

升压站建筑结构抗震优化设计研究

陆卫国

中国华电科工集团有限公司 北京 100160

摘要：本文旨在探讨升压站建筑结构的抗震优化设计方法，通过分析升压站建筑的特点及抗震设计的重要性，结合当前建筑结构抗震设计的研究进展，提出适用于升压站建筑结构的抗震优化设计方案。研究内容涵盖升压站建筑的结构特点、抗震设计原则、影响因素以及具体的优化措施，以期为升压站建筑结构的抗震设计提供理论支持和实践指导。

关键词：升压站；建筑结构；抗震设计；优化设计

引言

升压站作为电力系统中的关键设施，承担着升高电压并分配电力的重要任务。其建筑结构的安全性和稳定性直接关系到电力系统的正常运行和供电可靠性。然而，地震等自然灾害对升压站建筑结构的破坏力极大，因此，加强升压站建筑结构的抗震设计显得尤为重要。本研究的意义在于提高升压站建筑结构的抗震性能，保障电力系统的正常运行和供电可靠性。同时，研究成果还可为类似工业建筑结构的抗震设计提供参考和借鉴。

1 升压站建筑结构抗震设计的必要性

1.1 地震对升压站的威胁

地震作为一种突发的自然灾害，其强大的能量释放会对升压站建筑结构构成严重威胁。地震发生时，地面产生的剧烈震动会传导至升压站的基础及上部结构，引发惯性力、剪切力和扭曲力等多种力的综合作用。这些力不仅可能导致升压站建筑结构的开裂、变形甚至倒塌，还可能对站内的电气设备造成严重损坏，如变压器、开关设备等关键部件的破损。此外，地震还可能造成线路中断、绝缘子破裂等问题，进而影响电力系统的正常传输。更为严重的是，地震引发的火灾等次生灾害，可能进一步加剧升压站的损毁程度，对电力系统的安全稳定运行构成重大威胁，同时带来巨大的经济损失和社会影响。

1.2 抗震设计的重要性

鉴于地震对升压站的严重威胁，合理的抗震设计显得尤为重要。通过科学的抗震设计，可以显著提高升压站建筑结构的抗震性能，降低其在地震作用下的破坏程度。这不仅能够保障升压站内设备的正常运行，减少因设备损坏而导致的电力中断，还能确保人员的生命安全。同时，良好的抗震设计还能提高升压站的灾后恢复能力，使得在地震发生后能够迅速进行抢修和恢复工

作，减少维修和重建成本。因此，抗震设计对于保障电力系统的稳定运行、降低灾害损失具有重要意义。

2 升压站建筑结构抗震设计原则

2.1 强度与稳定性原则

强度与稳定性是升压站建筑结构抗震设计的基础。为了确保结构在地震作用下能够保持足够的承载力，必须通过增加材料的强度来提高结构的抗震性能。这通常涉及到选用高强度钢材、混凝土等材料，以及提高配筋率等措施。配筋率的增加可以有效增强结构的抗拉、抗压能力，使其在地震产生的巨大应力下不易发生破坏。同时，合理设计结构构件的截面尺寸、形状和连接方式也是至关重要的。截面尺寸的设计需充分考虑地震作用下的内力分布，确保结构构件能够承受住地震产生的巨大弯矩、剪力和轴力^[1]。形状的设计则应考虑到结构的整体稳定性，避免出现过于薄弱或突出的部位，以防止地震时发生局部破坏。连接方式的合理选择则能确保结构在地震作用下保持整体稳定，防止因连接失效而导致的结构倒塌。

2.2 刚度与延性原则

刚度与延性是升压站建筑结构抗震设计的另一个重要方面。刚度是指结构抵抗变形的能力，而延性则是指结构在受力过程中能够发生较大变形而不破坏的能力。在抗震设计中，需要通过调整结构构件的截面尺寸、材料类型等措施，使结构具有适当的刚度。过大的刚度可能导致结构在地震作用下产生过大的应力集中，而过小的刚度则可能使结构发生过大的变形，甚至倒塌。为了提高结构的延性，可以采取塑性铰设计、耗能支撑等构造措施。塑性铰的设计允许结构在受力过程中发生一定的塑性变形，从而吸收和耗散地震能量，减轻结构破坏。耗能支撑则是一种能够吸收和耗散地震能量的特殊构件，其通过设置在结构中的特定位置，有效地提高结

构的抗震性能。

2.3 阻尼耗能原则

阻尼耗能是升压站建筑结构抗震设计的另一个重要手段。通过增加结构阻尼，可以减小地震作用下的结构振动响应。这通常通过采用阻尼器、阻尼墙等措施来实现。阻尼器是一种能够吸收和耗散地震能量的装置，其设置在结构的关键部位，如梁柱节点、支撑处等，有效地降低结构的振动幅度。阻尼墙则是一种利用墙体本身的阻尼特性来耗散地震能量的构造措施，其通过增加墙体的厚度、设置耗能材料等方式来提高结构的阻尼性能。

3 升压站建筑结构抗震性能的影响因素

3.1 设计阶段的不利影响

如果升压站建筑结构布局不规则、不对称，在地震作用下容易产生扭转效应，导致结构受力不均，增加破坏风险。结构类型选择不合理，如采用抗震性能较差的结构类型，或者结构形式选用不合理（如不考虑抗震设计，结构体系单薄等），都会降低结构的抗震性能，使结构在地震中易于倒塌或损坏。如果选用的建筑材料强度不足或韧性较差，在地震作用下容易发生脆性破坏，导致结构失效。非结构元件（如外墙、屋顶等）固定不牢或配件选择不当，在地震中可能脱落，对人员和设备造成二次伤害。

3.2 施工阶段的不利影响

施工工艺不当，如混凝土浇筑不均、钢筋绑扎不紧密等，会严重削弱结构的抗震能力。现场监督不严，可能导致施工过程中的偷工减料、以次充好等问题，进一步降低结构的抗震性能。

材料质量问题如果使用的建筑材料不符合设计要求和国家标准，如钢筋强度不足、混凝土配合比不合理等，将直接影响结构的抗震性能。

3.3 运营与维护阶段的不利影响

随着运营时间的增长，升压站建筑结构可能出现老化、材料性能退化等问题，导致抗震性能下降。如果未进行定期检查与维修，无法及时发现并处理潜在的安全隐患，如钢筋腐蚀、混凝土裂缝等，这些隐患在地震中可能引发严重破坏。对于不满足抗震要求的升压站建筑结构，如果未及时进行抗震加固改造，将使其在地震中面临更大的破坏风险。未能及时应用新技术（如基础隔震技术、智能感应技术等）来提升结构的抗震性能，也将限制结构在地震中的安全性。

3.4 场地条件与环境因素的不利影响

如果升压站选址在古河道、旧池塘、活动断层等不利地质条件区域，地震作用下地基容易发生变形或破

坏，导致结构失稳。地下水深浅对地基的稳定性也有影响，过深的地下水可能导致地基软化或液化，降低抗震性能。强烈地震作用如果升压站所在地区的地震烈度较高，结构将承受更大的地震作用，抗震性能不足的结构容易发生倒塌或严重损坏^[2]。地震波特性复杂多变，如果未选用适用于本地震波进行安全验算，可能导致结构在地震中的响应超出设计预期。

4 升压站建筑结构抗震优化设计措施

4.1 基于性能的抗震设计

基于性能的抗震设计是一种先进的抗震设计理念，它强调在结构设计中设定合理的抗震性能目标，并通过科学的方法对结构在地震作用下的性能进行评价和优化。对于升压站建筑结构而言，其抗震性能目标应至少包括保证生命安全、避免结构倒塌等基本要求。为了实现这些性能目标，需要将性能目标转化为可量化的指标，如结构最大层间位移角、构件延性比等。在基于性能的抗震设计中，非线性动力时程分析是一种常用的评价方法。该方法能够模拟结构在地震作用下的真实动力响应，包括结构的变形、内力分布以及破坏模式等。通过非线性动力时程分析，可以对升压站建筑结构在地震作用下的性能进行全面、准确的评价，从而发现结构中存在的薄弱环节和潜在的安全隐患。根据非线性动力时程分析的评价结果，可以制定针对性的优化策略。例如，如果分析结果显示结构的某部位层间位移角过大，可以通过调整结构布置、增强该部位的刚度或延性等措施来减小层间位移角。如果分析结果显示某构件的延性比不足，可以通过增加配筋量、改善混凝土质量或采用高性能材料等措施来提高构件的延性。通过这些优化策略的实施，可以显著提高升压站建筑结构的抗震性能，确保其在地震作用下能够保持整体稳定并满足性能目标的要求。

4.2 多道抗震防线设计

在升压站建筑结构抗震设计中，应通过设置多道抗震防线来增强结构的抗震能力。多道抗震防线的设置可以通过合理的结构布置和构造措施来实现。以框架-剪力墙结构为例，剪力墙作为结构中的第一道抗震防线，能够承受大部分的地震作用，并通过其刚度和强度来限制结构的整体变形。当剪力墙发生破坏或变形过大时，框架柱和梁作为第二道抗震防线，能够继续承受地震作用并限制结构的进一步变形。这种多道抗震防线的设置方式能够显著提高结构的抗震冗余度和安全性，即使某一道防线发生破坏，结构仍然能够保持整体稳定并继续承受地震作用。除了框架-剪力墙结构外，其他结构形式如

框架结构、砖混结构等也可以通过合理的布置和构造措施来设置多道抗震防线^[3]。例如,在框架结构中,可以通过设置框架柱的箍筋加密区、框架梁的塑性铰区域等措施来增强结构的抗震性能,并形成多道抗震防线。在砖混结构中,可以通过设置构造柱、圈梁等措施来增强结构的整体性和抗震性能,同样可以形成多道抗震防线。

4.3 节点构造优化

节点是结构中的关键部位,其构造质量直接影响结构的整体抗震性能。在升压站建筑结构抗震设计中,应特别重视节点的构造优化设计。节点构造优化的目标是提高节点的承载力和延性,使节点在地震作用下能够保持整体稳定并承受较大的内力。为了实现节点构造优化的目标,可以采取一系列措施。首先,可以采用加强型节点构造来提高节点的承载力。例如,在框架结构中,可以通过增大节点核心区的截面尺寸、增加箍筋数量或采用高强度钢筋等措施来增强节点的承载力。其次,可以设置耗能支撑来提高节点的延性。耗能支撑能够在地震作用下通过塑性变形来吸收和耗散能量,从而减轻节点和整个结构的破坏程度。此外,还可以采用焊接、螺栓连接等可靠的连接方式来确保节点的整体性和稳定性。除了上述措施外,还可以通过合理的细节设计来进一步提高节点的抗震性能。例如,在节点核心区设置竖向和水平向的加强钢筋、在梁柱交接处设置加腋或托板等措施都能够有效地提高节点的抗震性能。通过这些节点构造优化措施的实施,可以显著提高升压站建筑结构的整体抗震性能,并确保其在地震作用下能够保持整体稳定。

4.4 隔震与消能减震设计

在升压站建筑结构抗震设计中,可以采用隔震支座、消能器等装置来减小地震作用下的结构振动响应和能量输入。隔震支座是一种能够隔离地震能量传递的装置,它通过设置在结构底部与基础之间,来减小地震作用对上部结构的影响。隔震支座具有较大的变形能力和耗能能力,能够在地震作用下通过变形来吸收和耗散能量,从而减轻上部结构的破坏程度。在升压站建筑结构

抗震设计中,可以根据结构的实际情况和抗震设防要求来选择合适的隔震支座类型和参数,以确保结构的整体抗震性能。消能器是一种能够消耗地震能量的装置,它通过设置在结构中的特定位置来吸收和耗散地震能量。消能器具有多种类型,如金属阻尼器、摩擦阻尼器、粘滞阻尼器等,它们各自具有不同的耗能机制和性能特点^[4]。在升压站建筑结构抗震设计中,可以根据结构的实际情况和抗震设防要求来选择合适的消能器类型和数量,并将其设置在结构中的关键部位,如梁柱节点、剪力墙边缘等位置,以提高结构的整体抗震性能。除了隔震支座和消能器外,还可以采用其他隔震和消能减震措施来提高升压站建筑结构的抗震性能。例如,可以在结构中设置耗能支撑、耗能剪力墙等耗能构件,通过这些构件的塑性变形来吸收和耗散地震能量。同时,还可以采用基础隔震、层间隔震等隔震方式来进行进一步减小地震作用对结构的影响。

结语

本文通过对升压站建筑结构抗震优化设计的研究,提出了适用于升压站建筑结构的抗震优化设计方案。研究内容涵盖升压站建筑的结构特点、抗震设计原则、影响因素以及具体的优化措施。研究结果表明,通过合理的抗震设计优化措施,可以显著提高升压站建筑结构的抗震性能,保障电力系统的正常运行和供电可靠性。未来,随着建筑抗震设计理论的不完善和技术的不断进步,升压站建筑结构抗震优化设计方法将得到进一步的发展和应用。

参考文献

- [1]黄江龙,宋媛媛,黄钢.软土地基升压站场地建设方案比选[J].水电与新能源,2024,38(02):46-49.
- [2]孙海清,易路,陈捷平,等.卡洛特水电站地面厂房结构抗震措施研究[J].人民长江,2021,52(12):146-150.
- [3]程东昱,尚高增,杨锦,等.某河床式水电站厂房抗震复核及结构优化[J].水力发电,2021,47(09):76-82.
- [4]张伟,田宝涛,张作涌,等.某升压站基础恢复技术案例[J].船舶工程,2022,44(S1):159-165.