

混凝土早期温度应力测试与裂缝控制技术研究

赵学辉^{1,2} 吕怿非^{1,2} 王万涛^{1,2} 宋启桦^{1,2} 李续辉^{1,2}

1.中建八局轨道交通建设有限公司 山东 青岛 266000

2.中国建设基础设施有限公司 北京 100835

【摘要】：混凝土早期温度应力问题是建筑工程中影响结构安全和耐久性的重要因素，尤其是在大体积混凝土施工中尤为突出。本文研究了混凝土在硬化初期温度变化所引发的温度应力机制，并探讨了裂缝的发生规律。通过实验和数值模拟分析，揭示了不同温控措施对温度应力的影响，并提出了合理的裂缝控制技术。研究结果表明，适当的温控措施，如合理的浇筑工艺和温差控制，可以显著降低温度应力，进而有效控制裂缝的产生。为大体积混凝土施工中的裂缝控制提供了理论依据和实践指导。

【关键词】：早期温度应力；裂缝控制；混凝土；温控技术；大体积施工

DOI:10.12417/2811-0528.25.20.051

引言

混凝土在硬化过程中的温度变化，特别是在早期阶段的温度梯度，常常导致温度应力的产生，这对混凝土结构的长期稳定性和安全性构成威胁。大体积混凝土施工时，温度应力更加显著，裂缝的出现不仅影响工程外观，也可能危及结构性能。深入理解温度应力的生成机制并采取有效的控制技术，对于提高混凝土结构的耐久性至关重要。本研究围绕混凝土早期温度应力展开，通过实验与模拟手段探讨不同控制措施的效果，为实际工程中裂缝的预防提供科学依据。

1 混凝土早期温度应力的产生机理与影响因素分析

混凝土在硬化过程中，由于水化热的产生，温度在混凝土内部产生不均匀的分布，导致温度梯度的形成。特别是在大体积混凝土施工中，温度变化较为剧烈，造成了混凝土内外层的温差。这种温度梯度直接导致了混凝土内部的温度应力。温度应力的生成主要来源于混凝土各部分的热膨胀差异，温度高的部分膨胀较大，温度低的部分膨胀较小，进而在混凝土内部形成了应力集中。如果这些应力超过了混凝土的抗拉强度，就会引发裂缝的出现。由于混凝土是脆性材料，其抗拉强度相对较低，这就使得早期温度应力成为裂缝发生的一个主要诱因。

影响混凝土早期温度应力的因素较为复杂，涉及多个方面。混凝土的配合比直接影响到水化热的释放量。水泥的品种、掺合料的使用以及水胶比的高低都会影响水化热的产生。高水胶比的混凝土往往会产生较大的水化热，这不仅会加剧温度差异，还会增加温度应力的风险。施工过程中环境温度和湿度的变化也会对混凝土的温度应力产生影响。在高温环境下，水泥的水化速度加快，温度升高会更加显著。而在低温环境下，水化反应进程缓慢，水化热释放较少，可能导致不同区域的温度梯度不均匀，这也会加剧裂缝的产生。

混凝土浇筑方式及其后期养护措施也是影响温度应力的重要因素。大体积混凝土浇筑时，如果没有采取有效的温控措施，尤其是在高温季节，混凝土内部的温度差异容易引发裂缝。养护的及时性和适当性对于减缓温度应力至关重要。如果混凝土表面过早干燥或未能保持适宜的温湿度条件，容易导致表面裂缝的产生，影响混凝土结构的耐久性。施工过程中如何有效控制这些影响因素，合理制定浇筑和养护计划，是避免温度应力过大导致裂缝的关键。

2 温控技术与裂缝控制措施的有效性研究

温控技术在混凝土施工中起着至关重要的作用，尤其是在大体积混凝土的施工过程中，温度控制的有效性直接影响到裂缝的控制与预防。通过对混凝土的温度进行实时监测和调节，可以有效地减少温度应力的形成。常见的温控措施包括合理的浇筑工艺、加强养护及温控设备的应用等。采用分层浇筑、分段浇筑等方法，可以减少温差带来的应力集中，避免在混凝土内部形成过大的温度梯度。浇筑时，通过合理安排浇筑顺序和时间，确保混凝土的各部分温度趋于一致，降低温度应力的风险。通过加强温控措施，如使用冷却管道、冰水浇筑或添加矿物掺合料等，可以有效减缓混凝土硬化过程中的温度升高，降低裂缝的产生几率。

裂缝控制技术的有效性不仅依赖于温控措施的实施，还需要通过合理的混凝土配合比、外加剂的使用以及科学的养护来进一步优化。水泥品种的选择对水化热的控制有着直接影响，选用低热水泥或掺入矿粉、粉煤灰等矿物掺合料，可以有效降低水化热的释放速度，减少温差引起的温度应力。适当增加混凝土的抗裂性能也能起到预防裂缝的重要作用。采用低收缩、高强度混凝土，不仅能够有效减小裂缝的发生，还能提高混凝土整体的抗裂性能和耐久性。在实际施工中，合理调整水胶比、

掺加适量的外加剂，如缓凝剂、减水剂等，可以改善混凝土的流动性和施工性能，从而达到优化裂缝控制效果的目的。

在混凝土养护过程中，控制温度的变化对于裂缝的防治至关重要。传统的养护方法如覆盖保湿、洒水养护等，已被现代的养护技术所替代，如使用保温材料覆盖或采用养护膜，保持表面湿润并有效防止早期干裂。这些养护措施能够保持混凝土内部的温度相对稳定，避免表面因温差过大而导致干缩裂缝。养护过程中及时调整温度，避免温度急剧变化，也能有效减少因温度应力导致的裂缝。在高温季节，使用冷却措施，如对混凝土浇筑区域进行遮阳，或采用冰水混合浇筑技术等，都能有效减少由于水化热过高引起的裂缝。结合科学的温控技术与合理的养护措施，不仅能有效减少温度应力，还能提高混凝土结构的耐久性和稳定性，为大体积混凝土的施工提供了有力的技术支持。

3 混凝土裂缝控制技术的应用实践与优化建议

在混凝土施工中，裂缝控制技术的应用实践已成为工程质量控制的关键。合理应用裂缝控制技术，能够有效减少因温度应力、收缩、荷载等因素引发的裂缝。对于大体积混凝土工程，裂缝的防治措施主要包括温控措施、加固措施和优化配合比等。通过对混凝土浇筑过程中的温度进行控制，可以降低温度梯度，从而有效避免因温差引起的温度应力，减少裂缝的发生。在实际应用中，采用冷却管道、冷却水流或冰水混合浇筑等技术，可以大幅度降低混凝土的水化热，提高混凝土的稳定性。分层浇筑、分段施工等方法也能有效控制温度差异，避免因温度急剧变化导致的裂缝。

裂缝控制技术不仅仅局限于温控措施，还涉及到混凝土材

料的合理配比与外加剂的使用。为了减少裂缝的发生，采用低水胶比的混凝土可以有效降低收缩率，减少裂缝的形成。选用低热水泥或掺合料（如粉煤灰、矿粉等）可以减少水化热的释放，从源头上减小温差带来的应力。适量添加抗裂纤维、减水剂等外加剂能够提高混凝土的抗裂性能，改善其塑性和流动性，进一步降低裂缝的风险。在一些特殊环境下，加入适当的缓凝剂可以有效延长水化过程，避免因早期过快水化引起的裂缝。

为了更好地实施裂缝控制措施，混凝土的养护同样不可忽视。在实际工程中，采用科学的养护措施可以有效保持混凝土的湿润状态，避免因表面干裂而导致裂缝的发生。特别是在高温或干燥的季节，及时覆盖湿麻袋、使用养护膜等方法，可以减少水分蒸发，保持混凝土的内部水分，降低裂缝的产生几率。养护期间对混凝土温度的控制也是关键，通过使用保温材料和养护设备，确保混凝土温度稳定，有效避免温度梯度的变化导致裂缝的发生。在混凝土浇筑后的早期，进行适当的温度调整，避免过度干燥或过快的温度升降，能够显著提高裂缝控制的效果。

4 结语

混凝土早期温度应力与裂缝控制问题直接关系到工程结构的稳定性与耐久性。通过优化温控技术、合理调整混凝土配合比以及采取有效的养护措施，可以显著降低温度应力带来的裂缝风险。结合实际施工经验与技术研究，裂缝控制的综合措施能够有效保障混凝土工程的质量，为大体积混凝土施工提供了理论依据和实践指导。未来，随着新技术的发展，裂缝控制技术的应用将更加高效和精准，进一步提高工程的安全性与经济性。

参考文献：

- [1] 张云鹏,李明.混凝土早期温度应力的研究现状与发展[J].建筑科学,2020,36(6):79-83.
- [2] 王大伟,赵辉.大体积混凝土裂缝控制技术研究与应用[J].土木工程,2021,47(2):22-25.
- [3] 刘建华,王晓丽.温控技术在混凝土施工中的应用与效果分析[J].工程技术,2019,15(3):55-58.