

# 大直径烟囱及间冷塔土建施工中的混凝土浇筑技术研究

同奕申<sup>1</sup> 祝贺强<sup>2</sup> 王洪光<sup>2</sup>

1. 黄陵矿业沮源发电有限公司 陕西 延安 727300

2. 东北电力烟塔工程有限公司 辽宁 锦州 121000

**摘要:** 本文聚焦大直径烟囱与间冷塔土建施工中的混凝土浇筑技术。先阐述二者结构特性及浇筑技术基础,接着研究混凝土材料适配性,涵盖配合比优化、外加剂与掺合料应用、制备运输保障。随后分别构建大直径烟囱和间冷塔双曲线筒壁的混凝土浇筑技术体系,涉及基础、筒壁、顶部等部位。通过系统研究,为大直径烟囱与间冷塔的混凝土浇筑施工提供全面技术指导,保障工程高效、安全、优质完成。

**关键词:** 大直径烟囱; 间冷塔; 混凝土浇筑; 施工技术

## 1 大直径烟囱与间冷塔结构特性及浇筑技术基础

大直径烟囱与间冷塔作为工业冷却系统的核心构筑物,其结构特性与浇筑技术直接决定了运行效率与安全性。大直径烟囱通常采用钢筋混凝土双筒结构,底部直径可达18米,顶部收缩至8米,壁厚从450毫米渐变至250毫米,通过双曲线造型形成烟囱效应,加速空气对流,提升废气排放效率。其浇筑需采用液压滑模技术,配备智能监测系统实时控制滑升速度与垂直度,内衬耐酸砖与胶泥粘结工艺确保耐腐蚀性能,同时通过有限元分析优化结构抵御台风与地震的能力。间冷塔则以环板形钢筋混凝土基础为主,环基中心半径超70米,采用X支柱支撑结构增强稳定性<sup>[1]</sup>。其核心为闭式循环系统,通过间壁换热避免水质污染,浇筑时需分段跳仓施工以控制大体积混凝土温度裂缝。塔体高度普遍达150-200米,筒壁混凝土强度等级达C45,配合BIM建模与激光垂准仪保障施工精度。两者均需严格遵循《烟囱设计规范》与《双曲线间冷塔施工规范》,通过材料优化与工艺创新实现高效热交换与长期耐久性。

## 2 混凝土材料适配性研究与制备技术

### 2.1 混凝土配合比优化设计

混凝土配合比优化设计需基于大直径烟囱与间冷塔的结构特性和服役要求,实现强度、耐久性与施工性的平衡。针对大直径烟囱筒壁的高温抗性需求,配合比设计以C40-C60高强度等级为基础,选用5-25mm连续级配碎石,提高骨料密实度,同时控制砂率在35%-40%之间,兼顾流动性与抗离析能力。水泥选用PO42.5或PO52.5普通硅酸盐水泥,减少铝酸三钙含量,降低高温下的体积变形。针对间冷塔双曲线筒壁的薄截面、高抗裂需求,配合比采用C30-C50等级混凝土,掺入I级粉煤灰和S95矿粉,替代率控制在30%-50%,不仅降低水化

热,还提升混凝土后期强度和抗渗性能。水胶比严格控制在0.35-0.45之间,通过正交试验确定最佳配比参数,确保混凝土28天抗压强度满足设计要求,同时坍落度控制在180-220mm,适配滑膜等连续浇筑工艺。针对不同施工环境温度调整配合比,冬季施工增加早强剂掺量,夏季施工优化缓凝成分,确保配合比适配各类工况。

### 2.2 功能型外加剂与掺合料应用

功能型外加剂与掺合料的科学应用是提升混凝土适配性的关键,需结合结构需求精准选型。大直径烟囱浇筑中,为解决高耸输送和高温服役问题,选用聚羧酸系高效减水剂,减水率控制在25%-30%,减少单位用水量,同时降低混凝土孔隙率,提升抗渗性和抗高温能力。针对筒壁竖向施工的黏聚性需求,复配少量增稠剂,避免浇筑过程中出现骨料沉降。间冷塔双曲线筒壁施工中,滑膜工艺对混凝土凝结时间要求严格,选用缓凝型聚羧酸减水剂,将初凝时间延长至6-8小时,确保模板提升过程中混凝土不坍塌、不掉角,同时复配引气剂,引入3%-5%的微气泡,提升混凝土抗冻性和抗裂性。掺合料选用上,二者均优先采用I级粉煤灰和S95矿粉,大直径烟囱中粉煤灰替代率20%-30%,利用其形态效应改善工作性;间冷塔中矿粉替代率30%-40%,借助其活性效应提升后期强度。针对高温或潮湿环境,还会掺入硅灰,替代率5%-10%,致密混凝土内部结构,增强抗侵蚀能力,确保材料性能与结构需求精准匹配。

### 2.3 混凝土制备与运输保障技术

混凝土制备与运输保障技术是衔接材料与施工的关键环节,直接影响浇筑质量。制备环节采用自动化搅拌站,配备精准计量系统,水泥、骨料、外加剂计量误差控制在±1%以内,水计量误差控制在±0.5%。搅拌前对骨料含水率进行实时检测,每2小时测定一次,根据检测

结果调整加水量,确保配合比精准。大直径烟囱混凝土搅拌时间控制在90-120秒,确保骨料与胶凝材料充分混合;间冷塔滑膜用混凝土搅拌时间延长至120-150秒,提升黏聚性<sup>[2]</sup>。运输环节根据施工距离选用8-12立方米混凝土搅拌运输车,运输过程中保持3-6转/分钟的搅拌速度,避免离析。运输路线提前规划,避开交通拥堵路段,确保运输时间控制在1.5小时以内,夏季高温时车辆配备遮阳棚,冬季包裹保温层。卸料前对混凝土坍落度进行检测,大直径烟囱浇筑坍落度控制在160-180mm,间冷塔滑膜浇筑控制在180-200mm,不符合要求时及时调整,严禁加水。卸料过程中采用溜槽或布料机均匀布料,避免混凝土堆积产生离析,确保送达施工现场的混凝土性能稳定。

### 3 大直径烟囱混凝土浇筑技术体系

#### 3.1 基础及筒座浇筑技术

大直径烟囱基础多采用环形或圆形筏板基础,筒座为连接基础与筒壁的过渡结构,二者浇筑需重点控制大体积混凝土裂缝和界面结合质量。基础浇筑前,先对地基进行压实处理,承载力需满足设计要求,随后铺设100mm厚C15垫层,表面平整度误差控制在5mm以内。基础混凝土强度等级为C30,采用分层浇筑工艺,每层厚度500mm,浇筑顺序从中心向四周环形推进,利用插入式振捣棒振捣,振捣间距300mm,直至混凝土表面出现浮浆且不再下沉。浇筑过程中实时测温,采用预埋测温管的方式,每20平方米设置一个测温点,内外温差控制在25℃以内,超过时覆盖保温被并洒水降温。筒座浇筑需在基础混凝土强度达到70%后进行,浇筑前对基础顶面进行凿毛处理,清除浮浆并冲洗干净,涂刷水泥净浆界面剂。筒座混凝土强度等级为C40,采用阶梯式浇筑法,每次浇筑高度800mm,模板选用钢模板,支护间距500mm,确保模板刚度满足要求。浇筑完成后及时覆盖养护,养护时间不少于14天,基础采用蓄水养护,筒座采用洒水结合塑料膜覆盖养护,确保混凝土强度稳步增长,避免裂缝产生。

#### 3.2 筒壁变截面浇筑工艺

大直径烟囱筒壁从底部到顶部直径逐渐减小、厚度逐步减薄,变截面浇筑工艺需解决模板适配、浇筑连续性及截面过渡平滑性问题。模板体系采用液压提升模板,由模板面板、提升架、液压千斤顶组成,模板面板选用12mm厚钢板,根据不同高度截面尺寸定制模块化模板,通过调整模板拼接数量实现变截面适配,模板接缝处采用橡胶密封条密封,防止漏浆。浇筑前对模板进行调校,确保筒壁中心线偏差控制在5mm以内,截面尺寸误差不超过±10mm。筒壁混凝土强度等级从底部C60逐步

过渡到顶部C40,浇筑采用分层分段对称浇筑法,每段高度1.2米,沿圆周分为8个浇筑段,对称浇筑避免模板受力不均<sup>[3]</sup>。振捣采用附着式振捣器与插入式振捣棒结合,附着式振捣器沿模板圆周均匀布置,间距1.5米,插入式振捣棒辅助振捣死角部位。变截面过渡部位浇筑时,在截面变化处设置300mm长的渐变过渡段,调整混凝土浇筑速度,确保过渡部位密实。浇筑完成后,待混凝土强度达到设计强度的70%时进行模板提升,提升速度控制在0.5米/小时,提升后及时对混凝土表面进行修整,确保筒壁外观平整光滑。

#### 3.3 顶部及附属结构浇筑

大直径烟囱顶部及附属结构包括烟道口、防雨帽、爬梯平台等,结构体型复杂且处于高空作业环境,浇筑需重点控制施工安全和成型质量。顶部烟道口为异形结构,采用定制钢木组合模板,模板内部设置满堂脚手架支撑,脚手架立杆间距800mm,横杆步距1.2米,确保支撑体系稳定性。烟道口混凝土强度等级为C50,选用细石混凝土,坍落度控制在160-180mm,浇筑采用人工布料结合小型振捣棒振捣,振捣时避免触碰模板,防止模板变形。防雨帽为锥形结构,采用分段浇筑工艺,每段高度500mm,模板采用扇形钢模板拼接,通过调节拼接角度适配锥形曲面,浇筑顺序从下至上连续推进,确保混凝土接槎严密。附属爬梯平台浇筑前,先对平台预埋件进行定位固定,预埋件位置误差控制在±5mm,浇筑时确保混凝土包裹预埋件牢固,避免出现空鼓。顶部及附属结构浇筑均采用高空作业平台,作业人员配备安全绳,浇筑材料通过施工电梯输送。浇筑完成后及时覆盖养护,养护时间不少于14天,对异形结构表面进行修整,确保外观质量符合要求。

### 4 间冷塔双曲线筒壁混凝土浇筑技术体系

#### 4.1 环基及支柱浇筑技术

间冷塔环基为环形大体积混凝土结构,是支撑整个塔筒的基础,支柱则连接环基与筒壁,二者浇筑需解决环向受力均匀性和节点连接可靠性问题。环基施工前,先进行地基处理,采用换填垫层法将软弱土层替换为级配砂石,压实系数达到0.97以上,随后铺设钢筋网片,钢筋间距200mm×200mm,采用绑扎连接,搭接长度满足设计要求。环基混凝土强度等级为C30,采用分层环形浇筑工艺,每层厚度600mm,选用溜槽布料,沿环基圆周均匀布料,避免混凝土堆积。振捣采用插入式振捣棒,振捣深度深入下层混凝土50mm,确保上下层结合紧密。浇筑过程中设置测温点,每30米设置一个,实时监控内外温差,通过覆盖保温被和循环水管降温,将温差控制

在25℃以内。支柱浇筑需在环基混凝土强度达到80%后进行,支柱采用矩形截面,钢筋骨架提前预制,吊装就位后与环基预埋钢筋焊接固定。支柱模板选用覆膜胶合板,采用对拉螺栓加固,间距500mm。混凝土强度等级为C40,坍落度控制在180-200mm,采用漏斗布料浇筑,振捣密实后及时抹面。

#### 4.2 双曲线筒壁滑膜浇筑核心技术

双曲线筒壁滑膜浇筑核心技术是间冷却塔施工的关键,通过液压滑膜系统实现连续浇筑,确保筒壁曲面成型质量和施工效率。滑膜系统由模板系统、提升系统、操作平台三部分组成,模板采用2.4米高的弧形钢模板,曲率根据双曲线参数定制,模板之间采用螺栓连接,接缝处粘贴海绵条防漏浆。提升系统采用液压千斤顶,沿筒壁圆周均匀布置,间距1.5-2米,每个千斤顶承载能力不低于10吨,通过同步控制系统确保提升速度一致,误差控制在±2mm以内。操作平台为环形钢结构平台,设置防护栏杆和脚手板,确保高空作业安全。浇筑前对滑膜系统进行调试,检查模板曲率、提升同步性及平台稳定性,确保各项参数符合设计要求。筒壁混凝土强度等级为C30-C40,根据高度逐步调整,坍落度控制在180-220mm,采用分层浇筑,每层厚度300-400mm,沿圆周对称布料,每次浇筑完成后间隔4-6小时进行下一层浇筑,待混凝土达到0.3-0.5MPa时进行模板提升,提升高度与浇筑厚度一致,每天提升高度控制在1.5-2米。浇筑过程中安排专人检查模板变形和混凝土表面质量,及时处理蜂窝、麻面等缺陷,确保筒壁曲面平滑,壁厚误差控制在±15mm以内。

#### 4.3 塔顶及挡风墙浇筑

间冷却塔塔顶为收顶异形结构,挡风墙为环形薄壁结构,二者浇筑处于高空作业后期阶段,需解决成型精度和抗风稳定性问题。塔顶结构呈伞状,采用钢模板与木模板组合体系,模板根据塔顶曲面参数定制,内部设置型钢支撑骨架,骨架与滑膜操作平台连接固定,确保模

板刚度满足收顶成型要求。塔顶混凝土强度等级为C40,选用细石混凝土,坍落度控制在160-180mm,采用人工布料结合小型振捣棒振捣,振捣时重点关注钢筋密集区域,确保混凝土密实。浇筑顺序从中心向四周辐射推进,每次浇筑高度300mm,待前一层混凝土初凝后再进行下一层浇筑,避免出现冷缝<sup>[4]</sup>。挡风墙位于筒壁底部内侧,为高度2-3米的环形薄壁结构,厚度150-200mm,采用单侧模板支护,模板选用钢模板,通过对拉螺栓与筒壁连接固定。挡风墙混凝土强度等级为C30,采用分层浇筑,每层厚度500mm,布料采用软管输送,振捣采用附着式振捣器,确保薄壁混凝土密实。浇筑完成后,塔顶采用覆盖洒水养护,挡风墙采用喷水结合塑料膜覆盖养护,养护时间不少于14天。同时对塔顶和挡风墙进行外观修整和尺寸检测,确保塔顶收顶顺畅,挡风墙平整度误差控制在8mm以内,满足抗风设计要求。

#### 结束语

大直径烟筒与间冷却塔作为工业冷却系统关键构筑物,其混凝土浇筑技术至关重要。本文从材料适配到具体浇筑工艺,全面且深入地探讨了相关技术要点。通过合理设计混凝土配合比、科学应用外加剂与掺合料、严格把控制备运输环节,以及针对不同结构部位采用针对性浇筑技术,可有效提升施工质量与效率。未来,需持续优化技术,以适应更复杂工程需求,推动工业建设发展。

#### 参考文献

- [1]董生.主机间冷却塔泄漏处理方法及预防措施[D].电站系统工程,2020,36(06):46—48.
- [2]周志.钢结构间冷却塔安装施工技术[D].上海建设科技,2020(03):54-57.
- [3]倪良强.建筑工程混凝土浇筑技术研究[J].砖瓦世界,2025(15):28-30.
- [4]王钧.大体积混凝土浇筑技术探讨[J].河南建材,2024(1):70-72.