

# 变电站抗震性能提升土建设计实践分析

刘国强

北京富卓电力工程技术有限公司 北京 100024

**【摘要】**变电站作为电力系统的关键组成部分，其抗震性能直接关系到电力供应的稳定性和电网的安全性。提升变电站的抗震性能，可以有效减少自然灾害对电力设施的破坏，保障在地震等极端情况下的电力供应。影响变电站抗震性能的因素包括结构形式、场地条件和设备布置等。为了增强变电站的抗震能力，土建设计策略应包括优化基础设计，如合理选择基础形式和增强基础的埋深；加强结构连接，例如梁柱节点加固和墙体与框架的连接；以及采用减震技术，如安装减震装置和使用减震材料。

**【关键词】**变电站；抗震性能；电力供应；电网安全；土建设计策略

## 引言

随着社会经济的快速发展，电力需求日益增长，电力系统的稳定运行对社会经济发展具有至关重要的作用。变电站作为电力系统中的重要节点，其稳定性和安全性直接关系到整个电网的可靠性。然而，地震等自然灾害的频发对变电站的安全构成严重威胁。

### 1 变电站抗震性能提升的意义

#### 1.1 保障电力供应稳定

变电站作为电力系统的重要组成部分，其抗震性能对保障电力供应的稳定性至关重要。在地震发生时，变电站的损毁将直接导致电力中断，严重影响居民生活和社会生产。因此，提升变电站的抗震性能能够有效减少地震对电力系统的破坏，确保电力供应的连续性，进而维护社会经济的正常运转。通过采用先进的抗震设计和加固技术，可以大幅提升变电站的抗震能力，降低地震带来的风险和损失。与此同时，变电站抗震性能的提升还可以增强电力系统的应急响应能力，使其在地震等突发事件中能够迅速恢复供电，减少停电时间和范围。对于电力企业而言，提高变电站抗震性能不仅是履行社会责任的体现，也是增强企业竞争力的重要手段。

#### 1.2 提高电网安全性

在地震等自然灾害面前，电网的稳定运行直接关系到社会的正常运作和居民的日常生活。变电站作为电网的关键节点，其抗震性能的优劣将直接影响电网的稳定性和安全性。通过加强变电站的抗震设计和施工质量，可以有效防止地震对电力设施的破坏，从而保障电网的整体安全性。此外，变电站抗震性能的提升还能够提高电网的抗灾

能力和恢复能力，使其在地震等突发事件中能够快速恢复供电，减少对社会和经济的负面影响。提高变电站的抗震性能也是电力企业提高自身服务能力和社会形象的重要举措。在技术层面，通过引入先进的抗震技术和材料，优化变电站的结构设计，可以显著提升其抗震能力，确保电网在地震等极端条件下的安全运行。

### 2 影响变电站抗震性能的因素

#### 2.1 结构形式

不同的结构形式在地震作用下表现出不同的抗震能力和破坏模式。框架结构由于其良好的柔性和变形能力，能够较好地吸收地震能量，减少结构的破坏。然而，框架结构的节点和连接部位是抗震设计的薄弱环节，往往在地震中容易出现损坏，需特别加固。钢筋混凝土结构则具有较高的刚度和强度，在地震中表现出较好的抗震性能，但其脆性破坏模式需要在设计中引入足够的延性措施，以提高抗震能力。预制装配式结构虽然在施工速度和质量控制方面具有优势，但在地震中由于连接部位较多，容易造成整体性不足，因而在设计中需特别注意连接节点的抗震设计。

#### 2.2 场地条件

场地条件对变电站的抗震性能有着直接影响，地质条件、地形特征以及地下水位等因素都会在地震中对变电站的安全性产生重要作用。首先，地质条件是影响变电站抗震性能的基础因素，软弱土层和液化土层在地震作用下容易产生大幅度变形和液化现象，从而导致地基失效，进而影响变电站的稳定性。对于软弱土层和液化土层，需采取相应的地基加固措施，如换填土方、桩基处理等，以提高地基的承载力

和抗变形能力。其次，地形特征也会影响地震波的传播和放大效应，山坡地形、河谷地形等复杂地形在地震中容易产生局部放大效应，从而加剧地震对变电站的作用影响。

### 2.3 设备布置

合理的设备布置不仅能够提高设备的抗震能力，还能减少地震对整体系统的影响。在设计变电站时，需充分考虑设备的重量、重心位置以及相互间的距离等因素，以确保在地震作用下各设备能够协调运动，减少相互碰撞和损坏。重型设备应尽量布置在基础稳固的部位，并采取相应的抗震加固措施，如设置减震装置、加强固定连接等，以提高其稳定性和抗震性能。同时，变电站内的设备应遵循重心低、分布均匀的原则，避免因重心过高或分布不均而导致整体结构在地震中产生过大的倾覆力矩或不均匀变形。

## 3 变电站抗震性能提升的土建设计策略

### 3.1 优化基础设计

#### 3.1.1 合理选择基础形式

不同的地基条件和结构形式要求采用不同的基础形式，以确保变电站在地震作用下能够有效抵抗地震力。常见的基础形式包括浅基础、深基础和桩基础等。在软弱土层或液化土层上，浅基础往往难以提供足够的承载力和稳定性，应优先考虑采用深基础或桩基础。深基础通过增加埋置深度和基础面积，能够有效提高基础的承载力和抗变形能力，适用于承载力较低的地基条件。桩基础通过桩体将上部结构荷载传递至更深、更稳固的土层，能够显著提高基础的稳定性和抗震性能，特别适用于软土层和高地下水位地区。基础形式的选择还需考虑变电站的具体结构形式和载荷特点，确保基础形式与上部结构的受力特性相匹配，以实现整体结构的协调抗震。此外，在选择基础形式时，还应充分考虑地震波传播特性及其对基础的影响。例如，在地震频谱中，较高频率的地震波可能对浅基础产生较大影响，而深基础和桩基础则能够有效减小这种影响。在设计过程中，应进行详细的地质勘察，获取准确的土层信息，以便为基础设计提供科学依据。同时，结合数值模拟和抗震分析，优化基础的尺寸和配筋方案，确保变电站在地震作用下具备良好的安全性和稳定性，从而提升整体抗震性能。

#### 3.1.2 增强基础的埋深

基础埋深的增加可以有效提高基础的稳定性和承载力，减少地震作用下的地基变形和滑动风险。深埋基础能够更好地传递和分散地震力，减小上部结构的震动幅度，从而

提高整体结构的抗震性能。在地质条件较差的区域，增加基础埋深能够避开表层软弱土层，直接将荷载传递到更为稳固的深层土体，有效提高基础的承载力和稳定性。此外，深埋基础还能够提高基础的抗拔力，防止在地震作用下基础被拔出或上浮，确保结构的稳定性和安全性。基础埋深的增加需综合考虑地质条件、工程造价和施工难度等因素，以确定合理的埋深范围。在设计基础埋深时，还应考虑地下水位变化对基础稳定性的影响。较高的埋深可以降低地下水对基础的浮力作用，进一步增强其稳定性。同时，深埋基础的施工工艺相对复杂，需采用适当的施工方法，以确保施工安全及质量。此外，基础埋深的增加可能导致工程造价上升，因此在实际工程中，需进行全面的经济性分析，以实现安全性与经济性的平衡。

### 3.2 加强结构连接

#### 3.2.1 梁柱节点加固

梁柱节点是结构中承受力最大的区域之一，其加固是提升变电站抗震性能的关键。对梁柱节点进行加固可以显著提高结构在地震作用下的整体刚度和稳定性。可以采用钢筋混凝土套箍、钢板包裹、碳纤维布加固等多种方法，这些措施不仅能增强节点的承载能力，还能提高节点的塑性变形能力，进而吸收更多的地震能量。套箍加固通过在节点周围增加环向钢筋，形成封闭的环箍，显著提高节点的抗剪和抗弯性能。钢板包裹加固则利用钢板高强度的特点，通过焊接或螺栓连接固定在节点处，提高节点的整体刚度和承载力。碳纤维布加固是一种新型的高效加固方法，通过粘贴高强度的碳纤维布料，在不增加结构自重的情况下，显著提升节点的抗震性能。无论采用何种加固方法，都需进行详细的结构分析和设计，确保加固措施能够有效提升节点的抗震能力，从而提高整个变电站结构的抗震性能，保障电力设施的安全可靠运行。此外，梁柱节点的加固设计还应考虑材料的耐久性和抗腐蚀性，以确保在恶劣环境条件下仍能保持良好的性能。结合抗震设计规范，节点加固方案应与整体结构相协调，避免局部加固造成的应力集中。同时，施工过程中的质量控制也至关重要，确保加固材料的正确安装和粘结强度，以实现预期的抗震效果。定期的检测和维护也是保障加固效果的重要措施，确保变电站在长期运营中始终具备良好的抗震性能。

#### 3.2.2 墙体与框架的连接

合理设计墙体与框架的连接方式，可以有效传递地震

力,避免墙体在地震中发生破坏。常见的连接方式包括采用钢筋贯通连接、设置连接构件,以及使用高性能黏结材料等。钢筋贯通连接通过在墙体和框架之间设置贯通钢筋,形成一体化的连接结构,显著提升连接部位的抗剪和抗拉性能。设置连接构件则通过在墙体和框架之间安装专门的连接件,如预埋钢板、螺栓连接等,确保墙体和框架在地震作用下同步变形,避免墙体脱落或破裂。高性能黏结材料的使用则通过在墙体和框架之间应用高强度的粘结剂,增强两者的粘结力和整体性。无论采用何种方式,都需根据具体的设计要求和施工条件进行选择和优化,确保墙体与框架的连接能够承受地震作用,提升变电站整体的抗震性能,保障其在地震中的安全运行和快速恢复。此外,墙体与框架的连接设计还应考虑施工工艺的可行性和成本效益。连接部位的详细设计和合理布局能够进一步提高结构的整体性和稳定性,减少局部应力集中。在地震作用下,连接处的变形能力至关重要,因此应进行适当的塑性设计,以确保在极端荷载下结构能够有效吸收和分散震动能量。

### 3.3 采用减震技术

#### 3.3.1 安装减震装置

这些装置能够有效降低地震能量对结构的冲击,减少结构的震动和变形,从而保护变电站内的设备和设施。常见的减震装置包括橡胶隔震垫、黏滞流体阻尼器和摩擦摆隔震系统等。橡胶隔震垫通过在建筑物底部安装橡胶垫层,起到隔离地震波传播的作用,大大减少地震力传递到上部结构。黏滞流体阻尼器利用黏滞流体的阻尼特性,在地震发生时吸收和耗散地震能量,减少结构的振动响应。摩擦摆隔震系统则通过设置滑动摩擦摆,允许结构在地震作用下产生一定范围的滑动位移,从而降低地震力的作用效果。安装这些减震装置需要结合变电站的实际情况进行详细的设计和计算,确保其能够在地震过程中发挥预期的减震作用,有效保护变电站的安全运行。此外,在安装减震装置时,应考虑其与整体结构设计的协调性,以确保减震效果的最大化。减震装置的选型应依据变电站的地震特征、土壤条件和建筑类型进行综合分析。定期对减震系统进行检修和维护也是必要的,以确保其在关键时刻能够正常工作。此外,随着新技术的不断发展,应关注减震技术的创新与更新,及时引入先进的减震解决方案,以提升变电站的抗震能力和运行安全性,确保在地震事件后能够快速恢复供电服务。

#### 3.3.2 采用减震材料

这些材料具有良好的能量吸收和耗散能力,能够有效减缓地震波对结构的冲击,降低结构的振动和变形。常用的减震材料包括高分子减震材料、橡胶减震材料和粘弹性材料等。高分子减震材料具有优异的能量吸收特性,可以在地震作用下迅速吸收和耗散地震能量,减少结构的振动。橡胶减震材料具有良好的弹性和阻尼特性,在地震过程中能够有效缓冲冲击力,降低结构的应力集中。粘弹性材料则通过粘性和弹性的结合,在地震作用下吸收和耗散能量,减少结构的振动响应。采用这些减震材料需要根据变电站的设计要求进行合理的选材和布置,确保其能够在地震过程中发挥良好的减震作用,进一步提升变电站的抗震性能,保障其在地震中的安全稳定运行。减震材料的应用还应考虑其耐久性和环境适应性,以确保在长期使用过程中能够保持稳定性能。选择合适的减震材料时,需要综合评估其物理性能、成本以及施工便捷性。施工过程中,应确保材料的正确安装和固定,以发挥最佳的减震作用。同时,定期对减震材料进行检测和维护是必要的,以发现潜在的老化或损坏问题,确保其在地震发生时依然能够有效工作。

#### 结束语

总之,变电站的抗震性能提升对于保障电力供应的稳定性和电网的安全性具有重要意义。通过优化基础设计、加强结构连接以及采用先进的减震技术,可以显著提高变电站的抗震能力。未来,随着科技的进步和抗震设计理念的不断更新,我们有理由相信变电站的抗震设计将更加科学、合理,能够有效应对各种自然灾害的挑战,为社会经济的稳定发展提供坚实的电力保障。

#### 参考文献:

- [1] 文波,牛获涛,赵鹏. 变电站抗震性能研究综述[J]. 工程抗震与加固改造, 2007, 29(6): 73-77, 72.
- [2] 李吉超,尚庆学,罗清宇,王涛. 电气设备抗震性能对变电站系统功能的影响分析[J]. 地震工程与工程振动, 2023, 43(03): 15-22.
- [3] 梁黄彬,谢强. 变电站系统抗震韧性量化评估方法[J]. 土木工程学报, 2023, 56(12): 71-81+109.
- [4] 刘潇,谢强,朱旺. 基于韧性评估的变电站抗震性能提升策略[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(23): 8772-8781.
- [5] 梁黄彬,谢强. 变电站地震风险量化评估方法[J]. 电网技术, 1-9.