

钢结构在桥梁设计中的应用研究

高应振 祁永利 赵 乐

天津市政工程设计研究总院有限公司 天津 300392

摘要：桥梁钢结构设计融合了整体稳定性、施工便利性及经济性等多重考量。焊接结构设计确保结构连接可靠，横向抗倾覆稳定性设计保障桥梁安全，施工入孔与加劲肋的设置优化施工效率与结构性能。然而，耐腐蚀性差、防火能力弱及维护成本高成为钢结构桥梁设计中的关键挑战。本文探讨了钢结构在桥梁设计中的应用、挑战及相应对策，旨在为桥梁工程提供理论支持与实践指导。

关键词：钢结构；桥梁设计；应用

引言

桥梁作为交通基础设施的重要组成部分，其结构安全与稳定性至关重要。钢结构因自重轻、强度高、施工速度快等优势，在桥梁设计中得到广泛应用。但钢结构桥梁也面临耐腐蚀性、防火能力及维护成本等方面的挑战。因此，全面且深入地研究钢结构在桥梁设计中的应用及其面临的挑战，并提出切实有效的应对策略，对显著提升桥梁工程的整体性能与安全水平具有重要意义。

1 桥梁钢结构的整体设计理念概述

我国桥梁钢结构设计以保障桥梁在使用年限内具备充足的安全性及可靠性为完整性设计目标。依据国际标准，我国桥梁完整性设计需综合多方面因素，包括桥梁材料性能、制造工艺、安装手段、结构细节、使用环境以及定期维护措施等，在此基础上，一般将桥梁使用年限设定为 100 年。这一目标的达成，要求在设计时，除了考虑结构强度、刚度这些基本要素外，还要对损伤情况以及损伤容限断裂与抗断裂相关问题进行深入评估，保证桥梁钢结构设计完整性目标的最终实现。钢结构主要由型钢和钢板构成，通过焊接和螺栓连接的方式组合在一起。钢结构工程阶段，钢材制作是主要的结构形式，在现代建筑工程中广泛应用。在超高、超重建筑中，钢结构因具有自重轻、强度高、刚度大等独特优势而备受青睐。从工程力学角度来说，钢结构由于材质具有匀质性，承受一定的动力荷载。相较于普通钢筋混凝土，钢结构弹性更好，质量更轻，在运输过程中可减少负荷。在桥梁建设中，钢结构的优势体现得淋漓尽致。当钢结构桥梁面临危险时，结构会在前期出现一定程度的变形，这种变形易于被监管人员发现。监管人员可据此及时察觉潜在安全隐患，并采取相应措施，如安排紧急维修或限制桥梁通行等，有效防止事故恶化，保障人民生命财产安全。

2 钢结构在桥梁设计中的应用

2.1 焊接结构设计

(1) 进行焊接结构设计时，充分考虑焊接位置的选择。为确保桥梁结构的整体强度和稳定性，多次焊接的接头位置应相互错开，以避免应力集中导致的钢筋断裂风险。这策略有助分散焊接产生的热量和应力，减少结构内部的潜在缺陷。(2) 接头焊接方式的选择同样至关重要。它根据桥梁结构的实际受力状态来确定，以确保焊接接头能够承受预期的荷载作用。设计人员深入理解桥梁在使用过程中可能遭遇的各种力学条件，如静载、动载、温度变化等，选择最合适的焊接接头类型，如对接接头、角接头或T形接头等，以适应不同的受力需求。(3) 在设计焊接结构时，须细致考虑焊接工艺对结构性能的影响。这包括焊接材料的选用、焊接参数的设定以及焊接顺序的规划等。通过精确控制焊接过程，最大限度地减少焊接变形和残余应力，确保焊接接头的质量和性能满足设计要求，保障桥梁整体结构的稳定性和耐久性^[1]。

2.2 横向抗倾覆稳定性设计方法

横向抗倾覆稳定性设计环节关乎桥梁的稳固性，更直接影响到其在复杂环境条件下的使用性能和寿命。设计师在面对多车道桥梁设计时，须全面考量钢结构的横向抗倾覆能力，以预防潜在的结构失稳风险。在桥梁建设过程中，若出现施工后的问题，与设计阶段的疏漏密切相关。特别是在钢结构设计方案中，如果存在漏洞，便引发钢梁跨度增大，导致桥梁内部结构受力不均，严重削弱了桥梁的整体稳定性。因此，设计师在制定钢结构设计方案时，深入分析各种可能的风险因素，并采取相应的预防措施。为了提升桥梁的横向抗倾覆稳定性，设计师可以采用多种设计方法和技术手段。如优化结构布局和节点连接方式，增强结构的整体刚度；利用先进

的计算软件进行模拟分析,预测结构在不同荷载作用下的响应情况;以及引入新型材料或构造技术,如高强度钢材、复合材料等,以提高结构的承载能力和耐久性。总的来说,钢结构在桥梁设计中的横向抗倾覆稳定性设计是一个复杂而关键的环节。设计师需要综合考虑各种因素,运用专业知识和技能,制定出既经济又安全的设计方案^[2]。

2.3 施工入孔的设置问题

(1)当入孔数量较多时,要避免将它们集中放在同一断面,而应尽可能地分散开来。因为若入孔集中于一处,会对该断面的结构性能产生较大影响,削弱桥梁整体的稳定性和承载能力,通过分散布置可使结构受力更均匀,减少不利影响。(2)入孔的设置应尽量避免桥梁应力集中的部位。若因实际情况必须在局部应力较大的地方设置入孔,要采取相应的加强措施。这是因为应力集中部位本身就承受着较大的内力,如果在此处设置入孔而不进行加固,导致结构在这些部位出现裂缝甚至破坏,影响桥梁的安全性和耐久性。(3)在腹板设置入孔时,要选择应力相对较小、结构相对薄弱的位置,如跨中位置。对连续梁而言,要选取剪力最小的地方进行入孔施工设置。而在顶板设置入孔时,要将其放置在1.5跨径处。这要求设计人员进行精确的测量和计算,以确保入孔位置的科学性。

2.4 设计中加劲肋的设置

桥梁设计的钢结构应用阶段,加劲肋的设置是一个至关重要的环节,它直接关系到构件的局部稳定性和承载能力。加劲肋作为一种条状加强件,常被巧妙地布置在支座或集中荷载作用区域,旨在弥补原有构件截面在特定部位的不足,确保结构的整体稳固性和耐久性。这设计考量并非随意为之,而是基于详尽的设计计算和严谨的力学分析。加劲肋的设置并非可有可无的装饰性元素,是经过精确评估后,针对结构局部稳定性需求而做出的必要补充。在决定是否需要增设加劲肋时,设计者需综合考虑构件的受力特点、荷载分布以及材料性能等多个因素。确定加劲肋的必要性,竖向加劲肋成为首选,其设置间距则依据腹板厚度及相应剪应力的的大小进行科学确定,旨在有效分散并传递集中荷载,避免局部应力过大导致的结构失效。当竖向加劲肋单独使用仍无法满足结构稳定性要求时,水平加劲肋便作为竖向加劲肋的有效补充被引入设计中。水平加劲肋的设置,不仅增强了构件的抗弯矩和抗剪能力,还通过优化结构布局,使得原构件截面得以缩减,在确保结构安全的前提下,有效降低了钢材使用量,实现了成本控制和材料利

用率的提升^[3]。

2.5 桥梁的结构内力计算

进行桥梁结构内力计算时,(1)明确计算模式。本例中边孔采用单悬臂结构,而中孔运用简支挂梁的设计。此计算模式的确立为后续的结构分析奠定了基础。(2)将整个桥梁沿纵向划分为若干个单元,并对每个单元截面进行编号。这一步骤是至关重要的,因为它有助于我们更精确地对每个部分进行分析和计算。要输入项目原始数据,这些数据涵盖了项目的总体信息、单元特征、预应力钢束的详细信息,以及施工阶段和使用阶段的信息。这些数据的输入是确保计算准确性的关键。在完成数据输入后,接下来是对全桥结构安全性进行验算。这一步骤是按照全预应力构件的标准来进行的,计算内容包括预应力、收缩徐变以及活载计算。通过这些计算,我们评估桥梁在不同工况下的安全性能。在支座设置方面,桥台处采用滑动支座,而桥墩处则设置固定支座。这种设计考虑了桥梁在不同部位受力的差异性,以确保整个结构的稳定性;碇梁与挂梁之间存在主从约束关系,挂梁一端设置固定支座,另一端则设滑动支座,这样的设计增强了桥梁的整体稳定性。(3)是对牛腿进行验算。牛腿作为桥梁结构的重要组成部分,其设计直接关系到桥梁的整体性能。牛腿的验算分为四个步骤:一是求出牛腿的截面内力,并对各种危险截面进行强度校核;二是按偏心受压杆件或受弯杆件验算竖截面的抗弯和抗剪强度;三是求得最弱斜截面位置后,按偏心受拉构件验算此斜截面的强度;四是进行45°斜截面的抗拉验算。这四个步骤共同构成了牛腿设计的完整流程,确保了牛腿设计的合理性和安全性。

3 钢结构在桥梁设计中的挑战与对策

3.1 耐腐蚀性差

钢材作为钢结构的主要材料,当其暴露于外界环境时,不可避免地会受到自然因素的影响。雨水是常见的腐蚀因素,其中含有的酸性物质或其他化学成分会与钢材表面发生化学反应,导致钢材生锈腐蚀。这种腐蚀现象并非局限于钢材表面的美观问题,更严重的是它会逐步深入钢材内部,削弱钢材的强度和承载能力,影响桥梁的整体结构安全和使用寿命。如长期处于潮湿多雨环境或靠近海边的钢结构桥梁,腐蚀速度会更快,对桥梁结构完整性的威胁也更大。为了应对这一挑战,提高钢结构桥梁的耐腐蚀性,采取多种有效的措施。其中,在钢材表面涂覆防腐涂层是一种较为常用且经济的方法。防腐涂层能在钢材和外界腐蚀介质之间形成一道屏障,阻止或减缓腐蚀反应的发生。涂层的种类多样,包括环

氧漆、聚氨酯漆等，可根据不同的环境条件和桥梁使用要求进行选择。采用不锈钢材质也是一种可行的途径。不锈钢含有铬、镍等合金元素，这些元素能在钢材表面形成一层致密的氧化膜，使其具有良好的耐腐蚀性。不过，使用不锈钢材质可能会增加成本，在实际应用中需要综合考虑桥梁的预算和性能要求等因素，通过合理的选择来确保钢结构桥梁在复杂环境下能够保持良好的耐久性^[4]。

3.2 防火能力弱

(1) 钢材作为一种金属材料，其物理特性决定了在高温环境下易发生软化甚至熔化，引发结构坍塌。这一特性使得钢结构桥梁在火灾事故中面临极高的风险，发生火灾，火势的迅速蔓延和高温环境的持续作用，将威胁桥梁的结构安全和使用寿命。(2) 针对钢结构防火能力弱的挑战，须采取有效的应对措施。一方面，设置自动喷水灭火系统来提升桥梁的火灾应对能力。自动喷水灭火系统能够在火灾初期迅速响应，通过喷洒大量水流降低火场温度，抑制火势的进一步发展，为救援和疏散赢得宝贵时间。该系统还能有效减少火灾对钢结构的直接损害，保护桥梁结构的完整性和稳定性。(3) 在材料选择上，优先考虑使用耐火等级较高的合金材料。这类材料在高温环境下具有更好的热稳定性和抗熔化能力，能在一定程度上延缓钢材的软化过程，提高桥梁的整体耐火性能。通过合理选用这类材料，可以降低火灾对钢结构桥梁的潜在威胁，确保桥梁在极端情况下的安全性和可靠性。

3.3 维护成本高

(1) 通过定期对桥梁进行全面检查，及时发现潜在的安全隐患，如锈蚀、变形、裂纹等。发现问题，应立即采取措施进行修复加固，防止问题进一步扩大。这有助保持桥梁的良好运行状态，还能降低后期维修的难度和成本。(2) 采用先进的防腐技术也是降低维护成本

的重要手段。如在钢结构表面涂覆防腐涂层，或者采用牺牲阳极保护等方法来减缓腐蚀速度。此外还考虑使用耐腐蚀性能更好的新型钢材或复合材料来替代传统的钢材。这些措施能够有效延长钢结构的使用寿命，减少因腐蚀导致的维修频率和费用。(3) 优化结构设计也在一定程度上降低维护成本。如合理设置支座、减震装置等，减少外部荷载对结构的不利影响；通过优化截面形状和尺寸，提高结构的抗疲劳性能；通过引入智能监测系统，可以实现对桥梁状态的实时监测和预警。这些设计改进有助提高桥梁的安全性能，还能降低后期的维护难度和成本。(4) 加强施工质量管理也是降低维护成本的关键。在施工过程中，应严格按照设计要求进行操作，确保结构质量和精度。同时还加强对施工人员的技能培训和意识教育，提高他们的专业素质和责任感。

结束语

综上所述，钢结构在桥梁设计中的应用展现了其独特的优势，但也伴随着一系列挑战。通过优化焊接结构设计、提升横向抗倾覆稳定性、合理设置施工入孔与加劲肋，以及加强耐腐蚀性、防火能力与维护成本方面的研究与对策，可以提升钢结构桥梁的整体性能。未来，随着材料科学、施工技术与设计理念的不断进步，钢结构桥梁的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1]任锦辉.钢结构桥梁在市政道路桥梁工程中的设计与施工技术研究[J].建材发展导向,2024,22(13):77-79.
- [2]王波.BIM技术在钢结构桥梁设计中的应用[J].中国公路,2021(15):78-79.
- [3]张磊.抗震设计在钢结构桥梁中的应用探索[J].交通世界(下旬刊),2021(4):136-137.
- [4]王佳敏.BIM技术在钢结构桥梁设计中的应用研究[J].建筑工程技术与设计,2021(9):1336-1337.