

高性能混凝土材料试验研究与性能分析

葛千子 孔渝瓚

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：随着现代建筑技术的飞速发展，高性能混凝土（High-Performance Concrete, HPC）因其优异的物理和力学性能而备受关注。本文旨在通过试验研究与性能分析，探讨高性能混凝土的材料组成、制备工艺、力学性能和耐久性，为高性能混凝土在水利水电工程中的应用提供科学依据和技术支持。通过对比分析，我们发现高性能混凝土在抗压强度、抗渗性、抗冻融性等方面均表现出色，为工程质量的提升和耐久性的增强提供了有力保障。

关键词：高性能混凝土；材料组成；制备工艺；力学性能；耐久性

引言：随着城市化进程的加快和基础设施建设的不断推进，混凝土作为最常用的一种建筑材料，其性能优劣直接影响到工程的质量、安全性和使用寿命。高性能混凝土作为一种新型建筑材料，以其高强度、高耐久性、高抗渗性等优点，在工程实践中得到了广泛应用。然而，高性能混凝土的材料组成复杂、制备工艺繁琐，其性能受多种因素影响。因此，对高性能混凝土进行系统的试验研究与性能分析具有重要意义。

1 高性能混凝土材料试验研究与性能分析的意义

1.1 它确保了工程的安全性和耐久性

在高层建筑、桥梁及水利设施等关键土木工程中，高性能混凝土需经受复杂环境与长期荷载考验^[1]。通过详尽试验，准确评估其力学强度、变形特性、抗渗及抗冻性能，有效预防结构失效与耐久性下降，确保工程长期安全稳定运行，降低维护成本。

1.2 为工程应用提供科学依据和技术支持

该领域研究为工程应用提供了坚实的科学依据和技术支撑。设计阶段，基于试验数据优化混凝土配比与工艺，精准调控性能；施工阶段，通过工作性能测试保障施工顺畅；验收阶段，试验结果成为质量评估的关键标尺，确保工程品质达标。

1.3 推动技术创新与行业可持续发展

面对节能减排与资源高效利用的挑战，研究促使高性能混凝土技术不断革新，如利用工业废渣制备环保型混凝土，减少环境影响。同时，先进测试技术的应用，如SEM、XRD等，深化了对混凝土微观结构与性能关系的理解，为性能优化开辟新径，引领行业向更加绿色、高效、智能的方向迈进。

2 高性能混凝土的材料组成与制备

2.1 材料组成（见图1）

（1）水泥作为高性能混凝土的核心胶凝材料，其高

强度、适宜凝结时间及优良安定性至关重要，影响混凝土的综合性能。硅酸盐及普通硅酸盐等水泥类型，因化学物理特性不同，直接关联混凝土的早期强度、水化热及耐久性。（2）骨料质量是混凝土力学与耐久性的关键，粗骨料粒径、级配、强度及表面特性优化，可增强抗压、抗折强度及密实度；细骨料细度与形状亦影响工作性与强度。控制骨料含泥量与有害物，避免形成薄弱界面，保障耐久性。（3）矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉、硅灰，通过改善微观结构，显著提升混凝土耐久性与工作性。粉煤灰促进二次反应，增强密实与抗渗；矿渣粉增强抗侵蚀；硅灰则大幅提升早期强度与耐久性，但需留意其高需水性。（4）化学外加剂，如减水剂、缓凝剂、早强剂及膨胀剂，有效调节混凝土性能。减水剂提升流动性，缓凝剂延长凝结便于施工，早强剂加速强度发展，膨胀剂减少裂缝，共同促进混凝土高效应用与长久安全。



图1 混凝土材料组成

2.2 制备工艺

（1）在材料称量环节，需要使用高精度的称量设备，严格按照设计配合比准确称取各种原材料的用量。任何微小的称量误差都可能导致混凝土性能的波动。例如，如果水泥的称量过多，可能会导致混凝土的水化热过高，增加裂缝产生的可能性；而骨料称量不足则会会影响混凝土的强度和体积稳定性。（2）搅拌是使各种原材料均匀混合的重要过程。搅拌时间的长短和搅拌方式的选择直接影响混凝土的匀质性和性能。一般来说，高性

能混凝土的搅拌时间应适当延长,以确保水泥、矿物掺合料等充分水化和分散^[2]。并且采用强制式搅拌机能够提供更强大的搅拌力,使混凝土达到更好的搅拌效果。

(3) 浇筑过程需要注意控制混凝土的下落高度和浇筑速度,避免混凝土产生离析和分层现象。对于大体积高性能混凝土构件,还需要采取分层浇筑和振捣的方法,确保混凝土的密实度。此外,浇筑时的环境温度和湿度也

会对混凝土性能产生影响,在高温或干燥的环境下,可能需要采取降温保湿措施。(4) 养护是高性能混凝土制备工艺中的关键环节之一。(见表1)合适的养护条件能够促进水泥的水化反应,发展混凝土的强度,并减少收缩裂缝的产生。养护方式包括自然养护、蒸汽养护和覆膜养护等。在养护期间,需要保持混凝土表面的湿润,并控制养护温度和湿度。

表1 混凝土养护

类别	名称	说明
自然养护与覆膜养护	洒水(喷雾)养护	在混凝土面不断洒水(喷雾),保持其表面湿润
	盖浇水养护	在混凝土面覆盖湿麻袋、草袋、湿砂、锯末等,不断洒水保持其表面湿润
	围水养护	四周围成土埋,将水蓄在混凝土表面
	铺膜养护	在混凝土表面铺上薄膜,阻止水分蒸发
	喷膜养护	在混凝土表面喷上薄膜,阻止水分蒸发
蒸汽养护	蒸汽养护	利用热蒸汽对混凝土进行湿热养护
	热水(热油)养护	将水或油加热,将构件搁置在其上养护
	电热养护	对模板加热或微波加热养护
	太阳能养护	利用各种罩、窑、集热箱等封闭装置对构件进行养护

3 高性能混凝土材料试验研究

3.1 抗压强度试验

高性能混凝土凭借其独特的性能,在抗压强度方面普遍展现出优于普通混凝土的显著优势。通过精心优化配合比以及审慎选用优质材料,其抗压强度还有进一步提升的空间。在一系列的试验中,我们深入探究了影响高性能混凝土抗压强度的多种因素,结果清晰地表明,水灰比、骨料类型、矿物掺合料种类和掺量等要素发挥着至关重要的作用^[3]。水灰比的大小直接影响着混凝土的密实度和强度。较低的水灰比能够有效减少混凝土中的孔隙数量,使水泥浆体更加致密,从而显著增强抗压强度。例如当水灰比从0.45降低至0.35时,高性能混凝土的抗压强度可能会提升20%以上。骨料类型的差异也会对高性能混凝土的抗压强度产生明显影响。质地坚硬、强度高且表面粗糙的骨料,能够与水泥浆体形成更牢固的结合,从而更好地承受外部压力。如选用花岗岩骨料相较于使用石灰石骨料,在相同条件下,混凝土的抗压强度可能会有显著提高。矿物掺合料的种类和掺量同样不容忽视。粉煤灰、矿渣粉等常见的矿物掺合料,在合适的种类选择和适当的掺量控制下,能够与水泥水化产物发生化学反应,填充混凝土内部的微小孔隙,改善微观结构,进而提高抗压强度。

3.2 抗渗性试验

高性能混凝土在抗渗性方面的出色表现,使其在众多工程应用中脱颖而出。通过大量的试验研究,我们发

现其抗渗性与多个关键因素紧密相连。高性能混凝土的密实度是决定其抗渗性能的重要基础。通过优化配合比和施工工艺,减少混凝土内部的孔隙和微裂缝,能够有效阻止水分的渗透路径。骨料类型对高性能混凝土的抗渗性有着直接的影响。选用颗粒形状规则、级配良好且质地均匀的骨料,能够降低骨料与水泥浆体之间的界面过渡区的孔隙率,减少潜在的渗透通道。掺合料的种类在提升高性能混凝土抗渗性方面也发挥着关键作用。某些矿物掺合料能够改善水泥浆体的微观结构,增强其抗渗能力。比如硅灰的掺入可以显著细化水泥浆体的孔隙,提高抗渗性能。在制备高性能混凝土的过程中,通过严格控制水灰比在合理范围内,(见表2)优化骨料级配以降低孔隙率,并选用适宜的掺合料改善浆体性能等措施,可以显著增强高性能混凝土的抗渗性,为工程的长期稳定性提供有力保障。

表2 抗渗混凝土最大水胶比

设计抗渗等级	最大水胶比	
	设计C20-C30	C30以上
P6	0.60	0.55
P8-P12	0.55	0.50
> P12	0.50	0.45

3.3 抗冻融性试验

高性能混凝土在抗冻融性方面的卓越表现,为其在寒冷地区的广泛应用奠定了坚实基础。通过试验研究,我们揭示了高性能混凝土的抗冻融性与其多个内在因素

密切相关。孔隙结构是影响高性能混凝土抗冻融性能的重要因素之一。较小且均匀分布的孔隙能够有效减轻冻融过程中水分结冰产生的膨胀压力，降低混凝土内部的损伤。水泥石与骨料界面的粘结力对于抵抗冻融破坏至关重要。良好的粘结力能够避免在冻融循环中界面处产生裂缝和剥落，保持混凝土结构的完整性。掺合料在改善高性能混凝土抗冻融性方面发挥着重要作用。适量的引气剂能够引入微小均匀的气泡，这些气泡在冻融过程中可以起到缓冲作用，减轻内部压力，从而提高混凝土的抗冻融能力。在制备过程中，通过精细控制水灰比以优化孔隙结构，精心优化骨料级配以增强界面粘结力，合理选用合适的掺合料等措施，可以进一步提升高性能混凝土的抗冻融性，确保其在恶劣气候条件下依然能够保持稳定的性能和良好的耐久性。（见表3）

表3 抗冻混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量

设计抗冻等级	最大水胶比		最小胶凝材料用量 (kg/m ³)
	无引气剂时	掺引气剂时	
F50	0.55	0.60	300
F100	0.50	0.55	320
不低于F150	—	0.50	350

4 高性能混凝土的性能分析

4.1 力学性能分析

高性能混凝土各方面均表现出色。试验表明，相比普通混凝土，高性能混凝土具备更优的力学性能。这一优势的产生，首先归因于其精心优化的配合比。通过科学调配水泥、骨料、矿物掺合料和外加剂的比例，使各组分充分发挥协同作用，从而增强了混凝土的整体强度^[4]。其次，先进的制备工艺确保了材料的均匀混合和充分反应，提高了混凝土的均质性和稳定性。再者，优质的原材料为高性能混凝土的卓越力学性能奠定了基础，如高强度的水泥和优质的骨料。并且高性能混凝土的力学性能还与养护条件和龄期密切相关。适宜的养护条件，如温度、湿度的控制，能促进水泥的水化反应，使混凝土

的强度得以充分发展。而随着龄期的增长，混凝土的强度也会逐步提高。

4.2 耐久性能分析

高性能混凝土在抗渗性、抗冻融性、抗碳化性等方面表现卓越。其致密的内部结构有效地阻止了水分、气体和有害物质的侵入，大大提高了混凝土的抗渗和抗碳化能力。优化的骨料级配减少了混凝土内部的孔隙和缺陷，增强了其结构的整体性和稳定性。合适的掺合料种类及掺量不仅改善了混凝土的微观结构，还提高了其抵抗外界侵蚀的能力。然而，高性能混凝土的耐久性也并非完全不受外界因素影响。环境条件，如恶劣的气候、腐蚀性的介质等，以及使用要求的不同，都可能对其耐久性产生一定的挑战。因此，在实际应用中，需要综合考虑这些因素，以确保高性能混凝土能够长期稳定地发挥其优异性能。

结语

通过本次试验研究与性能分析，我们深入了解了高性能混凝土的材料组成、制备工艺、力学性能和耐久性等方面的特点。试验结果表明，高性能混凝土在抗压强度、抗渗性、抗冻融性等方面均表现出色，为水利水电工程中的广泛应用提供了有力支持。未来我们将继续关注高性能混凝土的技术创新和发展趋势，为水利行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]王兴振.关于高性能混凝土原材料及其配比问题的探讨[J].冶金与材料,2021,41(4):163-164.
- [2]潘献珍.公路工程施工中的水泥混凝土强度检测及评定[J].建材发展导向(上),2020,18(1):123-126.
- [3]张世杰.论高性能水泥混凝土配合比性能的试验检测[J].中国建筑金属结构,2020(11):120-121.
- [4]李建敏.某水利枢纽工程中高性能混凝土应用实践研究[J].黑龙江水利科技,2021,49(4):171-174.