

混凝土配合比优化试验与应用研究

何婷婷

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810000

摘要: 本文旨在探讨混凝土配合比的优化试验方法与其在实际工程中的应用潜力。通过理论分析与试验设计,研究不同原材料比例对混凝土性能的影响,提出一种科学合理的配合比优化策略,以期提高混凝土的力学性能、耐久性和经济性。本研究侧重于试验方法的建立、优化理论的探讨,期望为混凝土配合比设计提供理论指导和技术支持。

关键词: 混凝土配合比; 优化试验; 力学性能; 耐久性; 经济性

引言

混凝土作为建筑工程中最常用的材料之一,其性能直接影响结构的安全性和耐久性。配合比设计是混凝土性能调控的关键环节,合理的配合比不仅能提高混凝土的强度、抗裂性、耐久性等,还能降低材料成本,提高经济效益。因此,开展混凝土配合比优化试验与应用研究具有重要意义。

1 混凝土配合比设计的目标与原则

混凝土配合比设计的核心目标是通过精确调整水泥、水、砂、石等原材料的比例,使混凝土满足特定的性能要求。这些性能要求主要包括强度等级、工作性、耐久性和经济性。强度等级是混凝土最基本的性能指标,它决定了混凝土在承受荷载时的能力。在配合比设计中,必须根据工程实际需要,确定合理的强度等级,以确保混凝土的结构安全性。工作性则是指混凝土在搅拌、运输、浇筑和振捣过程中的和易性。良好的工作性可以确保混凝土施工过程的顺利进行,提高施工效率。耐久性则是混凝土长期性能的重要体现,它包括抗渗性、抗冻性、抗化学侵蚀性等多个方面。通过合理的配合比设计,可以提高混凝土的耐久性,延长混凝土的使用寿命。经济性则是混凝土配合比设计不可忽视的一方面。在保证混凝土性能的前提下,应尽量降低材料成本,提高工程的经济效益。

2 混凝土配合比优化试验方法

2.1 试配法

试配法是一种基于实际试验的混凝土配合比优化方法,其详细步骤如下:

2.1.1 准备阶段

根据工程需求,确定试验的主要目标,如提高混凝土强度、改善工作性、增强耐久性等。确保试验室配备有强制式搅拌机,且符合现行行业标准《混凝土试验用搅拌机》JG 244的规定。同时,准备好其他必要的试验设

备,如电子秤、坍落度筒等。收集工程中实际使用的原材料,包括水泥、砂、石、水、外加剂等,并确保其质量符合相关标准。根据搅拌机的公称容量,确定每盘混凝土试配的最小搅拌量,通常不小于搅拌机公称容量的1/4且不大于其公称容量。

2.1.2 配合比设计

根据工程要求和原材料性能,初步计算出一个配合比,包括水泥用量、水胶比、砂率、骨料级配等参数。测量原材料的含水率,并根据含水率调整配合比中的用水量和骨料用量。通常,细骨料含水率应小于0.5%,粗骨料含水率应小于0.2%。

2.1.3 试拌调整

按照计算出的配合比准确称量各种原材料,并留出部分外加剂作为调整用。将全部原材料倒入搅拌机进行搅拌,搅拌时间应符合相关规定,以确保混凝土拌合物的均匀性。搅拌完成后,观察混凝土拌合物的流动性和工作性。如果拌合物过干或过稀,可以适当增加或减少浆体(即同时增加或减少水和胶凝材料)来改善^[1]。在初步计算的砂率基础上,分别增加和减少砂率进行试拌,观察不同砂率对拌合物性能的影响,选择出流动性与工作性最好的砂率。根据拌合物的性能,适当调整外加剂的用量,以达到最佳的塑化效果。通过反复试拌和调整,逐步优化外加剂、砂率和胶凝材料用量,直到得到满足要求的混凝土配合比。

2.1.4 强度试验

采用三个不同的配合比(其中一个为上述确定的试拌配合比,另外两个配合比的水胶比分别增加和减少0.05)制作混凝土试件。将试件按照标准养护条件进行养护,通常是在温度为 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为95%以上的标准养护室中养护。在达到设计规定龄期(通常为28天)时,对试件进行抗压强度试验,以评估不同配合比的强度性能。

2.1.5 配合比调整

根据强度试验结果，绘制强度和胶水比的线性关系图，或者采用插值法来确定满足配制强度要求的胶水比。将选定的胶水比转换为水胶比，并维持用水量不变，重新计算出相应的胶凝材料、矿物掺合料和水泥用量，以及粗骨料和细骨料用量。在此基础上，对试拌配合比进行调整和优化，考虑其他性能要求（如耐久性、抗裂性等），得出最终的混凝土配合比。

2.1.6 验证试验

为了确保混凝土的耐久性满足设计要求，还需要进行一系列的验证试验，如抗氯离子渗透试验、抗冻试验、抗碳化试验和抗硫酸盐侵蚀试验等。根据验证试验的结果，对配合比进行必要的调整和优化，以确保混凝土在实际使用中的性能稳定可靠。

2.2 正交试验法

正交试验法是一种基于数理统计原理的高效试验设计方法，其详细步骤如下：

2.2.1 确定试验因素和水平

根据混凝土性能的要求和原材料的特性，选择对混凝土性能有显著影响的因素，如砂率、水胶比、粉煤灰掺量、减水剂掺量等。根据工程要求和原材料性能，确定每个因素的水平范围，即不同的取值。例如，水胶比可以选择0.35、0.40、0.45三个水平，砂率可以选择35%、40%、45%三个水平等。

2.2.2 设计正交表

根据确定的试验因素和水平，选择合适的正交表。正交表是一种标准化的表格，用于安排试验方案，可以确保试验次数尽可能少，同时能够全面反映各因素及其交互作用对混凝土性能的影响^[2]。在正交表中，每个因素的不同水平都会与其他因素的不同水平进行组合，形成一系列的试验方案。按照正交表设计的试验方案进行试验，可以高效地探索各因素对混凝土性能的影响。

2.2.3 进行试验

根据试验方案，准备相应的原材料，并确保其质量符合相关标准。按照试验方案制作混凝土试件，并按照规定标准养护条件进行养护。在达到设计规定龄期时，对试件进行性能测试，如抗压强度、坍落度、耐久性等。

2.2.4 数据分析

对试验结果进行统计分析，计算各因素的主效应和交互效应。主效应表示单个因素对混凝土性能的影响程度，交互效应表示两个或两个以上因素共同作用时对混凝土性能的影响程度。根据分析结果，确定各因素对混凝土性能的影响顺序和显著性水平。通常，影响显著

的因素应作为配合比优化的重点考虑对象。根据分析结果，选择出满足工程要求的最佳配合比方案。如果最佳配合比方案不在正交表中，可以通过插值法或回归分析法来估计其性能。

2.2.5 验证与优化

对选定的最佳配合比方案进行验证试验，以确认其在实际应用中的可行性。根据验证试验的结果，对配合比进行必要的调整和优化，以确保混凝土在实际使用中的性能稳定可靠。

2.3 响应面法

响应面法是一种通过构建响应面模型来预测和优化混凝土配合比的方法，其详细步骤如下：

2.3.1 确定试验因素和水平

与正交试验法类似，首先需要确定影响混凝土性能的主要因素和水平范围。这些因素可以包括水胶比、砂率、粉煤灰掺量、减水剂掺量等。选择合适的试验设计方法（如中心复合设计、Box-Behnken设计等）来安排试验方案。这些方法可以确保试验点均匀分布在因素空间内，提高响应面模型的准确性。

2.3.2 进行试验

根据试验方案，准备相应的原材料，并确保其质量符合相关标准。按照试验方案制作混凝土试件，并按照规定标准养护条件进行养护。在达到设计规定龄期时，对试件进行性能测试，如抗压强度、坍落度等。

2.3.3 构建响应面模型

对试验数据进行预处理，包括数据清洗、归一化处理等，以提高数据的质量和可用性。根据数据的特性和试验目的，选择合适的响应面模型类型（如多项式回归模型、神经网络模型等）。使用统计软件（如Design-Expert、Minitab等）对试验数据进行回归分析，构建响应面模型。模型应能够准确描述混凝土性能与配合比参数之间的函数关系。

2.3.4 优化配合比

根据工程要求，设定混凝土性能的优化目标（如最大化抗压强度、最小化坍落度损失等）。使用合适的优化算法（如遗传算法、粒子群算法等）来搜索满足优化目标的最佳配合比方案。这些算法可以在响应面模型的基础上，通过不断迭代和调整配合比参数，使混凝土性能指标逐渐接近目标值。经过优化算法的计算，得出满足工程要求的最佳配合比方案。

2.3.5 验证与应用

对优化后的配合比方案进行验证试验，以确认其在实际应用中的可行性。验证试验应包括性能测试、耐久

性试验等,以确保混凝土在实际使用中的性能稳定可靠。将验证后的配合比方案应用于实际工程中,并进行现场监测和评估。根据现场监测和评估的结果,对配合比进行必要的调整和优化,以适应实际工程的需求。

3 混凝土配合比优化策略

3.1 水泥用量的优化

水泥是混凝土中的主要胶凝材料,其用量直接影响到混凝土的强度、耐久性和经济性。在保证混凝土强度满足设计要求的前提下,减少水泥用量是混凝土配合比优化的重要方向之一。首先,可以通过添加高效减水剂来实现水泥用量的减少。高效减水剂能够显著降低混凝土拌合物的用水量,同时保持或提高混凝土的流动性和工作性。这样,在保持混凝土强度不变的情况下,可以减少水泥的用量,从而降低混凝土的成本和水化热,提高混凝土的耐久性。其次,优化水泥的颗粒级配也是减少水泥用量的有效途径。通过选择具有合理颗粒级配的水泥,可以提高水泥的利用率,使得在相同强度下,所需的水泥用量减少。同时,合理的水泥颗粒级配还有助于改善混凝土的微观结构,提高其密实性和耐久性^[3]。此外,还可以通过调整混凝土的砂率来间接减少水泥用量。在保持混凝土流动性和工作性不变的情况下,适当增加砂率可以减少混凝土的空隙率,提高混凝土的密实性和强度。这样,在达到相同强度等级的情况下,所需的水泥用量也会相应减少。

3.2 骨料级配的优化

骨料是混凝土中的主要组成部分,其级配对混凝土的密实性、工作性和强度有着重要影响。通过优化骨料的级配,可以改善混凝土的性能,提高强度并减少水泥用量。骨料的级配是指骨料中不同粒径颗粒的分布情况。合理的骨料级配应该使得骨料颗粒之间能够紧密排列,形成密实的骨架结构。这样,在混凝土拌合物中,骨料能够充分发挥其支撑作用,减少水泥浆体的用量,从而降低混凝土的成本和收缩变形。同时,优化骨料级配还可以改善混凝土的工作性。合理的骨料级配可以使混凝土拌合物具有良好的流动性和粘聚性,便于施工操作。此外,通过调整骨料的级配,还可以控制混凝土的孔隙结构,提高其抗渗性和耐久性。在具体实践中,可以通过试验确定最佳的骨料级配方案。通过对比不同级配方案下混凝土的性能指标,选择出最优的级配方案进行应用。

3.3 外加剂的合理使用

外加剂是混凝土中不可或缺的重要组成部分,它们能够显著改善混凝土的性能,满足工程需求。根据工程需要,选择合适的外加剂是混凝土配合比优化的重要策略之一。例如,使用引气剂可以提高混凝土的抗冻性。引气剂能够在混凝土拌合物中引入大量微小气泡,这些气泡能够分散和缓解冻融循环过程中产生的应力,从而提高混凝土的抗冻性能。缓凝剂则是调节混凝土凝结时间的有效手段^[4]。在高温季节或长距离运输的情况下,使用缓凝剂可以延长混凝土的凝结时间,避免混凝土在运输过程中过早凝结而影响施工质量。此外,还有诸多其他类型的外加剂,如早强剂、速凝剂、防水剂等,它们都能够根据工程需要,改善混凝土的性能,满足特定要求。

3.4 掺合料的利用

在混凝土中加入掺合料是另一种有效的配合比优化策略。掺合料不仅能够替代部分水泥,降低混凝土的成本,还能改善混凝土的性能。粉煤灰、矿渣粉等是常见的掺合料。它们具有火山灰活性,能够与水泥水化产物发生二次反应,生成更多的水化产物,从而提高混凝土的强度。同时,掺合料的加入还能够改善混凝土的孔隙结构,提高其抗渗性和耐久性。此外,掺合料的加入还能够降低混凝土的水化热。水泥水化过程中会放出大量的热量,如果水化热过高,可能会导致混凝土内部温度裂缝的产生。而掺合料的加入能够减缓水泥的水化速度,降低水化热,从而避免温度裂缝的产生。

结语

混凝土配合比优化试验与应用研究是提高混凝土性能、降低工程成本的重要途径。通过科学的试验方法和优化策略,可以显著提高混凝土的力学性能、耐久性和经济性。未来,随着新材料、新技术的不断涌现,混凝土配合比优化将面临更多挑战和机遇,需要不断深入研究和实践探索,为建筑工程的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1]熊林,辛巧玲.混凝土配合比优化设计方法讨论[J].广东建材,2024,40(09):178-180.
- [2]刘万涛.建筑工程水泥混凝土配合比设计及优化[J].全面腐蚀控制,2024,38(05):111-114+126.
- [3]王潇潇.加固修复用混凝土配合比优化试验研究[D].西南科技大学,2024.
- [4]梁楠.混凝土配合比优化对建筑施工高强度应用的影响[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(35):105-107.