

建筑施工脚手架安全稳定性的计算模型优化与实测验证

张松华

日立工程建设（中国）有限公司，江苏省苏州市，215000；

摘要：建筑施工中脚手架的安全稳定性至关重要，关乎施工人员的生命安全和工程质量。本文聚焦于建筑施工脚手架安全稳定性的计算模型优化与实测验证，阐述了脚手架安全稳定性的重要性，分析了现有计算模型存在的问题，提出了优化策略，并介绍了实测验证的方法与结果。通过优化计算模型和实测验证，能够更准确地评估脚手架的安全稳定性，为建筑施工提供可靠保障。

关键词：建筑施工；脚手架；安全稳定性；计算模型优化；实测验证

DOI：10.69979/3029-2727.26.02.044

引言

脚手架是建筑施工的重要高空作业设施，其安全稳定性直接影响施工人员安全和工程进度。事故统计显示，脚手架问题导致的事故比例较高，因此研究其安全稳定性具有重要意义。现有计算模型在实际应用中存在不足，如对施工情况考虑不全面、对复杂荷载处理不准确等。优化模型并通过实测验证是提高脚手架安全稳定性的关键。

1 建筑施工脚手架安全稳定性概述

1.1 脚手架的分类与特点

建筑施工中常见的脚手架类型多样，按杆件的材料划分，有单一规格钢管的脚手架，如扣件式钢管脚手架，它只使用Φ48.3×3.5的电焊钢管，具有承载力较大、装拆方便、搭设灵活、比较经济等优点，但扣件（特别是它的螺杆）容易丢失；还有多种规格钢管组合的脚手架，如门式脚手架，由两种以上的不同规格的钢管构成，具有多功能、高功效、通用性强、承载力大、安全可靠、易于加工、不易丢失、维修少、便于管理、易于运输等特点。按横杆与立杆之间的传递垂直力的方式划分，有靠接触面摩擦作用传力的，如扣件式脚手架靠节点处的接触面压紧后的摩擦反力来支承横杆荷载并将其传给立杆；有靠焊缝传力的，大多数横杆与立杆的承插联结以及门架就属于这种方式；还有直接承压传力和靠销杆抗剪传力的。按连结部件的固着方式和装设位置划分，有定距连接，即连结焊件在杆件上的定距设置，杆件长度定型，连结点间距定型；也有不定距连结，连结件为

单设件，通过上紧螺栓可夹持在杆件的任何部位上。不同类型的脚手架具有不同的特点，适用于不同的施工场景，例如扣件式钢管脚手架组装灵活，适用于各种形式的脚手架、模板和其它支撑架等；门式脚手架安装方便、拆卸容易，能根据不同的施工需求组成不同形状和尺寸的支撑架。

1.2 脚手架安全稳定性的影响因素

脚手架安全稳定性受多种荷载影响。永久荷载包括脚手架自重，需按材料规格和搭设方式核算。可变荷载含施工人员、工具、材料及临时堆载，需按规范考虑最不利分布。风荷载对高大或空旷场地脚手架影响显著，与高度、体型系数及当地风压相关。突发荷载如振动、冲击等也会影响稳定性。

脚手架稳定性计算需考虑立杆长细比、截面特性及横杆与连墙件的约束。连墙件连接建筑主体，传递水平力，防止整体失稳，其抗风能力和连接强度必须保证。设置不当或缺失会显著降低稳定性，实际工程中常因忽视重要性而少设或连接不牢，导致风荷载下失稳风险增加。

材料性能和节点连接对脚手架稳定至关重要。材料力学性能如钢管强度、扣件承载力需符合国家标准，旧材料需考虑损伤影响。节点连接依赖扣件摩擦力，拧紧力矩不足会降低结构刚度和稳定性。计算中应考虑节点半刚性特性。

2 现有建筑施工脚手架安全稳定性计算模型分析

2.1 常用计算模型介绍

常用脚手架安全计算模型包括基于规范的经验公式和有限元分析。经验公式通过工程实践总结，通用简便，如通过计算长度系数求长细比，再验算压应力是否满足强度要求，适用于简单工程的快速计算。

有限元分析模型通过计算机软件将脚手架离散为小单元进行力学分析，得出整体稳定性。该模型可考虑复杂几何、材料非线性和边界条件，准确模拟实际受力。例如，ANSYS等软件分析显示初始缺陷可使承载力降低15%—20%。

2.2 现有模型存在的问题

现有计算模型在实际应用中存在诸多局限性。部分模型对实际施工情况的考虑不够全面，例如在计算立杆稳定性时，一些规范规定的立杆计算长度直接取支架最大步距，而不考虑直角扣件的半刚性情况（理论分析及试验证明，直角扣件的刚度为刚性节点的27.54%、20.43%）以及立杆伸出顶、底层水平杆的长度、支架的整体搭设高度情况。这就导致在实际工程中，即使高大模板支架与低矮支架的步距一样，按照这种模型计算得到的立杆稳定性验算结果也基本相同，这与支架立杆稳定与支架整体稳定的基本力学理论不符，容易造成安全隐患。如北京“西西”工程4号地项目，21.8m高支模架整体坍塌事故，其扣件式钢管高支撑架立杆间距1.2m，步距1.5m，立杆顶端伸出长度1.2—1.5m，扫地杆距地300—500。经东南大学陈安英等采用有限元计算表明，因架体较高且立杆顶端伸出长度大，立杆轴力远大于其稳定极限承载力，模板支架由于立杆顶端局部侧移过大导致支架呈现整体失稳破坏形式，是导致整体坍塌的主要原因。现有模型对复杂荷载工况处理不够准确。实际施工中脚手架常受多种荷载共同作用，现有模型难以准确模拟荷载间相互作用，导致计算结果偏差。例如在风荷载较大地区，模型若不能准确计算风荷载影响，可能低估水平力，影响稳定性评估。

3 建筑施工脚手架安全稳定性计算模型优化策略

3.1 考虑更多实际因素

为了使计算模型更贴近实际施工情况，需要综合考

虑更多实际因素。在立杆稳定性计算方面，应改进立杆计算长度的确定方法。不能简单地取支架最大步距，而应综合考虑直角扣件的半刚性特性、立杆伸出顶、底层水平杆的长度以及支架的整体搭设高度等因素。例如，可以根据实际工程情况，通过试验和有限元分析等方法，建立更准确的立杆计算长度与这些因素之间的关系模型，从而更精确地计算立杆的长细比和稳定性。

对于连墙件的设置，应根据不同的施工场景和脚手架类型，优化其布置方式和数量。在高大脚手架或风荷载较大的地区，应增加连墙件的数量，并采用刚性连接方式，确保连墙件能够有效地传递水平力，提高脚手架的整体稳定性。同时，在计算模型中应准确模拟连墙件的连接刚度和强度，考虑其对脚手架稳定性的影响。

3.2 改进荷载组合计算方法

针对复杂荷载工况，需要改进荷载组合计算方法。应深入研究不同荷载之间的相互作用机制，建立更合理的荷载组合模型。例如，在考虑风荷载与施工活荷载的组合时，不能简单地将其线性叠加，而应考虑它们之间的相互影响。可以通过风洞试验或数值模拟等方法，研究风荷载与施工活荷载同时作用时脚手架的受力情况，确定更准确的荷载组合系数。还可以引入概率统计方法，考虑荷载的不确定性。在实际施工中，荷载的大小和分布往往具有一定的随机性，通过概率统计方法可以更好地描述荷载的变异性，从而提高计算模型的准确性和可靠性。例如，对风荷载、人员分布等不易精确确定的量，给出区间区分，确保验算结果具备保守性。

3.3 结合新材料与新技术

随着建筑行业的发展，新型材料和新技术不断涌现，将其应用于脚手架计算模型中具有重要意义。新型材料如高强度钢材、铝合金等具有更好的力学性能，能够提高脚手架的承载能力和稳定性。在计算模型中，应准确考虑这些新型材料的力学参数，如屈服强度、弹性模量等，以充分发挥其优势。例如，采用铝合金脚手架替代传统钢管脚手架，不仅可以减轻脚手架的重量，便于安装和拆卸，还能提高其抗腐蚀性能，延长使用寿命。计算机辅助设计软件和智能化监测技术也为脚手架计算模型的优化提供了有力支持。利用计算机辅助设计软件，如Revit、SketchUp等，可以对脚手架进行三维建模，

更直观地展示其结构形式和受力情况,提高结构计算的精度和效率。通过智能化监测技术,如传感器技术、物联网技术等,可以实时监测脚手架在实际施工中的应力、变形等参数,将监测数据反馈到计算模型中,实现对模型的动态调整和优化,确保脚手架的安全稳定性。

4 建筑施工脚手架安全稳定性实测验证

4.1 实测验证方法

为了验证优化后计算模型的准确性,需要进行实测验证。实测验证的方法主要包括现场监测和试验加载等。现场监测是在实际施工的脚手架上安装传感器,实时监测脚手架的应力、变形、沉降等参数。例如,在立杆上安装应变传感器,监测其在施工过程中的应力变化;在脚手架的基础部位安装沉降观测点,监测基础的沉降情况。通过现场监测,可以获取脚手架在实际施工中的真实受力情况,与计算模型的结果进行对比分析。试验加载则是通过在脚手架上施加一定的荷载,模拟实际施工中的受力情况,观察脚手架的变形和破坏情况。试验加载可以分为静载试验和动载试验。静载试验是逐步施加静态荷载,测量脚手架在不同荷载作用下的变形和应力;动载试验则是模拟施工过程中可能出现的动态荷载,如人员跳动、材料搬运等,观察脚手架的动态响应。通过试验加载,可以直观地了解脚手架的承载能力和稳定性,验证计算模型的可靠性。

4.2 实测案例分析

以某高层建筑施工中的现浇梁脚手架为例,对该脚手架进行安全稳定性实测验证。在该脚手架的立杆、横杆、斜撑等关键部位安装了应变传感器和位移传感器,用于监测其应力和变形情况。同时,在脚手架的基础部位设置了沉降观测点,监测基础的沉降。在施工过程中,按照不同的施工阶段和荷载情况,对脚手架进行了多次监测。监测结果表明,在正常施工荷载作用下,脚手架的应力和变形均在允许范围内,基础沉降也符合设计要

求。通过与优化后计算模型的结果进行对比分析,发现计算模型的预测结果与实测结果基本吻合,说明优化后的计算模型能够准确反映脚手架的实际受力情况,具有较高的可靠性和准确性。在试验加载方面,对该脚手架进行了静载试验和动载试验。静载试验中,逐步施加载荷至设计荷载的1.2倍,脚手架未出现明显的变形和破坏迹象,说明其承载能力满足设计要求。动载试验中,模拟了人员跳动和材料搬运等动态荷载,脚手架的动态响应也在合理范围内,进一步验证了脚手架的稳定性。

5 结论

本文聚焦建筑施工脚手架安全稳定性展开研究,剖析了现有计算模型的问题并提出优化策略,经实测验证了优化后计算模型的准确性与可靠性,其考虑更多实际因素、改进荷载组合计算方法且结合新材料新技术,能为脚手架设计与施工提供科学依据。不过,本研究存在实测案例数量少、可能无法涵盖所有脚手架类型和施工场景等不足。未来可增加实测案例数量与类型以验证模型普适性,同时随着建筑行业发展,需进一步研究新型脚手架安全稳定性计算模型,并加强与结构力学、材料科学等相关领域的交叉研究,为该研究提供更深入的理论支撑。

参考文献

- [1]王亮.建筑施工现场脚手架安全控制技术研究[J].大众标准化,2024,(11):87-89.
- [2]赵铁红.建筑施工脚手架安全管理中的问题及对策措施[J].房地产世界,2021,(15):99-101.
- [3]王宏翔,李红伟.建筑施工中脚手架工程质量控制对策[J].居舍,2021,(13):135-136.
- [4]郭坤峰.探讨建筑施工脚手架安全管理中的常见问题及其解决措施[J].居舍,2020,(35):143-144.
- [5]胡波,李新.建筑施工脚手架的安全管理问题及应对措施研究[J].建材与装饰,2019,(10):197-198.