利用政策工具和经济激励减少能源改造中的隐含碳

张浩南[1]

工程学院,应用科学学院, 不列颠哥伦比亚大学, 基洛纳, 不列颠哥伦比亚省, 加拿大, V1V1V7

摘要

既有建筑和建筑施工行业合计消耗了全球超过三分之一的能源，并产生了近 40% 的温室气体（GHG）排放。建筑行业的温室气体排放由隐含排放和运营排放构成。认识到减少建筑行业能源使用和相关排放的重要性后，各国政府出台了政策、标准和设计指南，以提升建筑能效并减少建筑运营相关的温室气体排放。然而，旨在减少既有建筑行业隐含排放的政策举措仍然缺乏。本研究旨在制定减少改造中隐含碳排放的政策策略。为实现这一目标，本研究开展了文献综述，并梳理了不列颠哥伦比亚省（BC）为减少既有建筑行业整体温室气体排放而采取的政策和财政激励措施。随后，本研究分析了全球范围内旨在减少既有建筑行业隐含碳排放的政策和激励措施。在审视这两类改造政策后，作者找出了现有不列颠哥伦比亚省战略、工具和激励措施与全球隐含排放战略之间的联系和机遇。最后，本研究汇总了所有资料中的主要发现，并提出了减少不列颠哥伦比亚省改造中隐含碳排放的政策建议。

1 引言

能源使用是影响建筑行业环境可持续性的主要因素，随着气候行动倡议的持续推进，这一问题受到广泛关注 [2]。根据国际能源署（IEA）的数据，既有建筑和建筑施工行业合计消耗了全球超过三分之一的能源，并产生了近 40% 的直接和间接温室气体（GHG）排放。到 2050 年，建筑行业的能源消耗及相关温室气体排放可能会翻一番，甚至增至三倍。[3]许多国家老旧建筑的能源性能较差，是造成上述排放的重要原因。例如，根据欧洲议会的数据，欧洲约 75% 的既有建筑能效低下 [2]。在加拿大，超过 50% 的住宅建筑建成年限超过 30 年，超过 20% 的建成年限达到 50 年或以上 [4]。老旧建筑主要使用非可再生能源，且材料和构件会发生老化 [5–7]。因此，与新建工程相比，这些较老的建筑存量能耗更高，进而产生更多温室气体排放 [8,9]。此外，大多数老旧建筑不符合最新的能效要求 [10,11]。

然而，全球能源效率改造率仍然偏低。例如，德国的改造率平均为 1% [12], 1，英国为 0.3% [13], , 欧洲每年为 0.4–1.2% [14]。为实现减排目标并满足最新能效规范的要求，必须立即采取行动，减少老化建筑存量对环境造成的影响 [15]。因此，涉及既有建筑围护结构构件和能源系统改造的项目在许多国家受到越来越多的关注 [16]。

随着建筑能效不断提高，隐含碳排放对实现减碳目标和应对气候变化的影响日益重要。隐含排放甚至可能成为建筑行业碳排放的主要来源 [17]。实施能够最大限度减少运营碳排放的能源改造，未必能带来全生命周期碳减排，因为这类改造可能产生较高的隐含碳排放。据文献记载，按照现行能效法规改造后的建筑，其隐含温室气体排放平均约占全生命周期温室气体排放的 20–25%。对于高能效建筑，这一比例可升至 45–50%，在极端情况下甚至超过 90% [1]。因此，实施能源改造时，必须重视减轻隐含排放的影响。

政府管理的政策工具对于支持建筑行业减少能源消耗和温室气体排放至关重要 [18]。实际上，改造涉及多个利益相关者，因此有必要通过法规和政策简化并协调这一过程 [19,20]。住宅建筑的改造措施主要由翻新人员和房主负责实施，而改造有望带来积极成效。然而，整个过程中涉及的各种经济、环境和社会问题，都需要由地方政府或联邦政府加以解决 [21]。如果没有外部经济支持，房主可能不会着手改造，尤其是在计划出租或出售房屋时 [22,23]。此外，针对特定情境选择最佳改造方案可能因诸多因素而有很大差异，例如改造目标、建筑类型、气候条件、技术问题以及利益相关者的利益 [24]。文献强调了改造政策在解决上述问题方面的益处 [25–28]。例如，建筑

评估和认证政策可以帮助住户了解其住宅的能源性能以及改造带来的益处。此外，财政激励措施可以减轻房主的经济负担，并鼓励他们开始改造 [29–32]。

本研究旨在利用现有政策，减少不列颠哥伦比亚省改造中的隐含碳。首先，本研究对旨在减少现有建筑行业温室气体总排放的文献以及不列颠哥伦比亚省相关政策和激励措施进行了综述与识别。随后，本研究分析了全球范围内减少隐含碳排放的政策和激励措施。在回顾这两类改造政策后，作者识别出现有不列颠哥伦比亚省战略、工具和激励措施与全球隐含排放战略之间的联系和机遇。最后，本研究汇总了所有资料中的主要发现，并提出了减少不列颠哥伦比亚省改造中隐含碳排放的政策建议。

2 改造政策分类框架

根据[33], , 政策工具聚焦于利益相关者的主要关切，是连接政策目标与应用市场的重要纽带。这些工具被视为政府制定社会和经济指导方针的主要渠道。改造政策工具（RPI）是一系列政策措施，例如要求、条例、认证和财政支持，用于实现政府设定的预期目标（例如提高改造率）[34]。研究已证明，RPI 具有很大的研究潜力[21,28,35,36]。

因此，为反映各类改造政策工具（RPI）的一般特征，本文针对收集到的 RPI 提出了一套分类框架。根据该框架，政府、公用事业公司及其他相关机构提供的 RPI 被分为四类：指导与命令（DC）、评估与披露（AD）、研究与服务（RS）以及财政激励措施（FI）。DC 、 AD 、 RS 和 FI 工具的说明见表 1。

表1 改造政策工具集群

工具	描述	参考文献
DC	总体方向：总体战略、行动计划；改造指令：环境方面的现有住宅的要求、标准、法规和改造指南建筑。	[26,27,37–39]
AD	建筑能源性能评估：能源审计、评级、标识，基准评估、改造后评估；披露建筑能耗。	[26,40–43]
RS	创新研究：精心设计的改造计划、新型改造技术，辅助工具；政府公共服务：技术支持、增加改造相关机构与部门、教育和培训项目。	[26,39,42–44]
FI	对改造活动的经济支持，包括补助金：直接补贴来自政府；返还：针对已实施改造措施返还的部分金额；税收抵免：应缴税款的抵扣；贷款：购买改造材料或以低利率购置设备。	[45–54]

3 改造政策分析

市政当局为实施多种不同的 RPI 作出了巨大努力。这些工具有助于提高利益相关者对改造的认知、知识和技能，并为他们提供改造指南和支持 [21,55]。

3.1 指导与命令（DC）政策

政府启动改造政策举措（RPI）时，指导和命令类工具（包括指导型和指令型工具）是其主要选择，因为这些工具被视为改造初期的重要干预措施 [21]。这些政策制定总体改造战略、目标和要求，帮助利益相关者更好地了解能源改造的基本知识、益处和总体未来方向。在制定政策时，政府努力兼顾利益相关者的利益，并为其提供详尽的改造指南。这些举措为改造实施提供了清晰的框架，从而克服改造实施障碍并提高市场接受度。

为应对气候变化，不列颠哥伦比亚省提出了《2030年清洁BC路线图》[56]。在建筑行业，该计划包括以下重要行动：到2030年实现新建工程零碳排放、为新建空间和热水供暖设备制定最高能效标准、加强能源效率计划、推出住宅能源标签，以及使用更多低碳建筑材料。该计划为利益相关者提供了总体方向，以提升建筑能效并减少建筑行业的温室气体排放。

对于既有建筑，加拿大政府提出了三级改造措施，包括小规模改造、大规模改造和深度改造[57]:

- 小规模改造是指成本低、易于实施，且能使投入的资金和精力获得良好回报的改造，例如升级照明系统和增加保温层。
- 大规模改造通常采取更全面的方法升级建筑，包括更换窗户玻璃和门、更新低效的供暖和制冷系统、安装带传感器的低流量水龙头、自动关闭装置以及分户计量设备。
- 深度改造会全面翻新建筑系统，可节省高达 60% 的能源成本，例如更换屋顶，并采用可再生能源技术（如地源热泵）替换供暖、通风和空调系统。不过，深度改造可能会对建筑居住者造成干扰。因此，建议在租户更替或入住情况发生其他重大变化时实施这些措施。

DC 工具可通过在改造项目早期提供总体发展方向、改造要求和建议，在促进改造方面发挥重要作用。借助这类工具，利益相关者能够了解长期改造策略、改造效益、最低改造要求以及适用的改造措施。然而，DC 工具的落实需要训练有素的改造从业人员提供充足的技术和财政支持，例如改造培训课程、能源审计数据以及改造活动补贴。鉴于此，DC 工具应与 AD、RS 和 FI 工具结合使用，以提高政策实施的成效。

3.2 评估与披露（AD）政策

AD 工具是对建筑能耗进行基准评估、识别系统运行问题以及发现改造机会的重要手段 [58], [59]。这类工具有助于房主了解建筑的运行能耗状况，并鼓励开展能源改造。相关机构为业主提供能源审计服务，包括检查公用事业账单并对目标住宅进行全面检查，以确定能源浪费发生的位置；住户还可以根据审计结果征求专家对改造方案的建议。此外，评估人员可以协助确保改造后实现节能目标。

加拿大各地已实施 EnerGuide 评级系统，帮助加拿大人提高住宅的能源效率 [60]。EnerGuide 评级是衡量住宅能源性能的标准指标。住宅的能源效率水平采用基于能耗的评级标准进行评定，单位为吉焦/年（GJ/year）。能源标签还列出了评定的年度能耗明细，包括空间供暖、空间制冷、热水、通风、照明与电器，以及其他电力消耗。住宅将根据其能源效率获得 EnerGuide 评级。评级由注册能源顾问计算，他们会分析建筑规划、提出提高能源效率的升级建议，并进行鼓风门测试，以确认住宅的气密性。

然而，先前研究表明，房东在决定出租或购买房产时，能源效率标签可能并非重要考量。此外，相关决策在很大程度上取决于能源使用数据的披露情况 [61]。因此，各方推出了披露政策，旨在让居住者了解自身的能源使用情况、增强其环境意识，并通过透明的信息共享，鼓励他们对能源效率较低的建筑进行升级改造 [62]。房主须定期报告能源使用情况，或在建筑上市时报告 [63]。然而，鉴于利益相关方认为合规会推高租金，建议将多户住宅和保障性住房排除在披露政策之外 [64]。

此外，AD 工具可作为有效工具，用于评估能源改造所实现的预计节能量与实际节能量之间的差异。以往研究证明，由于居住者行为的影响以及能源建模不准确，能源建模软件评估的预期能耗与实际能耗之间存在显著差异，导致能源改造项目的投资回收期难以可靠估算 [65–67]。事实证明，开发简单的、基于居住者的能源模型，更好地考虑不同居住者类型及其对能耗的影响，对于提高建模准确性至关重要 [68]。因此，AD 工具可以帮助改造专业人员了解预计能耗与实际能耗不一致的原因，并调整改造前的能源建模。完成改造后，可记录节能量，以检验所开发能源模型的准确性。然而，有效落实 AD 工具依赖于财政支持和专业改造人员 [28]。因此，应开发 FI 和 DS 工具，以支持 AD 工具的实施。此外，先前研究表明，对能源数据进行非常细致的监测并不具备成本效益 [21]。因此，在建筑能耗监测与建模之间取得平衡至关重要。

3.3 研究与服务（RS）政策

RS 工具包括研究相关工具和公共服务相关工具，用于提高居住者对能源改造的意识，并为改造从业者提供技术支持。

人们投入了大量精力，致力于开发创新的研究相关工具，例如最先进的改造技术和创新的改造方案。新技术的成效主要取决于技术手段、成本、气候条件和社会背景。为此，各国政府启动了研究与开发（R&D）计划，以应用可再生能源系统，将既有建筑改造成达到净零能耗就绪状态的建筑。

各国政府为利益相关者提供了许多公共服务，例如成立改造专业协会、开发培训计划和改造支持工具。各类机构、部门、组织和工作组能够协助协调利益相关者之间的关系并组织改造活动，从而推动住宅改造市场得到充分的推广、监督和服务。缺乏具备丰富改造知识和技能的从业人员，是阻碍能源改造实施的一大挑战 [69,70]。培训计划和支持工具能够加强从业人员在能源改造方面的知识和技能，帮助他们更便捷地启动改造并避免问题 [24]，[94]–[99]。培训对象通常包括居住者和专业人士。Hargreaves 等人 [77] 指出，居住者的节能行为很大程度上取决于他们降低能源消耗的意愿、信息交流，以及操作节能技术系统的技能。面向居住者的培训计划有助于提高他们改造住房的意识，并增强他们以节能方式操作家用电器的知识和技能 [78]。此外，培训也能提升改造从业人员的技能。以往实践表明，与接受过销售培训的承包商相比，接受过建筑科学培训的能源评估师更容易获得房主对实施改造的承诺 [37]。

在改造支持工具方面，不列颠哥伦比亚省政府推出了 EfficiencyBC 计划，帮助居住者和企业获取有关激励措施及支持的最新信息，以减少既有建筑的能源使用和温室气体排放 [79]。该计划提供的支持包括：

- 易于使用的激励措施搜索工具，适用于住宅和商业建筑翻新。
- 一个申请即可申请 EfficiencyBC、BC Hydro、FortisBC 和地方政府提供的住宅翻新激励措施。
- 有关能源效率升级的信息及常见问题解答。
- 为进行翻新的房主和企业提供免费的能源指导服务，包括由能源指导专家接听的电话和电子邮件热线。
- 搜索工具，可查找为住宅翻新提供服务的注册 EnerGuide 评级系统能源顾问。
- 用于查找不列颠哥伦比亚省注册承包商的承包商名录。

Clean BC Better Homes 是一个在线补贴查询工具，可协助房主根据所在地和住宅建筑的供暖系统查找补贴 [80]。供暖系统包括以下类型：电力（踢脚线电暖器、暖炉）、天然气或丙烷（暖炉、锅炉、壁炉）、燃油（暖炉、锅炉）、木材（炉灶、壁炉）、区域能源（本地生产的能源）

以及热泵。该项目还为不列颠哥伦比亚省的建筑业主和管理人员提供免费辅导服务。能源顾问是受过培训的能源效率专家，能够提供基于建筑科学的信息，介绍提升建筑能效的方案和机会。他们可在能源改造项目的各个阶段回答问题。这项服务可为居住者提供有关补贴项目和升级选项的一般建议，具体介绍如下：

- 通过免费热线和电子邮件联系能源顾问
- 有关能源效率升级和补贴的信息与一般建议
- 引导房主联系合适的项目代表

此外，Clean BC Better Buildings 是另一个在线平台，可为商业建筑提供信息和财政支持 [81]。该领域的一项定制计划是 CleanBC 商业快捷计划，旨在为建筑运营方提供指导和支持，并为商业及机构建筑提供电气化机会 [82]。该计划通过燃料转换及其他电气化措施，提供免费的能源指导服务。计划根据建筑的年代、所在地、面积、运营时长和设备类型提供资本激励措施，每个项目的最高金额为 100,000 美元。

总之，RS 工具主要依赖地方政府的支持。这些工具还有助于利益相关者探索新的改造技术，更便捷地获取改造信息和技术支持，以解决实际改造问题。从这个意义上说，此类政策可以为DC和AD工具提供可靠支持，并传播FI工具带来的益处，从而提高利益相关者的意识并提升其工作效率。

3.4 经济激励（FI）政策

财政激励措施已被视为在住宅建筑 [83] 中实施改造的必要工具。通过对本文所调查政策实践的考察，可以将多种财政激励措施分为四组：赠款、返利、贷款和税收抵免。

在加拿大，财政激励工具主要由公用事业供应商和地方政府提供。许多补助和返利项目已经启动，旨在鼓励房主升级建筑围护结构和能源系统。这些项目可以缓解房主对改造前期高额成本的担忧，并减轻其经济负担[70,84]。例如，加拿大自然资源部（NRCan）为改造前后评估的合计费用提供补助，最高金额为600美元，可帮助居住者评估改造成果。此外，NRCan还针对不同的改造措施提供直接补助，具体如下：

- 住宅保温：升级符合条件的阁楼、教堂式天花板、平屋顶、外墙、裸露地板、地下室和爬行空间（最高 5,000 美元）。
- 空气密封：进行空气密封处理，以提高建筑气密性，达到空气换气率目标（最高 1,000 美元）。
- 窗户和门：将门、窗户或推拉玻璃门更换为 ENERGY STAR® 认证型号（最高可获 5,000 美元）。
- 恒温器：安装智能恒温器，提升居住者的舒适度并节省能源账单开支（必须与另一项能源效率改造结合实施，最高可获 50 美元）。

- 空间供暖和热水供暖：更换为能源效率更高的空间供暖或热水供暖设备，以节省公用事业费用并减少碳足迹（最高可获 5,000 美元）。
- 可再生能源：安装太阳能光伏系统，将阳光转化为电能（最高可获 5,000 美元）。
- 韧性措施：采取措施保护住宅免受环境损害（必须与另一项能源效率改造结合实施，最高可获 2,625 美元）。

在不列颠哥伦比亚省，Fortis BC 为购买高能效暖通空调设备和家用电器并替换旧设备提供返利 [85]。产品返利涵盖锅炉、干衣机和洗衣机、组合式系统、壁炉、炉具、热泵、天然气供暖系统、冰箱、温控器和热水器。同样，BC Hydro 也为能源效率升级提供返利，包括门窗（最高 3,000 美元）、隔热材料（最高 5,500 美元）、热泵（最高 2,000 美元）和热泵热水器（最高 1,000 美元）[86]。此外，BC Housing 提供的能源效率改造计划还为利益相关者提供额外资金，用于完成灯具和锅炉等项目的小规模节能改造。综合利用各项激励措施，利益相关者可以开展改造项目，并保留部分持续节省的能源费用 [87]。

空间供暖已被认为是住宅中最大的能源消耗用途。安装得当的热泵效率是其他替代方案的两到三倍，既能在冬季为居住者提供舒适的供暖，也能在如今炎热的夏季制冷 [88]。因此，Clean BC Better Homes 低息融资计划应运而生，为将化石燃料（燃油、丙烷或天然气）供暖系统改为热泵的用户提供利率低至 0% 的贷款 [88]。此外，加拿大政府还实施了专项计划，帮助低收入家庭户主和老年人生活得更加舒适，例如“健康家居装修税收抵免”计划和“低收入家庭能源效率改造计划”。

由于大多数改造活动都需要经济支持，金融激励（FI）工具受到了广泛关注。这些经济支持主要来自政府资金、银行贷款、公用事业供应商的返利以及商业机构的拨款。这些工具能够解决利益相关者对改造项目经济问题的主要顾虑，例如前期成本高、投资回收期长以及投资回报不确定，从而提高他们升级建筑的意愿和积极性。在这方面，提供金融激励工具以支持执行 DC、AD 和 RS 工具十分重要。然而，从长远来看，金融激励工具可能给政府，尤其是地方政府，带来沉重的财政负担。因此，投资水平取决于各级政府的经济状况 [89]。此外，不同政府和公用事业公司提供的金融激励工具组合令人困惑，加之缺乏负责监督改造项目融资的部门，也对金融激励工具的有效性构成挑战 [90]。

4 全球隐含排放减排政策分析

许多国家的官方能源效率部门已实施多种政策，以减少建筑行业的隐含排放。以下各节将介绍不同类别的政策。

4.1 建筑法规

1. 建筑材料效率声明

该政策要求在建筑申请使用许可的阶段，为规划许可流程提交关键材料每平方米²/平方英尺的质量申报。因此，改造专业人员可以建立建筑材料使用基准数据库，并让利益相关者了解节省材料带来的现金成本节约。

2. 低碳项目加快审批

该政策要求符合既定隐含碳标准的项目获得加快审批或减免费用处理。隐含碳标准的示例可能包括生命周期评估要求或其他要求。例如，西雅图市的 Priority Green Expedited 计划为能源效率、节水、减少废弃物和室内空气质量设定了门槛。市政当局为符合要求的建筑业主提供一名建筑与检查部门的专属联系人，并优先安排受理预约、更快地初审施工图纸以及更快地处理许可申请。

3. 禁止使用排放量极高的材料

该政策禁止使用与极高温室气体排放相关的特定建筑材料，例如用于隔热的含氢氟碳化物发泡剂喷涂泡沫。政府可以采取以下不同措施，禁止使用温室气体排放量极高的建筑材料：

- 禁止销售或购买指定材料。
- 要求设计师或建造商指定明确的低温室气体排放替代材料，方可批准许可证。
- 对使用高温室气体排放材料进行经济处罚，并鼓励使用低温室气体排放替代材料。

4. 生命周期碳计算与报告。

该政策要求所有项目采用标准化方法计算并报告其生命周期碳排放，并分别核算隐含碳和运营碳。

4.2 采购政策

1. 建筑材料采购的碳排放限值

该政策为改造项目所用建筑材料中的关键材料设定碳强度限值，并将其纳入公共采购。这些要求可通过环境产品声明（EPD）予以证明。例如，在挪威，特隆赫姆市对材料采购提出了以下要求：

- 混凝土，无论是预拌混凝土还是预制构件，都必须达到低碳A级
- 厚重木材的碳限值为70 kg CO_2/m_3；交叉层压木材和胶合木的碳限值为100 kg CO_2/m^3
- 钢筋应为100%再生材料，或者其他产品的排放量应相应更低
- 木地板上的找平砂浆必须为B10、低碳A级
- 非承重内墙平均排放量：最多 10 kg CO_2/m^3

用于证明合规性的数据应为符合 EN 15804 的环境产品声明，并且必须为建筑中使用的至少 15 种产品提供环境产品声明。

2. 要求使用再生骨料

这项政策规定，若在预先设定的采购半径内可获取再生或再利用的骨料和土壤，项目就必须达到其最低使用比例。例如，在丹麦，哥本哈根政府在《建筑与土木工程可持续性》中要求："道路建设工程必须使用破碎的建筑废料"替代基层砾石，前提是这种做法在技术或经济上可行。破碎废料不得含有可改为再利用的砖、瓦片或混凝土。此外，法国已设定目标：对于当局在2017年采购的材料，道路建设中再利用或再生建筑废弃材料的比例须达到50%，并在2020年前提高至60%。这有助于为大部分经建筑和拆除废弃物加工而成的再生骨料创造市场。

3. 要求使用认证木制品

这项政策要求，在适用市政采购指南的项目中，酌情使用认证木制品。所要求的认证体系应由政府确定，并应设有经证实能够生产隐含碳足迹较低木材的标准。

4. 循环材料采购策略

这项政策实施了一项战略，以界定采购方式，确保市场必然或极有可能对此作出响应并提供循环解决方案。采购可以设计为重点关注材料效率、循环性、可维护性、可修复性以及生命周期终结阶段的机遇。

4.3 废弃物与循环性政策

1. 强制性拆除前审计和数据共享

该政策要求所有拆除工程和较大型项目许可申请都必须包含详细的拆除前审计。市政当局会公开这些拆除前审计，并设置一段等待期，在此期间，材料回收运营商可以回收他们与建筑所有者商定进行商业回收的材料，而不是立即进行拆除。例如，在欧洲，建筑拆除和改造工程前的废弃物审计指南是一项自愿性的建筑拆除前审计欧洲规程，旨在帮助确保回收可回收材料流。该规程有助于实现高质量的分类废弃物组分。

2. 关于适应性和减少废弃物的信息

这项政策可向设计师、建筑商和开发商提供以下信息：减少废弃物可带来的财务收益，以及如何通过选择、采购和使用低隐含碳材料进行建筑施工，并在设计时考虑建筑和材料日后的改造与再利用，从而将既有建筑改造为适应性再利用项目。可通过技术援助来实现，包括举办教育研讨会和培训，发布低隐含碳项目先例的财务分析和成本图表，以及提供有关捐赠回收材料可享受的税收优惠的信息；也可设立办公室、内部资源中心或协调员岗位，为建筑商对接相关信息和专业知识。

3. 材料耐久性政策

这项政策对耐久设计以及耐久建筑材料的使用提出规范性要求。执法管辖区必须开展进一步研究，以确定具体要求；在制定要求时，应权衡特定材料的预期使用寿命、其初始隐含碳足迹、日后再利用或回收利用的可能性，以及成本、供应情况和当地需求。例如，PVC窗户的使用寿命明显短于木铝复合窗户。这项政策不应适用于计划使用寿命较短的任何建筑。

4.4 财政激励措施

1. 为低碳开发提供税收返还

政府可在规定年限内，每年向选择低碳改造而非新建工程的物业所有者提供最高 100% 的房产税返还。返还金额可根据隐含碳减排量化结果确定，使隐含碳减排相对更多的项目有资格获得更高额度的返还。

2. 将土地使用费与项目全生命周期碳排放挂钩

市政当局通常会向项目收取土地使用费。这些费用可根据项目隐含碳进行调整。收费结构还可设定为：极低碳项目无需缴费，或可能有资格获得现金退款。

项目应缴土地使用费应根据项目每平方米全生命周期碳强度相对于建筑类型基准的水平确定。项目每平方米全生命周期碳强度应采用由城市规定的方法和范围进行评估。项目的全生命周期碳强度应由合格核查员核查。

3. 提供项目碳绩效补助

政府可以预留资金，为实现明显优于市场水平的隐含碳绩效的项目发放绩效挂钩补助。项目可在提交规划许可申请时申请补助，但只有在项目完成且所实现的绩效可以得到核验和审计后，补助才会拨付。

4. 将隐含碳纳入气候行动计划

该计划要求所有未来的气候行动计划或现有气候行动计划的更新，都必须纳入对建筑和基础设施建设、交通运输及土地利用所产生的隐含碳排放的评估；还必须制定时间表和策略，以实现隐含碳减排目标，并与运营排放减排时间表相配合。

5. 提高拆除许可费

市政当局可以提高申请拆除建筑的物业所有者所需缴纳的拆除许可费。此类费用可根据建筑年龄、建筑规模、主要材料、拟议替代项目的碳效率、建筑是否适合解构拆除或其他变量，有条件地提高。

6. 激励制造商减少碳排放

这项政策将为位于该管辖区范围内的制造商提供激励措施，促使其减少产品中的隐含碳。可行途径包括：

- 为能够证明并量化其主要产品隐含碳显著减排的管辖区内制造商提供房产税／市政税减免。
- 对管辖区内符合净零碳标准的制造商提供房产税／市政税减免，前提是其通过在现场生产足够的可再生、无温室气体排放能源，为制造工艺供能，或采购在场外生产的可再生、无温室气体排放能源。
- 向完成设施升级、显著减少碳排放的制造商提供直接补助／返还，例如将材料或排放密集型制造工艺改为材料或排放强度较低的替代工艺，或安装现场可再生、无温室气体排放能源发电设施。

投入政府资源和／或工作人员时间，建立关系并促进制造商网络的发展，以支持产业共生。

7. 对建筑和拆除废弃物征收垃圾填埋税

该政策规定，对所有填埋处置的建筑和拆除废弃物征税。垃圾填埋税将广泛激励各方避免对所有类型的物料流进行最终处置。为对建筑和拆除废弃物产生影响，还必须对骨料征收该税。

5 建议　不列颠哥伦比亚省改造中减少隐含碳的建议

在审查不列颠哥伦比亚省（BC）现行的改造政策，以及其他国家为减少隐含排放而实施的政策后，可针对不列颠哥伦比亚省提出以下减少改造中隐含排放的建筑改造政策建议。

5.1 向公众提供与改造中隐含碳相关的知识和信息

与隐含碳排放相关的知识和信息，对于推动现有建筑行业开展能源改造至关重要。了解改造技术的运作方式，能够增强居住者对建筑节能改造的信心。向公众提供相关信息（例如潜在效益），有助于推动能源改造。对于能源改造投资者而言，了解能源改造的经济效益以及可获得哪些财政支持十分重要。更重要的是，这类知识和信息有助于提高居住者开展能源改造的意愿。在不列颠哥伦比亚省，由于向公众提供的相关知识和信息较少，公众对建筑节能改造和建筑隐含排放的认知水平较低，因此实施能源改造的意愿也较低。这种情况给减少不列颠哥伦比亚省改造中的隐含碳排放带来了巨大挑战。因此，不列颠哥伦比亚省应制定有关建筑节能改造和建筑隐含排放的知识与信息政策，以提高公众认知。

此外，让人们能够轻松获取与改造中隐含排放相关的知识和信息至关重要。例如，建议利用大众媒体（如广播和电视）传播能源改造以及建筑隐含排放方面的知识和信息。其次，建议实施改造试点项目，并与公众分享碳减排数据，让公众切实了解建筑节能改造带来的益处。第三，由于相关信息较为分散，

因此，建立一站式信息网站至关重要，让公众能够以较低的成本（包括精力和时间）轻松获取相关知识和信息。

优点	缺点
• 这是一种经济高效的 改进方式 居住者实施能源的意识 他们住宅的改造。 • 它对于减少 通过改造产生的碳排放具有重要影响。	• 实施这一策略可能会耗费大量时间 • 它无法直接实现碳减排 • 可能需要特别的财政支持 来自政府或公用事业提供商。

5.2 提升建筑材料性能

建议用低碳和固碳材料替代现有的传统建筑材料。此外，通过调整单个建筑构件的制造方式来减少材料的整体用量，并在整栋建筑的尺度上进行设计以提高材料利用效率，也是减少隐含碳排放的另一种有效方法。建筑专业人士可以分析建筑存量，找出不列颠哥伦比亚省可用的低隐含碳材料，以替代目前隐含排放较高的材料。（例如，麻纤维混凝土和草捆保温材料可以替代XPS泡沫。）他们还可以进行成本效益分析，估算减少区域建筑隐含排放的潜力。减少隐含碳的其他策略包括:

- 选择天然产品或制造工艺能耗较低的产品。例如，木材或含有天然纤维的材料源自可再生资源，加工能耗较低。然而，添加饰面以保护这些材料会增加其整体影响。某些木器清漆会降低木材的可回收性，并导致其被用作能源。

- 规定采用适合不列颠哥伦比亚省气候环境的耐用材料。例如，立面和屋顶持续受到自然因素的磨损，可能导致频繁维修和维护。通过使用耐用材料，居住者可以降低翻新改造的成本和频率，减少材料更换及其相关的碳足迹。

- 通过综合设计最大限度地减少制造和施工废料（例如，预制面板制造）。建筑预制构件的隐含碳包括其材料足迹以及施工过程中产生的废料。在受控条件下进行预制，可以减少废料及其相关的碳排放。同样，模块化预制构件能够提高材料的使用效率，并促进这些预制构件的工业化生产和预制。

- 选择回收利用的材料、能够封存碳的材料（例如，采用碳捕集技术），并采购本地供应品，以避免运输排放。

- 设计时应考虑建筑在寿命终结时的解构拆除，以及材料的再利用或回收利用，同时减少材料用量。

在建筑材料的选择方面，保温材料的选择是建筑改造规划人员影响建筑生命周期排放最重要的机会之一。一些保温材料，如稻草捆、麻基混凝土和羊毛，能够储存（封存）碳，具有负排放；另一些材料，如挤塑聚苯乙烯（XPS），则使用全球变暖潜能值（GWP）较高的发泡剂制成。与硬质保温材料和喷涂泡沫相比，吹入式玻璃纤维和纤维素保温材料的碳影响要小得多。此外，制冷剂的选择也会对建筑相关的碳排放产生实质影响。空调系统中常用 HFC-134a；其 20 年时间尺度的 GWP 为 3,830，100 年时间尺度的 GWP 为 1,430。一些天然存在、可用作制冷剂的化合物（如氨或丙烷），其 GWP 要低得多。制冷剂泄漏率也是设计和选择暖通空调系统时需要考虑的重要因素，因为它会对建筑的生命周期碳排放产生重大影响。

优点	缺点
• 减少……最直接、最容易的方法是现有建筑行业中的隐含碳排放。 • 该策略可以产生全生命周期成本益处。	• 这可能是一种前期成本较高且回收期较长的策略。

5.3 与能源改造专业人员及组织合作

缺乏高技能的改造专业人员可能会削弱改造计划的成效，因此提升行业能力也至关重要。例如，应更加重视招募新近取得资格的翻新人员，并考察承包商是否具有老房改造或新建节能住宅的工作经验。可以鼓励从业人员记录其工作资质，并证明自己符合参与资格。此外，还需要为专业人员提供培训项目，以提升其技能并扩大改造劳动力队伍的规模；这对于解决房主对技术问题的担忧至关重要。

在房主与专业人员之间搭建桥梁，有助于消除监管障碍并简化整体改造流程。例如，设立一个集中协调与咨询中心，可以协助房主评估改造机会、计算改造成本、提交补贴申请、核验改造质量，并开展改造后的调查。同时，开发易于使用的工具（如移动应用程序），可方便房主了解适用于自家住宅的改造方案和经济激励。

此外，调动各方利益相关者参与，对于推动能源改造也很重要。因此，建议将专业人士和建筑业主纳入工作组，以鼓励社会参与。同时，可以设立一个在政府与房主之间发挥协调作用的组织，协调各方利益相关者，并组织各类活动，推动建筑翻新。针对这一情况，建议增加行业协会和非营利组织参与不列颠哥伦比亚省能源改造的程度，明确其职责，并为其提供支持。对于工作组和行业协会，应明确彼此的关系，避免职责重叠。

优点	缺点
• 有助于提升行业产能 并同时实施更多改造项目 同时。 • 有助于简化改造流程 流程，并提高工作效率。	• 实施起来耗时较长。 • 它无法直接带来 隐含排放的减少。 • 这需要政府或公用事业供应商提供额外的 财政支持。

5.4 建立建筑隐含排放评估与认证体系

建立评估与认证体系，是解决能源改造项目中建筑隐含排放数据缺乏问题的有效方式。此外，建筑性能认证体系（如标签、星级和评级）可用于提升能源改造项目的质量控制。同时，收集到的数据可存入建筑材料隐含排放数据库，供日后使用。评估与认证体系能够为基于法规的政策和支持建筑节能改造的财政支持政策提供真实数据依据。

5.4.1 生命周期碳计算与报告

建议所有改造项目采用标准化指标计算并报告其生命周期碳排放，并将隐含碳排放与运营碳排放分开。这样，利益相关者便能了解隐含排放和运营排放各自所占的比例，以及哪些建筑类型具有最大的碳减排潜力，从而制定最优方案，减少改造中的碳排放。改造行业应确定一种标准化的隐含排放报告工具（例如，适用于第 9 部分建筑的 BEAM 计算器，以及适用于第 3 部分建筑的 Athena 影响评估器）。与此同时，改造专业人员应考虑使用该工具的相关费用，收集行业利益相关者的意见，并为选定的工具制定指南，以支持行业发展。

然而，不列颠哥伦比亚省缺乏全面的隐含排放数据库，给改造项目的生命周期碳排放计算带来了重大挑战。例如，许多建筑绝缘材料的隐含排放数据仍然缺失。虽然改造专业人员可以参考美国和欧洲国家的其他数据库，但由于气候条件、制造方法、运输系统和垃圾填埋场所不同，相关隐含排放数据可能并不可靠。

5.4.2 环境产品声明（EPD）

环境产品声明（环境产品声明）是可靠材料信息的一个良好示例，因为环境产品声明直接记录制造商和公司的数据，并且在建筑层面严格按照 ISO 21931 和 EN 15643 制定。环境产品声明的总体目标是通过传达可验证、准确的信息，促进供应更环保的建筑产品，并提升持续改善环境绩效的潜力。根据 ISO 14025，环境产品声明的具体目标如下：1）提供基于生命周期评价的信息以及有关产品环境绩效的补充信息；2）帮助用户和购买者在产品之间进行知情比较；3）鼓励改善环境绩效；4）提供用于评估产品整个生命周期环境影响的信息。

特别是，环境产品声明可以提供建筑材料的隐含碳排放数据。环境产品声明材料数据库包含不同产品、技术、供应商和产品的各种建筑材料环境影响概况。根据系统边界，环境产品声明可分为三种类型：从摇篮到大门、带选项的从摇篮到大门，以及从摇篮到坟墓。从摇篮到大门型环境产品声明仅涵盖产品阶段的最低限度信息。带选项的从摇篮到大门型环境产品声明涵盖产品阶段的信息，并补充其他阶段的信息。从摇篮到坟墓型环境产品声明至少涵盖所有生命周期阶段，也可能包含系统边界之外的某些收益或负荷。截至2013年5月，全球已发布556项产品类别规则和3614份环境产品声明文件。意大利和瑞典拥有环境产品声明产品数量最多，其次是西班牙和瑞士。建议不列颠哥伦比亚省产业为加拿大建筑中常用的建筑施工、绝缘材料和能源设备制定环境产品声明。借助全面的环境产品声明数据库，改造专业人员可以轻松计算既有建筑的生命周期碳排放，并通过能源改造识别减排潜力最高的建筑。

优点	缺点
• 它可以提供与之相关的直接信息 具有各种建筑的隐含排放 材料，并帮助改造规划人员进行比较 不同的建筑材料并选择 在碳方面最好的一个，以及 经济绩效。	• 建立全面的环境产品声明（EPD）数据库 将会耗时 and 需要 多个建筑利益相关者来 work 一起。 • 完成这项工作需要额外付出努力并投入时间。 生命周期碳排放计算和 报告。 • 这可能会增加改造的前期成本。 项目。

5.5 建立全面的改造财政支持体系

财政激励措施可以有效缓解利益相关者对经济问题的担忧，例如高昂的前期成本、回收期和投资回报。因此，有必要为他们提供财政支持组合。这些组合可包括多种形式的经济支持，例如针对特定改造措施的补贴、税收抵免和低息贷款，以及购买节能设备（如热泵）的返利。此外，还建议采用公用事业账单融资，这可以有效解决前期成本方面的顾虑。务必尽量减轻行政负担和利息成本，并确保行政及合规系统能够轻松适应新的账单要求。为了帮助房主了解改造方案的实际总成本，应在向房主展示改造成本时纳入所有可用的财务选择。尽管不列颠哥伦比亚省政府和公用事业供应商（如 Fortis BC 和 BC Hydro）为能源改造提供了一些财政支持，但仍需提供更多激励措施，以减少现有建筑行业的隐含排放。

5.5.1 制定循环经济战略

建议制定循环经济战略，通过减少资源开采并重新利用已在循环中的材料来避免隐含碳。在建筑行业，循环经济战略包括抢救和再利用建筑材料，以及重新利用既有建筑的核心结构和外壳。制定全面的循环经济战略

需要建筑行业从一次性使用性向耐久性转变，例如减少人均建筑面积、优先提高既有建筑的使用效率，以及取消私人交通工具的相关规定 [91]。

5.5.2 低碳开发的税收返还

政府可以向选择低碳改造而非新建工程的物业所有者提供房产税返还，期限为若干年。返还金额可根据隐含碳减排量化结果确定，使隐含碳减排相对幅度较大的能源改造项目有资格获得更高的返还。

5.5.3 面向改造项目的碳绩效补助

市政当局可以设立专项基金，为碳绩效明显优于市场水平的能源改造项目提供绩效挂钩补助。申请人可在提交能源改造规划许可申请时申请补助，但只有在项目完工，且能够核实和审计其实际绩效后，才会发放补助。

5.5.4 提高拆除许可费

市政当局可以提高申请拆除建筑的物业所有者所需缴纳的拆除许可费。费用可根据建筑类型、年代、规模、材料、拟议替代项目的碳效率，以及建筑是否适合解构拆除等因素实行有条件调整。

5.5.5 激励制造商减少碳排放

该策略通过激励措施，促使不列颠哥伦比亚省的制造商减少其产品中的隐含碳。可能的途径包括：

- 向不列颠哥伦比亚省的制造商提供房产税返还，鼓励其证明并量化主要产品实现的显著隐含碳减排。
- 向符合设施运营净零碳标准的不列颠哥伦比亚省制造商提供房产税返还。制造商可通过在现场生产足够的可再生、零温室气体排放能源，为制造工艺供能；也可采购在场外生产的可再生、零温室气体排放能源，以达到该标准。
- 向完成设施升级的制造商提供直接拨款，以显著减少碳排放。例如，将材料消耗量或排放量较高的制造工艺改为材料消耗量或排放量较低的替代工艺，或安装现场可再生、零温室气体排放能源生产设施。

5.5.6 重型零排放车辆税收返还

政府可以为重型零排放车辆提供返利，以减少因运输而导致的改造中的隐含排放。例如，不列颠哥伦比亚省交通部门可以提供最高相当于电动重型车辆与传统燃油重型车辆之间价差 100% 的返利。这一策略可以鼓励运输公司购买更多零排放车辆，从而减少建筑材料和构件运输所造成的隐含排放。

5.5.7 建筑和拆除废弃物的垃圾填埋税

建议政府制定对所有填埋的建筑和拆除废弃物征税的要求。垃圾填埋税将提供广泛的经济激励，以避免对所有类型物料流进行最终处置。为对建筑和拆除废弃物产生影响，该税还应征收于骨料。

5.6 建立全面的能源改造供应链

供应链是公司与其供应商之间为生产和分销特定产品或服务而形成的网络。供应链中的实体包括生产商、销售商、仓库、运输公司、配送中心和零售商。能源改造供应链（ERSC）可定义为一种功能性链式结构，涵盖能源改造项目生命周期各阶段的参与方。能源改造项目的参与方，例如开发商、承包商、材料制造商和供应商，通过资金、信息和材料流相互连接。在 ERSC 中，原材料生产和运输阶段可能产生最多的碳排放。不同 ERSC 的碳排放量差异，可能主要体现在材料和部件的生产、运输及施工阶段。因此，建议不列颠哥伦比亚省政府建立全面的供应链，以便在不列颠哥伦比亚省实施能源改造，构建合作关系并促进制造商网络的发展，从而支持产业共生。全面的供应链有助于改造专业人员减少不必要的工程、简化能源改造步骤、优化建筑材料制造和运输系统，进而减少隐含碳排放。同时，政府或公用事业供应商（例如 Fortis BC 和 BC Hydro）应通过专项资金支持先进 ERSC 的研发。

优点	缺点
• 它可以帮助改造专业人员减少不必要的 有效， 简化 能源改造步骤，优化建筑材料制造和运输系统。 • 这可以显著减少能源改造中的隐含排放。	• 这是 复杂 且耗时建立供应链，因为这需要多个 利益相关者 work 共同参与，包括学术研究人员和业界人们。 • 除了财政支持外，还需要不列颠哥伦比亚省政府和公用事业公司（例如，Fortis BC 和 BC Hydro)

6 结论与建议

本研究开展了文献综述，并梳理了不列颠哥伦比亚省旨在减少现有建筑行业温室气体排放总量的政策和激励措施。随后，本研究分析了全球范围内旨在减少现有建筑行业隐含碳排放的政策和激励措施。在评审两类改造政策后，作者梳理了现有不列颠哥伦比亚省战略、工具和激励措施与全球隐含排放战略之间的关联和机遇。最后，本研究汇总了所有资源中的关键发现，并提出了政策。

减少不列颠哥伦比亚省改造中隐含碳排放的建议如下：

1. 向公众提供与改造相关的隐含碳知识和信息：利用广播和互联网，并建立一站式网站，传播能源改造中隐含碳排放的知识和信息。这有助于提高公众对在现有建筑行业实施能源改造以减少碳排放的认知。

2. 提升建筑材料的排放性能：选择回收利用的材料、固碳材料，或采用低碳能源制造和加工的材料，并采购本地供应品以避免运输排放，是减少能源改造中隐含碳排放的有效且直接的方式。

3. 与能源改造专业人员和组织合作：与能源改造专业人员和产品制造商合作，了解哪些激励措施最能吸引各方，以减少改造中的隐含排放。在房主与专业人员之间搭建桥梁，有助于消除监管障碍并简化整体改造流程。

4. 建立建筑改造中隐含排放的评估与认证体系：建立评估与认证体系，是应对能源改造项目中建筑隐含排放数据缺乏问题的有效方式。此外，建筑性能认证（例如标签、星级、评级）体系可用于提升能源改造项目的质量控制。同时，所收集的数据可以存储在与建筑材料隐含排放相关联的数据库中，以供未来使用。完善的评估与认证体系可以为建筑节能改造提供真实数据支持。

5. 为改造建立全面的财政支持体系：探索各类财政激励措施，例如循环经济战略、低碳发展的税收返还、碳绩效补助、拆除许可费、面向制造商的激励措施、重型零排放车辆的返还，以及针对建筑和拆除废弃物征收的垃圾填埋税。

6. 建立全面的能源改造供应链：能源改造供应链是一种功能性链式结构，涵盖能源改造项目生命周期各阶段的参与者。能源改造项目的参与者，如开发商、承包商、材料制造商和供应商，通过资金流、信息流和材料流相互关联。全面的供应链有助于改造专业人员减少不必要的工程、简化能源改造步骤、优化建筑材料的制造和运输体系，从而减少改造中的隐含碳排放。

参考文献

[1] M. Röck, M.R.M. Saade, M. Balouktsi, F.N. Rasmussen, H. Birgisdottir, R. Frischknecht, G. Habert, T. Lützkendorf, A. Passer，建筑的隐含温室气体排放——有效减缓气候变化面临的隐性挑战，《应用能源》. 258 (2020) 114107. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107.[2] 关于欧洲议会和理事会修订指令2010/31/EU（建筑能效指令）的提案报告，（无日期）。[3] undefined 国际能源署，《2014年能源效率市场报告》，（2014）。[4] 能源与温室气体排放（GHGs）| 加拿大自然资源部，（无日期）。[5] A. Charles, W. Maref, C.M. Ouellet-Plamondon，既有办公楼升级改造以实现低能耗和低碳排放的案例研究，《能源与建筑》183 (2019) 151–160. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.008.[6] B. Palacios-Munoz, B. Peuportier, L. Gracia-Villa, B. López-Mesa，通过生命周期评价和基于耐久性的建筑寿命估算，对翻新改造与新建建筑进行可持续性评估：一种新方法，《建筑与环境》160 (2019) 106203. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203. [7] R. Ruparathna, K. Hewage, R. Sadiq，重新思考投资规划并优化净零排放建筑，《清洁技术与环境政策》19 (2017) 1711–1724. https://doi.org/10.1007/s10098-017-1359- 4.[8] H. Jang, L. Jones, J. Kang，根据建筑特征对能耗的影响，对韩国老旧公寓楼进行节能改造的优先级排序，《能源与建筑》96 (2015) 319–328. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.027.[9] P. Jie, F. Zhang, Z. Fang, H. Wang, Y. Zhao，基于一次能源消耗、全球成本和污染物排放，优化既有建筑墙体和屋顶的保温层厚度，《能源》159 (2018) 1132–1147. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.179.[10] 温室气体排放 - Canada.ca，（无日期）。[11] D. Heerema, T.-P. Frappé-Sénéclauze, K.T. Wu，《既有建筑能源法规》，（2017）。[12] M. Conci, T. Konstantinou, A. van den Dobbelsteen, J. Schneider，住宅建筑不同脱碳策略的经济与环境影响之间的权衡，《建筑与环境》155 (2019) 137–144. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.051.[13] S. Roberts，英国既有建筑改造，《能源政策》36 (2008) 4482–4486. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.023.[14] 建筑能效指令| 能源，（无日期）。[15] R. Ruparathna, K. Hewage, R. Sadiq，建筑节能改造的经济评估：一种基于模糊逻辑的方法

方法，《能源与建筑》139 (2017) 395–406. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.031.[16] C. Neme, M. Gottstein, B. Hamilton，《住宅能效改造》:，(2011).[17] H. Zhang, K. Hewage, T. Prabatha, R. Sadiq，基于生命周期思维的加拿大住宅能源改造评估框架：一种帕累托优化方法，《建筑与环境》204 (2021) 108115. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108115.[18] H. Bulkeley，城市能否实现其气候潜力？对巴黎气候变化大会（COP21）及其后续发展的思考，《地方环境》20 (2015) 1405–1409. https://doi.org/10.1080/13549839.2015.1108715.[19] M. Perc, J. Gómez-Gardeñes, A. Szolnoki, L.M. Floría, Y. Moreno，结构化种群中群体互动的演化动力学：综述，《英国皇家学会界面杂志》10 (2013). https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0997.[20] 政府间气候变化专门委员会，前言、序言、献词与纪念，《2014年气候变化：减缓气候变化——政府间气候变化专门委员会第五次评估报告第三工作组的贡献》(2014) 1454. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.[21] C. Sebi, S. Nadel, B. Schlomann, J. Steinbach，实现既有建筑改造长期大幅节能的政策策略，《能源效率》12 (2019) 89–105. https://doi.org/10.1007/s12053-018-9661-5.[22] H. Bulkeley, V. Broto, G. Edwards，《气候变化的城市政治：试验与社会技术转型的治理》，2014.[23] L. Brown，《大转型》，2000.[24] M. Beccali, G. Ciulla, V. Lo Brano, A. Galatioto, M. Bonomolo，人工神经网络决策支持工具：评估意大利南部非住宅建筑存量的能源性能与翻新措施，《能源》137 (2017) 1201–1218. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.200.[25] H. Mahmoudi, O. Abdellah, N. Ghaffour，利用可再生能源进行海水淡化的能力建设策略与政策：阿尔及利亚案例，《可再生与可持续能源评论》13 (2009) 921–926. https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.02.001.[26] A. Markandya, X. Labandeira, A. Ramos，促进能源效率的政策工具，《绿色能源技术》164 (2015) 93–110. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03632-8_4.[27] Y. Tan, G. Liu, Y. Zhang, C. Shuai, G.Q. Shen，香港老旧住宅建筑的绿色改造：初步研究，《建筑与环境》143 (2018) 89–98. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.058.[28] N. Jahed, Y.D. Aktaş, P. Rickaby, A.G.B. Altinöz，建筑遗产能源改造政策框架：英国与土耳其的批判性比较，《大气》11 (2020). https://doi.org/10.3390/ATMOS11060674.[29] R.K. Dixon, E. McGowan, G. Onysko, R.M. Scheer，美国能源节约与能效政策：

挑战与机遇，《能源政策》38 (2010) 6398–6408. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.038.
[30] M. Grubb，《行星经济学》，2014. https://doi.org/10.4324/9781315857688.[31] J. Li, B. Shui，中国建筑能效政策综合分析：现状与发展前景，《清洁生产杂志》90 (2015) 326–344.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.061.[32] F. Birol, I.E.A. Executive，能源效率：2013年市场报告，《能源效率市场报告2013》. 9789264206 (2013) 1–273.
https://doi.org/10.1787/9789264191709-en.[33] H. Zhang, K. Hewage, H. Karunathilake, H. Feng, R. Sadiq，住宅建筑能源改造实施政策策略研究，《建筑工程杂志》43 (2021) 103161.
https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103161.[34] L. Shen, B. He, L. Jiao, X. Song, X. Zhang，改进建筑能效主要政策工具的发展研究，《清洁生产杂志》112 (2016) 1789–1803.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.108.[35] D.Y. Li，中国北方采暖地区既有住宅建筑能源效率改造的财政与税收政策支持，《能源政策》37 (2009) 2113–2118.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.036.[36] N. Kerr, A. Gouldson, J. Barrett，能源效率政策的依据：评估能源效率改造政策对多重效益的认知，《能源政策》106 (2017) 212–221.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.053.[37] J. Weiss, E. Dunkelberg, T. Vogelpohl，改进政策工具以更好地挖掘房主的翻新改造潜力：德国案例研究的经验，《能源政策》44 (2012) 406–415.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.006.[38] G. Liu, Y.T. Tan, X.H. Li，中国绿色建筑改造政策：最新进展综述，《建筑与环境》169 (2020). https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106554.[39] B. Huang, V. Mauerhofer, Y. Geng，日本与中国现有建筑节能政策分析，《清洁生产杂志》112 (2016) 1510–1518. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.041.[40] 促进美国能源效率升级普及的政策干预措施，（无日期）.[41] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, R. González, I.R. Maestre，建筑能源认证体系框架下基准比较、评级与标签概念综述，《能源与建筑》41 (2009) 272–278.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.10.004.[42] O. Pombo, B. Rivela, J. Neila，面向可持续发展政策制定的生命周期思维：能源改造案例，《清洁生产杂志》206 (2019) 267–281.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.173.[43] C.H. Baek, S.H. Park，可持续发展时代翻新政策的变化，《能源与建筑》47 (2012)

485–496. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.028.[44] X. Kong, S. Lu, Y. Wu, 《中国“十一五”规划期间建筑能效综述》, 《能源政策》41 (2012) 624–635. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.024.[45] H. Tasdoven, B.A. Fiedler, V. Garayev, 《通过解决非法用电问题提高土耳其电力效率：一种治理方法》, 《能源政策》43 (2012) 226–234. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.059.[46] S. Boyle, 《全球背景下需求侧管理的进展与经验》, 《能源政策》24 (1996) 345–359. https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)00142-5.[47] EconStor：《财政激励措施对外国直接投资影响的跨国计量经济学研究》, （无日期）。[48] K. Kempa, U. Moslener, 《带着支票簿制定气候政策——气候投资支持的经济分析》, 《经济、能源与环境政策》6 (2017) 111–129. https://doi.org/10.5547/2160-5890.6.1.kkem.[49] E.S. Kirschen, 《我们时代的经济政策》, （1964）。[50] A. Rana, R. Sadiq, M.S. Alam, H. Karunathilake, K. Hewage, 《加拿大背景下绿色建筑财政激励措施评估》, 《可再生与可持续能源评论》135 (2021) 110199. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110199.[51] P. Bonifaci, S. Copiello, 《住宅建筑能源改造激励政策：意大利退税计划分析》, 载于：A. Bisello, D. Vettorato, P. Laconte, S. Costa（编）, 《智慧可持续城市与区域规划（SSPCR 2017）》, 2018：第267–279页。 https://doi.org/10.1007/978-3-319-75774-2_19.[52] E. Baldoni, S. Coderoni, M. D’Orazio, E. Di Giuseppe, R. Esposti, 《经济和政策变量在节能改造评估中的作用：随机生命周期成本法》, 《能源政策》129 (2019) 1207–1219. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.018.[53] B.A. Brotman, 《企业税收政策对可持续改造的影响》, 《公司房地产杂志》19 (2017) 53–63. https://doi.org/10.1108/jcre-02-2016-0011.[54] X. Liang, T. Yu, J.K. Hong, G.Q. Shen, 《提高激励政策的有效性：中国节能改造的基于主体的模型》, 《能源政策》126 (2019) 177–189. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.029.[55] Y. Tan, T. Luo, X. Xue, G.Q. Shen, G. Zhang, L. Hou, 《香港老旧住宅建筑绿色改造技术与政策的实证研究》, 《建筑工程杂志》39 (2021)。 https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102271.[56] 路线图 2030 | CleanBC, （无日期）。 https://cleanbc.gov.bc.ca/（访问日期：2022年5月24日）。[57] 改造, （无日期）。 https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/buildings/existing- buildings/retrofitting/20707（访问日期：2022年5月21日）。

[58] Z. Ma, P. Cooper, D. Daly, L. Ledo, 《既有建筑改造：方法与最新进展》, 《能源与建筑》55 (2012) 889–902. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018.[59] Y. Zhang, J. Wang, F. Hu, Y. Wang, 《中国、英国和美国绿色建筑评价标准比较》, 《可再生与可持续能源评论》68 (2017) 262–271. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.139.[60] EnerGuide评级服务, （无日期）。https://www.bchydro.com/powersmart/business/programs/new-home/energuide-for-new-houses.html（访问日期：2022年5月21日）。[61] A. Chegut, P. Eichholtz, R. Holtermans, J. Palacios, 《租赁住房中的能源效率信息与估值实践》, 《房地产金融与经济学杂志》60 (2020) 181–204. https://doi.org/10.1007/s11146-019-09720-0.[62] L. Shang, H.W. Lee, S. Dermisi, Y. Choe, 《能源基准评估与披露政策对办公楼的影响》, 《清洁生产杂志》250 (2020)。https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119500.[63] R. Cluett, J. Amann, 《住宅深度能源改造》, （2014）64.[64] K.E.Y. Findings, 《数字说话：地方建筑能效政策的益处与行政成本》, 2021 (2022).[65] R. Galvin, M. Sunikka-Blank, 《改造政策中（前）反弹效应的量化——这为何重要？》, 《能源》95 (2016) 415–424. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.034.[66] R. Galvin, M. Sunikka-Blank, 《热改造政策的经济可行性：从德国十年经验中汲取教训》, 《能源政策》54 (2013) 343–351. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.044.[67] J. Blanchard, S. Widder, E. Giever, M. Baechler, 《太平洋西北地区深度能源改造的实际与估算节能量比较》, （2012）。http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-21870.pdf.[68] R. Galvin, M. Sunikka-Blank, 《关于可持续住宅热改造政策研究的十个问题》, 《建筑与环境》118 (2017) 377–388. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.007.[69] 《能源阶梯规范——不列颠哥伦比亚省政府》, （无日期）。[70] N.R. Canada, 《温哥华市建筑能源改造项目捆绑计划：报告与建议》, （2019）。[71] P. Li, T.M. Froese, 《绿色住宅决策工具：面向房主的可持续性评估》, 《能源与建筑》150 (2017) 421–431. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.017.[72] A. D'Amico, G. Ciulla, M. Traverso, V. Lo Brano, E. Palumbo, 《利用人工神经网络评估建筑的能源与环境绩效：意大利案例研究》, 《清洁生产杂志》239 (2019)。https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117993.[73] F. Ascione, N. Bianco, C. De Stasio, G.M. Mauro, G.P. Vanoli，利用人工神经网络预测能源

建筑类别中任一成员的性能与改造情景：一种新方法，《能源》118 (2017) 999–1017. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.126.[74] E. Asadi, M.G. da Silva, C.H. Antunes, L. Dias, L. Glicksman, 建筑改造的多目标优化：采用遗传算法和人工神经网络的模型及其应用，《能源与建筑》81 (2014) 444–456. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.009.[75] C. Deb, S.E. Lee, M. Santamouris, 利用人工神经网络评估改造后办公楼中与暖通空调相关的节能效果，《太阳能》163 (2018) 32–44. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.075.[76] M. Krarti, J.F. Kreider, D. Cohen, P. Curtiss, 利用神经网络估算建筑改造的节能量，《太阳能工程学报》（美国机械工程师学会）120 (1998) 211–216. https://doi.org/10.1115/1.2888071.[77] T. Hargreavesn, M. Nye, J. Burgess, 让能源可视化：住户如何与智能能源监测器反馈信息互动的定性实地研究，《能源政策》38 (2010) 6111–6119. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.068.[78] E. Shove, 超越 ABC：气候变化政策与社会变迁理论，《环境与规划 A：经济与空间》42 (2010) 1273–1285. https://doi.org/10.1068/a42282.[79] EfficiencyBC | 不列颠哥伦比亚省气候行动工具包，(无日期)。https://www.toolkit.bc.ca/Program/EfficiencyBC（访问于2022年5月22日）。[80] 不列颠哥伦比亚省更好家园，(无日期)。https://betterhomesbc.ca/（访问于2022年5月22日）。[81] 更好建筑，(无日期)。https://betterbuildingsbc.ca/（访问于2022年5月22日）。[82] CleanBC 商业快速计划 - 更好建筑，(无日期)。https://betterbuildingsbc.ca/incentives/cleanbc-commercial-express-program/（访问于2022年5月22日）。[83] H. Zhang，深度能源改造中层建筑的生命周期成本分析：理解节能措施的影响，(无日期)。[84] 遗产建筑能源改造补助金 • 温哥华遗产基金会，(无日期)。[85] 返利与优惠，(无日期)。https://www.fortisbc.com/rebates-and-energy-savings/rebates-and-offers?l=（访问于2022年5月23日）。[86] 房屋翻修返利，(无日期)。https://www.bchydro.com/powersmart/residential/rebates-programs/home-renovation.html（访问于2022年5月23日）。[87] 能源效率改造计划，(无日期)。https://www.bchousing.org/partner-services/asset-management-redevelopment/energy-efficiency-retrofit-program（访问于2022年5月24日）。[88] CleanBC 更好家园低息融资计划 - 不列颠哥伦比亚省更好家园，(无日期)。https://betterhomesbc.ca/rebates/financing/（访问于2022年5月22日）。[89] M. Alam, P.X.W. Zou, R.A. Stewart, E. Bertone, O. Sahin, C. Buntine, C. Marshall，政府倡导的

克服公共建筑能源效率改造项目障碍的策略，《可持续城市与社会》44 (2019) 56–69. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.022.[90] R. Galvin, M. Sunikka-Blank, 热能改造政策的经济可行性：德国十年经验的启示，《能源政策》54 (2013) 343–351. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.044.
[91] 让隐含碳成为主流，(2021)。

附录

不列颠哥伦比亚省政策和激励措施清单

指导 and 命令	评估 and 披露	研究与服务	财政激励措施
小型、大型和深度改造住宅改造建议 住宅 https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/buildings/existing-buildings/retrofitting/20707	EnerGuide Rating 系统 https://www.bchydro.com/powersmart/业务/项目/new-home/energuide-适用于新建的-houses.html	EfficiencyBC 计划 https://www.toolkit.bc.ca/Program/EfficiencyBC	加拿大自然资源部 补助金 for Home 改造 https://www.nrcan.gc.ca/energy-效率/住宅/加拿大-greener-homes-grant/start-your-节能改造/规划-文档并完成你的-房屋改造/符合条件的补助-for-my-home-retrofit/23504
清洁不列颠哥伦比亚省路线图至 2030 https://cleanbc.gov.bc.ca/		CleanBC 更美好家园 https://betterhomesbc.ca	CleanBC 更佳 建筑补贴 https://betterbuildingsbc.ca
		CleanBC 更佳建筑计划 https://betterbuildingsbc.ca	CleanBC Better Homes 补贴 https://betterhomesbc.ca
		CleanBC 商业快捷计划 https://betterbuildingsbc.ca/incentives/cleanbc-commercial-express-program	Clean BC Better Homes 低息融资计划 https://betterhomesbc.ca/rebates/financing
			Fortis BC 改造返利 https://www.fortisbc.com/rebates-and-energy-savings/rebates-and-offers?l=
			BC Hydro 改造返利 https://www.bchydro.com/powersmart/residential/rebates-programs/home-renovation.html
			不列颠哥伦比亚省住房能源效率改造计划

清单　适用于现有建筑、可减少隐含排放的全球政策　　gs

建筑法规	采购	废弃物与循环性	金融政策
建筑材料 能效声明	碳　限制　for 建筑　材料 采购	便于拆卸的设计 and　适应性 标准	低碳发展的税收返还 低碳发展
加急的　许可审批 用于低碳项目	要求　of 再生骨料	强制性　pre- 拆除审计和 数据共享	将土地使用费与 项目　life　周期 碳
禁止极端♀♀♀♀♀♀ 高排放材料	要求使用经认证的 木制品	强制性　材料 回收计划	碳　性能 项目资助
Life　周期　碳 计算　and 报告	循环　材料 采购策略	土壤协调 大规模储存和再利用	包括　隐含碳含量 碳　in　气候 行动计划
		信息　on 适应性和废弃物 减少	增加　拆除 许可费用
		材料　寿命 政策	激励措施　or 制造商　to 减少碳排放
			填埋场　tax　on 施工　and 拆除废弃物