

钢纤维混凝土施工技术在桥梁施工中的应用

任永明

(深圳路桥工程有限公司, 广东 深圳 518000)

【摘要】钢纤维混凝土在桥梁施工中的应用具有广阔的前景, 本文重点探讨了钢纤维混凝土在桥梁施工中的施工技术应用, 先介绍了钢纤维混凝土的性能优势及在桥梁施工中的重要作用, 然后分析了钢纤维混凝土在桥梁施工中的配合比设计、钢纤维分散技术、浇筑施工工艺等关键施工技术, 最后阐述了钢纤维混凝土在预应力混凝土桥梁、现浇箱梁桥梁等不同类型桥梁施工中的具体应用, 研究表明合理应用钢纤维混凝土施工技术可显著提高桥梁的抗裂性能、耐久性和使用寿命。

【关键词】钢纤维混凝土; 桥梁施工; 施工技术; 配合比设计; 钢纤维分散

引言

随着基础设施建设的不断发展, 对桥梁结构的抗裂性能、耐久性和使用寿命提出了更高要求, 传统的普通混凝土在一定程度上已无法满足这些需求, 钢纤维混凝土作为一种新型高性能混凝土材料具有抗裂、抗冲击、高强度等优异性能, 在桥梁施工中的应用前景广阔, 以下将系统阐述钢纤维混凝土在桥梁施工中的施工技术应用, 为推广该新型材料在桥梁工程中的使用提供技术参考。

一、钢纤维混凝土在桥梁施工中的作用

(一) 提高桥梁抗裂性能

钢纤维混凝土在桥梁施工中的一个重要作用是显著提高桥梁结构的抗裂性能, 普通混凝土由于其固有的脆性和低抗拉强度在承受外力或温度变化时极易产生裂缝, 从而影响桥梁的整体性能和安全性, 而钢纤维的加入赋予了混凝土以良好的延性和抗裂性能有效克服了普通混凝土的这一缺陷。钢纤维混凝土中均匀分散的钢纤维就像是混凝土基体中的“钢筋”, 能够阻止和减缓裂缝的扩展, 当混凝土基体出现微裂缝时钢纤维会首先承担拉应力限制裂缝的进一步扩展, 同时钢纤维的针固作用和阻桥作用也能够增强混凝土的抗裂能力, 钢纤维的加入还提高了混凝土的抗冲击性能, 让桥梁结构在承受车辆冲击或地震作用时表现出良好的整体性和延性。在实际桥梁工程中钢纤维混凝土广泛应用于桥面铺装、支座区、边柱区和节理区等易产生裂缝的关键部位, 有效避免了早期开裂、延迟裂缝发生时间, 从而大大提升了桥梁结构的耐久性和使用寿命。

(二) 延长桥梁使用寿命

桥梁在服役过程中由于承受静动力载荷、温度变

化、化学物质侵蚀等多种因素作用经常会出现混凝土开裂、剥落、钢筋锈蚀等病害, 严重时将导致桥梁结构退化, 缩短其使用寿命, 钢纤维混凝土凭借其优异的抗裂性、抗冲击性、耐久性等性能可以有效延缓桥梁结构退化的进程, 首先钢纤维混凝土的高抗裂性避免了开裂通道的形成, 阻止了有害物质如氯离子进入内部腐蚀钢筋, 其次钢纤维的针固和阻桥作用减缓了混凝土本体的剥落, 避免了钢筋直接暴露在外界环境中加速锈蚀, 钢纤维混凝土还具有良好的冻融循环性能抵御严酷气候对桥梁结构的侵蚀, 此外桥梁混凝土开裂还会加速钢筋应力腐蚀开裂的发生, 而钢纤维混凝土可以有效控制钢筋应力腐蚀开裂的产生和扩展, 确保整体结构的耐久性。

二、钢纤维混凝土配合比设计

(一) 原材料选择与控制

钢纤维混凝土配合比设计中原材料的选择和控制是关键环节, 混凝土的原材料通常包括水泥、粗细骨料、外加剂和钢纤维等, 每种材料的质量和比例都会影响混凝土的工作性能和力学性能。水泥的选择需要根据所需混凝土强度等级、施工环境等因素决定, 一般情况下推荐选用中早期高强度硅酸盐水泥以满足初凝时间和拌合物料浓缩状态的需求, 粗细骨料的级配应当尽可能接近富勒曲线以获得最密实的骨料间阻力和最小的空隙率, 同时需控制粗骨料的粒径不超过钢纤维长度的三分之一, 避免“球锁”现象。外加剂的使用对混凝土性能影响显著, 超塑化剂可以提高混凝土的流动性和坍落度, 满足钢纤维混凝土的高拌合物料浓缩状态需求, 引气剂可以通过引入微细气泡改善混凝土的抗冻性能, 部分矿物掺和料如粉煤灰也可以适当使用以调节混凝土的凝结时间、

收缩性和抗裂性等。钢纤维本身的制备工艺、形状、长径比等参数也需要严格控制，一般建议采用低碳钢丝拉拔成纤维，抗拉强度不低于 800MPa，纤维形状以钩形纤维为佳，有利于与基质形成良好的针固作用，纤维长径比一般控制在 45~100 范围。

（二）钢纤维用量及分散性

恰当的钢纤维用量可以确保混凝土达到预期的抗裂、抗冲击等性能，而过量或不足均会产生不利影响，一般情况下钢纤维用量控制在 80 ~ 120kg/m³ 范围较为合理，低于 80kg/m³ 时钢纤维含量不足，难以发挥足够拉应力传递能力和阻止裂缝扩展的作用，抗裂抗冲击性能将受到影响，而当钢纤维用量超过 120kg/m³ 时纤维之间的相互勾连增强，拌和物料浓度度升高导致混凝土浇筑和振实困难，同时存在钢纤维偏聚和“球锁”现象的风险。保证钢纤维在混凝土基质内均匀分散也是至关重要的，良好的钢纤维分散性可以最大程度发挥钢纤维增强作用，提供均匀的三维拉应力传递路径，从而确保混凝土达到预期的力学性能。影响钢纤维分散性的主要因素包括纤维特性、拌和顺序、搅拌时间等，通常建议先将粗骨料和部分混凝土浆液拌和，待形成均匀糊状后再缓慢添加钢纤维，最后加入余下的混凝土浆液充分拌和以避免钢纤维团聚，对于长度较长或用量较高的钢纤维混凝土可以采用两次分批添加钢纤维的方式或在拌和机上增设阻隔环等措施进一步提高钢纤维的分散性。

三、钢纤维混凝土浇筑施工工艺

（一）混凝土拌和顺序

混凝土拌和顺序对钢纤维混凝土的性能有着重要影响，合理的拌和顺序可以最大程度避免钢纤维团聚，确保钢纤维在混凝土基质中均匀分散，发挥增强作用，推荐的钢纤维混凝土拌和顺序如下，首先将粗骨料和部分混凝土浆体（水泥、细骨料及部分外加剂和水）拌和至均匀糊状，缓慢均匀地加入钢纤维并充分拌和一段时间使纤维完全分散，最后再加入余下的混凝土浆体继续充分拌和至混凝土呈现所需的湿稠度和塑性，这种分批拌和方式可以最大限度分散钢纤维，避免了直接将钢纤维添加到已完全拌合的混凝土浆体中而产生钢纤维团聚现象。在整个拌和过程中需要注意控制拌和时间与拌速，推荐的钢纤维混凝土拌和时间约为 90 秒，其中纤维分散阶段约 45 秒，同时钢纤维混凝土的拌和应采用强制式拌和机确保充分拌和。

（二）振捣及初凝控制

钢纤维混凝土由于使用了粗糙纤维塑性较差，

浇筑时存在棱墩坠落和离析等问题，因此在浇筑时必须进行充分振捣以消除离析并将混凝土充分密实，建议采用高频振捣方式，振捣时间较普通混凝土延长 20% ~ 30%，同时还需采取分层分批浇筑，每层厚度控制在 30 ~ 45cm，在下一层混凝土浇筑前需要先对上一层进行振捣处理使新拌混凝土充分结合，对于大体积混凝土浇筑可以适当延长振捣时间并采用加密振捣方式。另外钢纤维混凝土的初凝时间较普通混凝土短且初凝过程迅速，为避免过早凝结影响施工可以采取以下措施延缓钢纤维混凝土的初凝过程，首选中晚期水泥掺入矿物掺合料如粉煤灰等，适当增加外加剂用量，控制混凝土拌合物温度等，同时应缩短混凝土运输时间及时完成浇筑振捣工序。钢纤维混凝土的初凝时间易受环境温度影响，施工时需要根据现场具体情况对材料用量和工艺进行适当调整，确保混凝土初凝时间适中既不会过早影响施工也不会过晚影响后期强度发展。

四、钢纤维混凝土在不同类型桥梁中的应用

（一）预应力混凝土桥梁

钢纤维混凝土在预应力混凝土桥梁中有着广泛的应用前景，由于预应力结构通常处于受拉状态容易产生裂缝，钢纤维的加入能够有效提高混凝土的抗裂性能，从而延长桥梁的使用寿命，在预应力混凝土梁的应用中钢纤维混凝土可以用于端区、支座区、预应力筋定着区等易开裂部位可以减小裂缝宽度、控制裂缝扩展，同时钢纤维混凝土还可以用于制作现浇叠合梁、现浇连续梁、箱梁内腹板等预制构件，通过这些预制构件的应用不仅可以提高梁身抗裂能力还可以减少现场湿作业，提高施工质量和效率。钢纤维增强的预应力混凝土还可以用于桥面铺装层提升桥面的抗裂性和耐久性，在传统桥面设计中往往需要布设大量的温度钢筋来控制开裂，而采用钢纤维混凝土可以减少或完全取消温度钢筋，降低施工难度和投资成本。在对预应力混凝土梁进行加宽加固时钢纤维混凝土是一种理想的加固材料，通过浇筑钢纤维混凝土增大截面尺寸不仅能提高梁身强度而且能够有效控制加固区与原有梁身之间的开裂，防止两者脱层破坏，保证加固效果。

（二）现浇箱梁桥梁

在现浇箱梁桥梁施工中钢纤维混凝土主要应用于箱梁腹板、底板、边梁、横梁等混凝土构件的浇筑，钢纤维混凝土优异的抗裂性和耐久性可以显著提升这些构件的使用性能和寿命，箱梁腹板构件通常受剪力和扭矩作用易产生斜裂缝，采用钢纤维增强可以有效抑制斜裂缝的开裂和扩展，对于箱梁底板，

钢纤维将大幅提高其抗开裂性能,避免温度裂缝和路面不平整等问题,在施工阶段钢纤维混凝土同样可以用于浇筑边梁、横梁等次要构件以确保整体性能。钢纤维混凝土还可以被用作支座区域的防裂层,支座区域由于受力复杂而容易开裂,钢纤维增强可以减小裂缝宽度,降低对支座钢锚板和锚栓的应力集中影响,同理桥梁伸缩缝两侧的钢纤维混凝土防裂层也能够有效控制裂缝。不仅如此,钢纤维混凝土还可以应用于现浇箱梁拱肋、拱圈等曲线构件的浇筑施工,纤维增强作用可以提高这些构件承载力并防止因温度、收缩等因素产生的裂缝危害。

五、钢纤维分散技术在桥梁施工中的应用

(一) 机械分散技术

钢纤维在混凝土基质中的均匀分散对发挥其增强作用至关重要,机械分散技术通过对拌和设备 and 工艺进行优化实现了钢纤维在混凝土中的均匀分布,是目前应用最广泛的钢纤维分散方式。机械分散主要依赖拌和机的强制拌和作用,传统的强制式拌和机难以完全避免“球锁”和纤维团聚现象,改进拌和机结构是提高分散效果的关键。在拌和机内增设分散环或分散盘等辅助装置是一种有效的改进方法,这些装置在拌和过程中不断阻挡和分散钢纤维团块,促进纤维均匀分布,同时调节拌和时间 and 转速也可以优化分散效果,其中推荐的拌和时间为 1.5~2 分钟,拌速 100~200 转/分。此外还可以采用双级分散技术进一步提高分散质量,即先在常规拌和机中预拌分散钢纤维混凝土,再借助特殊设备如高剪切力混合机、静电分散机等进行二次分散实现纳米级均匀分布,这种方式可以最大限度发挥钢纤维的增强效果,但工序较为复杂,主要用于对分散性要求极高的特殊工程。

(二) 化学分散技术

化学分散技术是通过外加特殊的分散剂来阻止钢纤维团聚,促进其在混凝土中的均匀分布,该技术操作简单,可以有效提高钢纤维混凝土的工作性能,但分散效果较机械分散技术差且分散剂价格昂贵,因此在桥梁施工中的应用相对有限。化学分散剂主要包括高效减水剂、粉体分散剂和表面活性剂等,其中高效减水剂的分散作用主要通过静电排斥和空间位阻效应发挥,使钢纤维和混凝土颗粒均匀分散并减小其相互吸引力,而粉体分散剂和表面活性剂则通过吸附在钢纤维表面形成保护层来阻止纤维团聚。在实际应用中通常先将分散剂和水泥等混合物拌和形成浓缩浆液再缓慢加入钢纤维充分混合,最后再投加其余原材料,从而实现钢纤维的

良好分散,分散剂的用量通常控制在水泥质量的 0.2%~1% 之间。值得注意的是不同种类的分散剂对钢纤维混凝土性能的影响有所差异,例如粉体分散剂虽可以提高拌合物体积稳定性但会降低混凝土初期强度,而表面活性剂则可能引起混凝土的泌浆和泌水问题,因此在选择分散剂时需要权衡其对混凝土各项性能的影响。为了进一步提高分散效果,化学分散技术也可以与机械分散技术相结合应用,具体做法是先通过高效减水剂等化学分散剂预分散钢纤维,再利用改进的拌和机和优化的投料顺序实现二次分散,从而获得更加均匀的钢纤维分布状态,总之化学分散技术虽然操作简便但效果一般,而机械分散技术则需要对设备和工艺进行改进才能达到理想效果,两种技术的合理结合将是提高钢纤维混凝土分散质量的有效途径。

结语

钢纤维混凝土在桥梁施工中的应用是未来发展趋势,合理设计配合比、优化浇筑施工工艺、采用先进的钢纤维分散技术是确保钢纤维混凝土在桥梁施工中发挥优异性能的关键,随着相关技术的不断创新和完善,钢纤维混凝土必将在桥梁工程中发挥越来越重要的作用,为建设高质量、长寿命的基础设施做出重要贡献。

参考文献:

- [1] 郝玉龙. 市政桥梁施工中钢纤维混凝土施工技术的应用[J]. 大众标准化, 2023, (05): 60-61+64.
- [2] 侯强. 探析钢纤维混凝土技术在道路桥梁施工中的应用[J]. 四川建材, 2023, 49 (03): 7-8+11.
- [3] 赵树雄. 道路桥梁施工中钢纤维混凝土技术的应用分析[J]. 运输经理世界, 2023, (03): 107-109.
- [4] 谭刚. 钢纤维混凝土技术在公路桥梁施工中的应用[J]. 建筑技术开发, 2022, 49 (16): 131-133.
- [5] 林晶. 钢纤维混凝土施工技术在路桥施工中的应用分析[J]. 工程机械与维修, 2022, (04): 102-103.
- [6] 商国峰. 钢纤维混凝土技术在公路桥梁施工中的应用分析[J]. 工程建设与设计, 2022, (08): 110-112.
- [7] 黄永智. 桥梁施工中钢纤维混凝土技术的应用分析[J]. 企业科技与发展, 2022, (04): 179-181.
- [8] 韩景科. 钢纤维混凝土技术在道路桥梁施工中的应用新探[J]. 工程建设与设计, 2020, (05): 180-182.