

路桥工程钢纤维混凝土施工技术研究

刘怀秀

湖北省路桥集团有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]钢纤维混凝土因其良好的抗裂性能、韧性以及耐候性越来越被应用于路桥领域。但是钢纤维混凝土施工时普遍存在纤维分布不均匀问题,难以把控工作性以及特殊振动等问题使得其施工难度增大。文章对钢纤维混凝土的相关原材料特点以及配比方案进行了全面总结并对搅拌输送、浇注振捣以及纤维分层等一系列施工难题作了深入研究,同时针对桥面板、伸缩缝部位以及道路基层等关键位置制定了相应的施工措施。公路桥梁经常受到重车轮压冲击和外界环境影响容易产生裂缝剥落现象。钢纤维混凝土可大幅增强构件的抗裂强度、韧性及耐久强度,但也存在着钢纤维分布不均、施工工作性差、特殊振捣需求等一系列施工局限性,阻碍了钢纤维混凝土性能的充分发挥。严格控制钢纤维分布均匀程度及精细养护是保证钢纤维混凝土质量的重要手段,在施工中应注重把握投料顺序、搅拌时间、振捣方法等重要的因素。文中提出的施工技术要点对于提高桥梁公路工程质量有直接的作用。

[关键词]钢纤维混凝土; 路桥工程; 施工技术

DOI: 10.33142/sca.v9i3.19356

中图分类号: TU377.9

文献标识码: A

Research on Construction Technology of Steel Fiber Reinforced Concrete in Road and Bridge Engineering

LIU Huaixiu

Hubei Road & Bridge Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: Steel fiber reinforced concrete is increasingly being used in the field of roads and bridges due to its excellent crack resistance, toughness, and weather resistance. However, there is a common problem of uneven fiber distribution during the construction of steel fiber reinforced concrete, making it difficult to control workability and special vibrations, which increases the difficulty of its construction. The article comprehensively summarizes the characteristics of raw materials and proportioning schemes related to steel fiber reinforced concrete, and conducts in-depth research on a series of construction difficulties such as mixing and conveying, pouring and vibration, and fiber layering. At the same time, corresponding construction measures are formulated for key locations such as bridge decks, expansion joints, and road bases. Highway bridges are often susceptible to cracking and peeling due to heavy wheel pressure and external environmental influences. Steel fiber reinforced concrete can significantly enhance the crack resistance, toughness, and durability of components, but there are also a series of construction limitations such as uneven distribution of steel fibers, poor construction workability, and special vibration requirements, which hinder the full performance of steel fiber reinforced concrete. Strictly controlling the uniformity of steel fiber distribution and fine curing is an important means to ensure the quality of steel fiber reinforced concrete. During construction, attention should be paid to important factors such as feeding sequence, mixing time, and vibration method. The key points of construction technology proposed in the article have a direct impact on improving the quality of bridge and highway engineering.

Keywords: steel fiber reinforced concrete; road and bridge engineering; construction technology

引言

道路桥梁长期受到车辆动载及环境侵蚀影响,传统混凝土材料容易出现裂缝脱落问题,导致结构耐久性下降,行车安全性降低,在混凝土中加入钢纤维,使混凝土破坏

方式发生改变,从无钢纤维的脆性断裂转变为有较多钢纤维的塑性破坏,初裂强度和极限强度都有所增强。钢纤维混凝土由于其良好的抗剪切能力和抗拉伸能力以及抗冲击能力和抗冻融性、耐腐蚀性等特点能满足道路工程对施

工材料的要求。通过选择合适的原材料并对其性能指标进行测定,制定合理的配合比,控制好钢纤维、水泥、集料、外加剂的数量比例,再探索钢纤维混凝土的拌制、浇灌、锯割的技术措施。但是钢纤维混凝土施工过程中存在诸多难题。钢纤维材料易于凝聚,混凝土黏性较大,对于运输、搅拌、振捣等工作环节的要求与常规混凝土不同。对黏性较大的高强钢纤维混凝土施工工艺难度大的问题,要从配合比的设计原材料投放顺序、投放方式、搅拌时间、运送方式、振捣、养护等各个环节入手做好技术处理。本文全面分析了路桥工程施工中钢纤维混凝土关键技术问题,为实际工程应用提供技术支持。

1 钢纤维混凝土材料特性与配合比设计

钢纤维混凝土就是在普通混凝土内加入了乱向分布的短钢纤维而构成的一种复合材料,钢纤维的加入让材料从脆性变为延性。钢纤维长度一般为 6~80mm,长径比为 60~100,主要分为平直形、波浪形、端钩形、铣削形等四种。端钩形的钢纤维和混凝土基体之间的黏结力比较强,可以大幅度提高力学性能以及韧性,在长径比达到 83、体积率 2%的情况下,钢纤维混凝土的抗压韧性可达到普通混凝土的 8.38 倍。钢纤维体积率一般为 0.5%~2.5%,太高或者太低都会影响整体的性能,钢纤维和混凝土基体之间的界面黏结力大小至关重要。钢纤维靠其机械锚固力及界面黏结力传递应力,在裂缝上分布的纤维受拉应力,阻止裂缝进一步发展;端钩式纤维由于端头弯钩的机械锚固能力,在拔出时要消耗更多的能量,故增韧性更好;而钢纤维均匀布置有利于提高基体的微细结构,减轻对碳化的抵抗以及有害介质的侵蚀。配合比的设计应满足良好的工作性、较高的强度、良好的耐久性以及较低的成本的要求;胶凝材料用量要比普通混凝土增加 10%~20%,采用砂率为 40%~55%左右、水胶比较小为 0.5~0.45 即可;使用高效减水剂来改善拌合物的工作性,同时减轻钢纤维对其流动性的影响。加入钢纤维之后,混凝土从脆性破坏变为塑性破坏,初期开裂强度与最大承载强度都有较大提升。钢纤维体积率由 0%上升到 1.5%的时候,劈裂抗拉强度大幅度提升,上升到 2%的时候,强度增长缓慢或者降低,这说明有最佳掺量区间。钢纤维对立立方体抗压强度的影响较小,但是对抗弯拉强度、抗冲击能力和韧性都有很大提升,可以有效的遏制住裂缝的发展速率以及间距,提升了开裂后残余承载力。

2 钢纤维混凝土施工关键技术

2.1 搅拌与运输质量控制

搅拌是钢纤维混凝土施工的重要步骤,直接影响钢纤

维分布及混凝土的工作性能。钢纤维混凝土加料顺序、方式以及搅拌时间,必须根据钢纤维在搅拌过程中是否出现团块以及能否达到所要求使用性能来决定,经试验后确定。不得采用手动搅拌钢纤维混凝土,且钢纤维体积较大、搅拌物偏干时,一台搅拌机在一个周期内搅拌数量不得超过该机最大搅拌量的 80%,搅拌时间要比普通混凝土长 30~60s,每盘搅拌最长总时间以不超过 80~120s 较好,搅拌机配料称重误差必须满足相关标准规定。

表 1 钢纤维混凝土搅拌设备配料计量允许偏差

材料名称	水泥	掺合料	钢纤维	砂	粗集料	水	外加剂
城市快速路、主干路每盘	±1%	±1%	±2%	±2%	±2%	±1%	±1%
城市快速路、主干路累计每车	±1%	±1%	±1%	±2%	±2%	±1%	±1%
其他等级道路	±2%	±2%	±2%	±3%	±3%	±2%	±2%

运输中应当使搅拌车缓慢转动并且转速要维持在 2~4 转/分钟之间,以免钢纤维沉降,混凝土拌合物从搅拌机卸料到运输以及铺筑完成的时间允许最长限度应当视施工环境温度而定。气温为 5~9℃时至铺筑完毕允许最长时间是 2.0~2.5h;气温为 20~29℃时至铺筑完毕允许最长时间是 1.25~1.5h;气温为 30~35℃时至铺筑完毕允许最长时间是 1.0~1.25h。运送时间太长会造成坍塌损失,降低浇筑效果。

2.2 浇筑与振捣施工技术

在浇筑之前需校核基层面、模板安设情况、高度是否满足设计要求,模板支撑连接处严实无串通、模板内部清洁无杂物,钢纤维混凝土的浇筑应一气呵成,避免出现冷缝现象;卸料要均匀,放料要与摊铺速度同步;三辊轴整平机分次整平时每个操作单元长度取 20~30m 左右,振捣机振实与三辊轴整平步骤之间的间隔时间不应大于 15 分钟。一个操作单元长度范围内,应采取前进振捣+后退压滚的操作方法,最合适的振捣次数应该通过试验来决定。振捣是使钢纤维混凝土充分致密化重要环节^[1],由于钢纤维的存在,水泥浆体变黏稠,普通振捣无法达到密实的效果,所以要用插入式电动振捣棒和平板式振捣棒相结合的方式振捣。插入式振捣棒的直径以 50~100mm 为宜,间距不宜超过其有效作用半径的 1.5 倍,也不得大于 50cm,用插入式振捣棒振捣时,不应过振,且振动时间不少于 30s,振捣间距不宜大于 50cm;用平板振捣棒振捣时要重叠 10~20cm,振捣棒行走速度应保持一致,振捣时要注意勿使振捣棒碰触到钢纤维致使纤维结团。

2.3 钢纤维均匀分散控制技术

钢纤维均匀分布难度大。钢纤维在砼中不能均匀分布，呈团现象比较明显，钢纤维团粒径从 5~15cm 不等。纤维结团一是造成物料浪费，二是形成一些薄弱环节，大大降低混凝土强度^[2]。要解决此问题就必须严格控制好投料次序以及搅拌工艺。应采用分步投料法：第一次投入粗、细骨料及钢纤维混合干拌 1~2min，让钢纤维在骨料表面先分布一下；第二次投入水泥干拌 1min；第三次投入水和外加剂湿拌 2~3min。这样就能很好地防止钢纤维直接接触到湿润状态下造成缠绕的现象发生。钢纤维应用手工或机械方式均匀撒布，绝对禁止整袋翻入。在搅拌较多的情况下，则可以将钢纤维分成两三次进行搅拌，每次加完之后都要充分搅拌；提高砂率也对钢纤维分散有利。

3 路桥工程关键部位施工技术

3.1 桥面铺装层施工

桥面铺装层直接接受车辆荷载及周围环境的影响，是桥梁工程最先受损的一个环节。钢纤维混凝土比普通混凝土有明显的优势，在桥面铺装时，相同荷载条件下，钢纤维混凝土可以减薄 30%~50%，这不但节省了工程量而且减轻了桥体自身的自重。钢纤维混凝土桥面出现裂缝的时间比普通混凝土要迟很多，开裂处裂缝宽度小且不连贯，断裂后仍然有一定韧性，混凝土无剥落、坑槽等缺陷。桥面铺装层施工之前需对桥面板表面进行清洗，清除浮浆与松散层，使新老混凝土能够良好地黏合起来。浇筑时建议采取分幅分段的方法，每一幅宽度为 3~4m 左右，分段长度为 10~15m 左右。摊铺厚度要严格把控好，松铺系数控制在 1.10~1.25 之间较好；振捣夯实后再用三辊轴整平机进行整平，再进行压面、拉毛。拉毛纹深度应为 1~2mm 左右，有利于增加与面层间的粘合力。

3.2 桥梁伸缩缝区段施工

桥梁伸缩缝是桥梁结构中的薄弱环节，在车辆行驶过程中从一个刚性的桥面经过一个柔性的伸缩缝再过渡到另一个刚性的桥面上，巨大的振动所产生的能量会使伸缩缝以及伸缩缝与混凝土相连接的部分造成很大的破坏，而钢纤维混凝土较好的抗冲刷能力使得它能很好的与伸缩缝连接的钢筋进行良好的黏结从而使伸缩缝发生变形或者位移的情况较少，延长了伸缩缝的使用寿命^[3]。通过功效系数法获得的钢纤维混凝土应用于伸缩缝施工中效果较好。施工中伸缩缝位置要先将伸缩缝装置安放到位并加以临时固定之后再倒入钢纤维混凝土，同时混凝土振捣密实特别是伸缩缝处及锚固钢筋位置更要振捣密实。浇筑完

毕要及时切割缩缝，缩缝的切深要按传力杆布置的位置来决定：有传力杆时不宜小于整体式结构面层厚度的 1/3 且不得小于 70mm，无传力杆时不宜小于整体式结构面层厚度的 1/4 且不应小于 60mm。切割时机要在混凝土强度达到设计强度 25%~30% 的时候进行。

3.3 路面抗裂结构层施工

面层防裂结构层主要用于重交通道路以及旧路改建工程，通过使用具有优异抗裂性能的钢纤维混凝土来阻止反射裂缝的发生发展。施工前需要先喷洒透层油后浇筑钢纤维混凝土，摊铺厚度依设计方案而定，一般为 8~15cm，钢纤维混凝土质量合格可使道路具备较好的平整性、较强的承载力、较长的使用寿命等优点，在施工过程中一定要重视平整度的把控，每做完一定的距离就需要马上检测是否符合平坦的要求，不符合的话就要整改，接缝施工是重要的环节，胀缝间距要满足设计要求，宽度为 20mm，结构物连接处、路线交叉及开挖填筑变化的地方均需设置胀缝。胀缝上部的预留填缝空隙宜使用提缝板预留，提缝板要求平直、与胀缝板吻合紧密，垂直于面层。缩缝应垂直于板面，宽度宜为 4~6mm。

4 施工质量控制与检测

4.1 质量控制关键指标

钢纤维混凝土施工质量控制要做到从原材料到拌合物再到硬化混凝土这三个阶段都要控制好，经过研究得到了钢纤维混凝土的关键施工参数，并发现想要使钢纤维混凝土达到预期的效果就一定要把钢纤维分布一致性以及精细养生做好，得到这些质量控制要点对于提高道路桥梁工程质量有着很大的帮助而且能够为以后智能化施工技术的出现打下良好的基础。

表 2 钢纤维混凝土质量控制关键指标与检验要求

控制类别	关键指标	检验方法	允许偏差/标准要求	检验频率
原材料	钢纤维掺量	称重法	设计值±2%	每台班 1 次
原材料	钢纤维尺寸	抽样测量	符合设计要求	每批次 1 次
拌合物	坍落度	坍落度筒法	设计值±20mm	每 50m ³ 1 次
拌合物	纤维分散性	水洗法/筛分法	无结团、均匀分布	每台班 1 次
硬化后	抗弯拉强度	梁式弯曲试验	≥设计强度等级	每 100m ³ 1 组
硬化后	韧性指数	弯曲韧性试验	满足设计要求	必要时
外观	表面平整度	3m 直尺测量	≤5mm	每 20m ² 处
外观	表面纤维外露	目测	无显露纤维	全数检查

4.2 常见质量问题与防治措施

钢纤维混凝土施工存在的质量通病主要有纤维团聚现象严重、粘聚性差、坍落度损失很快、表面出现干缩裂缝、钢筋锈蚀严重、振捣不密实等问题。其中纤维团聚的原因有：投料程序不对头或者搅拌不充分。防治方法为：采取分批次投料的方法进行拌和，即先干拌后湿拌，并严格控制搅拌时间。钢纤维要合理地分散在混凝土内，不得用人工搅拌，必须采用机械搅拌。黏聚性差的原因主要是水胶比小及环境气温较高、运输时间过长造成的。防治措施为：增大水胶比或者加入高效减水剂；夏天施工做好遮阳降温工作，缩短运输时间，超过规定时间的混凝土应回场处理。表面干裂产生原因主要是养护不到位或者养护时间短。防治措施为：浇筑完毕后立刻进行养护。保湿保养不少于 14d；夏天要提高保养次数；禁止在大风天气施工。振捣不密实的原因是没有正确振捣或者振捣时间不够长造成的。预防办法为：插入式和平板振动器综合使用；严格控制振动的时间间隔及振动时间；对钢筋密集部位加大振动力度。

5 结语

钢纤维混凝土是一种高性能复合材料，在公路桥梁工程中有很大的应用潜力。本文针对材料性能以及施工技术和重点部位施工等方面进行研究总结如下：第一，钢纤维混凝土的性能好坏决定因素有两个方面就是配合比的选择是否得当及施工的技术是否精确到位。其中，钢纤维含

量和钢纤维长度直径比例以及形状都影响着混凝土的力学性能并且在一定范围内都有最佳的添加量值。第二，搅拌过程和振捣都是施工中的两个重要步骤，而分层下料法加长搅拌时间和联合使用振捣棒则是施工质量的关键方法手段。第三，钢纤维分布均匀的问题是一个施工难题需要我们通过调整下料顺序和控制搅拌条件等方法才能得到解决，禁止采用人工搅拌方式。第四，桥面铺装、伸缩缝区段以及路面抗裂层这些重要部分对于钢纤维混凝土有着特殊的要求，在施工中要依据不同的部位采取相应的具体的技术措施。第五，质量管理要贯穿在整个施工过程中，在施工中要注意好钢纤维添加量，钢纤维分散性和混凝土的养护质量这三个核心内容。控制好纤维在混凝土内部分布的均匀性以及精细化的养护才能够保证钢纤维混凝土良好性能的发挥出来。只有严格按照施工规范和加强了质量管理才能使钢纤维混凝土在路桥工程的应用中发挥应有的作用。

[参考文献]

- [1]赵四海.钢纤维混凝土施工技术在路桥工程中的应用研究[J].工程技术研究,2024,9(20):78-80.
- [2]王伦清,张忠良.路桥工程钢纤维混凝土施工技术研究[J].工程机械与维修,2025(3):155-157.
- [3]刘文龙.桥梁工程钢纤维混凝土施工技术研究[J].四川建材,2024,50(11):125-126.

作者简介：刘怀秀（1995.3—），湖北省路桥集团有限公司，男，汉，籍贯：湖北武汉，本科。