

# 高层电力调度中心建筑的抗连续倒塌设计策略

张 意

杭州益瑞电力科技有限公司 浙江 杭州 311115

**摘 要:** 高层电力调度中心作为关键能源基础设施,其抗连续倒塌能力直接关乎区域电力安全。研究基于多重传力路径、延性与冗余度协同、局部与整体稳定性分离等设计原则,提出优化超静定体系规则性、协同布置拉结构件、开展拆除构件分析等方法,并通过局部构件强化和构造措施提升结构韧性。该成果为极端工况下电力枢纽的安全设计提供了理论依据与实施路径。

**关键词:** 高层电力调度中心、抗连续倒塌设计、结构冗余度、拉结构件

## 引言

高层电力调度中心作为能源系统核心设施,其结构安全须防范局部破坏引发的连续倒塌风险。该类建筑因采用复杂超静定体系,荷载传递存在单点失效隐患,且动力效应易放大破坏效应。研究通过优化冗余传力路径、提升结构延性及强化局部构件等策略,增强意外荷载下的抗灾性能,确保电力调度功能持续稳定运行,为关键基础设施的韧性设计提供实践参考。

## 1 高层电力调度中心建筑的连续倒塌研究背景

高层电力调度中心作为能源系统的核心枢纽,其结构安全对保障区域电力稳定供应至关重要。结构连续倒塌问题始于二十世纪中期多起建筑失效事件,这类事故因局部破坏引发内力重分布,最终导致整体坍塌,凸显单点失效可能引发不成比例的严重后果。该类建筑多采用大跨度或复杂超静定结构体系,竖向荷载传递路径存在单点脆弱性,局部构件破坏易引发荷载重新分配,导致相邻构件因应力集中而连锁失效。其灾变过程涉及材料应变率效应、几何非线性变形等多因素耦合,破坏模式极为复杂;当前研究重点聚焦于优化结构冗余度、构建备用传力路径及量化动力效应,通过精细化分析为提升能源基础设施的抗灾能力提供重要依据<sup>[1]</sup>。

## 2 高层电力调度中心建筑抗连续倒塌设计的基本原则

### 2.1 多重荷载传递路径构建原则

(1) 竖向构件连续性优化: 在高层电力调度中心建筑设计中,竖向构件的连续性至关重要;需避免结构出现突变,确保竖向构件如柱、剪力墙等,在楼层间连续且均匀布置,通过合理规划构件尺寸、位置及连接方式,使结构在遭受意外荷载时,能保持竖向荷载的有效传递,防止因局部破坏引发整体倒塌,增强结构整体稳定性。(2) 水平构件悬链线效应利用: 水平构件如楼板、梁在抗连续倒塌中发挥关键作用,利用其悬链线效应,即当

结构局部破坏后,水平构件能通过自身拉结作用,将荷载传递至其他未破坏区域。设计时,应增强水平构件的连接强度,提高其抗拉性能,确保在极端情况下,水平构件能形成有效的拉结体系,分散荷载,避免结构连续倒塌。

### 2.2 结构延性与冗余度协同优化原则

(1) 关键构件延性强化: 高层电力调度中心建筑中,关键构件如梁柱节点的延性对结构抗连续倒塌能力影响显著。强化其延性,需精准控制塑性铰位置与转动能力;通过合理配筋、优化截面形式等手段,确保在荷载作用下,塑性铰在预设位置形成,并具备足够转动能力,吸收能量,延缓结构破坏进程,为人员疏散与抢险救援争取时间。(2) 非关键构件冗余度提升: 非关键构件虽不直接承受主要荷载,但提升其冗余度对结构整体安全至关重要。设计时,应考虑设置备用传力路径,当部分构件失效时,荷载能通过其他路径有效传递;通过增加构件数量、优化布局等方式,提高结构在意外情况下的适应性与可靠性,避免因单一构件破坏引发整体结构连续倒塌。

### 2.3 局部破坏与整体稳定性分离原则

(1) 薄弱层识别与加固: 在高层电力调度中心建筑设计中,精准识别薄弱层是关键。薄弱层易出现应力集中,导致局部破坏迅速蔓延;通过细致的结构分析与计算,确定薄弱层位置,针对其受力特点,采用增加构件截面尺寸、提高材料强度或增设支撑等加固措施,分散应力,增强薄弱层承载能力,避免局部破坏引发整体结构失稳。(2) 转换结构多重传力体系构建: 转换结构在高层建筑中承担着传递荷载的重要任务。为确保其安全可靠,需构建多重传力体系,如桁架与斜撑协同工作;桁架能有效分散竖向荷载,斜撑则增强结构抗侧力能力。二者相互配合,形成稳定传力路径,当部分构件受损时,

荷载仍能通过其他路径传递,保证转换结构及整体建筑在局部破坏下的稳定性<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 关键构件强化与普通构件协同设计原则

(1) 关键构件识别标准:在高层电力调度中心建筑结构设计中,关键构件的识别至关重要。依据结构重要性系数赋值方法,综合考虑构件在整体结构中的位置、受力特点及破坏后果等因素,为不同构件赋予相应的重要性系数;系数较高的构件被认定为关键构件,需进行重点强化设计,确保其在各种工况下均能保持稳定,为整体结构安全提供坚实保障。(2) 普通构件承载力动态调整机制:普通构件虽非关键,但其承载力设计亦不容忽视,建立普通构件承载力动态调整机制,根据正常工况与极端工况下的受力需求,进行包络设计。在正常工况下,普通构件满足常规承载要求;在极端工况下,通过调整其承载力,确保与关键构件协同工作,共同抵御外部荷载,维持整体结构的稳定性与安全性。

### 3 高层电力调度中心建筑防止结构连续倒塌的方法体系

#### 3.1 概念设计方法

(1) 超静定结构体系的规则性优化:超静定结构因其多余约束的存在,具备更强的内力重分布能力。在高层电力调度中心建筑设计中,优化超静定结构体系的规则性至关重要,通过合理布置结构构件,使结构在平面与竖向均保持规则对称,减少因结构不规则导致的应力集中现象,从而提升结构的整体抗灾性能,有效防止连续倒塌的发生。(2) 转换结构的整体多重传力路径设计:高层电力调度中心建筑中,转换结构作为连接不同结构形式的关键部位,其设计需考虑多重传力路径;通过设置多道传力构件,确保在某一构件失效时,荷载能够迅速传递至其他构件,避免局部破坏引发整体倒塌,这种设计方法增强了结构的冗余度,提高了建筑在极端情况下的安全性。(3) 概念设计的性能目标设定:在高层电力调度中心建筑的概念设计阶段,需明确性能目标。这些目标应涵盖结构在不同灾害作用下的表现要求,如抗震、抗风等。通过设定合理的性能目标,指导后续的结构设计与施工,确保建筑在遭遇灾害时能够保持足够的承载能力与变形能力,从而有效防止结构连续倒塌<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 拉结构件设计方法

(1) 水平与竖向拉结系统的协同布置:高层电力调度中心建筑中,水平与竖向拉结系统的协同设计是增强结构整体稳定性的核心。水平系统依托楼板、连梁等构件建立楼层间连续传力机制,强化水平刚度与抗侧力性能;竖向系统通过柱、剪力墙等构件实现各层结构的有

效串联,保障竖向荷载传递的可靠性。二者通过空间耦合形成三维受力框架,可协同分散外部荷载,抑制局部破坏向整体坍塌发展,显著提升结构抗连续倒塌能力。(2) 悬链线效应在楼板体系中的利用:楼板体系可通过悬链线效应优化荷载传递路径。通过调整楼板几何形态与边界约束条件,诱导其在受力过程中形成自然拱效应,将集中荷载向周边支撑构件扩散,降低楼板核心区应力峰值。这种力学机制不仅提升楼板承载效率,更赋予其在大变形条件下的荷载再分配能力,为结构在极端事件中提供额外的安全储备,有效阻断倒塌链式反应。(3) 拉结构件的承载力与变形能力要求:拉结构件作为结构连续性的关键保障单元,其设计需同步满足强度与变形双重指标。须确保构件具有足够的静力承载能力抵御常规与极端荷载,同时通过延性设计赋予其可控变形特性,使构件在超载阶段通过塑性发展吸收能量、缓解应力集中。这种“强承载-适变形”特性可有效阻断局部失效的扩散,维持结构整体稳定性,是防止连续性倒塌的核心技术措施。

#### 3.3 拆除构件分析方法

(1) 关键构件识别与失效工况定义:高层电力调度中心建筑中,关键构件识别要依据结构受力与荷载传递路径。分析结构在重力、风荷载、地震作用下的内力分布,确定对整体稳定性影响大的构件,像承重柱、转换梁等。失效工况定义要考量极端状况,比如构件突然断裂或局部破坏,模拟不同位置、方向的失效模式,为后续分析打基础,此步骤影响评估结果准确性。(2) 非线性动力分析中动力放大系数取值:非线性动力分析要考虑结构在动态荷载下的变形与能量耗散特性。动力放大系数反映结构在动力作用下的响应增强效应,取值需综合结构类型、材料特性及荷载类型确定。对于高层电力调度中心建筑,该系数要通过试验或数值模拟校准,既能体现实际动力响应,又避免设计过度保守,合理取值对平衡结构安全性与经济性很关键。(3) 拆除构件分析结果评估与应用:拆除构件分析后,要评估剩余结构承载能力与变形是否达标。评估指标有剩余结构位移、应力水平及稳定性储备。若不满足要求,可通过加强剩余构件、增设冗余路径或优化结构布置等方式改进。分析结果还能指导结构维护与加固设计,为高层电力调度中心建筑长期安全运行提供科学支撑<sup>[3]</sup>。

#### 3.4 局部加强设计方法

(1) 关键构件的承载力增强措施:针对高层电力调度中心建筑中的关键构件,如承重柱、转换梁等,需通过增大截面尺寸、提高材料强度或增设附加配筋等方式

增强其承载力。对于受压构件,可采用高强度混凝土或钢管混凝土包裹技术提升抗压能力;对于受弯构件,通过增加箍筋或采用纤维增强复合材料(FRP)进行加固,提高抗弯与抗剪性能。这些措施需结合结构受力特点与施工可行性综合确定,确保关键构件在极端荷载下仍能保持稳定。(2)反向受力承载能力的验证标准:局部加强设计需验证构件在反向受力状态下的承载能力,地震作用下的拉压交替或风荷载引起的双向弯曲。验证标准应基于结构实际受力工况,通过非线性有限元分析或模型试验确定构件在反向荷载下的变形与应力分布;设计时需确保构件在反向受力时的承载力不低于正向受力时的设计值,并预留足够的安全储备,避免因受力方向改变导致局部破坏引发连续倒塌<sup>[4]</sup>。(3)局部加强设计的构造措施:局部加强设计需注重构造细节,确保加强措施与原结构协同工作。增设的加固构件与原构件间需采用可靠连接,如化学植筋、焊接或螺栓连接;加固区域需进行表面处理,确保新旧材料界面粘结牢固;对于混凝土构件,需控制加固层的厚度与配筋率,避免因收缩差异导致开裂;加强设计应兼顾施工便利性与耐久性,避免因构造缺陷削弱加固效果,保障高层电力调度中心建筑的长期安全性能。

### 3.5 构造措施强化方法

(1)钢筋混凝土结构的配筋贯通构造:钢筋混凝土结构中,配筋的连续性与贯通性对结构整体受力性能至关重要。设计时需确保关键受力部位的钢筋在节点区、施工缝等位置有效连接,避免因钢筋截断导致应力集中或传力中断;梁柱节点区应采用加密箍筋与拉筋,保证钢筋骨架的稳定性;楼板钢筋需延伸至支座边缘并满足锚固长度要求,形成连续受力体系,通过优化配筋构造,可显著提升结构的抗裂性与延性,增强其抵抗连续倒塌的能力。(2)钢结构节点的刚接与延性平衡设计:钢结构节点的设计需兼顾刚度与延性,以适应不同受力工况下的变形需求。刚接节点通过焊接或高强度螺栓连接实现,确保结构在正常使用阶段具有足够的刚度;需通过

合理构造设计避免局部应力集中,防止脆性破坏;在极端荷载作用下,节点应具备一定延性,通过塑性变形耗散能量,延缓结构倒塌进程;平衡刚接与延性的关键在于控制节点域的变形能力,避免过早进入塑性阶段导致承载力骤降。(3)构造措施强化的施工与质量控制:构造措施的强化效果依赖于施工质量的严格把控。施工过程中需确保钢筋位置准确、焊接质量可靠、螺栓预紧力符合设计要求;对于混凝土结构,需控制浇筑质量与养护条件,避免蜂窝麻面或收缩裂缝;钢结构节点施工应重点关注焊接工艺评定与螺栓扭矩校准,确保节点连接强度,需通过现场检测(如钢筋扫描、超声波探伤)与验收程序,验证构造措施的实施效果,为高层电力调度中心建筑的结构安全提供双重保障<sup>[5]</sup>。

结束语:高层电力调度中心建筑抗连续倒塌设计需统筹结构冗余度、延性及局部稳定三大核心要素。通过建立多重荷载传递路径、激活悬链线效应、强化关键构件等核心手段,并辅以精细化拆除效应评估与构造细节优化,可有效增强结构在极端灾害下的安全冗余。该研究整合的系统化设计策略,为同类重大工程提供了可实施的技术方案,对提升能源设施抗灾可靠性具有实用价值。

### 参考文献

- [1]钱凯,李易.混凝土结构抗连续倒塌研究综述[J].建筑科学与工程学报,2022,39(3):20-29.
- [2]何羽,钱凯,于晓辉.钢筋混凝土结构抗连续倒塌研究进展[J].河北工业大学学报,2025,54(01):16-31+63.
- [3]张洋洋,赵丽洁,王昊,等.反向槽钢连接抗连续倒塌性能参数化分析[J].粉煤灰综合利用,2024,38(06):108-114+154.
- [4]魏淑静,杨中宣,原征宇.型钢混凝土组合结构抗连续倒塌性能研究[J].兵器材料科学与工程,2025,48(01):51-58.
- [5]蒋认,师燕超,黄宏,等.爆炸荷载下基于子结构的RC框架抗连续倒塌分析[J].防灾减灾工程学报,2025,45(02):271-281.