

建筑节能改造手册

Mariangiola Fabbri、Ivan Jankovic

欧洲建筑性能研究所

2020 年 3 月

本出版物原版为英文，即 *Building Efficiency Accelerator Renovations Playbook*。
此简体中文版本由宜可城东亚秘书处安排翻译与编辑。若有出入，应用英文原版为准。

目 次

壹、评估	3
利益相关者分析和咨询	3
建筑节能改造的潜在障碍	4
贰、制定	5
定义目标建筑存量细分领域	5
开发建筑存量数据库	6
定义具体的建筑节能改造方法、优势和成本	7
列出潜在的节能改造措施和方法	8
分析预期的成本和效益	9
解释成本效益方法	11
发展成本效益概念	11
导出最优成本	12
定义最佳成本的实用方法	12
了解建筑节能改造的资金来源	14
融资工具	15
汇总项目	16
降低感知风险	17
以公共资金调动私人投资	17
叁、实施	18
政策评估	18
审查现有政策	18
设计一揽子政策	19
起草和发布建筑节能改造战略	20
肆、学习和改进	20
采集和积极监测数据	20
展示成功案例	21

表目录

表 1. 常见的建筑节能改造方法暨潜在改造举措	8
表 2. 预期成本和效益	11
表 3. 潜在措施核查表	18
表 4. 设计一揽子政策	19

图目录

图 1. 改善室内空气质量成分可提高员工绩效	10
图 2. 最优成本计算原则	13

案例研究目录

案例研究 1. 促进利益相关者的参与	4
案例研究 2: 塞尔维亚贝尔格莱德的建筑存量现状	6
案例研究 3: 保加利亚和罗马尼亚的建筑节能改造路线图	9
案例研究 4: 塞尔维亚的最优成本分析	14
案例研究 5: 建筑节能改造的资金和财政支持	15
案例研究 6: 波兰建筑节能改造融资	16
案例研究 7: 保加利亚以外的拨款	17
案例研究 8: 保加利亚和罗马尼亚的监测方法	20
案例研究 9: 乌克兰节能试点项目	21

壹、评估

本建筑节能改造手册中的评估阶段，旨在深入了解城市建筑存量的主要特征。并非所有城市都有现成完整的建筑存量清单。因此，此阶段的第一步是提供逐步建立建筑存量清单的指南。在理想情况下，城市应能对接/或任命一名能够确定采集最佳数据量的资深评估员，为分析需具备的复杂性作出定义，并提出建制建筑存量清单的策略。城市面临的挑战在于确保对建筑存量进行详细分析、评估建筑能源性能、确定改造需求，同时避免过于复杂的数据采集和过度使用有限资源。由此而言，建筑存量分析应包括但不限于：建筑类型、年限、规模、基本建筑特征、施工规范、建筑围护结构的热特性、能源系统、能源载体、占用模式和所有权等类别。

要完成一份详尽的建筑存量清单与分析，需投入大量时间、数据、专业知识和各种资源。成功的数据采集需仰赖地方地籍（若有）、国家统计局、不同部委的统计部门、国家或地区能源机构、城市部门、过去类似项目采集的数据、能源性能证书和建筑能效评级等能效数据库或国家认证，以及就不同利益相关者进行的数据采集或调查。

每个城市都须辨识出可用的数据来源，并依据内部资源（如：可投入数据采集工作的人力和时间、采集方法等）制定数据采集策略。

建立良好的建筑存量清单的城市而言至关重要，因为它有助于城市对当地的建筑进行评估，为制定建筑节能改造战略提供基础。后续的步骤则包括：制定重点建筑节能改造清单、当前和目标建筑性能比较、确定节能改造的潜在障碍，以及估算设计和实施改造战略所需要的资源等。

利益相关者分析和咨询

确定利益相关者是制定建筑节能改造战略的第一步。利益相关者是指包括政府、贷方、公务员、公民、供应商，乃至整个社会等可能影响战略实施或受其影响的相关方。绘制利益相关者图谱是制定建筑节能改造战略的重要步骤，因为它将有助于辨识各方期望和需纳入考量的问题。

为制定出缜密且广获支持的政策，这个过程应涉及多个主体（如：政策受益团体、公民等）和城市部门。在战略规划的过程中，应持续性向利益相关者征询意见，并至少在战略制定的最初始阶段和最终定案之前，各组织一次广泛且具有包容性的公众咨询活动。这可确保利益相关者积极参与在过程中，并鼓励通过合作，为成功而有效的建筑节能改造战略作出贡献。这也为自政府外部采集数据和信息提供机会，从而强化建筑节能改造战略。

建筑节能改造项目经常咨询的利益相关者包括：

- 政府机构；
- 建筑、能效和可再生能源产业，包括相关行业协会；
- 专业组织；
- 学术界；

- 建筑节能改造和建筑性能领域的专业协会；
- 业主协会和住户协会；
- 当地金融机构代表；
- 其他利益团体（如：非政府组织）。

相关利益者牵涉的利益可能包括：

- 地方政府对于减少公共建筑能耗和能源支出的需求；
- 公务员对于合适工作环境的需求；
- 建筑行业活动增加，可为建筑公司带来更多利润，并为国家和地方预算增加所得税收入。

潜在的冲突则包括：

- 提高能效可助力减少能耗，但同时将减少能源供应商的收益；
- 能耗减少意味着地方/中央预算的增值税/所得税收入将有所缩减。

案例研究 1. 促进利益相关者的参与

斯洛文尼亚：斯洛文尼亚的建筑节能改造有《长期建筑节能改造投资动员战略》、《国家节能行动计划（2014-2020 年）》等强有力的政策支持，凝聚基金提供技术支持，并通过能源效率证书（EPC）和能源技术服务（ESCO）模式推进深度建筑节能改造项目。一些国家试点项目在过程中发挥了重要的示范作用。主要利益相关者可在修订和更新长期建筑节能改造战略的过程中提供回馈和建议；而市政当局也在制定地方战略的过程中，尝试就未来建筑节能改造项目的技术和财务方针向利益相关者征询意见。

罗马尼亚：强有力的国家政策、现有战略、强制里程碑和各种资金来源，使罗马尼亚公共当局得以在能效领域投入大量资源。区域开发局（Regional Development Agencies）负责监督资金分配和监控投资，在制定战略、确定重点和具有野心的目标、实施、监测和反馈等各阶段与公共当局保持密切联系。此外，区域能源局也充当不同利益相关者（公民、公共行政部门、研究/大学/学术界、私营部门）间的枢纽，为公共当局提供技术支持，使地方战略更为全面，且受益于不同领域的专业知识。

克罗地亚：克罗地亚在国家长期建筑节能改造战略中纳入了促进利益相关者参与和提升能源项目投资吸引力的要素。私人投资者或 ESCO 面临的一大障碍在于，能够取得有利资金来源的渠道有限。金融机构所提供的长期优惠贷款、担保和项目融资等支持不足，导致 ESCO 项目所获得的关注度不高。但欧盟凝聚政策要求大多数可持续能源项目的投资必须来自于私人投资者。因此，克罗地亚另也计划开发包括为私人投资者提供利率补贴等内容的风险管理工具。

建筑节能改造的潜在障碍

在制定建筑节能改造战略的过程中，应尽可能列出并深入分析改造可能面临的各种障碍。这可为后续评估可行的解决方案奠定良好基础——特别是为促进成功的建筑节能改造战略所需要的政策设计。

过程中可能面临的障碍包括：

- **立法和监管障碍** 如现有法律框架造成的障碍，如法律和复杂行政程序间的重叠，或欠缺相关立法；
- **资金和财务障碍** 如资金不足、高交易成本、能源补贴价格偏低，对投资造成影响；
- **沟通障碍** 如因关于深度建筑节能改造优势的沟通不足，所导致的意识不足——特别是在公众之间；
- **能力障碍** 如缺少制定和实施政策措施的技术能力和/或知识；
- **技术障碍** 如对现有建筑存量的理解不足，以及缺少关于技术解决方案和措施的知识/技能；
- **研发障碍** 如因研究或试点项目不足，而导致缺乏知识、数据或经验。

贰、制定

定义目标建筑存量细分领域

在完成了建筑存量的评估之后，应确定出一或数个建筑节能改造战略将聚焦和分析的领域。例如，战略目标可能仅涉及公共建筑与其节能改造，那么这份战略将单就建筑存量的这个领域进一步开展分析。

另一种可能是选择二或多个建筑存量细分领域（如公共建筑、住宅多户建筑和办公楼）作为战略目标，并开展更详细的分析。在这种情况下，考量不同建筑的特征、利益相关者期望、市场条件等因素，通常有必要对不同的战略目标进行单独分析。

在此基础上，应着手建制建筑存量数据库。而最合适的作法是对目标领域中的建筑存量进行详尽的描述，但对其他领域进行简要的描述。分析建筑节能改造战略中未直接涉及的建筑存量领域和其重要特征有其附加价值。例如：比较不同建筑存量细分领域的特征、核查数据库的准确性、评估目标建领域的进展可为总体建筑存量绩效带来的影响等。

最佳实践示例包括：通过独立项目建立详细的建筑存量数据库。而建筑节能改造战略则根据其目标建筑存量细分领域，采用并进一步分析该数据库中的相关信息。

开发建筑存量数据库

分析建筑存量的目的在于，为现有建筑存量构建全面性的描述，并将重点置于欲关注分析的建筑能源性能。良好的建筑节能改造战略应包括欲分析的建筑构造、结构特性、占用模式，以及供暖、通风、空调和能源生产（若有）系统特征等要素。

一般而言，对于建筑存量的合适描述应包括：建筑的所有权、位置和方位、使用年限、规模、类型和典型用途（包括一般占用时间表）、围护结构大小和热性能，以及现有能源系统类型、容量、使用年限、管理和使用的能源载体等重要特征。此外，任何关于测量或能耗估计的信息，也可大幅提升建筑存量数据库的质量。现有的能源效率数据库已可为建筑存量能源性能数据提供重要信息。不过，并非所有国家皆公开了这类信息。

由于各项标准的差异（如建筑围护结构的 U 值和窗户质量）和随时间变化的特性，能源性能可能是建筑中最难以捕捉的特征。因此，准确的建筑存量能源性能评估应定期反复实施，且及时更新建筑存量的不同特征。

考量这项任务的复杂性，能源效率数据库是少数可为建筑存量数据库提供可靠能源数据的来源之一。就这点而言，虽然其他数据来源可能较少，且包含了其他如区域供暖公司的供暖和收费数据等公用事业的能耗记录等，但使用者应不忘测量和计算能源数据间（如相较于能源效率证书）的差异和交互作用。

有两种方式可获得并使用能源效率数据库的建筑存量能源数据：

- a) 直接从能源效率数据库读取它所涵盖建筑的能源数据；
- b) 根据能源效率数据库涵盖建筑的能源数据，预测数据库未涵盖建筑存量细分领域的能耗。

案例研究 2. 塞尔维亚贝尔格莱德的建筑存量现状

联合国环境规划署支持贝尔格莱德市公共当局提升建筑和相关能源系统效率。战略规划中最重要的一部分是对该市现有的建筑存量进行分析。分析结果部分摘录如下。

塞尔维亚全国和贝尔格莱德市的建筑存量结构、组成和性能相关可用数据皆相当有限。据估计，住房部门占塞尔维亚总体能耗的 38%，且其中近九成建筑建于 1991 年前。

贝尔格莱德人口统计数据 单位：人

	贝尔格莱德	塞尔维亚
人口	1,659,440	7,186,862
单户和多户住户	734,909	3,231,931
每户人口	2.3	2.2

资料来源：贝尔格莱德统计局、贝尔格莱德市

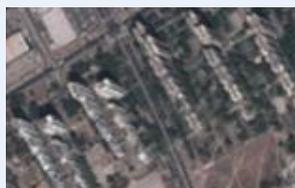
不同区域常见的建筑类型各有所异。例如，贝尔格莱德市中心同时有多户和单户住宅。该市的 Banovo Brdo 区多为单户住宅；而 Novi Beograd 区则有大量多户住宅。

通过收集和计算下列数据，贝尔格莱德估算了该市开展建筑节能改造的潜力和相关节能量。但由于缺少详细信息，此处数据是基于专家的计算和假设。

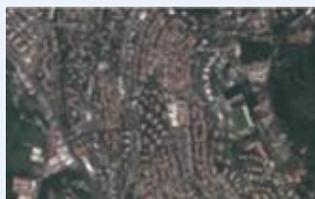
贝尔格莱德的建筑面积中有 81% 为住宅。其中约 36% 连接了区域供暖系统。



贝尔格莱德市中心 / 图片来源：谷歌



Banovo Brdo / 图片来源：谷歌



Novi Beograd / 图片来源：谷歌

贝尔格莱德建筑面积数据 单位：百万平方米

总建筑面积	60.3
总住宅建筑面积	48.6
总非住宅建筑面积	11.7
区域供暖建筑面积	21.9
区域供暖-住宅建筑面积	17.6
区域供暖-非住宅建筑面积	4.3
人均住宅建筑面积	29

资料来源：联合国环境规划署-丹麦科技大学合作中心、贝尔格莱德大学、贝尔格莱德市、塞尔维亚国家统计局

贝尔格莱德的能源需求数据

建筑存量终端总能源需求	10 TWh/年
住宅建筑终端总能源需求	7.6 TWh/年
非住宅建筑终端总能源需求	2.4 TWh/年
区域供暖-终端能源需求	3.6 TWh/年
区域供暖-住宅建筑终端能源需求	2.8 TWh/年
区域供暖-非住宅建筑终端能源需求	0.8 TWh/年
住宅建筑平均能源需求	157 kWh/m ²
非住宅建筑平均能源需求	204 kWh/m ²
平均能源需求	166 kWh/m ²

资料来源：联合国环境规划署-丹麦科技大学合作中心、贝尔格莱德大学

定义具体的建筑节能改造方法、优势和成本

如 EPBD 2010/31 所述，在确定了战略目标（如针对公共建筑进行能源改造）且完成建筑存量的评估之后，将采用低成本的方法执行战略，对目标建筑进行节能改造。

换言之，制定战略目标的用途在于，在以低成本的方式对特定建筑领域进行节能改造之前，缩小建筑存量范围，并规划相关时程。

列出潜在的节能改造措施和方法

建筑节能改造为提升能效提供了极好的机会，虽然引入空调系统等服务，有时可能会增加能耗。若节能改造会导致能耗量增加，则必须确认这类增加是建立在提高内部舒适度的基础之上。这样的节能改造结果才是可被接受的。

建筑节能改造也可能涉及增加百叶窗或变更空间布局，以增强日光和通风；或改善围护结构、重新设计和升级供暖系统、安装节能供暖和制冷设备、更换窗户、升级照明系统等深度改造。

若已有区域能源系统或考虑建立此类系统，则有必要就建筑存量节能改造和区域能源系统扩展方法进行协调。在寻求共识的过程中，各方利益相关者可能提出不同诉求。例如：建筑业者和住户期望降低能源费用和提升能源供应的可靠性；区域能源公用事业希望增加客户数和减少能源运输损耗；而公共当局则希望减少补贴和能源依赖性。下表 1 列举了数项常见的建筑节能改造措施。

表 1. 常见的建筑节能改造方法暨潜在改造举措

改进建筑围护结构	i. 外墙、屋顶、地基和地板隔热 ii. 门窗升级改造/替换 iii. 空气密封（提高气密性） iv. 建筑设计优化 a) 被动式太阳能设计（遮光、上光选择等） b) 太阳能反射技术 c) 自然冷却
改善供暖、制冷和空调技术	i. 空间供暖 ii. 热水供暖 iii. 空间制冷 iv. 太阳能热技术 v. 热电联产和余热利用 vi. 热能储存
照明、烹饪和电器	i. 汰换低效照明 ii. 汰换低效电器
协调节能改造和现有/更新区域能源系统	

在辨识出考虑实施的具体措施后，则应确定不同节能改造方案与其预期的能源性能结果。一份好的建筑节能改造战略应设定明确的目标，选择低成本的改造方案，并对需进行节能改造的建筑进行优先排序。

若有不同的替代方案，则应优先选择可充分发挥节能潜力的深度节能改造，防止投资长期而言节能成果较少、俗称“锁定效应”的领域。例如，若深度节能改造是重点目标之一，该战略则可确定至少实现六成节能量的潜在措施（深度改造）。

案例研究 3. 保加利亚和罗马尼亚的建筑节能改造路线图

保加利亚的《单体建筑节能改造路线图 (iBRoad) 》是公认有潜力支持建筑业主和公共当局实现全面节能改造的工具。iBRoad 可通过改善住房、降低能源费用和减少轻对化石燃料的依赖，协助解决能源贫困和空气污染等保加利亚最重要的两个社会问题。但为取得具体成果，iBRoad 必须为业主、房产买家和公共当局等终端用户带来切实的利益。作为国家项目试点之一，iBRoad 探究了保加利亚潜在用户的需求、偏好和信任。

仅 9% 的受访者表示相信能源效率证书提供的节能改造措施建议。而对于节能改造路线图，受访者则最希望看到：各节能改造步骤的估计成本 (59%)、减少供暖和节省费用的预期效益 (58%)，以及有助于避免犯错的技术信息 (47%)。此外，根据受访者的回馈，理想的路线图时程为五年。过半数的受访者虽对路线图感兴趣，但无意支付相关费用 (54%)；而约三分之一 (32%) 的受访者则在对路线图感兴趣之余，更愿意支付相关费用。这些信息有助于保加利亚设计出更有效的单体建筑节能改造路线图。

罗马尼亚尚未进行相关的深度分析，但已通过和利益相关者沟通，确定了在设计建筑节能改造路线图的过程中应纳入考量的数个特定领域。其中包括强调依据社会经济条件（与德国、比利时等欧洲国家的典型条件不同）调整概念和保护个人信息的重要性。罗马尼亚在国家层级已有能够涵盖部分建筑节能改造路线图的强制性能源审计体系。罗马尼亚应进一步考虑扩大该规范，以确立建筑节能改造路线图的概念。

目前，保加利亚仅要求新建建筑制定节能路线图。但自 2024 年起，这项强制性要求将适用于该国所有建筑上。原则上所有面积超过 250 平方米的建筑都须进行能源审计；但当局实际上并未对该要求采取控制措施。严格实施能源审计要求可允许市场引入建筑节能改造路线图的概念——特别是需结合适当的激励手段——将其纳入建立能源效率证书的法律程序。

分析预期的成本和效益

在经济考量之外，量化措施成本和效益并考虑社会影响，也是有效评估节能措施和方案的关键。

采取这个步骤所面临一大挑战在于，确保获取与节能改造活动成本和效益相关的高质量数据，并对未来数十年的节能改造活动进行适当预测。有关深度节能改造成本的可用信息可能仅限于特定的示范或试点项目，无法反映代表大规模部署所需要的成本。因此，以非完整的数据为基础作假设是无可避免的。不同的节能措施和方案通常可依成本和效益分类，在进一步了解其性质后作出更准确的预测。

分析节能改造可带来的广泛效益，是制定建筑节能改造战略的另一个重要面向。为刺激深度节能改造而提供的公共补贴成本，可能通过随之而来的效益予以抵消。以公共建筑为例，能效提升可通过增加经济活动、减少能源和失业津贴支出来增加税收收入，从而减轻公共财政压力。此外，改善室内空气质量和热舒适度，也可能有助于减少人员缺勤时数，从而提高生产力。就办公楼而言，下图 1 汇总了改善室内空气质量可为

提高生产力和福祉带来的效益。

尽管当前已有许多关于建筑节能改造和广泛能效提升措施所带来的多重效益研究，能够为本章节提供更多启发，但这些效益的货币价值常常被忽视。国际能源署（International Energy Agency）的《捕捉能效的多重效益（Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency）》报告提供了相当全面的概述。

提升能源效率更广泛的效益可能包括：

- 通过增加经济活动、减少能源和失业津贴支出增加税收，从而减轻公共财政（即公共当局预算）压力；



图 1. 改善室内空气质量成分可提高员工绩效

- 改善室内空气质量和热舒适度，可减少缺勤时数、缩短住院时间和提高教育绩效，从而提高生产力¹。建筑质量（办公楼、学校、工厂等）与通报的病假时数（缺勤）之间存在显著的关联性。研究报告指出，更好的建筑可使每位员工每年减少 0.4-1.5 天病假²，而另一项研究则得出“对隔热系统每投资 1 欧元，可因减少病假时数带来 0.78 欧元收益”的结论³。办公室和学校建筑可因更佳的空气质量、热舒适度、光线（照明和自然）、声学和控制效果，分别提高 11-16%和 13-20%的能源性能⁴。

在减少碳排放和能源使用方面，宣传提高能效的环境效益，更可提升组织声誉，增强公共关系⁵。

表 2 就建筑节能改造常见和更广泛的效益，列出了数项重要的预期成本与效益。分析预期成本的有用资源可能因国家而异，但总体而言，将包括不同的建筑施工、运营和管理相关成本评估指南。评估成本时大部分的工作主要集中于调查和采集可靠数据，以便接下来用于进行相对简单的计算。

若尝试按照预期准确性列出不同的资源，最准确的来源则可能是各国国家建筑师协会等专业机构所发布的当地指南。

¹欧洲建筑性能研究所（BPIE），“量化学校、办公楼和医院节能改造投资的效益——方法和结果”，第 20 页，2018 年

²A. J. L. Thompson、J. A. Veitch 和 G. R. Newsham，“通过楼宇自动化系统提高组织生产力”，2016 年

³C. Economics，“投资建筑节能改造的多重效益：对公共财政的影响”，10 月期，第 1-80 页，2012 年

⁴欧洲建筑性能研究所（BPIE），“室内空气质量、热舒适度和日光”，2015 年

⁵碳信托基金，“地方政府大楼节能”，2012 年

表 2. 预期成本和效益

确定和量化资本支出 (CAPEX) 要求:

- 实施节能改造措施或方案的**总投资成本**。其中包括改造既有建筑 (即建筑围护结构或能源系统) 的所有工程、行动和材料成本。

确定和量化成本:

- **实施节能改造措施的总成本**, 扣除因使用末期汰换、与其他建筑维护、新建或现代化改造工程同时进行节能改造所省去的成本。
- **交易成本**, 包括住户临时迁移成本。

确定和量化不同节能改造措施或一揽子措施带来的效益, 包括:

- **经济效益**: 节约能源成本; 增加 GDP; 影响经济活动; 增加财产价值; 影响公共财政; 减少能源进口费用。
- **社会效益**: 减少燃料贫困; 健康益处; 提高舒适度、生产力和/或学习成效。
- **环境效益**: 减少温室气体排放; 改善空气质量。
- **能源系统效益**: 提高能源安全; 避免新增发电容量, 减少峰值负荷。

另一个可能的来源是当地资深工程师和设计师的经验。他们拥有多年在当地市场执业、开发并定期更新相关成本的估算资讯。通过这个渠道取得的资讯可能未获得各专业协会的正式认可 (尽管往往也不会被忽略), 但它可能具有相当高的准确性和实用性。

最后, 由美国采暖、制冷与空调工程师协会 (ASHRAE)、总部位于伦敦的国际专业工程协会英国特许建筑服务工程师学会 (CIBSE) 等全球公认的建筑服务设计机构所提供的成本指南, 也是另一个潜在资讯来源。这些机构无法提供详细的成本信息, 但可为在地方层面评估各项成本提供有用的指南。例如: 关于不同干预措施成本组成的说明、成本比较等。

另一方面, 对于不同效益的评估较不依赖信息本身的可获取性 (因相关数据应较易于获取), 而是更倾向通过不同的计算和建模技术进行。最常见输入的信息包括: 能源价格、房产价值、能源进口量的历史和当前信息, 以及其他多可自国家统计局获取的类似数据。

解释成本效益方法

发展成本效益概念

成本效益 (cost-effectiveness) 概念是基于对建筑引入最低能源性能要求所需要的成本和可带来的节约额进行比较。一般而言, 具有成本效益的举措或一揽子措施, 其实施成本应低于它在预期使用期限内可产生的效益价值。

将对未来成本和节约额折现后得出的数值即为“净现值 (NPV)”。若某个举措/行动的净现值为正值 ($NPV > 0$), 则其具有成本效益。净现值最大的行动或行动组合则称为“最优成本 (cost-optimal)”行动。

导出最优成本

事实上，基准建筑中出现的最优成本效益举措，往往是一整套效果相当或具备最优成本的解决方案，很少为单一的一揽子措施。因此，各建筑类型都会因建筑本身和使用的最优成本变数组合而异，拥有一或多组成本曲线。

欧盟委员会的测试指出，计算过程中使用的变体数量不得少于 10 个，且另外还需加上参考案例（来源：第 244/2012 号欧盟委员会授权法规随附的欧委会准则，第 4.2 章）。这有助于确保辨识出一条能够代表成本的曲线，并从而反映出最优成本。

在确定一揽子措施时，最重要的是套用“Trias Energetica”原则的三大步骤：

1. 避免浪费，实施节能措施，从而减少能源需求；
2. 使用风能、太阳能、水能和地热能等可持续能源；
3. 最大限度减少使用化石燃料能源，并仅在缺乏可持续能源的情况下，尽可能高效使用。

许多既有建筑的能效提高项目源自于大型节能改造工程。因此，最重要的是将能效提升与其他工程计划结合，以合适的方式传递相关信息，以确保每一次的节能改造都能达到最优成本。

定义最佳成本的实用方法

在以成本最优方法来定义节能改造措施之前，应先对基准建筑和其所采用的一揽子措施作出定义。

使用基准建筑的目的在于为评估最优成本节能改造措施，提供目标建筑存量的近似值。此外，以基准建筑得出的结论，应套用于节能改造目标中的所有建筑存量。

在对基准建筑作出定义之后，则须从能源性能和经济绩效面向，对不同的—揽子措施组合（自当前和后续要求着手，包括深度节能改造）进行最优成本计算。

要评估所选—揽子措施组合的经济绩效，则可使用欧洲标准 EN 15459（建筑能源性能—建筑能源系统的经济评估程序）中的总成本计算方法。该方法可计算出所有成本的折现值。计算能源成本时应输入的数据包括投资、运行和处置成本、折现率、能源价格和情景，以及材料和设备的使用寿命，以绘制出综合能源效率和经济绩效评估结果的成本曲线。

若当地已有类似的准类，则最好选择使用当地开发的标准而非 EN 15459。但若没有当地标准，则可参考 EN 15459，或将其作为替代标准。不过，在使用外部的标准之前，建议先与当地负责建筑设计和节能改造的单位（如相关政府机构、设计师协会和类似实体）沟通讨论。

最后，应以尽可能压低总成本为目标，为不同措施或—揽子措施进行优先排序，以得出经济最优化的节能改造措施。在初始阶段妥适选择基准建筑，可确保整将经济最优化的节能改造措施，套用于目标建筑存量中的所有建筑。

最优成本方法的长期应用，则需定期更新对“最优成本层级”的定义，并考量市场条件变化（如相关成本）、计算方法的演进，以及在节能改造措施实施过程中吸取的经验，选择适合定期实施的措施。

下图展示了最优成本的计算原则。曲线上以数字 1-6 标记的单点，分别代表不同的措施或一揽子措施。单点所在的位置分别代表该措施的成本（欧元/平方米）与实现的节能量（kWh/平方米/年）。经济最优化可经由标记“O”总成本（欧元/平方米）最低的一揽子举措导出。

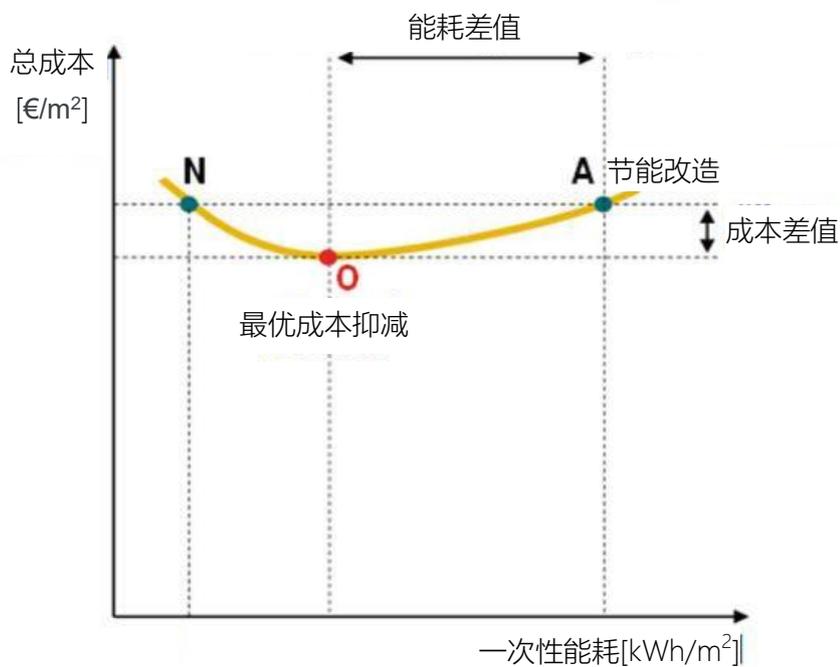


图 2. 最优成本计算原则

案例研究 4. 塞尔维亚的最优成本分析

塞尔维亚与其他九个能源共同体缔约方（Energy Community Contracting Parties, EnC CPs）签订条约以建立能源共同体，且有义务实施 2010 年《建筑能源性能指令（EPBD）》和 2012 年《能效指令（EED）》等欧盟指令的特定条款。

其中，《建筑能源性能指令》建议的最低标准是达成建筑全生命周期内，所有相关投资和节能成本的最优平衡。

为此，德国国际合作机构塞尔维亚办事处（GIZ Serbia）支持了该国开展最优成本分析，并为当地非住宅建筑能源性能的最低要求提出建议。除了依据指南针对非住宅建筑开展最优成本分析，并按《建筑能源性能指令》第五条内容进行评估，相关部门更将以这份报告作为最终成果提交给能源共同体秘书处，作为制定塞尔维亚能效规则手册中能源性能最低标准（MEPS）的参考依据。

这份最优成本分析是由一家塞尔维亚当地的工程设计公司，在贝尔格莱德大学外部专家小组的支持下完成。总体而言，开展最优成本分析的工作包括：确定非住宅基准建筑、节能措施、一揽子措施和变量，以及有关初始投资成本的总成本数据。为强化最优成本分析与战略规划中其他环节的联系，计算过程中所使用的主要参数（如规模、方位、施工年份、使用情况、HVAC 设备等）皆是基于国家建筑存量数据库中现成可用的数据。

了解建筑节能改造的资金来源

可用于对建筑存量进行节能改造的资金，在战略规划过程中扮演了十分重要的角色，因为它可能对节能改造目标的执行造成限制。例如，尽管战略中的一项目标是降低公共建筑能耗的 50%，但它预期所需要的资本性支出（CAPEX）却超出可用资金。在这种情况下，则应调整目标或寻求额外的资金来源。

一般而言，资金可从城市预算或通过借款获得。城市应在启动战略规划前了解相关预算规划。另一方面，借款条件是造成融资困境的一大因素。建筑节能改造是一项长期战略，因此规划人员应充分了解国际金融机构（international financial institutions）或商业银行当前实行和未来潜在的借款条件。

建筑节能改造战略应定义出所需要的投资规模，并具体说明将通过何种途径实现融资。另外，一份好的战略还应包括明确的实施路线图：至少应在市政层级制定 2030 和 2050 年的建筑节能改造情景。建筑节能改造情景应展示所需投资金额的年度分配，以及实现融资的方式。若不适合以年度为单位进行资金分配，则可采用较长但不超过五年的间距进行分配。

这将有助于引导投资者和商业部门采取行动，并确保为所有节能改造成本提供充分的概述，包括何时应为工程人员提供培训等。

案例研究 5. 建筑节能改造的资金和财政支持

克罗地亚：克罗地亚的住宅和公共建筑采用节能改造措施与否，很大程度取决于能否获得国家或欧盟的资金。欧洲结构与投资基金 (European Structural and Investment Funds) 为贸易和旅游业提供的财政支持，以及为学校 and 幼儿园等公共部门建筑提供的拨款，预期将有所助益。公共建筑已通过拨款和部分采用 ESCO 模式进行了节能改造。

斯洛文尼亚：斯洛文尼亚引入了与拨款计划相关的融资工具和技术支持，为考虑进行建筑节能改造项目的城市提供有利的环境。利用凝聚基金提供技术和融资协助，并通过 EPC 和 ESCO 模式推进深度建筑节能改造项目。两个还可改善的部分在于，公共建筑深度节能改造的融资工具范围有限，以及缺少 EPC 担保机制。

罗马尼亚：罗马尼亚通过各种计划支持住宅建筑的节能改造，如：

1. “国家住宅部门能源性能提高计划 (National Programme for Improving the Energy Performance of the Residential Sector)” 聚焦年能耗低于 100kWh/m² 的住宅建筑。初始投资中约 50% 来自国家资金和地方市政预算，其余部分则由建筑业主提供。
2. “国家住宅部门节能改造资助计划 (National Programme to Finance the Renovation of Residential Sector)” 通过政府担保提供银行贷款，提供 5 年信贷预算。
3. “温室计划 (Green House Programme)” 为市民和公共部门提供多项预算，资助改进住宅部门。
4. 布加勒斯特等地方当局，则通过启动独立的深度建筑节能改造计划，大幅改善了住宅部门且证明成效相当。

融资工具

以欧洲为例，城市可使用重要融资工具和计划包括：

- 欧洲结构与投资基金 (European Structural & Investment Funds, ESIF) 于 2014-2020 年间拨付了 180 亿欧元作为能效资金；
- 欧洲战略投资基金 (European Fund for Strategic Investments, EFSI) 是编列在欧盟预算中的 160 亿欧元担保金，并以欧洲投资银行 (European Investment Bank) 拨付的 50 亿欧元自有资金作补充，目标在三年内释出至少 3150 亿欧元的额外投资；
- 欧洲投资银行管理的 ELENA 基金，支持私人 and 公共发起人开发和启动价值 3 千万欧元以上的大规模可持续能源投资项目，最多可覆盖 90% 的项目开发成本；
- 由欧盟委员会、欧洲投资银行和欧洲理事会开发银行 (Council of Europe Development Bank) 共同开发的“城市可持续投资欧洲联合支持 (JESSICA – Joint European Support for Sustainable Investment in City Areas)” 计划，聚焦为可持续替代方案提供支持和拨款援助，促成能够为投资者带来回报的投资；

- 项目开发援助 (Project Development Assistance, PDA) “地平线 2020 计划”，帮助公共和私人发起者开发可持续能源示范项目，重点关注 750-5,000 万欧元的中小型能源投资，最多可覆盖 100% 符合条件的项目开发成本。

需特别强调的是，上述区域范围之外的国家和城市，可能需花费更多精力分析可用于推进建筑节能改造的国家或国际资金来源。

案例研究 6. 波兰建筑节能改造融资

“凝聚政策基金 (Cohesion Policy Funds)”是波兰基础设施和建筑节能改造需求方最大的资金来源。该基金在七年内为建筑节能拨付了约 21.5 亿欧元。就碳权交易收入 (ETS) 而言，4.55 亿欧元中约 1.05 亿分配用于包括建筑改造的节能工作。2021-2030 年间，碳权交易收入更有望成为节能资金的重要来源。

欧洲复兴开发银行的“波兰住宅节能框架 (Polish Residential EE Framework)”项目旨在提高住宅部门能源和资源节约投资领域，商业资金的竞争力。项目的目标是将能效领域的知识和技能转移给参与其中的金融机构，并鼓励私人受益方 (家庭、住房协会、住房合作社和私营部门服务提供商) 采取节能行动。项目为受益方提供低息贷款，但不提供财务补贴。欧洲复兴开发银行提供的融资额达 2 亿欧元。

世界银行在波兰开展了“GIS-绿色投资计划”等融资项目，成功推动公共建筑 (如公立学校、幼儿园和疗养院) 能源管理的现代化。“能效发展政策贷款 (Energy Efficiency Development Policy Loan)”则旨在支持波兰政府通过加速提高能效，和采取针对性的可再生能源干预措施，减少温室气体排放。该项目拨付了 11 亿美元 (9 亿欧元) 资金用于制定能效战略的配套法律框架，减少供给方的能源消耗，并改善需求方的能源效率和可再生能源行动计划。

汇总项目

修订版的欧盟《建筑能源性能指令 (Energy Performance of Buildings Directive)》认为，建筑节能改造融资的一项关键，在于对促成融资和动员投资的需求，以支持实施国家建筑节能改造战略。此项要求的一大重点在于汇总项目，以便投资者查看相关项目和一揽子解决方案。

投资平台上发布的大量可融资储备项目和工具，是扩大与复制成功项目的关键。考虑到这一点，欧盟委员会在 2017 年时已将其项目开发援助的年度预算上修至 3800 万欧元。

同时，欧盟委员会鼓励其成员国为项目开发商建制专门的一站式服务 (one-stop-shops)⁶。这些设施应可促成更多当地开发的储备项目，并与中小型企业、金融机构、能源机构等当地行动主体建立合作伙伴关系。一站式服务的关键在于对接资金的需求方和供给方。

⁶附件：加快建筑清洁能源部署，欧盟委员会与欧洲议会、欧盟理事会、欧洲经济和社会委员会、区域委员会和欧洲投资银行的通报文件，2016 年，第 10 页。

汇总项目的其他示例包括：由一或多个市政当局通过 ESCO 为多户住宅建筑或公共建筑进行节能改造。

降低感知风险

尽管提高建筑能效是一项良好的长期投资，贷款市场还未充分认知到这是一项低风险的活动，且违约可能性低于其他类型的投资。因此，降低投资者和私营部门的感知风险甚为重要。

能效金融机构小组（Energy Efficiency Financial Institutions Group, EEFIG）为向金融机构、投资者和项目发起者传达投资能源效率的实际效益与风险，开发了两项产品：

- “去风险能效平台（De-Risking Energy Efficiency Platform, DEEP）”（deep.eefig.eu）是一个泛欧盟开源数据库，收纳了 1 万多笔工业和建筑能效相关项目的详细信息与分析。该平台的价值在于，城市在申请融资时可通过它来支持证明项目的合理性。需铭记的是，金融机构常因缺乏可用于评估拟议项目财务可行性的工具而驳回融资申请。通过将欲申请的项目与平台数据库进行比较，城市可为项目可能的成果和成功机率作解释。
- 2017 年 6 月启动的“EEFIG 承保工具包”（valueandrisk.eefig.eu），是一份能效融资价值和风险评估指南，旨在协助金融机构扩大部署能效投资。工具包能够支持推广者开发出可融资的项目，并协助公共当局为以公共资金开展的能效项目作更好的评估。

以公共资金调动私人投资

欧盟《建筑能源性能指令》第二条第 a 款也要求使用公共资金来调动私人部门的额外投资，从而缓解特定的市场失灵问题。就这点而言，尽管欧盟增加了可用于提高能效的公共资金，但要达到能源联盟的目标，仍须依靠调动私人资金，更进一步投资能源效率。

案例研究 7. 保加利亚之外的拨款

保加利亚出现了为节能改造措施成本提供 100% 拨款支付的趋势。这类款项使城市产生了当地用于提高能源性能的费用，应完全由国家支付的期望，扭曲了原具健康潜力的市场。

对拨款的依赖更为其他形式的融资造成了阻碍——因为任何利益不及拨款的融资形式，皆被视为不够合适。建筑节能改造不应完全依赖拨款，而是应以公共资金支持吸引市场融资，且终端用户应在财务层面有所参与并承担相关责任。保加利亚已宣布有意对其国家能效计划中提供的全额拨款进行修改，以为提升住宅部门能源效率提供更具可持续性的融资机制。

这对于指导利益相关者的投资决策而言，是一个重大的里程碑事件，但需要时间表和附带具体指标的措施，使这个作法更能被社会接受。保加利亚 2017 年发布的国家建筑节能改造战略提出了将在 2020 年前通过 75%、50% 和 25% 三阶段减少拨款。但截至 2019 年初仍未公布具体的时间表与执行方式。尽管每年减少 25% 的拨款是相当有前景和前瞻性的想法，但似乎仍不被视为社会可接受的作法。

叁、实施

政策评估

审查现有政策

政策评估阶段的首要目的在于详细审查对于建筑节能改造造成影响的当前政策环境。其次，是确定释放建筑节能改造市场所需要的政策变更和新政策。

对现有政策的审查还应包括：分析现有政策在多大程度上解决了建筑节能改造的障碍，以及此类障碍存在于哪些层面。本报告的“评估”环节中罗列了建筑节能改造工作可能面临的障碍。

实施长期的建筑节能改造战略将需对政策环境进行全面性的审查，且可能还需导入过去未曾考虑过的政策措施。表 3 列举了可为建筑节能改造战略提供坚实基础框架的潜在行动。

表 3. 潜在措施核查表

立法和监管	<ul style="list-style-type: none">- 确定触发点并制定相关法规，以鼓励或要求提高建筑能源性能- 设计能够鼓励推进深度建筑节能改造的能效义务- 解决限制在地方部署低碳/零碳技术的因素，确保有利于推动建筑集成可再生能源创造的环境- 取消或采取措施以克服不利于提高能源性能的限制性租赁法律- 强制提高最低效建筑存量的能源性能，如：限制出售或租赁能源性能最低的建筑
技术	<ul style="list-style-type: none">- 制定节能改造标准，并按经验和新技术解决方案逐步、定期强化节能改造标准- 分析区域供暖系统提供高效、低碳能源的潜力- 确保建制节能规范的妥当监测和强制履行- 开发能够轻易在类似建筑类型中复制的一揽子解决方案- 引入安装和产品质量标准和认证系统（包括一揽子解决方案）
财政/金融	<ul style="list-style-type: none">- 针对特定的市场领域开发融资工具，为深度节能改造提供简单（“一站式服务”）和具有商业吸引力的融资来源- 建立机制，鼓励通过 ESCO 和 EPC 等第三方融资机制进行深度节能改造- 强化能源和/或碳定价机制，提供正确的经济信号- 取消化石燃料补贴，消除抑制投资的激励倒错- 考虑建立“无索赔奖励（bonus-malus）”机制，如：财产税制（同时奖励高能效、处罚低能效建筑）和能源定价
沟通和能力建设	<ul style="list-style-type: none">- 建立公开的数据库，展示节能改造后建筑的能源性能，以及推进深度节能改造的相关信息- 就关键专业和学科开展技能提升和培训项目- 建立区域/成员国间的知识和经验分享网络

沟通和能力建设（续）	<ul style="list-style-type: none"> - 鼓励发展本地供应链产业，在最大限度提高宏观经济效益的同时，竭尽所能减少隐含的二氧化碳排放量 - 开展宣传和传播活动，使业主意识到开展深度节能改造的机会，并在整个改造过程中逐步提供支持 - 定期公开通报建筑节能改造战略进程
研发	<ul style="list-style-type: none"> - 支持深度节能改造新技术和改进技术的研发示范项目，包括如何将最佳实践扩展至不同建筑

这份措施列表也许无法适用于所有情况，更不太可能在单一政策周期内导入所有举措。但它说明了为成功促进发挥节能改造的潜力，可审慎考虑采取的各种行动。

设计一揽子政策

一揽子政策的设计工作包括：设定目标和里程碑事项、定义构成建筑节能改造战略的一揽子政策，并提供前瞻性的观点，确定实施战略的投资需求和来源。政策定义的内容至少应包括：各项政策措施的描述、覆盖范围、期限、预算分配和预期影响。

在这个阶段，确定实施建筑节能改造战略所需要的投资规模和潜在来源，以及负责制定一揽子政策的相关方也相当重要。

表 4. 设计一揽子政策

根据社会经济和政策评估定义一揽子政策，重点描述未来五年内将采取的措施

制定路线图，包括政策导入的关键日期和目标，包括 2030、2040、2050 年里程碑事件

定义 2020（和 2030）年前节能改造建筑的比例

确定政策对实现欧盟 2030 年能效目标的贡献

量化 2050 年前实现一揽子政策的年度总投资需求

确定现有的建筑节能改造资金来源

- i. 地方公共资金
- ii. 国家公共资金
- iii. 欧盟结构/凝聚基金
- iv. 银行和其他资金来源，如：养老基金和投资信托基金

确定可能的资金来源、融资工具和机制，包括：

- i. 通过投资平台、集团或中小企业财团汇总项目
- ii. 降低能效提升措施的感知风险
- iii. 使用公共资金来调动私人部门的额外投资
- iv. 按照欧盟统计局指南，引导资金投入节能公共建筑存量
- v. 透明且可获取的咨询工具，如：为消费者提供一站式服务和能源咨询服务

起草和发布建筑节能改造战略

作为最后阶段的一部分，发布建筑节能改造战略可制造向包括大众在内的利益相关者，宣导建筑节能改造效益的机会，提高外界对该战略的认识，从而获得更多支持。

建筑节能改造战略的实施，另外还需监管和支持计划。其中包括为实施战略建立必要的立法机制。这不仅将花费时日，还需要坚定的政治意愿和毅力。此外，建立一个包含不同部门和各级政策制定者的工作组来推动实施战略，也可有所助益。

肆、学习和改进

采集和积极监测数据

在实施建筑节能改造战略之后，应采集并存储用于定义预期结果质量的各项指标数据。此阶段旨在掌握战略本身和其规划的不足之处，进而为了解建筑节能改造战略的潜力提供坚实基础。

应监测的数据包括：能耗、投资成本、能源费用变化、节能改造建筑的内部状况、公务员满意度、战略实施速度，以及详细的瓶颈分析等。若可能，也应关注节能改造前后皆可采集到的相关数据（如能耗、对内部舒适度的满意度等）。

若监测和观察到的节能量低于设计和预期水平，则需进一步分析出现该问题的潜在成因。就此意义而言，分析建筑节能改造战略的组成元素，如：节能改造措施的设计、开展的工程，或受监测建筑的能源管理，将有助于提升对改造战略设计和实施方式的理解，并确保相关步骤未来能获得改善。

案例研究 8. 保加利亚和罗马尼亚的监测方法

有必要基于可量化的目标和报告期限，为保加利亚和罗马尼亚的建筑节能改造战略，建立明确且技术合理的监测方法。这将增加政策制定和实施过程的透明度。这可能包括报告形式和利益相关方参与程序。这对于密切关注政策实施的利益相关者而言尤其重要，因为它有助于更了解策略成效。在国家层级采集数据，建立开源的国家能效指标数据库，可助力提升监测和评估流程的透明度。这也可通过地方和区域数据进行补充。使用准确且全面的数据有助于作出更好的规划，从而迎来更好的成果。

一般而言，任何对于实施建筑节能改造战略造成重大问题的步骤，都应进行定量或定性的监测和描述。考量战略实施过程中可能出现各种问题，数据采集和监测任务无法在建筑节能改造战略中详尽规划和描述。不过，一份好的建筑节能改造战应可略见数据采集和监测需求，或至少可粗略地为此类工作预留必要的时间和资源。

展示成功案例

提高对于能源效率重要性的认识，是建筑节能改造战略中，以及在与所有潜在利益相关者进行沟通时相当重要的一环。因此，不仅应向公众展示公共建筑节能改造成功实现节能的案例，更应宣传它所带来的其他效益。

特别令人感兴趣的示例可能是通过实施节能改造，成功提升能效的标志性建筑。另外，对市政厅、剧院、游泳池和学校等社区内重要的建筑进行改造，也可能获得关注。

案例研究 9. 乌克兰节能试点项目

乌克兰是全球能效最低的国家之一。尽管该国近年来已对境内的新建建筑实施了严格的能效标准，但实际上当地仍缺乏对节能施工方法的认识，且建设工程通常不合标准。因此，即便是新落成的建筑，能源效率往往仍远低于欧洲能效标准。

为提高社会对能源效率重要性的认识，乌克兰计划建设并运行一栋新的综合大楼，同时展示通过现代环保技术实现节能和资源节约的建筑概念。这座面积达 51,000 平方米的新住商综合大楼将位于乌克兰首都基辅。新大楼落成后的能耗预计将较乌克兰典型新建建筑减少 30-50%。一项重要考量是，建筑使用期限内所节省的能源和运行成本，将被用于补偿高昂的初始投资。

试点项目和节能建筑的相关信息主要通过协会和培训机构合作举办会议、全国巡回和技术研讨会分享。另外，当局也为大学院校和工程学院，就如何在建筑和工程课程中更大程度整合节能规划和施工内容提供建议。

许多乌克兰建筑专家和决策者都参与了这项试点项目的定期参访活动。在展示节能效益之余，新建的综合大楼更在整个施工期间作为培训场地使用。不少国际组织将该综合大楼当作展示欧洲节能建筑标准应用的示范项目。