

大坝工程中碾压混凝土入仓温度控制实践探讨

春 阳

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710075

【摘要】：大坝工程中碾压混凝土的温度控制是确保工程质量和结构稳定的关键因素。在碾压混凝土施工过程中，温度的控制直接影响混凝土的硬化过程及其最终强度。本文探讨了大坝工程中碾压混凝土入仓温度的控制实践，分析了施工过程中常见的温度波动原因，提出了通过合理的施工技术、材料选择及现场管理来控制温度变化的方法。通过优化施工流程，采用高效的冷却技术及实时监测，能够有效地降低因温度变化造成的裂缝风险，从而提高大坝的质量与安全性。实践证明，温度控制不仅能够提升混凝土的密实性，还能延长大坝的使用寿命，对提升大坝工程的整体可靠性具有重要意义。

【关键词】：碾压混凝土；温度控制；大坝工程；施工技术；裂缝控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.043

引言

在大坝工程的施工中，碾压混凝土作为一种重要的施工材料，广泛应用于大坝的各类结构中。由于碾压混凝土施工时，温度控制问题可能对其质量产生显著影响，进而影响大坝的稳定性与安全性。随着大坝规模的不断扩大，碾压混凝土的施工质量成为项目成功的关键因素之一。尤其是在大规模、高压、高湿的环境下，混凝土内部温度的变化可能引起强度差异、裂缝产生等问题，从而影响工程的长期使用寿命。因此，如何有效控制碾压混凝土入仓过程中的温度，成为当前大坝工程中的一个亟待解决的技术难题。通过对这一问题的深入分析和实践探讨，可以为今后的大坝建设提供技术支持和经验借鉴。

1 碾压混凝土施工过程中的温度控制问题分析

混凝土温度变化影响水化反应和硬化过程，可能导致裂缝产生，严重时影响结构稳定性。大坝这类大型工程里，碾压混凝土受施工方法和工程规模影响，温度问题格外突出。碾压混凝土温度控制问题源于混凝土水化热释放。水泥水化过程释放大量热量，温度过高会加剧内部水化反应速度，影响混凝土强度和稳定性。高温环境下水化热难以及时释放，造成温度差异过大，易引发温度裂缝。温度波动过大让混凝土各部分硬化过程中膨胀或收缩，引发内部应力，影响大坝结构完整性。

温度控制不当的另一个原因是碾压混凝土施工节奏。大坝施工中混凝土铺设面积广、数量庞大，混凝土入仓速度和时间控制十分重要。混凝土在一定温度条件下经摊铺和碾压形成层层叠加结构，某一层温度过高会对上层或下层混凝土水化过程造成影响，增加整体温度控制难度^[1]。混凝土材料选择是温度控制关键因素。不同类型水泥或添加剂会影响混凝土水化热释放速率，带来不同温控效果。高热水泥部分情况下能提高混凝土强度，但其释放热量过高，会给温度控制带来压力。低热水泥和适当外加剂能有效减少水化热，却可能影响混凝土硬化时间和最终强度。

混凝土施工环境温度和湿度是影响温度控制的重要因素。

夏季高温天气里，外界气候条件直接影响混凝土温度变化速度。这类环境下，采取合理冷却措施十分关键。施工过程中温度变化的实时监控和调节，能有效避免温度过高引发的施工质量问题。碾压混凝土施工过程中的温度控制问题是技术难题，涉及材料、施工方法和环境条件等多个因素。复杂多变环境下控制好混凝土温度，是保障大坝工程质量与安全的核心环节。

2 控制碾压混凝土入仓温度的关键技术

采取系列技术措施对温度进行精确调节，是确保混凝土强度、密实度以及抗裂性能的基础。合理温控不仅能降低水化热裂缝风险，还可提升大坝稳定性与耐久年限。在碾压混凝土施工中，入仓温度控制的核心手段之一是优化配合比以降低水化热释放速率。高热水泥的使用虽然可以提高混凝土的初期强度，但其水化热的释放较快，容易在短时间内引发较大温升，增加裂缝发生的风险。为了控制水化热，可以选用低热水泥或添加低热材料，以减缓热量的释放。结合不同气候条件，合理选用合适的水泥品种与外加剂，能够有效控制温度上升的幅度。

在施工过程中，冷却系统的应用也是重要的温度控制手段。对混凝土入仓时的温度进行及时降温，可以显著避免温差过大引发的内部应力。常见的冷却方式包括混凝土中加入冰水、冷却管道内循环冷却水，或者在混凝土拌和时直接使用低温原料。冷却管道通过将冷却水引入混凝土内部，可以实现持续的温度控制。特别是在高温环境下，冷却管道的合理布置能够有效防止温度的剧烈波动，保持温度在可控范围内^[2]。温度监测系统的实时应用为温控技术提供了数据支持。通过安装温度传感器，能够在施工过程中实时监测混凝土的温度变化，并根据温度变化调整施工节奏和冷却措施。这一技术可以帮助施工人员精准判断混凝土的温度情况，及时采取相应的降温措施，避免温度异常导致的质量问题。

合理控制施工工序与层次作用关键，控制混凝土铺设厚度与每层碾压时间，能减缓水化热积累速率，使混凝土入仓后温度变化更平稳。大规模施工可分阶段分层推进，每层混凝土铺

设碾压完成后实施适配温控操作，规避大面积同步施工导致的热量过度积聚。提升温控效果需重视施工现场环境管理，控制施工过程中环境温度、湿度及风速等因素，减少外部气候对混凝土温度的影响^[3]。设置遮阳网削弱阳光直射防止温度骤升，或通过喷水降温增加环境湿度缓解温差问题。多种温控手段综合运用，可显著提升混凝土施工温控效果。

3 温度控制的成功经验

在肯尼亚某大坝项目中，碾压混凝土的温度控制结合“一带一路”民生工程需求与非洲高温气候特点，形成了一套可复制的精细化温控体系，为保障工程质量提供了坚实支撑。该项目是肯尼亚政府“2030愿景”旗舰工程，建成后将为蒙巴萨市及夸勒县提供18.60万立方米/天生活用水，并灌溉周边2000公顷土地，施工区域常年平均气温26℃，旱季（6-8月、1-2月）白天最高气温可达35℃，夜间约20℃，主坝碾压混凝土入仓温度要求严格控制在26℃以内，温控挑战极为突出。如图1所示。



图1 肯尼亚某大坝平面布置图

项目碾压混凝土总量约60万方，全部由3#拌合站（两台4方拌合系统，理论产能240m³/h）拌制，拌合站距施工现场运距0.5-1.5km，由8台10.5方铰接式卡车负责运输。为从源头控制入仓温度，3#拌合站配置了完善的制冷系统：两台雪人牌片冰机、1台雪人牌冷水机及1座120m³冷水蓄水池，拌和用水提前冷却至低温，同时在拌和过程中加入片冰，直接降低混凝土出机口温度，抵消运输过程中的温升。

现场仓面设备配置与温控节奏高度匹配：配备1台找平推土机、3台14t压路机、1台装载机及1台两头忙，通过设备高效协同实现“快拌、快运、快铺、快压”，缩短混凝土从出机到入仓碾压的时间间隔，减少热量积聚。施工优先安排在夜间或清晨低温时段进行，避开旱季白天高温时段；同时优化运输线路，进一步降低运输过程温度回升。

通过拌合站制冷系统+低温时段施工+高效施工节奏的组合措施，项目成功将碾压混凝土入仓温度稳定控制在26℃以内，有效避免了高温环境下水化热过度释放引发的温度裂缝风险。与传统温控方案相比，该体系在非洲高温干旱气候下，实

现60万方碾压混凝土连续施工无有害裂缝，既保障了大坝结构安全，又为后续类似非洲高温地区水利工程提供了可借鉴的温控实践。项目建立了完善的温度监测体系，在拌合站、运输车辆及仓面布置温度传感器，实时采集混凝土出机温度、运输过程温度及入仓温度数据，结合每日气温变化动态调整片冰添加量与施工时段。同时，通过精细化调度（8台铰接式卡车循环运输）保障混凝土供应连续性，避免因等待导致的温度回升，为温控效果提供了可靠的数据与管理支撑。

4 碾压混凝土入仓温度控制综合优化对策

为进一步提升高温地区大坝工程碾压混凝土入仓温度控制效果，可在现有技术体系基础上实施系统化、全过程、精细化的综合优化措施，实现温控质量稳步提升。结合肯尼亚某大坝项目高温施工实践，针对入仓温控各环节，从原材料管控、施工过程、环境适配、管理保障四个维度，制定可落地、可复制的综合优化对策，既规避与前文技术原理、案例数据的重复，又强化实操性与系统性，为高温地区大坝碾压混凝土入仓温控提供全面支撑。

在原材料与拌和环节，以“源头控温、精准适配”为核心，持续优化配合比，构建适配高温环境的碾压混凝土配合比体系。优先选用低热矿渣硅酸盐水泥，搭配优质粉煤灰、矿粉等掺合料，控制合理掺量，在减少水泥用量、降低水化热总量及释放速率的同时，保障混凝土强度、密实度与抗裂性能，避免控温与结构安全失衡。严格把控原材料进场温度，砂石骨料堆放于遮阳棚，避免阳光直射升温，必要时洒水降温。拌和环节中，稳定运行拌合站制冷系统，定期检修维护相关设备，确保协同高效，将拌和用水控制在低温状态，并根据环境温度动态调整片冰掺量，确保出机温度满足温控要求^[4]。同时优化拌和工艺、适当延长拌和时间，保证混凝土拌和均匀，规避局部水化热集中，进一步提升该环节温控效果。

在运输与仓面作业环节，核心是“缩短暴露、高效作业”，最大限度减少混凝土在运输及仓面作业过程中的温度回升。运输环节，结合项目拌合站与施工现场距离特点，优化运输路径，规划最短路线并避开阳光直射、路面高温路段，缩短混凝土从出机到入仓的时间。对运输车辆进行保温改造，车厢内壁铺设保温层、顶部加盖遮阳篷，减少外界高温影响，同时避免频繁启停，降低搅拌摩擦带来的额外温升。仓面作业环节，合理调度各类施工设备，实现连续均衡施工，避免供料间断或等待碾压导致温度回升。严格执行薄层铺筑、快速碾压工艺，控制合理铺筑厚度与碾压次数，确保混凝土快速密实、减少热量积聚；碾压后及时覆盖保温被，减缓表面散热，避免内外温差过大引发裂缝。同时合理划分仓面区域，采用分区流水作业，避免大面积同时作业导致热量集中，进一步提升仓面温控效果。

在环境适配与动态管控环节，坚持“因地制宜、动态调整”，结合高温地区气候特征，实现入仓温控的精准适配与闭环管理

[5]。结合项目高温气候特点,错峰安排施工时段,将主要浇筑作业安排在夜间至清晨低温时段,避开日间高温阶段,此时段环境温度较低,可有效减少混凝土温度回升。现场采用全方位温控辅助措施,在仓面上方搭设遮阳网架,覆盖遮阳布,削弱阳光直射对仓面混凝土的影响;在仓面周边布设喷雾装置,定时喷洒水雾,降低仓面环境温度,增加空气湿度,减缓混凝土表面水分蒸发和温度上升速度。依托全过程温度监测系统,在拌合站出机口、运输车辆、仓面不同部位布设温度传感器,实时采集混凝土出机温度、运输过程温度、入仓温度及环境温度数据,定时记录并建立温度监测台账。安排专人负责温度数据分析,当发现混凝土入仓温度接近控制阈值或温度回升速度过快时,及时调整片冰添加量、运输节奏或施工时段,形成“监测—分析—调控”的闭环管理,确保入仓温度始终控制在规定范围内。

在现场管理与保障层面,坚持以标准化作业、全方位管控为核心,不断健全碾压混凝土入仓温度控制管理体系。结合工程现场实际条件,细化完善温控专项施工方案,清晰界定各工序温控标准、作业流程与岗位职责,推动各项温控措施精准落地、闭环执行。建立设备专项运维机制,组建专业运维小组,对拌和、制冷、运输及仓面施工设备开展常态化检修保养,及

时排查隐患故障,保障制冷降温、连续供料等关键环节稳定运行。强化全员技术培训与分级交底,重点讲解温控操作要点、温度监测规范及异常情况处置流程,提升作业人员温控意识与实操能力。构建温控效果考核激励机制,将入仓温度控制成效纳入绩效评价,通过奖惩结合激发全员管控积极性。主动对接气象部门获取精准气象预报,提前研判高温、大风等极端天气影响,制定专项应急处置预案,确保特殊工况下温控工作有序开展,为大坝结构安全与长期耐久性筑牢管理保障。

5 结语

温度控制是大坝工程质量与结构安全的核心保障,直接关系到碾压混凝土强度、抗裂性能及工程耐久性。通过深入分析碾压混凝土施工中的温控难点,优化配合比、冷却系统、施工工序等关键技术,结合高温地区工程实践形成精细化温控体系,可有效控制入仓温度、规避裂缝风险。原材料管控、施工过程优化、环境适配调控与现场管理保障的协同发力,能全面提升温控效果,为大坝长期稳定运行奠定坚实基础。未来,随着温控技术的持续迭代与智能化升级,将推动碾压混凝土温控工艺更加高效精准,为各类复杂环境下大坝工程高质量建设提供更强支撑。

参考文献:

- [1] 庞巨成.TB 水电站大坝碾压混凝土智能温控施工与管理[J].水泥,2025,(09):134-136.
- [2] 杨进,喻峰,孙振阳,等.碾压式导电混凝土越冬期温控特性分析[J/OL].水利水电技术(中英文),1-5[2025-12-16].
- [3] 杨方.碾压混凝土重力坝浇注温度控制及防裂措施[J].江西建材,2024,(09):356-358.
- [4] 郭磊,陈守开.碾压混凝土坝温度控制及快速施工防裂方法研究[M].中国水利水电出版社:201908:157.
- [5] 马品君.桂林市防洪及漓江补水工程建设中的关键因素及应对措施[J].广西水利水电,2019,(01):16-19.