

# 火电厂循环冷却塔存在的问题及优化措施

周连生

国能哈尔滨热电有限公司 黑龙江 哈尔滨 155000

**摘要:** 火电厂烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建对机组稳定运行意义重大。其土建特点鲜明,核心部件多样且功能明确,设计基于力学平衡与结构稳定,兼顾烟气排放要求。但当下部分冷却塔接近设计寿命,受多重因素影响,土建问题凸显,集中在结构强度、耐久性、抗渗性、抗振性及烟气侵蚀防护五方面。针对这些问题,可从增强结构强度、提高耐久性、改善抗渗性、优化抗振设计等方面采取优化措施,以提升冷却塔土建性能,保障火电厂安全稳定运行。

**关键词:** 火电厂;循环冷却塔;运行问题;优化措施

引言:在火电厂生产运营中,烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建部分至关重要,它是保障机组稳定运行的基础支撑。该类型冷却塔凭借高大塔体实现自然对流,兼具烟气排放与冷却功能,对土建要求极高。然而,当下多数冷却塔土建长期处于复杂环境,接近或达到设计寿命,受自然环境、循环水化学腐蚀、烟气侵蚀及设备振动等多重因素交互影响,土建问题逐渐显现,不同程度影响冷却塔结构安全与使用功能,进而对火电厂机组正常运行产生不利。因此,深入分析其土建现状、主要问题,并提出针对性优化措施十分必要。

## 1 循环冷却塔土建现状概述

在火电厂复杂且精密的生产运营体系中,烟塔合一的自然通风式循环冷却塔土建部分是保障机组稳定运行的基础支撑。相较于其他类型,这种自然通风式循环冷却塔凭借其高大的塔体结构实现自然对流,将烟气排放与冷却功能有机结合,在土建方面对塔体的稳定性、抗风能力等方面要求极高,且占地面积较大。其土建特点鲜明,由于要兼顾烟气排放和冷却功能,塔体结构更为复杂,不仅要承受常规的风荷载、自重等多种作用力,还需应对烟气对塔体结构的潜在影响,需具备足够的强度和稳定性。

(1) 烟塔合一的自然通风式循环冷却塔土建的核心构成部件丰富多样且功能明确,主要包括塔体、基础、梁柱结构、进风口结构、集水池以及烟气导流装置等。塔体作为冷却塔的主体,是整个结构的关键承载部分,承受着风荷载、自重以及烟气作用力等多种复杂作用力,必须具备足够的强度和稳定性;基础为整个冷却塔提供稳固的支撑,将上部结构的荷载可靠传递至地基;梁柱结构起到支撑塔体和传递荷载的作用,确保塔体结构的整体性;进风口结构影响空气的进入量和均匀性,对冷却效果起着重要作用;集水池则用于收集冷却后的循环水,其防

水、防渗性能至关重要;烟气导流装置负责引导烟气均匀排放,避免烟气对塔体局部造成过度侵蚀。其土建设计的核心原理是基于力学平衡和结构稳定,同时充分考虑烟气排放的特殊要求,确保在各种工况下冷却塔都能安全可靠地运行。

(2) 当下,多数火电厂的烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建部分长期处于复杂的环境条件下,部分冷却塔甚至已接近或达到设计使用寿命。在长时间的使用过程中,冷却塔土建不可避免地受到自然环境因素、循环水化学腐蚀、烟气侵蚀以及设备运行振动等多重因素的交互影响。自然环境方面,气温变化、风荷载、雨水侵蚀等会改变材料的物理性质,导致结构强度下降;循环水中的化学物质可能对混凝土和钢材产生腐蚀作用,影响结构的耐久性;烟气中的有害成分,如二氧化硫、氮氧化物等,会对塔体内部结构造成侵蚀,加速结构的老化;设备运行产生的振动会使结构连接部位松动,降低整体稳定性。

(3) 这些因素相互作用、相互影响,使得烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建在运行过程中各类问题逐渐显现,不同程度地影响了冷却塔的结构安全和使用功能,最终对火电厂机组的正常运行产生不利影响。从整体情况来看,循环冷却塔土建的问题主要集中在结构强度、耐久性、抗渗性、抗振性以及烟气侵蚀防护这五个关键方面,且各问题之间相互关联、相互影响,亟待进行系统分析并采取针对性优化措施,以提升循环冷却塔土建的性能,保障火电厂的安全稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 2 火电厂循环冷却塔土建存在的主要问题

### 2.1 结构强度下降,安全性降低

火电厂烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建存在结构强度下降、安全性降低的问题,常见表现为塔体、梁柱等构件出现裂缝与变形。原因主要有四方面:(1)混

凝土碳化与钢筋锈蚀。循环塔长期暴露,空气中二氧化碳与混凝土中氢氧化钙反应致碳化,钢筋失去碱性保护易锈蚀,锈蚀后体积膨胀使混凝土开裂,降低结构强度与耐久性。(2)基础不均匀沉降。因地基土质不均、地下水位变化或施工质量控制不佳,冷却塔基础可能不均匀沉降,导致塔体倾斜或裂缝,影响整体稳定性。(3)荷载长期作用与疲劳损伤。冷却塔长期承受风荷载、自重等多种荷载反复作用,结构构件易疲劳损伤,强度下降。(4)烟气侵蚀影响。烟气中酸性物质与混凝土碱性成分反应,削弱其强度,还腐蚀钢材,降低力学性能,影响结构强度<sup>[2]</sup>。

## 2.2 耐久性不足,使用寿命缩短

烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建长期处于潮湿、多粉尘且富含腐蚀性介质(如循环水中氯离子、硫酸根离子及烟气有害成分)的恶劣环境,耐久性受影响,缩短使用寿命、增加维护成本。具体表现如下:(1)混凝土表面剥落疏松。腐蚀性介质侵入混凝土内部,与水泥水化产物反应,使混凝土表面剥落、疏松,强度降低,保护钢筋能力变弱。(2)钢材腐蚀突出。冷却塔中梁柱、支撑等钢材结构,在潮湿、腐蚀性介质及烟气侵蚀下,易发生电化学腐蚀,表面锈蚀变薄,力学性能和结构稳定性受影响,存在安全隐患。(3)防水层老化破损。集水池等部位防水层长期受紫外线、温度变化及烟气有害成分影响,易老化破损,致循环水渗漏,侵蚀基础和周围结构。(4)烟气导流装置耐久性差,长期受冲刷腐蚀,防护层损坏,装置变形损坏,影响烟气排放及塔体结构。

## 2.3 抗渗性不佳,影响使用功能

抗渗性不佳是烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建的另一个重要问题,主要表现为集水池等部位出现渗漏现象,影响冷却塔的正常使用寿命。其问题表现主要集中在以下两方面:(1)混凝土自身抗渗性能不足,混凝土在施工过程中,如果振捣不密实、养护不当等,会导致混凝土内部存在孔隙和裂缝,降低混凝土的抗渗性能。此外,混凝土的水灰比过大、骨料级配不合理等也会影响混凝土的抗渗性。(2)施工缝与变形缝处理不当,冷却塔土建施工中,施工缝和变形缝是容易产生渗漏的部位。如果施工缝和变形缝的处理不符合规范要求,如未设置止水带、止水带安装不牢固等,会导致水从这些部位渗漏出来,影响集水池的蓄水功能<sup>[3]</sup>。同时,烟气中的水分也可能通过这些缝隙渗漏,对周围结构造成侵蚀。

## 2.4 抗振性差,运行稳定性不足

烟塔合一自然通风式循环冷却塔持续运行时,风机等旋转设备的周期性振动经基础传至土建结构,若抗振设计有缺陷,会引发稳定性问题,动力学角度的故障机

理如下:(1)结构动力特性匹配不佳。设计阶段若未充分分校核设备振动特性与结构自振频率,二者易形成频率耦合。当结构固有频率处于设备激励频率 $\pm 20\%$ 范围内,会触发共振,使振动幅值呈几何倍数增长,加速结构疲劳损伤。(2)结构连接节点存在质量缺陷。梁柱节点、塔体与基础连接等关键部位,若螺栓预紧力不足、焊接接头未熔透,会降低结构刚度连续性。交变应力下,连接部位微动磨损、刚度退化,改变振动能量传递路径,导致整体振动超标、异常噪声辐射。此外,烟气不均匀气流也会削弱结构抗振性。

## 3 循环冷却塔土建优化措施

### 3.1 增强结构强度,保障安全性

针对烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建结构强度下降问题,可从三方面精准优化:(1)材料选择优化。选用高强度、耐久性好的混凝土与钢材。混凝土可通过增加水泥用量、优化骨料级配、添加外加剂及抗硫酸盐侵蚀剂,提升强度、抗碳化与抗烟气侵蚀能力;钢材选用不锈钢、耐候钢等抗腐蚀性能良好的材料。(2)结构设计优化。全面考虑风荷载、自重、设备振动及烟气作用力等荷载,合理确定结构尺寸与配筋。运用有限元分析技术进行受力分析,优化结构布局,增强整体稳定性与抗侧力能力。基础设计需详细地质勘察,依地基土质选合适形式,确保均匀沉降。同时,专门设计烟气导流装置,提升其结构强度与抗侵蚀能力。(3)加固处理。对出现裂缝、变形的构件,采用粘贴碳纤维布、钢板加固等方法。碳纤维布可提高构件抗弯、抗剪承载力;钢板加固适用于大荷载构件。对受烟气侵蚀严重部位,采用耐腐蚀涂层防护加固<sup>[4]</sup>。

### 3.2 提高耐久性,延长使用寿命

针对烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建耐久性不足问题,需采取防护措施,延长结构服役时间、降低维护成本。(1)混凝土防护优化。对混凝土表面涂刷环氧树脂、聚氨酯等具有防水、防腐、抗烟气侵蚀功能的涂料,形成保护膜,阻止有害物质侵入。定期清理混凝土表面污垢与腐蚀产物,保持清洁。(2)钢材防护优化。对钢材表面进行热镀锌或喷涂防腐涂料处理,热镀锌形成致密锌层防锈,防腐涂料依环境选型,如环氧富锌底漆、聚氨酯面漆等,且考虑抗烟气侵蚀性能。加强钢材结构检查维护,及时处理锈蚀部位,防止扩展。(3)防水层防护优化。定期检查修复集水池等部位防水层,老化破损时及时铲除重铺,施工严格按规范操作。设置细石混凝土、水泥砂浆等保护层,防止外力破坏。烟气导流装置用耐腐蚀材料包裹或涂刷防护涂层。(4)烟气侵蚀防

护优化。在塔体内部易受侵蚀部位设置玻璃钢、耐酸砖等耐腐蚀衬里或涂层，优化烟气导流装置设计，减少烟气对塔体结构的直接冲刷。

### 3.3 改善抗渗性，确保使用功能

为切实提升烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建结构的抗渗性能，保障其长期稳定运行，必须从混凝土施工以及施工缝与变形缝处理等关键环节入手，采取科学有效的措施来降低渗漏风险。(1)在混凝土施工方面，要严格把控水灰比与骨料级配，精心优化配合比设计，以此增强混凝土内在的密实度，减少内部孔隙。振捣时采用分层与二次振捣相结合的工艺，充分排出混凝土内部的气泡，避免形成渗水通道。同时，建立标准化的养护流程，通过覆盖保湿膜、定时喷淋等方式，保持混凝土表面湿润，防止因干缩而产生开裂。考虑到烟气对混凝土的影响，还需适当延长养护周期，进一步提升混凝土的抗渗性能。(2)对于施工缝与变形缝的处理，要严格按照设计规范进行定位与构造设计。施工缝应埋设橡胶或钢板止水带，并使用专用卡具固定，确保安装精度，搭接长度也要符合要求。变形缝则需选用聚硫或硅酮密封胶等高性能填缝材料，其各项指标要满足结构变形需求。在缝体两侧混凝土浇筑时，要采用插入式与附着式振捣器协同作业，保证密实度，并将养护周期延长至14天以上，强化界面过渡区性能。对于烟气接触部位，要选用抗烟气侵蚀的密封材料。

### 3.4 优化抗振设计，提升运行稳定性

为提升烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建结构抗振性能，保障设备稳定运行，需从核心环节改进，降低设备与烟气振动对主体的负面影响。(1)结构动力特性优化。通过精细化建模分析确定自振频率分布，采用调整构件刚度与质量分布的策略实现频率避让。如增大关键构件截面尺寸提升局部刚度，或在薄弱层增设黏滞、金属阻尼器等消能装置，增加阻尼比以降低振动响应幅值。设计阶段建立多工况动力时程分析模型，验证结构

在设备启停、风振、烟气排放等复合激励下的动力稳定性。(2)连接部位强化全生命周期管控。施工时用扭矩系数控制法确保高强螺栓预紧力达标，对焊接节点100%超声波探伤检测。重要连接部位采用摩擦型高强螺栓与全熔透焊接复合形式，提升抗疲劳性能。运营阶段制定专项巡检制度，用振动监测系统实时监测连接节点应力，建立松动预警机制，及时处理问题。(3)考虑烟气振动影响优化，优化烟气导流装置设计，减少不均匀气流，同时在塔体结构设计中适当增加刚度和阻尼，提高抗烟气振动能力<sup>[5]</sup>。

### 结束语

火电厂烟塔合一自然通风式循环冷却塔土建问题复杂且相互关联，对机组运行影响重大。通过对其现状的剖析，明确了结构强度、耐久性、抗渗性、抗振性及烟气侵蚀防护等方面存在的问题。针对这些问题提出的优化措施，涵盖材料选择、结构设计、施工工艺及后期维护等多个环节，具有较强的系统性与针对性。实施这些优化措施，可有效提升冷却塔土建性能，增强其结构强度、耐久性、抗渗性与抗振性，降低烟气侵蚀影响，保障冷却塔安全稳定运行，进而为火电厂的高效生产提供坚实支撑，推动火电厂实现可持续发展。

### 参考文献

- [1]徐涛,张志中,魏宏鸽等.火电厂环保设施能耗分析及节能降耗技术探讨[J].能源工程,2021,No.212(03):57-62+77.
- [2]柴磊.火电厂节能环保技术策略探讨[J].资源节约与环保,2021,No.232(03):3+23.
- [3]彭一胜,成海秦.火电厂循环水节水减排技术改造分析与应用[J].安徽化工.2024(06):108-110.
- [4]廖祖慧.火电厂循环水系统工程改造技术探析[J].电力设备管理.2024(10):271-273.
- [5]李彦萍.火电厂循环水泵节能优化措施及经济成本分析[J].现代工业经济和信息化,2024,14(10):233-234+239.