



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Climate Action



中德能源与能效合作

Energiepartnerschaft

DEUTSCHLAND - CHINA

# 支持气候中和园区发展的数字化工具

中德城镇节能示范项目



# 出版说明

本调研报告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、具备经济吸引力的节能和减排潜力。

## 发行方

中德城镇节能示范项目  
中德能源与能效合作伙伴关系项目  
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

德国国际合作机构（GIZ）  
刘文瑾

## 作者

标赫有限公司（Buro Happold GmbH）  
肖静怡，Justin Zarb, Jochen Müller  
德国能源署（dena）  
Andreas Koch 博士，刘瑜，Thilo Cunz

## 图片

© Sympheny/Shutterstock.com (p.11)  
© EQUA Simulation AB/Shutterstock.com (p.13)  
© Vitec Software/Shutterstock.com (p.14)  
© SAFE Software/Shutterstock.com (p.15)  
© Planon/Shutterstock.com (p.16)  
© 摄图网 (P. 2, 3, 7, 22)

## 排版

万基成（德国能源署）  
北京卓创广告有限公司

© 北京，2023 年 11 月

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。本出版物中涉及到的外部网站发行方将对其网站相关内容负责，德国国际合作机构不对其内容承担任何责任。本文件中的观点陈述不代表委托方的意见。

# 目录

1 执行摘要.....	2
2 项目背景和目标.....	3
3 现状.....	4
3.1 行业状况.....	4
3.2 现状与理想状况.....	4
3.3 软件矩阵表.....	5
3.3.1 工作方法.....	5
3.3.2 构建内部工具.....	6
4 规划设计气候中和园区.....	7
4.1 指导原则.....	7
4.2 流程.....	7
4.2.1 项目开发阶段 / 前期研究.....	9
4.2.2 能源方案.....	10
4.2.3 方案设计和初步及深化设计.....	13
4.2.4 监测.....	15
4.3 挑战和机遇.....	16
5 研讨会收获与成果.....	17
5.1 第一场研讨会的交流成果.....	17
5.1.1 流与观察.....	17
5.1.2 流程优化建议.....	17
5.1.3 有待探讨的问题.....	17
5.2 第二场研讨会的交流成果.....	18
5.2.2 流程优化建议.....	18
5.3 园区规划设计工具的期望属性.....	18
5.3.1 平台优势.....	19
5.4 试点项目.....	19
6 未来前景.....	20
6.1 规划设计过程.....	20
6.2 数据管理.....	20
6.3 为工具开发奠定基础的标准.....	20
6.4 数字孪生体.....	21
6.5 后续工作.....	21
附录	
附录 1 软件矩阵表.....	23
附录 2 园区规划工作流程.....	26

# 1 执行摘要

结合新建及既有城区 / 园区（以下简称为“园区”）的脱碳化发展所涉及的数字化工具和全过程应用，本报告总结了相关调研分析工作的成果。作者结合自身在园区低碳设计咨询方面的实践经验，梳理分析了适合不同规划实施阶段使用的软件工具，并在中德城镇节能示范项目框架内的两场研讨会上分享了调研结果。

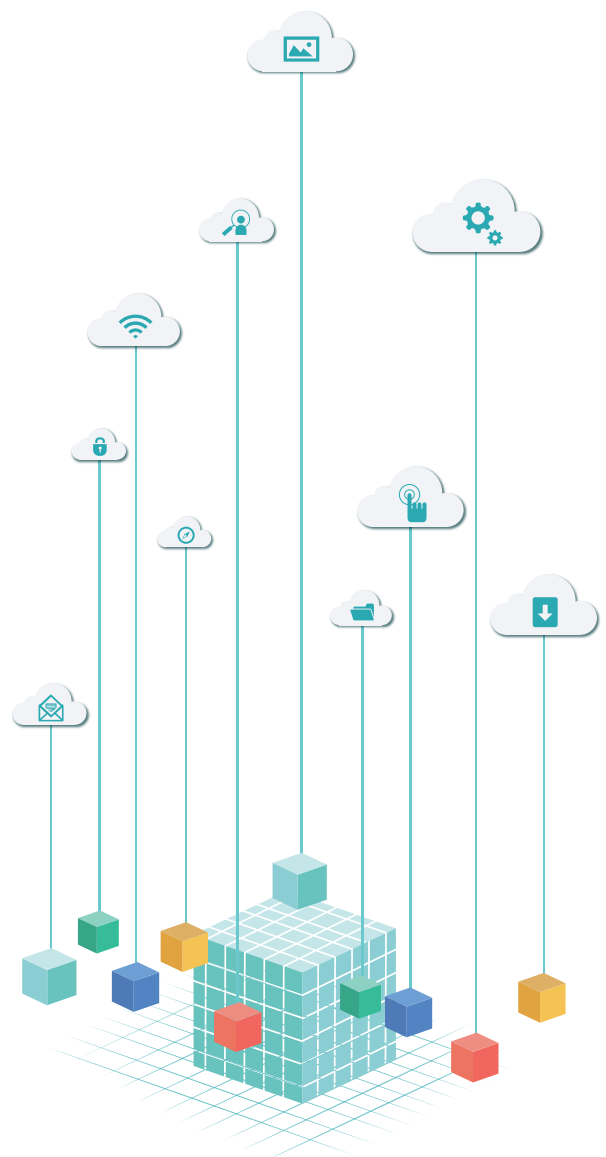
“碳中和”的确切定义不是本报告分析的重点。但以“碳中和”为目标是所有讨论的出发点，应在每个项目开始时根据其最佳的实施可能性加以明确。

在规划和实施低碳城市园区的过程中，一大挑战是如何全面获取数据信息，以便正确做出前期决策，并在综合设计过程中跨阶段、跨专业地管理和使用这些信息。这一新的要求与目前项目实践中的典型做法形成了鲜明对比。典型做法是，依照专业进行合同分包，在不同学科专业的设计团队之间划分任务，而各专业设计方之间往往没有形成共同的项目目标，常常无法分享重要的项目信息。软件工具领域同样具有碎片化的特点。在该领域中，复杂的综合功能软件包与目标界定明确的专项软件包相互违和竞争，除非补充接口，否则软件包之间的数据传输通常不畅。

本报告试图从项目全生命周期的视角分析软件工具系统。从而梳理定义出一个附带软件工具建议的理想化流程，此流程也可适用于部分特定阶段。报告中介绍的所有软件工具都是具有一定代表性的解决方案，其中大部分已在作者的能源咨询实践中得到充分验证。然而，这些软件工具并不体现当前软件应用的完整情况，也不应被解读为行业领域内的唯一解决方案。

本项调研于 2022 年 9-12 月进行，分为三个工作包，主要调研结果汇总成文于本报告第 3、4 和 5 章。在第一个工作包中，对市场上用于各个项目阶段的软件工具进行了梳理和概述，比较了应用领域、计算和优化方法、兼容性以及对规划设计者而言的其它重要特点。在第二个工作包中，展示了用于建设低排放园区的规划设计实施流程及相应软件工具。在第三个工作包中，通过两场研讨会，与来自德国和中国相关研究机构及企业的专家分享了调研成果并进行了深入讨论。其中，第一场针对德国专家（线上 + 线下），第二场针对中国专家（线上）。专题分享与讨论的参与度很高，与会者对前两个工作包成果所提出的意见和建议，都总结纳入了本报告后部章节中。

调研和专家交流表明，尽管市场上已有大量的各类专业软件工具，但在以“碳中和”为目标的城市片区及工业园区的规划设计和实施方面，还没有一个能够解决所有应用问题的“万能工具”。调研结果和专家反馈都突出显示，在碳中和园区整体项目中进行一致的数据管理和沟通至关重要。城市“数字孪生”是支持这些需求的有效解决方案，它能够体现整体数据以及实体与其数字孪生体之间的双向数据沟通。本报告第 6 章简述了园区数字化软件工具领域的未来发展展望。



## 2 项目背景和目标

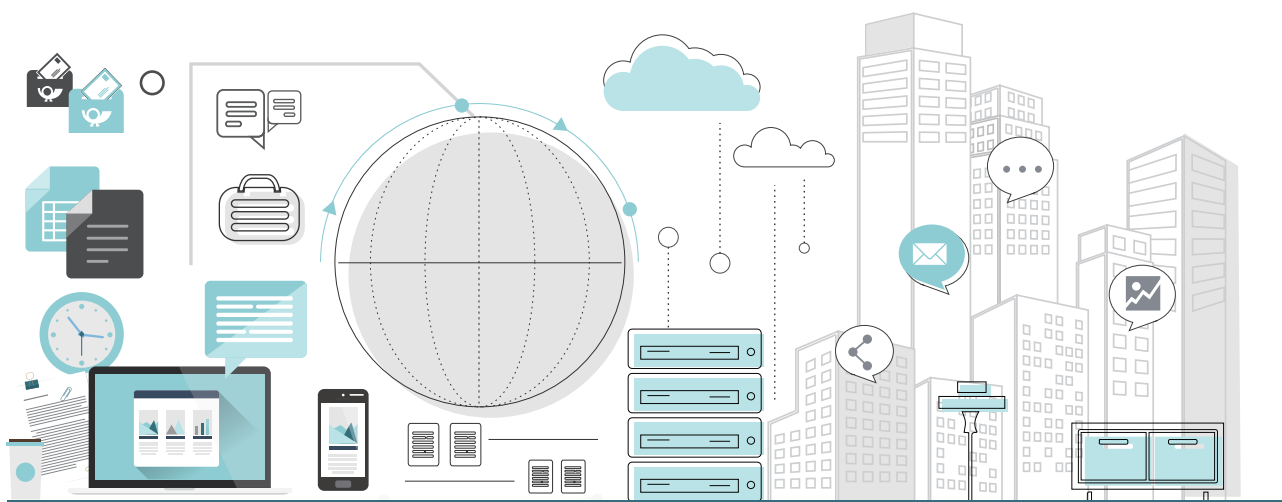
为了实现气候中和，政府、私营企业以及社会民众应密切协作，这也需要综合性解决方案。城市园区是最能够通过激发能源供应和消费领域多个利益相关方之间的协同效应，通过部门耦合，系统性地落实相关措施、解决具体问题，从而实现气候中和的有效单元。园区通过对基础设施的综合使用显著地降低系统成本，并创造出新的商业模式。

气候中和园区需要一体化、系统性的规划建设过程，必须协调节能、发电、可持续性建设、投资和生命周期成本、能源行业法规、租赁法、能源价格、筹融资及多个其他方面，以确定最合适的解决方案。在这个过程中，不同的利益方和实施主体都需要在不同的层面上做出许多决策。然而，在传统的规划设计和实施过程中，大多数权衡和决策是在独立的专业范畴内进行的，从而导致一种解决方案（产品）另一种解决方案（产品）相冲突（或不支持）。许多针对单个领域的软件工具具有高度的专业性，它们遵循各自领域的不同计算参数体系。这就造成了它们无法相互链接，也无法在一个一体化的流程中协作，从而阻碍了通过一体化流程来创造协同效应并实现系统优化。

如果要系统地汇总分属不同专业体系的不同参数体系，就必须在极其耗时的计算过程中切换使用多种工具，这在实践中缺乏可行性。为了权衡所有潜在的技术解决方案或产品，从中做出最佳选择，并将其整合到一个系统中，就需要基于整体思维，针对规划和计算工具建立一个清晰简化的总体架构。但在目前，仍缺乏清晰可行的构架。

为了梳理出一个清晰的构架，为系统性地利用能源规划设计和评估工具来支持气候中和园区发展提出指导性建议，德国能源署会同合作伙伴设计了本次调研分析。通过分析气候中和园区建设的全过程（包括规划、实施和优化运行），将具体工作分三部分（三个工作包）进行。

这项调研是在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（NRDC）指导下的中德城镇节能示范项目框架内进行。该项目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有限公司（CECEP）共同实施。调研工作中，技术层面的落实由标赫咨询公司实施。



# 3 现状

## 3.1 行业状况

建筑相关的碳排放占全球能源相关碳排放的 39%：28% 源自运营排放，主要包括供暖、供冷和供电所需能源的排放，其余 11% 源自材料生产和建设施工<sup>1</sup>过程中所产生的碳排放。

德国和中国已分别明确了到 2045 年和 2060 年实现气候中和、碳中和的目标。据政府间气候变化专门委员会（IPCC）的报告，为了实现将全球升温限制在 1.5 摄氏度的目标，到 2050 年全球必须实现净零排放<sup>2</sup>。然而，不同行业的具体目标和碳预算尚未转变为针对具体建筑类型的

量化要求，这需要转变思想，即将建筑运营和建设等环节的碳排放成本控制提升到和财务成本控制相同的高度。在本报告撰写期间，德国可持续建筑质量标识（QNG）提出了非约束性目标值<sup>3</sup>。

许多现有的软件工具不仅可以辅助设计出有效的能源系统，还可以用于探索多种替代方案，并从中选择具有成本最优化解方案的选项。如果碳排放也被视为成本，并被纳入最佳方案的筛选过程中，那么，现有工具和未来的软件系统化创新也将为改善建筑领域的脱碳路径发挥更大作用。

## 3.2 规划实施的标准工作流程及各参与方

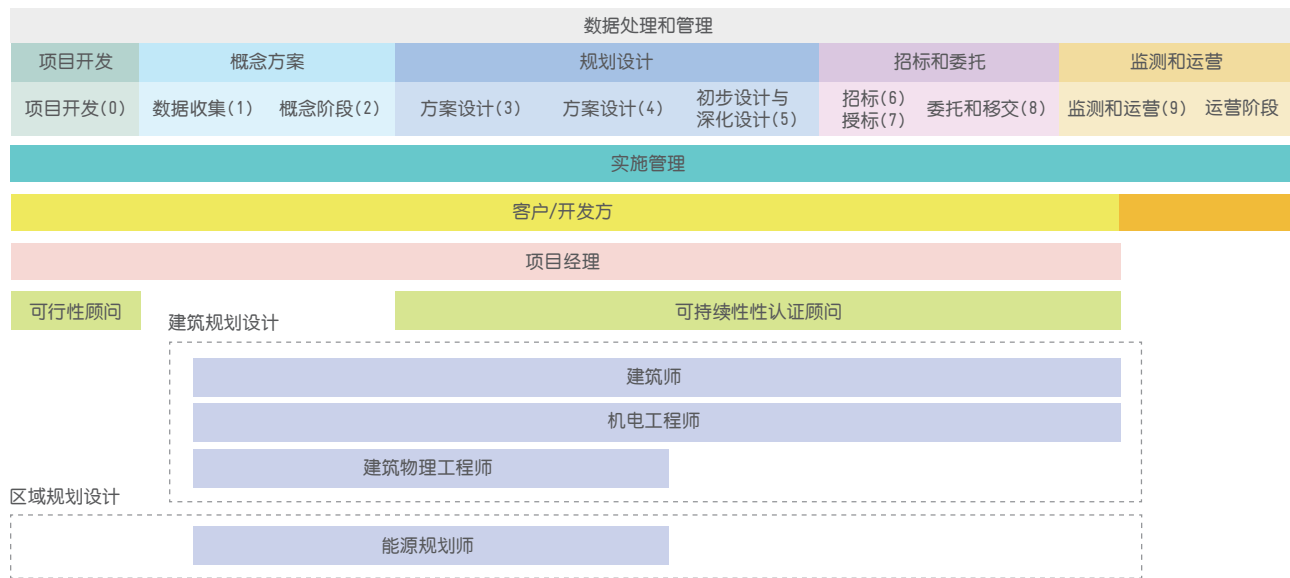


图 1 能源规划及实施各阶段的关键参与方（作者自制图，内容只包括主要阶段和参与方）

1 世界绿色建筑委员会（World Green Building Council）：<https://worldgbc.org/advancing-net-zero/embodied-carbon/>

2 政府间气候变化专门委员会（IPCC）：<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-2/>

3 德国联邦住房、城市发展和建设部：[https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/QNG-BEG/QNG\\_Handbuch\\_Anlage-3\\_Anhang-3212\\_LCA\\_Anforderung-NW\\_v1-2.pdf](https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/QNG-BEG/QNG_Handbuch_Anlage-3_Anhang-3212_LCA_Anforderung-NW_v1-2.pdf)

上图（基于德国的情况）呈现了典型的项目规划设计阶段和主要参与方。参与方的具体角色和参与时间长短因项目而异：规划设计方可能与其他专业的咨询方融合为一个团队，也可能分别独立工作，通常由第三方项目经理/协调员代表客户进行总体协调和组织。

成功的项目需要所有设计师和各学科专家及早共同参与。只有这样，他们的工作成果才能与其他参与方的工作方向协调一致。至关重要的一点是，所有参与者都能够在商务和技术层面通畅地互换信息。这就是作者在本报告中希望探讨的问题：是否有一种可以覆盖所有项目阶段的“超级工具”可供各参与方共同使用？

在德国，目前既有建筑存量已占 2050 年建筑存量的约 80%。这意味着，大多数区域集中供能项目将涉及既有建筑的节能改造和脱碳升级。与新建项目相比，改造升级所涉及的步骤更多，包括对运营能耗和现有系统的数据补充收集和管理。

因此，对现有固定资产进行脱碳时，使用实测数据作为了解用能需求、碳排放和脱碳潜力起点的做法更为有效。本报告中未深入涉及数据采集和处理阶段，但考虑到了运营监测软件包。

### 3.3 软件矩阵表

在研究了工作流程和参与方角色后，作者通过调研，编制了一份贯穿整个规划设计过程的软件包清单，并在“软件矩阵表”中比较了其最为突出的特点（见图 2）。大多数软件工具专门用于设计过程中的某个特定部分，如建筑能耗模拟和地区、国家或国际维度上能源供应系统的技术经济性评估等。

#### 3.3.1 工作方法

调研显示，市面上现有的单一软件包无法兼顾建筑和城市能源系统建模两方面。然而，在利用不同软件工具解决特定的设计任务的过程中，也存在一些共性的一般方法。针对建筑维度的软件包虽然带有一定的建筑几何图形生成功能，但需要与计算机辅助设计（CAD）平台相连接以创建 3D 模型。而针对城市能源系统的软件包一般都与地理信息系统（GIS）平台相连接。一些城市维度的软件包具有某种基于建筑原型或 R-C 模型的图形生成功能，或也提供导入外部生成图的选项。还有一些附带计算插件的通用型 CAD 或 GIS 平台的例子，这些平台或在（企业/机构）内部运行，或通过一些其他第三方软件支持运行。

在调研中，罕有发现可以在整个项目流程使用的软件包，即包含前期方案、初步及深化设计、模拟计算、实测数据各阶段所需功能，以及可用于项目监测跟踪的软件包。

为了对不同特点的软件工具进行全面评估，归纳出共性并比较其差异性，作者编制了一个矩阵表（基本结构见图 2）。该矩阵表将本次调研范围内的软件工具分为“建筑能源建模”、“区域能源规划工具”、“数据整合工具”和“操作工具”等四类。

筛选过滤	建筑能耗建模				区域能源规划工具				数据集成工具				运行工具			
目标																
分辨率																
方法																
接口																
应用范围																
透明度																
能源类型																
技术																
财务功能																
用户体验																

图 2 软件矩阵表的基本结构



而针对不同的比较维度，作者又进行更细致的特征要点分类（图 3），作为对比评估软件工具的依据，主要包括：相关的目标或任务、基础方法（即优化或模拟）、时间分辨率以及应用范围等。

目标	维度	方法	接口	应用范围	透明度	能源类型	技术	财务功能	用户体验
既定目标	空间	模拟方法	与其他软件、工具及数据库的接口	规划设计	获取计算结果	综合地理和环境数据	可以建模计算的技术范围	综合财务计算	软件安装要求
应用实例	时间	优化方法	与建筑信息模型 (BIM) 的接口	全生命周期成本分析 (LCA)	能够导出输入数据以进行验证	能够计算不同类型的可再生能源	网络建模	考虑资本支出或运营支出	相对于其他软件包的优势
综合规范和标准		优化目标		行业耦合	能耗计算		能够储存模型	资本支出：线性还是动态？ 运营支出：静态还是动态？	局限性和劣势  成本  用户访问输入和结果  用户数量 / 合作

图 3 用于评估软件包的特征要点

### 3.3.2 如何决策是否构建内部工具

要脱碳，就需要根据目标对预测排放量进行更缜密的监测，并在实现这些目标的过程中加强各专业领域之间的协作。现有工具的组合能够在多大程度上帮助设计团队克服脱碳中的挑战，又如何具体解决这个问题？下一章节中将对规划设计气候中和园区的一个理想化流程进行描述，

包括如何在不同阶段使用软件矩阵表中的各种软件包。此外，创新的空间和需求仍然存在，特别是在协同性及成本、性能、减碳的多元并行优化方面的创新。是选择自行开发内部解决方案，还是选择适应并使用现有的商业软件包以实现目标？下表探讨了做出决策时所需权衡的一些因素。

	使用“现成的”商业软件包	自行构建内部解决方案
优点	预编程功能节省时间	对计算结果和数据的绝对控制及完全访问权限
	可能满足更高的复杂度	质量保证和验证相对容易
	用户友好型界面，IT 支持，持续更新和维护	可以满足非常具体的个性化需求
		可以根据需要与其他工作流程连接
		无使用许可费
缺点	可定制性和灵活性较差，无法满足一些项目的具体特点——无法对特殊功能或约束条件建模	开发和维护需要大量时间和资源
	“黑匣子”——计算程序和数据库的访问权限受限	工具需要说明、维护和更新——可能对用户不够友好
	对质量保证和数据验证存在不利影响	可能需要补充一些尚不具备的专业和技术知识
	数据传输往往需要接口（如 Excel）和手动数据链接	
	需付使用许可费	

表 1 购买商业软件包与构建内部解决方案的优缺点对比



# 4 规划气候中和园区

在对现有软件的基本情况和最重要的特征进行概述后，本章将对整个规划设计实施流程的各个阶段进行更为深入的分析。通过对一些具有代表性的软件工具做了要点介绍，提出了有助于实现气候中和园区的规划设计流程优化及其相应软件工具的建议。

## 4.1 指导原则

规划设计气候中和园区是一个复杂、跨学科和迭代的过程，需要广泛的合作、互动和信息交换。作者从能源规划师的角度总结了以下规划设计指导原则：

- 基于项目自身情况，明确气候中和园区的具体目标和范围
- 设定排放目标，该目标应与国家层面的目标（包括隐含碳）保持一致
- 开展针对可持续性、经济效益及现有技术的可行性研究
- 建立技术经济模型，找到实现目标的最佳方案
- 模拟不同情景，制定落实措施的路线图
- 进行数据验证和模型校准，以避免能源系统设置规模过大或过小
- 直观呈现结果，以便更好地开展开发方、规划设计方及公众之间的沟通
- 利用数字孪生体对项目进行长期监测，确保所有目标都能实现

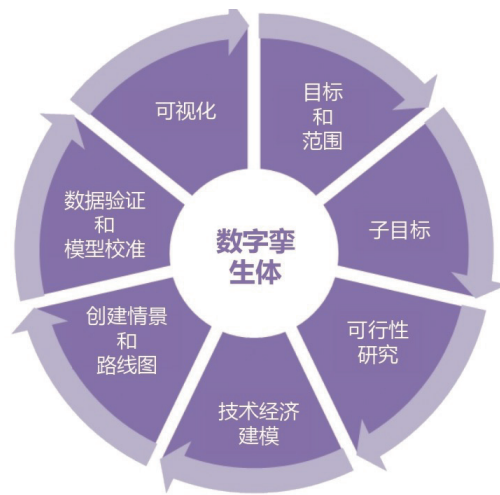


图 4 规划设计气候中和园区的指导原则（作者制图）

## 4.2 流程

本节主要探讨气候中和园区的最佳规划设计流程。图 5 展示了德国的常规项目流程，通常分为五个阶段——项目开发、方案、设计、建造和运营。根据《德国建筑师和工程师服务费法定标准》（HOAI），这五个阶段可以细分为九个子阶段（LPH0-9）。按照项目开发实施的五个主要阶段，能源系统规划设计的流程可分为五步——前期研究、能源方案、方案设计、初步及深化设计，以及运营监测。下面列出了在各个步骤中应用不同软件工具的主要任务或目的。



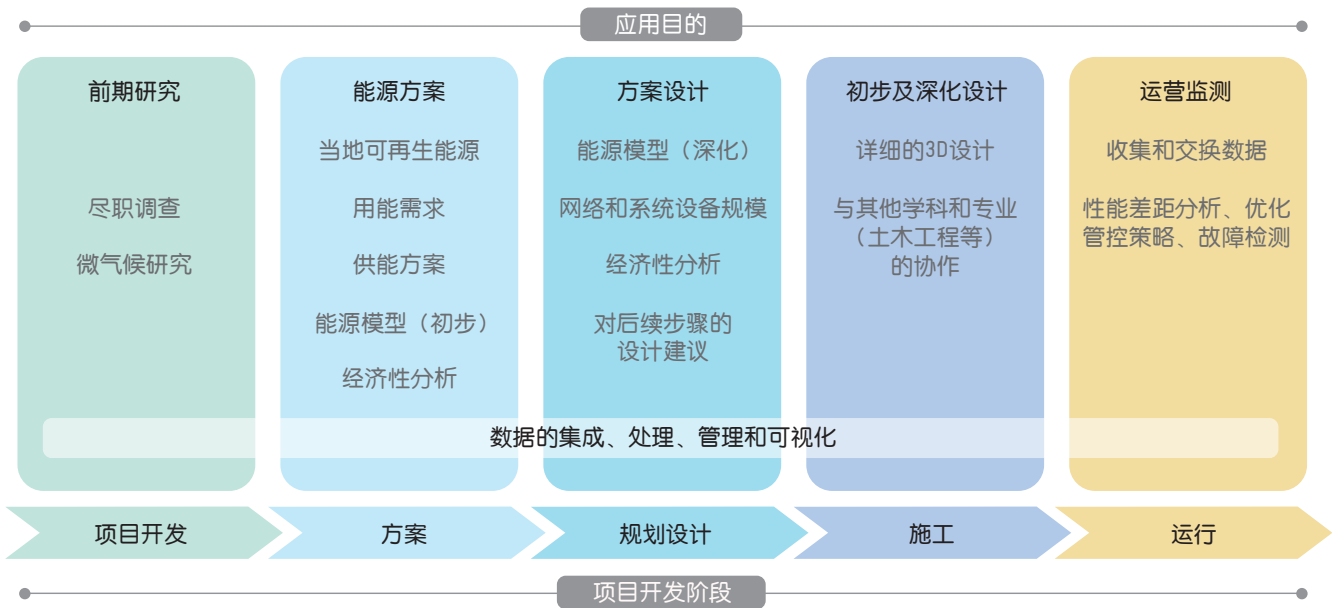


图 5 德国项目规划设计流程的各阶段和任务（作者自制图）

在**前期研究阶段**，主要任务是制定适当的框架和目标。对于确定气候保护和气候适应的总体目标和范围、制定开发项目的具体气候目标（包括能耗、排放、复原力等）以及评估环境、财务和技术可行性，尽职调查的环节非常重要。在微气候初步研究中，将对气候风险进行评估，并制定设计指南以降低风险。

### 应用实例

- 尽职调查：评估气候保护和适应措施、资金 / 预算、现有资产
- 微气候初步研究：基于当前和未来情景的气候分析（本次调研主要参考德国气象局提供 2015 年和 2045 年的天气文件）

**能源方案阶段**应包括对当地可再生能源的供能潜力调查和用能需求分析。在这一阶段，关键是收集更高质量的数据，这对于做出合理的脱碳决策不可或缺。因此，需要投入一定的财力和人力资源进行实测和数据采集，例如对既有建筑的能耗实测等。该阶段的主要任务包括数据采集、能源系统建模计算和经济性分析。能源系统设备规模预估和成本估算是决策者在项目早期阶段必须获取的信息。应将这些分析结果与前期研究阶段设定的目标进行对比，如有必要，可对目标进行调整。此阶段的成果应该是一套（包括多个选择的）能源方案，它应展示不同方案中成本与排放之间的综合分析。能源方案应为项目决策者提供足够的信息，以便就下一步的推进方向做出选择。

### 应用实例

- 能源供应潜力分析：分析可再生能源潜力和其他能源
- 能源需求分布和峰值负荷：使用原型 / 基准参考或简化的建筑模拟数据或准确的建筑实测数据
- 能源供应方案：基于不同技术路线，开发多个备选方案
- 建立能源系统模型：能源系统优化
- 经济性分析：评估能源系统的经济性表现

在**方案设计阶段**，根据规划中的其他变量对能源系统模型进行修正和进一步开发。重复此过程，直到输入参数与需求匹配。下一步是根据对基础设施网络和能源系统设备的模拟计算来确定它们的规模——目前通常使用一系列的专用的软件工具完成这项工作。GIS 制图可以帮助更好地了解环境影响，从而辅助设计基础设施网络。园区布局 and 空间要求将在此阶段得以确定。最后，在此基础上更新经济性分析。

### 应用实例

- 能源系统模型：开发和优化能源方案
- 基础设施网络和能源系统设备：确定供暖 / 供冷 / 电力网络和能源系统的规模
- 经济性分析：评估系统的经济性

**初步及深化设计**涉及到与其他专业设计方进行协调。方案设计的结果将交付给机、电、管道（MEP）以及土木工程专业的的设计人员，用于场地设计和 3D 设计。

### 应用实例

- 详细的 3D 设计：基础设施网络和能源中心的空间设计
- 与其他学科合作：能源规划师与 MEP / 土木工程师之间的对接等

运营监测阶段的主要任务是汇总、处理和集成来自传感器或建筑管理系统（BMS）的数据，以缩小设计性能与实际性能表现之间的差距，检测系统故障并优化控制策略。然而，数据集成和管理是贯穿于项目整个生命周期的一个持续过程，有助于减少不同设计阶段和各个团队之间的数据丢失。在不同设计阶段（包括监测阶段）所生成的数据可以集成到一个数字孪生体中，以高度有序、有效的方式跟踪和反映整个规划实施流程。这有助于不同参与者更好地沟通，并确保实现共同的项目目标。

### 应用实例

- 收集和交换数据：汇总实测数据
- 性能差距分析、优化控制策略、故障检测
- 数据集成、处理、管理和可视化

在以下一节中，作者简要介绍了在各个规划设计阶段、针对不同应用目的的一些代表性软件工具。介绍中列出了重要的输入和输出参数，以更好地理解建模要求。

## 4.2.1 项目开发阶段 / 前期研究

无论是新开发建设项目还是既有项目的改造升级，任何商业计划都需要对场地的现有情况和潜力有充分了解。除了采用健全的金融商业模式外，为了实现减排目标或履行环境、社会和治理（ESG）框架，开发方通常会委托专业机构，首先进行技术可行性研究并制定技术要求。此类前期研究已经成为获得公共和私人资金的先决条件。

## 技术和运营

应依照 ISO 14065<sup>4</sup> 或 ISO 16745<sup>5</sup>，采用消费导向型分配等方法评估现有固定资产的运行排放量。应参照同类型建筑的数据或预测模型（如有）识别和消除任何目标性能

4 ISO 14065 验证和核实环境信息的机构的一般原则和要求：  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14065:ed-3:v1:en>

5 ISO 16745 建筑和土木工程的可持续性——现有建筑在使用阶段的碳指标：  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16745:-1:ed-1:v1:en>

差距。设施运维管理方应根据 GEFMA（德国设施管理协会）192 进行风险管理评估。

现有固定资产的状况说明应提供对维护日志的访问权限、第三方可用性说明、租赁合同的技术检查、资料室审计，以及对所有损坏和缺陷的跟踪记录，并附有照片记录。现有资产的运营支出（Opex）预测将为后续工作提供比较基线，而技术性剩余寿命评估将作为资本性支出（Capex）的基线。

在本阶段，最好还能根据市场趋势和项目的目标定位选择一个建筑认证体系。一些认证体系提供预审查，可以预估出达到不同评分等级的成本；一些认证体系要求运营或入住后验证，以授予基于实际性能认证。

## 财务

财务尽职调查的组成部分应包括，审查可持续公共及私人金融工具的要求，含国家激励政策的相关要求。对于房地产投资组合的持有者来说，欧盟的房地产碳风险监测体系（CRREM）<sup>6</sup> 等工具有助于了解气候风险对资产价值的影响，并为战略投资提供基本依据。

## 考量全生命周期排放

项目开发者必须对隐含排放和运营排放制定预算，并通过设定一个系统，在不同规划设计阶段以及各专业学科之间分配此预算。在本报告撰写期间，德国可持续建筑评价体系（DGNB，德国可持续建筑委员会）已经公布了一些非约束性的全生命周期排放指标。然而，这些指标仅基于建筑 / 区域能源证书中列出的排放量来间接体现运营排放。德国需要在州层面开展更多工作，使建筑和园区的排放控制指标与国家层面的脱碳目标保持一致。

## 气候特征分析和场地分析

气候特征是决定建筑能耗的重要参数。反之，建筑体量、形态和能源系统也会对建筑外部的微气候和微环境产生影响——特别是居住区——在设计中应考虑到这一点。气候方面的尽职调查应涵盖当前和未来的气候特征及变化趋势，重视户外舒适度策略、良好的室内采光、合理的外立面透明 / 非透明比例，以及其他可能对融资和保险产生影响的抗灾因素，如对洪水和火灾的抗灾能力。

- 工具**
- 微气候研究：CFD<sup>7</sup>, Rhino<sup>8</sup> + Grasshopper<sup>9</sup>
  - 尽职调查：计算表格工具 + 认证指南

- 输入**
- 气候数据（气象文件）
  - 当地基础设施和能源供应来源（来自区域或国家信息平台）
  - 建筑几何图形建模（来自 GIS 数据、3D 模型、设计图等）

- 输出**
- 对多个供热和供冷策略的评估
  - 当地可再生能源潜力评估
  - 为提高能效和户外微环境舒适度而提出的透明 / 非透明外立面比例建议

## 4.2.2 能源方案

能源方案描述的是一个特定场地当前或未来的能源需求，以及满足这些需求的周边或场地内可再生能源潜力。因此，它通常包括建筑能效、终端能源和一次能源需求以及相关温室气体（GHG）排放量等要素。

根据输入和输出数据的详细程度，可以使用不同工具来分析当地的可再生能源潜力。依据 DIN EN 15316-4-310 标准的太阳辐射量参数，或使用网络光伏计算软件（如 PVGIS11），都可以较准确地计算光伏发电量。为获得更高分辨率的更详细结果，可以使用一些模拟软件（如 grasshopper），在建筑层面模拟出不同安装特点的光伏系统所产生的不同效果（见图 6）。

<sup>6</sup> CRREM: Carbon Risk Real Estate Monitor (碳风险房地产监测体系) : <https://www.crrem.eu/>

<sup>7</sup> CFD: Computational Fluid Dynamics (计算流体力学)，使用数值方法在计算机中对流体力学的控制方程进行求解，从而可预测流场的流动。

<sup>8</sup> Rhino, 英文全称 Rhinoceros, 是一个基于 PC 平台的强大的专业 3D 造型软件, Rhino 所提供的曲面工具可以精确地制作所有用来作为渲染表现、动画、工程图、分析评估以及生产用的模型。

<sup>9</sup> Grasshopper (简称 GH) 是一款可视化编程语言, 它基于 Rhino 平台运行, 是数据化设计方向的主流软件之一, 同时与交互设计也有重叠的区域。

<sup>10</sup> DIN EN 15316-4-3 建筑物的能源性能——系统能源需求和系统效率的计算方法 第 4-3 部分: 制热系统、太阳热能和光伏系统: <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nhrs/veroeffentlichungen/wdc-beuth.din21:257459119>

<sup>11</sup> PVGIS (Photovoltaik Geographical Information System), 光伏地理信息系统, 该信息系统由欧盟委员会的联合研究中心开发并免费提供: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)



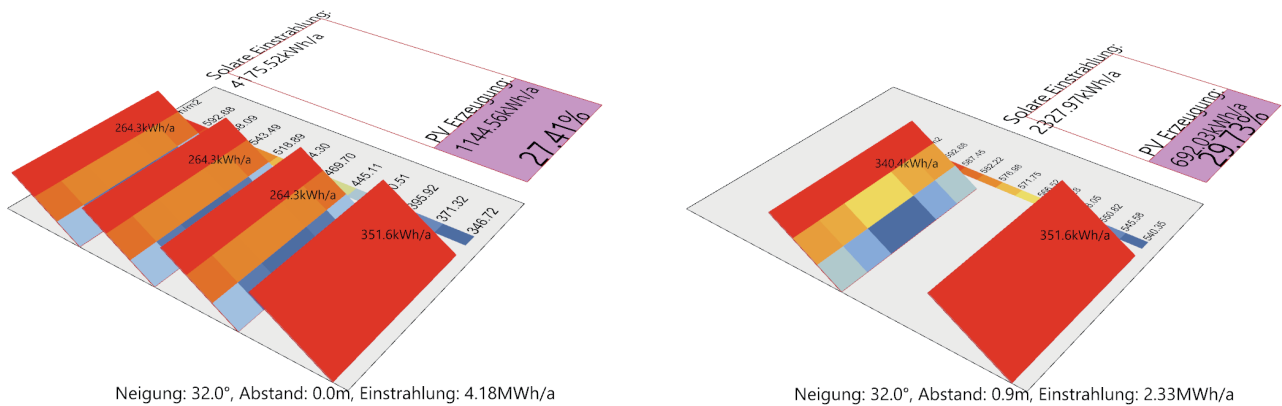


图 6 grasshopper 可计算不同安装特征的光伏系统（光伏板的倾角、间距等）所产生的发电量（资料来源：作者制图）

同样的逻辑也适用于能源负荷概况的计算。为进行宏观分析，使用城市维度的能源软件将是恰当选择，如区域能源方案顾问软件（District energy concept adviser）<sup>12</sup>。该软件可以根据不同的建筑原型参数和能效标准参数计算出年度能耗强度（kWh/m<sup>2</sup>a）。其他一些软件可提供不同典型建筑类型的标准负荷数据，如用于城市能源优化的 Sympheny<sup>13</sup> 和用于城市能源设计和早期总体规划的 iCD IES<sup>14</sup>。

然而，在时间和预算充足的情况下，建议使用更准确的能源负荷数据。数据可以来自建筑的模拟或既有建筑的实测数据。适合的建筑模拟工具包括：用于模拟室内气候和能耗的 IDA ICE<sup>15</sup> 或用于精确模拟整个建筑性能的 VE IES<sup>16</sup> 等。

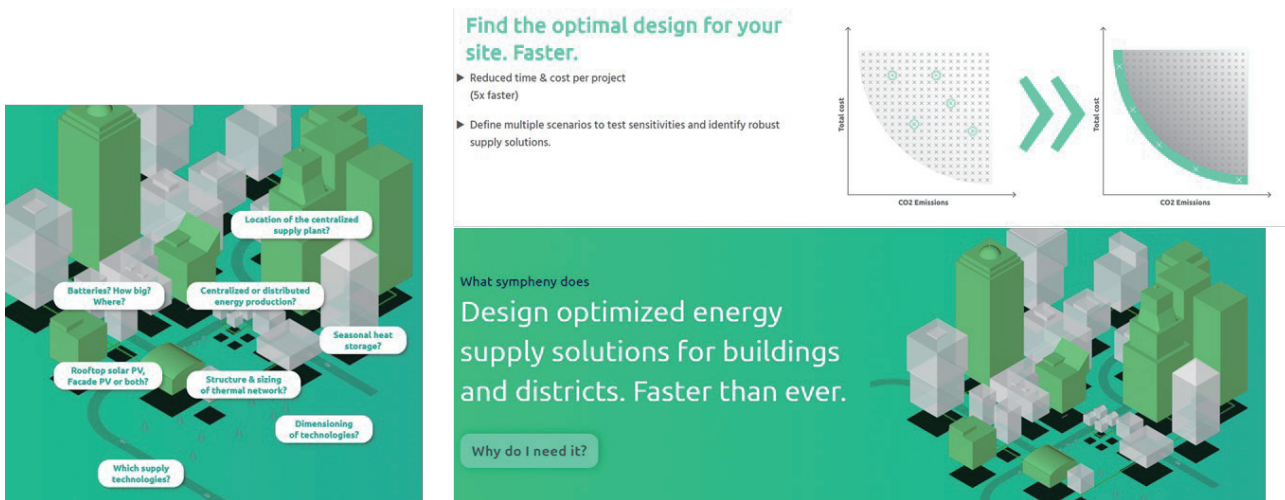


图 7 Sympheny 城市能源优化工具（资料来源：Urban Sympheny AG. Sympheny | Urban Energy Planning, sympheny.com, 访问时间：2022 年 12 月 7 日）

12 区域能源方案顾问软件（District energy concept adviser）是由弗劳恩霍夫建筑物理研究所开发的一个计算软件，用于支持城市规划中规划节能区概念的第一阶段：<https://www.district-eca.com/index.php?lang=en>

13 Sympheny 为能源规划者和管理者提供基于数字孪生体的智能服务：<https://www.sympheny.com/#1>

14 iCD（Intelligent Community Design）是 SketchUp 的一个插件，使用成熟的 VE 模拟引擎进行能源分析：<https://www.iesve.com/products/icd>

15 IDA ICE（IDA Indoor Climate and Energy）是一种新型的建筑能耗模拟工具：<https://www.equa.se/en/ida-ice>

16 VE IES 是领先的用于精确的整体建筑性能模拟的综合套件：<https://www.iesve.com/software/virtual-environment>

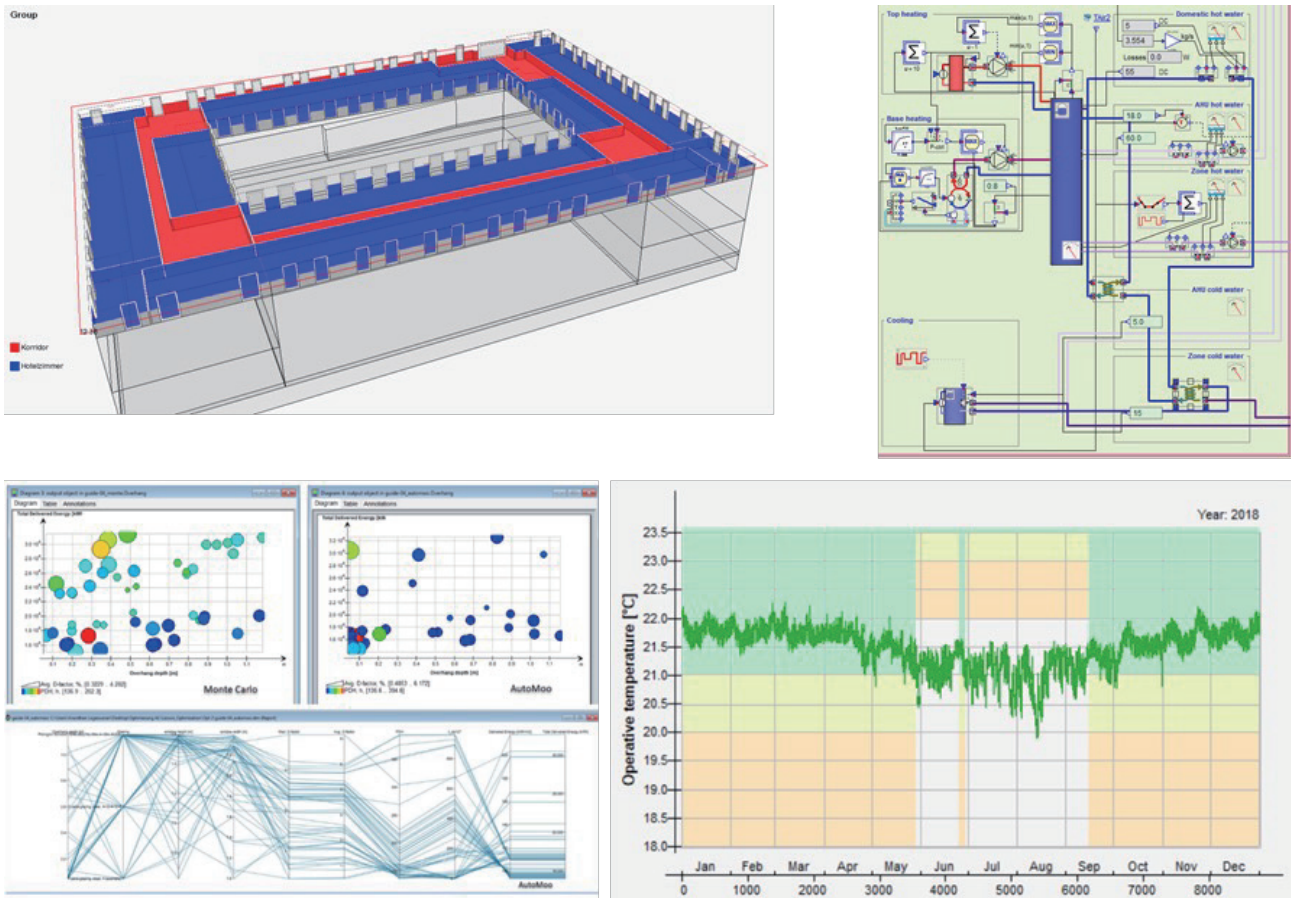


图 8 用于模拟室内气候和能耗的 IDA ICE (资料来源: IDA ICE 培训材料 © EQUA Simulation AB)

在分析了当地可再生能源潜力和用能负荷后，作者通常使用 Sympheny 软件对不同的能源供应类型进行模拟，以找到最佳解决方案。以下列举了对于能源供需建模至关重要的输入和输出参数：

### Sympheny 中的能源供需建模

- 输入**
- 根据基准参考值 ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ) 和负荷分析 ( $\text{kW}$ ) 计算出的能源需求或
  - 从模拟或实测数据中得到的 (更准确的) 需求和负荷数据
  - 建筑面积和类型
  - 可再生能源类型和供能潜力 ( $\text{kW}$ )
  - 成本基准参考值: 资本支出 ( $\text{€}$ )、运营成本 ( $\text{€}/\text{kWh}$ )
  - 排放系数 ( $\text{kg CO}_2\text{eq} / \text{kWh}$ )

- 输出**
- 终端能源需求 ( $\text{kWh}/\text{a}$ )
  - 可再生能源产量 ( $\text{kWh}/\text{a}$ )
  - 能源系统装机容量 ( $\text{kW}$ ) 和储能容量 ( $\text{kWh}$ )
  - 自给自足水平
  - 年计成本资本支出和运营支出 ( $\text{€}/\text{a}$ )
  - 二氧化碳排放量 ( $\text{t CO}_2\text{eq}/\text{a}$ )
  - 图表 (桑基能量分流图、每小时负荷和负荷持续时间曲线、能源系统流程图等)

### 4.2.3 方案设计和初步及深化设计

为确定优化的基础设施网络路线，可以使用 QGIS<sup>17</sup> 和 FME<sup>18</sup> 等工具来对能源需求、可再生能源、环境影响因素和现有基础设施制图。QGIS 是一个开源地理信息系统，用于获取、处理和分析数据，还可以创建地图和地图集以辅助设计。FME 是一个数据翻译和转换工具，用于解决数据的互操作性问题。此外，它还可以有力地支持地理空间数据的集成和转换。对于大型的、城市维度的项目，通常建议使用 FME 进行更有效的数据处理和管理。

### QGIS 中的 GIS 制图

- 输入**
- 低精度度数据：能源需求基准参考值或能效证书中显示的相关数据
  - 高精度度数据：从模拟或实测数据中得到的能源需求
  - 来自客户端的 GIS 数据
  - 开源 GIS 数据
- 输出**
- 基础设施网络路线（用于 FME 或 NetSim 中的网络设施规划）
  - 约束图、网络路线图、分级负荷需求图

下一步，可以使用 NetSim<sup>19</sup> 等应用程序估算网络规模并分析其热力和水力性能。NetSim 是一个针对集中供暖和供冷网的建模工具，可用于优化管道尺寸并降低泵送及其它能源成本。重要输入和输出总结如下。

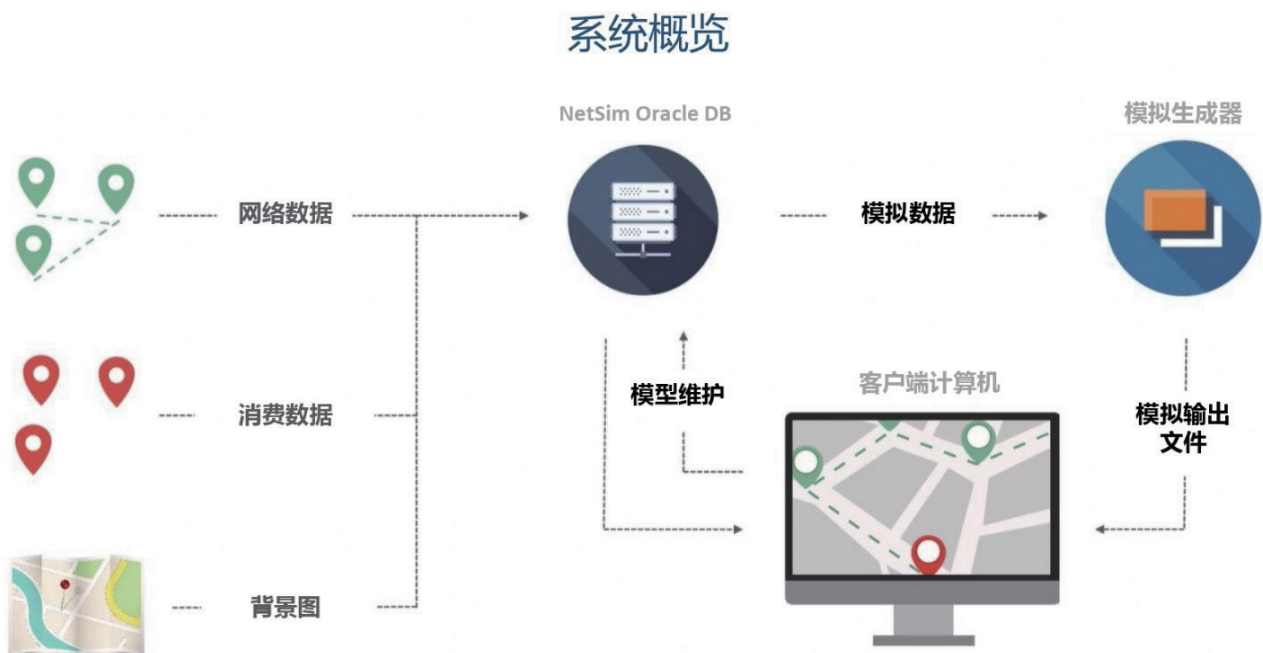


图 9 用于供热和供冷网设计优化的 NetSim（资料来源：Vitec Software，<https://www.vitec-energy.com/netsim-grid-simulation/>，访问时间：2022 年 12 月 7 日）

17 QGIS 是一个免费和开源的跨平台桌面地理信息系统（GIS）应用程序：<https://qgis.org/en/site/index.html>

18 FME: Feature Manipulation Engine（特征处理引擎），是一个地理空间提取，转换和加载的软件平台：<https://www.safe.com/>

19 NetSim: 供热 / 冷网模拟系统：<https://www.vitec-energy.com/netsim-grid-simulation/>



### NetSim 中的热网设计

- 输入**
- 节点 - 功率（峰值热量）、回流温度、海拔高度（高程）
  - 管道类型（DN 标准尺寸）
  - 系统设备 - 功率（容量）、供应温度、压力
- 输出**
- 节点表
  - 管道表 - 直径（DN）和长度（m）
  - 流速（m/s）、压力梯度（Pa/m）、压力（kPa）图
  - 热量损失（kW）
  - 压差（kPa）
  - 流量（kg/s）
  - 泵功率（kW）

EnergyPro<sup>20</sup> 与能源网络设计并行，可用于模拟复杂的能源系统，以便进行详细的技术和财务分析。相较于 Symheny，该软件可以提供更准确的结果，因为计算是在充分考虑项目的具体情况下进行的。重要输入和输出总结如下。

### 在 EnergyPro 中确定能源中心的设备规模

- 输入**
- 建筑原型参数 / 精确数据（调查 / 设计）
  - 能效标准 / 基准参照值（kWh/m<sup>2</sup>a）
  - 可用可再生能源（kW）
  - 现有电网基础设施
  - 可能的技术设备（供应、储存、传输）
- 输出**
- 技术系统设计（kW）
  - 储存设施设计（kWh）
  - 能量平衡计算图表
  - 负荷曲线
  - 成本资本支出和运营支出

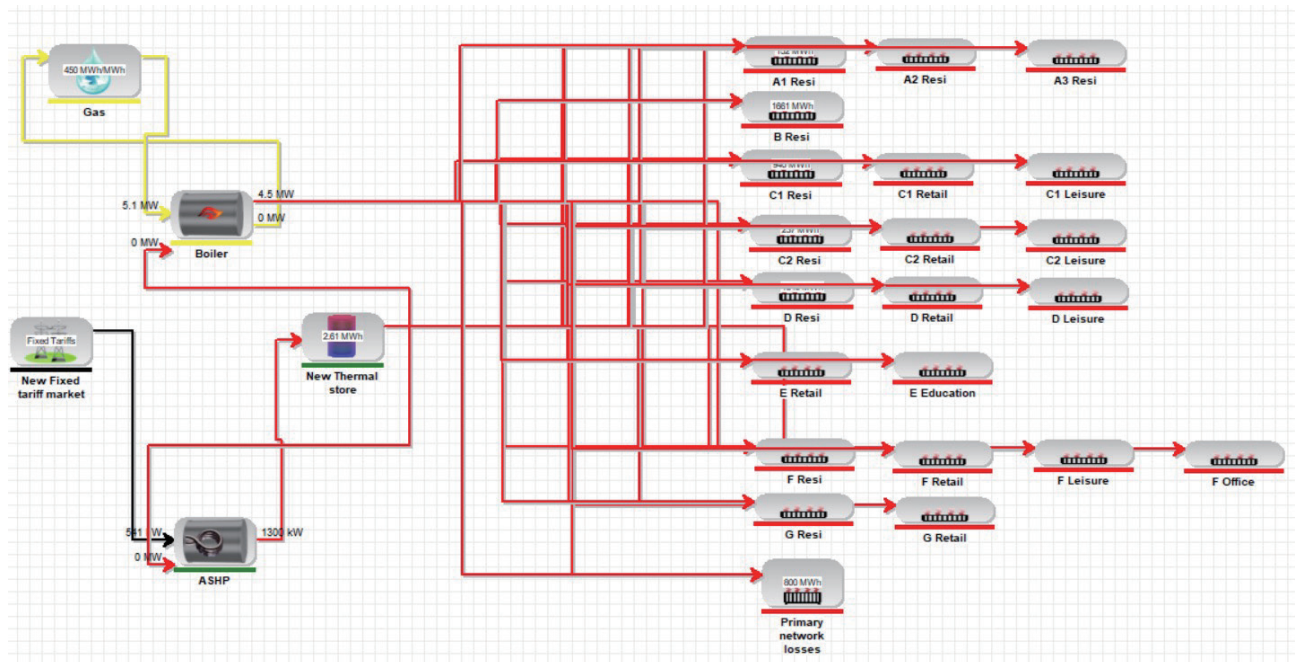
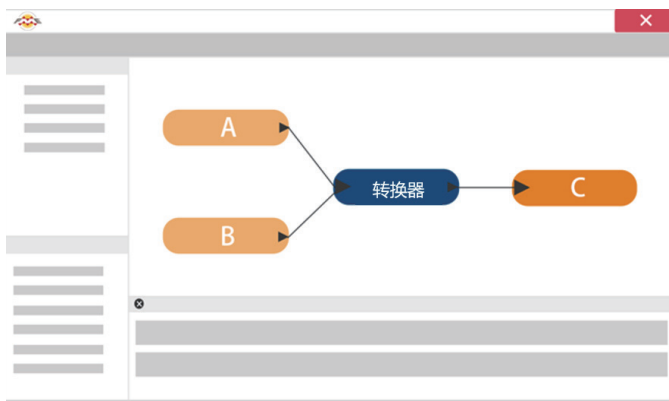


图 10 用于详细计算复杂能源系统的 EnergyPro, EMD International A/S, energyPRO [Software]（资料来源：作者制图）

<sup>20</sup> EnergyPRO 是一个用于模拟和分析热电联合供应的复杂能源项目的软件：<https://www.emd-international.com/energypro/>

### 4.2.4 监测

如前一章所述，项目整个生命周期中的数据集成、处理和可视化对于大型能源项目至关重要。因此，作者利用 FME 数据翻译转换工具和内部开发的数字孪生体搭建了一个软件工作平台。图 11 显示了 FME 的基本功能——在新的目标位置提取、转换和加载数据（ETL 功能）。通过嵌入式转换器，FME 支持超过 450 种空间和表格数据类型和格式，包括 CAD、GIS、XML、点云、栅格数据等。此外，FME 还提供与外部工具（如 excel 和 python）的接口，这样就可以在 FME 中构建自定义建模套件以执行不同目的的计算。



FME 既可以直接使用输入数据，也能通过不同转换器生成新的输出数据，并将输出数据导入用于支持数字孪生体的数据集中。FME 允许最大限度地灵活输入数据，包括能源需求、建筑信息、成本和财务输入、GIS 数据等。图 12 显示了 FME 和数字孪生体中的典型输入和输出信息。

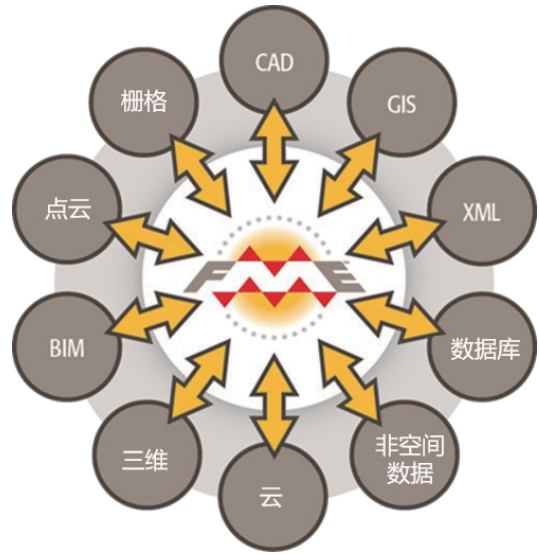


图 11 FME ETL 的基本功能和所支持的数据类型（资料来源：SAFE Software, <https://safe-software.gitbooks.io/fme-desktop-basic-training-2018/content/DesktopBasic1Basics/1.01.WhatIsFME.html>, 访问时间：2022 年 12 月 7 日）

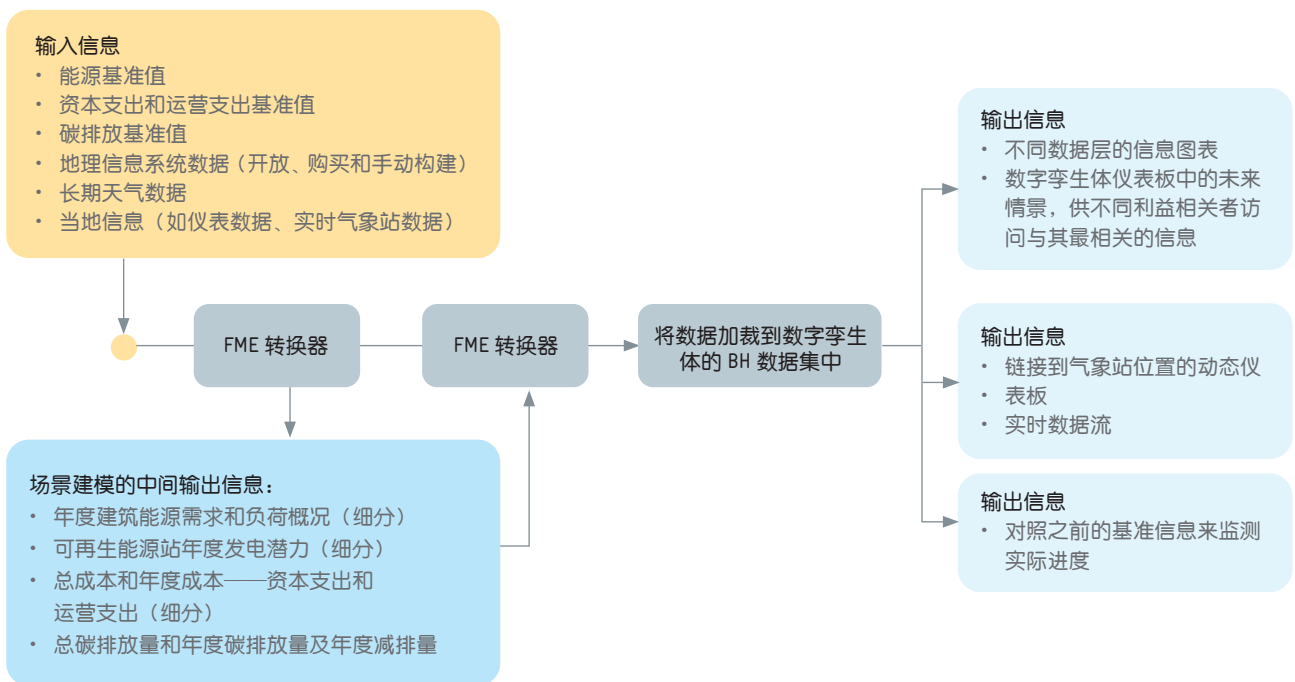


图 12 FME 和标赫数字孪生体中的输入和输出信息

目前已有不同的计算机辅助设施管理（CAFM）工具，如用于监测阶段的能源和可持续性管理的 Planon<sup>21</sup>。Planon 获取运行阶段的数据，包括能耗、排放量和成本等。这是一个平台型工具，该平台可把集成工作场所管理系统（IWMS）的优势与智能建筑平台的物联网功能结合起来。Planon 可以连接所有物联网设备并将其整合到一个仪表盘上显示，提高了实现针对运行表现的数据驱动型优化的可能性。此外，Planon 平台还配备一个名为“能源和可持续发展管理”（Energy & Sustainability Management）的可选模块，可以用于报告和披露可持续发展目标的管理、建成环境中实现 ESG 目标的进展，并展示碳足迹的减少情况。

### 4.3 挑战和机遇

上一节描述了一个理想化的规划设计流程。而实践中的一些因素，如目标缺失、流程不清以及设计者之间的沟通隔阂等，最终导致无法实现脱碳目标。实践中常见的问题和困难包括：

- 往往只能获得纸质版清单数据，只能从年度电费账单上获得能耗数据，BMS 系统没有联网且已经过时。
- 不同承包商的工作重复，BIM 模型与模拟软件之间进行人工数据交换，不同项目阶段之间的信息丢失。
- 在早期设计阶段，假设 / 基准参照值被用作实际能源需求输入。
- 重要决策基于不完整的数据或没有数据可依，进而错失减排机会。
- 市场上为业主或项目经理提供数字孪生体基础设施的供应商数量有限，数字孪生体的运营成本高 / 所有权问题。

当着眼于园区维度时，除上述问题以外，又增加了更多的挑战，如：

- 如何确定对当地或周边区域可再生能源及废热潜力的调查的规模。
- 需要管理更多的任务、参与者，以及解决方案的相关接口。
- 工业园区或城市片区的解决方案通常不太容易复制，这使得它们对软件开发公司的吸引力降低。



图 13 基于全面开放平台的 Planon 集成解决方案（资料来源：Planon，<https://planonsoftware.com/us/resources/brochures/planon-energy-sustainability-management/>，访问时间：2022 年 12 月 7 日）

区域层面供能设计的理想过程不仅需要进一步开发数字工具来辅助设计，还需要优化项目不同参与方之间的合作。了解和使用数字工具是实现数据驱动型能源规划设计的重要一步。而数据管理在综合能源规划中扮演着最重要的角色。只有重视数据质量和可获得性，规划设计、项目运营、业主和用户、公用事业公司、公共服务门户及其他参与方才能积极使用数字化工具和平台进行数据收集和管理。

由数字工具辅助的、理想的规划设计过程应具备以下特征：

- 进行城市或园区维度的可行性研究时，设计输入信息均应来自同一数据源。其中包括建成建筑几何图形、建筑组件、能源系统、能源证书、历史能耗数据、成本等。
- 应将所有设计输入信息、文件及模拟结果无缝集成到一个平台中，形成单一数据源。应支持历经各个设计阶段，直到到运营管理和用户交互的无损信息传输。
- 可将已完成项目在性能表现差距方面的信息知识转移到其他项目上，便于借鉴和参考。
- 从早期规划阶段到运营监测，是负责整个生命周期数据管理的完整载体。

<sup>21</sup> Planon 是一个用于建筑数据收集、分析、可视化并采取行动的工具：<https://planonsoftware.com/uk/resources/brochures/planon-energy-sustainability-management/>

# 5 研讨会收获与成果

本调研项目包括两场由中德两国研究及咨询机构的代表参与的研讨交流会。第一场研讨会针对德国专家，对园区数字化工具主题的调研成果进行了分享与讨论。基于第一场研讨会的经验，第二场研讨会进一步完善了针对中国专家的的报告内容和讨论主题。两场研讨会上都专题介绍和讨论了本报告的主要内容，中方代表还在第二次研讨会上展示了园区能源规划及建筑运营模拟的两个国产软件工具。

## 5.1 第一场研讨会的交流成果

第一场研讨会的目标是，分享梳理出的数字化工具现状概况，并与该领域的德国专家共同探讨规划设计过程的优化，以此来支持中德城镇节能示范项目的开展。德国能源署于 2022 年 10 月 26 日举办了首场研讨会，由标赫咨询公司向来自德国相关研究机构 / 咨询公司（弗劳恩霍夫、茵态）和大学（卡尔斯鲁厄理工学院、亚琛工业大学、达姆施塔特工业大学）的专家介绍调研的前期成果。讨论交流中，与会专家为主办单位提供了有益的反馈，要点总结详见下文。

### 5.1.1 交流与观察

通过研讨交流与观察，得出了两个主要结论。第一个结论是，目前没有一个单一的软件包能够为整个规划设计过程提供完整解决方案。现有的软件包数量远远超过调研可能涵盖的范围，即便根据各规划设计阶段相应选择了具有代表性的软件包，对来自不同机构的专家而言，许多软件包仍较陌生。这是因为，在日常的研究与工作中，专家们通常更关注自身的专业领域，而无暇顾及整个规划设计链和生态系统，而且，测试和学习新的软件解决方案的成本也往往过高。由此证明了进行此类比较研究以及就此进行国家 / 国际交流合作的必要性和重要性。

第二个结论是，在学科内部和学科之间以及各个工具之间传递数据信息颇具挑战，例如建筑设计与建筑能耗模型之间、建筑能源与区域供能模型之间的种种数据传递。过去几十年里，行业关注点集中在建筑信息模型（BIM）上，作为二维和三维计算机辅助设计的替代方法，建筑信息模型与可交换的数据格式（如 gbXML 和 ifc）一起试图将语

义信息纳入建筑元素中。这种方法对后期的初步及深化设计很有帮助，但它不能满足早期规划阶段的需求。这是因为，早期规划阶段中不确定性仍然很高，需要进行多次迭代。当前一代软件工具在不同情景建模方面已日臻完善，但距离实现集成、无缝工作流程的愿景仍然有很长的一段路要走。

研讨会与会人员强调了涵盖所有利益相关方和规划设计阶段的“多合一软件包”方法所面临的另一个挑战：不同学科专业的责任界定。在当今专业高度细分的工作模式下，界定专业责任没有太大问题，但在一个完美的一体化情景中，有可能需要通过其它方法，将某一环节的工作成果输出与流程中其他部分区分开来，以免被其他参与方意外修改。

### 5.1.2 流程优化建议

在规划的最早阶段，可以通过制定流程要求和指定一名技术信息经理来解决信息与数据管理的问题。该技术信息经理的主要任务包括：确保明确传达设计目标（如排放目标），集中记录设计过程的所有输入和输出信息，避免数据缺漏、重复工作和导入错误。技术信息经理的职责还可以包括，通过要求项目统一使用某些格式或软件包，来确保不同学科专业之间的信息传递。

技术信息经理还应对“数据财产鸿沟”负责，即设计、施工和运营团队之间基于分包合同的信息传递缺漏，这会导致大部分设计信息丢失。项目的所有规划设计方、运营管理方和业主 / 用户均应能够获取全部设计输入信息（如天气数据、建筑使用情景分析、材料供应商、仿真模型等）。

### 5.1.3 有待探讨的问题

规划设计和建设实施低碳园区面临的巨大挑战是各方需要在组织和技术方面共同进行协调努力。园区层面的能源系统边界取决于土地所有权、政策法规约束下的能源供应结构及土地利用类型等因素。能源系统边界依据项目具体情况而定，应该在项目开发的前期研究阶段就加以明确。此外，由于理想化流程是基于过往项目的经验，一些较特殊的重要参与者可能未被充分考虑到。

未来十年里，电气化交通将出现激增，相关基础设施将不可避免地 & 区域能源网络及电网相连接。这是一个新



使用案例，将改变建筑中能源管理的方式。不过，迄今为止，作者所调研分析的软件工具似乎都还没有充分考虑这种情况。考虑到交通行业的电气化速度将快于建筑行业，交通行业有可能会率先开发出用于建筑和交通能耗同步建模计算和协同管理的软件工具。

## 5.2 第二场研讨会的交流成果

第二场研讨会于2022年11月22日在线上举行，邀请了不同领域的中国专家参会，包括来自国网（苏州）城市能源研究院、中国建筑科学研究院（CABR）、清华大学建筑设计研究院（THAD）、中节能咨询公司（CECEP）、四川大学的专家，以及软件开发商（鲁班软件）和技术设备制造商（陕鼓）代表等。

### 5.2.1 交流与观察

工业园区在能耗及相关排放方面占比很高，其中工业生产的能耗又远远超过建筑能耗。由此，工业生产能耗必须包含在工业园区能源系统边界内。报告中介绍的一些软件包可以将工业板块包含进来，但报告中论述“建筑维度碳排放”时未直接涉及工业用能。中方专家特别强调，在实现工业园区脱碳目标的过程中，必须将工业生产的排放纳入其中。

中国一些研究机构已开发了支持综合能源系统设计的数字工具，例如，国网（苏州）城市能源研究院开发的园区综合能源系统规划与运行优化工具——综合能源系统分析云平台。根据研讨会上展示的资料，此工具预设了成本投资与减排效果的比较，这类类似于 Sympheny 和 CEA 工具箱中的相关功能。遗憾的是，该平台目前为国网的内部工具，尚不具备广泛的商业可用性。

结合建筑能源数字孪生体的主题，中国建筑科学院团队分享了自己的经验，特别是在研究和项目实践过程中遇到的一些困难，例如基础数据不完整以及设计与施工阶段之间的数据差异。这一问题在行业中普遍存在，新一代数字化项目现场管理和质量保证技术可以帮助解决该问题。

### 5.2.2 流程优化建议

在工业园区项目的前期研究阶段，需要将工业能耗纳入系统边界，以便全面解决所有能源问题，并释放潜在的规模经济效应。法规合约方面的影响因素因国家及地区而异，需要自行研究，以明确是否仅仅是技术问题，或者是否需要在能源政策和规划法规方面进行改革和调整，从而

促进园区与能源运营商之间的合作。这些努力可以推动相关方制定工业园区的低碳发展导则，以明确减排目标及实现目标的过程指南。

研讨会上介绍的试点项目案例展示出，实时数据在性能监测、排放数据披露以及作为园区低碳设计和减碳升级的输入信息方面具有良好的应用前景。在当前，许多软件工具所依赖的输入数据通常在项目中无法直接获取，因此一方面需要开展大量工作来生成这些信息，另一方面也要尽可能根据有限的信息做出决策。

## 5.3 园区规划设计工具的期望属性

纵观园区脱碳发展的规划设计工具，下列软件功能属性尤为突出。

- 可以进行成本和排放的多目标优化（聚焦脱碳）
- 可以通过应用程序编程接口，轻松访问输入和输出信息（对于质量保证和共享结果非常重要）
- 有完善的界面及可定制的报告（更好的质量保证，便于更多技术用户向决策者提供相关解释和分析）

上述核心功能属性同样适用于监测工具，特别是仪表盘和数字孪生体，它们在系统中发挥着重要作用。一些工具示例有交互式三维用户接口，但这只是前端功能，不能因此将工具直接定义为数字孪生体。

此外，低碳园区规划设计工具应具备的其它重要功能属性还包括：

- 可以考虑到一些影响因素的不确定性（如天气、能源价格）
- 可以根据简单的建筑特征估算出需求概况
- 可以在建筑和城市规模之间共享某些数据
- 可以针对使用和财务状况为多个情景建模
- 可以进行综合成本计算，更有助于决策
- 是免费和开源的
- 有较大的用户群，在线文档齐全
- 可以通过应用程序编程接口访问输入和输出信息
- 有多种语言选择和长期可用性，这对周期较长、规模较大的项目非常重要
- 有与所有专业过程对接的平台，是项目生命周期中的单一数据源
- 能够让不同背景和技术能力的利益相关方获取相关信息

### 5.3.1 平台优势

调研中，FME 被认为是一种灵活的平台解决方案。FME 平台允许集成各类统计数据，并能有效管理城市维度项目中的海量数据。此外，FME 允许与各种工具（如 Excel 和 Python）链接，并可将其作为内置模型嵌入，从而扩展其计算能力。凭借强大的数据处理能力以及通过自定义和项目特定功能的可扩展性，FME 具有以下优势：

- 集成来自不同模拟工具和地理数据库的数据
- 配备嵌入式转换器的自动数据转换
- 易于提取数据以执行不同详细程度的信息分析
- 过程透明，对所有数据流拥有绝对控制权
- 并行开发不同的内置模型，并将其链接到同一中央结构中
- 在向中央储存库提供信息的前提下，不同的专业团队仍然可以使用自己的工具，以更好地履行各自的管理职责
- 对输入数据进行验证，以提高数据质量并增加建模弹性

同时，在使用 FME 时应考虑以下几点：

- 需要良好的数据管理和平台结构才能有效发挥作用
- 与大多数模型一样，如果每个模型都有一个单独的所有者，将能够更有效地展开工作，同时确保格式和输出参数符合要求。然而，这也增加了系统的复杂性和对于模型所有者的依赖性。FME 具备模型网格化 / 编织的能力，能够帮助克服这个问题。
- 在 FME 中，矢量数据较栅格数据更适合用于空间分析，因为后者需要在地理信息系统中进行预处理才能使用。

## 5.4 试点项目

在梳理了园区能源规划设计工具，并就此与中德专家进行了两场研讨交流后，各方专家达成共识：通过一个试点项目来展示优化的规划设计实施流程，在实践中检验该主题研讨结果。试点项目应结合某一城市片区或工业园区的综合能源规划，并由国内和国际专家共同参与。试点项目的目标是，基于标准化方法，明确适用于项目不同发展阶段的数字化规划设计及软件工具，以此来推动园区实现气候中和。

如果对多种软件工具进行理想组合，所有项目参与方均可更好地贡献力量，在时间表和预算内以最佳方式完成项目。

如果所有选定的软件工具及其输出数据都能轻松集成或链接到同一平台中，便可大幅简化数据管理，减少数据丢失。基于数据一致的流程，项目便可顺利地从规划设计、施工安装转到调试阶段，并轻松进入运行阶段。从规划设计阶段传输至运行阶段的数据越精确、越全面，实际运行中的数据使用就越精确，从而实现最佳的运行管理。

# 6 未来前景

调研和专家交流表明，尽管市场上已有大量的各类专业软件工具，但在以“碳中和”为目标的城市片区及工业园区的规划设计和实施方面，还没有一个能够解决所有应用问题的“万能工具”。调研结果和讨论要点可总结归纳为四方面。其一，考量工具选择和数据应用应始于项目早期阶段，规划设计过程是设定基本要求并创建一个自始至终一致流程的重要阶段。其二，数据管理是贯穿所有项目阶段的一项重要工作，建立和维护一致的数据集是避免不同阶段信息丢失的关键。其三，研讨会与会者提出，在界面接口方面需要进一步开发工具并完善标准。其四，解决当前许多尚无最佳答案问题的未来愿景是开发城市数字孪生体。与工业领域相比，数字孪生在规划设计领域的发展和应用仍处于起步阶段，但它是前景良好的解决方案（尤其在工业园区的规划设计和运营方面）。

## 6.1 规划设计过程

众多项目实践表明，在早期规划阶段就启动数据管理流程关系到项目实施效果。必须在项目初期制定数据战略，以避免出现数据基础设施不一致、数据丢失以及数据重复收集等问题。因此，还必须尽早明确项目后期阶段的利益相关方及所提供的必要服务，以保证为整个项目提供合适的信息。这样的规划设计过程将极大受益于标准数据惯例和标准化数据收集程序。理想情况下，从设计模拟到运行监测被理解为整个项目生命周期中的连续过程，它基于一致的数据集；并且，随着所收集信息增多，模拟和监测的详细程度也相应提升。

目前，由于基础数据不完整、设计与施工不匹配等原因，园区维度的综合能源系统的规划设计仍然面临重重困难。

## 6.2 数据管理

跨工具的数据交换是关键，特别是能源需求和能源供应两方面工具之间的连接。一个重要挑战是，如何避免不同利益相关方及其各自工具之间的接口处发生信息丢失。另外，需要妥善保存天气数据等全球数据源，并保证这些数据源可以在整个项目组中得到共享。最后，尤其是在质

量控制和监测方面，需要收集更多的实时数据并将其用于性能监测。

对设计任务的调研还表明，由于不同学科有着各自的特殊需求和责任，不同专家使用的专业软件需要分开，并有清晰的接口。因此，众多的应用是与连接不同服务和任务的不同用例相对应的。

如图 5 所示，可以在数据管理和应用程序使用以及数据处理之间做出明确的区分。调研结果和专家反馈均表明，数据管理应是贯穿项目各阶段的持续过程。应用程序需要专门化，但可以与统一的数据层对接。其前提是，需要对工具接口及数据对象进行统一。

在一些优秀项目中，数据存储在城市数据平台中，也称为城市数据中心。目前，德国汉堡市正在建设这样一个城市数据中心，该中心使用汉堡建筑存量的三维数据模型、城市交通出行数据以及广泛的其他数据源<sup>22</sup>。城市数据中心收集的数据可同时供技术专家和普通市民使用。基于此，所有相关主体均可以做出更快、更好和更为成熟的决定。

## 6.3 为工具开发奠定基础的标准

为支持低碳综合能源系统的规划设计实施，世界各地的大量研究和规划设计机构开发出了一系列数字应用程序。研讨会上展示了国网（苏州）城市能源研究院开发的园区综合能源系统规划与运行优化工具——综合能源系统分析云平台等范例。该工具中预设了成本投资与减排效果的比较，类似于欧洲的 Sympheny 和 CEA 工具箱中的相关功能。众多解决方案体现了工业园区规划的总体需求。另一方面，由于缺乏相应标准，互操作工具的开发仍远远不足。明确标准，如数据模型的标准，是有效和协作开发工具的先决条件，以便使解决方案之间具有可比性，并可在不同项目阶段交换数据。

22 汉堡市城市数据中心（Urban Data Hub）：<https://www.hamburg.de/bsw/urban-data-hub/>



## 6.4 数字孪生体

城市数字孪生体是用于城市及区域维度项目综合模拟、监测和运行的更先进工具。数字孪生体是对部分现实世界的数字化展示。数字孪生体既描述实体对象，也描述非实体对象（如服务）；既描述当前现有的，也描述未来规划的对象和过程。

实现数字孪生的核心动机是全面的信息交换。数字孪生在制造业中已有成熟的应用，使虚拟规划产品生产成为可能。数字孪生体以统一格式体现不同的信息，其中包括准确描述现实世界中对应物的算法。数字孪生体通常由仿真模型组成，这些模型能够模拟数字孪生体的不同功能或物理属性。如果用真实数据来操作仿真模型，那么在理想情况下，数字孪生体的行为表现与其现实对应物完全相同。借助数字孪生体，复杂的系统在实际建设完成之前便可投入虚拟运行。<sup>23</sup>

基础版或升级版的数字孪生体可以展示现实世界，而增强升级版的数字孪生体则可以成为互操作信息物理系统的组成部分。

数字孪生体已在众多工业领域得到开发和应用。而迄今为止，对于园区领域的数字孪生体，尚未形成统一的观点或方法。目前，欧洲及国际层面正在启动或已在开展关于城市数字孪生体的标准化工作。

在德国，为了开发和统一制定城市及区域数字孪生体的基本方法，包括 14 个市镇及城政协会在内的 30 多个组织参加了 DIN SPEC 91607<sup>24</sup> 标准的开发工作，并将在未来两年内共同打造基于城市和市镇的数字孪生体。此项工作由德国联邦住房、城市发展和建筑部（BMWSB）的“连接城市数字孪生体”（CUT<sup>25</sup>）项目提供部分资金。其宗旨是通过展示和描述应用场景、数据访问和可视化方法以及使用现有标准，制定创建城市数字孪生体的（德国国家）标准。

## 6.5 后续工作

两场研讨会中，与会者均表现出了浓厚兴趣并积极参与了反馈和讨论。专题研讨会可以使园区规划设计的实施者和软件工具开发者之间关于应用解决方案的讨论变得更有价值。当规划设计者为现有工具集添加功能时，设计优化和软件优化的功能可以合二为一。因此，国内和国际专家之间有必要开展定期交流和具有协同效应的积极合作，各方均可从中获益。着眼于整体的方法证实了该主题内的各种相关性。实际规划设计过程中的案例可以被展示出来，

以说明多种工具的综合应用。下一步的重要工作是为园区的低碳综合规划设计提供贯穿全流程的用例。本报告提供的架构有助于更好地对用例进行分类和分层（图 5）。

结构化的用例有助于将具体的规划设计任务转化为软件工具的功能需求，并为标准数据模型的开发提供信息。这样，就可以为规划设计者和软件解决方案开发者提供一种通用语言。

尽管本研讨报告的工作重点在于气候中和园区的规划，但也指出了城市数字孪生体在未来发展中将发挥重要作用。如果仿真模型与现实之间（通过数字孪生体）达成了双向通信，那么就能在整个规划设计过程中建立一致的数据模型，该模型也可以作为信息物理系统中现实设施运行和监测的基础。

上述的后续工作既需要具体的规划设计实践，也需要信息技术开发，因此有必要将城市 / 社区、规划设计、数据管理及软件开发的各方专家聚集到一起，组织有序的讨论，从而确定进一步的发展机会，比如组成合作开发团队、共同启动试点项目等。

23 根据德国信息学会（German Society for Informatics）的定义：  
<https://gi.de/>

24 DIN SPEC 91607 为德国名为 城市和市镇的数字孪生体的标准编号：  
<https://www.din.de/de/wdc-beuth:din21:347212214>

25 CUT 为 Connected Urban Twins（连接城市数字孪生体）的项目名称缩写：  
<https://connectedurbantwins.de/>



					建筑能源建模				地区能源规划工具									数据集成工具				操作工具	
		筛选程序 1	筛选程序 2	筛选程序 3	筛选程序 4	TRNSYS (瞬时系统模拟程序)	Energypus	IDA ICE (In-door Climate and Energy)	IES VE	CEA 工具箱	Sympheny	地区能源概念顾问	OEMOF	TIMES	HKE SIM (dymola modelica)	EnergyPro	NetSim	THER-MOS	bueroHappold 数字孪生	FME	OGIS	ArcGIS	Planon
目标	使用软件的目标或目的	设计能源供应概念	-	-	-	设计能源供应概念, 建筑模拟	建筑模拟	建筑模拟	建筑模拟	能源供应概念, 规划	能源供应方案设计	能源供应方案设计	能源供应方案设计	能源供应方案设计	建筑能源建模, 包括物理和系统建模, 优化和设计保证能源消耗的经济解决方案	用于模拟和分析复杂能源项目的软件	用于区域能源管网设计的水力模拟工具	供热管网规划软件	数据管理和可视化	地理空间数据处理、翻译、集成	地理空间数据可视化和分析	地理空间数据管理、可视化和分析	与建筑运营相关的数据传送; 维护和建筑管理
	应用范围 (如果受到某些条件的限制, 如使用地方数据库或标准)	全球	-	-	-	全球, 研究	全球	地方	地方	欧洲	全球	地方	全球	全球	建筑、行政区	全球	全球	全球	全球	全球	全球	全球	全球
	计算方法 (综合标准/导则)	综合规范	-	-	-	ASHRAE (美国采暖、制冷与空调工程师学会) 标准 55-2013、DIN (德国规范化协会标准) 13779、VDI (德国工程师协会标准) 2078 和 SIA (美国国家标准协会标准) 2024	LEED (美国能源与环境设计先导评价标准), ASHRAE	综合标准: DIN (德国规范化协会标准) 4108-2:2013-2, Tageslicht, Ashrae 90.1 (LEED 和 BREEAM (英国建筑研究院环境评估方法))	综合标准: ASHRAE 90.1, CIBSE (英国建筑服务工程师学会), IECC (国机电工委委员会标准), 自然光照明	ISO 模拟 (能量负荷模拟) 标准; 建筑属性和控制的 SIA (系统影响评估) 标准	无综合标准/导则	综合标准: DIN 18599, 2016	基于 H/X 模块的热力学过程	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范	无综合标准/规范
单位	空间单位 (地区、行政区、建筑级别...)	行政区	城市	-	-	建筑	建筑	建筑 (正在开发的区域)	建筑	行政区、城市、建筑	建筑, 行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	世界、国家、地区	建筑、行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	行政区、城市、地区	行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	建筑、行政区、城市、地区	从建筑到区域
	时间单位 (每年、每月或每小时...)	每小时	每年	-	-	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年、每月、每小时	每年、每月、每小时	每年、每月、每小时	每年、每月、每小时	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年	每小时	每年、每月、每天、每小时	每年、每月、每小时	每年、每日	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年、每月、每天、每小时、次每小时	每年、每月、每天、每小时、次每小时	实时
方法	模拟方法/算法	-	-	-	-	带有多区域构建器的 Fortran 编译器	模拟引擎	基于方程的求解器	动态模拟	主从程序进化算法	MILP (Mixed-integer linear programming) 混合整数线性规划	基于方程	MILP	MILP	基于方程的模型	MILP	MILP	MILP	不适用	基于综合编程和计算工具 (python、电子表格...)	不适用	不适用	具有物联网功能的 Planon 平台
	优化方法 (如果适用)	多目标优化	-	-	-	不适用	不适用	Automoo(内置优化器选择最佳算法)	外置的参数提供工具	多目标优化	多目标优化	不适用	线性优化	使用线性编程的多目标优化	多目标优化	多目标优化	多目标优化	不适用	可调节, 取决于优化目标	不适用	不适用	可优化	
	优化目标 (如果适用)	排放	舒适度	成本	-	不适用	不适用	排放、成本、舒适度	排放、成本、舒适度	成本、排放	排放、成本	不适用	成本	成本、排放、成本、舒适度	排放、成本、舒适度	排放、成本	根据用户选择灵活变化, 如成本、排放	不适用	排放、成本、舒适度、终端使用能源、一次能源... (可变, 根据需求变化)	不适用	不适用	不适用	物联网设备、传感器、智能技术
界面	与其他软件工具、数据库和数据源 (如运行数据) 接入的数据界面	表列数据	-	-	-	表列数据、空间数据 (Sketchup、Rhino+Grasshopper)	Energypus 只是一个模拟引擎, 旨在与其它图形界面进行交互。两个常见的界面是 OpenStudio 和 Ladybug 工具。	空间数据 (cad, sketchup, .dwd Wetter-dateien (天气数据), ifc (有限))	表列数据 (以 gbXML 输入和输出)、空间数据 (通过 Revit / SketchUp 插件和 gbXML、veXML 或 IFC 输入 3D 模型, 通过 DXF 输入 2D CAD)、其他 (集成工具, 例如一键式 LCA、LEED—高度依赖于输入几何图形的质量)	表列数据 (csv)、空间数据 (shapefile)	表列数据 (csv 输入/输出)	封闭系统	表列数据 (csv 输入/输出)	Veda 2.0, 电子表格	其他 (EnergyPlus)	表列数据 (csv, XML)	表列数据 (csv、XML)、市场上网络信息系统的数据库)、空间数据 (DXF/DWG、栅格)	表列数据 (csv、XML)、空间数据 (GIS Geotiff、json、shapefile、激光雷达数据)	空间数据 (地理空间数据库)	表列数据 (csv、XML、数据库、非空间...), 超过 400 种格式的空间数据 (GIS、CAD、栅格、点云、BIM、3D...)	空间数据 (地理空间数据库)	空间数据 (地理空间数据库)	可定制的软件界面; 数据交换协议; 测试; 通过 Enterprise Talk 界面接受来自其他系统的混编数据 (表列); 可以导入图形数据 (DWG、DXF)

	考虑数字建筑模型 (BIM)	是	是	-	-	否	否	是	是, 从 Revit 导出 gbXML 文件中的几何图形和材质 (取决于输入几何图形的质量)	否	否	否	否	否	是	否	否	否	是	是	是	是	是, 用于 BI 工具 (如 MS Power-Builder) 的 Autodesk Revit (BIM) 双向标准连接器	
范围	使用阶段	项目开发阶段 (LPH0 阶段)	方案阶段 (LPH1-2 阶段)	规划设计阶段 (LPH3-5 阶段)	-	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)	概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)、运行	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)	项目开发 (LPH0)	概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)、运行	概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)	概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)	概念设计 (LPH1-2)	概念设计 (LPH1-2)	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)、检测/运行	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)、监测/运行	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)、监测/运行	项目开发 (LPH0)、概念设计 (LPH1-2)、规划 (LPH3-5)、监测/运行	LP8 调试、LP9 文件、监测/运行
	碳足迹计算范围 (完整生命周期评估, 包括材料加工、制造、分配、使用、维修和维护以及废弃或回收环节)	供应	使用	生命周期终止	在系统边界外的抵消 (排放)	不适用	不适用	使用 (手动输入参数)	使用	使用, 未来可能包含隐含碳	使用, 未来可能包含隐含碳	使用	使用	使用	使用	使用	不适用	使用	不适用	供应、使用、寿命终止、系统外抵消	不适用	不适用	数据	
	可建模的部门耦合 (供暖、电力、燃气、交通)	供暖	电力	燃气	交通	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	不适用	供暖、制冷、电力、燃气	供暖、制冷、电力、燃气	不适用	不适用	不适用	供暖、制冷、电力、燃气、交通	不适用	不适用	物联网和传感器
透明度	模拟系统的透明性 (开源或闭源)	开源代码	-	-	-	购买时可获得源代码, 但多区域建筑模型除外	开源	开源对象, 闭源求解器	开源 (计算方法开放, 但软件关闭)	开源	闭源	闭源	开源	开放, 但依赖于闭源软件包 (GAMS, 伏陀)	闭源	闭源	闭源	开源	闭源	闭源代码 (软件), 数据开放	开源	闭源	闭源	
	访问输入数据进行验证 (非常好 - 绝对控制; 良好 - 所有输入和输出数据都是可访问的; 一般 - 有限准入; 差 - 无法访问)	很好	好	-	-	一般: 可以将结果导入 excel, 这种工作方式的例子有限	很好	一般: 对数据的有限访问, 输入和输出可以导出到 Excel, 但格式不直观。可访问所有 csv 格式的输出数据, 但需要一些后处理	一般: 有限的数据库访问, 输出格式: DXF, PDF, Excel, jpeg...	良好: 可以在 Excel 中访问输入和输出数据	良好: 可以在 Excel 中访问输入和输出数据	一般: 有限的数据库访问	很好 完全控制	很好	非常好, 完全控制	好的	好的	很好	很好	很好	很好	很好	很好	很好
	能源计算边界 (终端用能、一次能源、租户/用户消耗的能源)	租户能源	终端用能	-	-	最终使用能源	最终使用能源	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	最终使用能源 (供暖、生活热水、制冷、电力)	最终使用能源 (供暖、生活热水、制冷、电力)	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	能源需求只是输入值之一, 该模型侧重于一次能源供应	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	不适用	不适用	不适用	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	不适用	不适用	终端使用能源 (供暖、生活热水、制冷、照明、通风、辅助能源)、租户能源	
能源来源	综合地理或环境数据	内置数据集	-	-	-	内置数据集: 天气数据	不适用	内置数据集: 部分欧洲国家的天气数据和标准	内置数据集 (全球天气数据)	内置数据集	内置数据集 (瑞士的太阳辐射, 其它地区需手动输入)	内置数据集 (德国天气数据, 太阳能潜力)	无	内置数据集: 来自 EPA-ORD, US DOE, US MARKAL 等的技术	内置数据集: 天气数据	内置数据集	内置数据集	内置数据集	内置数据集: 谷歌地图层, GIS 层, 可能有更多层	无	内置数据集 (开源代码如操作系统地图, 带有远程传感器数据的插件、环境数据)	内置数据集 (自有库)	无	
	能够计算不同来源的能源 (现场或网供)	网供能源	现场产能	-	-	网供能源、现场产能	网供能源	网供能源、现场产能	网供能源、现场产能	网供能源、现场产能	网供能源、现场产能	网供能源、现场产能	无	为计算有效的供应系统 (电网规模) 而设计	暖气、冷气和供水	网供能源、现场产能	不适用	不适用	不适用	网供能源、现场产能	网供能源、现场产能 (电子表格计算)	网供能源、现场产能 (电子表格计算)	无	
技术	软件中考虑的技术转换 (传统或新技术, 如燃料电池)	传统技术	新技术	-	-	传统技术	传统技术	传统技术	传统技术	传统技术, 新技术	传统技术, 新技术	传统技术	全部	传统技术, 新技术	暖气、冷气和供水	传统技术, 新技术	不适用	传统技术	不适用	传统技术, 新技术 (电子表格计算)	传统技术, 新技术 (电子表格计算)	传统技术, 新技术 (电子表格计算)	不适用	

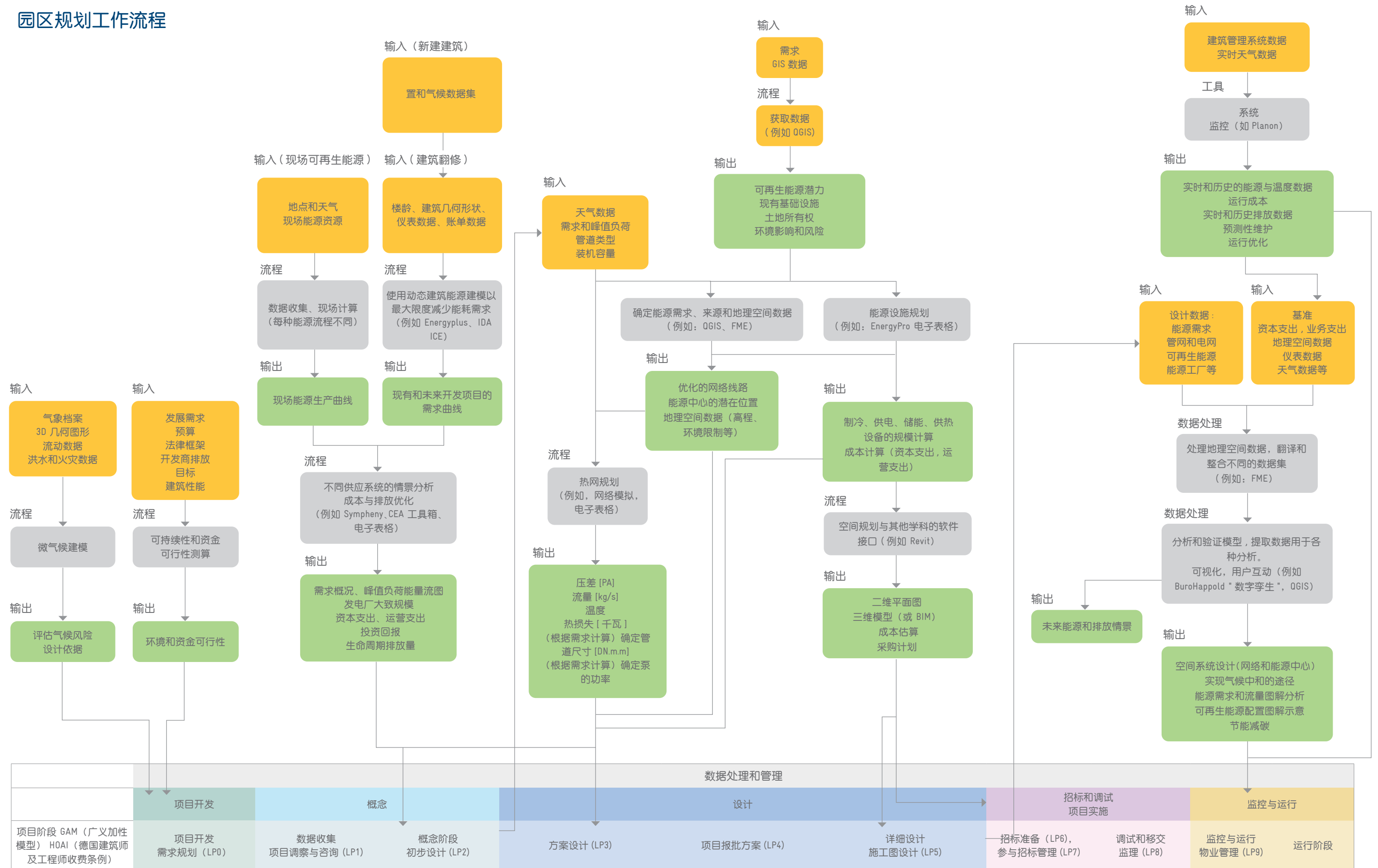


	管网建模（例如热电网络）	热力管网	电网	-	-	无	无	无	无	供供热网，电力网	无	无	无	无（不用于设计目的）	无	供热网	供热网	不适用	供热网，电力	供热网、电网（电子表格计算）	供热网、电网（电子表格计算）	不适用	
	储能建模（例如不同的储能技术，短期或长期储能设施的建模）	储热	储电	建筑级储能（短期）	地区规模（长期）	储热、储电、建筑级储能（短期）	储热、储电、建筑级储能（短期）	储热、储电、建筑级储能（短期）	储热、储电、建筑级储能（短期）	储热、储电、建筑级储能（短期）	储热、储电、建筑级储能（短期）、区域级储能（长期）	储热、储电、建筑级储能（短期）	储热、储电、建筑级储能（短期）、区域级储能（长期）	在路线图上	储热、储电、建筑级储能（短期）、区域级储能（长期）	不适用	储热	不适用	储热、储电、建筑级储能（短期）、区域级储能（长期）	储热、储电、建筑级储能（短期）、区域级储能（长期）（电子表格计算）	储热、储电、建筑级储能（短期）、区域级储能（长期）（电子表格计算）	不适用	
经济可行性	综合经济效益计算	是	-	-	-	不	不	不	是	是	是	是	是	是	是	是	是	不	否（可以添加功能）	不	不	是	
	资本支出或运营支出	资本支出	运营支出	-	-	不	不	运营支出	运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	资本支出，运营支出	不	否（可以添加功能）	不	不	资本支出，运营支出	
	线性或动态（资本支出）	线性的	-	-	-	不	不	线性的	线性的	线性、动态	线性的	线性的	线性的	线性的	线性的	线性的	线性的	不	否（可以添加功能）	不	不	线性的	
	静态或预测（资本支出+运营支出）	预测	-	-	-	不	不	静态	静态	静态	静态	静态	静态	可预测	预测	预测	静态	静态	不	否（可以添加功能）	不	不	静态
用户友好程度	安装要求	-	-	-	-	免费下载和本地安装	网络许可	独立或网络许可	免费下载和本地安装	基于云的	免费下载和本地安装	免费下载和本地安装，安装复杂	本地安装	本地安装	本地服务器安装	基于网络	基于 web	本地安装	本地安装	本地安装	本地安装	基于项目	
	与其他软件相比的优势	-	-	-	-	免费，广泛采用，开源，国家资助	精确、开源、非常灵活	精确，开源，可扩展，非常灵活	开源，自由软件，精确的技术描述，访问各种数据库，接口，数据库（最小化输入），对建筑物进行空间建模的能力，供热网络的模拟和优化	快速、维护良好、良好的支持	快速，基于德国规范和能源标准	开源，自由软件，控制，可以修改	有很好的文档记录和几个可用的用例示例。专用于为战略提供情景分析。全球用户群	建筑物、生产、通风系统、能源系统和（管内）流速的综合分析。	精确的模拟结果、系统规模优化、各种约束因素（峰荷载电力成本、受限的天然气和电力供应）	精确的模拟结果，系统规模优化	免费软件，精确的冷供热网络选项分析	在管理和处理大批量数据方面比一般模拟工具更高效，比其他 GIS 工具在 FME 的集成度更高	非专业用户友好、直观、交互式工具	已经包含不同的计算脚本、自动化工作流程、在读取和写入不同数据的有明显优势	开源、大型用户社区、来自其他用户的支持（论坛）、用于扩展功能的插件	数据库，用户友好，更少的错误和更新，更强大的产品（与 OGIS 相比），用于扩展功能的插件	基于平台的、为客户定制的应用程序，连接器和平台扩展的管理；24/7 在线客服门户（帮助热线）
	差距和障碍	-	-	-	-	界面不直观，精确模拟热质量的能力有限	学习曲线，详细的整体建筑建模复杂而缓慢。难以适应设计的快速变化	学习曲线 - 需要经验，整个建筑模型复杂而缓慢，BIM 导入需要高质量的模型或模型重建	不包括隐含碳排放	温度不可调节，线性投资成本（无法模拟成本随时间增加的情况）	由于闭源计算，灵活性和适应性有限。静态计算方法不是很精确	温度不可调，线性投资成本（无法对随时间增加的投资成本建模）	持续维护的不确定性。报告应该三年一次，但最后一次发布日期是 2016 年					设置阶段比 GIS 软件需要更长的时间	成本	错误和定期更新	成本	漫长的实施过程	
	许可和订阅成本	-	-	-	-	免费	3000	根据使用收费（取决于许可证数量）	免费	9000（5 个许可证，20 个项目）	免费	免费	免费	免费，但是吠陀系统和 GAMS/解算器分别需要 3000 美元和 1920 美元	取决于许可证类型和模块（Energy-Pro 设计模块 - 标准许可 4200 欧元 / 用户，一年许可 1680 欧元 / 用户）	视报价而定（许可证和用户包）	免费	根据客户需求	免费	免费	需要安装、许可和培训		
	向用户移交数据	-	-	-	-	有限的	有限的	取决于客户要求 - 可能需要后期处理	取决于客户要求 - 可能需要后期处理	灵活的	有限 (xml, html)	有限 (PDF 格式报告)	图形和数据输出	有限 (xml, PDF 格式的报告)	有限 (xml, PDF 格式的报告)	根据客户需求：低级访问、仪表盘的完全访问和 API 的高级访问	非常灵活，取决于客户的需求	地理空间数据或地图作为图像数据	地理空间数据或地图作为图像数据	通过应用程序			
用户数量	-	-	-	-	每个本地设备 1 个用户	每个本地设备 1 个用户	每个许可证 1 个用户	提供单独或无限制的网络许可证	每个本地设备 1 个用户	5 个许可证	每个本地设备 1 个用户	每个本地设备 1 个用户	每个本地设备 1 个用户	每个本地设备 1 个用户	视报价而定	-	-	取决于订阅协议	-	取决于订阅协议	取决于项目		

符合表中筛选程序程度较高
  符合表中筛选程序程度中等
  符合表中筛选程序程度较低

# 附录 2

## 园区规划工作流程







微信



网站

