

# 水泥混凝土配合比设计及强度探析

邹艳

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300)

**摘要** 为加强公路路面施工质量, 文章针对水泥混凝土配合比方案进行优化设计研究, 确定各类原材料, 加入 HSP-DQ 纤维材料, 对不同纤维掺量的水泥混凝土强度进行试验, 具体结果如下: 当纤维掺量为  $1.3\sim 2.0\text{ kg/m}^3$  时, 水泥混凝土具有最佳的抗开裂能力; 当纤维掺量为  $1.3\sim 1.6\text{ kg/m}^3$  时, 水泥混凝土具有最佳的弹性模量数值; 当纤维掺量为  $1.0\sim 1.6\text{ kg/m}^3$  时, 水泥混凝土具有最佳的抗弯拉能力; 当纤维掺量为  $1.0\sim 1.6\text{ kg/m}^3$  时, 水泥混凝土具有最佳的抗劈裂能力。所以, 最终选择水泥混凝土的纤维最佳掺量为  $1.3\sim 1.6\text{ kg/m}^3$ 。

**关键词** 水泥混凝土; 配合比设计; 应用强度

**中图分类号** U414 **文献标识码** A **文章编号** 2096-8949 (2024) 17-0192-03

## 0 引言

水泥混凝土是路桥工程施工的基础材料, 其配比方案与应用强度会影响项目的后续使用。合理的配合比设计能够减少水泥混凝土的浪费, 提高施工效率, 降低施工成本, 同时延长路桥的使用寿命。当前在水泥混凝土设计阶段, 不仅要选用优质原材料, 还要根据施工需求进行配合比试验, 控制水灰比。此外还要保证水泥混凝土在搅拌、运输、浇筑、振捣等阶段满足施工工艺要求, 才能提高工程的质量与耐久性。

## 1 工程概况

研究以某地区二级公路工程为例, 项目总长 15.7 km, 公路原宽度为 12 m, 土路肩宽度为 0.2 m。现根据规划要求将公路升级为一级公路, 路面宽度需增加至 36 m, 硬路肩宽度为 0.5 m。该公路交通量年增长预期为 7%, 对公路路面使用强度具有较高要求。因此, 在施工前应针对水泥混凝土材料的配合比进行优化设计, 采用高强聚酯 (HSP) 纤维混凝土工艺, 多方面加强混凝土的抗压强度、弯拉强度、劈裂强度以及抗冲击性能等, 为案例公路的正常使用提供重要保障。

## 2 水泥混凝土配合比设计方案

### 2.1 原材料配合比设计

#### 2.1.1 水泥

案例公路采用纤维水泥混凝土施工方案, 根据高强聚酯纤维混凝土特征, 选用 P.II 42.5 型水泥, 材料性能指标如表 1 所示<sup>[1]</sup>:

表 1 水泥材料技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
1	雷氏夹法安全性	$\leq 5\text{ mm}$	3.0 mm
2	标准稠度用水量	$\leq 28\%$	27.6%
3	初凝时间	$\geq 90\text{ min}$	265 min

续表 1 水泥材料技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
4	终凝时间	$\leq 600\text{ min}$	375 min
5	3 d 后抗折强度	$> 3.5\text{ MPa}$	5.1 MPa
6	28 d 后抗折强度	$> 6.5\text{ MPa}$	8.5 MPa
7	3 d 后抗压强度	$> 17\text{ MPa}$	30 MPa
8	28 d 后抗压强度	$> 42\text{ MPa}$	50.5 MPa

根据表 1 数据可知, 研究选取的 P.II 42.5 型水泥的各项检测指标均满足规范要求, 可以用于纤维水泥混凝土的配比设计与路用试验。

#### 2.1.2 粗集料

纤维水泥混凝土的粗集料应具备耐磨性强、质地坚硬的特征, 因此根据案例工程施工技术规范, 采用 4.75~9.5 mm、9.5~19 mm、19~31.5 mm 三种碎石级组成, 粗集料的技术指标如表 2 所示:

表 2 粗集料技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
1	表观密度	$\geq 2.5\text{ g/cm}^3$	$2.65\text{ g/cm}^3$
2	松散密度	$\geq 1.35\text{ g/cm}^3$	$1.58\text{ g/cm}^3$
3	空隙率	$\leq 45.0\%$	42.6%
4	含泥量	$\leq 1.0\%$	0.2%
5	压碎值	$\leq 25.0\%$	15.6%
6	针片状颗粒含量	$\leq 12.0\%$	5.8%
7	泥块含量	$\leq 0.5\%$	0.3%

根据表 2 数据可知, 三种碎石级掺和后的粗集料的各项检测指标均满足规范要求, 可以用于纤维水泥混凝土的配比设计与路用试验。

#### 2.1.3 细集料

纤维水泥混凝土的细集料要求与粗集料相同, 同样应具备质地坚硬、含泥量少等特点。根据施工技术规范

收稿日期: 2024-06-12

作者简介: 邹艳 (1975—), 女, 大专, 助理工程师, 研究方向: 工程技术。

要求,选定河沙作为混凝土细集料的原材料,细度模数为 2.79 mm,满足 2.6~3.2 mm 的规范要求。此外,细集料的技术指标如表 3 所示<sup>[2]</sup>:

表 3 细集料技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
1	表观密度	≥2.5 g/cm <sup>3</sup>	2.68 g/cm <sup>3</sup>
2	堆积密度	≥1.35 g/cm <sup>3</sup>	1.56 g/cm <sup>3</sup>
3	空隙率	≤45.0%	42.5%
4	含泥量	≤1.0%	0.2%
5	泥块含量	≤0.5%	0.2%
6	硫化物及硫酸盐	≤0.5%	0.24%
7	氯离子含量	≤0.002%	0.00%
8	坚固性	≤8.0%	2.0%

根据表 3 数据可知,研究选取细度模数 2.79 mm 的细集料材料,其各项技术指标检测结果均满足规范要求,可以用于纤维水泥混凝土的配比设计与路用试验。

#### 2.1.4 减水剂

该次纤维水泥混凝土采用 SX 聚羧酸减水剂,用于水泥混凝土的拌和。减水剂的技术指标如表 4 所示:

表 4 减水剂技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
1	减水率比值	≥25%	29%
2	泌水率比值	≤60%	42%
3	含气量	≤6.0%	3.5%
4	初凝时间差	≥-90 min	+25 min
5	终凝时间差	≤+120 min	+35 min
6	1d 抗压强度比	≥170%	180%
7	7d 抗压强度比	≥150%	165%
8	28d 抗压强度比	≥140%	150%

根据表 4 数据可知,研究设计选用的 SX 聚羧酸减水剂的各项技术指标均满足规范要求,可以用于纤维水泥混凝土的配比设计与路用试验。

#### 2.1.5 试验用水

研究设计采用饮用水,作为水泥混凝土的级配材料,相关技术指标如表 5 所示<sup>[3]</sup>。由表 5 可以看出试验用水的各项技术指标均满足规范要求,可以用于纤维水泥混凝土的配比设计与路用试验。

表 5 试验用水技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
1	pH 值	≥4.5	7.2
2	不溶物含量	≤5 000	467
3	可溶物含量	≤10 000	720.4
4	氯化物含量	≤3 500	247.5
5	硫酸根离子	≤2 700	209.6

#### 2.1.6 纤维

由于水泥混凝土路面属于刚性路面,具有良好的抗压性能,但是如果长时间处于高负荷使用状态,容易产生各种裂缝、塌陷等病害问题。因此,研究将纤维掺入水泥混凝土中,以加强混凝土路面的结构强度,具体为 HSP-DQ 纤维原材料,其各项技术指标情况如表 6 所示:

表 6 HSP 纤维技术指标

序号	检测项目	规范要求	检测结果
1	长度	12~40 mm	17.88 mm
2	直径	—	24.13 mm
3	密度	1.25~1.35 g/cm <sup>3</sup>	1.30 g/cm <sup>3</sup>
4	抗拉强度	≥900 MPa	1 058 MPa
5	弹性模量	≥10 GPa	10.70 GPa
6	断裂延伸率	15%~25%	18.0%
7	抗碱保留率	≥98%	98.4%

#### 2.1.7 配合方案

研究为验证纤维掺入水泥混凝土后对其应用强度的影响效果,制定除纤维材料之外其余原材料的配合比方案,具体如表 7 所示。在之后研究中还应以该配合比为基础,掺入不同含量的 HSP-DQ 纤维原材料,通过试验得到最佳的配比方案。

表 7 原水泥混凝土的配合比方案

序号	材料名称	材料用量	质量比
1	水	128 g/cm <sup>3</sup>	0.40
2	水泥	320 g/cm <sup>3</sup>	1.00
3	河沙	607 g/cm <sup>3</sup>	1.90
4	4.75~9.5 mm 粗集料	283 g/cm <sup>3</sup>	0.88
5	9.5~19 mm 粗集料	354 g/cm <sup>3</sup>	1.11
6	19~31.5 mm 粗集料	779 g/cm <sup>3</sup>	2.43
7	外加剂	3.2 g/cm <sup>3</sup>	0.01

## 2.2 水泥混凝土抗开裂评价标准

针对传统水泥混凝土加入纤维材料,预期目标为增强公路路面的使用质量,最大限度地避免路面开裂,可以通过公式计算,逐步推导出纤维水泥混凝土的开裂等级,得到不同纤维掺量的混凝土强度数值<sup>[4]</sup>。计算公式如下:

$$A = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot l_i \quad (1)$$

式中,  $A$ ——水泥混凝土早期开裂的总面积 (m<sup>2</sup>);  $l_i$ ——第  $i$  条裂缝的长度 (m);  $\omega_i$ ——第  $i$  条裂缝的最大宽度 (m)。通过早期抗裂性能评价标准,计算出水泥混凝土的限裂等级,具体公式如下:

$$\eta = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

式中,  $A_0$ ——混凝土早期开裂的裂缝总面积 (m<sup>2</sup>);  $A_f$ ——纤维混凝土早期开裂的裂缝总面积 (m<sup>2</sup>),从而得到裂缝降低系数指标,具体如表 8 所示:

表 8 水泥混凝土的限裂评价等级

评定标注	限裂等级
$\eta \geq 70$	一级
$55 \leq \eta < 70$	二级
$\eta < 55$	三级

### 3 纤维掺量对水泥混凝土强度的影响研究

确定水泥混凝土配合比方案后，应进一步探析纤维掺量对材料强度的影响效果。因此分别选择纤维掺量分别为 1.0 kg/m<sup>3</sup>、1.3 kg/m<sup>3</sup>、1.6 kg/m<sup>3</sup>、2.0 kg/m<sup>3</sup> 四种方案，与未添加纤维掺量的原水泥混凝土配比方案进行综合比较。对五种方案的强度影响进行检测，结果如表 9 所示：

表 9 不同纤维掺量下混凝土的强度结果

纤维掺量 / (kg/m <sup>3</sup> )	抗压强度 /MPa	弹性模量 /GPa	抗弯拉强度 /MPa	抗劈裂强度 /MPa
未掺入	48.39	35.82	5.69	3.35
1.0	52.44	36.33	6.56	3.81
1.3	53.95	36.59	6.99	4.04
1.6	52.83	36.46	6.86	3.93
2.0	53.95	36.27	6.26	3.49

#### 3.1 抗压强度影响

水泥混凝土的抗压能力，关系公路路面的裂缝病害。根据混凝土抗压强度试验结果可知，在传统水泥混凝土中加入纤维时，其抗压强度从 48.39 MPa 提升至 50 MPa 以上，但随着纤维掺量的逐渐提高，混凝土试件的抗压强度并没有得到明显的提升，始终处于 52.44~53.95 MPa 之间。这说明在水泥混凝土中掺入纤维材料，能够增强混凝土的抗压强度，但是不同纤维掺量并没有对抗压强度起到明显的促进效果。

#### 3.2 弹性模量影响

根据不同纤维掺量的弹性模量结果可知，相对于未掺入纤维的混凝土而言，加入纤维后的混凝土弹性模量得到少量提升，在掺量为 1.3~1.6 kg/m<sup>3</sup> 时达到顶峰。说明不同纤维掺量对于混凝土弹性模量的影响效果并不是很明显，这是因为 HSP 纤维属于合成纤维，本身质地较为柔软，进行抗压弹性模量检测时，混凝土试件的竖向变形主要受原材料水泥及骨料影响，与纤维材料关联度不高。

#### 3.3 抗弯拉强度影响

在水泥混凝土的抗弯拉强度试验中，当混凝土中加入纤维材料后，试件的抗弯拉强度得到明显提升。由最初的 5.69 MPa 提高至 6.56 MPa 以上，并且随着掺量增加，逐渐提升至 6.86~6.99 MPa。说明 HSP 纤维在混凝土中起到良好的调节作用，能够增强水泥砂浆与集料之间的整体结构强度，从而增强水泥混凝土的抗弯拉强度。

#### 3.4 抗劈裂强度影响

在水泥混凝土的抗劈裂强度试验中，在混凝土中加入纤维后，试件的抗劈裂强度由 3.35 MPa 增长至 3.81 MPa，并且随着纤维掺量的增加，抗劈裂强度也提升为 4.04 MPa 与 3.93 MPa，说明在水泥混凝土中加入纤维，能够大幅度提升混凝土试件的抗劈裂强度，表明纤维材料对混凝土各原材料具有良好的桥接作用。

#### 3.5 水泥混凝土中纤维最优掺量分析

将上述不同纤维掺量对水泥混凝土强度的影响结果进行汇总，得出各种混凝土强度的最优掺量结果，具体如表 10 所示：

表 10 HSP 纤维水泥混凝土最优掺量结果

水泥混凝土强度	纤维最优掺量
抗压强度	1.3~2.0 kg/m <sup>3</sup>
弹性模量	1.3~1.6 kg/m <sup>3</sup>
抗弯拉强度	1.0~1.6 kg/m <sup>3</sup>
抗劈裂强度	1.0~1.6 kg/m <sup>3</sup>

根据试验检测结果可知，当纤维掺量为 1.3~2.0 kg/m<sup>3</sup> 时，水泥混凝土具有最佳的抗开裂能力；当纤维掺量为 1.3~1.6 kg/m<sup>3</sup> 时，水泥混凝土具有最佳的弹性模量数值；当纤维掺量为 1.0~1.6 kg/m<sup>3</sup> 时，水泥混凝土具有最佳的抗弯拉能力；当纤维掺量为 1.0~1.6 kg/m<sup>3</sup> 时，水泥混凝土具有最佳的抗劈裂能力。所以最终选择水泥混凝土的纤维最佳掺量为 1.3~1.6 kg/m<sup>3</sup>，能够满足案例工程路面的施工质量要求。

### 4 结论

综上所述，在传统水泥混凝土配合比方案中加入纤维材料，能够大幅度提高混凝土的施工质量。该文根据工程案例方案，对水泥混凝土配比方案进行设计，通过试验确定水泥混凝土中的纤维掺量，混凝土配合比方案如下：水 128 g/cm<sup>3</sup>、水泥 320 g/cm<sup>3</sup>、河沙 607 g/cm<sup>3</sup>、4.75~9.5 mm 粗集料 283 g/cm<sup>3</sup>、9.5~19 mm 粗集料 354 g/cm<sup>3</sup>、19~31.5 mm 粗集料 779 g/cm<sup>3</sup>、外加剂 3.2 g/cm<sup>3</sup>，此外选择纤维掺量为 1.3~1.6 kg/m<sup>3</sup>，能够发挥出纤维材料的最佳性能，为案例公路的正常使用提供稳固保障。

#### 参考文献

[1] 徐勤敏, 朱亚光, 徐培蓁. 沥青拌和站回收粉制备泡沫混凝土的性能研究 [J]. 青岛理工大学学报, 2024(1):59-65.  
 [2] 王兴照. 矿渣粉掺合料对 C50 高性能混凝土综合性能的影响 [J]. 当代化工, 2024(1):54-57+62.  
 [3] 袁玮. 公路工程水泥混凝土强度影响分析 [J]. 工程建设与设计, 2024(2):73-75.  
 [4] 刘贞鹏, 杨宇. 不同集料组合对 C40 水泥混凝土路面耐久性能的影响研究 [J]. 西部交通科技, 2023(12):47-48+119.