

文章编号: 0451-0712(2005)06-0158-03

中图分类号: U414.180.3

文献标识码: B

聚丙烯纤维改善混凝土路用性能及使用耐久性的探讨

孟维平

(黑龙江省哈绥高速公路管理处 哈尔滨市 150028)

摘 要: 结合试验路修筑和室内试验详细介绍了聚丙烯纤维用于水泥混凝土路面的使用性能。

关键词: 水泥混凝土路面; 聚丙烯纤维; 性能; 耐久性

水泥混凝土路面因其独有的优点在高等级公路中得到了广泛应用。由于水泥混凝土路面刚度较大, 属脆性材料, 在压力、弯拉、胀缩和冲击等各种应力的作用下, 往往过早地出现断裂、剥落和错台等诸多病害, 促使人们想方设法地来改善面层板混凝土的受力特性和使用性能, 其中一项主要方法就是在水泥混凝土掺加纤维材料或其他高分子材料, 以大幅度提高水泥混凝土的应力吸收能力和抗弯拉强度, 并增强耐磨性、抗渗性和耐久性。

目前, 常用的纤维有钢纤维、玻璃纤维和化学纤维。据已有的研究报告, 除非对加剧反应或碱腐蚀加以保护, 一般不推荐使用玻璃纤维; 而钢纤维除有可能对轮胎造成损害外, 本身也会受到腐蚀影响, 不利于长期发挥其使用功能, 并会助长混凝土的电化学腐蚀, 此外, 拌和时钢纤维的分散也有一定难度; 聚丙烯纤维是非腐蚀性的化学添入物, 对矿物质、酸碱和无机盐有良好的耐久性, 目前比较有代表性的是聚丙烯长丝和聚丙烯纤维网(Fibermesh™), 后者在分散均匀性上有独到之处, 也是本次试验应用的对象。

1 聚丙烯纤维网简介

聚丙烯纤维网是美国 20 世纪 80 年代中期研制的一种新型加强材料。它适合于公路水泥混凝土路面、机场跑道和桥涵等多种混凝土工程的加强。按目前的习惯名称和常见报道, 都把这种材料称为“纤维网—混凝土次要加强筋”, 从它的分散机理和作用情

况来看, 这仍是一种纤维加强技术, 但分散机理和纤维状况与普通纤维有很大不同。首先, 它是靠集料的冲击撕裂(刚拉开未撕裂时呈网状)而分散开的; 其次, 它不象一般化学纤维那样纤细柔软。这或许是它被称作“纤维网”而非“纤维”的主要原因。但我们仍认为称作“聚丙烯纤维”为好, 避免“网”字给人们带来误导引起误解, 也有称之为“网型聚丙烯纤维束”的。这种纤维加强技术与以前常用的纤维, 如河北贝尼尔公司生产的聚丙烯长丝(这种纤维与炭素纤维或钢纤维混合使用, 用于建筑混凝土, 效果明显)和钢纤维等, 在外观和分散过程上有较大不同。

2 聚丙烯纤维增强水泥混凝土路面试验路修筑情况

结合黑龙江省网化公路建设, 确定了聚丙烯纤维混凝土路面试验段, 在牡丹江宁安县共修筑一侧车道单板聚丙烯纤维混凝土路面 200 余 m。路面结构为纤维混凝土面层板 20 cm, 水泥稳定砂砾 15 cm, 下为砂砾垫层 30 cm, 路基为碎石土。

试验路采用的聚丙烯纤维用量为 0.9 kg/m^3 , 即标准用量。聚丙烯纤维为纸袋包装, 可以不拆封直接投放, 但由于计量需要, 拆封后称量出所需重的聚丙烯纤维后和石料一起投放到搅拌机内。搅拌方法与普通混凝土一致, 拌和时间取 4 min 30 s (从现场情况看, 重力式搅拌机纤维投放后的拌和时间应在 4 min 30 s 以上, 最好达到 5 min。强制式拌和机不少于 4 min 即可)。为试验不拆封时的纤维包装纸袋

是否能够溶化或拌和均匀,我们特地将空包装袋完整地投入搅拌机中一起搅拌,并在出料时仔细观察,出料均为均匀的纤维混凝土,无纸片等杂物出现,经反复验证,可以确认该种纸袋能够在拌和过程中被撕散成微小纤维并均匀地分布到混凝土中。

试验路纤维混凝土路面摊铺采用人工小型机具方式,不改变原有水泥混凝土路面的施工方法和混凝土配合比。从混凝土外观看,拌和后聚丙烯纤维分散均匀,纤维外观良好,路面摊铺后,表面能看见很多细小的、分布均匀的纤维,但拉毛不受影响。从整个施工来看,该种聚丙烯纤维最突出的优点是分散均匀、便于施工,不改变混凝土配合比与拌和及摊铺工艺,极大地方便了该种聚丙烯纤维的使用,这也是有别于其他纤维(钢纤维等)之处。

3 聚丙烯纤维混凝土的路用性能试验分析

3.1 聚丙烯纤维增强混凝土的抗折强度试验

试验用混凝土为牡丹江牌 42.5(R)普通硅酸盐水泥(掺火山灰),砂为松花江中砂,粗集料为阿城产碎石,纤维掺量为 0.9 kg/m³。

在养生 7 d 和 28 d 后,做抗折强度试验,对比试验结果如表 1 所示。

表 1 抗折强度试验结果

| 试 件 | $\frac{7\text{ d}}{\text{MPa}}$ | $\frac{\text{增长率}}{\%}$ | $\frac{28\text{ d}}{\text{MPa}}$ | $\frac{\text{增长率}}{\%}$ |
|-----------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 基准混凝土 | 3.2 | 6.3 | 3.5 | 14.3 |
| 掺聚丙烯纤维混凝土 | 3.4 | | 4.0 | |

从试验结果来看,聚丙烯纤维(FibermeshTM)对提高水泥混凝土的抗折强度有一定效果,无论 7 d 还是 28 d 龄期,试件的抗折强度都高于基准混凝土试件。

3.2 聚丙烯纤维混凝土抗压强度试验

抗压强度试验分不掺纤维的基准混凝土和掺标准量剂量(0.9 kg/m³)聚丙烯纤维的混凝土。试验结果如表 2。

表 2 抗压强度对比试验结果

| 试 件 | $\frac{7\text{ d}}{\text{MPa}}$ | $\frac{\text{增长率}}{\%}$ | $\frac{28\text{ d}}{\text{MPa}}$ | $\frac{\text{增长率}}{\%}$ |
|-----------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 基准混凝土 | 28.4 | 13.0 | 32.1 | 19.9 |
| 掺聚丙烯纤维混凝土 | 32.1 | | 38.5 | |

同抗折强度试验结果相似,掺聚丙烯纤维的水泥混凝土抗压强度有较大提高,龄期 28 d 时的提高

幅度大于 7 d 龄期时的提高幅度。

3.3 聚丙烯纤维混凝土抗渗性试验

采用渗水高度试验方法,0.8 MPa 恒压 12 h,两种混凝土的渗水高度如表 3。

表 3 抗渗性(渗水高度)试验结果

| 试 件 | 0.8 MPa 恒压 12 h 渗水高度/cm | 增长率/% |
|-----------|-------------------------|-------|
| 基准混凝土 | 12.6 | -27.7 |
| 掺聚丙烯纤维混凝土 | 9.1 | |

纤维混凝土的抗渗性远优于基准混凝土,间接体现出纤维混凝土的密实度和裂纹缺陷各方面要优于普通的水泥混凝土。

3.4 聚丙烯纤维混凝土的劈裂抗拉强度对比试验

聚丙烯纤维混凝土的劈裂抗拉强度对比试验结果见表 4。

表 4 劈裂抗拉强度对比试验结果

| 试 件 | $\frac{\text{劈裂抗拉强度}}{\text{MPa}}$ | $\frac{\text{增长率}}{\%}$ | $\frac{\text{换算轴心抗拉强度}}{\text{MPa}}$ | $\frac{\text{增长率}}{\%}$ |
|-----------|------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 基准混凝土 | 0.13 | 23.1 | 0.117 | 23.1 |
| 掺聚丙烯纤维混凝土 | 0.16 | | 0.144 | |

掺加聚丙烯纤维后,劈裂抗拉强度有所提高,分析其原因,一是由于纤维混凝土的密实度和内部裂纹缺陷方面有所改善,另一个因素在于平均 7 根/cm³ 的聚丙烯纤维尽管弹性模量远远低于水泥混凝土,仍然起到一定的纤维增强作用,最终体现为混凝土的劈裂抗拉强度有一定的提高。

3.5 混凝土拌和物毛体积密度与抗冻等级

实测基准混凝土毛体积密度(基准混凝土实测密度)为 2 487 kg/m³,聚丙烯纤维混凝土实测毛体积密度为 2 512 kg/m³。掺加纤维后混凝土的密度有一定提高,本次试验中提高约 1%。在抗冻性试验中,基准混凝土试件和聚丙烯纤维混凝土试件均达到了 F150 级抗冻等级。但由于料样数量关系,抗冻性试验试件中聚丙烯纤维混凝土中粗骨料稍多,细骨料稍少,因此在相同的抗冻等级情况下,聚丙烯纤维混凝土实质上仍稍优于不掺纤维的基准混凝土。实际冻融循环 175 次,在两组对比试件中,基准混凝土和聚丙烯纤维混凝土各有一个试件出现冻融破坏现象。

3.6 聚丙烯纤维混凝土快冻法抗冻性试验

快冻法抗冻性试验也采用基准混凝土和聚丙烯纤维混凝土对比试验的方法。经过快速冻融试验装置 175 次冻融循环试验,测定结果如表 5。

表 5 混凝土抗冻性对比试验结果

| 冻融次数 | 基准混凝土 | | 掺聚丙烯纤维混凝土 | |
|------------------|---------|-------|-----------|-------|
| | 相对动弹性模量 | 质量损失率 | 相对动弹性模量 | 质量损失率 |
| | % | % | % | % |
| 50 | 94.6 | 0.74 | 95.0 | 0.4 |
| 100 | 79.0 | 2.2 | 80.0 | 2.35 |
| 150 | 65.0 | 3.2 | 64.2 | 4.0 |
| 175 | <60.0 | 5.3 | <60.0 | 6.0 |
| 试件初始横向基频 Hz/s | 5 207.3 | | 5 100 | |

由试验结果可知,虽然掺加聚丙烯纤维后水泥混凝土试件的抗冻标号同基准混凝土相同,而且相对动弹性模量二者比较接近,但不同冻融循环次数时的质量损失率区别较大。在冻融循环 87 次以内,掺聚丙烯纤维混凝土的质量损失率要小于基准混凝土,在之后的冻融循环中,聚丙烯纤维混凝土的质量损失率超过了基准混凝土。从公路水泥混凝土路面的设计使用寿命而言,一般为 20 年或 30 年,因此,可以认为在设计使用年限内,掺聚丙烯纤维的混凝土耐久性要好于普通水泥混凝土。为提高水泥混凝土的抗疲劳强度,还应该适当降低水泥混凝土的弹性模量,掺加聚丙烯纤维也具有增强混凝土韧性,降低混凝土弹性模量的效果。试件横向基频的高低也反映出了试件混凝土弹性模量的高低。一般而言,弹性模量大,对应的横向基频就较高,由试验结果可知,聚丙烯纤维混凝土的横向基频始终小于基准混凝土,表明掺聚丙烯纤维后混凝土的弹性模量有所下降,即韧性得到了改善。这对增强混凝土的抗冲击能力和延长疲劳时间,提高水泥混凝土路面的耐久性有重要意义。

4 钢纤维混凝土和混杂纤维混凝土介绍

4.1 钢纤维混凝土

从目前纤维混凝土的应用开发情况来看,钢纤维混凝土的良好性能已被确认并实施应用,但由于其明显的不足,即拌和时分散困难,施工难度增大等,加上成本较高(钢纤维用量为混凝土体积的 1.0%~1.2%),国内应用不很广泛,在《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ D40—2002)中规定的适用范围为标高受限路段的路面、旧混凝土路面的加铺层、桥面铺装和车站铺装等。钢纤维中也有不同的纤维类型,如铣削纤维等。

4.2 混杂纤维增强混凝土

混杂纤维增强混凝土是在水泥混凝土中掺加了

两种以上的纤维。目前报导只见于建筑混凝土,公路水泥混凝土路面中尚未见到试验应用方面的报导。用单一纤维对水泥混凝土进行加强或增韧,存在着一些难以克服的弊端,选用高弹纤维如钢纤维,则体积含量受到限制,分散、搅拌困难。用低弹高延性纤维如聚丙烯纤维可提高复合材料的韧性,但增强作用同钢纤维相比不够显著。因此,近几年国内外开始将高弹纤维和高延性纤维混杂来共同增强混凝土,获得了具有优异综合力学性能的混杂纤维增强混凝土。

总体而言,混杂纤维不仅可以提高混凝土的强度,改善其韧性,而且能有效提高混凝土的耐久性。

5 聚丙烯纤维的施工性能

由试验可知,纤维含量的增加使混凝土的坍落度下降,在纤维体积含量 0.2%(1.8 kg/m³ 左右)以下时,纤维分散均匀,无成团或成束现象,但含量再提高,搅拌时有较多的纤维粘附在搅拌叶片上,分散也变得困难。

由于试验路施工采用的是标准体积掺量 0.1%(约 0.9 kg/m³),纤维含量较低,在有振动的情况下,较低掺量的纤维混凝土和基准混凝土的流动性相当,实际施工时可忽略掺纤维造成的坍落度下降的影响。

另外,在混凝土中均匀分布的聚丙烯纤维起到了类似筛网的作用,能减缓粗粒料的快速下沉和游离水的上升,降低了混凝土的失水速率,从而延迟、减轻了纤维混凝土塑性收缩裂缝的出现。同时,在裂缝出现时,纤维的抗拉作用阻止了裂缝的进一步发展。

在施工中做板面处理时,该种纤维并不影响抹面和拉毛施工,按普通混凝土路面施工工序正常进行即可。纤维的掺加也无特殊要求,按剂量成包或成把加入均可,但须注意两点:(1)不要撒到搅拌机的机器壁面上;(2)拌和时间要保持在 4 min 30 s 以上,最短不宜短于 4 min。原则上可以用任何混凝土搅拌机拌和,但以双卧轴强制式拌和机为好,同时对混凝土的配合比和其他施工均无影响。

参考文献:

- [1] 黑龙江省交通科学研究所. 应用聚丙烯纤维改善混凝土路面性能及使用耐久性的研究[R]. 2002.
- [2] 华渊,等. 混杂纤维增强混凝土耐久性试验研究[J]. 低温建筑技术,1998,(3).
- [3] 戴建国,黄承达. 网状聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品,1999,(6).

