

混凝土结构施工全过程监测技术与数据应用研究

蔡征宇 彭柏杨 袁凯 陈喜 易帆
中建五局第三建设有限公司 湖南 长沙 410000

摘要：混凝土结构施工全过程监测对保障工程质量意义重大。本文围绕监测技术与数据应用展开研究，构建了涵盖选型原则、各阶段应用、核心流程及适配要点的监测技术体系。阐述了数据采集与处理的方法，包括采集范围、方法、预处理及存储管理。探讨了数据在施工流程优化、技术调整、过程管控中的应用逻辑与衔接方式。最后提出监测技术与数据应用的优化方向，为提升混凝土结构施工监测水平提供参考。

关键词：混凝土结构；施工监测技术；数据采集处理；施工流程优化

引言：混凝土结构广泛应用于建筑工程领域，其施工质量关乎建筑整体安全性与耐久性。在施工过程中，受多种因素影响，结构状态不断变化，传统施工管控方式难以及时、精准掌握结构动态。随着监测技术与数据处理能力的发展，施工全过程监测成为保障质量的重要手段。通过构建完善的监测技术体系，采集并分析施工数据，能够为施工流程优化、技术调整及过程管控提供科学依据，推动混凝土结构施工向精细化、智能化方向发展。

1 混凝土结构施工全过程监测技术体系构建

1.1 监测技术选型原则

监测技术选型需遵循针对性、可靠性、经济性与可扩展性原则。针对性原则要求根据结构类型、施工环境及监测目标选择适配技术，如大体积混凝土需重点监测水化热，而超高层结构需强化垂直度监测^[1]。可靠性原则强调传感器精度、耐久性 & 数据传输稳定性，确保长期监测数据可信。经济性原则需平衡技术成本与监测效益，优先选择性价比高的技术组合。可扩展性原则要求技术体系具备模块化特征，便于根据工程需求增减监测内容，如从基础施工扩展至装饰阶段监测。

1.2 施工各阶段监测技术应用

基础施工阶段监测技术聚焦地基变形与混凝土早期性能。采用高精度全站仪监测基坑支护结构位移，通过分布式光纤传感网络实时捕捉地基沉降梯度。混凝土浇筑过程需监测入模温度与坍落度，利用无线温度传感器跟踪水化热升温曲线，防止温度裂缝产生。主体结构施工阶段监测技术涵盖几何形态与应力应变控制。激光扫描仪定期扫描结构表面，生成三维点云模型，量化分析垂直度与平整度偏差。振弦式应变计嵌入关键受力部位，持续采集应力数据，结合有限元模型反演结构实际受力状态。大跨度梁板需布置挠度监测点，通过静力水

准仪记录施工荷载作用下的变形发展。围护结构施工阶段监测技术侧重气密性与防水性能。红外热像仪扫描围护系统接缝，通过温度异常定位渗漏隐患。超声波检测仪评估外墙保温层粘结质量，识别空鼓区域。门窗安装阶段采用压力箱法检测气密性，确保节能设计指标达标。施工收尾阶段监测技术转向耐久性与功能验证。电化学阻抗谱仪评估混凝土中钢筋锈蚀风险，氯离子含量快速测定仪筛查保护层薄弱区域。地面平整度监测结合激光投线仪与数字水准仪，验证饰面层施工精度。系统联动测试验证机电设备与结构主体的协同工作性能。

1.3 监测技术核心流程

监测技术核心流程需贯穿混凝土结构施工全过程，形成闭环管理模式。从监测准备工作启动，明确监测目标、监测内容与监测标准，完成监测设备的选型、布置与调试，搭建完善、高效的监测技术体系。进入施工阶段后，按照预设的监测频率与采集标准规范开展数据采集工作，注重采集过程的规范性，确保监测数据的连续性与完整性。采集完成后及时对数据进行预处理，采用科学方法去除环境干扰、设备误差等影响因素，保障数据精准可靠，再通过规范的传输与存储流程，实现监测数据的有效留存与便捷调用，为后续数据应用与施工管控提供坚实支撑，构建“准备-采集-预处理-传输-存储”的完整闭环流程。

1.4 监测技术适配要点

监测技术适配要点需结合施工工况、结构特性与监测需求综合把控，实现监测技术与施工全过程的精准对接。根据不同施工阶段的工况特点与监测重点，灵活调整监测技术与设备参数，确保监测技术与施工工序精准适配、协同推进。针对不同监测指标的特性与监测要求，选用对应的监测方法，保障监测数据与监测目标的一致性，提升监测数据的实用性。充分考虑施工现场的

环境条件,优化监测设备的布置方式与防护措施,避免环境因素对监测精度造成影响,同时兼顾监测技术的实用性与经济性,确保监测技术在施工全过程中高效、稳定发挥作用,为混凝土结构施工监测提供可靠保障。

2 混凝土结构施工全过程监测数据采集与处理

2.1 监测数据采集范围与类型

监测数据采集范围需覆盖混凝土结构施工全过程,结合施工各阶段核心监测需求,明确采集边界,确保数据覆盖无遗漏。采集范围需对应基础、主体、围护、收尾等各施工阶段,涵盖结构受力、变形、温度等关键监测维度,全面捕捉施工过程中结构状态的变化数据^[2]。数据采集类型需结合监测指标确定,主要包括位移数据、应力应变数据、温度数据及裂缝相关数据,不同类型数据对应结构不同状态参数,共同构成混凝土结构施工监测的完整数据体系,为后续数据处理与应用提供全面、可靠的基础,符合混凝土结构施工监测数据采集的学术规范。

2.2 数据采集方法与流程

数据采集方法需结合监测指标特性与施工工况,选用适配的采集手段,确保采集数据的精准度与连续性。根据不同监测数据类型,采用对应的采集技术,依托专业监测设备开展数据采集工作,规范设备操作流程,减少人为操作误差。数据采集流程需遵循标准化规范,从设备调试开始,完成采集参数设定,按照预设的采集频率与采集标准,在各施工节点开展数据采集工作,采集过程中做好现场记录,及时核对数据完整性,避免数据缺失或错误,形成规范有序的采集流程,保障采集工作有序推进。

2.3 数据预处理方法

数据预处理是保障监测数据可靠性的关键环节,需采用科学的处理方法,去除数据中的干扰因素,提升数据质量。针对采集过程中出现的异常值,采用合理的识别方法筛选异常数据,结合施工实际工况判断异常原因,采用适配的处理方式修正或删除异常值,避免异常数据影响后续应用。同时采用降噪与滤波处理方法,消除环境干扰、设备误差带来的影响,对数据进行标准化与规范化处理,统一数据格式与计量标准,确保数据的一致性与可比性,为后续数据存储、分析与应用奠定基础。

2.4 数据存储方式与管理逻辑

数据存储方式需适配混凝土结构施工的现场场景与数据特性,选用安全、高效的存储模式,兼顾数据的实时调用与长期留存。结合施工场地条件,采用本地存储

与云端存储相结合的方式,确保数据在施工过程中可实时调取,同时实现数据长期安全留存,避免数据丢失。数据管理逻辑需遵循规范化原则,建立完善的数据分类管理体系,按照数据类型、采集阶段、监测部位对数据进行分类归档,明确数据管理责任,规范数据调取、修改流程,保障数据的安全性、完整性,确保数据可追溯、可复用,满足后续施工调控与数据应用的需求。

3 混凝土结构施工监测数据应用路径

3.1 数据在施工流程优化中的应用

监测数据是混凝土结构施工流程优化的核心支撑,依托施工全过程采集的位移、应力应变、温度等各类监测数据,可精准捕捉各施工工序的推进状态、资源消耗情况及工序衔接效率。通过系统分析数据所反映的工序耗时与施工效率之间的关联,能够精准识别施工流程中的冗余环节、衔接漏洞及资源配置不合理之处,进而针对性优化工序排布与资源调配方案^[3]。结合各施工阶段监测数据反馈的结构状态,合理调整施工先后顺序,优化工序衔接细节,减少工序等待时间与交叉干扰,提升施工整体推进效率,同时有效规避因流程不合理引发的资源浪费与施工冲突,推动施工流程向高效、有序、节能、可控方向优化,契合混凝土结构施工流程管控的学术规范与工程实践需求。

3.2 数据在施工技术调整中的应用

监测数据为混凝土结构施工技术调整提供精准、可靠的量化依据,结合基础、主体、围护等各施工阶段的监测数据,可及时发现施工技术应用过程中与设计要求的偏差及存在的不足。通过深入分析结构位移、应力应变、温度变化等监测数据,能够准确判断施工工艺、施工参数的合理性,明确技术应用过程中存在的问题根源。针对数据反映的问题,优化混凝土浇筑配合比、浇筑工艺、模板支撑方式、钢筋安装精度等关键技术环节,修正施工过程中的技术偏差,完善施工技术方案,确保施工技术应用与结构设计标准、施工规范高度契合,提升施工技术的适配性与科学性,为混凝土结构施工质量提供坚实技术保障。

3.3 数据在施工过程管控中的应用

监测数据贯穿混凝土结构施工过程管控的全流程,聚焦施工质量与施工安全两大核心目标,实现管控模式从被动处置向主动预判、动态调控转变。依托实时监测数据,可精准掌握结构施工过程中的受力状态、变形趋势及质量变化,及时捕捉施工过程中可能出现的质量隐患与安全风险,提前制定针对性管控措施,防范质量缺陷与安全事故发生。通过持续跟踪分析监测数据,严格

把控施工各环节质量标准,规范施工人员操作流程,强化施工过程中的动态管控,及时调整管控策略,确保施工全过程符合设计要求与施工规范,保障混凝土结构施工质量与施工安全稳定可控,契合施工过程管控的学术理念与工程实践准则。

3.4 数据应用的核心逻辑与衔接方式

数据应用的核心逻辑是立足混凝土结构施工实际需求,以监测数据为核心纽带,实现数据与施工各环节、各工序的深度融合,为施工决策提供科学、精准的量化支撑。核心逻辑围绕“数据采集-数据处理-数据应用-反馈优化”的闭环展开,确保数据应用紧密贴合施工工况与结构特性,精准对接施工流程优化、技术调整与过程管控的实际需求,充分挖掘数据价值^[4]。衔接方式需保障数据在各应用场景间的顺畅流转,建立完善的数据应用反馈机制,将数据应用结果反向反馈至数据采集与处理环节,优化采集频率、处理方法与设备参数,同时实现数据应用与施工各工序、各环节的无缝衔接,形成数据驱动的施工管理闭环,提升数据应用的系统性、实效性与可持续性。

4 监测技术与数据应用的优化方向

4.1 监测技术的优化路径

监测技术的优化需立足混凝土结构施工监测的实际痛点,结合行业技术发展趋势,推动监测技术向精准化、智能化、集成化方向升级。优化过程中需聚焦监测精度提升,通过技术改良与设备升级,降低环境干扰与人为误差对监测结果的影响,提升监测数据的可靠性。推动监测设备的小型化与便捷化改造,适配施工现场复杂工况,减少设备布置对施工流程的干扰,提升监测操作的便捷性。同时融入智能化技术,实现监测数据的实时采集与自动分析,简化人工操作流程,提升监测效率,构建适配混凝土结构施工全过程的高效监测技术体系,契合施工监测技术的发展规范与学术导向。

4.2 数据应用的完善措施

数据应用的完善需围绕数据价值挖掘与应用场景拓展,弥补现有应用短板,提升数据应用的实效性与系统性。建立完善的数据分析体系,优化数据解读方法,深入挖掘监测数据与施工质量、安全、效率之间的关联关系,让数据充分发挥决策支撑作用。拓展数据应用场景,打破数据应用局限,将监测数据延伸至施工后期维

护与结构运营阶段,实现数据的全生命周期利用。完善数据应用反馈机制,及时收集数据应用过程中的问题与需求,针对性优化数据采集、处理与应用流程,确保数据应用与施工实际需求精准对接,提升数据应用的科学性与实用性。

4.3 技术与数据融合的优化思路

技术与数据融合的优化需打破监测技术与数据应用的割裂状态,构建二者协同联动的一体化体系。强化监测技术与数据采集、处理环节的深度融合,优化监测设备的数据传输功能,确保监测数据实时、精准传输至数据处理系统,减少数据延迟与丢失。推动监测技术与数据应用场景的协同适配,根据不同数据应用需求,优化监测技术选型与参数设置,让监测数据更贴合应用需求^[5]。建立技术与数据融合的协同优化机制,将数据应用结果反向指导监测技术优化,通过监测技术升级提升数据质量,形成“技术升级-数据优化-应用提升”的良性循环,充分发挥技术与数据的协同效应,提升混凝土结构施工监测的整体水平。

结束语

混凝土结构施工全过程监测技术与数据应用研究,对提升工程施工质量与效率作用显著。通过构建科学合理的监测技术体系,规范数据采集与处理流程,深入挖掘数据在施工各环节的应用价值,能够实现施工过程的精准管控。同时,明确监测技术与数据应用的优化方向,有助于推动二者协同发展,形成更高效、智能的监测管理模式,为混凝土结构施工提供坚实保障,促进建筑行业施工技术的持续进步。

参考文献

- [1]王文文.智能化监测技术在混凝土结构工程施工安全管理中的应用[J].建设机械技术与管理,2025,38(6):61-63.
- [2]熊学玉,卫志盛.超大跨度自由曲面预应力混凝土薄壳结构施工过程健康监测[J].建筑技术,2025,56(20):2552-2556.
- [3]黄文旭.温度监测在大体积混凝土施工过程的应用[J].广东建材,2024,40(8):84-87.
- [4]龙飞.大跨度预应力混凝土悬挑梁结构的施工与监测分析[J].建筑·建材·装饰,2024(19):67-69,39.
- [5]李纪明,焦永康,海然,等.大跨度弦支混凝土梁施工过程监测与分析[J].建筑技术,2022,53(12):1648-1651.