

# 轨枕 C60 混凝土配合比设计及优化

文 / 徐程亮 中铁二十三局集团第二工程有限公司

**摘要:** 针对铁路轨枕用C60混凝土对其强度、耐久性、抗裂性能有着很高的要求。结合铁路用轨枕实际的特点与要求, 对其进行混凝土配合比优化设计, 提高其使用性能延长使用寿命。因此本文采用对比试验法对其掺有13%矿渣粉前后的混凝土配合比进行试验分析。结果表明掺有矿渣粉的混凝土抗压强度比基准混凝土抗压强度提高12.1%、弹性模量降低3.7%, 同时掺入矿渣粉后, 其耐久性性能指标达到了铁路有关规范的要求。总的来说, 掺入矿渣粉的混凝土, 在保证产品质量的前提下, 降低了生产成本。

**关键词:** C60混凝土; 配合比设计; 矿渣粉; 试验检测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.109

## 一、引言

随着城市轨道交通建设的迅猛发展, 混凝土作为主要材料, 其质量与性能直接关系到工程的品质。轨枕作为轨道交通的关键构件, 其强度、耐久、稳定性能是保证其安全性的关键。因此合理设计并优化轨枕混凝土配合比, 是提高轨枕质量与使用性能的关键。为此本文从轨枕C60混凝土配合比设计与优化两个方面入手, 对其影响其强度与耐久性性能的因素进行研究, 提出相应的优化措施与技术措施, 为轨枕混凝土配合比的设计与优化提供理论依据。

## 二、原材料

(1) 水泥: 采用P.042.5普通硅酸盐水泥, 水泥再混凝土中的作用至关重要, 水泥水化反应提供了初期的黏结力, 而且随着时间的推移, 逐渐硬化使得混凝土的强度得到显著提升。水泥各项指标满足《铁路混凝土》TB/T3275-2018的标准规范要求, 见表1。

(2) 掺合料: S95级矿渣粉它是一种重要的矿物掺合料, 矿渣粉的加入可以显著改善混凝土的性能, 添加矿渣粉还可以降低混凝土的水化热, 减少因温度变化引起的热膨胀和收缩, 有助于减少裂缝的产生, 提高结构的稳定性。采用矿渣粉还可代替部分水泥, 既降低了混凝土的成本, 又降低了对环境的影响。矿渣粉各项指标满足《铁路混凝土》TB/T3275-2018的标准规范要求, 见表1。

(3) 粗骨料: 根据铁路设计时速要求来选用碎石5mm-20mm连续级配作为配合比用料。碎石能够承受较大的压力, 从而使得混凝土在承受重载时不易变形, 从而来增强混凝土结构的强度。碎石各项指标满足《铁路混凝土》TB/T3275-2018的标准规范要求, 见表1。

(4) 细骨料: 砂可以填充在碎石之间的空隙当中, 减少砂内部空隙, 从而提高密实程度, 改善混凝土工作性能, 这也有助于提高混凝土的强度、耐久性和经

济性。细骨料各项指标满足《铁路混凝土》TB/T3275-2018的标准规范要求, 见表1。

(5) 减水剂: 通过使用聚羧酸减水剂, 可以在不影响混凝土工作性的前提下, 减少水的用量, 有助于提升混凝土强度和耐久性, 而且还能减少混凝土的收缩和裂缝, 从而提升构件的长期性能。这使得混凝土更加耐用, 能够承受更大的荷载。减水率>25%其他各项指标满足《混凝土外加剂》GB 8076-2008、《铁路混凝土》TB/T3275-2018的标准规范要求。

(6) 拌和水: 采用自来水。拌和水各项指标满足《铁路混凝土》TB/T3275-2018的标准规范要求。

表1 原材料各项指标检测结果

1. 水泥检测各项指标
比表面积346m <sup>2</sup> /kg、凝结时间: 初凝220min终凝280min、安定性合格、烧失量3.5%、三氧化硫含量2.31%、氧化镁含量1.70%、氯离子含量0.046%、游离氧化钙含量0.85%、碱含量0.56%、28d强度: 抗折8.4MPa抗压47.4MPa
2. 矿渣粉检测各项指标
比表面积410m <sup>2</sup> /kg、流动度比97%、烧失量0.25%、氧化镁含量5.80%、三氧化硫含量0.20%、氯离子含量0.01%、碱含量1.03%、28d活性指数96%
3. 碎石检测各项指标
紧密孔隙率38%、含泥量0.3%、硫化物及硫酸盐含量0.18%、氯化物含量0.0004%、压碎指标值7%、碱活性0.05%、颗粒级配满足5-20mm级配要求
4. 砂检测各项指标
含泥量1.0%、泥块含量0.2%、云母0.2%、氯化物含量0.003%、硫化物及硫酸盐含量0.15%、有机物含量浅于标准色、碱活性0.06%、轻物质含量0.1%、颗粒级配: 细度模数2.6中砂

## 三、混凝土配合比设计

根据《有砟轨道轨枕混凝土枕》(GB/T37330-2019)、《铁路混凝土》TB/T3275-2018的规定, 轨枕混凝土强度等级≥C60, 28天弹性模量不得少于 $3.60 \times 10^4$ MPa, 抗冻等级≥F300。混凝土的电通量在1000C以下。混凝土胶凝材料最大用量不大于500kg/m<sup>3</sup>, 轨枕增实因数要求在1.05-1.40。为了研究矿渣粉添加到混凝土中起到的作用和影响, 试验设计两组混凝土配合比进行对比, 一组为未参加矿渣粉, 为基准混凝土配

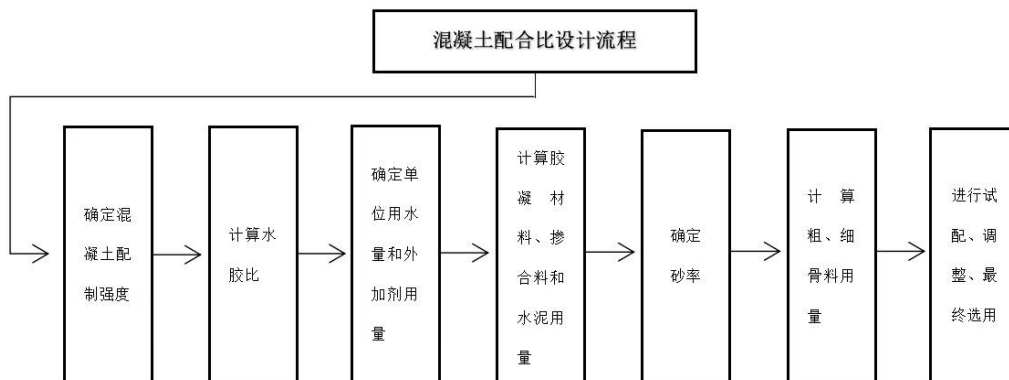


图1 配合比的设计与计算流程

表2 混凝土基准与优化配合比用量

组名	水泥 (kg/m³)	矿渣粉 (kg/m³)	砂 (kg/m³)	碎石 (kg/m³)	外加剂 (kg/m³)	水 (kg/m³)
基准配合比	470	/	615	1250	4.7	133
优化配合比	409	61	615	1250	4.7	129

合比，另一组在混凝土中掺入矿渣粉，为优化配合比。混凝土配合比采用水，水泥，矿渣粉，骨料，外加剂等原材料配制而成。根据《JGJ 55-2011》设计规程，进行配合比设计并且计算出配合比用量数据。配合比的设计与计算各项目流程见图1。

基准混凝土配合比和优化配合比砂率、材料的用量和养护方式均保持相同，考虑到两组混凝土配合比增量因素也需要保持相同，将掺有矿渣粉的优化配合比混凝土用水量减少。经过试配后，确定了掺加矿渣粉用量为13%，优化前后两组数据用量见表2。

#### 四、混凝土成型试件及养护

##### (一) 试件成型

将搅拌好的混凝土装入混凝土试模中，确保试模内干净无杂质、试模平整尺寸满足混凝土150mm×150mm×150mm、150mm×150mm×300mm标准用试模要求。使用振动台震动方式使混凝土密实排除气泡，振动过程中注意观察混凝土表面，确保无明显缺陷，成型后用刮刀将表面抹平。当拆除混凝土试模时，确保其表面和棱角完好不受到损伤或缺失。

##### (二) 试件养护

###### 1. 蒸汽养护

当轨枕采用蒸养方式时，在5℃以上35℃以下的环境静停4小时，升温速度不超过15℃/h，停止降温时，降温速度不超过15℃/h。蒸养结束后，轨枕表面与外界环境的温差不得超过15℃。养护期间的温度测试必须能够覆盖同一池的轨枕。轨枕脱模后，应持续进行5天湿润养护，若环境温度低于5℃，应进行5天的室内保温保湿，保证轨枕表面温度在5℃以上。

###### 2. 标准养护

混凝土试块拆模后运到养护室内，将其放在室内铁架上进行养护，试块之间保持一定间距。养护室温度应达到18-22℃之间，相对湿度为95%以上。这个条件能够促进水泥水化作用，从而使混凝土达到所需的强度。标准养护的时间通常为28天，这是从混凝土搅拌加水开始计时的。

#### 五、试验检测与结果分析

##### (一) 混凝土抗压强度试验

按《GB/T50081-2019》规范标准进行抗压强度试验，该方法适用于立方体试块，试验步骤：1. 试件达到规定天数时从养护室取出，应先检查外观的形状是否有缺棱掉角现象、尺寸是否符合要求，随后进行试验检测。2. 试块试验前先将表面和机器上下铁压板表面清理干净。3. 定型后试块，试块不能用成型时的磨平面作为受力面，应将试块放在试验机压强铁板上，试块中心应与试验机铁压板中心对正。4. 开启机器检测时机器铁压板应缓慢接触试块表面。5. 然后以0.8-1.0MPa/s的加载

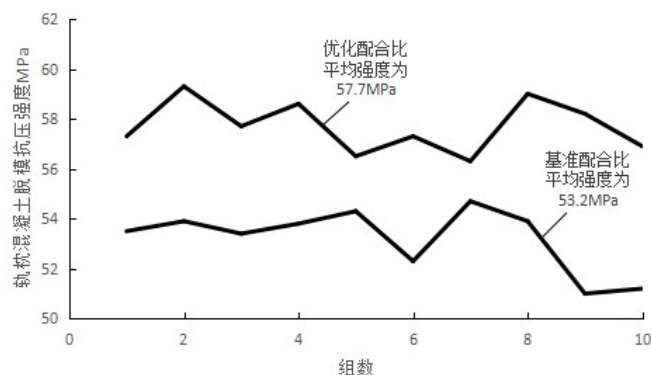


图2 脱模抗压强度

速度进行持续加载。直到试件破碎时，记录下破碎后的力值。抗压强度取3个试块的算数平均值作为一组试块的抗压强度值。根据以上试验要求过程各抽取十组试件进行脱模后混凝土强度和28d混凝土强度对比分析。检测数据结果见图2、3。

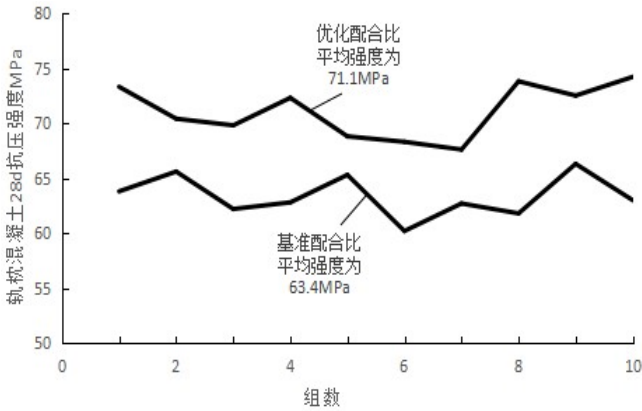


图3 28d 抗压强度

(二) 静力受压弹性模量试验检测

试验根据《GB/T50081-2019》规范标准进行。弹性模量试件的尺寸应满足规范要求的棱柱体试件尺寸，每次试验应制备6个试块进行试验检测，其中3块检测轴心抗压强度，并计算出1/3轴心抗压强度。其余3块作为静力受压弹性模量试验。试验时首先将试件安装完成变形测量仪器和千分表后，将试件放置在压力试验机承压板上进行试验。试验流程见图4所示。

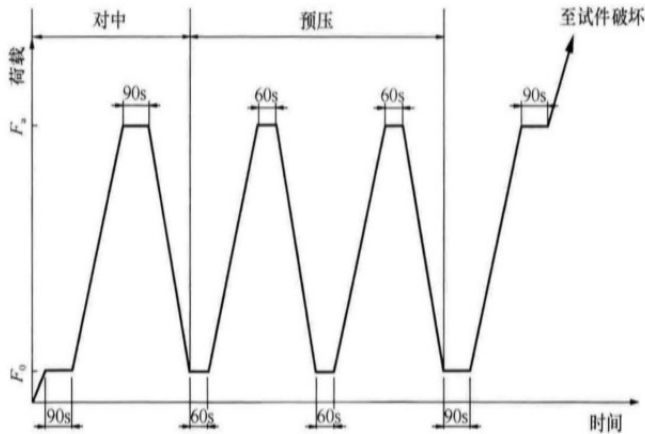


图4 静力受压弹性模量试验图

上述流程记下各测点变形数值后，卸掉变形测量器后送油加载至试件破碎并记录破碎值。最后计算出弹性模量值。检测计算结果见表3。

表3 静力受压弹性模量试验检测结果

组名	脱模弹性模量	28d弹性模量
基准配合比	38300MPa	40100MPa
优化配合比	36500MPa	38600MPa

(三) 混凝土耐久性试验检测

混凝土耐久性是指混凝土在各种环境条件下，能够保持其性能不受损害，维持使用功能的能力。耐久性是混凝土结构设计和施工中非常重要的一方面，因为混凝土轨枕往往需要再恶劣的环境中长期使用。因此按照相关规定制作试件，对轨枕掺有矿渣粉的混凝土试验组件进行耐久性检测。经检测后各项数据见表4。

表4 优化配合比耐久性试验项目检测结果

试验项目		检测结果
56d电通量(C)		655
56d氯离子扩散系数 ( $\times 10^{-12} m^2/s$ )		2.9
抗冻性(300次冻融循环)	质量损失(%)	2.4
	相对动弹性模量(%)	77.6

(四) 结果分析

通过上述试验数据可以看出混凝土含矿渣粉的优化配合比混凝土强度要比未掺加矿渣粉的基准配合比混凝土的强度提升8.5%、28d抗压强度提升12.1%。含矿渣粉的优化配合比混凝土弹性模量比未掺有矿渣粉的基准配合比混凝土的脱模弹性模量和28天弹性模量各降低4.7%和3.7%，弹性模量的降低可以提高混凝土的韧性减少裂缝和掉肩的现象产生。总之掺有矿渣粉的混凝土不仅提高了强度和耐久性，而且还节省了水泥的用量，降低了生产成本。

结束语

综上所述本文以试验为基础，设计并优化了轨枕C60混凝土配合比，并对其工作性能进行了分析评价。研究表明，在保证混凝土强度与耐久性的基础上，通过调整配合比参数，选择出最优的矿渣粉用量，以获得具有良好工作性能的轨枕C60混凝土。在工程实践中，应根据工程实际情况，对其配合比进行优化设计，才能更好地满足工程的需要。

参考文献

- [1] 高胜磊. C60混凝土配合比设计优化及质量稳定性研究[J]. 混凝土世界, 2022, (03): 90-93.
- [2] 李东. C60双块式混凝土枕配合比设计[J]. 四川水泥, 2017, (04): 9+85.
- [3] 杨富民, 孙成晓. 预应力混凝土轨枕C60混凝土配合比优化设计[J]. 铁道建筑, 2015, (01): 141-145.