

钢结构施工中的变形监测与控制

刘 平

陕西省建筑设备安装质量检测中心有限公司 陕西 西安 721000

摘 要：随着钢结构在现代建筑中的广泛应用，其施工过程中的变形问题日益凸显。本文深入探讨了钢结构施工中变形产生的原因，包括焊接过程、荷载作用、材料性能及施工工艺等因素。针对这些问题，本文详细介绍了钢结构施工中的变形监测方法，同时，还提出了钢结构施工中的变形控制策略，涵盖设计阶段、施工阶段及后期维护与保养等方面。通过本文的研究，旨在为钢结构施工中的变形监测与控制提供具体指导和参考，确保结构的安全性和稳定性。

关键词：钢结构施工；变形监测；控制策略；焊接变形；无损监测技术；变形控制

引言

随着现代建筑技术的不断进步，钢结构因其高强度、轻质、施工周期短等特性，在高层建筑、大型桥梁、体育场馆等领域得到了广泛应用。然而，钢结构在施工过程中易受多种因素影响，产生变形，这不仅影响结构的整体稳定性和安全性，还可能增加施工难度和成本。因此，对钢结构施工中的变形进行精确监测与有效控制显得尤为重要。

1 钢结构施工中变形产生的原因

1.1 焊接过程的影响

焊接是钢结构施工中的关键环节，但也是产生变形的主要原因之一。焊接过程中，局部高温加热导致焊件受热不均，产生焊接应力和变形。焊缝的截面积、布置方式、焊接顺序以及焊接方法等因素均会影响焊接变形的大小和分布。

1.2 荷载作用的影响

施工过程中的临时荷载、永久荷载以及风荷载等都会对钢结构产生作用，引发变形。特别是高层建筑和大跨度桥梁等结构，在施工过程中需承受较大的荷载，若支撑系统不合理或施工顺序不当，极易导致结构变形。

1.3 材料性能的影响

钢材的热膨胀系数较大，温度变化易导致结构变形。在钢结构施工过程中，由于昼夜温差、季节变化以及焊接过程中的热输入等因素，钢材的温度会发生显著变化，进而引发结构变形。

1.4 施工工艺的影响

施工顺序、支撑方式、吊装方法等因素也会影响钢结构的变形。例如，若施工顺序不合理，先安装的部分可能因后续施工荷载的作用而产生变形；支撑方式不当，则可能导致结构在自重作用下产生过大变形；吊装

过程中若操作不当，也可能对结构造成损伤和变形。

2 钢结构施工中的变形监测方法

2.1 全站仪测量

全站仪通过测量目标点与仪器之间的水平角、竖直角和斜距，结合仪器自身的坐标和方位信息，利用三角测量原理，计算出目标点的三维坐标。这种测量方式不仅精度高，而且能够实时获取数据，为变形监测提供了有力支持。全站仪主要用于检测钢结构的平面位移和倾斜等变形。平面位移是指钢结构在水平面上的位置变化，而倾斜则是指钢结构相对于垂直方向的偏斜。通过在不同时间点对同一目标点进行测量，比较其坐标变化，可以判断结构是否发生变形，以及变形的程度和方向^[1]。实施步骤如下：（1）设置监测点：在钢结构上选择稳定且易于测量的位置设置监测点，如反射片或标志杆。这些监测点应能够代表结构的整体变形情况，且不易受到施工活动的影响。（2）精确测量：使用全站仪对监测点进行精确测量，记录其三维坐标。在测量过程中，应确保仪器稳定、视线清晰，避免测量误差。（3）定期重复测量：根据施工进度和变形监测的需要，定期重复测量监测点的坐标。通过比较不同时间点的坐标数据，可以分析结构的变形情况和趋势。（4）数据分析与处理：对测量数据进行处理和分析，计算变形量、变形速率等指标，评估结构的变形情况是否满足设计要求和安全标准。

2.2 水准测量

水准测量通过比较水准仪视线水平面上的两点高程差，结合已知点的高程，推算出未知点的高程。这种测量方式基于地球重力场和水平面的假设，能够准确测量出钢结构在竖向方向上的变形。水准测量主要用于检测钢结构的竖向变形，如沉降或隆起。沉降是指钢结构在

重力作用下向下移动的现象,而隆起则是指钢结构因地基膨胀或其他原因向上凸起的现象。通过在不同时间点对同一监测点进行水准测量,比较其高程变化,可以判断结构是否发生竖向变形。实施步骤如下:(1)设置水准点:在钢结构附近选择稳定且不易受到施工影响的位置设置水准点作为参考。这些水准点应具有已知的高程值,且能够长期保持稳定。(2)测量高程差:使用水准仪对监测点和水准点进行测量,记录高程差。在测量过程中,应确保水准仪水平、视线清晰,避免测量误差。

(3)定期重复测量:根据施工进度和变形监测的需要,定期重复测量监测点的高程。通过比较不同时间点的高程数据,可以分析结构的竖向变形情况和趋势。(4)数据分析与处理:对测量数据进行处理和分析,计算沉降量、隆起量等指标,评估结构的竖向变形情况是否满足设计要求和安全标准。

2.3 拉线法

拉线法通过测量拉线(如钢丝绳或细线)在变形前后的长度变化或偏移量,来判断结构的变形情况。这种测量方式基于几何原理,能够直观反映出杆件的弯曲程度。拉线法主要用于检测钢网架球节点之间杆件的弯曲变形。弯曲变形是指杆件在受力作用下发生弯曲的现象,通过测量拉线的长度变化或偏移量,可以判断杆件是否发生弯曲变形以及变形的程度。实施步骤为:(1)设置拉线:在钢网架的球节点之间设置拉线,并确保拉线紧绷且方向准确。拉线的材质和规格应根据实际需要选择,以确保其能够承受预期的拉力并保持稳定。

(2)测量长度或偏移量:使用测量工具(如卷尺或激光测距仪)对拉线的长度或偏移量进行测量。在测量过程中,应确保测量工具准确、测量方法正确,避免测量误差^[2]。(3)定期重复测量:根据施工进度和变形监测的需要,定期重复测量拉线的长度或偏移量。通过比较不同时间点的数据变化,可以分析杆件的弯曲变形情况和趋势。(4)数据分析与处理:对测量数据进行处理和分析,计算弯曲变形量、变形速率等指标,评估杆件的弯曲变形情况是否满足设计要求和安全标准。

2.4 三维扫描技术

三维扫描技术通过发射光束(如激光或结构光)并接收其反射回来的信号,结合扫描设备的位置和姿态信息,利用三角测量原理或相位差原理,计算出被测物体表面的三维坐标数据。这种测量方式能够获取物体表面的完整形貌信息,为变形监测提供了更为全面的数据支持。三维扫描技术可以用于检测钢结构的整体变形情况,包括平面位移、倾斜、弯曲等多种变形形式。通过

比较不同时间点的三维扫描数据,可以直观地分析结构的变形情况和变形趋势,为施工过程中的质量控制和安全评估提供有力依据。实施步骤为:(1)设置扫描标志点或反射片:在钢结构上选择关键部位设置扫描标志点或反射片,以便扫描设备能够准确识别并测量。这些标志点或反射片应能够代表结构的整体形貌特征,且不易受到施工活动的影响。(2)进行三维扫描:使用三维扫描设备对钢结构进行全方位、高精度的扫描。在扫描过程中,应确保设备稳定、光线适宜,避免扫描误差。同时,应根据实际需要调整扫描参数和扫描范围,以获取完整的三维形貌数据。(3)数据处理与分析:对扫描数据进行处理和分析,包括点云配准、表面重建、变形分析等步骤。通过比较不同时间点的三维扫描数据,可以计算出结构的变形量、变形速率等指标,并直观地展示出结构的变形情况和趋势。

3 钢结构施工中的变形控制策略

3.1 设计阶段的控制

3.1.1 优化结构设计

首先,应合理布置焊缝,避免焊缝过于集中或处于高应力区,以减少焊接产生的局部应力和变形。其次,通过减小焊缝截面积,可以降低焊接时的热输入,从而减少焊接变形。此外,采用对称结构可以使焊接应力在结构中均匀分布,降低整体变形。为了更具体地实现这一目标,设计师可以利用有限元分析等先进手段,对结构进行模拟分析,预测焊接过程中可能产生的应力和变形,并据此调整结构设计。例如,在梁与柱的连接处,可以采用翼缘对接焊缝和腹板高强螺栓连接的组合方式,既保证了连接的强度,又减少了焊缝的数量和热输入,从而降低了变形风险^[3]。同时,还应考虑结构的预变形量。由于钢结构在施工过程中会受到自重、温度、焊接顺序等多种因素的影响,产生一定的变形。因此,在设计阶段,可以根据施工经验和模拟分析,预留一定的变形量或采用反变形法,以抵消施工过程中的变形。

3.1.2 选用高性能材料

材料的性能对钢结构的承载能力和抗变形能力有着至关重要的影响。因此,在钢结构设计中,应选用高性能钢材和焊接材料。低合金高强度钢是一种理想的选择,它具有较高的强度和良好的焊接性,可以减小结构自重和截面尺寸,从而降低变形风险。在焊接材料方面,应选用低氢型焊条和焊剂。低氢型焊条在焊接过程中产生的氢气较少,可以降低焊缝中的氢含量,从而减少氢致裂纹和焊接应力的产生。同时,低氢型焊剂和焊条还具有良好的脱渣性和焊缝成形性,有利于提高焊接

质量和减少变形。

3.2 施工阶段的控制

3.2.1 严格控制焊接工艺

在钢结构焊接过程中，应严格控制焊接工艺参数，如焊接电流、电压、焊接速度等，确保焊接质量。焊接电流过大或过小都会导致焊缝质量下降和变形增加，因此应根据焊条直径、母材厚度和焊接位置等因素合理选择焊接电流。同时，还应采用合理的焊接顺序和焊接方法。对称焊接是一种有效的减少变形的办法，它可以使焊缝两侧的应力和变形相互抵消。分段焊接也是一种可行的办法，它可以长焊缝分成若干段进行焊接，每段焊接完成后进行冷却和变形调整，然后再进行下一段的焊接，从而降低整体变形。

3.2.2 加强支撑与固定

在钢结构施工过程中，加强结构的支撑与固定是防止变形的重要措施。对于大型或复杂的钢结构件，应采用临时支撑、拉索、撑杆等方式进行加固，以确保其在焊接和吊装过程中不会发生变形。临时支撑的位置和数量应根据结构特点和施工顺序进行合理布置，既要保证结构的稳定性，又要方便施工操作^[4]。在吊装过程中，应确保吊点位置合理、吊装速度平稳。吊点位置应选择在结构的刚度较大处，以避免在吊装过程中产生过大的弯曲变形。吊装速度应控制在合理范围内，避免突然加速或减速对结构造成冲击和损伤。

3.2.3 实时监测与调整

为了及时发现并控制钢结构的变形，可以利用监测设备对结构进行实时监测。监测设备可以安装在结构的关键部位，如焊缝处、支撑点等，通过测量结构的位移、应力等参数来反映其变形情况。一旦发现变形超过预设阈值，应立即采取措施进行调整。调整方法可以根据变形原因和程度进行选择，如调整焊接顺序、增加支撑点、施加预应力等。对于已产生的变形，可以采用机械校正、火焰校正等方法进行修复。机械校正通过施加外力使结构恢复到原始形状；火焰校正则是利用火焰加热使结构局部产生塑性变形，然后冷却后达到校正的目的。

3.3 后期维护与保养

3.3.1 定期检查与维护

钢结构施工完成后，应定期进行检查和维修，以确保其长期保持良好的使用状态。检查内容应包括焊缝质量、连接节点、支撑系统等关键部位，及时发现并处理潜在的变形问题。对于发现的问题，应采取相应的维修措施，如紧固螺栓、更换损坏部件、修复变形区域等。

定期检查和维修的频率应根据结构的使用环境和重要性进行确定。对于处于恶劣环境或承受重要荷载的钢结构，应增加检查和维修的频率，以确保其安全性。

3.3.2 加强防腐处理

钢结构易受腐蚀影响，导致承载能力下降和变形加剧。因此，应加强钢结构的防腐处理，延长其使用寿命。常用的防腐方法包括涂刷防腐涂料、镀锌、喷砂除锈等。涂刷防腐涂料是一种经济有效的防腐方法，可以在钢结构表面形成一层保护膜，隔绝空气和水分对结构的侵蚀。镀锌则是一种更为持久的防腐方法，它利用锌的活泼性高于铁的特点，在钢结构表面形成一层致密的氧化锌层，从而起到防腐作用。喷砂除锈则是通过高速喷射砂粒来清除钢结构表面的锈蚀和污物，为后续的防腐处理提供干净的表面。同时，还应定期对防腐层进行检查和修复。对于发现的防腐层破损或脱落现象，应及时进行修补或更换，以确保防腐层的完好有效。此外，还应加强对钢结构使用环境的监测和管理，避免腐蚀性物质对结构的侵蚀。

结语

钢结构施工中的变形监测与控制是确保结构稳定性和安全性的重要环节。通过采用多种监测方法和技术手段，可以有效评估结构的变形情况；结合设计阶段和施工阶段的控制策略，可以显著降低结构的变形风险。未来，随着智能化、无线化等技术的发展，钢结构变形监测与控制技术将更加高效、准确和智能化。例如，利用物联网技术实现远程监测和数据传输；利用大数据和人工智能技术对监测数据进行分析与预测；开发更加先进的变形控制技术和设备等。这些新技术和新方法的应用将为钢结构工程的安全施工提供有力保障，推动钢结构工程技术的不断发展和进步。

参考文献

- [1]蒋航波.变形与应力监测技术在大跨度钢结构整体提升施工中的应用[J].价值工程,2024,43(28):70-72.
- [2]王华平,肖仪清.平面不对称超高层钢结构施工期变形控制因素参数分析研究[J].建筑钢结构进展,2024,26(11):96-109+118.
- [3]杨广云,高春勇.大跨度钢结构矢量变形与安装质量控制分析[J].建设监理,2024,(10):82-85.
- [4]杜小康,李成铭,刘斌,等.大跨度钢结构施工变形预控制技术[C]//《施工技术(中英文)》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册).中建八局新型建造工程有限公司,2024:4.