

浅议结构振动现代预测控制体系的研究状况与进展

刘 锋

东华理工大学，抚州

摘 要 | 对结构振动控制的含义进行了介绍，从基础隔震被动耗能减震以及主动、半主动和智能控制等领域探讨了结构振动控制的原理，并介绍了不同领域的结构振动控制在工程中的应用，以促进土木工程结构振动控制的研究和应用。

关键词 | 地震；振动控制；研究；进展

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



随着城市化的发展，交通网络和房屋建筑在整个城市生命线抗震防灾系统中越来越重要。然而，近20年来世界各地发生多次的地震灾害，都造成大量的桥梁和房屋严重破坏。如何令建筑物经受地震的考验这一严峻课题摆在诸多学者与工程师面前。

当前被普遍采用的抗震设计思想在科学技术全面发展的今天正面临着越来越大的挑战，无论是理论还是实践方面都需要寻找新的突破口、新的理念。这时，结构振动控制作为一种积极主动的对策，依靠控制系统与结构的联合工作来抵御外部的动力输入，从而有效地减小结构动力响应的方法受到了学术界、工程界的广泛关注，并获得了长足的进展。

结构振动控制为结构工程抗震提供了一条全新的思路：通过在建筑结构的某

作者简介：刘锋，东华理工大学测量工程学院，硕士，研究方向：土木工程。

文章引用：刘锋. 浅议结构振动现代预测控制体系的研究状况与进展 [J]. 土木工程进展, 2021, 3 (3) : 59-62.

<https://doi.org/10.35534/ace.0303014c>

些部位装设某种机构装置或某种子结构,以改变结构的动力特性或动力作用,最终达到对结构动力反应进行控制的目的。近30年来,结构振动控制已经发展为土木工程学科中一个十分活跃的跨学科新领域,被称为土木工程的高科技领域。

结构振动控制根据所采取的控制措施是否需要外部能源可分为:被动控制、主动控制、半自动控制 and 智能控制。但无论何种控制系统,都须基于一定的控制算法来进行设计。因此,控制算法成为了结构振动控制领域持续研究的热点课题。蓬勃发展的控制领域为土木工程结构振动控制算法的发展提供了广阔的土壤与坚实的理论基础。土木工程结构振动控制的研究和应用已有30余年的历史,其研究和应用大体上分为三个领域:基础隔震、被动耗能减震以及主动、半主动和智能控制。现对其原理分别进行叙述。

1 基础隔震

在建筑物基础与上部结构之间设置隔震装置形成隔震层,把上部结构与基础隔离开来,利用隔震装置来隔离或耗散地震能量以避免或减少地震能量向上部结构传播,减少建筑物的地震反应,从而使地震时建筑物只发生轻微运动和变形。由动力学可知,如果发生了频率遇合,或者通常所说的共振,结构的动力位移相对于静位移会成几倍乃至十几倍的放大。而基础隔震正是根据这一原理在上部结构和基础之间设置水平柔性层,延长结构侧向振动的基本周期,从而减小水平地震地面运动对上部结构的作用。水平地震地面运动加速度的卓越周期通常在 $0.1\text{ s} \sim 1.0\text{ s}$ 之间,基础隔震结构侧向振动的基本周期一般可以延长到 4.0 s 左右,因此基础隔震结构基本周期远离地震卓越周期,上部结构的地震作用、横向剪力和相对变形大幅度减小,但是水平刚度较小的柔性隔震层变形较大,是整个结构安全保障的关键。基础隔震的水平柔性层通常由隔震垫(水平刚度小,竖向刚度大)和阻尼器组成。隔震垫和阻尼器都已有标准型号的产业商品,隔震结构的分析和设计方法日渐成熟并进入设计规范、规程和指南。隔震桥梁和建筑已在国内外建立了上千座,并经受了地震的考验。

2 被动耗能减震

20世纪70年代初,美国 Kelly 提出在结构中设置非结构构件的耗能元件——

金属软钢屈服耗能器,包括扭转梁、弯曲梁和U型钢器件等,分担和耗散本来由结构构件耗散的能量。这一思想是对结构抗震性设计的一个重要发展,由此形成了结构被动耗能减震的一个重要方向。结构耗能减震技术是在结构物某些部位设置耗能装置,通过耗能装置产生摩擦,弯曲弹塑性滞回变形耗能来耗散或吸收地震输入结构中的能量,以减小主体结构地震反应,从而避免结构产生破坏或倒塌,达到减震控震的目的。结构设置耗能元件一般不改变结构的形式,也不需要外部能量输入。近30年来研究发展起来的耗能元件大体上可以分为三类:速度相关性耗能元件,如线性粘滞或粘弹性阻尼器;位移相关型耗能元件,如金属屈服型或摩擦型阻尼器;调谐吸振型耗能元件,如调谐质量阻尼器或调谐液体阻尼器。钢结构低阶阻尼比一般小于2%,钢筋混凝土结构低阶阻尼比通常在5%左右,结构中设置的调谐吸振耗能元件一般可以给结构附加3%以上的阻尼比,因此对小阻尼比的钢结构具有较好的减震效果,而结构中设置其他类型的耗能元件通常可以给结构附加10%甚至20%以上的阻尼比,对多数结构都具有较好的减震效果。被动耗能元件已有不同形式的、标准型号的商业产品,被动耗能减震结构的分析和设计方法也日趋成熟并逐步进入设计规范、规程和指南。被动耗能减震结构已在国内外建成了数百座,并在一定程度上经受了地震的考验。

3 主动控制

结构振动控制是通过在结构上安装控制机构对结构施加控制力,以减轻由于外部动荷载所引起的结构振动。与土木工程中传统的设计思想相比,结构振动控制理论改变了用承重结构本身抵御风荷载和地震作用的思想,而是采用非承重的控制装置施加的控制力来减缓结构本身的振动反应。结构主动控制需要实时测量结构反应或环境干扰,采用现代控制理论的主动控制算法在精确的结构模型基础上运算和决策最优控制力,最后作动器在很大的外部能量输入下实现最优控制力。在结构反应观测基础上实现的主动控制称为反馈控制,而在结构环境干扰观测基础上实现的主动控制则称为前馈控制。主动控制作动器通常是液压伺服系统或电机伺服系统,一般需要较大甚至很大的能量驱动。主动调谐质量阻尼器(主动控制作动器驱动的调谐质量阻尼器,简称混合质量土体除产生竖向压缩外,还伴随侧向收缩,不会造成侧向挤出,特别适用于超软土地基加固。对比分析了真空预压与堆载预压的区别,指出真空预压法具有节约预压材料、降低工程造价、固结快、

工期短、施工简便等优点，其加固效果优于堆载预压。真空预压的施工一般可分为三个阶段：施工准备阶段、工艺设备安装阶段及预压加固阶段，在流水作业的同时，各个阶段皆有交互作业。对各个阶段的施工皆作一系统性的描述，指出各个阶段应注意的事项，可作为以后真空预压施工的参考。

参考文献

- [1] 张建华. 结构振动现代预测控制体系之研究 [D]. 天津大学, 2004.
- [2] 廖林雨. 结构振动的逆系统预测控制 [D]. 华中科技大学, 2011.
- [3] 徐建功. 结构振动半主动预测控制研究 [C] // 全国结构工程学术会议. 2002.

The Research Status and Progress of Modern Predictive Control System For Structural Vibration Are Briefly Discussed

Liu Feng

East China University of Technology, Fuzhou

Abstract: Implications for the structural vibration control are introduced, from the base isolation passive suspension and active energy, the semi-active and intelligent control in areas such as the principle of structural vibration control are discussed, and introduces the application of structural vibration control in engineering in different areas, so as to promote the research and application of civil engineering structure vibration control.

Key words: Earthquake; Vibration control; Research; Progress