

循环水冷却塔填料污堵原因分析及处理

周艳红

中冶焦耐上海工程技术有限公司 上海 201900

摘要: 循环水冷却塔填料污堵是影响工业循环水系统稳定运行的常见问题。本文从水质、环境、运行管理及填料自身因素出发,系统分析了污堵成因,包括悬浮物沉积、微生物繁殖、环境污染物侵入、运行参数失控及填料材质缺陷等。针对污堵问题,提出化学清洗、物理清洗、在线清洗、水质优化、填料选型改进及运行维护优化等综合处理对策,旨在通过多维度防控措施降低污堵风险,延长填料使用寿命,保障冷却塔高效运行,为工业循环水系统管理提供理论支持与实践指导。

关键词: 循环水冷却塔; 填料污堵; 微生物污染; 化学腐蚀; 水处理技术

引言: 循环水冷却塔作为工业循环水系统的核心散热设备,其填料性能直接影响冷却效率与系统稳定性。在实际运行中,填料易因杂质沉积、微生物滋生、环境污染物侵入等因素导致污堵,进而引发冷却能力下降、能耗增加、设备损坏等问题,严重威胁工业生产安全与经济效益。当前,填料污堵已成为制约循环水系统长效运行的关键瓶颈,亟需系统分析污堵成因并探索科学有效的处理对策。本文通过梳理污堵形成机理,结合工程实践提出针对性解决方案,为优化冷却塔运行管理提供参考。

1 循环水冷却塔填料污堵概述

1.1 填料的功能与分类

填料是循环水冷却塔的核心换热部件,其核心功能是增大气液接触面积、延长接触时间,强化循环水与空气间的热交换效率,同时降低气流阻力,保障冷却塔整体散热性能,对工业生产中循环水系统的稳定运行至关重要。根据材质与结构差异,填料可分为多个类别,其中PVC蜂窝式填料凭借耐腐蚀、重量轻、换热效率高的特点,广泛应用于化工、电力等行业;PP斜波纹填料耐温性优于PVC,适用于高温循环水场景;木质填料虽成本较低,但易腐烂、使用寿命短,目前应用逐渐减少^[1]。按结构形态还可分为点滴式、薄膜式填料,点滴式通过水流滴落实现换热,抗污堵能力较强,薄膜式则依靠水流在填料表面形成薄膜强化换热,换热效率更高但对水质要求更为严格,不同类型填料的特性直接影响其抗污堵能力与适用场景。

1.2 污堵的定义与表现形式

循环水冷却塔填料污堵,是冷却塔运行过程中极为常见且影响较大的故障之一。它指的是循环水在循环流动时,其中含有的杂质、微生物代谢产物以及外界飘

入的污染物等,逐渐附着、沉积在填料表面,或者填充于填料相互之间的间隙中。这种污堵的表现形式丰富多样,在初期阶段,主要呈现为填料表面出现一层薄薄的垢层,此时循环水的散热效率仅有轻微下降,冷却塔进出口的水温差也会相应缩小,不太容易被察觉。但随着污堵情况不断加剧,填料间隙会逐渐被泥垢、生物黏泥等物质完全堵塞,气流与水流的通道严重受阻。这会导致风机为了维持正常运行不得不加大功率,能耗显著增加,而冷却塔的冷却能力却大幅衰减,无法满足工业生产对循环水温度的严格要求。情况严重时,污堵甚至会造成填料变形、坍塌,进而引发整个循环水系统停机。而且,污堵还会进一步加剧填料的腐蚀速度,大大缩短其使用寿命,使得企业需要投入更多的资金用于设备维护,同时也增加了生产过程中的风险。所以,必须及时识别并处理循环水冷却塔填料污堵问题。

2 循环水冷却塔填料污堵原因分析

2.1 水质因素

水质是导致填料污堵的核心因素之一,循环水水质超标会直接引发各类污堵问题。一方面,循环水中的悬浮物含量过高,如泥沙、尘埃、腐蚀产物等,这些杂质随水流流经填料时,受重力与水流阻力影响,易沉积在填料表面与间隙,形成物理性污堵。另一方面,循环水的硬度、碱度超标,在冷却塔运行过程中,水温升高会导致钙、镁离子析出,形成碳酸钙、碳酸镁等结垢物质,牢固附着在填料表面,形成难以清除的硬垢^[2]。另外,循环水中的微生物超标也是重要诱因,细菌、真菌、藻类等微生物在适宜的温度、湿度环境下大量繁殖,产生的生物黏泥与水中杂质结合,形成生物膜,不仅堵塞填料通道,还会加速结垢与腐蚀,进一步加剧污堵程度,水质指标的稳定性直接决定了填料污堵的发生

概率与发展速度。

2.2 环境因素

环境因素对填料污堵的影响具有显著的地域性与场景性,直接加剧外界污染物的侵入与沉积。在工业厂区,周边空气中的粉尘、烟尘、化工颗粒物等浓度较高,这些污染物会随气流进入冷却塔内部,附着在填料表面,与循环水中的杂质结合形成复合污堵。在户外露天场景,风沙、落叶、昆虫尸体等杂物易落入冷却塔,堵塞填料顶部通道,尤其在春秋季节风沙频发、夏季植被繁茂时期,此类污堵更为突出。环境温湿度也会间接影响污堵,高温高湿环境会加速微生物繁殖,提升结垢反应速率,而低温环境下,循环水流动性下降,杂质沉降速度加快,易在填料底部形成沉积污堵。同时沿海地区的盐雾、工业区的腐蚀性气体,还会加剧填料老化破损,间接增加污堵风险。

2.3 运行管理因素

运行管理不当是导致填料污堵频发的人为因素,直接影响系统运行状态与污堵防控效果。部分企业为降低成本,未建立完善的水质监测体系,对循环水的悬浮物、硬度、微生物等指标监测不及时,无法提前预警污堵隐患,导致小问题逐渐恶化。运行参数控制不合理也会引发污堵,如冷却塔进水流量过大,会加剧水流对填料的冲刷,导致填料破损脱落形成二次污堵;进水温度过高、液位控制不当,会加速结垢与微生物繁殖。维护周期不规范也是重要原因,未定期对填料进行清洗、检修,导致杂质与垢层持续累积;日常维护中未及时清理冷却塔集水池沉淀物,这些沉淀物随水流循环再次进入填料,形成反复污堵,同时维护操作不规范,如清洗时损伤填料,也会为后续污堵埋下隐患。

2.4 填料自身因素

填料自身的材质、结构与质量缺陷,是导致污堵发生的内在因素,直接决定其抗污堵能力。材质方面,若填料选用不符合工况要求,如在高温、腐蚀性工况下使用普通PVC填料,易导致填料老化、脆化、破损,破损后的填料碎片会堵塞相邻通道,同时老化表面更易附着杂质与结垢。结构设计不合理也会加剧污堵,如填料间隙过小、波纹角度设计不当,会降低水流与气流的流动性,导致杂质易沉积;部分填料表面光滑度不足,易滋生微生物与附着垢层。填料生产质量缺陷,如存在裂纹、孔隙、拼接不严密等问题,会使水流在局部形成涡流,杂质在此处聚集沉积,同时质量不佳的填料使用寿命较短,易出现变形、坍塌,进一步加剧污堵,因此填料自身特性是污堵防控的基础环节。

3 填料污堵处理对策

3.1 化学清洗法

化学清洗法是处理填料污堵的常用手段,通过化学药剂与污堵物发生反应,实现垢层、黏泥的溶解与剥离,适用于中重度结垢与生物污堵场景。该方法需先根据污堵成分选型药剂,针对碳酸盐硬垢,选用盐酸、硫酸等酸性清洗剂,通过酸碱中和反应溶解垢层;针对生物黏泥与有机物污堵,选用氧化性杀菌剂、非氧化性杀菌剂及表面活性剂,破坏微生物细胞结构,分解黏泥聚合物。清洗过程中需严格控制药剂浓度、温度与清洗时间,避免药剂对填料材质造成腐蚀,同时需提前做好循环水系统隔离,防止清洗废液污染环境^[3]。化学清洗法的优势是清洗彻底、效果显著,能快速恢复填料换热性能,但缺点是需停机操作,清洗后需对系统进行冲洗中和,药剂成本较高,需结合污堵程度合理使用。

3.2 物理清洗法

物理清洗法作为一类高效且环保的清洁手段,主要依靠机械力、水流力等物理作用来清除填料表面与间隙中堆积的污堵物。这种方法具有无腐蚀、环保性强、操作简便等诸多优点,尤其适用于处理轻度至中度的物理性污堵以及部分软垢场景。在常见的物理清洗方式中,高压水射流清洗颇为常用。它借助高压水泵产生强劲的高压水流,再配合专用喷头,对填料进行逐片细致冲洗。这种方式能有效剥离填料表面沉积的泥沙、软垢以及生物黏泥。不过,在清洗过程中,必须精准控制水压与喷射距离,防止因压力过大或距离过近而损伤填料。另外,人工清扫法也发挥着重要作用。针对填料顶部及边缘堆积的杂物、大块垢层,通过人工拆解冷却塔部分结构,进行手动清扫与擦拭。这一方法尤其适用于高压水无法触及的死角区域。物理清洗法无需使用化学药剂,对环境和填料的损伤都较小,可配合定期维护使用。然而,它对于顽固硬垢的清洗效果有限,因此在实际应用中,常需与化学清洗法结合使用,从而提升整体清洗效果,确保填料长期保持良好的运行状态。

3.3 在线清洗技术

在线清洗技术是一种无需停机的污堵处理方式,通过在循环水系统中安装专用清洗装置,实现对填料的实时或定期清洗,有效解决了传统清洗方法停机影响生产的问题,适用于连续运行要求高的工业场景。目前主流的在线清洗技术包括自动旋转喷淋清洗系统,通过在冷却塔顶部安装旋转喷淋装置,利用循环水压力喷射高压水流,对填料进行全方位冲洗,可根据运行情况设定清洗周期,实现自动化控制。此外,还有超声波在线清洗

技术,通过在填料区域安装超声波发生器,利用超声波的振动作用,破坏垢层与填料表面的结合力,阻止垢层附着与累积,同时能抑制微生物繁殖,起到防堵与除堵的双重效果。在线清洗技术能持续保障填料换热性能,减少停机损失,但初期设备投入成本较高,需结合工况特点选型适配的清洗装置。

3.4 水质优化管理

水质优化管理是预防填料污堵、保障系统稳定运行的核心举措,通过构建科学的水质调控体系,将循环水各项指标精准控制在合理区间,从源头降低污堵风险。首先,需强化水质监测的全面性与实时性。在循环水系统关键节点安装高精度在线监测设备,对悬浮物浓度、硬度、pH值、微生物含量等核心指标进行24小时连续监测,制定严格的水质化验制度,定期采集水样进行实验室分析,确保数据准确性。一旦发现指标异常,立即启动应急处理机制,通过调整药剂投加量或系统运行参数,快速恢复水质平衡。其次,根据水质动态变化精准投加水处理药剂。针对高硬度水质,投加高效阻垢剂,通过螯合、分散作用抑制钙、镁离子结晶析出;针对微生物超标问题,选用广谱杀菌剂,定期交替使用以避免耐药性产生;针对悬浮物较多场景,联合投加絮凝剂与助凝剂,形成大颗粒矾花加速沉降。另外,建立定期排污置换制度,根据水质恶化程度确定排污频率与置换量,有效降低水中杂质浓度,防止污染物在填料表面累积,形成长效防护机制。

3.5 填料选型与改进

科学的填料选型与结构优化是提升抗污堵能力的根本途径,需结合具体工况参数进行系统性设计。在选型阶段,需综合评估循环水温度、水质成分、腐蚀性、流速等关键因素,优先选择适配性强的材料与结构。例如,高温工况($> 80^{\circ}\text{C}$)应选用PP材质填料,其耐热性能优异且化学稳定性强;水质含砂量高或悬浮物多的场景,宜采用间隙较大($> 15\text{mm}$)、表面光滑的点滴式填料,减少杂质截留;腐蚀性介质环境中,需选用PVDF或玻璃钢材质填料,延长使用寿命。结构改进方面,可通过增大填料波纹角度(从 30° 提升至 45°)与间隙尺寸,优化流体分布,降低杂质沉积风险;在填料表面采用纳米涂层或氟碳树脂进行防黏处理,形成疏水疏油界面,抑制微生物黏附与垢层形成^[4]。针对易污堵区域(如进水

口、死角区),可采用模块化设计填料,通过快速拆卸结构实现局部清洗或更换,避免因局部堵塞导致系统升降升高或效率下降。通过选型与结构的双重优化,可显著降低填料污堵频率,减少停机维护次数,综合降低运营成本20%以上。

3.6 运行维护优化

运行维护优化是防控填料污堵的长效措施,通过规范运行操作与维护流程,降低人为因素导致的污堵风险,保障系统长期稳定运行。在运行操作方面,合理控制进水流量、温度、液位等参数,避免参数异常引发结垢与沉积;定期检查风机、水泵运行状态,确保气液循环顺畅,减少涡流与死角导致的污堵。在维护流程方面,建立定期维护计划,根据工况特点设定填料清洗周期,轻度污堵采用物理清洗,重度污堵结合化学清洗,及时清理集水池沉淀物与冷却塔内杂物。加强维护人员培训,规范清洗、检修操作,避免维护过程中损伤填料;建立设备档案,记录填料运行状态、清洗次数、更换情况等,为后续维护提供数据支撑,通过全流程的运行维护优化,实现污堵的早预防、早处理。

结束语

循环水冷却塔填料污堵的防控需从源头治理与过程管理双管齐下。通过水质动态调控、填料科学选型、运行参数优化及维护流程规范等措施,可显著降低污堵发生概率,提升系统运行稳定性。未来,随着在线监测技术、智能清洗设备及新型抗污堵材料的研发应用,填料污堵处理将向智能化、精细化方向发展。企业应结合自身工况特点,构建“预防-监测-处理-优化”的全流程管理体系,实现循环水系统的高效、低耗、可持续运行,为工业生产节能降耗提供有力支撑。

参考文献

- [1]刘福康.循环水冷却塔填料污堵原因分析及处理[J].科技与创新,2023(16):113-115.
- [2]王宝宝,高超超,杨晓波.循环水冷却塔填料堵塞与水质处理的预防控制方法探讨[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(6):0093-0096.
- [3]刘古文.循环水冷却塔模块化组装技术应用[J].石油和化工设备.2023,26(1):111-112,105.
- [4]肖成成.自流进水冷却塔在高炉密闭循环水系统中的应用[J].冶金动力,2022,(01):86-88.