



让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together

中瑞零碳建筑项目

技术报告

低温能源网络

打造低碳能源系统

中文版



2024年7月



中华人民共和国
住房和城乡建设部



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



环能科技

intep

skat



让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together

本报告系在中瑞零碳建筑项目框架下编制。该项目由瑞士发展与合作署资助，并与中华人民共和国住房和城乡建设部合作实施，旨在推动国际合作与交流。

作者:

王昕昱、Roland Stulz、朱继龙 | 瑞士茵态 (intep) 综合规划咨询有限公司
Jakob Scherer | Anex

内容贡献与审阅人员:

Intep-Skat 联合团队
Anex团队
中国建筑科学研究院团队
浙江大学建筑设计研究院团队

设计与排版:

Intep-Skat 联合团队

intep
skat

引用格式:

王昕昱, Stulz, R., 朱继龙, Scherer, J. 低温能源网络 - 打造低碳能源系统:《中瑞零碳建筑项目技术报告》[R]. 苏黎世: Intep-Skat, 2024.

中瑞零碳建筑项目是由瑞士发展与合作署资助，并与中华人民共和国住房和城乡建设部合作开展的国际合作项目。该项目旨在通过分享瑞士在可持续及零碳建筑领域的先进经验，推动减少温室气体排放，助力中国建筑行业实现碳中和发展。

项目实施团队:

瑞士茵态 (intep) 综合规划咨询有限公司
瑞士Skat 咨询公司
中国建筑科学研究院

微信公众号:
SinoSwissZEB



网站:
zeb-china.org



封面图片: 苏黎世Freilager社区住宅建筑

目录

1.	中瑞零碳建筑项目背景	2
2.	低温能源网络	3
3.	低碳未来:低温能源网络助力在建筑行业转型中	6
4.	瑞士的低温能源网络应用	7



图 苏黎世Freilager社区的低温能源网络系统



1. 中瑞零碳建筑项目背景

1.1. 关于中瑞零碳建筑项目

为了共同应对全球气候变化,加强中瑞两国在建筑行业在减排领域的合作,2020年11月24日,中华人民共和国住房和城乡建设部与瑞士联邦外交事务部签署了在建筑节能领域发展合作的谅解备忘录。在此备忘录框架下,瑞士发展合作署(SDC)发起并资助了中瑞零碳建筑项目,旨在通过引入瑞士的经验和技术,支持中国制定零碳建筑技术标准和建筑行业中长期碳减排路线图,并在不同气候区建设零碳建筑示范工程,同时开展多种形式的能力建设活动,最终推动中国建筑行业的碳中和发展。

项目目标

- 将现有建筑能效标准升级至零碳建筑技术标准
- 在中国四个典型气候区实施示范工程,以测试新的零碳建筑标准并寻找优化潜力
- 开展零碳建筑设计能力建设以及相关的知识传播工作

项目起止时间

2021年3月15日至2025年11月30日

项目对气候保护的影响

项目旨在减少建筑领域二氧化碳排放

1.2. Anex公司介绍与项目贡献

Anex公司长期致力于提供一套功能完备、资源节约型且成本效益显著的综合建筑技术解决方案,其服务范畴广泛而深入,涵盖了暖通空调系统规划、客户定制化咨询、严格的质量保证流程、整体项目管理、空间与技术的精准协调、先进的建筑及能源模拟技术、建筑物理性能与声学优化、以及光伏应用与饮用水卫生解决方案。

Anex与中瑞零碳建筑项目团队紧密协作,共同为中国规划领域的多个示范工程指导,旨在挖掘并实践低温能源网络应用的巨大潜力。然而,由于示范工程空间有限、地热资源问题和其他因素等,该解决方案至今尚未得到应用。

本手册精心编纂,旨在全面阐述低温能源网络的优势与广阔前景,通过深入剖析瑞士成功案例,力求为读者构建对该方案深刻而全面的认知。中瑞零碳建

筑项目希望通过本手册的引导,为中国未来在适宜项目中顺利部署低温能源网络方案奠定坚实基础,铺就一条通往绿色、高效建筑未来的道路。

2. 低温能源网络

2.1. 概览

在热力学中，能量是由焓 (Exergy, 可用能) 和无效能 (Anergy, 又叫无火, 一切不能转换为焓的能量) 组成的一个封闭系统, 各种形态的能量, 转换为“高级能量”的能力并不相同, 但是转换能力的大小与环境条件有关, 还与转换过程的不可逆程度有关。无效能是能量中不能转化为功的部分。

低温能源网络 (Anergy network), 作为集供热与/或制冷功能于一体的系统, 负责在能源供应与用户间高效传输接近环境温度的热能。相较于传统供热模式, 低温能源网络的显著特点在于其较低的运行温度, 这一特性促使了水对水热泵的集成应用, 旨在将所捕获的热能提升至满足建筑物供热需求的适宜水平。同时, 得益于其较低的传输温度, 低温能源网络还展现出在冷却能源应用上的潜力。

作为区域供热与制冷网络架构中的关键组成部分, 低温能源网络系统通过精细规划的热能分配策略, 致力于优化能源使用效率并减少碳排放。该系统在短距离能源传输方面表现出色, 常与可再生能源 (如太阳能、地热能) 及热泵技术紧密结合, 共同构建了一个环保、高效的能源供应体系。

2.2. 功能和运行原则

低温能源网络的基本原理在于高效利用原本可

能被忽视的低温能源, 如地热能或工业加工过程中产生的废热, 将其转化为城市地区, 特别是高能效建筑供热与制冷所需的能源, 从而成为一种既可持续又环保的解决方案, 有力推动了更加绿色、低碳的城市发展进程。

以地下水为例 (如图2所示), 能量网络如同一个精密的管道循环系统, 在其中实现水的循环流动。这一过程中, 水的温度由专业的网络运营商根据需求精准调控, 通常维持在8°C至26°C的适宜范围内。用户通过连接至该能源网络的热泵系统, 能够自主地进行供热操作, 满足空间供暖及热水供应的需求。此外, 当需要时, 该能量网络还能灵活提供冷却或再冷却服务, 进一步提升了其综合能效与灵活性。

此外, 低温能源网络的用户可以相互受益。当一个用户在制冷过程中产生废热时, 这些热量可以释放到网络中, 随后被其他用户通过热泵系统回收利用于加热目的。通过调控能源网络的温度, 保持在最优范围内, 相较于独立运作的系统, 用户们在使用热泵时所需的电能得以大幅减少。这一机制不仅提升了能源供应的整体效率, 显示了能效网络在高效利用低品位能源方面的卓越能力, 同时促进了地下水等自然资源的可持续利用与保护。

核心运行原则包括:

- 双重功能设计: 低温能源网络构建于一个闭环循环系统之上, 该系统配置了双管道结构, 分别负责热媒的流动与回流, 同时设有与建筑内热泵紧密连接的入口与出口管道 (如图3所示)。这一创新布局赋予了能量网络同时满足指定区域供暖和制冷需求的双重能力。在诸如医院综合大楼等全年对供暖和制冷有着不间断需求的场所中, 该双重功能展现出了尤为显著的效益与优势。
- 整合可再生能源: 利用能量网络将水和废水纳入建筑物温度调节, 是一种创新的整合可再生能源方法。在瑞士, 由于地理优势, 如康斯坦茨湖、苏黎世湖、卢塞恩湖和日内瓦湖等主要湖泊与重要城市区域相邻, 这为利用这些水域的潜在热能提供了便利。此外, 废水因其冬暖夏凉的特性, 成为建筑温度控制的理想选择。为了有效利用这种能源, 高能耗建筑物, 如行政中心、教育机构、医院和住宅区, 应靠近大型下水道系统或污水处理厂, 以便于经济高效地利用水/废水能源。
- “汇”这一概念, 与“源”相对, 指的是从电网中抽取能量的过程。在供热能耗或“供热网络”系统的

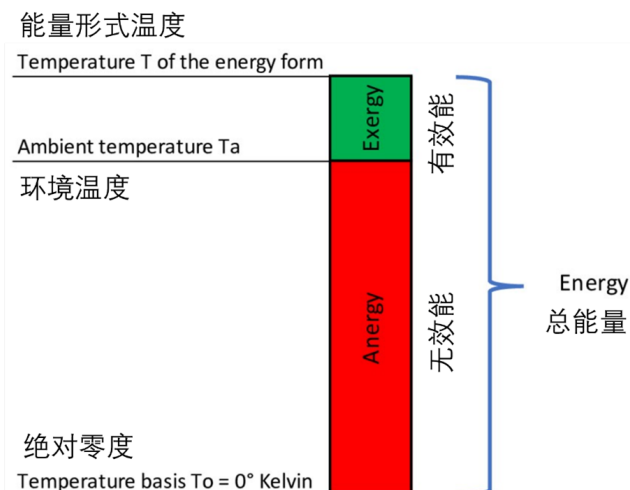


图1 可用能和无效能的区别

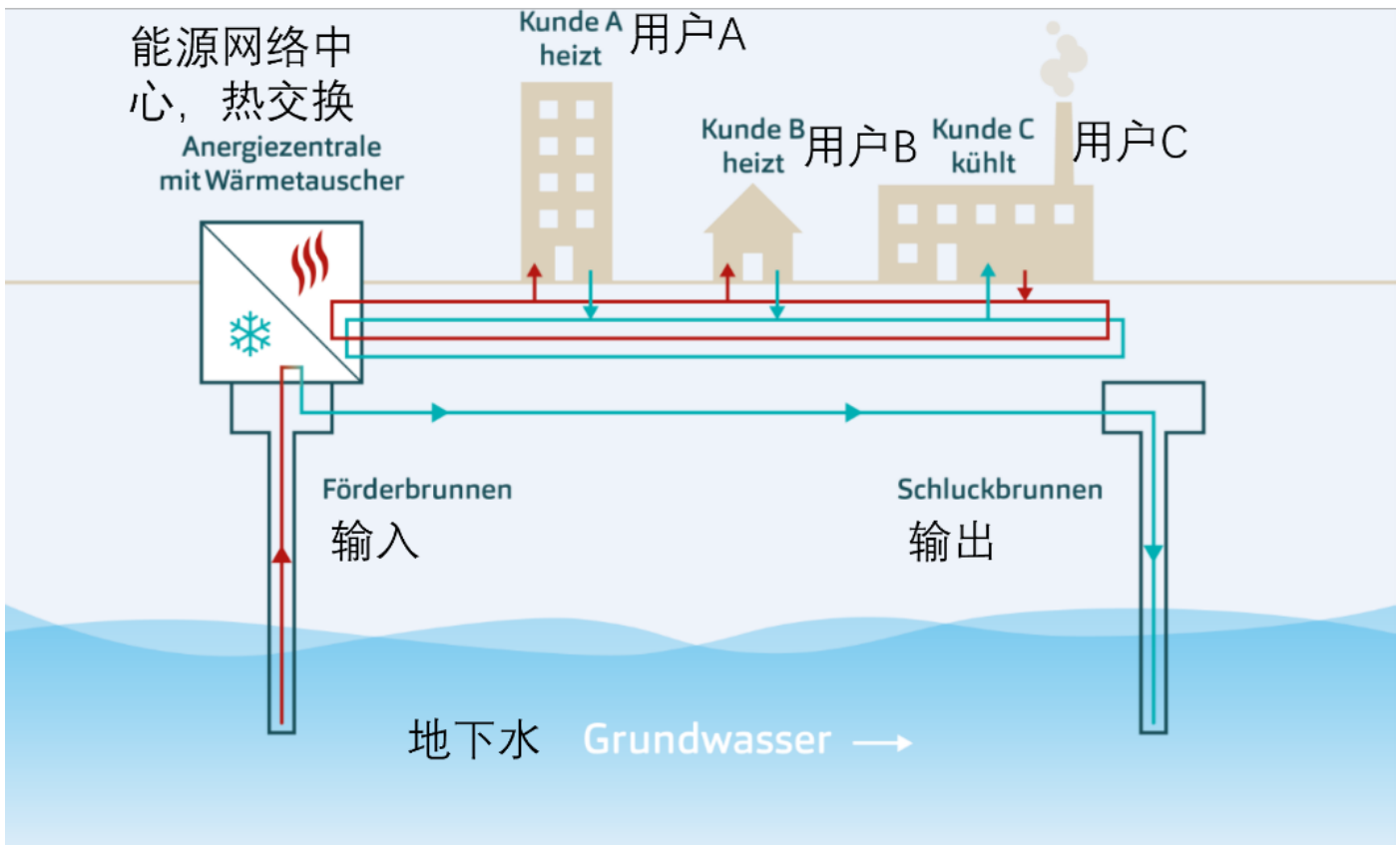


图2 低温能源网络功能示例 – 利用地下水

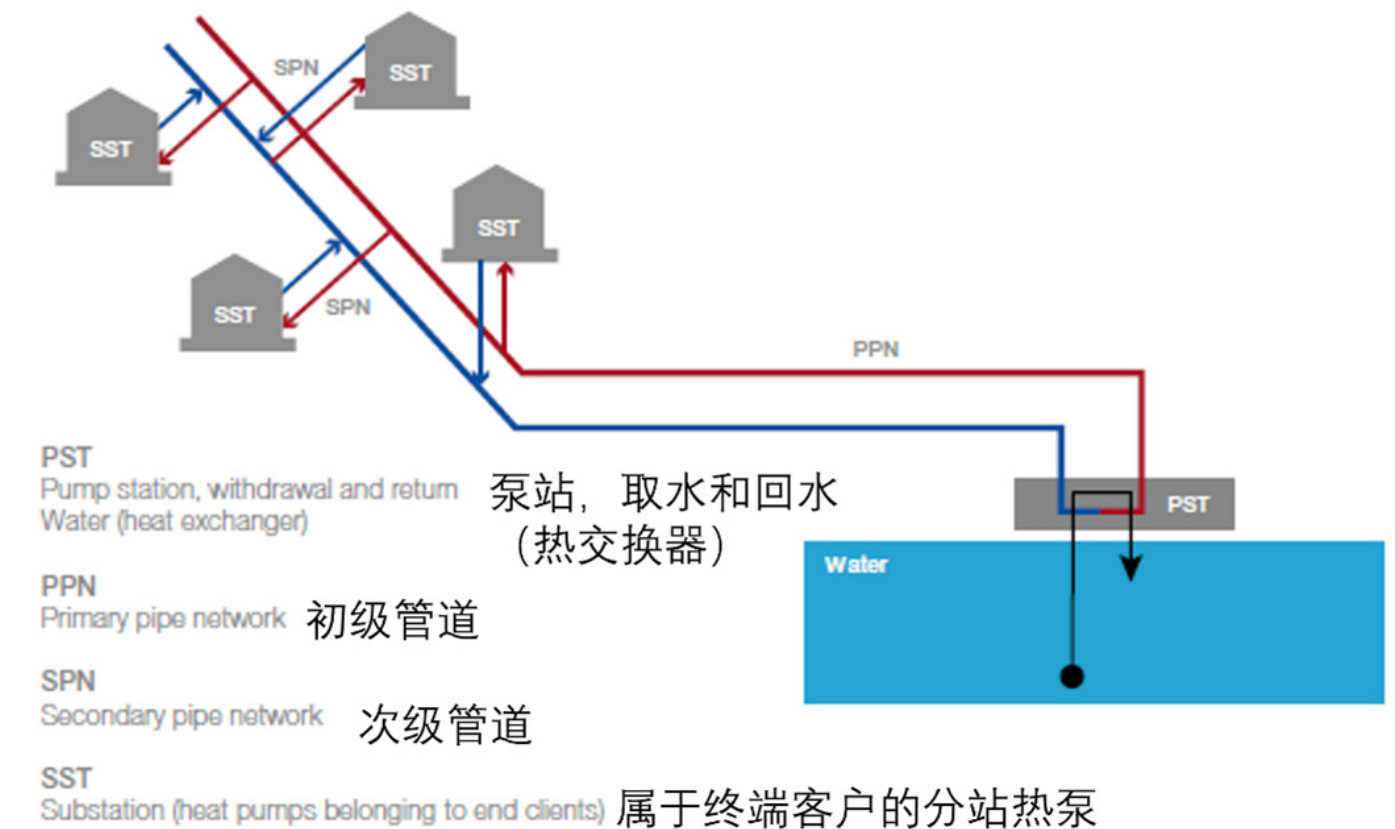


图3 低温能源网络双重功能

语境下,所有能量损耗均可视为“汇”。

- 储能系统,特别是季节性地热储能:在维持能源网络中源与汇之间能量平衡方面扮演着核心角色。如图5所示,在包含多元源与汇的复杂能源系统中,地热储能(或泛指低温储能技术)具有独特价值。具体而言,在温暖的季节,可将富余热能储存于地下储热设施中,待寒冷时节再行释放用于供暖。通过利用地面温度较为稳定的特性,能够显著减少土壤中的能量散失。此外,这类系统的设计还致力于在运行阶段最小化额外的能量输入,从而有效降低运行成本。实现热区联网并保障其高效运行的关键前提,在于确保全年范围内热能网络的热平衡。这意味着,每年从网络中提取的热量总量(即“汇”的总和)必须等同于输入的热量总量(即“源”的总和),以此维持系统的稳定与可持续性。

- 集中控制与分散运行相结合:能源网络既设有中央控制系统以维护能源分配的总体平衡,又允许分散化操作模式,使个体用户能根据即时需求灵活扮演能量源或能量汇的角色。相较于传统区域供热网络,后者主要聚焦于大规模能源分配,分散式能源网络展现出更高的效率与适应性。凭借其本地化特性和较低的运行温度,分散式网络尤为适合整合可再生能源,并显著减少传输过程中的能量损失。这些网络广泛应用于供热与制冷领域,涵盖数据中心、服务性建筑及轻工业等多个小型热源与制冷用户。其用户结构多元,处理的是相对较低的能源需求,且在较低配电温度条件下运行。为实现高效的热量管理,分散式能源网络通常采用热泵技术,进一步提升能源利用效率。

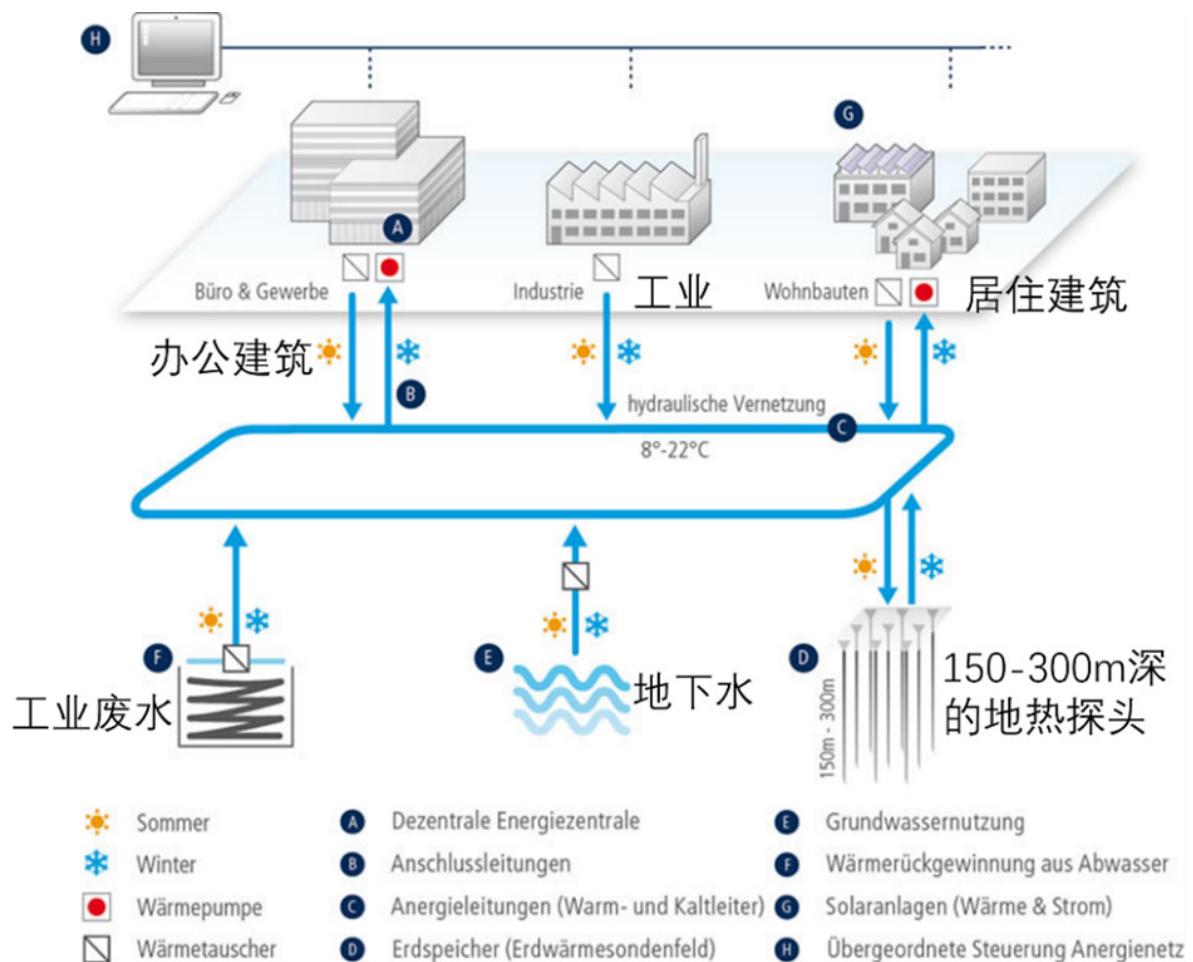


图4 地热探测场与建筑物、地下水或作为能源的废热之间进行冷热交换的能源网络示意图



3. 低碳未来:低温能源网络助力在建筑行业转型中

3.1. 建筑行业减排所面临的机遇与挑战

当前,建筑行业已成为全球能源相关碳排放的主要贡献者,占比高达39%,其中运营阶段排放占据28%,主要涉及建筑供暖、制冷及供电所消耗的能源,而材料与施工过程中的排放则占据了剩余的11%。展望未来,随着本世纪中叶世界人口预计接近100亿,全球建筑总量预计将实现翻番,建筑领域的碳减排任务刻不容缓,这既是艰巨挑战,也是推动可持续发展的重大机遇。建筑行业正处于转型的关键十字路口,需采取果断且创新的策略,以应对人口增长带来的需求压力与气候变化的严峻挑战。这一转型要求全方位的变革,涵盖技术创新、政策引导以及对能源效率前所未有的重视。能源效率的提升不仅是减少能源需求、降低碳排放量的关键,更是推动整个行业向清洁能源体系过渡的重要驱动力。

在全球能源转型,深入挖掘并利用当地能源潜力构成了至关重要的一环。这涵盖了广泛资源,如废热回收、湖水利用、污水处理厂中的能量回收、地下水及地热能等。通过坚持不懈地开发这些本土资源,我们能够显著降低对化石燃料的依赖,最大化地减少能源在传输过程中的损耗,进而促进构建一个更加可持续的能源生态系统。与此同时,能源转型的另一显著特征是各行各业的电气化进程加速。这一趋势旨在通过转向电力驱动来减少碳排放,并提升整体能源利用效率。具体而言,交通系统的电气化、供暖系统的电驱动改造以及工业流程的电力化,均有望大幅度减轻对环境的不良影响。然而,这一转型之路亦非坦途,伴随着电网基础设施的升级需求、高效能源储存解决方案的探索,以及可再生能源发电容量的迫切扩增等挑战。

3.2. 低温能源网络:缩小能效差距,整合可再生能源

将低温能源网络纳入建筑领域,为提高能源效率和减少温室气体排放提供了大量机会,其主要优势包括:

- 提升能源效率:低温能源网络的独特之处在于其运行温度更贴近环境基准,这一设计显著降低了供热与制冷过程中的能耗,从而有效减少了温室气体排放。此外,该网络还巧妙地利用了当地丰富的废热资源,包括大型数据中心余热及烟气冷凝过程中释放的废热,通过余热回收技术进一步提升了整体能源利用效率。
- 与当地可再生能源的深度融合:低温能源网络展现出与地热能等本地可再生能源对接的能力,这种高度整合不仅有效削弱了对化石燃料的依赖,还极大地推动了建筑物向可持续能源供应体系的转型,为实现环境友好型发展贡献了重要力量。
- 城市规划中的低温能源网络贡献显著,它精准对接了住宅、办公空间、数据中心及轻工业等多元化用户群体的能源需求。这些网络以其灵活性与可扩展性,轻松跨越不同的城市形态,为各类建筑量身定制能源解决方案。将其深度融入城市能源系统之中,不仅优化了城市在垂直与水平维度上的能源利用效率,还促进了能源性能全面提升,有力推动了城市能源系统的整体效能跃升与可持续性发展。

综上所述,低温能源网络凭借其灵活高效的设计理念,在推动建筑行业,尤其是城市环境下的可持续转型中扮演着至关重要的角色。通过将能源网络与城市规划深度融合,显著提升能源利用效率并有效减少排放,构建更加绿色、可持续且的城市社区。

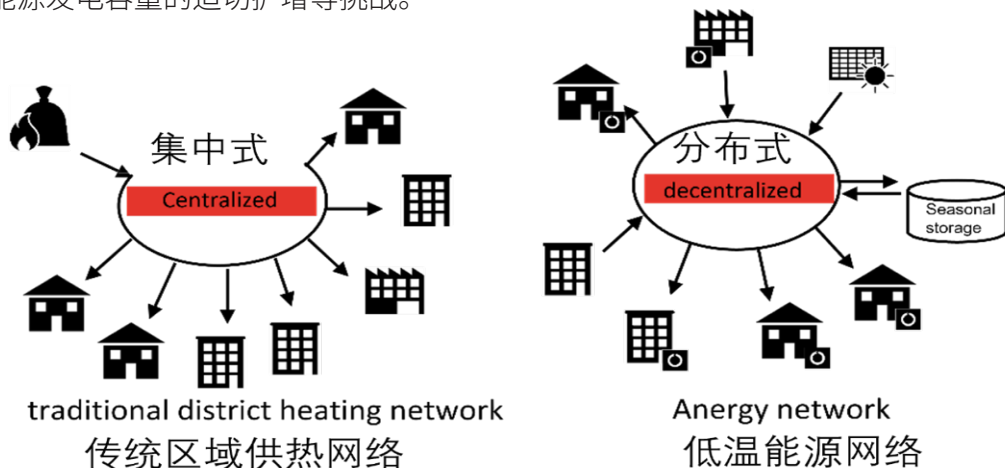


图5 分布式供热网络与集中式传统区域供热网络的比较

4. 瑞士的低温能源网络应用

4.1. 案例 1: 弗里森贝格 (Friesenberg) 小区 - 余热利用

自2010年起, 苏黎世家庭合作式建房集团 (Familienheim-Genossenschaft Zürich, 简称FGZ) 开始规划并实施弗里森伯格 (Friesenberg) 社区的能源网络改造项目, 逐渐采用热泵技术替代原有的燃油和燃气供暖系统。作为苏黎世最大的住宅建房合作社, FGZ为该项目的推进提供了4250万瑞士法郎的资金支持。

弗里森伯格社区是一个纯住宅区, 总供热面积约为185,000平方米, 其原有的空间供暖及生活热水年热需求量大约为35吉瓦时 (GWh)。为了降低对化石燃料的依赖, 该项目充分利用了周边数据中心 (如瑞士电信和瑞士信贷) 产生的余热资源。

如图6所示, 这些数据中心提供的废热量充足, 足以满足弗里森伯格社区的热能需求。针对夏季废热过剩的问题, 项目引入了地热储存技术, 将多余的废热进行储存, 以便在冬季时释放利用。这一措施有效减少了温室气体排放和一次能源的使用, 为提升城市能源利用效率和促进可持续发展做出了贡献。

- 低温能源网络的改造实施分为以下几个阶段:
- 由于采取了围护结构改造措施, 到 2050 年, 社区的能源需求将从每年 35 千兆瓦时减少到 13 千兆瓦时。
- 剩余的 13 千兆瓦时中的 90% 将通过热泵利用余热来满足, 约 10% 将通过化石燃料来满足高峰负荷。(见图7)
- 能源需求的减少以及石油和天然气消耗量的大幅降低, 将使一次能源需求量减少约 65%, 石油和天然气消耗量减少约10%。能源需求减少约 65%, 温室气体排放减少约 90%。

自2014年起, 弗里森贝格社区的首个低温能源网络已投入运营, 并持续处于扩展之中。该网络中的热导体温度根据季节波动, 维持在8°C至28°C的范围内, 同时确保电力供应的即时性与灵活性。展望未来, 至2050年项目全面竣工时, 弗里森贝格的能源网络 (参照8所示规划) 将涵盖多个子项目, 共同构成其综合能源体系。

- 一条长约 3 公里的主管道 (冷热水供应管道) 的供

能网络

- 三个地热储存区域, 在 250 米深处共有 450 个探头
- 整合两个大型数据中心, 总热容量约为 4.5 兆瓦
- 中央能源中心, 总供热能力约 10 兆瓦

4.2. 案例二: 苏黎世弗雷拉格 (Freilager) 社区 - 余热利用

苏黎世弗雷拉格 (Freilager) 社区, 坐落于苏黎世Albisrieden区, 自1923年起至20世纪90年代, 长期扮演着保税仓库的角色。而今, 这一区域已转型为一个充满活力的混合型社区, 集住宅与办公于一体, 坐拥13座建筑, 总面积横跨约70,500平方米。社区内规划有850套租赁公寓及近200间学生宿舍, 吸引了约2500名居民与工作者在此安居乐业。此地设计精妙, 完美契合2000瓦特协会所倡导的理念, 并于2018年荣获瑞士“2000瓦特社区”认证, 旨在表彰该项目在建筑施工、能源供应、营管理、翻新改造及交通出行方面均实现资源可持续利用的成果。

如图9展示, 低温能源网络在苏黎世弗雷拉格建筑群中的A至D区域, 扮演了供暖、热水供应及制冷服务的核心角色。该网络巧妙地整合了地热探头技术, 并有效利用邻近瑞士联合银行 (UBS) 计算机中心产生的富余热能。整个系统配置了205个深达220米、间隔5米的地热探头, 集中在A区域, 紧邻中央能源枢纽。即便在寒冷的冬季, 数据中心释放的多余热量也能维持中央热泵的热源温度于较高水平 (超过15°C), 从而提升整个能源网络的运行效率与性能。

4.3. 案例三: 瑞士联邦铁路公司 Werkstadt地块 - 地下水利用

苏黎世的Werkstadt地块位于苏黎世火车总站和Altstetten之间的铁路轨道地带。瑞士联邦铁路公司 (SBB) 正对该地块进行改造, 目标是在2035年前将其打造为一个充满活力的城市空间。改造过程中, 将保留历史建筑, 并融入新建筑和扩建部分。

该重建项目的能源计划是利用太阳能和地下水, 为所有建筑提供无化石燃料的供暖、制冷和电力。地下水作为热源和冷源, 通过四口水井收集后, 被输送



到大型建筑内的能源中心进行处理。热泵和制冷机调节地下水温度，以满足建筑需求。能源网络将各个建筑连接起来，促进能源在不同建筑之间的共享和交换。小型建筑则通过本地供热网络与能源中心相连。此设计不仅减少了每栋建筑单独钻探地下水的需求，显著提升了整个区域的能源利用效率与可持续性。

在项目的最终阶段，预计每年的供热需求将达到

10,400兆瓦时，而制冷需求则为2,100兆瓦时。得益于所有剩余电力均源自可再生能源，因此该项目的供暖和制冷系统均实现了100%的无二氧化碳排放。扩建工程竣工后，通过实施这一单一能源系统，预计每年可减少超过2,100吨的二氧化碳排放量。

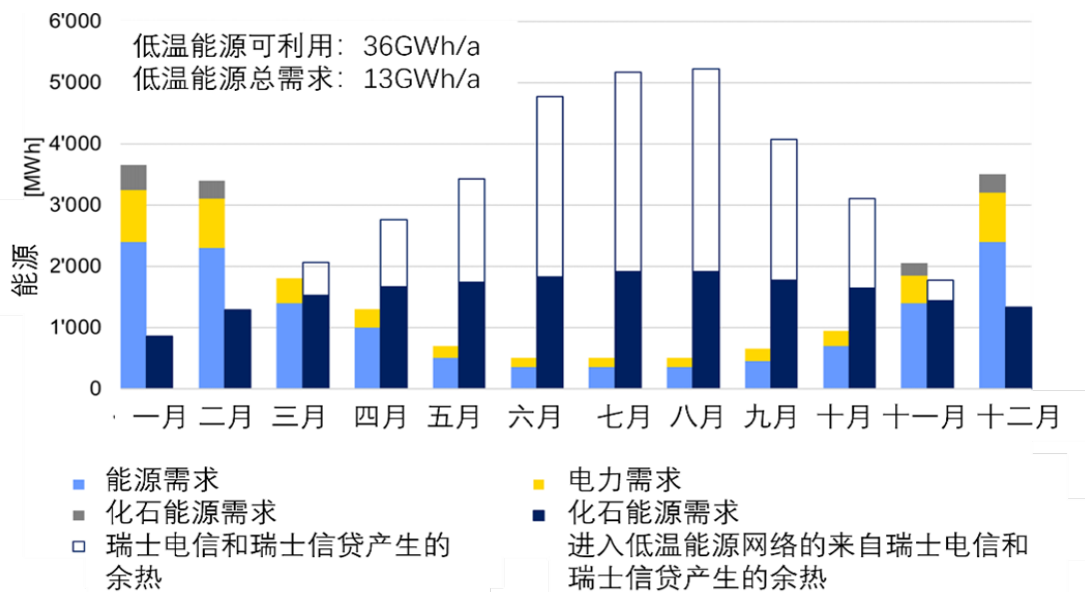


图6 弗里森贝格社区的能源需求与瑞士电信和瑞士信贷数据中心的余热供应对比

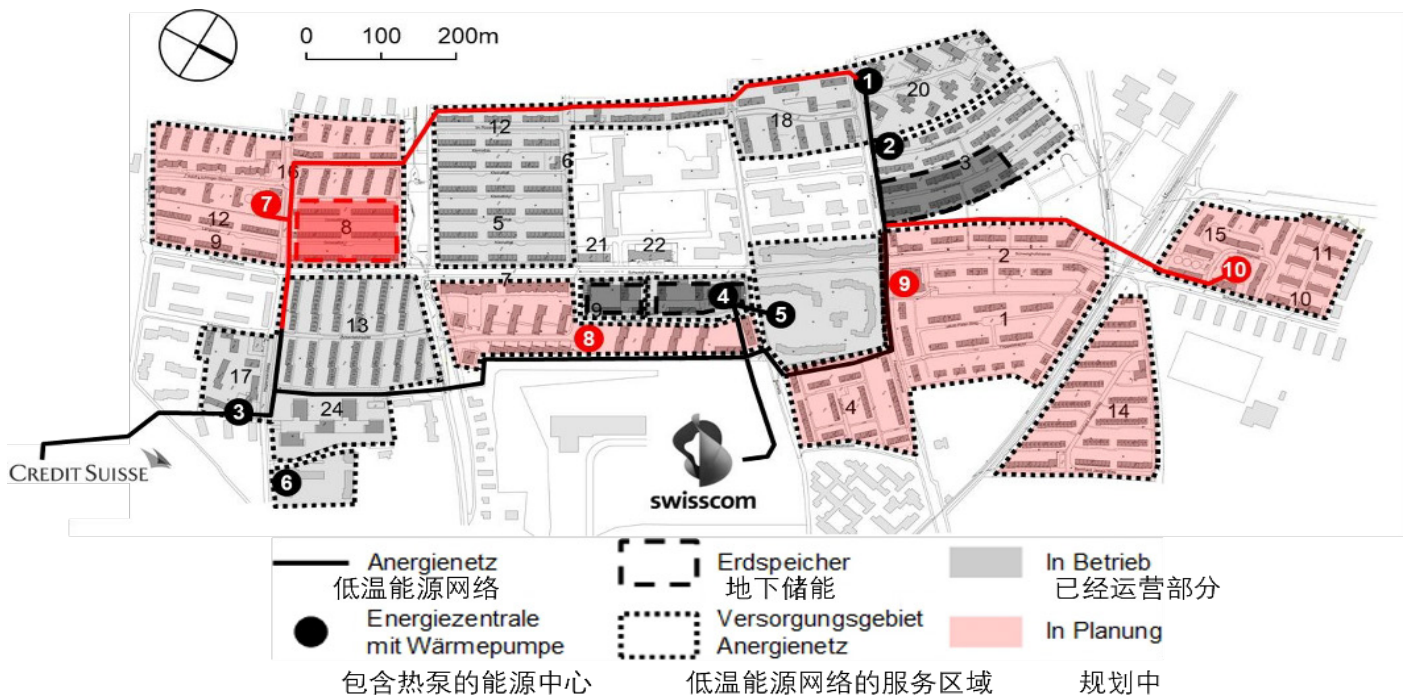


图7 弗里森贝格街区平面图，包括能源网络和分散式热泵能源中心

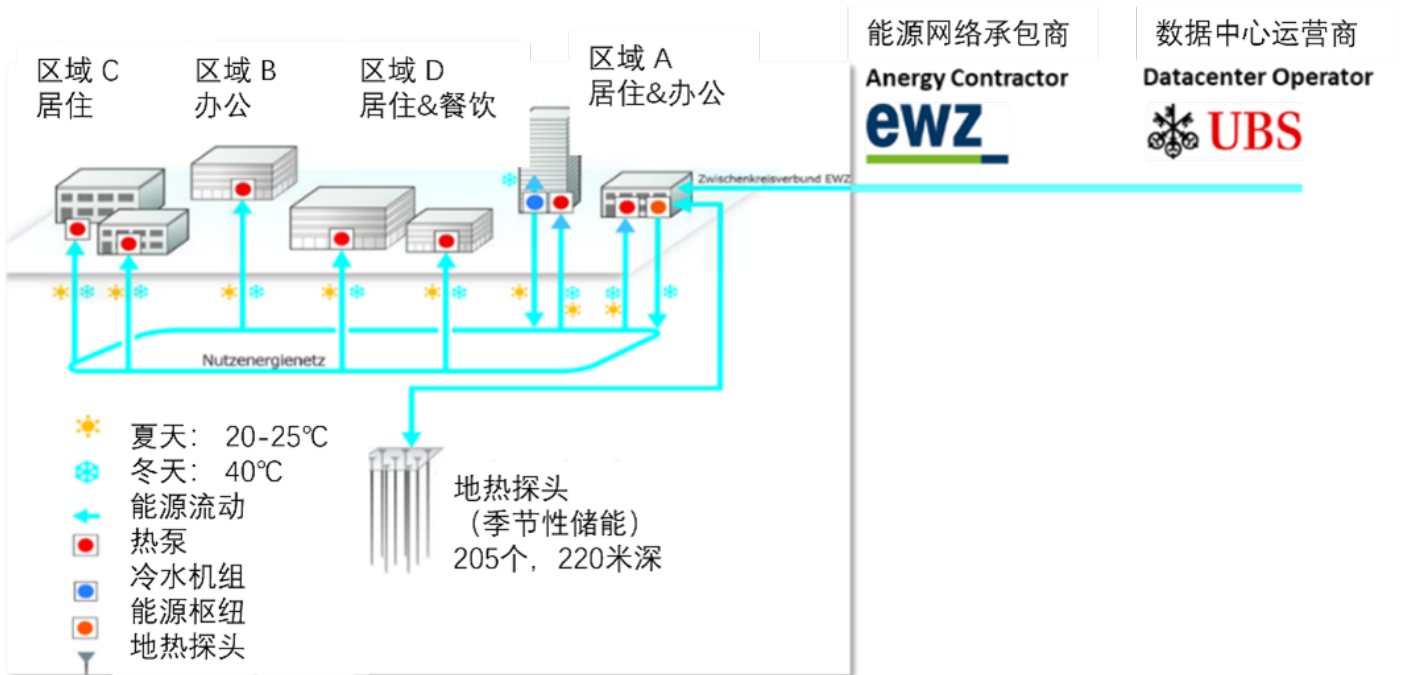


图8 Freilager Zurich energy network, source and components overview . Source: Züricher Freilager AG

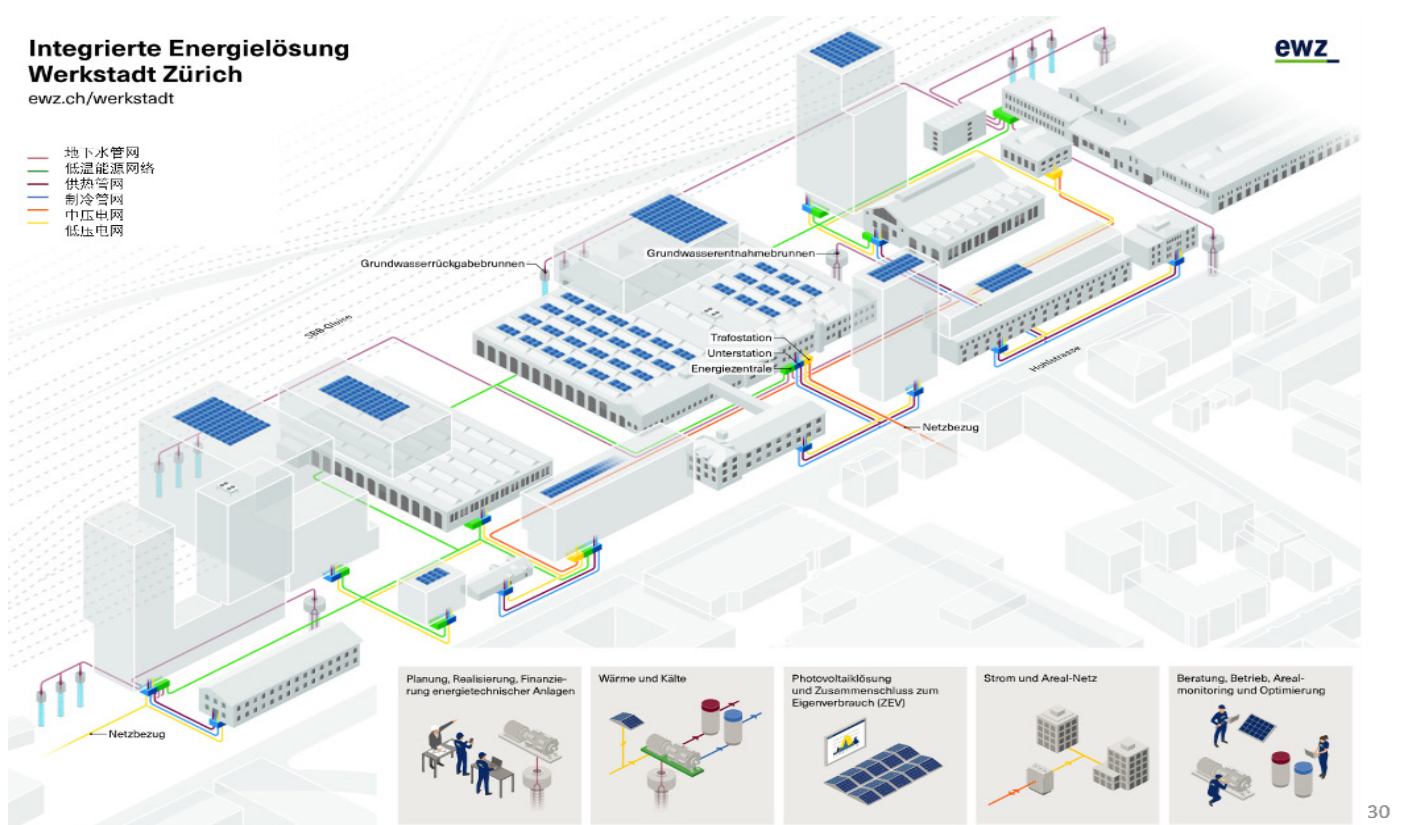


图9 苏黎世 Werkstadt - 综合能源解决方案



让我们共同打造气候中和的未来
Building a climate-neutral future together



中华人民共和国
住房和城乡建设部



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

IBEE 环能科技 intep skat