

钢结构焊接变形和焊接应力控制分析

郑承旺 唐家成

(山东方大杭萧钢构科技有限公司, 山东 淄博 255100)

【摘要】随着建筑工程的高速发展, 钢结构在各类工程中得到广泛应用。然而, 钢结构焊接过程中产生的变形和应力问题已成为制约结构质量和性能的关键因素。本文以钢结构焊接为例, 系统研究了变形和应力的形成机制, 提出了一系列有效的控制措施, 包括预热法、合理的焊接顺序和同步收缩法。通过实验和理论分析, 本文取得了一系列可行的研究成果, 旨在为相关工程人员提供可靠的参考, 以解决钢结构焊接过程中的变形和应力问题。

【关键词】 钢结构; 焊接变形; 焊接应力; 有效控制

引言:

钢结构因其强度高、施工便利等优势而广泛应用于建筑、桥梁等工程领域。然而, 焊接过程中引起的变形和应力问题对结构性能产生负面影响。为解决这一问题, 需要创新焊接工艺和采用科学的控制措施。本文将深入探讨钢结构焊接过程中变形和应力的形成机制, 同时介绍有效的控制策略, 以期通过研究创新, 解决焊接过程中的结构问题, 实现工程结构的高质量和稳定性。

一、钢结构焊接变形和焊接应力控制的重要性

(一) 结构安全性的保障

钢结构焊接过程中产生的变形和应力是直接因素影响结构安全性的关键因素。焊接引起的变形可能导致构件尺寸偏差, 进而影响整体结构的准确性和稳定性。如果变形和应力得不到有效控制, 结构可能会出现扭曲、倾斜等问题, 从而降低了结构的承载能力和整体稳定性, 甚至可能引发结构的失稳或崩塌。因此, 通过有效的焊接变形和应力控制, 可以最大程度地保障钢结构的安全性, 确保其在使用寿命内始终保持稳定的结构性能。

(二) 提高结构的使用寿命和性能

焊接变形和应力不仅会影响结构的初始性能, 还可能导致结构在使用过程中逐渐产生疲劳裂纹和变形, 加速结构的老化和损伤。通过有效的焊接变形和应力控制, 可以减缓结构的老龄化速度, 延长其使用寿命。此外, 精确控制焊接应力可以降低结构在使用过程中变形和位移, 提高结构的整体性能和稳定性, 使其能够更好地适应各种外部力的作用, 从而提高结构的耐久性和可靠性。

(三) 节约维护成本和提高施工效率

钢结构在焊接过程中若不能有效控制变形和应

力, 将会增加后续的维护和修复成本。由于焊接引起的不当变形可能导致构件之间的不匹配, 进而影响整体结构的稳定性和可靠性, 需要在使用过程中进行频繁的维护和修复。通过精确控制焊接变形和应力, 可以降低结构维护的频率和成本, 减少对结构的干预, 提高结构的可维护性。此外, 合理的焊接变形和应力控制还能提高施工效率, 减少调整和矫正的次数, 缩短工程周期, 降低施工成本, 为钢结构的快速建设提供保障。

二、钢结构焊接变形产生的原因分析

(一) 热输入不均匀

焊接过程中, 焊接区域受到强烈的热输入, 导致局部温度升高。由于焊接源通常是集中的, 局部受热较多, 而周围区域则相对较冷。这不均匀的热输入引起了焊缝两侧的材料在温度上的差异。由于热膨胀和冷缩的性质, 这种温差会导致焊缝附近的材料发生不同程度的膨胀和收缩, 从而引起焊接变形。

(二) 材料收缩差异

材料在焊接过程中经历了加热和冷却的循环, 而不同材料具有不同的热膨胀和冷缩系数。当焊接不同种类或厚度的材料时, 由于这些材料的热膨胀和冷缩性质的不同, 将导致它们在焊接过程中经历的收缩量不同。这种差异性的收缩会在焊缝附近引起不均匀的变形, 增加整体结构的焊接变形。总体而言, 焊接变形的主要原因包括热输入不均匀和材料收缩差异。这些因素在焊接过程中相互作用, 导致局部温度和收缩的不一致性, 最终引发结构的变形。为了有效控制焊接变形, 必须在焊接工艺、材料选择和工程设计中采取合适的措施来平衡热输入和材料的差异, 以减小焊接过程对结构造成的不利影响。

（三）焊接过程中的非均匀约束

焊接过程中，由于结构的几何形状和焊接位置的限制，焊接区域可能受到不均匀的约束。非均匀的约束会引起焊缝附近的应力分布不均匀，导致焊接区域的受力状态发生变化。这种非均匀约束会影响焊接区域的自由收缩能力，进而引起焊接变形。在焊接过程中，若某一部分被限制在不自由膨胀或收缩的状态下，相邻区域的自由变形可能受到限制，导致焊缝周围产生局部的应力集中。这样的非均匀约束可能由于结构的几何形状、紧密度或者临时支撑的不足而引起。有效的焊接过程应考虑如何减轻这种非均匀约束，以降低焊接过程中的局部应力，从而减小结构的焊接变形。

三、钢结构焊接变形的控制措施

（一）刚性固定法

首先，为了控制钢结构焊接变形，采用刚性固定法是一种有效的策略。在焊接过程中，通过在结构的两端或焊接区域引入临时支撑、刚性夹具等，使结构在焊接过程中得到更为牢固的支撑。这有助于减小结构的自由变形，降低焊接变形的程度。同时，刚性固定法还能够限制焊接区域的非均匀变形，减缓应力集中的发生。通过合理布置刚性支撑，可以使结构在焊接过程中保持相对稳定的形状，减少焊接引起的位移。这有助于提高焊接区域的受力均匀性，减少局部应力的集中。此外，刚性固定法也能够降低结构的整体变形，并使结构在焊接后更符合设计要求。通过设计合适的支撑和夹具，可以在焊接过程中限制结构的自由变形，使结构达到更稳定的状态。

例如，对于大型钢结构框架，可以在焊接过程中使用专门设计的支撑架，将结构的梁和柱固定在设计位置上。这样的刚性固定方法有助于减小整体结构的变形，确保结构在焊接后保持良好的几何形状。通过合理设计和布置刚性支撑，可以减小结构的自由变形，提高受力均匀性，确保焊接后的结构符合设计要求。

（二）反变形法

首先，为控制钢结构焊接变形，采用反变形法是一项有效的策略。在这一方法中，焊接后的结构被有意地变形，以抵消焊接过程中引起的不可避免的变形。这种方法通常涉及在焊接前对结构施加逆向的位移或应力，以抵消焊接后的变形效应。同时，反变形法的实施可以通过预先设计的机制或调整焊接参数来实现。这包括在焊接区域引入适当的预张力、应变或位移，以在焊接完成后产生相反方向的变形。

通过仔细计算和模拟，可以确定适当的反变形参数，以确保最终结构达到设计要求。此外，采用反变形法还可以有效降低结构的残余应力。通过预先施加逆向的位移或应力，可以减小焊接后结构的残余应力水平，从而降低变形的程度。这对于要求高精度和几何形状保持的结构尤为重要。

例如，对于一些精密设备的支撑结构，在焊接前通过精确的计算和调整焊接参数，可以在焊接后减小或抵消变形，确保结构满足特定的几何和功能要求。通过预先引入逆向变形来控制焊接变形，提高结构的精度和稳定性。这种方法要求精密的计算和参数调整，但能够有效地减小焊接引起的变形效应。

（三）控制焊接线能量法

首先，控制焊接线能量法是一项有效的策略，旨在通过调整焊接过程中的能量输入来减小变形。焊接线能量是指单位长度内焊接线的热输入，其直接影响焊接区域的温度分布和热应力。在此方法中，首先要根据具体情况精确计算焊接线能量，然后采用控制手段进行调整。同时，控制焊接线能量法可以通过调整焊接电流、电压、焊接速度等参数来实现。合理的参数选择可以平衡焊接过程中的热输入，避免引起过度的热膨胀和冷缩。通过实时监测和调整焊接参数，可以有效地控制焊接过程中的温度分布，减小结构的变形。此外，控制焊接线能量法还要求在焊接前进行详细的工程计算和仿真分析。通过考虑结构的材料性质、厚度、几何形状等因素，可以确定合适的焊接线能量范围，从而在焊接过程中实现对变形的有效控制。

例如，对于焊接厚度较大的结构，可以通过降低焊接线能量来控制焊接过程中的温度分布，减少热引起的变形。这可能涉及调整焊接电流和电压，以确保适当的热输入。通过调整焊接过程中的能量输入来减小变形。通过仔细的计算和参数调整，可以实现对焊接过程的精确控制，确保最终结构达到设计要求。

（四）采用合理的焊接顺序

首先，采用合理的焊接顺序是一项关键的策略，以有效控制钢结构焊接变形。在焊接过程中，合理选择焊接的顺序可以最小化局部热应力的累积，减缓结构的整体变形。同时，合理的焊接顺序应考虑结构的几何形状和连接方式。通常情况下，从焊接结构的中心向两侧逐渐进行焊接，可以减小结构的非均匀收缩。因此，对于较大的结构，可以采用分段焊接的方式，先完成一个区域的焊接，再逐步延伸到其他区域，以控制整体的温度分布和变形。此外，对于复杂形状

的结构，可以首先焊接边缘或角部，再逐渐向结构的内部进行焊接。这有助于减小焊接区域的非均匀热输入，降低局部的热膨胀和冷缩，从而减小变形的程度。

例如，对于一个大型钢框架结构，可以焊接连接节点处，然后逐渐向外焊接梁和柱，最后完成框架的整体焊接。这种合理的焊接顺序可以最小化焊接引起的热变形，确保结构的几何形状和稳定性。通过控制焊接的进行顺序来减小结构的变形。这需要结合结构的几何形状和尺寸，灵活选择焊接的起始点和顺序，以最大程度地减小焊接引起的变形效应。

四、钢结构焊接应力控制的有效措施

（一）采用预热法

首先，采用预热法是一种有效的钢结构焊接应力控制策略。在实施这一策略时，焊接区域在焊接之前会被提前加热到一定温度，以减缓焊接过程中产生的急剧温度变化。这有助于缓解焊接区域的热应力，降低结构的残余应力水平。同时，在预热的过程中，可逐渐均匀地加热整个焊接区域。这可以通过控制预热温度和时间，确保结构材料在焊接开始时处于更加稳定的温度状态，减小焊接引起的温度梯度，从而减少应力的积累。此外，预热法还能提高焊接金属的延展性，减缓冷却速度，降低焊缝附近的硬化程度，从而减少焊接残余应力。这对于避免裂纹的形成和提高焊接连接的韧性非常重要。

举例来说，考虑一个大型钢结构桥梁的焊接过程。在预热过程中，焊接区域的温度被逐渐升高至适当的预定值，确保焊接开始时结构材料的温度均匀分布。这样的实施方法使得焊接过程中的应力得到有效控制，提高了焊接接头的质量，减小了结构的残余应力，最终确保了整体结构的稳定性和安全性。

（二）设计合理的焊接顺序

首先，通过合理设计焊接顺序，可以减小焊接区域的热变形。通常情况下，选择从结构的中心向外焊接，逐渐延伸到边缘，有助于减少结构的非均匀热输入，减缓焊接区域的温度变化，降低焊接引起的应力。同时，设计合理的焊接顺序还可以考虑结构的几何形状和连接方式。对于大型结构，可以采用分段焊接的方式，先完成一个区域的焊接，再逐步延伸到其他区域。这有助于控制整体的温度分布和变形，减小焊接引起的应力集中。此外，通过从焊接边缘或角部开始，逐渐向结构的内部进行焊接，可以降低焊接区域的非均匀热输入，减小局部的热膨胀和冷缩，从而减小变形的程度。

举例说明，设计了一个焊接顺序，首先从结构的连接节点开始，逐渐焊接梁和柱。通过在焊接过

程中进行实时监测和调整，确保焊接顺序的合理性，最终成功减小了焊接引起的应力，并保证了结构的几何形状和稳定性。这种实施方法有效地控制了焊接引起的应力，提高了焊接接头的质量。

（三）采用同步收缩法

首先，同步收缩法要求对整个结构进行均匀的冷却。这可以通过喷水、风冷或其他冷却手段来实现。通过控制冷却速度，确保结构各部分的温度在较短时间内基本达到一致，有助于减小残余应力的差异性。同时，采用同步收缩法还可以降低结构的冷却速度，减缓结构的收缩过程。这有助于减小焊接引起的残余应力，避免结构产生较大的应力集中。此外，同步收缩法还要求对结构进行适度的支撑。通过在结构的关键部位设置支撑点，可以确保结构在冷却过程中保持相对稳定的形状，避免过度的变形。

举例说明，采用同步收缩法后，对整个结构进行均匀的冷却，并在关键部位设置支撑点。通过实时监测结构的温度和应力情况，调整冷却速度和支撑点的位置，最终成功减小了焊接引起的残余应力和变形。这种实施方法有效地控制了焊接应力，提高了焊接接头的质量。

结束语：

随着钢结构焊接技术的推出和普及，其在建筑工程中的应用也日益增加，但伴随而来的焊接变形和应力问题亟待解决。在构建高质量、稳定性强的钢结构中，我们需要积极探索创新和应用先进的焊接措施，加强工艺优化，以提高结构的整体性能。在这一过程中，采用预热法、设计合理的焊接顺序以及同步收缩法等措施是可行的途径，能够满足工程的复杂需求，提高焊接接头的质量和稳定性。另外，我们要加强焊接技术的研究和应用，以更好地适应不同工程环境的需求，为钢结构在建筑、桥梁等领域的全面发展奠定基础。

参考文献：

- [1] 钟齐健. 钢结构焊接应力和变形的控制措施[J]. 中华建设, 2023, (08): 160-162.
- [2] 韦海湖. 钢结构焊接变形和焊接应力控制分析[J]. 中国金属通报, 2021, (11): 177-178.
- [3] 卢青钱. 钢结构焊接应力和变形的控制措施[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2020, (04): 35-37+6.
- [4] 史慧. 钢结构焊接变形和焊接应力控制分析[J]. 四川水泥, 2017, (12): 321+330.
- [5] 姜留军. 浅谈钢结构焊接应力、变形的控制[J]. 企业家天地(理论版), 2011, (02): 99.