

# 大体积混凝土施工中的温度裂缝控制技术与监测方法

李 栋 李贵海 李永雷

山东碧海建筑规划设计有限公司 山东莒县 276500

**摘 要:** 大体积混凝土施工中, 温度裂缝控制的核心是降低水化热、优化材料配比、加强温度监测和养护。温度裂缝控制是大体积混凝土施工中的关键课题, 需综合应用被动与主动控制技术, 结合实时监测与动态调整。通过材料优化、工艺改进和智能监测, 可有效降低裂缝风险, 提升工程质量和耐久性。未来, 随着传感器技术和数值模拟的进步, 温度裂缝控制将更加精准高效, 为大型基础设施建设提供更可靠的保障。

**关键词:** 大体积混凝土; 温度裂缝; 控制措施

在工程项目中, 混凝土开裂是我国建筑施工中的一个普遍问题, 会对建筑物的结构安全造成不利影响。在大体积混凝土结构中, 裂缝一旦形成, 特别是基础贯穿裂缝, 会降低结构的耐久性, 削弱构件承载力, 对结构安全运行产生极其严重的影响。因此, 在大体积混凝土施工中, 采取措施减少裂缝是确保施工质量的关键。

## 一、温度裂缝控制技术

### (一) 材料优化

在大体积混凝土施工中, 温度裂缝控制的关键在于材料优化, 核心是降低水化热、提升抗裂性。具体技术措施如下: 水泥选择与用量控制, 选用低热水泥: 如矿渣硅酸盐水泥, 其水化热比普通硅酸盐水泥低30%以上, 从源头减少温升。控制水泥用量: 每立方米混凝土水泥用量控制在280-350kg以内, 每减少10kg水泥, 水化热温升可降低约1℃。掺合料应用, 粉煤灰/矿粉替代: 掺加30%以上粉煤灰或矿粉替代水泥, 可降低水化热20%-30%, 同时提高混凝土密实度。乳化沥青掺入: 作为新型外加剂, 乳化沥青能提高混凝土极限拉伸变形能力, 降低孔隙率, 减少水化热。骨料与配合比优化, 骨料级配与含泥量: 选用连续级配碎石, 含泥量控制在1%以下, 减少空隙率, 降低收缩应力。配合比设计: 采用“一掺一高三低”原则(掺矿物粉、高效减水剂, 低坍落度、低砂率、低水胶比), 优化抗裂性。外加剂使用, 缓凝减水剂: 延缓水化速度, 降低早期温升速率, 减少温度应力。双掺技术: 粉煤灰与矿粉复掺, 可协同降低水化热, 提升混凝土耐久性<sup>[1]</sup>。其他材料措施, 大粒径粗骨料: 减少水泥用量, 降低水化热温升。智能温控材料: 如白鹤滩大坝采用的数字温度计与智能阀门, 实时监测并调

节混凝土温度。通过上述材料优化措施, 可有效控制大体积混凝土温度裂缝, 保障工程质量。

### (二) 施工工艺

大体积混凝土施工中, 温度裂缝控制的核心是通过材料、工艺和监测的综合措施, 将内外温差控制在25℃以内。材料选择与配合比优化, 水泥: 优先选用低热水泥(如矿渣水泥、粉煤灰水泥), 减少水化热。掺合料: 掺入20%以上优质粉煤灰, 利用后期强度降低水泥用量。外加剂: 使用缓凝减水剂, 减少水化热并延长凝结时间。配合比: 在保证强度前提下, 降低水胶比, 减少水泥用量。施工工艺控制, 原材料温度控制: 利用低温时段施工, 控制水泥、粉煤灰、集料温度。采用地下水、制冷水或片冰拌和混凝土。混凝土搅拌与运输: 搅拌时间 $\geq 90$ 秒, 加片冰或纤维时适当延长。运输中避免温度回升, 必要时覆盖保温。浇筑与振捣: 分层浇筑, 厚度 $\leq 3.0$ m, 强约束区 $\leq 1.5$ m。避开高温天气, 设置遮阳、喷雾降温。内部降温措施: 埋设冷却水管, 通水冷却(流速 $\geq 0.6$ m/s, 水温差 $\leq 25$ ℃)。通水时间根据降温速率确定, 定期改变水流方向。保温保湿养护: 浇筑后立即覆盖塑料薄膜、草袋, 洒水保湿。延长拆模时间, 避免表面急剧冷却。温度监测与调整, 设置测温点: 实时监控内部、表层温度, 异常时调整冷却系统或浇筑进度。智能温控: 采用智能装置调控通水流量和水温。温差控制: 确保内外温差 $\leq 25$ ℃, 降温速率 $\leq 10$ ℃/d。施工缝与后浇带处理, 施工缝: 凿毛、清除浮浆, 浇筑前润湿无积水。后浇带: 采用微膨胀混凝土, 蓄水养护 $\geq 14$ 天。其他措施, 分层分块浇筑: 合理设置施工缝, 留后浇带加快散热。隔离层设置: 在基层铺设SPS卷材或沥

青玛瑞脂,消除约束应力。温度配筋:增设暗梁,提高早期抗拉强度。通过以上措施,可有效控制温度裂缝,确保结构安全。具体操作需结合工程实际,严格遵循相关规范。

### (三) 养护管理

大体积混凝土施工中,温度裂缝控制的核心在于通过科学养护管理,减少内外温差、延缓降温速率。具体措施包括:保温保湿养护,覆盖保湿:浇筑后及时用湿润草帘、麻片等覆盖,并定期洒水,保持表面湿润,防止干缩裂缝。保温措施:寒冷季节需加强保温,如覆盖保温材料,避免寒潮导致温度骤变。延长养护时间:适当延长养护周期,确保混凝土缓慢冷却,减少温度应力。温度监测与调控,实时监测:通过温度传感器或红外测温仪,实时监测混凝土内部与表层温度,确保温差控制在 $30^{\circ}\text{C}$ 以内。动态调整:根据监测数据,及时调整冷却或保温措施,如通入冷水、调节浇筑进度等。材料与配合比优化,选用低热水泥:减少水泥用量,降低水化热,从而减小内外温差。控制水灰比:优化配合比,减少用水量,提高混凝土密实性,减少收缩裂缝。掺加混合材料:如粉煤灰,可降低绝热温升,提高抗裂性能。施工工艺控制,分层分块浇筑:合理分缝分块,减小结构尺寸,降低温度应力。设置冷却管道:在混凝土内部通入冷水或冷气,降低内部温度。预留收缩缝:通过预留缝释放温度应力,减少裂缝产生。环境与时间管理,避免高温浇筑:高温季节搭设遮阳板,降低入模温度。利用低温季节:尽量在低温季节浇筑基础部分混凝土,减少温度应力。通过以上综合措施,可有效控制大体积混凝土的温度裂缝,确保工程质量。

## 二、温度监测方法

### (一) 温度控制程序

温度监测方法,监测点布置原则,代表性区域选择:以混凝土浇筑块体平面图对称轴的半条轴线为测温区,在测温区内呈平面布置监测点。关键位置布置:上、下表面:距混凝土表面 $50\sim 200\text{mm}$ 处(代表表层温度),中部位置:反映核心温度,中心区域:温度最高点,易散热角部:温度变化敏感区,主要风向区域:受环境影响显著区,特殊部位:对强约束区(如基础)需加密监测点。监测设备与技术,测温工具:温度传感器:埋入混凝土内部(如JDC-2型测温仪,测温范围 $-30^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ ),测温线:由插头、导线和温度传感器组成,分上、中、下三处埋设,安装要求:浇筑前预

埋,确保与混凝土良好接触,避免损坏传感器,保证数据准确性,表层传感器需防潮处理。监测频率与内容,监测项目:混凝土升、降温情况,内外温差(最高温度与表层温度差),降温速率,环境温度,频率要求:浇筑后前3天:每2小时测量一次,3天后:每4小时测量一次,特殊天气(如寒潮):加密监测,数据记录:包括时间、各测点温度、环境温度、温差值等。温度控制程序,控制标准,温差控制:表层与内部温差: $\leq 25^{\circ}\text{C}$ (表面 $40\sim 100\text{mm}$ 深处与表面温差),相邻测点温差: $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ,降温速率: $\leq 0.5^{\circ}\text{C}/\text{d}$ (经验丰富时可适当放宽),温度峰值控制:混凝土入模温度 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ,最大升温值 $\leq 50^{\circ}\text{C}$ 。分阶段控制程序,第一阶段:计算阶段,进行混凝土温度和温度应力计算,确定升温区间内的温度应力值及符号(受拉/受压),制定温控方案,包括材料选择、配合比设计、温控措施等。第二阶段:试验阶段,设计混凝土配合比,通过试验确定混凝土强度-累积温度曲线,验证温控措施的可行性,优化施工方案。第三阶段:测温阶段,实施温度监测,建立时间-温度关系记录,根据强度-累积温度曲线和时间-温度关系,判断混凝土实际强度,当实际强度小于温度应力计算值时,及时调整养护温度和延续时间。第四阶段:养护阶段,保湿养护:保持混凝土表面湿润,防止水分蒸发过快导致收缩裂缝,保温养护:通过覆盖保温材料(如草帘、塑料薄膜)减少内外温差,养护时间:根据温度应力控制,一般不少于14天,后浇带养护时间应更长<sup>[2]</sup>。应急控制措施,温差超标:增加保温层厚度或覆盖物,减少热量散失,降温过快:减缓降温速率,如采用循环水冷却系统时调整水温,寒潮侵袭:加强保温措施,防止表面急冷,突遇雨雪:立即覆盖未硬化混凝土,按施工缝处理已浇筑部分。裂缝控制综合措施,材料与配合比优化,选择低水化热水泥,减少水泥用量,控制骨料含泥量,优化级配,掺加粉煤灰等掺合料,降低绝热温升。施工工艺控制,分层浇筑:分层厚度 $\leq 3.0\text{m}$ ,强约束区 $\leq 1.5\text{m}$ ,间隔期 $\leq 7$ 天,跳仓法施工:减少约束应力,控制裂缝产生,控制浇筑温度:夏季搭设遮阳棚,冬季加热原材料。温度控制设施,内部降温:埋设冷却水管,通水循环降温,表面保温:覆盖保温材料,减少热量散失,环境控制:监测环境温度,及时调整养护措施。实施要点,预埋监测系统:在混凝土浇筑前安装好测温元件,确保数据连续性,实时数据反馈:建立监测数据与温控措施的联动机制,及时调整养护方案,多专业协同:

施工、监测、养护团队密切配合，确保温控措施有效实施，记录完整：详细记录温度控制全过程，为质量追溯提供依据，通过上述系统化的温度监测与控制程序，可有效预防大体积混凝土施工中的温度裂缝，确保结构安全性和耐久性。

## （二）强度-累积温度曲线

在大体积混凝土施工中，裂缝控制的核心在于精准监测温度变化，而强度-累积温度曲线正是关键工具之一。它通过关联混凝土强度增长与温度累积值，帮助判断实际强度是否足以抵抗温度应力，从而及时调整养护措施。强度-累积温度曲线的应用，计算阶段：通过计算混凝土温度应力，确定结构在升温或降温区间的应力值及方向（受拉或受压）。试验阶段：根据原材料和施工条件设计配合比，通过试验得出强度-累积温度曲线，作为判断实际强度的依据。测温阶段：在结构不同深度预埋温度传感器，记录时间-温度关系，结合强度-累积温度曲线判断实际强度。若实际强度小于温度应力计算值，需调整养护温度与时间。温度监测方法，测温仪器：常用JDC-2型便携式建筑测温仪，测温范围-30℃~130℃，误差≤0.5℃（与测温探头配合）。测区布置：以浇筑块体平面图对称轴的半条轴线为测温区，温度测点呈平面布置。混凝土外表温度以表面以内50~200mm处为准，底表面温度以底表面以上50~200mm处为准。观测频率：从下料开始，全面记录各温度监控点数据，包括入模温度、大气温度等。温度控制标准，混凝土入模温度应≤30℃，最大温升值≤50℃。养护阶段，表面40~100mm深处与表面温差≤25℃。拆模后，同一深度处温度与环境温差≤25℃。相邻测温点温差≤25℃，降温速率宜≤0℃/d。防裂措施，材料选择：采用低水化热水泥或矿物掺合料（如粉煤灰、矿渣），降低水化热。施工方法：分层浇筑、分阶段施工，减少高温形成速度。养护管理：覆盖养护、定时喷水，保证水泥水化所需水分。温度监测点布置，在构件上、下表面150mm处及中部各布置一个温度传感器。测温点平面布置包括中心位置、与中心对应的侧面和易散热角、主要风向区域。

## （三）温度监测

大体积混凝土施工中，温度监测是控制裂缝的关键，核心目标是控制内外温差（≤25℃）和降温速率（≤0℃/d），避免因温度应力导致裂缝。监测点布置，平面布置：以浇筑块体对称轴线的半条轴线为测温区，测点呈平面分布，基础平面半条轴线上不少于4处。深度布置：沿厚度方向每点位不少于5个测点，分别监测不同深度温度。表面与底面：外表温度测点位于表面以内50mm，底面温度测点位于底表面以上50mm。监测仪器，传感器：常用PN结温度传感器，测温范围-50℃~150℃，误差±0.5℃。检测仪：如PN-4C型数字多路巡回检测控制仪，可连续监测。便携设备：JDC-2型便携式建筑测温仪，灵活配置测温点，误差≤0.5℃。监测要求，频率：浇筑后立即开始，连续监测至温度稳定。数据记录：记录时间-温度关系，结合强度-累积温度曲线判断实际强度。异常处理：若实际强度小于温度应力计算值，需调整养护温度和时间。其他控制措施，配合比优化：减少水泥用量，降低绝热温升。保温养护：覆盖保温层，减小内外温差。原材料控制：严格检测砂石含泥量，保证混凝土质量。通过科学布点、精准监测和综合控制，能有效减少裂缝风险，确保工程质量。

总之，大体积混凝土在现代建筑工程中应用广泛，其施工质量直接关系到结构的安全性和耐久性。由于混凝土水化热效应显著，在硬化过程中易产生温度裂缝，这不仅影响结构外观，还可能削弱其承载能力和防水性能。因此，综合应用温度裂缝控制技术与监测方法，成为保障工程质量的关键环节。

## 参考文献

- [1] 张嘉. 大体积混凝土施工技术的温度控制及裂缝预防措施研究[J]. 石油化工建设, 2024, 46(12): 157-159. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9323.2024.12.054.
- [2] 刘凯, 刘虎, 向姚尧, 等. 大体积混凝土底板温度裂缝控制技术研究[J]. 混凝土世界. 2023, (3). DOI: 10.3969/j.issn.1674-7011.2023.03.011.