

依托安全监测仪器大流态与密集配混凝土现场应力对比

李智勇 张守国 王强 王锦浩

新疆水发瑶池水务有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6798

[摘要] A地区地质条件复杂,气候干旱多变,对混凝土结构材料的性能提出了更高要求。为提升工程结构的稳定性与耐久性,本文基于安全监测仪器,选取A地区典型施工现场,对大流态混凝土与密集配(高配筋率)混凝土在施工过程中和服役阶段的现场应力行为进行对比分析。通过布设应变计、温度计、应力计等监测设备,采集混凝土内部应力分布、变形过程与温度变化等关键参数,结合数据分析手段评估两种混凝土的适应性与结构性能差异。研究结果表明,大流态混凝土在施工便捷性和早期应力释放方面具有优势,而密集配混凝土在承载能力和长期稳定性上表现更优。本文对A地区复杂环境下混凝土材料选择与结构设计提出了优化建议。

[关键词] 大流态混凝土; 密集配混凝土; 现场应力; 安全监测; 结构性能

中图分类号: TV331 **文献标识码:** A

On-Site Stress Comparison between Highly Flowable Concrete and High Reinforcement Ratio Concrete Based on Safety Monitoring Instruments

Zhiyong Li Shouguo Zhang Qiang Wang Jinhao Wang

Xinjiang Shuifa Yaochi Water Affairs Co., Ltd.

[Abstract] The complex geological conditions and arid, variable climate in A impose higher demands on the performance of concrete structural materials. To enhance the stability and durability of engineering structures, this study conducts a comparative analysis of the on-site stress behavior of highly flowable concrete and high reinforcement ratio concrete during both construction and service stages at typical construction sites in A, based on safety monitoring instruments. By installing monitoring equipment such as strain gauges, thermometers, and stress gauges, key parameters including internal stress distribution, deformation processes, and temperature variations in the concrete were collected. Data analysis methods were employed to evaluate the adaptability and structural performance differences between the two types of concrete. The results indicate that highly flowable concrete offers advantages in construction convenience and early-stage stress relief, while high reinforcement ratio concrete demonstrates superior load-bearing capacity and long-term stability. This study provides optimization suggestions for concrete material selection and structural design in the complex environment of A.

[Key words] Highly flowable concrete; High reinforcement ratio concrete; On-site stress; Safety monitoring; Structural performance

新疆作为我国西部重要的战略区域,其基础设施建设正处于快速发展阶段。因地质构造复杂、温差大、干燥少雨等自然特征,混凝土结构在施工与运营过程中易受到温度裂缝、干缩开裂及应力集中等问题的影响。因此,合理选择混凝土材料及其配比结构,对保障工程安全尤为重要。近年来,大流态混凝土因其良好的流动性和施工效率,在新疆地区工程中得到广泛应用;与此同时,密集配混凝土则因其强度高、耐久性好,被用于高承载构筑物中。

1 新疆地区混凝土应用与监测技术概述

1.1 新疆地区工程环境特点与混凝土材料需求

新疆地区工程环境具有显著特殊性,干旱少雨、昼夜温差大、冬季严寒且冻融循环频繁,部分区域还存在大风、盐碱侵蚀等恶劣条件,对混凝土材料的适应性提出严苛要求。基于此环境特点,混凝土材料需具备优异的抗冻性、抗裂性与耐腐蚀性,同时要兼顾强度发展稳定性,以抵御极端温差带来的体积变形损伤。

1.2 大流态与密集配混凝土的定义与适用场景

大流态混凝土是指具备高流动性、低坍落度损失特性,无需

振捣或少量振捣即可密实成型的混凝土,其核心优势在于提升施工效率,适配复杂钢筋布置、大体积浇筑等施工场景。密集配混凝土则以骨料级配优化为核心,通过合理搭配不同粒径骨料,减少内部空隙,实现更高的密实度与强度。在新疆地区,大流态混凝土适用于大型水利枢纽、桥梁基础等大体积工程,可解决偏远地区施工人员不足、振捣作业难度大的问题;密集配混凝土则更适用于对抗渗、抗冻、抗侵蚀要求高的工程部位,如堤坝迎水面、盐碱地区路基等,能有效提升结构耐久性。

1.3 现场应力监测仪器系统构成与布设方法

新疆地区混凝土现场应力监测仪器系统主要由传感器、数据采集器、传输模块与数据分析终端构成。传感器类型根据监测需求选取,常见的有应变计、应力计、温度传感器等,分别用于捕捉混凝土应力应变变化与温度响应;数据采集器负责实时采集传感器信号并进行初步处理;传输模块通过有线或无线方式将数据传输至终端,适配新疆部分偏远工程的通信需求。布设方法需结合工程结构特点与监测重点,在混凝土浇筑过程中精准预埋传感器,重点布置在应力集中部位、温差变化剧烈区域及关键受力截面,确保监测数据能够真实反映结构受力状态,为安全评估提供可靠依据。

2 大流态与密集配混凝土现场应力特性对比分析

2.1 施工过程中应力发展与温度响应特征

施工过程中,大流态与密集配混凝土的应力发展及温度响应呈现明显差异,其根源在于材料组成与结构密实度的不同。大流态混凝土为实现高流动特性,通常需采用较高的胶凝材料用量和较大的浆体体积,这直接导致其水化热总量大且释放集中。在浇筑后的升温期,混凝土内部温度迅速攀升,易在结构截面形成显著的内外温差。因此,大流态混凝土在应力发展前期,温度应力占据主导地位,其应力历程与温度场演变紧密耦合。

相对而言,密集配混凝土以优化骨料级配为核心,骨料所占体积比高,浆体主要起填充和粘结作用,胶凝材料用量相对节制。因此,其水化热释放过程较为平缓,内部温升速率和峰值温度均低于大流态混凝土,由此产生的温度梯度及相应的温度应力也相对较小。

2.2 不同施工阶段的应变与裂缝发展趋势

在初凝前的塑性阶段,大流态混凝土因其高流动性,浆体丰富,水分蒸发或基底吸水引起的塑性收缩更为敏感。若此时存在模板约束、钢筋阻碍或大风干燥条件,塑性收缩受到限制,极易在表面生成不规则的非结构性塑性收缩裂缝。密集配混凝土在此阶段浆体含量相对较少,骨料骨架提供了一定支撑,整体塑性收缩应变较小,但若振捣不均导致局部浆体聚集或骨料离析,则可能在这些薄弱区域产生应变集中点。

进入硬化阶段后,应力发展主要来自水化热降温收缩、干燥收缩及自收缩。大流态混凝土由于胶材用量高,化学收缩大,且内部相对湿度下降快,其总收缩值通常较大。在内外约束下,收缩应变可能引发较宽的贯穿性温度-收缩裂缝,对结构整体性构成威胁。密集配混凝土因其密实结构内部孔隙率低、水分迁移

困难,干燥收缩相对较小,且骨料对浆体收缩的约束作用更强,因此其总体收缩应变较小,裂缝发展多以表面细纹为主,扩展速度和宽度均较缓和。

在长期使用阶段,新疆严酷的冻融循环是严峻考验。大流态混凝土若内部孔隙结构不良(如气泡间距系数过大),在冻融作用下,孔隙水反复冻胀会产生巨大内应力,使既有微裂缝迅速扩展、连通,导致剥落、强度骤降。密集配混凝土因其固有的高密实性和低渗透性,能更有效地阻止水分侵入和冰晶形成,裂缝扩展的驱动力减弱,因而表现出更优的抗冻融损伤能力和长期耐久性优势,裂缝稳定期更长。

2.3 承载性能与结构稳定性对比评估

从承载性能与长期结构稳定性维度进行对比评估,密集配混凝土的优势较为明显。其根本原因在于通过最密实级配形成的紧密骨料骨架。这种骨架提供了强大的机械咬合与嵌锁作用,使得混凝土在承受压力时,荷载传递路径更直接、有效,表现出更高的抗压强度和弹性模量,同时具有更好的抗折性能与变形抵抗能力。因此,在相同设计强度等级下,密集配混凝土的结构通常表现出更高的安全储备和刚度,承载稳定性更优。

在新疆复杂环境(冻融、盐蚀、干湿循环)的长期耦合作用下,材料性能的耐久性衰减直接影响承载力的保持。密集配混凝土的高密实性有效降低了有害介质(如氯离子、硫酸盐、水)的侵入速率,减缓了内部钢筋锈蚀和混凝土本身的中性化、侵蚀过程,因此其强度与性能的衰减速率相对较慢,能够更持久地维持设计承载能力。大流态混凝土为了实现流变性,其浆体体积和用水量通常较高,可能导致硬化后内部毛细孔更多、结构相对疏松。在长期荷载与环境侵蚀的共同作用下,易发生更强的徐变变形,强度退化也可能更快,对长期稳定性构成挑战。

3 工程应用建议与优化路径

3.1 材料选择与配比优化建议

新疆地区混凝土材料选择与配比优化,必须建立在对当地严酷环境深刻理解的基础上,采取针对性策略。在原材料选择层面,骨料应优先选用质地致密、强度高、级配连续且含泥量低的碎石和机制砂,以构建稳定的骨架并减少收缩;水泥宜选用水化热较低的中热或低热硅酸盐水泥,从源头控制温升。

在配合比优化设计上,对于大流态混凝土,核心矛盾是流动性、稳定性与耐久性的平衡。需重点选用高性能聚羧酸减水剂,并可能复配缓凝、保坍、引气等组分,在保证极佳流动性和长时间坍落度保持能力的同时,尽可能降低用水量和胶凝材料总量,寻求流动性与收缩、水化热之间的最优解。对于密集配混凝土,优化重心在于骨料级配的理论计算与试验验证。需采用诸如粒子堆积模型(如Furnas模型、Andreasen模型)进行理论分析,并通过大量试验确定最佳砂率、各粒级骨料比例以及胶凝材料与骨料的比例(胶骨比),目标是实现最小孔隙率和最大密实度。同时,两种混凝土都应考虑添加适量的优质引气剂,在混凝土中引入均匀、封闭的微气泡,这是提高抗冻性的最有效措

3.2 监测技术在新疆复杂环境中的适用性分析

在新疆复杂环境中部署和应用监测技术, 必须将环境适应性作为系统选型和方案设计的首要准则。监测仪器本身需要具备极强的环境耐受性。对于传感器(如振弦式应变计、光纤光栅传感器), 其外壳材料、密封工艺和内部元件必须能够承受 -30°C 以下的极端低温以及反复的冻融循环, 保证长期零点稳定性和灵敏度不受影响。在风沙严重区域, 所有外露的接口、数据采集箱必须达到较高的防护等级(如IP67以上), 采用多重密封和防尘设计, 防止沙尘侵入导致接触不良或机械磨损。

数据传输方式的选择需因地制宜。无线传输(如LoRa、4G/5G)为偏远无固定网络的工地提供了可能性, 但必须评估大风、沙暴、低温对无线信号强度与稳定性的干扰, 并配备太阳能-蓄电池供电系统。有线传输虽然稳定性高, 但在长距离、大范围监测时存在布线复杂、易受施工损坏等问题, 适用于结构紧凑、对数据实时性要求极高的重点部位。

3.3 混凝土结构安全性能提升的策略建议

提升新疆地区混凝土结构的安全性能, 是一项贯穿设计、施工、养护和运维全生命周期的系统工程。在施工控制阶段, 必须实行精细化管理。对大流态混凝土, 要严格控制浇筑速度与顺序, 避免冷缝形成; 加强现场坍落度与扩展度检测, 杜绝因等待时间过长或加水引发的离析、泌水。对密集配混凝土, 则要制定专门的振捣方案, 选择合适的振捣设备与频率, 确保在复杂钢筋区域也能充分密实, 避免蜂窝、空洞等先天性缺陷。

养护是决定混凝土性能成败的关键环节。针对新疆干旱、多风、温差大的特点, 必须摒弃单一养护方式, 推行“早期保水保温、长期防风保湿”的复合养护制度。浇筑后立即覆盖塑料薄膜或喷洒养护剂锁住水分, 在温度骤降时采用保温毯覆盖以减少内外温差。对于重要结构, 可考虑采用自动喷淋系统与智能温控棚相结合的方式, 创造稳定的温湿度环境, 养护时间应比规范要求适当延长。在长期运维阶段, 应建立“定期巡检+自动化监测”相结合的预警体系。巡检侧重于表观病害(裂缝、剥落、渗

漏)的发现与记录, 而自动化监测系统则提供内部应力、变形、温度变化的连续数据。利用大数据分析技术, 对监测数据进行趋势分析和异常诊断, 实现从“事后处理”到“事前预警”的转变。对于发现的损伤, 需选用与基体相容性好且具有更高抗冻、抗蚀性能的专用修补材料进行及时修复, 并同步恢复或升级该区域的监测点位, 形成管理闭环, 从而全面保障结构在其设计寿命期内的安全与稳定。

4 结语

通过对新疆地区大流态混凝土与密集配混凝土进行现场应力对比分析, 发现两者在性能表现上各具优势, 应根据具体工程类型与环境条件合理选择。安全监测仪器的应用为混凝土结构性能评估提供了有力支撑, 有助于实现工程全过程的风险预控与质量保障。未来应进一步推进智能监测技术与施工工艺的融合, 提升新疆地区复杂环境下混凝土结构的安全性及耐久性。

[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(06): 61-63.
- [2]程琳, 袁喜娜, 马春辉. 基于BMA的混凝土重力坝自振频率安全监测模型[J]. 地震工程与工程振动, 2025, 45(06): 73-85.
- [3]金波. 数字孪生驱动的夹岩水利枢纽安全监测体系构建与示范[J]. 吉林水利, 2025, (11): 50-56.
- [4]赵帅印. 水库混凝土面板堆石坝稳定性分析与安全监测实践研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2025, 8(10): 107-111.
- [5]李君军, 郑晓红. 高水头、长斜井抽水蓄能电站的输水系统安全监测设计[J]. 大坝与安全, 2025, (05): 45-49.
- [6]肖晟, 杨杰, 程琳, 马春辉. 基于优化统计模型的混凝土坝变形异常值自适应识别[J]. 水力发电学报, 2025, 44(8): 105-118.

作者简介:

李智勇(1976--), 男, 汉族, 河北景县人, 大学本科, 新疆水发瑶池水务有限公司, 研究方向: 水利工程管理及安全监测技术。