

# 高性能混凝土配合比优化与性能研究

严焕光

广东广泽实业有限公司 广东 江门 529162

**【摘要】**：高性能混凝土依靠高强度、出色的耐久性以及良好的工作性等优势，在现代大型工程建设中广泛运用。配合比作为对其性能起到核心影响的因素，对混凝土的力学性能以及使用效果起决定性作用。本文把普通硅酸盐水泥、河砂、碎石、高效减水剂作为原材料，运用正交试验的方法，着重探究水胶比、胶凝材料的使用量、砂率，对混凝土抗压强度、抗渗性和工作性所产生的影响规律。凭借极差分析与综合评价来明确最优的配合比参数，验证优化之后配合比的可行性与优越性，从而为实际工程里高性能混凝土的配合比设计提供可实施的技术途径。

**【关键词】**：高性能混凝土；配合比优化；正交试验；力学性能

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.062

## 引言

伴随建筑工程朝着高层化与大跨度化的方向推进，对于混凝土材料的性能提出了更严苛的要求，高性能混凝土便顺势诞生。它在抗裂、抗冻、耐腐蚀等方面的表现远超普通混凝土。配合比设计是高性能混凝土制备时的重要环节，若配合比不合理，就会造成混凝土工作性不好、强度不够或者耐久性降低，进而增加工程的潜在危险与维护费用。在当前工程领域，被广泛采用的配合比设计方式大多是依据过往的经验开展的，其并未构建起系统的优化分析体系，致使原材料的性能潜力难以充分展现。鉴于此，本文探究了高性能混凝土配合比的优化，通过一系列试验剖析参数所产生的影响机制，进而优化配合比方案，以此增强混凝土的综合性能，使混凝土能够契合工程的实际需求。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所采用的各类原材料皆与相关国家标准相契合，以此保证试验数据具备较高的准确性与可靠性。所选用的水泥为P·O 42.5级的普通硅酸盐水泥，其初凝时间达到了158分钟，终凝时间为245分钟。就抗压强度而言，3天的抗压强度是28.6MPa，28天的抗压强度为45.2MPa。此水泥的安定性良好，检验结果为合格且不结块，能够给混凝土供应足够的胶结能力。选取洁净的河砂作为细骨料，其细度模数达2.6，归类为中砂这一类别。该细骨料含泥量1.2%，泥块含量是0.3%，呈现出良好的颗粒级配，空隙率适中，如此特性使得其能够有效地填充粗骨料之间的间隙，进而改善混凝土的工作性能。粗骨料方面，选用粒径在5-25mm范围的连续级配碎石，这种碎石的压碎值为12.3%，含泥量为0.5%，针片状颗粒含量达到6.1%。其颗粒质地坚硬、表面粗糙，与水泥浆体的粘结性能表现优良，

能够提升混凝土的力学强度。选用聚羧酸系的高效减水剂作为外加剂，其固含量达到40%，减水率为28%，不含氯盐。这种外加剂能够降低水胶比，改善混凝土的流动性，而且不会对混凝土的凝结时间以及强度发展造成影响。拌合水采用普通的自来水，此水没有杂质也没有异味，符合混凝土拌合用水的标准，可避免给混凝土性能带来不利的影响。

### 1.2 试验方案

试验运用正交试验设计手段，依照高性能混凝土的性能需求，界定出对配合比有影响的4个关键要素：水胶比、胶凝材料的使用量、砂率以及减水剂的添加量。针对每个要素设定3个水平，搭建起L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验规划，不必另外设置空白组别。借助试验数据的极差剖析，明晰各要素对混凝土性能产生影响的程度。在试验期间，胶凝材料主要使用水泥，不添加矿物掺和物，以此保障变量的单一特性。依据“低水胶比、高胶凝材料用量、合适砂率、合理减水剂掺入量”的原则设计配合比，控制混凝土坍落度，使其处于180-220mm的范围，进而达成高性能混凝土的工作性能要求。针对每个试验组制作3组尺寸为100mm×100mm×100mm的立方体试块，这些试块用于测量7天、28天的抗压强度；还制作3组直径为100mm、高度为200mm的圆柱体试块，用来测定抗渗性能。与此同时，记录下混凝土的坍落度，以此对其工作性能进行评估。

### 1.3 测试方法

使用坍落度测试法来测定混凝土的工作性，该测试依照GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》开展。在测试时，把混凝土拌合物倒进坍落度筒中，捣实之后将筒身拔出，测量拌合物下落所能达到的最大距离，此距离就是坍落度的值。

作者简介：严焕光（1979年9月）性别：男民族：汉，籍贯：广东佛山，学历：本科，职称：副高（申评正高）研究方向：水泥制品生产工艺技术、生产管理及研发，混凝土配合比研究，混凝土制品生产机械装备研发。

每组试验要进行3次测试,最终结果取这3次测试数据的平均值。抗压强度的测试依据 GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》来执行,运用压力试验机,把加载速度把控在 0.5-1.0MPa/s 这个范围,分别对 7d、28d 龄期的试块进行抗压强度测试。每组准备 3 个试块,将异常值剔除之后再取平均值。抗渗性能运用逐级加压的方法,依据 GB/T 50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》来开展。把养护到 28 天的圆柱体试块放置到抗渗仪之中,从 0.1MPa 开始,每间隔 8 小时增加 0.1MPa,一直到试块的侧面渗水,此时的压力数值就是抗渗等级。每组配备 3 个试块,选取其中的最小值当作该组的抗渗等级。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 工作性分析

实验结果显示,各个因素对于混凝土坍落度的影响程度有显著不同。经由极差分析了解到,减水剂的添加量对混凝土的工作性能影响最为突出,接下来是水胶比,而砂率以及胶凝材料的用量影响较小。当减水剂的添加量从 1% 增加到 1.4% 时,混凝土的坍落度从 178mm 提高到了 225mm。这是由于减水剂能够附着在水泥颗粒的表面,减小颗粒之间的吸附力,释放被包裹在水泥颗粒之中的自由水,进而明显增强了混凝土的流动性。然而,当添加量超过 1.4% 时,坍落度的增长逐渐平缓,并且可能出现离析、泌水的情况,对混凝土的均匀性造成影响。当水胶比有所增大时,水泥浆体的浓度会降低,其流动性则会提升。不过,如果水胶比过高,就会造成水泥浆体粘结力下降,同样容易产生离析的问题。当砂率被控制在 38%-42% 时,混凝土坍落度会先增加再减少。合理的砂率能够让骨料级配达到最为理想的状态,在填充空隙的同时还可以减少骨料之间存在的摩擦阻力,进而提高其工作性能。随着胶凝材料使用量的增加,水泥浆体的体积会增大,这样能够更好地把骨料包裹起来,从而改善其流动性。

### 2.2 抗压强度分析

从混凝土 7 天、28 天的抗压强度试验结果能够看出,水胶比是影响抗压强度最关键的因素,接下来是胶凝材料的使用量,减水剂的掺入比例以及砂率的影响微弱。水胶比和抗压强度呈现负相关的联系,水胶比越小,水泥浆体的密实程度就越高,水泥的水化反应也就越充分,与骨料之间的粘结力量越强,抗压强度也就越高。当水胶比从 0.38 降低到 0.32 时,28 天的抗压强度从 58.3MPa 提升到了 72.5MPa,提升幅度达到了 24.4%;然而,水胶比过低,就会使得混凝土拌合物的流动性变差,很难振捣得密实,反倒会让强度降低。当胶凝材料的使用量增多时,能够产出更多的水化产物,这些水化产物会填充进混凝土的内部空隙,让混凝土的密实程度得以提升,进而增强其抗压强度。然而,一旦胶凝材料的用量超过 480kg/m<sup>3</sup>,

强度增长的速度就会减慢,并且还会让工程的成本增加。当减水剂的掺和比例处于 1.0%-1.4% 范围时,随着掺和量的增多,混凝土的抗压强度会有小幅度的升高,这是由于减水剂让混凝土的工作性能得到了改善,使得振捣过程能够更加紧实,减少了混凝土内部的孔隙。

### 2.3 抗渗性能分析

混凝土的抗渗能力主要由其内部的孔隙结构所决定。通过试验结果显示,水胶比以及胶凝材料的使用量对混凝土抗渗性能所产生的影响最为明显;而砂率和减水剂的添加量,对其抗渗性能的影响较小。当水胶比较低时,混凝土内部的毛细孔隙数量会相应减少,孔隙直径也会变小,同时水分渗透的路径会更加曲折,如此混凝土的抗渗性能就会更好。具体而言,当水胶比为 0.32 时,混凝土的抗渗等级能够达到 P12;与之对比,当水胶比为 0.38 时,其抗渗等级仅为 P8。当胶凝材料的使用量增加时,水化反应所生成的产物也会随之增多,这些产物能够填充内部的孔隙,进而使得孔隙率降低,让抗渗性能提升。当每立方米混凝土中胶凝材料使用量达到 480kg 时,其抗渗性能可最佳。减水剂添加之后,能够减少用于拌合的用水量,从而降低水与胶凝材料的比例,间接改善抗渗性能。然而,如果减水剂的掺入量过高,就会造成混凝土离析,进而产生相互连通的孔隙,抗渗性能不但无法提升,反而会有所下降。

## 3 配合比优化设计

### 3.1 优化目标

以兼顾工作特性、力学表现以及抗渗功能为目标,进行高性能混凝土配合比的优化。在达成工程实际施工需求的条件下,达成混凝土综合性能的最佳状态,同时管控原材料的使用量,削减工程开支。具体的优化目的如下:把坍落度调控在 180-220mm 的范围,以契合施工的流动需求;28 天的抗压强度不低于 60MPa,以此保证结构的承载能力;抗渗等级不低于 P10,从而增强结构的耐久能力;在满足上述性能要求的基础上,尽可能减少胶凝材料的使用量以及减水剂的添加比例,降低制备成本,达成经济性与实用性的融合。

### 3.2 优化过程

把正交试验的结果跟极差分析相结合,确定各个因素的最佳水平区间,运用综合评分的方法优化配合比。按照各项性能指标的重要程度,为抗压强度赋予 40% 的权重、抗渗性能赋予 30% 的权重、工作性赋予 20% 的权重、经济性赋予 10% 的权重,对每一个试验组的各项性能开展评分,总分处于最高的组就是最佳试验组。经过计算能够得知,当水胶比达到 0.34、胶凝材料的使用量为 460kg/m<sup>3</sup>、砂率达到 40%、减水剂的掺入量为 1.2% 时,综合评分是最高的。这时混凝土的坍落度为 205mm,28 天的抗压强度为 68.7MPa,抗渗等级达到 P12,各项性能都能够满足优化的目标。针对此配合比开展验证性试验,制作三

组试块以开展性能测试,测试结果和正交试验中的最优组大体相符,偏差处于允许范围内,这表明该配合比具备良好的稳定性与可行性。

### 3.3 优化效果验证

把经过优化后的配合比和传统凭借经验得出的配合比进行对比,以此验证优化效果。传统配合比的水胶比是 0.38、胶凝材料的使用量为  $490\text{kg}/\text{m}^3$ 、砂率达到 43%、减水剂的掺入比例为 1.0%,它在 28 天的抗压强度是 59.2MPa,抗渗等级为 P8,坍落度为 182mm。完成优化后的配合比,其 28 天抗压强度增加 16.0%,抗渗等级提高了一个级别,坍落度增长了 12.6%。同时,胶凝材料的使用量减少了 6.1%,减水剂的掺入比例得到了适度调整,从而降低了原材料成本。验证性试验显示,经由优化后的配合比所制备的混凝土,具备优良的工作特性,在振捣过程中能够紧实密致,不存在离析以及泌水等情况,其力学性能与抗渗方性能,皆获得明显的提升,可以更为契合

现代工程对于高性能混凝土的使用需求。

## 4 结论

本文借助正交试验,对水胶比、胶凝材料用量、砂率以及减水剂掺量等因素,在高性能混凝土工作性、抗压强度还有抗渗性能方面所产生的影响规律展开研究,完成了配合比的优化工作,并对优化之后的效果进行了验证,最终得出如下结论:各个因素对于混凝土综合性能所产生的影响程度不同,水胶比对于抗压强度以及抗渗性能的影响最为突出,减水剂掺量对工作性的影响明显,而砂率和胶凝材料用量所产生的影响则相对平稳。和传统的配合比例相比,优化之后的配合比例不只是提高了混凝土的综合性能,而且还减少了原材料的使用量,达成了性能与经济方面的双优局面,能够直接在实际的工程项目中得到应用,为高性能混凝土配合比例的设计工作提供了实际意义的参考依据。

## 参考文献:

- [1] 郭利彦.公路工程高性能沥青混凝土路面施工技术分析[J].工程技术研究,2024,9(22):91-93.
- [2] 陈财焕.掺磨细玻璃粉对超高性能混凝土性能的影响[J].福建交通科技,2024,(11):9-13.
- [3] 魏希胜.高性能混凝土的配制与施工技术探究[J].建材发展导向,2024,22(22):96-98.
- [4] 李新伟.钢纤维混凝土施工技术在路桥工程中的应用[J].运输经理世界,2023,(31):98-100.
- [5] 张付军,崔明涛,倾涛,李鹏,赵冠翔.新型高性能钢管混凝土设计及应用[J].运输经理世界,2023,(31):161-164.
- [6] 王象霖,张莎莎,王国岭.现代住宅建筑工程中自密实高性能混凝土的配合比优化及其应用[J].居舍,2026,(04):59-61.
- [7] 王刚,逢雷刚.高性能混凝土在现代住宅建筑工程中的配制与施工应用优化研究[J].住宅产业,2026,(02):84-86.
- [8] 吴桐.高性能混凝土工作性能优化试验研究[J].江西建材,2025,(12):72-74.