

高层建筑钢结构整体稳定性鉴定指标体系构建

邓小海

浙江绿建检测有限公司, 浙江 温州 325000

[摘要]对于高层建筑钢结构整体稳定性缺乏统一系统化鉴定指标的问题, 结合其受力特点以及稳定性的相关影响因素, 构建一套可操作性、科学的鉴定指标。本研究基于指标体系构建的原则, 制定了4个一级指标, 分别是结构体系、构件性能、连接节点以及环境影响, 同时细化了若干个二级、三级指标, 进一步提升鉴定工作的规范性和准确性, 确保高层建筑钢结构整体稳定性, 以供参考。

[关键词]高层建筑; 钢结构; 整体稳定性; 鉴定指标体系; 综合评价

DOI: 10.33142/ec.v9i1.18866

中图分类号: TU391

文献标识码: A

Construction of the Overall Stability Evaluation Index System for High-rise Building Steel Structures

DENG Xiaohai

Zhejiang Green Building Testing Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: To address the issue of the lack of unified and systematic evaluation indicators for the overall stability of high-rise building steel structures, a set of operable and scientific evaluation indicators is constructed based on their stress characteristics and relevant factors affecting stability. Based on the principle of constructing an indicator system, this study developed four primary indicators, namely structural system, component performance, connection nodes, and environmental impact. At the same time, several secondary and tertiary indicators were refined to further improve the standardization and accuracy of identification work, ensuring the overall stability of high-rise building steel structures for reference.

Keywords: high-rise buildings; steel structure; overall stability; identification index system; comprehensive evaluation

引言

钢结构凭借其质重轻、强度高、可循环利用等优势, 在高层建筑中得到了广泛的使用。然而随着建筑高度的突破、构件数量增多, 在长期使用过程中, 钢结构面临的力学挑战与环境影响愈发复杂, 其整体稳定性易出现下降, 甚至严重时可导致结构坍塌等意外事件。目前我国高层建筑钢结构稳定性鉴定工作多聚焦于单一构件(如柱、梁、支撑)的稳定性验算, 传统鉴定依赖人工检测与经验分析, 缺乏系统性和针对性。当前, 学术研究主要集中在对钢结构单个构件稳定性的剖析以及局部稳定性的探究上, 而针对整体稳定性鉴定指标体系开展的系统性研究则相对匮乏。故而, 需要构建一套全面、可有效落地实施的高层建筑钢结构整体稳定性鉴定指标体系, 破解当前鉴定工作中指标失序、标准不统一的突出难题, 为高层建筑钢结构整体稳定性鉴定构筑统一的技术方法框架。

1 高层建筑钢结构整体稳定性鉴定指标体系构建原则

为构建科学合理、实用有效的高层建筑钢结构整体稳定性鉴定指标体系, 契合其特性与鉴定需求, 简化流程、规避冗余, 明确以下4项核心构建原则:(1)全面性: 全面覆盖结构体系、构件性能、连接节点、环境影响等核心因素, 避免遗漏, 真实反映稳定性; 兼顾“体系级”“构

件级”“节点级”评价, 兼顾整体与局部, 规避失稳失效风险;(2)科学: 指标选取基于受力机理与规律, 结合理论与规范, 有明确物理意义与依据; 标准、范围、权重科学合理, 层次清晰、逻辑严谨, 指标独立互补, 形成完整体系。(3)简洁实用: 体系简洁易操作, 选易获取、易计算的指标, 用常规检测手段获取数据并完成评价; 标准与取值方法明确统一, 减少主观判断, 便于推广。(4)动态适应: 整体稳定性动态变化, 受多种因素影响。体系应具有动态适应性, 随结构变化调整指标权重与标准, 适用于长期动态鉴定, 及时发现隐患, 兼顾不同类型、高度钢结构。

2 高层建筑钢结构整体稳定性鉴定指标体系构建

2.1 指标体系层次划分

基于影响因素分析与构建原则, 通过层次分析法将高层建筑钢结构整体稳定性鉴定指标体系分为目标、一级、二级、三级指标层4层, 总目标为“高层建筑钢结构整体稳定性综合评价”。

目标层: 核心是通过检测分析各层指标, 判断结构稳定性是否达标并划分等级。

一级指标层: 结合核心因素, 选结构体系(A)、构件性能(B)、连接节点(C)、环境影响(D)4个指标, 构成核心框架。

二级指标层: 每个一级指标下依规律和需求划3个二

级指标，共 12 个。

三级指标层：每个二级指标下选 28 个具体可检测量化三级指标，明确标准与取值方法。指标体系层次划分汇总如表 1 呈现。

表 1 指标体系层次划分明细

目标层	一级指标 (权重)	二级指标 (权重)	三级指标 (权重)
高层建筑 钢结构整体 稳定性 综合评价	结构体系指 标 (A) 0.35	结构布置规 则性 (A1) 0.40	平面布置规则性 (A11) 1/3
			竖向布置规则性 (A12) 1/3
			抗侧力体系完整性 (A13) 1/3
		结构刚度与 冗余度 (A2) 0.35	整体抗侧刚度 (A21) 1/3
			刚重比合理性 (A22) 1/3
			结构冗余度 (A23) 1/3
		结构抗倾覆 能力 (A3) 0.25	抗倾覆系数 (A31) 0.5
			基础沉降均匀性 (A32) 0.5
		构件性能指 标 (B) 0.30	构件材料性 能 (B1) 0.25
	钢材老化程度 (B12) 0.5		
	构件几何参 数 (B2) 0.40		柱长细比 (B21) 1/3
			梁板件宽厚比 (B22) 1/3
			构件截面尺寸偏差 (B23) 1/3
	构件损伤状 态 (B3) 0.35		构件裂纹情况 (B31) 1/3
			构件变形程度 (B32) 1/3
			构件截面削弱程度 (B33) 1/3
	连接节点指 标 (C) 0.25	节点刚度 (C1) 0.30	节点转角偏差 (C11) 0.5
			节点刚度均匀性 (C12) 0.5
		节点强度 (C2) 0.40	焊缝强度达标率 (C21) 0.5
			螺栓连接强度 (C22) 0.5
		节点损伤状 态 (C3) 0.30	焊缝损伤情况 (C31) 1/3
			螺栓损伤情况 (C32) 1/3
			节点连接完整性 (C33) 1/3
	环境影响指 标 (D) 0.10	腐蚀环境影 响 (D1) 0.40	腐蚀环境等级 (D11) 0.5
			防腐涂层完好率 (D12) 0.5
		温度变化影 响 (D2) 0.35	温度应力累积程度 (D21) 0.5
			防火涂层完好率 (D22) 0.5
	振动影响 (D3) 0.25	振动疲劳损伤程度 (D31) 1.0	

2.2 各层次指标具体内容及鉴定标准

2.2.1 结构体系指标 (A)

对应 3 个二级、8 个三级指标，鉴定标准依规范结合实际简化确定：

二级指标 1：结构布置规则性 (A1) 体现结构平面与竖向布置合理性，防受力不均与应力集中。

(1) 平面布置规则性 (A11)：无明显偏心 (偏心距 \leq 结构边长 5%)、无过大凹凸 (凹凸尺寸 \leq 结构边长 10%)

为合格 (1.0)；轻微偏心或凹凸 ($5\% <$ 偏心距 $\leq 8\%$ 、 $10\% <$ 凹凸尺寸 $\leq 15\%$) 为基本合格 (0.8)；严重偏心或凹凸为不合格 (0.5)。

(2) 竖向布置规则性 (A12)：结构竖向刚度、承载力无明显突变 (相邻楼层刚度比 ≤ 1.5 、承载力比 ≤ 1.3) 为合格 (1.0)；轻微突变 ($1.5 <$ 刚度比 ≤ 2.0 、 $1.3 <$ 承载力比 ≤ 1.6) 为基本合格 (0.8)；突变严重为不合格 (0.5)。

(3) 抗侧力体系完整性 (A13)：抗侧力体系完整均匀，无缺失损坏为合格 (1.0)；轻微缺失损坏 (不影响传力) 为基本合格 (0.8)；严重缺失损坏 (影响传力) 为不合格 (0.5)。

二级指标 2：结构刚度与冗余度 (A2)，反映结构抗变形与局部失效能力。

(1) 整体抗侧刚度 (A21)：结构顶点水平位移 \leq 规范限值 (风荷载 $\leq H/500$ ，地震荷载 $\leq H/400$ ，H 为总高度) 为合格 (1.0)；略超限值 ($H/500 <$ 位移 $\leq H/450$ 、 $H/400 <$ 位移 $\leq H/350$) 为基本合格 (0.8)；远超限值为不合格 (0.5)。

(2) 刚重比合理性 (A22)：弯剪变形高层钢结构，刚重比 ≥ 2.7 为合格 (1.0)； $1.4 \sim 2.7$ 为基本合格 (0.8)； < 1.4 为不合格 (0.5)。

(3) 结构冗余度 (A23)：超静定体系且有备用传力路径、无关键唯一构件为合格 (1.0)；超静定但备用传力路径不足为基本合格 (0.8)；静定体系且无备用传力路径为不合格 (0.5)。

二级指标 3：结构抗倾覆能力 (A3) 反映结构抗竖向荷载致倾覆失稳能力

(1) 抗倾覆系数 (A31)：抗倾覆系数 ≥ 1.5 为合格 (1.0)； $1.2 \leq$ 系数 < 1.5 为基本合格 (0.8)；系数 < 1.2 为不合格 (0.5)。

(2) 基础沉降均匀性 (A32)：基础不均匀沉降 \leq 规范限值 ($\leq 0.002L$ ，L 为相邻基础间距) 为合格 (1.0)； $0.002L <$ 沉降 $\leq 0.003L$ 为基本合格 (0.8)；沉降 $> 0.003L$ 为不合格 (0.5)。

2.2.2 构件性能指标 (B)

构件性能指标关乎单个构件承载与稳定能力，含 3 个二级、8 个三级指标。鉴定标准依钢材性能、构件几何参数及损伤状态确定，鉴定标准、取值及检测方法汇总如下表 2 所示。

2.2.3 连接节点指标 (C)

连接节点指标关乎节点传力与稳定性含 3 个二级、7 个三级指标，鉴定标准依节点刚度、强度和损伤状态确定：

二级指标 1：节点刚度 (C1) 反映抗变形能力。

(1) 节点转角偏差 (C11)： $\leq 0.005\text{rad}$ 合格 (1.0)； $0.005 \sim 0.008\text{rad}$ 基本合格 (0.8)； $> 0.008\text{rad}$ 不合格 (0.5)，转角大增结构变形。

表 2 构件性能指标鉴定标准、取值及检测方法

三级指标名称	合格 (取值 1.0)	基本合格 (取值 0.8)	不合格 (取值 0.5)	检测方法
钢材强度达标率 (B11)	达标率 $\geq 95\%$, 满足设计要求	$90\% \leq$ 达标率 $< 95\%$	达标率 $< 90\%$	取样实验室测试
钢材老化程度 (B12)	无明显老化锈蚀, 表面完好	锈蚀深度 \leq 钢材厚度 5%	锈蚀深度 $>$ 钢材厚度 5%	外观检测、厚度测量
柱长细比 (B21)	轴心受压 ≤ 150 , 偏心受压 ≤ 120	规范限值 $<$ 长细比 \leq 限值 +20	长细比 $>$ 规范限值+20	尺寸测量、计算
构件裂纹情况 (B31)	裂纹 $\leq 5\text{mm}$, 宽度 $\leq 0.1\text{mm}$	$5\text{mm} <$ 裂纹 $\leq 10\text{mm}$, $0.1\text{mm} <$ 宽度 $\leq 0.2\text{mm}$	裂纹 $> 10\text{mm}$, 宽度 $> 0.2\text{mm}$	超声波探伤
构件变形程度 (B32)	变形 \leq 规范限值	规范限值 $<$ 变形 \leq 限值 +20%	变形 $>$ 规范限值+20%	全站仪、激光扫描仪测量

(2) 节点刚度均匀性 (C12): 同一楼层偏差 $\leq 10\%$ 合格 (1.0); $10\% \sim 15\%$ 基本合格 (0.8); $> 15\%$ 不合格 (0.5), 不均致受力重分布与应力集中。

二级指标 2: 节点强度 (C2) 反映传力能力。

(1) 焊缝强度达标率 (C21): 达标率 $\geq 95\%$ 合格 (1.0); $90\% \sim 95\%$ 基本合格 (0.8); $< 90\%$ 不合格 (0.5), 用 UT、MT 或 RT 检测。

(2) 螺栓连接强度 (C22): 预紧力达标率 $\geq 95\%$ 且无松动断裂合格 (1.0); $90\% \sim 95\%$ 有轻微松动基本合格 (0.8); $< 90\%$ 有断裂严重松动不合格 (0.5)。

二级指标 3: 节点损伤状态 (C3) 反映完好程度。

(1) 焊缝损伤情况 (C31): 无开裂等缺陷合格 (1.0); 轻微不影响强度缺陷基本合格 (0.8); 严重缺陷不合格 (0.5)。

(2) 螺栓损伤情况 (C32): 无松动等损伤合格 (1.0); 轻微松动锈蚀基本合格 (0.8); 严重损伤不合格 (0.5)。

(3) 节点连接完整性 (C33): 连接牢固无松动脱落合格 (1.0); 轻微松动不影响传力基本合格 (0.8); 松动脱落影响传力不合格 (0.5)。

2.2.4 环境影响指标 (D)

环境影响指标反映环境对结构整体稳定性的长期作用, 含 3 个二级、5 个三级指标, 鉴定标准依环境侵蚀、温度变化和振动影响确定:

二级指标 1: 腐蚀环境影响 (D1) 反映腐蚀对结构性能的退化。

(1) 腐蚀环境等级 (D11): 室内干燥无腐蚀合格 (1.0); 室内潮湿轻微腐蚀基本合格 (0.8); 沿海/工业区严重腐蚀不合格 (0.5), 需防腐。

(2) 防腐涂层完好率 (D12): 涂层完好且完好率 $\geq 90\%$ 合格 (1.0); $80\% \leq$ 完好率 $< 90\%$ 基本合格 (0.8); 完好率 $< 80\%$ 不合格 (0.5)。

二级指标 2: 温度变化影响 (D2) 反映温度应力对结构的影响。

(1) 温度应力累积程度 (D21): 无明显变形/裂纹合格 (1.0); 轻微变形/裂纹基本合格 (0.8); 严重变形/裂纹

不合格 (0.5), 极端温度致应力累积。

(2) 防火涂层完好率 (D22): 涂层完好、厚度达标且完好率 $\geq 90\%$ 合格 (1.0); $80\% \leq$ 完好率 $< 90\%$ 基本合格 (0.8); 完好率 $< 80\%$ 不合格 (0.5), 保护钢材高温性能。

二级指标 3: 振动影响 (D3): 反映长期振动对结构的疲劳损伤。

振动疲劳损伤程度 (D31): 无裂纹/构件不松动合格 (1.0); 轻微损伤基本合格 (0.8); 严重损伤不合格 (0.5), 长期振动致疲劳累积。

2.3 指标权重分配

为保障综合评价科学合理, 用层次分析法 (AHP) 定高层建筑钢结构各层次指标权重:

(1) 一级指标权重: 结构体系指标 (A) 0.35, 为核心因素, 决定整体受力与抗失稳能力; 构件性能指标 (B) 0.30, 是整体稳定性基础; 连接节点指标 (C) 0.25, 协调构件受力、保整体性; 环境影响指标 (D) 0.10, 为长期累积影响因素, 权重较低。

(2) 二级指标权重: 依影响程度在一级指标下确定。结构体系指标 (A) 中, 结构布置规则性 (A1) 0.40、结构刚度与冗余度 (A2) 0.35、结构抗倾覆能力 (A3) 0.25; 构件性能指标 (B) 中, 构件材料性能 (B1) 0.25、构件几何参数 (B2) 0.40、构件损伤状态 (B3) 0.35; 连接节点指标 (C) 中, 节点刚度 (C1) 0.30、节点强度 (C2) 0.40、节点损伤状态 (C3) 0.30; 环境影响指标 (D) 中, 腐蚀环境影响 (D1) 0.40、温度变化影响 (D2) 0.35、振动影响 (D3) 0.25。

(3) 三级指标权重: 依重要性在二级指标下均匀分配或适当调整, 确保合理。

2.4 综合评价模型

采用加权求和法构建高层建筑钢结构整体稳定性综合评价模型, $S = \sum (W_i \times S_i)$, 其中, S 为综合评价得分, W_i 为第 i 个指标的权重, S_i 为第 i 个指标的得分 (取值范围 0.5~1.0)。依综合得分将整体稳定性划为 3 个等级并明确鉴定结论, 具体分级标准见表 3。

表3 高层建筑钢结构整体稳定性综合评价模型

稳定性等级	综合评价得分(S)	鉴定结论	处理建议
优秀	$S \geq 0.90$	结构整体稳定性良好, 无明显安全隐患	可正常使用, 无需维护加固
合格	$0.75 \leq S < 0.90$	结构整体稳定性基本满足要求, 存在轻微安全隐患	正常使用, 定期检测维护, 处理轻微缺陷
不合格	$S < 0.75$	结构整体稳定性不满足要求, 存在严重安全隐患	立即停止使用, 全面加固或拆除处理

3 结论与展望

建筑结构的稳定性对工程整体质量极为重要, 高层建筑钢结构整体稳定性的核心影响因素包括结构体系、构件性能、连接节点、环境影响 4 个方面。要想保证建筑物的承载能力、整体稳定性、适用性和耐久性, 需要评估建筑工程的施工质量。本研究构建的鉴定指标体系分为目标层、一级指标层、二级指标层、三级指标层 4 个层次, 包含 4 个一级指标、12 个二级指标、28 个三级指标, 全面反映结构整体稳定性状态, 构建了加权求和型综合评价模型,

提升了鉴定工作的规范性和准确性。未来, 引入智能化检测技术和大数据分析方法, 实现指标数据的快速获取和综合评价的智能化, 减少人工检测和计算的工作量, 提升鉴定工作的效率和准确性, 为建筑工程质量提供保障。

[参考文献]

- [1] 王晓亮, 张俊生. 建筑钢结构设计中稳定性的设计方法探讨[J]. 绿色环保建材, 2020(3): 78-79.
 - [2] 刘勇, 葛培杰, 梁玉国. 考虑屋面增设光伏板的门式刚架钢结构厂房鉴定与加固[J]. 特种结构, 2024, 41(6): 113-117.
 - [3] 王丹阳, 王凡奇, 王伟. 建筑工程中钢结构设计的稳定性原则及设计探讨[J]. 中国住宅设施, 2022(12): 12-14.
 - [4] 姜可可. 建筑工程结构检测鉴定方法[J]. 大众标准化, 2023(20): 174-176.
 - [5] 刘阳. 回弹法在混凝土抗压强度检测中的应用分析[J]. 江西建材, 2023(7): 75-76.
- 作者简介: 邓小海 (1995.9—), 毕业院校: 长春工程学院, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 浙江绿建检测有限公司, 职务: 部门主任, 职称级别: 中级。