

垃圾发电厂可动态调节水封高度的多级水封装置

贾国豪 陆秋阳 陈政旭 庄承彬 张志成

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 210035

摘要：垃圾发电厂中，水封装置对维持负压燃烧、隔离恶臭气体及保障蒸汽管道安全意义重大。但因面临烟气腐蚀、运行负荷动态变化等复杂工况，对水封装置提出耐腐蚀、密封可靠、动态调节等技术需求。可动态调节水封高度的多级水封装置，由进水、排水等系统组成，基于水封和自动控制原理工作，通过手动和自动调节机制，结合多种控制策略，可确保密封性能稳定可靠。

关键词：垃圾发电厂；多级水封装置；动态调节；水封高度；密封性能

1 垃圾发电厂水封装置的工况特性与技术需求

1.1 典型应用场景

在垃圾发电厂中，水封装置广泛应用于多个关键环节。在垃圾焚烧炉的烟气排放系统中，水封装置被设置在烟道与后续处理设备之间。其主要作用是防止空气倒灌进入焚烧炉，确保炉内维持合适的负压燃烧工况，这对于垃圾的充分燃烧以及控制燃烧过程中污染物的生成至关重要。若空气倒灌，会破坏炉内的燃烧平衡，导致燃烧不充分，增加二噁英等有害物质的产生，同时也会对锅炉的热效率产生影响。在垃圾储坑的通风系统中，水封装置用于隔离垃圾储坑与外界环境。垃圾在储坑中会散发大量恶臭气体，水封装置能够有效阻止这些气体外溢，避免对周边环境造成污染，保障厂区及周边居民的生活质量。在一些涉及高温、高压蒸汽管道的连接部位，水封装置也发挥着密封和安全保护的作用，防止蒸汽泄漏，确保管道系统的安全稳定运行。

1.2 工况特性分析

垃圾发电厂的水封装置面临着复杂多变的工况。首先，垃圾焚烧过程中产生的烟气成分复杂，含有大量的酸性气体（如氯化氢、二氧化硫等）、粉尘以及腐蚀性物质。这些物质随着烟气通过水封装置时，会对水封装置的材质造成腐蚀，缩短设备的使用寿命。而且，烟气的温度较高，一般在150°C-200°C之间，高温环境会加速材料的腐蚀和老化进程，同时对水封装置的密封性能提出更高要求，防止因热胀冷缩导致密封失效^[1]。其次，垃圾发电厂的运行负荷并非固定不变，而是会根据垃圾的供应量、电力需求等因素进行动态调整。运行负荷的变化会导致烟气流量、压力等参数发生波动，进而影响水封装置内的水位和水压。另外，垃圾储坑中的恶臭气体具有强烈的刺激性气味和腐蚀性，且气体的产生量会随着垃圾的堆积时间、温度等因素而变化。这就要求水封

装置在隔离气体的同时，能够适应气体压力的波动，保持良好的密封性能，防止气体泄漏。

1.3 技术需求

基于上述工况特性，垃圾发电厂对水封装置提出了以下技术需求。在材质方面，要求选用具有良好耐腐蚀性能的材料，如不锈钢、玻璃钢等，以确保水封装置在恶劣的腐蚀环境下能够长期稳定运行。同时，材料的耐高温性能也至关重要，要能够承受烟气的高温作用而不发生变形或损坏。在密封性能上，水封装置必须具备可靠的密封效果，能够有效阻止空气、气体或蒸汽的泄漏。这需要精确设计水封的结构和尺寸，合理确定水封高度和水位控制范围，以保证在不同工况下都能形成稳定的水封密封。为了适应垃圾发电厂运行负荷的动态变化，水封装置应具备动态调节功能。能够根据烟气流量、压力等参数的变化，实时调整水封高度或水压，确保密封性能始终满足要求。水封装置还应具备自动控制和监测功能，通过安装水位传感器、压力传感器等设备，实时监测水封装置的运行状态，并将数据传输至控制系统，实现远程监控和自动化操作。在维护方面，要求水封装置的结构设计合理，便于安装、检修和清洗。由于垃圾发电厂的环境较为恶劣，水封装置内部容易积累灰尘、污垢等杂质，定期的清洗和维护是保证其正常运行的关键。因此，设备应具备易于拆卸和组装的特点，方便工作人员进行维护操作。

2 可动态调节水封高度的多级水封装置结构设计

2.1 总体结构组成

可动态调节水封高度的多级水封装置主要由进水系统、多级水封罐体、排水系统、水位调节机构以及控制系统等部分组成。进水系统负责将清洁的水引入水封装置，通常包括进水管道、阀门和过滤器等设备，过滤器用于去除水中的杂质，防止堵塞管道和影响水封装置的

正常运行。多级水封罐体是整个装置的核心部分，它由多个串联的水封室组成。每个水封室之间通过特定的通道相连，形成多级水封结构。这种多级设计能够增强水封的密封效果，提高装置的可靠性^[2]。罐体一般采用圆柱形或方形结构，材质根据实际工况要求选用耐腐蚀、耐高温的材料。排水系统用于排出水封装置中多余的水，保持水位稳定。它包括排水管道和排水阀门，排水阀门可以根据水位控制信号自动开启或关闭，实现水位的自动调节。水位调节机构是实现水封高度动态调节的关键部件，它能够根据控制系统的指令，精确调整水封罐体内的水位。水位调节机构的形式多种多样，常见的有活塞式、浮球式和电动调节阀式等。控制系统是整个水封装置的“大脑”，它接收水位传感器、压力传感器等设备传来的信号，经过数据处理和分析后，向水位调节机构发出控制指令，实现对水封高度的动态调节。控制系统通常采用可编程逻辑控制器（PLC）或分布式控制系统（DCS），具有自动化程度高、控制精度高、可靠性好等优点。

2.2 核心调节机构

以电动调节阀式水位调节机构为例，它主要由电动调节阀、阀杆、阀芯和阀座等部分组成。电动调节阀安装在进水管道上，通过阀杆与阀芯相连。当控制系统发出调节信号时，电动调节阀根据信号的大小和方向，驱动阀杆上下移动，从而带动阀芯在阀座内做升降运动，改变阀门的开度。阀门的开度大小直接影响进入水封罐体的水量。当需要提高水封高度时，控制系统发出增大阀门开度的信号，更多的水进入水封罐体，水位上升；反之，当需要降低水封高度时，控制系统减小阀门开度，进入罐体的水量减少，水位下降。为了确保水位调节的准确性和稳定性，电动调节阀式水位调节机构还配备了位置反馈装置。位置反馈装置能够实时监测阀芯的位置，并将位置信号反馈给控制系统。控制系统根据反馈信号与设定值的偏差，及时调整电动调节阀的动作，实现水位的闭环控制。

2.3 工作原理

可动态调节水封高度的多级水封装置的工作原理基于水封密封原理和自动控制原理。在正常运行时，清洁的水通过进水系统进入多级水封罐体，在每个水封室中形成一定高度的水封。当烟气或气体通过水封装置时，需要克服水封产生的压力才能继续前行，从而实现了密封效果。水位传感器实时监测水封罐体内的水位，并将水位信号传输至控制系统。控制系统根据预设的水封高度值与实际水位值进行比较，当实际水位偏离预设值

时，控制系统根据偏差的大小和方向，向水位调节机构发出控制指令。例如，当实际水位低于预设值时，控制系统发出增大进水量的指令，电动调节阀开大，更多的水进入罐体，水位上升；当实际水位高于预设值时，控制系统发出减小进水量或增大排水量的指令，电动调节阀关小或排水阀门打开，水位下降。通过这种动态调节方式，始终保持水封罐体内的水位在设定范围内，确保水封装置的密封性能稳定可靠^[3]。

3 垃圾发电厂可动态调节机制与控制策略

3.1 水封高度与密封压力的关系

水封高度是影响水封装置密封压力的关键因素之一。在实际应用中，为了保证水封装置能够有效阻止空气、气体或蒸汽的泄漏，密封压力必须大于被密封介质的压力。例如，在垃圾焚烧炉的烟气排放系统中，烟道内的压力会随着运行工况的变化而波动。当烟道内压力升高时，需要相应增加水封高度，以提高密封压力，确保水封装置不被冲破；反之，当烟道内压力降低时，可以适当降低水封高度，以减少水的消耗和能源浪费。

3.2 调节机制

可动态调节水封高度的多级水封装置的调节机制主要包括手动调节和自动调节两种方式。手动调节方式适用于一些对调节精度要求不高或作为备用调节手段的场合。操作人员可以通过观察水位计或压力表的读数，手动操作水位调节机构的阀门，调整水封高度。自动调节方式是垃圾发电厂水封装置的主要调节方式。它通过水位传感器、压力传感器等设备实时监测水封装置的运行参数，并将信号传输至控制系统。控制系统根据预设的控制策略，自动计算出水封高度的调节量，并向水位调节机构发出控制指令，实现水封高度的自动调节。自动调节机制具有响应速度快、调节精度高、能够适应复杂工况变化等优点。在垃圾发电厂运行过程中，当运行负荷发生变化导致烟气流量、压力等参数波动时，自动调节机制能够迅速做出反应，及时调整水封高度，确保水封装置始终保持良好的密封性能。

3.3 控制策略

3.3.1 PID闭环控制

PID闭环控制是一种经典且广泛应用的控制策略，它通过对系统偏差的比例（P）、积分（I）和微分（D）进行综合运算，得到控制量，实现对被控对象的精确控制。在垃圾发电厂水封装置的控制中，将预设的水封高度作为设定值，实际水位作为反馈值，两者的偏差作为PID控制器的输入。比例环节（P）的作用是根据偏差的大小成比例地调整控制量，偏差越大，控制量的调整幅

度越大，能够快速减小偏差，但会导致系统出现超调现象。积分环节（I）的作用是对偏差进行积分运算，消除系统的稳态误差，提高控制精度，但积分作用过强会使系统响应变慢，甚至产生振荡。微分环节（D）的作用是根据偏差的变化率进行调节，能够提前预测偏差的变化趋势，在偏差还未变大之前就进行调整，从而加快系统的响应速度，减少超调量，提高系统的稳定性。通过合理调整PID控制器的比例系数K_p、积分系数K_i和微分系数K_d，可以使水封装置的水位快速、准确地跟踪设定值，实现稳定的闭环控制。

3.3.2 自适应调节

由于垃圾发电厂的工况复杂多变，水封装置的运行参数会受到多种因素的影响，如垃圾成分的变化、环境温度的波动等。传统的PID控制策略在面对这些不确定因素时，可能会出现控制性能下降的情况。自适应调节策略能够根据系统的运行状态和环境变化，自动调整控制参数，以适应不同的工况要求。自适应调节策略通常基于模型参考自适应控制或智能控制算法。模型参考自适应控制通过建立一个参考模型，将实际系统的输出与参考模型的输出进行比较，根据比较结果调整控制参数，使实际系统的性能逐渐逼近参考模型。智能控制算法如模糊控制、神经网络控制等，能够模拟人类的思维和决策过程，根据系统的输入输出数据自动学习和优化控制策略，具有较强的自适应能力和鲁棒性。在水封装置的控制中，采用自适应调节策略可以根据烟气流量、压力等参数的变化，自动调整PID控制器的参数，使控制系统始终保持良好的控制性能，确保水封高度稳定在设定范围内。

3.3.3 故障保护

为了确保垃圾发电厂水封装置的安全可靠运行，必须设置完善的故障保护机制。故障保护主要包括水位异常保护、压力异常保护和设备故障保护等方面。水位异常

保护是指当水位超过设定的上限或下限值时，控制系统立即发出报警信号，并采取相应的保护措施。例如，当水位过高时，自动打开排水阀门，降低水位；当水位过低时，自动关闭进水阀门，防止空气进入系统，同时启动备用水源，确保水封装置的密封性能^[4]。压力异常保护是针对水封装置所承受的压力进行监测和保护。当压力超过设定值时，控制系统会判断可能出现水封被冲破或系统堵塞等故障，立即采取措施降低压力，如调整通风系统的风量或打开安全阀等。设备故障保护主要针对水位传感器、压力传感器、电动调节阀等关键设备。当这些设备出现故障时，控制系统能够及时检测到故障信号，并切换至备用设备或采取手动控制方式，确保水封装置的正常运行。同时，记录故障信息，便于维修人员及时排查和修复故障。

结束语

垃圾发电厂可动态调节水封高度的多级水封装置，是应对复杂工况、保障生产安全与环保的关键设备。其结构设计合理，调节机制灵活，控制策略多样，能依据实际工况精准调整水封高度，有效阻止气体泄漏。随着技术发展，未来需持续优化装置性能，提升其智能化水平，以更好地适应垃圾发电行业不断变化的需求，推动行业绿色、稳定发展。

参考文献

- [1]周姣,戴佳栩,明嵬,等.垃圾发电厂可动态调节水封高度的多级水封装置[J].工程建设与设计,2025(7):43-46.
- [2]汤侯周.关于生活垃圾焚烧发电项目环境影响中关注问题简要分析[J].农村实用技术,2021,(04):165-166.
- [3]李海青,刘欣艳,孙宇,赵月龙,李剑颖.垃圾焚烧厂恶臭污染物分布特征及健康风险评价[J].环境污染与防治,2020,42(09):1158-1162.
- [4]王宗胜.自动燃烧控制系统在某垃圾焚烧发电项目中的应用探讨[J].四川环境,2022,41(5):104-111.