

电力工程大体积混凝土温控防裂施工技术实践与管控

崔达理

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300180

摘 要: 电力工程大体积混凝土施工面临水化热积聚引发的温度裂缝风险, 温控防裂技术构成质量管控的核心内容。从原材料性能选型与配合比优化设计入手, 结合施工前期热力学参数测算及配套设施筹备, 形成基础技术支撑。在施工实践层面, 拌和温控、分层分块浇筑、内部通水冷却及表层保温保湿养护等措施协同运作, 配合自动化温度监测系统的布设与数据异常识别机制, 构建起覆盖施工全过程的动态管控体系。

关键词: 大体积混凝土; 温度控制; 防裂技术; 施工管控; 温度监测

引言: 电力工程中的大体积混凝土结构如筏板基础、换流站阀厅基础及大型设备基座等, 一次浇筑方量大、结构截面厚, 水泥水化热引起的内部温度升高幅度显著。内外温差与约束条件下的温度应力极易导致表面裂缝或贯穿性裂缝的出现, 直接威胁结构安全与长期耐久性。电力工程对基础结构的整体性与抗渗性要求极为严格, 裂缝的存在不仅降低使用寿命, 还可能影响内部预埋件及设备的正常运行精度。为此, 需要从原材料、配合比、施工工艺、温度监测与管控体系等多维度入手, 建立一套适用于电力工程特点的温控防裂技术方案, 以保障大体积混凝土结构的施工质量。

1 大体积混凝土温控防裂基础技术

1.1 原材料性能优化选型

大体积混凝土温控防裂效能的首个关键环节在于原材料性能的精细化甄选。水泥品种应优先选用水化热较低的中热硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥, 从源头削减热量积聚。粗骨料需控制粒径级配与含泥量, 采用连续级配且粒径较大的粗骨料能够有效降低浆体用量, 进而减少干缩变形。细骨料宜选用级配良好的中粗河砂, 细度模数控制在 2.6 至 2.9 区间内。粉煤灰与矿渣粉等矿物掺合料的复合掺加技术已较为成熟, 通过等量取代部分水泥, 不仅能够降低单方水泥用量, 还能改善混凝土的后期体积稳定性。外加剂层面, 高效减水剂与缓凝剂的协同使用可延长凝结时间, 延缓水化热释放峰值的出现时刻。

1.2 混凝土配合比优化设计

配合比设计需遵循低胶凝材料用量与适宜水胶比的核心原则。在满足设计强度等级与耐久性指标的前提下, 应尽可能降低每立方米混凝土的胶凝材料总量, 将

水泥用量控制在合理范围之内。水胶比的选取需兼顾工作性能与强度发展要求, 过大则降低强度与抗渗性能, 过小则增加粘性给施工振捣带来困难。通过绝热温升试验测定不同配合比方案下的温升曲线, 筛选出温升速率平缓且总温升较低的优化配比^[1]。砂率的选择应与骨料级配相匹配, 确保混凝土拌合物具备良好的流动性及保水性, 避免离析与泌水现象。配合比正式确定前应开展足尺模型温度场模拟试验, 验证所选配合比在实际边界条件下的温控表现。

1.3 施工前期温控参数测算

施工前期需对现场环境条件与混凝土热力学参数进行全面测算。环境气温、风速、相对湿度及太阳辐射强度等气象参数应连续采集不少于 7d 的数据, 作为温控计算的边界条件。混凝土绝热温升值、导热系数、比热容及线膨胀系数等热物理参数需通过专用试验设备测定, 为后续温度应力分析提供基础数据。浇筑入仓温度的预估应综合考虑原材料初始温度、拌和过程中的机械热以及运输途中的温度回升。冷却水管布置方案中所需的通水流量、水温及通水时长等参数需根据混凝土厚度与内部温度预估峰值计算得出。分层浇筑间隔时间需根据下层混凝土的温度发展状态确定, 以控制层间温差引起的约束应力。

1.4 施工设备与温控配套设施筹备

施工设备选型与温控配套设施的准备需在前述参数测算基础上完成。拌和站应配备制冷机组或冰机设备, 满足夏季施工时骨料冷却与拌和用冰水的供应需求。运输车辆宜加装防晒隔热篷布, 减少运输途中阳光直射造成的温度回升。冷却水管、水泵及流量调节阀门等内部通水降温设施应按设计方案提前采购并检验密封性

能^[2]。表层养护材料如保温被、草袋、塑料薄膜及节水保湿养护膜等需按施工面积核算用量并提前进场。温度监测系统所需的热电偶传感器、数据采集仪及通讯线路等硬件设备应完成标定与试运行,确保正式监测工作启动后数据输出的连续性与可靠性。

2 电力工程大体积混凝土温控施工技术应用

2.1 混凝土拌和温控技术

拌和环节的温度控制是降低混凝土入仓温度的首要关口。粗骨料在炎热季节需采取遮阳防晒或喷洒冷水预冷措施,细骨料堆场宜设置遮阳棚并控制堆高以利于内部散热。拌和用水采用冰屑或低温水替代常温水,每降低拌和水温度 1℃ 约可使出机温度下降 0.2℃ 至 0.3℃。拌和时间应适当延长以确保冰屑完全融化且各组分分布均匀,避免因拌和不匀导致局部水胶比偏差。出机温度需每班检测不少于 2 次,实测值与理论计算值的偏差超过 1.5℃ 时应及时调整制冷功率或原材料温度控制参数。

2.2 分层分块浇筑温控施工技术

分层分块浇筑是将大体积混凝土化整为零、降低内部温升高度的有效施工组织方式。水平分层厚度宜控制在 1.5m 至 3.0m 范围内,层厚过小则层面处理工作量增大且易产生冷缝,层厚过大则内部热量难以散发。垂直分块尺寸需根据结构形状与约束条件确定,分块间设置后浇带或施工缝以释放早期温度应力。下层混凝土浇筑完成后需待其强度达到设计强度的 25% 至 30% 且温度降至合适范围后再进行上层浇筑,确保层间结合质量且避免下层内部温度过高时受到上层新浇混凝土的约束。层面处理包括清除浮浆、凿毛及铺设接缝砂浆等工序,每道工序均需在温度回升较低的时段完成。

2.3 浇筑后内部降温技术

混凝土浇筑振捣密实后,内部热量需要通过预设的冷却水管系统加速排出。冷却水管一般采用壁厚 2mm 至 3mm 的焊接钢管或高密度聚乙烯管,水平间距与垂直间距按 1.0m 至 1.5m 布置。通水冷却应在混凝土初凝后立即启动,初期通水流量宜控制在 1.5m³/h 至 2.0m³/h,通水水温与混凝土内部温度的差值不宜超过 20℃ 以避免管壁周围产生过大温差应力。通水方向每 12h 调换 1 次以提升冷却均匀性,通水持续时间依据内部温度测点反馈数据确定,一般持续至混凝土内部温度峰值过后且降温速率不大于 2℃/d 时停止。停水后应对冷却水管进行压浆封堵,压浆材料宜选用微膨胀水泥浆液以确保管腔充填密实。

2.4 表层保温保湿养护技术

表层养护的目标是控制混凝土内外温差及防止表面

水分过快散失。保温层厚度需根据混凝土表面温度与大气温度的差值计算确定,常用保温材料如聚苯乙烯泡沫板或保温被的铺设层数按热工计算结果执行。保湿养护采用覆盖湿草袋或铺设节水保湿养护膜的方式,使混凝土表面始终保持湿润状态^[3]。养护期间表层温度与内部温度的差值应控制在 20℃ 以内,表层温度与环境温度的差值也不宜超过 15℃。保湿养护持续时间对于采用普通硅酸盐水泥的混凝土不应少于 14d,对于掺加粉煤灰的混凝土宜延长至 21d 以上。养护过程中应避免频繁掀开覆盖层检查,防止外界冷空气直接冲击混凝土表面造成温度骤降。

3 大体积混凝土温度监测技术应用

3.1 自动化温度监测系统布设

自动化温度监测系统由前端传感器、数据采集终端、传输网络及中心处理平台四部分组成。前端传感器选用精度不低于 0.5℃ 的铂电阻温度计或数字式温度芯片,埋设前需进行防水密封处理并逐支编号校准。数据采集终端宜布置在浇筑仓面附近的安全位置,每个终端可连接不少于 32 支传感器,采样频率设置为每 10min 采集 1 次以满足温控实时性要求。传输网络采用有线与无线相结合的方式,移动通讯信号良好的区域可采用 4G 无线传输以降低布线难度,信号屏蔽较严重的部位则敷设专用通讯电缆。中心处理平台需具备数据自动存储、曲线实时显示及超限报警等功能,报警阈值按温控指标设定并可分级推送至相关管理与作业人员。

3.2 监测数据实时采集与整理

数据采集工作启动后应保证系统全天候不间断运行,采集软件需具备断点续传功能以防止通讯中断造成数据缺失。原始温度数据以时间序列形式存储于平台数据库,每 12h 自动生成一次温度统计报表,涵盖各测点的最高温度、最低温度、平均温度及升温速率与降温速率等特征量。整理环节需剔除明显异常或跳变的野值数据,剔除依据为相邻测点温度差值与历史数据变化趋势的综合判断,单次剔除量不应超过总测点数的 2%。经过清洗后的有效数据按监测断面和测点编号分类归档,形成完整的温度发展过程记录,为后续温控效果评价与方案调整提供数据支撑。

3.3 温度异常波动识别与预判

温度异常波动的早期识别与趋势预判是温控防裂工作的事前管理手段。基于历史监测数据建立各测点温度的正常变化包络线,设定包络线上下边界作为报警触发条件。实际监测数据超出包络线边界时系统自动发出预警信号,预警级别根据超出幅度分为关注、警告与处置

三级。降温速率超过 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 或内外温差超过 22°C 且持续时间超过 4h 时即进入处置级预警,需立即启动应急响应措施如调整通水流量或增加表层保温层厚度。对于升温阶段的温度异常,主要关注温度峰值出现时间是否早于设计预期以及峰值温度是否逼近温控上限,据此预判后续降温阶段可能面临的风险等级并提前准备应对物资与方案。

4 电力工程大体积混凝土温控防裂施工管控体系

4.1 施工全过程温控管控流程搭建

温控防裂管控体系需要贯穿混凝土施工的全过程。管控流程的搭建应以浇筑仓为基本管理单元,每个浇筑仓从原材料进场检验开始,经历配合比复核、拌和生产、运输、入仓浇筑、振捣密实、内部通水冷却、表层养护直至最终验收,各环节均需设置明确的温控参数控制节点与责任人。管控流程采用闭环管理模式,每个节点执行完毕后需将实测数据与目标值进行比对,偏差在允许范围内的可进入下一环节,偏差超限的则需经技术负责人确认调整方案后继续推进。流程中各环节的衔接应紧密顺畅,前一节点的输出参数直接作为后一节点的输入条件,避免信息传递过程中出现断层或延误。

4.2 各施工工序质量管控要点

各施工工序均有其特定的温控质量管控内容。原材料进场阶段管控要点包括水泥温度不超过 60°C 、骨料含水率波动控制在 0.5% 以内、外加剂称量误差不大于 1%。拌和生产阶段管控要点为出机温度实测值与目标值偏差不超过 1°C 、拌和均匀性通过砂浆裹覆骨料程度判定。运输阶段管控要点为运输时间记录精确到分钟、罐体转速监控数据完整可查。浇筑振捣阶段管控要点为入仓温度每车检测、振捣棒插入深度与振捣时间按作业指导书执行。通水冷却阶段管控要点为进出口水温与流量每小时记录 1 次、通水方向切换操作需双人复核。养护阶段管控要点为覆盖层搭接宽度不少于 20cm、保湿材料含水率每日检测。每个要点均需配备相应的检测工具与记录表格,确保管控工作有据可查。

4.3 施工人员专项管控与技术交底

施工人员的专业能力与责任意识直接影响温控措施的落地效果。项目进场后应组织全员温控专项培训,培训内容包括大体积混凝土温度裂缝的成因机理、温控参数的物理含义与允许范围、温度监测设备的正确使用方法、异常情况下的应急处理流程等核心知识点。技术交

底需分岗位差异化开展,拌和站操作人员侧重原材料温度控制与出机温度调整方法,浇筑作业人员侧重入仓温度检测与振捣质量控制,通水作业人员侧重流量调节与水温控制技巧,监测作业人员侧重传感器埋设位置精度与数据采集规范性。交底工作完成后应进行实操考核,考核合格者方可上岗作业,不合格者需接受补充培训直至达标。

4.4 施工过程动态管控与调整机制

温控防裂施工过程中的不确定性因素较多,建立动态管控与调整机制十分必要。每日开工前由技术负责人组织当日温控条件研判会,依据天气预报信息与最新监测数据评估当日施工的温控风险等级,风险等级分为低风险、中风险与高风险三级。低风险条件下按既定方案正常施工,中风险条件下需加密监测频率并准备备用保温或降温物资,高风险条件下应调整施工计划如推迟浇筑时间至环境温度适宜窗口或启动仓面遮阳喷雾等辅助降温措施。每周召开一次温控效果分析会,对照本周实测温度数据与预期温度曲线的吻合程度,分析偏差产生的原因并据此调整后续施工的配合比参数或通水冷却方案。调整方案需以书面形式下达至各作业班组,确保现场操作与最新管控要求保持一致。

结束语

大体积混凝土温控防裂贯穿从原材料进场到养护完成的整个施工周期,每项技术措施都有其适用的条件与限度。材料层面的优化选型降低了热量产生的源头强度,配合比调整在满足强度要求的同时延缓了温升速率,施工过程中的分层分块、通水冷却与表层养护分别从散热路径与温差控制角度发挥作用,自动化监测系统则为各项措施的动态调整提供了数据依据。技术措施的落实最终依赖于施工组织层面的管控体系,将各环节纳入闭环管理流程,使温控目标通过具体操作得以实现。通过材料、工艺、监测与管理多维度措施的协同运作,大体积混凝土的温控防裂目标能够获得可靠保障。

参考文献

- [1] 曾星鹏. 特高压变电站电力工程施工的大体积混凝土温控防裂技术 [J]. 模型世界, 2025(26): 226-228.
- [2] 朱帅. 变电站大体积混凝土施工质量控制措施 [J]. 散装水泥, 2026(3): 92-94.
- [3] 马卫静, 彭元凤, 彭丽丹. 超长体积混凝土结构标准化施工体系构建 [J]. 建筑, 2026(4): 99-101.