

迈向碳中和：绿色建筑、被动建筑向零碳建筑的发展与技术

路径

郭 鹏

北京天鸿汇辰管理咨询有限责任公司,北京 100000

摘要

在全球积极应对气候变化、我国坚定推进“双碳”战略目标的背景下，建筑领域的低碳转型已成为实现碳中和的关键。本文以从绿色建筑、被动式建筑向零碳建筑的演化路径为研究对象，系统梳理了三种建筑理念在可持续目标、核心原则与技术体系上的内在逻辑与阶梯式发展关系。研究表明，绿色建筑奠定了全生命周期环境友好的综合理念，被动式建筑通过极致能效技术将建筑用能需求降至最低，而零碳建筑则在前两者的坚实基础上，整合可再生能源与碳管理，最终实现建筑运行乃至全生命周期碳排放的净零平衡。本文进一步分析了支撑这一演进的关键技术路径，包括从综合设计到超低能耗的被动优先策略，以及从能效提升到产能集成的可再生能源主动供给系统。最终，论文旨在为建筑行业系统性、分阶段地迈向碳中和目标，提供清晰的理论框架与实践路线参考。

关键词

绿色建筑、被动建筑、零碳建筑

Towards Carbon Neutrality: The Development and Technological Pathways from Green Buildings and Passive Buildings to Zero-Carbon Buildings

Guo Peng

Beijing Tianhong Huichen Management Consulting Co., Ltd., Beijing 100000

Abstract

Against the backdrop of global efforts to address climate change and China's steadfast advancement of the "dual carbon" strategic goals, the low-carbon transition in the building sector has become critical to achieving carbon neutrality. This paper examines the evolutionary pathway from green buildings and passive buildings to zero-carbon buildings, systematically analyzing the inherent logic and progressive development of these three building concepts in terms of their sustainability objectives, core principles, and technological systems. The study reveals that green buildings establish a comprehensive philosophy of lifecycle environmental friendliness, passive buildings minimize building energy demand through state-of-the-art energy efficiency technologies, while zero-carbon buildings build upon the solid foundations of the former two by integrating renewable energy and carbon management to ultimately achieve net-zero carbon balance in building operation and even across the entire lifecycle. The paper further analyzes the key technological pathways underpinning this evolution, including passive-first strategies ranging from integrated design to ultra-low energy consumption, as well as active renewable energy supply systems progressing from energy efficiency enhancement to energy generation integration. Ultimately, the paper aims to provide a clear

theoretical framework and practical roadmap for the building industry to systematically and incrementally progress toward the goal of carbon neutrality.

Keywords

Green building, Passive building, Zero-carbon building

一、引言

2020 年中国在第七十五届联合国大会上，提出了二氧化碳排放量争取于 2030 年达到峰值，2060 年前实现碳中和。2021 年，国务院发布《关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》，国新办发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书，要求将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面。在中国未来 40 年内，将开启绿色低碳经济的全面转型。[1]

《中国建筑节能年度发展研究报告 2025》指出，2023 年中国建筑建造隐含能耗和建造能耗占全社会总能耗的 28%。中国建筑建造隐含能耗占全社会能耗比例为 8%，再加上生产性建筑和基础设施建造的隐含能耗，占全社会能耗的比例将达到 27%。建筑运行占全社会能耗的比例为 20%。从二氧化碳排放角度看，2023 年中国全社会碳排放量（包含能源相关和工业工程排放）约 125 亿吨，建筑建造隐含二氧化碳排放和运行相关二氧化碳排放占中国全社会二氧化碳排放总量的比例约 29%，其中建筑建造占比为 11%，建筑运行占比为 18%。如果仅能源相关的二氧化碳，2023 年中国全社会碳排放量约 110 亿吨，其中建筑运行的占比约为 20%。[2]

在碳达峰碳中和过程中，建筑业仍然是节能降碳的主战场。

二、基本概念

随着环境问题的全球化和对可持续发展的认识不断加深，各国建筑领域也越来越认识到：建筑的主要目的之一就是为居住或使用者的活动提供一个健康、舒适的环境，这也是建筑的本质功能。近十多年来，“可持续发展”框架下的建筑理念应运而生。尽管所用词汇不同，侧重点也不一样，但有一点是一致的，就是社会、经济、生态可持续下的建筑。

2.1 可持续建筑

可持续建筑的理念就是追求降低环境负荷，与环境相融合，且有利于居住者健康。实现可持续建筑，必须反映出不同区域的状态和重点，以及需要根据不同区域的特点建立不同的模型去执行。

2.2 环境友好建筑

环境友好建筑是指在建筑标准制定方面走环境友好的道路。环境友好建筑就是以人与自然和谐相处为目标，以环境承载力为基础，以遵循自然规律为准则，以绿色科技为动力，在建筑行业倡导环境文化和生态文明，构建建筑经济、社会、环境协调发展体系，实现建筑的可持续发展。循环建筑经济是建设环境友好型社会的重要途径。

2.3 节能建筑

节能建筑也称低能耗建筑，是指遵循气候设计和节能的基本方法，对建筑规划分区、群体和单体、建筑间距、朝向、太阳辐射、风向以及外部空间环境进行研究后，设计并建设成的低能耗建筑。在此类建筑物中全部或部分利用可再生能源。节能建筑的特征包括以下几个方面：一是减少消耗资源；二是高性能品质；三是减少环境污染；四是长生命周期；五是多回收利用。

2.4 生态建筑

生态建筑，是指根据当地的自然生态环境，运用生态学、建筑技术科学的基本原理和现代科学技术手段等，合理安排并组织建筑与其他相关因素之间的关系，使建筑和环境之间成为一个有机的结合体。

2.5 低碳建筑

低碳建筑是指在建筑材料与设备制造、施工建造和建筑物使用的整个生命周期内，减少化石能源的使用，提高能效，降低二氧化碳的排放量。

2.6 绿色建筑

在全寿命期内，节约资源、保护环境、减少污染，为人们提供健康、适用、高效的使用空间，最大限度地实现人与自然和谐共生的高质量建筑。

2.7 被动建筑

2.7.1 被动式超低能耗居住建筑

适应气候特征和自然条件，通过被动式技术措施大幅度降低建筑供暖、空调、照明需求，提升主动式能源设备与系统效率，合理利用可再生能源，以更少的能源消耗提供更舒适的室内环境，其室内环境参数和能效指标符合 DB13(J)/T 8359-2020《被动式超低能耗居住建筑节能设计标准》规定的居住建筑。

2.7.2 被动式超低能耗公共建筑

适应气候特征和自然条件，通过被动式技术措施大幅度降低建筑供暖、空调、照明需求，提升主动式能源设备与系统效率，合理利用可再生能源，以更少的能源消耗提供更舒适的室内环境，其室内环境参数和能效指标符合 DB13(J)/T 8360-2020《被动式超低能耗公共建筑节能设计标准》规定的公共建筑。

2.7.3 被动式太阳能建筑

不借助机械装置，冬季直接利用太阳能进行采暖、夏季采用遮阳散热的房屋。

2.8 零碳建筑

2.8.1 近零能耗建筑

适应气候特征和场地条件，通过被动式建筑设计最大幅度降低建筑供暖、空调、照明需求，通过主动技术措施最大幅度提高能源设备与系统效率，充分利用可再生能源，以最少的能源消耗提供舒适室内环境，且其室内环境参数和能效指标符合 GB/T 51350-2019《近零能耗建筑技术标准》规定的建筑。

2.8.2 超低能耗建筑

超低能耗建筑是近零能耗建筑的初级表现形式，其室内环境参数与近零能耗建筑相同，能效指标略低于近零能耗建筑。

2.8.3 零能耗建筑

零能耗建筑能是近零能耗建筑的高级表现形式，其室内环境参数与近零能耗建筑相同，充分利用建筑本体和周边的可再生能源资源，使可再生能源年产能大于或等于建筑全年全部用能的建筑。

三、建筑理念演化：绿色建筑、被动建筑、零碳建筑

绿色建筑是从建筑节能起步的，受到能源危机的影响，很多国家都不约而同地推出各种强制性建筑节能措施。在节能取得进展的同时，可持续发展理念及健康概念的提出，又将建筑节能扩展到建筑的全寿命周期节约资源，改善室内空气质量，提高室内舒适性、安全性等更广的领域。

很多新的建筑概念不断出现，随着研究的深入，概念之间的分歧越来越少，绿色建筑的概念越来越清晰。绿色建筑的意义远超过能源的节约。从多个方面进行创新，使建筑与自然更加和谐，并充分利用可再生能源、水资源和原材料，在四节一环保的基础上，创造健康、适用、高效、和谐、高质量、人文的建筑。

绿色建筑的核心价值在于最低限度能源、资源的消耗，对环境无污染。一是强调人与自然的和谐；二是强调整节约能源；三是强调健康、舒适的室内环境。

被动式超低能耗建筑是利用各种被动式节能手段（如自然通风、自然采光、太阳辐射和室内非供暖热源得热等）与建筑围护结构高效节能技术相结合建造而成的低能耗建筑。

被动式建筑节能的主要技术特点是：一是充分利用自然资源，减少设备投资。主要关注点在围护结构特性、自然采光、自然通风、热储存等方面。合理利用可再生能源，实现节能减排。二是创造舒适的室内环境。通过合理的布局、窗墙比、太阳辐射、高效的新风热回收系统等为室内提供新鲜、清洁的空气，提高室内的空气品质，又能回收室内废气中的余热，降低能源需求。三是与主动式节能技术紧密结合。

被动式建筑是以建筑能耗值为导向进行性能化设计，通过限定建筑围护结构和设备参数，对建筑本身和设备进行限定式的节能设计，实现建筑使用过程的低碳化、零碳化，或者说建筑运行阶段的低碳化、零碳化。

被动式建筑强调能耗的控制，通过被动式节能技术降低能源消耗，增加围护结构的严密性，控制室内环境参数，减少能量的流失，从而减小对能源的消耗。根据建筑用能和可再生能源的产能的差值，可以在运行阶段可以实现近零能耗、超低能耗、零能耗。

零碳建筑主要又可细分为近零碳建筑、超低能耗建筑、零碳建筑。

近零能耗建筑一词起源于欧盟，要求各成员国确保在 2018 年 12 月 31 日起，所有政府持有或使用的新建项目达到近零能耗建筑的要求。2020 年 12 月 31 日起，所有新建项目达到近零能耗建筑的要求。各成员国根据自己的情况，提出了近零能耗建筑的量化目标。其中德国被动研究所提出了“被动房”的概念。“被动房”是指通过大幅度提升围护结构热工性能和气密性，利用高效新风热回收技术，将建筑供暖需求降低到 $15 \text{ kWh/m}^2 * \text{a}$ 以下，从而可以使建筑摆脱传统的集中供热系统的建筑。其技术路线为通过被动式手段达到近零能耗，也属于近零能耗建筑的一种类型。

近零能耗建筑是以能耗为控制目标，首先通过被动式建筑设计降低建筑冷热需求，提高建筑用能系统效率降低能耗，在此基础上再通过利用可再生能源，实现超低能耗、近零能耗和零能耗。

我国以 2016 年国家建筑节能设计标准为基数，针对不同气候分区，给出了不同的近零能耗建筑能耗控制指标。例如严寒和寒冷地区，近零能耗居住建筑能耗降低 70%~75% 以上，不再需要传统的供热方式；夏热冬暖和夏热冬冷地区近零能耗居住建筑能耗降低 60% 以上；不同气候区近零能耗公共建筑能耗平均降低 60% 以上。

超低能耗建筑是实现近零能耗建筑的预备阶段，除节能水平外，均满足近零能耗建筑要求。

以 2016 年为基准，在此基础上，建筑能耗降低 25%~30% 的建筑可称为“低能耗建筑”，超低能耗建筑是较“低能耗建筑”更高节能标准的建筑，是现阶段不借助可再生能源，依靠建筑技术的优化利用可以实现的目标，其建筑能效在 2016 年国家建筑节能标准水平上有较大水平的提升，建筑室内环境也更加舒适，其供暖、通风、空调、照明、生活热水、电梯能耗应较 2016 年国家建筑节能设计标准降低 50% 以上。

零能耗建筑是近零能耗建筑发展的更高级别。零能耗建筑并不是指建筑的运行能耗为零，而是在近零能耗建筑的基础上，通过充分利用可再生能源，实现建筑用能与可再生能源产能的平衡。日本经济产业省对零能耗建筑的定义：“采用被动式设计方法，引入高性能设备系统，最大程度降低建筑能耗的同时保证良好的建筑室内环境，充分利用可再生能源，实现建筑能源需求自给自足，年一次能源消费量为零的建筑”。国际能源组织建议在零能耗定义中，应考虑平衡周期、能量边界、衡量指标等因素。

针对近零能耗建筑、超低能耗建筑、零碳建筑对比如下表 1：

表 1 近零碳建筑、超低能耗建筑、零碳建筑对比

项目名称	近零碳建筑	超低能耗建筑	零碳建筑
建筑节能率	应比相关国家标准降低 60%~75%以上。	应比较相关国家标准降低 50%以上。	可再生能源年产能≥建筑全年用能的建筑。
室内热环境	冬季：≥20℃，≥30% 夏季：≤26℃，≤60%	冬季：≥20℃，≥30% 夏季：≤26℃，≤60%	冬季：≥20℃，≥30% 夏季：≤26℃，≤60%
新风量	新风量≥30m ³ /h * 人 居住建筑：	新风量≥30m ³ /h * 人 居住建筑：	新风量≥30m ³ /h * 人 居住建筑：
噪声	昼间≤40dB(A),夜间≤30dB(A)	昼间≤40dB(A),夜间≤30dB(A)	昼间≤40dB(A),夜间≤30dB(A) ≤55[kWh/m ² * a]
居住建筑能耗综合值	≤55[kWh/m ² * a]	≤65[kWh/m ² * a]	建筑本体和周边可再生能源产能量不应小于建筑年终端能源消耗量。
居住建筑本体性能指标 (河北省)	供暖年耗热量≤15[kWh/m ² * a] 供冷年耗热量[kWh/m ² * a]≤3 + 1.5 * WDH20 + 2.0 * DDH28	供暖年耗热量≤20[kWh/m ² * a] 供冷年耗热量[kWh/m ² * a]≤3.5 + 2.0 * WDH20 + 2.2 * DDH28	供暖年耗热量≤15[kWh/m ² * a]
	/	/	供冷年耗热量[kWh/m ² * a]: 1.5 * WDH20 + 2.0 * DDH28
居住建筑可再生能源利用率，%	建筑气密性≤0.6	建筑气密性≤0.6	建筑本体和周边可再生能源产能量大于建筑年终端能源消耗量的 110% 。
	≥10	/	建筑气密性≤0.6
公共建筑综合节能率，%	≥60	≥50	≥10
	建筑本体节能率≥30%	建筑本体节能率≥25%	≥60
公共建筑本体性能指标 (河北省)	/	/	建筑本体和周边可再生能源产能量不应小于建筑年终端能源消耗量。
	建筑气密性≤1.0	建筑气密性≤1.0	建筑本体节能率≥30% 建筑本体和周边可再生能源产能量大于建筑年终端能源消耗量的 110% 。
公共建筑可再生能源利用率，%	≥10	/	建筑气密性≤1.0 ≥10

针对绿色建筑、被动建筑、零碳建筑比较如表 2:

表 2 绿色建筑、被动建筑、零碳建筑对比

项目名称	绿色建筑[10]	被动建筑[6]	零碳建筑[8][9][11][12]
围护结构	比《建筑节能与可再生 传热系数 (河北省 公 共 建 筑) $W/m^2 * K$	外墙: 0.10~0.25 屋面: 0.10~0.25 地面: 0.15~0.35 分隔供暖与非供暖空 间隔墙: 不应大于 0.8 外窗: ≤ 0.8 外门: ≤ 1.2	外墙: 0.15~0.30 屋面: 0.10~0.30 地面: 0.25~0.40 分隔供暖与非供暖空间隔墙: 1.20~1.50 外窗: ≤ 1.5 外门: ≤ 1.5
能源设备	冷、热源机组的能效宜 (河 北 省) GB 55015 的规定: 多联机 IPLV 提高 8% 定频水冷热泵机组, COP 提高 4% 变频频水冷热泵机组, COP 提高 6% 锅炉提高 1 个百分点	多联机: $IPLV \geq 6.0$ 空气源热泵 (热水 型): $IPLV \geq 2.3$ (制 冷量 $\leq 35KW$) $IPLV \geq 2.1$ (制冷量大 于 35KW) 燃气锅炉热效率: $\geq 96\%$ 水冷式冷水 (热泵) 机组: $COP \geq 5.6$ (制 冷量 $\leq 528KW$) $COP \geq 6.0$ ($528KW <$ 制冷量 $\leq 1163KW$) $COP \geq 6.3$ (制 冷量 $>1163KW$) 风冷式冷水 (热泵) 机组: $COP \geq 3.2$ (制 冷量 $\leq 50KW$) $COP \geq 3.4$ (制 冷量 $>50KW$)	多联机: $IPLV \geq 6.0$ 空气源热泵 (热水型): $COP \geq 2.3$ 燃气锅炉热效率: $\geq 92\%$ (额定热功率 $\leq 1.4MW$) $\geq 94\%$ (额定热功率 $>1.4MW$) 水冷式冷水 (热泵) 机组: $COP \geq 6.0$ 风冷式冷水 (热泵) 机组: $COP \geq 3.4$
新风热回 / 收效率	/	显热交换效率不应低 于 75% 全热交换效率不应低 于 70%	显热交换效率不应低于 75% 全热交换效率不应低于 70%
碳排放量 /	/	/	建筑建材生产及运输、建造及 拆除和运行全过程。
可再生能 源	必选	必选	必选
建筑碳排 / 放指标	/	/	低碳公共建筑不应高于 DB1331.T 080-2024《雄安新 区零碳建筑技术标准》规定的 限值或建筑降碳率不应低于 35%。 近零碳公共建筑不应高于 DB1331.T 080-2024《雄安新 区零碳建筑技术标准》规定的 限值或建筑降碳率不应低于 50%。
低碳设计	侧重节能	侧重节能	侧重降碳
低碳建造	侧重节能	侧重节能	侧重降碳

四、零碳建筑的技术措施

零碳建筑在满足零碳建筑技术指标的基础上，通过采用低碳建材、低碳结构形式和材料减量化设计，并可采用可再生能源信用与碳信用对剩余碳排放进行抵消等非建筑降碳技术措施，建筑建材生产及运输、建造及拆除和运行全过程的碳排放量不大于零的建筑。

建筑碳排放量是在设定计算条件或实际运行条件下，年供暖、通风、空调、照明、生活热水、电梯、插座、炊事等终端能源消耗以及可再生能源产能按不同类型能源消耗量和不同类型能源的碳排放因子计算得出的碳排放量。

为从根本上控制碳排放，设计时应重点关注运行阶段的能耗部分，其次是建材生产运输部分。实现碳减排目标的重要手段有：[13]

4.1 提高能源使用效率

提高能源使用效率是实现零碳建筑目标最直接、最具成本效益的“第一能源”。其核心理念是“需求侧管理”，即通过被动式设计优先、主动式系统高效化、智慧运营和精细化管理，从根本上减少建筑的用能需求，从而降低后续对清洁能源供应的规模和成本压力。这一手段贯穿建筑的全生命周期，尤其在设计阶段决定其大部分能效潜力。

4.2 提高现场可再生能源比例

在最大限度地提升能效之后，利用建筑本体及场地内的可再生资源生产零碳能源，是实现建筑运行阶段碳中和的核心手段。这赋予了建筑从“能源消费者”向“能源产消者”转变的能力。常用的技术有：太阳能光伏系统、太阳能光热系统、地热能系统、微风发电与生物质能等。现场可再生能源受制于建筑可用面积（屋顶、立面）、当地气候资源（日照时数、风力）、建筑美学以及初期投资。因此，其核心策略是优先满足经过极致能效优化后的剩余能源需求，而非追求无限度的发电。智能微电网和储能技术是提升其效率和可靠性的关键。

4.3 鼓励购买场外可再生能源

当建筑本体及场地的可再生能源生产潜力无法完全覆盖其全年碳中性的能源需求时，购买来自场外大规模可再生能源项目的电力，是实现“运行零碳”必不可少的补充和市场途径。主要实现方式有：绿色电力直接交易、购买绿色电力凭证等。

购买绿电是建筑实现二碳排放归零的最直接工具。它突破了建筑自身物理条件的限制，将建筑个体的减排行动与整个区域电力系统的脱碳进程联系起来。它通过市场化需求，有力驱动了大规模可再生能源基础设施的发展，贡献于整个电网的绿化。

4.4 隐含碳管理

建筑的碳排放不仅存在于数十年的运营阶段，更大量“隐藏”在材料生产、运输、建造、翻新乃至拆除处置的过程中。主要包含低碳材料的选择、建筑本体结构优化、绿色施工、废弃物的管理、建筑末期延长使用寿命和循环利用等。

4.5 推动电网电气化

建筑电气化是指将建筑内所有终端用能设备从直接燃烧化石燃料转为使用电力，从而为利用零碳电力创造条件。它是连接高比例可再生能源电网与建筑终端用能的关键桥梁。例如：暖通系统电气化、热水系统电气化等。

4.6 打造循环经济

将循环经济理念融入建筑领域，意味着从根本上重新思考建筑作为“材料库”的角色，从线性“开采-制造-废弃”模式转向“再生-共享-修复-再利用”的闭环模式。这是实现建筑领域深度脱碳和资源可持续的系统性解决方案。

循环经济通过减少对新材料的需求，直接避免了上游原材料开采、加工和制造过程中的巨大隐含碳排放。它系统性降低了建筑对原生资源的依赖，减少了废弃物处理的压力，并创造了新的商业和价值模式。打造循环建筑经济，是将零碳建筑从一个独立的节能环保产品，融入更广阔的城市和产业可持续生态系统中的最终演进方向。

五、结束语

零碳建筑的发展是复杂的系统性工程，要兼顾能效的提升、用户的体验、建设成本、投资回报、对环境的影响和碳中和目标实现，涉及到可再生能源的利用、建筑结构的改进、全数字化智能解决方案的打造和政府政策的倾斜。

零碳建筑在我国尚处于起步阶段，有关理论研究、案例、技术、产品等较为缺乏。零碳建筑的发展还需充分考虑顶层设计、生态园区、低碳城市、碳足迹，碳核算，碳汇，碳交易等，进一步厘清零碳建筑的计算边界，指标要求和体系化发展要求。

参考文献

- [1] 中国林业生态发展促进会、中国碳中和发展集团，低碳发展蓝皮书：中国碳中和发展研究报告 2022，社会科学文献出版社
- [2] 清华大学建筑节能研究中心，中国建筑节能年度发展研究报告 2025，中国建筑工业出版社
- [3] 姜立婷，绿色建筑与节能环保发展推广研究，哈尔滨工业大学出版社，2000 年
- [4] GB/T 50378-2019（2024 版），绿色建筑评价标准，中国建筑工业出版社
- [5] DB13(J)/T 8359-2020，被动式超低能耗居住建筑节能设计标准
- [6] DB13(J)/T 8360-2020，被动式超低能耗公共建筑节能设计标准
- [7] JGJ/T 267-2012，被动式太阳能建筑技术规范，中国建筑工业出版社
- [8] GB/T 51350-2019，近零能耗建筑技术标准，中国建筑工业出版社
- [9] T/CABEE 003-2019，近零能耗建筑测评标准，中国建筑节能协会
- [10] DB13J 8526-2023，绿色建筑设计标准
- [11] DB1331.T 080-2024，雄安新区零碳建筑技术标准
- [12] DBJ04/T 503-2025，零碳建筑技术标准（山西省工程建设地方标准）
- [13] 零碳建筑定制化解决方案帮助资产运营方式实现减排白皮书