

关于聚丙烯纤维对混凝土性能影响的几点认识

4P-51
14曹 诚¹, 刘兰强²

TU528.572

(1. 天津市市政工程研究院, 天津 300074; 2. 天津市公路工程总公司, 天津 300074)

【摘 要】 本文就目前对聚丙烯纤维在混凝土中阻裂效应的意义、聚丙烯纤维对混凝土强度和耐久性的影响等模糊不清或尚存争议的问题谈了几点看法, 并从作用机理上进行了阐述。结论认为, 聚丙烯纤维对混凝土性能有明显的改善作用, 但目前的试验评价方法尚不能有效展示聚丙烯纤维的效应。

【关键词】 聚丙烯纤维; 混凝土; 阻裂效应; 强度

【中图分类号】 TU528.72 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1002-3550(2000)09-0049-03

1 引 言

聚丙烯纤维是一种新型的混凝土增强纤维, 被称为混凝土的“次要增强筋”, 适用于路面桥面、衬里护壁、地坪等工程部位, 近几年在我国市政、公路和建筑工程中已有较多应用。从1997年至今, 仅在天津市道路和桥面工程中, 聚丙烯纤维混凝土的用量已达到10多万 m^2 , 聚丙烯纤维的总用量近20吨, 绝大部分工程应用效果良好。

由于掺入聚丙烯纤维改善了混凝土的品质, 使混凝土的综合使用性能得到提高。美国联邦公路战略计划(SHRP)通过大量试验研究和工程经验总结后认为, 可将聚丙烯纤维等有机纤维增强混凝土当作路面高性能混凝土的一种^[1]。但作者通过和施工、设计人员的现场交流, 发现一些工程技术人员对聚丙烯纤维在混凝土中的效应认识不足, 认为聚丙烯纤维的功能仅是阻止混凝土发生塑裂, 而对硬化混凝土的性能无积极作用; 或者将聚丙烯纤维和钢纤维的增强效果进行对比, 以掺入纤维对混凝土抗折(抗拉)强度的提高程度作为评价标准。经分析后认为, 有关人员聚丙烯纤维功能认识上的片面性, 主要源于现行混凝土试验评价方法的局限性和长期形成的以硬化混凝土静载强度为目标的思维定势。本文就有关问题进行讨论, 并阐述作者的看法。

2 聚丙烯纤维的阻裂效应

同常用的钢纤维相比, 聚丙烯纤维的特点是细度高(当量直径0.02~0.1mm)、数量多(常用的0.9kg/ m^3 的掺量充分分散可获得700~3000万根纤维单丝)、在混凝土中的纤维间距小。上述特点使聚丙烯纤维能有效限制早期(塑性期和硬化初期)混凝土由于离析、泌水、收缩等因素形成的原生裂隙的发生和发展,

减小原生裂隙的数量和尺度。而原生裂隙通常是混凝土破坏或性能劣化的起源。从此角度理解, 可认为聚丙烯纤维的上述阻裂效应的意义, 不仅在于有效地阻止了早期混凝土塑性裂缝的发生和发展, 其意义更在于通过提高材料介质的连续性, 能使硬化后混凝土的性能得到显著改善。对于路面和桥面混凝土, 由于所承受的弯拉荷载和反复冲击荷载, 对混凝土内原生裂隙数量和尺度的敏感性较高, 原生裂隙在数量和尺度上的减小对提高其使用性能是非常有利的^[2]。

存在的问题是: ①聚丙烯纤维的阻裂效应得以发挥的必要条件, 是混凝土在硬化早期同时处于变形受限和失水收缩的状态, 而这样的条件室内或现场制作的小试件并不具备。这种差异实际上体现了用小试件评定实际结构中混凝土强度或耐久性的不足之处, 对聚丙烯纤维混凝土这种倾向性更为明显, 其结果造成了对聚丙烯纤维在混凝土中作用的低估。②聚丙烯纤维的阻裂效应尚很难通过试验进行定量的评价。虽然有关人员模拟现场条件制作了各种试验装置, 进行聚丙烯纤维阻裂效应的研究^{[3][4]}, 但受各种偶然因素的作用, 试验结果的再现性不佳。以上因素造成了对聚丙烯纤维使用效果的低估和认识上的模糊。

在混凝土中掺入纤维材料最初的目的, 就是针对因混凝土抗拉强度不足造成的易裂问题, 纤维在混凝土中的阻裂效应实际上正是提高了混凝土抗拉强度的表现。但不同品种纤维因弹性模量、抗拉强度、长径比、掺量等不同, 在混凝土中阻裂效应的作用机理和效果也不相同。钢纤维的阻裂效应体现在阻止硬化混凝土破坏时的裂缝扩展上, 是通过使硬化混凝土在裂后仍能保持一定的抗拉强度实现的, 阻裂效应作用的结果是提高了硬化混凝土的变形能力, 使混凝土基材在破坏后仍保持一定的延性(假延性), 因此, 钢纤维的阻裂能力和纤维弹性模量、界面粘结强度和自身的抗拉

强度有关。而聚丙烯纤维的阻裂效应主要体现在消除或减轻了早期混凝土中原生裂隙的发生和发展,简单的理解可认为,是通过聚丙烯纤维提高了早期混凝土的抗拉强度实现的,进一步分析结果是,聚丙烯纤维钝化了原生裂隙尖端的应力集中,使介质内的应力场更加连续和均匀所至。由于早期混凝土自身的抗拉强度很低,因此,聚丙烯纤维的阻裂能力和纤维的抗拉强度、弹性模量等指标并不明显相关,而随纤维细度的增大、混凝土中纤维间距的减小而增强。

通过以上分析可见,聚丙烯纤维和钢纤维的阻裂效应不可相互替代,因分别改善了不同时期混凝土的性能。对于路面桥面混凝土,钢纤维在混凝土裂后方能发挥的阻裂效应并无实际的意义,而混凝土在早期易发生塑性开裂的性能缺陷,却可通过掺入聚丙烯纤维加以解决或改善。

3 聚丙烯纤维对混凝土强度的影响

聚丙烯纤维的弹性模量低(约为混凝土的 1/10)、具有一定的增稠作用和弱界面效应,都是对混凝土强度不利的因素^[5],但由于聚丙烯纤维在混凝土中常用的体积掺量很低,以上不利因素对混凝土强度的影响并不显著。许多试件的测试结果也表明,掺入聚丙烯纤维对混凝土的强度无显著影响或使混凝土的强度稍有降低。一些习惯于以试件的抗压或抗折强度判定材料性能水平的工程技术人员由此得出的结论是:聚丙烯纤维虽能阻止早期混凝土发生塑性开裂,但对硬化混凝土无增强作用。

以上认识是广泛存在的,其片面性在于:①小试件强度并不能代表实际结构物中混凝土的强度,当混凝土中掺入聚丙烯纤维后这种倾向性可能更加显著,因为小试件测试结果不能展示聚丙烯纤维阻裂效应带来的好处。②路面桥面混凝土主要承受车辆反复冲击造成的疲劳作用,因此,抗动荷载能力的强弱更接近真实的材料使用性能水平,而小试件抗压或抗折强度则是在试验机加载速率下测得的准静载强度。有关试验结果表明^[2],虽然掺入聚丙烯纤维对混凝土的准静载强度无显著影响,却能使混凝土的抗冲击能力和抗疲劳能力显著提高。

纤维对混凝土强度的影响程度和纤维在混凝土中的体积率有关,由于价格和工艺等原因,常用的纤维掺量一般较低(体积率一般不大于 2%),且纤维处于三维乱向分布的状态,增强的效率很低,因此,正常情况下纤维均不能使混凝土裂前的抗拉强度有明显提高。混凝土基体裂后,可通过纤维继续承担荷载。当钢纤维掺量达到一定水平时,纤维能在混凝土裂后承担超过混凝土裂前的荷载水平,表现为提高了混凝土的极

限抗拉强度。而在进行抗折强度测试时,由于混凝土在裂后通过纤维保持了一定的抗拉能力,使受试小梁的中性轴得以提高,混凝土的抗折强度由此得以较大幅度的增长。通常测试的结果是,钢纤维对混凝土抗折强度的提高幅度高于抗拉强度。聚丙烯纤维常用的体积掺量比钢纤维要低得多(0.9kg/m³的掺量相当于体积率 0.1%),这样的掺量对混凝土裂前、裂后的强度和破坏形态几乎无影响,且由于聚丙烯纤维自身的弹性模量较低,即使通过提高纤维掺量使混凝土裂后保持一定的抗拉强度,但过大的变形也使其实用的意义很小,因此,通常不采用高掺量聚丙烯纤维来提高混凝土抗拉(抗折)强度的作法。由于路面桥面混凝土的刚度要求,事实上无论何种纤维对混凝土裂后强度的提高作用对此类工程均无实际的意义。

由以上分析得出的结论是:对路面桥面混凝土,通常情况下,纤维对混凝土静载或准静载强度的影响作用,不会对实际的使用性能造成明显影响。而大量工程实践证明的纤维混凝土优良的使用效果,实际上是纤维提高了混凝土的抗冲击、抗疲劳能力所致,这是通过掺入纤维使混凝土板的整体性、连续性得到改善的结果。在这点上聚丙烯纤维和钢纤维虽有相同的功效,但作用机理却不尽相同。聚丙烯纤维的作用机理是通过消除或减小原生裂隙的数量和尺度,使材料介质的连续性得以提高,以及有机材料对冲击能的吸收能力,使混凝土的抗冲击、抗疲劳性能得以改善的。聚丙烯纤维自身较低的弹性模量,使其对荷载的传递能力和约束硬化混凝土裂缝扩展的能力相对较弱。同聚丙烯纤维相比,钢纤维由于在混凝土中的数量相对较少,不能有效消除或减小原生裂隙的数量和尺度,但较高的弹性模量使其具有很强的传递荷载的能力和约束裂缝扩展的能力。钢纤维的以上功能使路面混凝土板承受车辆的冲击作用能在更大的板体范围内扩散,局部的应力集中现象得以减轻,路面桥面混凝土的抗冲击和抗疲劳能力由此得到提高。

纤维混凝土的以上使用功能是无法通过小试件进行评定和衡量的,但大量的工程实践已对此给予了证实。在美国的一些公路和机场道面中,正尝试采用聚丙烯纤维混凝土制作超薄白色罩面,对旧路进行改造,正是利用了聚丙烯纤维混凝土优良的抗冲击、抗疲劳性能^[6]。

4 聚丙烯纤维对混凝土耐久性的影响

也有一些工程技术人员认为,聚丙烯纤维主要是一种改善混凝土耐久性的材料,如果将抗疲劳性能看成是一项路面桥面混凝土的耐久性指标,上述理解当然是正确的。除此之外,聚丙烯纤维对混凝土性能的

改善作用还包括:通过减少混凝土的泌水,使表面混凝土的质量得以改善,从而使混凝土的耐磨性能得以提高,以及阻裂效应能显著改善混凝土的抗渗漏性能等。聚丙烯纤维对混凝土的其他耐久性指标诸如抗渗透性、抗冻和抗盐冻性、抗化学侵蚀性等也并无不利的影响,但改善程度尚待进一步研究。

5 结 语

通过以上分析得出的结论是:①聚丙烯纤维能消除或减少混凝土中原生裂隙的数量和尺度,这种效应不仅能有效阻止混凝土发生塑性开裂,对硬化混凝土的性能也非常有益。②聚丙烯纤维虽然不能使硬化混凝土的准静载强度有明显提高,但通过提高混凝土的抗冲击能力和抗疲劳性能,使路面桥面混凝土的使用性能得以改善。③由于在纤维细度、弹性模量等性能上的差异,聚丙烯纤维和钢纤维对混凝土性能的影响效果和机理不尽相同,两者各有所长。④由于试验评价方法的原因,室内小试件不能充分展示聚丙烯纤维在实际工程中的使用效果,造成了对聚丙烯纤维实际使用效果的低估。

今后的研究方向应是,聚丙烯纤维和钢纤维的复合效应、聚丙烯纤维对高强高性能混凝土性能的影响、聚丙烯纤维和硅灰或粉煤灰等活性混合材的复合效

应、以及对纤维使用效果的评价方法等。对纤维混凝土的研究方法,也应更注重观察实际工程的应用效果,而非单纯通过室内小试件进行性能评价。

由于聚丙烯纤维是通过消除或减少原生裂隙的数量和尺度来改善混凝土的品质,从而实现对混凝土使用性能的改善,因此,可将掺入聚丙烯纤维作为实现混凝土高性能化的一个重要途径进行深入研究。

【参考文献】

- [1] 'ACI Defines High-Performance Concrete', Concrete International, February 1999.
- [2] 曹诚等.聚丙烯纤维对混凝土动力学特性的影响研究[J].混凝土,2000,(5).
- [3] 'Secondary Reinforcement-Adding Cellulose Fibers', Concrete International, June 1997.
- [4] 'Contribution of Fibers to Crack Reduction of Cement Composites During the Initial and Final Setting Period', ACI Materials Journal, May-June 1994.
- [5] 曹诚等.低掺量聚丙烯纤维混凝土应用技术研究[Z].天津:天津市建委鉴定文件,2000.
- [6] 'Ultra-thin Whitetopping, PUBLIC WORKS, February 1998.

【作者简介】 曹诚(1968-),男,工程师,道桥所副所长;
刘兰强(1966-),男,工程师,总公司副经理。

【单位地址】 天津市河西区平山道 39 号(300074)

【联系电话】 022-23537273

Discussion about Performance of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete

CAO-Cheng

(Tianjin Municipal and Highway Research Institute, Tianjin, 300074, China)

【Abstract】 The paper gives the views on the crack-stopping effect of PP fiber to concrete, and the discussion on the strength and durability of PP fiber reinforced concrete. Conclusions show that PP fiber can notably improve the performance of concrete, but the actual evaluate-technique can not effectively bring force this effect.

【Key words】 polypropylene fiber; concrete; crack-stopping effect; strength

·上接第 61 页·

Succeeding Application on Seafaring Building with Ground Slag High-Performance Concrete

Chen Xun-jie, Wang Chang-yi

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

【Abstract】 In this paper, the laboratory researches on GGS high performance concrete have been successfully applied to the new coal quay project in the south of Tianjin port. The showcase's completion and its properties results in site show that GGS high performance concrete is a marine concrete with superior properties, and applicable to mixing marine concrete of strength C30 ~ C60. GGS high performance concrete has superior capability of resistance to chloride ion attack, which diffusion coefficient of chloride ion is only 25% of that of ordinary concrete, and life-span should be extended more than 3~4 times. Whereas, its price of 1m³ is only increased 35~40 RMB yuan than that of ordinary concrete, but the cost of resistance to concrete surface erosion should be saved. The tests in site indicate that GGS high performance concrete is valuable in marine constructions.

【Key words】 GGS High Performance Concrete; Marine Concrete; Showcase