

# 聚丙烯纤维在高性能混凝土中的应用

周桂梅, 黄绪泉

(中铁十一局集团 第二工程有限公司, 湖北 十堰 442013)

**摘要:**对聚丙烯纤维掺加工工艺、聚丙烯纤维混凝土设计进行了探索, 并对聚丙烯纤维混凝土现场施工进行总结。

**关键词:**工艺 聚丙烯纤维混凝土 设计

**中图分类号:**TU528.572 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-1995(2004)07-0085-03

混凝土是一种多孔脆性材料, 其抗拉强度远远低于抗压强度, 韧性差, 对冲击、开裂、疲劳的抵抗能力差, 由于裂纹的存在可使水渗入, 而影响混凝土抵抗水渗透和抵抗冰冻的能力。若在普通混凝土中掺入聚丙烯纤维网即纤维混凝土, 不仅具有普通混凝土的性能, 还有较高的抗拉强度、抗弯强度、抗冲击性、抗疲劳强度、耐磨性、良好的韧性及抗裂能力, 聚丙烯纤维网混凝土是一种近年来兴起的新型高性能混凝土。秦沈客运专线是我国第一条高速铁路试验线, 对桥梁的各项性能均有较高的要求, 首次在混凝土防水层(保护层)采用了C40聚丙烯纤维混凝土, 并结合秦沈客运专线有关设计文件进行混凝土配合比设计和配制研究。

## 1 聚丙烯纤维混凝土性能技术要求(见表1)

## 2 试验原材料

试验原材料采用网状聚丙烯纤维(性能见表2)、42.5R低碱普通硅酸盐水泥、5~10mm碎石(不含碱活性矿物)、河砂( $M_x = 2.7$ )、UNF-2A高效减水剂。用饮

用水拌和。

表1 聚丙烯纤维混凝土性能技术要求

| 混凝土外观   | 抗压强度<br>/MPa | 抗折强度<br>/MPa | 劈裂强度<br>/MPa | 抗渗<br>等级  |
|---------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| 无肉眼可见裂缝 | $\geq 28.0$  | $\geq 6.0$   | $\geq 4.5$   | $\geq 12$ |

## 3 配合比设计

### 3.1 关键参数选择

(1)砂率。因含砂率对聚丙烯纤维混凝土硬化前后的工作性和硬化后的强度均有影响, 一般都比普通混凝土高。因为聚丙烯纤维的掺入在混凝土基体中增加了巨大的表面积, 这些表面积需要水泥砂浆包裹才能保证纤维与基体的界面粘结和纤维增强效果的发挥, 其取值还受粗集料  $D_{max}$  的影响。一般取45%~50%。

表2 纤维检测结果

| 项目 | 吸水率<br>/% | 纤维<br>长度<br>/mm | 原材料<br>密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 制品<br>密度<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 当量<br>直径<br>/ $\mu$ m | 熔<br>化<br>温<br>度<br>/°C | 燃<br>点<br>/°C | 导<br>电<br>性 | 断<br>裂<br>延<br>伸<br>率<br>/% | 热<br>导<br>性 | 耐<br>酸<br>碱<br>性 | 抗<br>拉<br>强<br>度<br>/MPa | 弹<br>性<br>模<br>量<br>/MPa |
|----|-----------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|-------------|-----------------------------|-------------|------------------|--------------------------|--------------------------|
| 结果 | 无         | 20              | 0.91                               | 0.94                              | 100                   | 175                     | 590           | 低           | 6                           | 低           | 高                | 346                      | 3 310                    |

### 2.2 渐伸线法

渐伸线法测设仪器较简单, 操作容易, 测设速度快, 测试时需将仪器架设于线路中心, 受行车干扰较大, 应用于线路大中修设计及线路拨道量不大的曲线, 能很好反映曲线的既有状况。在陇海线曲线改造设计当中, 拨动量2m以下的曲线改造测设均采用渐伸线法, 最大拨道量1.6m左右时采用渐伸线法测设曲线, 计算结果能够满足施工精度要求。当曲线半径较小且转角较大时, 计算出的每20m点的拨量与实际有误差。

## 3 结语

每种曲线的测设方法都有它一定的局限性和适用范围, 应根据实际情况灵活运用也可几种方法结合使用。

### 参 考 文 献

[1]朱成磷. 铁道工程测量学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1989.

改回日期: 2004-04-20

(责任编辑 王 红)

(2)纤维掺量。根据有关文献<sup>[3]</sup>显示,纤维掺量和强度关系如图1、图2所示。

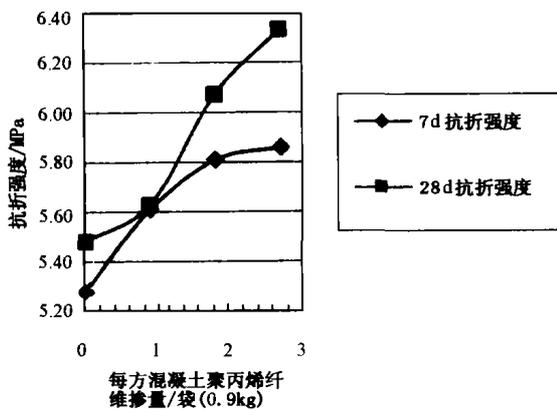


图1 聚丙烯纤维掺量和抗折强度的关系

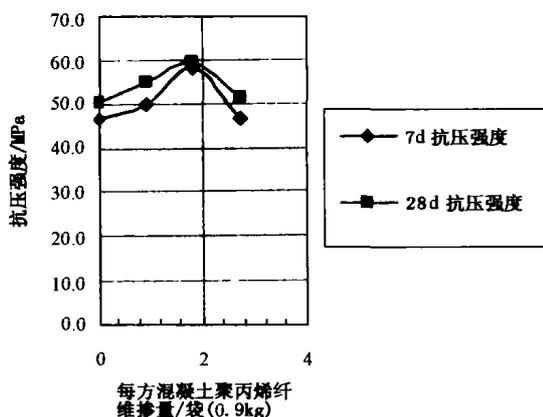


图2 聚丙烯纤维掺量和抗压强度的关系

纤维掺量依次为0 kg, 1袋0.9 kg, 2袋1.8 kg, 3袋2.7 kg。其抗折强度有所差别但不显著也不稳定。2袋和3袋其7 d抗折强度几乎相同,从断口上分析,掺量为3袋时,纤维网有结团现象,说明当掺量增加为每方3袋时,纤维网在混凝土中分布不够均匀,从技术、经济、工艺上出发,掺2袋为合适。

(3)粗集料粒径。粗集料最大粒径  $D_{max}$  主要依据纤维长度,它的长度对纤维在混凝土中均匀分散影响极大,直接影响纤维作用的发挥,纤维分布的均匀性是随  $D_{max}/L_f$  ( $L_f$  为纤维长度, mm) 的增大而下降。当  $D_{max}/L_f = 1/2$  时,纤维对混凝土的增强作用最好;当  $D_{max}/L_f > 1$  时,则纤维过于集中并填充于粗集料间的砂浆之中,故纤维仅局部增强混凝土整体,且因纤维过度集中又影响到纤维—基体间界面粘接;当  $D_{max}/L_f = 1$  或  $D_{max}/L_f < 1/2$  时,则纤维过短或过长,同样影响到纤维的分布。根据所用纤维长度,建议碎石  $D_{max} = 10$  mm 合适。

(4)掺和工艺。聚丙烯纤维在混凝土中掺和工艺有两种。第一种是常规工艺,称为后掺法(见图3);第

二种工艺是将纤维与集料先干拌,然后再加入水泥和水,称为先掺法(见图4)。

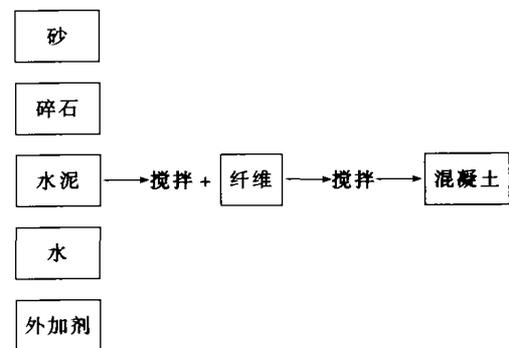


图3 后掺法制

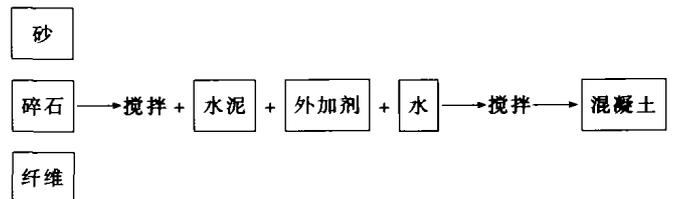


图4 先掺法

先掺法制备的混凝土强度比后掺法高,尤其是早期强度有较大提高。先掺法纤维在与砂、石的干拌中被强烈分散,纤维的分散性很好;后掺法中纤维吸水润湿后为水泥浆所包裹,纤维易成团,从而影响纤维在混凝土中均匀分散。

(5)水灰比:一般取0.45~0.50;灰集比:一般取1:6~1:4。细集料: $D_{max} = 5$  mm。

### 3.2 拌制方法

(1)人工拌制。在配制初期,我们根据实际情况,考虑经济、方便等因素,据防水层规范要求,所用的砂必须过1 mm筛分使用。我们决定采用先掺法首先进行了人工拌制,具体工艺如下:砂、水泥、聚丙烯纤维及外加剂混合搅拌7~10 min,然后再加入碎石,边加水边拌和,搅拌2~3 min,最后测拌和物性能、制件,拌制工艺各项参数见表3。

通过拌制及破型试验,我们分析发现虽然抗折强度、抗压强度与  $W/C$  具有良好的线性关系,但外观表面有裂纹,纤维并没有完全撕裂开,有的就根本没有分散。显然,因为混凝土强度等级(C40)高,  $W/C$  低,在人工拌制下,抗压强度、抗折强度及抗渗标号均能达到,只有劈裂强度达不到。纤维增强作用并没有明显表现出来。另外因为所用砂过了1 mm筛,实际成了细砂,故测得混凝土坍落度基本为零,但拌合物的和易性很好,在坍体四周表面轻拍后坍体均匀下降。

(2)机械搅拌。从上述结果看,第三个配比做一下改进可能比较合适,但因为人工拌制的不均匀性及搅拌时间过长故不能完全确定,为此还需采用机械方式

表3 人工拌制参数

| 项目<br>序号 | 每方混凝土材料用量/kg |     |     |     | 水灰比  | 砂率/% | 坍落度<br>/mm | 28 d 结果/MPa |       |      | 28 d<br>抗渗标号 |
|----------|--------------|-----|-----|-----|------|------|------------|-------------|-------|------|--------------|
|          | 水泥           | 砂   | 碎石  | 水   |      |      |            | 立方抗压强度      | 抗劈裂强度 | 抗折强度 |              |
| 1        | 448          | 780 | 950 | 202 | 0.45 | 45   | 20         | 44.7        | 3.1   | 6.0  | > 12         |
| 2        | 488          | 746 | 911 | 195 | 0.40 | 45   | 20         | 53.0        | 3.8   | 6.1  | > 12         |
| 3        | 497          | 806 | 806 | 189 | 0.38 | 50   | 20         | 54.9        | 4.0   | 6.2  | > 12         |

每方混凝土掺 1.8 kg 聚丙烯纤维、0.75 % 高效减水剂, 试件标准养护。

表4 机械拌制参数

| 项目<br>序号 | 每方混凝土材料用量/kg |     |     |     | 水灰比  | 砂率<br>/% | 坍落度<br>/mm | 立方抗压强度/MPa |      | 劈裂强度/MPa |      | 抗折强度/MPa |      | 抗渗标号 |
|----------|--------------|-----|-----|-----|------|----------|------------|------------|------|----------|------|----------|------|------|
|          | 水泥           | 砂   | 碎石  | 水   |      |          |            | 14d        | 28 d | 14 d     | 28 d | 14 d     | 28 d |      |
| 1        | 497          | 859 | 859 | 164 | 0.33 | 50       | 20         | 55.3       | 67.2 | 4.6      | 5.1  | 6.8      | 8.0  | > 12 |
| 2        | 497          | 785 | 929 | 139 | 0.28 | 45       | 20         | 53.2       | 61.4 | 4.2      | 5.2  | 6.5      | 7.3  | > 12 |
| 3        | 488          | 746 | 911 | 171 | 0.35 | 45       | 20         | 51.4       | 60.4 | 4.1      | 4.8  | 6.4      | 6.5  | > 12 |
| 4        | 448          | 780 | 950 | 170 | 0.38 | 45       | 20         | 47.5       | 59.0 | 3.4      | 4.7  | 6.3      | 6.5  | > 12 |

每方混凝土掺 1.8 kg 聚丙烯纤维、0.75 % 高效减水剂, 试件标准养护。

进行进一步试验。同时我们发现所用的砂过 1 mm 筛孔, 砂的利用率只有 20 % ~ 30 %, 当过 3 mm 筛孔时利用率可达 80 % 以上, 为了更好的利用砂子, 节约投资, 我们根据聚丙烯纤维混凝土设计一般要求和实际情况、人工拌制结果及分析, 我们做了相应调整试验, 采用 60 升强制式搅拌机、先掺法, 并考虑现场的可操作性对先掺法进行适当改进, 材料按砂、石、水泥、外加剂、纤维顺序一次性加入, 只是建议搅拌时间 4 min 延长到 6 min, 水是边搅拌边加, 拌制工艺各项参数如表 4。

从经济、质量及合理角度考虑, 确定最合适的为 2 号配比。

#### 4 工程应用

在柳树屯特大桥、苑家屯大桥和前瓦庙大桥桥面铺装采用 2 号配比, 采用双轴卧式强制式搅拌机, 与砂、石、水泥等一起倒入搅拌机, 直接将装有聚丙烯纤维的包装袋加水拌和(无需打开, 包装袋将在拌和中自动溶解), 拌和 6 ~ 8 min; 然后将拌和均匀的纤维混凝土拌合物运输到桥面进行摊铺、平板振动器振动和人工抹平。

在拌制和浇筑过程中应按照下列规定进行检查: ①检查聚丙烯纤维网混凝土组成材料的质量和用量, 每一工作班不少于两次。②在拌制地点、浇筑地点, 用坍落度筒法检查聚丙烯混凝土的坍落度。③随时检查聚丙烯纤维网混凝土的搅拌时间。④每个工作日制聚丙烯纤维抗压强度、抗折强度和劈拉强度试件各两组。所测试验结果符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》以及现行有关规范, 拌和的混凝土在搅拌出槽后纤维分散均匀, 没有絮凝成团现象, 拌合物表现出良

好的保水性和粘聚性。现场纤维混凝土外观质量光洁、无肉眼可见裂纹。

#### 5 结论

(1)聚丙烯纤维是一种新型混凝土增强材料, 应在室内做好一系列试验并优选出最佳方案, 为避免在施工中经济损失, 最好采用先掺法施工。(2)因实际用的为中砂, 要求搅拌时间不小于 4 min。(3)严格按配合比执行, 控制好水灰比, 将坍落度控制在 20 mm 内。采用 150 mm × 150 mm × 150 mm 抗压试件和 150 mm × 150 mm × 600 mm 抗折试件, 削弱小尺寸试件纤维在混凝土中实际作用的影响。(4)摊铺后, 工人在拉动平板振捣器时应尽量慢一些, 使纤维网纤维混凝土振捣时间延长 25 s 左右, 这更有利于纤维的三维乱向分布。(5)在抹面时, 等到混凝土较为钝化(近初凝时)再进行抹面, 不要使用过于毛糙的抹刀, 以免带出纤维, 最好用铁制抹刀。(6)加入纤维网的混凝土的表面泌水极少, 这是因为纤维阻止了水的移动性。可能使抹面比一般混凝土难, 这完全正常, 不要为追求表面光滑加太多水, 也不要抹面次数过多。

#### 参 考 文 献

- [1]泛美施纤维网有限公司. 纤维网用于喷射混凝土[M].
- [2]铁路专桥 8161-5, 聚丙烯纤维混凝土保护层设计说明[S].
- [3]程育红. 纤维网增强混凝土的力学性能试验[R]. 北京: 北京交通大学土建学院, 2000.

修回日期: 2004 - 04 - 01

(责任编辑 王天威)