

全自动气体除尘装置优化设计研究

王佳磊

伽诺（杭州）净化系统装备有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】经济的快速发展，伴随着能源的消耗量也越来越大，大气污染也成为了一个较为严重的问题。由此，除尘工程成为了环境工程的重中之重。为满足不断严格的大气排放标准，对全自动气体除尘装置的设计也越来越严格。幸运的是，科技的发展对除尘装置的优化设计提出了新的解决方案，通过对气流分布状况、系统控制软件的优化，以及人工智能技术的加持，不仅能够提高除尘装置的自动化功能，同时还能提高大气污染的防控效率。本文通过对以上内容研究，并提出行之有效的优化方案，以期在全自动气体除尘装置的优化设计提供方向。

【关键词】全自动；除尘装置；设计优化；研究探索

Study on optimization design of automatic gas dust removal device

Wang Jialei

Gano (Hangzhou) Purification System Equipment Co., LTD. Zhejiang Hangzhou 310000

【Abstract】The rapid economic development has been accompanied by increasing energy consumption, making air pollution a more serious issue. As a result, dust removal projects have become the top priority in environmental engineering. To meet increasingly stringent air emission standards, the design of fully automatic gas dust removal systems has become more rigorous. Fortunately, technological advancements have provided new solutions for optimizing dust removal devices. By improving airflow distribution, system control software, and leveraging artificial intelligence, not only can the automation capabilities of dust removal devices be enhanced, but also the efficiency of air pollution prevention and control can be improved. This paper studies the above content and proposes practical optimization solutions to provide guidance for the optimal design of fully automatic gas dust removal systems.

【Key words】automatic; dust removal device; design optimization; research exploration

随着环保的不断发展，社会各界对于环保的要求也不断提高，在工业生产过程中，粉尘污染一直是困扰企业环保达标的重要问题。尤其是高温环境下的粉尘处理，不仅对设备性能提出更高要求，还直接关系到生产安全和环境保护。全自动气体除尘装置中的高温除尘器作为一种专门应对这类工况的设备，凭借其独特的设计原理和稳定的运行表现，正在成为越来越多工业企业的选择。

一、全自动气体除尘装置中的高温除尘器

（一）高温除尘器的基本工作原理

高温除尘器主要通过物理过滤和化学吸附相结合的方式处理含尘气体。当高温烟气进入除尘器后，首先经过预处理区，大颗粒粉尘在重力作用下自然沉降。随后气体通过特殊材质的过滤元件，细小的粉尘颗粒被截留在滤料表面。这

个过滤过程类似于用筛子筛面粉，只不过这里的筛子要承受数百摄氏度的高温。

为了应对高温环境，除尘器内部通常采用耐高温合金或陶瓷纤维材料。这些材料就像给设备穿上了防火服，既能有效过滤粉尘，又不会因为高温而变形损坏。部分先进型号还会在过滤层表面喷涂特殊催化剂，在除尘的同时分解有害气体，实现一机多能。

（二）高温除尘器的几种主要类型及性能特点

根据工作原理和结构特点，高温除尘器主要分为袋式、静电式和湿式三大类。袋式除尘器给烟气通道装上了一个巨型滤网，依靠纤维滤袋拦截粉尘，适合处理温度在260℃以下的工况。其优势在于过滤精度高，可以捕捉0.1微米级的超细颗粒，相当于能拦住比头发丝细五百倍的粉尘；静电除尘器则利用高压电场使粉尘带电，然后通过集尘极板吸附去

除,原理类似于冬天脱衣时产生的静电吸附现象,特别适合处理 400℃以上的高温烟气,因此可应用于水泥窑、冶金炉等工作场景;湿式除尘器通过水雾洗涤的方式捕集粉尘,虽然处理温度相对较低,但对黏性粉尘和腐蚀性气体具有独特优势。近年来出现的半干法技术,通过精确控制水汽比,既保证了湿润,又避免了废水处理。

(三)高温除尘器的工作系统主体——以袋式除尘器为例

1.袋式除尘器的工作原理

袋式除尘器是一类高效的干式粉尘过滤装置,它依靠过滤介质来捕获悬浮的颗粒物质。经过一段时间运转后,过滤材料表层上因筛分、撞击、阻留、扩散并且带有静电效应而形成了初始过滤层,此时这层灰尘转变成主要的过滤介质,当继续产生附着时,外表面尘土层逐渐变厚,除尘器内因此产生压力增大现象,到达某一程度之后,通过脉冲阀膜片命令控制,使压缩空气从高压气包里喷出,并针对过滤层展开清扫,一直持续到灰尘数量降低到一定限度。袋式除尘器只收集非粘着、非纤维类的工业尘埃及挥发物,能够有效阻止小粉尘颗粒,其尺寸可以达到 0.1 微米以下。在使用袋式除尘器处理含水分气流时,务必小心防范冷凝作用,结露易对器体造成损伤,降低除尘器的性能水平。袋式除尘器具有突出的净化功能,在对微小粉尘进行捕集作业的过程中,能够达到 99%的效率比,远超其它同类设备的捕集效率。

2.袋式除尘器的系统主体

在设计中,多仓式的除尘系统通过集成多个除尘单元协同工作,旨在高效实现预期的除尘效果。每座仓库内均配置了滤袋用于尘埃的分离与净化。在进行清灰操作时,通过定时或根据压力差设定的控制系统来驱动脉冲阀门的开关动作,以喷气的方式清理滤袋表面的灰尘,随后这些收集到的粉尘会沉降至灰斗中,接着通过旋转卸料阀及输送设备将其转移至灰料存储区域。经过净化的气体通过滤袋的微孔洞流动,随后通过离线阀门导入排风管道,最终排放至大气环境中。除尘系统采用离线阀、在清灰系统中,电磁脉冲阀用于控制气流,以实现高效除尘。根据不同除灰需求,系统可配置多至多个除尘仓体,并在每体内部部署特定数量的电磁脉冲阀以及一个离线阀,确保精确且高效的粉尘清除过程。在执行清灰操作前,需首先进入离线模式,通过关闭除尘仓体出口管上的离线阀来切断气流路径。随后,借助可编程逻辑控制器(PLC)的协调,仓体内各处的电磁脉冲阀按照预定顺序开启,实施精确的喷吹动作,以清除积聚的灰尘。喷

吹时间为 0.1 秒可调,脉冲阀间的喷吹时间间隔为 3 秒。完成所有脉冲阀的喷吹操作后,除尘器仓体出口管上的离线阀开启,此时该仓体恢复至常规过滤模式。在生产工艺中,相邻仓体间喷吹操作以 5 秒的间隔有序进行,确保所有除尘仓依次完成喷吹过程。这一自动化流程通过 PLC 系统精确管理各设备间的逻辑与顺序动作,实现高效协同工作。在除尘系统中,若某一分仓需进行维修或发生故障,清灰作业能够绕过此分仓继续执行。在 PLC 软件内,可依据具体需求对各设备的操作周期进行灵活设定和优化。

(四)全自动气体除尘装置优化的技术瓶颈

1.流场分布不均匀

全自动气体除尘装置里流场分布不均匀,这是造成除尘效率低下的重要问题,气体进入除尘装置以后,由于管道构造,部件安置等缘由,容易出现涡流,死角这些不良流势情况。在袋式除尘器中,气流分布不均会导致局部滤袋承担过大,促使滤袋过早磨损,缩减使用寿命,且会影响到整体除尘效果是否稳定。设备的设计本身极为复杂,此种情况下,要准确模仿和改良流场,是一项十分困难的任务。传统设计手段大多依靠经验公理和简单的实验检测来解决问题,很难全面覆盖现实工况下的复杂流动特性,而运用 CFD 开展模仿剖析时,会遇到模型精简化、边界情况指定等困难,模仿所得结果和真实情形有着一定差距,再加上各种不同工况下气体流量,温度,湿度等参数的变动,流场分布的不均一性会进一步加重,如此一来,凭借一种优化手段去达成全工况下的均流便会非常困难。

2.智能化控制的技术壁垒

智能化控制是全自动气体除尘装置能否实现全自动运行的核心,但是也存在诸多困难,其一是智能化控制过程中的多参数控制,如气体流量、压力、温度、粉尘浓度等等,各参数之间互相制约、互相作用,很难做到以精确的数学模型来描述,现有的控制模型也无法完全反映实际的工况的动态变化,造成控制精度不足,无法对全自动的气体除尘装置及时地有效的控制其运行的参数;其二是传感器的问题,现在传感器的使用中也是存在很多的不足,对于气体的监测(粉尘浓度)使用的传感器的稳定性、可靠性、准确性都是需要改进和提高的。有的粉尘浓度传感器碰到高粉尘浓度或者潮湿的环境容易产生测量误差,干扰到对控制指令作出正确判断,传感器不能随时马上作出反应,不符合对执行命令实行及时掌控的需求。智能化控制不光要有先进的算法做支

撑,而且还要有很强的运算能力作后盾,当前这些算法对于各种工作状况所具备的适应能力以及稳定性仍然存在不足,硬件设备的计算水平还有数据处理的速率同样很难达到快速、高效地处理大量数据的标准。

(五) 高温除尘器的优化改良方案

1. 创新应用耐高温材料

传统高温除尘器在材料选择上往往需要考量两个方面,即耐温极限与材料成本。例如,300–400℃工况下,普通 Q235 碳钢易出现强度衰减甚至变形,而昂贵的镍基合金虽耐温性能优异,但成本高昂。近年来,新型耐高温材料的研发为突破这一瓶颈提供了可能:陶瓷基复合材料通过纳米级颗粒填充技术,将耐温上限提升至 800℃,同时抗热震性能显著增强;另一种方案是采用“基体材料+功能涂层”的复合结构,例如在碳钢表面喷涂氧化铝陶瓷涂层,既保留了金属的机械强度,又赋予了陶瓷的耐高温特性,单此项改进即可将设备寿命延长 3–5 倍。

2. 精准调控气流组织

高温烟气的流动性与分布直接影响除尘效率。某玻璃窑炉项目通过 CFD 流体仿真技术,将传统直线型烟道改造为螺旋渐缩式结构,使烟气流速偏差从 $\pm 35\%$ 降至 $\pm 5\%$ 。这种设计类似“高速旋转的舞台灯光”,通过强制涡旋效应让粉尘均匀分布于除尘单元表面,避免局部高温区的形成。配套开发的多孔导流板组件,则如同精密的“筛子”,可拦截超过 98% 的粒径 $\geq 5\mu\text{m}$ 的颗粒物。实际应用数据显示,此类改造可使滤袋更换周期从 3 个月延长至 1 年以上。

3. 智能升级清灰系统

传统脉冲喷吹清灰模式存在能耗高、滤袋损伤等问题。新型智能清灰系统通过嵌入式传感器实时监测滤袋压差,当检测到某个过滤单元的阻力超过阈值时,仅对该单元进行精准喷吹。这种“靶向治疗”式的清灰策略,相较于全域周期性清灰可节省氮气消耗量达 60%。更值得关注的是声波清灰技术的突破——通过发射 20kHz 以上的超声波,使粉尘层产生“共振剥离”,既避免了机械振打对滤袋的磨损,又能保

持 95% 以上的清灰效率。

4. 协同增效余热回收

高温除尘系统本身即是优质热源。某水泥厂将除尘器进出口温差控制在 80℃ 以内,通过增设翅片管换热模块,回收烟气余热用于原料烘干,年节约标煤超过 200 吨。这种“除尘-供热”一体化设计,相当于在环保设备中嵌入了“节能芯片”。据测算,余热回收装置的投资回收期通常不超过 18 个月,且能额外降低 15% 的除尘系统运行能耗。

5. 系统支撑防腐抗磨

在含硫烟气环境中,腐蚀问题始终困扰着高温除尘器的稳定运行。最新研发的“梯度复合防护层”技术,通过在金属基材表面依次沉积耐腐蚀层、隔热层和耐磨层,形成类似“三明治”的保护结构。以燃煤锅炉为例,采用该技术后,壳体腐蚀速率从 0.5mm/year 降至 0.02mm/year,同时解决了传统搪瓷涂层易剥落的行业痛点。配合模块化快装设计,设备维护时间从 72 小时缩短至 8 小时以内。

从材料革新到智能控制,从结构优化到能源再生,高温除尘器的每一次技术迭代都在诠释“环保与效益双赢”的理念。随着工业 4.0 时代的到来,这类装备必将朝着更高效、更智能、更可持续的方向持续进化,为高温工业的绿色发展提供坚实技术支撑。

总结

综上所述,要使全自动除尘器更好地发挥出它的功能和作用,就必须对全自动除尘器的气流分布的设计进行适当的优化,同时需要对智能化控制技术进行提高,并且要对槽形极板进行适当的优化,这样才能使除尘器更好地发挥作用和实现其相应的效果。在实际的选择和使用气流设计的过程中,必须考虑粉尘处理过程中对除尘器工作条件和环境的要求,并且要严格遵守相关的标准和规范,这样才能使设备能够长期稳定地工作,不断地推动着整个环保事业的发展。

参考文献

- [1]苗长江,严军.高温电除尘器在水泥窑炉中温 SCR 脱硝工艺中的应用及分析[J]. 2022.
- [2]陈月莉."高温电除尘器+SCR 脱硝"一体化技术之除尘器设计与安装[J].新世纪水泥导报, 2020, 26 (2): 3.DOI.
- [3]王勇强,周月桂.金属化合物柔性膜高温除尘器数值模拟及性能优化[J].锅炉技术, 2020, 51 (3): 7.DOI.

作者简介:王佳磊,出生年月:1995 年 10 月,男,汉族,籍贯:安徽省阜阳市,学历:专科,研究方向:工业过滤器设计。