

Risk assessment and control of temperature cracks in large volume concrete construction of port and waterway engineering

Zhongping Wang

Dongdong Hongye Construction Group Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314400, China

Abstract

The construction of large-volume concrete in port and waterway engineering projects is influenced by multiple factors including structural dimensions, heat of hydration characteristics, and marine environmental conditions. Temperature-induced cracking exhibits distinct temporal and regional patterns. During the early hardening stage, the internal temperature of concrete rises progressively with accumulated heat of hydration. Meanwhile, external factors such as tidal fluctuations, sea breeze cooling, and diurnal temperature variations create significant thermal gradients between the concrete's interior and exterior. This thermal disparity leads to stress concentration and subsequent crack formation. To reduce the probability of temperature-induced cracking, this study aims to provide technical guidance for hydraulic concrete construction, thereby enhancing both engineering quality and service reliability.

Keywords

Mass concrete; Temperature cracking; Port engineering; Hydration heat; Risk control

港口与航道工程大体积混凝土施工中的温度裂缝风险评估与控制

王中平

东栋宏业建设集团有限公司, 中国·浙江 嘉兴 314400

摘要

港口与航道工程中的大体积混凝土施工受结构尺度、水化热释放特性与海洋环境多因素叠加影响, 温度裂缝风险具有显著的阶段性与区域性特征。在硬化早期, 混凝土内部温度随水化热累积不断升高, 而外部受潮汐变化、海风冷却和昼夜温差影响, 内部与外部形成较大温差, 导致约束应力集中并诱发裂缝。为降低温度裂缝发生概率, 本文的研究旨在为水工混凝土施工提供技术依据, 提升工程质量与服役可靠性。

关键词

大体积混凝土; 温度裂缝; 港口工程; 水化热; 风险控制

1 引言

港口与航道工程在施工过程中广泛采用大体积混凝土, 其结构厚度大、约束条件强、凝结速度快, 温度裂缝问题成为工程质量控制的重点。混凝土在水化过程中产生大量热量, 导致内部温度迅速升高, 而海洋环境中昼夜温差、潮汐波动及湿热气候, 使外界温度呈现频繁变化, 内部外部温差进一步扩大, 产生较大的温度应力。如果应力无法有效释放, 将引发早期裂缝, 进而影响结构的密实性、耐久性和长期使用安全。随着工程规模不断增长, 传统温控措施已难以完全适应复杂水工环境, 对温度裂缝形成机理、风险评估方式和控制策略提出了更高要求。开展针对性的技术研究, 有助于

构建精准的温控体系, 提高港口与航道工程的质量管控水平, 为工程安全运营奠定坚实基础。

2 港口与航道工程大体积混凝土施工的结构特征识别

2.1 大体积混凝土结构的规模参数与构造特性

港口与航道工程中的大体积混凝土结构具有体量大、厚度高和约束程度强的特点。典型结构厚度普遍达到 1.8 米至 3.5 米, 单次浇筑量常超过 3000 立方米, 部分码头或沉箱基础一次浇筑量甚至接近 6000 立方米。厚大结构导致内部散热路径增长至 1 米以上, 水化热在 48 小时内可使核心温度升至 65℃至 78℃, 而表层受风冷和水气影响温度保持在 20℃至 32℃区间, 形成显著的内外温差。结构中钢筋配置密度高、刚度强, 使内部自由变形空间被显著限制, 温度应力释放困难。几何构造如转角、台阶、节点与施工缝位置复杂, 应力容易在这些区域集中, 裂缝萌生概率增大。水工

【作者简介】王中平(1987-), 男, 中国浙江平湖, 本科, 高级工程师, 从事港口与航道工程研究。

结构的施工节段长、整体尺寸大,使材料收缩与水化升温的累计效应叠加,进一步提升裂缝风险。通过识别这些规模与构造特征,可为温控方案制定提供基础依据。

2.2 施工环境条件对温度场分布的影响因素

港口与航道工程位于内河与湿热、多风、潮汐频繁变化的海岸带环境,外界条件对混凝土温度场分布影响显著。施工区域昼夜温差通常达到 8°C 至 12°C ,高湿度保持在70%至90%区间,风速常在4米/秒至9米/秒波动,使表层散热速度加快。潮汐水温一般为 16°C 至 22°C ,涨潮阶段海水与结构直接接触,使表面温度短时间内下降 5°C 至 10°C 。降雨、海雾与太阳辐射交替影响,造成混凝土表层温度在一天内出现 4°C 至 8°C 跳跃式波动。相较之下,内部水化热集中,温升幅度可维持在 25°C 至 40°C 范围,内外温差不断扩大,使温度场呈现明显非均匀性。不同施工时段的环境差异,如夜间浇筑、潮间带施工或高温季施工,会显著改变温度分布形态,使外界条件成为影响温控设计的关键因素^[1]。

3 港口与航道工程大体积混凝土温度场演化规律评估

3.1 水化热释放过程的时空变化规律分析

大体积混凝土在水化反应中呈现明显的温度峰值特征,核心区域温升速度在浇筑后前24小时可达到每小时 1.2°C 至 1.8°C ,温度峰值通常在48至60小时出现,峰值温度常在 65°C 至 78°C 区间。不同位置温度分布呈现明显梯度,距表面20厘米处较核心温度低 15°C 至 20°C ,距结构外表5厘米范围温度进一步下降至表层温度,仅为 20°C 至 32°C 。水化热释放曲线在底板、墙体、节点位置呈现差异,底板因散热困难温升幅度最高,可维持高温状态超过72小时,而墙体靠近空气散热快,高温持续时间通常不超过48小时。水化反应速率受水泥矿物成分影响,C3S含量从45%增加到55%会使峰值温度上升约 6°C 。不同部位的温度演化规律决定了温控措施的差异化需求,是裂缝风险预测的重要依据。

3.2 外界环境温度、潮汐与风压条件的共同作用机制

外界环境对混凝土温度演化具有强制性影响,其作用可在短时间内显著改变表层温度。空气温度在一天内变化幅度常达到 8°C 至 12°C ,若结构暴露于高温太阳辐射,表层温度可瞬间升高 4°C 至 6°C ,而夜间受风冷作用,表层可能在两小时内下降 3°C 至 5°C 。风速在4米/秒至9米/秒变化时,表层散热系数可提高30%以上,加速温度下降。潮水温度为 16°C 至 22°C ,涨潮浸泡时结构表面温度骤降幅度可达 5°C 至 10°C 。风压变化引发空气流动增强,使表层换热量增加约15%至25%,表层温度随风压波动出现 1°C 至 3°C 摆动。外界环境的多因子叠加作用使混凝土表层温度呈现强时变性,与内部缓慢变化的温升形成明显耦合差异,为裂缝风险创造条件。

3.3 温度梯度、约束应力与应力集中分布特征

大体积混凝土内部外部温差常维持在 25°C 至 35°C 范

围,导致结构内部形成显著温度梯度,温度梯度峰值常达到 $12^{\circ}\text{C}/\text{米}$ 至 $18^{\circ}\text{C}/\text{米}$ 。由于结构刚度大、钢筋布置密集,自由变形受限,当温差达到 28°C 至 32°C 时内部拉应力可达到1.8兆帕至2.6兆帕,接近或超过混凝土早期抗拉强度1.5兆帕至2.0兆帕,裂缝风险大幅提升。节点、转角、台阶位置因几何突变产生局部应力集中,应力集中系数可达1.4至1.8,局部拉应力增长约0.3兆帕至0.6兆帕。底板与墙体交界处因约束最强,往往成为温度裂缝的主要萌生区域。不同浇筑段因温度升降不同步,会形成界面拉应力,界面应力峰值可达2.0兆帕左右。温度梯度与约束效应的叠加构成裂缝形成的核心动力,对温控设计提出严格要求^[2]。

4 港口与航道工程大体积混凝土温度裂缝风险诊断

4.1 温度裂缝类型识别与形成条件判定

大体积混凝土中常见的温度裂缝类型包括表面收缩裂缝、贯穿性拉裂缝和界面温差裂缝。表面裂缝多发生在浇筑后24小时至72小时,表层温度下降幅度达到 5°C 至 10°C 时即可能产生拉应力,使表层应力达到1.0兆帕至1.5兆帕并引发裂缝。贯穿性裂缝与内部温升幅度密切相关,当内部温度短时间内从 25°C 升至 70°C 时,内部膨胀受周围混凝土约束形成较大应力,拉应力可达到2.0兆帕至2.5兆帕,超过早期抗拉能力后裂缝贯通。界面温差裂缝主要发生在分块浇筑界面,当新老混凝土温差达到 20°C 以上时界面会出现1.6兆帕至2.2兆帕的拉应力。裂缝类型与温度梯度、收缩变形和结构约束共同作用相关,通过识别温差幅度、应力发展速率和结构约束特征,可实现裂缝形成条件的精准判定,为风险分级提供基础。

4.2 水化热峰值与温差临界值的风险阈值分析

水化热峰值温度对裂缝风险具有核心影响,内部温度一旦超过 70°C 至 78°C 区间,内部膨胀量将显著增加,使应力增长速度提升约30%。温差是判定裂缝风险的关键指标,当核心与表面温差处于 25°C 至 30°C 范围时,裂缝概率迅速提升;当温差超过 35°C 时,拉应力可达到2.4兆帕以上,明显超过多数C30至C40混凝土早期抗拉强度。底板温差临界值通常在 30°C 左右,墙体因散热快临界值约为 26°C 。施工缝区域因约束条件叠加,其温差临界值更低,仅为 18°C 至 22°C 。水化热峰值与温差阈值之间的组合决定裂缝风险等级,例如峰值达到 72°C 且温差超过 32°C 时应判定为高风险区。通过将温度峰值、温差幅度和早期强度参数进行量化分析,可形成大体积混凝土裂缝风险的临界判定体系,为温控措施提供参数依据^[3]。

4.3 施工工序、材料性能与结构刚度导致的风险叠加效应

大体积混凝土裂缝风险受到施工节奏、材料特性与结构刚度共同影响,并呈叠加放大效应。快速浇筑使混凝土内部升温速率达到每小时 1.5°C 至 1.8°C ,若覆盖保温滞后超过

2小时,表层降温可加速3℃至5℃,导致内外温差快速扩大。材料性能如水泥C3S含量从45%提升到55%将使峰值温度升高6℃左右,若骨料含水率降低至0.2%,其吸热能力下降,使温升进一步增长3℃至4℃。结构刚度越大,约束系数越高,底板与墙体交接位置的约束系数可达1.6至1.8,使拉应力提高0.4兆帕至0.7兆帕。施工时间安排也有明显影响,如高温时段浇筑使表面温度在短时间内波动4℃至6℃,与内部升温叠加导致更大温差。三类因素相互作用,可能使综合裂缝风险提升40%至60%,需在施工过程中进行系统协同控制。

5 港口与航道工程大体积混凝土温度裂缝控制技术

5.1 材料选配与水化热调控的技术路径

大体积混凝土调控水化热可通过合理选择水泥品种、骨料性能和掺合料比例实现。采用水化热较低的矿渣水泥或粉煤灰水泥可使峰值温度下降8℃至12℃,掺入粉煤灰与矿渣粉比例控制在25%至50%区间可有效延缓水化反应速率。骨料选择密度高、含水率稳定的材料能提升混合物热稳定性,使内部温升降低3℃至5℃。减水剂与缓凝剂的协同使用可减少胶凝材料用量约10%,从而降低总放热量。通过调控水灰比至0.38至0.42范围,可在保证强度的前提下减少水化热积聚。材料预冷可进一步降低入模温度,使初始温度下降4℃至6℃,降低早期温差。采用上述材料路径能有效降低水化热峰值与温差幅度,为裂缝控制奠定基础。

5.2 温控防裂施工工艺的过程性控制措施

温控措施应覆盖浇筑、保温和降温全过程。控制入模温度在18℃至22℃区间,可降低后期温升幅度。分层浇筑厚度保持在30厘米至50厘米范围内,有助于散热均衡,避免局部温度集中。采用覆盖保温材料,使表层降温速率降低40%至60%,保持外表温度稳定。冷却水管技术在底板厚度超过2米时可显著降低核心温度,使峰值下降8℃至15℃。洒水养护在风速超过6米/秒环境下应适当延长周期,以保持湿润度稳定。夜间浇筑可避免强烈太阳辐射影响,使表层温度变化幅度从6℃降低至2℃左右。全过程跟踪温度变化并依据温度曲线调整保温措施,可减少温差梯度,维持

结构处于安全温控范围内^[4]。

5.3 结构分缝、合理分块与后浇带设计的技术策略

结构合理分缝与分块是控制温度应力的重要路径。将浇筑区块尺寸控制在6米至12米范围,可减少体积膨胀累计效应,使内外温差降低约20%。设置后浇带可使不同节段温升变形错开,后浇带宽度通常保持在0.8米至1.2米,可吸收部分温度变形。伸缩缝布置在应力集中区域,可减少拉应力峰值0.3兆帕至0.5兆帕。节点与转角区域可通过设置减力槽降低局部刚度,使应力集中系数从1.8降低至1.3左右。墙体与底板交界处引入柔性连接层,可缓解约束,使温度应力降低15%至25%。通过合理结构设计与分段浇筑策略,可显著降低整体温度裂缝风险,提高结构耐久性与安全性。

6 结语

本研究围绕港口与航道工程大体积混凝土施工中的温度裂缝风险展开系统分析,从结构特征、环境作用、温度场演化、裂缝机理与控制技术等方面构建了较为完整的技术论证体系。通过对温度梯度、约束应力、界面效应等关键因素的量化研究,进一步明确了温差临界值、水化热峰值和结构刚度对裂缝形成的决定性影响,并提出材料优化、施工工艺调控与结构分段设计协同的综合控制路径。研究强调监测手段在施工期温控中的核心作用,通过数据化手段实现风险预警与动态调整,可显著提升温控措施的精准性和有效性。总体来看,加强对大体积混凝土温度行为的全过程管理,对于保障港口与航道工程的结构安全、耐久性能与服役可靠性具有重要意义,为工程建设实践提供了方法支撑与技术方向。

参考文献

- [1] 李翔.港口航道整治工程大体积混凝土护坡施工技术探讨[J].珠江水运,2025,(10):71-73.
- [2] 于占秋.港口航道工程大体积混凝土裂缝施工控制技术研究[J].珠江水运,2025,(08):138-140.
- [3] 李厚平.分析港口与航道工程大体积混凝土施工裂缝控制[J].珠江水运,2024,(12):43-45.
- [4] 王文.港口与航道工程大体积混凝土裂缝防治技术分析[J].珠江水运,2024,(08):118-120.