

浅析超高层建筑钢结构的施工要点

吴钟毓

上海理工大学 海南 海口 570100

摘要：超高层建筑钢结构施工要点包括精细化设计、构件精确制作、高效吊装与精准安装。施工前需精心规划，确保构件尺寸精度；施工中注重焊接与螺栓连接的质量控制，采用高效吊装技术保证构件准确就位；同时，加强安全管理，实施实时监测，确保结构稳定，满足超高层建筑对强度、刚度和安全性的高要求。

关键词：超高层建筑；钢结构；施工要点

引言

近年来，伴随着国家经济水平的快速发展，超高层建筑不断出现。而钢结构这一材料由于强度高、自重轻、可预制品性强等优势在超高层建筑中广泛应用。掌握把控技术要点，为指导现场钢结构施工意义重大。

1 工程概况

以海南中心项目为例，该超高层建筑的总建筑面积达391389.48m²，地上建筑面积为277583.8m²，地下建筑面积为113805.68m²。该建筑主要由一栋428米塔楼及两栋裙楼组成。主塔楼地上共94层，地下共4层。从结构设计的角度，该塔楼的结构形式为巨型支撑框架核心筒-伸臂桁架抗侧结构体系。此种结构设计不仅能提供足够的抗侧刚度，而且在提高建筑物整体稳定性的同时，有效减轻结构重量。

2 超高层建筑钢结构的特点

2.1 高强度、刚度大、稳定性好

(1) 钢结构的物理特性。钢结构以其高强度著称，这得益于钢材优异的力学性能。相比传统建筑材料如混凝土，钢材具有更高的抗拉、抗压和剪切强度，使得钢结构在承受巨大荷载时仍能保持稳定的结构形态。高强度意味着在相同承载力下，钢结构所需的材料截面面积更小，有助于减轻结构自重，提高建筑的经济性和空间利用率。(2) 对抗震、抗风性能的提升。超高层建筑面临的主要挑战之一是抵抗地震和风荷载的作用。钢结构因其良好的弹塑性变形能力，能在地震发生时吸收并分散能量，减少结构损伤。同时，钢结构的整体刚度和稳定性有助于抵御强风引起的动态效应，确保建筑物的安全稳定。通过合理的设计，钢结构体系能够显著提高超高层建筑的抗震、抗风能力。

2.2 轻量化，减轻建筑自重

(1) 钢材的密度和重量的优势。钢材的密度相对较低，约为混凝土密度的四分之一至三分之一，这意味着

在提供相同承载力的情况下，钢结构所需的材料质量远低于混凝土结构。轻量化不仅减少了材料运输和施工过程中的能耗，还显著减轻了建筑物的整体重量^[1]。(2) 减小地基承载压力，提升结构效率。减轻建筑自重对于超高层建筑尤为重要，因为高层建筑的荷载主要通过地基传递到地下。钢结构轻量化特性有助于减小地基的承载压力，降低了地基处理难度和成本。同时，轻量化还有助于提升结构效率，使得设计师能够更灵活地布局空间，优化结构性能。

2.3 工厂化生产，高精度和一致性

(1) 钢结构构件的工厂化加工。现代钢结构制造多采用工厂化生产方式，通过精密的数控机床和自动化生产线，确保每一个构件的尺寸精度和形状准确性。工厂化生产不仅提高了生产效率，还有效控制了构件的质量。

(2) 生产过程中的质量监控。在钢结构生产过程中，严格的质量管理体系确保每一步工序都符合标准。从原材料检验、切割、焊接、拼装到最终检验，每一步都有严格的质量控制措施，保证了构件的高质量和一致性。

2.4 设计灵活，满足多样化需求

(1) 钢结构的可塑性和可设计性。钢结构以其高度的可塑性和可设计性著称，能够满足各种复杂造型和功能需求。设计师可以充分利用钢材的力学性能，创造出既美观又实用的建筑形态。(2) 适应不同建筑风格和创意需求。无论是现代简约还是古典繁复的建筑风格，钢结构都能灵活适应。其可塑性和易加工性使得设计师能够将创意转化为现实，满足业主多样化的审美和功能需求。此外，钢结构还支持模块化设计，便于施工和维护，进一步提升了建筑的实用性和经济性。

3 超高层建筑钢结构施工要点

3.1 钢板墙（钢骨柱）安装

3.1.1 钢板墙与钢筋的相互制约

为确保核心筒整体刚度，受结构形式限制，核心筒

重要受力构件采用钢板墙（钢骨柱）或钢连梁-钢筋混凝土形式。随着钢结构的插入，使得原本绑扎空间十分紧凑的钢筋工程更难以开展。通过钢结构深化设计时充分考虑钢筋排布，在钢构件深化加工时通过增设搭筋板、在满足钢板墙截面要求的情况预留穿筋孔洞及在钢板墙上预设套筒的方式，能够使钢筋穿透钢结构或是和钢结构紧急结合，有效缓解钢结构与钢筋冲突，现场施工能最大程度的满足图纸设计要求。同时，钢构加工厂提前施焊、预留，能够提高现场施工效率，减少现场动火，为现场安全提供技术保障。

3.1.2 钢板墙的变形控制

在现场施工过程中，钢板墙的变形主要来自于焊接变形。为有效控制焊接变形，可通过以下几点来减少变形：（1）如果是单面坡口焊缝，每间隔一段距离，设置一道临时连接板。对于较长的焊缝位置，坡口方向每间隔一段距离进行反向。（2）如果是双面坡口竖焊缝，每间隔一段距离，设置一道临时连接板固定。在进行焊接时，正面先焊接一半，然后转到反面焊接，待反面焊接完成后再完成正面的另一半。整体采用“先两边，后中间”的顺序进行焊接，每条焊缝采用多人、分段、退焊的方式焊接^[2]。

3.2 钢柱、斜撑、桁架安装

3.2.1 斜撑安装定位

后台人员借助tekla软件对斜撑进行三维建模，准确定位分段尺寸及坐标。由于1-7层斜撑无横向拉结，为保证精准定位，利用塔吊电梯标准节及部分自制胎架，搭设支撑胎架。斜撑起吊时，通过倒链调节倾斜角度，利用经纬仪或全站仪进行测量以符合模型要求。其他楼层斜撑，有横向钢梁拉结定位，无需设置支撑胎架。

3.2.2 超大钢柱吊运

超大钢柱最大分段长度为4m，最大直径为4.2m，最大重量近50t，考虑现场转运需要，搭配一台50t和一台100t汽车吊用于材料转运，并对100t汽车吊装及钢柱堆载进行地下室顶板受力计算。为确保钢柱正常安装，需在钢柱未起吊时，先将操作平台在地面上进行搭设，并附有标准化钢爬梯，待安装就位后，工人登上操作平台进行临时连接固定^[3]。

3.2.3 环带桁架合龙

（1）提前熟悉图纸，与桁架相连接的所有构件及连接板提前深化设计，确保深化图纸符合现场安装要求；根据深化图纸，架构件出厂前，对架连接节点部分进行工厂预拼装，确保构件加工的准确性；（2）吊装前，对桁架节点处构件焊接工艺进行分析，对比焊接工艺，选择

合理的焊接顺序：下弦杆→斜腹杆→上弦杆，能够有效避免焊接变形，以达到设计要求精度；（3）由于桁架层结构复杂，体量大，现场对接口多，因此在环带桁架出厂前，利用三维扫描技术，对已加工构件进行虚拟预拼装，以确定构件制作精确，确保构件运至现场能够顺利安装。

3.3 钢梁安装

3.3.1 垂直吊装效率

为确保钢结构施工进度，海南中心项目安排两台塔吊提供钢结构安装，分别用南北两侧钢结构错开吊装。同时，受制于钢巨柱、斜撑、桁架等大型钢构件的吊装，留给钢梁的塔吊使用时长更是少之又少。因此，在超高层建筑施工过程中，使用大小梁串吊的方式，节省材料往返运输时间，提高安装效率。

3.3.2 节点连接改围焊

钢梁在实际安装过程中，或多或少会存在安装误差。有一部分是由于相邻钢构件安装造成；有一部分则可能是核心筒结构施工留下的偏差进而影响预埋件的定位。这样的安装误差，将会造成原先预留的螺栓孔无法对上。为此，在设计复核允许的情况下，可以采取围焊的方式进行补强连接^[4]。

3.4 钢筋桁架楼承板施工

3.4.1 施工准备阶段

（1）材料检查。检查钢筋桁架楼承板的规格、型号是否符合设计要求。重点查看钢筋的直径、间距、桁架的高度等参数。例如，对于设计要求桁架高度为70mm的楼承板，需要使用量具进行测量，误差应控制在允许范围内。检查楼承板的外观质量，应无明显的变形、扭曲、裂纹等缺陷。压型钢板的表面镀锌层应均匀，无剥落、锈蚀等现象，因为镀锌层主要起防腐作用，若有损坏会影响楼承板的使用寿命。对配套的栓钉等连接件，要检查其规格、材质证明文件，确保其性能符合要求。栓钉的焊接瓷环也应保证质量，它对栓钉的焊接质量有重要影响。（2）场地清理与放线。清理施工现场，确保施工区域无杂物、积水等。对于钢结构建筑，要将钢梁表面的油污、铁锈等清理干净，保证楼承板与钢梁的良好贴合。根据设计图纸进行放线，弹出钢梁的中心线、楼承板的铺设控制线等。放线的精度直接影响楼承板的铺设位置是否准确，一般放线误差应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。

3.4.2 铺设阶段

（1）铺设顺序。楼承板的铺设应按照设计要求的顺序进行。一般从钢梁的一端开始向另一端铺设，并且要遵循先铺设下层钢筋桁架，再铺设上层钢筋桁架的原

则。如果建筑平面为不规则形状,应从核心筒或结构柱等位置开始向外铺设。(2)与钢梁的连接。楼承板与钢梁的连接方式主要有栓钉连接和点焊连接。栓钉连接时,栓钉的规格、间距要符合设计要求。以海南中心项目为例,栓钉间距为200mm。栓钉焊接前要进行试焊,调整好焊接参数,确保焊接质量,焊接后要检查栓钉的高度、垂直度等。采用点焊连接时,焊点应均匀分布。焊点的质量要求牢固,无虚焊、漏焊现象,焊接完成后要清理焊点周围的焊渣。(3)相邻楼承板的连接。相邻楼承板之间的连接主要通过板侧的咬边、扣合等方式。在铺设过程中,要确保相邻楼承板的边缘紧密贴合,连接牢固。对于有搭接要求的楼承板,搭接长度应符合设计规定,一般不小于一定的数值,如50mm。并且在搭接部位要进行适当的固定,防止在后续施工过程中出现松动。

4 超高层建筑钢结构施工中的关键问题及解决方案

4.1 构件制作的质量控制

在超高层建筑钢结构施工中,构件制作的质量控制是确保整个结构安全稳定的关键。(1)工厂加工中的质量监控。为了确保构件的精度和质量,必须在工厂加工过程中实施严格的质量监控。首先,应对原材料进行严格筛选,确保其化学成分和力学性能符合标准。其次,在加工过程中,采用先进的数控机床和自动化生产线,确保构件尺寸精度和形状准确性。同时,定期对生产设备进行维护和校准,避免因设备问题导致的加工误差。此外,建立严格的质量管理体系,对每一步工序进行严格检验,确保不合格产品不流入下一道工序。(2)构件的严格质量检测。在构件出厂前,应进行全面的质量检测。这包括无损检测(如超声波检测、射线检测)以检查焊缝和母材的缺陷,以及力学性能测试(如拉伸试验、冲击试验)以验证材料的力学性能。通过这些检测手段,可以及时发现并修复潜在的质量问题,确保构件在施工现场的安全使用。

4.2 施工中产生的噪音和污染

超高层建筑钢结构施工往往伴随着噪音和污染问题,这对周边环境和居民生活造成一定影响。(1)噪声控制措施。为了减少施工噪音,可以采取多种控制措施。首先,选用低噪音的施工设备和工艺,如使用静力压桩代替锤击桩,以降低噪音产生。其次,合理安排施工时间,避免在夜间或居民休息时间进行高噪音作业。同时,在施工现场设置隔音屏障和隔音罩,以有效隔绝

噪音传播。此外,对施工人员进行噪音防护培训,提高其对噪音危害的认识和防护能力。(2)环保施工技术的应用。在施工中,应积极推广环保施工技术。例如,使用环保型焊接材料和低挥发性有机物的涂料,减少有害气体排放;对施工现场的扬尘进行严格控制,采用洒水降尘、覆盖防尘网等措施;对废弃物进行分类处理,实现资源循环利用和减少环境污染。通过这些措施,可以有效降低施工对环境的影响。

4.3 高技术要求与施工工人的培训

超高层建筑钢结构施工对技术人员和施工工人的技术水平要求较高。(1)技术人员的高水平要求。技术人员应具备扎实的专业知识和丰富的实践经验,能够熟练掌握钢结构施工的技术规范和标准。同时,他们还应具备创新能力和解决问题的能力,以应对施工过程中出现的各种复杂情况。为了提高技术人员的专业水平,可以定期组织培训和交流活动,邀请行业专家进行授课和指导。

(2)施工工人的培训与技能提升。施工工人的技能水平直接关系到施工质量和安全。因此,应加强对施工工人的培训和技能提升工作。通过组织定期的技能培训、现场指导和考核评估等手段,提高工人的操作技能和安全意识。同时,鼓励工人参加职业资格认证考试,提升其职业竞争力。通过这些措施,可以确保施工队伍具备高素质和高技能水平,为超高层建筑钢结构施工提供有力保障。

结语

超高层建筑钢结构施工是一项复杂的系统工程,充分了解、掌握各构件的施工要点,有利于将质量与安全管控贯穿全程。把控各环节要点,以精细管理、先进技术应对施工难题,方能高效优质建成超高层建筑钢,推动建筑行业向更高水准迈进,塑造城市天际线新风貌。

参考文献

- [1]董永新,陈西鹏.超高层建筑钢结构安装施工技术的应用要点分析[J].建筑技术开发,2024.(02):17-19.
- [2]贺卜,程庚等.超高层建筑钢结构施工关键技术及措施分析[J].中国建筑装饰装修,2024.(25):163-165.
- [3]张汝超,张云鹏,等.超高层建筑钢结构施工技术研究与应用[J].建筑结构,2023.(12):184-185.
- [4]杨宗勉.某超高层建筑钢结构施工技术重点难点分析[J].建设科技,2024.(10):86-88.