

探索公共建筑“碳零排放”运行的可行性

李乐荔

陕西建工集团股份有限公司 陕西 西安 710117

【摘要】：建筑产业作为高能耗产业之一，在碳达峰碳中和战略要求下，需要经过系统性的改革和技术创新，才能够实现节能减排绿色发展的目标，仅通过传统战略，难以保证该目标的实现。在此背景下，建筑行业发展必须积极进行近零能耗建筑、高效用能设备、能源优化使用等方面的探索与实践。

【关键词】：建筑工程；碳零排放；建筑光伏一体化（BIPV）；箱变式储能技术；地源热泵；节能技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.069

1 课题背景

背景一：我国关于“双碳”的国家总体政策将以“1+N”的形式发布，其中“1”就是顶层设计指导意见，“N”就是各行业、各领域分别的政策措施。该《意见》是“1+N”政策体系中的“1”。该《意见》的第七部分“提升城乡建设绿色低碳发展质量”指出，要“推进城乡建设和管理模式低碳转型、大力发展节能低碳建筑、加快优化建筑用能结构”，在建筑领域提出了城乡建设绿色低碳发展的顶层要求。背景二：我国“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”的目标设定，对能源业提出了零碳要求，即在能源生产、使用过程中不增加二氧化碳的排放，光能、风能等可再生能源将走上电力主场。背景三：建筑产业是我国国民经济的重要支柱，也是公认的高耗能产业之一。2021年，国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，强调要大力发展节能低碳建筑，持续提高新建建筑节能标准，加快推进超低能耗建筑等规模化发展。

在长期发展过程中，建筑已经逐渐从节能、绿色、生态和可持续，逐渐转向低碳发展，其根本都是为了降低建筑生产中的碳排放量的目标。《近零能耗建筑技术标准》GB/T 51350-2019中指出零碳建筑指的是通过相应的节能措施和可再生资源利用，尽可能降低建筑中的碳排放量，是建筑全年的碳排放量小于可再生能源所产生的碳减排量。目前零能耗建筑正在初步发展阶段，加快零能耗建筑发展可助力建筑领域快速实现碳中和。

2 课题思路

(1) 关键技术1：建筑光伏一体化（BIPV）：在建筑绿色低碳发展中，可再生能源的利用极其关键，通过应用太阳能、风能、地热能等能源，能够有效降低建筑物运营中的能耗。光伏一体化（BIPV）作为当下常用技术，尤其是将光伏组件建设于建筑之中，用于对太阳能的收集和利用。太阳能光伏因其清洁、安全、便利、高效等特点，成为实现建筑能耗平衡和替

代的常用技术。2021年6月20日，国家能源局综合司正式下发《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》。该《通知》发布后，大量地区的公共建筑、工业厂房、居民房等都安装了光伏发电设备。有效推动了建筑领域光伏产业的发展。另外，分布式光伏发电并网系统与建筑结合，能降低建筑用电成本，提高电力利用率，促进实现建筑电力“自产自消”“余电上网”，加快实现建筑零碳化。

(2) 关键技术2：箱变式储能技术：光伏建筑直流供电作为当下建筑领域节能减排的最重要趋势之一。通过箱变式储能设备能够将光伏产生的电能储存在建筑之中，最大化地利用光伏发电产生的能量，将其用于建筑自身的电能消耗，同时还能够有效控制光伏发电所产生的并网波动，提高电网运行的稳定性。

(3) 关键技术3：地源热泵：地源热泵是通过热泵技术把低品位热能提升为可以利用的能源，从而达到节约部分高品位能源的目的。热泵作为高效利用可再生能源的技术手段，能效高，可同时供热供冷，还可以供应生活热水，能完美地匹配近零能耗建筑的需求。积极拓展可再生能源在建筑领域的应用形式，推广高效空气源热泵技术及产品。

(4) 关键技术4：空气源热泵：热泵作为一种可再生能源利用装置，是电制热的最有效方式，其显著的节能、减碳特征成为替代化石能源中低温热能生产的最优技术方案。热泵能够实现低位热源热能的转换利用，是现阶段最为重要的新能源利用技术之一。热泵在使用过程中会将自然界中的一些低品位热能采集起来，然后通过电力做功，使其转化为高位热源，然后再被人们利用。比如自然界中的空气、水和土壤等都可以成为低品位热能的获取源，这是今后零碳能源中极其重要的技术利用路径之一。

3 公共建筑运行过程“零碳排放”的路径探索

公共建筑生命周期的碳周期大致可以划分为三部分：

部分 1: 与建筑、机电系统、暖通空调、能源系统密切相关,是减少运行碳排放潜力最大的部分,也是节能减碳的主要对象;部分 2: 与使用功能相关的用电量(如果该部分非常重要,与安全相关需要保障功能用电,可暂缓计入,比如电梯等);部分 3: 公共建筑内基础设施的材料及建筑垃圾处理等以及各种设施(玻璃,钢材)的碳含量。综上,能将上述三部分的碳排放都降到零,是我们最终的目标,但非常不容易实现。就现阶段而言,优先考虑做好部分 1 的碳零排放是我们的工作重中之重。

新建建筑的“零碳排放”建造包括两方面,建造方式的“零碳排放”即“零碳排放”建造和终端产品的“零碳排放”即超低能耗建筑(或近零碳建筑、零碳建筑)。“零碳排放”需要围绕建筑的全生命周期,在不影响建筑质量安全的基础下,遵循可持续发展的理念,通过合理应用相应的技术和设备,有效提升建筑能源利用率,降低能耗和碳排放,从而实现“零碳排放”的目标^[1]。光伏建筑一体化技术(BIPV)作为当下最为常用的绿色建造技术,该技术是将光伏组件和发电系统也作为建筑的一部分,在建筑设计建造的过程中,进行相关光伏系统的构建,使其具有发电功能。与传统安装型的光伏建筑相比,该系统不仅具有更强的适用性,并且还能够与建筑外墙、阳台车棚等进行集成,提高建筑的保温性能,并降低建筑建设成本。

超低能耗建筑作为近零能耗建筑发展初期阶段的一种建筑形式,其主要是通过被动式设计来减少建筑使用过程中的能耗需求,提高能源利用率。而超低能耗建筑则是在节能减排和绿色建筑的基础上提出的更高水平的建筑要求,该类建筑的实现,需要通过更加高效的墙体保温技术、隔热技术和新风系统来实现上述目标^[2]。超低能耗建筑节能目标实现,必须通过科学合理的设计方案来实现,在设计阶段就需要围绕多方面进行全方位的考虑和布局。一是要做好绿色节能建材的使用,尽可能采用低排放高性能的建筑材料;二是要不断优化施工流程。在工程建设中全面融入节能减排理念,减少施工建设中的能耗和污染;三是需要做好对终端建筑产品的不断优化完善。新建建筑需要尽可能达到超低能耗或者零能耗建筑中的相关要求,同时也需要尽可能通过建筑自身的本体优化来实现节能减排和充分使用可利用的可再生能源。

在这里我们仅讨论新建建筑运行过程“零碳排放”(部分 1)。

想要清楚地知道建筑运行过程中是否满足“零碳排放”的要求,我们就需要明确该建筑的运行能耗。建筑运行能耗指的是建筑在运营过程中各种电能、热能的总体能耗,所有电能和热能在使用过程中都会产生碳排放。根据建筑碳排放方面的相关标准,文章中所指的碳排放主要指的是建筑采暖所消耗的煤

炭、天然气等化石能源;制冷采暖电气设备所消耗电能所产生的二氧化碳,但是其并不包括建筑所用的各种材料设备制造过程中产生的间接二氧化碳排放。

4 实现建设零碳运行建筑的需求

4.1 “零碳电源”

采用建筑光伏一体化(BIPV)技术,遵循“应装尽装”“应发尽发”“应用尽用”的原则,最大程度利用建筑屋面、地面、立面、雨棚等安装光伏板。在满足技术、经济性能等条件下,优先使用光伏瓦、光伏幕墙等构件替代传统建筑装饰材料。BIPV 经过长期发展,已经从简单的光伏组件安装,成为与建筑一体化的结构部件。光伏建筑一体化技术能够将原先的光伏组件制作成更适用于建筑特征的发电装置,使其在具备传统建筑外墙等功能的基础上,同时具有发电作用,为建筑运行提供电能。现阶段光伏建筑一体化的安装有多种不同的形式,比如遮阳棚式光伏发电系统、瓦片光伏发电系统、窗间式光伏系统、壁挂光伏发电系统、百叶窗式光伏发电系统、采光天窗光伏系统,各种不同类型的光伏系统,分别适用于不同的建筑场景和施工要求。光伏建筑一体化技术。在建筑低碳建设中的应用,并不是二者之间的简单叠加,而是综合建筑建设功能需求和光伏发电特点所形成的有机结合体,将二者结合能够实现“1+1>2”的效果,在充分做好光伏能源利用的基础上丰富建筑的功能,有效降低建筑运营期间的碳排放量。

4.2 “零碳热量”

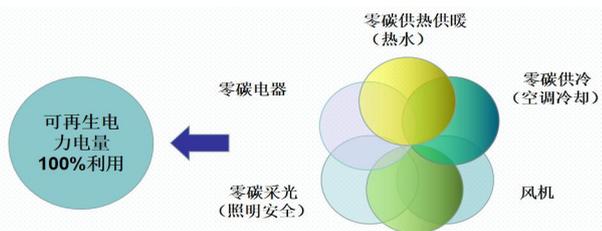
低品位可再生能源的利用是当下零碳热量利用中的最关键领域之一,比如地热能、生物质能等都可以作为可再生能源。上述能源的利用需要采用热泵技术实现“零碳供热”。温度高则代表余热资源的可做功能力高,即所谓“高品位余热资源”。温度低,则代表该余热资源品位较低。低品位余热资源的品位一般相对较低,同时总量也相对较少,所以一般情况下不会被人们所重视。高品位余热,由于温度较高,很容易被利用。低品位余热由于温度低、分散不易回收、含有腐蚀性物质、经济效益偏低等特性,也很难被重视,常被浪费。现阶段常用的热泵类型有空气能热泵和空气源热泵两类,其都能够实现低品位热源向高品位的转换。热泵的工作原理与水泵有所相同,其也是将一些低位置上的能源,比如空气、土壤以及水中所蕴含的热能通过热泵提取,然后再将其转换为高位热能,从而将其用于供热、闪电,这样既能够实现低品位能源的有效利用,为建筑提供更多的能源,同时还能够降低建筑运营中的能耗和碳排放。在耗电量保持不变的情况下,在夏季或者冬季分别围绕供冷量和供热量展开研究,当提高其供应量后,能效比 EER:3.9-6,在两种情况下,在夏季和冬季投入 1kW 时的电能,热泵分别能够创造 9-6kW 和 3.0-5kW 热能,性能系数 COP 能

够达到 2.65~5 之间。与此同时，埋热管换热器与普通空调相比，其无需进行除霜处理，这样就能够降低结霜和除霜时所需消耗的能耗。

4.3 “设备节能优先”

通过建筑和暖通空调系统等进行节能设计，再配合高效节能设备的使用和智能化能源管理体系的构建，就能够有效降低建筑运行中的各类能源消耗。在建筑设计和运行阶段，需要充分围绕建筑的需求和消耗进行综合考虑和科学计算，以终端用能和转换“节能优先”保障零碳运行的能源系统的经济性。能源在转换和循环的过程中会产生非常大的能源损失，尤其在电能的传递和使用过程中，设备的功率因数和节能效率直接影响着节能的效果。所以在能源转换的过程中，需要从整个能源的开采、处理、输送分配等各个环节做好综合性的评价，客观评估能源利用的效率，以及能源使用过程中可能产生的环境影响。建筑中的能耗设备，如空调、热水器等应选用能源效率高的能源供应。

4.4 以建筑运行能耗反推光伏设备容量



(1) 能源站：制冷量： $A1\text{kwh/m}^2 \cdot \text{a}$ 制热量： $A2\text{kwh/m}^2 \cdot \text{a}$

(2) 通风风机： $A3\text{kwh/m}^2 \cdot \text{a}$

(3) 照明： $A4\text{kwh/m}^2 \cdot \text{a}$

— kwh/a 意为年平均千瓦时，表征平均耗电量概念。

建筑运行年均能耗= $A1$ （制冷量）/ $\text{EER}+A2$ （制热量）/ $\text{COP}+A3$ （通风风机）+ $A4$ （采光照明）

— $\text{kwh/m}^2 \cdot \text{a}$ 意为每平方米年平均千瓦时，表征每平方米平均耗电量概念；

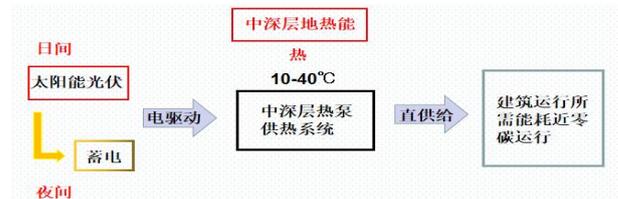
—EER 是空调器的制冷性能系数，称为制冷能效比；

—CPO 是空调器的制热性能系数，称为制热能效比；

以建筑运行能耗反算设备容量，通过计算出满足“部分 1”

的能耗，反算需要安装多少光伏，才能使得光伏板全年的发电量大于上述部分 1 所需要的全年用电量。然后计算出满足建筑物“碳零运行”所需的光伏铺设面积。光伏发电受天气和季节影响较大，所以其具有较强的波动性，这就要求在进行光伏发电系统的构建时必须综合考虑气候和天气特征影响。尤其在考虑光伏铺设面积的时候更需要加以考虑，尽可能提升太阳能的利用率。

5 实现建设零碳运行建筑的思路



(1) 日间充分利用太阳能的光伏发电，驱动中深层热泵供热系统满负荷制热，解决建筑运行过程中的供热能耗需求，剩余电力满足其他功能需求能耗，最后部分电力通过箱式储能技术进行蓄电。(2) 夜间（阴天）由储能箱的蓄存电力进行驱动热泵，满足建筑运行过程中的供热能耗需求。(3) 冬季光伏发电基本不足，尤其是北方城市，建筑运行所需能耗供需的剪刀差极大，需要吸纳外部其他绿电（风电，冬季的发电量）进行热泵驱动，否则光伏、储电设备的投入过大，方案的经济性较低。(4) 中深层的地热能，利用的是换热器外壁与岩层间壁换热，提取中深层地热能，坚持“取热不碰水”的原则，避免地热水直接利用可能带来的环境问题。

碳达峰、碳中和战略目标达成，需要经过长期系统性的变革和技术创新，只通过传统的手段和模式难以确保该目标的实现。为了实现对建筑用能总量的有效控制，在建筑设计阶段，就需要做好对建筑面积的有效控制，并尽可能采用近零能耗建筑设计标准，并降低终端设备的用能水平，全面评估和分析改进建筑中的不合理能源使用部分，通过各方面的共同努力，才能够实现上述“双碳”战略的目标。与此同时，在此过程中也必须做好对可再生能源、热泵技术等零碳源技术的推广和应用。建筑的碳排放量控制不仅与建筑行业的绿色低碳发展密切相关，更与整个社会的可持续发展和能源低碳转型存在密切关系，因此，在现阶段必须进一步探索公共建筑“碳零排放”的实现路径，全面响应国家战略，为人民群众提供更加美好的生活环境。

参考文献：

[1] 肖绪文.绿色建造发展现状及发展战略[J].施工技术,2018,47(06):1-4+40.
[2] 王铁宏.建筑产业深刻变革中的关键问题[J].建筑,2022(03):30-31.