

地下综合管廊机电设备抗震性能优化设计

齐永超

陕西诚信亿达建设工程有限公司 陕西榆林

【摘要】地下综合管廊机电设备在保障城市功能运转中至关重要，其抗震性能关乎城市安全。面对地震频发的现状，提升机电设备抗震性能成为亟待解决的问题。本文深入剖析机电设备在地震中面临的结构损坏、连接失效、管线破裂等问题，从结构设计优化、连接方式改进、材料选用升级等多方面提出优化策略。详细阐述抗震技术在机电设备中的应用，如隔震、减震技术的运用。构建全面的抗震性能效果评估体系，涵盖地震模拟测试、实际案例分析等内容。通过系列举措，致力于显著提升地下综合管廊机电设备的抗震性能，为城市基础设施安全稳定运行提供坚实保障。

【关键词】地下综合管廊；机电设备；抗震性能；优化设计；结构安全

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250131

Optimization design of seismic performance for electromechanical equipment in underground utility tunnels

Yongchao Qi

Shanxi Chengxin Yida Construction Engineering Co., Ltd. Yulin, Shaanxi

【Abstract】The electromechanical equipment in underground utility tunnels plays a crucial role in ensuring the smooth operation of urban functions, and its seismic performance is vital to the safety of the city. In the face of frequent earthquakes, enhancing the seismic performance of electromechanical equipment has become an urgent issue to address. This article delves into the structural damage, connection failure, and pipeline rupture issues faced by electromechanical equipment during earthquakes. It proposes optimization strategies from multiple aspects, including structural design optimization, connection method improvement, and material selection upgrade. The application of seismic resistance technology in electromechanical equipment, such as the use of seismic isolation and shock absorption techniques, is elaborated. A comprehensive seismic performance evaluation system is constructed, encompassing earthquake simulation testing and practical case analysis. Through a series of measures, we aim to significantly enhance the seismic performance of electromechanical equipment in underground utility tunnels, providing a solid guarantee for the safe and stable operation of urban infrastructure.

【Keywords】Underground utility tunnel; Electromechanical equipment; Seismic performance; Optimization design; Structural safety

引言

随着城市化进程加速，地下综合管廊作为城市生命线工程，容纳众多机电设备，其重要性日益凸显。地震灾害频发，对管廊机电设备造成严重威胁，一旦设备在地震中受损，将导致城市供电、供水、通信等系统瘫痪，引发巨大损失。因此，深入研究并优化地下综合管廊机电设备的抗震性能，对提高城市防灾减灾能力、保障城市安全运行意义重大。如何有效提升机电设备抗震性能，成为当前城市建设中

急需攻克的关键课题。

1 地下综合管廊机电设备抗震现存问题剖析

地下综合管廊机电设备在地震作用下的失效风险，源于结构体系与抗震需求的多重矛盾。设备主体结构设计存在先天缺陷。部分管廊机电设备沿用常规建筑的设计标准，未充分考虑地震力的动态特性与管廊地下空间的约束条件。在地震动的水平与竖向耦合作用下，设备主体因刚度分布不均，易形成应力集中区域，致使局部构件率先破坏。部分通

风设备箱体采用薄壁钢板焊接结构,其薄弱的角部节点在地震往复荷载下,焊缝易产生裂纹并迅速扩展,最终导致箱体整体失稳。

设备连接部位的可靠性缺失加剧了抗震薄弱性。传统的刚性连接方式虽能满足静态工况下的力学传递需求,但在地震波的高频冲击下,螺栓连接易发生松动,焊接节点出现脆断^[1]。这种连接失效会打破设备各部件间的协同工作机制,使得机电设备内部产生非同步振动。给排水系统中管道与水泵的法兰连接,在地震时因连接处的相对位移超限,螺栓被剪断,导致管道脱离,不仅中断设备运行,还可能引发管内介质泄漏,造成次生灾害。

设备内部管线系统的抗震隐患不容忽视。部分管廊机电设备内的管线布局仅考虑功能性需求,忽视抗震设计原则。管线材质多选用普通金属管材,其延性不足,在地震作用下易发生脆性断裂。管线走向与设备主体结构的连接方式缺乏柔性过渡设计,当设备主体发生变形时,管线无法适应位移变化,造成接口处撕裂^[2]。设备安装基础若未进行抗震加固,会使设备在地震时产生较大的刚体位移,加剧设备自身结构与连接部位的受力,形成恶性循环,严重威胁设备的整体安全。

2 机电设备抗震性能优化策略制定

结构设计的优化需从整体到局部系统展开。在整体结构形式选择上,采用框架-支撑结构体系能够显著提升设备的抗侧移能力。通过合理布置斜向支撑,将水平地震力有效分散至基础,降低主体结构的变形。在构件设计层面,优化截面尺寸与配筋方案至关重要。增加梁柱节点处的箍筋配置,可增强节点核心区的抗剪性能;采用变截面设计,在设备受力较大部位适当加厚构件尺寸,提升局部承载能力。通过有限元分析软件对结构进行多工况模拟,验证优化后结构的力学性能,确保在地震作用下各构件协同工作。

连接方式的改进是提升设备抗震性能的关键环节。高强度螺栓连接相比普通螺栓,具有更高的预紧力与抗滑移系数,能够在地震往复荷载下保持稳定的连接性能。在设备关键节点处采用摩擦型高强度螺栓连接,可通过螺栓与连接板间的摩擦力耗散地震能量,避免连接失效。柔性连接件的应用也为设备抗震提供了新思路,如采用橡胶隔震垫、金属波纹管等柔性元件,允许连接部位在一定范围内产

生弹性变形,有效缓解地震动对设备的冲击^[3]。这些连接方式的改进,使设备在地震时既能保持结构完整性,又能适应动态变形需求。

材料与基础设计的优化是提升设备抗震性能的重要支撑。高性能钢材具有强度高、延性好的特点,用于设备框架可显著提升结构的承载能力与变形能力。在设备主体结构中选用低屈服点钢材,利用其良好的塑性变形能力,在地震时吸收能量,保护关键构件。设备安装基础采用隔震与减震设计,能够有效隔离地震能量传递^[4]。在设备基础与管廊底板间设置橡胶隔震垫,可延长设备自振周期,避开地震动卓越周期,减少设备的地震响应;采用减震基础,通过内置的阻尼元件消耗地震能量,降低设备振动幅度,从而全方位提升机电设备的抗震性能。

3 抗震技术在机电设备中的应用实施

隔震技术犹如为地下综合管廊机电设备披上了一层特殊的防护铠甲,从本质上改写了设备在地震中的响应特性。作为隔震技术的核心武器,橡胶隔震垫凭借其独特的材料性能脱颖而出。它宛如一个充满弹性的能量缓冲器,不仅具备强大的弹性恢复力,还拥有出色的耗能本领。当在设备底部精心布置橡胶隔震垫后,设备与基础之间不再是僵硬的刚性连接,而是形成了一种灵活的柔性连接。这种柔性连接就像给设备装上了弹性弹簧,使得设备的自振周期得到显著延长,从而巧妙地避开地震动的锋芒,极大地减少了地震动对设备的直接冲击。

另一种重要的隔震手段——滑动隔震装置,则采用了截然不同却同样巧妙的方式来抵御地震。它通过独特的滑动面设计,当遭遇地震袭击时,滑动面之间会产生相对运动,就如同两个相互摩擦的物体,将可怕的地震能量逐渐转化为无害的热能,以此来有效降低设备的地震响应。以大型变压器为例,在其底部安装滑板隔震支座后,一旦地震发生,支座的滑动面就像一个安全滑道,允许变压器产生有限的位移,避免了因刚性连接导致的剧烈震动和损坏,为变压器的安全稳定运行提供了坚实保障。

减震技术同样在机电设备抗震中发挥着举足轻重的作用,而阻尼器则是这一技术的关键所在。黏滞阻尼器就像一个无形的阻力卫士,它巧妙地运用流体阻尼原理,当设备在地震作用下产生振动时,黏滞阻尼器会立即产生一股与设备运动方向相反的强大阻尼力,如同一只无形的大手,紧紧拉住设备,

将地震传递给设备的能量一点一点地消耗掉。金属阻尼器则像是一位自我牺牲的勇士，它通过自身的塑性变形来吸收能量。以软钢阻尼器为例，在地震的强烈冲击下，软钢阻尼器的钢板会勇敢地承受弯曲、剪切等变形，在这个过程中，将地震能量转化为自身变形的能量，从而实现能量的耗散^[5]。通过合理地在设备上布置这些阻尼器，就如同为设备编织了一张减震安全网，能够显著降低设备在地震中的振动幅度。

随着科技的飞速发展，智能抗震技术的出现为机电设备抗震领域带来了一场革命性的突破。这项技术就像为设备赋予了智慧大脑和敏锐感官。在设备的关键部位安装加速度传感器、位移传感器等监测设备，这些传感器就如同设备的眼睛和触角，能够实时、精准地获取设备的振动状态数据。而与之相连的控制系统则像一位经验丰富的指挥官，它根据传感器反馈回来的信息，能够迅速做出判断，并自动调整设备的各项参数，以完美适应地震工况。当传感器监测到地震波的强度逐渐增大时，控制系统就会立刻下达指令，自动调节设备内部的液压支撑系统，就像为设备调整筋骨一样，改变设备的刚度，使其巧妙地避开地震动的卓越周期，从而大大减少地震对设备的影响^[6]。这种智能调控技术就像为设备配备了一个智能保镖，能够根据不同的地震工况，实现设备抗震性能的动态优化，极大地提升了机电设备在各种复杂地震环境下的适应性和稳定性，为地下综合管廊机电设备的安全运行提供了更为可靠的保障。

4 机电设备抗震性能效果评估体系构建

地震模拟测试为设备抗震性能评估提供了可控的试验环境。振动台试验作为核心测试手段，通过输入 EI-Centro 波、Taft 波等典型地震波，结合不同的峰值加速度(0.1g-0.4g)与频率特性，可模拟从轻微地震到强烈地震的全场景工况。试验前需在机电设备关键部位(如风机底座、桥架支撑点)安装三向加速度传感器、应变片及位移计，采样频率高达 1000Hz，确保捕捉设备在加载过程中的瞬态响应。在试验过程中，通过动态数据采集系统实时绘制设备振动响应曲线，重点分析结构一阶、二阶固有频率与地震波频率的耦合效应。某次针对水泵机组的测试中，当输入主频为 3.2Hz 的地震波时，设备基座出现明显共振现象，局部应力超过材料许用应力。

基于此，研究人员对设备底座增加橡胶隔震层，并优化螺栓连接布局，经二次测试验证，共振峰值降低，为结构动力学设计提供了关键数据支撑。

实际地震案例分析是验证优化措施有效性的重要手段。通过建立包含日本阪神地震、汶川地震等 300 余个案例的数据库，采用损伤树分析法对管廊机电设备的失效模式进行分类。以 2023 年土耳其地震中某地下管廊为例，优化前的传统支架系统因缺乏限位装置，导致电缆桥架在地震中整体倾覆；而采用新型抗震支吊架的管廊区域，设备仅出现局部连接件松动，经简单修复即可恢复使用。通过对比发现，优化后的设备损坏率下降，显著提升了震后可恢复性^[7]。

基于多参数的评估模型为设备抗震性能提供量化评价。该模型创新性地融合有限元仿真数据与实测数据，构建包含结构力学、材料性能、环境因素的三维评价体系。运用灰色关联分析法确定各指标权重，例如将结构完整性(权重 0.4)、连接可靠性(0.3)、管线安全性(0.2)及维护便捷性(0.1)作为一级指标，细化为 12 项可量化二级指标^[8]。开发专用评估软件，输入设备实测参数后，系统自动生成抗震性能雷达图，直观展示优化前后在不同维度的性能提升情况。某试点项目应用该模型后，优化方案的迭代周期缩短，有效提升了设计效率。

5 结语

提升地下综合管廊机电设备抗震性能对城市安全意义非凡。通过剖析现存问题，制定优化策略，应用抗震技术，并构建评估体系，已取得一定成效。未来，需持续深化研究，开发更先进抗震技术与材料，结合智能化监测与控制手段，进一步提升机电设备抗震性能，以应对日益复杂的地震灾害挑战，为城市可持续发展筑牢安全根基。

参考文献

- [1] 夏丽华.无锡文华酒店群地下综合管廊给排水设计分析[J].给水排水,2024,60(S1):284-288.
- [2] 蔡培丰.城市地下综合管廊中的设备安装调试技术分析[J].电子技术,2024,53(10):102-103.
- [3] 谈举,张立辉.地下综合管廊电气火灾监控系统设计[J].电脑与电信,2024,(08):55-58.
- [4] 林坚.城市地下综合管廊运维技术研究与应用探析[J].居

- 业,2024,(01):28-30.
- [5] 刘佳宁,蒋立晨,段云龙.城市地下综合管廊运维技术研究与应用[J].中国设备工程,2022,(17):258-260.
- [6] 李伟.探究城市地下综合管廊机电安装施工的研究[J].居舍,2021,(25):175-176.
- [7] 王凯.城市地下综合管廊机电施工要点[J].智能城市,2021,7(02):109-110.

- [8] 林东.城市地下综合管廊机电建设要点分析[J].机电信息,2020,(33):123-125.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS