

韧性更新

既有建筑气候应对升级



Urban Land
Institute

城市土地学会 (ULI) 简介

城市土地学会是一个会员制的全球性组织，由超过 45,000 名房地产和城市开发专业人士组成，致力于推动学会的宗旨：为全球社区塑造与时俱进的建设环境。

城市土地学会会员均为来自行业不同领域不同学科的代表，包括开发商、业主、投资人、建筑师、城市规划师、公务人员、房地产经纪人、评估人、律师、工

程师、金融人士和专业学者。学会成立于 1936 年，在美洲、欧洲和亚太区均设有分支机构，会员遍及 80 个国家和地区。

欲知更多信息，请访问 uli.org，也可以通过 Twitter、Facebook、LinkedIn 及 Instagram 关注 ULI。

ULI 城市韧性项目简介

ULI 城市韧性项目专注研究建筑、城市及社区如何更好抵御气候变化的影响、避免其他环境因素导致的弱点。该项目与 ULI 会员合作，提供技术援助，通过研

究拓展知识，并促进房地产及土地使用政策采用变革性的操作。

韧性土地使用系列活动简介

韧性土地使用系列活动 (“RLUC”) 是一连串韧性技术援助及学习机会，范围较广，本报告即为其中一部分。RLUC 网络由 ULI 国家 / 地区分会、会员专家及社区合作伙伴组成。他们遍及七个城市，共同努力制定韧性加强战略，以应对气候变化及其他因素——包括洪水、极端风暴、干旱、野火和极端高温，以及相关社会、环境和经济的影响。

RLUC 采用 ULI 标志性的技术援助模式——咨询服务专家组及技术援助专家组，提供实地技术支援。这些

专家组利用 ULI 会员的专业知识，就与气候韧性相关、复杂的房地产及土地使用挑战提供建议，同时处理规划、区域划分、土地使用、发展战略、住房及基础设施建设等问题。ULI 城市韧性项目定期开展活动，学习本国最佳实践，讨论同类城市通过土地使用政策及发展战略促进韧性的下一步行动。该援助及活动资金由 ULI 基金会提供，并得到了摩根大通公司的支持。

封面图：马德里开厦银行广场当代艺术馆 (CaixaForum)，由发电站改建而成。

© 2022 城市土地学会

西北大街 2001 L 号 2001 室，华盛顿特区，邮编 20036-4948

版权所有未经版权方书面许可，不得复制或对本报告的整体或任何部分。

推荐文献引用

城市土地学会《韧性更新：既有建筑气候应对升级》华盛顿特区：城市土地学会，2022 年

ISBN : 978-0-87420-475-9

目录

报告综述	4
导言	5
报告要点	8
韧性更新的商业案例	11
设计：针对不同气候风险的韧性更新策略	14
政策：韧性更新规划	45
财务：韧性更新开支	49
结论	54
报告团队	55

报告综述

《韧性更新：既有建筑气候应对升级》面向房地产商、设计师、政策制定者及财务专业人士，介绍若要使既有建筑能够应对与日俱增的物理气候风险，人们将面临何种机会和挑战。这些风险包括极端气温、洪水、风暴和大风、地震风险、缺水 / 干旱和野火。报告包括如下内容：

- 韧性更新的商业案例
- 针对各物理气候风险的多种设计策略汇总
- 影响更新环境的公共部门政策选择
- 适合更新项目的融资方案

难以计数的建筑面临气候变化的风险，但韧性更新技术可适用于几乎所有的建筑类型及物理风险。随着设计知识、支持政策和融资工具的进一步统一，韧性更新将可能成为主流操作，从而提高建筑价值和使用寿命，也利于健康和可持续发展。

本报告要点列于下文，并在导言中有进一步详细探讨。社会公平贯穿各个要点，人们应在更新规划实施中全程优先考虑这一因素。

报告要点

设计

韧性更新策略可应对各类主要灾害。业主应针对多种灾害进行全面规划。

韧性更新应同时处理适应环境和减灾问题。

韧性更新规划应全面，但应渐进实施。

政策 / 规划

投资组合及城市政策方面，建筑物韧性更新法规 / 程序仍属新兴战略。

韧性更新带来了巨大的政策挑战。

社区参与是成功实施的关键。

财务

韧性更新是潜在的经济转型机会。

韧性更新的潜在商业价值巨大，可通过政策及市场变化进一步加强。

导言

随着洪水和野火等气候风险的加剧，既有建筑必须得到加固。这是绕不开的问题：既有建筑到 2040 年仍将占全球建筑总量的三分之二。

对建筑进行更新改造以应对气候风险是一项艰巨的挑战：与简单设计新建筑、应对自然灾害相比，韧性更新这一任务涵盖更广、难度更大。在成本、涉及复杂性、政策、社会公平及市场惯性方面，扩大更新改造规模以适应主流实践的方式面临重大障碍。

然而，韧性更新的需求也将成为一代人的机遇：他们有机会、有责任改造世界各地易受影响的建筑，使其能够更好地面对各类灾害。

本出版物介绍了更新改造建筑时，针对极端气温、洪水、风暴和大风、地震风险、缺水 / 干旱和野火应考虑哪些基本的设计、政策及财务情况，并指出业主、设计师和政策制定者为何、又应如何采取行动，以保护居住者的健康和建筑物的价值。

除案头研究、访谈及焦点小组外，本报告亦借鉴了“韧性土地使用系列活动”的经验。“韧性土地使用系列活动”作为技术支援及同行学习网络，由 ULI 城市韧性项目管理，为美国各城市，如纽约、纳什维尔及休斯顿的韧性更新改造提供建议。



何为韧性更新

韧性更新方案包含各样规模、成本及防护水平——从相对简单的技术，如反光屋顶或防火壁板，到更换建筑围护结构、抬高底楼或更换机械设备等全面升级。本报告中，韧性更新包括任何为增强建筑应对物理气候风险能力而进行的改造。报告将主要关注建筑仍在使用时进行的改造——重新定位或适应性再利用期间完成的大修，性质上有时更接近新建建筑，因为在此期间，建筑往往没有住户，且存在重大设计变化的机会。

建筑更新目的可以各异——例如新的入住类型、审美考量或更高性能。对许多以高性能为目标的项目而言，

“更新”一词主要指能源效率或建筑脱碳能力改善，如LED照明或供暖、通风及空调（暖通空调，“HVAC”）系统升级。这些调整能够显著减少建筑碳排放量（由此可能最终降低所有建筑面临的气候风险严重程度）。此外，它们还能带来重要的、与韧性相关的协同效益，如改善备用电源的运行时间，或协助应对极端高温和干旱等长期性天气风险。然而，能源改造本身无法保证建筑能够抵御飓风或地震等物理冲击。因此在策略及性能结果方面，韧性更新与能源改造有所重叠，但并非完全相同。

韧性更新种类

美国能源部“[建筑优化中心](#)”（[Better Buildings Solution Center](#)）将韧性改造分为三类：

- 1. 结构加固**（发生灾难时，减轻财产损失、减少伤害、降低系统中断影响）：
 - 抗震改造
 - 防风屋顶和窗户
 - 防洪减灾
- 2. 节约资源**（降低建筑的能源及水需求，延长其依靠备用电源运行的时间，并降低活动中断的影响）：
 - 高效的照明和供暖、通风、空调系统
 - 提高用水效率的措施
 - 建筑维护结构修缮，例如加强保温
- 3. 能源供给**（有助于确保关键的建筑系统在电网或燃料供应中断时仍能继续运行）：
 - 可再生能源
 - 热电联产
 - 蓄电池
 - 备用发电机
 - 微电网
 - 电动车充电





韧性更新为何必要？

近期研究¹表明，仅美国国内，就有 1240 万套住宅和 90 万座商业地产面临洪灾风险。世界资源研究所²估计，全球范围内，7200 万人口及 1740 亿美元的城市资产已面临沿海及河流洪灾风险。加之地震、大风或野火等其他风险造成的损失和对生命安全的威胁，对建筑物进行更新改造以缩小风险敞口的必要性愈发突出。

目前的建筑规范无法实现这一目标。建筑规范中，有多条安全标准旨在于自然灾害发生时保护住户。设立这样的标准理所应当，但它们并不能确保建筑能够迅速恢复使用，不能避免持续性损害，甚至无法保证建筑物本身不受重大破坏——而这些正是韧性设计³的目标。按照上述高于规范的目标应对某些灾害、进行更新改造可能十分昂贵；例如，通常只有在长期占有，以及资产属于机构或政府的情况下，高于规范的防震改造费用才可能合理，但这一改造又是将直接和间接损失降至最低的关键。

街区规模的基础设施，如自然堤岸、公园和树冠层，对降低脆弱性至关重要。然而，建筑层面的解决方案是对这些大型项目的重要补充。它能够提供额外保护，或处理最好能在资产层面进行管控的灾害风险。韧性

建筑作为社会性基础设施，其作用重大：学校或图书馆等社区建筑往往成为实际抗灾中心，在气候事件中提供庇护、传递信息、进行协调等功能。急速升级、日益严重的气候风险要求公共及私营行动人采取全方位、多层面的方法。

此外，更新改造能够保护并提高建筑价值，产生多种金融、社会及环境回报。国家建筑科学研究所 (NIBS) 发现⁴，韧性更新能为社会带来 4:1 的收益 / 成本比，在高风险地区，这一比例甚至可能更高。现在开展投资，将能确保地产及住户做好长期准备（见“韧性更新的商业案例”）。

最后，建筑业主已经分配了大量资源，用于维护、改善地产。例如，仅住宅领域，每年有超过 100 万户美国家庭更换壁板，600 万户家庭更换屋顶和窗户——这些均为针对野火、大风与极端高温进行的更新改造。翻修早已通过年度维护的形式不断发生，人们完全可以利用它们产生更高的韧性红利。

报告要点

追求韧性更新将引发一系列复杂、互相影响的设计、政策、融资与社会公平方面的相关考量。报告以下部分包含若干要点，供各领域利益相关者在开展韧性更新时参考。

首先，韧性更新应优先考虑社会公平。通常，为低收入人群、黑人、原住民及有色人种 (BIPOC) 社区服务的地产，暴露于气候灾害中的程度更高。由于历史性投资缩减及结构性种族主义，上述社区在获取资本以适应气候方面也面临障碍。小规模业主同样缺乏时间和人力，来管理复杂的更新改造过程。最后，韧性更新可能增加建筑价值，也会导致买方无力负担对价的潜在风险。韧性更新规模扩大时，应优先考虑解决上述问题的设计、政策及财务方案。

设计

韧性更新策略可应对各类主要灾害。业主应针对多种灾害进行全面规划。资产往往容易受到多重风险的影响。全面规划资产生命周期内面临的所有危险，较单独规划更具成本效益，因其突出了寻求协同效益 (如选择既防洪又防火的材料) 和解决矛盾 (例如，若建筑可能遭受地震及洪灾，应将机械设备置于地下室还是屋顶) 的机会。

韧性更新应同时处理适应环境和减灾问题。将物理风险相关更新与能源改造结合，无论在成本或时间方面效率都更高。该方式能减轻停电带来的后果，并创造节约成本的机会以支持更新改造的商业应用。



韧性更新规划应全面，实施可渐进。全面的长期计划并不代表业主需要一次性解决所有问题。根据短期、中期和长期战略分段实施的方法，与年度维护需求相一致。从实际操作和财务角度，它使更新改造变得易于管理，并允许业主优先考虑建筑物或投资组合最紧迫的需求。

政策 / 规划

投资组合及城市政策方面，建筑物韧性更新法规 / 程序仍属新兴战略。在地震和飓风多发的美国地区，韧性更新项目已成功运行数十年。随着新技术和气候风险数据的出现，更新设计相关知识也在不断完善。众多个人业主及政策制定者已经开始实施改造，相关案例屡见不鲜。然而，全面、多灾并防的组合或城市改造政策战略尚未成为商业地产和公共部门的主流手段。随着建筑性能标准 (BPSs) 的普及，上述情况可能有所转变。

“市场现状是，许多公司都在进行韧性风险评估，但尚未步入改造实施阶段。”

——Verdani Partners 创始人、首席执行官
Daniele Horton

韧性更新带来了巨大的政策挑战。政府无论规模大小，在制定建筑改造政策 / 方案时都面临着挑战，即如何反映城市或区域中多样的建筑类型、设计背景、气候风险，以及社会经济 / 文化挑战与偏好。现有法规——无论地方、州（如区划和建筑要求，或历史保护规则），还是国家层面（如洪泛区要求）——亦可能阻碍或支推动更新改造，同时影响政策制定。

社区参与是成功实施的关键。韧性更新须协调各个利益相关者的需求、利益和贡献，使其在目标和手段上达成一致。这与处理任何大型建筑项目的方法相同。除业主外，当地的利益相关者可能包括租户、物业 / 资产管理经理、维修人员、承包商和贷款人。随着实施范围扩大至街区、城市或投资组合，利益相关者也将扩展。公共领域的社区组织、城市官员，和房地产公司内部的环境、社会和公司治理 (ESG) 团队、风险管理团队及投资委员会均可能包含其中。



抬高沿海建筑是一种改造策略，可降低洪灾风险、减轻风暴潮的破坏。

“投资社区外展团队，其价值不可估量。在诸多项目中，社区参与不仅是锦上添花之物，其作用远不止如此。遇到颇具颠覆性的项目，社区参与便成为了保证项目延续、使之不受利益相关者阻拦的关键所在。”

——纽约市住房管理局复原及韧性部门副总裁
Joy Sinderbrand

财务

韧性更新是潜在的经济转型机会。全球范围内，数不清的建筑需要更新改造以应对气候风险，这一需求本身的规模，及其为多个行业制造的相关就业机会、人力发展机遇，创造了巨大的投资和增长前景。此外，气



在结构基础上增加绿色外墙，有助于减少得热，保持室内温度适宜。

候风险对房地产定价的影响程度，以及业主是否采取手段通过更新改造降低风险，都将广泛影响地产价值。若管理上述变化时兼顾公平，这一转型的财务利益可以帮助处于社会经济边缘的社区积累财富。

韧性更新的潜在商业价值巨大，可通过政策及市场变化进一步加强。韧性更新成本因多重因素而异。然而，除前述收益 / 成本比之外，[研究及项目概况](#)显示，更新改造能为房地产价值链上的各个利益相关者带来财务及其他方面的好处。韧性建筑也最容易避免在销售时出现“旧楼折让”。如果建筑不够坚固、无法满足市场预期，这一折让可能影响交易。

相关收益包括：价值、销路、资本获取渠道增加；保险费减少；避免损害或干扰造成的损失；降低合规成

本；社会 / 社区回报。此外，如果在韧性更新中采取措施，将建筑加固与能源效率结合，还能直接节省资金。

若气候风险未被计入建筑价值、市场评估或保险支出，投资回报可能受到限制。然而，上述情况正逐渐发生改变（详见 ULI 的“[气候风险系列](#)”及“[投资基金 Heitman 谈地产投资](#)”）。随着气候风险的恶化及气候风险披露的演进，确保建筑物能够抵御极端天气事件很可能成为维护投资回报、保证投资资金、保护建筑用户的先决条件。加强的韧性激励和融资工具也可协助创造更好的回报。

韧性更新的商业案例

相较考虑传统建筑升级，评估韧性更新的回报率需要更广阔的视野和更长远的打算。人们要证明韧性升级的前期成本合理，将面临两个重大障碍：(a) 潜在或可见的短期回报缺失，及 (b) 不确定性，即气候风险是否会在持有期间实际影响资产、影响程度又有多大。这两点尤其影响了短期持有者。

更新改造可能十分昂贵，尽管激励措施、专项拨款，以及改造直接节约的开支能够抵消部分成本。然而，随着气候风险的加剧，若不投资韧性升级，未来成本可能会更高。而且，并非所有建筑都需要更新改造（参见“[风险与脆弱性评估](#)”）。此外，韧性更新的回报

来源多种多样，随着人们对韧性的兴趣增加，市场力量可能相应调整，以支持更广泛的来源。ULI 韧性项目简报资料库“[发展城市韧性](#)”已记录了诸多上述回报。

“在此过程中，我们必须认识到，财务压力是根本问题。当前，房地产开发商面临的财务压力，通常为 24 到 36 个月的开发周期。... 如果真要解决建成环境、更新改造以及韧性的问题，你就必须按照大多数开发商的规模（即 36 个月以内）进行操作。”

——Public Square 创始人 Clay Haynes



为外墙增添矿棉保温材料，以提高能源效率，也有利于热量管理。



洪水对历史性建筑形成了独特威胁。

价值、销路、资本获取渠道增加。韧性建筑脱颖而出，创造了竞争优势。这一优势体现在：出租及出售速度加快；吸引租户和顾客的能力加强；转售价格提高；以及取得融资更优。的确，获取资本的渠道增加是重要增值因素，因为投资人越来越希望业主通过诸如全球房地产可持续评估体系 (GRESB) 或气候相关财务信息披露工作组等披露系统披露、处理气候风险。像 LBA Realty 这样行业领先的房地产公司已开始在收购前的尽职调查中评估资产韧性，并将升级成本纳入资本支出计划，促进韧性投资，甚至鼓励短期持有者进行此类投资。

严重的气候风险可能简化等式；若建筑物的持续使用功能长期遭受严重的气候风险威胁（如海平面上升），

佛罗里达州南部的一个度假村采取韧性措施，使年度保费减少约 50 万美元，显著降低了年度营业成本。

而建筑物——如历史建筑、重要人文建筑或政府财产——必须继续使用，那么无论成本大小，更新改造都十分必要。

保险费减少、保证能够获得保险。随着气候事件造成损失的增加，保险供应商为那些积极行动加固地产的客户提供了折扣。例如，美国国家洪水保险计划 (NFIP) 长期就防洪减灾措施向业主提供保费折扣；位于野火频发地区如加利福尼亚的部分保险公司为更新了屋顶及其他设施的房屋提供近 20% 的折扣。美国许多州要求保险公司为那些提升房产抗飓风能力的住宅及商业地产业主提供大幅折扣，在某些情形下，该类折扣可高达 50%。随着气候风险的加剧，以及保费与可保性的波动，进行更新改造以获取实惠的保险将更加重要。这对低收入业主和长期持有地产的业主而言尤为重要。

避免损害或干扰造成的损失。气候影响会造成财产损失、提高维护费用，并破坏商业及住宅建筑的连续性。然而，主动的更新改造投资所需的资金往往远少于未经改造的建筑产生的损失。尽管支出因更新措施和建筑类型而异，美国法特瑞互助保险公司 (FM Global)

发现：“公司每花 1 美元保护建筑结构免遭飓风、大风和洪水的破坏，平均损失预计减少 105 美元，原因是财产损失及业务中断风险的降低。”而 [NIBS](#) 估计，

- 野火防护改造，每 1 美元的投资可避免 8 美元的损失。飓风 / 大风防护改造也能提供类似的投资与损失回避比例；
- 减轻河流区洪灾危害的更新改造策略，如垫高建筑、暖通空调或湿式防洪，每投入 1 美元便可避免 2 美元的损失；且
- 为提高防震韧性而进行的软层改造，每投入 1 美元，可避免 12 美元的损失。

“为降低韧性风险进行的投资，其金额将远小于地产可能面临的潜在经济损失。”

——Verdani Partners 创始人、首席执行官
Daniele Horton

合规成本降低。无论是由于[加大支持力度](#)以采纳气候相关财务信息披露工作组的建议，还是由于地方政府立法，韧性相关的要求日益增多。例如[波士顿](#)等地区已要求高风险区域建筑符合韧性规定，而[奥克兰](#)等城市正审议通过新的条例，规范美国西部地震多发地区的抗震更新改造。由于更新改造项目应从风险及脆弱性评估着手（可见“[风险与脆弱性评估](#)”），业主及公司如尽早采取这一步骤，了解风险状况，便能将所需的升级改造纳入资本性支出计划，也能更好地满足合规要求。

FM Global **发现**，“公司每花 1 美元保护建筑结构免遭飓风、大风和洪水的破坏，平均损失预计减少 105 美元，原因是财产损失及业务中断风险的降低。”

多方利益相关者的回报。根据 NIBS 在《[韧性激励路线图](#)》中的建议，广义的投资回报也包括租户、贷款人、投资人、承保人、政府及广大公众获得的回报：租户希望生活和工作环境安全可靠，压力和干扰减少，并可能愿意为此支付溢价；贷款人、投资人、承保人希望确保其资金安全；政府及广大公众则承担了因气候影响而增加的成本。

尤其在公共部门回报方面，近期城市土地学会发布报告，涉及[多伦多](#)和[纽约市](#)针对老化的公共住房塔楼进行的更新改造。报告发现，“衡量应急服务（消防、救护车及临时安置）、医疗照护（医院就诊及精神卫生资源）以及其他保障生命安全和生活质量的社会项目支出的减少，量化其经济效益”将显著促进投资回报的提升。

设计：针对不同气候风险的韧性更新策略

协助既有建筑应对气候风险的设计路径多种多样，方法屡屡创新。本节将介绍一系列应对**极端气温、洪水、风暴和大风、地震风险、缺水 / 干旱和野火**的策略，供建筑业主以及建筑、工程和施工专家探索。在设计过程中，许多技术都具有协同效益，也各有利弊需要考量。一些解决方案适用于多种灾害（如备用电源），因此在各个部分均有提及。尽管飓风及其他风暴同时涉及洪水与风力的影响，但因其所需的设计路径不同，我们将针对上述风险分别进行讨论。

社会公平应为防灾设计的关键考量。与受物理气候风险影响最大的利益相关者合作，制定符合其文化的策略，将有助于确保他们的需求和关切被纳入更新改造全程。

美国建筑师协会搜集了一系列**韧性设计资源**，指导人们应对本指南提到的各个气候风险，也包含了更多其他内容。可[由此](#)查看具体指南，了解应对物理气候风险的设计方案。



评估风险与脆弱性

针对气候风险进行更新改造的第一步，是确定某个投资组合或区域将面临哪些物理灾害。许多组织从多灾害风险评估或脆弱性评估着手（后者往往包含社会经济信息，表明哪些人群受灾害威胁最大）。各类资源，如美国建筑师协会的“[开展脆弱性评估](#)”课程，能为设计师提供更多细节。



新建及既有建筑风险评估：来自新世界发展公司的观点

总部位于中国香港的新世界发展公司（NWD）正在将气候相关风险纳入其企业风险管理，并通过持续的评估和监测，提高物业的气候韧性及适应性。NWD目前致力于制定气候韧性设计指南。该指南将多种气候缓解及适应措施与新开发项目及重大更新建设活动相结合，内容涵盖整个物业生命周期——从收购、重新开发到设计、建设、设施管理及建筑用户参与，无所不包。该指南目前即将定稿，将包括各类与主要商业地点相关的气候风险，如洪水、缺水、极端气温和极端风力等，并提出韧性改善措施。

基于政府间气候变化专门委员会提出的两种情景——(a)中等风险情景（即“典型浓度路径（RCP）”6.0）：全球平均气温上升不低于2.5摄氏度，及(b)气温上升超过4.0摄氏度的极端情景（即RCP 8.5）——NWD评估了不同情景下气候相关的风险（洪水、缺水、极端气温和极端风力）对中国大湾区14座主要地产的影响。NWD越来越认识到洪灾风险的压力，开始进行详细的洪灾风险评估，包括检查既有公共排水记录、二维水力模型、沿海堤顶越浪模型，并在香港两座大楼内生成洪水范围地图。根据评估结果，NWD确定了具有潜在洪灾风险的地点，并相应于地下停车场、机房、建筑物入口等处安装水闸，同时设立定期检查和维修规定。

新世界发展公司
可持续部门经理
Jackson Cheung

免费资源，如联邦紧急事务管理署 (FEMA) 的[国内风险指数](#)，亦可作为了解当地风险的有效起点。FEMA 在全国范围内提供针对 18 种主要灾害的脆弱性评估，精确到各个人口普查分区，同时也评估社会脆弱性以及社区韧性。归根结底，资产甚至建筑构件层面的数据往往最为实用。该数据可从气候风险分析供应商处获得。

房地产 ESG 领军企业，如新世界发展公司 (New World Development) 及 LBA Realty，已开始将气候风险评估及战略纳入尽职调查甚至企业层面的风险管理，进而影响整体业务及投资策略。

上述评估应根据风险暴露程度、建筑条件和使用寿命、社会脆弱性或，更新改造投资的收益 / 成本分析等，确定优先改造的建筑。由于风险评估可能并不包括改造策略建议，人们或许需要进一步研究，考虑**如何针对多种风险进行更新改造**——寻找协同效应或解决需求间的互相冲突至关重要。后续章节将提出多种战略。这些战略间的协同效益或权衡取舍将影响多种灾害的应对。

“我们将开发项目翻修视为整体，而非逐一对各部分进行考量。纽约市住房管理局 (NYCHA) 对此经验丰富：“彻底翻修需要包含哪些因素？”我们不仅修缮建筑，或使建筑符合规范，我们也降低风险、营造场所，从而改善居民的生活。”

——纽约市住房管理局负责建筑物修缮与韧性事务的副总裁 Joy Sinderbrand

许多风险评估方法可以作为起点。例如，设计和工程公司奥雅纳 (Arup) 正在开发一个名为“韧性路线图”的框架。该框架列出了多个步骤，可用于任何行业领域的各类风险应对：

1. 了解并量化建筑物风险 (包括损坏的可能性及严重性、维修费用、停工时间、人员伤亡，以及对更大范围社区的影响，如建筑物内的工作岗位、人口情况、企业迁移、税基侵蚀等)；
2. 制定减灾策略 (包括物理干预及操作措施) 及相关支出预算，进行成本 / 收益分析；以及
3. 优先考虑并进行相应的更新改造投资，制定政策框架以指导未来决策。

如果风险无法降低，也许可以考虑收购策略。这一策略在城市土地学会报告[《安全之处：洪泛区收购与社区韧性》](#)中有所提及。

“我们 (根据剑桥净零碳行动计划) 正在进行的升级改造将能源效率、电气化与韧性相结合。一方面，将二者分而治之通常会更容易，但实际上业主并不这么认为。你不能先让他们处理电气化、效率和可再生能源问题，再回过头来提出需要增加防洪功能；这一切都必须通盘考虑。”

——马萨诸塞州剑桥市环境规划师 John Bolduc

业主何时应进行更新改造？

更新改造时机包括：收购过程中；随资本性支出时间表或融资周期而定；设备达到使用寿命时；重新定位期间；资产处置前；及经历气候事件后，其他工作开展期间。

Verdani Partners 创始人、首席执行官 Daniele Horton 指出，当前的最佳实践是在建筑生命周期的各个阶段（包括针对新收购、既有资产及新开发项目的尽职调查）进行韧性风险评估、加入减灾策略。此外，Horton 建议，投资组合可采取三至六年的实施策略：

- 第一年：制定计划、目标、指标及战略，确定责任方，实施韧性政策
- 第二年：进行案头工作，评估、了解投资组合风险，识别高风险资产

- 第三年：对高风险资产进行额外的现场风险评估
- 第四年之后：实施风险消减策略，确保采取最佳运营实践
- 第六年：发展公共 / 私营伙伴关系，合作寻找区域解决方案

然而，建筑师 Satpal Kaur 强调：

“对绝大多数建筑而言，更新改造的时机可遇不可求。鉴于改造在所难免，不如从现在开始规划，仔细考虑干扰较小的系统性方案。”



紧急时刻，沙袋可作为低技术含量的“临时改造”方案，和加强防洪措施的奠基石。

极端气温

无论是平均气温上升还是更严重的热浪与寒潮，极端气温都可能造成广泛的影响。例如，2021年欧洲夏季热浪及美国太平洋西北地区“热盖”造成了数以千计的非正常死亡；当年2月，极端严寒天气扰乱了美国德州及南部其他地区秩序，造成数百人死亡，导致近2000亿美元的损失。

针对极端气温的韧性更新策略着重：提高建筑围护结构能力，以维持室内温度舒适；提供有效制冷或制热；增加被动生存能力，即停电时建筑保持可居住环境的能力。例如，加拿大安大略省的肯·索布尔 (Ken Soble) 塔楼更新改造项目增加了保温层。如遇停电，建筑在冬季可保暖两天，在夏季可连续四天保持凉爽，

而通常情况下，建筑在冬季仅可保暖两个小时，夏季也仅能保持半天凉爽。

意料之中的是，与本指南中讨论的其他气候风险相比，针对极端气温的更新改造和能源效率改造策略重合度较高。图表1列出了一系列更新改造策略；下列设计指南提供了更为详细的信息：

- [《抵御高温：纽约市高温脆弱型社区韧性研究》](#)——城市设计论坛
- [《写给建筑师的建筑性能指南》](#)——美国建筑师协会
- [《炙烤：极端高温与房地产》](#)——城市土地学会



被动式节能屋更新改造（建造蓝色建筑）可大大增强对极端气温的抵抗能力，使建筑在炎热和寒冷天气中仍然提供舒适环境。

图表 1 极端气温更新改造策略

降温屋顶 / 降温外墙

浅色或反光表面可以反射太阳热量，降低室内温度，减少降温所需的制冷量。颜色各异的反射涂层及材料可用于增加反射率。

绿色屋顶 / 绿色外墙

覆盖植被的屋顶或墙壁能够减少太阳热量的吸收，并提供局部蒸发冷却，从而降低室内及建筑四周气温（绿色外墙尤其能够达成该效果），同时增加生物多样性。

若住户或公众能够安全出入，绿色屋顶还能提供建筑物现场的绿色空间。

协同效益与利弊权衡：除抗高温、节省能源的益处外，绿色屋顶亦能协助储存暴雨积水，降低当地洪灾风险。

高性能建筑围护结构

被动式围护结构策略——如增强或连续的墙体及屋顶保温、双层或三层窗户、细致的空气密封及智能玻璃——均有助于建筑在炎热和寒冷天气中保持舒适的室内温度，且无需使用任何能源。

可考虑被动式节能屋或类似设计（根据当地气候因地制宜）。

协同效益与利弊权衡：高性能的围护结构是净零碳建筑的关键组成部分，因为它们可以大大减少建筑供热和制冷所需的能量。

选择建筑材料，特别是保温材料时，需考虑其中的隐含碳。例如，绵羊毛或干草包等天然材料的隐含碳排放量远低于喷涂泡沫保温材料。

可开启式窗户

建筑如缺少面向室外开放的窗户，一旦停电将迅速过热。

外部遮阳设施

悬臂、遮阳篷及外部活动护窗、遮帘或固定百叶窗都能阻止热气进入建筑，从而降低室内温度。与室内窗帘或遮帘相比，外部设施阻热效果更好。

经设计，这些设施可以在冬季吸收太阳热量，以降低温和气候下的供热能耗。

协同效益与利弊权衡：缓和热增量也能减少供暖及制冷所需的能源。

高效的暖通空调系统（如热泵）

现代的暖通空调系统，特别是热泵，在降低能源成本的同时提供了高效的供暖及制冷。随着极端气温情况的恶化，上述系统很可能成为被动式设计策略的必要补充。

可考虑在温和气候下增加室内吊扇以促进空气流通。

协同效益与利弊权衡：全电动暖通空调系统，如热泵，并无现场碳排放。一切屋顶或外部设备都必须固定，以防遭遇大风时造成危害。定期维护可防止碎屑堆积、引发野火。

图表 1 极端气温更新改造策略（续）

<p>智能建筑系统（物联网及连网传感器）</p>	<p>智能建筑系统可以精准管理室内热舒适度及环境质量，例如，系统可依靠温度或湿度传感器自动调节暖通空调系统，或根据室外温度或空气质量自动打开或关闭窗口。</p> <p>协同效益与利弊权衡：配备上述系统的建筑可大大降低众多系统的能源使用量和运营成本。例如，系统可在房间无人时关闭照明或暖通空调，也可识别失灵部件。</p>
<p>能源效率相关更新改造</p>	<p>除改进围护结构和暖通空调外，也可考虑其他能源效率提升，如安装高效照明和电器等。高效建筑可减少对能源网格的影响，协助确保需求高峰期（如热浪来袭时）能源网格的持续运行。</p>
<p>现场备用电源（如太阳能加蓄电池）</p>	<p>遭遇较大范围停电时，备用电源能使建筑保持舒适。现场可再生能源，如太阳能电池板和蓄电池，能够确保能源低碳，并保护当地的空气质量——常见替代品如柴油发电机则截然不同。</p>

考量与挑战

建筑整体设计。成功的极端气温更新改造需考虑建筑的各个系统。在保持气温适宜方面，每个系统都会严重影响其他系统的能力。调整某一系统将影响其他更新改造的时间和细节。例如，凭借构建更为高效的围护结构，人们能够使用更小型的暖通空调系统，因此围护结构策略应予以优先考虑。此外，若未通盘考虑整个建筑的调整，人们将面临多种复杂情况。例如某些多业主公寓或多租户办公楼允许个别单位进行更新改造，忽视更大范围的影响。

建筑类型的影响。人们更容易对造型和特征简单的建筑（如“大盒子”式工业建筑）进行更新改造，也更容易针对包含多个同类建筑的投资组合开展批量改造。此外，建筑用途会导致改造过程复杂化。例如，医院和学校通风需求较高，这可能使得更新改造变得更为复杂。

LBA Realty 的热管理效果立竿见影

“我们存在降温方面的问题，尤其是在西南阳光照射的上方楼层。为平衡气温，LBA为全部窗户安装玻璃贴膜。这些窗户原先仅由单层玻璃构成，并无热阻特性。我方工程师根据长期建筑经验，坚定地认为玻璃贴膜将大幅降低能耗，减少基础的暖通空调设备磨损，同时减少约15%的租户舒适度投诉。项目完成后，我方接到的暖通空调相关紧急求助显著减少，这使建筑工程师能够专心处理其他相关问题。玻璃贴膜的性能超出预期，节能效果也得到了显著改善。”

——LBA Realty ESG与可持续发展部门总监Michelle German

可用的技术。新的改造方式，如构建预制和面板化外墙系统，目前尚未覆盖所有市场。新方式也可能需要其他先进技术如激光扫描（以对建筑外形进行建模），而多数小型建筑业主并无机会接触上述技术。从大型建筑入手、开发标准化改造模式用于广泛实施，将有助于降低成本、提高普及率。同理，某些替代技术如保温外墙饰面系统，不建议用于野火多发地区。

建筑之外的益处。高效建筑中，空调等机械系统向周围环境排放的废热较少，绿色外墙等植被覆盖策略也提供了局部降温效果。最大化广义回报的关键，在于思考上述更新改造如何支持舒适社区的实现。

历史建筑保护及其他政策障碍。存在历史性建筑保护要求的地区，建筑外墙改造可能受限，设计灵活性随之受到制约。同样，涉及区域规划的限制，如地块边界限制，可能需要区规变通，允许安装新的保温外墙。人们可以从建筑内部为外墙加添保温材料，或与区划官员及邻近业主合作，获准进行变通调整。不过，这些步骤可能对租户造成更大干扰，使审批进度放缓。

项目概况

新加坡星展银行纽顿绿色建筑 (DBS Newton Green)

新加坡地处热带，极易受到极端高温的影响；然而，这一城市国家也已走在了绿色建筑前列。星展银行是新加坡领先的金融服务集团。为应对气候挑战，银行重新开发了位于纽顿的办公大楼。该楼拥有 30 年历史，即将成为新加坡首个净零碳银行建筑。该建筑名为“星展银行纽顿绿色建筑”，预计将于 2022 年第一季度完工。它包含若干抗高温设计特点：

- 板条式的外墙结构和加宽的挑檐，可遮蔽建筑、减少日照得热 (solar heat gain)，并促进自然通风
- 覆盖半座大楼的本地植物形成了具有生物亲和力的外观，提供了额外的荫蔽和蒸发冷却效果；人们选取能够为本地濒危物种提供栖息地的植物，并以空调冷凝水浇灌



(Kaia Architects Pte Ltd.)

- 大厅和走廊的吊扇提供低能耗的冷却功能，能源再生通风机受二氧化碳传感器控制，利用已冷却的空气为室外新鲜空气预冷，如有需要，则可排出新鲜空气，以改善室内空气质量
- 10% 的楼层面积由空调覆盖转换为自然通风，降低了制冷的能源成本

上述因素结合该建筑的能源效率特色，如敷设于屋顶的 25 万千瓦发电量的太阳能板阵列、热泵热水器和太阳能冰箱，以及基于空间占用情况的照明与空调自动调节系统，使该建筑每年减少 58 万千瓦时以上的

能源消耗，从而达到净零排放，同时提高能源韧性。

星展银行为该项目投资 500 万新元 (370 万美元)，也得到了新加坡建设局针对政府“绿色建筑创新集群项目”提供的拨款支持。这体现出，在促成建筑韧性并可持续性方面，公共 / 私营部门合作颇具价值。更新改造不会止于星展银行纽顿绿色建筑。星展银行地产战略及管理部门集团主管 Erwin Chong 指出：“我们相信办公空间需要可持续的未来，而我们的最终目标，是将这些创新技术推广至集团内其他办公室、分行及大堂。”

荷兰能源跳跃 (Energiesprong) 组织与纽约市 RiseBoro 伙伴关系

更新改造建筑围护结构可以保护住户免受室外极端气温 (无论炎热还是寒冷) 的影响，同时也对建筑能源使用及碳排放影响巨大。然而，深入改造围护结构通常是时间密集型、成本密集型工程，令人望而生畏。[Energiesprong](#) 组织在荷兰开发的更新改造模式提供了

一种替代方案，可迅速扩大规模，将改造过程缩短至几周，即使大型建筑改造也不例外。该方案运用激光扫描建筑围护结构，随后在旧外墙基础上安装预制的、高度保温的墙板及屋顶板，同时将热泵技术用于供热、制冷及热水。



预制的保温板可以调节热量，加快更新改造进程。(Energiesprong 国际及 Fabrice Singevin)

上述更新改造可减少近 80% 的能源用量，帮助建筑达到净零排放或被动式节能屋的标准。针对小型建筑的改造可在一天之内完成。保温板——有时厚达 8 英寸——也大大增强了建筑对气温变化的抵抗力，当加入太阳能等现场可再生能源时，将提高停电时建筑的被动生存能力。荷兰已有超过 5700 个家庭进行了更新改造。该项目已逐步拓展至欧洲和美国——后者境内的拓展，部分应归功于试点的开展，如落基山研究所的 [REALIZE](#) 平台，也有住房相关非营利组织方案落地（如 [RiseBoro 伙伴关系](#)）的原因。

RiseBoro 是一家提供保障性住房及社会服务的非营利组织，于 2013 年建造了全国第一座被动式建筑——一座经认证的经济型多户（multifamily）建筑。此后，RiseBoro 始终致力于运用基于 Energiesprong 方法和被动式节能屋原则的技术，对其包含 150 座建筑的资产组合进行更新改造，改造内容包括：(a) 用绝热、气密的组件重新包覆（欧洲使用的预制板在美国尚未商业化）；(b) 使用高性能的门窗；(c) 通过热泵和电磁炉使建筑系统电气化；(d) 增加能源再生通风机与新风管道；以及 (e) 将机械设备和配电线路移至建筑外部。针对特定开发区 Casa Pasiva 的升级改造，预计每年可为该组织节省 18 万美元。其平均单位成本约 12.5 万美元，包括内部装修，如新地板、浴室及厨房。

“多数被动式节能屋的实质，仅仅是建设质量控制——控制空气、湿度，抑制霉菌、害虫、异味。这些因素都会影响人们的居住生活，但往往在建造多户住宅时被人们所忽略。现在，我们必须正视这一问题。许多成果（如更优的室内空气质量）均来自质量控制，但它们对租户影响很大。”

——RiseBoro 社区合伙企业可持续发展和建设总监 Ryan Cassidy

大部分工作可在建筑外部进行，这对租户的干扰要小得多——干扰租户往往是更新改造最令人忧虑的方面。上述改造不仅能够提高建筑对极端气温的抵抗力，而且能够大大改善室内空气质量。

实施改造的较大障碍之一，是禁止越过地块边界的政策——增加几英寸的保温材料便可能超出区划的允许范围，有时还必须取得邻近地产的法定许可，使得改造进程大大放缓。此外，持续扩大改造规模，需不断与租户、管理层以及施工团队进行协调。



洪水

在本指南讨论的所有风险中，针对洪灾风险的更新改造可能具有重塑建成环境的最大潜力。长期的洪水侵袭有时会迫使人们采取某些重要举措，如洪涝灾害高发地区，人们会抬高或重新定位大量建筑的底层。建筑业主、使用人和设计者需全面考虑具体的洪水风险，思考维持建筑物功能和通达性的最佳方式，尤其要关注沿海地区，因为当地洪水难免深入发达地区。

本节讨论的洪水包括沿海洪水（风暴潮、海平面上升及潮汐洪水）、河流区洪灾或暴雨。更新改造设计方案通常分为两类：(a) 阻挡水流（干式防洪）或 (b) 让水流安全进入，同时尽量减少损失（湿式防洪）。

图表 2 列出了一系列更新改造策略；下列设计指南提供了更为详细的信息：

《沿海抗洪韧性设计指南》波士顿

《建筑防洪改造》纽约市

《应战：多户住宅韧性策略》——企业绿色社区

《不可抬高的住宅建筑如何降低洪水风险》——联邦紧急事务管理署

“自然规律无论如何不会改变，但我们需要帮助建筑应对。我们可以进行相应设计，选择能使建筑逐渐干燥的系统。即便我们试图实现全面防洪，水流也总会渗入。因此最好的方法是，让水流进入、通风、然后干燥。”

——SATPAL创始人、设计与建筑科学负责人Satpal Kaur



对某些较小的独立建筑而言，将建筑物抬高至洪水水位之上完全可行（左图）；其他建筑可能需要防洪屏障（右图）。

图表 2 防洪更新改造策略

干式防洪 (防止水进入建筑物)

为门窗或其他开口安装防水 / 防洪屏障；使用密封剂或防水膜封住墙壁及入口处的任何裂缝或缝隙；增加自带备用电源的水泵，用于排出进入该区域的水流；并增加倒流阀，以防下水道及排水管倒流。

这种方法给建筑结构带来了巨大压力 (流体静压)。除非住宅建筑拥有混凝土或砖石材质的墙壁以及水泥板地基，否则该方法不适用；商业建筑更适合采用这一策略。

如洪水水深小于 3 英尺、水流缓慢且持续时间不超过 3 天，采用干式防洪最为合适。

干式防洪无法完全阻止水流进入，因此通常不会导致美国国家洪水保险计划 (NFIP) 下的洪水保费减少。

湿式防洪 (允许水流安全进入建筑物)

在洪水水位以下不作为生活空间的区域，在地基和围墙上安装排洪口，容许水流自由进出，防止流体静压对结构的破坏。

在预备接收水流的区域安装防水材料，如混凝土或瓷砖饰面，并安装倒流阀，以防止下水道和排水管倒灌。

重新安置 / 抬高公用设备 (utility equipment, 详见后文) 以及储存于洪水水位以下区域的高价值物品。

湿式防洪可帮助建筑获得 NFIP 下降低保费的资格。

抬高整座建筑

用桩或柱将建筑物完全抬高至当前及未来的洪水水位之上，允许水流从底下通过。

该策略主要可适用于较小的独立建筑；密集的城市区域很难或完全无法适用。

抬高建筑可帮助建筑获得 NFIP 下降低保费的资格。

协同效益与利弊权衡：务必在底层地板下铺设保温层，以防止热量流失。

抬高 / 重新安置或加固公用系统

将公用设施 (如暖通空调, 机械、电气和给排水系统) 移至屋顶、建筑上层、地下室的高台或防洪 / 抬高的附属建筑 (如果空间和系统允许)。

如果重新安置 / 抬高系统不可行，则可在其周围加入干式防洪方案，如防洪门或屏障。

协同效益与利弊权衡：改造暖通空调系统可能是投资高效选项 (如热泵) 的良机。

重新定位或改变水位以上底层或一楼的用途，或代替地下室

当前或未来水位以下的楼层不应用于居住，而应转为更安全的用途，如停车场、建筑通道、储藏室，或者如果区划允许，还可作商业用途。

考虑将地下室安置在最邻近水位的楼层，并安装被动式排洪口，以尽量减少地下室洪水。

如区划情况允许，屋顶或横向的建筑增建可弥补较低楼层的空间损失。

图表 2 防洪更新改造策略（续）

防洪电梯

电梯坑往往延伸至最低楼层以下，因此极易受到洪水影响、无法通达。安装的电梯，其电机与控制器须在水位以上。

加固水位以下的电梯井部分。

为电梯坑渗水安装抽水泵。

设置控制装置，防止电梯轿厢降至洪水中，并在电梯坑内安装洪水警报器。

对任何不能被抬高的部件采取干式防洪。

抬高一楼并增加外部或内部通道功能

若室内天花板高度允许，建筑物一层可抬高至洪水水位以上。为保持通达，应增加内部 / 外部楼梯或坡道。为创造富有吸引力的建筑物入口，可考虑在外部通道处增加景观或进行其他改进，或将防洪特征区域作为现场的开放空间便利设施或人群聚集区。

防水材料

针对水位以下的建筑区域，可用混凝土或瓷砖等防水材料取代干墙等水敏性材料，以减少清理工作量、降低发霉的风险。

协同效益与利弊权衡：需注意，使用混凝土可能增加建筑的隐含碳量。

绿色屋顶、蓝色屋顶，或其他集雨系统

绿色屋顶（使用活体植物覆盖屋顶）、蓝色屋顶（该类屋顶经设计可滞留并缓慢排出雨水）或其他收集和储存雨水的系统可减少雨水径流，降低洪水水位。欲了解上述策略的更多细节，请参见城市土地学会发布的《收获水之价值》报告。

协同效益与利弊权衡：绿色屋顶和蓝色屋顶可减少进入建筑的太阳热量，协助建筑保持凉爽，并降低能源使用量以及暖通空调系统的碳排放。绿色屋顶提供机会，使受干旱影响的地区能将雨水作为非饮用水使用。

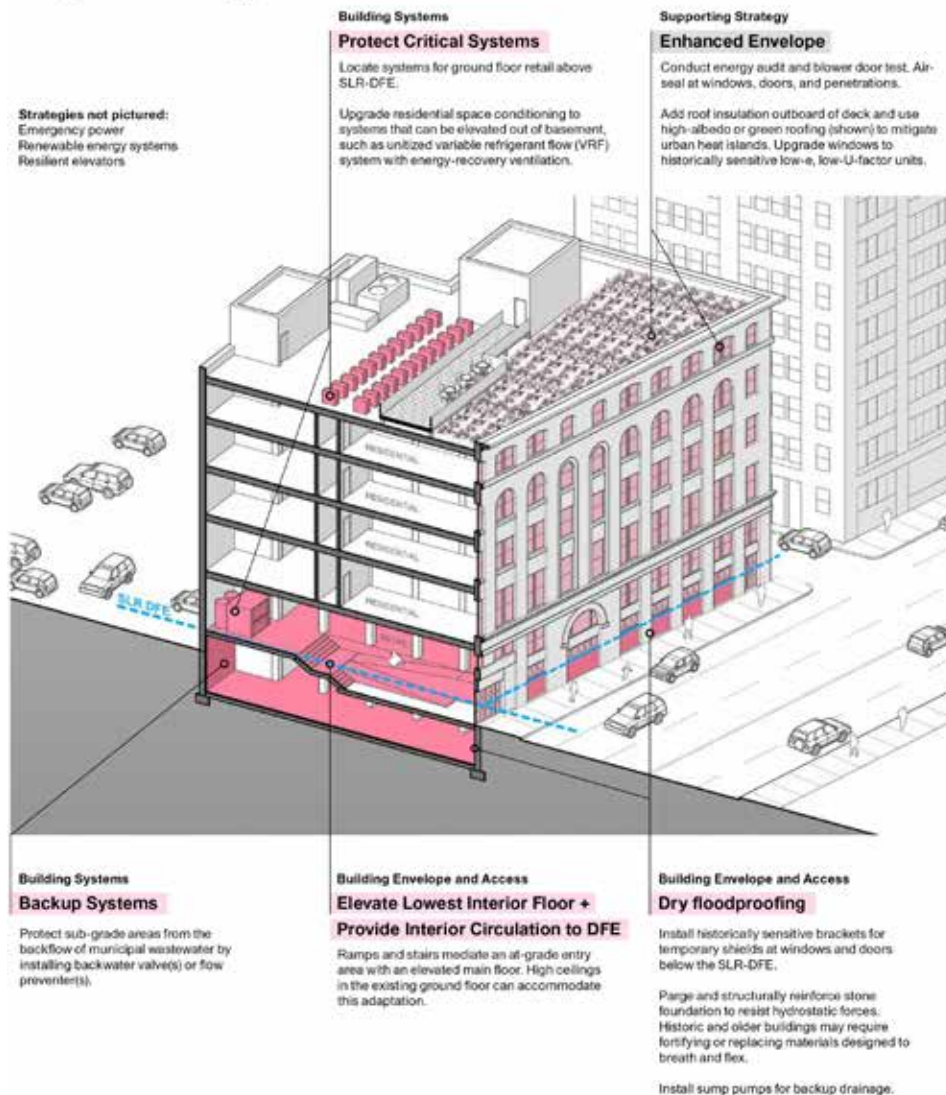
现场备用电源（如太阳能加蓄电池）

遭遇较大范围停电时，备用电源能使建筑保持舒适。现场可再生能源，如太阳能电池板和蓄电池，能够确保能源低碳，并保护当地的空气质量——常见替代品如柴油发电机则截然不同。



抛光混凝土地板等防水饰面颇具吸引力，且在洪水过后几乎无需维护。

Long-term Strategy



波士顿《沿海抗洪韧性设计指南》提供了一套详细的、图解式的策略及考量因素，可适用于多种建筑类型——从单层或双层住宅到工业建筑，再到左图所示的混合用途建筑——的更新改造该指南主要处理洪灾风险，但也指出了与其他气候防灾及可持续发展措施相重叠的领域。（波士顿规划和发展局）

帮助历史性建筑适应洪灾

历史性建筑在防洪方面面临着独特的挑战。美国国家公园管理局存有一份指南，指导人们在修复这些建筑时考虑洪灾风险。[点此链接了解更多。](#)

考量与挑战

城市设计。从安装大型防洪系统到抬高整座建筑，防洪改造将对城市区域产生重大美学影响，因为建筑外观、出入口以及与街道平面的关系可能发生改变。影响建筑外观的设计应设法通过景观、作为可用空间的屏障或其他方式缓和视觉冲击。

历史建筑保护。在受历史遗产保护法规规范的地区进行建筑改造，面临与极端气温相关改造类似的挑战。改造可能需要额外审批，或面临设计上有限的防洪选择。

保险成本。降低成本可能是建筑业主的首要考虑因素。设计工作应重点考量降低保费的选项，因为在美国，并非所有措施都能减少 NFIP 下支付的保费。

触发其他法定要求。改变建筑平面或建筑通道可能会导致建筑物无法遵守《美国残疾人法案》，因而需要额外改造——这将增加成本。

主动与被动解决方案比较。就防洪系统而言，应选择无需时间和人力部署的“被动”方案，这样可帮助确保建筑不被突如其来的洪水淹没，使防灾措施的激活成本保持低位。

项目概况

改造规模：资产——投资组合——街区

资产：迈阿密布里克尔 701 号——Nuveen 房地产公司

迈阿密是世界上风险最大的沿海城市之一，在应对飓风方面历史悠久。Nuveen 房地产公司为布里克尔 701 号业主，公司已将气候韧性纳入长期 ESG 战略，同时投资防洪措施，保障该沿海大厦整体安全。

相关更新改造策略包括：安装定制的防洪屏障；提高地下室配电间内的变压器位置；更换原有发电机；填塞窗户缝隙；更换建筑外墙和阳台的密封胶；以及修复并加强外墙板。

尽管防洪屏障对于保护较低楼层免受洪水侵袭至关重要，但风驱雨 (wind-driven rain) 多发地区，窗户及外墙处理才是关键。如果水分通过未密封的窗户深入建筑材料，由此产生的霉菌问题将很难补救，且补救费用昂贵。

Nuveen 对于这一资产的总投资约为 160 万美元，其投资回报与建筑物未来的防护、满足市场需求的程度紧密相关。上述改善措施将最直接地降低与小型洪水相关的维修保养开支。保险扣除额未必能够覆盖这一开支。此外，关键的利益相关者，如投保人、贷款人、租户及未来买家，都希望增加气候相关风险透明度，



迈阿密布里克尔 701 号 (Daniel Christensen, CC 3.0)

也十分重视建筑业主的韧性投资。总体而言，上述改进使建筑获得提升、得以满足新的市场标准。该标准要求采取类似的韧性抗灾措施来减轻区域气候风险的影响。

投资组合：纽约市住房管理局 (NYCHA)

2012 年，纽约遭受飓风“桑迪”的严重破坏，创纪录地获得了 30 亿美元的联邦重建资金。此后，纽约市住房管理局不断努力，对 35 个遭到“桑迪”破坏的公共住房开发项目进行改造，并将全面抵御气候灾害的韧性能力融入投资组合内建筑的基础工作。其投资组合包含 300 多个园区，为 40 多万居民服务。

管理局发布的《[NYCHA 气候变化应对](#)》详细介绍为保护建筑和居民免受沿海洪水侵袭、采取种种更新改造措施时，措施带来的益处及挑战，包括：

- 安装新式、高效的锅炉
- 为 200 座建筑安装备用发电机



重新摆放的机械设备（蓝色）以及新的太阳能板（《NYCHA 抗洪韧性指南》）

- 使用防洪门 / 屏障密封机械室，将发电机迁移至屋顶，或新建高架附属建筑，以保护关键设备
- 防洪措施，包括在 22 个开发项目中为门窗安装可移动的主动型防洪屏障，在 11 个项目中安装被动型屏障，以及在 6 个项目中进行湿式防洪。

NYCHA 在有人居住的建筑物中进行大规模改造，获得了重要经验。这些经验表明，各类改造方法之间存在本质矛盾（例如，可移动的屏障较被动型屏障便宜，但须由训练有素的工作人员启动），与租户合作也尤为重要。NYCHA 复原及韧性部门副总裁 Joy Sinderbrand 指出，获得居民对破坏性项目的认同非常重要，因为这些项目需要工作人员挨家挨户推进，而居民的合作至关重要。例如，只有当住户愿意清空上方楼层时，起重机才可能将发电机吊至屋顶。

街区：汉堡的港口新城 (HafenCity)

汉堡是德国北部的港口城市。由于位于易北河沿岸，而易北河的风暴潮从北海涌入内陆，该城早已适应洪水泛滥的情况。港口新城 (HafenCity) 是一个重新开发的河中岛屿，部分为人工建造。它展示了包括更新改造在内的街区抗洪策略。

该岛的主要适应策略为：将大部分土地抬高至超过高潮线约 8 米 (26 英尺) 的位置 (这是一种具有千年历史的荷兰技术，被称为 “terp”)，并在较高的平面上新建富有韧性的建筑。然而，岛上的红砖仓库建于 19 世纪 80 年代，受联合国教科文组织保护，因此不能被抬高。

为确保这些建筑得到保护，较低楼层的窗户做了防洪处理，人们也采用了其他加固措施。不过，最令人印象深刻的或许是，鉴于建筑可能被淹没，人们铺设了

高架人行桥以贯穿多座建筑，并将出口安排在建筑第二层，来保证发生洪水时，住户能够安全离开。

与单一的建筑策略相比，这种方法结合了建筑及街区层面的更新改造，保证了更便捷的通道和更大的流动性。



洪灾事件中，人们可通过相连的高架人行道进入历史建筑。



(Midtown Equities)

建筑保护立竿见影：移动防汛墙

采用移动防汛墙（如 Aqua Fence）的策略广受房地产业主欢迎，因其无需对建筑进行大规模改造。尽管从技术角度，该策略并非更新改造，但较结构性防洪而言，其安装更为迅速，且不会造成永久性视觉影响。这使它成为了有效的短期操作方案。在采用这一策略的同时，人们可以考虑更为密集、持久的方案。

新世界发展、Common-wealth 地产和 Parkway 等公司已成功实施了上述技术。Commonwealth 地产特别指出，尽管公司的 Aqua Fence 系统具有上述优势，但其部署需要花费 8 小时，由几位全职工人参与，并动用一台山猫 (Bobcat) 设备：这些临时障碍表明，在重型机械进出、人员配置及灾前警告方面，挑战仍然存在。



地震风险/地震

与本指南中的其他风险相比，人们对气候恶化与地震间的联系了解较少；然而，针对不同风险，评估其对建筑和安全的威胁、制定改造策略的过程大同小异。此外，某些证据显示，干旱与强降水周期交替、工业运营大规模抽取地下水以及水力压裂 (hydraulic fracturing) 相关活动，都可能影响气候、影响当地地震活动。

地震活跃地区——尤其是美国西部——存在某些运行时长数一数二的公共部门建筑改造项目。在有效的设计、政策及资金策略方面，这些项目可提供丰富的经验。更新改造策略的重点为：(a) 加强结构部件或

整个建筑的抗震能力；(b) 减少建筑经历的震动；以及 (c) 确保载荷路径畅通，使能量能够通过结构安全传递。图表 3 列出了一系列更新改造策略；下列设计指南提供了更为详细的信息：

- [《基于韧性设计 \(REDI\) 的地震评级系统》](#)——奥雅纳
- [《既有建筑震后修复技术》](#)——FEMA
- [《实用指南：降低非结构性地震损失风险》](#)——FEMA

图表 3 地震风险 / 地震防范改造策略

软层 / 弱层建筑更新改造

第一层缺乏足够结构强度或刚性的建筑——如一楼带有店面或停车场的混合用途住宅——在地震中容易倒塌，因其开口较宽，隔墙较少。在旧金山、伯克利和洛杉矶，此类建筑成千上万。这些城市已强制要求人们对这类建筑进行更新改造。

额外的支撑——无论力矩框架、剪力墙或紧固件——可加强结构，提供更高的刚性和稳定性。

更多细节请见 [FEMA](#) 及 [辛普森众泰](#) 有关这一特定改造类型的设计资源。

无筋砌体 (URM) 建筑更新改造

无筋砌体 (URM) 建筑 (一种历史性的、符合震前建筑规范的建筑方法，其中 [承重或非承重] 墙体由砖、煤渣砌块或其他缺少钢筋等加固的砌体材料构成) 在地震中极易发生坍塌或砌体外墙“剥落”。

更新改造方法：

- 使用紧固件或增加剪力强度的材料，如喷射混凝土、纤维增强的聚合物或织物增强的砂浆等，来加固 URM 柱体或墙体
- 使用紧固件将 URM 墙体固定于屋顶或地板
- 支撑护墙及烟囱 (烟囱可能需要更换或拆除)
- 使用特殊力矩框架加固大型开口
- 将 URM 单板墙面固定于外墙的背板墙面
- 为 URM 墙体增加新的地基元素，如混凝土板和加固的地基

更多细节，请见 [辛普森众泰《URM 建筑》](#) 相关资源。

图表 3 地震风险 / 地震防范改造策略 (续)

无筋砌体 (URM) 建筑更新改造 (续)

协同效益与利弊权衡： URM 建筑也很容易受到大风的影响，而上述改造可同时处理这两种风险。

此外，包括材料加固及保温的 URM 墙体围护结构改造，如织物增强的砂浆，可提高墙体对极端高温和野火的抵抗力。抵抗程度因材料而异。

然而，如果并未特别选择低碳方案，使用更多传统混凝土和钢材可能会增加建筑的隐含碳量。

非弹性混凝土 (nonductile concrete) 建筑更新改造

非弹性混凝土建筑——其老式结构缺乏加固，无法承受地震时的横向晃动——很容易崩溃或倒塌。人们需要进行结构评估，以确定建筑是否属于这一类别。

更新改造方法可包括：

- 加固混凝土柱以提供额外的刚性
- 增加支架、混凝土剪力墙，或基础隔震 (见下文)、新的钢矩框架
- 加强特定结构组件

支架 - 螺栓更新改造

支架 - 螺栓改造是一种比较简单的技术，适用于建于抬高地基之上的小型木结构住宅建筑。这类建筑在地震中很容易从地基上滑落，“残缺墙” (cripple walls) ——框架与地基之间的矮墙——也十分容易倒塌。这种低技术含量、低成本的改造方式，运用木材支撑墙面，或用螺栓将框架固定在地基上。部分项目，如加利福尼亚州的“地震支架 - 螺栓” (EBB) 项目，也要求对热水器进行固定和支撑，以防止燃气或水管泄露和损坏。更多细节，请见[加利福尼亚州 EBB 项目](#)或辛普森众泰关于开展此类更新改造的[指南](#)。

基础隔震

基础隔震切断建筑与地基的连接，并在隔震垫上方增加钢梁或钢筋混凝土梁，从而在地震期间将建筑与震动的地面隔离。此时地基可以震动，建筑物则得以保持稳定。因此基础隔震能够减轻建筑承受的震动。这一技术可避免对非结构性组件进行升级。

补充性阻尼器

阻尼器可作为减震工具吸收多余的运动能量，或作为配重来抵消受力，与钟摆原理类似。配重又称调谐质量阻尼器，通常采用重球形式，置于上层楼板镶嵌的弹簧之上，或以装有大量液体的防震罐形式出现，有时也置于屋顶。地震时，这两种配重均会随建筑物振动而反向振动。如建筑刚性明显，上述系统的使用效果并不理想，因为阻尼器起到了支撑作用，并根据本身的需要，连接了有必要移动的楼层。带有钢柱或混凝土柱的力矩框架建筑具有更大的灵活性，很适合使用阻尼器。

非结构性更新改造

根据 [FEMA](#) 的说法，“近期美国地震中，绝大多数地震损害为非结构性故障。”非结构性元素包括建筑组件，如室内隔板或贴面、天花板或烟囱；包括机械、电气和给排水设备，如热水器、通风管道或水管；甚至包括家具，如书架或置物架。这些元素需要固定或改造，以免造成重大损失。

考量与挑战

复杂性。抗震改造的范围既包括简单、经济的技术(如前文所述的支架-螺栓更新改造,用于使结构更好地固定于地基),也包含高度复杂、损伤性、定向或全面的更新改造。后者成本可能达到建筑重置价值的80%,在此情况下,全面更换结构可能更具成本效益。奥雅纳在其为英属哥伦比亚大学完成的[地震脆弱性及更新改造分析](#)中指出,定向改造选择结构性组件以增强抗灾能力,成本较低,与建筑整体改造相比,造成损伤也更小。然而,定向改造并非总能取得同样效果,在某些情况下,它甚至可能带来新的问题——过去最薄弱的环节已经过更新改造的修补,导致可能的故障点移至其他尚未改造的部位。

“如果你身处地震活跃区,不加入基础隔震或阻尼器等防震元素,便很难实现抗震韧性。尽管我见过更‘野蛮’的做法,即通过筑厚墙增加[建筑]刚性...这种做法实际上会增加楼层的加速度,破坏水管、电梯及外立面等非结构性组件。如果这些组件遭到破坏,建筑就不能继续使用了。在更新改造中仅仅解决结构问题,可能会带来新的困扰,阻止你实现韧性目标。”

——奥雅纳副总经理兼风险及韧性实践领导
Ibbi Almufti



外部支撑能加固建筑,以应对地震风险。

考虑非结构性组件。增加建筑硬度的传统抗震方法可能会加大非结构性部件的压力，使这些部件需要额外支撑，从而提高成本。目前，结构工程在增强非结构性组件的抗压能力以应对地震风险方面仍是空白。

将抗震改造与其他改造结合。由于需要解决主要的结构问题，抗震改造可以成为及时处理其他风险的机会——例如通过安装排洪口或保温外墙，协助推动价值提升。除节省开支外，也可能存在协同效益。例如，

电气化更新改造使建筑从燃气向全电动暖通空调和烹饪系统转变。这一转变能确保地震后，燃气管道即使并未关闭，也不会引发爆炸或火灾。此外，依赖木材的抗震改造新技术如交叉层压材，可提供更大的结构强度，同时降低建筑隐含碳量排放量。欲知更多细节，请参见城市土地学会发布的[《电气化：全电房地产运动》](#)及[《房地产建筑材料隐含碳》](#)报告。



可通过增加力矩框架（红色柱）来加固软层。

软层建筑

美国韧性委员会有关软层建筑的故事图介绍了南加州面临的风险及更新改造机会。[点此链接了解更多。](#)

项目概况

广岛纸鹤塔 (Orizuru Tower)

纸鹤塔为日本广岛的一座综合性办公大楼，建于1978年，后经改造，于2016年重新开放。从塔上可俯瞰该市的和平纪念公园 (Peace Memorial Park) 和原爆圆顶馆 (Atomic Bomb Dome)。这座14层的塔楼结合办公空间以及向游客开放的底层和顶层。它最具标志性的特征为露天观景台，自台上俯瞰，可见公园、圆顶馆以及纸鹤墙。这些纸鹤已成为重要的和平象征，也是市内的观光热点。

由于原有的钢筋混凝土结构不符合建筑新规的抗震能力要求，工程和设计公司奥雅纳与当地的 Sambuishi 建筑事务所合作，对该建筑进行地震风险相关更新改



造。新建的加固钢构架通过高强度钢筋固定在现有框架上，东侧新建的螺旋坡以及西侧露台均为加固构件。部分建筑增加了新建桩基，可以将荷载安全传送至地面。最后，为减轻结构重量，沉重的混凝土墙则由轻盈的幕墙取代。建筑抗震性能为现行标准要求的 1.5 倍。

此外，该项目还将抗震改造、能源效率以及通过被动设计抵御极端高温结合起来。通过季节性盛行风研究以及流体力学建模，新的立面开孔最大程度优化了自然通风的效果，为办公空间提供交叉通风，以达到制

冷与联系户外环境的效果，却并不依赖能源密集的空调系统。

纸鹤塔作为新的历史和文化标志，吸引了大量的游客。它的成功一方面表明，那些可能成为独特资产的旧建筑，其更新改造具有价值，另一方面也表明，将针对不同风险的更新改造联系起来，是获得更大协同效益的机会。



风暴和大风

大风，无论是飓风、雷暴、龙卷风还是其他风暴，都可直接影响结构，或导致水流入侵结构，从而造成破坏。因此，防风应与防洪改造同步进行，以确保建筑结构能够抵御强风暴。

防风改造策略着重加强对风载碎片 (windborne debris) 冲击的抵抗力，并提高建筑结构的稳定性，抵御来自多方——无论是屋顶的上升气流还是墙侧的横向气流——的风荷载建筑围护结构的弱点，即使是车库门这样看似微小的开口，如果不进行处理，也会造成重大损失。图表 4 列出了一系列更新改造策略；下列设计指南提供了更为详细的信息：



- 《加强型建设标准 (FORTIFIED Construction Standards)》——建筑与家庭安全保险学会 (IBHS)
- 《住宅建筑防风改造指南》及《成功的建筑防风改造》—— FEMA
- 《下一代建筑基于韧性设计 (REDi) 的地震评级系统：极端风暴篇》—— 奥雅纳



防雨百叶窗 (页首) 和坚固的屋顶材料 (上图) 提供了抗风载碎片冲击的能力。

图表 4 风暴和大风防范改造策略

<p>冲力分级的门窗，包括天窗；防风等级的车库门</p>	<p>将门窗尤其是卷帘门或车库门更换为冲力分级的型号，以确保其抵御风载碎片破坏的能力。安装防风等级的车库门也可提供额外保护以抵御风压。</p> <p>暴风雨来临前，所有内部及外部门都应关闭——尽管这是一种操作性方案，但根据 IBHS 的研究，仅靠关闭内门便可减少最多 30% 的屋顶风荷载。</p> <p>协同效益与利弊权衡：更高性能的窗户有助于减少能源使用和成本，并根据其型号，可能包括钢化玻璃，以增强抗野火能力。</p>
<p>防雨百叶窗</p>	<p>防雨百叶窗可提供额外的保护，或充当冲力分级窗的替代品。设计多种多样。胶合板只能在没有其他选择的情况下作为暴风雨前的最后防护手段使用，且至少厚达 3/4 英寸。</p> <p>协同效益与利弊权衡：防雨百叶窗也可作为外部遮阳设备使用，以减少太阳能得热，提高极端高温韧性，同时降低能源成本。</p>
<p>密封的窗户和外墙 / 屋顶</p>	<p>风驱雨往往可能造成大规模破坏。确保窗户严格密封有助于防止风驱雨的侵入。封堵建筑中的任何其他裂缝或缝隙也十分有效。</p> <p>协同效益与利弊权衡：密封型更强的建筑围护结构也能提高极端气温韧性，降低能源成本。</p>
<p>屋顶与墙壁、墙壁与墙壁、墙壁与地基的连接</p>	<p>用飓风绑带、夹子、带子和和其他连接器 / 紧固件连接所有的结构元素，以创造连续载荷路径，使风力安全传导至地基。</p> <p>协同效益与利弊权衡：该技术在地震区域必不可少。</p>
<p>加强 / 密封的屋顶板</p>	<p>用额外紧固件加强屋顶板与桁架 / 椽子之间的连接。</p> <p>协同效益与利弊权衡：也可在接缝处使用防水胶带密封屋顶板，用防水膜或防风衬垫覆盖屋顶，防止渗水。</p>
<p>防风等级的屋顶材料</p>	<p>确保屋顶材料，无论是沥青瓦、金属还是其他替代品，均经过防冲击与防风等级评定。</p> <p>协同效益与利弊权衡：防冲击的屋顶也能防御冰雹，A 级屋顶材料也有助于防止野火造成损失。尽管绿色屋顶是极端高温及雨水管理的重要策略，但如果缺乏特殊的设计方法，易受风灾的地区并不适用，例如，为迈阿密大学开发的绿色屋顶就采用了特殊设计。</p>
<p>保护屋顶设备</p>	<p>建筑机械系统，如暖通空调或太阳能电池板设备，应用带子或其他紧固件牢固固定在屋顶上。</p>
<p>现场备用电源 (如太阳能加蓄电池)</p>	<p>遭遇较大范围停电时，备用电源能使建筑保持舒适。现场可再生能源，如太阳能电池板和蓄电池，能够确保能源低碳，并保护当地的空气质量——常见替代品如柴油发电机则截然不同。</p>

考量与挑战

住宅与商业建筑策略比较部分结构性防风改造，如改进屋顶与墙体的连接，更适用于较小的住宅结构。集中解决风驱雨渗入屋顶和窗户，以及窗户和幕墙的抗冲击性问题，商业建筑更能从中获益，尤其是当玻璃制品在建筑围护结构中占比很大时。

取得触手可及的成果通常，[前文所述简单、低成本](#)的更新改造可加强屋顶、墙壁和地基间的连接，还可通过小型紧固设备创造连续的载荷路径——一种安全传输风力通过建筑的方式——从而产生重大影响。幸运的是，该技术对地震多发地区也非常适用，能够同时提高对这两种风险的抵御能力。

针对各级保护的设计业主与设计者应考虑实施更新改造“套餐”方案的全面程度。加强型建设标准 (FORTIFIED construction standard) 由 IBHS 开发，



夹子有助于将屋顶固定于墙上，以增强建筑对大风和地震的抵抗能力。

高于一般建设规范，主要解决商业及住宅建筑面对大风、冰雹、飓风和龙卷风的脆弱性问题。标准展示了针对建筑升级保护的分类方法之一。加强型标准的认证级别（屋顶级、银星级、金星级）对应累积的保护程度：首先处理屋顶的抗灾能力；然后增加冲力分级门、窗、墙，以及受保护的机械、电气和给排水设备；最后确保建筑拥有经验证的连续载荷路径。

项目概况

佛罗里达州南部韧性度假村

重新开发——因其设计上的灵活性，与租户或业主使用期间完成的改造有所区别——是加强物理风险韧性的理想时机。几年前佛罗里达州南部的某个度假村认识到飓风和风暴潮带来的高风险，在重建过程中开展了一系列全面的韧性升级，来确保度假村在遭遇大风暴时仍能维持运作。升级措施包括

- 整体安装防飓风等级的门窗，在 30 英尺以下的楼层安装可防大型冲击 (large missile impact-resistant) 的玻璃，在 30 英尺以上楼层则安装可防小型冲击 (small-missile) 的玻璃
- 为项目中的冷却塔加装钢制外壳，保护其免受大风和风暴潮夹带碎片的影响

- 采购 5 台容量为 2000 千瓦的应急发电机。灾害发生后，它们将被战略性安置，以提供电力服务。
- 安装 20,000 加仑的地下柴油罐，可供应急发电机最多运行 10 天
- 将项目中的电力基础设施迁移至 20 英尺高度，远超风暴潮的高度，以保护关键电气元件——开关设备、变压器及配电盘。

业主估计，该项韧性投资使该项目的可保价值提高了 50%，使年度保费降低约 50 万美元，且由于抗冲击的窗户属于节能的低辐射等级，项目每年可节省约 11 万美元。

缺水/干旱

与风暴或热浪等单一“冲击”事件不同，干旱是一项长期的“压力”事件，由长期降水减少引起。水源短缺使水费增加，在严重的情况下，甚至导致无水可饮、给排水或机械过程无水可用，从而影响建筑物的运作和人们的生活质量。气候变化导致的气温上升促使土壤水分蒸发，使干旱状况更加恶化；相应地，干旱也会加剧野火风险和不定期骤雨造成的洪水风险（坚硬、干燥的土壤吸收水分能力较差，可能导致山洪爆发）。

近年来，美国西部一直在经历所谓的特大干旱。世界卫生组织估计，缺水已影响 40% 的世界人口，而到 2030 年，多达 7 亿人口可能因干旱流离失所。部分受到干旱严重影响的地区甚至短暂地禁止新的开发项目，直到水资源的供给更加稳定——这些情况下，更新改造确保了房地产市场能够持续增长。（更多有关房地产

行业干旱影响及管理策略的细节，请参见城市土地学会《[明智用水：抗旱韧性开发策略](#)》）

应对干旱的主要建筑改造方法，集中在运用节水方案代替卫生器具。前者在任何地区都具有成本优势。现场水回用系统，如可再利用废水和雨水收集系统，也能起到一定作用，同时也利于管理洪灾风险；然而，既有建筑安装上述系统比较困难，且价格昂贵，尽管随着技术选择的丰富，[成本可能有所下降](#)。图表 5 列出了部分应对缺水的更新改造策略；更多信息，请见如下资源：

- [《水回用操作指南》](#)—— William J. Worthen 基金会
- [《抗旱韧性策略》](#)—— 气候和能源解决方案中心



图表 5 应对缺水的更新改造策略

高效能卫生器具 (fixtures)

厕所、淋浴器、水龙头和小便池等卫生器具可替换为用水较少的型号，例如具有环保局 (EPA) 节水认证 (WaterSense) 项目标识 (与能源之星认证标识类似) 的器具。部分水务公司可能为上述系统安装提供折扣。

协同效益与利弊权衡：节水卫生器具也能减少能源使用，削减多种公用事业成本。

现场水回用系统

考虑安装水回用系统，涵盖多种水源，可以针对雨水 (即使是接于下水管道的收集桶或蓄水池也能发挥作用)，也可将更为复杂的系统接入给排水系统。旨在处理和再利用多来源废水——无论是可再利用废水 (如使用过的水槽或洗碗机和洗衣机的处理水、空调冷凝水等)，还是污水 (含有生物物质的废水) ——的新技术，均在开发之中。经过仔细规划，这些技术可用于既有建筑的更新改造。

协同效益与利弊权衡：这些系统有时可与绿色屋顶进行整合。此外，水回用系统可减少雨水径流，降低洪灾风险。在某些情况下，如果自然灾害事件使水供应中断，水回用系统可用于供水。

考量与挑战

公共卫生和监管。 由于公共卫生问题，现场水系统的使用受到高度监管，由于没有联邦管理系统，美国各州规定互不相同。遵守法规及规范是开发现场水系统的关键考量因素；一些城市，如洛杉矶、纽约和波士顿，正在制定新的政策框架。[旧金山](#)已经要求部分大型新建建筑包含现场水回用系统，以帮助市场建立对新技术和服务商的需求。然而，其他地区的项目可能需要与地方政府合作，以获得上述系统相关的定制许可。

既有基础设施扩展的水回用系统必须与既有给排水基础设施链接。这意味着它们可以减轻城市下水道及污水处理系统的压力；然而，它们也增加了项目设计和工程的复杂性。然而，像 [Epic Cleantec](#) 这样的公司正在为商业建筑和多户住宅建筑开发现场水循环技术，并声称，处理废水与热量回收产能同时进行，可减少高达 95% 的用水需求及 40% 的能源消耗，并简化施工、许可及维护过程。

项目概况

旧金山市集街 1455 号，哈德逊太平洋地产 (Hudson Pacific Properties)

水往往来自意想不到的地方。只需一点创意，就能善加利用，减轻公共饮水的压力。市集街 1455 号是一座 [1978 年建成的建筑](#) 曾是美国银行数据中心，现在也有其他租户如优步和 Square 等入驻。业主哈德逊太平洋地产开始注意到地下水侵入的问题。通常情况下，地下水侵入本身会造成损害，(如与大雨或海平面上升

结合) 还可导致复合型洪水。然而，工程师开发了一项系统，以捕捉、处理上述水分，并将其作为工艺用水引入建筑冷却系统，而非将其排入城市的排雨或排污系统。该方法每年能获得 200 万加仑的水，先前用于大楼冷却系统的饮用水中，近 15% 可用此代替。

野火

随着野火频率和严重程度的增加，影响新地点的可能性也随之增加。许多地区尚未熟悉野火的破坏性，在这些地区为野火的影响做好准备至关重要。最有利的防火方式，是将建筑改造策略与场地 / 街区范围内的景观管理相结合。有关其他防火方式的概述，请参阅城市土地学会报告《[防火带：房地产防火策略](#)》。

更新改造策略须着重加固建筑物围护结构，使其不易点燃。许多策略涉及降低材料可燃性，减少余烬进入——后者可先于野火数英里到达。此外，定期维护的规范必不可少，因为堆积的残骸碎片（如落叶层）或储存在建筑周围的材料是常见易燃品。

图表 6 列举了部分应对野火的更新改造策略；更多信息，请见如下资源：

[《区域防火改造指南》](#)—— 商业与家庭安全保险学会

[《家庭防火改造指南》](#)—— 内华达大学里诺分校

“处理野火问题时，我们需要将建筑视为多个部分组成的 [系统]，这些部分包括屋顶、墙壁、窗户和通风口。... 我们考虑改造结构以抵御灾害时，也需要考虑集群的问题。一个很好的例子是壁板、窗户和屋檐。”

——建筑与家庭安全保险学会研究工程师
Daniel Gorham



纤维质水泥壁板可呈现类似木材的效果，并提供防火性能（左图）；金属或瓦片也可防止屋顶着火（右图）。

图表 6 防火更新改造策略

防火屋顶

(ASTM E108/UL 790 标准中的 A 级)

屋顶按 A 到 C 分级，其中 A 级提供最大保护。许多商业屋顶材料，如石碴单层膜、沥青瓦、黏土、板岩、混凝土瓦或金属，已被评为 A 级。屋顶更换项目应以 A 级材料为目标，因为屋顶是建筑围护结构中最脆弱的部位之一。

协同效益与利弊权衡：A 级屋顶也可抵御风载碎片及冰雹的影响。

钢化隔热玻璃及可展开的非易燃百叶窗

单窗格退火玻璃窗在野火的极端高温下容易破碎，从而暴露建筑内部。可用抗高温能力强三到四倍的多窗格钢化玻璃替代。考虑在密度开发地区加装百叶窗作为额外保护层。

协同效益与利弊权衡：安装双窗格玻璃窗还可提高能源效率，降低公用事业成本，增强对极端气温的韧性。

非易燃覆层及外门

木材及乙烯基塑料等可燃覆层 / 墙板常见于多种建筑类型，极易起火。人们可用混凝土、纤维水泥、灰泥、砖 / 石、金属或经阻燃剂处理的木材替代它们。FEMA 还建议更换外部保温饰面系统。

协同效益与利弊权衡：部分覆层系统，如纤维水泥及混凝土，隐含碳量更高。

外墙保温（无毒）及气密性

发生野火时，加强外墙保温可减缓热量向建筑内部传导。增加保温层很容易与更换壁板或覆层结合。此外，[天然保温材料](#)，如干草包、羊毛或汉麻混凝土，均为耐火或防火材料，燃烧时不会释放毒副产品。

野火产生的烟雾会导致远远超出野火区范围的重要健康风险，而严格气密的建筑不容易受到野火烟雾的侵袭。

协同效益与利弊权衡：加强建筑保温及空气密封可大大减少供暖与制冷的能耗及成本，也可增强对极端气温的韧性。

天然的保温材料也可降低隐含碳量，在某些情况下甚至可以固碳（如干草包保温）。

防余烬通风口

在建筑通风口安装八分之一英寸或更细的金属滤网，对限制余烬进入至关重要。滤网是一种非常重要的低成本改造方式，它会对建筑结构的防火能力产生重大影响。考虑在烹饪、暖通空调系统等通风口安装。

排水沟盖

如可能，安装与屋顶斜坡平行的非易燃排水沟盖。这样可燃垃圾就不会堆积。

非易燃走道、阳台、露台、楼梯、围栏

建筑外部通道或附属结构（如围栏），如可能，应用金属或轻质混凝土代替，如没有条件，则应选择复合塑料或硬木。

图表 6 防火更新改造策略（续）

封闭 / 腹拱屋檐	屋檐应使用非易燃拱腹进行封闭，因为余烬很容易进入其中。此外，热量会在下方积聚，导致易燃材料起火。
屋顶与墙面交接处和墙基的防火板	屋顶与墙面交接处（如屋顶窗所在位置）会产生拐角，余烬可能点燃其中积聚的残骸碎片。墙面与地面相接处同理。在上述地点安装非易燃防火板可降低可燃性。
加强空气过滤	<p>为减少烟雾渗入及空气质量恶化引发的健康风险，可考虑在通风系统中安装高性能（如MERV等级13或更高）空气过滤器。</p> <p>需注意，性能更高的空气过滤器可能会增加运行能耗。</p> <p>协同效益与利弊权衡：加强空气过滤、改善空气质量广泛有利健康，益处包括减轻极端高温带来的空气污染，以及降低 COVID-19 带来的病毒传播风险。</p>
现场备用电源（如太阳能加蓄电池）	遭遇较大范围停电时，备用电源能使建筑保持舒适。现场可再生能源，如太阳能电池板和蓄电池，能够确保能源低碳，并保护当地的空气质量——常见替代品如柴油发电机则截然不同。

考量与挑战

美观。某些业主不喜欢非易燃材料（如纤维水泥壁板）的外观。然而，人们也可选择与传统木质覆层外观和感觉非常相似、但能提供更佳防护的材料。

确定优先次序与边际成本。许多规模较小的业主在实施众多更新改造策略时，可能面临财务方面的挑战。处理建筑中最脆弱的部分，有助于确立策略的优先次序。例如，如果全面更换壁板的成本过高，业主可将地面以上几英尺的壁板更换为相应的非易燃材料或防火板，尽量减少开支。同理，在按正常计划装修期间，选择韧性材料或附加物是关键——例如，若已有计划更换屋顶，以较小的边际成本增加为代价，同时解决排水沟、通风口以及任何屋顶 - 墙面防火问题，不失

为谨慎的做法。同理，与其整体更换木质露台或其他延伸部分，不如将离建筑最近的部分更换为金属栅栏或其他非易燃选项。

与能源效率及碳排放的权衡。许多抵御野火的策略，如高性能窗户和建筑围护结构，都能提高建筑能源效率、减少碳排放。然而，某些材料选择——如更多地使用水泥和混凝土——可能导致更高的隐含碳排放。谨慎选择材料，可确保实现多重目标。此外，太阳能电池板可能导致垃圾积聚，必须定期清理。

建筑物周围环境及密度。在建筑密度较高的城市地区，或建筑密度较低但景观植被较多的地区，建筑物面临着更大的风险，也需要更高层次的保护。例如在建筑密集区域，钢化玻璃及非易燃壁板更为重要。



双窗格、钢化玻璃的窗户是防火的关键。

不同建筑的独特脆弱性。进行任何更新改造时，每个建筑都必须单独处理。以野火风险为例：屋顶形状复杂、转角较多的建筑更容易出现碎片堆积和余烬引燃

的情况。屋顶平缓、屋顶设备（如太阳能电池板或暖通空调系统）较多的商业建筑也是如此。根据建筑类型因地制宜，对于降低其脆弱性至关重要。

项目概况

加州独栋住宅

Steve Quarles——加州大学合作推广部名誉顾问、前 IBHS 野火与耐久性首席科学家，以及加州野火多发地区居民——将他在建筑及野火韧性方面的知识用于自己的独栋住宅。该住宅位于低密度地区，建于 1965 年。随着时间的推移，Quarles 逐渐将建筑升级，以提高建筑结构的抗燃性。他首先将窗户更换为双窗格、带有金属框架的钢化玻璃窗，并指出自 2000 年代中期安装以来，钢化玻璃的成本已有所下降。

随后，Quarles 决定增加太阳能电池板，并意识到它们会比现有屋顶长寿——Quarles 指出，的确，“屋顶往往比建筑任何其他部分磨损得更快”，并且是脆弱性的关键来源——做出这一决定后，他将现有的 A 级沥青

合成瓦屋顶升级为更耐用的立缝钢屋顶（也是 A 级）。金属屋顶的安装还包括额外防火衬垫的安装。他还安装了更高质量的排水沟盖，并在屋顶的某些部分安装了防火、防余烬的通风口；屋顶主体则采用无通风口设计。

由于该建筑与其他建筑间的距离较大，更换壁板并无必要，不过，折中的选择是更换靠近相邻住宅的墙面壁板。除更令人安心之外，上述更新改造亦有美感价值。安装双窗格玻璃也具有节能效果。虽然独栋住宅的规模与大型商业或多户建筑不同，但上述步骤大多适用于各种类型的房产。

政策：韧性更新规划

尽管美国某些地区存在针对特定风险的更新改造政策，但大多数司法机关尚未制定涵盖所有在险建筑、抵御所有风险的公共政策与计划。

因系统性方法缺失、无法整合激励及强制措施，韧性更新范围仍十分有限。不同地域和投资范围内气候风险的具体情况，以及私营部门改造建筑时可能面临的最终要求，都包含不确定性。这导致人们不愿主动开

始改造。为有意义地扩大实施范围，全面的政策和规划方法十分必要。它可提供框架，规划指导方针、标准及技术援助，供房产业主使用。

尽管上述障碍存在，更新改造政策的早期迭代可以提供一定指导。本节将讨论若干障碍，并提供数个案例，展示已实施的韧性改造政策。人们必须清除这些障碍，以提高更新改造政策的有效性。

FEMA 自然灾害更新改造项目工具箱

鉴于问题的规模与复杂性，设计新的更新改造政策或项目对许多政府而言是一个艰巨的挑战。FEMA 的“[自然灾害更新改造项目工具箱](#)”基于案例分析以及针对全美各地更新改造项目的访谈，提供了初步指导，总结了经验教训。该工具箱列明了六大步骤：识别风险和弱点、评估建成环境背景、确定资金来源，以及设计、预备和实施计划。



《自然灾害更新改造项目工具箱：

社区防灾建筑更新改造项目设计指南》



政策障碍：公平、数据与现有要求

社会公平是韧性更新政策面临的核心挑战。例如在美国，低收入和 BIPOC 社区往往最容易受到复合风险（如洪水、极端高温和住房质量低劣）的影响。由于结构性不平等与种族主义，这些社区的财务及政治资源也受到了限制。举例来说，历史上及目前存在撤资现象，而这些社区也往往被排除在决策之外。2021 年城市土地学会报告——《[环境正义与房地产](#)》——对此有所论述。

与更新改造相关的公平问题——如财产价值加速上升导致人们流离失所；无力承担巨额的合规成本；或缺乏资金、专业知识和时间开展改造项目——都必须在政策制定中加以考虑。除非对历史性边缘化社区造成的潜在影响得到缓解，且真正的社区参与能为监管提供依据，否则政策制定者很可能在通过新立法时失败。近期俄勒冈州波特兰市的防震改造条例事件便体现了此类障碍。该条例遭到[社区抵制](#)，因为人们担心租金上涨，也担心具有文化价值的建筑（如非裔美国人社区教堂）受到影响。该条例因此被搁置。

数据可得性及政策 / 项目管理流程也是根本障碍。更新改造政策要求市政府获取详细信息，了解当地既有建筑的特点，以及建筑面临当前及预测的气候灾害时暴露的弱点。小型社区可能并不具备、也无力搜集上述信息。确保城市工作人员有能力管理沟通、外联和技术援助，并帮助业主对接融资，也是重大障碍。

既有**政策**也会给更新改造工作带来障碍。例如，区域划分要求（如高度限制、地块边界及建筑退线要求、机械安置或楼层 / 面积计算）禁止业主通过抬高或扩建屋顶来代替因洪水风险而不再使用的一层，也禁止

业主通过添加更厚的保温及外墙材料来抵御极端气温，或将机械设备置于屋顶或洪泛区之外的侧院。修改区域划分规定从政治角度很难做到，且耗时巨大。此外，如前所述，历史性建筑保护法规也会严重阻碍那些影响历史街区或建筑结构外观的更新改造。

既有政策先例

应对气候灾害的更新改造并非全新过程。几十年来，美国的许多地区尤其是地震多发区域，都有支持或要求改造的计划和政策。下面列出了一系列长期存在和比较新近的更新改造政策。

需注意，尽管《国际既有建筑规范》(IEBC) 灾害条款为建筑改造融合减灾措施提供了指导，但这些条件仅适用于已采用 IEBC 的[州或市](#)范围内，正在进行维修、改造、更换住户、扩建或搬迁的建筑。本节重点讨论哪些政策可鼓励或要求房地产业主为提高韧性这一特定目标开展更新改造。

美国西部地区抗震改造条例

加利福尼亚 ([洛杉矶](#)、[旧金山](#)、[奥克兰](#))、[俄勒冈州](#)，以及[华盛顿州](#)多城已通过或考虑通过强制性防震改造条例，因为该地区极易受地震影响。这些条例通常要求特定建筑类型进行更新改造，以处理特定的防震缺陷，如“软层”、非弹性混凝土或无筋砌体建筑。部分条例可追溯至 20 世纪 80 年代，例如帕洛阿托的政策，但许多条例是近期才制定的。例如，洛杉矶要求软层建筑的业主在 7 年内完成更新改造，疑似非弹性混凝土建筑的业主有 3 年时间来确定其结构是否需要改造，如确需要，则有 25 年时间来完成改造。政策激励与技术援助计划，如加利福尼亚州的“[地震支架 - 螺栓](#)”

计划，通常是条例的前奏或配套措施。计划提供财政援助，或为业主介绍有执照的承包商，以完成所需改造。

针对防洪改造的区域划分创新

部分位于海平面上升及沿海风暴前线社区，已经通过了新的区域划分规则，以应对在高风险地区进行大范围更新改造的需要。2012年飓风“桑迪”造成广泛破坏后，纽约市的建筑物业主在改造分区规则方面（如前述高度限制以及楼层/面积要求）遇到了重大障碍。为解决这一障碍，市政府通过了临时性区域划分修正案，即沿海抗洪区划修正案。这一法案后被永久确立，赋予人们更多灵活性，以处理法规允许的高度增加、机械安置、可行的街景改善以及其他设计要素，并将灵活规则覆盖区域从年度超限概率1%/百年一遇

(100-year/1 percent annual chance) 扩大至年度超限概率0.2%/五百年一遇(500-year/0.2 percent annual chance) 洪水的洪泛区。

同样，2021年波士顿也采取了《沿海抗洪性覆盖区》规定，要求位于特定洪泛区、须经开发审核的建筑同时接受韧性审核；与纽约条例类似，放宽了对高度、建筑面积及通道特性的要求；并要求建筑遵循该市的《沿海抗洪韧性设计指南》。该指南规定了针对洪灾的适当改造策略，并点明其与其他风险改造的协同效益。



建筑如需抬高，灵活区划规则允许其超越高度限制。

洪泛区管理条例

在美国，在 FEMA 定义的洪泛区内开展建设，由当地洪泛区管理条例监管。成千上万的社区均存在该类条例。条例通常适用于新建以及既有建筑的“实质性改善”项目。这些项目可能引发改造，以确保建筑通过某种方式——无论是将建筑全面抬高，还是使最低居住楼层高于洪水水位，或是湿式 / 干式防洪——免受洪水侵袭。例如加州圣塔芭芭拉市的条例要求洪泛区所有“实质性改善”项目：

- 使用防洪材料及公用设备进行建设，运用可尽量减少洪灾损失的方式和操作；
- 将包括地下室在内的最低楼层抬高，超过基础洪水立面标高两英尺，在某些高风险区域，还需同时超过临近最高地表两英尺；
- 其中防洪的非住宅建筑须高于基础洪水立面标高两英尺，以保证建筑水密性，而其他结构组件能够抵御流体静力 / 动力 (hydrostatic and hydrodynamic) 荷载及浮力的影响；以及
- 设计完全封闭、底层以下的非地下室区域。该区域仅用于车辆停放、进出建筑或物品储存，且会被洪水淹没，通过允许洪水进出自动平衡外墙所受的静水压力。

此外，遭到洪水反复破坏或严重损毁的建筑，可能有资格获得联邦政府在 NFIP “合规成本增加” 项目下提供的更多财政援助。

绿色屋顶重建要求

一些欧洲城市，如德国的汉堡和瑞士的巴塞尔，已将屋顶更换时的绿色屋顶要求制度化，从而增强对极端气温的适应性、加强雨水管理。2002 年，巴塞尔在其建筑规范中增加了对平面屋顶更换项目的绿色要求，并于 2010 年扩大范围，规定更新改造项目涉及的平面屋顶必须符合绿色要求。1990 年代中期及 2000 年，持续数年的激励计划提供了按平方面积计算的直接补贴，以刺激人们吸收、促使业主接受政策——这是加强社区对新法规支持的常见策略。

丹佛地区还要求超过 25,000 平方英尺的建筑在需要更换屋顶时安装绿色屋顶，呼应了“定期维护是增加韧性解决方案的好时机”这一建议。

建筑性能标准

美国城市开始实行更严格的政策，要求既有建筑进行改造，已满足能源效率或碳排放标准。这些政策通常被称为 BPS 条例，如近期在圣路易斯通过的条例。尽管上述标准通常不涉及物理气候风险改造，但(如前所述) 高效建筑为韧性提供了间接好处。此外，强制要求能源改造创造了机会，使人们能够同时、低成本地增加韧性更新融资和建设。

财务：韧性更新开支

为韧性更新发展融资可能是整个过程中最困难的方面。成本是其中的重要障碍，它导致低收入建筑业主难以开展改造；能够降低准入门槛的激励措施和融资方案是公平实施改造的关键。分阶段实施更新改造战略有助于在一段时间内分摊成本，但前期成本仍令人望而却步。

与节能激励措施相比，加固建筑物、应对物理风险的激励措施不太常见；将两者结合的项目更有可能获得融资。国家建筑科学研究所的《韧性激励路线图》阐述了房地产价值链及公共部门行为如何开发更具吸引力的激励结构，通盘考虑抵押贷款、保险政策、税收优惠、财政补助及其他机制。

然而，韧性激励措施的确存在，且并非唯一的更新改造融资途径。本节讨论了若干可供业主选择的融资方式。

“针对 [风险] 缓解的投资并未反映其真实回报价值。这是因为供应链中各方——开发商、业主、租户、保险公司、贷款人、社区——的利益并不一致。建筑业主为建筑韧性支付了额外费用，而其他利益相关者（税务机关、贷款人等）则免费享受了这一共同利益。激励措施将共同利益转回支付韧性初始成本的一方，能够更公平地分配成本和利益，协调利益相关者利益，促进建筑韧性，并降低长期持有基础设施的成本。”

——摘自国家建筑科学研究所《韧性激励路线图》



将建筑加固与能源效率或可再生能源相结合，可增加更新改造的商业可行性。

资本性支出预算

随着气候韧性总体成为[风险管理](#)的常见方面，韧性更新可能被相应视为标准——对拥有足够资金的业主而言，明显的解决方案是，基于对更新改造创造回报、避免损害造成损失、避免销售折价的期望制定资本性预算并支付开支。

然而，**地产类型、位置及投资标准**的问题也可能导致人们难以从大型投资组合中选择可进行更新改造的地产。例如，商业地产可将改造成本作为运营费用转嫁给租户，但多户住宅地产可能无法做到；部分地区的租金足以支撑人们收回更新改造投资成本，而其他地区的租金并不足够；增值型地产通常可进行韧性改造，而完全稳定的核心地产却不能。

贷款与融资

“我想达成如下效果：即只要资产因气候风险被标记，测算时就要考虑[更新改造]。”

——LBA Realty ESG与可持续发展部门总监
Michelle German

对于缺少大额资本预算的房地产业主而言，确保融资是开展改造的关键。下文将讨论若干潜在的改造融资方案，包括现有及新兴工具。

房产评估清洁能源 + 韧性 (PACE+R) 融资

[PACE+R 融资](#)——拥有多个别称 (C-PACE 针对商业地产, R-PACE 针对住宅, +R 表示已增加韧性元素) ——作为更新改造尤其是与能源效率相关项目的融资策略，已越来越受到人们的欢迎。PACE+R 融资已在 26 个州活跃并运作，以低利率提供前期资金，融资期限通常为 20 年或更长。贷款保留在特定房产之上，作为税收评估，待出售时转给新的业主。通常情况下，100% 的硬成本和软成本都能覆盖。

PACE+R 计划所涵盖的项目——如[华盛顿金县](#)的项目——通常同时包括能源项目 (如暖通空调 / 照明更换和电动汽车充电)，以及针对韧性的投资，如[防震加固、降低大风及洪水风险](#)。各州或全球各地区并非都能利用 C-PACE，各州也并非都会资助物理风险韧性项目。此外，PACE+R 还要求主要抵押贷款人或其他贷款人同意评估优先考虑私人借贷，这对许多房地产公司而言是一个重大障碍。不过，随着贷款人对该项目越来越熟悉，这一情况可能正在转变。



“一派观点认为，C-PACE 就是贷款，你就应该按照 C-PACE 如何融入整个资本结构的方式分析交易。另一种看法则是根据其本质，将升级成本及其融资成本 [C-PACE 还款支出] 作为营业费用。如果根据租赁条款，它们可以被归类为营业费用，那么净现金流将受到何种影响？如果结构合理，尤其在三方净租赁的情况下，上述改进及还款成本能否作为营业或资本费用转嫁给租户？作为投资人，你需要了解这些方案，也需要了解如何根据经营业绩、现金流及资本结构情况看待它们。”

——DBRS Morningstar 高级副总裁 Kevin Augustyn

改造商业抵押贷款及贷款工具

在建筑再融资时，那些通过降低运营成本、提高净运营收入增加建筑价值的改造，往往也是具有能源效率收益的改造（如应对极端高温进行的高性能围护结构改造）——测算过程应考虑这一点。例如，纽约市的 RiseBoro 社区伙伴关系将改造实现的大额节约纳入其建筑物再融资贷款中，通过在测算时考虑上述节约，保证了更高的贷款价值。

其他缺乏直接能源效益成分的韧性更新，虽然其价值很难量化，但仍能通过本报告“商业案例”部分提到的途径——如增加销路、租金收入或入驻率——在测算中得到体现。

与贷款人合作，沟通有关上述机会的事宜，将有助于普及这一方案。麦肯锡近期报告指出，银行正加速采

取行动，回应将气候风险纳入资本分配及贷款审批、为气候相关项目调动新资金的需求和前景。

其他融资工具也不断改变，以反映韧性更新。[绿色抵押贷款](#)能够支持上述目标。房利美（如 HomeStyle Energy 抵押贷款）和房地美（如 GreenCHOICE 抵押贷款）等大型供应商已开始提供此类贷款。针对独栋住宅，这些抵押贷款选择允许借款人在购买或再融资时为更新项目提供高达升级后住宅价值 15% 的资金。符合条件的改进措施包括能源和高温韧性措施，如太阳能电池板、气密、保温、高效窗户和暖通空调升级；节水措施，如低流量卫生器具；甚至野火、地震及洪水韧性措施，如地基改造或风暴潮屏障。落基山研究所[建议简化和扩大](#)上述产品供给过程，以覆盖更多房屋业主，尤其是中低收入业主，因为截止目前，全国对此吸收程度仍然低于所需水平。

绿色银行如[特区绿色银行 \(DC Green Bank\)](#) 已开展融资项目，将能源效率与气候韧性结合，如[Faircliff 东广场重新开发项目](#)。该经济型全电力住房项目由开发商 Jonathan Rose 开发，将以被动式节能屋认证为目标，结合绿色屋顶以改善雨水管理。这些机构对于调动私人资本用于建筑层面改造至关重要。

如资金用途广泛，足以涵盖多种可持续发展 / 韧性相关活动，较大的公司可以发行绿色债券，支持韧性更新。绿色债券主要用于资助降低能耗及碳排的更新改造，较少用于加固建筑或基础设施以抵御物理气候风险。正如[全球气候适应中心 \(Global Center on Adaptation\)](#) 所指出的，涵盖降低物理风险活动的债券多由当地政府及政府支持实体发行，用于支持公共基础设施开发建设，而非用于私营公司的个人财产加固。然而，投资人对绿色债券的需求迅速增长，并已超过供给。自 COVID-19 疫情发生以来，人们更为关注以社会或环境影响为中心的“主题”债券。

房地产公司日益转向绿色债券，为气候相关活动提供资金。一个典型案例是，2021 年初，新世界发展公司曾为一只 10 年期、面值 2 亿美元的[可持续发展挂钩债券](#)定价。该债券用于支持长期的可持续发展举措，包括处理物理气候风险。

传统资金来源也可进行改进，从而覆盖未被银行服务的人群。例如，在菲律宾，[小额贷款机构](#)与非营利组织 Build Change 合作，为低收入家庭开发小额贷款试点项目，提供防震、防台风改造所需的资金，并已成为数百万家庭提供服务。

州和地方补助及激励措施

在美国，许多地方性及州政府层面的项目已经出现。它们包括财政和非财政两部分，激励业主开展实施。对地方性激励政策的进一步研究，有助于消除改造实施过程中的财政障碍。

某些措施在州层面发挥作用：前文提到的加州“[地震支架 - 螺栓](#)”项目；南卡罗来纳州的“[安全住宅](#)”项目、“[阿拉巴马住宅加强](#)”项目与 IBHS 的“加强型标准”项目合作，分别为业主提供 5,000 美元和 10,000 美元的补助，以加固建筑、防止大风和飓风破坏；另有佛罗里达“[减轻飓风损失](#)”项目为住宅及商业地产提供更新改造资金，以抵御风暴和洪水。上述金额虽然较小，但可能足以帮助大量易受气候风险影响的小型建筑获得便宜高效的更新改造技术。

其他地方项目运用更大的资金流，提供更大额的补助，如伯克利的“[防震改造补助项目](#)”。该项目使用 FEMA 的联邦减灾补助，可为建筑业主提供超过 10 万美元的资金。还有一些项目使用当地资金流，如北卡罗来纳州夏洛特麦伦布 (Charlotte-Mecklenburg) 的“[防洪改造补助](#)” (retroFIT floodproofing grant) 使用雨水收费，为洪泛区商业和住宅建筑符合条件的减灾项目支付高达 95% 的成本。

公共事业部门也为特定韧性功能提供补助，例如，太平洋煤气电力公司 (PG&E) 的[补助项目](#)提供 10 万美元，用于设立新建及既有建筑韧性中心。此外，尽管许多地方公共事业部门管理的节能翻修 (weatherization) 计划集中于能源效率方面，但它们也为家庭或企业升级改造提供资金，从而增强其应对极端气温的韧性。马萨诸塞州的“[大规模节能](#)” (Mass Save) 计划就是一例。

除补助外，各市还可为韧性更新提供房产税减免。[纽约市](#)一方面规定大多数主要房屋翻修必须安装绿色屋顶、太阳能电池板，或两者兼顾；一方面为绿色屋顶改造提供高达每平方英尺 15 美元的税收减免。这一改造同时也可参与该市的 C-PACE 计划。更易遭受极端高温和雨水泛滥社会影响的街区可享受更高的税收减免额度。[华盛顿特区](#)提供类似的 15 美元 / 平方英尺的绿色屋顶退税，[休斯顿](#)也为雨水绿色基础设施（包括绿色屋顶）制定了减税计划。

最后，部分地区——如[芝加哥](#)——为包括绿色屋顶、集雨系统或能源韧性组件（如太阳能电池板）等在内的更新改造项目提供诸如加快建筑许可审批的非财政优惠。

联邦补助及贷款项目

在美国，联邦资金是更新改造资金最大的潜在来源之一，但其申请过程以复杂和耗时著称。在符合条件的情况下，业主通常需要通过当地政府申请，才能获得该笔资金。然而，如下项目值得一提。

涵盖多种灾害的“[减灾补助项目](#)”（HGMP）以及“[防洪减灾支援补助](#)”均为 FEMA 管理的大型补助项目，用于资助大范围、昂贵的灾后改造项目。上述补助发放

通常优先考虑大型社区基础设施或设备，如机场、医院或历史建筑，但并非局限于此；部分城市利用其资金流支持个别项目，如加州伯克利的防震改造或[夏洛特麦伦布的买断项目](#)。FEMA 的“[建设韧性基础设施和社区](#)”补助，旨在用于社区灾前预防，涵盖了与 HGMP 类似的项目。

同样地，美国住房与城市发展部著名的灾后重建及减灾项目“[社区发展整笔拨款](#)”，可由州及地方政府申请，之后分发给受到影响的居民和企业，也可用于近期遭受气候灾害影响地区的韧性更新。

最后，新兴的循环贷款计划——如近期由《[持续减轻风险以保障未来](#)》（STORM）法案创设的计划，将向各州及当地政府提供低息资金，以设立贷款用于抵御和降低多种气候灾害风险——可能会作为更新改造的融资策略发挥作用；举例来说，处理洪水反复或严重损毁建筑结构的问题，是 STORM 法案的主要目标之一。

他国政府也创建了融资计划来支持韧性更新改造。例如在新加坡，国家公园局自 2009 年起实施了“[高楼绿色激励计划](#)”。该计划提供补贴，最多覆盖既有建筑安装绿色屋顶或垂直绿化相关开支的 50%。该项目自成立以来已资助了 100 多座建筑。

结论

对于大小业主而言，韧性更新过程复杂，而房地产行业及当地政府方才开始解决需求及组织规模问题，以鼓励私营部门采取行动。

尽管如此，现有的更新改造项目与项目概况为我们提供了起步阶段的经验教训。更新改造设计技术已得到充分理解，市场对韧性建筑的兴趣日益增长，新的融资工具不断拓展以满足需求——尤其在业主能够成功结合能源效率投资与建筑加固的情况下。主要问题在

于，我们应如何充分调整上述因素、迅速推进政策吸收以应对不断恶化的气候风险，以及如何在社会和经济领域公平地实施改造，确保兼顾每位利益相关者。

未来几年，韧性改造预期将成为房地产行业的主要操作：要保证既有建筑投资的长久安全，别无他法。我们不必等待；业主、设计师、政策制定者和金融专业人士越早采取行动，保护住户、提升价值，我们的机会就越大。



报告团队

主要作者

August Williams-Eynon

可持续发展经理

ULI 项目成员

Lindsay Brugger

城市韧性团队副总裁

Marta Schantz

绿色印记团队高级副总裁

Billy Grayson

中心与倡议团队执行副总裁

James A. Mulligan

高级编辑

Joanne Platt, Publications Professionals LLC

手稿编辑

Brandon Weil

艺术总监

Deanna Pineda, Muse Advertising Design

图像设计

城市土地学会感谢 Kresge 基金会对本报告及 ULI 城市韧性项目的支持。

供稿人

Clay Haynes

Public Square 创始人

Daniel Gorham

建筑与家庭安全保险学会研究工程师

Daniele Horton

Verdani Partners 创始人、首席执行官

Ellie Tang

新世界发展公司可持续发展主管

Ibbi Almufti

奥雅纳初级合伙人

John Bolduc

马萨诸塞州剑桥市环境规划师

Joy Sinderbrand

纽约市住房管理局复原及韧性部门副总裁

Kevin Augustyn

DBRS Morningstar 高级副总裁

Michelle German

LBA Realty ESG 与可持续发展部门总监

Ryan Cassidy

RiseBoro 社区合伙企业可持续发展和建设总监

Satpal Kaur

SATPAL 创始人、设计与建筑科学负责人

Steve Quarles

加州大学合作推广部名誉顾问、前 IBHS 野火与耐久性首席科学家