



Danish Energy Agency



水电水利规划设计总院
China Renewable Energy Engineering Institute



MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
OF DENMARK
Denmark in China

中国清洁与可再生能源供热发展前景分析报告

— 丹麦经验启示

中丹清洁供热战略行业合作

水电水利规划设计总院 丹麦能源署

中丹清洁供热战略行业合作

2024-03-15



前言

如今，丹麦的区域供热系统被公认为全球最高效的系统之一，三分之二的丹麦家庭通过区域供热系统取暖。这是经过几十年的能源转型才得以实现。五十年前，大多数丹麦家庭的供热还是依靠燃烧化石燃料的独立供热系统。从独立供热系统到区域供热系统的转型大大降低了丹麦碳排放量。自 1975 年以来，丹麦在保持国内生产总值同比翻一番的同时，碳的排放量减少了 53%。

丹麦区域供热管网的灵活性使其能持续应对各类能源危机，如上世纪七十年代的能源断供、八十年代的全球能源危机，以及如今不断飙升的天然气价格。此外，丹麦分散式风电的发展和电网的灵活性，提高了风电供暖的比例。热电联产厂的高效灵活调度、大型热泵的直接电气化以及智能储热系统帮助丹麦实现了高比例可再生能源供热。这也是丹麦在弃风率最低的同时，风电比例超过了 50%的原因之一。

改革开放以来，中国的国内生产总值在一定程度上依靠制造业和出口实现了快速增长，这也使得中国这一世界人口第一大国成为全球最大的碳排放国。减少二氧化碳排放和治理空气污染的宏大目标是推动中国绿色能源转型的强大动力，而供热是能源消费结构中的重要组成部分。中国如今绝大多数的建筑取暖燃料依然来源于煤炭。然而，中国已经开始向清洁与可再生能源供热转型。得益于清洁供热政策的实施，与 2015 年相比，中国北方地区（尤其是北京及周边城市）的空气质量得到显著改善。

中丹两国都在区域供热方面经验丰富，在能源领域已合作近二十年，而且双方承诺在新的政府合作框架下继续开展合作。丹麦能源署和水电水利规划设计总院目前正在开展中丹清洁供热战略行业合作项目。该项目旨在推动中国政府主管部门完善供热管理体制，促进清洁与可再生能源供热发展，并对社会经济、环境和气候产生积极影响。这也是丹麦气候、能源和公用事业部和中国国家能源局广泛开展合作的重要领域。

即使在新冠疫情期间，在双方的共同努力下，本项目依然取得很好的合作。双方成立了中丹清洁与可再生能源供热合作中心，以加强中丹区域供热和能源效率领域的交流，通过分享丹方最佳实践，支持中方清洁与可再生能源供热的发展。两国已成立中丹清洁供热专家组，由丹麦、中

国专家以及国际学者组成，为合作项目的持续发展提供专业的行业建议和经验丰富的技术支持。

更为重要的是，双方对中丹两国区域供热系统开展了对比分析，形成了“中国清洁与可再生能源供热发展前景分析报告 - 丹麦经验启示”。该报告旨在呈现丹麦区域供热从化石能源到绿色能源过渡过程中的经验教训，从而为中国建设绿色、清洁、高效的集中供热系统提供启示与灵感。

本报告可为两国政府主管部门、研究机构 and 行业之间持续开展交流奠定坚实的基础。

感谢丹麦能源署项目团队在报告编写过程中的不懈努力，感谢中国国家能源局、丹麦气候、能源和公用事业部、水电水利规划设计总院、中丹清洁供热专家组为本报告的编写提供的专业指导意见和大力支持。

斯蒂格·乌菲·裴德森

丹麦能源署副署长



李昇

水电水利规划设计总院院长



目录

执行摘要	1
致谢	4
1 简介	6
1.1 背景	6
1.2 目标	8
1.3 方法	9
2 中国与丹麦的供热系统	12
2.1 中国与丹麦供热系统概况	12
2.1.1 气候区	12
2.1.2 供热及运行	14
2.2 中国与丹麦供热系统发展	15
2.2.1 丹麦能源模式	15
2.2.2 中国供热发展	21
2.3 中国和丹麦供热对比综述	22
3 中国集中供热现状与未来对比分析	25
3.1 能源规划	25
3.1.1 供热规划	26
3.1.2 热需求预测	29
3.1.3 储热	31
3.2 可再生能源供热	35
3.2.1 地热供热	36
3.2.2 太阳能供热	40
3.2.3 生物质供热	43
3.2.4 大型热泵	46
3.3 余热高效利用	48
3.3.1 热电联产余热	49
3.3.2 工业余热利用	53
3.4 提高能效	56
3.4.1 降低回水温度	57

3.4.2 热计量收费	58
3.5 中国集中供热现状与未来展望的对比分析综述	60
4 政策建议	63
5 结论	66
参考文献	67
附录	69
I. 中国集中供热政策概述 (2005-2022 年)	70
II. 对比分析表	74
III. 案例分析	75
IV. 中丹清洁与可再生能源供热合作中心	84
表目录	86
I. 缩略语列表	86
II. 图目录	88
III. 表目录	89



执行摘要

中国和丹麦分别设定了在 2060 年和 2045 年实现碳中和的目标。为了实现碳中和的宏伟目标，中国和丹麦作为两个负责任有担当的国家，愿意彼此分享最佳实践并相互激励。

作为中丹清洁供热战略行业合作项目的一部分，本报告对中国供热体系中的重点领域进行了前瞻性分析，并结合丹麦经验和启示，提出相关政策建议，以支持中国向清洁与可再生能源供热转型，并对促进实施必须具备的条件进行了深入挖掘。

虽然中丹两国集中供热历史悠久，但两国供热政策各有特色，因此，在供热管理体制以及供热现状方面也有所不同。中国的集中供热¹以燃煤热电联产为主，采用“推动式”系统，即在高温高压下将热源处产生的大量热量通过大型换热站进行远距离输送至用户处。在实际运行中，一次网（热源至换热站）调节通常通过改变供水温度和循环水量来应对室外温度的变化。此外，由于控制措施在二次网（换热站至建筑）的应用有限，可能存在各建筑之间热量分配不均，以及供热量与热需求之间的偏差。因此，中国的集中供热系统属于生产驱动型。丹麦的区域供热²系统在热源处整合多种可再生能源，为较低温度下运行的“拉动式”系统，即根据末端用户的热需求情况进行供热。因此，丹麦区域供热系统属于需求驱动型。

根据中丹清洁供热专家组的反馈和意见，本分析报告确定了十一个重点领域，涉及四大类，涵盖整个集中供热供应链。受丹麦区域供热最佳实践启发，本报告还总结了推动中国向清洁与可再生能源供热转型的解决方案。这四大类和十一个重点领域是：

¹在中国供暖行业，“集中供热”是常用术语。集中供热是指在热源处集中加热供热介质（通常为加压水），再通过保温管道将热介质输配给末端用户（如建筑）的系统。集中供热是人口稠密的北方城市重要的基础设施；系统末端建筑通常为典型的高层建筑，因此单位长度管线输配的热密度较高。供暖行业另一个常用概念是“分布式供暖”。在分布式供暖系统中，与集中供热系统相比，服务的供热区域为中等或小型规模。

²“区域供热”是丹麦供热行业的常用术语。指的是与“集中供热”类似的概念，即在某一区域的中央或分散的地方生产热量，并通过保温管道将热介质（通常是加压水）分配至系统末端用户。区域供热系统也指热源处充分利用本地资源禀赋，包括可再生能源和余热、废热，以确保系统的可持续性、经济效益和能源利用的弹性及灵活性。

能源规划

1. **供热规划。** 为了促进向清洁与可再生能源供热的转型，中国可以借鉴丹麦在整体供热规划战略方面的经验。该规划依靠供热规划工具，充分考虑当地的资源禀赋、整体能源系统和相关政策。
2. **热需求预测。** 热需求预测是一个灵活的工具，对于供热规划和日常运营优化都很有帮助。在中国，热需求预测应用并不普遍，而这方面的软件在丹麦应用很多。部署热需求预测方案的好处是，它可以充分利用当地清洁能源，同时提前规划未来的供热需求。
3. **储热。** 丹麦越来越多地开发利用季节性储热节能技术，而这种技术在中国还有待发展。当区域供热系统中用户没有热需求时，此类技术可以储存多余的热量，例如来自可再生能源、热电联产和工业余热的热量。

可再生能源供热

4. **地热供热。** 有关资料显示，中国地热资源丰富，包括浅层地热能、水热型地热能和干热岩。近年来，中国政府也出台了促进地热利用的相关政策，显示出中国地热资源开发具有巨大潜力和良好前景。这为开展国际合作、吸收丹麦和其他国家的技术和实践经验，从而攻克技术瓶颈奠定了良好基础。
5. **太阳能供热。** 中国太阳能资源丰富，政策利好，太阳能区域供热前景广阔。作为全球大型太阳能区域供热的领导者，丹麦可以分享相关经验教训，以加快中国太阳能集中供热市场的成熟。
6. **生物质供热。** 中国拥有丰富的生物质资源，可以将现有的燃煤电厂改造为生物质电厂。改造燃煤热电厂，用生物质替代燃煤锅炉，是丹麦实现“燃煤发电”和“化石能源供热”转型的关键，如今，丹麦可再生能源供热的最大比例来自生物质。不过，未来随着区域供热电气化，生物质的占比会有所下降。
7. **大型热泵。** 中国要实现力争 2060 年前碳中和的承诺目标，供热行业要实现碳减排，未来几年需要大力发展相关技术，如大型热泵，来整合可再生能源电力以及高效利用余热。大型热泵技术近年来在丹麦蓬勃发展，中国可以借鉴丹麦经验。

有效利用余热

8. **热电联产余热。** 中国热电厂的余热资源可以满足大部分的热需求。今后规划集中供热时，应将热电联产余热作为重要供热资源之一。
9. **工业余热。** 中国是世界上最大的工业生产国，工业能耗占其总能耗的近 2/3，而回收工业生产过程中的工业余热可以用于满足大部分用热需求。

提高能效

10. **降低回水温度。**中国的集中供热系统回水温度高，这意味着建筑内供热系统的效率有待提高。户内供热系统，如平衡阀、温控阀等末端调节措施应用并不广泛。在丹麦，户内安装的高效供热调节装置可以降低回水温度，从而提高供热系统的效率。在中国，可以开展相关能力建设，确保户内供热系统设计参数合理，调节措施到位，以便在正常运行期间有效降低回水温度，进行高效供热。

11. **热计量和计费系统。**在中国，集中供热用户的用热量不是按照实际消耗量来计费，因此很难统计实际热耗水平，以及推广实施按热计量计费系统的制度。在大多数情况下，采暖是根据供热面积和用户、热源类别按统一费率的固定价格计费。丹麦建立了一套激励性很高的计费机制，消费者可以通过一些节能措施提高供热效率而获得奖励。

通过实施战略性的供热规划和关键政策，可以实现新方法、新标准、新程序和新技术的推广应用，弥合现有差异。由于中国各省情况不尽相同，可以尽量在省一级针对各省实际情况开展调研和能力建设活动，支持地方清洁供热转型。

中丹清洁供热战略行业合作项目致力于推动双方交流，开展系列能力建设活动，助力中国的清洁供热行业发展。该项目围绕可再生能源供热、先进供热技术的高效利用等开展系列研讨会和能力建设活动，并建议在中国省或市一级开展清洁与可再生供热路线图联合研究，以提供合理的政策建议。

致谢

本报告是中丹清洁供热战略行业合作项目的重要出版物之一，在此感谢丹麦气候、能源和公用事业部以及中国国家能源局的大力支持。

本报告由丹麦能源署和水电水利规划设计总院在中丹清洁供热战略行业合作项目框架下联合编制。丹麦能源署通过该政府间合作项目，分享了丹麦数十年绿色转型的最佳实践，以期推动全球绿色转型的进程。水电水利规划设计总院通过政策研究、技术创新和标准制定，积极推动中国绿色能源和可持续发展，致力于建设清洁、高效、安全、可持续的中国现代能源系统。

报告编制团队成员包括：

- 水电水利规划设计总院
谢宏文、张鹏、牛志愿、乔勇
- 丹麦能源署
Jens Hein、Noémi Schneider、Toke Lienggaard、Cristian Cabrera、
Susana Paardekooper、Mathias Grydehøj Mikkelsen、肖卫华
- 丹麦王国驻华大使馆
Allan Bertelsen、董毅荣、Emrah Øztunc
- 项目高级顾问
张立鹏

中丹清洁供热战略行业合作项目的主要合作伙伴来自中丹清洁供热专家组。如下所述，这些专家为确定本分析研究的优先领域提供了重要指导意见：

- Henrik Lund，奥尔堡大学教授（丹麦）
- Lars Gullev，丹麦西哥本哈根供热传输公司（VEKS）高级顾问（丹麦）
- Lars Grundahl，丹麦西哥本哈根供热传输公司（VEKS）规划部主管（丹麦）
- Thomas Engberg Pedersen，大哥本哈根公用事业公司（HOFOR A/S）供需部主管（丹麦）

- John Tang, 丹麦驻英国大使馆高级顾问 (丹麦)
- 夏建军, 清华大学副教授 (中国)
- 李安桂, 西安建筑科技大学教授 (中国)
- 姜益强, 哈尔滨工业大学教授 (中国)
- 刘荣, 中国城镇供热协会副理事长(中国)
- 徐稳龙, 中国建筑设计研究院副总工程师 (中国)
- 冯威, 中国科学院深圳先进技术研究院研究员 (中国)
- 陈卓伦, 联合国环境规划署-哥本哈根气候中心高级顾问 (国际)
- 樊建华, 丹麦科技大学副教授 (国际)



1 简介

1.1 背景

气候变化已成为全球性问题，不容忽视。二氧化碳被认为是导致气候变化最重要的温室气体之一，而化石燃料使用的不断增长是加剧全球能源相关二氧化碳排放的主要因素。

近年来，世界各地极端天气频发，应对全球气候问题、降低碳排放已是各国的必答题目，加快推动能源变革和绿色低碳转型已经成为各国的必选项。世界各国已陆续设立了符合国情的气候目标，有 138 个国家设定了碳中和目标，其余国家设定了碳减排目标。

2020 年 9 月，习近平主席宣布中国将“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的双碳目标。中国近 90% 的温室气体排放来自能源行业 (International Energy Agency, 2021)，因此，能源政策必须推动向碳中和的转型。能源政策的改变带来的结果是，中国一次能源消费结构中清洁能源的占比呈不断上升趋势，燃煤比例在过去十年下降了 11.5%。然而，煤炭仍然是中国的主要能源，在过去数十年的快速城市化过程中，中国二氧化碳排放总量在持续上升。

为了实现双碳目标，中国需要在不到 40 年的时间内将其能源系统从以化石能源为主转变为以绿色能源为主。要做到这一点，中国可以借鉴丹麦的经验。丹麦已经经历了超过 45 年的绿色转型，其经验证明在保持 GDP 增长的同时快速减少碳排放并非不可能。丹麦的绿色转型始于 20 世纪 70 年代的石油危机，经过从能源效率提升和能源利用多样化，到大力整合可再生能源和余热资源的战略政策转变，丹麦朝着可持续发展和碳中和社会迈进了一大步。

根据联合国环境规划署报告 (UNEP, 2015)，区域供热是降低碳排放和一次能源需求成本最低、效率最高的解决方案之一。区域供热的发展实际上为丹麦解决 20 世纪 70 年代的能源危机做出了重要贡献，使丹麦成为欧洲能源效率最高的国家之一。中国拥有全球最大的集中供热市场，集中供热的绿色转型是中国未来构建清洁能源系统的关键要素。

尽管中国和丹麦都有长期的供热经验，但由于历史和地理差异，两国制定了不同的供热政策，

供热管理体制存在差异，热源构成存在较大差异，供热技术也各有特点。

不过，两国也有一些相似之处。比如，两国都制定了宏伟的碳中和目标，而且两国的冬季都比较寒冷，供热在两国均被视为一项重要的民生工程。

要研究丹麦经验是否适合中国，必须对两国的供热系统有一个基本的了解。进行对比分析的依据在于描述中国集中供热行业的现状，并对标丹麦区域供热行业的现状。为了明确中国要实现未来清洁供热可能需要做出哪些改变，或者哪些改变是必要的，本对比分析重点研究了当前供热现状与未来目标之间的差异，并研究如何缩小这种差异。当前中国的政策目标、加快绿色转型的雄心以及丹麦经验均表明了这样的对比分析研究具有前瞻性。

要缩小现实与目标的差异，就必须实施有助于推动新标准、培育新技术的战略和政策，从而加快清洁与可再生能源供热发展。本对比分析围绕整个供热行业中众所周知的重点领域进行研究，从经济和社会角度来看，这些领域也是打造现代化的供热系统亟待解决的。

供热系统比较复杂，因为它涉及能源系统和管理体制的多个面向。根据国家能源局提出的清洁供暖的概念，清洁供暖是利用清洁能源³和高效能源系统为高效建筑提供低能耗、低排放的供热。该定义涉及供热的全过程，旨在减少供热能耗和污染物排放。图 1 显示了清洁供热的主要要素。实现清洁供热的方法并不是简单地通过几个参数来定义的，而是取决于众多不同的因素。

³ 在 2018 年对《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021）》解读中，国家能源局提出了清洁供暖这一概念。在中国，清洁供暖是指利用天然气、电能、地热能、生物质、太阳能、工业余热、洁净煤（超低排放）、核能等清洁供暖资源，通过高效能源系统实现低排放、低能耗供暖。

可再生能源供暖是指以风能、太阳能、水能、生物质、地热能等非化石能源提供热量——《中国可再生能源法》。



图 1. 实现清洁供热的主要要素

为了实现清洁供热，须确保以下条件得到满足：

- (1) 通过供热统筹规划实现清洁供热的社会经济可行性，这种规划方法将减污降碳作为首要指导原则，充分考虑到能源安全性，同时确保人人获得负担得起的供热服务；
- (2) 充分利用热电联产和工业余热等清洁高效能源；
- (3) 推广可再生能源利用，使可再生能源逐步替代碳密集型燃料（如煤、石油等）；
- (4) 供热系统各环节的节能增效，尽量减少热损失，确保应用有效的控制措施使系统保持水力平衡，优化能源利用，以尽可能降低化石燃料消耗量。

通过将可再生能源纳入中国的供热系统，可以充分发挥供热行业温室气体减排的潜力。行业耦合正好可以将可再生能源利用与当地清洁热源结合起来。清洁供热可以帮助中国实现能源和气候的多重目标，并为中国力争实现 2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和的双碳目标发挥重要作用。

1.2 目标

本报告比较了中丹两国供热行业的现状，并确定了两国之间的经验交流可以为中国各省可再生清洁供热行业的发展提供有效支持。对于每一个重点领域，中丹专家提出了初步建议，说明可

以采取哪些措施来弥合中国集中供热现状与未来清洁能源供热系统之间的差异。即使对于每个重点领域不一定有一个最优的解决方案，但是已经提出了一系列需要共同采取的行动。

本分析报告主要面向中国的决策者和政策制定者，通过实施有助于中国五年规划的行动和政策，确定如何弥合当前差异，以及未来如何实现目标。

报告还旨在通过这一国际合作项目建立一个沟通渠道，以便中国在实现双碳目标的过程中借鉴丹麦在向低碳区域供热发展过程中总结的经验教训。

1.3 方法

该对比分析采用了图 2 中所述的方法。

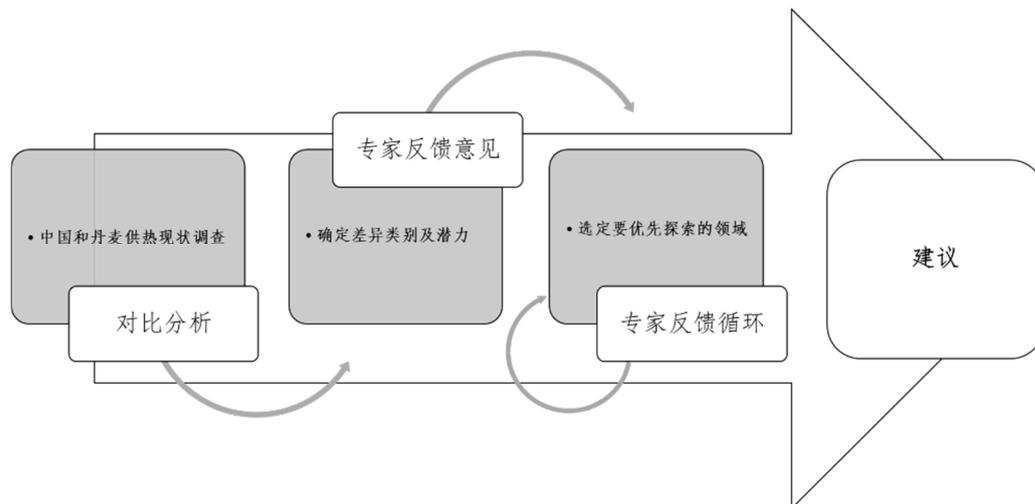


图 2. 报告中使用的供热系统比较分析方法

第一步是调查中国和丹麦的供热的现状。本报告第 4.3 章介绍了丹麦区域供热和中国集中供热系统现状的主要要素，并概述了两国主要的供热政策。在政策分析部分，我们梳理了现有政策，主要是中国政府为推动供热行业改革于 2005-2022 年出台的政策，并归纳了 20 世纪 50 年代以来对中国集中供热发展产生重要影响的政策。该政策分析强调了国家政策对中国清洁供热发展的导向作用，以及 2020 年双碳目标发布后中国政府负责制定清洁供热政策的主要部委。

基于中国和丹麦的供热现状的异同，第 4 章指出了中国集中供热系统与丹麦区域供热系统之

间的主要差异。这些差异包含 19 个初步筛选的主题，所有这些已识别的差异主题在附录 II 中提供，并且与清洁供热高度相关。

通过与专家组成员及双方技术团队成员进行逐项讨论，采用征集反馈的方式评估每个重点的优先次序。重点领域是根据每个类别的收益（节能、价值、能效）和投入（时间、成本、复杂程度）来选择的，其中高效益低投入的主题能产生最好的结果。用于开展此项调查的模型采用图 3 所示的优先级矩阵。首先关注那些最容易实现且收益最高的领域是最佳选择。

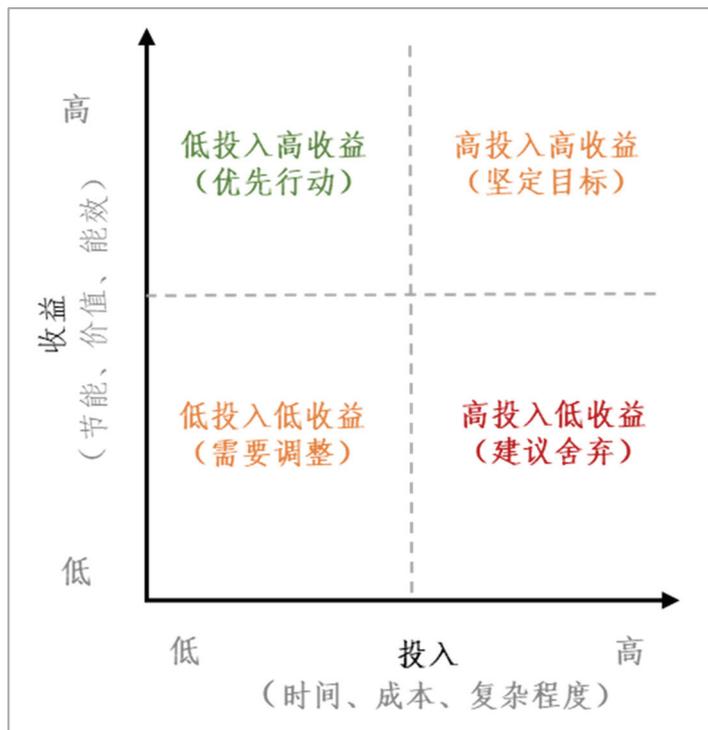


图 3. 优先级矩阵收益/投入分析

之后，专家们讨论了每个差异的优先级别，以便根据两国的对比分析对其进行更详细的评估。在此过程中，选择那些可以借鉴丹麦经验，有助于推动中国清洁供热行业发展的重点领域。选定的重点领域分为四个⁴主要类别，如图 4 所示。



图 4. 本报告重点关注的四个类别和十一个领域

每个重点领域都针对中国目前的供热状况进行了调查，并描述了该领域适合中国国情的未来发展条件，以实现中国的气候和能源目标。中丹清洁供热专家和中方合作伙伴参与了每个领域目标的制定，这些目标是经济性佳、环境和气候友好的，也是现实可行的，并根据专业规范的反馈意见，对弥合差异的未来条件和潜力进行了优先排序。

以下各章将介绍中国和丹麦在供热方面的主要异同点，并描述中国清洁和可再生能源供热当前与未来存在的主要差距，同时通过借鉴丹麦的经验，在第六章提出相关的政策建议。报告结尾附有结论性章节和附录。

⁴ 所列的四个类别并非详尽无遗。可持续利用生物质被视为可再生能源供热方式，而有关工业余热利用的部分主要指利用热电联产余热和工业生产过程产生的余热，不包括垃圾焚烧。

2 中国与丹麦的供热系统

2.1 中国与丹麦供热系统概况

区域供热系统利用本地的可再生能源以及余热、废热，将热介质通过保温管网输送（通常为加压热水）至末端热用户，即各种建筑内的供热装置。区域供热系统在供热、生活热水和电网之间产生协同效应，且可与电力、卫生、污水处理、运输和废弃物处理等市政系统集成，这意味着供热可以做到低碳、高效，并最大限度地利用“免费”的能源资源。因此，越来越多的国家认识到区域供热的重要性，并加快对低碳和气候适应性现代化区域供热的投资，以应对气候变化带来的挑战。

丹麦的区域供热系统被公认为全球最高效的系统之一，三分之二的丹麦家庭已接入区域供热系统。丹麦供热行业的绿色转型是其自 2000 年以来成功减少二氧化碳排放同时保持国内生产总值（GDP）增长的关键因素之一。

要研究丹麦经验是否适合中国，必须对两国的供热系统有基本的了解。4.1 章节介绍了两国供热系统概况，并从气候、供热系统运行这两个方面进行说明。

2.1.1 气候区

中国地域辽阔，气候各异。国家标准民用建筑热工设计规范：GB50176-2017（中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，2017）将中国划分为五个气候区，即严寒、寒冷、夏热冬冷、温和，和夏热冬暖地区。其中，严寒、寒冷气候区属于法定供暖区域。这两个区域约占全国领土面积的 70%，包括 13 个省和两个直辖市，即北京和天津。丹麦属于北半球的温带海洋性气候，冬冷夏凉，气候温和平稳，一般不会出现极端的天气。

为了比较丹麦和中国城市建筑的耗热水平，采用了采暖度日数(HDD)的概念。采暖度日数(HDD)是相对于基础温度来定义的，高于基础温度的建筑不需要供热。在中国和丹麦 (DMI, 2023)，通常使用 18°C。采暖度日数提供了一个简单的度量标准，用于量化特定地点的建筑物在一定时期内所需的供热量。某一特定地点的建筑供暖需求与当地的采暖度日数成正比。即高采暖度日数值，意味建筑需要更多的热量。HDD 提供了一种估算季节性供暖需求的粗略方法。

例如，中国国家行业标准《JGJ26-2018: 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》（住建部，2018），根据不同的 HDD 范围将严寒和寒冷地区划分为五个不同的气候子区，见表 1。这种分类有效地说明了这些分区中不同建筑的供暖需求水平。在冬季，HDD 值较高的地区需要更多的热量供应。

表 1. 中国严寒和寒冷地区气候子区的 HDD 值

气候区	气候子区	HDD 范围
严寒地区	严寒 (A) 区	$6000 \leq \text{HDD18}$
	严寒 (B) 区	$5000 \leq \text{HDD18} \leq 6000$
	严寒 (C) 区	$3800 \leq \text{HDD18} \leq 5000$
寒冷地区	寒冷 (A) 区	$2000 \leq \text{HDD18} < 3800$
	寒冷 (B) 区	$2000 \leq \text{HDD18} < 3800$

为了便于直观比较，图 5 显示了丹麦比隆、中国沈阳、北京和西安过去 36 个月 (2020.6~2023.5) 月采暖度日数的变化情况。通过计算这四个城市的年平均采暖度日数 HDD18，可以说，对于结构和保温性能相似的房屋或建筑，沈阳建筑供热所需的能源是丹麦比隆的 1.12 倍，丹麦比隆建筑供热需要的能源分别是北京和西安 1.2 倍和 1.5 倍。因此四个城市建筑的供热能耗情况是，沈阳最高，其次是丹麦比隆、北京和西安。通过对比度日数的变化，我们能够对各地建筑的供热用能情况有初步的了解和掌握。此外，度日数的变化也与城市的气候条件有关，在这四个城市中，丹麦比隆气候温和，全年气温变化幅度小于中国的三个城市；中国城市四季分明，其中沈阳的冬天最冷，其次是北京和西安。

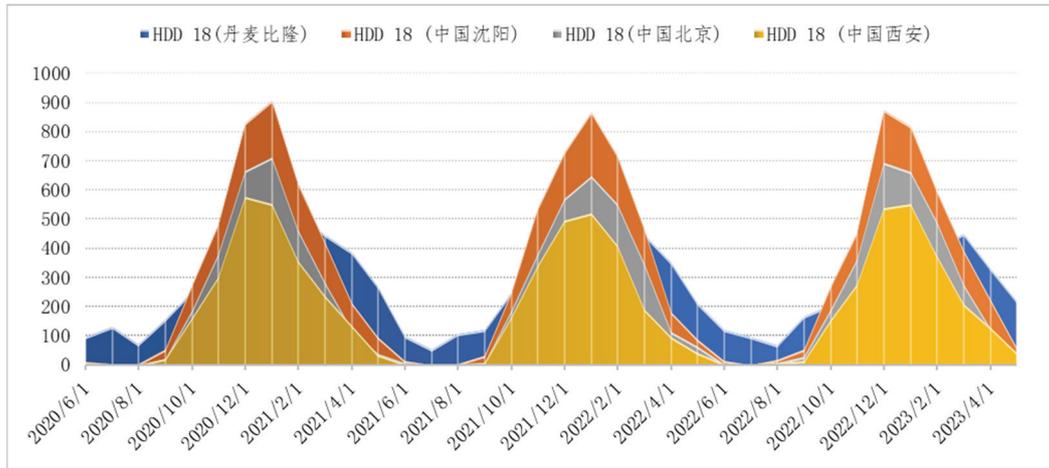
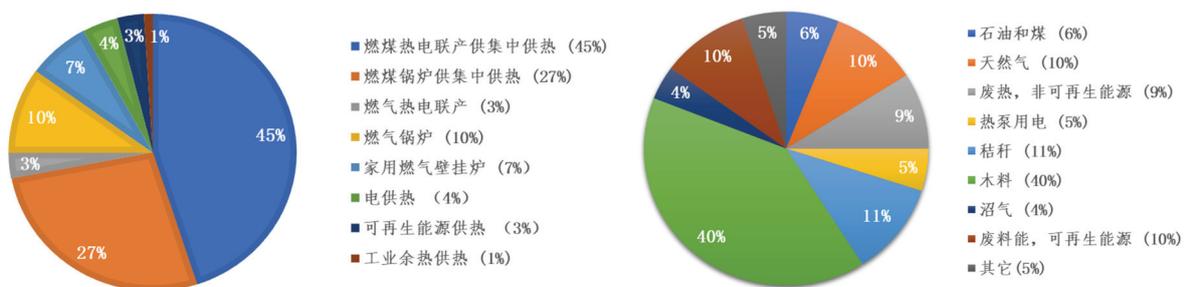


图 5. 2020.6-2023.5 丹麦比隆和中国沈阳、北京、西安的采暖度日数

2.1.2 供热及运行

中国的集中供热系统以燃煤为主，丹麦的区域供热系统使用多种可再生能源。图 6 显示了 2021 年中国（CDHA, 2021）和丹麦（DEA, Energistatistik, 2021）的供热燃料使用情况；中国集中供热的燃煤热源约为 72%，其中燃煤热电联产占比 45%，燃煤供热锅炉占比 27%。同年，丹麦区域供热所需燃料只有 16%来自化石燃料；其余是可再生能源和余热资源。此外，丹麦热电联产电厂也发挥着重要作用，2021 年，66%的区域供热产量来自热电联产。



来源：中国城镇供热协会，2022

来源：丹麦能源署，2022

图 6. 2021 年中国和丹麦供热燃料使用情况

就中国和丹麦的供热系统运行而言，中国传统的集中供热系统是一种推动式系统，通过大型换热站从热源处换热后向高层或多层建筑推送大量热量。供热量通常根据室外气温变化确定，由于缺乏调控装置热用户对户内供热量的控制有限或不能调控，因此建筑供热系统一般在定流量下运行，室温达标标准是达到 18~20°C。另外，大多数集中供热系统只提供室内采暖，不提供生活热水。

在丹麦，区域供热系统在热源处整合多种可再生能源或余热、废热，因此系统在较低温度(供水温度 70/40°C)下运行。作为拉动式系统，热用户根据热需求的变化从热源处提取热量，因此系统供热量随末端用户的热需求而变化。通过安装在供热系统各层级的自动控制措施，供热量以较低的热密度（相比中国）精确分配给末端用热点，通常为独栋建筑或多层建筑。供热以舒适为导向，意味着热消费者能够通过安装在区域供热系统末端供热单元（如散热器）的控制装置，来调节房间温度。例如，丹麦客厅的推荐室温在 20-23°C 之间。因此，系统在变流量下运行，区域供热系统同时提供室内采暖和生活热水。

2.2 中国与丹麦供热系统发展

尽管中国和丹麦在供热方面都有长期的经验，但两国政策并不相同。事实证明，丹麦的区域供热系统在整合多种可再生能源和其他废弃资源方面发挥了巨大的潜力，区域供热网络的灵活性使丹麦能够多年来应对不同的能源挑战。

2.2.1 丹麦能源模式

丹麦能源发展模式表明，通过制定宏大的可再生能源发展目标，提高能源效率，支持技术创新和工业发展，实施持续、积极和具有成本效益的能源政策，实现经济的显著增长，提高生活水平，确保能源供应的高度安全，同时减少对化石燃料的依赖并减缓气候变化是可行的。

为实现能源发展目标，丹麦采取了一系列行之有效的政策措施，这些措施可分为信息性、规范性和经济性。规范性措施包括硬性规定，可以涵盖从《供热法》到新建或改造建筑的节能目标和最低能耗标准。信息措施包括能效证书、鼓励公众节能降耗的宣传等。经济措施可以采取税收或补贴方案形式，以激励能源供应商和消费者采取节能行为。比如通过提高化石燃料税、为区域供热或热泵替代燃煤燃油或燃气锅炉提供财政支持，来推动供热转型，从而实现政府设定的目标。另外，降低用于供暖的绿电税也正在引导丹麦供热走向电气化。

从更广泛的角度来看，现代、高效、低碳的区域供热系统是丹麦能源模式的产物。在区域供热行业，丹麦能源发展模式具体可以归纳为以下五大要素：

- 1) 1976 年以来稳定的丹麦能源政策是国家的顶层政策设计；

- 2) 1979 年通过并定期更新的《供热法》为丹麦供热行业的几乎所有方面提供了监管基础，并从法律上保证能源政策能够达到供热行业的预期目标；
- 3) 市政供热规划为建立具有成本效益、环境友好、技术可行的区域供热系统和优化系统运行提供了综合方法；
- 4) 非盈利原则和价格监管确保投资者投资保障和消费者权益保护之间的平衡；
- 5) 利益相关者之间长期以来的合作传统建立在数据透明和责任清晰划分的基础之上，因此互相之间高度信任。

2.2.1.1 顶层设计：能源政策

丹麦区域供热始于 1903 年。然而，直到 1973 ~ 1974 年的石油危机，供热政策的制定和区域供热系统的快速部署才出现。1976 年丹麦推出了第一个能源计划，称为“1976 年能源政策”，主要目标是通过利用天然气降低对石油的依赖。煤炭和可再生能源也被视为减少石油依赖的途径，因此，大部分能源生产最初都转向使用煤。这一能源政策获得了各级政府的政治共识。这一时期丹麦还没有规范供热的法律，大多数消费者家庭使用小型燃油锅炉或其它独立热源。为了实现政策目标、提高效率并减少对进口化石燃料的依赖，随后在 1979 年丹麦首次出台了《供热法》。

今天，丹麦政府目标明确：到 2045 年丹麦应该实现气候中和，到 2030 年温室气体排放量必须在 1990 年的基准上减少 70%。实现这些目标的关键因素是节能、提高能效以及提高可再生能源消纳比例，包括提高可再生能源在区域供热中的比例。

2.2.1.2 法律保障：《供热法》

丹麦《供热法》于 1979 年出台，旨在通过扩大区域供热和天然气的使用，促进能源在供热行业从社会经济角度的最佳利用，并减少对石油的依赖。在过去的几十年里，《供热法》根据不断变化的能源形势进行了调整，经历了四个阶段，每个阶段关注点均不相同，各有侧重，参见图 7。

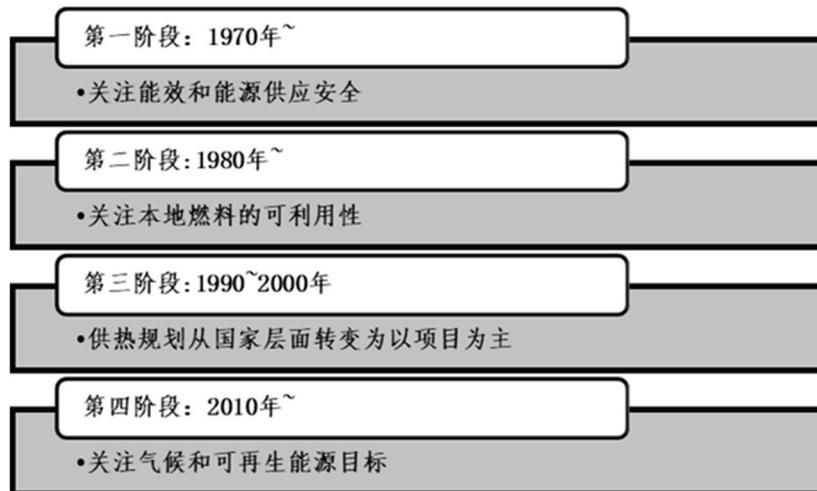


图 7. 丹麦《供热法》的四个阶段各有侧重

《供热法》在全国范围内设立了供热管网发展的特定区域，并首次对供热行业进行了规范，要求市政府对其当地供热需求和可用的热源资源进行分析。

简而言之，供热法为丹麦供热行业的几乎所有方面提供了监管基础。因此，该法律还包括有关丹麦供热规划形式和内容的规定。该法案标志着丹麦供热规划新纪元的开始，其主要原则至今仍然有效。

2.2.1.3 供热优化设计方法：供热规划

丹麦在供热规划方面有着悠久的传统，市政府在塑造供热行业的发展方面发挥着核心作用。《供热法》规定，市政府应制定反映现有热需求、主要供热方式以及能源（燃料）使用情况的概况。市政府还需评估未来的热需求和供热可能性，制定未来的供热方案。供热计划包括“分区”，即定义哪些区域将提供区域供热或天然气。分区有助于确定基础设施发展最合适的区域，防止过度投资。《供热法》还使市政府有可能要求，位于指定供热区内的建筑物连接并保持连接到区域供热管网。此条款虽然对新入网不再有效，但对已有连网仍然有效。

供热规划是一种合理的方法论，也是丹麦能源规划的重要组成部分。它普及了现代区域供热的基本理念：使用当地多种可再生能源以及余热、废热，且这些能源如果不加以利用就会被废弃，使社会能够充分利用区域供热这种集中、批量、规模化的用能优势。这样不仅兼顾环境效益，也确保城市基础设施运营的成本效益。

在 1990 年,《供热法》被修订,之后区域供热和天然气在整个丹麦得到了显著扩展。供热规划随之从原来的扩建规划转向立足项目,当地区域供热系统或当地天然气系统的扩建或其他变更必须根据社会经济成本效益分析得到地方政府的批准。

为了帮助地方政府评估社会经济和环境效益,丹麦能源署持续开发技术目录。该目录不仅包含供热厂的信息,还包含其他重要项目的信息,例如:如何计算一年中的用热需求分布、如何评估燃气网络和区域供热管网的投资等,技术目录还提供了燃料价格。这形成了评估丹麦地方政府供热可行性的标准和可比方法。地方市政府和供热公司享有灵活的框架,使他们能够自主地利用市场力量并为整个系统及其热消费者选择最具成本效益的供热解决方案。供热规划帮助社区分摊了使用多种技术和燃料的风险,享受规模经济以及比单体热消费者更优惠的燃料和设备价格。

2.2.1.4 热价监管

根据丹麦《供热法》,丹麦的热价监管在其区域供热行业发挥着至关重要的作用。一般而言,热力公司在定价时,只被允许包括与供热生产和输配相关的成本,但也存在一些例外情况。热价监管不仅保护消费者免受不合理高昂的热价的影响,还确保热力公司始终能够涵盖其必要开支并保障其投资。热力公司非营利运营,并受到监管以确保成本最低。

供热规划与热价监管之间的相互作用营造了一个稳定的市场,使得区域供热系统得以稳健发展,并使消费者能够以合理的价格获得供热服务。

总的来说,丹麦能源署提出建立和运营区域供热的一般条件。热价监管的目的是确保热力公司的财务状况良好,同时为消费者提供有利的价格。因此,丹麦各个供热区域的热价可能存在差异,但其定价原则是一致的,并由法律规定。

2.2.1.5 利益相关者

绿色高效区域供热系统的发展涉及从规划到运营过程中的多个利益相关者。具体而言,主要利益相关者包括欧盟、丹麦国家政府、市政府、供热公司和热消费者。它们之间的关系可概括为“自上而下的政策”和“自下而上的权力”,见图 8。在过去的几十年中,他们的角色不断演变,形成了目前的权力和责任分配。

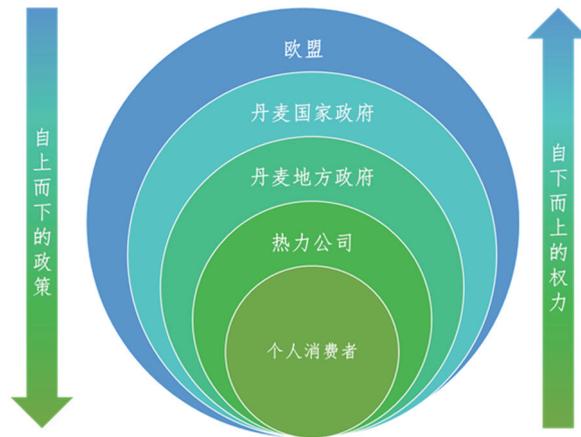


图 8. 丹麦供热规划利益相关者

欧盟：作为欧盟成员国，欧盟的能源目标和指令也适用于丹麦。

丹麦政府：丹麦能源署（DEA）和丹麦公用事业监管机构（DUR）是丹麦政府的两个重要能源决策和监管实体。

丹麦能源署的职责范围从能源生产到最终用户消费。丹麦能源署负责实施国家能源政策，如温室气体减排和节能目标。在供热领域，丹麦能源署的目标是大力发展区域供热系统，以提高可再生能源消纳以及综合能源系统灵活性。丹麦能源署发挥的最关键作用之一是为市政府和地区提供框架，以评估未来能源项目的成本效益。

丹麦公用事业监管机构，负责监管区域供热行业，确保行业合规性，尤其是定价。所有区域供热和热电联产单位都有义务向丹麦公用事业监管机构提交有关价格和条件的信息，以便地方政府处理投诉和异议。丹麦公用事业监管机构主要处理一般性问题，例如热价和供热条款。

市政府：在丹麦，根据现行的《供热法》，市政府及其地方市议会负责地方供热规划，以及负责供热公司运营计划和项目的批准。这意味着市议会拥有市级供热规划和扩大供热规模的最终决策权。市政府则为地方监管部门，负责对当地区域供热公司的运营管理实施监管。

供热公司：丹麦供热公司是和市政府密切合作的地方实体。根据丹麦的《供热法》，区域供热公司的所有权归属主要由各个市政府监管。这一法规旨在确保供热系统的有效运行，并为当地社区提供适当的供热服务。值得注意的是，尽管监管存在，但法规并未明确规定这些公司必须由

政府所有，因此在实际情况中，一些区域供热公司可能由市政府或供热消费者拥有。丹麦供热公司的利润以降低热价的形式返还给热用户，而不是与股东分享。区域供热公司决定其供热产品的价格，包括所有相关成本，如系统扩展的融资。这些公司通常能够自行提供大部分基础设施，以维持消费者的热价在低位，并在必要时而不是在有资金的情况下才改造升级供热系统。如果供热企业需要外部融资，市政府可以作为贷款担保人以确保热力公司拿到低利率的银行贷款。考虑到热消费者的利益和严格的审查，热力公司对热价固定成本的变化持谨慎态度。

热消费者：热消费者的需求在当地的决策活动和成本效益分析中得到了很好的体现。热消费者相信供热公司的决策者能够充分准确地代表他们的需求，他们可以获得可靠合理的价格以及透明公开的成本信息。这在丹麦得到了进一步保证，因为除了市政所有的供热公司外，很大一部分丹麦供热公司,约 83%，都由热消费者通过合作社方式拥有。在丹麦，这些供热合作社是非营利性的组织，致力于在小城市或城镇以最经济实惠的价格为会员提供供热服务。合作社由其会员共同管理决策。市政所有权意味着市政府代表热消费者对供热系统的运营和决策实施监管，供热合作社则为热消费者提供了更为灵活和民主的方式来满足他们的采暖需求。除了非盈利原则外，这种组织形式也有助于确保以最实惠的价格向热消费者高效供热。

2.2.2 中国供热发展

根据政策梳理和分析，1949年以来，中国供热行业经历了四个阶段：包括缓慢增长期、快速发展期、供热商业化和节能期，以及最近更加注重清洁和可再生能源及高效供热，见图 9。调查还发现，各阶段的特点是这一时期政策导向的结果。此外，参与政策制定的部委数量也在逐步增加，反映出供热在整体能源发展中的地位较以往更为重要。

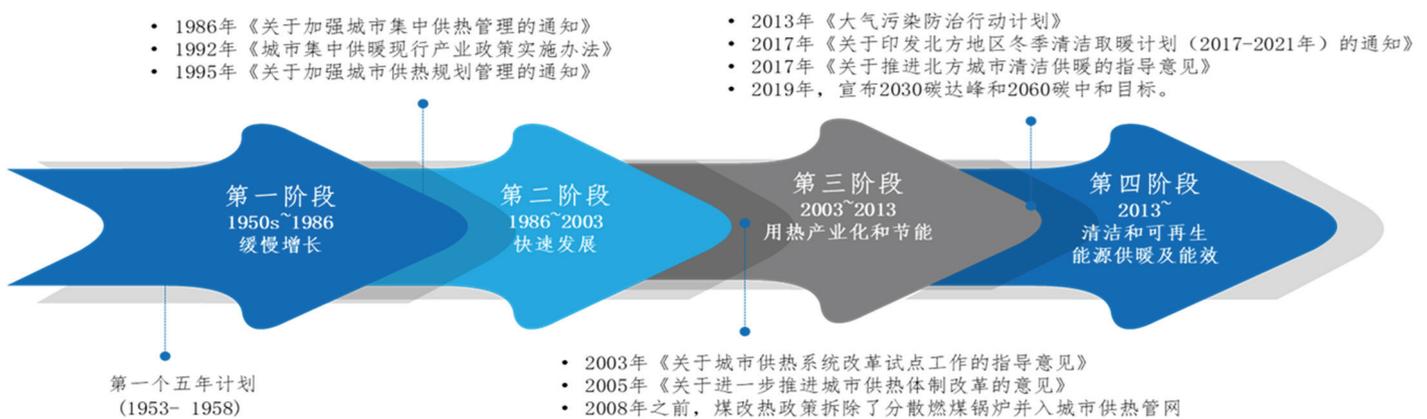


图 9. 中国供热行业的四个发展阶段

2.2.2.1 当前能源政策的首要目标

在 2020 年 9 月的联合国大会上，习近平主席做出承诺：“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”。这一重要承诺激发中国各行业都行动起来，积极探索该行业达到碳中和的路线图。“双碳目标”是中国未来几年社会经济发展和能源系统转型的重要指导。

2.2.2.2 中国的供热规定

自 20 世纪 90 年代以来，国家政府成功出台了城市燃气、道路照明、排水及供水市政管理条例。但是，供热领域的国家级监管法律仍需纳入。现有的省级供热管理规定，需要上位法的支持，以规范供热市场，应对新形势下政策和标准的变化，为清洁高效、安全的现代化供热系统提供政策依据。

2.2.2.3 供热规划方法

中国的供热规划是城市总体规划的一部分，根据当地未来五年、十年或十五年的人口和建筑

面积增长情况而制定。供热规划通常具有相对固定的格式和内容，例如说明国家和地方的相关政策法规；突出城市总体规划的要点；预测热负荷，并在规划期内规划热源和热网。

目前在中国北方寒冷和严寒气候区，热源一大部分来自电厂发电产生的余热为城市供热。由于热电联产在供需匹配上的问题，反映出热电联产电厂效率提升的巨大潜力。此外，由于国家对能源发展的严格要求，原来一些纯发电电厂，目前更多改为有计划的建立或整合集中供热系统，转型为热电联产电厂。在电厂余热到达不了的城市地区，使用煤和天然气锅炉，但总体效率仍有很大的提高空间。中国现在有明确的气候目标，努力治理锅炉和工业污染问题，并打算从长远的角度实现进口化石燃料的独立，如煤和石油。

2.2.2.4 利益相关者

就中国供热相关的管理架构而言，国家能源局、住房和城乡建设部（以下简称“住建部”）和国家发展与改革委员会（以下简称“国家发改委”）是三个重要的国家主管部门，分别负责供热行业的能源清洁发展、建筑能效和价格机制。尚无一个独立核心政府部门负责监管供热行业。2013年以来，更多清洁供热政策联合出台，更多部委和机构介入供热行业管理架构。

其他利益相关方，包括用热消费者和供热企业。用热消费者通常按建筑供热面积缴纳固定金额的热费。对于国有供热企业，可向地方财政部门申请供热补贴，以补偿按面积收费造成的资金不足。地方政府按照当地供热管理规定管理供热公司。

2.3 中国和丹麦供热对比综述

表 2 对比了丹麦和中国在供热系统方面的主要异同，包括气候区、供热系统热源、管网、换热站、热计量计费、能源政策、法律法规、供热规划方法、监管及利益相关者。

表 2. 中国与丹麦供热系统的异同

项目	丹麦	中国
气候区	<ul style="list-style-type: none"> - 只有一个气候区，即北半球温带。 	<ul style="list-style-type: none"> - 五个不同的气候区。 - 严寒、寒冷气候区属于法定供热地区。
供热系统	<ul style="list-style-type: none"> - 区域供热系统同时提供室内供热和生活热水； - 全年供热。 	<ul style="list-style-type: none"> - 大多数集中供热系统仅提供室内供热，在华北地区，通过集中供热提供生活热水的系统约占 5%，通常生活热水由单体热水器提供； - 供暖季时间通常为当年 11 月至次年 3 月。
热源	<ul style="list-style-type: none"> - 2021 年，区域供热能源消耗构成为：可再生能源 65%、天然气 10%、废弃物 9%、煤和石油 6%； - 区域供热热源热电联产占 66%。 	<ul style="list-style-type: none"> - 2021 年，燃煤热电联产集中供热占 45%，燃气热电联产占 3%，燃煤锅炉供热占 27%，燃气锅炉供热占 10%； - 集中供热热源热电联产占 48%。
管网	<ul style="list-style-type: none"> - 正在向低温区域供热转型。 - 区域供热典型设计供、回水温度为 70/40°C（目前）； - 采用多种技术减少管网热损失，如预制保温双管做法（供、回水管在一个预制保温层内，适用 DN100 以下管径）。 	<ul style="list-style-type: none"> - 集中供热系统设计供、回水温度为 130/70°C； - 由于高线性热密度，供、回水管一般尺寸较大； - 越来越多地使用预制保温管来减少热损失。
换热站	<ul style="list-style-type: none"> - 楼宇换热站或公寓单元换热站； - 独栋住宅和多层建筑是典型建筑类型 	<ul style="list-style-type: none"> - 大型换热站连接多个高层建筑； - 高层建筑和多层建筑是典型建筑类型
室内舒适度和热计量计费	<ul style="list-style-type: none"> - 室内温度可通过调节装置调节，如散热器恒温控阀（TRVs）。 - 采暖费按实际用量计收取。 - 供热费由可变成本、固定成本、入网费和税费构成。 	<ul style="list-style-type: none"> - 缺少室内供热调节装置，室温不可调。 - 热费按建筑面积以固定费率计费收取。 - 按实际使用计量收费是热计量发展趋势。
能源政策	<ul style="list-style-type: none"> - 1976 年推出首个能源政策。 - 2045 年前实现碳中和目标 	<ul style="list-style-type: none"> - 自 2020 年，承诺在 2030 年和 2060 年的实现碳达峰和碳中和目标。
法律法规	<ul style="list-style-type: none"> - 1979 年出台并定期更新的《供热法》作为能源政策目标实施的法律保障。 - 热价监管确保消费者权益。 	<ul style="list-style-type: none"> - 供热行业目前没有国家级法律法规。现有的供热管理条例是对中国供热行业及相关活动进行监督管理的依据。
供热规划	<ul style="list-style-type: none"> - 市政供热规划与项目建议 - 国家社会经济和环境效益评价指南 	<ul style="list-style-type: none"> - 是城市主体规划的一部分 - 格式和内容相对固定
行业监管	<ul style="list-style-type: none"> - 利益相关者之间协调合作的传统 	<ul style="list-style-type: none"> - 三个主要国家机构

通过研究表明，尽管中国的集中供热系统和丹麦的区域供热系统在规模和设计上存在差异，但也有相似之处，丹麦的区域供热系统从化石能源向绿色能源转型的经验教训也适用于中国的情况。下一章将探讨中国清洁和可再生供热未来可借鉴丹麦经验的领域。

两国供热部门的主要差异之一在于监管框架及供热规划方法。丹麦制定了一项国家供热法规，以促进区域供热在社会经济方面的最佳效益，同时作为丹麦供热行业的监管基础。此外，丹麦热价监管体系以及热力公司作为非赢利机构在政府监管下运营，确保了消费者权益得到保护，以及热力公司的正常运营能力，使热力公司能够获得必要的资金来涵盖区域供热的生产成本和定期维修维护的费用。

中国目前尚未出台供热方面的法律法规。可以说，这与供热规划方法的差异有关。丹麦有社会经济和环境效益评估的国家指导方针，但各城市政府是利用其对当地条件和资源的深入了解和专业评估来制定项目提案，并进行实际的供热规划。

在中国，供热规划在很大程度上是更广泛的城市规划的一部分，考虑到未来五年、十年或十五年当地人口和建筑面积的增长，以及国家和地方政策、热负荷预测等，以相对固定的格式制定。因为供热规划是更广泛和长期的城市规划的一部分，它不一定会被制定为最具社会效益的最佳解决方案。由于供热规划是丹麦从化石能源向绿色能源过渡的核心，预计进一步交流各自监管框架和供热规划方法的经验，将会有利于中国供热行业向实现绿色过渡转型。

3 中国集中供热现状与未来对比分析

第五章是报告的主体部分。在这一章中，对依照 3.3 章方法选出的中国清洁供热发展需重点关注的领域进行了展开说明。另外，该报告的主要目标在指出中国清洁供热关注的重点领域基础上，提出相应的政策建议。在本章中，对四大类别涵盖的十一个相关主题从目前现状和未来最佳发展两方面进行了说明。

讨论的未来条件应被理解为该领域在中国国情下最适宜的状态。通过实现期望的未来条件，其他技术和重点领域也可以得到改进。因此，必须注意到不同领域之间的协同作用。在协同作用的基础上，一个领域的改进可能带动另一领域的提升。

3.1 能源规划

能源规划是在当前的国家政策和本地政策背景之下，最大限度的利用政策中的利好因素，通过调研当地已有的、可用的各种可再生能源、余热废热，以及本地的能源需求，在充分了解能源供、需情况的基础上，将各种可能的能源方案以社会经济效益最佳为原则进行排列组合，以匹配当前的能源需求，从而探索并制定出在本地范围内技术可行、成本效益最佳、环境效益最佳的能源规划脚本。

中国能源规划的总体条件是依据当地的气候区。基于秦岭-淮河供暖分界线的划分原则，旨在将中国北部省份划分为冬季供暖区，见 2.1.1。这些省份分布在严寒和寒冷气候区之间，这些地区在冬季室外温度降至一定温度时需开始供热，因此冬季寒冷时期提供稳定的供热是北方城市的民生工程。从历史上看，煤炭成为了家庭和当地热电厂的主要燃料来源。在近年的“煤改气”，“煤改电”政策背景下，许多省份都开始使用天然气、电力来减少燃煤对当地空气造成的污染，但天然气也被认为是一种更昂贵的热源燃料。

近年来，中国各省市一直在努力研究如何更好地利用当地资源，同时寻找燃煤的替代方案。煤炭燃烧后产生的有害气体及污染物对健康、环境和气候会造成严重影响，超正常水平的固体颗粒物有损人的呼吸系统健康，且因其燃烧后二氧化碳等温室气体排放量大，燃煤直接成为全球变暖的主要原因之一。

如前所述，燃煤热电联产和供热锅炉在中国集中供热热源中占比 72%，寻找替代燃煤，同时兼具经济性、环保性、可行性的集中供热热源，是中国在当前气候和能源目标下发展清洁供热的主要任务之一。丹麦的供热规划发展历程、使用的方法论和工具，以及政策和实际项目的落地结合，对中国发展清洁供热目标下的供热规划有借鉴意义。

3.1.1 供热规划

在很多情况下，区域供热可以提供比独立供暖系统更多的优势。它可以利用规模经济来提高效率和降低成本，并允许大规模的利用本地热源，如地热和工业余热等。然而，为了充分利用区域供热的这种优势，应该以可控的方式对本地现有的潜在热源进行开发。一个运转良好的供热规划系统可以在这方面有所助益，丹麦的区域供热被证明是建立高效能源体系的重要基础，并且一直是丹麦能源系统转型和实现丹麦能效的关键因素。

对当地资源进行全面的供热规划和管理，有助于各省市朝着更环保、更高效的清洁供热稳步发展。合理的供热规划不仅有助于确定开发或扩展集中供热系统的最佳区域，还有助于更好地引入新的热源和储能单元，这在引入新的热源和储能技术时尤为重要。如若实施得当，新的热源布局 and 储能技术会带来整个供热系统的改变。

通过采用供热规划方法，城市可以充分利用当地的条件和资源，开发成功的项目。这种办法有助于利用现有资源，确保最佳项目能够成功地从一个城市转移到另一个城市，并有助于查明和测绘可用于供热的当地资源。例如，以生物质为燃料的供热系统通常依赖于当地生物质资源的可用性，在规划过程中应将其考虑在内。

一个好的供热规划系统也应该能够为何时做合理投资提供参考。根据实施情况，良好的供热规划能够有利于社会经济发展、能源效率、可再生能源发展等。这也有助于避免次优方案的实行，并确保地方供暖行业的发展有利于整个国家能源系统，且与国家政策目标保持一致。

3.1.1.1 当前现状

许多中国城市面临的挑战是寻找取代燃煤的集中供热热源。为了促进从化石能源到清洁供热的转型，中国需要一种全面的供热规划方法，利用当地可用的能源发展新的清洁型集中供热系统，如：可再生能源，废弃物资源，工业余热，以及升级和扩大现有的集中供热系统。在无法利用热

电联产余热的地区，勘探这些可用，但尚未利用的清洁能源尤其重要。结构化供热规划是有效识别并决定如何以最佳方式将上述本地可用热源整合到供热系统的有效工具。

近年来，中国出台了一系列政策，通过推动北方城市的燃煤替代，鼓励地方城市将更多的清洁能源纳入供热系统。这些政策包括发展风电，工业余热供暖，要求增加生物质供热比例，加快浅层地热开发等。虽然这些政策有助于推广清洁和可再生能源发展，但如果能专注于在区域或地方背景下，与实施国家政策的结构化供热规划系统相结合，则地方能够切实受益。如果规模适当，一个运行良好的供热规划系统也可以很好地规避次优化方案实施，并确保新开发不仅有利于本地的实际情况，也有利于更大的能源系统。

目前中国关于供热规划方法成文性的说明，是城镇供热协会在 2021 年发布的《供热规划标准》。《标准》中主要说明了热负荷估算方法，供热形式、热源、热网等相关的技术标准，对投资估算和社会经济效益也有所提及，但没有详尽说明。由于中国目前尚未出台关于供热管理的法律法规，这一行业标准仅是在技术上对供热规划提出的若干建议。

这与丹麦的情况不同。在丹麦供热规划是一种监管工具，是丹麦供热法规的重要组成部分，帮助丹麦政府平衡能源发展的可持续性、供应安全和价格这三个重要因素。供热规划也帮助丹麦政府塑造供热行业的发展，以达到既定的政治愿景。丹麦政府通过改变供热规划的规则，改变供热投资，由此带来的重要影响是促进社会经济的优化，得到合理的供热价格，以及与其他空间规划相互协调，正是通过建立和审批供热行业新发展的程序和框架，丹麦的供热规划提高了供热投资的安全性。

在供热规划的制定上，中国北方城市一般会经历五个步骤，从申请资金立项，到确定规划方案并准备实施。地方和省级政府以及多个相关方在此过程中在其职责范围内发挥各自的作用，见图 10。

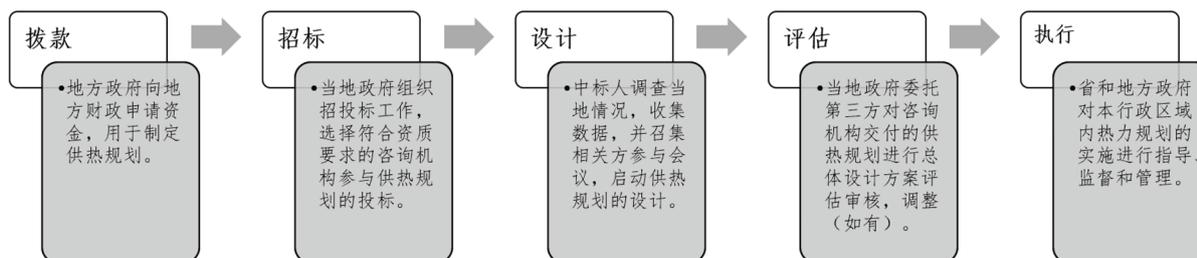


图 10. 中国城市供热规划的一般步骤

首先地方政府有制定或更新供热规划的需求，之后向地方财政申请资金支持供热规划的咨询和制定。资金批准后，由当地政府组织招标，有相应资质的设计院或咨询机构参加。在符合资质要求的机构中标后，供热规划进入设计阶段。在此阶段，中标者根据国家、省和地方相关政策，通过实地考察和与当地相关方进行会谈来调研、了解当地情况。在供热规划方案确定后，地方政府将委托第三方机构进行评估，对供热规划方案给出调整、修改意见。规划方案最终经审核通过后，方可准备实施。中标的有资质的咨询机构，一般是设计院，在供热规划方案制定过程中起技术核心作用。

丹麦的供热规划项目进程会根据当地的条件和情况而有所不同，通常如图 11 所示。当热力公司有意发展新项目时，供热规划就开始了。丹麦能源署提供项目审批的方法以及投资指南。此外，丹麦能源署还提供社会经济收益的测算方法，以及定期更新的技术目录。



图 11. 丹麦常规供热规划进程

遵循丹麦能源署制定的具体方法，热力公司需要准备一份名为“供热项目”的提案，其中描述了涉及新热源建设或者覆盖某一区域的新供热项目。同时，基于相同热负荷，提案中还需要包括一个替代方案，替代方案通常由市政府决定其内容，比如相同热负荷要由热泵来提供。在假设替代方案的技术内容时，市政府有相当大的自由度。丹麦供热行业最近的变革是推行大规模地热和海水源热泵应用。与替代方案相比，如果项目方案呈现最佳净社会经济收益的测算，则该项目

将获得批准。一旦获得批准，热力公司就有法律义务执行该项目。

因此，在供热规划提案中需要包括社会、公司以及用户的经济测算，这需要遵循一整套方法。

3.1.1.2 未来展望

丹麦能源转型的成功可能给中国的启示是，如何更好地实施供热的宏观战略政策。引入考虑城市当地条件，但在国家层面得到维护和支持的供热规划工具，可以在很大程度上帮助实现这一点。通过应用供热规划工具，中国可能会加大清洁供热的发展力度，提高利用来自于各行业余热废热的能力，这可以最大限度地利用当地资源。此外，宏观政策可以进一步认识和促进供热部门与其他能源行业结合所带来的节能和成本优化机会，从而从中受益。

这些工具和干预措施应基于客观和无差别的成本效益分析，注重长期投资，并将经济、环境和社会因素有机联系起来，有利于能源市场和当地就业。有效的供热规划可以帮助决策者全面了解当前和未来的供热需求，并设计可行的能源和经济政策及激励措施，从而催生可持续能源解决方案，促进地方和区域经济的增长。

在考虑供热规划和供热管网设计和运行参数时，应采用更系统的方法，包括历史天气数据和需求预测，以和现实运行情况相匹配。

3.1.2 热需求预测

供热量预测是供热厂执行日常调度计划和优化运行的重要工具。热预测方案可用于最大限度地利用当地清洁能源，同时规划供热系统中的未来热需求。通过这种方式，可以确保在需要启动燃煤或燃气调峰和储能设备之前，首先使用清洁和可再生能源。

只有具备以下条件，才能进行热需求预测：

- 供热厂的历史测量数据可显示实际产热和供热数据；
- 未来几天的气象数据；
- 当地气象站能够显示当地实际气象数据，以纠正当前小时预报中可能出现的偏差。

这种热需求预测方法是一种非常灵活的工具，可用于多种用途，如自动实时优化和支持整体供热规划。市场上现有一些价格低廉的应用软件，可以购买用于公用事业规模专业使用，也可以与中国的一些研究和设计机构合作设计定制版。市场上已有的软件应用程序通常基于计算机学习，

基本上由自适应算法组成，计算机通过学习消费模式和当地天气条件，自适应算法会随着时间的推移对热需求做出更准确预测。下面的示例图 12 (Dahl, Brun, Kirsebom, & Andresen, 2018) 说明了这种自适应预测性能如何执行。

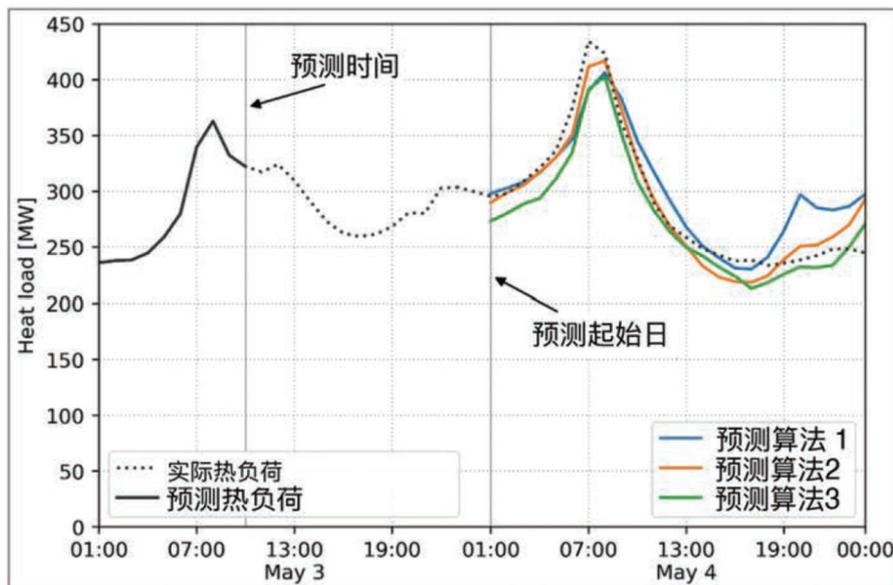


图 12. 显示预测趋势与实际热需求比较的热量预测模型示例

目前，大多数热需求预测工具都能提供未来一小时到 7 天的预测，甚至更久。通常情况下，热需求预测可以对未来 24 小时内的情况做出准确的预测，而对超过这个时间段的预测则会有不同的精度。然而，如果能将历史热需求数据与过去数年的历史气象资料一起输入到预测工具，则预测的准确性可以进一步提高。热需求预测的质量也取决于天气预报的质量。此外，在极端天气或网络突然发生重大变化等异常时期，许多大系统可能提供异常信息，预测的准确性将大幅降低。

简言之，丹麦采用了一套复杂的热需求预测系统。该系统综合利用天气预报、历史消费数据、实时分析和先进算法的预测模型来准确预测供热需求。这种预测能力使得供热厂能更有效地运行，确保能源效率，成本效益和减少碳足迹。

3.1.2.1 当前现状

在中国，热需求预测应用规模较小，对用户端实际热需求准确预测关注度不高。中国大多数集中供热系统遵循室外气温，预先规划供热量供应方案，以达到供暖期室内标准室温 18-22°C，通常最终用户的实际热需求非主要考量因素，因此热预测会因实际热需求无法测量而难以进行

规划。

由于热需求预测方法还不完善，因此热量通过传输管网以恒定量供给。因为系统无法考虑热需求预测，所以很难对热量调度进行规划，如果突然出现预测之外的峰值负荷，供应安全可能会受到影响。

没有先进的热预测的另一个问题是，无法规划理想的调度方案，也就无法充分利用可再生能源，从而依赖化石燃料。

在中国，有时地方气象站的修建并不与供热系统相关。特别是在像北京和天津这样覆盖面积很大的集中供热网络地区，当地气候的变化可能从城市一端到另一端有很大的差异。

3.1.2.2 未来展望

未来，系统将实现完全集成的热需求预测，从而可以实行调度指令和优化运行。在中国，收集热负荷数据已成为供热公司的普遍做法，从而有可能在未来建立更好的预测数据系统。

供热公司的工作人员接受了进一步的专项培训，能更好地理解和使用预测工具，避免可能出现的错误。要充分利用预测工具，了解优化运营的好处，进行能力建设是非常必要的。

通过建立系统的水力模型并将其与热需求预测联系起来，可以实现系统的实时优化。这些方法能够显著降低供水温度，并使循环泵在最佳流量和扬程的状况下运行，因此达到优化供热系统运行的目的。通过优化日间和季节性储能设施的储/放热周期，积极利用热需求预测能更好的运行储热系统。

鉴于目前大多数丹麦区域供热公司都制定了供热生产计划，因此可以组织与丹麦区域供热公司的知识交流。日前计划按日编制，显示随后两个运行日的预期供热计划，而当天计划则显示调整后的供热计划，重点关注未来的四个小时。

3.1.3 储热

储热是指在满足系统用户的供热需求后，将多余的热能储存在储热装置中，同时系统仍能正常供热。由于可储存的能量量取决于能源的消耗量，因此可以通过需求预测来优化这一过程。这样，就可以利用电力和热力系统生产的耦合优化调度。

图 13 (iea, 2022) 显示了四种用于区域供热的热能储存方式。罐式储热 (TTES)、坑式储热 (PTES)、钻孔式储热 (BTES) 和含水层式储热 (ATES) 等不同的储热方法。

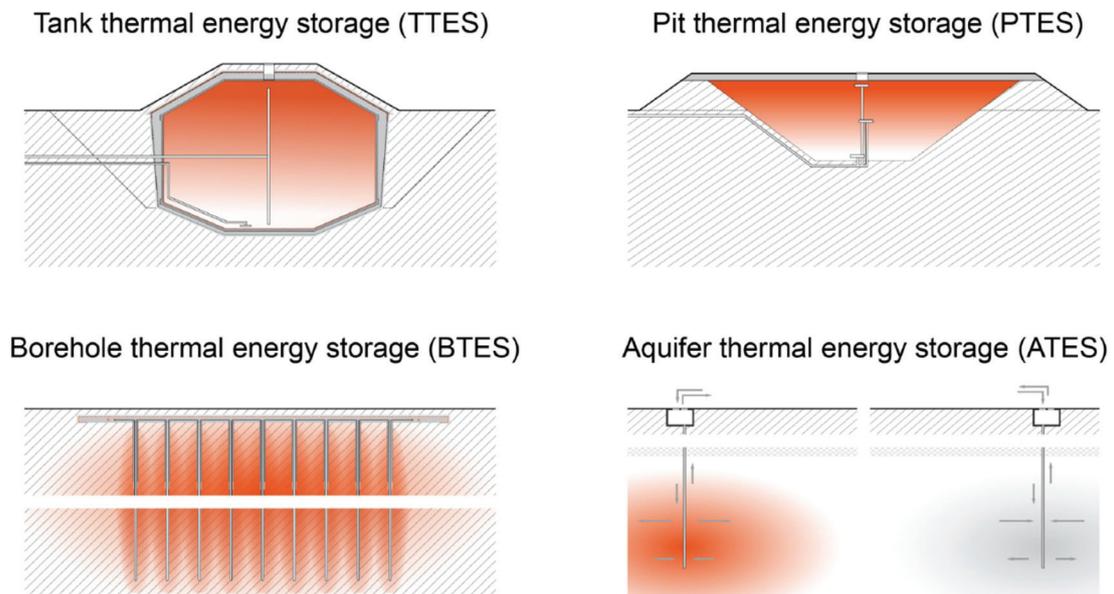


图 13. 区域供热四种储能方式

罐式储热 (TTES) 将热水或其他热流体储存在保温罐中，通常用于短期储热，从每日到每周的循环，使其适合在较短的时间内平衡能源供应和需求。

坑式储热 (PTES) 系统使用充满水或其他可以储存热量的流体的保温坑体。坑式储热 (PTES) 系统是多功能的，可设计用于短期和长期储热，由于其容量大，通常与季节性或长期储能联系在一起。

钻孔式储热 (BTES) 系统通过钻入地下的深垂直孔，在其中插入管道进行传热。钻孔式储热主要是为长期储热而设计的，通常能够在两个采暖季之间储存热量长达几个月。

含水层式储热 (ATES) 系统利用天然地下水储存热能，常用于季节性储存，适合长期储存。含水层式储热系统将热量或冷量储存在含水层中，以便在以后 (通常是几个月后) 提取出来，以满足不同季节的能源需求。

每种储热系统都有其理想的应用场景，其可行性在很大程度上取决于它们所支持的能源系统的具体需求，以及当地的地质、环境和经济条件。表 3 列出了这四种储热方式的特点。

表 3. 四种储热方式的特点

	优点	缺点
罐式储热 (TTES)	<ul style="list-style-type: none"> - 响应时间快, 适合日调节储热需求 - 可在地上或地下安装, 灵活性高 - 设计和操作相对简单 	<ul style="list-style-type: none"> - 受罐体大小限制, 不适合长期储存 - 如果储罐保温不良, 可能会有显著的热损失 - 储热量大的大型保温储罐成本相对较
坑式储热 (PTES)	<ul style="list-style-type: none"> - 可扩展到多种尺寸, 适用于不同的应用 - 可使用水或砾石-水混合物等低成本储能材料 - 适用于短期和长期储热 	<ul style="list-style-type: none"> - 需大面积的坑体, 在人口密集的地区受限 - 坑体保温至关重要, 保温不良或导致显著热损失 - 设计不当, 可能存在水泄漏或蒸发的风险
钻孔式储热 (BTES)	<ul style="list-style-type: none"> - 适用于多种地点, 包括城市地区 - 由于储热设施在地下, 视觉影响低 - 使用寿命长, 维护要求相对较低 - 可储存几个月的热量 	<ul style="list-style-type: none"> - 初始钻探可能成本高昂 - 效率取决于地面的热导率 - 如果热量和冷量的充放周期没有得到适当平衡, 系统性能可能会下降
含水层式储热(ATES)	<ul style="list-style-type: none"> - 储热容量高, 可季节性储存 - 利用自然地质构造, 在能源和空间方面高效 - 由于含水层的自然保温, 热损失相对较低 - 能提供供暖和供冷 	<ul style="list-style-type: none"> - 地质和水文地质条件需要合适, 选址受限 - 管理不当, 可能会对含水层造成污染 - 需要监管批准和广泛的环境影响评估

丹麦一直在探索各种储热方法, 以储存来自太阳能和风能等波动能源的多余热量, 并一直在开发大型储热系统, 以储存来自可再生能源的多余热量。在附录 III 的案例研究中, 丹麦 Taars 太阳能区域供热项目强调了长期和短期储热是增加系统灵活性的一种经济有效的措施。

在中国太阳能供热资源丰富的省份, 季节性储热 (坑式储热) 有很好的使用效果。同样, 对于风能资源丰富的省份, 可以使用电供暖进行供热直供, 多余热量可以储存供日后使用。因此, 季节性储热有助于降低当地可再生能源的弃用率, 并增加可再生能源在供热中的份额。下图 14 (Solar District heating, 2022) 为储热示例。

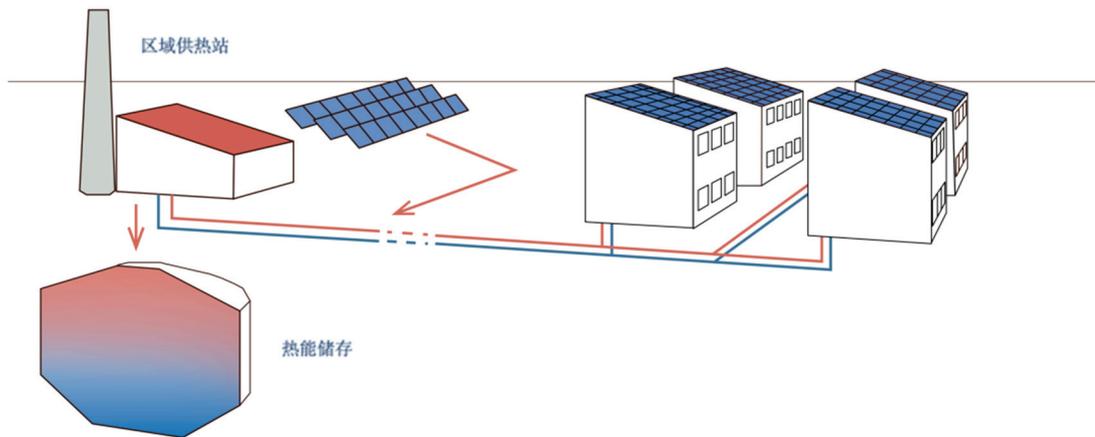


图 14. 热能储存与太阳能供热和集中供热站相结合

大型管网中的储热单元有利于管网水力平衡。当白天热需求较少时注充大型用户或换热站附近的储热装置，在需求高峰时进行放热，从而缩短最不利管段的距离。这种方法提供了非常好的调峰手段，从而避免高峰期供热管网的高压。然而，为了使其正常运行，需要使用定义明确的热量预测，以便能够在高峰时段提前规划，并在日间进行储热。

在丹麦，储热的另一种方式是在公寓楼或换热站的热力入口处设置储热罐。通常，这些装置与换热机组连接并安装在换热机组上，用于提供更好的供热平衡。在丹麦，通过稳定地给储热装置储热来平衡用能早、晚高峰。早、晚峰值负荷与生活热水消耗情况有关，鉴于目前大多数中国集中供热系统不提供生活热水，这种优势尚无法体现。但在未来的情况下，若有可能，会被证明其可用之处。

3.1.3.1 当前现状

随着可再生能源应用的迅速普及，季节性储热节能技术未来几年将在中国得到广泛应用。可以借鉴丹麦的设计做法，在农村地区开展试点研究和项目，建造保温性能良好和合理控制机制的坑式储能设施。在河北、青海和西藏等省份，有一些小规模的项目，用于测试坑式储能系统的使用效果。

目前，中国供热管网中的日间蓄热尚不普遍，利用储热罐调峰的做法也不规范。

中国的集中供热系统目前尚未设计成能够通过大规模热泵和热能储存将来自风能和光伏的可再生能源转化为热能。根据《城市供热管理条例》，中国的固定供暖季通常为 3-6 个月。对于北京而言，供暖季通常从 11 月 15 日持续到次年的 3 月 15 日。然而，如果连续五天的室外平均温度降至 5 摄氏度以下，供暖季可能提前开始或延迟结束。

这种固定的供暖季限制了夏季和过渡季节部分时间的集中供热供应，阻碍了在供热系统中使用季节性热能储存。尽管大规模地下热能储存具有储存数月热能的能力，但在供暖季仅为几个月时，其效果减弱。与居民生活热水供应的整合使得供热系统能够全年运行。这种整合不仅有助于充分利用供热系统内的热能储存，还有助于减少对化石燃料的依赖，最大程度地利用可再生能源。

3.1.3.2 未来展望

未来所有集中供热系统都会考虑储热，特别是为了能够将储热与可再生能源结合使用。

农村和城市周边地区的太阳能供热设施应始终配备保温性能良好的本地储能，如水池式或坑式储热设施，以最大限度地提高太阳能热的收集率。

在新的集中供热系统设计中，应规划可提供日间储能和平衡峰值功能的储热罐。应在现有管网中加装储热设施，并进行热量预测。储能设施的安装位置可靠近管网的关键部分，如大型供热区域或换热站，因为其在某些时段可能导致大的用能高峰。

未来将电能转化为热能的热泵中心应建在储能设施附近，这样能量就可以直接储存在储热装置中，而不受供热系统中的实际热需求的影响。重要的一点是需要认识到丹麦的低温供热系统和中国高温供热系统的技术差异可能带来的挑战。例如，在温度超过 95°的情况下，坑式储能设施的建设成本会很高，而中国的集中供热系统的设计温度为 110~130°C（住建部，2022）之间。因此，如果热量经储能装置再充注到集中供热系统，就要降低供热系统的温度或提高储能的温度。

3.2 可再生能源供热

在世界各地向可持续供热系统过渡的过程中，可再生能源变得越来越重要。这些绿色能源形式包括地热资源、太阳能和生物质能，能对民用和工业用供暖做出重大贡献。

地热供暖利用天然的地下热量，可为区域供热系统或直接为家庭和企业供热提供稳定可靠的热源。太阳能，通过集热板，可捕获阳光并将其直接转化为热量，用于生活热水和采暖，以及为某些工业生产过程提供动力。生物质供热系统通过燃烧木屑、生物质颗粒或农业废弃物等有机材料，在可再生源供热方面发挥重要作用，特别是在林业或农业副产品丰富的地区。

此外，热泵被认为是一种可再生能源技术，其将空气、地面或水体等自然环境的热量转移到建筑物中进行加热，而不是通过燃烧化石燃料产生热量。虽然热泵确实需要电力来运行，但它们传递的热量在环境中不断地自然更新。在丹麦，热泵通常由绿色电力驱动。

3.2.1 地热供热

从地热资源储备来看，中国地热资源丰富，热值达 $3.06 \times 10^{18} \text{kWh/年}$ ，约占全球地热能储量的 8%。表 4 评估了中国的三种地热资源 (Zhang, Chen, & Zhang, 2019)，说明了温度水平、深度和储量规模。

表 4. 中国三种地热资源及技术参数

地热资源	温度水平和深度	资源规模
浅层地热	地表以下 200 米深度范围内，温度低于 25°C。	年可采资源量折合标准煤 7 亿吨。
水热型地热	埋深数千米的地下水或蒸汽中蕴含的热资源： (a) 高温地热资源（高于 150°C）； (b) 中温地热资源（90-150°C）； (c) 低温地热资源（低于 90°C）。	储量相当于 10600 亿吨标准煤。
干热岩	埋在地表以下超过 1km 的高温岩体温度通常高于 200°C，并且内部不存在流体或少量地下流体的高温岩体。	干热岩地热资源储量 相当于 8.56×10^5 亿吨标准煤。

中国大陆 336 个主要城市的浅层地热能年可采资源量相当于 7 亿吨标准煤，可为 320 亿平方米的建筑面积供热（供冷）。图 15 (Foresight Network, 2021)显示从 2000 年到 2019 年，中国浅层地热能利用量持续增长。2000 年，仅有约 10 万平方米的建筑面积使用浅层地热能供热和

制冷；2004 年，这一数字达到 767 万平方米；2010 年以来，年均增长率约为 28%。截至 2019 年底，中国浅层地热能利用建筑面积约 8.41 亿平方米，居世界第一。

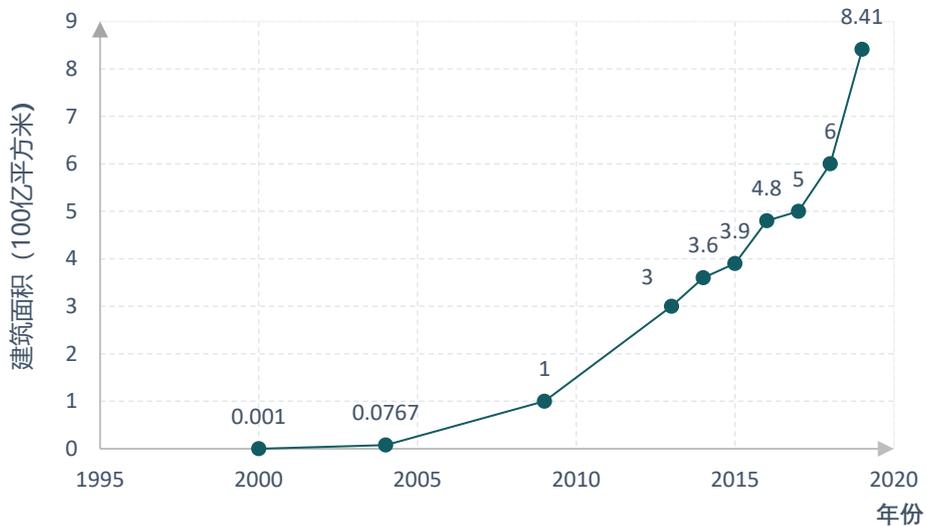


图 15. 1995-2020 年中国利用浅层地热供热和供冷建筑面积

中国对地热能的直接利用主要是供热和供冷。从 1990 年到 2018 年，中国水热型地热能供热面积快速增长，在 2018 年达到 1.65 亿平方米。近 10 年来，中国水热型地热能利用率以年均 10% 的速度增长，其中山东、河北、河南增长较快。

从中国开发的地热相关政策来看，2002 年以来，中国相继出台了多项与可再生能源和减排相关的政策和规划，加快了地热能的开发。图 16 (Huajing Information Network, 2021) 表明国家层面对地热开发的支持政策经历了从第十个五年计划的“加快技术研究”到十二五规划的“推广技术应用”再到十四五规划的“大力发展”的转变。事实上，在过去的几十年里，地热能利用已逐渐受到重视，促进了地热能市场的开发和投资。

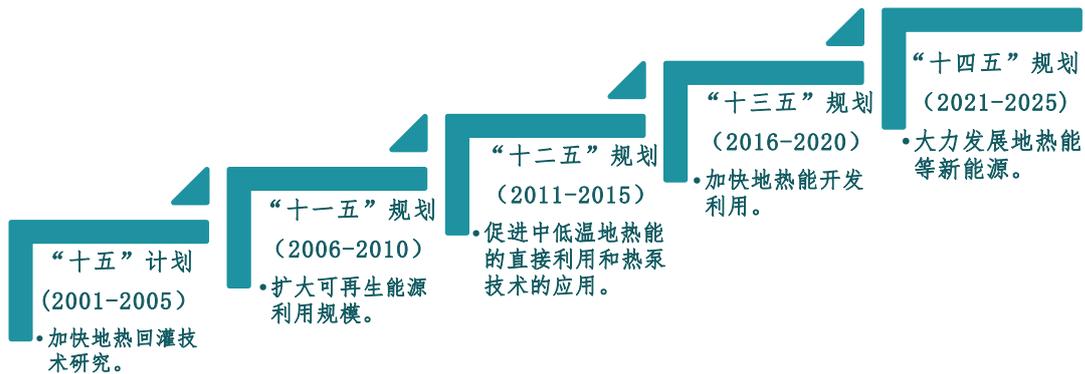


图 16. 地热开发在连续五个五年规划中的表述

随着中国中央的指示，天津、辽宁、黑龙江、浙江、安徽、山东、山西、贵州、河南、甘肃等省市也在“十四五”规划期间提出了地热能装机规模和投资规模的发展目标。

3.2.1.1 当前现状

中国地热能开发正处于初级阶段。目前存在的主要瓶颈包括以下三个方面。

政策支持。近年来，中国对地热能利用的扶持政策，无论是政策措施还是资金支持，均未与快速发展的势头相匹配。地热能开发成本高，技术要求高，投资回报期长。需要开发企业具备较为雄厚的资金实力和运营经验。目前，国内地热能项目投资仍以国有企业为主，需要政策引导、培育和市场拉动。

管理机制。在推进地热能开发利用的实践中，政策引导和有效监管不可或缺。地热资源属于矿产资源，而地下水资源又受水务相关制度约束。目前尚无明确的权责划分，这造成了水务管理部门和矿产资源管理部门对地热管理这一工作内容的职能交叉。同时，各地管理也存在不同程度的差异，这也为地热开发带来了不确定性风险。

技术水平。由于起步晚，中国地热资源的勘查开发依然存在一些技术瓶颈。资源勘查、地质勘查设备、高温地热井钻探以及发电工艺等核心技术仍有待提升。在地源热泵领域也存在一些技术和经济上的壁垒。技术水平的落后也在一定程度上造成了开发成本的增加。例如，地热发电的初始投资成本极高。在钻探前，勘查等前期工序将占地热项目开发成本的 11%，钻探则约占 30%。

一般而言，中深层地热供热项目的建设成本约为 90-160 元/m²，运行成本为 5-10 元/m²，具有初期投资成本高、运行成本低的特点（水电水利规划设计总院，2021）。在干热岩应用方面，一直存在技术困难、产能不足、投入产出比过低等发展问题。值得一提的是，在 2021 年，中国地热能开发不断加大资源勘查力度，在地热能资源较好的领域取得新突破。

中国地热供暖的发展，除了前面提到的瓶颈之外，还面临着以下挑战：发展不均衡，地热供暖价格机制和资源区位优势未能充分发挥。地热能的发展在重点地区和非重点地区、城市和农村地区，存在较大差距。由于缺乏积极的价格信号，无法形成有效的公平竞争，削弱了对提高地热经济可行性的支持。此外，由于投资不足，地热供暖的潜在市场和节能机会没有得到充分发挥，导致资源区位优势未得到充分利用。

地热供暖在清洁供暖中所占比例较小，规模化发展模式尚未形成。各地区的地热供暖发展缓慢且不均衡，这主要由于缺乏明确的任务分解、整体协调机制、供暖项目补贴联合评估制度和多样化的投融资模式。此外，地热能在整个清洁供暖总量中占比较小，地热供热项目的建设程序不够完善，产业集聚和商业化程度不高，尚未形成规模化发展的长效机制。

建设运营体系不完善，缺乏可持续发展长效机制。地热供暖的建设和运行体系不够完善，主要是在资源的科学合理利用、冷热平衡、系统维护等方面存在未解决的问题。此外，地热供暖的成本、支出和消费者负担能力之间的不平衡，加上市场化水平低和竞争力不足，均表明缺乏可持续发展的长效机制。

3.2.1.2 未来展望

目前，地热能的利用已由最初的地热温泉利用逐步向能源化利用模式转变，如附录 III 中的北京城市副中心能源站案例所示。地热能作为能源的主要利用方式有三种，分别是：地热供暖、地热发电和地热农业。

地热能在中国集中供热行业发展前景广阔。目前，中国多地正在推进统一供热规划。选择适宜的当地热源，建设清洁、低碳、高效、安全、可持续的大型供热和供冷系统至关重要。在夏热冬冷的气候区，地热能可在集中供热和供冷方面可能发挥重要作用。

就中国地热供暖的未来发展趋势而言，地热供热以资源能源化利用为主线，开展中国用浅层、

中深层和深层干热岩能源开发利用并举的地热发展战略布局。此外，地热供热将由一次性利用向综合梯级集约化利用方向转化，从而提高资源利用效率，产生更大的社会效益。预计地热供暖的发展将从小规模项目逐步发展为集中、成片大规模开发建设。这将涉及采取因地制宜的措施，优化和整合多能源互补系统，从而建立区域能源供应的新模式。

在丹麦的部分地区，只要有合适的地质层存在并且有足够的厚度，在天然地下水中采集的热盐水可用于区域供热。丹麦有三座正在运营的地热发电厂。他们的总部设立在齐斯泰兹、森讷堡和哥本哈根的阿迈厄岛。此外，政府还授予了一些许可证，以探索在某些地区使用热能的机会，其中成功案例有在奥胡斯市开发的欧洲最大的地热供热厂项目。这为中丹两国开展经验交流，共同克服制约两国地热供热发展的技术、经济和监管瓶颈奠定了良好基础。

在推进地热供暖发展的过程中，中国可以借鉴丹麦的立法框架，如《供热法》。这包括从法律上界定地热资源的性质，明确各级政府的行政作用和责任，并为地热供暖的发展创造有利的环境。此外，注重修订与地热供暖有关的政策和法规，构建一个包括立法、规划、管理和标准于一体的全面地热供热法规和制度体系。中国也可以考虑借鉴丹麦市场驱动的供热机制，在税收、信贷和融资等方面探索地热供暖的扶持政策，吸收市场多元化投资进入地热资源开发建设领域。

3.2.2 太阳能供热

根据国际能源署的数据 (International Energy Agency, 2021)，丹麦在大规模太阳能区域供热方面，保持了约十年的主导地位。到 2020 年，中国超越丹麦，拥有全球 48% 的大型太阳能集热器安装面积，成为世界第一。这其中有相当大比例的太阳能供热系统是为住宅、商业或公共建筑而建的。就这两个国家的太阳能区域供热系统数量而言，截至 2020 年底，丹麦拥有 124 个，中国拥有 18 个，但规模有所区别。

中国太阳能资源丰富，年太阳辐照总量在每平米 930 到 2330kWh 之间，相当于每平米 2.5~6.4kWh 的日辐照量。大部分中国地区拥有充足的太阳辐射资源，全球年辐照总量最高的地方为西藏，达到每平米 2330kWh。此外，表 5 (Huang, Fan, & Simon, 2019) 显示，中国太阳辐照资源丰富的地区主要位于寒冷地区，这些地区刚好具有较高的供热需求。表中所提到的太阳能保证率是指太阳能集热系统从太阳辐射的有效得热与供暖系统所需热负荷之比。太阳能保证率

意味着使用太阳能供热系统可节省多少能源。因此，在中国严寒及寒冷地区，太阳能供热系统具有相当大的发展潜力。

表 5. 中国太阳辐照量及区域分布

辐射水平	水平太阳辐照总量 (kWh/m ² ·年)	领土面积上的 太阳能保证率	地区
最丰富 (I)	≥1750	22.8%	内蒙古西部；甘肃西部；西藏和青海，新疆东部；四川甘孜州
较丰富 (II)	1400-1750	44%	新疆；内蒙古东部；中国东北地区；北京；天津；河北；河南；山西；山东东部；山西北部；宁夏；甘肃；海南；云南
丰富 (III)	1050-1400	29.8%	内蒙古北部；山东南部，山西，陕西（西安）；甘肃东部、云南；湖南；湖北；广东；广西；福建；江西；浙江；安徽；江苏；河南
一般 (IV)	< 1050	3.3%	四川；重庆；贵州。

在政策支持方面，《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》提出了未来五年通过增加太阳能、热泵等可再生能源利用和工业余热利用来减少煤炭使用的目标。这一规划为太阳能供热打开了政策窗口，为其广泛应用创造了条件。

3.2.2.1 当前现状

大城市现有大型供热设施为太阳能等可再生能源的应用创造了有利条件。

然而，太阳能在供暖中的应用受到资金、技术和经济等方面的限制，例如投资成本高，土地可用性以及购买力方面的限制。中国的土地使用成本很高，用于安装集热器的土地可用性是发展大规模太阳能集中供热的主要障碍之一。因此，集热器应尽可能安装在屋顶、停车场或高架结构上。为了进一步提高太阳能的供热利用率，提高集热器效率和储热系统的容量，降低集热器成本，并优化系统以获得最低的热价是至关重要的。

太阳能供热系统包括集中式和分布式两种：

中国北方地区以大规模集中供热为主。城区人口密度大，地价高，太阳能集热器安装空间有限。太阳能集中供热的经济效益和环境效益显著，但在长期内，在有集中供热的大城市，如何将太阳能供热与现有的集中供暖系统整合仍然是一个巨大的挑战。

在中国的农村地区则以分布式家庭取暖为主。分布式太阳能供热会是不错的选择。在将太阳能整合到农村供暖系统中的挑战方面，需要考虑经济因素，比如低购买力。基础设施较为完善的农村地区适合优先发展太阳能供热。2020年，中国县城集中供热面积约18.6亿平方米，在总集中供热面积中占比15.1%，建制镇4.4亿平方米，占比3.6%（中国城镇供热协会，2021）。通过在现有的集中供热中增设太阳能集热器和储热系统，可实现较低的运行成本。而那些基础设施较为薄弱的地区则需要政府提供更多的补贴。

与煤改气、煤改电这两种已在农村地区应用的减煤降污的解决方案相比，太阳能供热是一项具备潜力的技术，从长远来看完全可以较低的运行成本替代化石燃料，这意味着长期运行不需或需要很少补贴。

3.2.2.2 未来展望

中国太阳能资源丰富，政策利好，太阳能区域供热具有广阔的应用前景。

根据国家发改委、国家能源局等部委于2017年发布的《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》，计划在2016年的基础上，到2021年，太阳能供热面积将达到5000万平方米，占比达0.18%。这一规划为太阳能供暖开辟了政策窗口，为其广泛应用创造了条件。考虑到中国西北地区巨大的供热需求和廉价的土地资源，假设总供热需求的3%由太阳能供给，其供热面积将达到7.56亿平方米。

太阳能供热技术是一种投资成本相对较高，但运营成本较低的生产技术，最适合需要长时间满负荷运行的基本负荷利用。在太阳能区域供热处于世界领先地位的丹麦，尽管其全球水平辐照总量低于中国（其全球年平均水平辐照量为每平米1001kWh），但其年能源供应的20%-50%通常来自太阳能区域供热系统中的太阳热能，并辅以资金成本相对较低但运营成本较高的生产设施。附录III中介绍的Taars案例展示了太阳能区域供热在丹麦的未来发展，这一概念同样适用于中国。

作为太阳能区域供热的一种形式，太阳能辅助地源热泵系统是一种可靠的解决方案。在那些

运行不佳的地源热泵系统中，可以增加一个辅助的太阳能集热器场，以提高系统效率并降低运行成本。此外，太阳能区域供热与热泵（最好由风电驱动）相结合，将构成一个高效和环保的区域供热方案。

人口密度低、资源稀缺、环境要求严格的特定区域（如西藏）应优先考虑推广太阳能集中供热，如浪卡子案例，见附录 III。基础设施（如集中供热网络）较为完善的农村和小城镇是未来五年太阳能集中供热的最佳目标市场。随着季节性储热技术的成熟和实践经验的积累，太阳能集中供热可以扩展到西北地区人烟稀少的工业园区、大型住宅区等。

3.2.3 生物质供热

中国拥有丰富的生物质资源，并建立了木屑颗粒（来自林业废弃物）和压块（来自农业废弃物）等固体生物质燃料市场。然而，当前需求主要来自工业部门。生物质燃料的可用性因地理位置而异，其中中国省份的生物质开发潜力最大，即山东、河南、河北、黑龙江、吉林和江苏。

在政策支持方面，如前所述，《北方地区冬季清洁供暖计划（2017-2021）》设定了未来五年通过增加可再生能源的使用来减少煤炭使用的目标，包括地热供暖、生物质供暖以及太阳能供暖。

3.2.3.1 当前现状

在热需求集中的北方省份，农业废弃物的可用性更高，这意味着这些废弃物可能比林业废弃物更广泛地用于集中供热。然而，这些资源没有得到充分利用，主要是因为很难建立燃料供应链将这些分散的资源运送到位。因此导致某些地区生物质田间焚烧，造成空气污染。

在生物质供热发展方面，几个挑战仍然存在：

政策缺乏统筹规划，难以形成合力。目前，生物质供热的政策相对较多，但分散在各个部门，缺少顶层设计和统一规划，政策无法形成合力。因此，一些政策没有得到有效实施，甚至存在政策相互矛盾，制约了生物质供热产业的良性发展。

生物质供热的经济激励性不足，多重利益未能充分体现。作为战略性新兴产业，生物质供热缺乏经济激励政策，难以与传统化石燃料供热在市场上展开竞争。尽管在减少温室气体排放和改

善大气环境方面具有明显的优势，但生物质供热尚未获得应有的市场地位，其全部价值尚未在市场上得到充分体现。由于化石能源市场（尤其是中国的煤炭市场）已经非常成熟，化石燃料的基准价格仍然非常低廉。因此，单纯依靠生物质无法与煤炭竞争，需要制定相关政策，强调生物质燃料的社会经济和环境效益。

标准监管体系薄弱，环境排放标准严苛。生物质供热行业缺乏引导产业规范化发展的权威标准，在标准实施和监管方面存在挑战。此外，该行业缺乏全面的信息和数据统计，阻碍了有效监管体系的形成。对于生物质供暖家用炉具的环境排放标准过高。这给开发和生产生物质颗粒燃料炉具的高校、科研院所和生产企业带来困扰，不利于行业的健康有序发展。用生物质替代燃煤是很好的解决方案，前提是排放控制系统完善，能显著减少当地可吸入颗粒物的排放浓度，这实际上是唯一值得关注的问题，因为根据相关国际法规，生物质本身被认为是二氧化碳中性的。因此，燃料质量和对当地污染水平的影响可能是需要解决的问题。为了保持燃料质量的一致性，应初步制定中国生物质燃料质量标准。此外，如上所述，还需执行限制生物质锅炉排放水平的排放标准。

3.2.3.2 未来展望

除地热和太阳能外，生物质在中国也具有巨大的潜力。中国现有的燃煤电厂可以改造成生物质发电厂，用生物质锅炉取代燃煤锅炉。这样，可以显著降低安装成本，而且之前准备建设燃煤电厂的投资可以重新计划用于其他用途。

大量生物质供应的运输问题值得关注。如附录 III 中提供的山东阳信案例，县城和农村乡镇可能成为新建生物质热电联产厂的理想地点。

关于中国生物质供热的未来发展趋势，几个关键方向正在显现。

首先，与国家“可再生能源发展十四五规划”中概述的多样化生物质能源利用战略相一致，推动从单一的生物质发电向热电联产过渡。这种转变更加强调生物质供热作为非电力应用的主要例子。范围逐步扩大，包括运输、供气、燃料等综合能源服务。

二是生物质供热实现跨行业融合协调发展。一方面，它将与天然气、风能、光伏、地热能、氢能等清洁能源相结合，提高整体能源效率，成为中国未来新能源体系的重要组成部分。另一方面，它将与现代农业、生态治理、能源转型、乡村振兴、城乡融合紧密结合，形成绿色低碳发展

循环，支持中国实现碳达峰和碳中和的战略目标。

三是生物质颗粒燃料在农村清洁供暖方面具有巨大的市场潜力。在中国北方，秸秆资源丰富，在农村地区，成型燃料可能成为散装煤的重要且具有成本效益的替代品，与天然气和电力等清洁能源相比，它具有价格优势。展望未来，中国生物质成型燃料行业有望在农村清洁供暖应用中显著取代散煤供热，呈现出巨大的发展机遇。

四是生物质供热技术正朝着更高的效率和价值利用的方向发展。未来，在大力推进生物质热电联产应用的同时，先进的储热技术也将显著提高生物质能源利用效率，促进产业不断升级。同时，探索“气→肥→电→热”等生物天然气多联产循环经济模式，提高产品附加值，增强生物质供热行业的市场竞争力。

丹麦的经验表明，生物质可以成为将电力和热力生产从化石能源转向可再生能源的重要工具，生物质也可以成为减少温室气体排放的有效措施。在 2021 年，以木材、秸秆和生物废弃物为原料的固体生物质占丹麦可再生能源使用量的 65%，在电力和热力生产中，这些固体生物质是取代煤炭的关键。约 2/3 用于电力和区域供热，约 1/3 用于独立供热。扩大生物质发电和供热是促进丹麦温室气体减排的一个重要因素。但预计到 2030 年，这一比例将有所下降，部分原因是热泵的使用逐渐增加，同时热电联产电厂的发电量降低，从而减少了未来对生物质的需求。

在生物质发展方面，中国可以借鉴丹麦的做法，其中包括以下几个关键战略：提供国家一级的直接财政支持和税收减免，如一次性建设补贴，以提高项目的技术和经济可行性，刺激市场投资，并支持财政激励政策，如政府担保和低息贷款。

丹麦的《供热法》将可再生能源供暖定位为供暖供应转型的关键方向。该法案免除了生物质热电厂的能源税，并为供热技术转型勾画了一条清晰的道路。

在全国范围内要求有区域供热供应地区，居民接入区域供热系统，这些措施有助于确保供热管网的规模。此外，在用户方面引入“节能账户”等机制，以提高建筑能源效率，作为市场供热方式的有效补充，提高经济效益。

建立系统的监测评价体系，是经济激励政策有效实施的保障，也是政策动态调整的基础。

此外，值得注意的是，使用生物质并不总是能减少温室气体排放，来源国的排放就是一个例子。这对丹麦而言尤其重要，因为其使用的木料生物质超过一半以上是进口的，尽管据估计，随着时间的推移，丹麦可以用国内资源来满足目前的生物质需求，但这需要将进口木料生物质消耗的那部分转化为使用农业废弃物。此外，这需要多个前提条件，例如成功提高效率、改用秸秆较长的谷物、增加秸秆收集量、增加速生树种的使用等（丹麦能源署，2020）。因此，在考虑应该利用哪些生物质资源时，应特别注意其来源和获取方式。

此外，生物质的可持续利用不仅要考虑温室气体排放，还要考虑其可用性。虽然生物质被认为是一种可再生能源，但它仍然是有限的。即使将所有可用的固体生物质燃料都用于中国北方城镇地区集中供暖，它仍然只能为这些地区巨大的能源需求做出微小的贡献。在考虑将生物质用于能源生产时，应优先考虑其在其他领域的使用，以及是否可以用其他清洁和可再生能源技术替代生物质的使用。因此，生物质应被视为集中供暖模式中替代煤炭的低碳燃料组合之一。

3.2.4 大型热泵

大型热泵系统可根据地理位置和当地资源，对不同的介质来源的热量加以利用。无论是来自工业、数据中心的余热，还是来自海洋、地表水、土壤、空气、污水等的热量，都可通过收集提取成为集中供热热源。

需要强调的是，使用大型热泵的目的是利用可再生能源，而并非化石能源。一个高效的热泵系统应该包括储热设施，以便将能量储存起来供需要时使用。特别是在供热季较短的地区，配备季节性储能是合适的选择。

大型热泵的成本通常被认为很高，但近期发展证明，由于系统设计和材料的使用得到了优化，项目可以实现较低的资本支出（CAPEX）。此外，新系统已经证明具有更好的能效比（COP）。通过这些改进，新系统运营费用大大降低，投资回报周期更短。

随着更多新技术的出现，从热源处收集提取热量的新方法正逐渐成为主流。其中包括数据中心等新行业与供热系统的互连，通过冷却数据中心的服务器，向供热系统提供热量。另一项重要技术是开发海水源热泵，其中包括钛和不锈钢等耐腐蚀的材料设备的应用。

3.2.4.1 当前现状

中国已经建立了一些与市政集中供热相连的大型热泵项目。附录 III 中提到了中国安徽合肥滨湖新区科学城案例。尽管如此，由于供热期持续几个月而非全年，如果没有建立储热设施，则在夏季不能使用热泵来帮助减少可再生能源的弃用问题。

在大型热泵的规划、系统设计、施工和运营这些重要因素方面缺乏技术和专业知识，由此影响热泵系统保持高水平的供应安全和高数值的能效比。

而海水源热泵需要仔细规划和使用耐腐蚀材料和设备，以避免从盐水中收集能量的热交换器受到腐蚀。

热泵作为区域供热系统中的集成生产单元依赖于热源。热源的温度、流量、制热量和其它参数将决定其可能的效率。热泵所需的供水温度将取决于热泵供应地区域供热系统的温度水平。热泵需要的供水温度越高，效率越低。因此，降低区域供热管网的温度水平将提高热泵的效率。在丹麦，第四代区域供热 (Lund, et al., 2014) 强调需要降低区域供热系统的温度水平，以适应未来可再生能源比例较高的能源系统，其中大型热泵发挥着至关重要的作用。

3.2.4.2 未来展望

为了更好地利用和储存富余的绿色电力，在能源规划阶段就要考虑到可再生能源电力的使用，通过能源规划与高效的储热设施和能源预测结合，便能够充分利用可再生能源。在丹麦，可再生能源发电占主体，而室内采暖主要由区域供热提供，因此大型热泵正呈指数级增长。一个很好的例子是附录 III 中的斯特乌灵 (Støvring) 案例，其中空气源热泵取代了燃气锅炉。

收集城市污水系统中的热量并以污水源热泵的形式加以利用，是一种高效的供热来源，可在城市地区得到更广泛的应用。在附录 III 的欧登塞案例研究部分提供了丹麦的项目实例。为了规划未来的各行业各部门的互连项目，有必要与城市及其辖区污水规划部门进行协调。

此外，中国还有大量可利用的海洋和地表水源，能够满足季节性的供冷和供热需求。大多数位于沿海的大城市，对供冷和供热的都有很大的能源需求。

3.3 余热高效利用

从全国范围来看，中国发电和工业生产所产生的余热，是国内最为丰富的可利用余热资源之一。随着城市化进程的不断推进以及大城市供热需求的不断增长，在大城市周边充分发挥这种余热资源的作用显得越来越重要。

图 17 (Cleaner heating in Northern China: potentials and regional balances, 2020) 从理论层面呈现了北方城镇地区各省份可利用的不同类型的余热资源和热需求。在图 17 的上半部分，热电联产和工业余热的供热潜力远超过总的供热需求，尤其是在内蒙古、山西和河北等省份。值得注意的是，北京是唯一余热资源相对较少的城市。在图 17 的下半部分，可以清晰地看出，理论上热电联产和工业余热足以满足北方城镇地区包括北京、天津两个直辖市和十三个省份在内的当前供热需求。



图 17. 中国清洁供热资源潜力与北方地区供热需求的比较

在现实层面，热电联产和工业余热利用还存在一些亟待解决的问题。例如，热源（即热电联产和工业余热）的分布与热负荷的地理分布不匹配。解决方案之一是通过长距离传输来实现余热量的输送 (Li, Pan, Xia, & Jiang, 2019)。有研究发现，在传输半径为 150 公里范围内，可以实现供热和需热的匹配。然而，在一些农村地区或地理条件特殊、但热需求高的地区，巨额投资可能成为长输管道建设的巨大障碍。因此，有必要针对每个具体案例的成本效益进行深入评估。虽然热电联产和工业余热在理论上可能足以满足整体热需求，但从经济角度来看，长距离输送的可行性可能不一定成立。

为了充分利用这一巨大资源，需要采取最佳的政策和法规，结合适当的技术解决方案。例如，在一项研究中提到，未来中国热电厂的主要功能是电力调峰，热电联产厂在需要满足建筑供暖需求的同时，兼顾电力调峰的需求。要实现这一目标，当前热电厂的热电联产方式需要从目前的“以热定电”转变为“热电联产” (Yin, S., Xia, J., & Jiang, Y. (2020))。最佳的政策和监管将为电力公司、相关行业以及供热公司创造适宜的市场环境，以更好地应对各种挑战。为了加强余热供暖的利用，有必要建立透明的管理体制，客观反映电力、燃料和供热的实际成本。通过这样的措施，将更容易发挥余热供暖作为节约成本和节能环保手段的潜力，同时也能更方便地跟踪和记录所获得的收益。

3.3.1 热电联产余热

截至 2021 年，热电联产在中国北方热源的占比约达 50%，其中燃煤热电联产占 45%，燃气热电联产占 3% (中国城镇供热协会, 2021)。热电联产技术以其同时高效地供热和发电，被普遍认为是最高效的产能方式。随着烟气治理技术的不断发展，热电联产电厂几乎可以实现污染物的零排放，使其更加环保。在节能减排的时代，热电联产得到了广泛的应用，成为中国北方地区的主要热源。

虽然中国利用热电厂余热的潜力巨大，但为了充分挖掘这一资源潜力，我们需要更加精细的供热规划方法和适当的管理措施。从理论上讲，北方一些省份的余热量足以满足上述大城市的总热需求。这清楚地表明，现有的余热资源可以用来满足更广泛的热需求，从而减少对燃煤燃气锅炉的依赖。

图 18 (Zheng, W., Zhang, Y., Xia, J., & Jiang, Y. (2020)) 显示, 热电厂余热利用潜力最大、资源最丰富的省份是内蒙古、山东、河北和山西。在一些北方省份, 余热潜力远超过城市的热需求。虽然出于空气污染防治的需要, 这些热电厂可能建在远离市区的地方, 但仍然可以通过保温良好的传输管道将热能输送至市区供热。在北京、辽宁、吉林、黑龙江和新疆等省市, 由于余热资源不足以满足当地热需求, 需要进一步建设供热产能以补充余热供热的缺口。对于像北京这样的大城市, 应通过铺设长输管网, 推动周边位于河北的热电厂和工业余热的利用。此外, 使用热泵等电采暖技术也是不错的选择, 这将有助于当地避免进一步的空气污染。

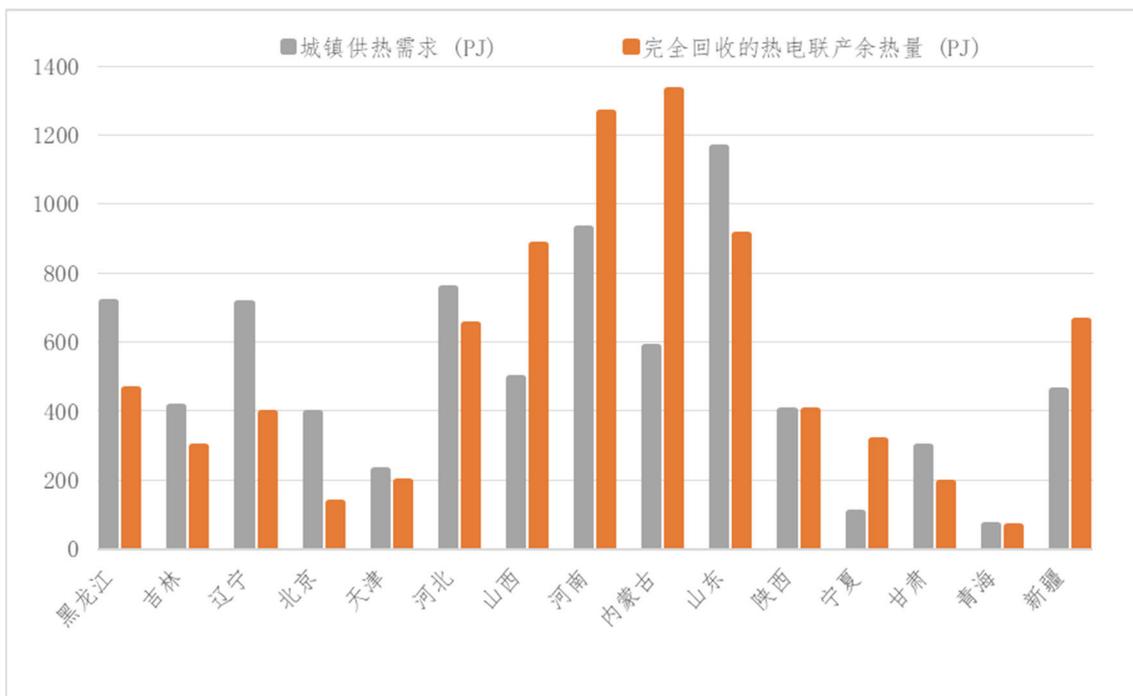


图 18. 热电联产余热量与城镇供热需求当前现状

3.3.1.1 当前现状

为了充分利用热电厂的余热, 在考虑使用锅炉供热, 特别是燃煤、燃气锅炉之前, 有必要尽可能地在基础负荷中最大限度的利用余热资源。在此需要指出的是, 热电厂和热电联产电厂之间存在一个最大的区别, 即其“绿色”程度和能源效率, 这也反映了丹麦的热电联产厂和中国火电厂之间的不同。通常情况下, 传统的热电厂通过燃煤或燃油为电网发电, 并利用作过功的蒸汽(乏汽)向电厂周围用户供热; 而热电联产电厂通常利用清洁燃料, 且在热、电联产配置中是最节省燃料的。

图 19 显示了中国在 2002 年至 2020 年间燃煤发电和供暖的用煤量 (国家统计局, 2020), 以及其在全年用煤总量中的占比。近二十年来, 随着经济增长和城镇化进程的加快, 年用煤量持续增长, 不过自 2015 年起, 其增长开始放缓。这些变化表明, 以煤炭减量和替代为目标的政策取得了一定的成效, 有助于控制空气污染问题。此外, 在这期间, 燃煤发电和供暖的用煤量占全年用煤总量的平均占比分别为 47%和 6.2%左右, 且呈下降趋势。因此, 煤和天然气仍然是中国热电厂的主要燃料, 要实现热电领域的化石能源替代是中国实现低碳目标面临的一项重大挑战。

在大气污染防治与“双碳目标”发展要求下, 中国实施严控新增煤电的发展战略。在此背景下, 一方面, 火电厂正逐渐转型为调峰电站, 为可再生能源发电让路或提供必要保障, 也使得供热电气化成为未来发展趋势。

但在热电联产机组“以热定电”的运行模式下, 尤其是在冬季用电高峰时期, 电、热矛盾愈发凸显。热电机组若发挥最大供热能力, 发电出力不可调节; 若为了满足电力调峰需求而降低发电出力, 供热能力则随之下降。目前国内提出的解决方案是, 热电厂需要改变现有运行模式, 走热电协同之路, 同时电厂需要装配储热设施。

由于国家能源发展政策日益严格, 很多以前只是纯发电并不供热的电厂计划通过改造为热电联产, 与集中供暖系统连接起来。在没有电厂余热供热的城镇地区, 燃煤和燃气锅炉的使用依然广泛, 但总体效率仍有很大的提高空间。中国当前设立了明确的气候目标, 致力于通过治理锅炉和工业领域的污染问题, 从长远角度减少对煤、石油等化石燃料的依赖, 实现能源的独立。

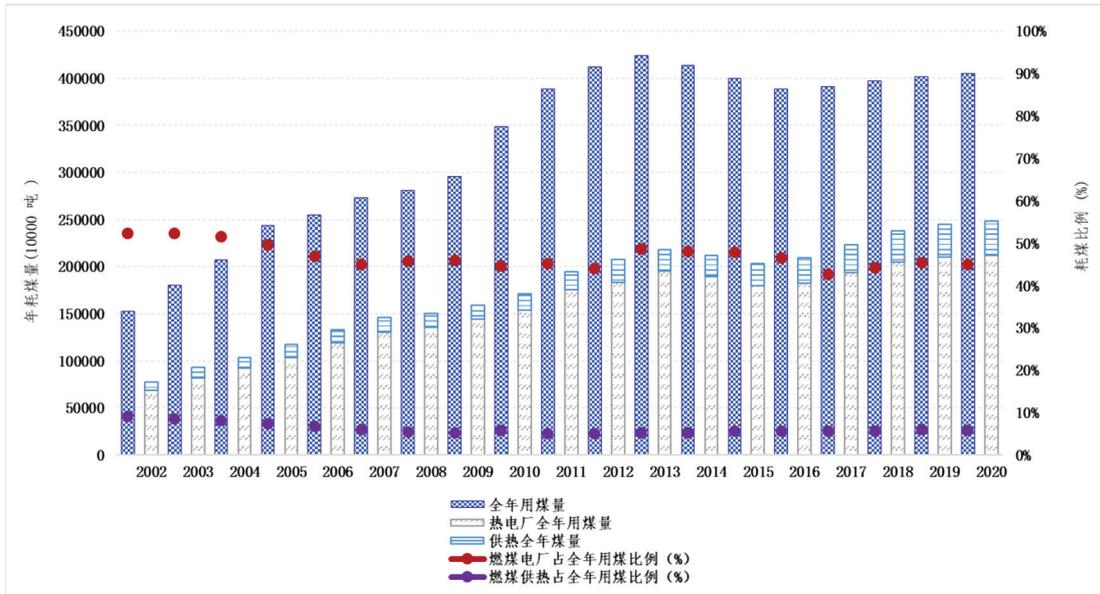


图 19. 2002-2020 年中国燃煤发电、燃煤供热用煤情况

此外，目前并非所有热电生产的余热都得到了充分利用。造成这种利用不足的一个因素是供热管网内的水力容量不足，这种不足是指管道有效输送热载体的能力有限，管网没有经过优化设计来保证与热需求一致的供热。此外，供暖系统中的温度会每日波动，且会随季节变化，电力需求量也是如此。

热能能够经济有效地被储存，但电力储存则不可行。理想情况下，应有灵活的储能系统，可以根据需求在最大热量和最大电力之间进行输出调整。因此，有必要建设大型的储热设施，以便将热电联产的余热储存起来，按需使用。

这些数据和信息表明，中国能源转型蕴藏着巨大潜力，中国能源转型的成功将不仅在国内乃至全球范围内引发深刻变革。

3.3.1.2 未来展望

在规划未来集中供暖时，必须将来自热电联产电厂的余热以及工业余热视为核心供暖资源。到 2060 年，中国北方城镇供暖面积预计将达到 200 亿平方米，其中集中供暖面积占 80%，即 160 亿平方米 (江亿，清华大学，2022)。在一份 2060 年低碳供暖路线图中 (Xia Jianjun, Tsinghua University, 2021)，利用热电联产和工业余热被明确列为首要热源，其中，热电联产余热被视为主要热源，其次是来自钢铁、冶金、化工等行业的工业余热。

尽管中国大多数集中供热系统是围绕大型集中式热电联产电厂进行设计和规划的，但供热系统中仍然存在大量分散式锅炉房。这些锅炉房通常以煤和天然气为燃料，导致供热生产成本比利用热电联产的余热更高。因此，有必要进行系统优化和运营改进，以最大程度地利用余热，提高余热利用水平。

随着燃煤热电厂将在未来退役，有必要考虑如何覆盖未来的基础负荷。满足未来基础负荷的最合理方式是供暖行业的电气化，其中由可再生能源电力供电的热泵和电锅炉将成为主要热源。在大型供热管网中，应在管网的不同部位完成相关管线和设备的安装建设，以保持供热的最佳水力状况。

为了提高热电联产电厂的灵活性，有必要建设配套的储热设施。在丹麦热电联产系统中的储热设施被称为“储热罐”，它是现代热电联产系统中的重要组成部分，主要利用水对热量进行短期储存，例如 1-3 天。实际上，在丹麦，所有的热电联产电厂都配备了储热罐。大型储热罐允许电厂在周末完全停运时仍能正常供热，因为此时电价通常低于工作日。储热罐可以弥补日间负荷在热需求上的变化（主要由夜间降温引起），从而减少负荷高峰期的频繁启停以及使用更昂贵热源。

此外，储热罐还可以降低集中供热系统对峰值负荷能力的需求。在低电价时段，如夜间，可以以较低成本用电产热并储存在储热罐中。随后，在电价高的时段，如早上，可以通过储热罐来供热，使电厂更多发电。这使得热电联产可以在最佳的热电比下运行。在电力短缺时段，电厂全部发电而暂停供热生产，由储热罐供热。

储热罐提升了热电联产电厂的灵活性，调节了城镇能源系统的供需失衡，为电、热部门的协同耦合奠定了坚实的基础。

3.3.2 工业余热利用

中国作为世界上最大的工业生产国，工业能耗占总能耗的近 2/3。在当前的工业生产过程中，能量的大量散失主要由冷却塔和冷却风扇造成。这种余热散失过程导致工业领域水、电消耗巨大。

工业节能与清洁供暖是节能环保的两个方面。显然，工业余热能满足居民供暖的巨大能源需

求，利用工业余热供暖是非常有利的，并能够解决多个问题。清华大学的研究表明（Tsinghua University Building Energy Efficiency Research Center, 2017），如果大规模利用工业余热，它可以满足中国北方地区高达70%的热需求。此外，研究还表明，如果工业余热处在距离市区30公里半径的范围内，其便可作为可利用的热源。

根据2020年的统计数据（Huajing Information Network, 2021），工业余热资源分为六大类，来自高温烟气和冷却介质的余热分别占50%和20%。相比之下，其他来源包括废水和废气，占11%；化学反应余热、可燃废气、废液和废热占7%；高温产品和炉渣占4%。

在工业余热资源分布方面，图20显示了中国七大高耗能产业（Insight Research Institute, 2021），反映了中国工业余热的应用潜力。在上述七大产业的余热资源可开发利用潜力方面，在前六名的省份分别是河北、江苏、山东、辽宁、山西、河南。

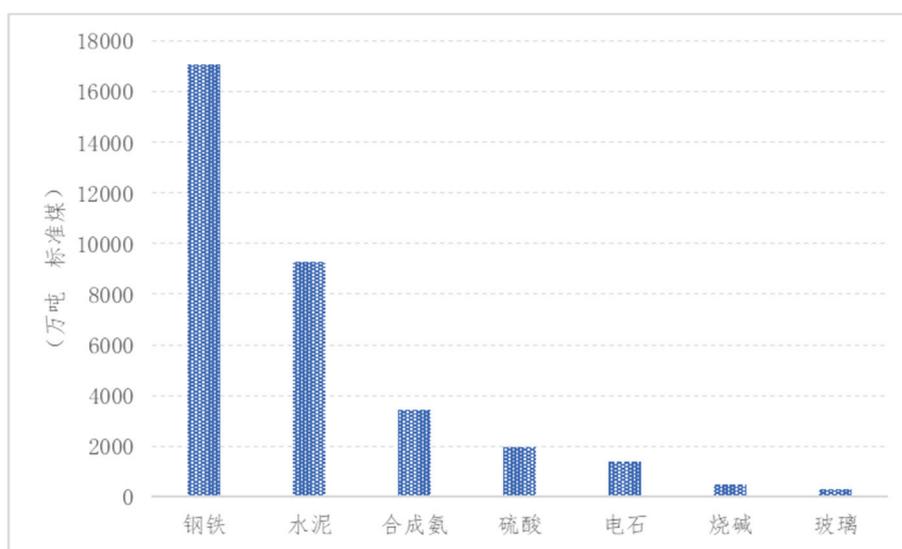


图 20. 七大能源密集型产业余热资源⁵

2015年10月，国家发改委和住建部印发了《余热暖民工程实施方案》（见附件I），其中提到，有关地区要全面调查并掌握余热资源利用情况，优化和促进余热利用。方案的目的是提高能效，充分回收利用低品位余热资源，降低煤炭消耗，改善空气质量，缓和城镇化进程中快速增长的供热需求（包括供热和生活热水）与环境压力之间的矛盾。在此政策支持下，2017年余热项目达到

⁵注意：y轴是100,000，而不是1,000,000。

历史最高水平，主要集中在河北、山西、山东等工业大省。

3.3.2.1 当前现状

中国对工业余热的利用尚处于起步阶段。“余热暖民工程”的最终目标与中国目前的余热供暖科学发展水平之间的差距概括如下：

有迹象表明中国缺乏必要的工业余热资源官方统计数据。为了提高工业余热的利用率，政府主管部门可能需要制定相应法规，敦促各工业企业上报可利用余热的相关数据。既要收集生产数据，也要收集生产过程中的介质参数、热流量和余热利用数据。这些数据要尽可能详细，覆盖面要广。

大型企业及众多小工厂都应该被纳入统计范围内。为保证数据的准确性，必须进行抽样检查。准确的数据可以帮助推进余热利用的发展。数据可以突显其利用潜力，并可作为评估其成本、利润及社会环境价值的基础。结合空间规划，还可以进一步与供热规划相结合，更好地支持供暖领域的开发。

建立余热利用科技指导体系。目前，中国余热回收供暖项目虽多，但技术规范和评价标准尚未建立。通过对现有项目的评估和比较，可以选择一个示范项目作为样板。此外，财政部门需要尽快提供资金，鼓励相关技术比如余热收集和高效传输技术的发展。

在项目运作和市场机制方面，需要加快推进工业余热发展。应鼓励余热利用项目运行机制的创新探索，如公私合营（PPP）、清洁发展机制等。需要出台相关政策鼓励工业企业与供热企业合作。

高效利用余热的另一个障碍是缺乏可行的供热规划，能够将当地的余热资源与可再生能源及储热资源有效地结合起来。由于工业余热供应具有不稳定性，可能无法保持恒定的供热，因此需要一个良好的规划机制，利用储热来平衡可能出现的供热不规律性。

此外，仍有些问题有待改进。例如，如何改善潜在的余热供应商与热力公司的沟通机制，以便共同完成项目并从中获益。同时，还应探索与项目运营相关的成本和任务的共担模式。

3.3.2.2 未来展望

根据《余热暖民工程实施方案》进行估算，到 2026 年，中国工业余热资源的潜在利用价值将达到 2,930 亿元人民币。

为了实现供热的清洁、安全、高效发展，有必要改变当前的热源模式，充分发挥钢铁、有色金属、化工、炼油等行业产生的余热潜力。

在中国，为余热资源利用建立明确的管理体制可能会带来很多益处。有可能激发政府主管部门、热力公司及有余热资源的企业实施余热暖民工程的积极性。

从监管角度来看，还可以重新审视和重新评估热定价机制，以便为能源和供应公司创建一个更透明的定价模型，从而有助于支持工业余热利用的发展。

工业余热回收，尤其是在低温条件下，需要先进的工艺。附录 III 中描述的大哥本哈根公用事业公司 HOFOR 和诺维信等丹麦区域供热案例表明，对于余热低温供热，则余热收集提取是至关重要的技术。低温供热还需要供暖系统有高效的输送和配送管网，以及热需求较低的高效节能建筑。因此，低品位余热的利用需要将热源、热网和末端用户作为一个整体来综合考虑。同时，应保持余热生产能力，以确保稳定的供热。此外，由于热电厂通常远离当地的供热需求，还应考虑中长距离传输的技术要求和成本。

通过统筹供热规划工具和手段，思考多种热源模式的协调发展。北方大部分地区有潜力用工业余热取代不清洁、低效的热源。同时，应将电力、热力、天然气统筹考虑，推动热、电、天然气的协调规划和发展。

3.4 提高能效

为了提高供热系统的整体能效，规划者和决策者必须站在终端用户的角度，使供能多少由末端消费的实际需求驱动。系统供能由特定时间的实际热需求及其在一天中的变化来确定。优化用能有助于提高整个能源系统的效率，并确保能源得到最佳利用。从优化能效中获得的好处包括但不限于：

- 提高产热效率和优化单位能源的输出量

- 减少系统尤其是管网的热损失
- 通过使用热计量优化用能，减少因过度使用而造成浪费，并降低末端用户回水温度
- 优化系统水力工况，减少系统内的压力损失，为更大流量留出空间
- 通过提高系统水容量，可以降低热源的供热温度，从而进一步减少管网热损失

整体效率不仅关系到热用户和能源公司的经济利益，而且由于减少了化石燃料使用量或优化了额定负荷值，环境和气候条件也会得到改善。

区域供热系统能效的改进会提高系统的供热能力，从而使原有系统的扩容成为可能，如为新的区域提供供热服务。

3.4.1 降低回水温度

降低回水温度对区域供热系统至关重要，能够提高产热效率，特别是在热电联产电厂。回水温度越低，供、回水温差越大，能有效提高换热器的效率和系统的整体效率。此外，较低的回水温度也意味着输配管网的整体温度较低，从而减少了传输过程中的热损失。因为从管道到周围环境的热损失率与管道和周围环境之间的温差成正比。此外，区域供热系统中较低的回水温度可以更好地整合可再生能源，使一系列低品位热源得到更有效的利用。

在丹麦，区域供热系统为确保回水温度保持在较低水平，采用了多种措施，以提高整体系统效率和促进可再生能源的整合，例如：

- 改善建筑物保温和升级建筑物内的供暖系统，使其在较低温度下有效运行；
- 利用高效热交换器和先进的换热站控制策略，根据实时需求精确调整热量供给；
- 在二次管网变流量运行，减少循环水量；
- 使用先进的控制系统，根据室外温度预测和当前需求优化供水温度；
- 鼓励消费者在非高峰时段或可再生能源可用性高时用热，以平衡系统并保持较低回水温度；
- 整合储热方案，供给侧与消费侧分离，充分利用余热，并在低需求期间降低回水温度；
- 将网络划分为不同供应温度的区域，使不同供暖要求的区域能够在最佳温度下接收热量；
- 向热用户宣讲保持低回水温度的重要性，以及其行为如何影响系统效率。

安装必要的控制装置可以确保水流不会太快流到回水管中，从而使更多的热可以在终端用户

处得到吸收利用。一些户内供热系统甚至配有循环泵和三通阀，通过水在系统中的循环来提供更多热量，确保供热系统在末端更高效运行。

这些措施有助于提高丹麦区域供热系统的整体效率和可持续性，与丹麦的国家能源效率和碳中和目标保持一致。目前，中国集中供暖系统测得的回水温度被认为相当高，这意味着户内供热系统的效率有待提升。

3.4.1.1 当前现状

目前户用供热系统的设计参数有待完善。换热站或者没有安装调控措施，或者安装的阀门无法调控而很难降低回水温度。

特别是一些没有安装差压调节设备的用户，系统供水流速过快导致无法有效换热。

供水温度设计通常过于保守，远远高于消费者的实际需求。降低供水温度的方法尤其有助于降低回水温度。

3.4.1.2 未来展望

通过使用有效的控制措施及高效的设备取代老旧和低效的装置，能够提高末端用户的供回水温差水平，进而能够有效降低回水温度。

末端用户的行为能维持供热系统的高效运行。如，在末端调控设备到位的供热系统，避免把供热设备的挡位设定太大而过度用热；避免开窗而造成非必要的热量损失。解决这个问题的有效方法是使用散热器恒温阀。散热器恒温阀可以根据室内温度自动调节，这样消费者便具备了调整用热水平的手段。此外，在安装各种必要调控设备以提高效率的同时，可以通过反映消费者实际用能的费率来激励热消费者的节能行为。

对任何供热系统来说，理想的条件是降低和保持尽可能低的回水温度。通过热消费者的行为节能，消费者可以节省在供暖费上的花销，而热力公司则可以在确保降低系统能量损失的同时，提高系统用能效率。

3.4.2 热计量收费

对于热计量系统而言，测量末端用户的能耗水平是必要的，因为通过热计量能够了解用户的

用能模式，同时为未来能效措施的建立提供依据。为了更好地了解末端用户的消费模式，可以通过安装热表等装置从用户处获得测量数据。测量数据应包括如供热量、流量及供回水温度等参数。

数据库也是热计量系统的重要组成部分，其能够存储测量数据，提供记录值以满足未来可能的用途。这些测量数据有助于热力公司掌握末端用户的异常情况并制定提高能效的方案。

在中国，建筑耗热量大多数是根据供暖面积（平方米）和用户类别按统一费率的固定价格来收取。目前尚且没有激励热消费者自主节能的措施，但这可以通过基于实际能耗的热计量和计费系统来实现。

在丹麦，热计量和计费系统已得到进一步发展，过低的供回水温差能够帮助判别出末端用户的换热水平过低或用能效率不佳，则其热费账单会收取额外费用，以激励消费者对末端装置进行升级改造。随着热计量计费系统的不断升级，热消费者能及时跟踪到所在建筑的能耗水平，并看到通过消费行为改变而带来的节能效果。

3.4.2.1 当前现状

在中国的热改期间，为了推动基于实际用热计费的机制，住建部于 2009 年发布了《供热计量技术规程》（住建部，2009），介绍了基于供热系统末端的多种热计量方法，以匹配中国多样化的供热系统类型。然而需要指出的是，热计量和按实际消耗计费的重要前提是供热系统已经建立了热力和水力平衡，能够实现供热与需求的匹配，从而提高供热系统的效率。要实现供热系统的水力平衡，必须要有可控和可测的调控装置来检测、分析和调整相关参数，如系统流量、温度、压力等，从而了解整个系统的运行情况，避免过量供热或供热不足。

中国的供热系统通常是计划供热方式，以保证建筑物在一定的室外温度时，达到标准室温。中国现行的集中供热系统通过大型换热站连接水力距离不同的各种建筑物。由于缺乏必要的调控措施，各个建筑物无法获得刚好所需的热量，因而造成个别建筑物过量供热，而有些供热不足。或者热力公司安装了静态调节装置，而无法应对末端实际热需求的不同带来的动态变化。

为了提高能效，系统要从供给驱动转向需求驱动。这意味着要调整供热系统，增加必要的调控措施，建立系统的水力平衡以匹配各种末端的实际热需求。

此外，没有自动调控装置，就无法测量供热量、流量和温度，很难了解供末端消费水平。这一点对于建立基于实际能耗而计费的供热系统非常必要。温度值无法获取，则很难在末端用户层面进行优化以获得更好的水力平衡工况，也就难以降低回水温度，提高系统效率。

3.4.2.2 未来展望

能效措施能有效缓解建筑物供热需求紧张的局面。提升能效的措施包括优化新建筑物能效，对现有建筑的供热系统进行改造，加大热计量部署，实现水力平衡等。

此外，为末端用户提供自控设备可以激发其自主行为节能。热力公司也可以与热用户建立有效的沟通机制，邀请其参与节能计划，实现双向节能，达到共赢。

3.5 中国集中供热现状与未来展望的对比分析综述

本章分析的要点围绕 11 个主题展开，这些主题是由参加了小组讨论及相关调查活动的中丹清洁供热专家们共同选出的，他们对每个主题都进行了比较。

所选主题分为四大类，如以下概述所示：

1. 能源规划

1) **供热规划**。供热规划。为了促进区域供热向清洁和可再生能源供热的过渡，中国可以借鉴丹麦在整体战略供热规划方面的经验，该规划依赖于同时考虑当地条件和整体能源系统和政策的工具。

2) **热需求预测**。热需求预测是一种灵活的工具，可用于供热规划和日常运营优化。在中国，热需求预测并未得到广泛应用，而软件应用程序在丹麦已经普遍使用。部署热量预测方案的好处是，它可以充分利用当地的清洁能源，同时提前规划供应系统中未来的供热需求。

3) **储热**。开发季节性储热的节能技术在丹麦应用越来越普遍，而在中国却尚未达到应有的规模。当区域供热管网中的消费者热需求较低时，此类技术可以存储多余的热能，例如存储来自可再生能源的余热，来自热电联产工厂和工业的余热。

2. 可再生能源供热

4) **地热供热**。资料显示，中国地热资源丰富，包括浅层地热、水热型地热和干热岩；此外，国家政府近年来也出台了促进地热利用的相关政策，表明中国地热资源开发潜力巨大，前景广阔。这是开展国际合作，从其他国家（如丹麦）的实际案例中获得经验教训来克服技术瓶颈的良好基础。

5) **太阳能供热**。中国太阳能资源丰富，政策利好，太阳能区域供热应用前景广阔。丹麦作为大型太阳能区域供热的全球领导者，可以分享其经验教训，以加速中国太阳能区域供热市场的成熟。

6) **生物质供热**。中国拥有丰富的生物质资源，可以将现有的燃煤电厂改造为生物质电厂。改造燃煤热电厂，用生物质替代燃煤锅炉，是丹麦实现“燃煤发电”和“化石能源供热”转型的关键，如今，丹麦可再生能源利用的最大比例来自生物质。

7) **大型热泵**。为减少中国供热行业的二氧化碳排放量，实现承诺的2060年实现碳中和的目标，未来几年，可再生能源并网、余热高效利用有望采用大型热泵等技术。这些技术近年来在丹麦蓬勃发展，中国可以从丹麦在这一领域的经验中受益。

3. 余热高效利用

8) **热电联产余热**。在中国，热电联产电厂的余热可用于满足更多的供热需求。未来规划集中供热时，应将热电联产的余热作为重要的供热热源之一。将热电联产余热利用与蓄热利用相结合将增强热电联产电厂的灵活性，促进电力和供热部门的耦合。

9) **工业余热利用**。中国是世界上最大的工业生产国，工业部门的能源消耗占总量的近2/3。大量的热需求可以与目前很多尚未利用的工业过程的余热相匹配。

4. 提高能效

10) **降低回水温度**。中国的集中供热系统回水温度被认为相当高，这意味着建筑或户内供热系统的效率不是很高。包括自动控制装置、智能换热器和温控阀在内的综合水力热力平衡评估和实施方案在国内尚需推广。在丹麦，户内的高效供热装置降低了回水温度，从而提高了供热效率。相关的能力建设可以确保中国户内供热系统的正确设计参数，以

便正常运行期间，降低回水温度，保持高效供热。

11) **热计量和计费系统。**在中国，热消费者的用热量不是根据实际耗能水平进行衡量，因此难以观察耗热情况和实施基于实际消费的计费系统。在大多数情况下，耗热量根据供暖面积和用户类别以统一费率固定价格计费。在丹麦，建立了一个完全激励的收费制度，消费者可以通过更有效地用热来获得回报。

4 政策建议

丹麦能源模式的一个重要特征是关注各行业和各系统之间的相互作用，建立协同效应，而不是专注于单个行业或概念。公私合作，加上稳定的政策和监管框架，通过公有制和非盈利原则降低供热基础设施的垄断性质，促进了能源概念的重要创新和突破，同时提供安全的投资环境，确保区域供热的公平竞争环境。丹麦能源模式有三个要点：能源效率、可再生能源、系统集成/开发和电气化。这三者之间彼此相辅相成，一致整合至关重要。

- 1) 提高能源效率使可再生能源满足能源需求成为可能，否则可再生能源的初始成本会高得离谱。
- 2) 综合能源系统能够有效平衡可再生能源与传统能源的利用、储存及余热回收的关系，确保能源供应安全。
- 3) 热电联产和区域供热电气化的大规模发展，促进了丹麦能源体系中高比例风电和光电的消纳。

通过实施关键政策，可以弥合中国供热行业与清洁、高效、安全的供热系统之间的差距，这些政策将催生出新的方法、标准、程序和技术，从而促进清洁和可再生能源区域供热的发展、以及实现高效的热分配、优化供热量与需求量。首先，要建立国家供热立法框架，确保国家能源政策的实施。其次，在各级政府部门实施战略供热规划。第三，鼓励使用当地可再生能源和清洁能源作为热源。最后，热源处的产热量优化应以终端需求量为导向。

建立健全供热相关法规

丹麦的《供热法》为按照最佳经济社会效益建设区域供热明确了法律框架，40多年来在丹麦区域供热监管中一直扮演着非常重要的角色。中国可借鉴这一成功经验，制定国家供热法规，确保国家能源政策的贯彻落实，为省级供热管理条例提供更好的法律支持，也为地方供热规划的全面实施奠定法律基础，从而解决现代区域供热系统高而复杂的管理要求所带来的挑战。

采用统筹供热规划方法

丹麦的经验证明，通过缜密的供热规划，利用电厂或其他热源的几乎免费的余热，建设区域供热管网是可行的。要建立一个更节能、更灵活的能源系统，需要统筹电力、热力、天然气和工业各个行业，并充分利用区域供热系统的好处，即区域供热系统可以灵活、广泛地利用本地资源，

而独立或单体供热则不具备这种广泛利用各种能源的优势。

中国需要统筹供热规划方法，这包括对潜在供热方案的长期社会经济和环境影响进行评估，对成本效益进行分析，听取投资方意见，制定经济激励措施鼓励绿色节能解决方案以实现节能、气候和环境目标。

考虑到热源和供热需求的地方特点，中国应该在国家层面制定“供热规划指导意见”，鼓励地方按照“指导意见”，因地制宜制定地方供热规划。地方政府主管部门在清洁供热方面应发挥关键作用。中国幅员辽阔，各省区域供热系统可利用的资源 and 现状千差万别。该“指导意见”应强调基于社会经济评估的成本效益解决方案的重要性，并明确供热公司和地方政府主管部门之间的权利和责任。

实施促进区域供热体系转型的政策和激励机制，鼓励利用当地清洁热源，降低对煤炭和天然气的依赖

中国应加快推动清洁与可再生能源供热成为集中供热的主要热源。这种发展应该从广泛的角度来规划和实施，并考虑到当地的资源禀赋和潜力。能源政策应确定可再生能源和清洁供暖发展的目标，并通过经济措施激励推动实施。在支持机制方面，可以借鉴丹麦行之有效的政策工具，比如：对化石燃料征税（例如对非区域供热征收碳税），对可再生能源和清洁供暖技术或关键技术给与补贴，例如补贴可再生能源电力与供热耦合的大型热泵和储热技术。区域供热的绿色转型应该与电力系统的绿色转型协同起来，区域供热系统可以有效提高整个能源系统的灵活性，并提升可再生能源的消纳。

制定一致的监管框架，优化热能生产和高效的终端消费

有关区域供热和能源效率的能源政策应综合考虑信息、规范和经济措施，平衡供热基础设施投资与节能之间的关系。丹麦的能源政策协议包含了一系列措施，涵盖可再生能源、能源效率以及整个能源系统。近年来，丹麦着重扩建了区域供热管网，提高了可再生能源在供热中的比例，用热泵替代了老旧的燃油或燃气锅炉，提高了新建建筑的能效标准，并加快了现有建筑的节能改造进程。需求侧管理是实现区域供热系统绿色转型的关键。丹麦通过供热计量和计费系统与降低回水温度挂钩的奖励性热计价等激励政策鼓励用户节能的行为。中国需要完善反映市场供需关

系的定价机制，结合实际消费数据，激励消费者节能增效。

为进一步落实这些政策建议，根据中丹清洁供热战略行业合作项目，双方将联合举办“从黑色（化石能源）到绿色（可再生能源）区域供热转型路径研讨会”以及“电力和供热市场耦合研讨会”。

持续开展知识共享，进一步支持中国清洁供暖转型

《中国清洁与可再生能源供热发展前景分析报告-丹麦经验启示》是丹麦能源署、水电水利规划设计总院和中丹清洁供热专家组共同努力的成果，为两国政府主管部门、研究机构和企业之间持续开展知识共享奠定了坚实基础。双方将联合举办主题研讨会，开展培训、交流考察等能力建设活动。为了提供更合理的政策建议，我们建议在中国省级或市级层面开展清洁与可再生能源供热规划路线图的联合研究。

已成立的中丹清洁与可再生能源供热合作中心将继续开发培训材料，举办能力建设活动，重点关注可再生能源和先进供热技术的高效利用。

5 结论

本文分析了中国和丹麦的供热现状，并对重点领域展开深入研究，希望借助丹麦经验的启发，探索未来中国实现清洁供热的可行解决方案。在此基础上，本报告也为中丹合作提出了相关建议，即双方开展的交流合作应有助于促进这些解决方案的实施，根据中国政府制定的双碳目标，为中国清洁与可再生能源供热发展创造良好的条件。

虽然中国和丹麦在集中供热方面都有很丰富的经验，但历史上实施的供热政策存在显著差异，因此，导致了中国和丹麦在供热方面的特点和条件存有很大不同。该对比分析确定了十一个重点领域，这些领域可以借鉴丹麦区域供热的最佳实践，为中国实现清洁供热提供解决方案。

通过实施战略性供热规划和关键政策，可以弥合中国当前集中供热状况与未来清洁、可再生能源供热条件之间的差距。这将促进新方法、新标准、新流程和新技术的应用。由于中国各省发展阶段不一，可以针对各省实际情况，通过开展调研、能力建设活动，在省级层面提供定制化支持。

反过来看，中国集中供暖取得的进步及开展的项目对丹麦区域供热的未来发展也有借鉴意义。预计到 2030 年，丹麦区域供热将几乎实现百分百可再生能源供暖。这将主要得益于快速发展的大型热泵而带来的供热系统电气化，太阳能供暖和地热供暖的持续发展，以及工业余热的高效利用。

中丹清洁与可再生能源供热合作中心的成立，以及 2023 年 3 月 1 日启动的中心网站将成为促进双方交流合作的平台。中丹清洁与可再生能源供热合作项目将在 2025 年 10 月之前开展一系列能力建设活动，以支持中国推动实施相关行动，助力中国向清洁供暖转型。

参考文献

- 中华人民共和国中央人民政府. www.gov.cn.
- 国家能源局.<http://www.nea.gov.cn/>.
- 中国国家统计局. www.stats.gov.cn/.
- 中国国家统计局. (2020). 年中国城市统计年鉴
- 中国住房和城乡建设部. (2022). 中国城乡建设统计年鉴
- 中国电力企业联合会. (2022). 中国电力统计年鉴
- 水电水利规划设计总院. <http://www.creei.cn/>
- 水电水利规划设计总院. 2021 年中国可再生能源发展报告.
- 丹麦能源署.<https://ens.dk>
- 丹麦能源署. (2020). 生物质能分析.
- 丹麦能源署. 2020 年丹麦能源统计数据
- 丹麦能源署.2021 年丹麦能源统计数据丹麦气象研究所(DMI). (2023)
<https://www.dmi.dk/>.城镇供热协会. 2021 年中国城镇供热发展报告.
- 中国住房和城乡建设部. (2009). 供热计量技术规程
- 中国住房和城乡建设部和中国质量监督检验检疫总局. (2017) GB 50176-2017:民用建筑热工设计规范
- 中国住房和城乡建设部. (2022) CJJ34-2022: 城镇供热管网设计标准
- 中国住房和城乡建设部. (2018) CJJ26-2018: 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准
- 江亿, 清华大学. (2021)中国建筑领域的绿色低碳转型
- 前瞻产业研究院(2021). www.qianzhan.com/.
- 华经情报网 (2021). www.huaon.com.
- Dahl, M., Brun, A., Kirsebom, O. S., & Andresen, G. B. (2018). Improving Short-Term Heat Load Forecasts with Calendar and Holiday Data. *Energies*.

Huang, J., Fan, J., & Simon, F. (2019). Feasibility study on solar district heating in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Li, Y., Pan, W., Xia, J., & Jiang, Y. (2019). Combine heat and water system for long-distance heat transportation. *Energy*.

Lund, H., Sven, W., Robin, W., Svend, S., Jan Eric, T., Frede, H., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable. *Energy*.

Solar District heating. (2022). Solar District Heating. Retrieved from Solar District Heating: <https://www.solar-district-heating.eu/>

<https://iea-es.org/>. (2022)

United Nations Environment Program. (2015). *District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy*.

Xia Jianjun, Tsinghua University. (2021). Overview of district heating and cooling in China.

Yin, S., Xia, J., & Jiang, Y. (2020). Characteristics Analysis of the Heat-to-Power Ratio from the Supply and Demand Sides of Cities in Northern China. *energies*.

Zhang, L., Zhang, S., & Chen, C. (2019). Geothermal power generation in China: Status and prospects. *Energy Science & Engineering*.

Zheng, W., Zhang, Y., Xia, J., & Jiang, Y. (2020). Cleaner heating in Northern China: potentials and regional balances. *Resources, Conservation & Recycling*.

Tsinghua University Building Energy Efficiency Research Center, 2017

附录

I. 中国集中供热政策概述 (2005-2022 年)

年份	主要部门	文件名称	关于集中供暖的主要内容
2004	国家发展改革委	《节能中长期专项规划》	按热计量收费 (大中城市)
2005	中华人民共和国	《可再生能源法》	允许生物质热力并入供热管网
2006	国务院	《关于加强节能工作的决定》	加快城镇供热商品化、货币化; 加强供热计量, 推进按用热量计量收费制度
2006	财政部	《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》	支持使用可再生能源 (包括热泵) 的供暖和制冷技术
2007	国家发展改革委	《能源发展“十一五”规划》	从分散锅炉到集中供热; 新热电联产的节能标准
2007	国家发展改革委、建设部	《城市供热价格管理暂行办法》	允许非公有资本参与供热设施投资、建设与运营; 热价由地方政府制定; 具备条件的地方, 热价可以由热力企业与用户协商确定
2010	国务院	《关于推进大气污染防治联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》	在地级城市市区禁止建设除热电联产以外的火电厂; 积极发展城市集中供热, 提高城市集中供热面积, 加强集中供热锅炉污染物排放综合污染防治工作
2013	国务院	《能源发展“十二五”规划》	积极推广天然气热电联产; 加快城市供热管网节能改造
2012	国家发展改革委	《关于开展燃煤电厂综合升级改造工作的通知》	支持燃煤电厂供热改造项目
2012	住建部	《“十二五”建筑节能专项规划》	聚焦热计量和供热管网的改造
2013	国务院	《大气污染防治行动计划》	整治燃煤小锅炉, 加快推进集中供热
2013	国家发展改革委、住建部	《绿色建筑行动方案》	“十二五”期间, 完成北方采暖地区既有居住建筑供热计量和节能改造 4 亿平方米以上; 实施北方采暖地区城镇供热系统节能改造; 深化城镇供热体制改革
2013	国家能源局、住建部、财政部、国土资源部	《关于促进地热能开发利用的指导意见》	在资源允许的情况下, 加大地热能的开发以促进城市能源和供热的发展

年份	主要部门	文件名称	关于集中供暖的主要内容
2014	国家发展改革委、环保部、国家能源局	《煤电节能减排与升级改造行动计划(2014-2020年)》	300兆瓦以上燃煤机组的排放标准；集中供暖取代分布式锅炉；余热利用
2015	国家发展改革委、住建部	《余热暖民工程实施方案》	到2020年，用低品位余热替代燃煤供热20亿平方米；选择150个示范市（县、区）实施余热暖民示范工程
2015	国家能源局	《关于开展风电清洁供暖的通知》	推进大气污染防治，探索风电清洁供暖
2016	国家发展改革委、国家能源局、财政部、住建部、环保部	《热电联产管理办法》	根据城市规模制定热电联产电厂规范
2016	国家发展改革委、国家能源局	《能源发展“十三五”规划》	热电冷联产和生物质热电联产的推进；地热；低品位余热
2016	国家发展改革委、国土资源部 ⁶ 、国家能源局	《地热能开发利用“十三五”规划》	向地热能公司开放供热市场准入；地热供暖/供冷开发目标
2016	国家发展改革委	《能源供给与消费革命战略（2016-2030年）》	区域能源和生物质供暖的发展
2017	财政部、住建部、环保部、国家能源局	《关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作工作的通知》	根据城市规模，重点为“2+26”城市清洁供暖试点项目提供5亿至10亿元中央财政补贴
2017	住建部	《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》	到2020年，城镇新建建筑节能水平比2015年提升20%；实施可再生能源清洁供暖工程，全国城镇新增太阳能光热建筑应用面积20亿平方米以上，新增浅层地热能建筑应用面积2亿平方米以上
2017	国家发展改革委	《关于北方地区清洁供暖价格政策的意见》	遵循“企业为主、政府推动、居民可承受”的方针
2017	国家发展改革委、国家能源局、住建部等10个部委	《北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021年)》	到2019年和2021年，北方地区清洁供暖率分别达到50%和70%，分别替代散烧煤7400万吨和1.5亿吨（含低效小锅炉用煤）

⁶国土资源部，现更名为自然资源部

年份	主要部门	文件名称	关于集中供暖的主要内容
2020	国务院	《关于新时代推进西部大开发形成新格局的指导意见》	新时代下能源领域形成新格局，推进煤炭分级质梯级利用，加强可再生能源开发利用及储能的发展
2020	财政部	《清洁能源发展专项资金管理暂行办法》	专项资金用于可再生能源和化石能源的清洁发展和利用
2020	生态环境部	《京津冀及周边地区、汾渭平原2020-2021年秋冬季大气污染防治综合治理攻坚行动方案》	2020年采暖季前，着力开展以电代煤、以气代煤，推进散煤治理，保障能源供应。
2021	国务院	《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	《意见》是一项全局性和长期性的指导方针。其在碳达峰和碳中和的1+N政策体系中起主导作用，与《2030年前碳达峰行动方案》共同构成了贯穿碳达峰碳中和两个阶段的顶层设计。“N”包括多个细分行业的碳达峰实施方案，以及相关的支持、保障、资金、标准、考核等。
2021	国务院	《2030年前碳达峰行动方案》	因地制宜做好可再生能源供暖规划，推广地热供暖、生物质供暖、太阳能供暖、风电供暖等多种可再生能源供暖技术
2021	国家能源局	《关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》	优先改造存在安全隐患的水、电、气、热等设施
2021	国家发展改革委、住建部	《关于加强城镇老旧小区改造及配套设施建设的通知》	
2021	生态环境部、国家发展改革委、国家能源局等10部委和相关七省（市）	《2021-2022年秋冬季大气污染防治攻坚行动方案》	在“2+26”城市基础上，增加河北、山西、山东、河南等省的部分城市。以区、县、镇为单位推进清洁供暖。
2021	国家能源局	《关于促进地热能开发利用的若干意见》	到2025年，地热能供暖（制冷）面积比2020年增加50%，到2035年，地热能供暖（制冷）面积比2025年翻一番。
2021	国务院	《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》	有序扩大清洁取暖试点城市范围，稳步提升北方地区清洁取暖水平；京津冀及周边地区、汾渭平原持续开展秋冬季大气污染综合治理专项行动；东北地区加强秸秆焚烧管控和采暖燃煤污染治理。
2022	国家能源局	《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》	到2025年，初步建立起较为完善、可有力支撑和引领能源绿色低碳转型的能源标准体系，六大主要任务包括：大力推进非化石能源标准化，加强新型电力系统标准体系建设，加快完善新型储能技术标准、加快完善氢能技术标准、进一步提升能效相关标准、健全完善能源产业链碳减排标准。

年份	主要部门	文件名称	关于集中供暖的主要内容
2022	国家发展改革委、国家能源局	《可再生能源发展“十四五”规划》	到2025年，地热能供热、生物质供暖、生物质燃料、太阳能热利用等非电能利用规模达到6000万吨标准煤以上。
2022	国家发展改革委、国家能源局	《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》	支持利用太阳能、地热能、生物质能等可再生能源建筑；推进供热计量改革和供热设施智能化建设，鼓励按热量收费，鼓励电供暖企业和用户通过电力市场获得低谷时段低价电力，落实好支持北方农村地区农村冬季清洁取暖的供气价格政策。
2022	住建部	《“十四五”黄河流域生态保护和高质量发展城乡建设行动计划》	扩大黄河流域冬季清洁供暖建设改造范围；加快淘汰燃煤小锅炉，因地制宜优先利用太阳能、地热、工业余热等清洁能源供热；完善城市供热体系，实现黄河流域城市热网互联互通；2025年，沿黄城市供热管网热损失率较2020年降低2.5%。

II. 对比分析表

该表列出了报告开始准备阶段最初选择的 19 个主题，这些主题均与两个国家的区域供热行业高度相关。通过使用第 4.3 章中描述的方法，技术团队和专家组从 19 个主题中选择出 11 个，涵盖四个类别，并最终在本报告中进行详尽介绍。

分类	主题序号	供热相关主题	是否在报告中介绍
供热规划	1	供热规划	是
	2	热需求预测	是
	3	供暖季时长	否
清洁热源	4	热电联产余热供热	是
	5	工业余热利用	是
	6	生物质供热	是
	7	地热供热	是
	8	太阳能供热	是
	9	储能	是
	10	大型热泵	是
	11	小型独立热泵	否
	12	废能利用	否
供热管网	13	降低回水温度	是
	14	水力平衡	否
	15	管网改造	否
	16	热力平衡	否
末端用户	17	热计量和计费系统	是
	18	激励性价格系统	否
	19	生活热水供应	否

III. 案例分析

案例分析部分包括中、丹共计 8 个清洁供热案例，涵盖了项目的概况、以及技术、经济和环境效益等方面的介绍。欲获取更多信息，请参阅各案例的详细描述或访问以下链接：

<https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/>

国家	序号	地点	项目
中国	1	山东 阳信	生物质清洁供热
中国	2	西藏 浪卡子	太阳能集中供热
中国	3	安徽 合肥	滨湖科技城
中国	4	北京	北京副中心 6 号能源站
丹麦	5	欧登塞	绿色污水源区域供热系统
丹麦	6	哥本哈根	工业余热用于区域供热
丹麦	7	斯特乌灵	大型热泵替代燃气锅炉
丹麦	8	塔尔斯	未来太阳能区域供热的发展

生物质清洁供暖

中国山东阳信

项目简介

项目地点	中国山东阳信
可再生/清洁能源	<input checked="" type="checkbox"/> 生物质 <input type="checkbox"/> 地热 <input type="checkbox"/> 太阳能 <input type="checkbox"/> 余热利用
应用技术	<ul style="list-style-type: none">▪ 热电联产集中供暖▪ 生物质锅炉分布式清洁供暖▪ 生物质炉具分散式清洁供暖

项目要点

山东阳信生物质清洁供暖	
项目概述	阳信县位于山东省滨州市，是中国“北方地区冬季清洁取暖规划”中的“2+26”个重点城市之一。阳信县的本地废弃物资源主要来自梨树枝条、农作物秸秆、家具厂的锯末以及畜牧养殖场的牛粪。2020年，通过利用废弃物资源，阳信县共有81,000户完成了生物质清洁供暖改造，使该县超过80%的农户采用了清洁供暖。
技术描述	<p>该项目计划的主要思路是利用本地生物质资源，构建了“农户就地收集、企业就近加工、全域就地使用”的阳信方案。根据当地的条件，采用了三种技术路线：</p> <ol style="list-style-type: none">1) 生物质热电联产（CHP）集中供暖 已建成一个30兆瓦的生物质热电联产厂，向县城、乡镇农村地区集中供热，同时为种植蔬菜的温室大棚供暖。2) 生物质锅炉区域集中供暖（分布式清洁取暖） 基于能源合同管理（EPC）模式，企业管理和运营生物质热水锅炉，并为公共建筑、居民房屋和乡村的建筑物提供供暖服务。由此形成了一种以分布式可再生能源供热服务为特征的新兴业务。3) 生物质户专用炉具供暖（分散式清洁取暖） 在地理偏远、人口分散的农村地区，不适合铺设燃气管网，通过推广生物质颗粒燃料+户用炉具的方式进行分散式供暖，能够有效替代农村散煤的使用。
经济效益	阳信县是中国北方三个典型的农村清洁供暖示范基地之一。就用户而言，按当前补贴政策，与煤改气和煤改电相比，生物质清洁供暖改造的成本分别降低了38%和3.2%，各节省了5140元和280元人民币；使用成本分别降低了52%和51%，各节省了2140元和2080元人民币。
环境效益	2019年，平均PM10浓度同比改善了4.1%，平均PM2.5浓度从2017年的70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
项目小结	生物质清洁供暖与传统农村生活习惯相契合，且这种清洁供暖方式比用燃气和用电更易操作，也更安全可靠。调查结果显示，阳信县的生物质供暖满意度在滨州市排名第一。
相关链接	https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/

太阳能集中供暖项目

中国西藏浪卡子

项目简介

项目地点	中国西藏浪卡子
可再生/清洁能源	<input type="checkbox"/> 生物质 <input type="checkbox"/> 地热 <input checked="" type="checkbox"/> 太阳能 <input type="checkbox"/> 废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none">太阳能集中供暖储热备用电锅炉

项目要点

中国西藏浪卡子太阳能集中供暖项目	
项目概述	浪卡子镇地处高寒高海拔地区，供暖需求大。该地海拔为 4,200m，水的沸点为 84°C。中央和地方政府于 2017 年开始建设一个大型太阳能集中供暖厂。在此之前，建筑物内并未安装供暖设施。该项目旨在验证部署的太阳能集中供热系统概念的可靠性和适用性，并为解决藏区城镇供暖问题提供最佳实践示范。
技术描述	<p>该项目包括集热器阵列、缓冲储能设施、电锅炉、集中供暖网络和室内供暖终端设备。项目分为两期。一期安装了 22,275m² 的集热器，于 2018 年 11 月完成。太阳能集热器的倾角为 40°。水池蓄水容量为 15,000m³。水池蓄热被用作短期热存储，而非季节性蓄热，因为在这个海拔高度上，蓄热损失对于原本具有成本效益的季节性储存来说太高了。太阳能热可以直接输送到集中供暖管网或储能装置中。集中供暖系统的供、回水温度为 65/35°C，非常适合太阳能供暖。同时安装了两台电锅炉（2 × 1.5MW）作为备用热源。在第一阶段，占地面积 82,600m²、覆盖 26 个小区的区域被连接至集中供暖系统。项目二期，当更多的用户接入到集中供暖系统，将扩建一个面积为 14,525 m² 的集热器区域，集热器阵列位于浪卡子镇以南约 2km 处。</p> <p>在西藏地区，供暖期从每年的 9 月 23 日持续到次年的 5 月 31 日，总计 251 天。采暖期室外设计温度为 -14.4°C。室内设计温度 18°C。冬季太阳能收益比夏季更高，因为夏季降雨较多，日照辐射较低。集中供暖系统仅提供室内供暖，不包括生活热水供应。与中国许多集中供暖系统一样，在夏季期间会停止运行。在未来，可以考虑增加生活热水供应以增加夏季负荷。太阳能集热器阵列的目标是覆盖超过 90% 的热需求。</p>
经济效益	西藏浪卡子太阳能供暖项目为 100% 政府补贴项目，该项目从中央政府获得了 1.75 亿元人民币的资助。
环境效益	以浪卡子县为起点，探索出了高原地区可再生供暖的新路径，这不仅有助于改善藏区人民的生活条件，还真正终结了藏民依赖烧牛粪供暖的历史。
项目小结	该项目在供暖季实现了 100% 的太阳能供暖，并且是世界上第一个具有 100% 实际太阳能运行保证率的大型太阳能集中供暖项目。
相关链接	https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/

合肥滨湖科学城

中国安徽

项目简介

项目地点	中国安徽合肥滨湖新区科学城
可再生/清洁能源	<input type="checkbox"/> 生物质 <input checked="" type="checkbox"/> 地热 <input type="checkbox"/> 太阳能 <input checked="" type="checkbox"/> 废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 地热源/污水源热泵 ▪ 储能/冰蓄冷/水蓄能 ▪ 燃气热电冷三联供

项目要点

合肥滨湖新区核心区片区能源项目	
项目概述	合肥滨湖新区核心区区域能源项目规划建设三个供暖供冷能源站，覆盖的供能建筑面积为 3-5 百万平方米。该项目采用了多种能源互补的供应形式，如地源热泵、污水源热泵、水蓄能、冰蓄冷以及燃气热电冷三联供（CCHP），优化了能源配置。该项目规划为“三站两网”，即建立三个区域供暖供冷能源站，互为补充、互为保障、确保能源供应的稳定性。
技术描述	<p>(1) 再生水源热泵系统</p> <p>塘西河再生水处理厂的水质符合污水源热泵的水质要求，每天处理水量为 231.5 千克/秒。出水温度稳定，冬季 12℃，夏季 25℃。可满足全天的供暖、供冷需求。</p> <p>(2) 热电冷三联供系统</p> <p>热电冷联产系统是以天然气为燃料，利用产生的热水和高温废气来满足供冷、供暖和电力需求的能源供应系统。三联供供暖系统充分利用了天然气的热能，提高了能源综合利用效率。</p> <p>(3) 地源热泵+水蓄能系统</p> <p>通过使用供冷和供暖装置以及储能设备，在电网低价时段进行蓄能，在空调负载高峰期释放储存的能量。</p> <p>(4) 大温差供能模式</p> <p>区域能源系统采用了多种互补形式的能源供应，这种多样化的能源供应形式可以优化能源配置，并提高能源利用效率。为了提高系统传输的能效，污水源热泵装置、地源热泵装置和离心式制冷机组都采用串联连接，形成大温差供能模式，减小了系统输送水流量，从而减小管路管径和水泵能耗，降低系统的初投资和运行费用。</p>
经济效益	2019-2020 年度夏季供冷量为 11,369.8 万千瓦时，用电量为 444 万千瓦时。低谷用电量占比为 55.06%，高峰时段用电量占比为 16.41%，平均电度电价 0.53 元/千瓦时；冬季供暖量为 541.8 万千瓦时（受新冠疫情影响），用电量为 266.84 万千瓦时，低谷用电量占比为 75.36%，高峰用电量占比为 4.55%，平均电度电价为 0.44 元/（KWh）。电费成本在项目运行初期显著降低，使得初期即具备较好的经济性。
环境效益	根据项目运营数据分析，与分散式空调系统相比，区域能源系统平均节能达 21.6%，大幅降低运营成本和二氧化碳排放。同时，大量的空调室外机、冷却塔等空调设施被取消，改善了建筑的外观，并有效缓解了城市热岛效应。

北京城市副中心 6 号能源站

中国北京

项目简介

项目地点	中国北京
可再生/清洁能源	<input type="checkbox"/> 生物质 <input checked="" type="checkbox"/> 地热 <input type="checkbox"/> 太阳能 <input checked="" type="checkbox"/> 废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none">▪ 地源热泵▪ 储能（水）▪ 热电冷三联

项目要点

北京城市副中心 6 号能源站	
项目概述	北京城市副中心 6 号能源站为约 56.56 万平方米的区域提供集中供暖和供冷。该系统的冷负荷为 37.5MW，供暖负荷为 18.4MW，并且有 12 个交换子站。能源站在冬季供暖提供用户侧 50/40°C 的热水，以满足用热需求；夏季能源站向用户侧提供 6/13°C 的冷水以满足冷负荷需求。
技术描述	地源热泵和储能（储水）承担基础负荷，耦合燃气热电冷三联供（CCHP）、燃气锅炉、电制冷和市政热力等多种能源方式，实现调峰和确保供应的安全性。与此同时，为了提高系统的自动控制水平和能源利用效率，建立了智能控制平台和仿真平台，实现负荷预测、运行策略优化、精确能源管控和技术培训等功能。这些平台的建设可以提升系统的智能化管理，优化能源利用，提高系统的运行效率和性能。
经济效益	从能源消耗和运行成本来看，天然气主要用于两台燃气溴化锂冷水机组和两台燃气锅炉的运行。与传统技术（常规的城市电力发电+燃气锅炉供热+电制冷供冷）相比，该方案的实际燃气用量仅为传统技术的 34%。用电主要集中在燃气锅炉、循环泵、补水泵、水处理设备等，相比传统方案，项目的实际用电量比传统方案节省 13%。同时，利用当地的峰谷电价差，使用 20000m ³ 的储能罐，降低运营成本。因此，与传统方法相比，该项目的总节能率为 29%。
环境效益	与常规的城市电力发电+燃气锅炉供热+电制冷供冷相比，热电冷三联供可以减少城市污染物的总量。天然气用于发电，产生的余热用于满足热负荷和冷负荷，减少来自燃煤发电厂的污染物排放。在用户处自发电，减少电网远距离输送损耗。发电余热可以得到有效利用，能源的综合利用率高于火力发电厂。与传统的供能方式相比，该项目采用的方案可以减少 6225.44 吨的 CO ₂ 排放量，减排率达到 26%。
相关链接	https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/

绿色污水源区域供热系统

丹麦欧登塞

项目简介

项目地点	丹麦欧登塞
可再生/清洁能源	<input type="checkbox"/> 生物质 <input type="checkbox"/> 地热 <input type="checkbox"/> 太阳能 <input checked="" type="checkbox"/> 废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none">大型热泵污水利用区域供热

项目要点

丹麦欧登塞以污水源热泵为热源的绿色区域供热系统	
项目概述	<p>菲英岛热力公司 (Fjernvarme Fyns) 利用欧登塞的 Ejby Moelle 污水处理厂中的污水热量, 作为最新热泵系统的热源, 使得区域供热系统更加环保, 水环境也得到改善。</p> <p>该项目的大型电热泵系统目前可以覆盖约 5,000 户家庭的全年热需求, 相当于菲英岛全年供热量的约 5%。这是丹麦基于污水利用建成的最大电热泵系统。</p>
技术描述	<p>该项目合作双方是非英岛热力公司和菲英岛南部水务中心 (VandCenter Sy), 合作是建立在对项目进行全面分析和规划的基础之上, 利用了热泵从非高温介质中提取热量的能力。处理过的污水是一种稳定的热源, 其温度通常高于空气和海水。</p>
环境效益	<p>在丹麦, 国家电网中分布有大量可再生能源, 这些来自可再生能源的清洁电力驱动着大型热泵的运行。当热泵能够进一步利用余热废热的热量时, 就能给气候带来巨大益处。Ejby Mølle 的主动式热泵系统每年可以减少 3 万吨二氧化碳排放。</p>
项目小结	<p>这个项目对于菲英岛热力公司的绿色转型而言是重要一步。在众多绿色供热转型项目中, 这个大型热泵系统在淘汰煤炭和其他化石燃料方面发挥了积极作用。</p> <p>该项目也有利于生活在当地小河中的水生生物和微生物。因为经过处理的污水在通过热泵的过程中, 将余热释放给区域供热系统, 然后才回流至当地的小河。</p>
相关链接	<p>https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/</p>

工业余热用于区域供热

丹麦哥本哈根

项目简介

项目地点	丹麦哥本哈根
可再生/清洁能源	<input type="checkbox"/> 生物质 <input type="checkbox"/> 地热 <input type="checkbox"/> 太阳能 <input checked="" type="checkbox"/> 废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 大型热泵 ▪ 工业余热 ▪ 多能源及技术组合

项目要点

区域供热利用工业生产过程中产生的余热减少 CO ₂ 排放	
项目概述	<p>大哥本哈根公用事业公司 HOFOR 希望建立一个有竞争力且碳中和的区域供热系统，其在哥本哈根为约 67 万用户提供区域供热服务。诺维信是全球生物解决方案的市场领导者，生产各种工业酶和微生物。</p>
技术描述	<p>2019 年双方通过合作，规划并安装了供热能力为 4MW 的热泵，该项目于 2020 年底投入运行。该热泵利用诺维信生产酶过程产生的余热，为哥本哈根约 6000 名当地居民提供区域供热。该热泵减少了 HOFOR 在区域供热系统产热对天然气、石油和生物质的使用，并有助于实现更多样化的能源和技术组合。此外，该热泵还减少了诺维信冷却塔的水和电消耗，因为热泵在为诺维信提供冷量的同时，也为 HOFOR 的区域供热系统供热。</p> <p>最近进行的一项优化使得热泵的运行能够考虑到小时电价的变化。这种对热泵的灵活、成本最佳的使用大大降低了电费，并提高了项目整体经济效益。</p>
经济效益	<p>该热泵的建设费用约为 35,000,000 丹麦克朗。在最终投资决策(FID)时，热泵的简单投资回收期预计为 8 年。</p>
环境效益	<p>每年 CO₂ 减排量预计高达 2,000 吨。CO₂ 减排量没有更高，其原因是大哥本哈根地区区域供热系统的供热生产已经有 85% 达到碳中和。因此，除了基于天然气和石油的区域供热，热泵在某种程度上也取代了基于生物质的区域供热生产，而后者已经实现了碳中和。</p>
项目小结	<p>热泵有助于在区域供热系统中实现更多样化的能源和组合，同时降低成本。</p> <p>HOFOR 和诺维信都对这个项目非常满意。该热泵预计运行至少 20 年（估计技术寿命）。</p>
相关链接	<p>https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/</p>

大型热泵替代燃气锅炉

丹麦斯特乌灵

项目简介

项目地点	丹麦斯特乌灵
可再生/清洁能源	<input type="checkbox"/> 生物质 <input type="checkbox"/> 地热 <input type="checkbox"/> 太阳能 <input checked="" type="checkbox"/> 废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 热电联产余热 ▪ 大型热泵 ▪ 区域供热

项目要点

斯特乌灵热电联产电厂-大型热泵用燃气锅炉的更换	
项目概述	斯特乌灵热电联产电厂是一座燃气热电厂，同时也采用石油和煤炭为燃料。为了提高可再生能源的比例，减少温室气体排放，以及确保未来消费者享有合理的供热价格，斯特乌灵热电厂投资了大型电驱动空-水热泵（2020年）。这使该厂在电力市场中的角色从纯电力生产者转变为电力生产者和消费者。正常情况下，热泵能提供约80%全年热需求（每年64,500MWh）。
技术描述	<p>供热能力：7.3MW 大型热泵（空气-水电力驱动）</p> <p>热泵 COP：最大值为 3.5，最小值为 2.6</p> <p>产热量：64,500MWh/年</p>
经济效益	<p>投资：约 4200 万丹麦克朗。</p> <p>每年节省：约 5 百万丹麦克朗。</p> <p>回收期：5.36 年</p> <p>2020 年生产成本降低 48%，2021 年降低 67%</p>
环境效益	温室气体排放：CO ₂ 当量从 21674 吨/年减少至 4324 吨/年
相关链接	https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/

未来太阳能区域供热的发展

丹麦塔尔斯

项目简介

项目地点	丹麦塔尔斯
可再生/清洁能源	☐生物质 ☐地热 ☐太阳能 ☐废热/余热
应用技术	<ul style="list-style-type: none">▪ 太阳能▪ 储热▪ 区域供热

项目要点

塔尔斯案例展示丹麦太阳能区域供热的未来发展	
项目概述	在未来智能跨行业能源系统中，智能电网、热网和燃气网相互链接，太阳能供热与其他技术的交互将增加，例如，由风力发电驱动的电热泵，或多余风电转化为供热（电转换热）。数字化通过优化运营和引入新的商业模式，为降低区域供热脱碳的总成本提供了机会。进一步的开发工作可能不会主要侧重于部件开发，而是侧重于现有技术的最佳利用。
技术描述	2015年8月建成投产的丹麦塔尔斯镇的试验电站，首次将平板太阳能集热器(FPC)和槽式太阳能集热器(PTC)组合在一起。该电站由5,960m ² 平板太阳能集热器（其中一半为单层无箔玻璃，一半为单层有箔玻璃）和4,039m ² 槽式集热器串联组成。每种集热器在其效率较高的温度水平下运行（平板太阳能集热器在40~75°C之间，槽式集热器在75~95°C之间）。在不久的将来，随着光伏、风能等波动性大的可再生能源电力越来越多地整合到电网中，电力供、需的不匹配程度将加剧。季节性储热和短期储热是增加灵活性的高性价比选择，因为与储热相比储电的成本要高得多。季节性蓄热可以用于太阳能供热和将多余电力转化为供热，这会增加负荷循环次数，从而降低储热成本。
经济、 环境效益	欧盟(EU)住宅部门对太阳能区域供热厂的经济和环境潜力分析表明，许多欧盟气候区可以实现90%以上的太阳能保证率。此外，一个很大程度上被忽视的优势是大型太阳能区域供热系统的长期价格稳定性，因为运维成本非常低。太阳能供热通常与高财务风险相关，使用风险最小化策略可以将已知的劣势转化为优势。 在可再生能源比例较高的能源系统中，太阳能供热将与其他可再生能源技术竞争。在这种情况下，与化石燃料相比，节省CO ₂ 排放量的优势不再具有决定性意义，需要其他优势来显现，如缓解生物质等稀缺可再生资源的压力。
项目小结	并入区域能源系统的大规模太阳能供热系统将在第四代区域供热中蓬勃发展，可提供40-50°C甚至更低的供热温度，以增强集热器效率、提升储能容量并最大程度地提高利用率。
相关链接	https://c2e2.unepccc.org/collection/sino-danish-clean-and-renewable-heating-cooperation-centre-library/

IV. 中丹清洁与可再生能源供热合作中心

丹麦能源署、水电水利规划设计总院与联合国环境署哥本哈根气候中心合作，共同建立中丹清洁与可再生能源供热合作中心，在供热规划、政策法规、能源测绘、清洁和可再生能源供热技术和实际应用方面分享国际最佳实践。

联合国环境署哥本哈根气候中心（UNEPCCC）是在丹麦外交部和联合国环境署双方协议框架下运作的合作中心，在气候、能源和可持续发展方面拥有 30 多年的国际领先研究、咨询经验和能力。

中丹清洁与可再生能源供热合作中心致力于推动双方搭建清洁供热专业知识网络共享平台，为丹中两国政府部门、科研机构和企业就清洁与可再生能源供热开展跨界交流奠定基础。中丹清洁与可再生能源供热合作中心网站已于 2023 年 3 月 1 日正式启动。网站提供中英双语界面，主要内容包括：

- 供热规划、能源测绘、清洁和可再生能源供热技术以及在中国应用的潜力等主题的专题分析；
- 丹麦和中国的优秀案例、特定应用技术的案例研究，及其在中国潜在应用前景的探讨；
- 项目和专家小组介绍；
- 网站链接：<https://c2e2.unepccc.org/sdrhcc/>

Sino-Danish Clean and Renewable Heating Cooperation Centre - English

Who We Are



The Danish Energy Agency and the China Renewable Energy Engineering Institute, in partnership with UNEP Copenhagen Climate Centre, have established a Sino-Danish Clean and Renewable Heating Centre to share and inspire each other with best practices in energy mapping, heat planning, legislation, technical and real-life applications of clean and renewable heating.

Supported by



Library

The Sino-Danish Clean and Renewable Heating Centre library acts as a repository and virtual collection of relevant knowledge materials on Chinese and Danish heating sectors, including case studies, analyses, reports, training modules, etc.

Access the Library

Experts Panel



As part of the Sino-Danish Clean and Renewable Heating Centre, an expert panel on clean heating has been established that provides inputs to ongoing developments in the cooperation project.

Meet the Experts Panel

Events



Within the framework of the Sino-Danish Clean and Renewable Heating Centre, different events such as workshops and trainings are carried out to facilitate exchanges and knowledge sharing on district heating and heat planning.

Discover the Events

表目录

I. 缩略语列表

ATES	含水层式储热
BTES	钻孔式储热
CAPEX	资本支出
CHP	热电联产
CHR _s	清洁供热资源
COP	能效比
CREEI	水电水利规划设计总院
DEA	丹麦能源署
DH	区域供热
DUR	丹麦公用事业监管机构
GHG	温室气体
HOB	供热锅炉
HP	热泵
ISH	工业余热
LCOH	平准化供热成本
MHRSS	中华人民共和国人力资源和社会保障部
MNR	中华人民共和国自然资源部
MOF	中华人民共和国财政部
MOFCOM	中华人民共和国商务部
MOHURD	中华人民共和国住房和城乡建设部
MOIIT	中华人民共和国工业和信息化部
MOJ	中华人民共和国司法部
MOST	中华人民共和国科技部
MOT	中华人民共和国交通运输部
MPS	中华人民共和国公安部
NBS	中华人民共和国国家统计局

NDRC	中华人民共和国国家发展改革委
NEA	中华人民共和国国家能源局
PBOC	中国人民银行
P.R.C	中华人民共和国
PTES	坑式储热
SAT	中华人民共和国国家税务总局
SAMR	中华人民共和国国家市场监督管理总局
SC	中华人民共和国国务院
SSC	战略行业合作项目
TTES	罐式储热
TWh	太瓦时 (10 ¹² Wh)

II. 图目录

图 1. 实现清洁供热的主要要素	8
图 2. 报告中使用的供热系统比较分析方法	9
图 3. 优先级矩阵收益/投入分析	10
图 4. 本报告重点关注的四个类别和十一个领域.....	11
图 5. 2020.6-2023.5 丹麦比隆和中国沈阳、北京、西安的采暖度日数.....	14
图 6. 2021 年中国和丹麦供热燃料使用情况.....	14
图 7. 丹麦《供热法》的四个阶段各有侧重	17
图 8. 丹麦供热规划利益相关者	19
图 9. 中国供热行业的四个发展阶段.....	21
图 10. 中国城市供热规划的一般步骤	28
图 11. 丹麦常规供热规划进程.....	28
图 12. 显示预测趋势与实际热需求比较的热量预测模型示例.....	30
图 13. 区域供热四种储能方式.....	32
图 14. 热能储存与太阳能供热和集中供热站相结合	34
图 15. 1995-2020 年中国利用浅层地热供热和供冷建筑面积.....	37
图 16. 地热开发在连续五个五年规划中的表述.....	38
图 17. 中国清洁供热资源潜力与北方地区供热需求的比较.....	48
图 18. 热电联产余热与城镇供热需求当前现状	50
图 19. 2002-2020 年中国燃煤发电、燃煤供热用煤情况	52
图 20. 七大能源密集型产业余热资源	54

III. 表目录

表 1. 中国严寒和寒冷地区气候子区的 HDD 值.....	13
表 2. 中国与丹麦供热系统的异同.....	23
表 3. 四种储热方式的特点.....	33
表 4. 中国三种地热资源及技术参数.....	36
表 5. 中国太阳辐照量及区域分布.....	41