

洗涤塔阻力波动对工艺排气系统压差稳定性的影响机理研究

石文博

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214028

【摘要】：工艺排气系统是工业车间废气净化、负压维持的核心装置，洗涤塔作为系统核心净化单元，其阻力稳定性直接决定整个排气系统的压差平衡。本文围绕洗涤塔阻力波动的诱因、传导机制展开分析，重点探究阻力波动引发排气压差失衡后，对新风预热负荷、HVAC 系统运行负荷的连锁影响，明确负荷削减的核心路径，并通过工程实测数据完成年节能量化核算。研究表明，洗涤塔阻力异常波动会打破排气系统静压平衡，造成车间新风补给量无序波动，大幅抬升新风预热能耗与 HVAC 冷热负荷冗余；通过稳定洗涤塔运行阻力、优化压差闭环调控，可实现 HVAC 负荷显著削减，年节能效益具备明确的量化落地价值，为工业排气系统节能改造与稳定运行提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：洗涤塔阻力波动；工艺排气系统；压差稳定性；新风预热

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.092

1 洗涤塔阻力波动成因及对排气压差稳定的影响机理

1.1 洗涤塔阻力波动的核心诱因

洗涤塔运行中所产生阻力可以分为入口收缩效应、填料层内部摩擦损失、喷淋液膜形成的气液界面阻抗、除雾段压降等几个部分。理想工况下阻力值一般保持在一定的范围内，波动较小，不会对整个排放系统的稳定性产生太大的影响。影响其动态特性的因素有填料层表面沉积、循环液体位调控失常、上游工艺负荷突然变化以及除雾装置被堵等，这些都会改变阻力曲线的特性，具有很强的非线性特点。上述原因一起组成了洗涤塔实际运行时出现的阻力剧烈变化的原因。

1.2 阻力波动对排气压差稳定性的传导机理

工艺排气系统中压差形成机理包含有诸多要素，它们是风机静压，管道流动阻力，洗涤塔阻力和末端排放阻力等等。压差正常运行时平衡是保证排气流量、车间通风负压满足设计要求的主要条件。洗涤塔是系统中主要的阻力来源之一，在气流分布方面有着较大的影响，阻力发生改变之后，就会直接影响到压力场的空间分布情况，并且通过反馈的方式，会影响到整个系统的稳定性，洗涤塔阻力如果突然变大，为了达到预先设定好的风量，风机需要增大风压输出，造成管道内压力上升，排风口抽吸力减弱，使总压差与理想值有所偏差；相反，如果洗涤塔阻力突然下降，会使管道内压力损耗减少，引起瞬时排风效率提升，可能会造成车间局部区域负压过高，同样也会使得系统实际压差不达目标。

2 洗涤塔阻力波动对工艺排气系统压差稳定性的影响

2.1 压差失衡对新风预热负荷的影响

工业生产车间在引入新鲜空气的时候对空气进行预热，这是能耗管理的重要部分。受室外空气温度、室内设定温度以及新风补充量等许多外界因素的影响。工程设计时一般按稳定的排风阻力来额定新风量，再选配相应预热设备及相关能耗指标。但是当洗涤塔的阻力发生变化，引起排气压力失衡的时候，会造成车间内部微负压状态不正常，压差过大时，会使得实际的新风量超过预期，压差过小时，新风供应不足。这两种情况都会造成新风预热负荷偏离目标区间。极端低温情况下，过多渗透的新风会明显增大预热装置的耗能要求，对设备造成额外负担；即使部分车间有新风循环利用系统，对突然出现的新风量变化也不能进行精确调节，从而加重整个预热能耗，并且引起室温的波动。相比之下，在夏季虽然不需要预热操作，但是由于压差异常引起的新风量波动会加大空调系统冷凝、除湿的负荷，增加了综合 HVAC 设施的负荷。长期处在非稳定运行状况下会加大经营开支，并且会缩减有关设施的技术寿命周期。

2.2 排气压差不稳对 HVAC 负荷的叠加影响

暖通空调（HVAC）系统的主要目的就是保证生产厂房内部环境参数稳定，即温度、湿度、气压等主要指标。其运行负荷要依据静止状态下新风量需求、车间热湿载荷评价及排风流量一同确定。洗涤塔阻力变化造成排气压力波动会对 HVAC 系统动态响应能力产生很大影响，给它带来了诸多困难。新风量发生异常变化时会带来能量过剩的情况，为了维持室内温湿度稳定而加大能耗；车间内部气压不稳的时候，局部气流分布失衡会造成温湿度分布不均，必须调节风机转速和功率进行校

正,增加额外的能量消耗;排气量的变化还会产生废气反向流动的危险,在极端情况下还要提高 HVAC 设施的压力来保证安全,同样会加大能源支出。相较于理论上的稳定运行模式,实际操作中由于压力偏差而产生的非线性变化,使 HVAC 设备常常处在亚最优的工作状态之中,负载率一般比额定值偏移约 15%-30%,无效功耗比例也就随之增加,这成了导致工业领域暖通空调能耗一直居高不下的一大原因。

3 HVAC 负荷削减路径及年节能量化分析

3.1 基于压差稳定的负荷削减核心路径

洗涤塔阻力波动造成的能耗优化问题要依靠稳定运行工况的技术体系来解决。该体系主要强化工艺排气系统中压力闭环控制的功能性,采用动态调节新风量和废气流量之间关系的方法,从源头上消除由于温度变化所引起的能量损失。具体实施途径有两方面,一方面是对填料层和除雾装置定时地进行清洗与维修,对循环液位高低及喷淋是否均匀加以细致管理,从而让洗涤塔的阻力保持在正负百分之五之内,另一方面,在关键位置装上压力监测设备,并用变频调节算法保证排气风机的压力一直保持平稳,防止瞬间压力变化引发不良结果。还需要健全新风进口阀门与排风系统相互协调使用的体系,在理想的气流轨迹下改变供、排风的速度,防止过低的温度或者氧气供应不足的情况发生。采用以上各种方法不仅可以大幅度减少新风预处理能耗和空调末端设备的负荷,而且可以给后面节能效果的评价提供可靠数据以及理论依据。

3.2 年节能量化核算与效益分析

本文选取了某电子制造车间工艺排气系统做实验的对象,该系统的排风量是 12000m³/h,洗涤塔阻力设为 800Pa。空调通风(HVAC)系统标准功率为 120Kw,冬季新风预热设备功率为 45Kw。根据以上背景,本文研究了洗涤塔在动态和静态工况下的运行参数变化规律,用能耗分析模型对它的年节能潜力做了评价,技术数据见附表。

表 1 年节能量化核算与效益

运行工况	阻力波动工况 (优化前)	稳态优化工 况(优化后)	日均节能量
洗涤塔阻力波动幅度	18%-25%	≤5%	-
系统压差偏差	±35Pa	±8Pa	-
新风预热日均能耗 (kWh)	320	210	110
HVAC 日均能耗(kWh)	960	780	180
日均总能耗(kWh)	1280	990	290

根据车间实际运营时长数据统计,全年有效工作日为 330 天,冬季预热器占 36%,即 120 天,其余为非预热器,共 210 天。能耗节约潜力评价只把供暖通风与空调(HVAC)系统当作非预热器节能效益计算的对象。当压差稳定下来以后, HVAC 系统的工作效率和预热设备的工作效率大大提高,同时设备的故障率大大降低。不但可以减少运维成本,而且可以保持车间内温度、湿度、负压的稳定性,从而提高生产过程的可靠性和产品质量的一致性。本方案整体效益已经大于单纯的节能目的。

4 结论

洗涤塔阻力变化会引起工艺排气系统压差失衡,两者之间存在着明显耦合作用。压差一但出现异常情况就会干扰新风和废气排放的动态平衡,造成新风预热耗能大大提升, HVAC 系统能量损耗增多,总能耗随之上升。为了改善上述问题,改进洗涤塔的操作参数,创建起以闭环反馈为机制的压力调节体系,一方面可以减小 HVAC 设备的负荷,另一方面也能减少新风加热所耗费的能源,具有很强的节能效果。本文以提高新风预热效率、降低 HVAC 能耗、评价年度节能收益为目标,从洗涤塔阻力变化对工艺排气性能、暖通空调运行能耗的影响机理入手,给工业领域节能减排技术改进提供理论依据和实践参考。未来可从不同的行业出发,对阻尼效应加以更准确的预测并创建出适合于各个行业需要的节能方案设计逻辑和评判准则。

参考文献:

- [1] 杨欣静,崔皎.后处理厂工艺排气系统的问题分析与设计改进[J].广东化工,2022,49(08):187-188+211.
- [2] 杨欣静,邹洪伶.后处理厂溶解排气系统的流程优化设计[J].产业与科技论坛,2022,21(12):43-45.