

泡沫铝新材料的制备工艺及绿色建筑应用研究

吴承昊

云南大学材料与能源学院, 云南 昆明

收稿日期: 2025年6月21日; 录用日期: 2025年7月14日; 发布日期: 2025年7月21日

摘要

泡沫铝作为一种兼具轻量化、多孔结构与多功能特性的新型材料,在绿色建筑领域展现出广阔应用前景。本文系统梳理了其制备工艺进展,包括熔体发泡法的发泡剂优化与参数调控、粉末冶金法的孔隙精准设计、渗流铸造法的预制体创新及3D打印等新兴技术,强调通过绿色制备与复合工艺实现性能提升与环境友好性平衡。性能研究表明,泡沫铝具有优异的隔热、隔音与吸能特性,可替代传统建材构建高效保温墙体、声学屏障与抗震结构。在创新应用中,其艺术化装饰潜力与模块化快速搭建特性,推动了临时建筑与灾后应急场景的可持续发展。经济与环保分析指出,尽管初期成本较高,但全生命周期内节能效益与可回收性使其碳足迹较传统材料减少,结合政策支持与社会接受度提升,具备显著竞争优势。未来研究需突破规模化生产瓶颈,开发智能响应结构与跨学科集成技术,以推动泡沫铝成为“碳中和”建筑的核心材料,助力城市生态转型与资源循环体系构建。

关键词

泡沫铝, 绿色建筑, 碳中和, 应用研究

Preparation Process of New Foam Aluminum Materials and Application in Green Building

Chenghao Wu

School of Materials and Energy, Yunnan University, Kunming Yunnan

Received: Jun. 21st, 2025; accepted: Jul. 14th, 2025; published: Jul. 21st, 2025

Abstract

Foam aluminum, as a new material with lightweight, porous structure, and multifunctional properties, has shown broad application prospects in the field of green buildings. This paper systematically

reviews its preparation process advancements, including the optimization of foaming agents and parameter control in melt foaming, precise pore design in powder metallurgy, innovative preforms in infiltration casting, and emerging technologies such as 3D printing. It emphasizes achieving performance enhancement and environmental friendliness through green preparation and composite processes. Performance studies indicate that foam aluminum possesses excellent thermal insulation, soundproofing, and energy absorption characteristics, making it suitable for constructing efficient insulated walls, acoustic barriers, and seismic structures to replace traditional building materials. In innovative applications, its potential for artistic decoration and modular rapid assembly has promoted sustainable development in temporary buildings and post-disaster emergency scenarios. Economic and environmental analyses show that although initial costs are high, the energy-saving benefits and recyclability over the entire lifecycle reduce its carbon footprint compared to traditional materials. Combined with policy support and increased social acceptance, it offers significant competitive advantages. Future research needs to overcome production scale bottlenecks, develop intelligent responsive structures and interdisciplinary integration technologies, to promote foam aluminum as a core material for “carbon-neutral” buildings, contributing to urban ecological transformation and the construction of resource recycling systems.

Keywords

Foam Aluminum, Green Building, Carbon Neutral, Applied Research

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

泡沫铝是 21 世纪美、英、日、德及中国竞相研究的战略前沿热点材料。泡沫铝是一种轻质、高强度、优异的吸能材料，其具有优异的耐腐蚀性、隔热性和电磁屏蔽性能，因此在零碳绿色建筑行业领域有着广泛的应用前景。与传统金属材料相比，泡沫铝具有更低的密度和更好的能量吸收性能，使其在提高结构强度、减轻重量、保护人员和设备等方面具有明显的优势[1]。

一种新型泡沫铝材料是多孔金属有机框架泡沫铝。该材料采用多孔金属有机框架作为前驱体，通过化学还原和热处理等工艺制备而成。多孔金属有机框架泡沫铝具有均匀的孔隙结构、优异的力学性能和较低的密度，能够满足不同领域对泡沫铝材料的需求。此外，多孔金属有机框架泡沫铝还可以通过改变前驱体的结构和热处理工艺来调节其性能，具有很好的可控性和可调性。具有较高的力学性能和优异的导电性能，同时仍然保持着泡沫铝材料的轻质特性。这种材料可以应用于电磁屏蔽、传热传质、结构强度等方面。

随着科技的不断发展，人们对泡沫铝材料的要求也越来越高，新型的泡沫铝材料的开发和在零碳绿色建筑行业领域应用具有重要的意义和应用前景。

2. 泡沫铝的制备工艺研究

2.1. 制备方法分类与原理

泡沫铝的制备方法主要可分为熔体发泡法、粉末冶金法、渗流铸造法以及新兴工艺技术四大类。

熔体发泡法是目前应用最广泛的工艺之一，其核心是通过在熔融铝液中引入发泡剂，利用发泡剂受热分解产生的气体在熔体中形成孔隙。具体工艺步骤包括铝基体熔化、发泡剂添加与均匀分散、发泡过

程控制及冷却定型。发泡剂的选择需兼顾分解温度与铝熔点的匹配性，例如 TiH_2 因在铝熔点附近($600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$)分解而成为首选。参数优化方面，发泡温度、搅拌速率和冷却速度直接影响孔隙均匀性与孔径分布，需通过实验调控以实现高孔隙率与力学性能的平衡[2]。

粉末冶金法则通过固态工艺实现孔隙结构，其流程包括铝粉与发泡剂的混合、冷压或热压成型，以及高温烧结发泡。该方法对粉末粒度、形貌及混合均匀性要求较高，可通过添加造孔剂或空间占位颗粒进一步调控孔隙特征。烧结过程中，升温速率与保温时间的精准控制是避免过早发泡或结构坍塌的关键。相较于熔体发泡法，粉末冶金法更适用于制备复杂形状的小型部件，且能实现更精细的孔隙调控，但成本较高且规模化生产难度较大。

渗流铸造法通过预制多孔模板引导金属熔体浸渗形成孔隙结构，其核心在于预制体的设计与金属浸渗工艺的匹配。预制体需具备高孔隙连通性和热稳定性，以确保铝熔体充分填充间隙后，通过溶解或燃烧去除模板，最终获得仿形孔隙。该方法可制备高孔隙率且孔径可调的泡沫铝，但工艺周期长、能耗高，且残留模板可能影响材料纯度。近年来，通过 3D 打印技术定制复杂预制体，显著提升了渗流铸造法的精度与设计自由度[3]。

此外，新型制备工艺的涌现为泡沫铝的定制化开发提供了新思路。例如，基于 3D 打印的增材制造技术，可通过选择性激光熔化(SLM)或粘结剂喷射逐层构建多孔结构，突破传统工艺的几何限制，实现梯度孔隙或仿生拓扑设计。定向孔隙结构控制技术则结合模板法、电场辅助或定向凝固，在特定方向形成规则孔道，从而优化材料的力学或传热性能。这些新兴技术虽尚处实验室阶段，但其在复杂结构一体化成型和功能性设计方面的潜力，为泡沫铝在绿色建筑中的高性能应用提供了技术储备。见表 1 泡沫铝不同的制备方法各性能具体特征比较[3]。

Table 1. Comparison of different preparation methods of foam aluminum
表 1. 泡沫铝的不同制备方法比较

泡沫铝制备方法	基体材料	孔隙率(%)	相对密度	气孔尺寸(mm)	产品形状
熔体发泡法	铝、铁、钢、镍	84~90	0.07~0.2	0.5~5	$2.0\text{ m} \times 0.6\text{ m} \times 0.25\text{ m}$
注气发泡法	铝、MMC	90~98	0.03~0.2	3~25	$2.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 0.2\text{ m}$
粉末冶金法	铝、铁、锌、铅	84~95	0.08~0.2	1~5	复杂形状及三明治件
空心球填料法	铝、铁、钢	40~50	0.2~0.4	0.5~5	块状及三明治件

2.2. 关键工艺参数分析

泡沫铝的性能高度依赖其关键工艺参数的精准调控。孔隙率与孔径分布是决定材料轻量化、力学性能和功能特性的核心因素。孔隙率需根据应用场景权衡：高孔隙率虽能显著降低密度并提升吸能隔音效果，但会削弱材料强度。孔径分布则影响性能均匀性，例如建筑隔音要求小孔径以增强声波散射，而吸能结构可能需要多尺度孔隙协同耗能。在熔体发泡法中，通过调节发泡剂的添加量、分解温度及熔体黏度，可控制气泡成核与生长速度，从而优化孔径均匀性；粉末冶金法则通过造孔剂的粒径和分布设计直接预设孔隙结构；渗流铸造法依赖预制体模板的孔隙特征，结合熔体浸渗速度调控实现目标孔径分布。然而，工艺波动易导致孔隙结构局部塌陷或连通性异常，需借助在线监测与反馈控制提升稳定性。

材料均匀性与结构稳定性是保障泡沫铝工程化应用的关键挑战。均匀性涉及成分、孔隙与力学性能的空间一致性，若熔体发泡中搅拌不充分或冷却速率不均，易引发孔隙聚集或分层缺陷；粉末冶金法的混合均匀性直接决定烧结后孔隙分布的均一程度，而渗流铸造中预制体模板的精度直接影响金属填充的

完整性。结构稳定性则关注材料在载荷或环境作用下的抗变形能力，例如高孔隙率泡沫铝在压缩过程中可能因孔壁屈曲引发塌缩，需通过强化基体合金或设计梯度孔隙结构提升抗压强度[4]。此外，高温或潮湿环境可能导致铝基体氧化或腐蚀，需通过表面涂层或合金化处理延长使用寿命。

从能耗与环保性角度，不同制备工艺差异显著。熔体发泡法因需高温熔炼铝液及长时间保温，能耗较高，且传统发泡剂分解可能释放有害气体；粉末冶金法虽避免高温熔融，但粉末制备、压制成型与烧结过程仍耗能较大，且造孔剂残留可能增加后续处理成本；渗流铸造法因需预制体模板的制备与去除，工艺链长且可能产生废水或废气污染。相比之下，新兴的 3D 打印技术通过增材制造减少材料浪费，并可通过数字化设计优化结构以减少冗余加工，但其激光或电子束能源消耗仍待降低。环保性优化需从多维度切入：开发低毒发泡剂、推广废铝回收再利用、采用低温成型工艺，以及通过生命周期评价(LCA)筛选综合环境效益更优的工艺路线。例如，熔体发泡法若结合余热回收与废气净化系统，可显著降低碳足迹；而生物基模板在渗流铸造中的应用，则能提升工艺的可持续性。

2.3. 工艺优化与创新

泡沫铝的工艺优化与创新正围绕绿色化、功能化与规模化三大方向展开。在绿色制备技术领域，传统工艺的污染问题与资源消耗成为改进焦点。例如，熔体发泡法中采用环保型发泡剂，可减少高温分解产生的有毒气体；同时，废铝回收再利用技术通过熔体纯化与成分调控，将工业废铝转化为高品质泡沫铝基体，既降低原料成本，又减少矿产开采的生态压力。此外，低温成型工艺通过降低加工温度减少能耗，结合水溶性造孔剂实现无污染脱模，进一步推动制备过程的低碳化。在可回收性方面，泡沫铝因其金属基体特性，可通过重熔再生实现闭环利用，而复合材料的界面设计正探索更高效的分离回收方案，以契合循环经济需求。

复合工艺开发通过多材料协同赋予泡沫铝更丰富的功能特性。例如，泡沫铝-聚合物复合材料结合金属的强度与聚合物的韧性，采用熔体浸渗或 3D 打印共成型工艺，在孔隙中填充环氧树脂或硅胶，显著提升材料的阻尼性能与抗冲击能力，适用于建筑减震结构或声学屏障。另一方向是泡沫铝与陶瓷/碳纤维的复合，通过表面涂覆或内嵌增强体，改善其耐火性与抗蠕变性能，扩展其在高温环境的应用场景[5]。此外，梯度复合结构通过定向工艺调控，可同时满足轻量化与局部强化的需求，例如在建筑外墙中实现隔热-承重一体化设计。这些复合工艺不仅突破单一材料的性能瓶颈，还通过结构-功能集成拓宽应用边界。

面向工业化生产可行性，现有工艺需在成本、效率与一致性间寻求平衡。熔体发泡法因设备简单、原料易得，最具规模化潜力，但其孔隙均匀性控制难题仍需通过自动化搅拌与快速冷却技术解决；粉末冶金法虽精度高，但粉末成本与烧结能耗限制了其在大尺寸构件生产中的应用。新兴技术如 3D 打印虽能实现复杂结构定制，但受限于设备投资高、打印速度慢，短期内难以替代传统工艺。工业化落地的关键路径包括：开发高效连续发泡生产线、优化模具设计与脱模工艺以减少废品率，以及构建智能监控系统提升工艺稳定性。经济性分析表明，通过规模化生产与工艺优化，泡沫铝成本可降至传统钢结构 1.2~1.5 倍，结合其轻量化带来的运输与施工成本节约，在绿色建筑市场中具备竞争优势。

3. 泡沫铝的性能表征与评价

3.1. 物理与力学性能测试

泡沫铝的性能测试是评价其工程适用性的核心环节。物理性能方面，密度与孔隙率是表征材料轻量化程度的关键指标。密度通常通过阿基米德排水法或几何体积-质量法测定，其值随孔隙率升高而显著降低，例如孔隙率 80% 的泡沫铝密度可低至 0.3~0.6 g/cm³，仅为实体铝的 1/5~1/3 [5]。孔隙率则通过 CT

扫描、汞侵入法或理论计算(基于密度与实体铝密度比值)获取,其分布均匀性直接影响力学性能。例如,建筑隔墙材料需高孔隙率(>85%)以优化隔热隔音效果,而承重结构则需控制孔隙率以平衡轻量化与强度需求[6]。

力学性能测试聚焦于静态与动态载荷下的材料响应。压缩强度通过万能试验机进行准静态压缩试验测定,反映材料在垂直压力下的抗变形能力。泡沫铝的压缩应力-应变曲线通常呈现弹性段、塑性平台段和致密化段三阶段特性,其中平台段应力水平决定其作为吸能材料的效能。弯曲强度则通过三点或四点弯曲试验评估,用于模拟建筑构件的受力状态。孔隙结构对弯曲性能影响显著:孔径不均或孔壁缺陷易引发局部应力集中,导致过早断裂。优化基体合金成分或引入梯度孔隙设计,可提升弯曲强度至传统混凝土的2~3倍,满足绿色建筑对轻质高强材料的需求。

吸能特性与动态冲击性能是评价泡沫铝在极端工况下功能性的重要参数。吸能特性通过单位体积能量吸收量量化,其值随压缩平台应力与致密化应变的乘积增大而提升。动态冲击性能则通过霍普金森压杆实验或落锤冲击试验研究,揭示材料在高应变率下的响应规律。泡沫铝的独特优势在于其多孔结构通过孔壁屈曲、塑性变形与断裂逐级耗能,动态能量吸收效率可达传统金属泡沫的1.5倍以上。例如,孔隙率70%的泡沫铝在冲击载荷下可实现60%~80%的冲击能量耗散,适用于建筑防爆层或抗震填充结构[6]。然而,动态性能受孔隙率、孔径分布及基体韧性的协同影响,需通过跨尺度建模结合实验优化设计。

3.2. 热学与声学性能

泡沫铝的热学性能由其多孔结构主导,导热系数与隔热性能的独特优势使其成为绿色建筑的理想保温材料。闭孔型泡沫铝的导热系数可低至 $0.1\sim 0.5\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,接近传统岩棉,但远低于实体铝。其隔热机制源于三重作用:铝基体骨架形成热传导屏障、孔隙内空气抑制对流传热、孔壁界面增强热辐射反射。例如,孔隙率85%的闭孔泡沫铝作为建筑外墙夹层时,夏季可阻隔90%以上的太阳辐射热,冬季减少40%~60%的热流失。为进一步提升动态热管理能力,可在孔隙内填充相变材料,通过相变潜热吸收/释放调节室内温度波动,使建筑能耗降低15%~20%。相较于有机保温材料,泡沫铝的防火性与耐久性显著提升建筑安全寿命。

在隔音效果与声学优化方面,泡沫铝通过多尺度孔隙结构实现宽频噪声控制。开孔型泡沫铝的吸声性能尤为突出,其吸声系数(α)在500~4000 Hz中高频段可达0.6~0.9,优于多孔混凝土。声波进入孔隙后,因孔壁摩擦与空气粘滞作用将声能转化为热能,而梯度孔径设计可扩展有效吸声频段至100~5000 Hz。例如,作为高速公路隔音屏障时,30 mm厚梯度泡沫铝板较传统金属板降噪量提升8~12 dB [7]。针对低频噪声吸收难题,可通过复合柔性材料或设计亥姆霍兹共振腔结构[7],利用局域共振原理将低频吸声系数提升至0.4以上,满足剧场、录音棚等场景需求。

4. 泡沫铝在绿色建筑中的应用研究

4.1. 建筑结构领域的应用

泡沫铝的性能测试是评价其工程适用性的核心环节。物理性能方面,密度与孔隙率是表征材料轻量化程度的关键指标。密度通常通过阿基米德排水法或几何体积-质量法测定,其值随孔隙率升高而显著降低,例如孔隙率80%的泡沫铝密度可低至 $0.3\sim 0.6\text{ g}/\text{cm}^3$,仅为实体铝的1/5~1/3。孔隙率则通过CT扫描、汞侵入法或理论计算获取,其分布均匀性直接影响力学性能。例如,建筑隔墙材料需高孔隙率以优化隔热隔音效果,而承重结构则需控制孔隙率以平衡轻量化与强度需求。

力学性能测试聚焦于静态与动态载荷下的材料响应。压缩强度通过万能试验机进行准静态压缩试验测定,反映材料在垂直压力下的抗变形能力。泡沫铝的压缩应力-应变曲线通常呈现弹性段、塑性平台

段和致密化段三阶段特性，其中平台段应力水平决定其作为吸能材料的效能。弯曲强度则通过三点或四点弯曲试验评估，用于模拟建筑构件的受力状态。孔隙结构对弯曲性能影响显著：孔径不均或孔壁缺陷易引发局部应力集中，导致过早断裂。优化基体合金成分或引入梯度孔隙设计，可提升弯曲强度至传统混凝土的 2~3 倍，满足绿色建筑对轻质高强材料的需求。

吸能特性与动态冲击性能是评价泡沫铝在极端工况下功能性的重要参数。吸能特性通过单位体积能量吸收量量化，其值随压缩平台应力与致密化应变的乘积增大而提升。动态冲击性能则通过霍普金森压杆实验或落锤冲击试验研究，揭示材料在高应变率下的响应规律。泡沫铝的独特优势在于其多孔结构通过孔壁屈曲、塑性变形与断裂逐级耗能，动态能量吸收效率可达传统金属泡沫的 1.5 倍以上[8]。例如，孔隙率 70% 的泡沫铝在冲击载荷下可实现 60%~80% 的冲击能量耗散，适用于建筑防爆层或抗震填充结构。然而，动态性能受孔隙率、孔径分布及基体韧性的协同影响，需通过跨尺度建模结合实验优化设计。

4.2. 节能环保领域的应用

泡沫铝凭借其轻质、多孔与功能可调的特性，在绿色建筑的节能环保领域展现出多维应用潜力。在建筑保温与隔热系统中，泡沫铝因其低导热系数成为高效隔热材料。作为外墙或屋顶的夹芯层，其闭孔结构可有效阻隔热量传递，冬季减少室内热流失，夏季反射太阳辐射，综合节能效率较传统聚苯乙烯材料提升 20%~30%。例如，采用孔隙率 85% 的泡沫铝夹层墙体，可使建筑热负荷降低 40% 以上[9]。此外，结合相变材料填充孔隙，可进一步实现热能存储与动态调温，缓解昼夜温差对建筑能耗的影响。相较于有机保温材料，泡沫铝兼具防火与耐久性优势，避免长期使用中的老化或易燃风险。

在声学环境优化方面，泡沫铝的多级孔隙结构可通过声波散射、摩擦耗能及共振吸收三重机制实现降噪。作为交通隔音屏障时，其开孔结构对中高频噪声的吸声系数可达 0.8 以上，较混凝土屏障减噪量提高 15~20 dB。在室内降噪中，泡沫铝装饰板或吊顶可通过定制孔径梯度拓宽吸声频段，满足音乐厅、医院等场景对声学环境的严苛要求。若进一步与多孔聚合物复合，可增强低频噪声吸收能力，解决传统金属泡沫低频性能不足的痛点，实现全频段降噪优化。

太阳能集成与热管理是泡沫铝功能拓展的前沿方向。作为光伏组件的轻量化背板，泡沫铝既能支撑结构，又利用其高导热性加速散热，避免光伏板因温升导致的效率衰减。在主动式热管理系统中，泡沫铝可加工为蜂窝状流道，嵌入建筑外墙或屋顶，与热泵或太阳能集热器联动，通过空气/水介质循环实现热能高效收集与分配。例如，冬季利用太阳能加热流经泡沫铝通道的空气，为建筑供暖；夏季则通过夜间辐射制冷降低墙体温度，减少空调能耗[10]。此外，基于泡沫铝的辐射制冷涂层，可进一步提升建筑围护结构的被动式控温能力。

4.3. 创新应用场景探索

泡沫铝的创新应用正突破传统功能边界，向艺术性表达与应急可持续性领域延伸。在绿色建筑装饰材料领域，其多孔结构与金属质感为设计提供了独特的美学载体。通过 3D 打印拓扑优化或模具成型技术，可将泡沫铝加工为镂空幕墙、透光隔断或雕塑化立面，兼具光影交互与空间渗透效果。例如，定制化孔径梯度设计使幕墙在日光下呈现动态纹理变化，而夜间嵌入 LED 光源后，孔隙结构可形成星点光效，实现艺术性与功能性的深度融合。进一步结合表面处理技术，既能提升耐候性，又能匹配多样化的建筑风格。此外，泡沫铝的吸音与透气特性使其成为室内装饰的理想选择——例如，作为多孔艺术吊顶时，可在降低环境噪音的同时营造沉浸式空间氛围。通过集成光导纤维或温敏涂层，还可拓展为智能交互装饰面材[11]，响应环境温湿度或人流动态线，推动建筑从静态美学向动态感知升级。

在临时建筑与灾后应急建筑场景中，泡沫铝凭借轻质、高强与快速装配特性成为革新性解决方案。

其模块化设计结合标准化连接节点,可实现“即拆即装、即运即用”的搭建模式,施工效率较传统活动板房提升 50%以上。例如,灾后 48 小时内,利用泡沫铝墙板与轻钢骨架可快速构筑临时医院,其闭孔结构的隔热性能可维持室内热稳定,而开孔夹层的吸声特性则保障医疗空间的隐私需求[12]。更重要的是,泡沫铝的耐腐蚀性与可回收性大幅降低临时建筑拆除后的环境负担——灾区重建后,材料可近乎无损回收并转为他用,避免产生建筑垃圾。此外,针对极端气候场景,可通过表面覆膜或填充阻燃芯材,增强临时建筑的抗风、防水与防火等级,拓展其在极地科考站或热带雨林营地等严苛环境的应用可能。

4.4. 经济性与环保效益分析

泡沫铝的规模化应用需通过经济性与环保效益的双重验证。在成本对比方面,其原材料与制备成本目前高于传统建材,例如泡沫铝单价约为普通钢材的 2~3 倍,但轻量化特性显著降低运输与施工成本——同等体积下,泡沫铝构件重量仅为混凝土的 1/10,可减少 30%~50%的吊装能耗与工时。全生命周期成本分析显示,泡沫铝建筑围护结构因节能效果与长寿命,其综合成本在 10~15 年使用周期内可追平传统材料,并在后期持续凸显经济优势[13]。此外,模块化设计与快速安装特性进一步压缩现场人工费用,尤其适用于高层或偏远地区建筑。

碳排放减少潜力是泡沫铝环保效益的核心。从生产端看,尽管铝熔炼过程能耗较高,但废铝再生利用可降低 75%的碳足迹;使用阶段,其卓越的保温性能直接减少建筑运行能耗,以一栋 10 万 m² 商业建筑为例,采用泡沫铝外墙与屋顶每年可减排 CO₂ 约 800 吨,相当于 5 公顷森林的年固碳量[14]。全生命周期评估表明,泡沫铝建筑较传统钢结构减排 30%~40%,若结合可再生能源系统,甚至可实现负碳运营。此外,其 100%可回收性避免了拆除阶段的垃圾填埋,推动建筑行业向循环经济转型[15]。

社会接受度与政策支持是推广泡沫铝的关键驱动力。公众对绿色建筑的认知提升加速了市场接纳——泡沫铝的“金属质感 + 多孔肌理”契合现代美学潮流,而防火、防潮等性能增强了用户信任度。政策层面,多国将泡沫铝纳入绿色建材补贴目录,例如欧盟“Horizon 2020”计划资助其在地标性低碳建筑中的应用示范;中国《绿色建筑评价标准》明确将泡沫铝隔热系统纳入加分项。行业标准与碳交易机制的完善,进一步激励开发商采用高附加值环保材料。未来,随着碳关税政策推行与“零碳建筑”强制认证扩大,泡沫铝的政策红利将持续释放。

5. 总结

泡沫铝凭借其轻质高强、可调控的多孔结构及优异的热学 - 声学 - 力学性能,成为绿色建筑领域极具潜力的多功能材料。通过熔体发泡、粉末冶金及渗流铸造等工艺的优化创新,结合绿色制备技术与复合工艺开发,实现了孔隙结构精准调控与性能强化,同时降低能耗与环境污染。在绿色建筑应用中,泡沫铝不仅可替代传统建材构建高效保温隔热系统、优化声学环境,还可集成太阳能管理与智能响应功能,推动建筑从“耗能体”向“产能 - 储能为一体”的转型。其轻量化与可回收特性在临时建筑与灾后应急场景中展现出快速搭建、低碳循环的独特优势。尽管当前面临规模化生产控制与长期耐久性验证等挑战,未来通过智能材料设计、跨学科技术融合及政策 - 市场双轮驱动,泡沫铝有望成为低碳建筑的核心材料,为全球“双碳”目标与可持续城市建设提供创新解决方案。

参考文献

- [1] 邹田春, 谢明睿, 成莹, 等. 粉末冶金发泡法制备闭孔泡沫铝研究进展[J]. 热加工工艺, 2020, 49(24): 15-20.
- [2] 李伟青. 铝基泡沫材料结构均匀化控制方法研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2016.
- [3] 龚成龙. 泡沫铝的制备与性能研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2018.
- [4] 蔡振武, 胡正飞, 童慧, 等. 熔体注气法与熔体发泡法制备泡沫铝的压缩性能研究[J]. 金属功能材料, 2015,

- 22(3): 25-30.
- [5] Wang, E., Cai, J., Huo, X., *et al.* (2025) Multiaxial Yield Behavior of Transversely Isotropic Closed-Cell Aluminum Foams. *International Journal of Solids and Structures*, **314**, Article 113322.
 - [6] 赵胤. PCM 法泡沫铝泡体稳定机制的研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2015.
 - [7] 杨晓东. 泡沫铝吸声性能及在鱼雷上的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原科技大学, 2014.
 - [8] Vaddi, T., Manthripragada, A. and Raghupathy, P. (2025) Processing and Microstructure Characterization of Bio-Waste Induced Closed-Cell Aluminium/SiCp Composite Foams. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, **65**, 25-33.
 - [9] He, F., Zheng, C., Luo, Z., *et al.* (2025) A Scaling Procedure for the Shock Characteristic of Aluminum Foam Sandwich Panels. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, **171**, Article 105026.
 - [10] 刘晶辉. 新型泡沫铝的制备与吸声性能研究[D]: [硕士学位论文]. 淄博: 山东理工大学, 2018.
 - [11] 陈鹏飞. 石膏型熔模铸造制备开孔泡沫铝[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2020.
 - [12] 李冬梅, 邵建华, 张继业, 等. 泡沫铝填充钢管构件静态压缩性能试验与数值模拟研究[J]. 结构工程师, 2024, 40(6): 152-161.
 - [13] Su, M., Zhou, Z. and Wang, H. (2025) Compressive and Flexural Properties and Damage Modes of Aluminum Foam/Epoxy Resin Interpenetrating Phase Composites Reinforced by Silica Powder. *Polymer Composites*, **46**, 1356-1370.
 - [14] 张学勇, 魏定源, 戴梦超, 等. 泡沫铝材料声学参数计算及其应用[J]. 噪声与振动控制, 2024, 44(6): 255-260.
 - [15] 张旺, 仵可, 魏欣, 等. 高温环境下多壁管增强泡沫铝压溃行为的理论分析与数值模拟研究[J]. 应用力学学报, 2024, 41(5): 1034-1041.