

超高性能混凝土在道路桥梁工程中的研究

杨超

安徽省交控工业化建造有限公司 安徽 池州 247000

摘要：文章深入探讨了超高性能混凝土（UHPC）在道路桥梁工程中的施工技术与质量控制。强调原材料选择与质量控制的重要性，包括水泥、硅灰、细骨料等关键材料的质量把控。阐述施工现场管理与质量控制的关键环节，如施工组织设计、设备选型与调试、施工环境控制等。明确质量检测与验收标准，确保工程质量符合设计要求和相关标准。

关键词：超高性能混凝土；道路桥梁；应用

1 超高性能混凝土的定义

超高性能混凝土（Ultra-High Performance Concrete, 简称UHPC）是一种革命性的建筑材料，它以其卓越的力学性能、极高的耐久性和出色的工作性而著称。UHPC通过精细的颗粒级配设计、优化的水泥基体体系以及高含量的钢纤维或有机纤维增强，实现了传统混凝土难以企及的强度与韧性并存的特性。其抗压强度通常超过150MPa，抗拉强度也能达到惊人的水平，远超普通混凝土的数倍乃至数十倍。UHPC不仅具有超高的强度，还展现出优异的耐久性，能够抵抗化学侵蚀、磨损、冻融循环以及高温作用，极大地延长了结构的使用寿命。其极低的水渗透性和高密实度使得UHPC成为制作复杂形状和高精度结构构件的理想选择，如桥梁、隧道衬砌、建筑外墙装饰板及防护结构等。在环保方面，虽然UHPC的生产成本相对较高，但其卓越的长期性能意味着材料使用量的减少和维修频率的降低，从长远看有利于资源节约和环境保护。

2 超高性能混凝土在道路桥梁工程中的重要性

超高性能混凝土（UHPC）在道路桥梁工程中扮演着至关重要的角色。其卓越的力学性能，包括极高的抗压、抗拉强度和出色的耐久性，使得UHPC成为提升桥梁结构安全性和延长使用寿命的理想材料。在桥梁建设中，UHPC不仅能够减轻结构自重，减少基础负担，还能显著提高桥梁的承载能力和跨越能力，使得设计师能够创造更加轻盈、美观且高效的桥梁结构^[1]。UHPC的高密实性和低渗透性为桥梁提供出色的防水、防腐性能，有效抵御环境因素如雨水、盐雾等对结构的侵蚀，减少维护成本。在维修加固领域，UHPC也展现出巨大潜力，可用于修复受损结构，恢复甚至提升其原有性能，延长使用寿命。超高性能混凝土在道路桥梁工程中的重要性不言而喻，它不仅能够提升工程质量，保障行车安全，还

能够推动桥梁工程技术的创新发展，为现代交通建设贡献重要力量。

3 超高性能混凝土的特性及制备方法

3.1 超高性能混凝土的定义及性能特点

超高性能混凝土（Ultra-High Performance Concrete, 简称UHPC）是一种集高强度、高韧性、高耐久性和良好工作性于一身的新型建筑材料。它突破了传统混凝土的性能极限，通过精细的颗粒级配、优化的水泥基体体系以及高强纤维的掺入，实现了性能的飞跃。UHPC的抗压强度普遍超过150MPa，部分甚至可达200MPa以上，而其抗拉强度也显著提升，展现出优异的抗裂性和韧性。此外，UHPC还具备极低的孔隙率和出色的抗渗性，能有效抵抗化学侵蚀、磨损、冻融循环等恶劣环境因素的影响，保证了结构的长久耐用。性能特点方面，UHPC的超高强度使得结构在相同荷载下可以大幅减小截面尺寸，减轻自重，从而节省材料并降低对基础的要求。其高韧性意味着在受到冲击或振动时，UHPC结构能够更好地吸收能量，减少损伤风险。耐久性的提升则显著延长了结构的使用寿命，减少了后期维护成本。UHPC还具有良好的工作性，易于浇筑成型，可加工成各种复杂形状，满足现代建筑对美观和功能性的双重需求。

3.2 超高性能混凝土的原材料及配比设计原则

UHPC的原材料主要包括水泥、硅灰、石英粉、细骨料（如河砂或石英砂）、高效减水剂、水以及高强纤维（如钢纤维、合成纤维等）。其中，水泥作为胶凝材料提供基础强度；硅灰和石英粉作为活性矿物掺合料，通过火山灰效应填充水泥颗粒间的空隙，提高混凝土的密实度和强度；细骨料则进一步细化颗粒级配，优化混凝土微观结构；高效减水剂则通过降低混凝土拌合物中的水膜厚度，提高拌合物的流动性和密实性；高强纤维则作为增强材料，显著提高混凝土的抗拉强度和韧性。配

比设计原则是确保UHPC性能的关键。首先,需要根据工程需求确定UHPC的强度等级和耐久性要求,进而选择合适的原材料种类和品质。其次,通过大量试验确定各原材料的最佳掺量比例,以达到最佳的力学性能、工作性和经济性。在配比设计中,应特别注意控制水胶比和纤维掺量,因为这两个因素直接影响UHPC的强度和韧性。还需考虑原材料的相容性和稳定性,确保UHPC在生产和使用过程中的性能一致性。

3.3 超高性能混凝土的制备工艺及施工技术

UHPC的制备工艺相对复杂,需要严格控制各个环节以确保产品质量,原材料需进行严格的筛选和预处理,以去除杂质并调整粒度分布。按照设计配比将原材料准确称量并混合均匀。在搅拌过程中,需采用高效搅拌设备并控制搅拌时间和速度,以确保混凝土拌合物达到良好的均匀性和流动性。需根据现场条件调整减水剂的用量和搅拌工艺,以适应不同的施工环境的要求。施工技术方面,UHPC的施工对温度、湿度等环境条件有一定要求^[2]。在浇筑前,需对模板进行清洁和润湿处理,以确保混凝土与模板之间的良好粘结。浇筑过程中应采用分层浇筑、逐层振捣的方法,以避免混凝土内部产生空洞和裂缝。振捣应充分且均匀,以确保混凝土的密实度和强度。浇筑完成后,需及时进行养护处理,以促进混凝土的硬化和强度发展。养护期间应保持适宜的温度和湿度条件,避免混凝土表面干燥开裂或内部产生温度应力。UHPC的施工还需注意安全。由于UHPC的强度高、硬化快,施工人员在操作过程中需佩戴防护装备并严格遵守安全规程。

4 超高性能混凝土在道路工程中的应用

4.1 超高性能混凝土在道路路面工程中的应用

在道路工程领域,超高性能混凝土(UHPC)以其卓越的力学性能、耐久性和工作性,为道路路面建设带来了革命性的变化,UHPC的高强度特性使其作为路面材料时,能够承受更大的交通荷载,有效减少路面结构的厚度,进而降低材料消耗和工程造价。UHPC的高耐磨性也确保了路面在长期使用过程中能够保持平整度和抗滑性,减少因车辆行驶产生的磨损和维修需求。在路面结构设计中,UHPC常被用于制作薄层罩面或修复层,通过直接在现有路面上铺设一层薄薄的UHPC层,可以迅速提升路面的整体性能,包括承载能力、平整度、耐久性等。这种薄层修复技术不仅施工简便快捷,而且能够显著降低对交通的干扰,是城市道路快速维修和改造的理想选择。UHPC还因其优异的抗裂性和抗渗性,在防止路面反射裂缝和水损害方面表现出色。在铺设UHPC路面

时,可以将其与防水层或应力吸收层结合使用,形成多层次的防护体系,有效阻断水分和应力对路面结构的侵蚀和破坏。这种设计不仅延长了路面的使用寿命,还提高了道路的安全性和舒适性。值得注意的是,UHPC在道路路面工程中的应用还促进了绿色环保理念的实践。由于其高性能特点,UHPC路面在减少材料消耗和维修频率的同时,也降低了对环境的污染和破坏。UHPC路面还可以与太阳能光伏板等绿色能源技术相结合,实现道路与能源的有机结合,推动城市交通的可持续发展。

4.2 超高性能混凝土在桥梁工程中的应用

在桥梁工程领域,超高性能混凝土(UHPC)同样展现出了巨大的应用潜力和价值。UHPC的高强度和高韧性使得桥梁结构在设计和施工上更加灵活和高效。通过采用UHPC作为桥梁的主要受力构件材料,可以显著减小构件截面尺寸和自重,降低对基础的要求和造价。UHPC的优异耐久性也确保了桥梁结构在长期使用过程中能够保持稳定的性能和安全性。在桥梁结构形式方面,UHPC的应用推动了新型桥梁技术的发展。UHPC还适用于制作复杂形状和高精度的桥梁构件,如索塔、主梁等,为桥梁设计提供了更多的可能性。在桥梁维修加固方面,UHPC也展现出了独特的优势,通过采用UHPC对受损桥梁进行修复和加固处理,可以迅速恢复甚至提升桥梁的承载能力和耐久性。与传统加固方法相比,UHPC加固技术具有施工简便、效果显著、耐久性好等优点。UHPC还可以与碳纤维等复合材料结合使用,形成复合加固体系,进一步提高桥梁结构的整体性能。UHPC在桥梁工程中的应用还促进了桥梁美学的提升,由于其优异的可塑性和装饰性,UHPC可以制作出各种美观大方的桥梁外观和细部结构,这不仅提高桥梁的观赏价值和文化内涵,也丰富城市景观和交通环境^[3]。

5 超高性能混凝土在道路桥梁工程中的施工技术与质量控制

5.1 原材料选择与质量控制

在超高性能混凝土(UHPC)的道路桥梁工程施工中,原材料的选择与质量控制是确保工程质量的首要环节。UHPC的原材料主要包括水泥、硅灰、石英粉、细骨料、高效减水剂以及高强纤维等。作为UHPC的胶凝材料,水泥的品质对UHPC的性能有着至关重要的影响,在选择水泥时,应优先考虑品质优良、性能稳定的水泥产品,并确保其满足相关国家或行业标准的要求。在储存和使用过程中,应防止水泥受潮结块,以保证其性能稳定。硅灰与石英粉,这两种材料作为活性矿物掺合料,能够显著提高UHPC的强度和密实度。在选择时,应关

注其细度、活性指数等关键指标，并确保其品质符合设计要求，还应注意控制掺量比例，以充分发挥其增强效果。细骨料的选择应关注其粒径分布、含泥量等因素。一般采用质地坚硬、洁净的河砂或石英砂作为UHPC的细骨料。在使用前，应对细骨料进行筛分和清洗处理，以去除杂质和粉尘。高效减水剂是UHPC中不可或缺的重要成分之一，它能够显著降低混凝土拌合物中的水膜厚度，提高拌合物的流动性和密实性。在选择高效减水剂时，应关注其减水率、分散性等性能指标，并确保其与UHPC的其他原材料具有良好的相容性。高强纤维的掺入能够显著提高UHPC的抗拉强度和韧性，在选择纤维时，应关注其类型（如钢纤维、合成纤维等）、长度、直径等参数，并根据工程需求确定合适的掺量比例。还应注意控制纤维的分散性和均匀性，以确保其在UHPC中充分发挥作用。

5.2 施工现场管理与质量控制

施工现场管理与质量控制是确保UHPC道路桥梁工程施工质量的关键环节。在施工前，应编制详细的施工组织设计文件，明确施工流程、施工方法、安全措施等要求。同时还应对施工人员进行技术交底和安全教育，确保他们熟悉施工要求和操作规程。根据工程需求选择合适的施工设备，并进行必要的调试和检查。例如，搅拌机、泵车等设备应确保性能稳定、操作简便；输送管道应保证密封性良好、无泄漏现象。UHPC的施工对温度、湿度等环境条件有一定要求，在施工过程中应密切关注环境变化情况，并采取相应的措施进行调整和控制。在UHPC的搅拌、运输、浇筑和养护等施工过程中，应严格控制各个环节的质量，例如，在搅拌过程中应确保混凝土拌合物均匀无杂质；在运输过程中应保持输送管道的清洁和密封；在浇筑过程中应控制混凝土的流动速度和浇筑高度；在养护过程中应保持模具内的湿度和温度等。

5.3 质量检测与验收标准

质量检测与验收是确保UHPC道路桥梁工程施工质

量的最后一道关口。通过取样试验检测混凝土的抗压强度、抗拉强度等性能指标是否符合设计要求和相关标准。一般采用标准试块进行试验检测，并根据试验结果评估混凝土的强度等级和性能水平。通过模拟实际使用环境条件对UHPC进行耐久性试验检测，评估其抗渗性、抗冻融循环性能等耐久性能指标是否符合要求^[4]。对UHPC道路桥梁工程的外观质量进行检查评估，包括表面平整度、色泽一致性、无裂缝无空鼓等方面是否符合要求。一般采用目测和尺量等方法进行检查评估。在验收标准方面，应依据相关国家或行业标准进行验收评定。例如，《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015等标准中均对混凝土工程的施工质量验收提出了明确的要求和规定。在验收过程中应严格按照标准要求进行验收评定，确保工程质量符合设计要求和相关标准。

结束语

超高性能混凝土以其卓越的性能和广泛的应用前景，正逐步成为道路桥梁工程中的重要材料。通过严格的原材料选择与质量控制、精细的施工现场管理以及科学的质量检测与验收标准，可以确保UHPC工程的质量和安全性。未来，随着技术的不断进步和应用的深入拓展，UHPC必将在道路桥梁工程中发挥更加重要的作用，推动交通基础设施的可持续发展。

参考文献

- [1]高珊.浅谈现浇超高性能混凝土在桥梁工程中的应用[J].建筑工程技术与设计,2019,(21):1868-1868.
- [2]刘胜.超高性能混凝土在桥梁工程中的应用研究[J].建筑工程技术与设计,2020,(14):2002-2002.
- [3]丁沙,张国志,游新鹏,等.现浇超高性能混凝土在桥梁工程中的应用[J].施工技术,2021,45(17):64-66.
- [4]韩松,刘丹,张戈,等.超低水胶比复合胶凝材料孔结构随养护制度和龄期的变化机理[J].硅酸盐学报,2019,45(11):1594-1604.