

电厂锅炉基础大体积混凝土施工技术要点与裂缝防控

刘永奎

国能神皖池州发电有限责任公司，安徽 池州 247000

DOI:10.61369/EPTSM.2026010034

摘 要： 电厂锅炉基础（一次浇筑量 $\geq 1000\text{m}^3$ ，断面最小直径 $\geq 1\text{m}$ ）施工质量直接关乎电厂安全运营，其面临过热（最高 80°C ）、复杂约束应力（约束系数 $0.6\sim 0.8$ ）及环境干扰等问题。本文以 GB50496-2018《大体积混凝土施工规范》为依据，围绕“材料—结构—环境”协同防裂系统，借助 ABAQUS 有限元分析，研究热—力耦合下裂纹扩展规律与全过程精细调控，旨在将类似结构裂纹扩展速率降至 $0.2\text{mm}/100\text{m}^2$ 以内，为同类工程安全运行提供技术支撑。

关 键 词： 电厂锅炉基础；大体积混凝土；裂缝防控；热—力耦合；协同防裂

Key Points of Mass Concrete Construction Technology for Power Plant Boiler Foundations and Crack Prevention and Control

Liu Yongkui

Guoneng Shenwan Chizhou Power Generation Co., Ltd., Chizhou, Anhui 247000

Abstract： The construction quality of power plant boiler foundations (with primary casting volume $\geq 1000\text{m}^3$ and minimum cross-sectional diameter $\geq 1\text{m}$) is critical to plant safety. These structures face challenges including overheating (up to 80°C), complex constraint stresses (coefficient $0.6\sim 0.8$), and environmental disturbances. Based on GB50496-2018 "Code for Construction of Large Volume Concrete," this study investigates the "material-structure-environment" integrated crack prevention system. Utilizing ABAQUS finite element analysis, it examines crack propagation patterns under thermal-thermal coupling and implements precise process control. The research aims to reduce crack propagation rates in similar structures to below $0.2\text{mm}/100\text{m}^2$, providing technical support for safe operation of comparable projects.

Keywords： power plant boiler foundation; large-volume concrete; crack prevention and control; thermal-mechanical coupling; collaborative crack prevention

引言

电厂锅炉基础需承受 300-800t 静态荷载、150-300℃高温辐射、0.1-0.3g 振动加速度，且一次性浇筑量达 2000-5000 m^3 ，存在三大关键问题：①水泥水化热导致内外温差超 25℃规范限值，易产生 0.2-0.5mm 宽温度裂缝；②7 天抗张强度 $\leq 2.5\text{MPa}$ ，早龄期基础及预埋件易出现贯穿裂纹；③大气温度日变 $\pm 5^\circ\text{C}$ 、风速 ≥ 5 级时，地表水体弥散流失速度超 $0.5\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，加剧裂缝风险。本文从系统协同、热力耦合防控和三维全流程调控三方面展开研究。

一、材料—结构—环境协同防裂技术体系

（一）材料性能优化与抗裂设计

材料优化以“低水化热、高拉伸、高稳定性”为核心，核心材料及性能指标如下表所示：

表1：核心材料关键性能指标

材料类型	标准依据	核心指标（ $\geq$ ）
42.5 级低热水泥	GB29458-2012	7d 水化热 250kJ/kg，28d 抗压 42.5MPa

I 级粉煤灰	GB/T1596-2017	需水量比 95%，烧失量 5%
S95 矿渣粉	GB/T18046-2017	比表面积 400 m^2/kg ，28d 活性指数 95%
缓凝减水剂	GB8076-2020	减水率 25%，初凝 12h，28d 抗压比 120%
聚丙烯纤维	GB/T21120-2018	长度 6mm，抗拉 350MPa，弹性模量 3.5GPa

通过正交试验确定 3 种最优混凝土配合比，适配不同工程需求：

作者简介：刘永奎（1996.10-），男，汉族，安徽亳州人，学历：本科；职称：助理工程师；研究方向：土木工程施工技术。

表2：混凝土配合比（kg/m³）								
水胶比	水泥	粉煤灰	矿渣粉	中砂	碎石	水	减水剂	聚丙烯纤维
0.40	240	90	60	780	1050	156	6.9	0.9
0.38	250	85	65	770	1060	152	7.0	0.9
0.42	230	95	55	790	1040	160	6.8	0.9

通过试验发现，其具有良好的力学性能，该配比混凝土28天抗压强度达38~42MPa，满足C35设计要求；7d抗拉强度2.2~2.5MPa，14d自由收缩小于1.5×10⁻²，抗裂能力达L-Ⅱ，有效减少裂纹产生。

（二）结构应力控制关键技术

采用跳仓浇筑、分层浇筑（每方浇筑高度500–800mm）、设置后浇带（每隔20～30米，7天跳仓一次）等措施缓解初期应力。通过100–150mm级配砂石垫层（压实度≥0.96）+2mm沥青隔离层，将约束系数降至0.3–0.4；用C40细石混凝土填充预埋件，搭配5mm厚丁腈橡胶（邵氏硬度50–60HA）降低拉拔力。借助ABAQUS构建三维有限元模型，辨识应力集中区域并优化配筋：

表3：应力集中区控制参数					
区域	模拟应力（MPa）	钢筋规格	间距（mm）	抗拉提升率	位移≤（mm）
底板转角	1.8–2.2	Φ14双向	150×150	25%～28%	3
短柱根部	2.0–2.4	Φ16双向	150×150	28%~30%	2
预埋件周边	1.6–1.9	Φ12环形	200	22%~25%	1.5

（三）环境适应性施工策略

电厂锅炉地基多在室外进行，高温高湿环境下容易产生裂缝，需要针对不同环境进行差别化防治。

表4：环境施工控制参数			
环境条件	控制措施	核心参数	检测频率
温度>30℃	预冷骨料+冰水拌合	骨料≤25℃，出机≤30℃，入模≤35℃	1h/次
温度<5℃	预热骨料+加水+保温	骨料≥5℃，入模≥10℃，养护≥5℃	2h/次
湿度<60%/风力≥5级	保湿+防风障	含水率≥90%，防风障≥3m	1h/次

在环境温度高于30℃的情况下，采用集料遮阳预冷、冰水拌和等措施，使原料温度低于35℃，以避免过快的水泥水化热；在5℃以下，对骨料进行蒸汽预热，对拌和水进行加热，并使用电热毯、棉被等进行保温，以避免混凝土受冻；在湿度低、有风的情况下，要立即用湿润的材料进行遮盖，并用防风障遮挡，以降低表面的水分蒸发，避免干燥开裂。设置监测频率，保证对周围环境的影响进行实时监测，并做出相应的调整。

二、热–力耦合作用下裂缝精准防控

（一）水泥水化热演化与温度场控制

采用“棋盘式”嵌入PT100型铂电阻（精度±0.1℃），通过无线数据采集终端实时监测温度（1–7d 1–10min 取样，

15–28d 8h/次）。实施“内部降温+表面保温”双控：内部布设Φ50mm镀锌钢管，通入15–20℃循环冷却水（流量1.5～2.0m³/h）；表面覆盖智能温控养护毯（功率50W/m²，控温精度±1℃）。

表5：温度场控制参数					
阶段	内部最高温（℃）	温差（℃）	降温速率（℃/d）	冷却水参数	养护毯功率（W/m²）
升温期（1～7d）	≤70	≤20	–	15–20℃，1.5~2.0m³/h	0–50
降温期（8～14d）	≤60	≤20	≤2	18–22℃，1.0~1.5m³/h	10–30
稳定期（15～28d）	≤40	≤15	≤3	停止	0–20

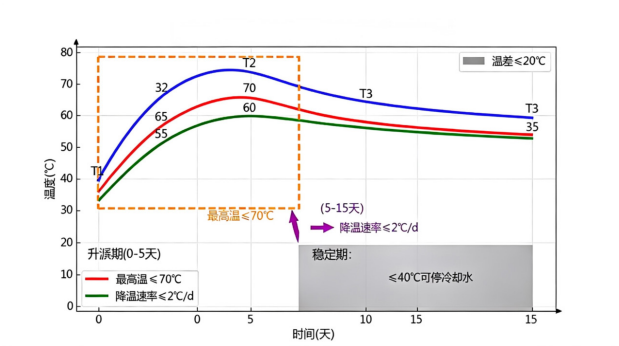


图1：电厂锅炉基础混凝土水化热温度–时间变化曲线

从上图温度曲线可见，中部温度峰值最高（65–70℃），出现在浇筑后3～5d，底部温度受地基散热影响略低，表面温度最低，三者温差均控制在20℃以内，符合温控要求，验证了温控措施的有效性。

（二）约束应力发展与临界开裂准则

约束应力随龄期动态变化，1～7d塑性阶段应力缓增（0.1–0.15MPa/d）；8～14d弹性阶段应力达峰值（1.8–2.2MPa），为开裂高风险期；15～28d徐变阶段应力渐降。建立临界开裂准则：温度应力与约束应力叠加值≥0.8倍同期抗拉强度（7d≥2.0MPa）时，需采取应急措施；温差超限则加大冷却水流量（2.5～3.0m³/h）或提高养护温度；约束过强则局部切断临时约束钢筋，每30min监测应变。

（三）新型防裂材料与工艺创新

新型材料与工艺是提升抗裂效果的重要手段，下表梳理了三类新型防裂材料的掺量、核心效果与成本增加情况，可根据工程抗裂需求与成本预算选择。

表7：新型防裂材料参数			
材料类型	掺量（%）	核心效果	成本增加（%）
钙矾石膨胀剂	6–8	膨胀率0.02%～0.04%，抗裂+50%	8–10
石墨烯纳米片	0.03–0.05	导热×5–8，温度梯度–40%～50%	15–20
改性聚丙烯纤维	0.1–0.15	抗折+25%～30%，韧性+40%～50%	12–15

钙矾石膨胀剂可有效控制混凝土收缩,节省造价8%~10%,可满足常规抗裂要求;本文采用具有良好热导率的石墨烯作为研究对象,该材料能够有效降低内部温度梯度,能够适用于较厚的基底材料,且具有较高的热释放系数。聚丙烯纤维具有特殊的三维网状结构,能有效提高混凝土的强韧化程度,并能有效地抑制混凝土中的微裂缝,是一种性价比很高的复合材料。

三、全流程技术参数精细化控制

(一) 配合比设计与热工计算

配合比设计需以“满足强度需求、控制水化热、提升抗裂性”为核心,在确定基础配合比后,需通过热工计算预判混凝土内部温度变化,提前调整参数以规避温度裂缝风险。热工计算严格依据《大体积混凝土施工规范》(GB50496-2018)推荐公式:

$$T_{max} = T_j + \frac{W \cdot Q}{c \cdot \rho} \cdot \xi$$

其中, T_{max} 为混凝土内部最高温度(℃), T_j 为入模温度(15~35℃), W 为胶凝材料总量(380~420kg/m³), Q 为水化热总量(kJ/kg, 加权计算), $c = 0.97 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{C})$, $\rho = 2400 \text{ kg}/\text{m}^3$, ξ 为放热系数(1~3d取0.8, 3~7d取0.7, 7d后取0.6)。

若 $T_{max} > 70^\circ\text{C}$ 或温差 $> 25^\circ\text{C}$, 则调整配合比: ①增掺粉煤灰/矿渣粉(分别 $\leq 30\%/25\%$); ②降胶凝量($\geq 380 \text{ kg}/\text{m}^3$); ③掺石墨烯改性材料。

(二) 浇筑工艺与振捣控制

小体积($\leq 500 \text{ m}^3$)采用全面分层浇筑(层厚500~800mm, 层间 $\leq 6 \text{ h}$); 大体积($> 500 \text{ m}^3$)采用斜面分层浇筑(坡度1:3~1:5, 层厚600~800mm, 供量 $\geq 200 \text{ m}^3/\text{h}$)。振捣遵循“梅花布点、垂直插入、快插慢拔”原则, 主振捣用ZN-50棒(间距 $\leq 500 \text{ mm}$, 时间20~30s), 辅助振捣用ZN-30棒(距预埋件 $\geq 100 \text{ mm}$, 时间15~20s)。

(三) 温控与养护技术集成

浇筑完成后12h内(夏季6h内)覆盖塑料薄膜+2层土工布, 冬季加铺阻燃棉被。养护期间保持土工布含水率 $\geq 90\%$, 每天洒水3~6次, 按表5要求动态温控。

四、结语

电厂锅炉基础大体积混凝土开裂防治的核心是“材料-结构-环境”协同与热-力耦合调控。本文提出的协同防裂系统、热力耦合防治及全流程控制方法, 经实践验证开裂率低于0.2mm/100m², 强度达标率100%, 可推广应用于核电、大型储罐等同类工程, 对推动建筑节能与智能化发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 孙盼龙. 建筑工程中筏板基础大体积混凝土温度计算与裂缝防控技术分析[J/OL]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(12).
- [2] 姚衡. 房建工程筏板基础大体积混凝土施工技术研究[J]. 门窗, 2024, (09): 79-81.
- [3] 庞鑫星. 电厂土建施工中大体积混凝土施工技术分析[J/OL]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(6).
- [4] 葛亮. 火电厂大型基础土建施工的大体积混凝土温控技术研究[J/OL]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2025(9).