

# 高速铁路预应力简支箱梁单掺粉煤灰混凝土 研究及施工应用

杨玉鹏

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810007

**摘 要：**高速铁路预应力简支箱梁混凝土胶凝材采用水泥和粉煤灰未掺矿粉，通过对混凝土工作性能、力学性能、耐久性的检测，判定是否满足设计和规范要求。

在施工应用中，单掺粉煤灰的混凝土表现出良好的可泵性和施工性能，满足了高速铁路桥梁对混凝土高强度、高流动性和耐久性的要求。同时，粉煤灰的掺入还降低了混凝土的成本，减少水化热，具有显著的经济效益和耐久性。本研究为高速铁路预应力简支箱梁单掺粉煤灰施工提供了科学依据和技术支持，具有重要的工程应用价值。

**关键词：**高速铁路；简支箱梁；单掺；粉煤灰；应用

引言：高速铁路预应力简支箱梁作为高速铁路桥梁的主要受力构件，其质量和性能对高速铁路的安全运营具有至关重要的意义。近年来，随着高速铁路建设的快速发展。国内箱梁预制普遍采用粉煤灰和矿粉双掺作为胶凝材中水泥的替代品。随着工程建设的进行，建筑材料资源也出现短缺，矿粉和优质粉煤灰也面临市场短缺，本文通过对掺矿粉和粉煤灰与单掺粉煤灰的混凝土性能研究，最终确定单掺粉煤灰就能满足箱梁预制混凝土的性能要求，为今后项目提供依据，为本项目节约成本。

## 1 高速铁路预应力简支箱梁单掺粉煤灰混凝土研究及施工应用的概述

### 1.1 研究背景及意义

随着中国高速铁路建设的快速发展，对铁路桥梁工程的质量和耐久性要求也越来越高。预应力混凝土简支箱梁作为高速铁路桥梁的主要结构形式，其混凝土的强度和耐久性对整个桥梁的安全性和使用寿命具有重要影响。为了提高混凝土的性能，研究者们一直在探索各种有效的技术手段，其中，矿物掺合料的应用成为了研究的热点之一。

矿物掺合料是一种天然或人工合成的矿物质，可以作为混凝土的细骨料或粉料添加，以提高混凝土的各项性能。其中，粉煤灰作为一种常见的矿物掺合料，由于其具有优良的物理和化学性能，被广泛应用于混凝土的制备中。粉煤灰不仅可以作为细骨料替代部分水泥，降低混凝土的水泥用量，减少成本，同时还可以改善混凝土的工作性能、力学性能和耐久性。

然而，在实际工程中，对于如何合理地使用粉煤灰以及如何通过单掺粉煤灰的掺入来提高混凝土的性能，

降低工程成本。C50预应力混凝土使用粉煤灰是F类Ⅰ级粉煤灰，但市场上Ⅰ级粉煤灰比较缺，而且假粉煤灰比较多。所以在单掺粉煤灰时要严格控制粉煤灰质量，确保高速铁路预应力混凝土各项性能满足技术要求。因此，本研究旨在通过试验和研究，深入探讨单掺粉煤灰混凝土在高速铁路双线式后张法预应力混凝土简支箱梁中的应用效果，为实际工程提供理论依据和技术支持。

### 1.2 砼原材料使用情况

在高速铁路预应力简支箱梁的施工中，混凝土作为一种关键的建筑材料，其性能和质量对箱梁的整体性能和使用寿命具有重要影响。为了提高混凝土的性能，本研究采用了双掺粉煤灰、矿粉对比单掺粉煤灰的技术方案。

(1) 水泥：采用品质稳定的P·O42.5低碱水泥，该水泥具有良好的安定性和适中的凝结时间，能够满足高速铁路箱梁对混凝土强度、耐久性和工作性的要求。

(2) 粉煤灰：选用F类Ⅰ级粉煤灰，有效提高混凝土的力学性能、耐久性和工作性。同时，粉煤灰的掺入还能降低混凝土的水化热，减少混凝土的开裂风险。

(3) 矿粉：在双掺粉煤灰、矿粉混凝土中，矿粉与粉煤灰共同作为掺合料，协同作用，进一步提高混凝土的强度和耐久性。矿粉的微填充效应能细化混凝土孔隙结构，提高混凝土的密实性和抗渗性。

(4) 骨料：砂采用硬质洁净的天然河砂，石子选用5-20mm连续级配的碎石。这些骨料具有良好的级配和力学性能，能够满足高速铁路箱梁对混凝土强度和耐久性的要求。

(5) 外加剂：采用高性能减水剂，该减水剂具有较高的减水率和良好的分散性，能够显著降低混凝土的水

灰比，提高混凝土的强度和耐久性。

混凝土原材料检测结果应满足TB10424-2018《铁路混凝土工程施工质量验收标准》、TB/T3275-2018《铁路混凝土》、GB/T37439-2019《高速铁路预制后张法预应力混凝土简支梁》要求<sup>[1]</sup>。

2 配合比设计方案

高速铁路预应力简支箱梁单掺粉煤灰混凝土的配合比设计方案如下：

2.1 原材料选择

水泥采用P·042.5（低碱）水泥；粉煤灰选用F类 I

级粉煤灰；矿粉：采用S95级矿粉；砂选用河砂中砂；碎石选择5-20mm连续级配的碎石；外加剂采用聚羧酸系高性能减水剂（缓凝型）。

2.2 配合比设计原则

高速铁路预应力简支箱梁混凝土设计强度等级C50，依据混凝土配合比设计规范JGJ 55-2011《普通混凝土配合比设计规程》要求，C50混凝土配置强度为59.9MPa。混凝土的胶凝材料总量不应高于480kg/m<sup>3</sup>，不应低于330kg/m<sup>3</sup>。混凝土的最大水胶比：0.35<sup>[2]</sup>。

初步确定配合比参数：

表1 单掺粉煤灰混凝土配合比参数

| 序号 | 水泥用量<br>kg/m <sup>3</sup> | 粉煤灰用量<br>kg/m <sup>3</sup> | 细骨料<br>kg/m <sup>3</sup> | 粗骨料5-10mm<br>kg/m <sup>3</sup> | 粗骨料10-20mm<br>kg/m <sup>3</sup> | 减水剂<br>kg/m <sup>3</sup> | 水<br>kg/m <sup>3</sup> | 水胶比  |
|----|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------|
| 1  | 384                       | 96                         | 710                      | 333                            | 778                             | 5.76                     | 145                    | 0.31 |
| 2  | 342                       | 85                         | 728                      | 328                            | 765                             | 5.72                     | 145                    | 0.34 |
| 3  | 414                       | 104                        | 692                      | 339                            | 790                             | 6.22                     | 145                    | 0.28 |

表2 单掺粉煤灰混凝土性能指标

| 序号 | 坍落度<br>mm | 扩展度<br>mm | 和易性 | 3d抗压<br>强度MPa | 7d抗压<br>强度MPa | 10d抗压<br>强度MPa | 28d抗压<br>强度MPa | 10d弹性<br>模量MPa       | 28d弹性<br>模量MPa       | 56d电<br>通量C | 56d抗冻<br>性能 |
|----|-----------|-----------|-----|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| 1  | 190       | 480       | 良好  | 45.2          | 54.3          | 62.1           | 65.8           | 3.69×10 <sup>4</sup> | 4.27×10 <sup>4</sup> | 790         | ≥ F200      |
| 2  | 200       | 500       | 良好  | 38.6          | 43.6          | 47.1           | 56.9           | 3.52×10 <sup>4</sup> | 4.06×10 <sup>4</sup> | 790         | ≥ F200      |
| 3  | 195       | 485       | 良好  | 49.7          | 55.7          | 64.1           | 66.2           | 3.88×10 <sup>4</sup> | 4.17×10 <sup>4</sup> | 860         | ≥ F200      |

表3 掺粉煤灰和矿粉混凝土配合比参数

| 序号 | 水泥用量<br>kg/m <sup>3</sup> | 矿粉用量<br>kg/m <sup>3</sup> | 粉煤灰用量<br>kg/m <sup>3</sup> | 细骨料<br>kg/m <sup>3</sup> | 粗骨料5-10mm<br>kg/m <sup>3</sup> | 粗骨料10-20mm<br>kg/m <sup>3</sup> | 减水剂<br>kg/m <sup>3</sup> | 水<br>kg/m <sup>3</sup> | 水胶比  |
|----|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------|
| 1  | 384                       | 48                        | 48                         | 675                      | 331                            | 771                             | 4.80                     | 145                    | 0.31 |
| 2  | 352                       | 44                        | 44                         | 693                      | 325                            | 759                             | 4.40                     | 145                    | 0.33 |
| 3  | 333                       | 41                        | 41                         | 711                      | 320                            | 746                             | 4.15                     | 145                    | 0.35 |

表4 掺粉煤灰、矿粉混凝土性能指标

| 序号 | 坍落度<br>mm | 扩展度<br>mm | 和易性 | 3d抗压<br>强度MPa | 7d抗压<br>强度MPa | 10d抗压<br>强度MPa | 28d抗压<br>强度MPa | 10d弹性<br>模量MPa       | 28d弹性<br>模量MPa       | 56d电<br>通量C | 56d抗冻<br>性能 |
|----|-----------|-----------|-----|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| 1  | 195       | 480       | 良好  | 48.8          | 56.4          | 65.7           | 67.4           | 3.60×10 <sup>4</sup> | 4.11×10 <sup>4</sup> | 745         | ≥ F200      |
| 2  | 195       | 485       | 良好  | 46.3          | 55.0          | 63.1           | 66.6           | 3.78×10 <sup>4</sup> | 4.25×10 <sup>4</sup> | 811         | ≥ F200      |
| 3  | 200       | 500       | 良好  | 39.7          | 44.2          | 49.8           | 57.3           | 3.91×10 <sup>4</sup> | 4.31×10 <sup>4</sup> | 897         | ≥ F200      |

经过对单掺粉煤灰混凝土和掺粉煤灰、矿粉混凝土的配合比参数及性能试拌结果的详细比对与分析，最终确定采用水胶比为0.31的单掺粉煤灰的混凝土配合比设计方案，以满足高速铁路预应力简支箱梁的施工要求和设

计规范<sup>[4]</sup>。

通过对浇筑200孔箱梁的力学性能和耐久性能统计分析，此次混凝土配合比设计合理，各项指标均满足设计和规范要求<sup>[3]</sup>。

表5 混凝土性能指标统计表

| 序号 | 检测项目      | 最大值     | 最小值     | 平均值     | 标准差  | 备注 |
|----|-----------|---------|---------|---------|------|----|
| 1  | 28d标养抗压强度 | 67.4MPa | 58.4MPa | 63.7MPa | 1.19 |    |
| 2  | 28d标养弹性模量 | 45.5GPa | 41.6GPa | 42.7GPa | 0.67 |    |
| 3  | 2d脱模强度    | 37.3MPa | 33.6MPa | 34.8MPa | 0.83 |    |
| 4  | 3d初张强度    | 46.8MPa | 42.2MPa | 45.4MPa | 2.13 |    |

续表:

| 序号 | 检测项目      | 最大值     | 最小值     | 平均值     | 标准差  | 备注 |
|----|-----------|---------|---------|---------|------|----|
| 5  | 10d终张抗压强度 | 55.5MPa | 53.7MPa | 54.8MPa | 1.21 |    |
| 6  | 10d终张弹性模量 | 40.4GPa | 35.9GPa | 38.1GPa | 1.29 |    |
| 7  | 抗冻性能      | > F200  |         |         |      |    |
| 8  | 电通量       | < 1000C |         |         |      |    |

3 施工应用注意事项

- 3.1 在施工过程中，应严格控制原材料的质量和掺量，确保配合比的准确性。
- 3.2 加强混凝土的搅拌和振捣，提高混凝土的密实度和均匀性。
- 3.3 注意混凝土的养护，确保混凝土在养护期不受外界破坏。
- 3.4 定期对混凝土进行质量检测，及时发现并解决问题。

4 配合比优化与调整

- 4.1 初步配合比确定后，需进行试配，观察混凝土的工作性能、坍落度损失、凝结时间等指标，确保满足施工要求。
- 4.2 根据试配结果，对配合比进行微调。若混凝土工作性能不佳，可适当增加外加剂掺量或调整砂率。
- 4.3 考虑到实际施工过程中可能出现的各种因素，如天气变化、原材料波动等，应预留一定的配合比调整空间，确保施工现场的灵活应对。
- 4.4 对于双掺配合比，应特别关注粉煤灰和矿粉的交互作用。通过试验数据，分析二者在不同掺量下对混凝土性能的影响，以确定最优掺配比例。

5 经济效益分析

对比单掺粉煤灰和掺粉煤灰、矿粉的混凝土配合比，本项目C50混凝土共计21万方，单掺粉煤灰共需粉煤灰20160吨，双掺时共需粉煤灰10080吨，矿粉10080吨，节约成本65万元，型式检验费用节约10万元，拌和站节约粉罐4个，减少成本80万元，后期运行成本节约180万元，共计节约成本335万元。

结束语

通过研究发现单掺粉煤灰混凝土拌和物各项性能和混凝土指标均满足规范和设计要求，混凝土外观无色差、无裂纹、无蜂窝麻面和气泡。施工过程中，一孔梁的浇筑时间能控制在4个半小时以内，节约了成本的同时也大大提高效率。

参考文献

[1]《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB10424-2018:20.

[2]《高速铁路预制后张法预应力混凝土简支梁》GB/T 37439-2019):19.

[3]《铁路混凝土》TB/T 3275-2018:20.

[4]《预制无砟轨道后张法预应力混凝土简支箱梁（双线）》通桥（2023）2322A-II :22.