

公路桥梁施工中钢纤维混凝土施工技术应用

刘 祎

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘 要 随着公路桥梁服役年限延长, 传统混凝土结构逐渐暴露出抗裂性能不足、耐久性下降等问题。本文探讨钢纤维混凝土施工技术在桥梁工程中的应用方法。采用文献研究与归纳分析法, 总结了钢纤维混凝土施工参数与工艺控制, 梳理钢纤维混凝土应用要点。结果表明, 合理控制钢纤维混凝土处理可提升混凝土拌合物结构性能, 进而在应用中显著提高结构抗裂能力。钢纤维混凝土应用能够显著提高公路桥梁的结构抗裂能力。

关键词 公路桥梁施工; 钢纤维混凝土; 桥面铺装; 桥梁接缝; 桥梁加固

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.016

0 引言

钢纤维混凝土(英文为 Steel fiber reinforced concrete, 简称 SFRC)是在普通混凝土中掺入乱向分布短钢纤维形成的多相复合材料, 能够依托纤维的桥接作用提高混凝土抗裂性能。随着公路桥梁工程规模不断扩大, 传统混凝土在桥面铺装、接缝及局部受力部位易出现裂缝问题。而具有良好的力学性能和耐久性能的钢纤维混凝土正逐渐应用在桥梁施工与加固工程中。因此, 对钢纤维混凝土施工技术应用的研究尤为重要。

1 钢纤维混凝土处理技术要点

1.1 原材料控制

1. 钢纤维。钢纤维混凝土中的钢纤维是增强材料性能的重要组成部分, 直接关系到混凝土抗裂性能。钢纤维混凝土中的钢纤维分为圆直型、熔抽型、剪切型与端钩型, 其中端钩型钢纤维应用最为普遍, 其端部结构更易形成机械锚固, 增强与水泥基体间的握裹力。同时, 施工人员在处理钢纤维混凝土时, 需严格控制钢纤维长度在 25 ~ 60 mm 范围内, 等效直径为 0.4 ~ 0.9 mm, 长径比在 40 ~ 80 之间, 以兼顾增强与施工分散性。同时, 保证钢纤维抗拉强度不低于 380 MPa, 并在桥梁关键受力部位选用抗拉强度超过 1 000 MPa 的冷拔钢丝型钢纤维, 以提高结构整体抗冲击能力^[1]。

2. 水泥与骨料。水泥与骨料是钢纤维混凝土的主要基体材料, 多选择强度等级 42.5 或 52.5 的普通硅酸盐水泥, 以维持钢纤维混凝土的早期强度发展能力,

更好地满足桥梁结构所需抗压强度要求。施工人员在制作钢纤维混凝土过程中要合理控制其骨料级配, 选择粒径不大于钢纤维长度的 2/3, 且最大粒径在 20 mm 以内的粗骨料, 以减少纤维在骨料间架桥聚集的可能, 保证混合料密实性^[2]。同时, 选用中粗砂细骨料, 控制细度模数在 2.3 ~ 3.0 间, 且严格控制钢纤维混凝土中的含泥量, 保证其不超过 3%, 避免出现过多泥质颗粒削弱水泥浆体与骨料黏结性能的情况, 保障混凝土的整体强度。

3. 外加剂与掺合料。为改善钢纤维混凝土的结构性能, 施工人员在拌合钢纤维混凝土时, 合理使用外加剂与矿物掺合料。钢纤维混凝土中的钢纤维会增加混凝土内部摩阻, 降低拌合物流动性, 因此施工人员需要掺入相应的高效减水剂, 降低钢纤维混凝土的水胶比, 提高混凝土和易性, 保证混合料的可泵性。同时, 适量加入引气剂, 以在钢纤维混凝土内部形成均匀微小气泡结构, 提高混凝土抗冻性能。若公路桥梁对耐久性要求较高, 施工人员还可在拌合过程中掺入硅灰、粉煤灰等活性矿物掺合料, 填充水泥浆体中的孔隙, 提高混凝土密实度, 改善拌合物流动性能, 提升混凝土长期强度, 进一步增强桥梁结构耐久性。

1.2 配合比设计要点

1. 钢纤维掺量。钢纤维混凝土性能在一定程度上受钢纤维掺量控制, 合理的体积掺量能提升钢纤维混凝土抗裂性能与抗冲击性能。公路桥梁结构施工中, 一般会将钢纤维混凝土中的钢纤维体积掺率控制在 1.0% ~ 2.0%, 对应质量掺量约为 78 ~ 156 kg/m³, 进而防止

作者简介: 刘祎(1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 道路与桥梁工程。

掺量过低所导致的空间分布结构不良问题,减少出现掺量过高所增加的拌合物内部摩阻,防止出现纤维团聚现象。针对桥面铺装及其他薄壁结构构件,施工人员还要调整钢纤维掺量到 1.2%~1.5%,使混凝土基体中的钢纤维形成均匀稳定的分布状态^[3]。

2. 砂率。钢纤维混凝土相较一般的混凝土,在内部比表面积方面更大,在拌合物包裹砂浆能力方面也提出了更高要求。因此,施工人员需要在配制钢纤维混凝土时有意识地控制砂率,适当提高砂率以增加浆体含量,使砂浆充分包裹钢纤维与骨料颗粒,改善混凝土拌合物的黏聚性。在公路桥梁施工中,通常会控制钢纤维混凝土砂率在 45%~55% 之间,以协调混凝土工作性能与结构性能。

3. 水胶比。水胶比是影响钢纤维混凝土强度发展的重要指标,也会直接影响钢纤维与水泥基体间的界面结合性能。较低水胶比有助于提高钢纤维混凝土的水泥浆体密实度,提高基体内部钢纤维的握裹作用,提升混凝土抗拉强度。在公路桥梁工程中,一般会 将钢纤维混凝土水胶比控制在 0.40~0.50 范围内,以兼顾混凝土强度要求与施工可操作性。若施工工程对桥梁结构的耐久性要求较高,施工人员可进一步降低水胶比至 0.20 以下,配合高效减水剂,提高混凝土密实度。

1.3 搅拌工艺要点

1. 搅拌设备。在制备钢纤维混凝土的过程中,施工人员要选择高性能搅拌设备,以更好地适应掺入钢纤维后的混凝土内部摩阻,防止出现纤维局部聚集情况。在工程施工中,通常会采用强制式搅拌机进行拌制,借助其搅拌叶片产生的较强剪切、搅动作用,充分混合骨料、浆体与钢纤维,提高混凝土均匀性。若工程要求的钢纤维掺量较高,施工人员还能进一步结合“干拌一湿拌”搅拌工艺,分阶段进行搅拌,增强材料间的混合效果。

2. 投料顺序。为保证钢纤维混凝土中的钢纤维均匀分散,施工人员要注重搅拌的投料顺序,采用“先干后湿”投料方式,即在搅拌机内加入砂、石、水泥以及钢纤维进行 1.5 分钟以上的干拌,使钢纤维初步分散在骨料与水泥颗粒间。完成干拌后,施工人员还要加入水与外加剂进行湿拌,控制时间在普通混凝土基础上增加 1~2 分钟,保证水泥浆体充分包裹骨料、钢纤维。在工程实践中,施工人员也可先湿拌砂、石、水泥与水,并在搅拌过程中借助纤维分散布料设备均匀加入钢纤维,实现逐步分散纤维,提高混凝土均匀性^[4]。

3. 防止结团措施。在搅拌过程中,钢纤维易在混凝土中发生团聚现象,施工人员需要采取针对性预防措施。施工人员要合理控制粗骨料粒径,保证其不超过钢纤维长度 1/2,减少骨料阻碍纤维分散的作用。在材料选择方面,施工人员可采用胶粘成排的钢纤维产品,有效降低结团风险。同时,严格控制搅拌机装料量,保证每次搅拌量在搅拌机公称容量的 1/3 以内,保证拌合物具有足够翻动空间。

2 钢纤维混凝土技术在公路桥梁施工中的应用

2.1 在桥面铺装工程中的应用

桥面铺装层在公路桥梁中长期承受车辆荷载、温度变化及环境侵蚀等作用,易出现收缩裂缝、疲劳裂缝等问题,影响桥梁行车安全。施工单位在该工程中应用钢纤维混凝土技术,可在混凝土基体中掺入端钩型钢纤维,进而使钢纤维在基体内部形成三维随机分布结构,与水泥浆体形成机械咬合作用,桥接约束混凝土内部微裂缝,从而延缓裂缝扩展,提高铺装层的抗裂性能。在此过程中,施工人员还要注意控制钢纤维掺量在 1.2%~1.5% 范围内,保障增强效果,维持混凝土拌合物施工性能。在桥面铺装浇筑过程中,施工人员要结合桥梁结构的纵坡与横坡特点组织施工,基于桥面所具有的复合坡度结构,组合振动梁与平板振动器进行振捣施工,有效控制桥面整体标高与平整度,并补充振实局部区域,提高混凝土内部密实程度。这种组合振捣方式也有助于减少桥面结构的气泡孔隙,避免钢纤维在振动过程中沿振动方向产生定向排列,从而维持钢纤维混凝土的增强效果。为降低混凝土收缩应力,防止桥面铺装结构后续出现裂隙,施工人员还要在施工中选择分仓跳格法进行分块浇筑,合理划分施工区域,为各区块混凝土的硬化提供变形空间,以减少温度收缩引起的约束应力集中现象。随后,及时平整与压实处理浇筑桥梁的表面,开展保湿养护,保持混凝土内部水化反应。在养护过程中,施工人员则要在钢纤维混凝土抗压强度达到约 12 MPa 时进行切缝处理,控制切缝深度在板厚的 1/4~1/3 范围内,并填嵌柔性防水密封材料,以使接缝具有良好的防水性能,释放早期收缩应力并控制裂缝发展方向,提高公路桥梁的长期服役性能。

2.2 钢纤维混凝土桥面施工

桥面结构在公路桥梁工程中多受复杂荷载与环境共同作用,在重载交通条件下,易产生开裂、剥落等问题。基于此,施工单位在桥面施工中应用钢纤维混

凝土,能有效优化施工材料组成,提高桥面结构的整体性能。针对桥面密集钢筋网布设的结构特点,施工人员多选用直径为0.18~0.20 mm的超细钢纤维,以提高钢纤维混凝土的分散性能与界面结合能力,进而在混凝土基体中形成稳定的空间增强网络,提高混凝土抗拉性能。同时,采用多级颗粒级配体系,在骨料选择方面,使用毫米级细骨料,减少骨料颗粒对纤维分布的影响,配合硅灰等微米级活性矿物掺合料,借助二次水化反应提高混凝土内部结构密实度。在此基础上,合理调整特种钢纤维的长度、掺量以及颗粒级配,可形成稳定的纤维增强体系。在此基础上,施工人员还需加入新型改性触变组分,增加钢纤维混凝土的流动稳定性及结构稳定性,形成“高纤维掺量、自流平、良触变、微膨胀”的综合性能组合,更好地满足桥面铺装对流动性、抗裂性以及结构密实性的要求^[5]。在施工组织过程中,施工人员要采用“分次施工、补偿收缩、保湿养护”技术措施,减少大面积连续浇筑产生的温度收缩变形集中现象,并合理规划施工区域,控制结构应力分布。完成施工后,施工人员还需及时覆盖保湿养护,维持混凝土内部水化反应条件,提升桥面的强度,提高结构密实度,显著提升桥面结构的耐久性。

2.3 在桥梁接缝工程中的应用

公路桥梁结构体系的接缝部位受力复杂,易在车辆荷载、温度变化等多因素共同作用下出现裂缝、剥落等问题。施工人员在部分应用钢纤维混凝土技术,能够借助纤维增强作用提高混凝土的抗疲劳能力,使接缝区域形成稳定可靠的整体结构。该技术在工程实践中主要应用于维修加固桥梁伸缩缝及预制构件间的湿接缝施工。桥梁伸缩缝维修加固施工过程中,施工人员需全面清理伸缩缝区域的原有损坏结构,凿除表层松散、破损的混凝土,直至露出坚实基层,保证新旧混凝土的结合基础。随后,在既有结构中植入连接钢筋,以机械锚固方式增强新旧混凝土的界面粘结能力。之后,施工人员还要选用钢纤维细石混凝土进行浇筑施工,抑制该区域裂缝发展,提高接缝区域的抗裂能力。浇筑施工阶段,则采用分层浇筑方式,逐层填充接缝空间,避免产生空洞现象。在振捣作业中,施工人员要采用分层振捣工艺,充分密实混凝土内部结构,避免过度振动造成钢纤维局部定向排列,以减少裂缝问题。在装配式桥梁结构施工中,施工人员需在预制构件间预留接缝空间,并使用钢筋进行连接,进而浇筑钢纤维混凝土,增强预制构件的结构连续性,提

高桥梁整体刚度,为桥梁长期稳定运行提供可靠保障。

2.4 在桥梁加固工程中的应用

在既有公路桥梁服役过程中,受交通荷载增长及结构老化等因素影响,部分桥梁结构易出现承载能力下降与局部刚度不足等问题。因此,施工单位需进行桥梁加固,应用钢纤维混凝土技术,改善桥梁的结构受力性能,提高桥梁整体耐久性。该技术能够在混凝土基体形成均匀的纤维增强网络,进而在桥梁产生微裂缝时,桥接作用裂缝,分散应力集中,延缓裂缝扩展,提高结构整体抗拉性能。在桥面补强加固施工中,施工人员需系统处理原有桥面结构,凿除桥面劣化层,并在原混凝土表面进行凿毛处理,均匀涂刷界面剂,增强界面粘结性能。同时,在原桥面结构中植入抗剪钢筋,浇筑40~80 mm范围内的钢纤维混凝土补强层,提升桥面结构的整体承载能力。在桥梁负弯矩区、梁端区域以及横隔板连接部位等桥梁结构局部薄弱部位补强施工中,施工单位也可采用钢纤维混凝土进行局部补强,提高结构局部刚度,改善受力状态,提高桥梁结构的承载能力,延长结构的服役寿命。

3 结束语

公路桥梁结构在长期服役过程中承受着复杂荷载与环境因素共同作用,对材料性能提出更高要求。钢纤维混凝土能够在水泥基体中形成均匀分布的纤维增强体系,改善混凝土的抗裂能力,并广泛应用于桥面铺装、桥面结构施工等工程环节中。在公路桥梁施工过程中,掌握钢纤维混凝土施工技术要点可提高建设工作的稳定性,对保证其安全质量具有重要意义。随着相关施工技术不断创新,施工过程的各种难点也在不断被突破,钢纤维混凝土在公路桥梁施工中的应用将更加成熟规范。

参考文献:

- [1] 王瑞菊.公路路面施工中钢纤维混凝土技术的应用[J].工程机械与维修,2025(06):128-130.
- [2] 柯志林.市政桥梁施工中钢纤维混凝土施工技术应用[J].居业,2025(05):70-72.
- [3] 宋勇军.钢纤维混凝土技术在道路桥梁施工中的应用研究[J].四川水泥,2024(06):250-252.
- [4] 胡晓露.钢纤维混凝土技术在道路桥梁施工中的应用[J].工程技术研究,2024,09(09):59-61.
- [5] 吴丽霞,闫中焕.钢纤维混凝土技术在道路桥梁施工中的应用分析[J].科技与创新,2024(07):173-175.