北京、西安和哥本哈根
供热系统比较报告

C40 CITIES

CITY OF COPENHAGEN

EMBASSY OF THE KINGDOM OF DENMARK
Beijing

北京节能
BCEE

瑞行集团
RAISING GROUP

发布时间：2022年6月

报告的主要参与者

该报告由一个核心团队编写并协调完成，该团队成员包括：

Theis Hybschmann Petersen, 哥本哈根市政府物业和采购局顾问

Anders Christian Lyngtorp, 哥本哈根市政府物业和采购局技术主管

Mogens Krighaar, HOFOR公用事业公司首席顾问

Nick Bjørn Andersen, HOFOR公用事业公司首席顾问

Nils Daugaard, EC Network 能源咨询公司合伙人

周宁, 北京建筑节能研究与发展中心副主任

黄维, 西安瑞行城市发展热力集团公司技术总监

来婷, 西安瑞行城市发展热力集团公司技术研发部部长

Luke Sherlock, C40中国建筑项目负责人

邱育平, C40建筑与能源项目官员

侯静, C40中国重点行业部门高级经理

肖卫华, 哥本哈根市政府，哥本哈根与北京可持续城市发展战略行业合作项目经理

Christina Anderskov, 丹麦王国驻华大使馆可持续城市发展行业参赞

李然, 丹麦王国驻华大使馆经济官员

特别感谢

丹麦外交部为“**哥本哈根与北京可持续城市发展战略行业合作项目**”提供基金支持

中国住房和城乡建设部科技与产业化发展中心

丹麦丹佛斯公司支持了西安试点项目

平面设计：简山

图片来源：Unsplash, 哥本哈根市政府

序言

很高兴为这份北京、哥本哈根以及观察城市西安的比较研究报告作序。这三座城市构建了城市间能源效率合作伙伴关系，从诸多方面向我们证明C40成员城市通过合作可以实现的最佳成果。

C40城市气候领导联盟是一个由来自世界主要城市的近100位市长组成的网络，致力于立即采取必要的紧急行动来应对气候危机，并创造一个处处繁荣且人人可享繁荣的未来。C40的成员城市除了诸多世界领先的特大城市，还包括一些较小的“创新型”城市，它们以独特和开创性的气候领导力为其他城市提供灵感。作为“创新型”城市之一，哥本哈根此番与北京及其他中国特大城市分享专业知识和方法，切实证明了这些城市可以为联盟网络带来的价值。此外，这些城市也将继续为应对气候紧急情况作出重要贡献。

近年来，随着C40中国建筑项目和C40中国气候行动规划项目等取得的重大成功，我们的北京办事处也在不断壮大。我很高兴曾于2019年来到北京，在C40的首届中国区域论坛上与多位国家和城市政策领导人分享知识。每次回到北京，我都为这座城市的变化之快

而震惊——新增的自行车道、越来越多的绿地、更加清洁的空气，以及马路上占比越来越大的电动汽车。因此，我有理由期待本项关键对比研究在提高大型建筑能效方面的新发现，并落地实施。大型建筑与区域供暖息息相关，而区域供暖是2020年代城市气候行动的前沿主题之一。

同时，我要赞扬和感谢在新冠疫情全球大流行期间在线上工作的所有城市官员和机构合作伙伴，你们为本研究报告贡献了详细的技术知识和专业经验，充分体现了C40的核心精神——即友谊、理解和互助。

C40 城市气候领导联盟总裁

Mark Watts

序言

2017年，哥本哈根荣获著名的C40大奖，以表彰我们在学校、幼儿园、办公楼和其他公共建筑中实施的战略性的能源监测、管理和改造项目。哥本哈根是世界上第一个开发出监测系统的城市，通过该系统，可以实现每小时读取电、水和热的消耗，并不断调整建筑物能耗，提高能源效率。这一系统在助力哥本哈根实现到2025年成为碳中和城市的目标发挥着关键作用。

能源监测系统（EMS）由哥本哈根市政府物业和采购局（KEID）与哥本哈根公用事业公司HOFOR合作开发。该系统与我们精简建筑管理系统的措施相结合，在哥本哈根实现能源节约方面发挥了重要作用。经验表明，这些方法是具有推广潜力并行之有效的。那么，这些系统可以复制到中国吗？这一直是我们“哥本哈根与北京可持续城市发展战略行业合作项目”与“C40中国建筑项目”合作框架下与北京开展的紧密合作中所关注的重点。

这份比较报告显示，尽管北京、西安和哥本哈根的供热系统存在很大的差异，但在节约能源和降低碳排放方面潜力巨大。在进行了详细的比较调研后，效仿丹麦做法，北京和西安实施了试点项目。令人欣喜的是，这些试点项目已经取得了显著的节能效果、经济效益，并提高了室内舒适度。

衷心希望这份报告能给全球其他城市带来启发。

最后，我想对我们所有的合作伙伴和项目工作人员表示衷心的感谢，特别是过去两年，新冠疫情大流行导致国际差旅和实地会议都无法进行，如果没有你们的付出和辛勤工作，报告和试点项目就无法完成。

哥本哈根市政府物业和采购局局长

Rasmus Vanggaard Knudsen

目录

摘要 1

1 研究目标 2

2 研究背景 5

2.1 北京、西安区域供热现状
2.1.1 主要特点
2.1.2 提升能源效率
2.1.3 总体发展需求
2.2 哥本哈根区域供热现状
2.2.1 主要特点
2.2.2 提升能源效率
2.2.3 未来发展

3 技术比较和分析 11

3.1 北京/西安和哥本哈根的整体供热系统比较
3.2 换热站的气候补偿技术
3.2.1 原理
3.2.2 现状和问题
3.3 技术：水力平衡
3.3.1 背景
3.3.2 实现水力平衡的必要性
3.3.3 如何实现水力平衡
3.3.4 试点应用和结果
3.4 楼宇温控技术
3.4.1 原理
3.4.2 现状和问题
3.4.3 试点应用

4 能源监测系统（EMS）和楼宇管理系统（BMS）比较 20

4.1 北京和西安的能源监测系统
4.1.1 北京概况
4.1.2 西安瑞行集团的EMS
4.2 哥本哈根的EMS和BMS
4.2.1 能源监测系统（EMS）
4.2.2 楼宇管理系统（BMS）
4.3 EMS和BMS总结

5 结果和结论 25

摘要

本比较报告是哥本哈根与北京战略行业合作的成果，得到了C40中国建筑项目（C40-CBP）的支持。合作本报告的基础是，北京和哥本哈根在城市建筑中同样广泛应用区域供热，且在区域供热中热量输配和调控方面具有众多相似之处和共同目标。因此，双方成立了一个研究小组，由来自C40城市气候领导小组、哥本哈根市、中国住房和城乡建设部工业化发展科技中心（CSTID）和北京建筑节能研究发展中心组成。出于兴趣和意愿，非C40成员城市陕西省西安市作为观察城市加入该小组，主要通过陕西省西安市的区域供热公司——瑞行集团热力公司作为代表参加，主要负责试点实践研究工作。

自2018年以来，哥本哈根和北京以及2020年西安加入，一直在合作研究比对其供热系统运行中的主要异同。在本报告发表之前所做的工作，阐述了北京和西安的供热系统与哥本哈根的存在的差异。尽管存在这些差异，比较研究揭示了，通过这些城市之间的知识共享和技术调整，具有大量节省能源和碳排放的潜力。

经过多次技术交流、在线视频讨论，在北京和西安实施了三个试点项目——以真实的实例来检验之前的研究成果。这些试点项目得出了三个技术方向和可交付成果，即：

1、区域供热系统二次管网的水力平衡技术。

2、区域供热换热站的气候补偿技术。

3、减少公共机构工作时间以外供热量的调节技术。

试点获得了明显成功和充分验证：实现了高达25%的节能效果！且在2年之内可以通过节能效益回收投资，在某些条件下，投资回收期甚至还不到1年！

该试点做出了非常有益的探索尝试，即改变中国供热系统传统的以供给侧为主导的调控模式，向以需求侧为主的调控模式转变。需求侧的调控对象从每个“换热站”调整到每个“楼宇”，逐步接近丹麦模式的每个住户乃至每个房间的温控调节。

不出所料，试点的成果和效益，在西安瑞行集团旗下的15家区域供热公司中引起了广泛关注。目前，所有15家公司都在寻找辖区内合适的项目并且申请资金和技术支持，用以计划在未来几年复制试点的成果。

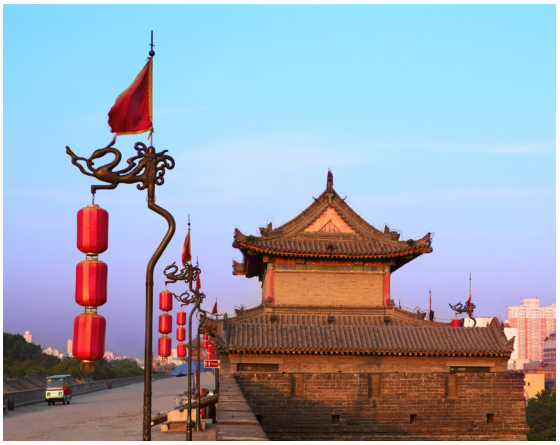
目前，除了扩大已完成的试点项目外，合作伙伴的官员和专家们已经开始讨论下一阶段的合作伙伴关系和具体合作内容。相信进一步的城市间知识共享、讨论、交流和试点项目，将会带来区域供热和城市建筑相关的新技术探索实践，进一步促进节能降耗和减少碳排放。

1

研究目标

哥本哈根与北京在战略行业合作框架下共同完成该报告，同时获得C40中国建筑项目（C40-CBP）的支持。本报告基于哥本哈根和北京在区域供热及大型建筑中供热系统的交互和控制等方面的相似性，受到双方领导层的共同关注。因此，C40城市气候领导联盟、哥本哈根市政府、中国住房和城乡建设部（MoHURD）科技与产业化发展中心（CSTID）和北京建筑节能研究与发展中心共同成立研究小组。经申请批准，非C40成员城市陕西省西安市作为观察城市加入该小组，主要通过热力公司瑞行集团作为代表参加。

本次合作的主要灵感之一来自于2017年，哥本哈根因"公共建筑的能源监控、管理和高效运行"项目获得了C40城市彭博慈善奖中的城市节能类奖项。哥本哈根能够获得该奖项的原因是从2010年起，该市建筑实现了20%的节能，而且这些节能中的5-7%是在没有重大技术升级的情况下，仅通过分析和控制等低成本改进措施实现的。在C40城市建筑能效网络和C40-CBP框架下，哥本哈根市和北京市通过前期交流，决定在北京、哥本哈根和西安之间开展比较研究，通过这种方式，分享城市区域供热能效的经验和效益。



在2021年之前的合作初期，我们准备了两份报告，介绍了北京、西安和哥本哈根的情况——目的是对各城市的区域供热系统、建筑设施设备和支持性监管框架进行摸底，进一步了解当前情况的相似性和差异性，并最终确定是否在当地进行知识和技术转移试点，以进一步提高北京和西安的能源效率，减少碳排放。

在中国和丹麦的整体供热基础设施中，区域供热都发挥着核心作用。随着近几十年来经济的快速增长，中国已经构建了世界上最大的区域供热系统，主要集中在寒冷的北方地区。在丹麦，在20世纪70年代的石油危机的刺激下，建成了具有高成本效益的供热系统，区域供热管网覆盖全国各地。虽然区域供热可以提升效率，但这些大型系统也成为其所在城市的重要能源消耗来源。因此，关于哥本哈根和北京的区域供热系统效率的讨论和比较，特别是供热系统在大型建筑的应用问题成为双方城市官员共同关注的问题。

此外，在这两个国家，区域供热是实现社会目标和向高效、可持续的能源系统过渡的重要途径之一。区域供热是一种灵活的供热形式，可以利用热电联产以及其

他清洁能源，整合高效的可持续燃料。应对气候危机要求我们在供应不稳定的情况下，迅速大规模采用清洁能源——区域供热部门的优势之一是它可以在更广泛的能源系统转型中发挥平衡作用。

然而，尽管区域供热系统在实现未来净零经济方面拥有巨大潜力，但本比较研究主要聚焦以下具体目标：

首先，根据成本效益和可持续发展标准，结合当地情况，展示区域供热系统和相关建筑提高能效最直接的方式。这种分析不仅涉及环境因素，还涉及社会因素，如改善区域供热用户的室内舒适度。

该研究的一个特殊领域是研究楼宇管理系统（BMS）控制装置以及能源监测系统

（EMS），以及如何利用这些系统来优化区域供热系统能效的监测和实施。

其次，在北京和西安进行试点研究。在中国和丹麦的供热系统对比和技术交流的基础上，更好地验证和实施先进的技术和理念。经过西安瑞行集团的大量工作和技术专家团队的支持，试点项目在北京和西安都得到了实施，取得了显著的节能效果和经济效益。由于时间和资金有限，目前为止，试点研究仅限于从换热站到建筑入口的二网水力系统的调节控制。

因此，试点重点测试静态水力平衡、换热站的气候补偿和公共/办公建筑的分时调节。在未来，将针对分户供热控制开展进一步研究。

总而言之，试点研究的关键点是：

–楼宇控制技术方案、设备和实施要点；

–通过楼宇控制技术节省热量和电量；

–采用优化控制技术后的室温效果和用户反馈；

–调控后的技术和经济分析。

2

研究背景

2.1 北京和西安区域供热现状

2.1.1 主要特点

中国区域供热系统的典型技术构成是：以加压热水为热媒，在热源处生产，并分配到各换热站（区域供热系统的一次侧）。每个换热站再为一些多层或高层建筑服务（区域供热系统的二次侧）。中国的区域供热只提供空间供热，不提供生活热水用热。此外，中国的供热期为当年的11月15日至次年的3月15日。

《中国建筑能耗研究报告》显示，2018年，建筑领域总能耗占全国总能耗的46.5%，总碳排放量为49.3亿吨CO_2，相当于碳排放总量的51.3%。因此，建筑领域具有巨大的节能减排潜力。

2.1.2 提升能源效率

考虑到节约成本和环境问题，中国政府已经采取各种措施来刺激能源节约。十三五（2016–2020年）规划提出，到2020年，实现部分区域和门窗等关键部件的建筑节能标准达到或接近国际先进水平。在城市新建建筑中，绿色建筑面积比例达到50%以上，绿色建材比例达到40%以上。

当前，已有5亿多平方米的既有住宅建筑和1亿多平方米的公共建筑完成了节能改造。我国城镇既有住宅建筑中，节能建筑的比例超过60%。此外，调查显示，许多供热公司具有较强的环保节能意识，并在这方面做了大量的管理和技术改进工作。

2.1.3 总体发展需求

中国区域供热系统面临的一个普遍存在的、整体性的问题是其供热量超过了实际的供热需求。造成这种过量供热的原因是普遍缺乏控制装置，无法根据实际供热需求调整建筑供热系统中的室内温度和流量，造成了大量的热量损失。

在温度控制方面，很大一部分供热区域不具备室温调节和控制功能。国家规范要求中国北方的供热室内温度至少为18℃。区域供热公司通常会增加二网的循环流量，保证至少关键用户供热达到这一标准。这往往导致系统在运行时体积流量大，供回水温差小。

在二网和建筑流量控制方面，通常没有自动流量控制装置，导致二网的流量分布不均匀。因此，靠近换热站的建筑物往往会收到超过需要的流量，从而变得过热。位于管网远端的建筑物收到的流量少于所需，难以满足其供热需求。建筑物内部难以实现水力平衡，中国的区域供热系统的二次侧通常以恒定流量和压力运行。通过控制水泵的压力，保持换热站的恒定压差。此外，在使用恒定流量的方法下，水泵以恒定的速度运行。虽然有一些变频泵，但它们主要用于纠正压力和流量方面的设计和运行条件之间的偏差。大体积流量会导致循环泵的耗电量高于必要水平，温差小，回水温度高，管网热损失大。

尽管许多供热公司的节能意识越来越强，但热计量的实施情况却很差。供热公司大多以"保供"为目标，但其作为市场主体的作用尚未完全发挥，对政府补贴的依赖性较强。

当前实行的城市供热价格是10多年前制定的，导致了热力公司的经济损失。在这种情况下，即使添加热计量装置，用户最多只能支付与以前相同的供热费，而不愿意支付更多费用，这将进一步增加热力公司的损失。仅仅是热计量装置的收益很低，不足以弥补热力公司的投资，利润也无法保证。

2.2 哥本哈根区域供热现状

2.2.1 主要特点

大哥本哈根地区的区域供热系统是迄今为止丹麦最大的系统，每年提供35PJ的热量，从系统的东部到西部的距离约为50公里。它由几个通过一个输电网互连的配电网络组成，随着时间的推移，该输电网已经发展成为一个大的系统。热量来自于多个工厂，包括大型发电站（基于生物质）、城市垃圾厂、工业余热和高峰负荷锅炉等。根据建筑登记，由互联系统提供的总供热面积约为7500万㎡，年热能销售量可达30000TJ，平均排放量为65kgCO2/MWh。在哥本哈根和弗雷德里克斯贝格这两个最大的城市，99%的建筑都是由区域供热供应的，区域供热成为最主要的供热方式。在哥本哈根和丹麦，区域供热也可以提供生产生活热水。丹麦的供热季为每年的9月15日到次年的5月15日 。在非供热季节，建议用户关闭散热器的阀门。即使关闭阀门的情况下，区域供热仍可以生产生活热水。

哥本哈根市物业和采购局（KEID）是哥本哈根市的公共财产管理机构，负责该市公有建筑的法律所有权、翻新和整体运营事宜，包括大约900处房产和3500座建筑中的220万平米的建筑面积。哥本哈根公用事业公司HOFOR是哥本哈根市政府所有的非营利性公用事业公司，垄断了哥本哈根地区的区域供热。

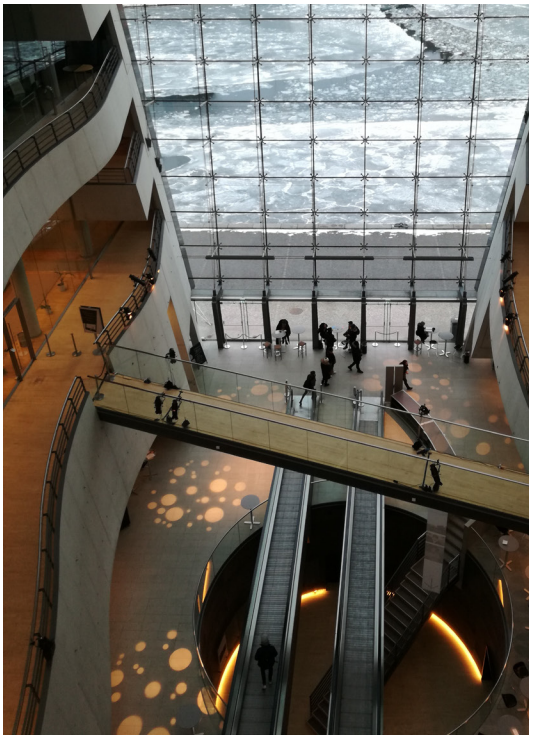
2.2.2 提升能源效率

哥本哈根市提升能源效率的驱动力来自于到2025年实现碳中和的宏伟目标，其中包括一系列具体的目标和倡议，旨在为实现碳中和的过渡铺平道路。气候方面，计划到2025年实现市政建筑的能耗比2010年降低40%， 这

意味着大多数市政建筑将不得不进行节能改造。

丹麦建筑法规是实现国家节能目标的重要政策工具。该法规针对新建建筑提出了严格的要求，即新建筑的建造要符合较高的节能标准，并在法规的定期更新中不断加强。同时，该规范针对翻新或更换的建筑部件的能源性能也制定了相关的规定。通过上述方式，建筑法规确保既有建筑群不断提高能源效率。同时，自2006年起，还实施了一项全国性的建筑能效标识计划。

KEID负责公共建筑的技术装置的维护。因此，针对这些类型的装置制定集中的战略，目的是提倡使用节能组件和基于数据库的工具，以协助当地业务人员确保节能运行，并使故障排除更容易。其中包括建立能源监测系统（EMS），并更新和简化楼宇管理系统（BMS），这部分内容将在随后的第4章中进行说明。



2.2.3 整体发展需求

可持续能源供应的发展目标对区域供热系统提出了挑战，但社会和商业经济分析表明，区域供热在未来的能源系统中起着关键作用。一部分原因是由于更严格的建筑要求和既有建筑的节能措施使能源需求降低；另一个原因是随着风力发电和其他可再生能源的使用不断增加，热电联产厂的热能发电（以及随之而来的供热生产）将会减少，从而增加区域供热的相对生产成本。

因此，未来需要建立更加灵活的区域供热系统，以平衡电力系统可能产生的波动，从而支持可再生能源的整合。该目标可以通过蓄热等技术措施来实现，当系统中有足够的风力涡轮机的电力时，区域供热厂减少其热电联产的生产，并通过蓄热来供热。或者通过使用电锅炉和热泵，直接使用来自风力涡轮机的多余电力进行供热。

此外，低温区域供热是下一代区域供热的重要方面，以实现对不同的能源的更加优化和有效的利用，包括余热、热泵、太阳能热和地热能等。下一代区域供热还可能包括综合供热和制冷，以及双向区域供热，即在某些时段可能有热源的房屋，如当地太阳能热，可以向管网输送热量。然而，由于生产生活热水所需的供应温度相对较高，低温区域供热的实施面临挑战。另外，　优化水力平衡是实现低温区域供热的关键。

最后，灵活调整热量的消耗可以提高区域供热网络的整体效率。目前，哥本哈根市正在与HOFOR合作，在政府所有的建筑物中进行测试。其目的是在高峰期以外的时间为被测建筑供热，减少高峰期需求负荷。初步结果表明，可以将被测试建筑的峰值需求减少22%。在哥本哈根2022/2023年的采暖季，将针对该方面进行进一步测试。

3

技术比较和分析

3.1 北京/西安和哥本哈根的整体供热系统比较

中国的供热公司实行按需供热，即通过提高供热系统的监管水平，根据用户的实际需求准确供热，避免供热过剩或不足。同时，供热公司还力求提高热源和管网的效率，减少生产和运输过程中的能源浪费。

在丹麦，供热系统的调节由需求方主导--一个基于末端用户反馈的闭环系统：

- 确保实现按需供热的关键设备是散热器的恒温控制阀（TRV）。通过TRV，末端用户可以设定室温，自动调节散热器的散热，充分利用阳光等自由热，实现最优的热量/温度调节。

- 为了满足TRV的正常工作要求，通过水泵的变频调节或建筑物换热站的控制阀来调节二网（建筑物内管网）的压差，通过建筑换热站的气候补偿装置调节温度；

- 然后，一网通过水力平衡及其他调整，以满足各种换热站的需要。

- 同时，为了鼓励用户保持合理、经济的供热需求，丹麦实施了家庭热计量政策，鼓励用户在家时将TRV温度设置得不要太高，不在家时将TRV温度调低。

在中国，供热系统的调节是由供方主导的，即由供热公司向用户分配热量的开放式系统：

- 一般不安装TRV，用户也没有办法调节室温，温度只能由供热公司调节。供热公司对末端用户室温的反馈是通过上门测温和室温传感器（近年来安装了少量的传感器）获得的。更多的反馈则是通过用户投诉了解到的，供热公司通过既定的调节方式来调节热量。

- 公共建筑在非工作时间，特别是周末或节假日期间，无法调整到值班温度，而是只能像住宅一样继续供热。

- 在中国，一般不使用楼宇换热站。普通小区换热站的供热面积较大，一般为10万平方米（十多栋楼，甚至几十栋楼）。为了合理分配每栋楼的热量，一些供热公司安装平衡阀（BV）来调节楼宇间的水力平衡。然而，事实上大多数系统并没有安装BV，整个二网存在水力失衡现象。

- 在换热站中广泛使用自动控制技术。一些自动控制技术具有气候补偿功能，但大多数自动控制设备没有此功能，或者是这些功能并没有投入运行。

- 一网水力平衡调节难，整个一网系统中存在水力失调现象。

- 由于普遍使用的是开放式系统，中国的供热公司在运行过程中尽可能地保持一网和二网系统的稳定运行。只有在用户投诉或测温反馈的情况下，才对管网的流量分布进行局部调整，调整后再次进入新的稳态运行状态。大多数供热公司只根据室外温度的变化调整热源的供水温度。一些比较先进的公司已经实现在换热站进行气候补偿自动调节。

中国和丹麦的专家认为，两个供热系统之间的技术差距很大，鉴于这些差异，很难完全复制哥本哈根的方法--不同的体系涉及多种不同的技术、政策、做法和习惯。然而，双方均认为，通过渐进式的改变，可以获得显著的效果。为了促进中国的供热节能，可以逐步建立一个由需求方主导的闭环系统，由"下游"作为主要调节者，"上游"作为响应者。在对中国和丹麦的情况进行初步比较研究后，建议逐步开展试点工作。在每一步取得节能效果，带来节能效益后，将为下一步的工作带来技术积累、信心、动力和流动资金：

第一步：对换热站的自动温度控制；

第二步：公共建筑的自动温度控制；

第三步：住宅建筑的自动温度控制；

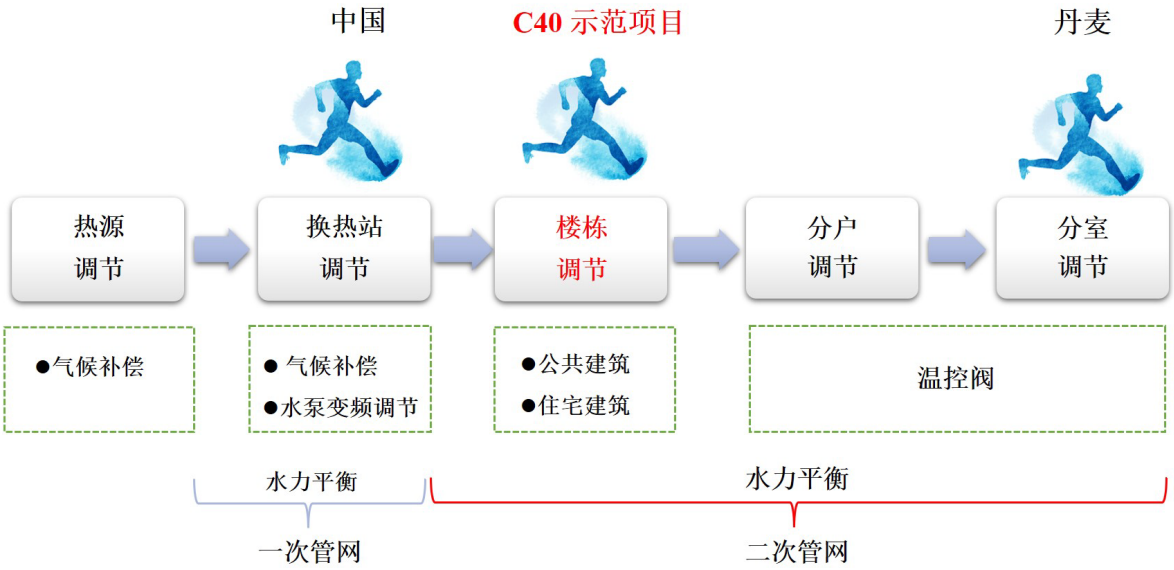
第四步：居住建筑的分室自动温度控制。

因此，到目前为止，试点工作已经尝试了上述的第一和第二步，取得了显著的节能效果；下一阶段的试点工作将着眼于第三步（使用地暖的住宅建筑）和第四步（使用散热器的住宅建筑）。

经过中丹专家的交流、讨论和初步试点，确定以下关键节能技术：

1. 换热站的气候补偿技术；
2. 管网的水力平衡技术；
3. 楼宇回水温度控制技术。

此外，新方法的试点将需要广泛宣传研究结果和成果，及时开展新的培训，并更新指导方针。



3.2 换热站的气候补偿技术

3.2.1 原则

换热站的气候补偿技术以换热站为自动温度控制对象。

这种技术可以根据室外环境温度的变化，通过调整一网水流量来自动调节二网的供水温度，从而实现二网的整体按需供热。气候补偿装置还可以收集和分析室内温度变化，并通过强大的自学算法优化供热，如丹佛斯的LINHEAT系统。

该技术还可以设置不同时段的可变负荷需求，调整不同时段的二网温度曲线，实现公共建筑工作时间的舒适供热和非工作时间的按需供热，从而进一步实现节能降耗的目的。

气候补偿技术与更深入的按分户、分室或楼栋进行温度控制调节的技术并不冲突，而是深入调节的基础。例如，它可以保障TRV的有效使用。

3.2.2 现状和问题

在丹麦，气候补偿技术的应用早已普及，并随着技术的进步不断优化和更新。

在中国，只有一些热力公司，如金房暖通公司大力应用这项技术，但大多数热力公司尚未应用该技术。例如，在西安瑞行集团旗下的大多数换热站中，一网电调阀的开启或二网的供水温度大多是手动远程调节的，尚未采用自动调节功能。

中国大多数换热站尚未采用气候补偿技术的原因有三个：1.自动控制设备的缺陷 2.人员的技术水平 3.一网不适应换热站的变化。

为了充分实现碳节约，使供热系统发挥节能作用，应该对一网进行重点关注。在换热站启动气候补偿技术，需要换热站上游的一次管网能够适应各个换热站变流量运行的动态工况。一次网需要实现水力平衡，热源应变流量运行，针对大型管网多热源系统，需要考虑蓄能调配技术，以稳定热源输出工况。

同时，换热站下游的二网应首先达到水力平衡，否则会影响调节效果。

通过TRV进行室温调节也需要在实现换热站气候补偿的前提下进行，否则TRV可能无法有效工作。

3.3 技术：水力平衡

3.3.1 背景

如上所述，在与区域供热相关的大型建筑中推行节能措施的一个共同挑战是客户投诉，这一点也在北京/西安报告中提及。如果用户投诉供热温度没有达到预期的18℃的舒适度，则需要提高供热温度，这增加了过热的风险和二次管网的其他区域的净损失。此外，诸如在公寓中实施恒温阀的举措，如果没有水力平衡，就很难实施和利用。

在哥本哈根，水力平衡是通过在一次侧的热交换器之前的建筑装置上使用恒温阀或电调阀和差压控制器以及相关的仪表（如温度、流量和压力）来实现的。如果控制得当，供热系统能够为建筑物提供足够的热量。有时，还需要补充阀门，以调节建筑物内立管的流量。除了这些组件，通过散热器温控器来调节单个公寓（或房间，如办公室）的热量分配。

尽管哥本哈根和北京/西安的区域供热系统存在明显的差异，但也可以发现其相似之处。在哥本哈根，换热器位于大多数建筑物/用户的入口处，通常使哥本哈根的二网成为建筑物内的集中供热管网。在北京/西安，二网为多个建筑物提供服务，这些建筑物之间形成大型管网，由一个大型换热站集中供热。此外，与哥本哈根不同，在北京/西安，生活热水并不由区域供热产生。这使得北京/西安的供水温度更加灵活，因为在热水箱中保持恒定高温以控制军团菌并不是问题。

由于哥本哈根和北京/西安的二网的规模不同，1：1复制哥本哈根的系统是不现实的。然而，仍然可以从基本原则中汲取灵感。

3.3.2 实现水力平衡的必要性

所有参与方都认识到，对与区域供热相连的大型建筑来讲，实现水力平衡应该作为初始节能措施中的优先事项。丹麦专家小组得出了这个结论，这也反映了中国专家小组的意见。

当然，除此之外也需要进一步采取其它节能增效措施，但如果首先解决水力平衡的问题，这些措施将更加有效。该措施将带来多重效益：

通过优化二网中的供热分配，使每栋建筑获得所需热量（调控、供热等均得到优化），从而减少对供热公司的投诉。投诉率降低后，消费者没有理由拒绝付款，会反过来增加供热公司的经济收益。此外，当二网中最末端用户的投诉数量减少时，就可以避免提高供应温度造成的过度补偿。这可以更好地进行整体气候补偿调节，特别是考虑到不需要保持较高的供应温度进行生活热水生产。

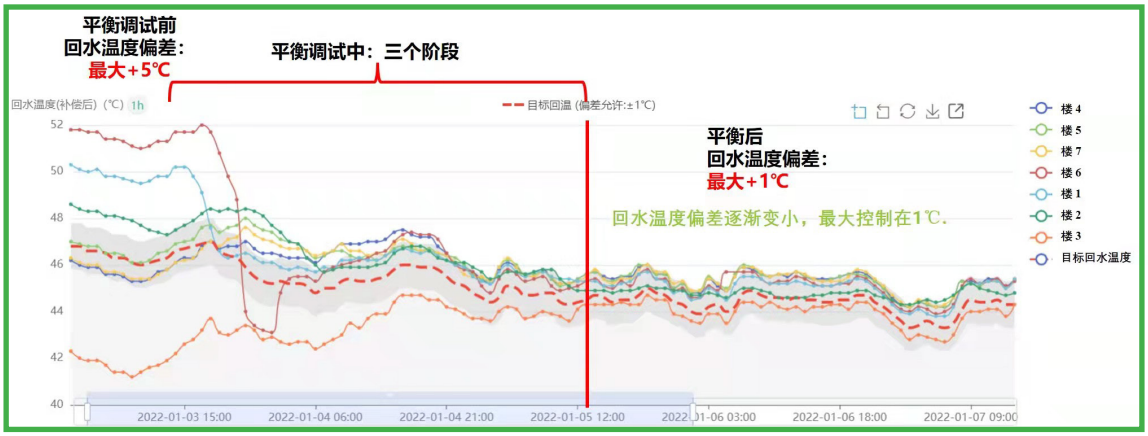
根据北京/西安国家报告中提到的调控方法，实现二网水力平衡，可以更好的控制换热站的流量和压力，从而进一步提高运行效率。

3.3.3 如何实现水力平衡

实现水力平衡的主要目标是确保每栋建筑物都能获得满足舒适度要求的热量。在北京/西安，通过在二管的关键位置安装新的部件，可以通过对现有系统进行相对较少的改动来实现这一目标。例如，在二网楼栋入口处安装压差控制器、电动阀和温度压力表。有了这些组件，可以实现对流入建筑物的热量的控制，并且可以很容易地实现数值监测。可以通过安装压力表，或者在二网的关键点上安装更多的泵实现。总之，目的是确保在供热管网的最末端的部分保持足够的压力，并为二网提供监测指标，以便更好地排除技术故障。

3.3.4 试点应用和结果

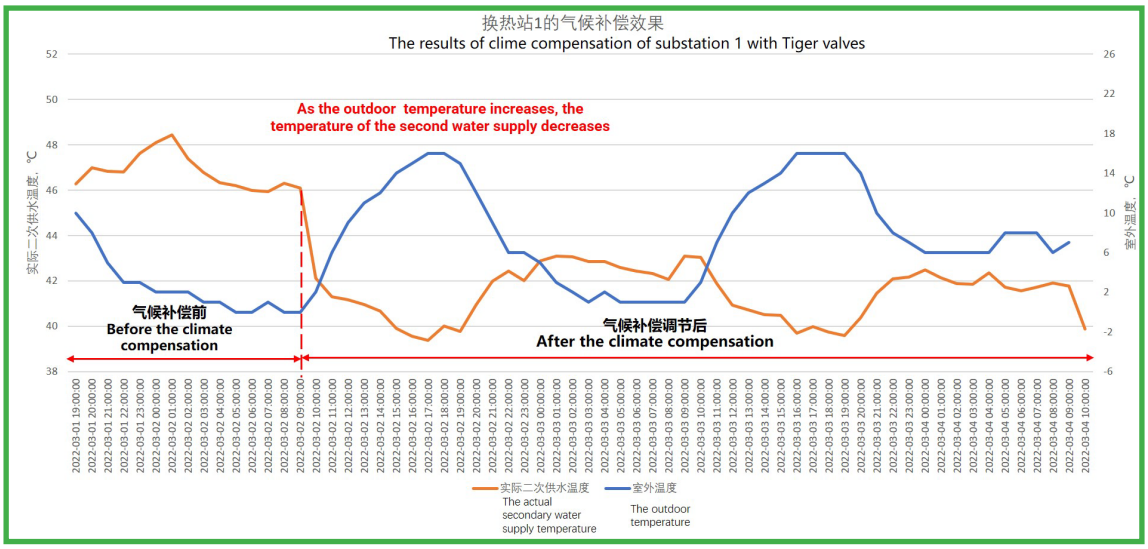
在哥本哈根与北京战略领域合作和C40中国建筑项目的试点工作中，在北京试点的同一换热站下辖的19栋楼安装了泰德尔公司的水力平衡装置。该装置提高了居民的供热质量，节约了3%的电量。在西安瑞行集团下属的热力公司试点的同一换热站下辖的7栋建筑中，安装了泰德尔公司的水力平衡装置，实现了节电 13%、节热 9%。结合气候补偿装置，实现了有效节能 25%的效果。



通过这些试点，我们可以发现，在中国城市与区域供热管网相连的大型建筑中，水力平衡技术的应用具有巨大的节能潜力。

此外，在西安瑞行集团下属的热力公司试点了两个换热站，分别安装了丹麦丹佛斯和北京暖流科技公司的气候补偿装置。前者仅安装了丹佛斯的气候补偿装置，实现节热18%。后者除采用气候补偿装置外，还采用了二网水力平衡技术，实现节能25%。

试点实践表明，使用气候补偿技术同样具有巨大的节能潜力。



3.4 楼宇温控技术

3.4.1 原理

楼宇温控技术是以楼宇为自动温度控制对象，根据楼内一系列室温采集点的温度反馈，对整个楼的供热进行调节的技术。它具有以下调节功能和节能效果：

1. 有助于实现楼宇之间的水力平衡；

2. 考虑到外部得热（阳光照射）和内部得热的自由热，并动态地调整热量供应；

3. 当气候和环境温度发生变化时，系统会迅速做出反应，及时调整供热；

4. 当公共建筑处于非工作时间，例如在夜间、周末或节假日，可以将室内温度相应地改变为非工作时的温度值，从而实现节能。

3.4.2 现状和问题

在丹麦，几乎每栋楼一般都建有换热站，所以很早就实现了单个建筑楼的调控。住宅建筑通过TRV实现室温控制，不需要整个楼栋层面的调控；公共建筑采用TRV远程调控，也不需要楼栋调控，而且节能效果更好。

在中国，很少有该技术推行，但是少有的几个试点，都取得了很好的节能效果。因此，这些试点将会成为投资效益极佳的节能技术方向。

3.4.3 试点应用

在这项试点工作中，西安瑞行集团下属的热力公司的楼宇温度控制取得了实质性的实际效果。在一栋公建楼中，在保证用户在工作时间室温能达到标准规定的前提下，在下班以后降低室温，实现节能 11%。

但是，由于其他六栋楼没有调节，导致该楼节约的热量被其他楼瓜分。因此，从整个换热站来看，没有节能效果。

因此，要实现楼宇温度控制，前提是在换热站采取气候补偿措施，同时实现其他建筑楼的实时温度控制。然而，这个试点证明了通过控制非工作时间的供给热量，实现供热系统节能的可行性。

4

能源监测系统（EMS）和楼宇管理系统（BMS）对比

4.1 北京和西安的能源监测系统

4.1.1 北京概况

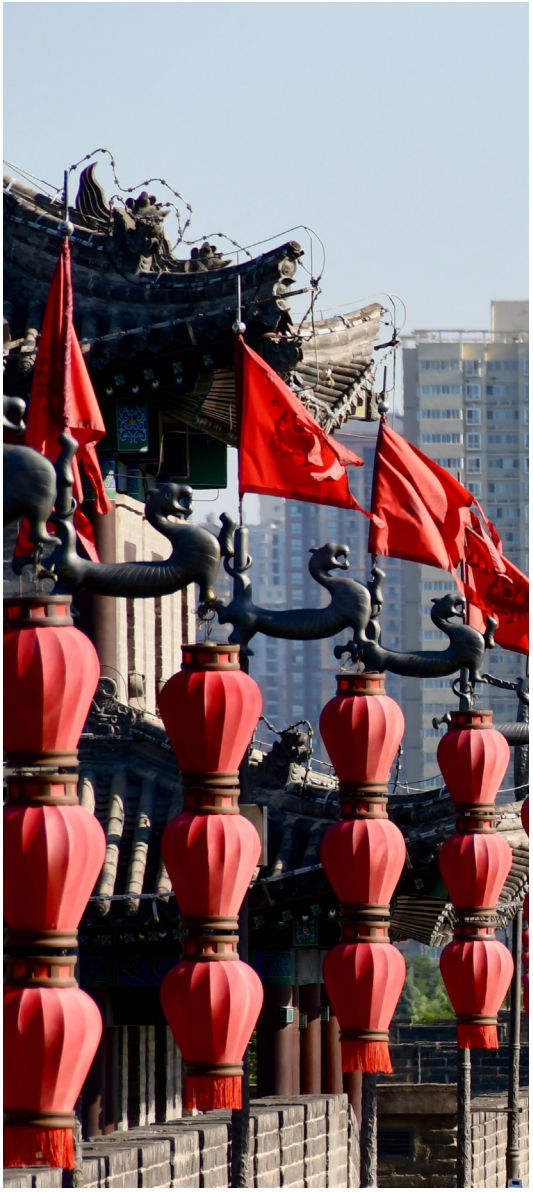
在中国，没有标准的能源监测方式。因此，每个热力公司都有自己的能源监测系统（EMS），政府通过要求每个公司提供数据报告来进行统计分析。不同公司的EMS 系统之间的性能差距很大。有些是公司自己开发的；有些是购买的；而且操作功能也不一样。

北京市政府承担了能效评估工作，并对取得突出节能成果的企业给予荣誉奖励。但是，总的来说，EMS在中国的应用和完善水平还远远不够，尚未达到为推广节能技术和节能服务公司提供市场导向的程度。因此，在实施先进的节能技术、运行效益评估和优化，以及通过经济激励措施提高热用户的节能意识方面，EMS的重要性没有得到足够重视。

4.1.2 西安瑞行集团的EMS

瑞行集团位于西安，由15家热力公司组成，每家公司都有自己的EMS。然而，在2020年，该集团开发并建立了一个中央EMS，能够进行详细的分析、评估和统计收集。瑞行集团每个子公司的EMS都有1~10分钟的数据采集周期，其中大部分可以实现本地数据互传、远程阀门控制，还有少数可以自动控制流量温度和启动气候补偿功能。

瑞行集团的中央EMS的目的是对其子公司进行评估，并推广其节能成果。同时，该系统有助于分析和诊断问题，并协助对节能项目进行评估。此外，中央EMS的分析结果是集团是否进一步开展节能改造项目和评估其有效性的关键指示。该EMS系统正在继续完善，预计将至少获得5%的节能成效。



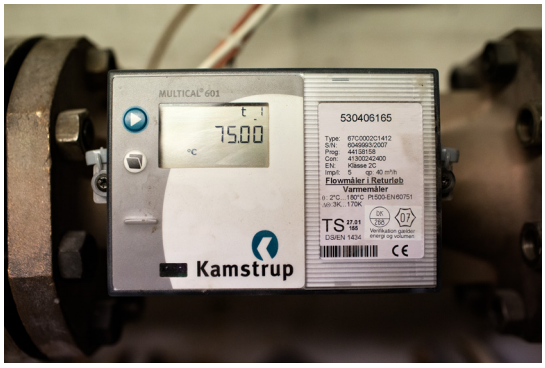
4.2 哥本哈根的EMS和BMS

4.2.1 能源监测系统（EMS）

2015年，KEID启动“数字能源监测计划”能源监测项目。在此之前，已经开展了一系列的能源改造和能源效率试点工作。通过与行业伙伴的对话，发现基于能源监测的行动，如水力平衡和供热系统调控，将为减少能源消耗提供坚实的基础。

因此，KEID通过与哥本哈根公用事业公司HOFOR（他们是KEID的软件供应商）合作，开发了EMS。总的来说，EMS实现了了大量可靠的数据点的采集和存储，可用于一系列目的，如泄漏和错误检测、为确定节能项目的优先次序开展分析，并作为记录和交流能源消耗模式的重要辅助手段。在KEID负责的建筑中，安装了2300个智能电表，实现了对超过200万平米建筑面积的热、电和水消耗模式的监测。EMS的设置遵循严格的数据管理体系结构，包括建筑物、电表、数据点等，在系统和体系中遵循规划中的名称和点位。

在哥本哈根，理论上的节能潜力迅速转化为经济收益，每年可减少750万丹麦克朗的能源成本。节省资金的潜力使得实施EMS的投资回收期不到6年成为可能。此外，该项目被批准为商业案例，用于在减少城市开支的同时实现能源节约。



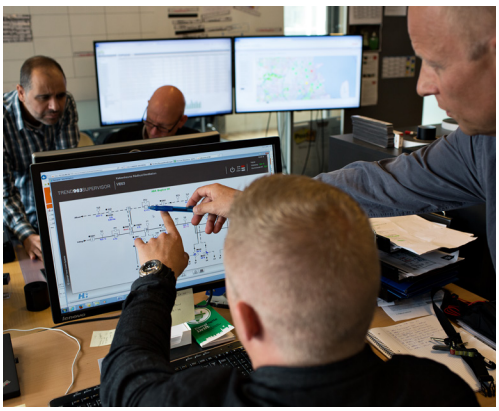
4.2.2 楼宇管理系统（BMS）

哥本哈根，甚至整个丹麦，使用楼宇管理系统（BMS）来控制大型建筑的集中供热装置。BMS通过控制水泵和电调阀等控制气候补偿装置，从而调节二次供水温度。通常，BMS基于一组预定义的参数和一个室外温度计。当检测到环境温度的变化时，BMS会调整水流温度，并调节发动机和阀门，以根据更新的参数最有效地为建筑物供热。哥本哈根建筑的BMS还可以控制通风系统，以及在某些情况下控制照明和建筑的其他部分，具体取决于装修的复杂性。

从一开始，在哥本哈根的市政建筑中运行的BMS通过签署外包协议，委托给多个平台、供应商和独立的系统。在其他没有安装BMS的建筑中，供热装置和通风系统的运行依赖于人工调整。这种情况是零散的，缺乏总体结构，使运行支持服务难以实现。很明显，实现这些系统的标准化、简化使用流程以及必要时安装BMS颇有益处。

在2017年至2021年期间，哥本哈根公共建筑的BMS得到了升级、精简，并在必要时连接到互联网。技术人员现在可以轻松地操作安装，并利用各种选项，如供热系统的气候补偿和假日程序。此外，核心技术团队可以更有效地排除故障和协助用户。

安装和精简BMS预计每年可节省约2500万丹麦克朗。人们普遍认为，这些节约已经实现。除了这些能源和资金的节约，用户的舒适度也同时得到了极大的改善。



4.3 EMS和BMS的结论

在北京和西安，虽然尝试了能源监测和分析技术的多种措施，但只有在少数情况下取得了商业上的成功和持续使用--除了用于强制性报告。在哥本哈根和丹麦，由于计费方式的原因，能源表已经强制实施了若干年，公用事业公司推出的智能电表加速了动态在线和数字能源监测的发展。然而，在北京和西安（以及中国其他地区），情况并非如此，在楼栋或公寓层面的计量试点尚未取得全面成功。

然而，西安瑞行集团开发了一个集中管理平台，成功地整合了15家热力公司、44个热源和480个换热站的EMS和BMS数据。通过这项工作，瑞行集团能够实现一系列指标的监测，如每平方米的能源使用量和故障操作的识别等。这种方法已经实现节能5%，并在不到一年的时间内实现了投资回报。

这些结果与哥本哈根市政府物业部门在其EMS应用中观察到的结果相似。在哥本哈根，通过建立和使用EMS，预计可以减少3%的能耗，这一点已经超过了预期。

西安和哥本哈根的这些例子在结构和组织上有一些不同。在西安，由瑞行集团负责区域供热，而在哥本哈根，则由哥本哈根市政府物业部门负责建筑运营和维护。然而，这并不改变收集和使用数据能够带来能源节约的事实。

通过这些实践经验，我们有信心，随着EMS的正确使用，在更多的中国城市可以实现节能。

关于BMS，一些在丹麦建筑中使用的调控选项可以应用于中国的换热站中，特别是气候补偿和二网的流量控制。总之，这将有助于取得与哥本哈根相同的成效。

随着加强对水力平衡的关注，能源监测和管理可以变得更加有效，并为采取进一步的能源效率措施铺平道路。

5

结果和结论

2018年，哥本哈根和北京建立合作伙伴关系，致力于研究这两座城市供热系统运行中的主要异同，西安于2020年加入了这一合作。经过合作研究，我们发表了本报告，并阐述了北京和西安的供热系统与哥本哈根存在的差异。尽管存在这些差异，研究指出通过城市之间的知识共享和技术调整，未来具有大规模节能减排的潜力。

经过多次技术交流、在线视频展示和讨论，在北京和西安实施了三个试点项目——以实例来验证之前的研究成果。这些试点项目得出了供热系统中三个技术方向和可交付成果，包括：

1. 区域供热系统二网的水力平衡技术；

2. 区域供热换热站的气候补偿技术；

3. 减少公共建筑在工作时间以外供热量的调节技术。

这些试点取得了明显成功和充分验证：实现了高达25%的能源节约！且在2年之内可以通过节能效益回收投资，在某些条件下，投资回收期甚至还不到1年！

该试点做出了非常有益的探索尝试，即改变中国供热系统传统的以供给侧为主导的调控模式，向以需求侧为主的调控模式转变。需求侧的调控对象从每个“换热站”调整到每个“楼宇”，逐步接近丹麦模式的每个住户乃至每个房间的温控调节。

不出所料，这些成果和效益在西安瑞行集团旗下的15家热力公司中引起了广泛关注。目前，这15家公司都在寻找辖区内合适的项目并且申请资金，用以计划在未来几年复制试点的成果。目前，除了扩大已完成的试点项目外，此次合作的伙伴城市官员和专家正在讨论下一阶段的合作伙伴关系和具体合作内容。相信通过进一步的城市间知识共享、讨论、交流和试点项目等，将会带来区域供热和城市建筑相关的新技术探索实践，进一步促进节能降耗和减少碳排放。

C40 CITIES

CITY OF COPENHAGEN

EMBASSY OF THE KINGDOM OF DENMARK
Beijing

BCEE

瑞行集团
RAISING GROUP