

高层建筑结构超限设计

徐远琛

广西壮族自治区城乡规划设计院

摘要：高层建筑结构超限设计是一个复杂且独特的设计过程，旨在打破常规的设计界限，创造出既安全又富有创新性的建筑结构。本文围绕高层建筑结构超限设计展开讨论，从超限设计概述入手，分析高层建筑结构超限判断的主体因素，介绍了常见的超限设计要点，给出了提升设计水平的建议，以期为高层建筑结构设计提供有益的参考，促进行业的发展。

关键词：高层；建筑；超限

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.094

与传统理念将设计严格限制在规范边界内不同，超限设计以超越现行规范为目标，突破了传统设计的限制。在设计时，设计团队需要考虑如何在满足建筑性能和审美要求的同时，保证建筑在各种极限状态下的安全性。

一、概述

超限设计是在建筑设计时，由于各种原因将某些结构参数超出常规标准或现行设计规范的限制的设计实践。例如，某一高层建筑需求是设计超出常规楼层高度的建筑，普通的设计标准可能无法应对。在符合建筑安全的前提下，用特殊的设计和技术手段，将这一建筑设计、建造出来，就属于超限设计。在建筑结构设计，超限是一个相对概念，由设计目标、规范限制、技术能力等多因素共同定义，目的是突破传统设计的限制，创新更多的可能性，同时，也是对设计团队专业技能的一种考验。需要注意的是，无论如何进行超限设计，建筑结构的安全总是首要考虑的，对于可能涉及建筑整体稳定、使用安全的设计方案，必须进行严谨的论证和必要的实验验证^[1]。

二、高层建筑结构超限判断主体因素

（一）性能基础抗震设计

高层建筑因其特有的高度和层数，使其在地震中的反应特性与一般低层建筑有很大区别。设计团队可以通过性能基础抗震设计，全面评估高层建筑结构在地震作用下的安全性和稳定性，判断是否存在超限现象，及时采取相应的设计措施，确保建筑结构的抗震安全。首先，根据建筑所在地区的地震烈度和地震作用参数，确定设计地震烈度。这是性能基础抗震设计的基础，也是判断建筑结构是否超限的前提条件。其次，对建筑结构的抗震性能进行评估，包括结构的延性、强度、稳定性等指标。评估结构抗震性能，初步判断建筑结构在地震作用下的表现是否符合设计要求。再次，分析结构在地震作用下的受力情况和响应，评估高层建筑结构的承载

能力、变形能力等参数，从而判断结构是否存在超限现象。从次，结构强度校核是判断建筑结构是否超限的重要步骤之一。设计团队应对高层建筑结构进行强度校核，确保结构在地震作用下具有足够的承载能力和变形能力。最后，综合考虑高层建筑结构的抗震性能、地震烈度等级、结构形式、材料性能等因素，进行全面的风险评估和安全性分析。根据评估结果，判断建筑结构是否存在超限情况，是否需要采取进一步的改进措施。

（二）风载作用控制

风载是一种极具破坏性的力量，可能对高层建筑结构产生严重影响。在进行风载作用控制的超限判断时，主要需要考虑以下几个方面：首先，根据该地区的风速数据和气象条件，结合高层建筑的结构形式和特性，计算出建筑物在不同风向和风速下所承受的风载大小和分布。将计算结果与建筑结构的承载能力进行对比，以确认建筑是否在设计条件下受到足够的保护。其次，风洞试验可以模拟复杂的风场条件，获取真实的风载数据，从而更准确地评估建筑结构的结构风险。同时，使用计算流体力学等技术进行模拟计算，可以深入了解风力对建筑的作用方式和程度，为超限判断提供更为科学的依据。

（三）温差效应判断

温差效应是由于温度变化引起的结构变形和应力产生，进而对建筑结构的稳定性和安全性产生影响。通过温差效应来判断高层建筑结构是否超限，主要考虑以下几个方面：首先，温度的变化会导致建筑结构的构件产生热胀冷缩的变形，这些变形可能影响结构的整体稳定性。监测和分析结构在不同温度下的变形情况，可以评估温差效应对结构的影响程度。其次，温度变化还会引起建筑结构内部的温度应力，这些应力可能会对结构产生影响，甚至导致结构超限。分析结构的温度受力，可以评估温差效应对结构的影响，并判断结构是否存在超限情况。最后，不同材料在温度变化下的性能表现可能不同，一些材料在高温环境下可能会失效或产生破坏。设计团队可以考虑建筑结构所采用材料的热膨胀系数、热传导性能等因素，综合分析材料对温差效应的响应，判断结构是否受到影响。

（四）混凝土结构的徐变收缩

徐变收缩是混凝土结构在内部化学反应、应力和环境因素，如温度和湿度的共同作用下，会发生微小的形状或体积的变化。通过混凝土结构的徐变收缩，判断高层建筑结构是否超限，可以采取以下具体方式：首先，设置监测点，使用合适的传感器和仪器，对结构的变形进行实时监测，特别关注混凝土的徐变和收缩引起的变

形情况。其次，将监测到的徐变收缩数据与设计阶段预测的数值进行比较。分析不同时间点的监测数据，了解结构的实际变形情况，判断是否符合设计要求。再次，根据相关工程规范和标准，查阅对于混凝土结构徐变收缩的限值要求。将实测数据与规范要求的限值进行比较，判断结构是否超出规定的限制范围。从次，结合监测数据和规范要求，进行结构安全评估。评估结构在徐变收缩作用下的承载能力和变形情况，判断结构是否处于安全状态。最后，根据实测数据与规范限值的对比和结构安全评估的结果，判断混凝土结构的徐变和收缩是否超限。如果监测到的变形超过规定限值，可能表示结构存在超限风险^[2]。

三、高层建筑结构超限设计要点

（一）计算模型与方法

建立准确可靠的计算模型和选择合适的计算方法，是高层建筑结构超限设计的关键。通过科学有效的计算，设计团队能够更好地了解结构的响应特性，及时发现并应对潜在的超限风险，确保高层建筑结构的安全可靠性。首先，在建立计算模型时，设计团队需要考虑结构的复杂性和多变性，确保模型能够准确地捕捉高层建筑结构在地震、风载等外部作用下的响应。模型参数需要根据建筑结构的实际情况和设计要求进行合理设置，包括材料性质、连接方式、约束条件等。其次，在选择计算方法时，设计团队需要根据具体问题的复杂程度和计算精度的要求确定。一般情况下，有限元分析是处理高层建筑结构复杂性和非线性行为的有效方法，能够较为准确地模拟结构在不同荷载情况下的响应。此外，还可以考虑使用计算流体力学等数值模拟技术，对高层建筑受风载影响的情况进行分析。

（二）剪力墙的布置

剪力墙是高层建筑结构中承载主要水平荷载的常用结构构件，具有抵抗侧向荷载和提高结构整体抗震性能的重要作用。合理布置和设计剪力墙，能够有效地提升结构的安全性和稳定性，防止超限现象的发生。首先，剪力墙的布置应考虑结构的整体稳定性和抗震性能。通常情况下，剪力墙应布置在建筑结构的核芯区域，沿着建筑主体的主要水平荷载路径进行设置，以确保承受水平荷载并有效地传递荷载至建筑地基。其次，剪力墙的布置应考虑结构的几何形状和布局，以保证剪力墙的连续性和完整性。在设计中需要避免剪力墙布置断裂或不连续的情况，确保剪力墙能够在地震等外部荷载作用下承担应力，保证结构的整体稳定性。最后，剪力墙的布置还应考虑建筑功能布局 and 空间利用的要求，在尽可能减少对建筑功能区域的影响的前提下，合理设置剪力墙的位置和数量。设计团队需要权衡结构的抗震需求和建筑空间的利用要求，找到平衡点，确保在满足抗震性能的基础上实现建筑功能和设计美感的统一。

（三）抗震设计与构造措施

合理的抗震设计和结构构造措施，能够有效提高建筑结构的抗震性能，降低地震灾害对建筑结构的影响，确保高层建筑的安全可靠性。首先，设计团队应根据当地地震烈度、土壤条件、建筑高度等因素，合理选择结构形式、材料和构造系统，以提高结构的整体抗震性能。其次，在构造措施设计时，设计团队应关注构造细节，确保结构各个构件之间的连接牢固可靠，能够有效传递荷载并抵抗地震力的作用。最后，抗震设计还需要考虑结构的位移控制和变形能力。在地震发生时，结构会发生一定程度的位移和变形，设计团队需要通过合理设置剪力墙等措施，控制结构的位移，保证结构变形在可控范围内，并保持结构的稳定性。同时，还要考虑结构的耐震能力，在设计中充分考虑在重复地震作用下，结构的疲劳性能和耗能能力。

（四）结构整体静力弹塑性分析

综合考虑结构的静力和弹塑性特征，设计团队可以更准确地评估结构的抗震性能和破坏机制，从而合理的设计方案，确保高层建筑结构的安全稳定性。首先，设计团队应考虑结构在弹性和屈服阶段的变形、应力和位移等情况，评估结构的抗震性能和极限承载力，开展结构的设计和加固工作。其次，设计团队应通过静力弹塑性分析，捕捉结构的非线性行为和破坏机制，了解结构在地震或其他荷载作用下的变形特征和承载力，分析结构局部和整体响应，及时发现结构中的薄弱环节和潜在危险，采取相应的加固措施和设计优化方案。

（五）结构弹性计算分析

结构弹性计算分析是一种常用的分析方法，用于评估建筑结构在正常工作状态下的受力情况和承载能力。准确计算结构在弹性阶段的受力情况和行为表现，可以为结构设计提供可靠的基础数据和参考信息，确保建筑结构在正常使用情况下的安全稳定性。首先，设计团队应考虑结构材料的弹性性能和几何形状的影响，计算结构在正常荷载下的内力、位移和应力等参数，评估结构在正常使用情况下的强度和稳定性。其次，分析结构在荷载作用下的反应，确定结构内力分布、变形情况和位移响应，从而判断结构在弹性阶段的工作状态是否符合设计要求，发现结构中的问题和潜在风险，及时进行调整和优化设计^[3]。

四、提升高层建筑结构超限设计水平的策略

（一）采用先进的结构分析方法

先进的结构分析方法，能够为设计团队提供更准确、可靠的分析结果，帮助优化设计方案、提高结构的安全性和可靠性，从而满足高层建筑在复杂工况下的设计需求，确保其在极端条件下的稳定性和安全性。例如，非线性有限元分析是一种常用的先进结构分析方法，通过考虑结构的非线性特性，能够准确地模拟结构在复杂荷载下的响应。设计团队可以通过非线性有限元

分析,评估高层建筑结构的承载能力、位移响应、应力分布等,从而优化设计方案并提高结构的安全性;动力时程分析是用于评估结构在地震等动力荷载下的响应的重要方法。高层建筑结构在地震作用下存在复杂的非线性行为,传统的静力分析方法无法准确刻画结构的动态响应。通过动力时程分析,设计团队可以模拟结构在地震过程中的振动、变形情况,评估结构的破坏机制和安全性,为抗震设计提供科学依据。

(二) 结合大数据和人工智能技术

大数据和人工智能技术等先进的智能化技术,能够为高层建筑结构超限设计提供强大的数据支持和智能分析能力,提升设计的准确性、效率和创新性。首先,设计团队应利用大数据技术收集和分析大量的建筑设计参数、结构性能数据,理解结构在不同条件下的表现,包括日常荷载和极端事件下的响应情况,识别结构的薄弱点、优化设计和提升结构性能。其次,人工智能和机器学习算法,可用于分析大数据中的模式和趋势,预测结构的行为。在设计时,设计团队可以借助人工智能技术做出更快和更精确的决策。例如,人工智能可以在早期设计阶段预测结构响应,发现可能导致性能下降的设计决策,从而在施工之前进行调整。最后,设计团队可以利用人工智能技术,生成多个设计方案并评估其性能指标,从中选择出最适合的方案^[4]。

(三) 强化跨学科合作与交流

高层建筑结构超限设计涉及建筑学、结构工程、土木工程、材料科学、机械工程等多个学科领域的知识和技术,跨学科合作与交流,能够促进不同领域专家之间的互相理解和合作,为设计带来更具深度和广度的专业支持,提升设计质量和创新能力。首先,建立跨学科的合作机制,使不同领域专家可以共同参与设计讨论和决策过程,结合各自专业知识和技术,共同解决超限设计中的复杂问题,实现专业优势互补,提升设计水平。其次,在合作过程中,不同学科领域的专家,可以从不同角度审视和思考设计问题,激发创新思维,创造出更具有前瞻性和创意性的设计方案。最后,不同学科专家之间的合作共同努力,能够促进团队成员之间的学习与成长,拓宽视野,提升整体设计团队的创造力、执行力和团队协作能力,利于全面考量高层建筑结构超限设计中的复杂问题。

(四) 进行风险评估与灾害预防

在高层建筑结构设计中,风险评估和灾害预防是确保结构安全性和可靠性的关键步骤,通过科学的评估和综合的预防措施,可以降低超限设计的风险,保障建筑物和使用者的安全。首先,设计团队应对项目所在区域的自然灾害、结构失效、施工质量等方面的风险进行评估,识别潜在的危险源和薄弱环节,为灾害预防提供依据。其次,选用具有良好耐震性能的结构材料、采用

合理的结构布局和设计参数、加强结构连接和节点设计等,以提高结构的抗灾性能和安全保障水平。最后,定期更新和监测风险评估结果,结合最新的科学技术和实践经验,及时调整设计方案和预防措施,不断提升结构的安全性和灾害抵御能力,确保高层建筑结构在面对灾害时能够有效应对,减小损失并保障人员生命安全。

(五) 持续学习和改进

在建筑工程领域,尤其是面对超限设计挑战时,不断学习新知识、总结经验、与同行交流合作,建立学习型团队和持续改进机制,可以帮助设计团队保持竞争优势、适应行业变革,并不断提升设计质量和创新能力,实现高层建筑结构超限设计的持续提升和优化。首先,设计团队应关注行业最新发展趋势和标准变化。持续学习新的设计理念、技术方法和规范要求,不断更新知识体系,提升设计水平和竞争力。其次,反思总结设计项目,识别问题、归纳经验教训,找出改进的空间和机会,从而不断提升设计质量和效率。再次,参加行业会议、学术讲座、专业培训等活动,与其他设计团队、研究机构及领先企业开展合作,进行经验分享和思想碰撞,可以开拓视野、拓展思维,激发创新灵感,提高设计团队整体水平。最后,在设计团队内部,通过建立知识共享平台、定期举办专业讲座、组织内部研讨会等形式,鼓励团队成员持续学习和分享,共同成长,不断提升整体设计水平和创新能力^[5]。

五、结语

综上所述,超限设计既是挑战也是机遇,要求设计团队不仅要考虑满足建筑功能需求、外观表现等方面要求,还要充分考虑建筑物在各种极限状态下的安全性。在实际设计过程中,设计团队应正确判断超限主体因素,熟练掌握超限设计要点,通过采用先进的结构分析方法、结合大数据和人工智能技术、强化跨学科合作与交流、进行风险评估与灾害预防、持续学习和改进等方式,提升设计的水平,并实现更多的创新可能。

参考文献

- [1] 于岩磊,刘万德,陈建军,田敏.某三塔多位L形大跨连体高层建筑结构抗震超限设计[J].建筑结构,2022(11):88-96.
- [2] 魏鉴栋,吴奉蔚,李自然,王憬慧,苏亮.某高层办公建筑加层后的结构超限加固设计[J].建筑结构,2022(S02):1770-1776.
- [3] 毛俊杰.上海某X形超限高层建筑结构设计及分析[J].建筑结构,2022,(S02):16-22.
- [4] 金振奋,戎子涵,吴强,肖志斌.温州凯迪中心超限高层建筑结构设计[J].建筑结构,2022(17):59-65,91.
- [5] 王杰,张慎,尹鹏飞.某超限高层建筑结构方案智能比选[J].建筑结构,2022(23):107-113.