

地震作用下预应力结构的性能分析与设计优化

王志禹¹ 宋相禄² 刘兴杰¹ 王超¹

1. 青岛腾远设计事务所有限公司 山东青岛 266100; 2. 青岛国领园区发展有限公司 山东省青岛 266100

摘要: 本文旨在分析地震作用下预应力结构的性能并探讨其设计优化方法。通过深入研究预应力结构的基本理论及地震作用机理, 本文探讨了预应力结构在地震中的受力性能、变形与破坏模式。在此基础上, 提出了预应力结构的抗震设计原则、方法及优化策略, 为提升预应力结构的地震抵抗能力提供了理论支持。

关键词: 预应力结构; 地震作用; 性能分析; 设计优化; 抗震设计

一、引言

地震是自然界中一种常见且具有破坏性的自然灾害, 它对于人类的生活和工程结构的安全都构成了严重威胁。预应力结构, 作为一种先进的结构形式, 因其具有优良的抗裂性、耐久性和承载能力, 在桥梁、建筑、大坝等工程领域得到了广泛应用。然而, 在地震作用下, 预应力结构也可能遭受不同程度的损伤和破坏。因此, 对预应力结构在地震作用下的性能进行深入分析, 并提出相应的设计优化策略, 对于提高结构的地震抵抗能力和保障人民生命财产安全具有重要意义。本文旨在探讨地震作用下预应力结构的性能表现, 并寻求优化设计的有效途径。

二、预应力结构基本理论

1. 预应力结构的概念与特点

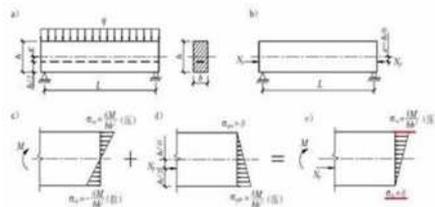
预应力结构是一种在承受外荷载前, 通过人为引入内部应力来改善其受力性能的结构体系。预应力概念的核心在于“预加应力”, 即在结构构件制造或施工过程中, 通过张拉钢筋等手段对结构预先施加压力, 使其在服役期间受到外部荷载时, 能够抵消部分或全部外荷载产生的拉应力。

预应力结构的特点主要体现在以下几个方面: 一是提高了结构的承载能力, 通过预应力作用, 结构在承受外荷载时, 其内部应力状态更加合理, 从而提高了结构的整体承载能力。二是减少了结构变形, 预应力能够有效地减少结构在荷载作用下的变形, 提高结构

的刚度。三是增强了结构的耐久性, 预应力结构能够减少裂缝的产生和扩展, 从而延缓了结构的劣化过程, 延长了结构的使用寿命。

预应力混凝土结构的基本原理

以简支梁为例



2. 预应力结构的分类与应用

预应力结构是一种通过在结构构件中预先引入压应力, 以改善其受力性能、增强承载能力和防止裂缝产生的结构体系。预应力技术的应用广泛, 涉及桥梁、建筑、水工、道路等多个工程领域。

根据预应力筋的布置方式, 预应力结构可分为体内预应力和体外预应力两种。体内预应力筋直接埋置在构件内部, 与构件共同受力, 而体外预应力筋则通过锚固件和转向装置设置在构件外部, 不参与构件的截面受力。体内预应力结构通常具有更高的整体性和刚度, 而体外预应力结构则更易于施工和维护。

预应力结构分类及其应用

分类	应用	优点
预应力混凝土梁	桥梁、建筑物楼板、停车场结构	增强承载能力, 减少混凝土裂缝, 提高耐久性
预应力混凝土板	建筑物的屋顶和地面板, 桥面板	减轻结构重量, 提供更大跨度, 减少支撑
预应力混凝土桩	基础工程, 如高层建筑和桥梁的支撑	提供高承载能力, 适应各种土壤条件
预应力混凝土管	输水管道、排水管道、隧道	承受内外压力, 防止泄露, 保证水质
预应力混凝土罐	水处理厂、化工厂中的储存罐	高强度和密封性能, 耐腐蚀, 适合储存液体和气体
预张拉预应力结构	桥梁、大跨度建筑物	允许预制, 减少现场施工时间, 控制质量
后张拉预应力结构	高层建筑的楼板、大型水利工程	灵活的施工过程, 适应复杂形状和荷载条件

3. 预应力结构的力学原理

预应力结构力学原理的核心在于通过预先引入内部应力场, 以改善结构在外部荷载作用下的受力性能。在预应力构件中, 通过张拉钢筋或预应力筋的张拉, 使混凝土在使用荷载作用前产生预压应力, 这部分预压应力与未来可能承受的外荷载产生的拉应力相抵消, 从而提高构件的抗裂性和刚度, 推迟裂缝的出现, 甚至使结构在承受极限荷载时仍能保持完整性。

预应力技术的实施, 通常涉及到预应力筋的张拉控制、预应力损失的计算与补偿, 以及结构在预应力作用下的变形分析。预应力筋的张拉控制直接影响到预应力的建立与分布, 是预应力结构设计的关键步骤。预应力损失则是指在张拉过程中及张拉后由于各种因素导致的预应力筋应力的减小, 合理估算并补偿这些损失是确保预应力效果的关键。

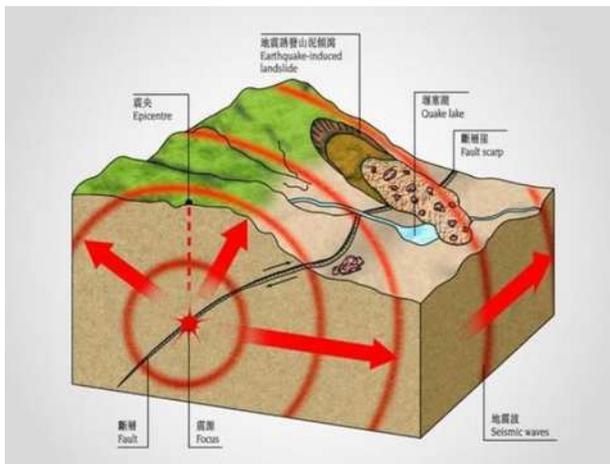
预应力结构的力学原理及相关技术要点

技术要点	说明	相关因素
预应力引入	通过张拉预应力筋, 在混凝土中产生预压应力, 改善结构受力性能	预应力筋的材料、直径、张拉力度
抗裂性和刚度提高	预压应力抵消外荷载引起的拉应力, 提高抗裂性和刚度, 延缓裂缝产生	结构设计、混凝土和预应力筋的配合比
预应力损失计算与补偿	估算并补偿张拉过程中和张拉后因各种因素导致的预应力损失	张拉控制技术、预应力筋松弛、混凝土收缩和蠕变等
张拉控制	控制预应力筋的张拉力度和分布, 关键在于预应力的建立	张拉设备、张拉顺序和方法
变形分析	分析预应力作用下的结构变形, 以确保结构使用性能和舒适性	载荷作用、材料属性、预应力大小

三、地震作用下预应力结构的性能分析

1. 地震对预应力结构的作用机理

地震对预应力结构的作用机理是一个复杂的过程,涉及结构动力学、材料力学和地震工程学等多个领域。在地震发生时,地震波通过土壤传播到建筑物基础,进而引起整个结构的振动。预应力结构,由于其在构件中预先施加了压力,使得结构在承受外部荷载时具有一定的抵抗变形的能力。然而,在地震作用下,结构的振动会导致预应力状态发生变化,进而影响结构的整体性能。



2. 预应力结构在地震中的受力性能

在地震作用下,预应力结构的受力性能是一个复杂而关键的问题。预应力结构,由于其内部预应力的存在,使得其在未受外力作用时就已经处于一定的应力状态。当地震波传递到结构时,结构会受到来自不同方向的动态力作用,这些动态力会与预应力相互叠加,从而影响结构的整体响应。

地震作用下,预应力结构中的预应力筋会承受额外的拉应力,这可能会导致预应力筋的应力超过其设计允许值,从而引发预应力筋的断裂。此外,地震还会引起结构的弯曲、剪切和扭转等多种变形,这些变形会进一步影响预应力结构的受力状态。

3. 预应力结构在地震中的变形与破坏模式

在地震作用下,预应力结构的性能分析尤为关键。预应力结构,如预应力混凝土梁、板等,通过预应力筋的预张拉,在结构中形成内部应力,用以抵抗外部荷载,提高结构的承载能力。然而,在地震这一动力荷载作用下,预应力结构会经历复杂的变形与破坏模式。

当地震波作用于预应力结构时,结构会受到周期性的拉压作用。预应力筋会经历应力的重新分布,可能产生应力集中现象。由于预应力筋与混凝土之间的粘结作用,这种应力重分布会导致混凝土的开裂和剥落。同时,预应力筋本身也可能因过度应力而断裂,失去预应力的作用。

四、预应力结构的地震设计优化方法

1. 预应力结构抗震设计原则

在预应力结构的抗震设计原则中,首要考虑的是结构的整体稳定性和延性。这意味着预应力构件在地震作用下应具备足够的强度和韧性,以抵御地震带来的动态荷载,并减少结构损伤。为了实现这一目标,设计时需要合理布置预应力筋,确保其在地震时可以有效地分散和抵抗地震力。

同时,预应力结构的抗震设计还注重结构的耗能能力。耗能是指结构在地震中通过塑性变形等方式吸收和耗散地震能量的能力,这对于减少结构的地震响应至关重要。因此,在设计中应选择

合适的材料和截面形式,使得预应力结构在地震中能够合理地耗能,减轻地震对结构的影响。

2. 预应力结构抗震设计方法

在预应力结构的抗震设计中,我们需要综合考虑结构在地震作用下的动力响应、预应力效应与结构损伤的相互影响。首先,我们需要对结构进行模态分析,了解其在不同频率下的振动特性,这有助于我们理解结构在地震波作用下的动态行为。接着,通过地震反应谱分析,我们可以评估结构在不同强度地震作用下的位移、应力和应变响应,从而识别出结构的薄弱环节。

为了提高预应力结构的抗震性能,可以采用多种设计优化策略。例如,优化预应力筋的配置,使其在地震时能够更有效地分散和抵抗外力;增强结构的耗能能力,通过引入阻尼器或耗能元件,减少地震能量对结构的直接作用;同时,还可以通过提高结构的整体刚度和延性,使其在地震中表现出更好的变形能力和耗能性能。

3. 预应力结构抗震设计优化策略

在探讨预应力结构的地震设计优化策略时,我们首先需要明确一点:预应力技术是通过在结构中引入初始应力来提高其承载能力和刚度的。因此,在抗震设计中,预应力结构的优化策略应着重于提高结构的耗能能力、减少地震能量的传递以及增强结构的整体稳定性。

为实现这一目标,我们可以考虑采用高强度的预应力筋和混凝土材料,以提高结构的整体刚度和延性。同时,通过合理的结构布置和预应力筋的配置,可以有效地分散地震作用下的应力集中,避免结构的薄弱环节发生破坏。

总结

本文旨在探讨地震作用下预应力结构的性能分析与设计优化方法。通过深入剖析预应力结构的基本理论和地震作用机理,本文分析了预应力结构在地震中的受力性能、变形与破坏模式。在此基础上,本文提出了预应力结构的地震设计优化策略,旨在提高预应力结构的抗震性能。研究表明,合理的抗震设计优化方法能有效提升预应力结构的地震抵御能力。本文的研究不仅为预应力结构的抗震设计提供了理论支持,也为未来的研究提供了有价值的参考。

参考文献:

- [1]龚春玉.竖向与水平地震作用下带 PSRC 空腹桁架转换层框架结构抗震性能分析[D].重庆大学[2024-03-20].DOI: CNKI: CDMD: 2.1017.722813.
- [2]王仪萍.预应力混凝土空腹桁架转换结构抗震性能分析[D].重庆大学, 2014.
- [3]刘梅.摇摆结构体系的抗震性能分析[D].大连理工大学[2024-03-20].
- [4]秦浩锋.地震作用下抗滑桩悬臂长度影响及桩顶锚拉组合结构响应分析[D].西南交通大学, 2020.
- [5]陈勇,简斌,刘冲.主余震序列地震作用下一级抗震预应力型钢混凝土空腹桁架转换层框架结构抗震性能研究[J].工业建筑, 2021.DOI: 10.13204/j.gyjzG20071008.
- [6]明捷.考虑支承刚度影响的弦支穹顶结构地震动响应分析[D].华中科技大学, 2014.DOI: 10.7666/d.D611829.
- [7]叶红,陶廷权.地震作用下压力型锚索锚固段设计分析[J].武汉理工大学学报, 2023.
- [8]耿立立.预应力锚杆复合土钉结构分析与优化设计[D].河北工程大学, 2012.DOI: 10.7666/d.y2132758.