

浅谈蛋壳粉绿色混凝土的研究进展及应用

闫思彤¹, 千佳慧¹, 方澄澄¹, 张京慧¹, 张文迪¹, 袁晓洒^{1,2*}

¹西京学院土木工程学院, 陕西 西安

²西京学院陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室, 陕西 西安

收稿日期: 2024年9月10日; 录用日期: 2024年10月1日; 发布日期: 2024年10月12日

摘要

本文旨在探讨废弃蛋壳粉在绿色混凝土中的应用及其研究进展, 通过分析国内外研究现状, 总结蛋壳粉作为绿色掺合料对混凝土力学性能和耐久性能的影响, 并讨论其在实际工程中的应用前景。随着环保意识的增强和可持续发展理念的推广, 绿色混凝土作为未来建筑材料的发展方向, 其研究与应用日益受到重视。废弃蛋壳粉作为一种可再生资源, 其独特的性质特点使其在绿色混凝土领域展现出巨大潜力。

关键词

废弃蛋壳粉, 混凝土, 力学性能, 耐久性能

Research Progress and Application of Green Concrete with Eggshell Powder

Sitong Yan¹, Jiahui Qian¹, Chengcheng Fang¹, Jinghui Zhang¹, Wendi Zhang¹, Xiaosa Yuan^{1,2*}

¹School of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Key Laboratory of Concrete Structure Safety and Durability, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: Sep. 10th, 2024; accepted: Oct. 1st, 2024; published: Oct. 12th, 2024

Abstract

This paper aims to explore the application and research progress of green concrete with eggshell powder. By analyzing the current research situation at home and abroad, the influence of eggshell powder as a green admixture on the mechanical properties and durability of concrete is summarized. The application prospect of green concrete in practical engineering is discussed. With the enhancement of environmental awareness and the promotion of the concept of sustainable development, the research and application of green concrete are increasingly valued. As a renewable

*通讯作者。

文章引用: 闫思彤, 千佳慧, 方澄澄, 张京慧, 张文迪, 袁晓洒. 浅谈蛋壳粉绿色混凝土的研究进展及应用[J]. 土木工程, 2024, 13(10): 1843-1847. DOI: 10.12677/hjce.2024.1310200

resource, waste eggshell powder shows great potential in the field of green concrete.

Keywords

Waste Eggshell Powder, Concrete, Mechanical Properties, Durability Performance

Copyright © 2024 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

随着全球环境问题的日益严峻和可持续发展理念的深入人心,绿色建筑及其材料的研究成为土木工程领域的重要课题。绿色混凝土作为绿色建筑的关键组成部分,不仅要求具备优良的力学性能,还需满足环保、节能和资源高效利用的要求。废弃蛋壳粉,作为一种可再生的生物掺合料,具有低成本、环保等独特优势,并因其富含钙质成分及独特的微观结构,近年来在绿色混凝土领域展现巨大潜能。本文旨在全面探讨蛋壳粉绿色混凝土的力学性能、耐久性研究,并结合当前研究热点和技术发展趋势,提出未来发展方向。

2. 废弃蛋壳在混凝土中的应用研究

蛋壳中钙含量很高。在许多国家,蛋壳被用作动物饲料中钙的来源。由于蛋壳的整体化学成分类似于石灰石[1],其主要成分碳酸钙是生产水泥的四种主要原材料之一,因此,蛋壳在混凝土中具有替代水泥的潜力。下面从两个方面阐述废弃蛋壳在混凝土中的应用研究。

2.1. 蛋壳混凝土力学性能研究

在适合的掺量下,ESPC(蛋壳混凝土)具有比普通混凝土更高的抗压强度。同时,蛋壳在达到最佳掺量后,继续增加会使混凝土抗压强度下降。当蛋壳粉作为唯一替代材料时,蛋壳粉的最佳含量为10%[2]。也有研究发现,水泥替代率为15%时,ESPC具有最佳的力学性能[3]。龄期28d时,掺量20%ESP和掺量20%GP的混凝土抗压强度最高[4]。另一方面,蛋壳高性能混凝土的研究较少。Parthasarathi等人[5]对不同硅灰和ESP掺量的混凝土进行比较研究发现,混凝土的抗压强度提高可达到15%。

抗折性能是指混凝土在弯矩作用下抵抗变形的能力。一般来说,当蛋壳含量增加到一定程度时,ESPC的抗弯强度也会增加。最大抗弯强度的最佳蛋壳含量与最大抗压强度的最佳蛋壳含量相同[6]。Yu和Ing[7]将ESP作为细集料,比例从0%增加到20%,弯曲强度从2.36 Mpa增加到3.50 Mpa。Cree和Pliya[8]研究发现,与对照组混凝土相比,ESP掺量为5%、10%和20%的混凝土抗弯强度分别降低了8%、28%和39%。

Imran认为蛋壳掺量为5%的ESPC劈裂抗拉强度最高,掺量为10%的ESPC劈裂抗拉强度与对照组大致相同,蛋壳含量较高时,强度明显下降[9]。Yerramala[10]得出抗压强度和抗弯强度的最佳掺量均为5%。5%掺量的ESPC在抗压强度和抗弯强度上的值都略高,而蛋壳掺量较高时,性能下降。在两种或多种替代材料的试验中,蛋壳最大劈裂抗拉强度的最佳含量基本相同。

Mohamad[11]研究表明,提高ESP的替换率会导致劈裂抗拉强度值的降低。ESP的替代率由5%提高到25%,混凝土的劈裂抗拉强度由22.4 MPa显著降低到9.7 MPa。Jaya Sankar等人[12]使用ESP替代20%、25%和30%的水泥,生产绿色混凝土。他们观察到,随着ESP的加入,混凝土的抗拉强度逐渐降低。

以上蛋壳混凝土力学性能研究表明,不同蛋壳粉掺量对混凝土力学性能的影响存在一定差异,可能

由于蛋壳粉粒径、处理方法及混凝土配合比不同所致。例如，细粒径蛋壳粉可能更有助于填充水泥颗粒间空隙，提高混凝土密实度。

2.2. 蛋壳混凝土耐久性研究

用 ESP 代替水泥对混凝土的弹性模量有负面影响。添加 5%、10%、15%和 20%的 ESP 导致弹性模量分别降低 3.33%、5.8%、10.4%和 13.3%，5%ESP 的吸水率值与不含 ESP 的对照混凝土混合物的吸水率值非常接近[13]。Raihan 等人研究发现，用粉煤灰(FA)和蛋壳粉(ESP)替代 10%的水泥含量会导致更高的抗压强度、更高的劈裂抗拉强度、更高的弯曲强度和与耐久性相关的性能改善[14]。

当 ESP 的掺量从 5%增加到 20%时，含 ESP 的混凝土的吸水率显著降低[7]。ESP 的加入通过减少混凝土的吸水率比对照样本具有显著效果[15]。也有研究发现，用 ESP 替代低于 7.5%的水泥可提高水泥的干缩年龄和抗压强度[16]。另有学者对蛋壳颗粒-废玻璃粉改性混凝土进行力学性能及耐久性能研究，揭示力学规律、水化机理以及冻融损伤机理[17]-[19]。

通过以上蛋壳混凝土耐久性研究可知，ESP 掺量增加导致混凝土弹性模量降低，但吸水率显著降低，这可能与蛋壳粉颗粒的填充效应和表面特性有关，不同研究结果的差异还可能源于试验方法、养护条件等因素。

根据现有研究发现，蛋壳粉的掺量对混凝土的性能具有显著影响。适量的蛋壳粉掺入可以提高混凝土的抗压强度、抗折强度和抗渗性，当掺量过高时，可能会因蛋壳粉与水泥水化产物的相互作用减弱而导致混凝土强度下降。因此，确定合理的蛋壳粉掺量是绿色混凝土研究中的关键问题之一。

蛋壳粉的加入能够改变混凝土的微观结构。蛋壳粉中的微小颗粒能够填充水泥颗粒间的空隙，形成更加致密的混凝土结构。同时，蛋壳粉中的有机成分还能在混凝土中形成稳定的胶凝物质，增强混凝土的粘结力和耐久性。这些微观结构的变化是蛋壳粉改善混凝土性能的重要原因。

为了进一步提高绿色混凝土的环保效益和经济效益，研究者们将探索蛋壳粉与其他工业废弃物的复合利用。例如，将蛋壳粉与粉煤灰、矿渣等掺合料按一定比例混合使用，可以充分发挥各自的优势，提高混凝土的综合性能。此外，一些研究还尝试将蛋壳粉与纳米材料、聚合物等新型掺合料结合使用，以开发具有更高性能的绿色混凝土。

3. 未来发展方向

蛋壳粉绿色混凝土的性能研究取得了显著进展。未来研究可以进一步通过调整蛋壳粉的掺入比例、优化颗粒级配及添加适量外加剂等手段，会使混凝土的力学性能、耐久性及工作性能有效提高。

蛋壳颗粒、水泥、和其他的外掺纤维(例如废玻璃粉、钢纤维等)形成一个复杂的体系，在输入条件(胶凝材料种类、级配、掺量、水胶比、养护条件等)中任一发生改变，都会引起输出结果的剧烈变化，而且各组分会相互影响。若以组分间匹配原则建立复合胶凝材料体系水化模型，则能解决输入值与输出值之间的差异值问题[17]。未来，将从这一方面进行深入研究。

蛋壳粉绿色混凝土的耐久性能研究也不够全面，例如：在进行蛋壳颗粒 - 废玻璃粉的抗冻性能研究时，冻融循环只到 200 次，各项性能指标均未达到破坏标准，应增加冻融循环次数进一步研究；在进行蛋壳颗粒 - 废玻璃粉的抗侵蚀性能研究时，全浸泡时间只到 180 天，各项性能指标均未达到破坏标准，应增加侵蚀龄期深入分析；对于蛋壳颗粒与废玻璃粉替代水泥掺量以 10%为跨度时，跨度较大，可以进一步细化掺量，确定最优掺量值[18]。

结合当前研究热点和技术发展趋势，可以提出更具体的未来研究方向。在蛋壳粉与其他废弃物的复合利用方面，未来研究可探索蛋壳粉与粉煤灰、矿渣等工业废弃物的复合利用，通过优化配比和工艺，

提高混凝土的综合性能。这一方向具有显著的环保和经济效益，可行性高。在蛋壳粉的改性处理方面，对蛋壳粉进行改性处理，如表面改性、粒径调整等，可进一步改善其在混凝土中的分散性和反应活性。这一方向需要深入研究改性方法和效果评估，但具有提升混凝土性能的潜力。在蛋壳粉绿色混凝土的性能评价体系方面，建立全面的蛋壳粉绿色混凝土性能评价体系，包括力学性能、耐久性能、环保性能等多个方面。这将有助于标准化蛋壳粉绿色混凝土的研究和应用，推动其在实际工程中的广泛应用。

随着研究的深入和技术的成熟，蛋壳粉绿色混凝土的应用领域将不断拓展，材料将广泛应用于建筑结构材料、装饰材料以及道路、桥梁、房屋等结构建设中。

4. 结论

本文全面综述了蛋壳粉绿色混凝土的力学性能、耐久性研究现状，并结合当前研究热点和技术发展趋势，提出了未来研究方向。研究表明，适量蛋壳粉的掺入可以显著提高混凝土的抗压强度、抗折强度和耐久性。然而，当前研究仍存在一些不足，如蛋壳粉种类、粒径、处理方法等因素对混凝土性能影响的系统研究不足。未来研究应进一步探索蛋壳粉与其他废弃物的复合利用、改性处理以及建立全面的性能评价体系，以推动蛋壳粉绿色混凝土的广泛应用。

基金项目

陕西省教育厅重点科学研究计划项目(22JS042); 陕西省大学生创新创业训练计划项目(S202412715018)。

参考文献

- [1] Hamada, H.M., Tayeh, B.A., Al-Attar, A., Yahaya, F.M., Muthusamy, K. and Humada, A.M. (2020) The Present State of the Use of Eggshell Powder in Concrete: A Review. *Journal of Building Engineering*, **32**, Article 101583. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101583>
- [2] Naidu, G.G. and Edukondalu, K. (2020) Mechanical Properties of Concrete by Replacing Cement with Eggshell Powder and Fly Ash. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, **9**, 2497-2499. <https://doi.org/10.35940/ijitee.d1715.029420>
- [3] Chong, B.W., Othman, R., Ramadhansyah, P.J., Doh, S.I. and Li, X. (2020) Properties of Concrete with Eggshell Powder: A Review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **120**, Article 102951. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102951>
- [4] Chandru, K., Richard, A.L., Vishva, U., et al. (2021) Experimental Investigation of Partial Replacement of Cement with Glass Powder. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, **4**, 44-47.
- [5] Parthasarathi, N., Prakash, M. and Satyanarayanan, K.S. (2017) Experimental Study on Partial Replacement of Cement with Egg Shell Powder and Silica Fume. *Rasayan Journal of Chemistry*, **10**, 442-449.
- [6] Parkash, A. and Singh, E.R. (2017) Behaviour of Concrete Containing Egg Shell Powder as Cement Replacing Material. *International Journal of Latest Research in Engineering and Computing*, **5**, 1-5.
- [7] Yu, T.Y., Ing, D.S. and Choo, C.S. (2017) The Effect of Different Curing Methods on the Compressive Strength of Eggshell Concrete. *Indian Journal of Science and Technology*, **10**, 1-4. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i6/111210>
- [8] Cree, D. and Pliya, P. (2019) Effect of Elevated Temperature on Eggshell, Eggshell Powder and Eggshell Powder Mortars for Masonry Applications. *Journal of Building Engineering*, **26**, Article 100852. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100852>
- [9] Imran, M., Ali, S., Vinod, B., et al. (2019) An Experimental Study on Properties of Strength of Concrete by Partial Replacement of Fine Aggregate with Copper Slag and Cement with Egg Shell Powder for M30 Grade Concrete. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, **6**, 43-52.
- [10] Yerramala, A. (2014) Properties of Concrete with Eggshell Powder as Cement Replacement. *The Indian Concrete Journal*, **88**, 94-105.
- [11] Mohamad, M.E., Mahmood, A.A., Min, A.Y.Y. and Khalid, N.H.A. (2016) A Review of the Mechanical Properties of Concrete Containing Biofillers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **160**, Article 012064. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/160/1/012064>
- [12] Jayasankar, R., Mahindran, N. and Ilangovan, R. (2010) Studies on Concrete Using Fly Ash, Rice Husk Ash and Egg

-
- Shell Powder. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, **1**, 362-372.
- [13] Hama, S.M. (2017) Improving Mechanical Properties of Lightweight Porcelanite Aggregate Concrete Using Different Waste Material. *International Journal of Sustainable Built Environment*, **6**, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.03.002>
- [14] Raihan, M., Sreelakshmi, K., Shakkir, A., *et al.* (2018) An Experimental Study on Properties of Concrete by Partial Replacement of Cement with Eggshell Powder and Flyash. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **7**, 6684-6691.
- [15] Lee, R.S. (2015) Water Absorption and Strength Properties of Lightweight Foamed Concrete with 2.5% and 5.0% Eggshell as Partial Cement Replacement Material. Universiti Tunku Abdul Rahman.
- [16] Abdulabbas, Z.H. (2016) Investigation of Drying Shrinkage and Compressive Strength of Cement Mortar with Partial Replacement of Cement by Egg Shell Powder and Milled Glass. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, **9**, 316-330.
- [17] 代明江. 蛋壳颗粒-废玻璃粉改性混凝土力学特性及水化机理试验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西京学院, 2022.
- [18] 高英杰. 冻融和盐侵作用下蛋壳颗粒-废玻璃粉改性混凝土耐久性能研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西京学院, 2023.
- [19] Yuan, X., Dai, M., Gao, Y., Zhou, Y. and Liu, F. (2023) Effect on Mechanical Properties and Microstructure of High-Strength Eco-Friendly Concrete with Waste Glass Powder-Eggshell Particles. *Journal of Building Engineering*, **79**, Article 107871. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107871>