

新型泡沫混凝土研究与应用综述

王会涛

河北工程大学土木工程学院，邯郸，056038；

摘要：泡沫混凝土作为一种轻质保温材料，因其优异的保温隔热性能，在国内外的应用与发展日益广泛。本文首先介绍了用于制作泡沫混凝土的发泡剂种类及其分类，深入探讨了泡沫混凝土的制备原理与生产工艺。同时，本文还系统梳理了国内外在泡沫混凝土领域的研究现状及其在不同领域的应用情况。在此基础上，对泡沫混凝土的发展历程进行了总结，并对其未来的发展前景进行了展望。

关键词：泡沫混凝土；保温；发泡剂；生产工艺；应用

Review of Research and Development and Application of New Foamed Concrete

Wang Huitao

College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, 056038;

Abstract: As a lightweight insulating material, foam concrete is increasingly being used and developed worldwide due to its excellent thermal insulation properties. This paper first introduces the types and classifications of foaming agents used in the production of foam concrete and delves into the principles of its preparation and manufacturing processes. Additionally, the paper systematically reviews the current research on foam concrete both domestically and internationally, as well as its applications in various fields. Based on this, the paper summarizes the development trajectory of foam concrete and provides an outlook on its future.

Keywords: Foam Concrete; Thermal Insulation; Foaming Agent; Production Process; Application

DOI: 10.69979/3029-2700.25.02.097

引言

随着全球经济的迅猛发展，人们在满足基本生活需求的同时，对节能环保的重视程度日益提高，更加关注能源的可持续利用^[1]。能源短缺和浪费问题已成为全球性焦点，建筑领域的能耗占据了全球总能耗的半数以上。冬季是能源消耗的高峰期，取暖方式如暖气、空调和煤炭等的能耗呈逐年上升趋势^[2]。因此，开发新型节能环保建筑材料以降低建筑能耗，是实现节能目标的重要途径。尽管泡沫混凝土的机械性能不如普通混凝土，但其保温隔热性能优异，适用于低层住宅建筑的隔墙或轻质承重墙，兼具保温和减重功能。

泡沫混凝土的制备过程通常是先将预先生成的泡沫引入已经充分拌合的水泥基混合物中，接着持续搅拌，直到泡沫在浆体中均匀分布^[3-5]。经过混合、浇筑以及养护等一系列工艺流程所制成的轻质混凝土，其内部存在众多细小的孔隙。在建筑的非承重结构部分，依据实际需求选用不同密度级别的泡沫混凝土，可以显著减轻建筑的整体自重^[6-8]。将泡沫混凝土应用于建筑结构中，不仅能充分满足结构的性能需求，还能大幅减少材料的使

用量，进而有效控制建筑成本。

1 发泡剂

1.1 发泡剂发泡机理

发泡剂的品质是决定泡沫混凝土性能的关键因素。发泡剂因具有较高的表面活性，能够显著降低液体的表面张力。其分子结构中的双电子层排列在液膜表面，从而将空气包裹并形成气泡。

1.2 发泡剂种类

泡沫混凝土发泡剂主要有物理发泡剂和化学发泡剂两大类。

物理类发泡剂主要包括五种类型：松香类发泡剂、植物蛋白类发泡剂、动物蛋白类发泡剂、合成表面活性剂以及复合类发泡剂。

以松香为主要原料的松香类发泡剂是最早被开发并广泛应用的发泡剂种类之一。松香的化学结构为 $C_{20}H_{30}O_2$ ，其成分主要包括芳香烃、芳香醇、松香脂酸、芳香醛及其氧化产物。该类发泡剂主要分为松香皂和松香热聚物两种形式。松香皂因其成本低、生产工艺

简单、泡沫稳定性优良以及发泡倍数适中等特点被广泛使用，且能够轻松与水泥浆混合。然而，松香热聚物的使用范围受到一定限制，主要是由于其生产成本高、工艺复杂，且在生产过程中可能产生有毒副产物，这些因素制约了其大规模推广应用。

植物蛋白类发泡剂凭借其丰富的原材料来源，在众多领域得到了广泛应用。在中国，这类发泡剂的开发和应用由来已久，主要以茶皂素和皂角苷两种形式存在。

复合型发泡剂是一种将多种发泡剂的优良性能集于一体的新型材料，通过将不同组分进行复合配制而成。它有效解决了单一组分可能导致的泡沫性能缺陷，展现出显著的性能优势，优于传统的单一组分发泡剂。

化学类发泡剂通过化学反应自发产生泡沫，无需借助外部发泡设备。这一特性不仅能够显著降低生产成本，还能有效提高工作效率。

2 新拌泡沫混凝土性能

2.1 稠度

泡沫混凝土的稠度可通过浆体流动时间或扩展度试验来衡量。^[8]研究发现，当用粗粉煤灰替代砂作为填充材料时，泡沫混凝土拌合物的扩展度能够提升2.5倍；相反，若以细粉煤灰替代砂，拌合物的稠度则会下降。

^[7]这种现象主要源于细粉煤灰的需水量较大。因此，在制备掺有大量细粉煤灰的泡沫混凝土时，为确保合适的稠度，需要相应提高水固比。此外，在水固比固定的情况下，集料或填料的颗粒形状和尺寸对浆体拌合物的稠度也有显著影响。

2.2 稳定性

泡沫混凝土的稳定性指的是在特定稠度条件下，新拌浆体的实际测试密度与设计密度的比值接近于1，同时浆体中不存在离析或泌水现象。^[9-10]也就是说，体积稳定性是关键。稠度是影响泡沫混凝土稳定性的重要因素，它与泡沫用量和填料的性质密切相关。因此，需要确定一个合适的水固比，以同时满足稠度和稳定性的要求。

2.2.1 现浇屋面泡沫混凝土保温层

作为一种节能型保温材料，泡沫混凝土具有施工简便和热工性能优异的特点。其良好的吸水性和保水性也是显著优势。然而，这种材料的吸水性也可能成为其缺点。当吸水过多时，水分可能会渗透到屋面结构和防水

层中，从而引发屋面渗漏问题。^[12]

2.2.2 泡沫混凝土块材

(1) 蒸压泡沫混凝土砖在南方地区得到了广泛应用。技术人员凭借其轻质和高强度的特点，将其作为建筑框架结构填充墙的主要材料。据不完全统计，仅广东省每年使用泡沫混凝土砌块的用量就超过60万立方米。^[13]

(2) 填芯砌块。泡沫混凝土砌块因存在收缩开裂、强度不足和吸水率高等问题，目前尚未实现规范化生产和广泛应用。不过，该产品在北方地区多被用于外墙自保温体系。外墙自保温体系是我国建筑外墙保温节能的三种主要方式之一，其他两种方式分别是外墙内保温体系和外墙外保温体系。填芯砌块技术的应用能够显著提升泡沫混凝土砌块的强度，并使其保温隔热性能得到质的飞跃^[14]。

(3) 经过国内众多学者的长期钻研和不懈探索，一种独具创新性的新型复合轻质材料——陶粒砌块被成功研发。它将轻集料的增强与抗缩特性，以及泡沫混凝土的固结特性有机结合，实现了两种材料的优势互补。这种创新结合不仅优化了材料性能，还使复合产品在性能上远超单一材料，为建筑行业带来了极具价值的新选择。

2.2.2 泡沫混凝土外墙保温板

泡沫混凝土凭借其独有的材料属性，在外墙保温及防火隔离领域得到了广泛应用。这种材料以硫铝酸盐水泥为胶凝基材，摒弃了传统的物理发泡方式，展现出卓越的保温隔热效果、出色的耐久性能以及显著的防火特性。这些优势的融合，使得泡沫混凝土外墙保温板成为一种兼具多种功能的优质建筑材料。

2.3 国外泡沫混凝土的应用进展

近年来，泡沫混凝土在欧美和亚洲部分国家的应用范围持续拓展，其在建筑工程领域的应用效果备受认可。这种材料不仅能够有效加快工程进度，还能满足高质量建设的要求。学者扈士凯、李应权等人对国外泡沫混凝土的应用现状进行了深入调研，并对其应用成果进行了系统总结。

2.3.1 空洞填充工程

由于具备成本低和流动性高的优势，泡沫混凝土在国外被广泛应用于大空洞的填充工程。其应用范围涵盖大型油罐、废弃地下室、枯井、私人地窖以及废弃下水

道等场所。

2.3.2 路桥建设

在路桥建设领域，泡沫混凝土常被用于桥墩后部的填充作业，有效降低沉降风险并缓解结构侧向压力。同时，它也适用于桥拱间的空隙填充、桥面装饰层以及桥面整体浇筑等部位。

2.3.3 耐火窑炉

一些国外研究人员凭借泡沫混凝土卓越的保温隔热特性，将其引入到窑炉的建造中。例如，Nhi Tuan P ham 等人通过地质聚合物法并结合 H_2O_2 来制备泡沫混凝土，使其耐热性能达到 $1000^{\circ}C$ 。这种高性能材料不仅为窑炉提供了优异的耐火与隔热效果，还为泡沫混凝土在相关领域拓展了巨大的市场空间。

2.3.4 海上钻井平台

在海上钻井作业中，设备的振动往往会对钻井平台的结构稳定性构成威胁。为了应对这一问题，国外一些先进案例中已经开始应用泡沫混凝土技术。通过将泡沫混凝土浇筑到钻井平台的关键结构部位，能够构建起一层高效的抗冲击防护层，有效防止设备因意外坠落而引发的事故。泡沫混凝土因其自身轻质的特性以及内部丰富的气泡结构，具备出色的能量吸收和减震能力，从而能够显著抵御由设备振动带来的潜在危害。

2.3.5 房屋建筑工程

泡沫混凝土凭借其卓越的保温隔热性能，以及灵活的预制和现场浇筑施工方式，深受房屋建筑领域的青睐。其应用形式多样，涵盖了预制构件的装配化施工、屋面的现场浇筑以及墙体的现场浇筑等。当前，这一材料已经在中远东地区、南非、俄罗斯等地的房屋建筑工程中被广泛采用，尤其在屋面找坡和隔热工程中发挥了重要作用。

3 结语

随着我国经济的持续增长，生态与节能议题愈发受到国家层面的高度重视。泡沫混凝土凭借其诸多优异特性，在建筑材料领域得到广泛应用，并逐渐在保温隔热领域替代传统有机保温材料，展现出巨大的发展潜力。尽管在理论研究和实际应用中仍面临一些挑战，但通过持续深化对泡沫混凝土的理论研究，优化生产设备与工艺流程，并结合其功能优势与国内建筑节能的发展趋势，泡沫混凝土成为我国建筑领域中最具代表性的“绿色”

功能材料。

参考文献

- [1] 唐明, 徐立新, 闫振甲. 泡沫混凝土材料与工程应用 [M]. 中国建筑工业出版社, 2013: 1-5.
- [2] 刘子全, 王波, 李兆海等. 泡沫混凝土的研究开发进展 [J]. 混凝土, 2008(12): 24-26.
- [3] 蒋晓曙, 李莽. 泡沫混凝土的制备工艺及研究进展 [J]. 混凝土, 2011, 267: 142-145.
- [4] 张巨松, 扬合, 曾尤. 国内外泡沫混凝土发泡剂及发泡技术分析 [J]. 低温建筑技术, 2001, (4): 36-37.
- [5] 关博文, 刘开平, 赵秀峰. 泡沫混凝土研究及应用新进展 [J]. 墙材革新与建筑节能, 2008(2): 19-23.
- [6] 王武祥. 泡沫混凝土在隧洞回填工程中的应用研究 [A]. 中国硅酸盐学会学术年会水泥基材料论文集 (下册) [C]. 北京: 2003: 518-522.
- [7] K. Ramamurthy, E. K. KunhanandanNambiar, G. Indu SivaRanjani. A ClassificationofStudiesonPropertiesofFoamConcrete [J]. CementandConcreteResearch, 2009 (31) : 388-396.
- [8] JonesMR, McCarthyA. UtilisingUnprocessedLow-limeCoalAshinFoamedConcrete [J]. Fuel, 2005, 84: 1398-1409.
- [9] NambiarEKK, RamamurthyK. InfluenceofFillerTypeonthePropertiesofFoamConcrete [C]. Cement&ConcreteComposites, 2006, 28 (5) : 475-480.
- [10] NambiarEKK, RamamurthyK. FreshStateCharacteristicsofFoamConcrete [J]. ASCEMaterCivEng2008, 20 (2) : 111-117.
- [11] 龚士凯, 李应权, 徐洛屹, 等. 国外泡沫混凝土工程应用进展 [J]. 混凝土世界, 2010 (4) : 48-50.
- [12] 周明杰, 王娜娜, 赵晓艳, 等. 泡沫混凝土的研究和应用最新进展 [J]. 混凝土, 2009 (4) : 104-107.
- [13] 何茂勤. 泡沫混凝土的应用 [J]. 广东建材, 2009 (3) : 53-54.
- [14] 田学春, 董孟能, 陈乔. 加气混凝土在外墙自保温体系中的应用分析 [J]. 新型建筑材料, 2009 (2) : 36-39.
- [15] 李应权. 我国泡沫混凝土行业发展现状 [J]. 混凝土世界, 2010 (12) : 24-28.
- [16] 王建军, 郭伟国, 赵融, 等. 轻质泡沫混凝土吸能特性及其压溃流动应力方程 [J]. 土木建筑与环境工程, 2013 (6) : 96-102. [31] 蒋冬青. 泡沫混凝土应用新进展 [J]. 中国水泥, 2003 (3) : 46-48.