Application and development thinking of super-high performance concrete (UHPC)

Shasha Xu Wei Li Hui Jiang Hongze Zhang

SINO-SINA Building Materials Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

Concrete, as the main raw material in the development of the construction industry, directly affects the quality of the whole project, so the quality control of concrete is of great significance. Ultra-high performance concrete (UHPC), as a new type of concrete, has strong mechanical properties and durability, and plays an important role in modern architecture. In this context, the construction personnel are required to strengthen the attention to the ultra-high concrete, combined with the construction needs, the application of the concrete strategy and the subsequent development. This paper starts from the ultra-high performance concrete, analyzes its properties, advantages and applications, and then combines with the actual development of construction engineering, studies the future development of ultra-high performance concrete, to help the ultra-high performance concrete to give full play to its advantages in the construction industry.

Keywords

ultra-high performance concrete UHPC; durability; performance

超高性能混凝土 (UHPC) 的应用与发展思考

徐莎莎 李伟 江慧 张宏泽

中德新亚建筑材料有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

混凝土作为建筑行业发展中主要原料, 直接影响整个工程的质量, 所以混凝土的质量控制意义重大。超高性能混凝土 (UHPC) 作为新式的混凝土类型, 具有较强的力学性能以及耐久性, 在现代建筑中发挥着重要作用。在此背景下, 要求建筑人员加强对超高性能混凝土的重视, 结合施工需要, 对混凝土的应用策略及后续的发展进行。本文从超高性能混凝土入手, 对其性能、优势、应用等进行分析, 然后结合建筑工程的发展实际, 研究超高性能混凝土未来发展, 助力超高性能混凝土在建筑行业充分发挥其优势。

关键词

超高性能混凝土UHPC; 耐久性; 性能

1 引言

超高性能混凝土, 简称 UHPC(Ultra-High Performance Concrete), 也称作活性粉末混凝土 (RPC, Reactive Powder Concrete), 是过去三十年中最具创新性的水泥基工程材料, 实现工程材料性能的大跨越。“超高性能混凝土”包含两个方面‘超高’——超高的耐久性和超高的力学性能。相较于传统的混凝土材料来说, 超高性能混凝土具有多样化的优势, 在现代建筑中被广泛应用, 为了充分发挥超高性能混凝土的优势, 要求相关人员根据超高性能混凝土的特点, 对其组成、优势、特点以及功能进行分析, 在此基础上制定合适的应用策略。为了保证混凝土能够适应未来建筑的发展需要, 还需要对其发展趋势进行研究, 确保其发展趋势符合社

会需要, 以保证建筑工程的质量。

2 超高性能混凝土 (UHPC) 概述

2.1 概念

超高性能混凝土 (Ultra-High Performance Concrete, 简称 UHPC) 是一种具有极高强度和耐久性的特殊混凝土材料, 通常具有更高的抗压强度、抗拉强度和更低的渗透性, 相比传统混凝土, 其性能远远超过常规混凝土^[1]。

2.2 特点

相较于传统的混凝土来说, 超高性能混凝土具有多样化的特点, 主要体现在抗压强度、较强的抗渗透性、抗冻性、抗化学腐蚀性、孔隙率极低、更高的抗裂性和延展性等方面。总的来说, 超高性能混凝土 (UHPC) 是一种非常先进的建筑材料, 具备众多传统混凝土所不具备的优点, 特别适用于那些对结构性能和耐久性有高要求的领域。

【作者简介】徐莎莎 (1985-), 女, 中国山东聊城人, 硕士, 工程师, 从事无机非金属材料研究。

表 1 超高性能混凝土 (UHPC) 与传统混凝土的性质差异

性质	超高性能混凝土 (UHPC) 与传统混凝土的性质差异	
	传统混凝土	超高性能混凝土 (UHPC)
抗压强度 (MPa)	20-40	170-227
水胶比	0.40-0.70	0.14-0.27
圆柱劈裂抗拉强度 (MPa)	2.5-2.8	6.8-24
最大骨料粒径 (mm)	19-25	0.4-0.6
孔隙率	20% ~ 25%	2% ~ 6%
透气性 k (24 小时 40C) (mm)	3 × 10	0
吸水性 (225 小时) (kg/mm)	2 × 10	3.5 × 10

3 超高性能混凝土 (UHPC) 的优点与缺陷

3.1 优势

首先, 超高性能混凝土的抗压强度通常可达到 150 MPa 以上, 远超常规混凝土的 30-50 MPa, 甚至可达到 250 MPa。而且与传统混凝土相比, UHPC 在抗拉和抗弯性能上有显著提升, 改善了传统混凝土的脆性; 其次, 超高性能混凝土还具有较强的耐久性, 由于其极低的孔隙率, UHPC 的抗渗透性较好, 能有效防止水和其他化学物质侵入, 减少腐蚀。而且 UHPC 对酸碱等化学物质的抵抗力强, 适合在恶劣环境中使用。在寒冷环境下, UHPC 表现出较强的抗冻融性能, 延长了使用寿命; 然后, 超高性能混凝土具有更长的使用寿命, 由于其优异的耐久性和高强度, UHPC 可用于承受更大负荷的结构, 延长建筑物或基础设施的使用寿命, 减少维护和更换的频率。

3.2 缺点

超高性能混凝土虽然具有诸多优势, 但也存在一些难点, 主要体现在以下方面。首先, 由于原料昂贵 (如微硅粉、超细矿粉等), 以及生产工艺复杂, UHPC 的成本远高于常规混凝土。这使得其在一些预算紧张的项目中难以广泛应用; 其次, UHPC 需要精确的混合和搅拌技术, 施工过程中要求严格控制水胶比、骨料配比及水泥种类等参数。而且 UHPC 的混合比例非常精确, 任何细微的差异都可能导致性能上的显著差异, 因此需要高度专业化的技术和设备; 此外, UHPC 的浇筑和硬化过程需要较长时间, 施工周期较常规混凝土较长, 可能会影响项目进度。而且生产超高性能混凝土的搅拌设备和浇筑工具需要具备高效能, 因此对施工队伍的设备投资要求较高。

4 超高性能混凝土 (UHPC) 的应用

4.1 超高性能混凝土在桥梁建设中的应用

超高性能混凝土 (UHPC) 在桥梁建设中的应用具有显著的优势, 特别是在提高桥梁的耐久性、承载能力和抗震性能方面。首先, 超高性能混凝土可以用作桥梁构件, UHPC 由于其超高的强度和优异的抗压性能, 广泛用于桥梁的主梁和桥墩等关键承重构件。这些构件可以承受更大的荷载, 减少材料使用量, 并且提高结构的整体稳定性。而且 UHPC

桥面板由于具有较高的抗压强度和耐久性, 在交通密集的桥梁上能够有效抵御长期车辆荷载的作用, 并且具有更好的抗滑性能; 其次, 超高性能混凝土还可以用作桥梁加固, 对于老旧桥梁, 使用 UHPC 进行加固是一种有效的方式。通过在原有桥梁构件表面涂抹或浇筑一层 UHPC, 可以增强桥梁的承载力和抗裂性能, 延长桥梁的使用寿命。而且在一些结构薄弱或节点易受损的地方, UHPC 可用于局部加固, 提升整体的耐久性和抗震性能; 然后, 可以用作桥梁伸缩缝和连接件, UHPC 具有极好的抗裂性能和低收缩特性, 因此可以用于桥梁伸缩缝和连接部分, 减少因温度变化或荷载作用导致的开裂现象, 从而提升桥梁的稳定性和长期使用性^[2]。综上, 超高性能混凝土 (UHPC) 因其优异的力学性能、耐久性、抗渗透性和抗裂性, 在桥梁建设中具有极高的应用价值。

4.2 应用在道路与交通设施施工中

超高性能混凝土 (UHPC) 在道路与交通设施中的应用正日益增多。首先, 可以用道路路面施工中, 在高速公路、重载交通道路等特殊路面中, UHPC 具有较强的抗压和抗裂性能, 可以提升路面的耐久性, 延长使用周期, 减少裂缝的产生和维护成本。尤其在长期高强度荷载作用下, UHPC 的优越性更加明显。在寒冷地区, UHPC 由于其低吸水性 and 抗冻融性能, 能有效抵抗温度变化带来的冻胀问题, 减少冬季对路面的损害; 其次, UHPC 因其高强度、低渗透性、抗裂性能优越, 被广泛应用于隧道衬砌、加固和修复。它能够提供更高的抗压和抗剪强度, 延长隧道结构的使用寿命。在某些特殊环境下, 如地下水位较高或化学腐蚀严重的地区, UHPC 能够提供额外的耐腐蚀性, 保护隧道结构不被外部侵蚀; 然后, 也可以用在道路隔音墙与护栏中, 在交通繁忙的区域, UHPC 可用于道路隔音墙的建设。UHPC 具有良好的加工性和可塑性, 可以制作成不同的形态和外观, 不仅提高了功能性, 还可以根据周围环境进行美化。使用 UHPC 制造交通护栏不仅能提供高强度的防护性能, 还具有较好的耐候性和抗撞击能力, 尤其适用于高速公路或交通密集的区域, 能够有效提升交通安全。综上, 超高性能混凝土 (UHPC) 在道路与交通设施中的应用具有显著优势, 随着技术的不断发展, UHPC 将在更多道路与交通设施项目中得到应用。

4.3 在建筑结构中的应用

超高性能混凝土 (UHPC) 因其优异的力学性能、耐久性和抗渗透性, 正逐步在建筑结构中得到广泛应用。首先, UHPC 可以用于建筑物基础中的承重结构, 特别是在需要承受高荷载或复杂地质条件下。其高强度和抗裂性能确保了基础的稳定性和安全性。而且由于 UHPC 具有较强的抗震能力, 它能够为建筑提供 stronger 的抗震性能, 尤其适用于高烈度地震区的建筑基础; 其次, UHPC 的高强度使其在高层建筑和大跨度建筑中具有很大的应用潜力。用 UHPC 替代传统混凝土, 可以大大减小结构截面尺寸, 从而提高建筑的净空空间、减少结构自重, 提升空间利用率。而且 UHPC 的高抗弯、抗剪能力可以增强建筑框架的稳定性, 尤其在高层建筑和多层建筑中, 能够提高结构的承载力, 减少材料用量; 然后, 也可以应用在建筑外立面与装饰中, UHPC 在建筑外立面上的应用, 主要体现在外墙板、幕墙等装饰性和功能性结构中。UHPC 的良好加工性能允许它在外观上呈现出丰富的造型, 能够适应现代建筑设计需求。由于其高强度和耐久性, UHPC 外墙板能够有效抵抗外部环境的侵蚀, 减少维护费用^[3]。而且 UHPC 可以用于制造具有复杂造型的装饰件和艺术结构 (如雕塑、装饰条等), 其优异的成型性和细腻的表面效果使其成为现代建筑中美学设计的重要材料。综上, 超高性能混凝土 (UHPC) 凭借其卓越的力学性能、耐久性和抗渗透性, 在建筑结构中得到了越来越广泛的应用。

5 超高性能混凝土 (UHPC) 的发展

5.1 成本降低与材料优化

随着对 UHPC 材料研究的深入, 越来越多的替代材料 (如高性能矿物掺合料、废弃物利用等) 开始得到关注。这些材料不仅能降低生产成本, 还能提高材料的环境友好性。例如, 使用工业副产品如钢渣、粉煤灰等替代部分水泥, 以实现更低的碳排放和资源循环利用。实际来看, 研究人员正在开发低成本的替代材料, 减少钢纤维、纳米材料等高成本添加剂的使用, 从而使 UHPC 的生产成本逐步降低, 推动其在更广泛领域的应用。

5.2 3D 打印与智能制造

随着 3D 打印技术的进步, 超高性能混凝土也逐渐与 3D 打印技术结合。在建筑和基础设施建设中, 通过 3D 打印技术可以实现复杂结构的制造, 减少材料浪费和人工成

本。这一技术的发展有助于推动 UHPC 在建筑和桥梁等领域的广泛应用。而且随着自动化和智能化技术的发展, UHPC 的生产工艺将更加精细化、自动化, 制造过程的标准化和精准化将有效降低成本, 提高生产效率^[4]。

5.3 绿色与可持续发展

随着全球对环保和可持续发展的重视, 未来的 UHPC 研究将更加关注如何通过环保材料和绿色工艺来生产。利用更多可再生材料、减少能耗以及降低碳排放将是未来 UHPC 技术发展的重要方向。未来, 研究将更加注重 UHPC 的生命周期性能评估, 开发适应不同环境条件下的 UHPC 配方, 确保其长期的耐久性和可靠性, 以延长基础设施的使用寿命, 减少维修和替换的频率。

5.4 功能性与智能化

随着材料科学的发展, 未来的 UHPC 可能不仅仅满足结构强度和耐久性的要求, 还能够具备其他功能, 如自修复功能、传感器集成等。例如, 通过在 UHPC 中加入自修复微胶囊, 可以使得混凝土在受到微裂纹时自动修复, 延长结构的寿命。未来的 UHPC 可能会集成智能传感器, 能够实时监测结构健康状态, 如温度、湿度、压力等信息, 以实现结构的实时监测和预警。这种智能化的材料将能够提高结构的安全性, 降低维护成本。

6 结语

综上所述, UHPC 作为新型材料, 突破了传统混凝土耐久性、抗压能力的缺陷, 为如今飞速发展的建筑需求提供了充足的想象空间。对于有着比较特殊功能的建筑, 比如建筑装饰、建筑结构以及道路桥梁等, UHPC 的耐腐蚀性及耐久性在此方面发挥着重大的作用。如今, UHPC 材料的优势已逐渐被社会所认知, 其今后的发展势必会达到更高的层面。

参考文献

- [1] 2022年中国超高性能混凝土 (UHPC) 技术与应用发展报告 (下) [J]. 混凝土世界, 2023, (08): 18-23.
- [2] 樊健生, 丁然. 超高性能混凝土在房屋建筑结构中的研究与应用进展 [J]. 硅酸盐学报, 2023, 51 (05): 1246-1258.
- [3] 刘子丹. 基于细观力学的超高性能混凝土力学性能及损伤机理研究 [D]. 长江大学, 2023.
- [4] 张静华. 超高性能混凝土在桥梁附属结构中的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2022, (14): 150-152.