

Review on Fiber Concrete

Shizhe Liu

School of Civil Engineering, Qinghai University, Xining Qinghai
Email: 1041989695@qq.com

Received: Mar. 5th, 2019; accepted: Mar. 21st, 2019; published: Mar. 28th, 2019

Abstract

As a new building material, fiber concrete not only has the advantages of traditional concrete, but also has many improvements in tensile strength, bending resistance, crack resistance, high temperature resistance and durability. Because of its obvious advantages compared with traditional concrete, it has been gradually recognized and applied in all walks of life, especially in the construction industry. This paper reviews the development history, performance advantages, types of fiber concrete, and summarizes them.

Keywords

Fiber Concrete, Performance, Durability, Development History

纤维混凝土综述

刘师喆

青海大学土木工程学院, 青海 西宁
Email: 1041989695@qq.com

收稿日期: 2019年3月5日; 录用日期: 2019年3月21日; 发布日期: 2019年3月28日

摘要

作为一种新型建筑材料, 纤维混凝土既拥有传统混凝土的各项优点, 又在抗拉, 抗弯, 抗裂, 耐高温及耐久性等多项性能有明显提高, 由于其相较于传统混凝土的明显优势, 在各行各业, 特别是建筑行业已逐步得到认可应用, 本文综述了纤维混凝土的发展历程, 性能优势, 种类, 并对其进行总结。

关键词

纤维混凝土, 性能, 耐久性, 发展历程

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自 1824 年约瑟夫阿斯普丁发明了波特兰水泥, 混凝土因其使用方便, 成本低廉, 原材料易得, 性能优异, 可模性好等优点, 在各行业迅速得到发展, 已经成为了当今社会最主要的建筑材料。但随着经济的发展, 社会的进步, 对建筑材料的要求越来越高, 传统混凝土受弯度, 受拉, 抗裂, 耐久等性能均较差, 日渐无法满足现代各行各业, 如建筑业的要求, 越来越多的建筑设计, 施工过程受限于混凝土的性能而无法付诸于实际, 为了解决这些问题, 一种新型混凝土材料——纤维混凝土随之发展起来, 旨在提高混凝土的受拉, 受弯, 耐高温, 耐久性等功能。

2. 纤维混凝土发展历程

纤维混凝土一词最早被 ACI 116R 所定义, 是一种特殊混凝土的术语, 为混凝土包裹分散的不定向纤维即以各类材料制成的各型纤维作增强材料掺入以水泥净浆, 砂浆或混凝土基体材料所组成的复合材料的统称[1]。早在 1874 年就有人将废钢材添加进混凝土中[2], 而到了 1910 年, H. F. Porter 针对将短钢作为一种纤维作为掺料加入混凝土达到提高混凝土抗拉性能的作用[3], 并将其研究成果发表, 取得专利, 为达到强化混凝土基料的目的, 将各种纤维分布在混凝土中。虽然在 1910 到 1950 年期间[4], 各国科学家先后提出了各种在混凝土中掺加纤维改善其性能的想法进行研究, 并取得了专利, 但由于当时世界处于战乱期间, 纤维对与混凝土性能影响机理等一系列研究成果也没有被公之于众, 从而阻碍了纤维混凝土在世界材料界范围的发展应用[5]。直到 1963 年, 两位科学家 G. B. Baston 和 J. P. Romualdi 将其对于纤维混凝土性能提高的各方面研究成果公布出来[6], 其中最重要的当属纤维间距理论, 纤维的阻裂机理第一次被提出, 纤维混凝土这种材料开始进入迅速发展的阶段[7]。但由于钢纤维成本较高, 钢纤维混凝土一直没有被广泛应用, 直到 20 世纪 70 年代钢纤维的价格大幅降低, 钢纤维混凝土也开始有了实际应用的条件。在此时期, 我国也开始了对于钢纤维混凝土的研究工作。到二十世纪七八十年代纤维混凝土已经在多种混凝土结构工程中广泛应用[8]。最近几十年纤维混凝土应用和发展非常迅速, 例如, 在在道路桥梁施工中应用[9], 在 FRP-钢夹层复合管混凝土桥墩轴压承载力方面的应用[10], 在湿喷混凝土配合的优化方面的研究[11], 在混凝土硫酸盐侵蚀的类型及作用机理的研究[11], 以及在隧道衬砌混凝土抗硫酸盐侵蚀耐久寿命预测研究[12]。

3. 纤维混凝土的性能

3.1. 纤维的力学性能

纤维混凝土相较于传统混凝土的区别主要是来源于其中掺加的纤维, 纤维的力学性能决定了纤维混凝土的性能, 纤维主要的力学性能有三点: 抗拉强度, 弹性模量, 断裂伸长率。

3.1.1. 抗拉强度

传统混凝土的抗拉强度来源于水泥基体的毛细管负压, 各种浆体的塑形抗拉强度与毛细管负压的关系基本一致, 在毛细管负压达到 20Kpa 左右之前, 材料塑形抗压强度随毛细管负压成正比关系, 随后趋于一定值达到稳定约为 15~30Kpa [2]; 而纤维的抗拉强度根据纤维种类不同: 钢纤维抗拉强度一般为 380~2000 Mpa; 碳纤维的抗拉强度达到 780~4500Kpa 不等; 玻璃纤维的抗拉强度达到 1000~3000Kpa ;

聚丙烯纤维的抗拉强度达到 300~500 Kpa。由此可见，各类纤维的抗拉强度要高出水泥基体的抗拉强度达数个数量级。

3.1.2. 弹性模量

传统混凝土的弹性模量约为 3.5×10^4 Mpa，钢纤维弹性模量约为 200 Gpa；碳纤维的弹性模量一般为 200 Gpa；玻璃纤维的弹性模量约为 65~86 Gpa；纤维与水泥基体的弹性模量比值对于其提高混凝土的性能有较大影响，在材料受弯或受拉时，纤维所承受的分力与该比值成正比。

3.1.3. 断裂延伸率

钢纤维的断裂伸长率为 1.8%；碳纤维的断裂伸长率为 2%；玻璃纤维的断裂伸长率为 2.7%~5.3%；而聚丙烯的断裂伸长率达到 20%以上，但为了保证掺加的纤维与水泥基体的结合性能，充分发挥纤维对水泥基体的增强作用，纤维的断裂伸长率不能超出水泥基体太多。

3.2. 纤维在混凝土中起的作用

由此可见混凝土的性能很大程度取决于所掺加的纤维的性能，由各类纤维的性能，掺加在混凝土中主要起到以下作用。

3.2.1. 纤维对混凝土的阻裂作用

纤维的阻裂作用分为混凝土塑形收缩，凝结硬化，受到外力的三个阶段(图 1)。

第一阶段	纤维可显著减少混凝土浇注后产生的塑性裂缝。凝结时，混凝土握裹了大量乱向分布的微细纤维丝形成网状撑托系统，有效地阻止了集料沉降并减少泌水和沉降裂缝。混凝土塑性收缩时，纤维的微细筋作用承受了混凝土收缩的拉应力，提高了抗拉强度，抑制了塑性裂缝的扩展。
第二阶段	混凝土硬化时，当微裂缝长度大于纤维间距时，纤维将跨越裂缝起传递荷载的作用，钝化内部应力场，使之更连续和均匀，削弱了拉应力，使裂缝的扩展收到约束；当微裂缝长度小于纤维间距时，纤维将迫使它改变方向或生成更细的裂缝场，显著增大了裂缝扩展所需的能量，阻止了裂缝的发展。
第三阶段	混凝土硬化后，干缩或受荷载作用会产生微细裂缝，裂缝的扩展会受到混凝土内部纤维网状系统的阻挡，难以形成大裂纹或贯通裂缝。纤维提高了混凝土的变形能力。纤维混凝土在受弯时，基材出现大量分散裂缝而纤维却能继续抵抗外力的拉拔左右，材料韧性增强，不至于产生应力集中线性，仍可承受一定外力。纤维延缓了混凝土的开裂破坏，提高了韧性与抗冲击性。

Figure 1. The crack resistance of fibers in three stages

图 1. 纤维在三个阶段分别发挥的阻裂作用

3.2.2. 纤维对混凝土的内部结构的增强作用

由于混凝土在施工过程中内部会出现非预期的结构缺陷，在混凝土中加入纤维材料有助于弥补这些缺陷，改善混凝土的抗拉，抗弯，抗剪，抗疲劳等性能指标。

3.2.3. 纤维对混凝土耐久性的提升作用

纤维混凝土耐久性的提高主要体现在抗冻融性能，抗氯离子侵蚀性能，抗渗性能，抗碳化性能。

3.2.4. 抗冻融性能

在混凝土中适量的掺入聚丙烯纤维，其抗冻融性能相比素混凝土有明显提高，奥坎卡拉汉等学者测定了 50 次冻融循环后，加入掺量 0.05% 的聚丙烯纤维混凝土的抗压强度和损失率，结果表明聚丙烯纤维的抗压强度只降低了 4%，比素混凝土提高了 3% [3]，由于钢纤维较强的阻裂能力，钢纤维对混凝土强度与抗冻融性能的贡献较为突出，掺量左右时混凝土各项性能都达到最佳时钢纤维的掺加量为 2% 左右。研究表明相对于普通高强混凝土，钢纤维高强混凝土的抗冻融能力提高了 33% [4]。

抗氯离子侵蚀性能：混凝土中钢筋主要因氯离子侵蚀而引起锈蚀，随之混凝土膨胀开裂，而钢筋锈蚀是影响混凝土耐久性的众多因素中最主要的一个，因此提高混凝土的抗氯离子侵蚀能力就尤为重要。Mortezah Beigi 等学者利用实验方法 ASTM C1202-12 得出，在混凝土中分别加入钢纤维、聚丙烯纤维和玻璃纤维并将部分水泥用掺入的少量纳米二氧化硅代替，能使氯离子扩散系数分别降低 60%，72%，80% 混凝土的抗氯离子侵蚀性能 [5]，氯离子的渗透电量与纤维的掺量成反比。李晗等学者通过研究发现：各龄期抗氯离子渗透性能与钢纤维和二氧化硅的掺量成正比关系，并且增加纳米二氧化硅的掺量，各龄期混凝土强度整体提高 [6]。

3.2.5. 抗渗性能

泌水现象对于混凝土内部结构和表面都有极大的危害，混凝土出现泌水会使混凝土的渗透性增大，抗风化，抗侵蚀能力，表面强度，耐磨性下降，同时还会影响混凝土的密实度，产生整体塑形沉降裂缝。在混凝土内掺加纤维，可以抑制泌水现象的出现，进而防止裂缝出现在混凝土的塑性期，使混凝土的抗渗性得到提高。于良等学者使用渗透高度法对素混凝土与加入碳纤维的混凝土分别进行渗透实验，对其结果对比表明，混凝土的内部结构因其中加入的碳纤维而提高了密实度，其作用效果类似于加入微细钢筋，并承受了混凝土收缩引起的拉应力，延缓了其微裂缝的开展和贯通，进而增强了混凝土的抗渗性能 [7]。H. H. Holmes 等学者对掺量为 0.05% 的杜拉纤维混凝土圆柱型试件进行了水迁移量测试，发现加入杜拉纤维后混凝土 28 天水迁移量从 5.3 ml 降低到了 2.0 ml，其抗渗性提高了 62% [8]。

3.2.6. 抗碳化性能

混凝土对其内部钢筋的保护能力取决于混凝土的碱度，而碳化会降低混凝土的碱度，增大了钢筋发生锈蚀的概率。而混凝土的表面也会因为其收缩而出现裂缝。提高混凝土的密实度是避免混凝土碳化的最有效方式。蔡元耀，王艳，吴晓斌，孙家莹等众多学者研究后发现，掺入钢纤维，聚丙烯纤维，植物纤维等会大幅度提升混凝土的抗碳化性能，掺入的纤维增大了混凝土的密实度使其孔隙率和收缩产生的裂缝数量下降。

4. 结语

通过近些年相关领域专家学者们对纤维混凝土各个特性的研究学习，纤维混凝土相对于传统混凝土的各方面性能优势已经体现出来，总的来说纤维混凝土相较于普通混凝土减少裂缝的出现，降低裂缝宽度，提高构件开裂后的刚度，延性，明显提高变形，抗疲劳，抗冲击性，耐磨性，抗冻融性等性能，纤维混凝土中纤维的性能不同，使混凝土的特性也有着较大差异，具体在生产生活中如何选择合适的纤维掺料还需要相关专业学者们共同研究探讨，进行理论分析和实践检验，让这种材料尽早广泛应用 [13]。

参考文献

- [1] Zollo, R.F. (1997) Fiber-Reinforced Concrete: An Overview after 30 Years of Development. *Cement and Concrete*

Composites, **19**, 107-122. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(96\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(96)00046-7)

- [2] 王育江, 刘加平, 田倩, 等. 水泥基材料的塑性抗拉强度[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2014, 44(2): 369-374.
- [3] Karahan, O. and Atis, C.D. (2011) The Durability Properties of Polypropylene Fiber Reindoced Fly Ash Concrete. *Materials & Design*, **32**, 1044-1049. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.011>
- [4] Ma, H.Y. (2013) Freezing-Thawing Durability and Its Improvement of High Strength Shrinkage Compensation Concrete with High Volume Mineral Admixtures. *Construction and Building Materials*, **39**, 124-128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.025>
- [5] 王磊, 牛荻涛, 王晨飞, 等. 聚丙烯纤维混凝土在干湿循环下的氯离子渗透性能研究[J]. 建筑结构, 2011, 41(S2): 180-182.
- [6] 李晗, 高丹盈, 赵军. 纤维纳米混凝土力学性能和抗氯离子渗透性能的研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(6): 39-45.
- [7] 于良, 程华, 朱国华. 碳纤维混凝土抗渗试验研究[J]. 重庆建筑, 2013, 12(1): 56-57.
- [8] 孙佳琪. 应力作用下纤维混凝土抗渗特征研究[J]. 建筑材料学报, 2012, 15(4): 474-477.
- [9] 张毅. 浅谈碳纤维混凝土技术在道路桥梁施工中的应用[J]. 装饰装修天地, 2019(1): 102-104.
- [10] 刘昌永, 孙士鹏, 胡清, 王玉银. FRP-钢夹层复合管混凝土桥墩轴压承载力试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50(12): 31-37.
- [11] 李佳梦, 韩斌, 吴建勋, 等. 湿喷混凝土配合比优化试验[J]. 现代矿业, 2014, 30(12): 156-159.
- [12] 金雁南, 周双喜. 混凝土硫酸盐侵蚀的类型及作用机理[J]. 华东交通大学学报, 2006, 23(5): 4-8.
- [13] 王海彦, 仇文革, 杜立峰, 等. 隧道衬砌混凝土抗硫酸盐侵蚀耐久寿命预测模型研究[J]. 现代隧道技术, 2014(3): 91-97.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org