

道路桥梁施工中高性能混凝土材料的应用与耐久性分析

李叶舟

湖南省安化县交通工程公司，湖南安化，413500；

摘要：采用现代技术、优质材料、活性细掺料和外加剂制成的新型高技术混凝土。其强度高可优化结构，耐久性强能抵抗多种破坏，体积稳定可减少裂缝，工艺性好保障施工。在耐久性方面，高抗渗、抗裂、抗疲劳、耐化学腐蚀表现突出。沾临黄河特大桥案例体现其优势。分析高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用与耐久性，对提高建设质量和保障结构长期稳定意义重大。

关键词：高性能混凝土；道路桥梁施工；耐久性；应用；结构优化

DOI:10.69979/3029-2727.24.04.002

引言

随着使用环境日益复杂，对其结构材料要求不断提高。高性能混凝土应运而生，成为道路桥梁建设的关键材料。它不仅决定了结构的承载能力，更深刻影响着耐久性。当前需要深入了解高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用状况，以及其耐久性表现，以此来指导施工实践，应对复杂环境挑战，保障道路桥梁在长期使用中安全可靠，减少维护成本，提升整体建设水平。

1 高性能混凝土概述

1.1 高性能混凝土的定义

高性能混凝土是一种为适应现代工程结构向大跨度、高耸、重载、耐恶劣环境发展以及对混凝土性能要求不断提高而研发的新型高技术混凝土。它是在普通混凝土基础上，依据现代混凝土技术，精心挑选优质的水泥、粗细骨料等原材料，同时掺入足够数量的活性细掺料（粉煤灰、矿渣粉等）和高效外加剂（减水剂、引气剂等）制成，与普通混凝土相比，其在工作性、强度、耐久性等多方面性能有显著提升。

1.2 高性能混凝土的特性

优化配合比和使用外加剂，使高性能混凝土具有良好的流动性与粘聚性。在搅拌过程中，严格控制搅拌时间和速度，确保各材料均匀混合。运输时，采用合适的运输工具和保温、保湿措施，防止混凝土离析和坍落度损失。浇注时能顺利填充模板各个角落且不泌水、不离析。采用高强度等级水泥，合理级配的粗细骨料，精确控制水胶比^[1]。通过试验确定最佳的活性细掺料和外加剂掺量，使混凝土抗压强度可达 C50 及以上，满足道路桥梁等对结构承载能力的高要求。选择优质抗侵蚀性的原材料，调整孔隙结构。适量的活性细掺料和外加剂能降低孔隙率、细化孔隙，增强混凝土抗渗、抗冻融、抗化学侵蚀等能力，有效抵抗外界环境破坏。控制水泥用量和水胶比，合理使用膨胀剂等措施，减少混凝土在

硬化过程中的收缩和徐变，避免裂缝产生，保证结构尺寸稳定和整体性。

2 高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用优势

2.1 高强度助力承载与成本优化

在道路桥梁施工中，高性能混凝土的高强度特性带来显著优势，以桥梁建设为例，在设计阶段，根据工程承载要求和结构特点，选择强度等级合适的高性能混凝土，通常为 C50 及以上。在原材料选择上，优先使用高强度硅酸盐水泥，其具有较高的早期强度和后期强度发展潜力。对于粗骨料，严格挑选质地坚硬、粒形良好且级配连续的碎石，粒径一般在 5 – 25mm，这种粗骨料能为混凝土提供稳定的骨架支撑。细骨料则选用细度模数合适的中砂，保证混凝土的和易性。同时，添加高性能减水剂，在不增加用水量的情况下提高混凝土的流动性，使混凝土在搅拌过程中能更好地混合均匀。

在搅拌环节，采用强制式搅拌机，依据精确的搅拌时间和速度，确保各材料充分融合。运输过程中，使用混凝土搅拌运输车，持续搅拌以保持混凝土的均匀性。在桥梁的桥墩、梁体等关键结构施工中，通过泵送工艺将高性能混凝土输送至指定位置，然后进行分层浇筑。每层浇筑高度控制在合理范围内，不超过 50cm，同时使用振捣棒进行振捣，振捣间距和时间严格按照规范执行，保证混凝土密实。通过这些措施，利用高性能混凝土的高强度特性，可减小结构断面尺寸，降低结构自重，进而提高承载能力。同时，减少了材料用量和施工成本，提升了工程的经济性和结构性能。

2.2 耐久性保障长期稳定运行

高性能混凝土的耐久性为道路桥梁在复杂环境下长期稳定运行提供坚实保障，在抗渗性方面，配合比设计是关键。将水胶比降低至 0.3 – 0.4 左右，从源头上减少孔隙产生。同时，适量掺入粉煤灰和矿渣粉。粉煤灰的玻璃微珠能填充孔隙，矿渣粉参与二次水化细化

孔隙结构。施工时，模板安装要做到密封无漏浆。振捣使用高频振捣棒，保证振捣密实，避免蜂窝麻面，从而杜绝水分渗透通道。抗冻融上，通过在高性能混凝土中适量引气，形成微小封闭气孔。在北方寒冷地区道路桥梁施工中，依据当地气候条件精确控制引气量。这些气孔可在冻融过程中缓冲冰晶膨胀压力，有效防止混凝土因反复冻融而受损。

抗化学腐蚀方面，要选择合适的水泥品种，抗硫酸盐水泥等抗侵蚀性好的材料。在化工园区附近的道路桥梁工程中，仅靠混凝土自身抗蚀性不够，还要考虑在混凝土表面涂覆防腐涂层等防护措施。在桥梁的梁体、墩柱和道路路面等部位，高性能混凝土凭借其良好的耐久性，能抵御雨水、地下水、化学物质等多种侵蚀因素。这极大地减少了因环境破坏而进行结构维修和更换的次数，保障道路桥梁的结构完整性，有效延长其使用寿命，使其在长期使用过程中稳定可靠地发挥作用。

3 高性能混凝土耐久性的具体表现及原理

3.1 高抗渗性的具体表现及原理

在沾临黄河特大桥的建设中，高性能混凝土高抗渗性的具体表现十分突出。大桥的水下基础部分长期与黄河水接触，承受着巨大的水压，但高性能混凝土有效阻止了河水的渗透。这使得基础内部保持干燥的环境，钢筋免受河水侵蚀，保证了结构的稳定性。

在主塔等结构中，即使在黄河频繁的水位变化以及可能遭遇洪水浸泡等情况下，高性能混凝土也未出现渗漏现象，保障了整个结构的耐久性。从原理上看，高性能混凝土实现高抗渗性是多种因素共同作用的结果。在原材料方面，水胶比严格控制在较低水平，一般在0.3-0.4之间，极大地降低了孔隙率。就像沾临黄河特大桥采用的高性能混凝土，低水胶比使得其内部结构更为致密。水泥选用优质的硅酸盐水泥，其水化产物能够填充部分孔隙。配合比设计上，活性细掺料发挥关键作用。粉煤灰，其中大量的球形玻璃体填充于水泥颗粒间的空隙，使孔隙结构更致密。矿渣粉与水泥水化产物发生反应，生成更多凝胶，进一步细化孔隙。使用高效减水剂，在保证混凝土良好工作性的前提下，减少了用水量，避免因多余水分蒸发而留下孔隙。

在施工环节，搅拌过程保证了充足的搅拌时间和适宜的搅拌速度，使各种材料均匀混合。振捣环节严格把控，确保混凝土密实，杜绝了蜂窝麻面等可能形成渗漏通道的缺陷。养护过程根据黄河地区的气候条件，采用合适的养护方法和足够的养护时长，防止因养护不当产生表面微裂缝，从而保证了高性能混凝土的高抗渗性。

3.2 抗裂性的具体表现及原理

在大体积混凝土结构中，大型桥梁的承台，高性能

混凝土能有效控制裂缝产生。在温度变化、收缩等因素作用下，普通混凝土可能出现大量裂缝，而高性能混凝土通过优化配合比和施工工艺，可将裂缝宽度控制在极小范围内，小于0.2mm。在桥梁薄壁结构，箱梁腹板，高性能混凝土也能减少因应力集中导致的裂缝。对于道路路面，高性能混凝土能降低因温度收缩和干缩产生的裂缝几率。其原理主要体现在以下方面。

在配合比上，控制水泥用量可降低水化热，减少温度变化引起的体积收缩。在大体积混凝土中，增加矿渣粉、粉煤灰等矿物掺合料替代部分水泥。同时，掺入膨胀剂在混凝土硬化初期产生膨胀，补偿收缩应力^[3]。微观层面，添加聚丙烯纤维等材料，它们在混凝土中呈三维乱向分布，当出现微裂缝时，纤维承担拉力阻止裂缝扩展。施工过程中，控制混凝土入模温度很关键。对于大体积混凝土，可预冷原材料、设置冷却水管降低水化热温度峰值。浇筑时，分层浇筑和振捣使内部热量均匀散发，避免温差过大产生裂缝。对于道路路面，合理设置伸缩缝和施工缝释放收缩应力，保证结构整体性和稳定性。

表1：高性能混凝土在不同环境下耐久性参数对比表

环境类型	抗渗等级 (MPa)	氯离子扩散系数 ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)	抗冻融循环次数	抗压强度损失率 (%)	裂缝宽度 (mm)
一般城市道路(无化学污染)	$\geq P12$	≤ 2.5	≥ 300	≤ 10 (经 SO_2 侵蚀5年)	≤ 0.2
沿海桥梁(海水侵蚀环境)	$\geq P16$	≤ 1.5	≥ 500	≤ 15 (经 Cl^- 侵蚀10年)	≤ 0.15
化工园区道路(酸性化学物质暴露)	$\geq P18$	≤ 1.0	≥ 400	≤ 20 (经 H_2SO_4 侵蚀8年)	≤ 0.1
北方寒冷地区桥梁(冻融+除冰盐)	$\geq P14$	≤ 2.0	≥ 600	≤ 12 (经 NaCl 侵蚀12年)	≤ 0.18

4 高性能混凝土在典型道路桥梁工程中的应用案例分析

高性能混凝土在沾临黄河特大桥的应用堪称典范。建设过程中，每一个环节都精心设计和严格把控，以充

分发挥高性能混凝土的优势。在原材料选择阶段，水泥作为关键材料，选用了具有高标号和优良稳定性的品种，这种水泥在水化过程中能为混凝土提供高强度的胶结力。对于骨料，粗骨料选取了质地坚硬、粒形良好且级配合理的碎石，其粒径经过严格筛选，保障了混凝土内部骨架结构的稳定；细骨料则是细度模数适宜的天然砂，有助于提高混凝土的和易性。

添加了适量的优质粉煤灰和矿渣粉作为矿物掺合料，这些掺合料不仅改善了混凝土的工作性能，而且在后期参与二次水化反应，进一步提高了混凝土的密实度。外加剂的选择也至关重要，高效减水剂的使用使得在保证混凝土工作性能的前提下，有效降低了水胶比，从而提升了混凝土的强度和耐久性。在混凝土的制备环节，采用了先进的搅拌设备，严格按照预定的配合比进行配料^[4]。搅拌过程中，精确控制搅拌时间和搅拌速度，确保各种原材料充分均匀混合，使混凝土的性能稳定且一致。运输过程中，使用专门的混凝土搅拌运输车，并配备了有效的保温和防离析措施，保证混凝土在运输到施工现场时，仍能保持良好的工作性能。

在大桥主塔等关键结构的施工中，混凝土的浇筑是关键步骤。通过泵送工艺将高性能混凝土输送到指定高度和位置，浇筑过程中严格控制浇筑速度和高度，采用分层浇筑的方法，并在每层浇筑后及时进行充分振捣。振捣使用高频振捣棒，按照预定的振捣时间和振捣间距进行操作，确保混凝土内部没有空隙和蜂窝麻面等缺陷，使混凝土的密实度达到最佳状态。在养护阶段，根据环境温度和湿度条件，制定了科学合理的养护方案。对于主塔等大面积混凝土结构，采用了覆盖塑料薄膜和土工布的方法，保持混凝土表面的湿度，并定期进行洒水养护，养护时间严格按照规范执行，以保证混凝土强度的正常发展和耐久性的提高。通过这些措施，高性能混凝土在沾临黄河特大桥上展现出了卓越的性能，保障了大桥在复杂的黄河环境下长期稳定运行。

5 高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用与耐久性分析

5.1 高性能混凝土的应用分析

依据工程设计强度要求，精确计算水泥、骨料、外加剂比例。针对重载道路，适当提高水泥用量和选用高强度水泥。骨料选择上，粗骨料要级配良好、质地坚硬，细骨料需细度模数合适，确保混凝土骨架稳定。外加剂方面，减水剂可改善和易性。搅拌时，严格控制搅拌时间和速度，保证均匀。运输中，使用搅拌车持续搅拌防

离析。浇注时，根据结构特点选择合适方式，桥梁薄壁结构用泵送和溜槽结合。振捣要密实，避免过振或漏振。对于不同部位，桥梁墩柱和路面基层，应用方法略有不同，墩柱要保证垂直和外观质量，路面基层要注重平整度和压实度。

5.2 高性能混凝土的耐久性分析

耐久性方面，从抗渗性看，降低水胶比并添加矿物掺合料，粉煤灰可填充孔隙。施工中保证振捣质量，使结构致密。抗裂性上，控制水泥水化热，添加纤维材料。聚丙烯纤维可阻止微裂缝扩展^[5]。对于抗疲劳强度，优化配合比提高密实度，确保施工均匀性。耐化学腐蚀性，选用抗侵蚀水泥，优化孔隙结构。在道路桥梁使用中，定期检测结构状况，对出现的问题及时修复，对裂缝及早修补，防止侵蚀介质深入，保障高性能混凝土长期发挥作用。

6 结语

高性能混凝土在道路桥梁施工中具有不可替代的作用，其应用与耐久性的研究意义重大，从其概述可知，高性能混凝土具备多种优良特性。在道路桥梁施工中，高强度、耐久性、体积稳定性和良好工艺性的优势尽显，从优化结构到保障长期使用、提升质量和确保施工顺利。其耐久性的高抗渗性、抗裂性、抗疲劳强度和耐化学腐蚀性等表现，各有原理和作用机制。典型的沾临黄河特大桥案例，充分展现高性能混凝土应对复杂环境的能力。在应用与耐久性分析中，明确了具体措施和要点。高性能混凝土推动道路桥梁建设高质量发展，未来值得更深入探索和广泛应用。

参考文献

- [1] 秦碌碌. 道路桥梁施工中高性能混凝土的应用分析 [J]. 石材, 2024, (10): 47-50.
 - [2] 高寅生. 高性能混凝土在道路桥梁工程施工中的应用分析 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022, (16): 149-151.
 - [3] 冯卡. 道路桥梁施工中高性能混凝土的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(11): 101-103.
 - [4] 郑辉. 高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用 [J]. 运输经理世界, 2021, (36): 104-106.
 - [5] 艾召山. 高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2021, (35): 158-160.
- 作者简介：李叶舟，男（1989.3.23），汉族，湖南娄底，工程师，本科学历，主要研究道路与桥梁隧道工程。