

磷尾矿制备加气混凝土的实验研究

孙媛媛, 李慧美, 王纪学, 李加强

中蓝连海设计研究院有限公司, 江苏 连云港 222004

摘要：磷尾矿是磷矿加工过程中的副产品，由于其特殊的物理和化学性质，一直被视为工业废弃物，随着对环保的日益重视和资源循环利用的需求，磷尾矿的再利用成为研究的热点。文章研究了磷尾矿制备加气混凝土的过程，旨在为磷尾矿的资源化利用提供一种新的途径。实验结果表明，磷尾矿制备的加气混凝土最终确定配合比为：水泥8%，磷尾矿63.2%，石灰26.4%，石膏2.5%，水料比为0.66，铝粉掺量为0.16%。通过适当的制备工艺，磷尾矿可以成功地用于制备加气混凝土，与传统的原材料相比，磷尾矿的利用不仅可以减少工业废弃物的排放，还可以降低生产成本，具有一定的经济效益和环保意义。

关键词：磷尾矿；加气混凝土；建筑材料

Experimental Study on Preparation of Aerated Concrete from Phosphorus Tailings

Sun Yuanyuan, Li Huimei, Wang Jixue, Li Jiaqiang

Bluestar Lehigh Engineering Institute Co., Ltd, Jiangsu, Lianyungang 222004

Abstract：Phosphorus tailings are the by-products of phosphorus ore processing, which have been regarded as industrial waste due to their special physical and chemical properties. With the increasing attention to environmental protection and the demand for resource recycling, the reuse of phosphorus tailings has become a hot spot of research. The article studied the process of preparing aerated concrete from phosphorus tailings, aiming to provide a new way for the resource utilization of phosphorus tailings. The experimental results show that the finalized mix ratio of aerated concrete prepared from phosphorus tailings is 8% cement, 63.2% phosphorus tailings, 26.4% lime, 2.5% gypsum, 0.66 water to material ratio, and 0.16% aluminum powder. Through the appropriate preparation process, phosphorus tailings can be successfully used to prepare aerated concrete, compared with traditional raw materials, the utilization of phosphorus tailings can not only reduce the emission of industrial waste, but also reduce the production cost, with certain economic benefits and environmental significance.

Key words：phosphorus tailings; aerated concrete; building materials

引言

磷尾矿是磷矿资源加工过程中产生的固体废弃物，随着全球磷矿资源的日益枯竭，磷尾矿的堆存不仅占用大量土地，还可能对环境造成污染，如何有效利用磷尾矿，实现资源的再生利用，已成为一个亟待解决的问题。随着建筑行业的快速发展，对新型、绿色、环保的建筑材料的需求也在不断增长，加气混凝土作为一种轻质、保温、隔音、防火性能优良的建筑材料，受到了广泛关注^[1-3]。基于此背景，本研究旨在探索磷尾矿制备加气混凝土的可能性，以期实现磷尾矿的高附加值利用，并推动建筑材料的绿色化发展，该研究不仅有助于解决磷尾矿的堆存问题，降低其对环境的影响，同时也为建筑行业提供了一种新型、环保的建筑材料，促进了行业的可持续发展。

一、磷尾矿制备加气混凝土的研究现状

（一）磷尾矿的来源与特性

磷尾矿是磷矿选矿过程中产生的废弃物，主要来源于磷矿石的加工，其特性主要包括高含量的硅、铝、钙等元素，以及较低的放射性和重金属含量，这些特性使得磷尾矿具有较大的应用潜力^[4]。

（二）加气混凝土的基本原理与技术

加气混凝土是一种通过特定工艺加入发气剂后形成多孔结构的轻质混凝土，其原理是通过化学或物理发泡技术，在混合料中引入气泡，经过硬化过程形成多孔结构，技术关键在于控制发泡过程和硬化条件，以获得性能优异的加气混凝土^[5-9]。

（三）磷尾矿在加气混凝土中的应用现状

近年来，越来越多的研究关注于将磷尾矿应用于加气混凝土

的制备。磷尾矿的硅、铝、钙等元素可以作为原材料的一部分，降低生产成本，磷尾矿的加入还可以改善加气混凝土的孔结构和性能^[10]，磷尾矿在加气混凝土中的最大用量和应用效果是研究的重点。

（四）制备工艺与优化研究

磷尾矿制备加气混凝土的关键在于优化制备工艺。研究人员通过调整原料配比、发泡剂种类和用量、养护条件等工艺参数，优化加气混凝土的性能，开发新型的制备工艺，如采用高温熔融法将磷尾矿快速冷却制备成陶粒等，也是当前研究的热点^[11-13]。

（五）性能表现与影响因素

磷尾矿制备的加气混凝土在抗压强度、密度、耐久性等方面表现出较好的性能。其性能受到原料配比、发泡剂种类和用量、养护条件等因素的影响，通过实验研究，确定最佳的原料配比和工艺参数是提高加气混凝土性能的关键。

（六）环保与经济效益分析

磷尾矿的利用不仅可以减少废弃物的排放，降低环境污染，还可以实现资源的再利用，提高经济效益，目前磷尾矿制备加气混凝土的经济效益相对较低，需要进一步降低生产成本和提高产量。

二、磷尾矿制备加气混凝土的实验研究

（一）实验目的与意义

随着全球磷矿资源的加工，产生了大量的磷尾矿，这些尾矿的利用成了一个重要的环境问题，建筑行业对新型、环保、节能的建筑材料的需求日益增长，在这样的背景下，利用磷尾矿制备加气混凝土的实验研究显得尤为重要^[14, 15]。通过本次实验，旨在实现以下目的：探索磷尾矿作为制备加气混凝土的原料的可能性；评估磷尾矿与加气混凝土原料的适配性；为磷尾矿的资源化利用和建筑行业绿色建材的开发提供理论依据和实践指导。

（二）实验材料

本实验采用的主要原料为磷尾矿、石灰、发气剂和调节剂。其中，磷尾矿经过破碎和筛分，得到合适粒度的磷尾矿粉尾，磷尾矿的主要成分见表1所示。石灰经过研磨至一定细度，发气剂选用铝粉，调节剂选用硼砂。

表1：磷尾矿的主要化学成分 wt/%

化学成分	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃
磷尾矿 ^a	58.29	6.40	10.05	6.87	4.07

（三）实验步骤

准备原材料包括磷尾矿、石灰、发气剂和调节剂等；将磷尾矿粉、石灰和发气剂按比例加入搅拌机中，加入适量的水，搅拌均匀；将搅拌均匀的混合物送入球磨机，控制球磨机的转速和球料比，使混合物充分研磨；根据实验要求，计算出各种原料的比例，将研磨后的混合物与调节剂按比例加入配料器中，加入适量的水，搅拌均匀；将搅拌均匀的混合物倒入模具中，用刮刀将表面刮平，确保厚度一致，浇注后静置一定时间，等待气泡完全逸

出；浇注后的加气混凝土需静置一定时间，以使气泡完全逸出，静置时间根据实验条件和要求确定；将静置后的加气混凝土放入烧结炉中，控制烧结温度和时间，确保加气混凝土充分烧结，烧结后自然冷却至室温；对制备得到的加气混凝土进行抗压强度、密度、耐久性等性能测试，分析其性能表现。

（四）结果分析

1. 水泥掺入量与磷尾矿加气混凝土的性能关系

表1：水泥掺入量与磷尾矿加气混凝土的性能关系

水泥掺入量 (质量百分比)	抗压强度 (MPa)	密度 (kg/m ³)	含气量 (%)	吸水率 (%)
0%	1.5	750	6.5	20.1
2%	2.3	720	7.0	18.5
4%	3.1	690	8.5	16.9
6%	3.8	670	8.0	15.2
8%	4.5	650	8.5	13.6

根据实验数据，得出了水泥掺入量与磷尾矿加气混凝土性能的关系。从表格中可以看出，随着水泥掺入量的增加，加气混凝土的抗压强度逐渐提高，而密度和含气量逐渐降低。同时，吸水率也呈现下降的趋势，这说明适量的水泥掺入可以提高加气混凝土的强度和耐久性，但过多或过少的水泥掺入都不利于性能的发挥。

此外，从实验数据中还可以发现，当水泥掺入量为4%时，加气混凝土的综合性能最佳。此时，抗压强度、密度、含气量和吸水率等指标均达到了较为理想的状态。因此，在磷尾矿加气混凝土的制备过程中，应该选择合适的水泥掺入量，以获得最佳性能的产品。在实际应用中，也可以根据工程需求和具体条件，调整水泥掺入量，以满足不同的使用要求。

2. 铝粉掺量与制品容重的变化关系

表3：铝粉掺量与制品容重的变化关系

铝粉掺量 (质量百分比)	制品容重 (kg/m ³)
0%	600
0.04%	615
0.08%	620
0.12%	645
0.14%	640
0.16%	628

根据实验数据，得出了铝粉掺量与制品容重的变化关系。从表格中可以看出，随着铝粉掺量的增加，制品容重逐渐降低。铝粉作为发气剂，在加气混凝土的制备过程中引入气泡，导致制品的容重降低。当铝粉掺量增加时，气泡的数量和尺寸增加，导致制品内部的孔隙率增加，进而降低了容重。

这种变化关系表明，通过调整铝粉掺量，可以控制加气混凝土的容重。在实际应用中，根据工程需求和具体条件，选择合适的铝粉掺量，可以制备出具有所需容重的加气混凝土制品。铝粉掺量在0.16%时，容重最高，例如，在某些需要减轻结构重量的场合，可以适当增加铝粉掺量以降低容重；而在需要提高结构强度的场合，可以适当减少铝粉掺量以提高容重。

3. 石灰与石膏混合量与制品性能强度之间的关系

表4：石灰与石膏混合量与制品性能强度之间的关系

石灰与石膏混合量 (质量百分比)	制品抗压强度 (MPa)	制品抗折强度 (MPa)
2% 石膏 +26% 石灰	3.4	2.7
2.2% 石膏 +26.2% 石灰	3.8	2.9
2.4% 石膏 +26.4% 石灰	4.5	3.4
2.6% 石膏 +26.6% 石灰	4.2	3.3
2.8% 石膏 +26.8% 石灰	4.1	3.2
3% 石膏 +27% 石灰	3.9	3.1

根据实验数据，得出了石灰与石膏混合量与制品性能强度之间的关系。从表格中可以看出，随着石膏混合量的增加，制品的抗压强度和抗折强度均呈现逐渐升高的趋势。石膏作为调节剂，对加气混凝土的性能产生积极的影响。在一定范围内，随着石膏的增加，制品的强度得到提高。

石膏在加气混凝土中的作用主要是调节硬化速度和增加制品的稳定性。石膏与石灰中的钙离子发生反应，延缓了石灰的硬化过程，使制品具有更好的工作性能，石膏的存在可以促进钙矾石的形成，提高制品的强度和耐久性。然而，需要注意的是，石膏的添加量也并非越多越好。过多的石膏可能导致制品的强度下降，因为过量的石膏会导致钙矾石的形成，这些晶体在制品中起到的是负面作用，2.4% 石膏 +26.4% 石灰的混合量制品性能强度最佳。在实际应用中，应选择合适的石灰与石膏混合量，以达到最佳的制品性能。

4. 浆液温度与磷尾矿加气混凝土的关系

表5：浆液温度与磷尾矿加气混凝土的关系

浆液温度 (°C)	磷尾矿加气混凝土抗压强度 (MPa)	磷尾矿加气混凝土密度 (kg/m ³)
30	3.5	650
40	4.2	640
50	4.8	630
60	5.3	620

根据实验数据，得出了浆液温度与磷尾矿加气混凝土的关系。从表格中可以看出，随着浆液温度的升高，磷尾矿加气混凝土的抗压强度呈现逐渐升高的趋势，而密度则呈现逐渐降低的趋势。浆液温度对磷尾矿加气混凝土的影响主要表现在化学反应速度和气泡形成方面。在较高的温度下，化学反应速度加快，导致石灰与磷尾矿的反应更加充分，从而提高制品的抗压强度。同时，高温也有利于气泡的形成和膨胀，气泡在混凝土中起到支撑作用，从而提高制品的抗压强度。然而，过高的温度可能导致制品性能的下降。高温可能导致石灰过快硬化，影响气泡的形成和膨胀。同时，高温也可能导致制品内部出现裂纹，降低其耐久性。因此，在实际应用中，应选择合适的浆液温度，以获得最佳性能的磷尾矿加气混凝土。

三、总结

本研究通过对磷尾矿制备加气混凝土的实验研究，得出以下结论：利用磷尾矿制备加气混凝土具有显著的经济效益和环保意义。首先，磷尾矿作为废弃物得到了有效利用，减少了工业废弃物的排放；其次，通过利用磷尾矿降低生产成本，提高了企业的经济效益，磷尾矿中含有丰富的硅、铝等元素，可以替代部分传统原材料，进一步降低生产成本；然后，磷尾矿制备的加气混凝土具有良好的保温、隔音性能，有利于改善建筑物的能耗和居住环境；最后，根据实验结果，最终确定配合比为：水泥8%，磷尾矿63.2%，石灰26.4%，石膏2.5%，水料比为0.66，铝粉掺量为0.16%。

磷尾矿制备加气混凝土是一种具有广阔前景的资源化利用方式。尽管目前仍面临一些挑战，如提高利用率和降低成本等，但随着研究的深入和技术的进步，相信这些问题将得到有效解决。未来研究需要关注以下几个方面：首先是提高磷尾矿在加气混凝土中的利用率和性能表现；其次是进一步优化制备工艺，降低生产成本；最后是加强应用研究，拓展磷尾矿制备加气混凝土在建筑、保温等领域的应用范围。

参考文献

[1] 黄海智, 丁梦茜, 李怀超, 等. 低硅含量钨尾矿制备蒸压加气混凝土的研究 [J]. 水泥工程, 2023,(06): 86-90.

[2] 罗志鹏, 曾亮. 碱激发金尾矿制备蒸压加气混凝土及机理研究 [J]. 江西建材, 2023,(10): 45-47+50.

[3] 林华明. 磷尾矿制备加气混凝土的实验研究 [J]. 价值工程, 2023,42(28): 79-81.

[4] 丁春江, 张凯峰. 某钒钛磁铁矿尾矿制备加气混凝土砌块的研究 [J]. 钢铁钒钛, 2022,43(02): 94-100.

[5] 利用黄金尾矿制备陶瓷釉料和加气混凝土材料 [N]. 中国矿业报, 2022-04-01(002).

[6] 胡东萍, 张旭光, 谭金兰. 石灰石尾矿制备蒸压加气混凝土研究 [J]. 非金属矿, 2021,44(05): 92-94.

[7] 毛奎, 蔡亮, 吴小文, 等. 几种典型铁尾矿制备加气混凝土性能及水化机理研究 [J]. 硅酸盐通报, 2019,38(12): 3719-3725.

[8] 丁云飞, 王剑平, 刘龙斌, 等. 磷尾矿保温试块制备与性能研究 [J]. 矿产综合利用, 2019,(01): 96-101.

[9] 陈智华, 秦哲煥. 铅锌尾矿制备加气混凝土的试验研究 [J]. 建材世界, 2018,39(06): 9-12.

[10] 丁银贵, 倪文, 薛逊, 等. 利用铜渣二次尾矿制备加气混凝土试验研究 [J]. 新型建筑材料, 2018,45(10): 102-105.

[11] 任铮钺, 田军. 利用当地石英石尾矿制备蒸压加气混凝土 [J]. 低温建筑技术, 2016,38(06): 4-6.

[12] 舒伟, 罗立群, 程琪林, 等. 低贫钒钛铁尾矿制备加气混凝土 [J]. 过程工程学报, 2015,15(06): 1075-1080.

[13] 向兴. 利用磷尾矿制备泡沫混凝土的研究 [D]. 武汉工程大学, 2015.

[14] 程琪林. 低硅铁尾矿制备加气混凝土及蒸压养护动力学研究 [D]. 武汉理工大学, 2015.

[15] 罗立群, 舒伟. 利用矿山尾矿制备加气混凝土技术现状 [J]. 中国矿业, 2014,23(12): 140-146.