

钢-混组合连续梁桥负弯矩区裂缝防控措施研究

张金锁 周新宇 穆昱良 刘 波

中国铁建港航局集团有限公司总承包分公司 珠海 519000

【摘要】钢-混凝土组合梁因其减轻结构自重等优势而在桥梁设计中被广泛采用。然而，在应用中，钢-混凝土组合连续梁的主要挑战之一是混凝土板在负弯矩区的开裂问题，这也成为了桥梁工程领域科研和工程专业人员关注的焦点之一。本研究旨在深入探讨该问题，并提出一系列有效的防控措施为提升钢-混组合连续梁桥的工程质量和稳定性能提供了指导。

【关键词】负弯矩区；钢混组合连续梁；抗裂措施

引言：

钢-混凝土组合梁桥是一种结构体系，通过抗剪连接件将钢梁和混凝土桥面板联接在一起，使它们协同工作。这种体系通过巧妙的设计和建造，能够充分发挥混凝土和钢材的性能优势，在桥梁工程中具有广泛的应用前景。当连续梁结构中采用组合梁桥时，在正弯矩区，钢梁受拉，混凝土受压，有效地增加了结构的承载能力和刚度，节省了材料的使用量，因此具有显著的综合效益。然而，在负弯矩区，混凝土受拉容易发生开裂，这可能对桥梁的耐久性造成影响，导致结构的安全性降低和使用寿命减短，因此需要采取综合的防控措施^[1]。本研究旨在探讨和分析钢-混组合连续梁桥负弯矩区裂缝的成因，并总结现有施工防控措施。

1 钢-混组合连续梁桥结构特点

1.1 负弯矩区特点

负弯矩区主要承受拉应力，也被称为受拉区。在此区域，梁的底部受到拉伸，而顶部则受到压缩。在钢混组合连续梁中，负弯矩区位于支座附近，通常表现出以下特点：

应力分布不均匀。负弯矩区的应力分布呈现出明显的不均匀性，最大应力集中在梁的底部，这是由于受到弯矩作用，梁底纤维受到拉伸力，而梁顶纤维则受到压缩力。这种不均匀的应力分布会增加裂缝的生成风险。

变形较大。负弯矩区的变形较大，特别是在大跨度连续梁中。由于底部受到拉伸，梁可能会发生较大的挠曲，这可能会导致裂缝的形成。

1.2 裂缝形成机理

负弯矩区裂缝的形成是一个复杂的过程，受到多种因素的影响，包括材料性质、荷载、温度变化等。以下是裂缝形成的主要机理：

弯矩作用。负弯矩区受到梁的最大弯矩作用，底部受到拉伸应力。当拉伸应力达到混凝土或钢材的抗拉极限时，裂缝就有可能形成。

收缩作用。混凝土在硬化过程中会发生收缩。由于负弯矩区底部混凝土的受拉应力较大，收缩应变将导致底部混凝土产生拉伸应力，从而导致裂缝的形成。

温度变化。温度变化会导致梁体的热膨胀和收缩，这会产生内部应力。在负弯矩区，由于应力分布不均匀，温度变化可能引起应力集中，从而促使裂缝的生成。

材料性质。材料的强度和韧性对裂缝的形成起着关键作用。材料的质量不良或强度不足可能会增加裂缝的风险。

1.3 裂缝宽度影响因素

荷载。负弯矩区的裂缝宽度受到施加在梁上的荷载大小和分布的影响。较大的荷载会导致更广的裂缝宽度。

混凝土性质。混凝土的强度、抗拉性能和变形能力会直接影响裂缝宽度。通常情况下，高强度混凝土可以减小裂缝宽度。

钢筋配筋率。适当的钢筋配筋可以有效地限制裂缝的宽度。过低的配筋率可能导致裂缝宽度超过允许的范围。

混凝土覆盖层。混凝土覆盖层的厚度和质量对裂缝宽度有显著影响。较大的覆盖层可以减小裂缝宽度，提高结构的耐久性。

温度和湿度。环境条件，特别是温度和湿度的变化，也会对混凝土的收缩和膨胀产生影响，进而影响裂缝宽度。

施工质量。施工过程中的工艺和材料控制也会直接影响裂缝的宽度。如果施工质量不佳，裂缝宽度可能会增加。

2 裂缝防控关键点

钢-混组合连续梁桥负弯矩区裂缝防控措施包括多个方面的策略和方法，旨在减小裂缝的发生概率、限制裂缝扩展、提高桥梁的安全性和耐久性。以下是一些关键的要点。

2.1 材料选择

混凝土材料。选择高强度和高韧性的混凝土材料是防控负弯矩区裂缝的关键一步。高性能混凝土可以提高桥梁的承载能力和抗裂性能。此外，添加纤维材料（如碳纤维或聚丙烯纤维）可以显著提高混凝土的抗裂性，减缓裂缝扩展。

钢材材料。对于梁底部的钢板，应选用具有良好抗腐蚀性能的钢材，以延长结构的使用寿命。此外，对焊接材料的选择和焊接工艺的控制也至关重要，以确保钢材的连接牢固，不易出现疲劳和断裂。

2.2 设计优化

荷载分析。在设计阶段，应进行详细的荷载分析，考虑不同工况下的荷载组合，以确定负弯矩区的最大应力点。通过合理的荷载分析，避免不必要的应力集中，减小裂缝的风险。

结构优化。采用结构优化方法，优化连续梁桥的几何形状和截面尺寸，以降低负弯矩区的应力集中程度。通过增加梁的截面面积或改进截面形状，可以有效减小裂缝的发生概率。

2.3 施工技术改进

混凝土浇筑。在混凝土浇筑过程中，应注意控制浇筑质量，避免过早脱模或太快的固化。采用湿养护方法可以提高混凝土的密实性，减小裂缝的产生。

钢材连接。钢板的焊接和连接工艺应符合相关标准和规范，确保连接的牢固性和可靠性。定期进行焊接接头的检测和维护，修复可能存在的缺陷。

2.4 监测与维护

实时监测。通过安装应变传感器、裂缝计和位移传感器等监测设备，实时监测梁桥的变形和裂缝情况。及时发现裂缝扩展的迹象，采取预防措施。

定期维护。建立定期的维护计划，包括涂层保护、腐蚀控制、焊缝检查和修复等项目。维护工作应按照规定的要求和时间表进行，以确保桥梁的长期性能。

3 负弯矩桥面板抗裂设计方法

目前，在国内、外，用于抑制负弯矩区混凝土裂缝的设计方法主要分为两大类。一类采用预应力技术，而另一类则强化了钢筋配筋。此外，随着钢-混组合结构领域的不断发展和研究的深入，还有学者提出了改变施工顺序和采用高性能材料湿接缝等方法，以控制组合梁负弯矩区混凝土的开裂现象。本节将对各种控制措施，以减缓负弯矩区混凝土裂缝的扩展，进行研究和总结，并对它们的效果及适用性进行详细分析。

施加预应力法。这一方法通过预应力钢束的应用，实现在负弯矩区域的桥面板布置纵向预应力钢束或钢筋。这些预应力元素在桥面板浇筑完成并达到一定强度后才进行张拉，以确保桥面板在受到各种荷载时始终处于受压状态。尽管该方法首先形成组合截面，但可能导致靠近混凝土板部分的钢梁应力增大和预应力损失较大。某些研究者采用了解除剪力连接件纵向功能的方法，仅保留其竖向功能，以规避这一问题。

增加配筋法。这一方法根据普通钢筋混凝土构件的设计来规定桥面板，并通过增加垂直方向的钢筋配筋率来限制裂缝宽度，这一方法在中小跨度的桥梁中被广泛使用。然而，在桥梁跨度超过60米时，如果钢筋配筋太密集，不仅难以进行布置，还可能影响混凝土的浇筑质量。

调整施工顺序法。这一方法通过改变湿式接头的铸造顺序，对混凝土桥面的应力水平影响较小。相比之下，在装配式混凝土桥梁中，嵌板包装顺序的改变会显著影响混凝土桥梁嵌板的应力水平。如果未弯折力矩地区的混凝土桥面延误施工，将大幅改善该地区混凝土桥面的应力水平。

抗拔不抗剪连接件。当混凝土桥面板与钢梁之间发生相对滑移时,采用抗拔但不抗剪的连接件,这种连接件释放了钢梁对混凝土板的纵向约束,从而允许桥面板在一定的纵向范围内自由变形,以减小混凝土板内的拉应力。这一作用在几乎不减弱组合梁的负弯矩区整体刚度和极限承载力的同时,显著增强了负弯矩区混凝土板的抗裂性能。此外,在使用抗拔但不抗剪的连接件时,预压力不再通过连接件传递到钢梁,从而有效提高了预压力的传递效率。当抗拔但不抗剪的连接件与高性能材料一同使用时,对裂缝的控制效果更为显著。

高性能材料接缝。高性能材料如纤维增强水泥基复合材料(ECC)和超高性能混凝土(UHPC)的出现,为提高混凝土板的抗裂性能提供了新的选择。邵旭东等人^[3]提出了一种新型负弯矩区UHPC湿接缝方案,将墩顶接缝划分为上下两个区域,以应对不同区域的应力变化。这一方案适用于先简支后连续钢混结构,施工也相对简单

总的来说,选择适当的抗裂方法取决于具体的桥梁设计和施工情况。每种方法都有其优点和限制,因此需要根据实际需要和条件进行选择和优化。此外,不同方法的组合也可能在某些情况下提供更好的抗裂效果。对于大跨度桥梁和要求高耐久性的工程,可能需要综合考虑多种抗裂措施来确保结构的安全和可靠性。

4 结语

在本研究中,我们对钢-混组合连续梁桥负弯矩区裂

缝防控措施进行了研究。首先我们总结了钢混组合梁负弯矩区受力特点并分析裂缝形成的原因。针对力学特点和原因,我们提出了裂缝防控的关键要点。最后我们总结了国内外控制组合梁负弯矩区混凝土裂缝的方法,虽然这些措施能够显著降低负弯矩区裂缝的产生和扩展,提高桥梁的整体受力性能和使用寿命,但在一些情况下又存在不足。因此在组合梁桥的裂缝问题处理中,往往不限于使用单一方法,须结合具体桥梁、施工等条件,综合使用多种裂缝控制措施,以解决钢-混组合梁桥的裂缝问题。因此需要根据具体情况制定针对性的防控策略。

为了探索更多可能的解决方案,未来的研究可以将重点放在结构参数的优化和新材料的应用上,以提高负弯矩区的裂缝防控效果。同时,建议对实际工程中的钢-混组合连续梁桥进行长期监测和评估,以验证新的裂缝防控措施的可行性和有效性。同时,也期待未来的研究能够进一步完善和拓展这一领域的知识和技术。

参考文献:

- [1]宗金东,周孙基,刘婧.中小跨径钢混组合连续梁桥负弯矩区桥面板设计分析[J].福建交通科技,2021(2):98-101.
- [2]聂建国,陶慕轩,聂鑫等.抗拔不抗剪连接新技术及其应用[J].土木工程学报,2015,48(04):7-14+58.
- [3]邵旭东,胡伟业,邱明红,等.组合梁负弯矩区UHPC接缝抗弯性能试验研究[J].中国公路学报,2021(8):246-260.