

建筑钢结构稳定性设计要点探讨

郑子谦

中铁上海设计院集团有限公司

摘要：钢结构因其出色的性能在现代建筑工程中被广泛应用。但因其结构轻盈，钢结构易发生稳定问题。本文将针对建筑钢结构稳定性设计要点展开论述，在工程实践中尽量避免出现钢结构失稳问题。主要探讨稳定性设计原则、稳定性关键要点、失稳类型、稳定性验证方法、稳定性提升对策五方面内容，以期通过合理的评判与对比，在高度践行绿色设计理念的过程中，实现建筑钢结构建设质量安全和效益提升。

关键词：结构设计；稳定性；建筑钢结构；设计原则；验证方法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.108

引言

建筑钢结构指在建筑施工过程中，采用钢材为主体结构材料的结构形式。钢结构强度相对较高，具有很强的变形能力，能够适用于高耸型和跨度较大的建筑。钢结构具有可回收、易拆除的特点，在工程实践中应用钢结构不仅可以有效减少工期，还能提升建筑工程施工质量与效率，提高材料的重复利用率。但钢结构因结构轻盈易发生稳定问题。为避免出现结构失稳情况，在钢结构设计工作中要能基于建筑工程钢结构设计原则、设计要点等方面进行综合性考虑。以围绕提升建筑钢结构整体稳定性为核心，重点提升钢结构耐热性、耐腐蚀性，以期充分发挥建筑钢结构的应用优势。

一、建筑钢结构设计中稳定性的设计原则

（一）配合性

钢结构组件多以焊接等刚性连接方式，针对简单的钢结构进行组装，然后形成大型钢结构建筑物^[1]。所以，在设计钢结构的时候，要特别考虑钢结构组件结构、形状以及功能，尽可能以发挥组件性能为前提，提高组件之间的配合性，从而增强钢结构强度，保证建筑钢结构整体稳定性。

（二）统一性

要想实现钢结构稳定性设计目标，需要针对钢结构承载力进行计算。即提前确定设计框架与框架的平衡性预期参数值。但是，进行钢结构设计时，要开展平衡性计算，并根据实践经验计算钢结构稳定性。若设计过程中缺少平衡性计算关键数据，可能会影响组件之间的稳定性。因此，在设计钢结构的时候，要遵循统一性原则，同步计算平衡性与稳定性。

（三）稳定性

钢结构平面上的稳定性影响钢结构整体稳定性，只有各组件在平面上保持稳定，才能降低立柱建造过程中发生结构失稳现象的概率。因此，在设计钢结构平面

图纸的时候，需要遵循钢结构建筑物的差异化要求，围绕钢结构支撑部分进行重点考虑，以保证钢结构水平层面上的稳定性。

（四）合理调整结构

随着不对称式建筑的普及，斜柱钢结构开始“量产”。但斜柱的倾斜角度要大于垂直立柱，要承受更大的剪应力。然而，设计师在进行建筑设计工作期间，通常会将垂直立柱直接转换为斜式立柱，不仅影响了钢结构整体结构稳固性，同时也影响了钢结构剪应力调整精确性^[2]。因此，为避免出现经验性做法，进一步提高钢结构整体承载压力强度，设计人员需要遵循科学调整剪应力的原则，完成高质量地设计工作。

二、建筑钢结构设计中稳定性的关键要点

（一）加固设计

首先，在设计加固构件截面的时候，可通过设计多个受弯的方式，分散集中载荷，调整钢结构顶部支撑力。而对于用来支撑支座和简支的位置的钢结构，可通过调整钢结构连续结构位置的方式，保证为结构顶端提供支撑力。其次，对于节点部位，需要着重进行加固处理。具体来说，需要遵循钢结构受力情况，分析施工条件及要求，采用焊接螺栓或铆钉的方式，完成加固衔接处理。

（二）结构选型

在进行结构选型工作期间，为进一步提高建筑钢结构整体稳定性，需遵循以下几点原则：第一，保证钢结构平面的规整和对称，并尽可能重合钢结构质量中心以及刚度中心，借此避免在地震时出现结构扭转效应^[3]。第二，为提升钢结构稳定性，减少钢结构因自然灾害产生的不利影响，应尽可能应用底部为T型、L型或U型的钢结构，避免使用细腰型、角部重叠的钢结构。

（三）防火设计

在环境温度超过540℃时，建筑钢结构整体负载能力会明显降低，继而影响结构稳定性，这是因为建筑钢结构缺少良好的耐火性。所以，设计人员进行防火设计工作期间，需要将具有良好防火性能的涂料涂抹在钢结构表面，进一步增强钢结构的阻燃性。此外，在展开具体建筑钢结构施工设计工作时，需要应用防火板包敷方式保护钢结构。

（四）构件设计

构件设计直接影响建筑钢结构稳定性。所以，在进行构件设计工作期间，应严格遵照钢结构设计标准要求，选择合适的型钢材料，并着重观察建筑钢结构节点连接稳定性。同时在安装构件的时候，为保证结构扩散性以及力学传导性不受影响，需要保证整个结构的平衡状态。此外，为保证柔性结构的稳定性，需要科学运用二阶法。

（五）防腐设计

钢结构稳定性会受日照、降雨或大雾天气影响而出现腐蚀现象。因此，在设计钢结构的过程中，为有效减少钢结构腐蚀现象，要求设计人员必须结合区域条，通过采用涂抹抗腐蚀性表面涂料的方式，增强钢结构在高湿及高温环境下的耐腐蚀性。

三、建筑钢结构设计中不稳定性分类

在钢结构设计中，准确识别钢结构失稳类型十分重要，这是估算钢结构稳定承载力的重要依据。一般来讲，钢结构设计失稳类型主要包括以下三种^[4]。其一，极值点失稳。此种失稳情况不属于分叉情况，而是指利用钢材制作偏心受压钢构件时，由于塑性超出极限结果，而产生的失稳现象。其二，分支点失稳。与极值点失稳不同，分支点失稳是对分叉稳定性的平衡，例如由于发生直杆轴心受力、平板中面优化而出现的曲折情况。其三，跃越屈曲失稳。此种失稳情况与以上两种情

况不同，是指结构从一个稳定平衡状态转换到另一个平衡稳定状态时，出现的失稳现象。

四、建筑钢结构设计中稳定性的验证方法

(一) 判定长细比

建筑钢结构长细比数值若相对较大，则稳定性较差。因此，在钢结构设计中，要综合性考虑设计规范要求及相关因素，准确分析长细比。通常来讲，在判定长细比的时候，常见方法包括计算法和几何法^[5]。即要想较为精准计算出钢结构稳定性设计参数，提升钢结构整体稳定性，须将长细比控制在承载力范围内。

(二) 分析阻尼数值

对钢结构稳定性进行分析时，需重点分析阻尼数值。通常来讲，如果阻尼比始终在稳定数值范围内进行波动，则钢结构稳定性较好。其中，钢结构阻尼数值具体参数如下表所示：

表1 钢结构阻尼数值参数

序号	具体情况	具体参数
1	罕遇地震弹性、塑性分析	阻尼比=0.05
2	地震恒力矩高于倾覆力矩	<50m, 阻尼比=0.045 50-200m, 阻尼比=0.035 >200m, 阻尼比=0.025
3	多遇地震	<50m, 阻尼比=0.04 50-200m, 阻尼比=0.03 大于200m, 阻尼比=0.02

(三) 动力设计法

动力设计法是分析和计算建筑钢结构动态稳定性的方法。在运用该方法的过程中，需要重点关注以下四点内容：一是通过钢结构应力，明确钢结构振动加速及结构变形，并以此为基础正确反映钢结构轻微震动程度。二是若钢结构加速度与形变方向统一，则意味着钢结构已满足最大负载条件，可依托动力设计法消除干扰负载，但此种方法可能会影响钢结构的稳定性^[6]。三是动力设计法的合理应用，可平衡钢结构加速度与形变方向关系，并促使钢结构静态荷载数值发生变化，即让钢结构整体向静态结构转变，并达到稳定状态。四是根据钢结构荷载判定静态与动态界限，并以振荡频率为零作为限制性条件，分析钢结构稳定性。以上四点内容，是应用动力设计法验证建筑钢结构稳定性的关键要素。

(四) 静力设计法

通常可将静力设计法称为欧拉设计法，该方法在应用过程中，需要利用钢结构稳定性最大承载力计算钢结构弹性系统。在静力设计法实际应用中，为提升钢结构整体稳定性，需要重点关注以下四点内容：一是只有钢结构材料应力应变满足胡克定律线性关系要求时，才可使用静力设计法进行设计计算。二是若力学与结构符合相对假定要求，则在应用静力设计法时可确定微分方程。三是在通常情况下，只有静力计算模型可针对钢结构弹性受力进行全面反映，才能应用静力设计法。四是为提高施工过程的精准程度，避免出现计算模型应用偏差，应注重提高施工操作的合理性。

(五) 塑性设计法

塑性设计法是指标准塑性安全系数与荷载乘积明显大于钢结构元件强度。而在应用该方法的时候，为提高钢结构稳定性验证结果的准确程度，应重点关注以下三点内容：一是在分析钢结构内部强度时，一般会应用到刚性分析或一阶塑料分析。二是可利用塑性设计法，在明确钢结构材料达到结构可塑性标准后，实现结构内力的重新分配。三是在设计限制横截面以及法兰尺寸的时候，为进一步凸显钢结构稳定性特点，可应用塑性设计法反应钢结构材料范围，继而为提升建筑整体结构稳定性作铺垫。

五、建筑钢结构设计中稳定性的提升对策

结合前文分析，为提升建筑钢结构设计中的稳定性，避免发生钢结构失稳问题，设计人员在展开结构设计工作期间，除了要遵循既定的设计原则、综合性考虑设计要点外，还需基于科学的钢结构稳定性验证方法，进行有效的稳定性验证工作^[7]。在此基础上，还需充分考虑施工难度因素、做好钢结构的受力分析、明确钢结构形式和布置等相应工作。

(一) 充分考虑施工难度因素

多种因素共同影响建筑钢结构稳定性，所以在制作钢结构前，设计人员需要综合性考虑以下几项因素：一是钢结构构件尺寸、施工阶段吊装便利性以及制作场地合理性等因素。二是认真分析钢结构焊接技术、焊接人员以及焊接设备是否符合钢结构施工质量标准。三是建筑钢结构稳定性还会受建筑场地面积、风动测试以及跨度分析等因素的影响。只有做好以上几点工作，才能充分预估建筑钢结构施工情景及施工难度影响因素，才能

通过有效的排查预测措施设计出符合规定要求的钢结构建筑方案。

（二）做好钢结构的受力分析

在钢结构具体设计环节，其受力水平是关键性指标。因此，钢结构设计工作中基于钢结构承重负载能力的考虑，以设计L型、T型、U型钢结构为主，分散建筑重量，使钢结构能够维持平衡状态。在此过程中，需对建筑钢结构进行动力分析和静力分析^[8]。第一，动力分析是指在钢结构垂直方向进行受力分析工作。即利用外力作用让钢结构在垂直方向上发生震动，然后通过观察钢结构振动变形情况以及速度，计算出钢结构垂直方向的受力临界值。第二，静力分析是指通过施加外力方式，观察钢结构细微形变。在此基础上构建平衡微分方程，计算出钢结构水平方向的受力临界值。总体来说，在完成受力分析工作后，可针对性调整与改进钢结构稳定性设计方式，避免在设计工作展开时因考虑不周而出现失稳问题。

（三）明确钢结构形式和布置

通常来讲，钢结构主要包括网架、轻钢、索膜、塔桅、框架等类型，每一种结构类型特征各有不同，在进行设计工作时，需在综合考虑工程要求以及结构特征基础上进行恰当选型。例如，在对建筑轻钢工业仓房进行设计工作期间，为进一步满足移动荷载以及悬挂荷载要求，设计人员应采取网架钢架取代门式钢架。再比如，对于建筑屋面覆盖跨度较大的情况，设计人员可采用索膜结构完成设计工作。

（四）做好钢结构的变形分析

在构建钢结构时应着重考虑荷载类型因素，但由于钢结构荷载类型包括可变荷载、永久荷载以及偶然荷载等，不同荷载意味着在不同影响因素下，钢结构可能会出现不同程度的变形问题。为保证钢结构设计工作的合理性与实用性，需要分别考虑荷载类型所对应的标准值，然后在规定范围内，完成钢结构稳定性的设计工作。

（五）合理使用复合材料加固

考虑到钢结构材料耐腐蚀性以及耐用性相对较低，为避免钢结构在使用过程中发生严重的腐蚀问题而出现结构失稳现象，设计人员在制作加工钢材时，应着重考虑钢材强度以及硬度要求，在提高原材料质量、保证原材料配合比的前提下，应用复合材料加固钢材表面。通常来讲，复合材料加固钢材表面需要借助纤维的作用，在降低二次加固以及钢结构修复工作难度的同时，延长钢结构使用寿命，提高钢结构使用耐久性和稳定性。

（六）做好其他细节上的设计

其他细节上的设计主要是指做好防腐设计、做好防火设计以及做好抗震设计。首先，做好防腐设计。潮湿环境可能会氧化钢结构，让钢结构表面发生严重腐蚀，从而大幅度缩小钢结构构件界面，并且在受力部位会集中出现锈斑，容易影响钢结构使用寿命。此时，建议设计人员能够遵循建筑环境，优化钢结构防腐设计方案^[9]。例如，可在钢结构表面涂抹电阻大、附着力强、

收水性强的防腐蚀涂料，以形成可有效阻隔钢结构与外部环境接触的保护膜。其次，做好防火设计。外部温度变化影响可能会降低钢结构稳定性，因此设计人员在开展设计工作期间，需要深入施工现场进行考察工作，并以此为基础制定合理的设计方案。具体来说，可通过以下两点措施，优化钢结构防火性能。第一，结合根据建筑特征，优化钢结构稳定性设计方案。其中，在该方案中包括钢结构位置、经济预算、防火后钢结构承重情况、空间占据面积等相关内容。第二，着重考虑建筑防火等级，确定钢构件，借此降低火灾对钢结构稳定性的不利影响；科学利用防火层，减小钢结构的传热系数，延长钢结构耐火时间。最后，做好抗震设计。具体是指选择坚硬或中硬场地实施建筑建设工作，利用场地优势降低地震时钢结构稳定性影响；设计人员需要结合考虑建筑使用性能以及建筑环境因素，在屋架与屋面板、墙和柱、屋架与柱子间设计均匀对称的钢结构，明确结构传力，规避节点破坏；优化设计钢结构布局，即通过保证建筑钢结构形状与结构的对称，减少钢结构重力中心与质量中心出现过大大偏离，从而均匀分布抗震结构刚度和承载力。

结语

文章主要探讨建筑钢结构稳定性设计要点，在明确建筑钢结构设计中配合性、统一性、稳定性和合理调整结构的稳定性设计原则后，总结建筑钢结构设计中加固设计、结构选型、防腐设计、构件设计、防火设计等要点内容。随后，通过总结当前造成建筑钢结构失稳的类型、建筑钢结构设计稳定性验证方法，针对提升建筑钢结构设计中的稳定性展开进一步论证，并提出从钢结构变形、钢结构受力以及钢结构步骤等方面入手的建议。

参考文献

- [1] 杨晓东, 张雪媛, 李杰, 张建科, 李倩. 建筑钢结构钢板表面形貌对多次反射法探伤影响的研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(14): 46-52+83.
- [2] 蔡君伟. 建筑钢结构行业的发展趋势及发展的战略目标[J]. 四川建材, 2023, 49(07): 254-256.
- [3] 陈雄雄. 建筑钢结构技术应用原则及质量控制要点[J]. 大众标准化, 2023, (11): 22-24.
- [4] 路斌. 工业建筑钢结构设计中存在的问题与应对策略[J]. 四川水泥, 2023, (06): 95-97.
- [5] 张朝阳. 建筑工程中钢结构设计的稳定性原则及设计探讨[J]. 陶瓷, 2023, (03): 143-145.
- [6] 宗德新. 基于DFMA的装配式钢结构住宅设计研究[D]. 重庆大学, 2022.
- [7] 郑超毅. 钢结构设计在房屋设计中的重要性策略探讨[J]. 中国建筑装饰装修, 2021, (10): 126-127.
- [8] 李述祥. 浅析工业建筑钢结构设计中轻钢和重钢的差异[J]. 低碳世界, 2021, 11(08): 138-139.
- [9] 宣泽明. 新型盒式模块化建筑钢结构连接节点力学性能研究[D]. 广州大学, 2021.