

“双碳”目标下的超低能耗建筑设计浅谈

汪满江

中国建筑科学研究院有限公司 北京 100013

“双碳”目标的背景：

2020年9月22日，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上向全世界郑重承诺我国将加大力度应对气候变化，“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。我国是全世界最大的发展中国家，新建及改造工程总量已连续多年稳居世界第一，在工程建筑领域的能源消费与排放是全社会能源消费与排放的重要组成部分，也是中国未来节能减排以及能源消费变革工作中的重点。

过去二十年，中国城镇化发展迅速，建筑规模的迅速增长也带动了我国建筑领域用能与排放的持续增长。仅2018年，我国建筑运营化石能源消耗所带来的相关碳排放量高达21亿吨CO₂，占全国碳排放总量的五分之一左右。因此，在建筑领域如何实现深度减排，会直接影响我国应对气候变化目标的实现；会直接影响我国未来能源消耗的格局；也会直接影响建筑领域下一阶段发展模式的转变。

建筑领域内的碳排放：

1.建筑领域碳排放的定义

建筑运行阶段的碳排放可以分为直接碳排放、间接碳排放以及非二氧化碳温室气体排放，直接碳排放是指仅包括在建筑内发生化石燃料燃烧过程而产生的碳排放；间接碳排放是指为维护建筑各项功能正常运转所需的从外界输入的电力、热力在生产过程中所产生的碳排放。非二氧化碳温室气体排放则是指建筑在运行阶段所使用的制冷产品，由于所使用的制冷剂泄露所产生的非二氧化碳温室气体（以下简称“非二”）排放。

2.直接碳排放

直接碳排放包含了发生在建筑内部的炊事、生活热水、供暖以及蒸汽需求等特殊用途需要的由化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放。该部分的供暖指的是区域自建锅炉房供暖或者燃气壁挂炉供暖方式，而非集中供暖。

建筑直接碳排放达峰的主要措施为提高终端电气化率。炊事方面，全面提高炊事电气化率的提升，需要技术的持续发展以及生活方式的引导。生活热水方面，降低燃气热水器使用比例，优先选择电热水器和电动热泵热水器。供暖方面，北方公共建筑大多采用集中供暖，这部分碳排放是含在间接热力碳排放里，此处可暂不考虑。医院等有特殊需求的建筑在蒸汽使用方面，可以通过电驱动热泵，或者直接电热来替代分散的和集中的燃气锅炉。实践证明，即使采用分散的电热方式制取热水或蒸汽，由于减少了输送过程中的热损失，其能耗也低于集中的燃气锅炉。

3.间接碳排放

间接碳排放，包括热力间接碳排放和电力间接碳排放。这部分的排放量，一方面取决于建筑本身的需求，另一方面取决于供给侧的低碳化程度。热力间接碳排放包括热电联产以及区域锅炉送入建筑的热量在生产过程中产生的碳排放。建筑需求方面，应提升建筑本体性能，重点是提高建筑围护结构的热工性能，降低建筑自身的供热及制冷需求，实现建筑自身的“保温杯效应”。热源供给方

面，应合理规划对于余热的收集，其中集中供热热源可以大量使用各类电厂与工业生产过程所产生的低品位余热，逐步淘汰化石燃料锅炉。

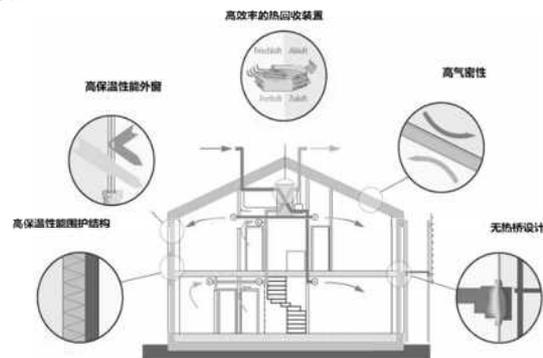
电力间接碳排放则主要与用电量、电力碳排放因子相关。建筑运行阶段的用电量主要指建筑使用过程中由外部输入的能源，包括维持建筑环境的用能（如制冷、供暖、通风、空调和照明等）和各类建筑内人员活动所需（如各类家电、电梯、生活热水等）的用能。（来源《民用建筑能耗标准》GB/T 51161-2016）。随着终端电气化率的提高，用电量还会继续增加。这部分碳排放达峰，取决于用电量增长和电力碳排放因子下降的相对速度。近几年，随着零碳电源的增长，电力的碳排放因子持续下降，目前已达0.6kgCO₂/kWh，如果碳排放因子的下降趋势高于建筑用电的增长趋势，则建筑间接碳排放即可实现最终的碳达峰目标。

4.非二氧化碳温室气体排放

建筑运行阶段所使用的制冷产品，包括冷机、空调、冰箱等，由于所使用的制冷剂（HFCs类物质）泄露，也会导致全球升温。HFCs类物质由于其全球变暖潜值（GWP）较高，目前也成为建筑领域内非二氧化碳温室气体排放的主要来源。

超低能耗建筑促成“双碳”目标的实现：

超低能耗建筑是适应不同气候特征和场地条件，通过系统性的建筑设计和设备能源选择来最大程度降低建筑对于供暖、制冷、照明等能耗的需求，通过主动技术措施最大程度提高能源设备与系统效率。以最少的能源消耗提供舒适的室内环境，最大限度地降低对主动式机械采暖和制冷系统的依赖。其建筑能耗水平较现行标准可以降低50%以上。



超低能耗建筑主要技术措施图示

超低能耗建筑技术从根本上改变了建筑的角色定位，在大幅度降低建筑对外界能源需求的背景下，建筑从单纯的能源消费者转变为能源需求侧的控制者和管理者；同时，超低能耗建筑的出现也改变了使用者对于建筑的用能理念，实现了低能耗采暖制冷与高效能源利用和高舒适度的协调并存。

超低能耗建筑设计要点：

1、超低能耗建筑设计步骤

超低能耗建筑设计是一个系统的、动态的设计过程，首先需要

确定超低能耗的设计指标及设计标准（参见下图）。

表 5.0.5 超低能耗居住建筑节能指标

建筑能耗综合值		≤65 [W/(m²·a)] 或 ≤30 (kg/m²·a)				
建筑本体	供暖年耗热量 [W/(m²·a)]	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	温和地区	夏热冬暖地区
	性能指标	供冷年耗冷量 [W/(m²·a)] 空调气密性 (换气次数 A ₅₀)	≤3.5 + 2.0 × WDI ₂₀ + 2.2 × DDH ₂₀			≤1.0

注：1 建筑本体能耗指标中的供暖、空调热、电、电耗系数指标通过建筑能耗综合值进行约束，不单独设置限值；

2 A₅₀适用于居住建筑中的住宅类建筑，表中 m² 为套内使用面积；

3 WDI₂₀ (W·m-bulb degree hours 20) 为一年中室外环境温度高于 20℃ 时累积的太阳辐射量；

20℃ 基准温度；累计值，单位：kWh，°C·小时；

超低能耗居住建筑节能指标表

在此基础上，从方案阶段就需要围绕已经确定的指标体系对建筑的能耗进行全季节模拟，并在模拟的过程中分阶段确定冷热源形式、系统参数以及保温系统的各项参数等关键指标，同时在模拟过程中要充分考虑建筑设计的各项客观影响因素，比如层高要求、建筑的体块关系、建筑空间特征、功能特殊需求、房间使用频率、建筑主要能量来源及获得难易程度、成本增量与户内得房率的平衡等等。以上各项主要指标应在方案及初步设计阶段全部确定下来，并在确定后统一输入相关的专用计算软件进行分析和校核，从而在设计初期完成超低能耗建筑设计主要参数因子的确定，为后续的施工图设计建立基础，防止后续在施工图设计过程的修改反复或施工过程中的拆改。

在结合软件模拟确定各项指标及参数后，需要在施工图设计前将影响超低能耗设计的主要因素重点标识出来并形成设计要点手册，并在施工图设计前将以上设计要点进行充分的理解与沟通，以免出现南辕北辙的尴尬结果。墙身、屋顶、室内外地面交接等重要节点部位的设计需要格外关注，以避免局部冷热桥的出现，从而使整个室内环境出现温度陡变区，影响整个室内环境的舒适度。在完成施工图设计后，需要根据最终的施工图设计成果将最终的建筑模型（包括各种面层做法及交接节点做法）重新完整输入软件进行复核，并以此来验证初步设计阶段各项参数的终值和房间室内环境各项参数。

除了设计阶段，现场配合阶段对于施工人员的培训与指导、样板段的施工控制、完成后典型建筑内环境的气密性检测、建筑能源系统的能效复核等等工作也同样决定一个超低能耗建筑的设计成功与否。因此，在整个超低能耗建筑设计过程中，施工现场的配合工作同样重要，此阶段对于建筑师综合能力的要求相比于传统建筑的设计也更加广泛与严格。但由于本文主要关注的是超低能耗建筑在设计阶段的控制要点，该部分工作在此就不再展开论述。

2、超低能耗建筑实施要点

超低能耗建筑设计是一个全过程、全专业的协同化设计过程，与绿色建筑和健康建筑不同，推荐性的技术措施包括围护结构热工参数、设备性能参数、能源利用效率参数等指标仅做为参考，并不是约束性指标，而建筑室内环境和能效指标作为判定超低能耗建筑的唯一标准。因此，不同类型的建筑会采用不同的技术手段，例如：住宅项目主要是依靠被动式技术主，利用建筑自身的围护结构和构件来完成能耗的降低与舒适度的提供；而公共建筑由于建筑功能繁多，空间形式复杂，因此应充分考虑建筑自身特性，以被动式技术为基础，突出主动式技术，同时，整个建筑的后期运行控制与管理也对建筑的最终用能表现至关重要。

高效热回收新风系统

分体式户式优先选用新风热回收机组，新风同时具有净化除霾功能，设置高效率空气净化装置，送风设置过滤等级为至少 F7 的过滤装置，排风设置过滤等级为 G4 的过滤装置。热回收应采用全热回收，额定热回收效率不低于 70%，单位风量耗功率不超过 0.45W/(m³/h)。并在此基础上提供人均不小于 30m³/h 的新风量，总新风量由各户的人数决定。新风机组与室外联动的新风和排风管应安装保温密闭电动风阀，并与系统联动控制，保证建筑气密性。

高温保温隔热性能非透明围护结构

超低能耗建筑外墙应外墙保温应尽量采用单层保温、锁扣方式连接；采用双层保温时，应采用错缝粘接方式，避免保温材料间出现通缝。例如，采用了结合预制混凝土外墙构件一体化的保温夹芯做法，保温层构造为硬泡聚氨酯板；屋面、女儿墙内部和外部保温材料均采用硬泡聚氨酯板；此外，地下室外墙与顶板、楼梯间与室内隔墙保温做法均应在设计初期就确定材料选择，并根据软件计算结果来确定最经济的保温厚度。整栋建筑在设计中应具有包绕整体的、连续完整的气密层，气密层应贯穿外墙搭接部位，且气密层边界范围上的门和窗均应选用高气密性等级产品；门窗安装时也需要采用气密性膜进行密封。所有穿越气密层外墙的管道等部位均应做气密性处理；与室外连通的新风、排风阀门也应采用气密性阀门。

高温保温性能外窗

建筑外窗是建筑能耗损失最多的部位，因此，超低能耗建筑的外窗在设计中应明确选用具有暖边处理的外窗构件，暖边处理技术是指在中空玻璃边部密封时，采用导热系数较低的材料代替传统的导热系数较高的槽铝式密封构造，在提高玻璃边缘温度的同时，可有效改善玻璃边缘的传热状况从而改善整窗的保温性能。

气密性设计

建筑设计施工图设计阶段应在图中明确标注气密层的位置，气密层连续，并包围整个外围护结构。采用简洁的造型和节点设计，减少或避免出现气密性难以处理的节点，选用气密性等级高的外门窗。选择抹灰层、硬质的材料板（如密度板、石材）、气密性薄膜等构成气密层。选择适用的气密性材料做节点气密性处理。对门洞、窗洞、电气接线盒、管线贯穿处等易发生气密性问题的部位，进行节点设计。

可再生能源利用

建筑在初期方案设计阶段就应根据项目所在地的区位特征和地域特点来进行主要能源系统的选择，在可再生能源的选择上目前比较成熟的体系包括地源热泵系统、水源热泵系统、空气源热泵系统以及太阳能光伏发电系统等，在确定能源系统后还需要对整个建筑或者场地的能耗进行最终验算，在此基础上确定补充能源系统及能耗指标。

总结：

超低能耗建筑技术的应用使建筑的低能采暖和低能制冷成为可能；使依靠低品位的可再生能源实现区域性的能源产-储-消平衡成为可能；使脱离对化石能源的依赖从而实现城市能源转型和真正的区域性碳中和成为可能。

大力推广超低能耗建筑契合了新时代高质量发展理念，在进一步推进建筑节能、提升人民幸福生活指数、促进产业转型升级等方面具有十分重要的意义。以超低能耗建筑为载体的能源转型和碳中和城市建设，是一个整体性、一体化的发展过程。它将去碳化、能效提升、能源系统融合以及技术多样性集为一体，对于推动我国实现碳达峰、碳中和的“双碳”目标将起到至关重要的作用。