 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10278

Lightweight Design Approaches and Durability Enhancement Strategies for Steel Structure Buildings

Zhengzhong Yang

Lintao Xinghui Star Architecture Design Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 730500, China

Abstract

The development of steel structures needs to balance lightweight design and durability. There are three paths for lightweight design: optimizing structural systems and topological configurations to balance mechanical performance with material usage; selecting high-performance lightweight materials to enhance mechanical performance and achieve weight reduction; and innovating connection technologies and construction processes to reduce additional structural weight and construction losses. Strategies to improve durability include optimizing steel selection and surface treatment processes to enhance material corrosion resistance; refining structural design details to reduce stress concentration and corrosion risk; and strengthening construction management and maintenance to ensure the long-term stable operation of the structure.

Keywords

steel structure; architecture; lightweight; durability

钢结构建筑轻量化设计路径与耐久性提升策略

杨正中

临洮星汇星建筑设计有限公司，中国·甘肃 定西 730500

摘　要

钢结构建筑发展需兼顾轻量化与耐久性。轻量化设计路径有三：优化结构体系与拓扑构型，平衡力学性能与材料用量；选用高性能轻质材料，提升力学性能并实现减重；创新连接技术与施工工艺，减少结构附加重量与施工损耗。耐久性提升策略包括优化钢材选型与表面处理工艺，增强材料抗腐蚀能力；完善结构设计细节，降低应力集中与腐蚀风险；加强施工过程管理与维护保养，保障结构长期稳定运行。

关键词

钢结构；建筑；轻量化；耐久性

1 引言

随着社会对建筑行业高效、绿色、可持续发展要求日益提高，在建筑领域中钢结构建筑因其诸多优点而受到青睐，但是为了满足不同需求，使其更具竞争力，加强其轻量化设计及提高其耐久性十分必要。轻量化设计可以节省材料使用量，便于运输和施工；而增强其耐久性可使建筑物寿命更长，降低后期维修费用等。因此，研究钢结构建筑轻量化设计及提高其耐久性的方法对于促进我国钢结构建筑技术水平提升以及建筑业健康发展具有重要意义。

【作者简介】杨正中（1989–），中国甘肃兰州人，本科，工程师，从事建筑结构设计研究。

2 钢结构建筑轻量化设计路径

2.1 优化结构体系与拓扑构型，实现力学性能与材料用量的平衡

钢结构建筑轻量化设计主要是以一种合理、恰当的结构形式以及拓扑构型，在保证建筑物使用要求及力学性能的基础上尽量节省钢材。目前轻量化设计理念是依据建筑受力情况和功能要求进行新结构形式研究，摒弃传统布置方式[1]。

就结构体系而言，根据建筑物用途以及所承受荷载不同可采用桁架结构、网架结构、拱结构等。桁架结构受力明确，传力直接，合理布置杆件可以将荷载有效地传给支承结构，避免浪费过多材料。而网架结构是由于其良好的空间受力性能而被广泛采用，在三维空间中均匀分布荷载适合大跨建筑大大减轻结构重量。拱结构则是把荷载变成轴向压力，发挥材料良好的抗压能力，既可达到大跨度又可减小结构尺寸和用料。

利用先进的计算机辅助设计及优化方法对结构进行拓

扑优化，在限定设计区域内可以得到一种较好的材料布置方式。去除结构中受力较小的部分，只保留主要受力区域，使得结构形式与所用材料达到良好配合。如在高层钢结构建筑中，对核心筒以及外框进行拓扑优化后，可以改变其截面形状及大小，在保证抵抗水平荷载能力情况下降低钢用量。

从建筑的结构、围护、设备等方面综合考虑，突破以往的设计理念中各自为政的专业之间分离状态，在此基础上进行协同设计以达到功能上的整合及结构上的最优化。比如，将建筑围护部分与结构结合在一起，如使用复合墙或者幕墙，既可以起到围护作用，又能起到一定承重作用，从而节省成本，使建筑物更加轻盈 [3]。

2.2 选用高性能轻质材料，提升材料力学性能与减重效果

材料是钢结构建筑轻量化设计的基础，使用高强、轻型材料可以有效减轻结构自重。传统钢结构一般用普通碳素钢，尽管它可以满足一般工程要求，但是由于它密度大，影响到建筑轻量化程度。而高性能轻质钢材的应用给钢结构建筑轻量化设计带来新可能。

高强度钢材具有很高的屈服强度及抗拉强度，在满足同样受力条件情况下可以使用较小截面积，从而节省钢材。相比于普通钢材而言，在保证建筑物的安全性的同时大大减轻建筑物自身重量，尤其适合大跨度、高层等对建筑物自身重量要求严格的工程中应用。

除高强度钢材外，新型轻质合金材料也应用于钢结构建筑中具有良好的发展潜力。铝合金、镁合金等轻质合金质量轻、强度高、抗蚀性能优异，可以大大降低结构质量。但是由于轻质合金材料价格昂贵以及焊接技术尚未完善等原因限制了它们在钢结构建筑中的使用，但是随着材料生产和连接方法的发展和完善，它们在未来将会被更广泛地用于建筑物上 [3]。比如在一些对自身重量有较高要求的特殊建筑中，如航空工业用房、临时性展览馆等，轻质合金已经开始发挥作用。

2.3 创新连接技术与施工工艺，减少结构附加重量与施工损耗

连接技术和施工工艺是钢结构建筑轻量化设计的重要保证，新的连接方法及施工工艺可以减轻结构自身质量，节约施工过程中的材料消耗，达到轻量化的目的。

传统的钢结构连接方法主要有焊接、螺栓连接等，虽然这些方法已经很完善，但是在一些场合也会给结构带来不必要的负担。如焊接连接需要在构件上增设加强板等附加部件来保证焊接区的安全性，从而造成更多的钢材消耗。而新的连接手段就是尽量减少这类附加部件，使连接经济又简便。比如采用高强螺栓连接，在合理设计螺栓分布以及连接方式的基础上可以大幅度降低螺栓数量和规格大小从而减轻连接质量；采用摩擦型高强螺栓连接可以充分利用螺栓间摩擦力来传递外力而不发生螺栓被剪断的现象，从而使连接更加安全的同时也节省了连接件的空间。

开发新的连接节点也是轻量化的一个重要方面，在节点上进行创新，比如空腹式节点、桁架式节点等可以节约节点部分所用材料，减轻节点对于整个结构质量的影响，而且这种节点还需要有较好的受力能力和便于施工，方便现场施工以及日后维修或者改建，如一些可拆卸节点，在施工中可以快速安装和拆除，节省时间，同时也方便以后对建筑进行修缮或者翻新而不必更换节点造成不必要的损耗。

施工工艺创新对于钢结构建筑轻量化也十分重要。运用先进的施工技术和机械设备可以提高施工精度，降低施工过程中材料浪费及误差累积等。比如利用数字化施工手段，采用 3D 建模以及模拟施工，在施工前解决施工中可能遇到的问题并加以改进，从而防止施工现场出现返工现象而造成的资源浪费；使用自动化的焊接机器手及机器人施工，可以有效保证焊接的质量和速度，同时也可以大大减少焊接变形以及返修的情况发生，从而节约大量的钢。

3 钢结构建筑耐久性提升策略

3.1 优化钢材选型与表面处理工艺，增强材料自身抗腐蚀能力

钢材是钢结构的主要材料，钢材的质量直接影响到整个结构的耐久性，在钢材的选择上要根据建筑物所在的环境、用途以及设计年限等多方面因素进行选择具有良好防腐蚀性的钢材种类。不同的环境条件下，钢材所受到的腐蚀也不同，在海边由于空气中水分较大并且含盐量较高，在工业区又有大量的腐蚀性气体，因此对于钢材的防腐蚀性能要求就更高。因此，应优先选择耐候钢等具有良好耐大气腐蚀能力的钢材，这类钢材加入一定量的铜、磷、铬、镍等合金元素，在金属基体上生成一层致密的保护层，防止空气中的氧气、水汽以及其他腐蚀性的物质与钢材接触而造成腐蚀，降低腐蚀速率，提高钢材寿命。

表面处理可以去除钢材表面的锈蚀、油污等杂物，有利于后续防护涂层的粘结，同时也可提高钢材本身的耐腐蚀性能。常用的表面处理方法有喷砂除锈、抛丸除锈等物理方法，在较高压力下把砂子或者钢珠高速喷射到钢材表面上，把钢材表面的锈层、氧化皮等全部去除，使钢材表面有一定的粗糙度，从而提高涂层对钢材的附着力。另外也可以用化学酸洗除锈的方法，通过酸溶液与钢材表面的氧化物发生化学反应而除去这些氧化物，但是酸洗之后必须经过彻底冲洗并中和，以免残余的酸液继续腐蚀钢材。

在进行表面处理之后，尽快给钢材刷上防锈涂料也是很重要的一个步骤。防锈涂料有很多种类，有油漆型、金属型以及无机富锌型等。油漆型防锈涂料颜色鲜艳，美观大方，而且有一定的防锈能力，在根据建筑物所在位置及美观需求选择不同类型的油漆，例如：环氧树脂漆、聚氨酯漆等。金属型防锈涂料如热镀锌、热喷铝等，是在钢表面覆盖一层金

属以防止钢与腐蚀性物质接触从而起到良好的防锈效果并且寿命长。而无机富锌型防锈涂料因为其良好的阴极保护性能以及耐温性而被大量用于海边或者化工厂等恶劣工况下使用的钢结构建筑中。在涂装时要根据涂装工艺的要求进行施工，控制好涂层的厚度、均匀性等方面，保证涂层的质量达到规定的要求，从而对钢材起到良好的防护作用。

3.2 完善结构设计细节，降低结构应力集中与腐蚀风险

钢结构建筑设计不仅要满足力学性能的要求，还要充分考虑到耐久性的要求，在设计上做好细节的工作，防止结构内应力过大以及腐蚀的发生，保证整个建筑物的安全性和耐久性。应力集中是造成钢结构疲劳破坏以及加速腐蚀的主要因素，在设计时要尽可能避免有截面突变、孔洞或者切口的地方出现，如果无法避免的话，可以采用圆滑过渡的方式来处理，比如圆弧过渡或渐变截面等方式来减小应力集中程度。另外，在排布构件时也要注意不能让它们之间互相影响产生很大的约束力或者是附加的压力，以保证在日常使用以及受到外力的时候能够良好工作。

水是引起钢材锈蚀的一个重要因素，如果钢结构建筑有积水或者渗漏情况发生，则会使钢材锈蚀速度加快，缩短建筑物寿命。所以在设计时要充分考虑建筑防水、排水，在合理设置排水坡度、排水沟以及防水层的基础上使水可以迅速地流出建筑物外，不能让其停留在建筑物上或内部。另外对于那些易积水的位置如屋顶、外墙等要使用防水效果好的材料对其进行包裹并做好一些细部节点部位防水措施比如屋顶与外墙相交处、窗框门口边缘等以阻止水分进入结构内部。

良好的通风可以降低结构内的湿度，减少腐蚀性气体的积累，从而减慢钢材腐蚀的速度，在结构的设计上应考虑建筑的功能以及所处环境，设置合适的通风孔、通风道等通风措施以保证结构内有良好的通风。对一些密闭或者半密封的空间，例如设备间、仓库等，应采用机械通风方式加强空气流通，使室内干燥。

3.3 加强施工过程管理与维护保养，确保结构长期稳定运行

施工阶段的质量控制对于钢结构建筑物的使用寿命起着非常重要的作用，在施工时要按图纸以及相关施工标准来进行工作，做到每一道工序都要达到质量要求。加强施工人员培训与管理，提升施工人员的质量意识及技术水平，使他们了解钢结构施工工艺及要点，熟练掌握各种施工机械、工器具等，从而保证工程质量。

焊接是钢结构施工的重要环节，焊接质量对整个结构的安全性和使用寿命起着决定性作用，在焊接时要选用适当的焊接材料以及焊接方法，合理调节焊接参数，例如焊接电流、电压、焊接速度等，使焊缝达到规定的要求。同时加强对于焊缝的质量检查工作，可以使用超声波探伤或 X 射线探伤等方式，发现焊缝中存在的问题并进行修复，保证焊缝的质量。

钢结构建筑在使用中会受到各种自然条件以及外力的作用而使结构性能逐渐降低。因此，对钢结构建筑进行必要的维护与保养以保证其良好发挥功能以及延长使用寿命是非常重要的。维护与保养主要包括定期检查、清理以及防锈等工作。定期检查可以及早发现结构中的问题如钢材锈蚀、焊缝断裂、构件弯曲等问题并对其进行修复等。清理可以清除结构表面的尘土、油污等从而让结构看起来更加美观同时也便于防锈层更好地粘结和起到作用等。防腐处理是根据结构腐蚀程度，对防腐涂层修补或者重新涂覆，使结构一直保持良好防腐效果。

4 结论与展望

钢结构建筑的轻量化以及提高其寿命对于建筑行业的发展有着重要的作用。而轻量化是以合理的结构体系、优质的材料、先进的连接方式实现的；而提高寿命则是通过选择合适的材料、科学的设计、严格的施工来保证的。这样就可以使钢结构建筑不仅能满足使用功能的要求，而且可以更好地符合社会发展的需要。今后还需要进一步研究开发新的技术，促进钢结构建筑的技术水平不断提高，从而促进我国建筑业的发展。

参考文献

[1] 刘馨雨. 泡沫陶瓷在装配式钢结构建筑中的应用与发展前景 [J]. 佛山陶瓷, 2025, 35 (08): 49-52.

[2] 刘春红. 装配式轻量化工业建筑钢结构设计应用 [J]. 城市建设, 2025, (15): 46-48.

[3] 宗明奇,王克强,刘彪. 绿色低碳理念下装配式钢结构建筑的结构设计与可再生能源集成技术研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (06): 111-113.