

Causes of mass concrete cracks in ship lock engineering and common construction control methods

Xiji Zhao

China Shipping Engineering Construction General Administration Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract

As a key hub of water conservancy transportation system, ship lock engineering often cracks in its massive concrete structures due to factors such as large volume, drastic temperature change and complex force, which seriously affect the durability and operation safety of the structure. This paper focuses on the background of large volume concrete cracks in ship lock engineering, systematically analyzes the formation mechanism of temperature cracks, shrinkage cracks and structural stress cracks, and deeply analyzes the relationship between them and material properties, hydration heat control, environmental constraints and other factors. The construction control methods commonly used in current engineering practice are further summarized, including temperature control technology, segmental pouring technology and optimal mix ratio design of concrete, and a comprehensive idea of crack pre-control and post-treatment is proposed, trying to provide theoretical reference and practical reference for improving the overall anti-crack performance of concrete structures in ship lock engineering.

Keywords

ship lock engineering; Mass concrete; Cause of fracture; Construction control; Comprehensive treatment

船闸工程大体积混凝土裂缝的成因与常用施工控制方法

赵习吉

中海工程建设总局有限公司, 中国 · 北京 100070

摘 要

船闸工程作为水利交通体系中的关键枢纽, 其大体积混凝土结构常因体积庞大、温度变化剧烈以及受力复杂等因素而产生裂缝, 严重影响结构耐久性与运行安全。本文围绕船闸工程中大体积混凝土裂缝的产生背景展开研究, 系统分析温度裂缝、收缩裂缝及结构应力裂缝的形成机制, 深度剖析其与材料性能、水化热控制、环境约束等因素之间的关联。进一步归纳总结当前工程实践中常用的施工控制方法, 包括控温技术、分段浇筑工艺及混凝土优化配合比设计, 提出裂缝预控与后期治理的综合思路, 力图为提高船闸工程混凝土结构的整体抗裂性能提供理论参考与实践借鉴。

关键词

船闸工程; 大体积混凝土; 裂缝成因; 施工控制; 综合治理

1 引言

船闸工程大体积混凝土结构在长期服役过程中易产生不同类型的裂缝, 其分布隐蔽、传播路径复杂, 常对结构安全构成潜在威胁。传统施工中对裂缝问题的处理多依赖经验, 缺乏系统性分析与科学性干预, 导致裂缝预控效果有限。本文立足裂缝的实际表现, 重新审视其结构依附环境、物理成因与工程诱导机制, 强调通过成因机制与控制策略的协同研究, 实现施工阶段对裂缝的全过程干预。通过归纳裂缝类型, 揭示其发生内因, 并系统梳理常用的控制手段, 从源头减少裂缝发生概率, 提升结构服役质量。

【作者简介】赵习吉 (1982-), 男, 中国山东乳山人, 本科, 高级工程师, 从事交通水运工程施工总承包项目管理、技术咨询等研究。

2 船闸工程大体积混凝土结构特点

船闸工程作为控制水位变化与实现船舶通行的重要基础设施, 其混凝土结构常呈大体积封闭状态, 具有结构尺寸庞大、受力体系复杂、施工周期长和水化热集中释放等显著特征。在施工过程中, 由于混凝土浇筑体积大、一次成型厚度高, 内部水化热不易及时散发, 极易形成温度梯度, 导致结构内部与外部之间产生较大的应力差异。同时, 大体积混凝土结构多处于潮湿、温差明显的环境条件下, 其长期服役状态受周边水压、地基沉降及温湿变化等因素的共同影响。混凝土内部约束与外部约束形成复杂的应力耦合机制, 使结构易在早期或服役阶段出现温度裂缝、干缩裂缝和结构应力裂缝, 严重影响整体的安全性与耐久性。

3 船闸工程大体积混凝土裂缝的分类特征

3.1 温度应力诱发型裂缝

大体积混凝土在水化过程中会释放大量化热，导致内部温度迅速升高，随着混凝土逐步冷却，表层与核心区域之间形成较大温差，进而引发热胀冷缩的不均匀变形。当这种温度差超过混凝土的抗拉极限时，就会形成温度应力诱发型裂缝，表现为沿结构表层分布的纵向或网状裂缝。此类裂缝多出现在施工初期，具有隐蔽性强、延伸性快的特点，若未能及时采取控温降温措施，将影响结构整体完整性与后续承载性能，对船闸安全运行构成持久威胁。

3.2 收缩与湿度变化致裂类型

船闸工程中的大体积混凝土在硬化过程中会发生干缩和自收缩现象，当混凝土内外部的湿度梯度过大，水分迁移失衡，易引起体积变化不均，导致内部产生拉应力而形成裂缝。施工后期若养护不充分，表面失水加剧，也将促使干缩裂缝加速发展。该类裂缝多呈随机分布状态，宽度较细，常发生于暴露面或收边角部位。由于船闸所处环境湿度变化频繁，长期服役过程中混凝土结构仍处于持续的湿胀干缩交替影响下，裂缝容易反复扩展甚至贯通，对结构耐久性和防渗性能造成不良影响。

3.3 结构荷载与约束导致的裂缝

船闸大体积混凝土结构在服役阶段需承受水压力、地基不均匀沉降和结构自身重量等多重荷载，其刚性边界和外部约束作用会限制混凝土的自由变形，导致局部区域产生过高应力集中。当这些应力超过混凝土抗拉极限时，便会出现结构性裂缝，表现为沿受力路径分布的贯通性裂缝或斜向裂缝。该类型裂缝具有明确的受力指向性，常见于应力集中区如拐角、连接节点及支承部位，对结构的承载能力与安全储备形成直接削弱。在施工阶段若未合理设置施工缝或未考虑约束释放机制，将加剧此类裂缝的形成风险。

4 船闸工程大体积混凝土裂缝的成因分析

4.1 水化热积聚与温差梯度

大体积混凝土在水泥水化反应中会释放大热量，尤其在浇筑厚度大、散热条件差的情况下，内部温度迅速升高形成高温核心区，外围则因散热较快而保持低温状态，由此导致混凝土内外部之间产生明显温差梯度。温差造成各区域的热胀冷缩速率不同，诱发内部拉应力积累，当拉应力超过混凝土早期抗拉强度时，就会产生温度裂缝。由于水化热释放速率与强度增长不同步，早期强度不足以抵抗内应力扰动，使得裂缝极易在初期成型阶段出现并迅速发展，形成无法逆转的结构缺陷。

4.2 外界约束与自收缩反应

大体积混凝土在硬化过程中不仅存在由水化热引起的体积变化，还伴随自身材料特性导致的自收缩现象。当混凝土与底板、模板或临近结构形成刚性连接时，这些外部约束

将限制其自由收缩变形，进而在结构内部产生附加拉应力。在结构边界处或刚性过渡部位，这种应力作用尤为明显，成为裂缝萌生的高风险区域。自收缩反应与外部约束之间的力学不平衡，若未在设计与施工中进行释放控制，极易造成结构性裂缝，降低整体结构密实性与使用寿命，形成潜在安全隐患。

4.3 材料性能波动与养护不当

混凝土原材料的质量波动直接影响其强度增长速率与变形性能，水泥品种、水灰比、骨料粒径及掺合料比例等因素的变化均会引起水化过程的不稳定，导致混凝土体积变化特征产生差异，从而增加裂缝发生的可能性。若施工中未能保持材料质量的一致性，将使局部结构性能失衡，引发非均质收缩应力集中。此外，养护方式不当也是裂缝的重要诱因，尤其在养护初期未能有效保温保湿，导致表面失水过快，与内部湿度梯度扩大，形成收缩裂缝。早期养护措施若执行不力，将加剧混凝土内应力失衡，加速裂缝扩展与贯通。

5 船闸工程大体积混凝土裂缝的施工控制策略

5.1 控温降温技术的应用路径

为降低温度应力裂缝的发生概率，应在混凝土施工过程中系统运用控温降温技术，从材料准备、搅拌运输、现场施工到成型养护全过程中控制温度上升速率和峰值温度。通过采用低水化热水泥、优化掺合料种类和比例，可以从源头上减少水化热总量。配合使用冷却骨料、降温水拌和、夜间施工等工艺，有效延缓内部温度升高速度。在结构内部预埋冷却水管并通水循环，能够持续带走核心区热量，减小内外温差形成。外部采用覆盖保温毯、喷洒保温液等方式调节表层降温速率，避免形成突变梯度。控温措施需要与结构体积、气候条件及施工进度协调匹配，确保降温过程平稳有序，使温差应力始终处于混凝土抗拉极限以内，进而有效控制早期裂缝的产生与扩展。

5.2 合理分段浇筑与留置缝设计

在船闸大体积混凝土施工中，采取合理的分段浇筑工艺与科学布置施工缝与后浇带，是减小结构内部约束、缓解应力集成的有效方式。依据结构构造、受力分布及水化热释放规律，将整体结构划分为若干独立浇筑单元，可以有效控制单次浇筑体积，降低热量聚集风险。每段浇筑完成后设置施工缝，按力流传递方向及收缩趋势布置后浇带，并在适宜时间进行封闭作业，有助于释放因体积变化产生的初期应力，避免缝隙周边混凝土产生裂缝。缝的位置需避开高应力集中区，接缝表面处理要严密，防止形成渗水薄弱带。施工顺序应遵循由静止端向自由端推进的原则，使混凝土在收缩变形过程中获得充分释放空间，从而降低约束力带来的附加拉应力，显著减少结构裂缝发生概率，提升船闸整体施工质量。

5.3 混凝土配比与养护方案优化

优化混凝土配合比是确保大体积混凝土裂缝控制效果

的基础环节,合理调整水泥用量、掺合料比例与水灰比,可以有效调节水化热释放强度和混凝土变形性能。选用低水化热水泥品种并加入粉煤灰、矿渣粉等材料,有助于延缓水化反应速率,降低温度峰值与内应力水平。在骨料选择方面,需控制级配连续性与含泥量,以减少界面微裂纹发展可能性。掺加适量减水剂和膨胀剂,可增强混凝土密实性和抵抗收缩能力。养护方面,应根据施工季节和气候条件制定差异化策略,采取覆盖湿草帘、喷雾保湿、洒水保温等综合养护手段,保持混凝土表面湿润状态,防止早期失水引发干缩裂缝。通过设定足够养护时间,确保混凝土强度与抗裂性能同步提升,在结构早期应力作用下具备有效抵抗能力,从根本上提升整体结构的抗裂水平。

6 船闸工程大体积混凝土裂缝的综合治理措施

6.1 裂缝预控与实时监测方法

在船闸工程施工与运营全过程中实施裂缝预控与实时监测措施,是提升结构抗裂性能的关键保障。通过施工前期建立裂缝风险识别模型,结合结构受力分析、水化热预测与环境温度变化数据,可对潜在裂缝风险区域进行预判,制定有针对性的防控策略。施工阶段布设埋设式传感器、光纤监测系统和自动化温度采集设备,可实现对混凝土温度场、应力场与变形状态的连续监测,及时捕捉应力异常与裂缝萌生迹象。在监测数据基础上,动态调整施工工艺和养护节奏,防止裂缝扩大与贯通。运营期间借助非破损检测技术对结构进行定期评估,掌握裂缝变化趋势,为裂缝后期处理提供数据支持。通过将预控设计、动态监测与响应机制融为一体,构建覆盖施工与服役全过程的综合防裂体系,实现裂缝风险由被动修复向主动干预的转变。

6.2 工程缝与后浇带的抗裂设计

在船闸大体积混凝土结构中,合理设计工程缝与后浇带是缓释内应力、防止裂缝集中的重要手段。工程缝位置应依据结构几何特性与施工顺序确定,使其处于应力变化较缓区域,避免位于受力集中区或温度梯度剧烈部位,以减轻缝边混凝土的应力集中效应。后浇带设计应充分考虑结构收缩变形发展阶段,通过延迟浇筑实现不同施工段的变形协调,减少约束应力积累。缝边混凝土采用高性能材料提升密实性与粘结力,并在缝面处理工艺上采用粗化处理与抗裂砂浆铺设以增强缝连接强度。应配置合理的钢筋锚固与加强构造措

施,保证缝区力流传递连续,防止因应力断裂引发贯通性裂缝。通过缝位布置优化、缝面处理强化及节点构造加固,实现结构变形协调控制与裂缝源头治理的统一,显著提高整体抗裂能力与工程耐久性能。

6.3 成型后裂缝的处理与加固手段

针对船闸大体积混凝土结构在成型后出现的裂缝问题,应依据裂缝宽度、深度、延伸方向及活跃程度采取差异化处理与加固策略。对于表浅非贯通性微裂缝,可采用表面封闭处理方式,选用渗透型环氧树脂或聚合物材料涂布封堵,以防水分渗入与钢筋锈蚀发展。对具备扩展趋势或结构性影响的贯通裂缝,应进行灌浆修复,通过低压注浆方式将高强度胶结材料注入裂缝内部,恢复结构整体性。对于受力区域的宽裂缝或反复开合裂缝,还需结合外部加固措施,如粘贴纤维复合材料、加设预应力筋或钢板,以增强局部承载能力与抵抗裂缝再生。裂缝处理过程中应同步进行结构应力状态分析,确保加固手段与结构力学响应匹配,避免次生裂缝发生。成型后裂缝的有效修复不仅能恢复原有结构功能,还可延长结构服役寿命,提升船闸运行的安全稳定水平。

7 结语

船闸工程大体积混凝土裂缝问题贯穿结构设计、施工实施与运行维护全过程,其成因复杂,表现形式多样,若控制不当将严重影响结构耐久性与工程安全。通过对裂缝类型与成因的系统梳理,结合控温、分段施工、配比优化与后期加固等多维策略,可在施工环节有效遏制裂缝发展。将预控理念与实时监测手段融入全过程管理体系,是提高船闸混凝土结构抗裂性能的关键路径。裂缝治理工作应保持系统性、前瞻性与科学性相结合,构建以风险预判、精准干预与长期稳定为目标的综合控制体系,推动船闸工程质量水平持续提升。

参考文献

- [1] 符业晃,代应刚,李泳龙.船闸工程大体积混凝土裂缝控制施工技术[J].水运工程,2023,(10):99-103+114.
- [2] 何广全.船闸工程大体积混凝土施工裂缝控制关键技术[J].中国水运,2022,22(12):62-64.
- [3] 袁春.船闸工程大体积混凝土裂缝成因及控制[J].珠江水运,2020,(19):99-100.
- [4] 李展鸿.船闸大体积混凝土裂缝控制施工技术研究[J].科技创新,2020,(22):139-140.