

港口工程大体积混凝土温控防裂施工技术研究

张磊

安徽水安建设集团股份有限公司 安徽 合肥 230000

【摘要】：港口工程胸墙、码头承台、船闸及大型基础构件常采用大体积混凝土，其水化热释放、海工环境侵蚀、施工连续性和外部约束共同增加温度裂缝风险。文章围绕港口工程大体积混凝土温控防裂施工，分析裂缝形成机理、施工前准备、浇筑过程控制、养护监测和质量验收要点，提出以配合比优化、分层浇筑、冷却保温、动态监测和闭环复盘为核心的技术路径。

【关键词】：港口工程；大体积混凝土；温控防裂；浇筑施工；养护监测

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.026

引言

港口工程混凝土构件长期处于潮湿、盐雾、干湿交替和荷载循环环境，裂缝不仅影响外观和强度，还会加速氯离子侵入和钢筋锈蚀。大体积混凝土浇筑时内部温升较快，表层散热较快，温差、收缩和基础约束叠加后容易形成贯穿或表面裂缝。温控防裂施工需要贯穿配合比、运输、浇筑、振捣、冷却、保温、养护和检测全过程，不能只在裂缝出现后采取修补措施。

1 港口工程大体积混凝土温控防裂特点

1.1 海工环境、构件尺度与水化热约束

港口工程中的胸墙、承台、墩台和船闸底板通常截面厚、一次浇筑方量大，混凝土内部水化热不易迅速散出。海工环境又要求构件具备较好的抗渗、抗氯离子侵蚀和长期耐久性，材料选择和施工组织不能只追求早期强度。港口工程胸墙大体积混凝土裂缝成因研究指出，构件尺度、浇筑环境和约束条件共同决定裂缝风险^[1]。温控防裂的对象不是单一温度指标，而是内部温升、表面散热、外部约束和耐久性要求组成的综合系统。施工前应结合构件厚度、浇筑季节、模板形式和环境温湿度进行风险分区，避免用普通结构混凝土的施工经验直接套用到港口大体积构件。

1.2 温度梯度、收缩变形与约束裂缝机理

大体积混凝土裂缝多由温度应力、干缩应力和外部约束共同诱发。浇筑初期内部温度快速上升，表层受外界气温、风速和模板散热影响较大，内外温差形成拉应力；降温阶段内部体收缩受到基础、老混凝土或钢筋骨架限制，若拉应力超过早龄期抗拉能力，就可能出现裂缝。张集闸除险加固工程温控防裂应用研究表明，水化热控制、温差控制和养护措施需要配套实施，单独依靠后期覆盖难以消除早期温升风险^[2]。港口工程还存在潮汐、海风和盐雾影响，表面失水速度和温度波动更复杂，施工方案应把温度梯度和收缩约束同时纳入控制。

1.3 原材料、配合比与耐久性要求

温控防裂首先体现在材料和配合比选择。胶凝材料总量、水泥品种、矿物掺合料比例、水胶比、外加剂适配性和骨料级配都会影响水化热峰值、早期弹性模量和收缩性能。港口工程

不宜单纯降低水泥用量而忽略强度和抗渗要求，也不能为追求流动性过度增加浆体比例。水利水电工程大体积混凝土温控防裂技术研究强调，低热胶凝体系、合理掺合料和外加剂协同可减缓温升并改善施工性能^[3]。在实际施工中，应通过试配和温升试验确定配合比，并结合运输距离、泵送条件和振捣方式调整坍落度保持能力，使拌合物既满足连续浇筑，也不因离析泌水削弱表层抗裂能力。

2 施工前温控防裂技术准备

2.1 温控计算、测点布置与预警阈值

施工前应根据构件尺寸、配合比、水泥水化热、环境温度和浇筑方式进行温控计算，初步判断最高温升、内外温差和降温速率。测点布置要覆盖构件中心、表层、边角、施工缝附近和受约束较强区域，不能只在便于安装的位置布点。清远二线船闸工程施工工期温控防裂研究说明，施工期温度监测数据可为保温、冷却和拆模调整提供依据^[4]。预警阈值应与设计文件、专项方案和现场条件相匹配，设置预警、调整和处置三级响应，明确由试验、施工、监理和技术负责人共同确认措施，防止监测数据只被记录而未进入施工决策。

2.2 低热胶凝材料与外加剂优化

低热胶凝材料和外加剂优化应服务于温控、防裂和耐久性三项目标。矿粉、粉煤灰等掺合料可降低早期水化热并改善后期密实性，但掺量过大可能影响早期强度发展和拆模节奏；减水剂能够降低水胶比并改善泵送性能，但需通过相容性试验避免坍落度损失、缓凝异常或泌水离析。铁路工程大体积混凝土温控防裂试验检测研究提示，试验检测不仅要关注强度，还要结合温升、收缩和施工性能进行综合评价^[5]。港口工程配合比优化还应考虑氯盐环境下的抗渗和抗裂协同，确保材料调整不会削弱长期耐久性。

2.3 浇筑分区、分层厚度与施工组织

浇筑组织直接影响温度场和施工缝质量。大体积构件宜根据结构形态、供应能力、泵送路线和振捣半径划分浇筑分区，控制分层厚度和层间间隔，使上下层混凝土在初凝前完成结合。施工前还应核查拌合站产能、运输车辆周转、泵管布置、

备用电源、夜间照明和应急材料，避免中断浇筑导致冷缝和温控失衡。若气温较高，可采取骨料遮阳、拌合用水降温、运输覆盖和避开高温时段等措施；低温或大风条件下，则应加强入模温度控制和表面保温。施工组织方案需要把质量、温控和供应节奏统一起来，不能把温控措施作为浇筑后的附加工作。

3 浇筑过程温度控制措施

3.1 入模温度、运输等待与连续浇筑控制

在混凝土浇筑过程中，应持续监控混凝土从出机到运输再到入模的全程温度，避免因温差过大引发裂缝。运输等待时间过长会导致坍落度下降、温度波动及离析风险，因此现场需根据车辆到场节奏合理安排泵送作业，避免多车集中等待或泵口断料。大体积混凝土施工研究表明，入模温度、浇筑连续性及其养护衔接是控制温度裂缝的关键。港口工程受潮汐、场地狭窄及交叉作业影响更大，必须提前锁定运输路线和卸料顺序^[6]。每层浇筑完成后，应及时复核表面状态、振捣密实度和温度变化，若发现泌水、离析或局部初凝现象，应立即调整，避免覆盖形成隐蔽质量缺陷。

3.2 冷却水管、保温覆盖与内外温差控制

对于厚度较大或温升较高的混凝土构件，应结合专项计算设置冷却水管，通过循环水带走内部热量以控制温度。冷却水管布置需兼顾覆盖范围、间距、固定稳固性及后期压浆封堵，通水时间与流量应根据实测温度动态调整，避免降温过快产生新的温差应力。水利工程温控研究指出，温控措施必须与保温保湿养护配合，否则内部降温与表层散热不协调仍可能诱发裂缝。港口工程受海风影响明显，覆盖材料应防止被风掀起或局部失效，尤其是边角、施工缝及预埋件周边需重点保温，确保内外温差变化平稳，防止早期温度应力集中引发裂缝。

3.3 振捣密实、施工缝处理与表面防护

振捣质量直接影响混凝土密实性及裂缝发展路径。大体积构件应根据分层厚度选择合适振捣棒规格及插点间距，振捣时间以混凝土表面泛浆、不再显著下沉为宜，避免漏振造成蜂窝孔洞，也避免过振引起骨料下沉和浆体上浮。施工缝需按照设计和施工方案留设，接缝面清理、凿毛、湿润及接浆处理应形成连续界面，以防新旧混凝土收缩差异集中。港口构件外露面还需及时进行二次抹压及覆盖防护，减少早期塑性收缩裂缝。表面防护不仅是施工工序，更是控制混凝土失水、温差及盐雾早期侵入的重要措施，对构件耐久性具有直接影响。

4 养护监测与裂缝风险处置

4.1 温度监测、数据判读与动态调控

养护阶段温度监测应连续记录中心温度、表层温度和环境温度，并及时绘制变化曲线。技术人员需要关注最高温升、内外温差、降温速率和不同测点之间的异常偏差，不能只在日报

中填写单个温度值。若中心温度上升过快，应优化通水冷却或延长保温；若表层降温过快，应加强覆盖和挡风；若边角测点异常，应检查模板、覆盖和冷却管是否局部失效。监测数据还应与浇筑时间、材料批次、养护措施和天气变化对应起来，形成可复盘记录^[7]。只有把数据判读转化为现场调控动作，温控监测才真正服务防裂。

4.2 保湿养护、拆模时机与降温速率

保湿养护可以降低表层干缩和温度波动，是港口工程大体积混凝土防裂的重要措施。覆盖材料应保持连续湿润，洒水或喷雾应避免直接造成表面急冷，养护时间和频次需结合环境温度、风速和混凝土强度发展确定。拆模时机不宜只按龄期判断，应综合混凝土强度、表面温度、内部温度和外界气温差异。若拆模后暴露面突然受风吹或温差刺激，早期拉应力会明显增大。降温阶段应强调缓慢、均匀和可监测，必要时延长保温时间或分区拆除覆盖，使构件逐步适应外部环境。

4.3 裂缝巡查、成因复核与修补封固

裂缝处置应建立巡查、记录、判定和修补流程。现场巡查要关注表面裂缝位置、宽度、长度、走向、是否渗水以及是否沿施工缝或约束边界发展，并与温度曲线和浇筑记录进行复核。对非结构性表面裂缝，可根据设计和耐久性要求采取封闭、灌浆或表面防护；对疑似贯穿裂缝或持续发展的裂缝，应开展进一步检测并分析结构安全和耐久性影响。港口工程裂缝修补还需考虑海水侵蚀和后期维护，材料选择应与混凝土基面、潮湿环境和使用条件相适应。修补完成后应复查效果，不能把裂缝处理停留在外观遮盖层面。

成因复核应避免简单把裂缝归结为养护不足。技术人员需要把裂缝出现时间与温度峰值、降温阶段、拆模节点和天气变化对应起来，同时检查配合比执行、入模温度、振捣记录和冷却水管运行情况。若裂缝集中在边角或预埋件周边，应重点分析局部约束和保温薄弱；若裂缝沿施工缝延伸，则应复核层间间隔、界面处理和二次振捣。只有把裂缝位置、形态和施工记录放在同一证据链中判断，后续修补和工艺调整才不会停留在经验处理层面。

5 质量验收与技术管理优化

5.1 强度、抗渗与耐久性检测

质量验收应覆盖强度、外观、尺寸偏差、抗渗、裂缝和耐久性相关指标。大体积混凝土温控防裂并不意味着只要没有明显裂缝就合格，还应通过试件强度、实体回弹或钻芯、抗渗检测和必要的钢筋保护层检查确认结构性能。港口工程对耐久性要求较高，若表面裂缝、蜂窝麻面或施工缝缺陷未被及时处理，后期氯离子侵入会加速钢筋锈蚀。验收资料应包括配合比、材料复检、温控记录、养护记录、裂缝检查和修补记录，使质量结论能够追溯到具体施工环节。

5.2 全过程记录、责任分工与复盘机制

温控防裂管理需要明确试验、施工、监理、技术和材料供应各方责任。试验人员负责配合比、温升和材料状态复核，施工人员负责浇筑节奏、振捣和养护执行，技术人员负责温控方案和异常处置，监理人员负责关键工序见证和资料闭合。全过程记录应避免只保留签字表格，还要记录温度曲线变化、措施调整原因和实际效果。每次大体积浇筑结束后，应组织复盘材料供应、浇筑连续性、测温系统、冷却保温和裂缝巡查情况，把问题转化为下一仓浇筑的参数修正。复盘机制越具体，后续同类构件的裂缝风险越容易提前控制。

责任分工还要落实到异常处置时限。测温数据接近预警值时，现场应明确由谁确认数据、谁下达保温或通水调整、谁复核措施效果；材料供应波动时，应明确是否暂停浇筑、是否调整外加剂和是否重新检测坍落度。监理和建设单位不宜只在验收阶段介入，而应在配合比审批、首仓浇筑、测温系统安装和拆模前进行过程确认。资料闭合的重点不是增加表格数量，而是让每一次技术判断都能对应人员、时间、依据和结果。

5.3 港口工程后期运维反馈与工艺改进

港口工程大体积混凝土温控防裂还应延伸到后期运维反

馈。构件服役后受潮汐、船舶荷载、盐雾和温湿循环影响，早期微裂缝可能在长期环境中继续发展。运维单位应把裂缝巡检、渗水观察、防腐维护和结构监测结果反馈给施工和设计团队，用于校正配合比选择、保温措施和裂缝修补工艺。对于同一港区连续建设的码头、护岸或船闸工程，前期构件的服役表现能够为后续施工提供重要依据。若后期巡检发现同类部位反复出现渗水或裂缝扩展，应倒查施工期温控曲线和养护记录，判断是环境作用、构造约束还是工艺执行偏差造成。温控防裂技术只有形成“设计计算—施工控制—监测验收—运维反馈”的闭环，才能持续提升港口混凝土结构耐久性。

6 结语

港口工程大体积混凝土温控防裂施工应围绕水化热、内外温差、收缩约束和海工耐久性形成全过程控制。施工前要完成温控计算、配合比试验和浇筑组织准备，施工中要控制入模温度、分层连续浇筑、冷却保温和振捣密实，养护阶段要依靠监测数据动态调整措施。后续还需把裂缝巡查、质量验收和运维反馈纳入闭环管理，使防裂技术从单次施工措施转化为可持续发展的工程管理体系。

参考文献：

- [1] 姚绍松.港口工程建设中的胸墙大体积混凝土裂缝成因及防裂技术[J].珠江水运,2020,(21):102-103.
- [2] 张良.张集闸除险加固工程大体积混凝土温控防裂应用研究[J].山西建筑,2026,52(08):165-168+182.
- [3] 吴菲菲.水利水电工程大体积混凝土温控防裂技术研究[J].工程技术研究,2025,10(23):79-81.
- [4] 黎锦钊.清远二线船闸工程大体积混凝土施工期温控防裂研究[J].水利科技与经济,2022,28(03):126-129+133.
- [5] 李富亮.铁路工程大体积混凝土温控防裂试验检测技术研究[J].实验室检测,2025,3(24):87-89.
- [6] 张财会.建筑工程大体积混凝土温控防裂施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(12):45-46.
- [7] 姜峰.水利工程大体积混凝土温控防裂技术[J].黑龙江水利科技,2021,49(03):191-193.