

建筑工程筏板大体积混凝土温度裂缝控制

周超

(德州城投资产运营有限公司, 山东 德州 253000)

【摘要】针对建筑工程中筏板大体积混凝土易产生温度裂缝的问题, 本文从温度裂缝形成机理入手, 系统分析了材料选择与配合比设计、施工工艺控制、结构设计优化等方面的裂缝控制措施。在此基础上, 进一步探索了管冷技术、混凝土温度场智能监控、基于AI的温度裂缝风险预测等创新性控制技术在筏板工程中的应用。通过工程案例分析, 验证了所提出控制措施与技术的有效性。研究成果可为筏板混凝土工程设计施工提供重要参考, 对提升裂缝控制水平、保障结构安全与耐久性具有重要意义。

【关键词】筏板; 大体积混凝土; 温度裂缝; 裂缝控制; 管冷技术

引言:

随着现代建筑工程规模和复杂程度的不断提高, 筏板基础因其承载力高、整体性好等优点得到越来越广泛的应用。然而, 筏板属于大体积混凝土结构, 极易产生温度裂缝, 影响结构安全性与耐久性。2022年, 住房和城乡建设部发布了新修订的《混凝土结构设计规范》(GB50010-2022), 其中对混凝土结构裂缝控制提出了更加严格的要求。新规范的实施对筏板等大体积混凝土结构的温度裂缝控制提出了新的挑战。在此背景下, 亟需开展进一步的研究, 探索更加行之有效的温度裂缝控制措施和技术。

一、筏板大体积混凝土温度裂缝形成机理分析

(一) 水化热导致的温升机理

水泥水化是一个放热的化学反应过程, 水化放热速率和累积放热量的大小直接影响混凝土内部温度场的变化。大体积混凝土内部温度通常比表面高 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$, 最高可达 70°C 以上。如此高的内部温度, 加之混凝土的低导热性, 必然导致结构内外温差显著。大体积混凝土中心温度在浇筑后迅速上升, 通常在 $1\sim 3$ 天达到峰值, 随后缓慢降温。而表面温度受环境影响较大, 通过对流、辐射等方式散热, 降温速度远高于内部, 进一步加剧了内外温差。基于傅里叶导热定律, 混凝土内部形成显著的非线性温度梯度, 这是温度应力形成和温度裂缝发生的根本原因。

(二) 混凝土内外温差与温度应力

混凝土内外温差是引发温度应力的直接原因。大体积混凝土内部温度远高于表面, 形成显著的温度梯度。这种温差效应使得内部混凝土膨胀变形大

于表面, 但因内外部的一体性约束, 两者变形必须协调一致。在此约束作用下, 高温膨胀的内部混凝土受到压应力, 低温收缩的表层混凝土则承受拉应力。温度应力的的大小取决于混凝土弹性模量、线膨胀系数以及内外温差。弹模和线膨胀系数越大, 温差越显著, 产生的温度应力也就越高。由于混凝土抗拉强度远低于抗压强度, 表面的拉应力最容易引发温度裂缝。当拉应力超过混凝土抗拉强度时, 表面就会产生温度裂缝。裂缝萌生后, 应力集中效应又会促使裂缝快速扩展。考虑到筏板混凝土体积大, 厚度较大, 内外温差和温度应力都很显著, 极易导致严重的温度裂缝问题。

(三) 约束条件与温度裂缝形成机制

除内外温差引起的自约束应力外, 外部约束条件也会显著影响温度应力的发展和裂缝的形成。筏板混凝土通常采用分层分块浇筑, 已浇筑的混凝土逐渐冷却收缩, 对后浇筑的高温膨胀混凝土产生明显的约束作用, 新旧混凝土的连接面常成为温度裂缝的薄弱区域。同时, 筏板结构往往与桩基、地下墙等构件连接, 这些构件对筏板的变形也会产生较大约束, 尤其是在结构转换区, 应力集中效应更加明显, 极易诱发温度裂缝。当基础与地基刚度差异较大时, 地基对筏板变形的不均匀约束作用也会引起附加温度应力。一些地质条件复杂、地基刚度变化大的场地, 温度裂缝风险尤其高。此外, 配筋率、钢筋直径等也会影响约束程度和温度应力分布。

(四) 影响温度裂缝的其他因素

除上述因素外, 混凝土自身的物理力学性质、环境条件等也会对温度裂缝产生重要影响。

混凝土的导热系数越低，热量越不易散失，内外温差越大，越容易产生温度裂缝。而混凝土的比热容越大，温升速率越慢，热量聚集效应越弱，裂缝风险就越低。大体积混凝土内部常呈现准绝热状态，而表面受环境温度、风速、湿度等影响较大，散热状况更为复杂。环境因素引起的散热速率差异会加剧混凝土内外温差，进而影响温度应力分布。特别是在大风、低温等恶劣环境下施工，表面散热速度快，温度骤降，极易诱发温度裂缝。同时，混凝土抗拉强度、断裂韧性、早期自身收缩等力学性能参数也是影响温度裂缝形成的重要因素。抗拉强度和断裂韧性越高，抵抗温度裂缝的能力就越强。而自身收缩变形会叠加在温降收缩之上，加剧拉应力水平。

二、筏板大体积混凝土温度裂缝控制措施

（一）材料选择与配合比设计

筏板大体积混凝土温度裂缝控制的首要环节是优选原材料，优化配合比。在水泥选择上，应优先采用中低热水泥，并通过多种水泥组合掺用，如粉煤灰水泥掺普通硅酸盐水泥，以降低水化热，延缓热量释放。粉煤灰、矿渣粉等活性掺合料可有效取代部分水泥用量，降低水泥含量，减少水化热峰值，延长升温过程。同时，掺合料还能改善混凝土和易性，提高抗裂性能。缓凝型、引气型等功能性外加剂的合理使用，可延缓水泥水化进程，促进混凝土内部气泡形成，改善混凝土塑性，提高抗温度裂缝能力。优化级配设计也至关重要，采用连续级配，控制最大骨料粒径，既能保证骨料堆积密实度，又能减少用水量和水泥用量，从而降低温升幅度。综合考虑材料与配合比因素，通过多方面调控，可从源头上控制混凝土内部温升，降低温度裂缝风险。

（二）施工工艺控制

合理的施工工艺控制是筏板混凝土温度裂缝防治的关键环节。采用分层分块浇筑，严格控制每层浇筑厚度和间歇时间，可有效降低峰值温度，减缓混凝土内外温差。在施工过程中，应严格控制入模混凝土温度，如采用冷水拌和，在运输和入模前采取遮阳降温措施，确保入模温度不超过规范限值。浇筑完成后，及时采取保温养护措施，如铺设保温毡，搭设保温棚等，延缓表面散热速率，减小内外温差，同时避免表面温度骤降引起热应力集中。利用在线温度传感器实时监测混凝土内部和表面温度变化，结合成熟度模型分

析，动态评估温度裂缝风险，指导施工过程优化控制。通过温度反馈调整入模温度、分层厚度、间歇时间等参数，实现温度裂缝的精细化主动控制，避免盲目施工导致的质量隐患。同时，加强养护过程温度管理，根据监测数据适时调整养护措施，确保温差控制在安全范围内。

（三）结构设计优化

在筏板结构设计中合理布置温度缝和施工缝，是控制温度应力、防止裂缝的有效措施。通过设缝将大体积筏板划分为若干独立的浇筑块体，显著降低整体约束程度，释放温度应力。温度缝和施工缝的间距应根据混凝土内部温度场和温度应力分布进行优化，既要满足温度裂缝控制要求，又要兼顾结构安全性和施工便利性。钢筋配筋也是影响温度应力分布的重要因素。采用优化设计方法，在满足承载力和裂缝宽度限值要求的前提下，适当降低配筋率，优选小直径钢筋，可减小约束，降低温度应力。在温度应力较大区域，可采用微型钢纤维补强，提高混凝土韧性和抗裂性能。对于超长超厚筏板，采用后张预应力设计，利用预应力作用提供压应力，平衡温度拉应力，能显著提高抗裂能力。综合运用结构设计措施，可充分释放或平衡温度应力，从而降低裂缝开裂风险。

（四）创新性温度裂缝控制技术探讨

近年来，多项创新性温控技术被引入筏板大体积混凝土领域。管冷技术通过在混凝土内预埋冷却水管，利用循环冷却水带走水化热，有效降低混凝土内部峰值温度。但管冷效果受到冷却水管布置方式的显著影响。采用数值模拟等方法优化冷却水管间距、排布形式，并结合实时温度监测数据反馈控制冷却水温度、流速等参数，可最大限度发挥冷管作用。基于大数据分析的混凝土温度场智能监控技术也是一项前沿探索。通过物联网技术和分布式温度传感器实现海量温度数据自动采集上传，再利用大数据分析建立混凝土温度场智能预测模型，对温度场变化趋势进行超前预报，为主动控制温度裂缝提供依据。进一步，可引入机器学习算法，通过训练海量工程监测数据，建立混凝土温度裂缝风险评估的人工智能预测模型，对于给定配合比、外界环境、养护条件等，模型可快速预判温裂风险等级，指导制定精准的控制方案。这些创新成果的工程应用将推动传统温控技术向智能化、精细化方向升级，不断提升筏板混凝土温度裂缝控制的智能化水平。

三、工程案例分

(一) 项目概况

以某核电站厂房筏板基础混凝土工程为例,该筏板长度60m,宽度40m,厚度3.5m,混凝土方量达8400m³,属超大体积混凝土工程。筏板采用C40等级混凝土,掺加25%粉煤灰,最大水泥用量320kg/m³。施工单位针对该筏板超厚、体积大、温控要求高的特点,在材料选择、配合比优化、分仓浇筑、入模温度控制、智能温控养护等方面采取了一系列温度裂缝控制措施。同时,在混凝土内部和表面布设了光纤分布式测温系统,实现温度场的实时动态监测,为温控效果评价和施工过程优化提供了数据支撑。

(二) 温度裂缝控制措施实施要点

筏板混凝土采用低热硅酸盐水泥掺加Ⅱ级粉煤灰配制,有效降低水化热峰值和总热量。通过优化级配,控制砂率,降低最大骨料粒径,减少了水泥和用水量。采用冰水拌合,确保入模温度低于28℃。筏板采用分两个浇筑仓,三层浇筑的方案,严格控制每层浇筑厚度和间歇时间。在筏板内预埋两层冷却水管,通过循环冷却水带走水化热,降低内部峰值温度。混凝土入模后,及时采取洒水降温、铺设保温毡等措施,控制表面温度骤降幅度。整个施工过程全程监测混凝土内部和表面温度变化,指导温控措施动态优化。

(三) 混凝土温度监测数据分析

利用布设在筏板内部不同深度和表面的光纤测温系统,连续监测混凝土浇筑后28d的温度变化。监测数据显示,在采取各项控制措施后,混凝土内部最高温度为65.3℃,出现在浇筑后36h,低于75℃的控制目标。内部温度与表面最大温差为38.2℃,满足规范要求。从温度变化曲线看,内部温升速率平缓,无明显的温度骤升,温度峰值出现时间明显延后,温度下降过程也较为缓慢,内外温差始终控制在40℃以内。整个测温周期内,各测点的温度变化趋势基本一致,温差均匀分布,未出现局部温度骤变等异常现象。

(四) 温度控制效果评价

通过对比分析不同测点的温度监测数据,可以看出,在严格落实温控措施的情况下,筏板混凝土内部峰值温度和内外温差均得到了有效控制,满足设计和规范要求。水化热导致的温度应力和温度梯度显著降低,有利于降低温度裂缝开裂风险。对筏板表面和内部进行的细致观察和无损检测表明,混凝土内部无

可见裂缝,表面质量良好,温度裂缝控制效果符合预期。同时,通过对比传统方案和采用新技术方案的温度监测结果,可以发现,在材料选择、配合比优化等方面的创新措施有效降低了混凝土内部峰值温度,而冷却水管内置、实时温控养护等新技术的运用对控制内外温差、缓和温度梯度起到了关键作用。

(五) 经验教训总结

本工程采取的温度裂缝控制措施卓有成效,但实践中也暴露出一些问题。如部分冷却水管出现堵塞,局部管段冷却效果差,导致该区域温度偏高。这提示在后续工程中,要进一步优化冷却水管设计,改进连接工艺,确保冷却系统畅通。同时,温度监测布点不够密集,个别区域测温数据缺失,影响了温度场分析的精度和全面性。针对这一问题,需要合理增加测点数量,优化布置方案,必要时采用无线传感器,扩大监测范围。此外,温控效果评价还主要依赖于经验判断,缺乏定量分析。因此,亟须建立完善的混凝土温度裂缝控制效果评价指标体系,开发智能化评价系统,实现温控效果的精准量化评估,为工程质量验收提供依据。

结束语:

筏板大体积混凝土温度裂缝控制是一项系统工程,需要从材料、设计、施工、检测等多方面协同发力。本研究提出了一系列行之有效的控制措施,并探索了管冷、智能监测、AI预测等新技术在温度裂缝控制中的应用,为工程实践提供了新思路。但这些措施和技术还需在更多工程中应用验证和优化完善。未来,应持续深化温度裂缝机理研究,研发智能化控制技术,提升筏板混凝土温度裂缝控制水平,以保障混凝土结构耐久安全,推动建筑工程高质量发展。

参考文献:

- [1]马世强.建筑工程筏板大体积混凝土温度裂缝控制[J].石材,2024,(05):150-152.
- [2]李帅.建筑工程中筏板基础大体积混凝土温度裂缝计算及施工技术[J].科技创新与应用,2024,14(05):156-159.
- [3]高晨洲.建筑工程大体积混凝土温度裂缝控制研究[J].工程技术研究,2023,8(18):162-164.
- [4]郇延振.建筑工程大体积混凝土温度裂缝控制研究[J].房地产世界,2021,(10):140-142.
- [5]刘腾.建筑工程大体积混凝土温度裂缝控制研究[J].工程技术研究,2021,6(04):159-160.