

被动式建筑节能设计技术策略探析

张旭

广东省建筑设计研究院有限公司

摘要：本文以被动式建筑节能设计作为切入点，对被动式建筑的概念、特点及主要类型进行简要叙述，帮助建筑企业更为深入的了解被动式建筑。随后，从建筑平面组合方式选择、外围护结构节能、建筑内部通风与自然采光等多个方面来提出被动式建筑节能设计技术应用策略。旨在建立一套完善的被动式建筑节能设计体系，最大限度挖掘建筑节能潜力，也为后续建筑节能设计工作的开展提供参考。

关键词：被动式建筑；节能设计；技术策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.07.076

引言：近年来，为缓解能源供需矛盾、改善生态环境和响应可持续发展号召，被动式建筑理念引入到我国建筑行业当中，在学校、住宅建筑、医疗建筑、商业综合体建筑等领域中都展露出广阔应用前景，并取得十分显著的应用成果。与此同时，我国被动式建筑当前正处于初期发展阶段，在建筑节能设计层面存在经验匮乏、技术手段单一的问题。在这一工程背景下，为最大限度提高建筑节能效率，打造真正意义上的“零能耗建筑”，本文立足技术角度，对被动式建筑节能设计问题开展研究。

一、被动式建筑概述

（一）概念

被动式建筑是通过节能设计手段来营造适宜室内外物理环境、高效利用周边自然资源来降低建筑总体能耗水平的一种全新建筑搭建模式，极大减轻了建筑对外部常规能源的依赖性，理想状态下可以在建筑使用期间不消耗外部常规能源，打造“零能耗建筑”。目前来看，被动式建筑是当前最为贴近绿色生态的建筑模式，既可以取得理想节能效果、减少建筑总体使用成本，同时，还可以为使用者营造更加健康、便捷与人性化的建筑环境。

（二）特点

相比于主动式节能建筑，被动式建筑有着应用范围广阔、高效利用自然环境潜能、构造简单的特点，这也是被动式建筑应用价值的主要体现。其一，应用范围广特点在于，被动式建筑中的各项节能技术都具备通用性，如门窗节能、墙体保温节能、遮阳节能等，在医疗建筑、住宅建筑、公共建筑等各类型建筑工程中都具有应用条件，这也表明被动式建筑有着较大的应用潜力。其二，高效利用自然环境潜能特点在于，遵循因地制宜原则，提前调查工程周边环境情况，在适应当地自然环境的前提下最大限度挖掘环境潜能，如调整建筑布局朝

向和窗墙比来改善室内通风条件、合理设定开窗位置与优选采光形式来改善室内自然采光条件，这也体现出传统建筑体系中的“天人合一”思想。其三，构造简单特点在于，被动式建筑仅需对平面布局、构造形式进行适度调整，无需在建筑室内与外立面上安装大量的热交换器、水泵、风机等设备，整体构造形式较为简单，也在侧面起到降低设计难度、减少造价成本的作用^[1]。

（三）类型

目前，被动式建筑主要分为直接受益式、蓄热墙式、屋顶池式、阳光间式等诸多类型，各类型被动式建筑的节能要求、设计思路与重点存在明显差异，设计师需要根据工程要求与现场自然环境情况来选择最佳的建筑类型。其一，直接受益式建筑是在建筑南向布置大面积采光玻璃窗，室外自然光携带辐射热量进入室内，由室内墙地面与家具吸收绝大部分热量，剩余热量则通过对流或辐射等形式在室内空间传递，并由蓄热体吸收部分热量，在夜间和气温较低时段持续向外释放热量，这类建筑适用于夏热冬冷地区。其二，蓄热墙式建筑是在建筑南向设置带有集热蓄热功能的外墙，外墙持续吸收太阳光中携带热量，并持续将热量送入室内，具体可分为快速集热墙、水墙式集热蓄热墙等形式，根据热量传送要求来选择。其三，屋顶池式建筑同时具备冬季采暖与夏季降温两项功能，适用于冬暖夏热地区，在建筑屋顶部位放置装满水密封塑料袋，将其作为储热体，并在储热体上方设置可开启保温盖板。如此，在冬季昼间开启保温盖板来收集热量，在夏季夜间开启保温盖板来吸收冷量，以此来维持室内温度，减少一部分的室内空调冷热负荷量。其四，阳光间式建筑是在建筑南侧搭建由部分或全部透光材料组成的围护结构，在室内墙体上开设孔洞，由太阳房持续收集热量，在昼间通过对流口向其他房间提供热量，在夜间则作为缓冲区来减小热损失^[2]。

二、被动式建筑节能设计技术的应用策略

（一）优选建筑平面组合方式

在现代建筑工程中，主要采取外廊式、内廊式、串联式以及庭院式四种平面组合方式，平面布局对建筑室内自然采光通风条件和总体能耗水平造成明显影响，唯有根据工程实际情况来选择最佳的平面组合方式，才能取得理想节能效果。

1. 外廊式平面布局

在建筑室内走廊一侧布置房间，在房间外形成较为宽敞的廊道。这类平面布局形式有利于改善室内自然采光通风条件，以廊道作为室内通风流线，并在廊道外侧

设置若干采光窗。

2. 内廊式平面布局

在建筑室内廊道两侧均布置房间，形成“一”字形或是“L”字形的平面结构。根据实际应用情况来看，采取内廊式布局形式的建筑有着体形系数小、保温隔热性能优异的特征，有利于减少室内空调冷热负荷量，但室内自然通风条件不佳，需要长时间开展机械通风装置，设计师需要综合分析建筑空调与通风系统运行能耗的变化情况，判断建筑实际能耗水平是否达到预期要求。

3. 串联式平面布局

在建筑内部采取线性组合形式，在各处功能区域和房间内预留室内门，通过室内门将各空间单元依次串联形成整体空间。这类平面结构有着形式紧凑、功能区域联系紧密、交通流线占据面积和建筑体系系数小的优势，节能效果较为显著，但主要用于住宅等类型建筑，不适用于商业综合体、公共建筑等类型建筑。

4. 庭院式平面布局

这一平面组合形式也被称为中庭式，在建筑室内中心位置设置中庭空间，在中庭四周环绕布置房间，以此来组成“回”字形平面结构。相比于其他平面形式，庭院式建筑的室内通风采光条件较为理想，但建筑保温隔热性能一般，多用于冬暖夏热地区，如果在我国北方地区建筑中采取这一平面布局形式，将在冬季消耗大量能源进行供暖。

（二）外围护结构节能设计

1. 外墙设计

在外墙节能设计环节，以强化外墙保温隔热性能、阻挡室内外热交换为主要目的，具体可采取使用浅色饰面材料、内保温、外保温、夹心保温和强化蓄热能力五项措施。第一，使用浅色饰面材料是在墙体外侧铺设浅色面材或涂刷浅色涂料，浅色的反射热量能力高于深色，可以帮助建筑外墙表面反射绝大多数热量，从源头上减少建筑吸热量来维持室内温度、减少建筑空调冷负荷量。第二，内保温是在外墙内侧铺设岩棉板或是聚苯板作为保温层，有着易于操作、安全系数高、不易脱落的优势，但会占用一部分室内空间，多用于室内面积较大、室内面积要求较为宽泛的建筑工程。第三，外保温是在墙体外侧铺设保温层，有着不占用室内空间、内侧墙体不会出现冷凝现象的优点，但施工难度较大，在后续使用期间有可能出现外保温层脱落、破损问题。第四，夹心保温是在墙体内外侧墙片间隔部位填充保温材料，墙体总厚度略大于普通墙体，有着构造形式复杂、在温差作用下易出现墙体开裂问题的局限性，适用于冬暖夏热地区，一般情况下选用混凝土空气砌块砌筑墙体、选用聚苯乙烯或玻璃棉等作为保温材料。第五，强化蓄热能力是使用混凝土、砖石等具备一定蓄热能力的材料作为外墙主体材料，在昼间蓄存部分热量、夜间持续释放热量。在建筑墙体热工性能要求较高情况下，设

计师可以选择在墙体两侧额外铺贴一层红杉木板条，进一步增强墙体蓄热能力^[3]。

2. 外窗设计

外窗是建筑围护结构的节能薄弱环节，早期建筑中的外窗能耗损失占比普遍在2/5甚至1/2，因外窗保温隔热与气密性较差，明显增加了建筑总体运行能耗与空调冷热负荷量。对此，需要从外窗玻璃、窗框、暖边间隔条、安装方式四方面着手进行节能设计。第一，在外窗玻璃节能方面，应选取双层真空玻璃或是光伏玻璃，双层真空玻璃通过内设空气夹层来减小传热系数，阻隔室内外热交换，光伏玻璃则在日照充足条件下持续将太阳能辐射能量转换为电能，进而起到替代一部分外部常规能源的节能作用。第二，在窗框节能方面，设计师根据工程实际情况来计算冬季最大窗框比和夏季最小窗框比，在其基础上确定外窗窗框比值，并选用具备良好保温隔热性能的窗框材料，如选择聚氨酯隔热铝型材窗框。第三，在暖边间隔条节能方面，早期建筑工程中主要使用不锈钢材质的暖边间隔条，这类材料导热系数为15W/(m·K)，削弱了外窗整体保温隔热性能，因而需要更换暖边间隔条材质，如选用导热系数仅为0.17 W/(m·k)的热熔聚丁烯胶。第四，在安装方式节能方面，由半外挂式或是内嵌式安装方式来取代旧有的外挂式安装方式，如果建筑外窗数量较少，则外窗安装方式并不会对建筑总体能耗水平造成明显影响，可以不对安装方式进行调整^[4]。

3. 屋面设计

现阶段，屋面节能主流方法以蓄水屋面、绿化屋面为主，这两类屋面都具备优异的保温隔热性能，有利于调节室内温度，取得冬暖夏凉效果。其中，蓄水屋面是在防水层上蓄存高度在0.5m左右的水，以水体作为一种蓄热材料，在高温天气下蓄存过多热量，在低温天气下持续向室内空间释放热量。绿化屋面则是在构造层上方铺设种植土层，在土层中栽植花灌木植物、铺设草坪或是栽植小乔木，凭借种植土层与植物枝叶来增强屋面热工性能与取得一定遮阳效果，还可以为使用者营造休闲区域。

（三）建筑自然通风采光

首先，在建筑自然通风设计环节，设计师可采取风压差诱导通风、热压差诱导通风两种方式。风压差诱导通风是在建筑迎风面预留进风口，在背风面预留排风口，在室内外风压差作用下，引导室外新鲜空气通过进风口进入室内空间，推动室内浑浊空气从排风口排至室外，从而形成穿堂风，起到改善室内空气品质、调节室内温度等多重作用。热压差诱导通风是在建筑屋顶等部位开设通风口，室内底部空气温度略低于上部空气，在温度作用下带动室内空气向上流动、形成烟囱效应，此项方法适用于当地环境风力条件较差、周边密集分布建筑物的建筑工程^[5]。

其次，在建筑自然采光设计环节，设计师在建筑向

阳面开设若干采光窗，在建筑屋顶部位开设采光天窗，或是在建筑平面中心部位预留中庭空间，通过垂直采光窗和采光天窗将室外自然光引入到室内空间当中，在昼间替代人工照明系统，始终维持较高水准的环境照度，并在采光窗外侧设置反光板，以此来解决眩光问题，将自然光线投射到建筑房间深处。同时，为增加自然采光范围，可以应用到导光管采光技术，在屋顶部位放置采光装置，穿过屋顶构造来敷设导光管，在室内吊顶处放置漫射器，由采光装置持续收集屋顶自然光，将自然光以折射方式在导光管内传输，最终通过漫射器射入室内。

（四）相变储热

相变储热是通过使用相变储热材料来临时蓄存能量的技术手段，在特定条件下于材料中存储热能，并由材料保持合理速度持续向周边环境释放热能。从建筑节能角度来看，应用相变储热技术的初衷目的在于，解决太阳能等自然可再生能源无法全天候连续供应的难题，通过相变储热材料，在昼间吸收多余太阳能热量，在夜间持续向室内散发热量，起到能源调控、分配作用。

相变储热技术主要分为化学反应储能、潜热储能与显热储能三种形式。第一，化学反应储能是凭借可逆化学反应实现储热目的，有着储能密度高、可长期储存热量的优点，但造价成本较为高昂，仅在少数高规格被动式建筑工程中采取这一形式。第二，潜热储能是控制材料反复切换凝固/融化、凝华/升华等状态，在相变过程中持续吸收或是放出热能，此项方式有着储能密度较高、放热温度稳定的优势，可以搭配应用太阳能集热技术，但有着储热介质易老化的局限性，需要在后续频繁更换介质材料。第三，显热储能是准备陶瓷粒、水等材料作为储热介质，介质接触太阳光来吸收热量、提高介质温度，并在环境温度降低后持续向外释放热量，有着原理简单、成本低廉的优势，但可储存热量较少，适用于小型被动式建筑^[6]。

建筑墙体、屋顶等部位适用的相变储热材料有所不同，还需要对构造形式进行优化调节来增强效果，要求设计师根据工程实际情况来选择恰当材料。例如，在建筑墙体部位，选用硬脂酸丁酯作为相变储热材料，将材料掺入墙板当中，改造后的墙板与标准石膏板的物理机械性能基本一致，但储热容量是后者的10倍以上。同时，也可选择把相变储热材料通过微胶囊法进行封装处理，再将材料集成到围护结构支撑材料当中，如在石膏板表面铺设一层微胶囊石蜡，起到降低室内最高温度、缩短室内高温持续时间的作用。而在建筑地板部位，在室内铺设含有石蜡混合物的相变瓷砖，将地板瓷砖视为一种储热层，起到被动吸收太阳能辐射、调节室内温度的作用，在室内温度较高时吸收多余热量，在室内温度较低时释放热量。

（五）对流供暖

为减少建筑暖通系统实际运行能耗，在寒冷冬季始

终维持恒定室内温度。设计师需要应用到对流供暖技术，在楼地板构造层中设置混凝土芯层、新风夹层，在混凝土层中铺设盘管，始终在盘管内流通温度在35℃-60℃区间的温水，通过混凝土层毛细管持续向外释放热量，加热新风夹层内部空气，新风在室内流动期间把热量带动各处房间，实现供暖目的。相比与传统供暖方式而言，对流供暖系统有着实际供暖范围大、热量流动速度快、热量利用率高的优势，可以搭配应用太阳能集热技术，由集热器收集太阳光辐射能量来加热水体。

（六）建筑遮阳

在炎热夏季，室外自然光持续透过玻璃窗射入室内，同步携带辐射热量进入室内空间，导致室内温度提高，需要长时间启动建筑空调冷却系统来维持室内恒温状态，因此增加额外运行能耗，室内空调冷负荷量也随之增加。为解决这一问题，需要应用到建筑遮阳技术，通过物理形式来阻隔太阳光与热量进入室内空间，设计师可采取活动遮阳和固定遮阳两种方法。其中，活动遮阳是在外窗两侧设置遮阳卷帘等遮阳装置，具备调整遮阳范围的条件，根据室内采光需求和室外日照条件与温度来调节遮阳角度，可以在室外温度较高时完全开启遮阳装置，也可以在室内环境昏暗时完全关闭遮阳装置。而固定遮阳则是在建筑外侧修建飘出阳台，以及在建筑周边区域栽植高大乔木，由树木枝叶与阳台阴影起到遮阳作用。此外，为解决遮阳与采光功能相互冲突的问题，设计师可以在外窗处安装金属镀膜玻璃，由玻璃引导室外自然光射入室内空间，并拦截自然光中携带的辐射热量。

三、结语

综上所述，被动式建筑是现代建筑工程的必然发展趋势，也是推动我国建筑业健康稳步发展的关键。建筑企业与设计人员都应认识到被动式建筑的价值，选择科学有效的设计技术策略，为被动式建筑的实现提供设计、技术层面的有力支持。

参考文献

- [1] 蔡银兰. 住宅建筑被动式节能设计[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(4): 208-209, 213.
- [2] 勾春娇. 被动式建筑节能设计技术措施探讨[J]. 门窗, 2014(12): 24.
- [3] 康智强, 于中源, 夏晓东, 杨宜儒, 李继成. 被动式建筑外窗节能技术的研究现状[J]. 节能, 2021, 40(06): 15-16.
- [4] 周辉, 董宏. 瑞典被动式建筑节能技术措施及启示[J]. 建设科技, 2013(09): 37-40.
- [5] 孙婉纯, 冯锦新, 张正国, 方晓明. 相变储热技术用于被动式建筑节能的研究进展[J]. 化工进展, 2020, 39(05): 1824-1834.
- [6] 郭彦, 李森林, 张方超. 高等职业院校被动式建筑节能设计策略[J]. 建筑与文化, 2018(04): 223-224.