

# 基于丹麦经验的中国可再生能源 供热规划框架研究

唐骏(John Tang Jensen)<sup>1</sup>, 图瓦汉(Thuvaraahen Nagendiram)<sup>1</sup>, 张鹏<sup>2</sup>

(1. 丹麦能源署, 丹麦 哥本哈根 1577;

2. 水电水利规划设计总院, 北京 100011)

**摘要:**结合丹麦长期实践,探讨了区域供热系统作为整合可再生能源与提升能源效率的关键路径。研究指出,区域供热能够整合多种废热与环境能源,用于建筑供暖、生活热水、制冷及部分工业领域,有助于实现脱碳、保障能源安全、提升系统灵活性及电力存储能力,同时降低一次能源消费与成本;对政府而言,区域供热是实现环境改善、能效提升和脱碳目标的关键技术。为充分发挥这些效益,全面的能源规划不可或缺。规划不仅限于连接建筑,更包括设计能够利用余热、垃圾焚烧产生的热量与本地能源的基础设施,并将存储与灵活性机制嵌入能源系统。有效的规划需依赖精准的热负荷/热源数据、差异化激励措施、系统性热源调查、多维度情景分析和标准化审批流程,以及政府、地方主管部门、企业、顾问和消费者等利益相关方之间的协同合作。若由政府主导该过程,通过消除障碍、设定要求并调整激励措施,可使能源规划成为实现政策目标、降低投资风险的重要工具。该文探讨系统化、整体性的能源规划方法如何助力中国从化石燃料主导的能源系统转向高效的可再生能源体系,并为政府行动提出建议。

**关键词:**能源规划;情景分析;社会经济性;环境热源;低品位与高品位余热源;多热源设计

DOI 编码:10.16641/j.cnki.cn11-3241/tk.2026.01.001

## 0 引言

寒冷气候下的建筑供暖需求可通过各类管网和本地基础设施来满足。这些系统需在城市发展过程中协同规划,其方法取决于各级政府(中央、区域)和地方主管部门之间的权责分配及利益相关方的参与程度。

新建基础设施的规划通常由城市发展、气候与排放目标、能源资源目标或转型战略等共同驱动。因此,无论选择区域供热还是独立供热系统,供热解决方案都必须与城市发展规划、输配管网布局深度整合,才能适配各类驱动目标的实现。

本文系中国水电水利规划设计总院

(CREEI)与丹麦能源署(DEA)合作撰写,旨在通过比较中、丹两国的供热系统规划,为加速中国能源系统从化石燃料向可再生能源的转型探索可行路径。

## 1 丹麦经验

丹麦社会及其能源政策体系建立在共识的基础上。政府制定能源政策目标时,议会多数党派参与决策,且政策一旦确定便具有相对稳定性。政府决定目标,能源部门随后着手研究实现目标的技术路径。通常,能源公司在适应政策目标的基础上,聚焦创新方案,调整运营模式,并主动实施无需政府进一步干预即可落地的技术。储热系统、第四代区域供热和智

能电表便是由区域供热部门自主开发并推广的典型示例。在其他情况下,若解决方案遭遇障碍,政府则需通过立法来消除壁垒、制定指南、对非预期排放施行征税或对目标技术提供补贴。

丹麦的供热规划策略已从初期重视利用电力生产余热为城市供热,逐步发展为强调灵活性、储能及多能互补,以提升能效并降低排放的新形态供热能源结构。

40 多年前,丹麦启动供热规划,以降低对石油的依赖。1973 年石油危机表明,完全依赖进口能源可能引发经济危机,并在价格短期飙升时导致大规模失业。为此,丹麦政府设定了包括供热规划在内的若干能源规划目标。

(1) 丹麦在制定石油消费削减规划初期所获得的关键启示之一,是认识到节能的重要性。利用大城市电力生产的余热供暖,是显著降低热力与电力部门一次能源消耗高的效方案。因此,热电系统与城市区域供热网络在丹麦实现了协同发展。为确保系统技术可行并形成规模化,采取了要求居民接入区域供热管网的措施。随着电力市场自由化改革的深入,丹麦新建热电联产机组的设计理念也相应调整。当前新建机组均以供热管网的热需求为基础进行设计,有效避免了纯凝发电模式下的热能损耗。这正是供热规划的第一个考量:利用热电联产余热满足建筑供热需求,从而实现了节能性。

(2) 此外,丹麦在无电厂余热可用的地区也发展了区域供热。即使计入管网热损失与工程投资,大规模区域供热系统仍比独立供热技术更高效、更具经济性。在大型供热系统中,高效基荷设备可与经济型调峰设备结合,总投资成本低于独立供热方案。大型供热系统还能利用本地可用热源,如工业生产或冷却过程中的余热——此为独立供热系统无法实现的优势。这是供热规划的第二个考量:区域供热相较于独立供热方案实现了多源性与经济性。

(3) 20 世纪 80 年代,丹麦启动本土油气田开发以降低对进口化石燃料的依赖,同时需明确天然气的最优利用途径。在此过程中获得的一个重要认知是,热电联产电厂必须具备充足的热力需求才能实现热电联供。然而,热力与电力需求存在时序差异,具体表现为日内(白天电力需求高)和季节性(夏季热需求低)的不匹配。为此,丹麦在 20 世纪 90 年代调整了供热规划策略:禁止新建纯凝发电厂,转而建设小型分布式天然气热电联产机组,此类机组在设计上去除了纯凝发电运行模式。这些电厂采用储热装置与调峰天然气锅炉协同运行,使天然气热电联产仅在周一至周五的电力高峰时段运行,日运行时长不超过 12 h。通过这一规划策略,丹麦有效规避了日间纯凝发电运行,并显著降低了夏季无供热需求期间的发电需求。供热规划的重心由此转向区域供热与电力系统的深度耦合。这正是供热规划的第三个考量:通过储能技术实现了能源系统灵活性。

(4) 近年来,风电与太阳能光伏发电占比持续提升,逐步替代了热电联产机组原有的发电份额,在夏季尤为显著。大型基荷热电联产电厂通过减少电力输出并配置储热装置,实现了在电价高位时段满负荷运行,不受热力需求限制。电厂运营方还投资建设电锅炉,以便在电价低谷时段生产热量;同时引入大型热泵,在电价适中时弥补热电联产减少的热量供应。当前,热电联产仅在峰电价位时运行,这通常出现在风力和光照资源不足时期。在电价低位时,储热系统储存电锅炉和热泵的产热,在峰电价位时储存热电联产的热量。这表明,在高比例波动性可再生能源系统中,发电侧的热电联产机组与用电侧的电锅炉、热泵,搭配储热系统形成的协同机制,均可发挥重要作用。这正是供热规划的第四个考量:有效消纳原本可能被弃置的剩余电力。供热规划充分运用了区域供热系统的运行灵活性、储能能力并整合多种技术,以适应电力市场条件、能源价格

波动和系统灵活性需求的能力。

(5) 丹麦在此过程中也曾出现规划失误,即在适宜发展区域供热的地区建设了独立的天然气锅炉系统。该决策的初衷是确保天然气基础设施的财务可行性,但实践证明这并非最优选择,因其难以支撑系统的运行灵活性与整体效率。目前,丹麦正在对这一决策进行修正。这正是供热规划的第五个考量:区域供热系统具备与其他能源系统实现整合并提供运行灵活性的能力。

(6) 最后,丹麦的供热规划方法与近 20 年的环保政策目标高度协同,重点聚焦于可再生能源利用和降低能源进口依赖。当某一能源供应不足时,能源转换尤为关键,这凸显了利用垃圾焚烧、工业、发电、冷却过程等余热资源及其他能源来源的重要性。这些能源间的切换尤其是那些环境热源与低品位热源的利用都需依托先进的区域供热管网,这些低品质热能输送到热泵系统,热能品质被热泵提升到供热可用品质后输入供热管网。目前,多数丹麦区域供热企业已启动向第四代区域供热系统的升级改造。这正是供热规划的第六个考量:区域供热系统能够有效捕获多部门的废弃能源与环境热量,提升社会整体能效水平和经济竞争力。

丹麦实行政府主导的能源规划体系,优先开发利用本地可再生能源资源。在这一框架下,地方主管部门负责具体的规划实施与项目审批,而政府则承担制定政策框架、建立法规体系、消除制度障碍和确定激励措施等职能。

当政府设定新目标时,区域供热企业积极参与相关讨论,推动障碍消除并争取政策激励,以实施必要的技术方案。在某些情况下,技术方案可能在电力与供热部门之间产生利益冲突,此时政府需要通过修订立法或发布指导性文件,评估并选择最符合社会整体利益的实施方案。

丹麦能源规划体系的核心原则要求对多种发展情景进行系统性分析,并选择对供热企

业、终端用户乃至社会整体最有利且技术可行的方案。社会经济性分析过程中纳入环境污染成本核算,为选择低碳技术方案提供了有效的经济激励。

## 2 中国现状

数十年来,中国在寒冷及严寒地区的城市供热策略与丹麦相似,主要利用热电联产电厂的发电余热进行区域供热。在缺乏电厂余热的城市区域,普遍采用燃煤或燃气锅炉进行冬季供热。电厂余热在 4~5 个月的非供暖季之外基本采用纯凝运行。中国与丹麦在气候目标上具有相似性,均致力于实现“碳中和”,目前对进口燃料依赖度较低,且无意提高对天然气或石油的进口依赖度。

中国的城市区域供热规划与国土空间规划需紧密衔接。当城市空间规划更新时,作为关键基础设施的供热系统会相应调整,以适应修订后的城市总体规划。实践中,供热规划多在项目层面制定,应聚焦特定城市区域。这些本地化研究旨在根据区域特征设计定制化供热方案。国家五年规划虽未明确指示区域供热发展,但其中的碳减排、能源安全、能效提升等总体目标与政策导向,影响地方供热规划。当前,中国供热规划侧重于在具备可用且低成本电厂余热的地区建设区域供热管网。长江以北的城市在制定和实施五年规划时,通常会将新建大型供热区域纳入政府目标。最终投资决策由地方政府主导,由于融资体系难以支撑区域供热管网等长期无补贴投资,通常需要政府提供投资补贴。长江以南地区,地方市政当局独立负责区域供热能源规划,部分地区已考虑区域供冷并实施创新方案。

中国的区域供热管网业主倾向于向保温性能明确、热需求可预测的新建建筑扩展服务,但固定定价体系难以激励其向热需求不确定的既有建筑扩展,经济风险较高。现行定价体系虽试图激励供热公司在管网、二级换热站及建筑内部实施节能措施,但建筑内部温度要求( $>18\text{ }^{\circ}\text{C}$ )及用户用能行为缺乏约束等因

素,削弱了实际节能效果。目前,相对于电厂来说,由于电力需求主导电厂运行调度,所以发电成本能否被覆盖主要取决于上网电价,余热利用对电厂运营并非关键因素。然而,随着电力市场改革深化,未来市场价格机制可能使电厂更加依赖供热收入。在竞争性电力市场中,电价下跌时纯凝发电厂将率先减产。为维持纯凝发电厂备用容量而引入的容量费用机制虽可能延缓其淘汰进程,但有助于保障系统容量充足与供应安全。相比之下,热电联产电厂因供热收入而具备更强的市场竞争力。

未来,随着政府不断提高风电、太阳能光伏和水电发展目标,热电联产供热量将逐渐与热需求不匹配,要求区域供热规划在热源结构上进行根本性转型。当前,中国面临关键路径抉择:是否应追求 100% 电气化,最终以建筑级电热泵和制冷机逐步取代区域供热? 是否应规划类似于丹麦的灵活综合能源系统? 亦或应根据地方条件允许多种方案并行发展,以确定最适合的技术路径? 这些核心问题需结合中国南北方气候差异、城市密度、能源资源禀赋等地域特征,在规划方法论中予以明确。

所选技术路径需要清晰的路线图指导,使当前系统向未来系统平稳过渡,这意味着需要调整战略能源规划与激励机制。未来基础设施管网与供热系统可能需要与更广泛的城市规划深度整合,这要求构建精细化的规划过程,明确过渡步骤。

## 2.1 利益相关者

中央政府通过制定国家五年规划确立法律与政策框架,明确气候、能效与环境目标。各省据此制定区域规划,通常配套财政补贴以支持项目落地。

省级与地方主管部门承担具体能源规划职责,但受限于贷款偿还周期较短而面临融资约束。在需要中央财政支持的情况下,规划决策权往往向中央集中,区域供热项目尤为明显。

区域供热公司负责热源的采购或生产,并

通过供热管网向建筑用户输送热量。

热电联产电厂建设初衷主要是满足电力需求,热量属于附属产品。供热收入虽能提升电厂经济性,但并非其发展的主要驱动力。向可再生能源转型将对热电联产业态产生深远影响。

目前,工业生产已经向工业余热可用资源发展。未来,工业作为热力用户与供应方均可能发挥更大作用。

热能供应企业和能源定价机制传统上依赖基于化石燃料的供暖、制冷和电力服务。向可再生能源转型需确保用能成本的居民可负担性,即转型后供暖成本不显著高于当前化石燃料供暖水平。现行按建筑面积计费的模式缺乏节能激励,实施供热计量收费可有效改善这一状况。

高等院校可提供技术研发与数据支撑,咨询机构参与规划编制与可行性分析,金融机构通过融资政策引导项目方向,土地所有者影响供热管网布局,这些主体均可能对供热部门的能源规划产生重要影响。

## 2.2 能源规划层级

中国的能源规划涵盖从中央到地方的多级政府架构,包括中央、省级、地市级、县级及乡镇级行政层级。

规划层级的确定取决于规划范围、项目规模以及是否涉及跨区域资源调配或本地资源可获得性。在遵循统一规划流程并确保各利益相关方充分参与的前提下,规划可在任一层级有效实施。在遵循统一规划流程、确保各利益相关方充分参与,且明确跨区域协调机制的前提下,规划可在任一层级有效实施。

能源规划主要应用于新建城区的开发项目,同时涵盖现有区域供暖系统的脱碳改造。具体包括:以可再生能源或区域供暖方案替代基于化石燃料的分散式供暖,以及利用可再生能源或工业余热替代化石燃料热电联产或锅炉机组。

## 2.3 能源规划目的

能源规划须与中央及省级目标保持一致,主要服务于以下政策目标:(1)实现 2030 年前碳达峰,2060 年前碳中和,同时保障能源安全;(2)推进能源系统现代化,包括数字化升级;(3)实施燃煤电厂升级改造。

上述目标驱动地方层面采取相应措施,如淘汰燃煤锅炉、利用余热或改造供热系统,通常由公共机构、国有企业、设计院或咨询公司主导。可行性研究常采用简化假设,可能导致结果偏差。通过标准化假设与成本效益分析框架,可有效识别最具成本效益的碳减排方案。

然而,研究常受预设决策制约,如强制淘汰燃煤锅炉等政策,可能限制对高效替代方案或本地余热资源的深入探索。燃煤热电联产机组规模设计偏大,易导致余热排放问题。在省级或中央层面的早期规划中,可能忽视地方的实际情况,包括冷热联供、环境热源及其他能源资源禀赋。

中国现行短期融资体系通常依赖投资补贴以来满足紧张的贷款期限要求。若采用更灵活、竞争性的融资模式(如优先支持单位二氧化碳减排成本最低的项目),将有助于提升资源配置效率并激励技术创新。

最后,供热规划应充分考虑地方政府与社会经济优先事项,包括能源自主性、城市宜居性、噪声控制、地方产业发展及燃料贫困缓解等因素。这些要素即便未在规划中明确表述,仍会对项目实施产生影响。

### 3 能源规划步骤

下面将探讨如何借鉴丹麦经验构建区域供热规划体系,并分析所需的监管框架支撑。

#### 3.1 组织架构设置

能源规划组织架构是确保规划方案与其他政府计划有效整合,并获得政府、利益相关方及公众认可的基础。供热系统从独立供热系统向可再生分布式系统转型,或从化石燃料转向可再生能源供热及余热利用,将深刻改变地方热力生产、输配与消费模式。因此,政府

需审慎考虑区域供热规划的组织方式:是采用中央指定项目与责任主体的集权模式,还是将规划权责下放至适宜的地方层面。

在组织架构规划中,热电联产电厂可能发挥关键作用,尽管将来可能不再是主导热源,但仍需探索将其融入未来能源体系的新模式。将热电联产电厂纳入组织规划架构,使其参与方案制定并获得认可,通常优于将其排除在外的做法。

当区域供热系统需同时通过热电联产机组提供供应侧灵活性,并借助电锅炉、热泵及储热装置提供需求侧灵活性时,或需重新审视热电联产厂、输热管网及供热配送系统的所有权结构,为热力与电力部门融合做好准备。例如,若未来区域供热系统需同时通过热电联产机组提供供应侧灵活性,并借助电锅炉、热泵及储热装置提供需求侧灵活性,则必须对这些灵活性资源进行协同优化,否则将难以充分获取电力市场的全部收益。

#### 3.2 启动活动

启动活动的首要目标是确保各方充分理解并认同规划目标与参与路径。参与者应明确知晓重要进程已启动,并有机会参与方案制定。

建议组织一场规模适当、精心策划且广泛宣传的启动活动。活动内容应包括:介绍规划流程,阐明公众、利益相关方与政府代表的参与机制,并为各方提供交流意见与答疑的机会。

#### 3.3 热源调查

热源调查阶段需全面收集情景分析所需的关键信息,包括住房、服务与工业的热力消费数据,既有区域供热与天然气基础设施状况,风能、太阳能、地热、生物质、工业余热等本地热资源,可与热泵结合的低品位热源,以及建筑区域预期增长趋势。

高质量数据至关重要。中国正在推进的热计量改革应配套建立公共数据收集机制,为未来能源规划提供可靠支撑。

### (1) 初步筛选

热源调查可从初步筛查入手,以大致掌握潜在区域供热范围的概况,并根据热负荷密度确定“容易实现的目标”。该环节还包括对热源进行初步评估,估算其潜在规模,亦即能否满足 20%、50% 甚至 200% 的热需求。小型余热资源作为基荷具有重要价值,尤其在配备储能系统时,可显著提升用电或发电技术的运行效率。

消费者团体、房地产公司与公用事业公司等利益相关方或已掌握相关数据。余热资源通常可通过公共登记册查询,无需逐家企业调研。

初步筛查结果虽不纳入最终方案,但有助于启动规划流程并明确需重点调查的领域。后续若能获取更精确的数据,应依据投入产出比确定待验证的数据集,并划分自主采集与外部支持的数据类型。

### (2) 详细热源调查

需构建足够详尽的数据集,为后续阶段的可靠计算提供支撑。基于初步筛选结果,可明确数据缺失的领域及待补充信息。此阶段通常涉及对前期数据的精细化处理。对于余热资源,应直接联系邻近企业,因为废热的工艺特性往往需要通过现场访谈来确认。

中国供暖季通常为 4~5 个月,存在用热高峰突出、年均利用率偏低的特点,这为可再生能源供热及灵活供热方案的实施带来挑战。为设计与电力系统协同的可行区域供热方案,可考虑纳入工业热需求、生活热水乃至冷热联供方案,以延长有效供暖季。

此阶段需确定情景分析所涵盖的需求与热源类型,以确保详细热源调查结果的可靠性。

### (3) 余热调查

工业生产过程中的余热与具体工艺密切相关,需通过现场数据采集获取关键信息。在高温热源有限的条件下,中低品位余热

可通过热泵技术实现价值化利用。此类热源的高效利用需依托第四代区域供热系统,亦即配备计量装置、温度调控及数字化管理功能的系统,否则,热泵将无法高效运行。需特别注意的是,余热利用绝不能取代工业内部必要的能效提升措施。

第四代供热系统可有效降低热损耗,并支持更多低品位余热接入区域供热系统。该技术路径与中国“十四五”规划中能源系统现代化、数字化的发展导向高度契合。在大型城市,此类供热系统可作为主干输配供热系统的补充,在局部区域独立部署;当本地热源不足时,由主系统提供供热保障。

工业企业因专注核心业务及数据保密考量,对参与调查往往存在顾虑。对此,建议采取直接对接的沟通机制,明确调查目的仅用于供热规划,且建立严格的数据保密制度,打消企业顾虑。

## 3.4 情景分析

情景分析宜采用“由内而外”的方法,亦即优先评估高密度城市区域的区域供热可行性,再逐步向外扩展。可根据周边或战略性余热资源的情况适当调整评估顺序。情景分析在区域供热规划中主要服务于以下 3 大目标:

### (1) 确定区域供热方式

通过情景分析,明确不同区域究竟适宜采用独立供热(如热泵、生物质能、太阳能光热)还是区域供热。区域供热在利用工业余热或灵活电力生产供热时优势显著,但在低密度区域可能面临成本过高问题。分析结果通常以规划图形式呈现,将区域划分为 3 类:适宜区域供热区、潜在适宜区域供热区和适宜独立供热区。

### (2) 比选不同供热方案

独立供热区域重点关注节能改造与热泵应用。区域供热情景则需统筹考虑节能措施与高效生产技术、余热利用及可再生能源的协同整合。鉴于区域供热系统性较强,其扩展应

遵循长期战略引导下的渐进发展路径。

### (3) 制定行动计划

分析工作需明确各项行动的时间节点与责任主体。对于新建区域供热项目,必须清晰界定地方主管部门、公共事业公司或私营合作方的具体职责分工。

至此阶段,未来供热规划蓝图已基本成型。分析工作旨在验证可行的方案,并排除不切实际的选项。分析结果应直接支撑供热规划目标,并足够详细,以支持公众听证会并获得行政审批。

在建设区域供热系统前,需开展详细的可行性研究(包括水力建模等)。这些研究应同时包含企业经济性的现值计算与用户经济性的平均热价评估。分析报告需通过适宜的抽象层级,清晰标注各区域对应的供热解决方案。

### 3.5 情景选择

本步骤旨在明确情景分析的研究内容,识别可行方案,并排除不可行或不适宜的选项。被否决的情景应予以记录,为后续讨论和供热规划审批提供依据。

基于热需求、容量需求及可用热源数据,依据热负荷密度和距热源距离对区域进行分类:(1)绿色区域:适宜发展区域供热;(2)黄色区域:具备区域供热潜力;(3)红色区域:适宜采用独立供热方式。

情景分析主要聚焦绿色与黄色区域,同时为红色区域制定替代供热方案。通常从可行性最高的绿色区域起步,以此为基础评估区域供热管网的合理扩展范围。

遵循丹麦供热规划原则,其目标在于寻求社会经济效益最优的供热方案。区域供热应部署在能够切实产生经济效益的区域。在商业公用事业主导的国家,决策可能更侧重于项目盈利能力而非社会经济价值。

供热规划必须支撑中国 2060 年碳中和目标的实现。尽管存在多种实现路径,但分析应

聚焦于最具发展潜力的选项。情景确定且数据验证完成后,即可开展详细的模型计算。

情景分析结果需与政府及企业目标对标,除碳中和目标外,还应涵盖更广泛的可持续发展目标。在存在电力市场的地区,涉及电力生产或使用的技术(如热电联产、电锅炉、热泵)需与电价形成联动机制,并可通过提供备用容量或灵活性服务获取收益。情景分析工具应能够综合考虑电价波动、储能配置及技术灵活性等因素。

### 3.6 行动计划

行动计划旨在明确各利益相关方在供热规划实施过程中的具体任务、时间安排及执行方式。该计划将选定的情景转化为可操作措施,明确城市各区域的供热类型选择、决策依据、实施时间表及责任主体。计划内容应足够具体,以指导各方行动并促进协同实施。行动计划应作为供热规划的核心组成部分或可定期更新的附件。

需配套编制技术方案清单,系统梳理可行的技术路径。利益相关方可借助技术参数数据库核验清单内容。针对每项技术,应明确其适用条件、容量范围、能效及资本支出/运营支出指标,这些技术参数构成情景分析各环节的基础数据支撑。

### 3.7 最终供热规划与批准

此阶段旨在形成最终的供热规划文件,并确保各项行动按批准方案有序推进。

供热规划流程将产生大量文档资料。为此,除确保所有完整文件随时可查阅外,编制规划与行动方案的摘要版本亦属必要。

供热规划可先行提交给市技术与环境委员会预审,随后进行社会公示并征集意见。在完成公开征求意见(及最终修订)后,提交最终行政审批。

规划获批后即进入实施阶段,开展区域供热系统建设。此阶段需在政府层面达成对规划的共识:既认同规划理念,又遵循行动计划。

这对化解项目实施过程中可能面临的阻力至关重要。

3.6 节“行动计划”中已明确大部分后续工作。本阶段需建立监管框架,包括:(1)行动计划传达机制;(2)计划执行与项目推进的监督方案。

实施工作由责任利益相关方具体承担。所有行动均需接受执行监督与效果评估,为此,应建立后续跟踪流程,确保供热规划的持续优化与动态调整。

供热规划过程中的工作应完整记录在规划文件中。

### 3.8 审批程序

审批程序旨在确保所有利益相关方的意见得到充分听取与表达。任何实施项目都可能面临阻力,完善的审批程序有助于推动供热转型平稳过渡。供热规划草案必须遵循既定工作方案,经过政治层面审议,并在最终批准前完成公众听证程序。

利益相关方完成草案审议后,需通过公开征求意见鼓励公众参与。广泛包容的听证机制有助于补充技术细节与澄清相关问题,这一步骤既能确保规划被理解、接受与支持,也能检验规划过程的公开透明度。

筹备听证时应预判可能出现的反馈与阻力。若预计存在重大公众关切问题,需保持开放沟通态度并预留充足的问答时间。前期信息通报工作到位将为听证阶段奠定坚实基础。

规划以启动活动为开端,也应以“规划收官·实施启航”活动作收尾。若前期工作扎实,收官活动将更聚焦于解决方案而非应对公众质疑。

为防止规划流于形式,必须建立持续监测与评估机制。政府可通过要求上报燃料和电力消耗、热力生产和供应以及排放数据等措施来强化监管力度。

审批程序还需明确各方权责。方案获批后即启动多项实施活动:成立项目公司、编制发布招标文件、获取建设用地、审批设施设计

方案、组建专业团队等。需及时向利益相关方通报项目进展,重大变更须经其批准。若招标结果显示重大预算偏差,方案须保留修订或终止项目的灵活性。

## 4 结论与建议

中国现行能源规划体系以五年规划编制前的专题研究为基础,此类研究为地方政府通过申请专项资金与补贴实施具体行动方案提供了明确指引。为实现社会脱碳目标,中国可能需要实施一套综合供热规划体系,包括新城区规划、独立用户化石燃料替代规划、现有供热升级改造规划,以及灵活供热方案。其中,因地制宜利用本地垃圾焚烧、余热及环境热源通常为最有效的解决方案。中国可通过建立基于情景分析、政府参数设定和政策指引的规范化能源规划体系,提升清洁供热决策能力。前文“能源规划步骤”章节所述方法,可为政府部门及决策者设计未来规划路径、制定规划指南提供重要参考。主要建议如下:

(1)中国可以实施一套基于情景分析、政府决策参数与成本效益(社会经济性)方法论的综合性能源战略规划体系,以提升决策质量。

(2)中国可在规划过程中纳入跨部门供热延伸方案,促进供热、电力乃至制冷系统的协同发展。

(3)中国可在情景设计中纳入多热源与储热选项,通过实施社会经济性审批、强制开展多情景研究(重点评估本地废弃物与环境热源潜力)以及制定热源设计技术指南等措施予以保障。

综上,中国可再生能源供热规划可以丹麦经验为参考,立足本土能源资源禀赋与城市发展特征,通过构建政府主导、多利益相关方协同的组织架构,依托系统化的热源调查与情景分析,配套灵活的融资机制与技术标准,形成兼具社会经济性与环境可持续性的规划体系,为实现“双碳”目标与能源安全提供坚实支撑。