等。这些措施确保了强劲的增长。而且，尽管绿色贷款的发行量很大，但其质量并没有因为这种增长而受到影响（例如，不良贷款率一直保持不变）。

3.6 绿色金融的未来

本小节展示了可持续金融的发展势头良好。各国政府正日益确保为该领域的进一步发展奠定良好的基础：明确的目标、战略、标准和稳定的监管框架。但金融部门本身也变得更加积极主动。相关金融部门已经从等待和观望的态度转变为更加积极主动的态度，并希望帮助塑造和定义发展。

可以预见的是，中国政府将继续使其国家标准与国际适用的原则和标准相协调。《绿色目录》的修订是朝着这个方向迈出的第一步和重要一步。中国对各种国际平台和工作组的参与表明，这个过程还没有完成，接下来会有进一步的调整。

2021年7月6日，欧盟委员会提出了其向可持续经济转型的融资战略。该战略建立在《可持续发展融资行动计划》的基础上，并专门讨论了在COVID-19大流行病的背景下经济向进一步可持续性过渡的问题，特别强调了这样一个事实：通往进一步可持续性的道路也需要投资，为转型活动提供资金。这种必要性对于长期目标来说非常重要，因为这类经济活动在旧版本的分类法中尚未得到充分体现。

欧盟委员会还宣布，现有的欧盟分类法将被扩大。例如，能源部门的标准将被调整，分类法将被扩大到包括农业部门。该战略还指出，到2022年初，欧盟其他四个气候目标（水、循环经济、污染防治和生物多样性）的技术评估标准将被制定。同时，将发表一份关于潜在的社会分类法的报告。欧盟将为可持续金融产品制定更多的标签和标准，以防止洗绿，并在投资者中创造更多的信任。除了作为黄金标准的绿色债券标准外，还设想了更多的过渡性或与可持续性相关的债券标签。

德国联邦政府也在2021年5月发布了自己的可持续金融战略（Die Bundesregierung, 2021）。该战略是基于可持续金融咨询委员会的建议而制定的。联邦政府打算利用这一战略将德国定位为可持续金融领域的一个领先中心。拟议的措施包括投资产品的可持续发展红绿灯系统，加强绿色债券，提高联邦拥有的资本投资的透明度和加强企业报告。

这种转变将影响到的不仅仅是大型个体和内在动机的公司。ESG标准将在未来的融资中发挥越来越重要的作用，每个利益相关者都应该及时解决这个问题。最后，这个标准不应该被视为障碍和困难，而应该被视为一个机会。从本质上讲，每个人都应该在充分解决气候风险方面有自己的内在利益。可持续的金融产品为资助向可持续经济的过渡提供了解决方案。

经验之谈：

对风险和机遇的分析构成了(绿色)金融的核心。绿色金融使确定并评估环境和社会以及治理标准成为可能。到目前为止，政策制定者是就“绿色金融”这个抽象的、总体性的话题进行交流的决定性力量。这对于中国和欧盟都同样适用，尽管中国的绿色债券市场因其更广泛的定义而更加庞大。另外，通过新的立法计划(如欧盟的分类法)或私人倡议(如气候债券的评估)，这些工具正变得更加标准化和更具有可比性。时至今日，许多绿色金融工具和产品已经问世，而且金融数量也在不断增加。因此金融业者越来越多地看到销售绿色金融产品的好处，而公司则通过间接法规(如投资披露)受“绿色”原则约束。

步骤四：
制定能源方案之一 – 分析能源需求特征

建筑物和它们各自的用途构成了园区能源需求的基础。建筑物在能源使用方面的质量和模式对园区的能源供应具有决定性意义。建筑物和用户可以被理解为其最小的单位，在这个单位内有不同的能源分配和转换的可能性。本章首先对四个最终使用部门的最终能源使用情况进行了概述（章节4.1），然后简要介绍了地区电力需求领域的发展（章节4.2）。建筑物的能源需求（章节4.3）成为焦点，最后再考虑地区内建筑物之间的协同作用（章节4.4）。

4.1 各部门的能源使用情况

图5显示了基于德国2019年数据的四个终端能源消费部门的分布情况（AG Energiebilanzen e.V. (AGEB)，2020）。这些分布表明，对终端使用部门的分类代表了根本不同的能源使用模式和相应的能源载体。虽然住宅部门的终端能源使用显示了非常大的热能消耗份额，以满足供暖和生活热水的需求，但其他部门显示了较大的机械能源份额，特别是工业部门，对工艺用热的需求很高。工业部门中第一产业所占比例较高导致其对于工艺用热的需求远高于机械能源。与德国相比，在中国还必须考虑到不同气候区之间的区别，并且所有用户群体对于制冷的需求都非常高。即使是在北京这样的北方地区，所有类型的建筑（住宅、办公、商业、工业、运输等等）每年都会普遍使用空调长达四到五个月。另一方面，全国有一半以上的地区在冬季不提供供暖。

因此，在区域能源系统的早期设计阶段，考虑不同终端使用部门的需求模式是非常有用的。这样做可以促进协同效应和发掘节能潜力，例如，考虑利用工业生产过程中产生的余热废热满足住宅建筑的供暖需求。

能源需求的未来前景

能源需求受诸多因素的影响。从外部看，气候变化导致平均气温升高，同时增加了极端气温和天气事件的可能性。与全球平均气温相比，城市的气温上升幅度更大，导致制冷需求增加，而供暖需求减少。住宅和商业建筑受到的影响更大，因为它们在低温供暖的需求中占较大份额。此外，许多现有建筑的设计并不能满足对空调或制冷的更高需求。

此外，该定义需要考虑现有的城市土地利用规划和政策，以建立一个紧凑和混合使用的城市环境。如果当地政府没有建立和确定指导方针，就必须首先制定指导方针，以帮助其他利益相关者选择他们的最佳供暖系统和改造策略。这样做不仅有助于减少流动性需求，而且还能最大限度地利用当地气候中和的能源潜力。

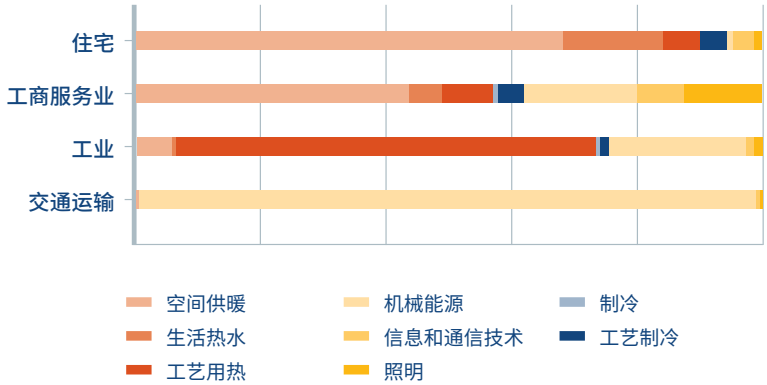


图5：德国各终端使用部门的终端能源利用分布情况

4.2 建筑的电力需求

虽然图5是从不同终端能源使用类型的角度来探讨各部门的终端能源需求，但也可以从各部门不同形式的能源使用角度来考虑。在这种情况下，各部门的电力需求模式特别令人感兴趣，因为电气化被普遍认为是区域能源系统减碳方法中的一个具有前景的策略（这将在步骤6中进一步讨论）。图6显示了基于AGEB（2020b）的2019年同一数据集的德国各部门终端能源消费中的电力份额，对电力在当今能源系统中的作用进行了初步概述。工商服务业部门已经用电覆盖了近40%的终端能源消费；工业和住宅部门的份额仍然较低。尽管有电动汽车的趋势和相应的充电基础设施，电力仍然只占交通部门终端能源消费的1.6%。

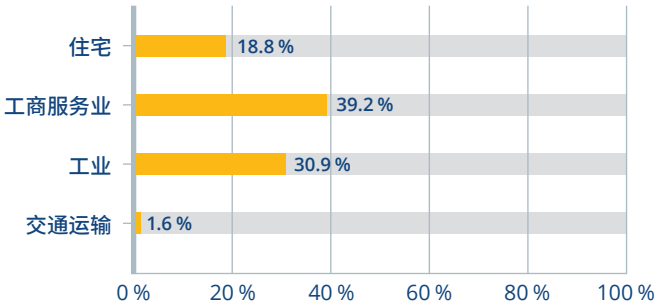


图6:2019年德国各部门终端能源消费中的电力份额

在住宅、工商服务业和工业部门中，终端能源使用类型中电力份额最高的是工艺用热和制冷、信息和通信技术（ICT）以及照明。另一方面，用于提供不同类型供暖的电力份额从工业部门的约7.5%到商业和住宅部门的约10%不等。这些数字说明了供热电气化的巨大潜力和艰巨的挑战，而供热电气化在德国的总体能源消耗中也占有很大份额。

4.3 建筑的热需求

为了在规划区域能源系统时考虑建筑物中的热传导，需要考虑表8中列出的某些参数。

建筑的基本目的是为人们提供一个安全和舒适的场所（主要用于遮挡外部环境）。研究表明，人们一天中约有90%的时间在室内度过。一个重要的组成部分是为建筑的使用者提供热舒适度。一个人的热舒适度可以用简化的热平衡来模拟，其中人的新陈代谢产生的热量可以补偿通过皮肤和呼吸空气的热量损失。如果人的热损失较

类型	关键指	单位
建筑热平衡	传热系数建筑气密性n_{50}	[W/m²K] [1/h]
建筑传热系统	热/冷负荷传热/传冷温度	[kW] [K]

表8:热需求和热传输系统的关键指标

大，他们就会认为自己的热舒适度较低；如果热损失较低，他们的热舒适度就会被认为太热。对人的热舒适度有很大影响参数主要有五个：

- 工作温度包括
  - 气温
  - 自由表面的平均辐射温度
- 空气速度
- 湿度（相对湿度）
- 衣服
- 活动程度/新陈代谢率

五个参数中的三个直接与环境条件有关。在封闭的空间里，环境条件反过来又受到房间里能量和质量平衡的影响。建筑物的能量平衡包括传输热损失（即通过建筑物外墙的热损失）、通风热损失（即由于空气交换造成的热损失）、太阳能和内部收益（例如来自电力设备或人本身的废热）。

各种结构部件对建筑的整体热损失负责。表9提供了一个普通的非翻新建筑中每个部件在总热损失中的份额。

影响建筑能效的三个主要因素是物理结构，建筑设计和使用。建筑的物理结构包括墙体结构（如重型或轻型建筑），以及墙体、屋顶、地板和窗户的绝缘性能（用热传导率定义）。除了结构之外，气密性是建筑的另一个重要因素。用于确定泄漏程度的空气交换率被称为n50，表示在规定的压力下（dP=50Pa=0.0005bar），建筑物内的空气在内部和外部之间交换的频率。现代建筑的空气交换率为1.0至2.0 1/h；被动房的n50必须大于0.6 1/h。对于老建筑和非专业操作的建筑，这个值可以上升到12.0 1/h。建筑设计包括窗户空间的比例、热桥和外墙表面与单体建筑体积的比例（见步骤4）。窗户空间的比例决定了建筑的太阳增益。热桥促进了热量由内向外的传导。一个典型的例子是阳台，它沿着整个长度直接与砖石相连。表面与体积的比例对热损失也是至关重要的。此外，建筑的使用对其能量平衡有很大影响（见步骤4）。由于不同的温度和不同的换气需求，使用

建筑部件	热损失 [%]
供热系统	20–30
屋顶	15–20
通风系统	10–20
门窗	10–15
墙体	30–35
墙体	5–10

表9：按建筑组成部件划分的热损失范围

情况决定了舒适或所需的房间条件。

加热和冷却系统的设计取决于系统所需的加热和冷却功率。通常情况下，建筑物的最大采暖功率是以能量平衡和室外温度的函数形式给出的，以简化形式显示在图7中。这个函数使得推导出配置整个能源系统所需的参数成为可能。首先，在最低设计温度下需要的最大功率（这取决于有关地区），其次是不需要加热功率的温度。高于该温度的恒定功率显示了建筑中可能需要的生活热水。根据内部和外部收益以及建筑的绝缘性（即热损失），该函数可能会发生变化（见虚线）。需要的功率与能源系统的成本直接相关。

除了系统的功率和一年中所提供的能量外，供暖或制冷所需的供应温度在设计能源系统时具有决定性意义。这对于要纳入区域能源系统的现有建筑尤其重要。温度不仅决定了能源系统的必要供应温度，而且还决定了建筑物内传热系统的规模和结构设计。

该清单显示了影响建筑物能量平衡的各种因素。如果一个房间的能量平衡不平衡，就需要额外的能量来提供舒适的房间参数。提供热舒适所需的额外能量（即加热或冷却）可以通过两种不同的方式引入建筑。

- 静态供暖/制冷。通过房间内的水引导热交换器进行供暖或制冷
- 动态供暖/制冷。通过有条件的空气通风来供暖或制冷

在静态供暖中，传热面被安装在房间里（如散热器），温水流过，加热交换器并向房间释放出热量。同样的原理也适用于制冷。静态供暖系统的供暖性能的决定性自由度来自于热交换器的表面积和加热水与房间的温差。尽可能低的加热水温度可以优化能量转换和分配的效率。这样的系统也被称为 “LowEx”（低能量），以保持引入房间的能量的能量含量尽可能低。

由于必要的高温差，散热器只能部分地用于冷却房间。必要的低温会引起一些问题，如形成冷凝水，甚至温度接近冰点。表面加热系统也可用于冷却。冷却和空间之间的温差通常比供暖要小，这意味着冷却的输出要低。

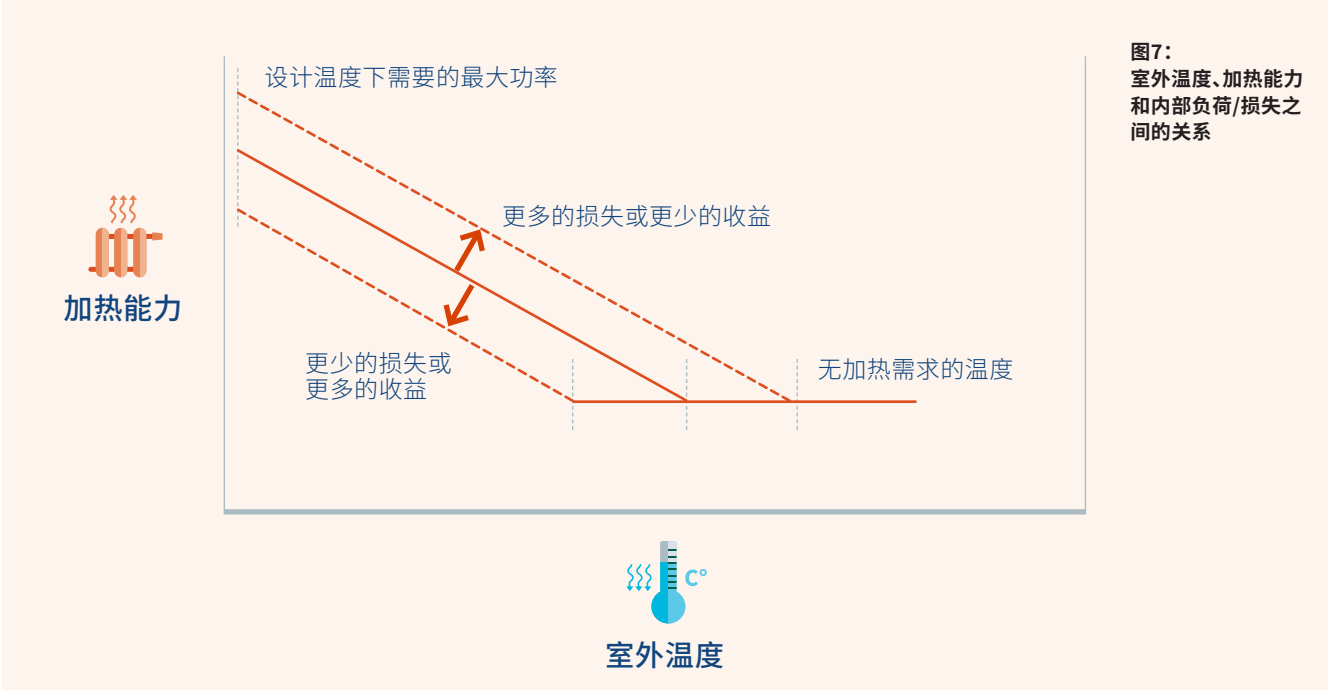


图7：室外温度、加热能力和内部负荷/损失之间的关系

静态供暖/制冷系统得到了室内空气技术系统的补充：动态供暖/制冷系统。主要的区别在于向空间的动力转移。在动态系统中，功率是通过调节空气（即调节空气量的流动）引入房间的。因此，传输介质不再是水而是空气。其优点包括控制遵守新鲜空气供应的最小空气流量，以及引入高冷却负荷的可能性。除了温度之外，室内空气技术系统还可以用来调整其他空气质量特性，包括湿度、二氧化碳含量（通过新鲜空气供应）和房间内的流速。重要的操作模式是冷却和加热（供应空气的温度和插入加热和冷却负荷），以及加湿和除湿（空气处理）。空气处理需要额外的能源。例如，某些通风技术设计还需要加热能量，以便在夏季对空气进行除湿。

最常见的三种通风系统设计是：

- 全空气系统
- 空气-水系统
- 基于制冷剂的系统

在全空气系统中，通风的温度控制和空气处理（如除湿）都是集中进行的。调节后的空气通过通道直接进入各个房间，不再需要分散处理。空气–水系统对空气进行集中制备（比如除湿），但每个区域的供应空气要进一步进行热处理（如加热或冷却），这样就可以轻松实现区域或房间的设置。第三种类型的动态加热、基于制冷剂的系统，只能用于加热或冷却，因此，它们不能处理空气。

供暖–制冷传输的类型和设计极大地影响了能源系统的选择和设计，不仅决定了供暖或制冷系统中必要的流动温度，还决定了动态和最大性能。静态系统比动态系统有更长的反应时间，特别是表面加热和热组件的激活，这意味着可能需要几个小时才能达到一个房间的修改后的目标温度。室内空气系统对边界条件的变化反应非常快。两种系统经常结合在一起，静态加热承担基本负荷，动态加热承担峰值负荷。不同的时间常数必须在能源系统的设计和调节中加以考虑。

展示案例：位于德国Erlangen的西门子园区

西门子Erlangen园区占地54公顷，1965年开放时是世界上最大的办公园区之一。2014年，由于年代久远，西门子决定对该地区进行重新开发。经过建筑竞赛，KSP Jürgen Engel Architekten事务所的设计被选中实施。设计要求的其中一个条件是增加灵活性：建筑应该具有相同的类型，而与潜在终端用户无关。

新园区将包括超过320,000平方米的新建办公面积和至少100,000平方米的新建住宅面积、一家酒店以及休闲、运动、餐饮和购物设施。施工目前正在进行中，截至2021年，可容纳约6000人的第一个模块已经准备就绪。所有七个模块的建设将在2030年前完成。

第二模块包括五座五层的办公楼，包括中央的西门子接待处，目前正在建设中。它是德国最大的混合木材建筑项目，使用奥地利CREE公司的木材混合预制构件。西门子希望使用相同的工艺（在某种规模经济中）来建造所有五座建筑。下一步将是开发一个使用混合木材作为材料的新建筑标准。混合木材可以减少80%的二氧化碳排放，并且只使用三分之一的混凝土。此外，木质元素创造了一种特殊的氛围，增加了在Erlangen园区工作的员工的舒适度。

预制的混合木材模块既经济又生态。此外，由于它们将木材与其他材料（如钢、混凝土和玻璃）结合起来，每种材料的优势都可以用来优化结构和建筑性能。因此，在木材作为碳汇的同时，钢筋混凝土元素增加了耐火性。木材和混凝土部件有特殊的专利连接器，可以最大限度地减少材料之间的牵引力。此外，从墙体构件的下端伸出的心轴杆可以与下面盖板上的孔相匹配。

在CREE混合木制构件中整合智能功能是一个标准化的过程，从早期设计阶段开始，并在整个预制过程中持续进行。易于更换和升级的能力意味着内部配置和布局可以在其生命周期内以最小的努力改变和发展。各种元素与它们的连接允许在施工中达到几乎和乐高玩具一样的简易程度。因此，该园区可以非常容易地适应改变用途。

更多信息
(德语版本)

热需	2.15 kWh/m2a
终端能源需求	17.43 kWh/m2a
室内温度	20–26 °C
室内相对湿度	35–65%
室内二氧化碳含量	1000 ppm
围护结构内表面与室内空气之间的温差低于	3 K

表10：山东城市建设职业学院的关键指标

案例展示：位于中国山东济南的山东职业学院

位于济南东部的山东城市建设职业学院是有关建筑效率的最佳参考案例。经过两年半的建设，该建筑的20,000平方米（>92%的采暖）于2019年竣工。经过优化的绝缘和气密性将热/冷需求降至最低，最终能源需求达到2.15 kWh/m2a。其他关键指标还包括表10中所列的内容。

实现高能效表现的策略包括以下几点：

- 高性能的外部保温、门窗系统
- 避免热桥的出现
- 高效的热回收新风系统

更多信息

4.4 园区内建筑之间的协同作用

将能源和终端使用部门结合起来，增强区域内建筑物之间的协同作用的潜力包括：

1. 建筑物内余热废热的利用

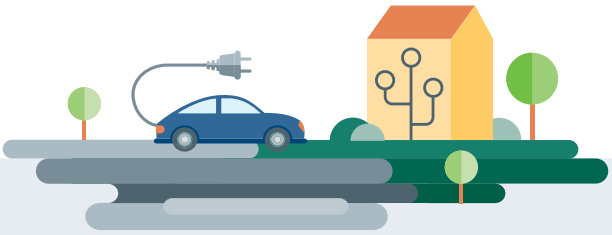
2. 建筑物之间的余热废热利用

3. 在有大面积屋顶的建筑中使用多余的光伏电力

不同区域之间的协同作用已经可以在建筑本身中得到利用。例如，在有同时供暖和制冷要求的建筑中，有制冷要求的区域的废气可以用来加热其他区域。这已经在具有较大服务器容量的建筑中得到实施。同时加热和冷却的要求甚至可以存在于南北两面太阳光照明显不同的办公大楼中。建筑物的热补偿通常受建筑物的主要用途或季节的限制（主要在过渡时期同时加热和冷却）。将视角扩展到包括几个建筑物，可以发现潜力，特别是在具有不同用途的地区。例如，一个数据中心有全年的冷却需求，可以将余热废热释放给需要热量的建筑，如冬季的住宅楼和夏季的游泳池。

直接利用余热废热的前提条件是：

- 余热废热的温度水平
- 余热废热的性能
- 现有的利用余热废热的基础设施



前期消费的重要性

能源和终端使用部门也在发生着变化。电气化导致了对传统化石能源载体的转变，而分散的可再生能源则使能源消耗更加经济。这既适用于使用热泵的供暖部门，也适用于对电动汽车需求不断增加的移动部门。此外，随着发电能力的日益分散和传统能源消费者的应用，能源消耗也变得越来越重要。

使用方面的变化包括城市住房需求的增加，以及由于就业（居家办公）和消费（电子商务）模式的数字化而导致的工商服务业的减少。一些行业部门在工艺和能源需求类型上的转变甚至更大。

园区内的建筑也可以从电力部门的协同效应中获益。在步骤一中提出了土地使用特征的不同关键因素。占地面积较大但电力需求较低的建筑（如仓库或物流中心）有很大的潜力来安装光伏系统：所生产的电力可以直接用于邻近的建筑。

可以在不同的能源形式或需求（如制冷/供热需求或光伏发电/电力需求）之间形成指标，从而在早期阶段评估各地区的基本潜力。最简单的形式是确定年度能源平衡并比较最大的产出。然而，这种评估没有考虑到发电和需求之间的同步性，而这对于最佳的，因此也是气候中和的运行是至关重要的。一些研究中运用的的指数，如Pass等人（2018）的多样性指数和Wirtz等人（2020）的需求重叠系数，也考虑了各自服务的时间发生，为利用协同作用的潜力提供了更现实的评估。

实施策略

基于所描述的能源需求趋势和变化，有必要对需求类型和模式的可能变化进行规划和预测。通用的和具体的策略使之有可能在早期阶段纳入这些变化:

通用策略

- 一致的预见性分析与方案相结合，有助于预见该地区的变化。个别终端用户需要被一致考虑。
- 混合使用类型既能产生协同作用，又能抵御需求的下降和变化。一些商业部门受这些变化驱动因素的影响更大。
- 部门耦合可以补偿日常使用中的结构性变化，例如，在另一个部门资源匮乏的时候利用一个部门的过剩产能。
- 持续的评估和发展新的商业模式有助于地区（能源系统）对结构性变化作出反应和适应。

可选的一些具体策略

- 探讨长尾事件和快速变化的’假设’情景。
- 一种 “少即是多 “的方法，以保持系统进一步扩展的灵活性，并通过将技术要求降至最低来避免锁定。
- 循序渐进的计划，避免仓促的技术决定和锁定。
- 选择最灵活的技术方案，或勇敢地决定采用具有所有后果的技术。

经验之谈：

对于园区能源系统的规划，从一开始就必须综合考虑建筑物的热和电需求。由于需求类型和模式的不可预见和可预见的趋势，这将导致未来的一些挑战。需要制定坚实的预见性分析和后续的应对策略。

建筑物理上的设计和结构会影响到供暖和制冷的质量。可以选择静态或动态传输系统来提供空调，从而产生不同的供暖或制冷流动温度。这些条件决定了相应的供暖和制冷系统。

如果热网和存储系统等技术要求被整合，各区的能源产生和能源需求可以得到平衡。通过应用合适的关键指标，可以在项目早期阶段确定其潜力，并在电力需求侧管理（DSM）和存储系统的帮助下促进可能的需求模式的转变。

展示案例：德国汉堡的港口城

一个大规模的余热废热利用项目正在汉堡的新开发地区进行，名为HafenCity港口城。2030年建成后，该园区将有15000人居住，为40000人提供就业机会。余热废热由一个有色金属处理厂产生，并由该区的市政ESCO使用。该区的发展一经宣布，该公司就抓住了将余热废热货币化的机会。

该厂的工业余热废热是由闪速冶炼厂和化学铜生产子流程产生的。二氧化硫--铜提纯的副产品--在一个内衬耐酸砖的特殊锅炉中被转化为硫酸，释放出几乎无碳的热量。这些热量被用来将水加热到90°C，然后通过3.7公里的区域供热管道输送到哈芬城东社区，在那里被送入市政供热网。该管道的设计可容纳Aurubis公司60兆瓦的全部工业余热废热潜力。管道路线上的能源控制中心使用缓冲储存设施来储存多余的热量，并根据需要再次释放，以保障和平衡高度波动的工业热量。

温室气体排放的减少约有一半来自于取代工厂内用于生产蒸汽的天然气：部分工业热能现在由工厂本身使用，如果没有港口城东区的额外热能用户，这在经济上是不可行的。如果对工厂和市政供热基础设施进行大量投资，目前每年160GWh的热量还可以再增加500GWh。该项目的另一个好处是减少冷却水的使用（每年减少1200万立方米）。

更多信息
（德语版本）

YOGHURT
STORE

步骤五：
制定能源方案之二 – 分析能源潜力

在对园区及其相应的能源需求进行定性后，能源供应是下一个相关的考虑因素。为了提供一个能源供应结构的概述，根据数据和关键指标（章节5.1）进行了初步定性。 然后，从现状开始，讨论了三种供应方案（章节5.2）。随后，提出了“全电”和“全气”园区的理想化方案，为了描述能源系统的转变，用一个共同的方案来代表发电结构。最后，讨论了电力和储热技术的作用（章节5.3）。

5.1 能源供应的特点

园区能源供应转型道路上的最大挑战是目前建筑能源供应对化石燃料的高度依赖。图8强调了这一事实，它显示了德国和中国北方不同能源系统在空间供暖和热水供应中的份额。

解决这个问题的关键是实施节能措施，大幅减少能源需求，此外还要制定战略，开发气候中和的能源潜力。表11中选定的关键绩效指标提供了能源系统配置和运行的概况，以利于分析特定能源系统的特点。

类型	关键指标	单位
能源系统配置	装机容量实装 存储容量	[MW] [MWh]
能源系统运行情况	进口/出口的能源 本地能源份额 残值情况[1] 能源效率（按部门划分） 全球变暖潜力	[MWh] [%] [MWh/h] [%] [$kgCO_2eq$/kWh]

能源使用和进口或出口能源之间的差异，单位为MWh/h，表示对上一级能源系统的小时或季节性依赖性。

5.2 不同的途径：“全电”和绿色氢能“全气”方案

在描述能源系统的转变时，用一个统一的方案来表示电力结构。在下面的章节中，将讨论三种供应方案。首先是现有园区和城市当前采用的方案，然后是全电园区和全气园区的理想化方案。这些方案是“理想化”的，因为它们展现的是未来园区能源系统的两种可能的途径，

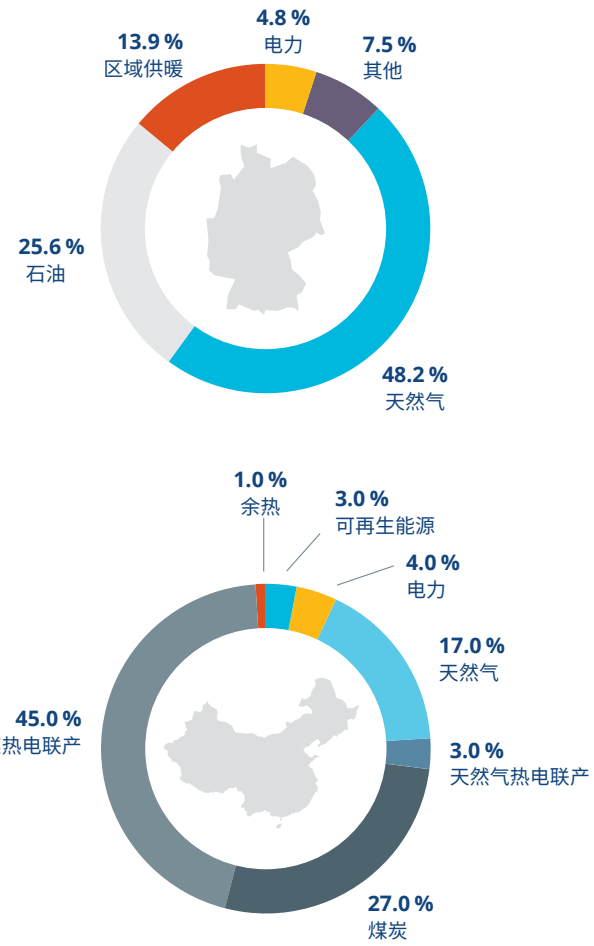


图8：德国和中国北方地区供热系统的份额（德国能源与水利协会（BDEW），2019；中国供热协会，2020）。

但可能会有其他的发展和两者的组合，特别是在既有园区。

图9、10和11显示了上述的共同方案，并概述了进一步的发电结构。它们在右边显示了每个部门的各种能源需求（供暖、制冷、电力和燃气）。作为一种简化，不同的电压水平或不同的温度水平没有显示。在左边，一条垂直的灰色虚线标志着园区边界。这条线左边的发电能力对应于进口到平衡边界（负能量平衡），右边的对应于本地发电或转换。园区的主要进口是电力、化石燃料（如德国的天然气）和大型发电厂（如德国和中国的煤电厂）的园区供热。在步骤二中已经讨论了园区边界的定义。使用的定义遵循 “地理加 “的方法。

水平线表示各自的能源供应，代表集中式（如电网）和分散式的供应选择（如直接使用光伏电力）。几个生产商可以覆盖不同部门的能源需求。在目前的情况下（见图9），很大一部分热量是由基于化石燃料的发电机提供的。石油和天然气都必须进口到该园区。热泵提供的热量供应份额越来越大，更多的建筑和地区配备了光伏系统，用于当地发电。电力驱动的压缩冷却器提供大部分的冷却。

对三种不同的路径进行了比较：基于分散式燃气锅炉的现状方案，仅使用电力驱动部件的“全电”方案，以及用氢能网络取代天然气网络的“全气”方案。

现状

在当前情况下，供暖主要由分散的燃气锅炉提供，只有少数使用电的热泵和一些燃油锅炉，而制冷则由电制冷机提供。燃气和电力主要从中央基础设施进口，而当地的光伏发电只发挥了很小的作用。

当前方案的特点是在能源进口、当地能源的使用和剩余负荷方面有以下几个方面：

能源进口：目前园区使用的大部分能源都是进口的，而且是基于化石燃料。除了电力之外，天然气（德国）或其他化石燃料（中国）也被用来满足该园区的供热需求。通过园区供热直接进口热能也是一种选择。

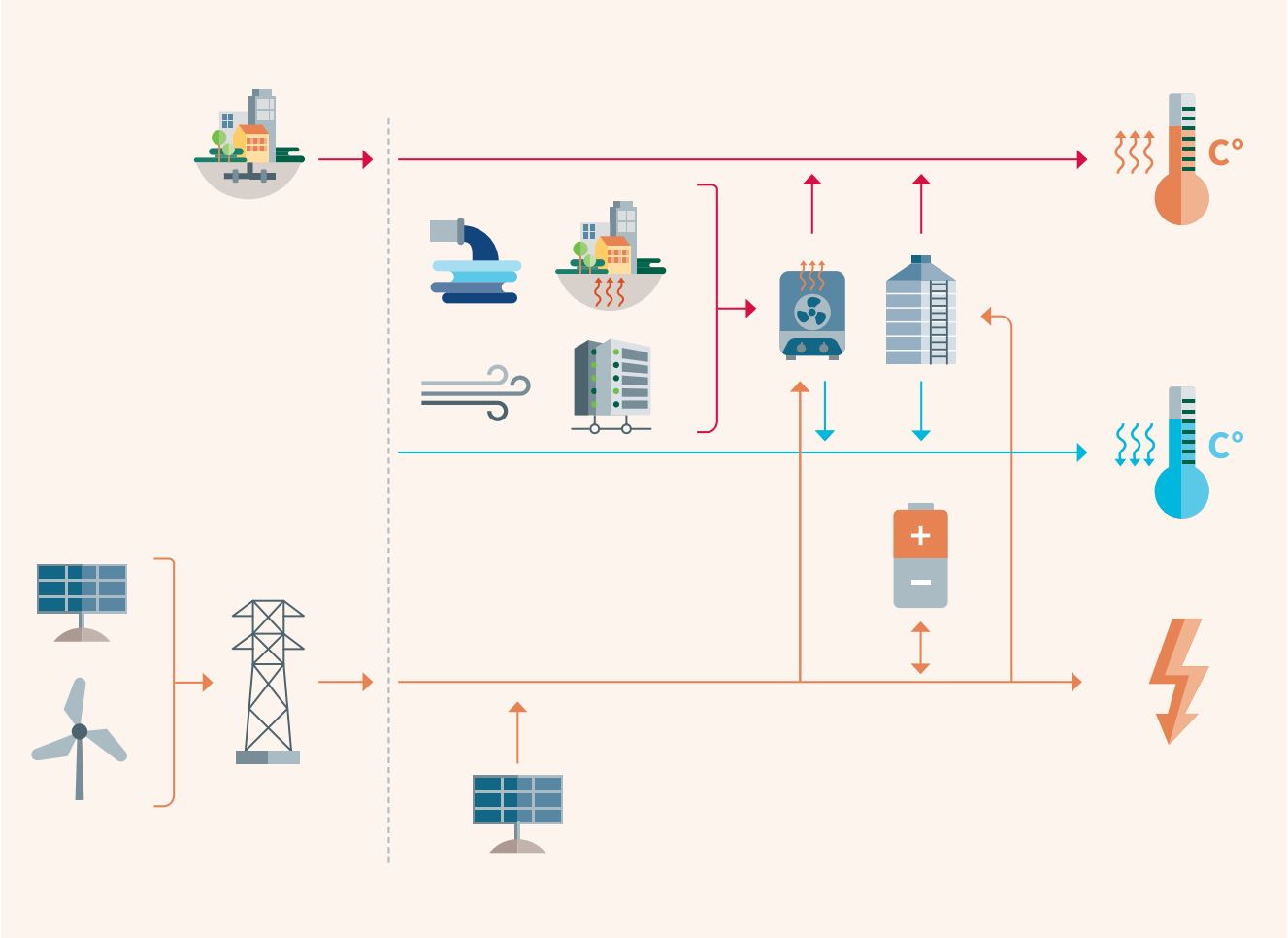


图9：园区的能源系统配置现状

使用本地能源:在现有园区，光伏系统越来越多地被用作本地能源。热泵的安装越来越多（德国），增加了供热部门对本地能源（环境热）的使用。

冗余负荷和灵活性潜力:在现有园区，由于只有少数分散的发电机和很少的本地能源潜力被利用，一年中几乎所有时间的能源平衡都是负的。

“全电”方案

在“全电”方案中，假设所有部门都实现了整体电气化。燃气和石油等化石燃料的发热装置被发电机（基本上是热泵）所取代。运输部门被电气化，导致建筑物内和附近的额外能源需求。本地能源转换器的扩展将覆盖部分增加的电力需求。图10显示了一个“全电”方案下的区域能源系统的结构。

通常情况下，整个燃气部门都被省略了，尤其是燃气应用，如工业中的高温应用，在园区的规划中这一部分应进行研究并纳入考量。在采用“全电”方案下的园区中，热能生产者的结构变得更加单一--主要是热泵，可以用电锅炉作为补充（结构中未显示）。对于能量转换来说虽然热泵逐渐成为应用的趋势，但在未来的园区中，热泵的来源将更加异质化。所有现有的本地热源都必须得到充分的利用。除了今天已经使用的空气和地热能源外，还包括利用废水中的热量或数据中心的热量回收。压缩式冷水机是主要的冷却来源，但冬季可用的热源可用于夏季的冷却（特别是地热能和废水）。

更大的部分是园区本身产生的，不仅是热能来源，还有电能转换，其中光伏发挥了主要作用。在德国，对于风能有着很高的监管要求（如距离规定），这意味着直接利用当地风能取决于园区的密度和当地的条件（如内城或农村结构）。

在“全电”园区，也可以通过园区供热网络进口电力和热能；但是，这些进口也必须来自可再生能源（例如，大型热泵供热，风能、太阳能和水能供电）。适当平衡的重要性在此特别明显。在一个“全电”园区，当地没有排放物，但只有在进口到该区也是气候中和的情况下，才能实现整个园区完全气候中和的运行。下文将详细讨论的热能和电力储存，是对系统的补充。

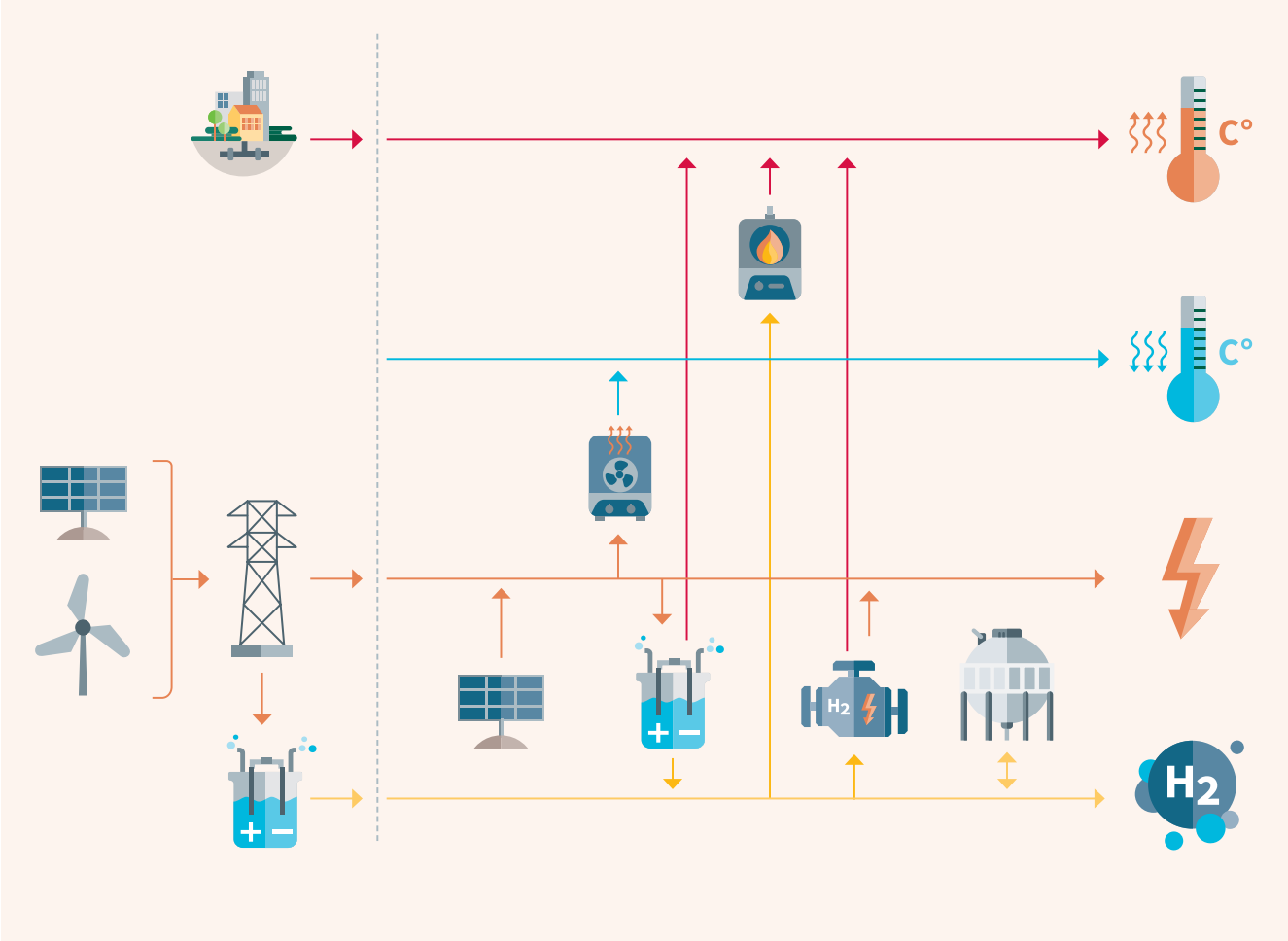


图10:“全电”方案下的园区能源系统配置

能源进口：主要是将可再生电力进口到园区，也有可能将可再生热力进口到园区。不直接（如加油站的汽油）或间接（电力）的化石燃料进口不作考虑。

使用本地能源：光伏系统是主要的本地能源。所有具备可行性的园区都应该配备，以满足日益增长的电力需求。其中，覆盖范围取决于密度（FAR）和能源需求的类型。另外，当地的供暖（作为热泵的来源）和制冷资源也得到了利用。除了空气和地热之外，废水和低温热回收将变得更加重要。

冗余负荷和灵活性潜力：对于“全电”园区来说，夏季和春季、秋季甚至冬季的晴天，由于安装了大量的光伏容量，冗余负荷是中性或正值。根据所使用的储能系统，每天的剩余情况可能在白天（正）和晚上（负）之间变化。考虑到不同的季节，冗余负荷的波动很大（冬季更靠近负值极，夏季更靠近正值极）。

“全气”方案

氢气目前被认为是能源转型的一个重要组成部分。出于这个原因，我们进一步分析了完全依靠氢气的园区能源供应。在这种情况下，天然气被氢气完全取代。内燃机车也被氢动力汽车所取代。由此产生的能源系统图显示在图11中。

与“全电”方案相比，应该注意到天然气部门发挥了决定性的作用，和当前方案中一样。与当前方案的主要区别在于从天然气转为氢气。运输部门没有被电气化，但也使用氢气作为能源。氢气完全由可再生资源通过电解方式生产（绿色氢气）。电力要么在当地生产（主要是光伏），要么进口，就像当前方案和“全电”方案中的情况一样。进口氢气的一个优势是其可通过当地和区域天然气网运输，也可通过船舶进行长途进口。理论上，这意味着氢气可以在能源丰富的地区生产，并运输到使用地点。

与“全电”园区相比，热力部门的发电结构更加异质化。热电联产（热电联产或燃料电池）或燃气锅炉可以

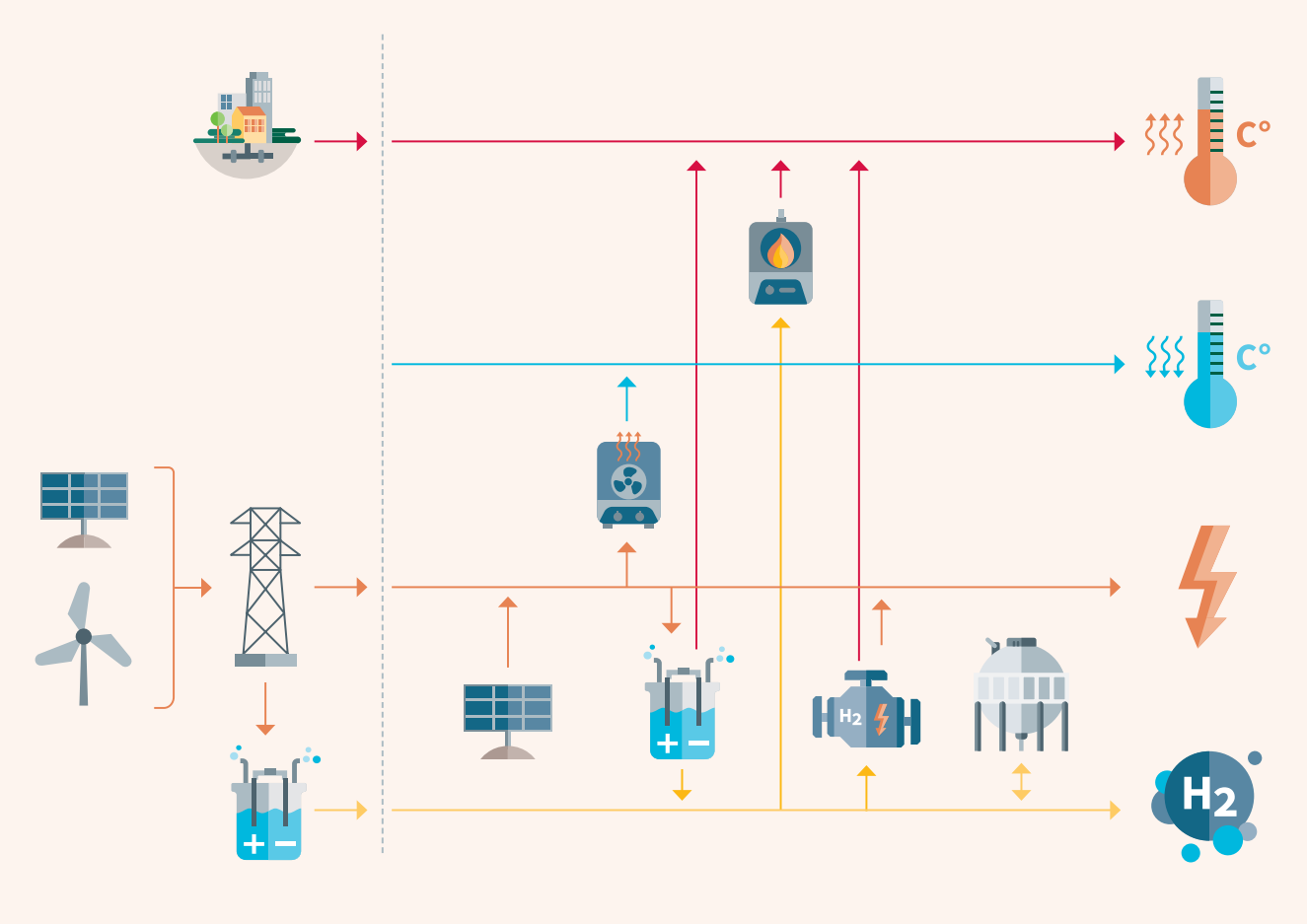


图11：“全气”方案下的园区能源系统配置

用来满足热能需求。所有技术都使用绿色氢气作为能源。利用电解产生的余热废热也可以是一个重要的选择。在这种园区配置中，由于效率（见下面的例子）和相关的制热成本比“全电”园区高，所以储热的使用较少。如果是由可再生资源产生，进口园区热能仍然是一个有效的选择。高温应用对氢气园区的规划没有任何特殊要求，这使得该方案与高温工业应用特别相关。

制冷可以用吸收式冷水机来补充。然而，这只有在必要的热量来自于电解或通过热电联产厂再生等过程时才有意义。在“全气”方案中，以热能为主导的热电联产供应吸收式冷却器的操作是不经济的，因此导向以电力为主导的操作。

“全气”园区提供了建立本地的、分散的电解器的可能性，从而在区域能源系统中用本地的剩余电力生产和储存氢气（例如在夏季）。这减少了夏季的电力出口，并有助于减少日常甚至是季节性的冗余负荷。可行的储氢系统包括加压存储，以及孔隙和洞穴存储。

能源进口：可再生电力和绿色氢气被大量进口到园区，也有可能进口使用可再生能源的区域供热。不直接（如加油站的汽油）或间接（电力）进口化石燃料。

使用本地能源：光伏系统是主要的本地能源。所有具备可行性的园区都应该配备，以满足日益增长的电力需求。其中，覆盖范围取决于密度（FAR）和能源需求的类型。此外，还可以利用当地的冷却资源（例如，地热和废水）。电解和热电联产厂的废热也被认为是一种本地资源。

电力冗余负荷和灵活性潜力：对于“全气”园区来说，冗余电力负荷有负有正，取决于天气条件和季节。每天的剩余情况可能在白天（正）和晚上（负）之间变化。剩余负荷根据季节的不同而波动很大（冬季更靠近负值极，夏季更靠近正值极）。储存能力（氢气储存）可以用来减少夏季的正冗余负荷，因为氢气储存系统可以作为季节性储存。氢气本身的冗余负荷可能是负的，因为当地生产的氢气将被用于热电联产厂的供暖或运输。

“全电”和“全气”方案的比较

两种方案（“全电”和“全气”）都有其必须考虑的优点和缺点，每个园区需要自行决定采用这两种途径中的其中一种或两者的结合。使用氢气作为主要能源载体的优点是，它可以长距离运输、大量储存并灵活地用作高温应用的燃料。另一方面，“全气”方案在发电过程中存在特别高的转换损失，以及相关的可再生能源的较高冗余产出，并非所有“全气”园区所需的技术都能以工业规模进行提供（如锅炉和储存或运输网络）。在这方面，“全电”园区有着很大的优势，因为所有的技术都可以在工业规模上获得，并且是可以进入市场的，根据不同的部门和应用，“全电”园区的效率也更高。

在图12中，根据供热部门对两种方案的效率进行了比较。该图显示了一个单位（100%）的可再生电力转换为热能的情况。电力可以通过热泵和可用的环境热量（如空气或地热）转化为热能。热泵的性能系数（COP）表明，在用于热泵运行的电力中可以加入多少环境热量。商业上可用的COP在3到6之间。COP在很大程度上取决于能源（如地热）和水槽（建筑能源需求）之间的温差，这就是为什么只有有限的应用适合于高温应用。在“全气”方案中，电力首先通过电解转换为氢气（大约60-80%的效率）。然后氢气在锅炉中燃烧，效率在90%到98%之间，产生热量。这种热量几乎可以有任何温度水平。该图说明了“全电”园区供热部门的效率较高，但也显示了其应用限制。

“全电”园区的效率提高在其他部门（如运输或电力部门）也得到证实。根据图12所示的两个地区的一般能源转换链，很明显，两种途径都是以电气化为基础，并为“全气”园区增加一个转换步骤。如果边界条件合适（如热力部门的温度或高同步性），“全电”方案更具有优势。“全气”方案则对于工业应用有着较高的竞争力，其优点包括长期储存和运输的可能性。

展示案例：德国Esslingen西区和Shamrockpark

两种方案都已在不同地区得到运用。德国Esslingen市作为“全气”方案的例子，而Shamrockpark则采用了“全电”方案。

在Weststadt Esslingen，一个以绿色氢气为基础的能源系统的新园区正在建设中。自2016年以来，共计开发了550套公寓、一座高层办公大楼和一座可容纳约1800名学生的新大学楼。

屋顶光伏被用来产生可再生电力，直接用于满足电力需求。过量生产的电力被用于该园区的电力网络，以支持P2G和P2H系统的供暖，两者都将（废）热输入热网。所生产的氢气在基于发动机的氢气热电联产中既用于发电也用于供热。这个系统被证明比燃料电池更经济。主要目标是现场使用氢气。由于空间有限，不可能有大规模的季节性储存，因此多余的氢气要么被输入天然气网，要么卖给区外的工业。氢气的另一个计划用途是在移动领域，规划中的车辆氢气燃料站。额外的电力储存设施用于补偿该园区可再生能源发电和电力需求之间的短期偏差。据估计，1兆瓦的电解器每年将生产约2800兆瓦时或85吨氢气。电解器本身每年也产生约600兆瓦时的废热。使用这些来自电解过程的废热可以将效率从大约55-60%提高到80-85%。此外，该能源中心还配备了一台热泵（200千瓦时）、一台二价热电联产机组（天然气300

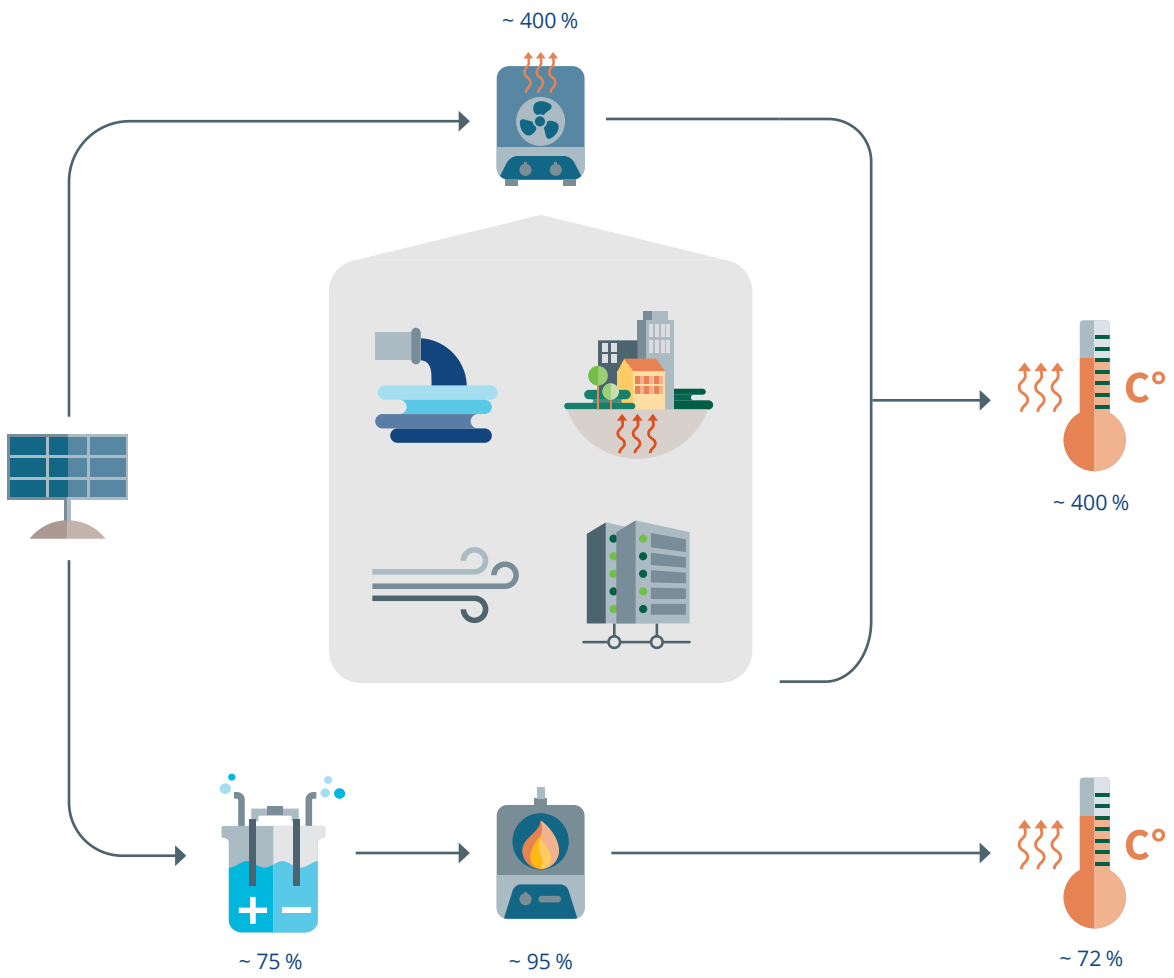


图12：“全电”和“全气”园区供热部门的效率比较

千瓦时，H2 138千瓦时）和一台燃气调峰锅炉，用于全年的热能供应。在电解器故障的情况下，热电联产也可以用氢气-沼气混合物或纯沼气工作，以确保稳定和气候中立的能源供应。如果没有这样的故障，燃气调峰锅炉应该只在冬季或热电联产的维护工作中使用。此外，计划为园区和办公区建立一个热电联产和制冷系统，用吸收式制冷机将热电联产系统的废热转化为制冷能源。

这种复杂的能源系统配置使得能源供应中当地份额最大化成为可能。氢气生产还可以补偿供应过剩或不足，防止电网拥堵。

更多信息
（德语版本）

相比之下，位于德国Herne市一家煤炭公司总部旧址的Shamrockpark则是新建和既有建筑混合的“全电”方案的典范。

在技术上，能源基础设施的特点是供热和制冷网络中、以及电动车、热泵、热电联产和充电站中最大限度地利用本地电力。具体来说，ectogrid™是第五代热网，仅用两条管道就能同时满足供暖和制冷需求。ectogrid™的工作方式就像一个热电池。每个建筑都通过可逆热泵与ectogrid™连接，以提供供暖和制冷。建筑物根据其加热或冷却需求，从电网中增加或提取热能。所有的建筑物相互平衡，即使在冬季，商业热需求也会进一步促进。因此，ectogrid™有效地重复利用所有可用的热能，并且需要明显较低的外部能源输入，特别是在春季和秋季供暖和制冷需求大致相同时。一个重要的特点是具有利用邻近化工厂的低温废热作为废热源的技术能力。该系统的5兆瓦供热能力和4兆瓦制冷能力预计可满足每年8千兆瓦时的热能需求。

由于每栋建筑都可以向电网获取或提供能量以满足其供暖或制冷需求，因此管道中没有预先确定的流动方向。如果对热的需求占主导地位，冷却的水就会被推向冷管，向蓄热罐移动。如果对冷量的需求较大，冷管中的水就会向建筑物移动。这也意味着管道中的水温不是恒定的，而是在暖侧的16至40°C之间，冷侧的6至30°C之间。两侧的温差被设定为10°C。由于电网几乎在与周围大地相同的温度下运行，因此分配损失非常有限。循环泵和控制阀控制运输介质（水和5%的生物乙醇的混合物，以避免冻害）从电网进入每个建筑物，以满足建筑物的需求，并保持理想的电网温度。一个与电网相连的储热罐控制着供暖和制冷需求的日常变化。

更多信息

可再生电力的优势

采用“全气”方案大量使用气候中和气体的能源系统和采用“全电”方案的园区能源系统都依赖于可再生能源发电。这两种类型的园区都需要大幅扩大可再生能源的发电量。气候中和气体和最明显的绿色氢气对于不能电气化的工业流程是必要的。

选择可再生电力作为气候中和园区的基础有着诸多好处。首先，由于用可再生资源发电比用化石燃料发电更便宜，可以加速从化石燃料向可再生能源的转型，并且可以因此降低排放。在天然气领域，较高的氢气价格意味着化石燃料仍保持着其经济优势，如果不建立补贴计划，这将阻碍向气候中和型能源供应转变。第二，更有效的电力过程因为使用更少的能源，从而弥补了城市或工业园区的能源稀缺，因为这将可以更容易地满足本地园区的能源需求。对于供暖而言，可以通过使用环境热和地热甚至开发更多的本地潜力来增加效率。第三，储热系统可以在热能和电力部门之间灵活运行，同时也包括环境热。燃气和蓄热系统的平行运行可能会降低成本效率，导致园区能源系统表现更差。

5.3 储电和储热技术的作用

由于可再生能源的波动性，储存系统的使用对所有部门和所有方案都至关重要。图13说明了德国某地的平均太阳能发电量与住宅相对月度平均供暖热需求量的对比。

很明显，无论是短期还是长期（季节性），都存在电力生产不足和过度的情况。在所有地区的配置中必须保持储存能力，以平衡这些波动。

这些储存能力可以根据其物理性质分为:

- 热能
- 化学能
- 机械能

热储存可以进一步细分为显热或潜热储存。潜热存储也是利用材料的相变进行存储（如固液水）。显热储存的典型例子是热水缓冲储存或使用金属（或其他固体）储存介质的高温储存。各地区最常见的潜热储存是冰储存。

化学储存进一步细分为电化学储存和材料储存。电化学储存装置包括通过化学反应直接储存电力的电池。氢气储存是材料储存的一个例子；材料储存可以是液体或气体形式。

机械储能（如抽水蓄能电站）与园区无关。

“全电”园区主要使用热存储和电池存储系统，见图10。热存储单元可以有不同的温度水平。最常见的应用是在各自使用温度范围内的敏感存储技术。然而，作为电力部门的耦合技术的高温储存（高达500℃），以及在本地低能源的情况下的冰储存也是可能的。

“全气”园区主要使用氢气储存，也有电动电池储存系统，见图11。储氢装置是用于短期使用的加压储存系统，甚至是用于年度能源平衡计算的洞穴储存系统。不太可能大规模地应用热存储。

园区内安装的储存系统的设计取决于几个因素。储能系统必须与需求行为以及发电能力相适应。由于大型储能设施价格昂贵，理想的储能设计并不一定意味着该地区

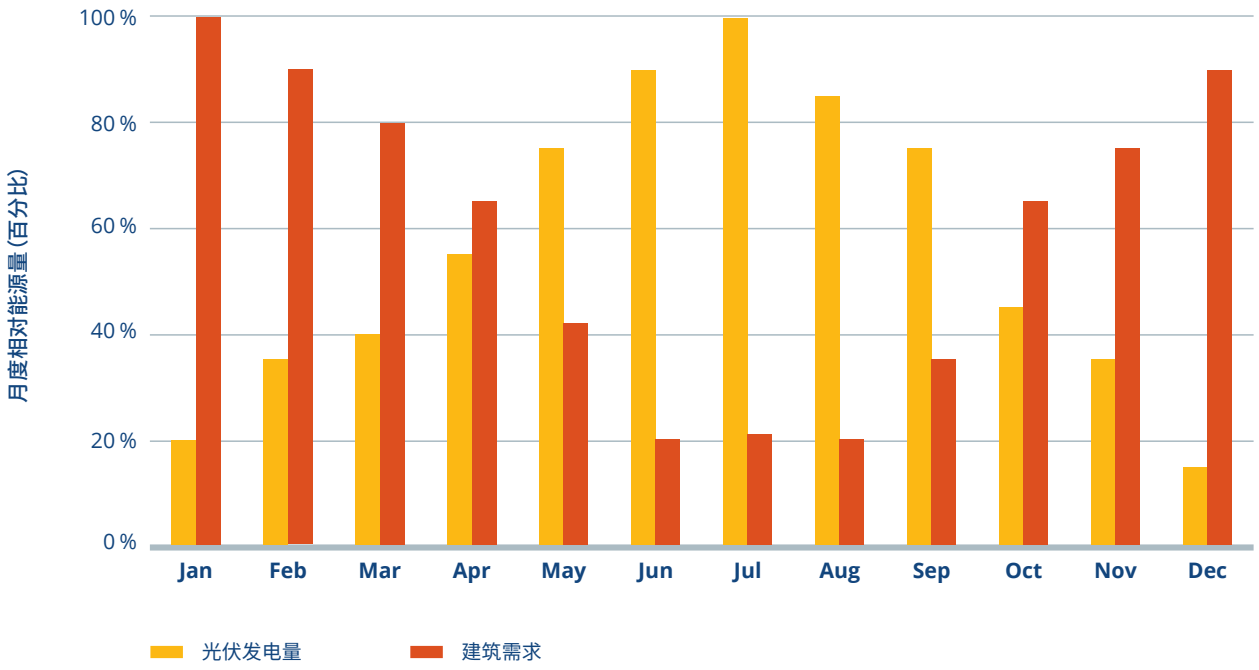


图13:月度相对能源需求和潜在光伏发电量的比较

的每一个能量流（短期和季节性）都可以得到平衡。表12中列出的关键指标与设计一个地区的能源系统存储系统有关。

除了储存的特殊重要性外，基础设施的改造对所有部门和改造途径也是至关重要的。在这里，要求可能因所选择的技术而不同。

对于“全电”方案来说，电力基础设施的设计尤其必须使其一方面能够满足更高的电力需求和更高的功率，另一方面能够增加分散的馈电（专业用户）。许多热泵的使用需要大量的环境热量或废热。这些热量通常在当地与消费者分离，因此在“全电”方案下，即使在非常低的温度水平下，区域供热和制冷网络也发挥着更大的作用。在“全电”园区不再需要燃气网基础设施，节省了额外的运营成本。

相比之下，燃气网基础设施对“全气”园区来说是至关重要的。现有的基础设施必须进行升级，以便能够运输氢气。与“全电”园区一样，电网也必须为更高的功率和更多的用户而设计。特别是在使用热电联产装置广泛再生的情况下，供热网的重要性也在增加，它也可以在更高的温度水平上运行。

对一个能源系统的决定，必须始终考虑到本地条件。正如步骤六中将进一步说明的那样，两种供应方式都有各自的优缺点。特别是，冬季由于热泵而产生的高电力需求可以通过使用氢气在热电联产装置中发电来解决。

类型	关键指标	单位
存储大小	最大存储容量	[MWh]
	功率（充电/放电）	[MW]
	存储量	[m^3]
	能量密度	[MWh/m^3]
存储操作和灵活性	存储效率	[%]
	充电状态	[0-100%]
	待机损耗	[MW]
	充电/放电特性	[ ]
	充电周期的数量	[ ]
	操作温度	[K]

表12：储能系统的关键指标

经验之谈：

支持或反对特定的能源系统配置的决定必须始终考虑本地条件。正如将在步骤六中进一步说明的那样，两种供应方式都有优势和劣势。特别是，冬季由于热泵而产生的高电力需求可以通过使用氢气在热电联产装置中发电来解决。

储能能够发挥关键性作用，因为它能使当地可再生能源的高份额得到整合。此外，该地区可以通过汇集各利益相关者的发电和需求来确保更经济、更有效的运行模式，从而使所有利益相关者达到最佳状态，并整合对单个利益相关者来说不经济的储热类型等。

展示案例：丹麦的电热储能

丹麦港口城市Esbjerg是应用ETES来实现城市园区供热系统气候中和的一个案例。该市以前是一个无烟煤发电厂的所在地，它正在将其热源从煤电厂的余热废热转向来自海水的环境热。

在计划于2023年关闭后，原煤电厂的园区供热将转为可再生资源，即可再生电力、来自海洋的环境热和生物质发电厂。该项目旨在使城市的供热需求脱碳，以实现为2030年设定的城市气候中和目标。一个关键的参与者是市政能源服务公司，它负责运营该市的园区供热网。基于电热储能的系统的理想位置是在前发电厂所在地，并利用该地区和现有的基础设施，其中包括向电网注入热量的设施以及前发电厂的冷却装置。

该系统包括一个50兆瓦的热泵和一个60兆瓦的生物质锅炉厂，在高需求和技术维护的时候使用木屑作为燃料。

依靠具有以下特点的卡诺电池：

1.电能在热泵中被用来提高介质的温度

2.热量被储存在一个具有高热容量的介质中。

3.热量被用于热网中

此外，该系统可以通过具有不同温度水平的存储系统进行扩展，这有助于提供工业用热、供暖、热水用热和制冷。如果储热的规模和温度水平允许，热量可以在涡轮机中重新转化为电能。

更多信息

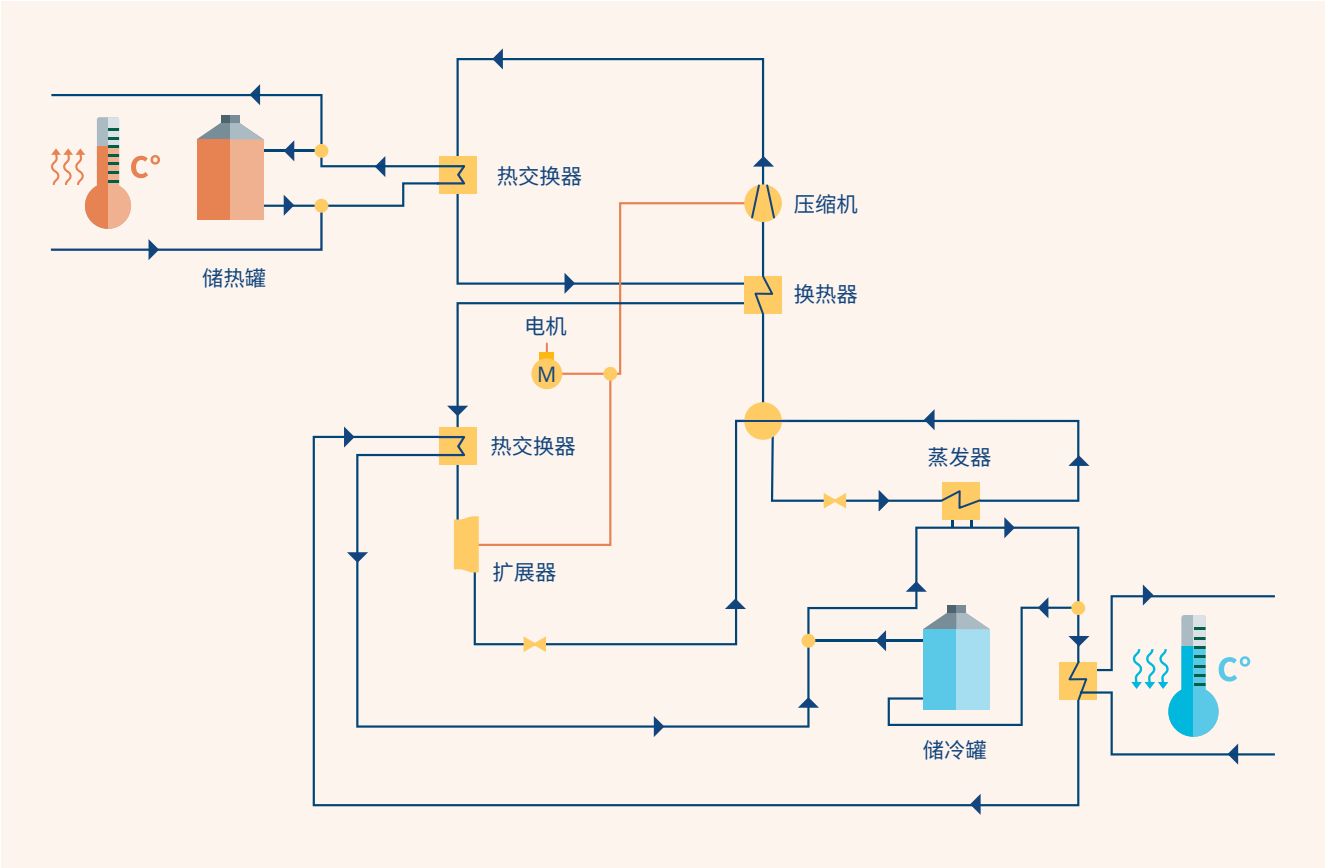


图14:ETES系统的原理示意图

制定能源方案之三 – 确定技术配置、规划不同情景

到目前为止，建筑控制或能源管理系统较少被使用。传统使用化石燃料的锅炉通常配有计时器，在一定时间内启动燃烧器和循环泵，稍后再将其关闭。然而，定时器并没有考虑房间内的条件、可再生能源的可用性或不同能源载体之间的价格差异。应该考虑这些变量，因为这样做可以在不同的能源部门优化能源系统，同时将成本和排放降到最低。因此，在规划园区能源系统时，一个重点是各种技术组件的控制策略。本章将进一步介绍这方面的内容，重点是路线图的第六步。章节6.1显示了园区控制系统的可能目标，并讨论了必要的基础设施。 在第六步中将以章节6.2中概述的一个虚拟园区的不同能源系统方案为例进行总结。

6.1 园区能源管理系统的设置

为了实现对园区能源系统的一致控制，需要遵循以下步骤：

1. 定义目标，即实现给定的关键绩效指标

2. 实现关键绩效指标的方法和策略

3. 硬件和软件基础设施，这是主动控制的先决条件

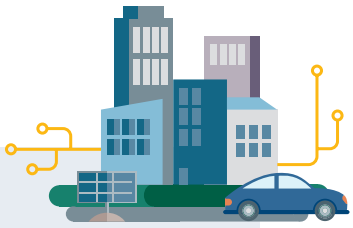
4. 实施确定的策略

气候中和园区的高比例可再生能源会导致能源供应的波动。这些波动需要通过有效的需求侧管理、部门耦合和存储管理来进行管控。这样一个管理系统的运行受制于不同的目标。作为一个例子，可以利用前面步骤中的关键绩效指标得出以下目标（在这个列表中没有根据重要性进行加权）：

- 减少/避免二氧化碳排放（见表5和表11）
- 降低成本（见表5）
- 符合法律要求（见表5）
- 确保供应安全（见表8）
- 避免负荷高峰（见表11）
- 增加当地可再生能源的比例（见表11）

这份清单表明未来能源系统的运行有更高的要求，会导致目标的冲突，形成了所谓的帕累托分布。项目总成本和二氧化碳排放量的关键绩效指标被绘制在轴上。在这种情况下，能源系统的二氧化碳排放量和项目总成本都要减少。红点标志着可能的解决方案选择（例如不同的控制策略）。作为典型的帕累托分布，两端的一个关键指标的微小变化会对其他关键指标产生重大影响。因此，在最左边可以用很少的额外成本实现大量的二氧化碳减排，而在最右边接近二氧化碳最佳值的额外二氧化碳减排会导致项目成本的大幅提高。

在实践中，不同的方法和策略被用来实现定义的目标。然而，通常只有一两个关键指标被定义为优化目标。许多关键指标不是优化的一部分，而是作为约束条件发挥作用（例如，必须始终保证供应安全）。



园区内的部门耦合

一个园区的能源系统的优化目标是关键，需要事先确定。在大多数情况下，这个目标是成本优化，但也包括法律要求，例如一定时间和区域内的排放。这些目标受到基于物理结构、技术要求等的各种边界条件的限制。优化目标的选择根据运营商的不同而不同，例如管理系统是由市政能源服务公司、热网运营商、大型工业企业等运营的。为了使更多的利益相关方达到最佳状态，需要找到一个聚合者，在多个能源和终端使用部门进行优化。这有助于释放地区内部门耦合的协同效应和机会。

为了实现目标和优化园区能源系统的运行，可以采取不同的策略。储存单元在未来的能源系统中特别重要。在优化控制的帮助下，存储单元可以解除能源生产和能源需求之间的联系。能源系统可以整合热、电或化学（氢）存储系统，这些系统可以以可控的方式进行充电和放电。

除了储存之外，对能源需求的具体控制也是优化系统的可能策略。需求侧管理（DSM）的目标是在可再生能源比例高的时候促进能源需求，在可再生能源比例低的时候避免能源需求。这就是为什么由园区能源管理系统管理的测量和控制点需要更广泛地实施。

图15显示了使用存储系统或DSM的瞬时能源和灵活的能源需求。该图可以得出主动控制能源系统的三个基本功能。

1. 削峰：目标是减少峰值负荷。减少能源需求的峰值负荷的好处是，能源系统（特别是峰值负荷系统）不必设计得像没有削峰策略那样大。削峰可以节省资本支出（CAPEX）。此外，峰值负荷系统通常仍由化石或低效能源系统覆盖。通过削峰（能源需求），以前充电的储能在高负荷时被释放，或者减少或避免高峰负荷时的能源需求（DSM）。
2. 填谷：填谷的目标是有一个稳定的能源需求，避免能源需求和发电量的波动。在不同负荷条件下的频繁切换通常意味着发电的效率损失。在非高峰期和高峰期负荷之间快速切换也是一个挑战。通过填谷，可以通过充电和放电存储或通过DSM控制来避免能源需求的较大波动。
3. 负荷转移：目标是将负荷转移到一个较早或较晚的时间点。由于缺乏同时性，可能有必要将能源需求与能源生产分开。负荷的这种相位转移也被称为负荷转移，可以通过充电和放电的存储单元来实现。

一旦确定目标和策略，实施的最后一步是全面的硬件和软件基础设施建设。图16显示了一个地区能源管理系统的可能组成部分。

与建筑自动化系统一样，园区能源系统的控制系统也由现场、自动化和管理三个层面组成。现场包括建筑物、能源来源、能源供应和能源系统的其他部分（如电动汽车）。系统的传感器和执行器都位于现场。根据能源系统的建筑/部分，传感器和（数字）可控执行器的数量可能不同，因此代表了一个异质的系统。这种异质性在自动化层面继续存在。新的住宅楼和越来越多的现有住

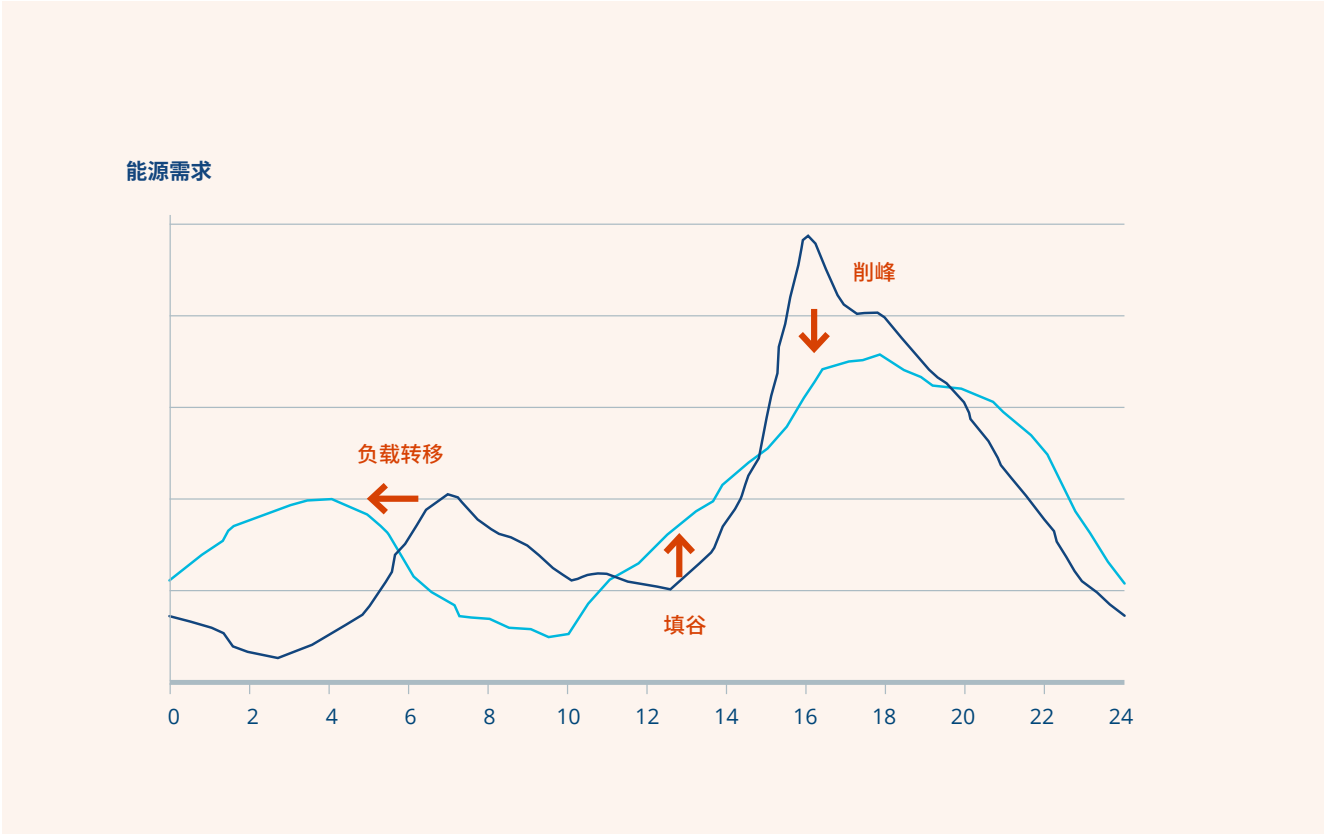


图15：需求侧管理（DSM）的标准操作

宅楼都由用户自行配备了智能家居应用，如可远程控制的恒温器。对于非住宅建筑，建筑自动化系统的使用在现有和新建筑中都很普遍。图17中的自动化层面代表了智能家居应用和建筑自动化系统。本地控制也已经实施完成。根据不同的应用，这些控制已经追求局部优化或只确保满足约束条件。管理层面将来自该区所有传感器和执行器的所有信息汇集在一起，对它们进行汇总和可视化，并从这些信息中得出新的控制设置（例如，用模型预测控制（MPC）或峰值负荷贡献（PLC））。在管理层面中连接几个建筑物和能源系统的额外部分，允许管理层面接管可视化，并将控制任务从自动化转移到管理层。一个重要的问题是这些过程在哪里进行，尤其是其中一些属于计算密集型的（MPC和代理控制（ABC））。除了地区内的本地资源外，云服务也是一个有希望的选择。在实践中，在现场、自动化和管理层面存在许多不同的通信协议。未来的地区控制系统必须能够处理这些不同的协议。

园区内的能源调控

时至今日，德国电力部门的集中监管为本地优化仅留下了很小的空间。因此，现有的园区能源系统更加注重于供热环节。在这部分，优化已经可以帮助降低系统和能源成本。更进一步，优化还可以从供热部门扩展到电力部门。此外，通过整合不同制造商的不同技术装置来确保系统的模块化是很重要的。在公众接受需要整合终端用户的情况下，例如，利益相关者的可及性对于提高意识和随后的参与是至关重要的。同时，这也有助于通过整合新的利益相关者和可能的概念和商业模式来释放创新。

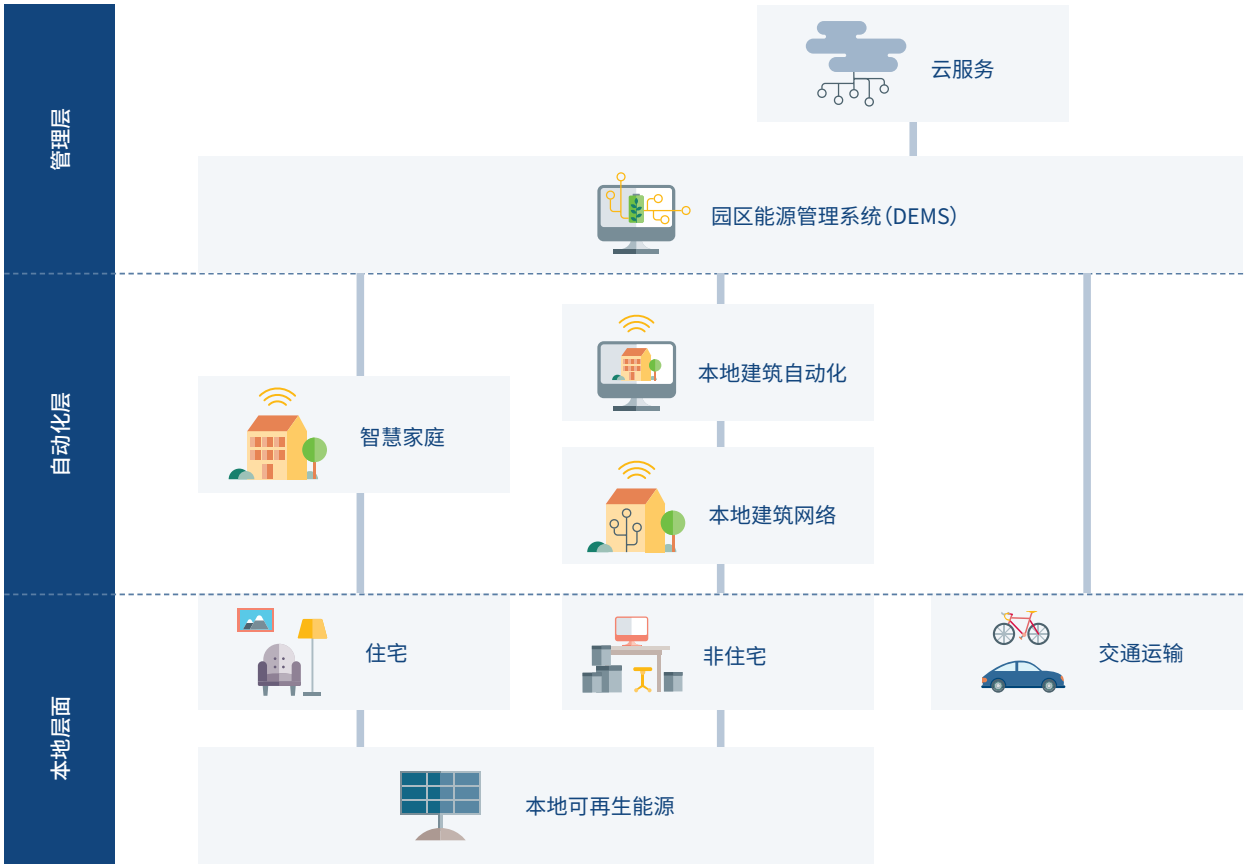


图16:园区能源管理系统的基本结构和组成部分

经验之谈：

为了充分利用技术的潜力和避免不必要的能源损失，控制能源系统是至关重要的。重要的是要确定控制系统的目标，并在各个利益相关方的不同利益和动机之间找到一个最佳平衡点。操作这个系统的整合方在连接不同层次、部门和利益相关方的各种角色和任务方面起着关键作用。园区开发商必须找到一个专业的合作伙伴，在较长的时间内担任这一角色，以成功建立园区能源管理系统。不同利益相关方之间的接口（见第一步）及其相应的优化策略需要由能源管理运营商的投资方来协调，以确保所有参与的利益相关方都致力于该项目。

展示案例：位于德国曼海姆的 本杰明-富兰克林村

在曼海姆的前美国Benjamin Franklin本杰明-富兰克林村被归还给当地政府后，在该地区建造了一个新的园区。考虑到园区供热和终端消费者的电力需求以及电动汽车，在该园区采用了一个综合能源技术方案。此外，该园区还安装了一个用于供暖的缓冲存储系统。

所有的装置都由一个平台来进行控制，该平台根据电力买卖的价格以及热需求和储热系统的存储水平来优化电力的自我消耗。在电力销售价格低的时候，电转热装置可以将剩余的电力转化为热能进行储存。

此外，这些装置还参与平衡电力市场，例如，在负平衡电力价格高的时候削减光伏发电量，或灵活地对电动汽车进行充电操作。结合当地的光伏生产预测，热网及其经济效率得到了优化。

一个重要的前提条件是，市政能源服务公司负责供热电网和光伏电站的运行，这样优化后的运行可以在其他领域释放出效益，如平衡市场中的电转热装置，以及在电转热装置或电动汽车中直接使用当地的光伏发电。

更多信息
(德语版本)

6.2 情景规划：一个虚拟园区

在前面的步骤中，在理论层面上讨论了建立园区能源系统的相关任务。为了说明如何在实践中应用，这些方面被结合在一个虚拟的案例中，展示了德国一个虚拟商业园区的情景。

在本研究中，对能源需求、本地能源、整个系统以及经济和生态评估的建模进行了简化和假设。天气数据来自德国气象局对德国亚琛市2015年的数据。这些结果并不代表明确的规划或详细的模拟，而是为了说明不同能源系统方案的影响。该园区是虚拟不存在的。

园区及其系统边界的定义

本文提供了一个具有不同用途的商业园区作为案例。使用TEASER将不同建筑的建造年份与特定的热传导值进行分组。使用步骤二中提供的特征定义大小和地理边界。为了对园区进行评估，所涉及到的相关部门及其边界是必须确定下来的。

能源部门:随后的调查考虑到以下能源部门：电力、供暖和制冷。一个关键的简化要点是在这里只考虑到建筑的能源使用。电动汽车的公共充电站和其他公共能源需求被排除在调查之外。

能源和生态的平衡:该园区的能源平衡选择了“地理加”方法。使用“地理加”方法（见第二步），在一个行政边界内的所有元素和该城市行政区域内容易追踪的进口能源流都被考虑进来。在本次调查中，进口能源流是电力、天然气和绿色氢气。

本地使用的电力和热力是能源平衡的关键指标。制冷在这里没有被专门考虑进来，因为在所有提出的能源系统中，它是使用电能（压缩冷水机或地热泵）来进行提供的。此外，每小时的电力剩余负荷曲线被计算出来，除了年度关键指标之外，还决定了何时必须进口能源。

作为进一步的简化，完整的生命周期分析报告没有作为研究的一部分来进行。在下文中，只考虑了与直接运行相关的运行和能源及生态费用。运行中的二氧化碳排放被用作生态评估的关键指标。进口能源流被赋予恒定的二氧化碳系数，并包括在生态评估中。氢气始终被认为是没有任何二氧化碳排放的绿色氢气。

经济效益核算:出于核算经济效益这一目的，投资的简化净现值在一定的观察期内被确定下来。净现值（NPV）对应于由于投资而产生的所有进账和出账的总和。这个值是在一个固定的观察期内确定的；投资后的所有定期付款（如能源成本和二氧化碳成本）都被折现（即折算到当前）。净现值考虑的是投资的寿命；如果投资的寿命超过了所考虑的观察期，也必须折算到投资

时的剩余价值。

在本方案研究中，为了确定净现值，我们做了一些简化的假设：

- 所有必要的投资都在时间起始点（即第一年）进行。
- 每年的支付（如能源成本）保持不变。
- 没有来自于向客户出售能源的收入。这个假设可以这样解释：所使用的能源（热力、冷力和电力）具有相同的价值，因此在每种情况下都有相同的价格。
- 通货膨胀和价格上涨被利率所平衡。
- 剩余价值（特别是区域供热管道）在线性基础上折旧，即在一半的使用寿命后，投资的剩余价值为50%。

进口能源的成本和出口电力的价格被假定为不变。

- 假设投资的线性函数取决于装机功率（见表18和表19）。
- 所考虑的周期为15年。
- 利率设定为6%。

所有的价格、成本和其他假设都是粗略的估计，无法完全反映不同商业案例的能源系统规划的复杂性。本指南中的能源和经济模型的目标不是涵盖所有不确定因素的精确能源系统规划。相反，它是为了在可比条件下比较不同的系统。对于边界条件有所不同的类似园区，评估结果（包括能源和经济）可能是不同的。

能源需求的特征

根据确定的园区规模（建筑物的数量和类型）和要考虑的部门，必须确定所有建筑物每小时的热、冷和电力需求。在这个项目中，采用一个简化的建筑模型来模拟热需求（供暖和制冷需求），这取决于建筑物的用途、大小和年龄。详细的数据是根据一些输入参数（如：建筑用途、建筑年龄、总建筑面积）来估计的。每小时的电力需求是利用德国标准的不同用途的负荷曲线来确定的。

这种计算提供了所有100栋建筑的小时需求值，现在可以对其进行更详细的分析。由于冬季的供热需求，可以看到明显的季节性特征，尽管热需求的相关部分是由一个全年都需要热的过程要求的。由于办公大楼的比例很高，该地区有大量的冷却需求。在商业区，电力需求的季节性波动不太明显。由于商业流程导致的高绝对值和特定的电力需求和所需电力尤为显著。图16显示了供暖、制冷和电力需求的每小时时间序列。

用途和基础设施特点

- 异质性使用和强烈差异/个人用户行为
- 办公室和仓库，包括一些有低温工艺热需求的轻工业
- 不同的建筑标准（建筑年代）和因使用而产生的强烈差异的能源强度
- 现有的基础设施（主要是天然气、电力）。）
- 新的基础设施难以开发

园区关键指标	
建筑物数量	100
总楼面面积	281,500 m^2
容积率	0.5
建筑构成	
工业	40%
办公室	30%
零售业	29%
酒店	1%
建筑年份	
1977年以前	44%
1977–1984	27%
1984–1995	18%
1995年以后	11%

表13：园区特征

本地能源特征

为了最大限度地减少能源进口，降低未来价格上涨的风险，应推行高标准高要求的能源策略，即利用本地能源来尽可能多地满足本地的能源需求。此外，与能源进口相比，追踪本地能源的气候中和性更为容易（如不同来源产生的电力组合）。为此，所有建筑都配备了光伏系统。为了计算光伏系统的输出，假设所有的屋顶都是平屋顶，并且其60%的面积被留作光伏用途。容量（即面积）是事先设定的，不属于优化的范畴。商业建筑的屋顶利用率相对较低的原因是，额外的设备组件通常位于屋顶上（如通风设备或电梯井）。另一个假设是，光伏电池板理想地朝向南方，间距为30°。光伏电池板对倾斜表面的辐照具有14%的恒定效率。由此产生的光伏发电曲线可以在图18中看到。这一结果在所有方案中的模式是相同的，因为各个方案都使用了相同的天气数据。除了光伏系统外，还利用了余热废热形式的可再生热源。图19中的余热废热潜力显示，与夏季相比，冬季的余热废热可用性更高。

能源供应方案的定义和模拟

本指南总共计算了三种不同的方案，以比较现状和两种主要依靠电力或氢气的方案。使用燃气锅炉和冷却机的分散式供应作为参考基准方案。在这个基准方案中，没有使用可再生的本地能源（即没有光伏、地热以及余热废热）。该系统的确切特征将作为模拟结果介绍的一部分进行说明。

对该园区进行了“全电”方案和“全气”方案的研究。在这两种情况下，光伏系统的作用显著放大，余热废热源被连接到园区供热网络。使用一个储热系统来对废热进行缓冲。在“全电”方案中，一个中央高温空气源热泵被连接到园区供热网络，提供剩余的供热需求。“全电”方案使用一个中央蓄电系统。在“全气”方案中，热电联产只使用绿色氢气，并且是热能驱动的；电力可以在本地使用。多余的光伏电力使用电解和氢气储存系统进行储存。

基准方案：分散式燃气锅炉

在基线方案中，分散式锅炉和压缩式冷却器构成了能源系统的基础。所有的能源，即家庭用电和压缩冷却器的电力以及燃气锅炉的天然气，都通过进口输入到该园区。

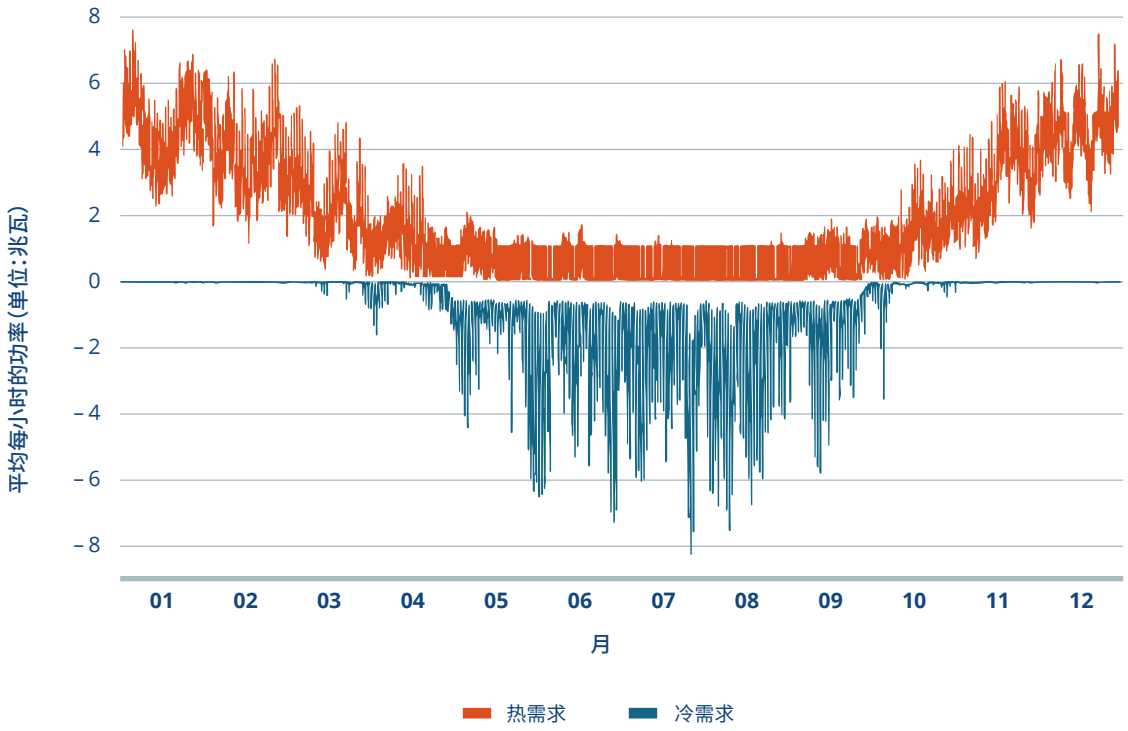
图20显示了能源系统的简化桑基图。尽管这三个部门的规模很大，但该园区的分析结论大体上并没有改变。

基准方案已经显示出运营成本是一个关键驱动因素。在基准情况下，运营成本超过投资成本的许多倍。其原因是较高的能源需求。相应地，二氧化碳排放量也高得多。投资成本的结构显示，制冷所受到的关注度更高。

基准方案可以用简单的转换过程来概括，不能利用部门之间的协同作用。没有利用本地能源，导致100%的电

需求类型	数值
供暖需求	48.3 kWh/m²
工艺用热需求	4.3 kWh/m²
制冷需求	27.1 kWh/m²
供电需求	125.1 kWh/m²
规格加热功率	34.0 W/m²
规格制冷功率	32.7 W/m²
规格供电功率	28.4 W/m²
供暖/制冷流动温度	80 °C / 6 °C

表14：园区能源需求特征



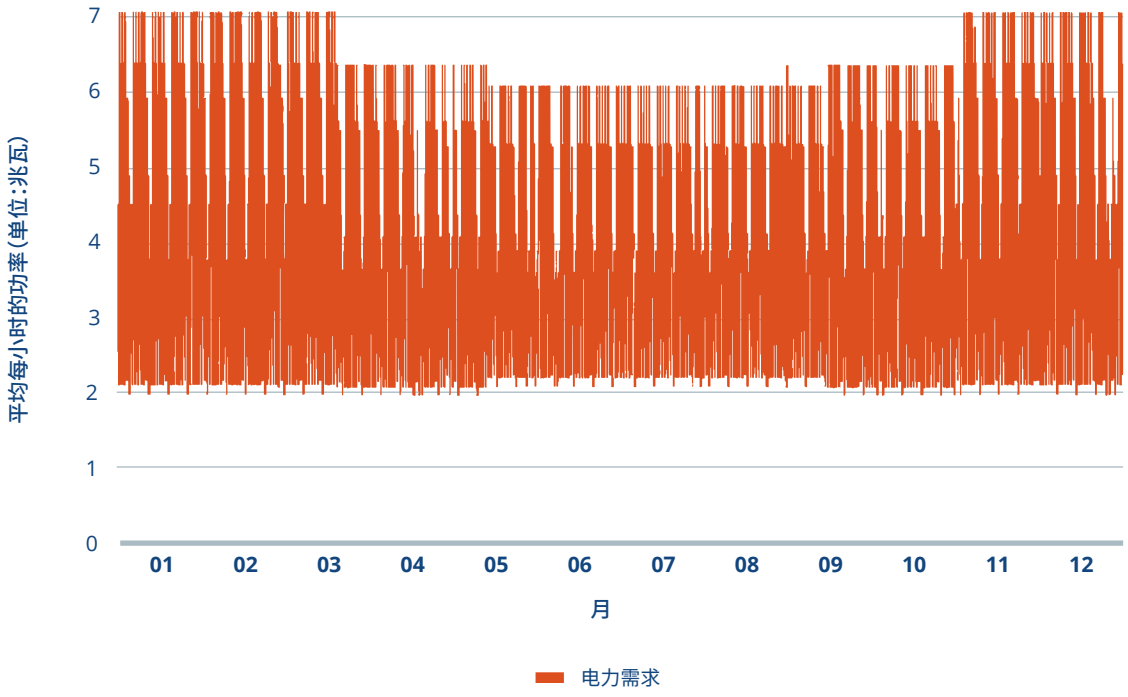


图17:全年供暖、制冷和供电需求的每小时时间序列

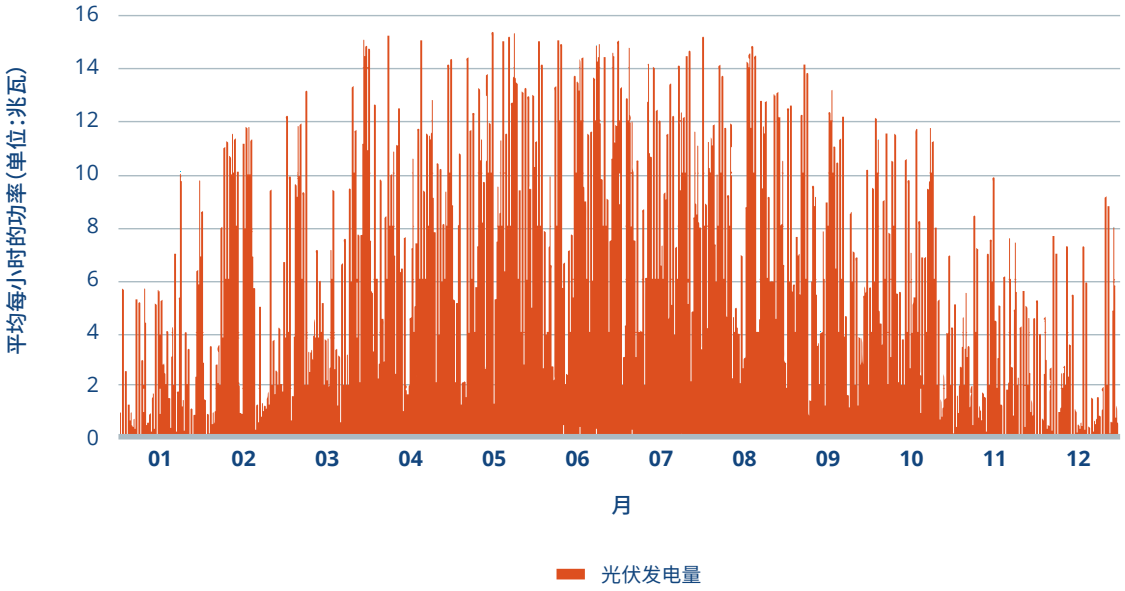


图18:总发电量

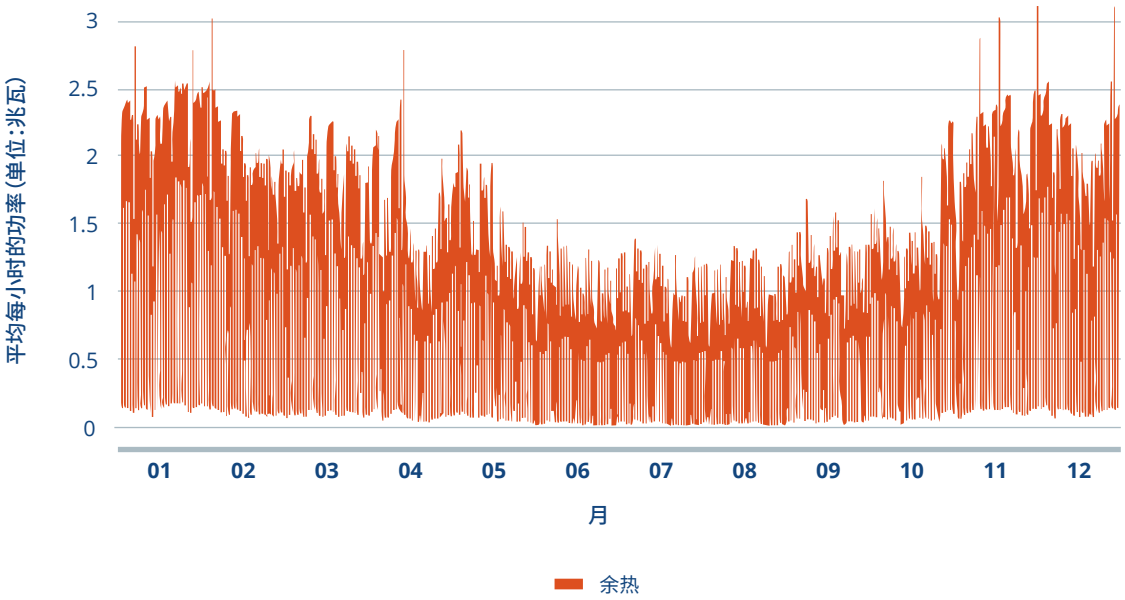


图19:余热废热潜力

力和天然气的进口。持续的电力进口导致全年所有时间内的剩余负荷曲线为正。

“全电”方案:余热废热和中央空气源热泵

在“全电”方案中，余热废热和中央空气源热泵是园区能源系统的基础。热力分布在热网中，分散式冷却机满足制冷需求。在这个方案中应用了两个存储系统：一个热存储系统（20 MWh ~ 450 m³）用于缓冲余热废热，一个中央电力存储系统（20 MWh）存储来自光伏系统的剩余负荷。首次尝试应用PLC控制余热废热及其存储的使用。只有当热需求低于余热废热潜力时，缓冲储存才会被充能。如果余热废热潜力太低，无法满足热需求，则启动空气源热泵。首先将进行验证来判断光伏电力是否可以用于热泵或压缩冷却机，然后再覆盖商业电力需求。如果光伏系统覆盖了全部的电力需求，就会尝试给存储设备充能。如果存储设备已经充满，那么电力就会进行输出。如果没有可用的光伏电力，则首先对储能装置进行放能，然后再使用进口能源。

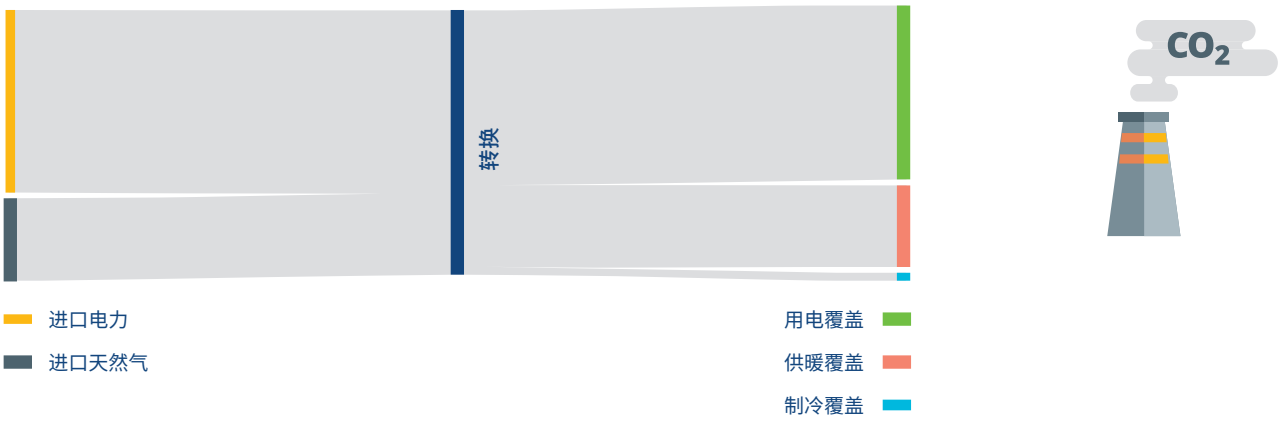
图21显示了虚拟园区在“全电”方案下的桑基图。与基准方案相比，进口的电力相对更少。几乎所有本地生

产的电力都可以被利用；只有很小的一部分被出口。这是由于该园区的高能源需求（电力需求+热泵）导致的。另外，余热废热在很大程度上可以直接用于园区供热系统。然而在夏季，大部分园区需要制冷。即使有更大的电能和热能存储装置，该园区将始终依赖于工业用电的进口和热泵的运行。当地的装置已经覆盖了该园区40%的电力需求和43%的热能需求。尽管投资成本显著增加，但与基准方案相比，“全电”方案的净现值更高（即更经济），见表15和表16。与之前类似，这是由于低的运营成本和热网的剩余价值。与基准方案相比，二氧化碳排放量减少了约50%。剩余的排放是由于大量的进口电力造成的。随着时间的推移，可以假设由可再生能源产生的电力份额将会增加，因为中央电力供应也在进行能源转型。这同样也说明了地方和更高层次能源基础设施之间的相互依存关系。

“全电”方案显示，由于全天和全季度都有着很高的需求，本地的发电量总是可以被消耗掉。由于电力需求相对稳定，只有少量的电力被出口。使用热泵会导致更高的电力需求，特别是在冬季会导致正的剩余负荷。由于夏季需要制冷，一个季节性的存储系统可能是有益的。尽管其投资成本较高，但净现值高于基准方案，这导致其与基线方案相比，运行更加经济。

能效相关	二氧化碳排放	14,000 t/a
	本地供电份额	0%
	本地供暖份额	0%
经济效益相关	净现值	-143,250,000 €/a
	投资成本	-2,653,000 €
	运营成本	-13,140,000 €/a
	成本构成	
	冷却机	54%
	燃气锅炉	30%
	设计与启动	17%

表15：基准方案的关键结果数据



基准方案下的二氧化碳排放与净现值的桑基图及其关键指标

“全气”方案:余热废热与氢能热电联产

在“全气”方案中，热能主要由以氢气为燃料的热电联产产生。和以前一样，余热废热由热网来进行使用和分配，制冷需求由分散的制冷机来满足。在这个方案中应用了两个存储系统：一个热能存储系统（20 MWh ~ 450 m³）用于缓冲余热废热，一个氢能存储系统（20 MWh）连接到一个电解器。电解器完全使用光伏电力。控制系统首先尝试使用余热，并将余热从缓冲存储系统中释放。只有当热量需求低于余热废热潜力时，缓冲存储系统才会进行充能。如果余热废热水平过低从而导致无法满足热需求，则将启动热电联产，以产生热量和电力。首先，它使用本地储存的氢气；如果本地无可用氢气储存，热电联产可以使用进口的绿色氢气。对于电力控制，光伏和热电联产系统产生的电力首先用于压缩制冷机和工业电力需求。如果光伏系统覆盖了全部电力需求，则首先尝试使用电解器（效率为65%）对储能装置进行充能。储能装置可以使用热电联产进行放电。如果储能装置已充满，则将向园区外部出口电力。如果园区没有可用的光伏或热电联产电力，那么就需要进口能源。

图22显示了氢能系统的桑基图。与“全电”方案相比，供暖的一次能源需求更高。这是由于与热泵相比，热电联产中的氢气转换效率较低（见图12）。此外，由于热电联产在优先模式下运行（冬季），氢气只被进口用于供热，因此热电联产所产生的电力可以被认为是本地产出的。在夏季，热电联产只用本地储存的氢气来运行。由于电解效率的损失，只有少部分电能会被储存起来。较高份额的电力（热电联产在冬季产生的多余电力）被出口至园区以外，因为这些电力没有被重新用于电解。

本地产生的高份额的电力可以直接使用或通过存储系统使用。优先的热电联产所产生的电力被认为是本地能源，导致冬季的剩余负荷曲线为负值。虽然这对本地园区有着经济和生态两方面的缺点（进口氢气成本较高，而且氢气热电联产的效率比热泵低），但它可以使其他园区受益（例如，在冬季有正的剩余负荷的“全电”园区）。CHP电力将当地使用的电力增加到66%。然而，大量的氢气进口来操作热铅热电联产，使当地使用的热量减少到23%。

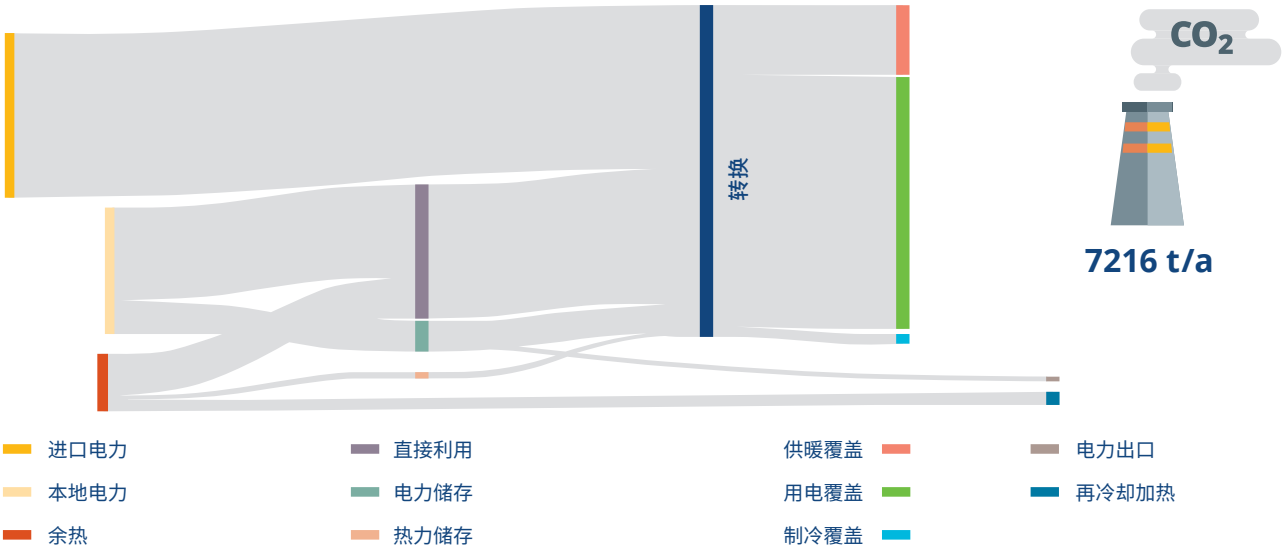


图21:“全电”方案下的二氧化碳排放与净现值的桑基图及其关键指标

能效相关	二氧化碳排放	7216 t/a
	本地供电份额	40%
	本地供暖份额	43%
经济效益相关	净现值	-114,425,000 €/a
	投资成本	-42,630,000 €
	运营成本	-7,370,000 €/a
	成本构成	
	光伏系统	36%
	电存储装置	23%
	设计与启动	17%
	热泵	10%
	热网	7%
	余热废热装置	3%
	冷却机	3%
	热存储装置	≈0%

表16:“全电”方案的关键结果数据

如表17所示，“全气”方案下的投资成本甚至比“全电”方案更高。高投资的主要驱动力是热电联产厂和储能系统所需的电解器。与“全电”方案相比，储能系统本身的投资与其他投资相比可以忽略不计。然而，较高的投资成本带来的劣势可以被较低的运营成本这一优势所抵消。除此以外，由于不需要运行热泵，总的电力需求也会减少。由于以热为主导的操作和本地使用的电力，热电联产更具有经济效益。净现值比基线方案高（即“全气”方案也更加具有成本效益）。

“全气”方案还表明，本地的发电量是可以在本地被消纳的，因为无论昼夜亦或是冬夏本地都会有大量的能源需求。热电联产厂以热为主导的运行会导致冬季出现负的剩余负荷，如果与该园区的光伏发电联系起来，这可能是一个优势。由于热电联产的广泛应用，本地使用的电力份额在所有三种方案下是最高的。同时该方案还可以考虑添加季节性储能系统，以避免在夏季需要对废热进行额外制冷平衡。

方案比较

表16和表17总结了各方案比较的主要结果。与基准方案相比，“全电”方案和“全气”方案都减少了二氧化碳排放。“全气”方案下热电联产配置的二氧化碳排放量最低（减排75%）。然而需要考虑的是，绿色氢气需要用可再生能源生产并进口到该园区，而这需要大量的氢气运输、分配和储存相关的基础设施。“全电”方案实现了49%的碳减排，该方案中排放的主要来源同样是电力的进口。

“全气”和“全电”方案的净现值都处于同一范围内（偏差<3%）。较低的运营成本以及园区供热网络在15年的观察期后仍可以使用的剩余价值也是这两个方案经济效益较高的原因。两个方案的净现值都比基准方案更好。总的来说，商业园区的能源系统由于能源需求量大，有较高的运营成本。这也导致了较高的投资成本，特别是对于能源密集型地区。较高的前期成本和较低的运营成本导致了园区存在投资和可能的绿色金融工具等方面的需求。各种商业案例都可以通过经营基础设施这一机会得以孵化实现。

“全气”方案是唯一的由于优先热电联产运行能源系统从而在冬季有负的电力剩余负荷的方案。这对于更高层次的能源系统来说是有利的，因为冬季的光伏发电量一般较低。尽管有电力和氢气进口，两个全电力方案都有可能实现碳中和。然而，在冬季进口能源（电力和氢气）对于更高一层的能源系统构成了挑战。由于夏季可再生能源（光伏）的潜力较高，因此夏季的正剩余负荷相对不那么关键。

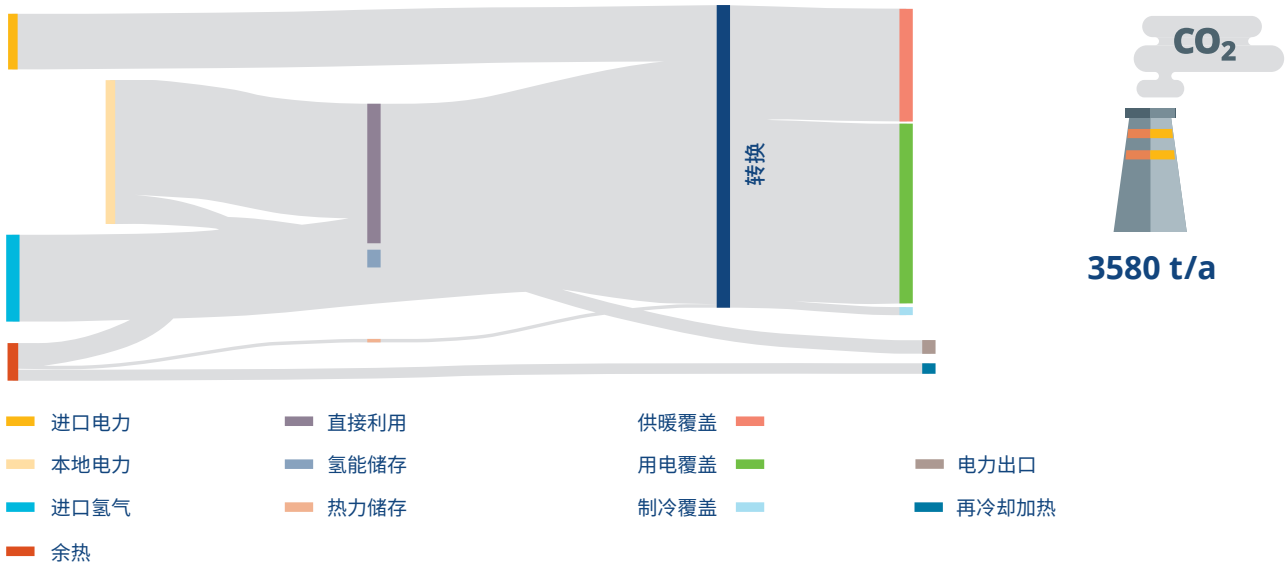


图22:“全气”方案下的二氧化碳排放与净现值的桑基图及其关键指标

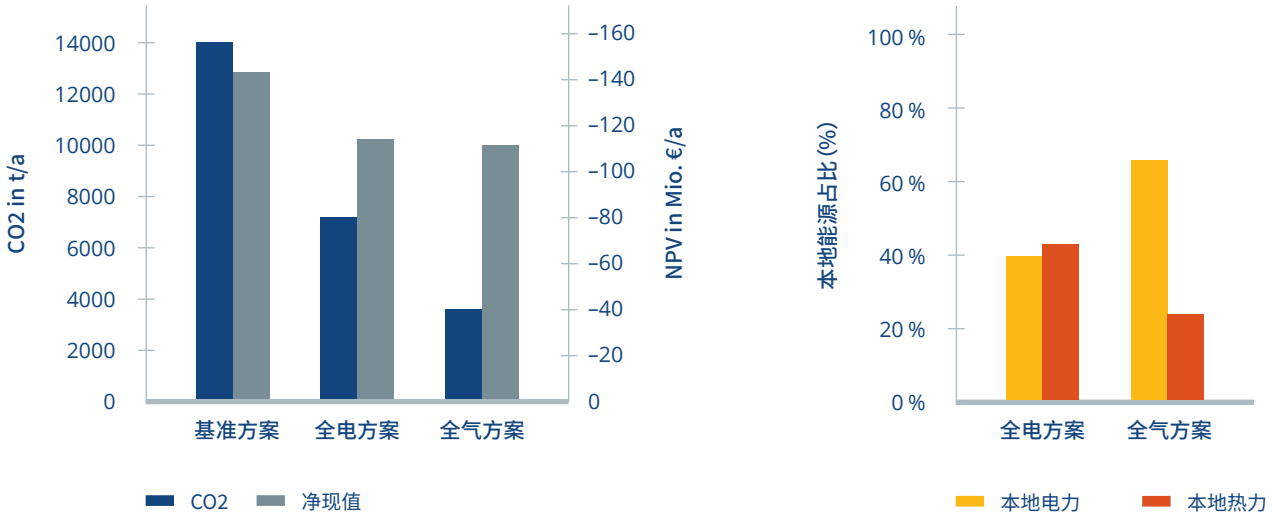
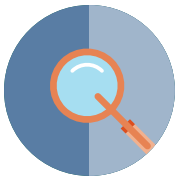


图23:各个能源系统配置的碳排放、净现值以及本地使用的电力和热能的关键指标比较

能效相关	二氧化碳排放	3580 t/a
	本地供电份额	66%
	本地供暖份额	24%
经济效益相关	净现值	-111,750,000 €/a
	投资成本	-51,760,000 €
	运营成本	-6,170,000 €/a
	成本构成	
	光伏系统	30%
	热电联产	27%
	设计与启动	17%
	电解器	14%
	热网	5%
	冷却机	3%
	余热废热装置	2%
	氢能存储装置	1%
	热能存储装置	≈0%

表17:“全气”方案的关键结果数据



经验之谈

“全电”和“全气”方案都能实现大幅降低碳排放。关于本地生产的能源在本地消费的总体份额，“全电”和“全气”方案之间存在着差异。在某些行业的高温工艺用热需求的情况下，氢气可以在能源供应中发挥核心作用，这同时也影响着当地热网的运行，因为它不能覆盖所有温度水平的热需求。尽管如此依然需要指出的是，如果将这两种方案结合起来，累积两者的优势是可行的。特定行业可能会通过本地过剩的光伏电力进行电解制氢来满足部分氢气需求，而其他温度水平的热需求比如供暖，则可以使用分散式热泵来进行覆盖满足。

未来展望

一旦一个园区项目开始启动并完成了设计规划，项目具体的实施以及运营阶段对于实现气候中和就显得至关重要。

项目管理需要解决实施阶段诸多利益相关方之间的复杂网络。到目前为止，气候中和的实施还没有一个统一标准，园区开发商往往依靠施工现场实施方的专业知识。因此，一个专业的实施方是避免因实施气候中和园区具有较高复杂性从而造成项目工期延误甚至是质量下降的关键。在这一步必须吸纳专业的供应商和组织方，从而避免延误或质量下降。审批部门也需要在早期阶段参与进来，因为在项目实施期间往往需要他们的灵活变通，比如有的项目在保护自然环境（动植物）、占地空间、土地使用和气候中和排放目标等方面存在冲突。不同的利益相关方需要找到务实的解决方案来优化他们之间各不相同的战略与目标。因此，节制且坚实的沟通是一个项目的关键。

在施工阶段，交通、废弃物、噪音和排放物（如灰尘）会在本地周边环境中产生，这可能会导致附近邻居的不满，这也是大型项目的负面影响因素。为了促使这些受到负面影响的利益相关方接受项目继续施工，在规划阶段就应考虑到这些因素并尽可能地减少项目对周边的影响。最重要的是，在气候中和建设的背景下，减少材料需求并减少废弃物以及减少整个项目生命全周期中该阶段的相关排放是至关重要的。在未来的考虑中，不能再忽视生产、建造、更换、拆卸、处置以及必要时的维护所产生的温室气体排放，而必须从整体的角度考虑项目的整个生命周期。

运营阶段的特点是需要对园区进行不断监测和优化，最重要的是园区的能源系统。与传统的能源系统不同，更加复杂的技术设置导致了对专业监测和后续优化所安装的能源系统的需求有着显著增加。计划值和实时值之间的差距不能被低估忽视，因为实际操作中这往往会导致种种不可预见的后果。如果涉及到住宅部门的私人终端用户，这样的情况就尤为常见，因为不同住户的行为是事先难以进行预测的。对此的战略包括首先确定目标（最小化排放、最大化自我消纳、最大化平衡电力收入等），并在导致冲突的结果时对其进行优先排序。其次，需要必要的数据收集点和随后的数据分析，以制定一个可靠的监测方案。

一般来说另一个需要考虑的问题是通过气候中和的综合规划，各园区的规划周期会被拉长。摊销投资的短期限往往使私人利益相关方面临实现快速周转回报的压力。这对于实现气候中和来说是有阻碍的，因为气候中和园区的优势往往是通过在长期内降低成本、排放和更高的园区使用灵活性等形式得以体现。另一方面，向气候中和转变的标志是各级行政部门（市政、区域、国家）的公共决策方不断提高的目标和能源市场的结构变化。与碳定价有关的化石燃料可能的价格上涨和金融利益相关方对投资组合的降级是一个持续性的风险。此外，对于办公室租户来说，为确保其公司实现相关气候目标，气候中和正变得越来越重要。因此，今天需要通过预测未来化石燃料进口和排放的更高价格来考虑未来的变化。

公共机构的参与，特别是市政机构的参与，在园区项目中所能发挥的作用不应该被低估。与私人投资方相比，地方当局有着更长的规划周期。他们和园区开发商之间的协同作用可以帮助为长期决策和后续风险提供保障。在设备寿命较长的情况下（比如热网），地方当局可以帮助提供指导并确保长期经济运行。包括市政能源和基础设施计划对于气候中和园区也是能起到辅助作用的，这些计划需要与园区的计划同步进行。地方当局也可以在这其中发挥宝贵的作用，作为一个固定的客户为启动热网提供必要的热能需求。另外随着国家政府不断调整气候目标，园区和地方当局也需进一步跟进。因此，园区开发商从现在起就已经可以开始规划实现气候中和，并与地方当局建立合作，从而以最有效且最具有经济效益的方式来实现气候中和。在这一方面，综合性的园区规划是将所有利益相关方和有关部门聚集在一起，在实现气候中和这一道路上充分释放其潜力的关键

参考文献

AG Energiebilanzen e.V. (AGEB). (2020, September). Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_19_v3.pdf

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). (2019, May 29). Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland Basisdaten und Einflussfaktoren. Berlin. https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20190529_Waermeverbrauchsanalyse_jwZ6BGZ.pdf#page=20.

Bloomberg, Michael. (2017, June). Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. TCFD. https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf.

China Heating Society (2020, September 21). 江亿：我国供热行业2020年度发展状况报告. Retrieved November 8, 2021, from http://www.hvactt.com/article/165-173-1239.html

Choi, J., & Heller, T. (2021, February). The Potential for Scaling Climate Finance in China. Climate Policy Initiative. https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/02/The-Potential-for-Scaling-Climate-Finance-in-China-1.pdf

Climate Bonds Initiative. (n.d.). Climate Bonds Launches Version 3.0 of the international Cli-mate Bonds Standard Universal compatibility for global green investment – Certification a label of trust in debt markets. Retrieved November 7, 2021, from https://www.climatebonds.net/resources/press-releases/2019/12/climate-bonds-launches-version-30-international-climate-bonds

Climate Bonds Initiative & SynTao Green Finance. (2020). China's Green Bond Issuance and Investment Opportunity Report. https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_gfo_china_05b.pdf

Dettmar, Jörg, Christoph Drebes, und Sandra Sieber. (2020). Hrsg. Energetische Stadtraumtypen: strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen. 2., Überarbeitete und Erweiterte Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Deutscher Bundestag. (2020, April 3). Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff. https://www.bundestag.de/resource/blob/691748/01a954b2b2d7c70259b19662ae37a575/WD-5-029-20-pdf-data.pdf

Die Bundesregierung. (2021, May). Deutsche Sustainable Finance Strategie. Berlin. https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Broschueren_Bestellservice/deutsche-sustainable-finance-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=10.

European Commission. (n.d.-a). A European Green Deal. Retrieved November 7, 2021, from https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

European Commission. (n.d.-b). Overview of sustainable finance. Retrieved July 22, 2021, from https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/overview-sustainable-finance_en

European Union. (2016). Paris Agreement. Official Journal of the European Union, L282, 4–18.

Fritsche, U., & Greß, H. (2020, November). Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. https://www.hea.de/resources/pdf/projekte/iinas-studie.pdf

Gobmaier, T., R. Corradini, and D. Kraus. (2007). Strukturoptimierung in Ballungsgebieten – Energiebedarfsprognose für die Stadt München. Kurzbericht der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE).

Hennes, Oliver, Samir Jeddi, Reinhard Madlener, Hendrik Schmitz, Johannes Wagner, Stefanie Wolff, and Jonas Zinke. (2021, June). Auswirkungen von CO_2-Preisen auf den Gebäude-, Verkehrs- und Energiesektor. Zeitschrift für Energiewirtschaft 45, Nr. 2: 91–107. https://doi.org/10.1007/s12398-021-00305-0.

International Capital Market Association (ICMA). (2020, June). Die Sustainability-Linked Bond Principles 2020. Die Sustainability-Linked Bond Principles. https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2020/German-SLBP2020-June-280920.pdf

International Capital Market Association (ICMA). (2021, June). Green Bond Principles, Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds. Green Bond Principles. https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2021-updates/Green-Bond-Principles-June-2021-140621.pdf

Jaccard, M. (2006). Sustainable Fossil Fuels: The Unusual Suspect in the Quest for Clean and Enduring Energy. Cambridge University Press.

Keirstead, J., Jennings, M., & Sivakumar, A. (2012). A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3847–3866. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.047

Wirtz, M., Kivilip, L., Remmen, P., & Müller, D. (2020). Quantifying Demand Balancing in Bidirectional Low Temperature Networks. Energy and Buildings, 224, 110245. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110245

Zarin Pass, R., Wetter, M., & Piette, M. (2018). A thermodynamic analysis of a novel bidirectional district heating and cooling network. Energy, 144, 20–30. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.122

附录

	运营成本 [€/MWh]	碳排放 [t/MWh]
进口天然气	86[1]	0.2
进口电力	280	0.30[2]
进口氢气	140[3]	0
余热废热	0	0
出口电力	- 5	0
碳成本	100	-

表18：进口能源的运营成本和碳排放

设备	投资费用[€/kW] / [€/kWh]	投资费用 [€/n]	运维成本 [1/a]	使用寿命 [a]
燃气锅炉	70	2500	160 €	20
制冷机	152	1765	总投资的 2.5 %	15
余热废热相关设施	544	296,770	总投资的 2.5 %	20
光伏系统	1000	2000	15 €/kW	20
储热设备	450	–	总投资的 1.0 %	40
中央储电设备	500	–	总投资的 2.0 %	15
热网	400	–	总投资的 1.0 %	50
余热废热源	400	–	总投资的 1.0 %	50
氢气热电联产	1920	–	总投资的 2.0 %	15
电解制氢	1100	–	总投资的 2.75 %	15
储氢	15	–	总投资的 4.0 %	15

表19：不同能源系统组件的投资、运行和维护成本

1 Hennes, Oliver, Samir Jeddi, Reinhard Madlener, Hendrik Schmitz, Johannes Wagner, Stefanie Wolff, and Jonas Zinke. (2021, June). Auswirkungen von CO_2-Preisen auf den Gebäude-, Verkehrs- und Energiesektor.

2 Fritsche, U., & Greß, H. (2020, November). Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050.

3 “WD 5 - 3000 - 029/20”, 5.

网站

微信

www.energypartnership.cn