

聚丙烯纤维混凝土在路面工程中的应用研究

朱 江

(广东工业大学 土木系,广州市 510090)

【摘 要】 通过分析聚丙烯纤维对混凝土的增强作用,说明在混凝土中掺加适量的聚丙烯纤维能有效地提高混凝土材料的抗裂、抗冲击、抗冻性能,改善混凝土的抗疲劳特性。文中还介绍了聚丙烯纤维混凝土在路面工程中的应用实例及设计施工方法。

【关键词】 聚丙烯纤维; 聚丙烯纤维混凝土; 微裂缝

【中图分类号】 TU528.372

【文献标识码】 A

【文章编号】 1002-3550(2000)12-0008-03

自波特兰水泥问世以来,用其配制的混凝土及钢筋混凝土已成为一种主要的建筑材料。但是一般混凝土材料均存在脆性大、易开裂和抗冲击性能差等问题。如何提高混凝土材料的抗裂、抗冲击性能正受到各方面广泛的关注。

近十多年来,合成纤维混凝土在改性混凝土中已成为越来越重要的角色,特别是聚丙烯纤维更以其成本低及改善混凝土性能的显著效果,受到工程界的注意。聚丙烯纤维混凝土是在混凝土中掺入适量的聚丙烯微纤维,以改善混凝土的脆性破坏特性,减少混凝土塑性收缩裂缝,提高混凝土的韧性及抗冲击性能,其中少量聚丙烯纤维加入到混凝土后可以明显改善混凝土的抗裂性能及提高其抗冲击性能的特性,已广泛应用于路面工程中,并取得了良好的效果。

1 作用机理与主要性能

聚丙烯纤维一般分为单丝和网形两种规格,长度19~50mm,其物理性能基本相同,即密度 $0.91\text{g}/\text{m}^3$,熔点 165°C ,燃点 590°C ,弹性模量 3500MPa 。聚丙烯纤维不吸水,导热性低,对酸碱盐的阻抗高,属于无毒材料。为了增强纤维与混凝土的表面粘结力,纤维表面都经过了特殊处理。

聚丙烯纤维能有效地提高混凝土的抗裂、抗冲击及抗冻性能,改善混凝土的抗疲劳特性,是一种优良的路面工程材料。

1.1 聚丙烯纤维可提高混凝土的抗裂性能

我国著名专家王铁梦教授认为^[1],混凝土产生裂缝的原因主要为三种:外荷载直接应力引起的裂缝,即按常规计算的主要应力引起的裂缝;外载作用下,结构次应力引起的裂缝;由变形引起的裂缝,如温度、收缩和膨胀、不均匀沉降等因素引起的裂缝。裂缝通常由

其中一种或几种因素共同作用而形成,而三种产生裂缝的因素中,尤以变形变化引起的裂缝最多,占80%以上。

要提高混凝土的抗裂能力,可适当增配构造钢筋,但这种方法只是对抵抗由于外荷载应力引起的裂缝有效,而对于第三种裂缝,尤其是塑性收缩裂缝,单靠配构造钢筋是难以奏效的,因为钢筋难以细密分布,而聚丙烯纤维则可弥补这方面的不足。当在混凝土中掺入适量的聚丙烯纤维后,由于聚丙烯纤维与水泥基集料有极强的结合力,可以迅速而轻易地与混凝土材料混合,分布均匀而细密。

聚丙烯纤维在控制混凝土的塑性收缩裂缝上的主要作用为:阻滞塑性收缩裂缝的产生和限制裂缝的发展。混凝土的塑性开裂主要发生在混凝土硬化之前,特别是在混凝土浇注后4~5小时之内,此阶段由于水分的蒸发和转移,混凝土内部的抗拉应变能力低于塑性收缩产生的应变,因而引起混凝土内部塑性裂缝的产生。而掺入了聚丙烯纤维后,由于聚丙烯纤维分布均匀,起到类似筛网的作用,减缓了由于粗粒料的快速失水所产生的裂缝,延缓了第一条塑性收缩裂缝出现的时间。而当裂缝出现后,聚丙烯纤维的存在又使得裂缝尖端的发展受到限制,裂缝只能绕过纤维或把纤维拉断来继续发展,这就需要消耗巨大的能量来克服纤维对裂缝发展的限制作用,纤维的体积掺量越大,这种限制作用越强。而在普通混凝土中裂缝的尖端没有受到这样的限制作用,可自由发展,这就使得普通混凝土中的裂缝比加入纤维的混凝土中的裂缝要宽、要长。如图1所示^[2],混凝土塑性收缩裂缝面积、裂缝最大缝宽及失水速率均随着纤维体积分含量的增大而显著降低,说明聚丙烯纤维有效地提高了混凝土的抗裂性能。

另外,聚丙烯纤维阻裂和细化裂缝的作用,明显地

改善了水泥石的结构,使水泥石中原生的微裂纹减少、裂缝宽度减小,这必然使水泥硬化体的抗渗性和韧性得到相当程度的提高。

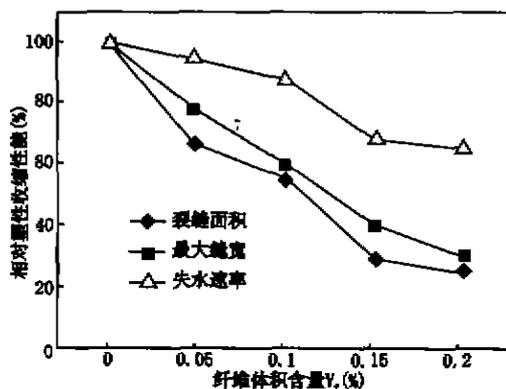


图1 纤维体积含量对混凝土塑性收缩性能影响

1.2 聚丙烯纤维可提高混凝土的抗冲击性能

在混凝土内掺入聚丙烯微纤维,聚丙烯纤维与水泥基集料有极强的结合力,可以迅速而轻易地与混凝土材料混合,分布均匀;同时由于细微,故比面积大,每kg聚丙烯纤维连起来的总长度可绕地球10多圈,若分布在 1m^3 的混凝土中,则可使每 cm^3 的混凝土中有近二十条纤维丝,故能在混凝土内部构成一种均匀的乱向支撑体系,这种均匀的乱向支撑体系有助于提高混凝土受冲击时动能的吸收。显然,这是纤维的阻裂作用所致。在混凝土受冲击荷载作用时,纤维可以有效地阻碍混凝土中裂缝的迅速扩展,吸收由于冲击荷载所产生的动能,从而提高混凝土的抗冲击性能。如表1所示为不掺纤维和掺有纤维的混凝土抗冲击落重试验的结果^[3]。

表1 落重试验结果

试件组	素混凝土	掺聚丙烯纤维 混凝土($V_f=0.05\%$)	掺聚丙烯纤维 混凝土($V_f=0.1\%$)
初裂冲击次数	30	89	103
破坏冲击次数	37	98	114

表1数据表明,掺有聚丙烯纤维的混凝土试件的初裂冲击次数和破坏冲击次数较不掺纤维的成倍提高,并随着纤维掺量的增加而增加。因此,聚丙烯纤维的掺入大大地提高了混凝土的抗冲击性能,这一特性对于承受冲击疲劳荷载作用的混凝土路面是非常有利的。

1.3 聚丙烯纤维可提高混凝土的抗冻性能

在混凝土中加入聚丙烯纤维,可以缓解温度变化而引起的混凝土内部应力的作用,阻止温度裂缝的扩展。按混凝土抗冻试验法,经25次反复冻融,无分层

与龟裂等现象产生。实践及研究都表明,在混凝土中加入聚丙烯微纤维可作为一种有效的混凝土温差补偿抗裂手段。

1.4 聚丙烯纤维可改善混凝土的抗疲劳特性

在混凝土中掺入聚丙烯纤维后,其静力弹性模量低于普通混凝土,当聚丙烯纤维掺率在 $0.05\% \leq \rho_f \leq 0.1\%$ 范围时,纤维掺量的变化对静力弹性模量没有太大的影响,但对疲劳变形模量则随着掺率增大而增大,说明对动力荷载作用下的结构,聚丙烯纤维能发挥更大的效果。弹性模量低、抗疲劳强度高的聚丙烯纤维混凝土是一种优良的路面结构材料。

2 应用实例

由以上分析可知,聚丙烯纤维有效地增强了混凝土的抗裂、抗冲击、抗冻性能,改善了混凝土的抗疲劳特性,因此,聚丙烯纤维混凝土特别适合于要求较高抗裂、抗冲击和耐磨性能的路桥工程,如高速公路路面、收费站、机场跑道、停机坪、桥面铺装层、停车场及软基路面等。下面以美国希尔兄弟化工公司生产的聚丙烯纤维(杜拉纤维)为例,介绍聚丙烯纤维混凝土应用于路面工程的实例。

广州东环高速公路,应用聚丙烯纤维混凝土成功地解决了收费站无磁路面抗裂、抗冲击、耐磨的要求。该路段由于下面埋设自动测试磁性感应线圈,不能铺设钢筋网,不能采用钢纤维,同时路面厚度受到限制,因此采用了在每立方米C50混凝土中掺加0.9kg杜拉纤维、路面厚度33cm的方案。在解决工程难题的同时,还因省去一层钢丝网而减少了材料和施工成本。收费站建成投入使用至今,面对广州高速公路繁忙的车流并未对路面造成明显的损坏,使用效果良好。

另外,在广东南海鲁岗桥的引桥路面,全长400m,采用聚丙烯纤维混凝土后,路面由普通混凝土厚度23cm而减薄至19cm,而且该处为软基层,所铺设的聚丙烯混凝土路面较水泥混凝土路面造价下降6%。此外,在重庆嘉陵江高家花园大桥桥面及引桥路面、福建厦门保税区象屿码头海港软基层路面、建设部示范小区湖北武汉南湖花园小区主干道、广东省交通厅难题工程肇庆西江大桥桥面维修工程、广州北环高速公路维护工程、广州环城高速公路海南立交桥桥面铺装层、广州丫髻沙大桥桥面铺装层、广州白云国际机场波音777大型机库停机坪等大量桥面铺装层、软基路面等要求较高抗裂、抗冲击性能的路桥工程中,聚丙烯纤维混凝土都得到了成功的应用。

3 设计与施工要点

聚丙烯纤维混凝土是聚丙烯纤维乱向掺入的混凝土

土,可视为一种高强混凝土,因而可充分应用现行的刚性路面的设计规范及其标准试件的试验方法,将其试验值通过数值统计理论就可以建立半经验半理论的路面结构设计方法。这种方法主要决定路面结构三大要素:弯拉强度与立方体抗压强度;标准轴载次数与疲劳强度;弯拉强度与弯拉弹性模量等方面建立关系,就可以直接参照刚性路面所公布的设计规范的有关关系条例进行路面结构设计。杜拉纤维混凝土路面结构设计方法^[4]就是根据上述路面设计的三大要素建立了杜拉纤维混凝土路面结构的设计方法。

聚丙烯纤维掺入混凝土中,除不适宜采用人工搅拌外,对搅拌及施工工艺没有特别要求,只要适当保证搅拌时间即可。搅拌时间长短以纤维能在混凝土中均匀分布为度,一般为3~5min。搅拌时可先将砂、石、水泥与水在搅拌机内均匀拌和后再加入纤维,亦可先将纤维与砂、石、水泥干拌后再加水湿拌,整个搅拌时间较拌制普通混凝土适当延长1~2min。另外,为改善聚丙烯纤维混凝土拌合物的和易性,可掺加适量的引气剂、减水剂或高效减水剂,也可外掺掺量不超过10%的粉煤灰。

当混凝土是由搅拌站运至工地时,若时间不超过30min,则可在搅拌站内预先将纤维加入到混凝土中,否则,聚丙烯纤维宜在混凝土运到工地后再加入。

4 结束语

在混凝土中添加适量的聚丙烯纤维是克服其开裂的有效途径,纤维在混凝土中所形成的乱向支撑体系,

产生一种有效的二级加强效果,能较大幅度地提高混凝土的抗裂、抗冲击性能,改善混凝土的抗疲劳特性。从确保工程质量,施工便利,兼顾成本及长短期效益等诸方面考虑,采用聚丙烯纤维混凝土不失为一种较好的路面结构材料。若再将其与钢纤维或钢丝网进行复合,则将有效地解决各自存在的缺点,同时更大地发挥其复合的效应,成为一种高强的路面复合材料。

[参考文献]

- [1]王铁梦.工程结构裂缝控制.北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2]戴建国,黄承逵.网状聚丙烯纤维混凝土的试验研究.混凝土与水泥制品,1999,(4):36.
- [3]Rongxi Shen, M. L. Hill, Yongxing Tian. Crack-Arresting Effect of Polypropylene Monofilament Fibre at Small Dosage in Concrete. Proceedings of the International Conference on Fibre Reinforced Concrete. Guangzhou China: Guangdong Science and Technology Press, 1997.
- [4]Shien Li, M. L. Hill, Lamfong NG. The Structural Design of DFRC Pavement Proceedings of the International Conference on Fibre Reinforced Concrete. Guangzhou China: Guangdong Science and Technology Press, 1997.

[作者简介] 朱江(1965-),女,讲师,博士研究生,主要从事纤维水泥与纤维混凝土专业工作。

[单位地址] 广州市东风东路729号广东工业大学土木系(510090)

[联系电话] 020-85214649,85214950

Application of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete in Pavement Construction

Zhu Jiang

(Dept. of Civil Engineering, GDUT, Guangzhou, 510090 China)

[Abstract] Based on the reinforcement analysis of polypropylene fiber in reinforced concrete, this paper presents the improvement of crack resistance and impact resistance of concrete material by adding polypropylene fiber. The applications of polypropylene fiber reinforced concrete in pavement construction are also introduced in this paper.

[Key words] polypropylene fiber; polypropylene fiber reinforced concrete; microcrack