

# 水泥混凝土配合比优化对其力学性能的影响

王 博

西安市市政混凝土有限责任公司 陕西 西安 710000

**摘要：**水泥混凝土配合比优化是提升其力学性能的关键途径。通过精细调整水泥等级与用量、水灰比、集料级配以及掺合料与外加剂的选择，可以显著改善混凝土的强度、韧性、耐久性等关键力学性能。本文系统研究了配合比优化对混凝土力学性能的具体影响，揭示不同配合比参数调整对混凝土强度增长、变形控制及耐久性能提升的作用机制。研究结果表明，科学的配合比设计能够显著提升混凝土的力学性能，为工程应用提供坚实的理论与实践基础。

**关键词：**混凝土；配合比设计；力学性能

## 1 水泥混凝土配合比的基本概念

水泥混凝土配合比的基本概念是指在混凝土制备过程中，根据设计要求和工程特性，合理确定水泥、水、骨料（包括粗骨料和细骨料，如碎石、砂等）以及可能添加的外加剂（如减水剂、缓凝剂等）之间的比例关系。这一比例直接决定了混凝土的物理力学性能、工作性能（如和易性）、耐久性以及经济性。具体来说，配合比的设计需考虑几个关键因素：（1）强度要求。根据结构设计所需的抗压、抗拉等强度指标，选择适当的水泥类型和强度等级，并调整各组分比例以满足强度要求；（2）工作性。混凝土的和易性，即其拌合物的流动性、粘聚性和保水性，影响浇筑、振捣和密实度，进而影响最终质量。通过调整水灰比、骨料级配和外加剂的使用可以改善工作性；（3）耐久性。针对特定的使用环境（如冻融循环、化学侵蚀、磨损等），通过选择高质量原材料、添加特定的外加剂或调整配合比来提高混凝土的耐久性；（4）经济性。在保证质量的前提下，通过优化配合比，如合理减少水泥用量、利用再生骨料等，达到降低成本的目的<sup>[1]</sup>；（5）环保性。现代混凝土配合比设计还注重环保，尽量减少对环境的影响，比如使用低碱水泥、粉煤灰等工业废弃物作为掺合料。水泥混凝土配合比不仅仅是简单的数学比例，而是基于工程科学原理，结合实践经验，综合考虑多种因素后确定的一个复杂而关键的施工参数。正确的配合比设计对于保证工程质量、提高施工效率、降低工程造价以及促进可持续发展具有重要意义。

## 2 影响混凝土力学性能的关键因素

### 2.1 水泥类型与用量

水泥作为混凝土中的主要胶凝材料，其类型和用量对混凝土的力学性能起着至关重要的作用。水泥的类型多样，主要包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣

硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥等，每种水泥因其矿物组成和制造工艺的不同，展现出独特的物理和化学性质，进而影响混凝土的硬化速度、强度发展、耐久性等力学性能。硅酸盐水泥因其熟料中硅酸三钙和硅酸二钙含量高，水化速度快，早期强度高，是追求高强度和快速施工的首选。过量使用可能导致混凝土收缩增大，耐久性下降。相比之下，矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥，由于掺入了矿渣或火山灰等活性掺合料，水化反应较慢，早期强度较低，但后期强度增长稳定，且能有效提高混凝土的抗渗性、抗硫酸盐侵蚀能力等耐久性指标。水泥的用量同样关键，适量的水泥能确保混凝土有足够的胶凝材料形成强度，但过量使用不仅增加成本，还会导致混凝土内部孔隙率增加，影响密实度和耐久性。反之，水泥用量不足则混凝土强度难以达到设计要求。

### 2.2 集料（砂、石）的性质与级配

集料是混凝土体积的主要组成部分，对混凝土的力学性能有着不可忽视的影响。集料的性质，包括颗粒形状、表面纹理、密度、吸水率以及化学成分，直接决定了混凝土的强度、工作性和耐久性。集料的级配，即不同粒径颗粒的比例分布，对混凝土的力学性能同样重要。良好的级配能形成紧密堆积，减少空隙率，提高混凝土的密实度和强度。反之，级配不良会导致混凝土拌合物和易性差，硬化后出现分层、离析现象，严重影响混凝土的均匀性和强度。

### 2.3 水灰比的控制

水灰比，即混凝土中水的质量与水泥质量的比值，是控制混凝土力学性能的核心参数。水灰比的大小直接影响混凝土的拌合物工作性、硬化后的强度和耐久性。水灰比过高，会导致混凝土内部孔隙率增大，结构疏松，强度降低，耐久性变差；而水灰比过低，则混凝土

拌合物过于干硬,难以施工,且可能因水化不充分而导致强度发展不足<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 外加剂与掺合料的使用

外加剂和掺合料是现代混凝土技术的重要组成部分,对混凝土的力学性能有着显著的改善作用。外加剂,如减水剂、缓凝剂、早强剂等,通过调节混凝土拌合物的工作性,延长或缩短水泥水化时间,加速或延缓强度发展,满足特定施工需求。例如,减水剂能有效降低混凝土用水量,提高强度,改善耐久性;缓凝剂则适用于大体积混凝土,防止因水化热过高导致的裂缝问题。

### 3 水泥混凝土配合比优化方法

#### 3.1 调整水泥等级与用量

在水泥混凝土配合比优化过程中,调整水泥等级与用量是至关重要的一步。水泥作为混凝土中的关键胶凝材料,其等级和用量直接影响混凝土的强度、工作性、耐久性等关键性能。根据工程的具体需求,选择合适的水泥等级。不同等级的水泥具有不同的矿物组成和强度发展特性。例如,对于需要快速达到设计强度的工程,可以选择早期强度高的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;而对于需要长期强度稳定性和耐久性的工程,则可以考虑使用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥。通过选择适宜的水泥等级,可以在满足工程需求的同时,避免不必要的成本浪费。精确控制水泥的用量,水泥用量的多少直接影响混凝土的强度和工作性。过多的水泥用量虽然可以提高混凝土的强度,但也会增加成本,同时可能导致混凝土收缩增大、耐久性下降。相反,水泥用量不足则会导致混凝土强度不足,无法满足设计要求。在配合比设计时,应根据集料的性质、水灰比、外加剂和掺合料的使用情况,通过试验确定最佳的水泥用量,以实现强度、工作性和经济性的最佳平衡。还可以通过调整水泥的掺入方式,如采用双掺技术(即同时掺入不同等级或类型的水泥),来进一步优化混凝土的配合比。双掺技术可以充分利用不同水泥的互补优势,提高混凝土的综合性能。

#### 3.2 优化水灰比

水灰比是混凝土配合比中另一个至关重要的参数,它直接影响混凝土的强度、工作性和耐久性。优化水灰比是提高混凝土性能的关键措施之一。首先,通过精确计量用水量,确保水灰比控制在合理范围内,过多的用水量会导致混凝土内部孔隙率增大,结构疏松,从而降低混凝土的强度和耐久性。相反,用水量不足则会使混凝土拌合物过于干硬,难以施工。在配合比设计时,应根据集料的吸水率、水泥的用水量需求以及外加剂和掺

合料的影响,通过试验确定最佳的水灰比。其次,采用高性能外加剂,如高效减水剂,可以显著降低混凝土的用水量,从而提高水灰比的控制精度。高效减水剂通过改变水泥颗粒表面的电荷分布,减少水泥颗粒间的絮凝作用,使水泥颗粒在水中更加分散,从而提高混凝土的流动性,降低用水量<sup>[3]</sup>。另外,还可以通过调整混凝土的拌合工艺,如采用二次投料法或强制式搅拌机,提高混凝土的拌合均匀性,进一步降低用水量,优化水灰比。

#### 3.3 调整砂率与石粉率

砂率和石粉率是混凝土配合比中影响混凝土性能的重要因素。通过调整砂率和石粉率,可以进一步优化混凝土的配合比,提高混凝土的性能。砂率是指混凝土中砂的质量占集料总质量的百分比,砂率的调整可以影响混凝土的流动性、粘聚性和保水性。适当的砂率可以提高混凝土的流动性,使混凝土易于施工;同时砂率的增加还可以提高混凝土的密实度和强度。过高的砂率会导致混凝土拌合物过于粘稠,难以振捣密实,影响混凝土的强度和工作性。在配合比设计时,应根据集料的性质、水泥的用水量需求以及外加剂和掺合料的影响,通过试验确定最佳的砂率。石粉率是指混凝土中石粉的质量占集料总质量的百分比。石粉是细碎的岩石颗粒,其含量和性质对混凝土的性能有显著影响。适量的石粉可以填充集料间的空隙,提高混凝土的密实度和强度;石粉中的活性成分还可以参与水泥的水化反应,进一步提高混凝土的强度。然而过高的石粉率会导致混凝土拌合物过于粘稠,影响混凝土的流动性;石粉中的有害成分还可能对混凝土的耐久性产生不利影响。因此在配合比设计时,应严格控制石粉的含量和性质,确保其对混凝土性能产生积极影响。

#### 3.4 使用优质掺合料与外加剂

在水泥混凝土配合比优化过程中,使用优质掺合料与外加剂是提高混凝土性能的重要手段。掺合料和外加剂的种类和用量对混凝土的强度、工作性、耐久性等性能具有显著影响。选择优质的掺合料,如粉煤灰、矿渣粉、硅灰等,可以显著提高混凝土的强度和耐久性。这些掺合料中的活性成分可以与水泥中的水化产物发生二次水化反应,生成更加致密和稳定的结构,从而提高混凝土的密实度和强度。掺合料的加入还可以降低混凝土的热裂敏感性,提高混凝土的抗渗性和抗化学侵蚀能力。合理使用外加剂,如高效减水剂、缓凝剂、早强剂等,可以显著改善混凝土的工作性和强度发展特性。高效减水剂可以降低混凝土的用水量,提高混凝土的流动性;缓凝剂可以延长混凝土的初凝时间,便于施工;早

强剂可以加速混凝土的水化反应,提高混凝土的早期强度。通过合理选择和搭配外加剂,可以满足不同工程对混凝土性能的需求。在使用掺合料和外加剂时,还应注意其与其他原材料的相容性和相互作用。不同掺合料和外加剂之间可能存在化学反应或物理作用,影响混凝土的性能<sup>[4]</sup>。在配合比设计时,应进行充分的试验和验证,确保掺合料和外加剂的使用不会对混凝土性能产生不利影响。同时还应根据工程的具体需求和原材料的特性,灵活调整掺合料和外加剂的种类和用量,以实现混凝土性能的最佳化。

#### 4 配合比优化对混凝土耐久性相关力学性能影响

##### 4.1 抗渗性能测试

配合比优化对混凝土耐久性的提升,在抗渗性能测试中得到了显著体现。抗渗性是衡量混凝土抵抗水分渗透能力的关键指标,直接关系到混凝土结构的长期稳定性和使用寿命。通过精细调整混凝土的配合比,特别是水泥类型与用量、水灰比、集料级配以及掺合料与外加剂的选择,可以显著提升混凝土的抗渗性能。具体而言,选用低水化热水泥和适量添加高性能掺合料(如硅灰、粉煤灰等),能够有效减少混凝土内部的微裂缝和孔隙,形成更加致密的结构,从而增强混凝土的抗渗性。严格控制水灰比,避免过高的用水量导致的混凝土内部孔隙率增大,也是提高抗渗性能的关键措施。优化集料级配,确保粗细集料之间的紧密堆积,能够进一步减少水分渗透的通道,提升混凝土的抗渗等级。在实际工程中,通过配合比优化,混凝土的抗渗性能得到显著提升,有效防止水分、氯离子等有害物质的侵入,延缓了混凝土内部钢筋的锈蚀过程,从而延长混凝土结构的使用寿命。抗渗性能的增强,不仅提高混凝土结构的耐久性,还减少后期维修和加固的成本,具有显著的经济效益和社会效益。

##### 4.2 抗冻性能评估

在寒冷地区,混凝土的抗冻性能是评估其耐久性的另一项重要指标。抗冻性是指混凝土在冻融循环作用下,保持其结构完整性和力学性能稳定的能力。配合比

优化对提升混凝土的抗冻性能同样具有显著作用。首先,通过调整水泥类型和用量,以及合理选用掺合料,可以优化混凝土的水化产物结构,减少因冻融循环产生的内部损伤。特别是使用低水化热、抗裂性好的水泥,以及添加具有微孔填充效应的掺合料,能够有效提高混凝土的抗冻融循环能力<sup>[5]</sup>。其次,严格控制水灰比,减少混凝土内部的自由水含量,也是提高抗冻性能的关键。过高的水灰比会导致混凝土内部孔隙率增大,易于形成冰晶膨胀的通道,从而降低抗冻性。在配合比设计时,应确保水灰比处于合理范围,以提高混凝土的抗冻融能力。另外,集料的选择和级配优化也对混凝土的抗冻性能有重要影响。选用质地坚硬、耐久性好的集料,以及通过级配调整实现紧密堆积,能够减少冻融循环过程中混凝土内部的应力集中和损伤,进一步提升混凝土的抗冻性能。

#### 结束语

水泥混凝土配合比优化对提升混凝土力学性能具有至关重要的作用。通过合理调整配合比参数,不仅可以提高混凝土的强度和韧性,还能显著增强其耐久性,延长混凝土结构的使用寿命。未来的研究应进一步探索更加环保、高效的配合比优化方法,以满足可持续发展的需求,为基础设施建设提供更高质量的混凝土材料。

#### 参考文献

- [1]叶晟.钢纤维长径比对混凝土力学性能及抗冻性能的影响分析[J].西部交通科技,2022(09):35-37.
- [2]朱文平.机制砂混凝土力学性能及抗滑性能研究[J].价值工程,2022,41(24):58-61.
- [3]谷丹丹,王楷,韩宏光.地质聚合物混凝土力学性能研究[J].四川水泥,2022(08):14-16.
- [4]王治锋.再生粗骨料混合砂混凝土配合比的设计与基本力学性能试验研究[J].四川水力发电,2023,42(02):28-34.
- [5]林金宗,周双喜.混凝土的配合比设计及其自愈合和力学性能试验研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2021,39(05):104-107.