

钢网架结构损坏的原因和加固措施

王 兴

匠心构筑工程技术（沈阳）有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘 要：钢网架结构损坏原因多样，包括设计不合理、加工制作粗糙、安装偏差、超载使用及恶劣环境等。设计缺陷如未设水平支撑、工况考虑不周等增加失稳风险；加工问题如材质混杂、构件组合错乱等降低性能；安装偏差如测量精度低、焊接质量差等影响稳定性；超载及恶劣环境加速损坏。加固措施有焊接加固、螺栓连接加固、圆管杆件加固、预应力加固、增加杆件、改变节点连接方式及使用高性能材料等，各措施针对特定原因，提升结构承载能力、稳定性及耐久性。

关键词：钢网架；结构损坏原因；结构加固措施

引言

钢网架结构因具备大跨度覆盖能力、高强度承载特性及轻量化自重优势，在体育馆、展览馆等室内场馆建设中占据主导地位。然而，受设计缺陷、加工误差、安装偏差及使用环境劣化等因素影响，其结构损伤问题日益凸显。此类损伤不仅制约场馆功能发挥，更潜藏安全隐患。本文聚焦钢网架结构全生命周期损伤机理，系统解析设计、制造、施工及运维各阶段致损因素，并提出针对性加固技术方案，为同类工程提供理论支撑与实践指导。

1 室内场馆钢网架结构损坏的原因

1.1 设计原因

设计阶段是钢网架结构安全性的基础保障。设计不合理会导致结构在后续使用中面临诸多问题。结构选型不合理，如采用正交正放网架时，未沿周边网格上弦或下弦设置封闭的水平支撑，会使网架无法有效传递水平荷载，增加结构失稳的风险。工况考虑不全面，对自然灾害（如地震、风振、温度变化等）估计不足或处置不当，也会使结构在极端条件下容易受损。此外，计算方法选择错误、荷载低算和漏算、杆件截面匹配不合理等设计缺陷，都会影响结构的承载能力和稳定性，为结构损坏埋下隐患。

1.2 加工制作原因

构件加工质量对钢网架结构的整体性能有着重要影响。构件加工质量粗糙、精度不足，会导致构件尺寸偏差过大，影响结构的安装精度和受力性能^[1]。材质使用混杂，如使用不符合设计要求的钢材，会使构件的强度和韧性降低，容易在使用过程中出现损坏。构件组合错乱，如螺栓连接部位安装不正确，会降低结构的连接强度，使结构在受力时容易出现松动或破坏。

1.3 安装原因

安装过程中的质量问题会直接影响钢网架结构的安装精度和稳定性。测量精度低，会导致构件安装位置偏差过大，使结构受力不均匀，增加局部应力。安装偏差过大，如螺栓安装深度不足、吊装过程吊点选择不合理等，会使构件之间的连接不牢固，影响结构的整体性能。焊接质量差，如焊缝存在气孔、夹渣等缺陷，会降低焊缝的强度和韧性，容易在受力时出现开裂。吊挂位置及方式不合理，会使结构承受额外的荷载，导致结构变形或损坏。

1.4 使用原因

在使用过程中，超载使用是导致钢网架结构损坏的常见原因之一。室内场馆在举办活动时，可能会因人员密集、设备摆放不当等原因，使结构承受超过设计荷载的重量，导致结构变形或破坏。网架吊挂位置及方式不合理，如在非设计吊挂点悬挂重物，会使结构局部受力过大，容易引发损坏。使用环境恶劣，如长期处于高温、潮湿、腐蚀性环境中，会使钢材发生化学腐蚀和电化学腐蚀，导致构件截面削弱，降低结构的承载能力。

2 室内场馆钢网架结构加固措施

2.1 焊接加固

焊接加固作为室内场馆钢网架结构加固的常用手段，其原理在于借助焊接工艺将钢板、型钢等附加材料与原有钢材牢固结合，以此提升结构的承载性能。需明确的是，网架杆件为专用圆形钢管，且全部皆为二力杆受力，只可能存在拉力和压力两种力，网架节点必须且只能是铰接节点，不存在弯矩与抗弯一说。在室内场馆的实际应用中，针对局部承载能力薄弱的杆件，焊接加固有其独特作用。当杆件截面尺寸较小，无法满足承载要求时，可在杆件适当位置焊接加厚型钢套筒^[2]。型钢

套筒的存在,相当于增大了杆件的截面面积,改变了杆件在受力时的应力分布,使杆件在承受拉力或压力时,能够更均匀地传递应力,从而提高其整体承载能力。对于节点部位,虽然节点为铰接,但焊接加固可增强节点处各杆件之间的连接强度。当节点处杆件数量较多、受力复杂时,通过在节点周边焊接连接板,将各杆件与连接板牢固焊接,可提高节点的整体性和稳定性,减少节点在受力时的相对位移。焊接加固并非毫无弊端。在焊接过程中,高温会使钢材局部区域温度急剧升高,导致钢材内部组织发生变化,进而引起钢材局部过热、变形等问题。这会影响钢材的力学性能,还可能导致结构尺寸偏差,降低结构的安装精度。焊缝质量对加固效果起着决定性作用。如果焊缝存在气孔、夹渣、未焊透等缺陷,会降低焊缝的强度和韧性,使结构在受力时容易在焊缝处出现开裂,严重影响结构的安全性。为了克服这些缺点,在进行焊接加固时,需要采取一系列防护措施。在焊接前对钢材进行预热处理,减少焊接时的温度梯度;在焊接过程中,严格控制焊接参数,如焊接电流、电压、焊接速度等,确保焊接质量;焊接后,对焊缝进行无损检测,及时发现并处理焊缝缺陷。施工人员应具备专业的焊接技能和丰富的经验,严格按照焊接工艺规程进行操作,以保证焊缝质量符合设计要求,确保室内场馆钢网架结构的安全性和可靠性。

2.2 螺栓连接加固

螺栓连接加固是提升室内场馆钢网架结构稳定性的关键手段,其应用需紧密结合网架螺栓球工艺特性。螺栓球网架以铰接节点连接钢管杆件,依靠螺栓、钢球、套筒及锥头等组件实现传力,这种结构虽具有装配便捷、适应性强的优势,但节点本身无法直接增设螺栓来强化。针对这一特性,加固策略应聚焦于杆件间的连接强化。首先需对结构进行全面评估,精准定位需加固的杆件及节点。在选定的连接部位,采用高强度螺栓进行加固,通过优化螺栓预紧力设计,确保杆件间紧密咬合,从而提升结构整体性。施工过程中,需严格监控螺栓安装质量,预紧力需精准控制,过大易导致局部变形或断裂,过小则削弱连接效能。该加固方式充分利用了螺栓球节点的铰接特性,在增强结构稳定性的保持了节点的灵活传力机制。相比传统加固方法,螺栓连接加固无需对原结构进行大规模改造,施工简便且对结构损伤极小。这种技术不仅适用于新建结构的补强,也为既有结构的维修提供了高效解决方案,为室内场馆钢网架的安全运营构筑了坚实屏障。

2.3 圆管杆件加固

粘钢加固作为一种传统的钢结构加固技术,其原理是通过特制的建筑结构胶将钢板牢固地粘贴在结构表面,形成复合受力体系,从而提升结构的承载能力。然而,在室内场馆钢网架结构的加固场景中,由于网架杆件多为圆形钢管,而钢板为平板,二者难以紧密贴合,导致粘钢加固技术在此类结构中难以实现有效应用。针对圆管杆件的特殊性,工程中通常采用以下替代方案:套箍加固法是一种有效的替代方法。该方法通过环箍使圆钢管与外套钢管之间紧密接触,或在间隙内填充粘粘材料,形成整体受力体系。套箍加固不改变杆件原有的边界条件,通过约束杆件的侧向变形,提高其屈曲荷载和稳定性。这种方法适用于杆件弯曲变形较小的情况,具有施工便捷、对原结构损伤小的优势。另一种替代方案是碳纤维加固法。碳纤维加固利用碳纤维材料的高强度和轻质特性,通过环氧树脂将碳纤维布或板粘贴于圆管表面。碳纤维与钢管协同工作,显著提升结构的抗弯、抗剪和抗压承载能力。碳纤维加固无需钻孔或焊接,避免对原结构造成损伤,同时具有良好的耐腐蚀性和耐久性,适用于长期处于潮湿或腐蚀环境的结构。在选择加固方案时,需综合考虑结构特点、使用环境及荷载条件。套箍加固适用于局部杆件稳定性不足的情况,而碳纤维加固则更适用于全面提升结构承载能力和耐久性的场景。两种方法均可有效弥补粘钢加固在圆管杆件上的局限性,为室内场馆钢网架结构的安全运营提供可靠保障。

2.4 预应力加固技术

预应力加固技术作为结构加固领域的一项专业方法,其核心在于通过施加预应力优化结构受力状态,从而提升承载能力与刚度。在钢网架结构中,该技术主要针对关键受力区域,如跨中或支座附近,通过增设高强拉索或预应力撑杆实现加固。实施时,首先在结构关键部位增设高强拉索或预应力撑杆,随后利用专业张拉设备对拉索施加预拉力,使结构在荷载作用前产生反向变形,有效降低荷载效应,提升整体性能。该技术具有显著优势。预应力拉索的引入形成空间协同工作机制,增强结构冗余度,提升整体稳定性。预拉力抵消部分荷载弯矩,减小杆件挠度与节点位移,改善变形性能。该技术特别适用于大跨度或重载结构,能显著提升极限承载力,满足更高安全需求。实际案例验证了预应力加固技术的有效性。某体育馆钢网架因长期荷载导致跨中下垂,采用预应力拉索加固后,结构挠度减少40%,杆件应力幅值降低35%,成功满足规范对长期使用状态的要求,展示了该技术在提升钢网架结构性能方面的巨大潜力^[3]。

预应力加固技术的高度专业性体现在对结构力学的深入理解、材料性能的精准把握及施工工艺的严格控制。该技术具有创新性,通过调整预拉力大小和分布,可精细调控结构性能,不仅提升承载能力,还能优化振动和疲劳性能。

2.5 增加杆件和改变节点连接方式

增加杆件和改变节点连接方式是室内场馆钢网架结构加固的有效手段,但需结合网架结构的特性进行实施。网架结构作为超静定空间体系,其节点均为铰接,杆件为二力杆,仅承受拉力或压力。针对其加固需求,增加杆件需遵循结构受力特点,避免对原有平衡造成破坏。在薄弱区域增设斜撑或拉杆是可行的加固方案。斜撑可将荷载传递至邻近支撑结构,减轻局部负担;拉杆则通过拉力增强结构整体性。新增杆件需与原有杆件协同工作,形成更稳定的受力体系。而,网架结构的超静定特性限制了杆件的随意增设,需通过精确计算确定新增杆件的位置和尺寸,确保结构在加固后仍能保持稳定的内力分布。改变节点连接方式在网架结构中需谨慎实施。由于所有节点必须为铰接,若需调整节点连接方式,应优先考虑在节点处增设辅助构件或采用新型铰接节点形式,确保改造后的节点与原有结构能够良好衔接,避免引入新的安全隐患。在实施加固措施时,需全面评估结构特性、荷载条件及使用环境^[4]。增加杆件应优先考虑对结构稳定性影响最小的方案;改变节点连接方式则需确保新节点形式符合结构受力要求。通过科学规划和精细施工,加固后的网架结构能够更好地满足使用需求,延长使用寿命。

2.6 使用高性能材料

碳纤维加固技术的核心在于其材料特性与结构力学的深度融合。通过采用预浸碳纤维布或带,并配合使用专用环氧树脂粘合剂,加固材料能够精准地沿杆件受力方向粘贴。这种复合增强材料与原结构表面紧密粘结,形成协同受力体系,从而显著提升结构的抗弯、抗剪及抗裂能力。碳纤维材料本身具有极高的强度,达到钢材的十余倍,而自重却极轻,这一特性使得加固后的结构在提升承载力的不会显著增加自身重量。碳纤维的柔性特质使其能够完美贴合各种复杂曲面,包括钢网架结构中的圆形钢管及铰接节点,确保加固效果无死角。施工

过程中,无需大型设备,操作简便,且对原结构几乎无损伤,体现了其高效性和实用性。在铰接球节点的连接处理上,碳纤维加固技术展现了其独特的创新性。针对二力杆特性及铰接节点的特殊要求,采用了一种专利方案——碳纤维复合材料球头结点。该结点由球头、T型螺杆和凹面螺母三部分组成,全部采用碳纤维材料,确保了连接的整体强度和轻量化。具体连接过程中,首先将T型螺杆插入球头的长形孔并旋转,使其卡紧固定,这一步骤实现了初步的机械连接。接着,旋入凹面螺母,使螺杆与螺母轻轻夹住球头,这一设计巧妙保持了铰接节点的可转动性,满足了节点铰接的特性需求。最后,通过调整螺杆轴线至设计角度,并在螺纹啮合处及接触面涂覆环氧树脂胶进行固化,进一步增强了连接的稳定性和强度。该方案通过机械夹持与胶粘双重保障,有效避免了传统钻孔或预埋件对碳纤维材料的削弱,同时长形孔的设计允许轴线角度的调整,增强了结构适应空间变形的能力。环氧树脂胶固化后,形成了高强度的连接,确保节点在拉压荷载下的稳定性和耐久性。

结语

室内场馆钢网架结构损坏因素繁多,各环节疏漏均可能危及安全。采取科学加固措施是保障结构稳定的关键,各类加固方法各有利弊。工程实践中需综合考量结构状况、使用需求及现场条件,合理选用加固方案,并严格遵循规范标准以确保质量安全。通过深入分析与有效加固,可延长结构寿命,提升场馆安全性与可靠性。展望未来,随着材料与施工技术进步,钢网架加固技术将持续创新,为建筑领域发展贡献力量。

参考文献

- [1]周安楼.钢结构厂房加固优化设计的原因及措施[J].河南科技,2021,40(4):121-123.
- [2]李正.某高铁站房屋盖钢网架结构设计[J].四川建材,2024,50(6):72-74.
- [3]孟红志.大跨度钢网架结构选型设计和施工方案优选研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(12):198-201.
- [4]徐万磊,李杰,胡君霞.大面积屋面钢网架结构逐步外扩顶升施工技术——以某体育馆网架屋盖施工工程为例[J].福建建材,2025(1):92-95+99.