

高耸结构设计若干问题分析

毛新宇 郑 龙

浙江八方电信有限公司 浙江 杭州 311100

摘 要: 本文深入分析高耸结构的设计特点与关键问题, 包括其基本类型、受力特点、风荷载与地震作用下的稳定性设计、材料选择与结构优化等方面。通过探讨风荷载及地震对高耸结构的影响, 提出相应的设计原则、应对策略和防护措施, 如采用先进的风振控制技术和减震设计, 确保结构在极端气候条件下的安全性和稳定性。另外, 本文还强调结构材料选择的多样性和可持续性, 以及结构设计过程中的精细化与优化。

关键词: 高耸结构; 问题; 分析

1 高耸结构特点与受力分析

1.1 高耸结构的基本类型

高耸结构是工程领域中一种特殊而重要的结构形式, 其显著特点是具有较大的高度与细长的结构形态。这类结构广泛应用于电力、通信、广播、航空导航以及景观建筑等多个领域。高耸结构的基本类型主要包括以下几种: (1) 塔式结构: 如输电塔、通讯塔等, 这类结构通常具有四棱锥或圆柱体的外形, 通过逐级缩小的横截面和合理布置的斜杆来增加结构的稳定性和承载能力。(2) 桅杆式结构: 常见于船舶行业的无线电桅杆、气象站观测塔等, 它们往往具有较高的细长比, 结构形式相对简单, 主要由一根或多根立柱支撑, 顶部设有相应的设备平台。(3) 框架结构: 某些高耸建筑物如电视塔、高塔型观光台等, 采用复杂的框架结构形式, 通过多层次的水平梁、柱及斜撑相互连接, 形成稳定的三维受力体系。(4) 混合结构: 在实际工程中, 为了满足特定的功能需求和结构安全要求, 还常常采用混合结构形式, 如钢-混凝土组合结构, 通过不同材料的优势互补, 实现结构的优化设计。

1.2 受力特点分析

高耸结构的受力特点因其独特的形态和功能要求而显得尤为复杂和特殊, 主要可以归纳为以下几点: (1) 风荷载主导作用: 由于高耸结构的高度优势, 其受风面积大, 对风荷载的反应尤为敏感。风荷载成为高耸结构设计中的主要控制荷载, 对结构的稳定性、强度和振动性能产生显著影响。(2) 动力效应显著: 风荷载中的脉动成分会引起结构的振动, 特别是在某些风速下, 可能激发结构的固有频率, 导致共振现象, 加剧结构的动力响应。因此, 在设计中必须充分考虑风荷载的动力效应, 采取相应的减振措施。(3) 轴向力与弯矩共同作用: 高耸结构在承受风荷载、自重等竖向荷载的同时,

还需考虑水平荷载(如风荷载)产生的弯矩作用。这种轴向力与弯矩的共同作用使得结构的内力分布复杂多变, 对结构的强度和刚度提出更高要求^[1]。(4) 温度效应与地基变形: 高耸结构由于高度大、跨度广, 对环境温度变化和地基变形等因素也更为敏感。温度差异可能导致结构产生温度应力, 而地基的不均匀沉降则可能影响结构的整体稳定性。

2 高耸结构设计的关键问题

2.1 风荷载作用下的稳定性设计

在设计高耸结构时, 风荷载的考虑至关重要, 它直接影响到结构的稳定性和安全性。第一, 需要精确计算作用于结构上的风荷载, 这通常涉及复杂的流体力学分析, 如利用风洞试验、计算流体动力学(CFD)模拟等技术手段来模拟风场的实际情况。第二, 为了增强结构的抗风能力, 必须合理设计结构的刚度和阻尼特性。通过优化结构布局、增加加强构件、设置阻尼器等措施, 可以有效减小风荷载引起的振动响应, 提高结构的稳定性。第三, 气动外形的优化也是关键, 如采用流线型设计、安装扰流装置等, 以减小风阻和涡激振动, 进一步确保高耸结构在风荷载作用下的安全稳定。

2.2 地震作用下的抗震设计

地震是对高耸结构构成重大威胁的自然灾害之一, 因此抗震设计是必不可少的环节。在抗震设计中, 首先需要明确结构所在地区的地震动特性, 包括地震烈度、加速度谱等关键参数。基于这些参数, 进行结构的抗震验算和动力分析, 评估结构在地震作用下的响应情况。为了增强结构的抗震性能, 可以采取多种措施, 如提高结构的整体刚度和延性、设置多道抗震防线、采用减震隔震装置等。此外, 优化结构体系的布置和连接方式也是关键, 通过合理的结构设计来分散地震作用, 减轻结构受到的冲击和破坏。抗震设计的目标是确保高耸结构

在地震发生时能够保持足够的稳定性和安全性，避免倒塌和严重损坏。

2.3 材料选择与结构优化

材料选择与结构优化是高耸结构设计中的重要方面，直接关系到结构的经济性、安全性和耐久性。在材料选择方面，应优先考虑具有高强度、高韧性、耐腐蚀和良好加工性能的材料，如高性能钢材、耐候钢等。同时，还应注重材料的环保性和可持续性，选择绿色建筑材料，减少对环境的影响。在结构优化方面，应充分利用现代设计方法和优化技术，如有限元分析、拓扑优化、遗传算法等，对结构进行精细化设计。通过优化结构的尺寸、形状和布局，实现材料的合理分配和高效利用，提高结构的整体性能和经济效益。此外，还应考虑结构的可维护性和可扩展性，便于后期的运营和维护^[2]。总之，合理的材料选择和结构优化能够显著提升高耸结构的综合性能和市场竞争力。

3 高耸结构的建筑材料选用与结构设计

3.1 材料选择的影响因素

在高耸结构的建筑材料选择过程中，需综合考虑多种影响因素以确保结构的安全性、经济性和耐久性；环境因素是首要考虑的因素之一，包括气候条件（如温度、湿度、风荷载等）、地质条件（如土壤承载力、地震烈度等）以及可能的腐蚀和侵蚀作用。这些环境因素将直接影响材料的性能表现和寿命；结构的功能需求也是决定材料选择的重要因素，如承重能力、刚度要求、抗震性能等；经济性和可持续性也是不可忽视的方面，需要平衡材料成本、施工难度与长期维护费用，并考虑材料的可回收性和环境影响。最后，材料的供应情况和市场趋势也应纳入考虑范围，以确保材料的可获得性和成本效益。

3.2 结构设计原则与方法

高耸结构的设计需遵循一系列原则与方法，以确保结构的安全性、稳定性和经济性；结构设计应满足基本的力学原理，包括静力学和动力学分析，确保结构在承受各种荷载作用下的稳定性和安全性；结构设计应充分考虑结构的整体性和协同工作性，通过合理的结构布局 and 连接方式，使各部分能够共同承担荷载并有效传递力；结构设计还应注重优化和精细化，通过现代设计方法和优化技术，如有限元分析、拓扑优化等，实现结构的轻量化、高效化和经济化。同时，结构设计还需考虑施工和维护的便利性，采用易于安装、拆卸和维修的结构形式和连接方式；结构设计应满足相关法规和标准的要求，确保结构的安全性和合法性。结构设计原则与方

法在高耸工程中尤为关键。它不仅要求符合静力学与动力学的稳固基础，还强调整体协同作用下的高效荷载分担。通过精细化设计与现代技术如有限元模拟的结合，实现对材料使用的最优化，既减轻结构重量又保证经济性；施工友好性和长期可维护性也纳入考量，以符合行业规范与法律法规，全面提升高耸结构的综合性能与可靠性。

3.3 结构稳定性与风荷载分析

结构稳定性是高耸结构设计中的核心问题之一，特别是在风荷载作用下更为突出。风荷载作为高耸结构的主要外部荷载之一，其大小和方向随时间和空间的变化而变化，对结构的稳定性产生显著影响。因此，在结构设计中必须进行详细的风荷载分析和稳定性评估；要准确计算作用于结构上的风荷载，包括平均风荷载和脉动风荷载两部分。平均风荷载主要影响结构的静力稳定性，而脉动风荷载则会引起结构的动力响应和振动；通过结构稳定性分析，评估结构在风荷载作用下的整体稳定性和局部稳定性^[3]。整体稳定性主要关注结构整体是否发生失稳或倾覆，而局部稳定性则关注结构局部构件是否发生屈曲或破坏；根据稳定性分析结果，采取相应的加强措施，如增加加强构件、设置阻尼器、优化结构外形等，以提高结构的抗风能力和稳定性。

4 高耸结构的风振问题及防护措施

4.1 风振控制技术

高耸结构因其高度的特性，极易受到风荷载的显著影响，从而产生风振问题。风振不仅会导致结构的振动和位移，还可能引发结构疲劳、损坏甚至倒塌。因此，风振控制技术成为高耸结构设计中不可或缺的一环。风振控制技术主要包括被动控制、主动控制、半主动控制及混合控制四种类型。被动控制通过改变结构的自身特性来减小风振响应，如设置调谐质量阻尼器（TMD）、调液阻尼器（TLD）等吸振装置，这些装置能够吸收并耗散风荷载引起的振动能量，从而减轻结构的振动幅度。另外，优化结构的气动外形也是被动控制的有效手段，如采用流线型设计、安装扰流板等，以减少风阻和涡激振动。主动控制和半主动控制则需要外部能源的支持，通过传感器实时监测结构的振动状态，并据此调节控制装置的工作状态，以实现风振的主动抑制。例如，主动质量阻尼系统（AMD）可以根据监测到的振动数据，迅速调整质量块的位置或速度，以产生与风振相反的力，从而抵消风振的影响。半主动控制则介于被动和主动控制之间，它利用可变的阻尼或刚度元件，根据结构的振动情况调整其参数，以达到减振效果。

4.2 风振减震与减振设计

针对高耸结构的风振问题，减震与减振设计是另一项重要的防护措施。减震设计旨在通过降低结构对风荷载的敏感性来减少振动响应。这可以通过增加结构的整体刚度、提高材料的阻尼特性或采用隔震技术来实现。例如，在结构底部设置隔震支座，可以将地震和风荷载等外部振动与上部结构隔离，从而保护主体结构不受损害。减振设计则更加侧重于对已经产生的振动进行抑制和消散。这可以通过在结构中设置阻尼器来实现，如粘滞阻尼器、摩擦阻尼器等。这些阻尼器能够利用自身的力学特性，将振动能量转化为热能或其他形式的能量耗散掉，从而减小结构的振动幅度和加速度；优化结构的动力特性也是减振设计的重要手段之一。通过调整结构的固有频率、振型等参数，使其避开风荷载的激励频率范围，从而避免共振现象的发生。

5 高耸结构的地震设计与安全防范

5.1 地震对高耸结构的影响

地震作为自然灾害之一，对高耸结构的影响尤为显著。地震波的传播和地面运动的复杂性使得高耸结构在地震中极易受到破坏。首先，地震产生的水平剪切力会对结构的稳定性造成直接影响，导致结构产生倾斜或倒塌。其次，地震引起的地面震动会使高耸结构产生强烈的动力响应，如振动、摇摆和冲击等，这些动力响应会加剧结构的损伤和破坏；地震还可能导致地基的液化、沉降或滑坡等地质灾害，进一步威胁高耸结构的安全。因此，在高耸结构的设计中，必须充分考虑地震对结构的影响，并采取相应的设计措施来确保结构的安全性。

5.2 地震设计原则与应对策略

针对地震对高耸结构的影响，设计时应遵循一系列地震设计原则，并制定相应的应对策略。选择合适的结构形式和体系，如采用框架-剪力墙结构、筒体结构等具有良好抗震性能的结构形式。这些结构形式能够有效地抵抗地震产生的水平剪切力，并具有较好的整体性和稳定性；注重结构的延性设计，通过增加结构的塑性变形能力来吸收和耗散地震能量，减轻结构的破坏程度；采取有效的抗震构造措施，如设置抗震缝、设置阻尼器等，以提高结构的抗震性能^[4]。在应对策略方面，应制定

详细的地震应急预案，包括紧急疏散、结构加固、灾后修复等措施，以应对地震可能带来的各种灾害后果。

5.3 安全防护措施与灾害应急预案

为确保高耸结构在地震中的安全性，除了遵循地震设计原则和应对策略外，还应采取一系列安全防护措施，并制定完善的灾害应急预案。安全防护措施包括但不限于以下几个方面：一是加强结构的监测和维护，定期检查结构的完整性和稳定性，及时发现并处理潜在的安全隐患；二是设置地震预警系统，利用现代科技手段对地震进行预测和预警，为结构的抗震防御提供宝贵的时间；三是提高结构的防火、防爆、防腐蚀等综合防护能力，以应对地震可能引发的次生灾害；四是加强人员培训和演练，提高应急响应速度和效率，确保在地震发生时能够迅速、有序地进行紧急疏散和救援；制定完善的灾害应急预案，明确各级应急组织的职责和任务，确保在灾害发生时能够迅速启动应急预案，有效地控制和减轻灾害损失。

结束语

综上所述，高耸结构的设计是一个复杂而关键的工程领域，涉及多学科知识和技术的综合应用。通过对高耸结构特点、受力分析、设计原则及安全防护措施的全面探讨，本文为高耸结构的优化设计提供有益参考。未来，随着科学技术的不断进步，高耸结构设计将更加智能化、精细化，以更好地满足社会需求并保障人民生命财产安全。

参考文献

- [1]徐卫.某高耸结构质量缺陷工程的加固设计和分析[J].广东土木与建筑,2018,025(006):72-75.
- [2]段辉顺,刘生奎,张玲玲,等.门字型输电塔风振响应分析及风振系数的确定[J].应用力学学报,2019,036(003):618-624.
- [3]刘坤,孙宇泽,贺然,等.扬中塔结构设计要点介绍[J].建筑工程技术与设计,2018,000(021):768-769.
- [4]甘凤林,潘兹勇.高层建筑和高耸结构的抗风设计探讨[J].山西建筑,2007,33(8):9-10.DOI:10.3969/j.issn.1009-6825.2007.08.005.