

高层建筑混凝土结构抗震性能检测与加固技术研究

●石方方



[摘要] 在经常发生地震的地区,确保高层结构在地震中的安全稳定性是至关重要的。本研究对高层建筑中混凝土构件在抗震方面的表现进行了全面审视,对现行的混凝土结构抗震能力评估技术,以及所面临的挑战进行了深入讨论。在检测过程中,针对识别出的不足之处,研究提出了增强策略与技术手段,以期提升高层结构在地震发生时的抗震能力及安全性。同时,借助具体案例,证实了本研究所倡导的强化方法,在实际应用中的确切效果和适用性。

[关键词] 高层建筑;混凝土结构;抗震性能;结构加固;性能评估

城市化的加快使得高层建筑大量出现,以至于在发生地震这种自然灾害时,建筑的结构稳固性就显得格外关键。在高层建筑领域,广泛采纳了一种名为混凝土的结构,该结构以其突出的持久性与成本效益而备受青睐。针对地震工况,混凝土结构可能遭受的损毁机制较为繁复,迫切要求开展对其抗地震能力的深入探讨,并寻求高效检测与强化策略。

Q 混凝土结构的抗震需求与破坏机理

(一)抗震设计基本原则

地震作用下,结构设计需遵循基本原则,以确保足够的安全性与功能性。首先,建筑物的骨架必须设计成能够承受小型或常规地震的力量,以保障主体结构在地震后不受损害。在遭遇中等强度地震时,建筑结构应通过可控的非结构性损害来耗散地震能量,从而维持其基础完整性及正常使用功能。即便在罕见的大地震中,建筑物即便可能遭受严重损害,也应当尽力防止其崩塌,以确保人员的安全。

其次,在抗震设计中,需要评估建筑结构的延展性和冗余度,以确保其在灾害中的抗力性能。上文所述的延展性,指的是物体在经历形变至塑性状态之后,其承载能力不大幅度衰减,仍可持续承受较大形变的能力。该特性让建筑结构在遭遇意外强烈的地震时,能够获得额外的时段,以实现能量的散失与减震效果。所谓冗余度,指的是一种抗毁性特征,即当一个系统的某些部分遭受损坏时,其余部分仍能承载额外负荷,以此防止整体性崩塌。

(二)高层建筑混凝土结构的典型破坏形态

在地震作用下,高层建筑的混凝土结构可能展现出多种破坏形式,大体可归结为几个主要类别。(1)剪切破坏:是混凝土构造面临的一种极端风险,尤其在地震强烈影响下,当其截面无法承受相应剪力时便会发生。剪切性损害可能引发建筑结构的瞬时崩溃,进而缩减紧急撤离及救援行动的可操作时间。(2)弯曲破坏:尤其是在持久振动作用下,柔性高层建筑易遭受显著侧移,进而导致柱梁或墙体发生弯曲性损毁。例如,在建筑结构的薄弱环节,如软层或过渡层,常常出现损坏的现象。(3)层间位移:在地震过程中,楼层间可能发生显著相对移动,从而影响结构的完整性。过大的层间位移不仅会危害建筑结构的完整性,同时也会对非结构部件,诸如,隔断墙体和管道系统造成损伤。(4)脆性破坏:脆性破坏通常是由混凝土和钢筋在受压区域配筋不足所引发的。对于摩天大楼这种建筑,一旦遭遇脆性断裂,可能会引发结构完整性的显著下降,最终导致建筑的整体倒塌。(5)基座破坏:当地震发生时,基座的损坏往往源于不均匀的地基反力或是设计上的缺陷,使得建筑稳定性受到基座损毁的直接冲击,这是引发整体结构性破坏的关键因素之一。

理解并分析这些典型的破坏形式,可以有针对性地制定出更安全和可靠的抗震加强计划,从而有效提升高层混凝土建筑的安全性。

Q 高层建筑抗震性能现状评估

(一)现场检测技术概述

针对高层建筑结构，进行抗震能力评定时，现场实地测试扮演了不可或缺的角色。利用这些技术，可以直接对建筑结构的现有状况及其潜在风险进行准确评定，从而为之后的加固工作提供必要的参考依据，常用的现场检测技术包括以下几种。

(1)非破坏性检测：所涉技术范畴涵盖地震波速度测定、超声波探测，以及地面穿透雷达技术(GPR)，均为勘探领域的重要工具。利用特定技术，能对混凝土构造内部裂缝及其他缺陷进行非侵入性检测，确保建筑结构的完整性。(2)静态荷载试验：对建筑物施加静止荷重，观察其反应，以此来评价其结构承载力及稳定状况。利用该技术手段，能直接揭示物体在外力作用下的形变状态。(3)动态响应测试：开展振动台试验以及环境振动测试，旨在分析动态荷载作用下结构的反应特性。借助此类检测，得以量化建筑物的固有振动特性，包括其阻尼特性和形态。

(二)结构性能评估方法

对于建筑物的抗震能力进行评定，是决定其是否需要加强以及加强程度的重要环节，这一评估过程通常包括以下方法。(1)基于性能设计(PBD)的方法：本策略主要针对建筑物，在遭遇地震影响时，对其可能呈现的反应进行预测及评价，以确保其能达到既定的安全与功能标准。(2)数值模拟分析：借助有限元分析工具，对建筑结构进行模拟实验，旨在准确预估其在未来地震事件中的动态响应。(3)脆弱性曲线评估：利用统计学方法所生成的曲线，能够对建筑在地震中的损坏可能性进行量化评价。此种手段为城市地震危险性评估赋予了量化的科学支持，成为灾备策略中不可或缺的技术手段。

通过上述技术和评估手段的集成应用，能全方位掌握高层建筑的抗震能力，这为设计科学合理的加固方案提供了数据支撑。

Q 抗震加固技术与方法

(一)加固材料与技术选型

为了增强高层建筑在地震中的稳定性，关键在于选用适宜的加固材料，以及应用先进的技术手段。在考虑钢筋等增强材料的选用时，需依据构筑物当前的稳固性、拟达成的加强目的，以及与之相关的成本效益进行决策。常见的加固材料和技术包括以下几点。

(1)碳纤维加固：碳纤维因其高强度和轻质特性，能有效提升混凝土构件在弯曲和剪切力作用下的性能表现。将碳纤维布附着于受力构件的表层，借助其卓越的抗拉特性，从而增强结构整体的负载能力和变形能力。

(2)钢板加固：针对要求提高结构承受剪力和弯矩能力的情况，钢板加固技术作为一种久经考验的有效手段，发挥

着至关重要的作用。为了增强结构的抗震能力，采用焊接或螺栓连接的方式，将钢板安装在关键部位。

(3)外包钢筋混凝土层：针对已遭严重破坏的混凝土立柱，可以通过施加一层额外的钢筋混凝土覆盖物来进行加固处理。该技术手段不但扩展了建筑柱体的结构横截面积，同时，显著增强了其负载能力和伸展性能。

(4)粘接外置钢筋：为了提升混凝土构件在地震中的稳固性，可以在其表面粘附或设定钢筋。这种做法能够有效加强其局部的或整体的抗震功能，针对梁、柱等承重构件，使用此加固手段，以提升结构的稳固性。

(5)隔震与减震技术：在建筑的基础层或特定楼层安装隔离层，可减少地震时地面传来的直接冲击力，此方法被称作隔震技术。安装减震器和阻尼器于建筑结构之中，其功能在于摄入并缓解地震产生的能量波动。

(二)结构加固设计与实施案例

下文将呈现一项针对结构加固的具体案例，旨在详细阐述先进加固技术与材料的实际运用。

(1)案例背景：在针对一座建立于20世纪80年代的办公高层建筑进行的结构安全性评价过程中，检测结果显示其当前的设计并不符合现行的抗地震要求。针对建筑中承担主要负荷的部分，需要进行抵御地震影响的强化处理。

(2)碳纤维加固：碳纤维被选作对楼层梁与柱进行加固的主要材质，经过裁剪以满足设计规范的碳纤维布。通过环氧树脂胶接剂，附着于事先清理并精磨过的混凝土表层。

(3)钢板包裹：针对某些起到关键支撑作用的建筑构件，采用金属板材料对其进行外部防护，以增强其结构稳固性。在完成钢板的切割和成形工序后，利用高强度螺栓将其与原有柱子相连接。

(4)实施过程：第一，对现场进行细致的查看，以确认需要加强的部分及其相应的处理手段。第二，按照加固设计进行材料的采购和预制作。第三，现场对受力构件的清洁及表面处理是准备工作的一部分。第四，对结构进行加固，涉及碳纤维的粘贴与钢板的安置，所有步骤严格遵循技术标准。第五，加固完成后，进行加载测试以验证加固效果。第六，通过对建筑结构的加强处理，其抗震特性得到大幅提升，这不仅显著延长了建筑物的存续期限，而且保障了人员的在场安全。

Q 混凝土结构抗震加固效果分析

(一)加固前后性能对比

对于混凝土构造体，在实施抗震加强措施之后，比较加强之前与加强之后的工程表现，是评估加强成效的重要过程。在以下几个维度中，可以明显看到加固效果的显著提升。

(1)提高承载能力:经过增强之后,建筑或机械的构造往往表现出更优异的承重能力,这一特性可以通过理论计算与实际操作实验,比如,实施加载试验,来加以证实。以碳纤维为材料对梁和柱进行加固,在相同荷载作用下,加固后的变形显著减小,这说明加固措施有效地增强了建筑构件的承载能力和抗变形性能。(2)增强延性:在地震影响下,用以评价建筑构件抗破坏能力的,是衡量其能否避免突然断裂的关键特性。采取外包钢筋混凝土层或钢板的方式,对构件实施加固处理,能够在极限状态下显著增加其延展性,从而使其在更大变形的情况下也不会断裂。(3)改善振动特性:借助如地震模拟或振动台试验等动态测试方法,可观测到建筑结构自然频率的相应变动。建筑在加固之后,其自然振动频率往往有所上升,这一现象揭示了结构刚度的增强,进而表明其对抗地震振动的能力亦有所提升。

(二)加固效果的可靠性评估

为了判定加固手段的实效性,必须对加固后的效果进行严格的可靠性检验,这一评估通常包括以下几个方面。

(1)长期性能监测:例如,加固结构的性能,可通过安装如应变计及位移计等长期监测设备,实现持续跟踪。通过对正常运作及地震等异常状态下的结构反应进行数据监控,可以验证加强手段的持续有效性。(2)模拟与实际表现比较:采用数值模拟技术对加固后的结构在设想震动作用下的反应进行预测,随后将预测的响应与实际地震事件或振动台实验数据相对比,以评价所建模型的精确度及加固方案的实际效果。(3)安全边际评估:在制定加固计划的过程中,通常会预留一定的安全余地,进行实验以及对实际应用的分析,以判断这些安全余量是否足够,其在极端条件下的表现是否达到了安全保障的标准。

采用一系列综合性评价手段,能够对结构加强后的稳定性和未来对抗地震能力的保持情况进行详尽把握。

Q 未来高层建筑抗震技术的发展方向

(一)新材料与新技术的应用前景

在高层建筑的抗震设计领域,科技进步不断推动新材料及技术的应用,这些创新元素正逐渐成为关键性的角色,将来的演变路径将集中于数个关键领域。

(1)高性能混凝土:为了增强建筑结构的坚固性与弹性,研究人员采用了超性能的 UHPC 和 FRC 等前沿材料。此种物质不仅能承受较高的应力,而且在极端环境下依旧展现出良好的抗裂特性。(2)智能材料:采用如形状记忆合金(SMA)及压电的智能材料,研发能够主动调整结构反应的抗震系统。在地震发生时,这类物质能转换其物理属性,例如,增进阻尼或调整固有刚度,以此作用来减轻建筑物的摇晃程度。(3)隔震和减震技术:在新一代的隔震和减震技

术中,例如,摩擦摆隔震器和粘弹性阻尼器等系统,将更加广泛地被应用于高层建筑领域。利用这些系统,可以有效地将地震能量隔离开来,防止其传递至建筑物结构,从而显著降低建筑物的震动响应。

(二)抗震设计理念的创新与实践

理念上,抗震设计正随着新材料及技术的涌现,以及对于建筑物安全属性的更高要求而持续创新。

(1)基于性能设计(PBD)的方法:不再仅仅局限于传统安全基准的设计理念,是根据建筑的功能需求和使用目的,来特别制定的抗震性能要求。经过深入的解析与计算机仿真,旨在确保各类建筑在遭遇各级别地震时,能够实现既定的性能指标。(2)全生命周期考量:在抗震设计领域,关注重点将转向建筑从构建至拆除的整个生命周期过程中的表现,涵盖建造、使用、维护等多个阶段。倡导在建筑领域采用可以长期使用的材料,打造便于后续保养与技术更新的建筑体,同时,对建筑拆除后的环境影响给予必要关注。(3)集成化风险管理:将抗震设计纳入城市灾害风险管理系统,通过跨学科协作,构建全面的防灾计划。其涉及气象、交通以及紧急响应系统之间的数据互通与共享,旨在提升灾害处理的效率。(4)适应性设计:面对由气候变化引发的不确定性加剧及极端气候事件频发,抗震设计的适应性需求亦随之增加。此种构建方案能够应对未来环境及科学认知的演变,确保建筑物长效的适用性与稳固性。

推广这些创新理念及实践,将使未来高层建筑的抗震能力得到提升,从而更有效地保障人们的生命和财产安全。

Q 结束语

技术迭代推动了高层建筑混凝土结构抗震能力评估与强化手段的升级,通过对现有技术的详尽分析,结合实际案例的研究,本文明确了加固手段的成效,并指明了未来相关技术进步的路径。未来的学术探索需集中于新型材料的运用和高层建筑抗震设计的创新方法,目的是增强建筑结构的抗震能力。

参考文献

- [1]宁珊.方钢管复合约束混凝土组合柱轴压承载力及抗震性能研究[D].南宁:广西大学,2023.
- [2]朱颖.浅谈高层建筑混凝土结构的抗震设计研究[J].建材发展导向,2023,21(02):55-57.
- [3]孙波,阚和顺,孙经纬,等.高层建筑结构抗震性能处理措施分析与设计[J].四川建材,2023,49(07):37-39.

作者简介:

石方方(1985—),男,汉族,江苏徐州人,本科,工程师,中冶建筑研究总院(深圳)有限公司,研究方向:建筑工程检测。