

诱导缝在超长混凝土结构中的防裂作用机理与应用优势研究

陈加平

天津美新建筑设计有限公司广州分公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025120007

摘要：诱导缝在超长混凝土结构中有显著防裂与应用优势。它能引发应力重分布、控制裂缝形态、影响结构刚度及耗能机制，提升建筑变形适应性。预制装配式诱导缝具经济性，不同工况下其作用独特，多个工程案例验证其有效性。未来新材料技术融合及全寿命性能设计理论将推动其应用发展。

关键词：超长混凝土结构；诱导缝；防裂抗震

Research on the Crack Prevention Mechanism and Application Advantages of Induced Joints in Ultra Long Concrete Structures

Chen Jiaping

Tianjin Meixin Architectural Design Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Induced joints have significant advantages in crack prevention and application in ultra long concrete structures. It can induce stress redistribution, control crack morphology, affect structural stiffness and energy dissipation mechanism, and enhance building deformation adaptability. Prefabricated assembly type induced seam has economic efficiency and unique effects under different working conditions. Its effectiveness has been verified by multiple engineering cases. The integration of future new material technologies and the theory of whole life performance design will promote their application and development.

Keywords： ultra long concrete structure; induced seam; crack prevention and earthquake resistance

引言

在当前建筑行业追求高质量与可持续发展的背景下，2021年颁布的《绿色建筑创建行动方案》积极推动建筑行业节能减排与绿色发展。在此政策指引下，超长混凝土结构中诱导缝的研究与应用意义非凡。诱导缝通过引发应力重分布机制发挥防裂作用，能有效截断温度应力场和收缩应力，合理设置可精准控制裂缝走向与间距，提升结构防水、耐久性等性能。其对结构刚度、耗能机制等方面也有显著影响，且预制装配式诱导缝在施工阶段具有经济性，基于 BIM 运维平台监测可知其提升建筑变形适应性，实现运维阶段可持续性。诱导缝在各类超长混凝土结构工程中展现出独特优势，为满足政策要求下的建筑发展提供重要技术途径。

一、诱导缝防裂作用机理

（一）应力重分布机制

在超长混凝土结构中，诱导缝能够引发应力重分布机制，从而发挥防裂作用。当混凝土结构因温度变化或收缩产生应力时，诱导缝作为结构中的薄弱部位，会率先改变周边应力状态。原本连续分布在结构中的应力，由于诱导缝的存在，在其附近区域重新调整分布。应力会向诱导缝两侧集中，使得远离诱导缝的区域应力降低，有效避免了应力在结构某些部位过度积聚而导致裂缝产生^[1]。通过有限元模拟分析可以清晰看到，诱导缝对温度应力

场和收缩应力呈现出截断效应，这种截断促使应力重新分配，为结构释放约束应力开辟了新的力学路径。进一步建立应力峰值与缝间距的量化关系模型，能够更为精准地把握诱导缝在应力重分布过程中的作用，为诱导缝在超长混凝土结构中的合理设置提供有力依据。

（二）裂缝形态控制机理

基于数字图像相关技术开展的足尺试验，清晰展现了诱导缝对裂缝形态的控制作用。试验对比了有无诱导缝试件的裂缝发展模式，结果表明，诱导缝能有效定向引导裂缝走向。在没有诱导缝的试件中，裂缝发展方向杂乱无章；而设置诱导缝后，裂缝沿

着诱导缝预设的方向延伸，实现了对裂缝走向的精准控制。同时，诱导缝还能对裂缝间距产生影响，合理设置诱导缝间距，可以使裂缝分布更加均匀^[2]。此外，诱导缝在量化裂缝宽度控制效果方面成效显著，通过优化诱导缝的构造参数，可将裂缝宽度限制在一定范围内，有效提升超长混凝土结构的防水、耐久性等性能，保障结构的长期稳定与安全。

二、抗震性能协同优化路径

（一）结构刚度折减效应

建立考虑诱导缝分布的三维弹塑性分析模型，对研究结构在地震作用下的响应至关重要。诱导缝的存在会显著影响结构的整体刚度。缝参数，诸如缝间距、缝宽等，与结构整体刚度紧密相关。当诱导缝间距减小或缝宽增大时，结构刚度会呈现折减趋势^[3]。这是因为诱导缝改变了结构的传力路径和连续性，使得结构在受力时更易产生局部变形，从而降低了整体抵抗变形的能力。通过研究这种影响规律，能够深入了解结构在地震作用下的力学性能变化。基于此，进一步提出刚度折减系数的计算公式，为实际工程中合理评估考虑诱导缝的超长混凝土结构刚度提供量化依据，有助于在设计阶段更好地协调结构的抗震性能，实现诱导缝在超长混凝土结构中防裂与抗震性能的协同优化。

（二）耗能机制协调设计

在超长混凝土结构中，诱导缝与抗震缝、连梁耗能构件的空间协调布置对耗能机制的有效发挥至关重要。诱导缝可在特定部位引导裂缝开展，避免裂缝无序出现，而抗震缝能在地震作用下提供必要的变形空间，连梁耗能构件则消耗地震能量^[4]。通过合理设计三者的空间位置关系，能形成多道防线协同工作的耗能机制。振动台试验是验证该协同工作机制的有效手段，可模拟地震作用，观察各构件在不同工况下的响应，分析它们之间的能量传递与协同耗能效果。基于试验结果，提出损伤控制设计方法，根据结构预期的损伤状态，优化诱导缝、抗震缝及连梁耗能构件的设计参数，使结构在满足防裂要求的同时，具备良好的抗震性能，实现耗能机制的协调设计。

三、工程应用优势体系

（一）全寿命周期效益

1. 施工阶段经济性

与传统后浇带施工工艺相比，预制装配式诱导缝在施工阶段展现出显著的经济性。在模板支撑方面，预制装配式诱导缝可大幅减少模板的使用量与安装拆卸的人工成本，因其预制构件的特性，能快速定位安装，不像后浇带需多次支模与拆模，减少了模板周转次数与人工工时投入。在养护周期上，传统后浇带需长时间养护等待混凝土收缩稳定，而预制装配式诱导缝预制构件在工厂提前养护，现场安装后养护时间短，有效缩短了整体养护周期，降低了养护所需人力、物力资源，包括养护材料与养护设备使用时间等成本^[5]。通过建立工期 - 成本综合效益评价模型，能

进一步量化这些成本节约指标，更直观地展现预制装配式诱导缝在施工阶段的经济性优势。

2. 运维阶段可持续性

基于 BIM 运维平台监测数据可知，诱导缝显著提升了建筑变形适应性。在超长混凝土结构中，因温度变化、地基沉降等因素易产生变形，诱导缝能有效协调这种变形，防止裂缝大规模出现，从而降低维保成本。从全寿命周期看，由于诱导缝对结构裂缝的有效控制，减少了维修频次和维修范围，经评估，维保成本有明显降低幅度。同时，因结构耐久性增强，减少了建筑材料的重复投入，降低了碳排放，实现了运维阶段的可持续性，为绿色建筑发展提供有力支持，这在当前建筑行业倡导节能减排的大背景下意义重大^[6]。

（二）特殊工况适应性

1. 强震作用响应

在强震作用下，超长混凝土结构面临巨大挑战。通过选取典型地震波开展时程分析，对带诱导缝结构在不同峰值地面加速度（PGA）下的位移响应特征展开研究。结果显示，诱导缝能有效改变结构的力学性能，在强震中，它可调整结构的刚度分布，使结构位移响应更加合理，避免局部应力集中，从而显著提升结构在大震作用下的连续倒塌防御能力^[7]。这表明，诱导缝对于超长混凝土结构在强震这种特殊工况下，具有关键的适应性作用，为保障结构在地震灾害中的安全性提供了重要的技术途径，有效降低结构在强震下发生连续倒塌的风险，展现出独特的应用优势。

2. 差异沉降调控

在超长混凝土结构面临差异沉降的特殊工况下，诱导缝展现出独特的调控作用。通过建立地基 - 基础 - 上部结构协同分析模型，能够精准研究诱导缝对不均匀沉降所产生应力的释放作用^[8]。不均匀沉降易在混凝土结构中引发裂缝，而诱导缝可有效削弱这种不利影响。基于差异沉降预测的缝参数动态调整方法，是利用前期对差异沉降的准确预测，根据实际情况灵活调整诱导缝的相关参数，如间距、深度等。这种动态调整可使诱导缝在不同程度的差异沉降环境下，始终保持良好的应力释放效果，更好地发挥防裂作用，增强超长混凝土结构在差异沉降工况下的稳定性与耐久性。

四、典型工程案例分析

（一）超高层框架 - 核心筒结构

1. 平面不规则处置

在某超高层框架 - 核心筒结构工程中，存在 L 形平面超限问题。该 L 形平面的凸角处易产生应力集中，可能导致混凝土结构开裂。为此，引入诱导缝来弱化平面凸角应力集中。设计时，依据结构力学原理，精确确定诱导缝的位置与间距。施工过程中，对诱导缝附近区域设置多个监测点，进行施工监测。将监测所得应力、应变等数据与计算模型预测值对比，结果显示两者高度吻合，从而验证了计算模型的准确性^[9]。这一案例表明，诱导缝在解决超高层框架 - 核心筒结构平面不规则问题，尤其是弱化平面凸角应力集中

方面,具有显著效果,为同类工程提供了可靠的借鉴。

2.连廊部位专项设计

以某超高层框架-核心筒结构连廊部位为例,分析其温度应力分布特征发现,高空连廊因环境暴露,温度变化影响显著,温度应力在连廊端部和与主体结构连接部位较为集中^[10]。为有效控制裂缝,采用诱导缝与黏滞阻尼器复合应用方案。诱导缝能引导裂缝在预定位置开展,将大裂缝转化为多条细小裂缝,降低裂缝宽度;黏滞阻尼器可耗散地震及风振能量,减少结构振动对连廊的影响。对该连廊进行振动测试,结果显示实测振动频率与设计值高度吻合,表明设计方案合理,此复合应用方案既有效控制温度裂缝,又保障连廊在动力荷载下的安全性,为超长混凝土结构连廊部位设计提供了可靠范例。

(二)大底盘多塔楼结构

1.塔楼间变形协调

以某大型商业综合体为例,该建筑为大底盘多塔楼结构。塔楼因功能、高度等差异,在荷载作用下会产生不同变形。裙房屋面设置诱导缝,有效保障塔楼独立变形模式。在塔楼与裙房连接处,通过监测发现,诱导缝合理布置使塔楼能按自身规律变形,未因相互约束产生裂缝。根据变形差控制的缝宽设计准则,经计算确定诱导缝宽度,既满足塔楼间变形协调需求,又防止过大缝宽影响建筑外观与使用功能。该案例表明,在大底盘多塔楼结构中,诱导缝能较好地协调塔楼间变形,保障结构安全,验证基于变形差控制的缝宽设计准则的科学性与实用性。

2.基础整体性保持

以某大底盘多塔楼结构的超长混凝土基础筏板工程为例。该工程通过在基础筏板合理设置诱导缝,在控制裂缝产生的同时有效保证基础整体性。在施工过程中,对诱导缝附近及基础关键部位进行应变监测。从监测数据来看,在混凝土浇筑及硬化过程中,诱导缝区域应变分布合理,成功引导裂缝在预定位置开展,且未对基础整体结构的受力性能产生不良影响。这表明基于诱导缝技术的设计方案,有效控制了基础筏板裂缝,实现基础整体性的保持。该案例为类似超长混凝土结构基础设计提供了实践经验,有力验证了诱导缝在控制基础筏板裂缝并确保基础整体性方面的有效性与应用优势。

(三)既有结构改造工程

1.历史裂缝治理

以某改建工程为例,该工程作为超长混凝土结构存在历史裂缝。在治理过程中,创新性地应用诱导缝。诱导缝能够引导裂缝在特定位置产生,避免裂缝无序开展,影响结构整体性与安全性。实施诱导缝前,结构因既有裂缝导致自振特性不佳,动力性能受到影响。加固后,通过诱导缝对裂缝的有效控制,结构的自振特性得到明显改善。从振动频率、阻尼比等参数来看,加固后结构的稳定性显著提升。诱导缝的应用不仅成功处置了历史裂缝,还优化了结构动力性能,充分展现出在既有结构改造工程历史裂缝治理方面的独特优势,为类似工程提供了极具价值的参考范例。

2.抗震性能提升

在某既有超长混凝土结构改造工程中,为提升其抗震性能,结合消能减震改造方案,对诱导缝布置展开研究。通过合理设置诱导缝,有效改变了结构的耗能机制。诱导缝作为结构中的薄弱部位,在地震作用下率先产生裂缝,消耗地震能量,引导结构变形集中在这些预定部位,避免裂缝无序开展,使结构耗能更合理。同时,借助 Pushover 分析方法对结构进行模拟。结果显示,布置诱导缝后,结构在地震作用下的性能得到显著提升,如位移角减小、结构承载力提高等,充分验证了诱导缝布置对结构抗震性能提升的积极作用,为既有超长混凝土结构改造提供了有效的技术手段。

五、总结

诱导缝在超长混凝土结构中具有显著的防裂作用与应用优势。其双重防裂机制,有效缓解混凝土因温度变化和收缩产生的应力,降低裂缝出现的可能性;同时,抗震性能的提升也为结构在地震等自然灾害下提供更可靠的安全保障。在实际应用中,设计参数优化准则和施工质量控制要点的提炼,为诱导缝的合理设置与实施提供了重要指导。随着材料科学与技术的发展,新型智能感应缝、形状记忆合金等新材料与新技术的融合应用前景广阔,有望进一步提升超长混凝土结构的性能。基于全寿命性能的设计理论发展方向,更是为结构的长期安全稳定提供了有力支撑,将推动诱导缝在超长混凝土结构中的应用迈向新高度。

参考文献

- [1] 刘宝军.超长混凝土跨层隔震结构温度效应及其影响机理研究[D].兰州理工大学,2023.
- [2] 张洋.预应力控制地下室超长混凝土结构温度应力研究[D].西华大学,2021.
- [3] 仇震.超长混凝土底板间歇与不均匀约束下的温度应力研究[D].青岛理工大学,2022.
- [4] 杨黎.超长混凝土结构膨胀加强带有限元模拟与温度场分析[D].河北工程大学,2021.
- [5] 马许平.裂缝在降雨型黄土滑坡失稳破坏过程中的作用机理研究[D].中国科学院大学,2022.
- [6] 苗宏恩.超长混凝土结构裂缝控制探讨[J].建筑与装饰,2021(2):180.
- [7] 邱意坤,李伟,丁大勇,等.北京工人体育场超长混凝土结构S形弯折钢筋诱导缝设计与试验研究[J].建筑结构,2023,53(18):69-74.
- [8] 黄建伟,王宁龙,王远航.超长混凝土结构裂缝控制施工技术研究[J].工程建设与设计,2022(16):191-193.
- [9] 李智明.浅谈超长混凝土结构在温度应力作用下的裂缝控制[J].建筑与装饰,2021(6):140,146.
- [10] 王传亮.超长混凝土结构无缝施工技术研究[J].建筑与装饰,2021(13):177-178.