

高性能混凝土的配制、性能及应用研究

于涵洋

山西舜王建筑工程有限公司

摘要：高性能混凝土是一种在建筑工程中广泛应用的先进材料，具有出色的力学性能和耐久性。本文研究了高性能混凝土的配制、性能以及应用领域。在配制方面，研究了水泥、细骨料、粗骨料、矿渣粉、硅粉、微珠粉以及外加剂等关键原材料的性能指标，并优化了它们的配比以获得高性能混凝土。性能方面，通过测试获得了高性能混凝土的抗压强度、弹性模量、抗折强度等关键性能参数，并发现其具有较高的强度和刚性。最后，本研究探讨了高性能混凝土在高层建筑等工程项目中的应用潜力，为未来的建筑工程提供了可行性和可持续性的材料选择。高性能混凝土的研究和应用将有助于提高工程结构的性能和寿命，推动建筑工程领域的发展。

关键词：高性能；混凝土；配制；性能；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.23.013

引言

高性能混凝土作为一种关键的建筑材料，在现代工程领域中扮演着至关重要的角色。其卓越的力学性能和耐久性，使其成为高层建筑、桥梁、隧道等工程项目中的首选材料。本文旨在探讨高性能混凝土的配制、性能以及应用研究，以满足当今建筑工程对材料性能和可持续性的不断提高的需求。通过深入研究高性能混凝土的原材料选择、配比设计以及性能测试，我们将揭示其在工程领域的广泛应用潜力，并探讨其在提高结构强度、延长使用寿命以及减少环境影响方面的重要作用。高性能

混凝土的不断研究和创新，有望为未来建筑工程的可持续发展提供更坚实的基础。

一、高性能混凝土的配制

高性能混凝土（High-Performance Concrete，简称HPC）是一种具有出色性能和耐久性的建筑材料，通常用于需要承受高荷载、极端环境或特殊设计要求的工程项目。其配制需要精确的材料选择和精细的混合工艺。以下是高性能混凝土的配制过程，分为三个关键方面：

（一）材料选择

高性能混凝土的基本成分包括水泥、骨料、粉煤灰、硅灰、矿物掺合料、化学掺合剂和水。对于高性能混凝土，通常使用高品质的材料。水泥的选择应该考虑到强度、粉磨度和化学成分。骨料应该具备高强度和低吸水性能，通常使用硅酸盐骨料。粉煤灰和硅灰可以用来提高混凝土的耐久性和耐化学侵蚀性^[1]。矿物掺合料如粉煤灰和硅灰可以降低混凝土的温度裂缝敏感性。化学掺合剂如高效减水剂可以提高混凝土的流动性和工作性能。

（二）高性能混凝土的配置

混合比设计是高性能混凝土配制中至关重要的一步。它需要精确计算水、水泥、骨料和掺合料的比例，以满足项目的性能和耐久性要求。通常，高性能混凝土的水灰比要低于常规混凝土，以提高强度和耐久性。混合比的设计应考虑到混凝土的流动性、耐久性和施工性能。例如以C130高性能混凝土为例，水泥性能指标见表1。

表1 水泥性能指标

标稠 (%)	28d抗压强度 (MPa)	比表面积 ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	初凝 (min)	终凝 (min)	安定性
24.6	60.8	372	135	161	合格

细骨料配比见下表2。

表2 细骨料配比

细度模数MB值 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	石粉含量 (%)	压碎值 (%)	表观密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
3.0	0.15	2.8	4.0

(1) 细度模数MB值 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)：细度模数 (MB值) 是用于描述骨料的颗粒分布的指标。MB值为 $3.0 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，这表示细骨料的颗粒分布相对均匀，不过于粗糙也不过于细小。细度模数通常影响混凝土的工作性能和强度，适度的MB值有助于实现均匀的混凝土分散。(2) 石粉含量 (%)：石粉含量为0.15%，这表示在细骨料中含有很少的石粉。石粉通常是细小的颗粒材料，可以用于填充骨料之间的空隙，提高混凝土的流动性。0.15%的石粉含量是一个较低的数值，可能

需要根据混凝土设计的具体要求进行调整。(3) 压碎值 (%)：压碎值为2.8%，这是指细骨料中的颗粒中有2.8%是由压碎石料制成的。较低的压碎值通常意味着细骨料中包含更多的天然矿物颗粒^[3]，而不是经过机械碾压或破碎处理的颗粒。压碎值的选择通常取决于混凝土的强度和工作性能需求。(4) 表观密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)：表观密度为 $4.0 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，这是细骨料的密度。表观密度通常是骨料颗粒的总体密度，包括颗粒本身以及任何吸附在颗粒表面的水分或细小颗粒。细骨料的密度可以影响混凝土的重度和强度。

二、高性能混凝土的性能

高性能混凝土的性能在混凝土施工过程中起着至关重要的作用，对施工的可操作性和最终质量具有重要影响。根据提供的指标，可以看出高性能混凝土在各个方

面表现出色。

首先，初始扩展度为700±50mm，这意味着混凝土在刚拌和初期施工阶段具有合适的流动性，使得混凝土能够充分填充模具和形成均匀的结构。其次，倒置坍落度桶排空时间小于8秒，这表明混凝土具有出色的坍落度和可塑性，能够在倾倒过程中快速自由流动，有助于确保混凝土的均匀分布和充实度。第三，加压下混凝土的压力泌水状态正常，这意味着混凝土在施工中不会出现异常的泌水情况，保持了材料的一致性和稳定性。最后，3小时内扩展度基本无损失，这反映了混凝土在短时间内不会出现过度失水或失稠情况，确保了施工的连续性和一致性。综合而言，这些性能指标表明高性能混凝土在施工中具有出色的工作性能，有助于提高混凝土结构的质量和可靠性。这对于各种建筑项目的成功施工和性能表现都至关重要。

(一) 配合比设计

采用表观密度法进行配合比设计，目标表观密度为2520kg/m³。为了保证混凝土的强度，最小水胶比被确定，并且根据胶材总量不超过700kg/m³确定了单方用水量。通过大量试验对比，成功配制出了工作性能良好的高性能混凝土，并且在56天时，抗压强度达到了设计值C130的115%。这表明在配合比设计中，同时考虑了工作性能和强度要求，使得混凝土具有出色的施工性能和耐久性。综上所述，通过工作性能指标的满足和配合比设计的优化，成功配制出了高性能混凝土，它不仅在施工过程中易于操作，还能够满足设计要求的强度。这种综合性能使得高性能混凝土成为在各种工程项目中广泛应用的理想选择。水胶比如下图1所示。

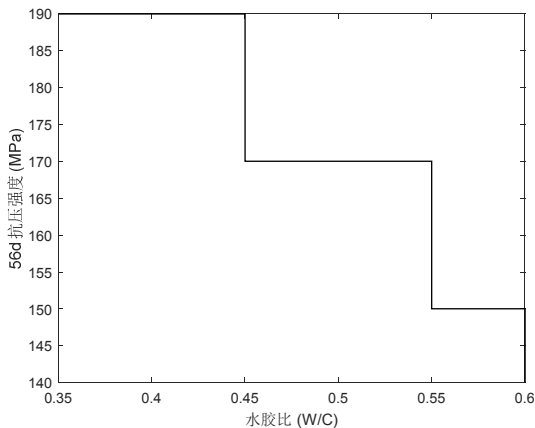


图1 水胶比示意图

(1) 水胶比对抗压强度的影响：曲线中的每个梯子级别表示具有不同水胶比的混凝土样本。从左到右，

水胶比逐渐增加。可以观察到，随着水胶比的升高，抗压强度呈下降趋势。这是因为较高的水胶比通常导致混凝土中的孔隙率增加，从而降低了混凝土的密实性和抗压强度。(2) 梯子型特点：曲线的梯子型特点表示在某个水胶比范围内，抗压强度保持不变。在每个水胶比级别内，强度数据点水平分布，表明不同混凝土样本在相同水胶比下具有相似的抗压强度。这有助于工程师在确定混凝土配合比时更好地控制和预测强度。(3) 适用性与工程需求：混凝土的水胶比需要根据具体工程需求进行选择。较低的水胶比可以提供更高的抗压强度和耐久性，适用于需要承受高荷载或严苛环境条件的项目。而较高的水胶比则可能更适合需要更好的工作性能和可泵性的工程。因此，曲线的形状提供了工程师在满足特定项目要求时的选项^[4]。(4) 强度模型：强度模型用于计算混凝土抗压强度，示例模型为60+200(1-wcr)。此模型表示抗压强度随着水胶比的减小而增加，这符合通常的观察结果。在实际工程中，可能需要基于更多的试验数据来确定适当的强度模型。

(二) 轴心抗压强度

根据试验数据的详细分析，可以得出以下结论：28天时C130高性能混凝土的轴心抗压强度达到了123.1MPa，远远超过最初的设计要求，设计要求的106MPa。这个强度的显著提高表明高性能混凝土在经过精心的配制和实验验证后，确保了结构的可靠性和安全性。这意味着在实际工程中，C130高性能混凝土将能够承受更大的荷载和压力，为工程结构的长期稳定性提供了坚实的保障。这种强度的提高也反映出高性能混凝土在工程建设中的潜在优势，为未来的建筑项目提供了更高的性能和可持续性。因此，C130高性能混凝土的出色表现对于工程实践和建筑领域具有重要意义。

(三) 弹性模量

根据现有研究结果可知，28天的弹性模量相对较高。这表明高性能混凝土在弹性方面表现出色，具有很大的刚性。这种特性使其能够在承受外部力量的同时几乎不发生可见的变形，从而保持了结构的稳定性和刚度。在大规模建筑和特殊结构项目中，对刚度的高要求通常是不可或缺的，因此高性能混凝土的这种特性对确保工程项目的成功和长期稳定性至关重要。它为结构工程师提供了一种可靠的材料选择，有望满足各种复杂工程的要求。高性能混凝土的这一特点将继续在建筑和基础设施领域发挥重要作用。

(四) 抗折强度

采用标准试件（150150550）进行抗折强度试验，

表3 C130轴心抗压强度、抗折强度和弹性模量检测结果

序号	检测项目	检测依据	龄期/d	试件尺寸/mm	检验结果
1	轴心抗压强度/MPa		28	150×150×300	123.1
2	静力受压弹性模量/GPa	GB/T50081-2019	28	150×150×300	5.21
3	抗折强度/MPa		28	150×150×550	15.2

结果显示混凝土试件的抗折强度为15.2MPa。抗折强度是另一个关键性能指标，尤其对于承受弯曲应力的结构部件至关重要。虽然抗折强度相对于轴心抗压强度较低，但仍然表明高性能混凝土在不同加载条件下都具有良好的性能。具体数据见下表3。

三、工程应用实践

高层住宅项目，总建筑面积：23万m²，建筑类型：两栋高层建筑，高度超过200米，混凝土等级：C130高性能混凝土，施工区域：2#塔楼屋面层，高度范围为214.5米至220.6米，主要构件尺寸：框架柱QLZ1：800×800毫米，框架梁KZ1c：800×1800毫米。

混凝土配制过程：（1）试配试验：为了确保混凝土的质量和性能符合设计要求，进行了试配试验，以验证配合比的合适性。试验包括了混凝土材料的选用、混合比的确定以及性能测试等。（2）出厂前检验：在混凝土生产厂进行了出厂前检验，确保混凝土原材料的质量满足标准要求，特别是C130高性能混凝土所需的水泥、骨料、粉煤灰、矿渣粉等。（3）路途运输：混凝土在生产厂通过专用运输设备运送到工地，保证混凝土在运输过程中的均匀性和稳定性，以防止材料的分层或分离^[5]。（4）工地检验：在工地对混凝土进行了进一步的检验，确保混凝土在运输和倒料过程中没有受到损害。还对混凝土的工作性能进行了检测，包括坍落度、扩展度、泌水状态等。（5）施工：经过全部检验合格后，C130高性能混凝土被用于2#塔楼屋面层的施工。在这个高度范围内，框架柱QLZ1和框架梁KZ1c的尺寸满足了高层建筑的结构需求。

C130高性能混凝土的成功应用在高层住宅项目的屋面层，保证了混凝土结构的质量和可靠性。经过严格的试验和检验，混凝土在生产、运输和施工中都得到了有效的控制，以确保最终工程的安全性和耐久性。这个项目的成功应用示范了高性能混凝土在高层建筑中的潜力和可行性。本项目具体检测数据见下表4。

表4 本项目具体检测数据

检验时间	倒筒排空时间/s	扩展度/mm	含气量/%	压力泌水/mL	V型漏斗/s
出厂	6	685	1.2	0	28
3h现场	4	710	1.0	0	19
入泵前	4	700	1.0	0	20

根据提供的数据，C130高性能混凝土在出厂、3小时现场和入泵前的性能表现稳定，符合工程要求。混凝土具有出色的流动性、低含气量、无压力泌水现象，表明混凝土的质量和工程施工质量均良好。这将有助于确保工程结构的可靠性和耐久性。

高性能混凝土（C130）的成功应用于某高层住宅项目是一项重要的工程实践，以下将对其应用实践进行分析和总结。

（1）质量可控性提高：通过试配试验、出厂前检

验、路途运输和工地检验等多个环节的严格控制，保证了C130高性能混凝土的质量稳定。倒筒排空时间、扩展度、含气量等多项性能指标在不同阶段都维持在合理范围内，这反映了混凝土质量的可控性得到有效提高。

（2）工作性能优越：通过工作性能的检测数据，我们可以看到混凝土具有出色的流动性、可加工性和低含气量。这对于高层建筑项目中的施工非常关键，有助于混凝土在浇筑、成型和泵送过程中表现出色，提高了施工效率。

（3）施工质量保障：压力泌水为零，V型漏斗时间在合理范围内，这表明混凝土在施工中没有发生分离或泌水现象，确保了混凝土的均匀性。这对于结构的可靠性和耐久性提供了保障，降低了工程质量风险。

（4）结构性能升级：C130高性能混凝土的成功应用使得高层建筑的结构性能得到了升级。其强度、耐久性和刚度的提高，为项目的长期可靠性提供了坚实基础。同时，混凝土的工作性能也有助于确保结构施工的顺利进行。综上所述，C130高性能混凝土在某高层住宅项目中的应用实践取得了成功，不仅提高了混凝土的质量可控性，还改善了施工效率和工程质量，为高层建筑结构性能的升级提供了可行的解决方案。这一实践案例为今后类似工程项目提供了有益的经验参考。

四、结束语

高性能混凝土的配制、性能及应用研究为现代建筑工程领域带来了新的前景和机遇。在本文中，深入探讨了高性能混凝土的配制过程，包括水泥、骨料等关键材料的性能指标和配比设计。通过严格的性能测试，验证了高性能混凝土在抗压强度、抗折强度、弹性模量等方面的卓越表现。总之，高性能混凝土的研究和应用为现代建筑工程带来了创新和改进的机会。通过持续的研究和技术创新，可以进一步推动高性能混凝土的发展，为建筑工程的可持续性和安全性做出更大的贡献。在未来，高性能混凝土将继续在建筑行业中发挥关键作用，满足不断增长的工程需求和标准。

参考文献

[1] 陈起群. 高性能机制砂混凝土的配制及性能试验分析[J]. 广东建材, 2021, 37(09): 11-13+41.

[2] 张晓莹, 钱晓黎, 赵珈淇. 高性能混凝土配制技术研究[A]. 《建筑科技与管理》组委会. 2021年7月建筑科技与管理学术交流会论文集[C]. 《建筑科技与管理》组委会: 北京恒盛博雅国际文化交流中心, 2021: 77-79.

[3] 薛佩. 利用风积沙配制超高性能混凝土及性能研究[D]. 新疆农业大学, 2021.

[4] 史美洁. 复合掺合料配制高性能混凝土的研究[J]. 住宅与房地产, 2021, (07): 140-141.

[5] 钱维圣, 师元. 泵送高强高性能混凝土的配制与应用[J]. 砖瓦, 2020, (12): 155-156.