

火电机组锅炉及脱硫脱硝系统动态特性分析

李明雷

河北省廊坊市广阳区北旺乡大枣林村廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

摘要：火电机组锅炉及脱硫脱硝系统的动态特性分析是确保电力生产高效、环保运行的关键。本文深入探讨锅炉系统的组成、工作原理以及脱硫脱硝系统的协同作用，分析联合运行中的动态响应特性，并提出联合控制系统的设计与优化策略。通过实时监测、数据分析、控制策略优化等技术手段，实现锅炉与脱硫脱硝系统的协同优化，提升电力生产的整体效率与环保性能。这一研究对于促进火电机组绿色、可持续发展具有重要意义。

关键词：火电机组锅炉；脱硫脱硝系统；动态特性

1 火电机组锅炉及脱硫脱硝系统在电力行业中的重要性

在电力行业中，火电机组锅炉及其配套的脱硫脱硝系统扮演着举足轻重的角色。它们不仅是电力生产的核心装备，更是实现绿色、环保、可持续发展战略的关键环节。火电机组锅炉是火力发电厂的“心脏”，通过燃烧化石燃料（如煤、油、气等）产生高温高压蒸汽，进而驱动汽轮机发电。这一过程将化学能转化为热能，再转化为机械能，最终转化为电能，为现代社会提供了源源不断的动力，锅炉的安全、高效运行对于保障电力供应、促进经济发展具有重要意义。火电机组锅炉在燃烧过程中会产生大量的硫氧化物（ SO_x ）和氮氧化物（ NO_x ）等大气污染物，这些污染物对环境 and 人体健康造成严重影响。为了响应国家环保政策，降低污染排放，实现可持续发展，脱硫脱硝系统应运而生。脱硫脱硝系统通过一系列化学反应和物理过程，将锅炉烟气中的 SO_x 和 NO_x 去除，减少污染物的排放。脱硫系统主要利用石灰石-石膏湿法脱硫技术，将烟气中的 SO_x 转化为硫酸钙，实现脱硫。脱硝系统则采用选择性催化还原（SCR）技术，在催化剂的作用下，将 NO_x 转化为氮气和水，达到脱硝的目的。脱硫脱硝系统的运行不仅有效降低了火电厂的污染物排放，改善环境质量，还提高火电机组的环保性能和市场竞争力。随着环保法规的不断严格和人们环保意识的提高，脱硫脱硝系统在电力行业中的重要性日益凸显^[1]。火电机组锅炉及脱硫脱硝系统是电力行业的重要组成部分，它们的安全、高效、环保运行对于保障电力供应、促进经济发展、保护生态环境具有不可替代的作用。

2 火电机组锅炉系统动态特性分析

火电机组锅炉系统作为电力生产的核心组成部分，其动态特性对于整个电力系统的稳定运行具有至关重要的作用。了解并深入分析火电机组锅炉系统的动态特

性，对于提高锅炉运行效率、优化控制策略、保障电力供应具有重要意义。

2.1 火电机组锅炉组成

火电机组锅炉主要由炉膛、燃烧器、受热面、汽包、过热器、再热器、省煤器、空气预热器等部分组成。炉膛是燃烧燃料的地方，燃烧器则负责将燃料与空气混合后送入炉膛进行燃烧。受热面是锅炉中吸收热量的主要部件，包括水冷壁、过热器、再热器等。汽包则是锅炉的储水容器，通过其内部的汽水分离装置将饱和蒸汽送入过热器进行加热。过热器和再热器用于提高蒸汽的温度和压力，以满足汽轮机的需要。省煤器和空气预热器则用于回收烟气中的热量，提高锅炉的热效率。火电机组锅炉的燃烧过程是一个复杂的物理化学过程，涉及燃料的燃烧、热量的传递、水的蒸发和过热等多个环节。在这个过程中，锅炉的各个部分相互协作，共同完成将化学能转化为热能的任务。

2.2 锅炉系统的动态特性分析

锅炉系统的动态特性主要体现在其对于外界扰动和内部参数变化的响应上。这些扰动和变化可能来自于燃料供应的不稳定、负荷的波动、环境条件的变化等多个方面。燃料供应的不稳定会直接影响锅炉的燃烧过程，当燃料供应不足时，炉膛温度会下降，燃烧不充分，导致烟气中的未燃尽物质增多，同时也会影响受热面的吸热效果。相反，当燃料供应过多时，炉膛温度会过高，可能导致受热面超温、结渣等问题。负荷的波动也会对锅炉系统的动态特性产生影响，当负荷增加时，锅炉需要提供更多的蒸汽来满足汽轮机的需要，这会导致炉膛温度上升、蒸发量增加。如果负荷增加过快或过大，可能会导致锅炉的汽水系统失衡，出现汽水共腾、水位波动等问题。环境条件的变化也会对锅炉系统的动态特性产生影响。例如，环境温度的变化会影响锅炉的散热效

果；大气压力的变化会影响烟气的排放；水质的变化会影响锅炉的汽水品质等。针对这些扰动和变化，锅炉系统需要具备一定的调节能力和适应能力。例如，通过调整燃烧器的燃烧参数来控制炉膛温度；通过调整给水量来控制汽包水位；通过调整过热器和再热器的蒸汽流量来控制蒸汽的温度和压力等。锅炉系统还需要具备一定的稳定性和鲁棒性，稳定性是指锅炉系统在外界扰动下能够保持其输出状态不变的能力；鲁棒性则是指锅炉系统对于内部参数变化或模型误差的容忍能力。只有具备这些特性，锅炉系统才能在实际运行中保持良好的性能^[2]。

2.3 锅炉控制策略与调节特性

为了实现锅炉系统的稳定运行和优化控制，需要采取合适的控制策略和调节方法。常见的锅炉控制策略包括基于模型的预测控制、模糊控制、神经网络控制等。这些控制策略可以根据锅炉系统的实际运行情况和目标要求来选择合适的控制算法和参数设置。在调节方面，锅炉系统通常采用分级调节和自动调节相结合的方式。分级调节是根据锅炉负荷和燃料供应情况来设定不同的燃烧参数和给水参数；自动调节则是通过自动调节装置来实现对锅炉参数的实时调整和控制。为了提高锅炉系统的调节精度和响应速度，还需要采用一些先进的调节技术和手段。

3 火电机组脱硫系统动态特性分析

3.1 脱硫系统工作原理及组成

火电机组脱硫系统的主要目的是减少燃烧过程中产生的二氧化硫（ SO_2 ）排放，以达到环保法规的要求。其工作原理基于化学反应，通常使用石灰石-石膏湿法脱硫技术。这一技术通过向烟气中喷入含有石灰石（ CaCO_3 ）的浆液，使 SO_2 与浆液中的石灰石发生反应，生成硫酸钙（ CaSO_4 ）和二氧化碳（ CO_2 ）。脱硫系统主要由吸收塔、石灰石浆液制备系统、石膏脱水系统、烟气再热系统（GGH）、废水处理系统以及控制系统等组成。其中，吸收塔是脱硫系统的核心设备，负责完成 SO_2 的吸收和转化过程。石灰石浆液制备系统负责制备合格的脱硫剂，为吸收塔提供源源不断的反应物。石膏脱水系统则将反应生成的硫酸钙进行脱水处理，形成固体废弃物，以便于后续处理或利用。烟气再热系统则用于将脱硫后的烟气加热到适宜的温度，以避免在排放过程中产生“白烟”现象。

3.2 脱硫吸收塔系统的动态特性

脱硫吸收塔系统的动态特性主要体现在其对烟气流量、 SO_2 浓度、浆液浓度、浆液pH值等参数的响应上。这些参数的变化会直接影响脱硫效率和系统运行的稳定

性。烟气流量和 SO_2 浓度的变化会直接影响吸收塔内化学反应的速率和程度，当烟气流量增大或 SO_2 浓度升高时，需要增加浆液喷入量以提高脱硫效率。过高的浆液喷入量会导致吸收塔内液位升高，增加浆液循环泵的能耗和磨损，甚至可能引发浆液溢出等安全问题。浆液浓度和pH值的变化也会影响脱硫效率和系统运行的稳定性，浆液浓度过高或过低都会影响其与 SO_2 的反应速率和程度；而pH值的波动则会影响石灰石的溶解速率和硫酸钙的生成速率，进而影响脱硫效率和石膏品质。为了应对这些参数的变化，脱硫吸收塔系统需要具备快速响应和自动调节的能力。通过实时监测烟气流量、 SO_2 浓度、浆液浓度、浆液pH值等参数，并根据这些参数的变化情况自动调整浆液喷入量、浆液浓度、pH值等控制参数，以保持脱硫效率和系统运行的稳定性。脱硫吸收塔系统还需要考虑与其他系统的协调运行，例如，在机组负荷变化时，需要根据负荷变化情况调整脱硫系统的运行参数；在石灰石浆液制备系统出现故障时，需要及时切换备用系统或调整运行参数以确保脱硫系统的正常运行。

3.3 脱硝系统在火电机组中的作用与特点

脱硝系统主要用于减少火电机组燃烧过程中产生的氮氧化物（ NO_x ）排放。 NO_x 是主要的空气污染物之一，对环境和人体健康造成严重影响。脱硝系统通过向烟气中喷入还原剂（如氨水、尿素等），将 NO_x 还原为氮气和蒸汽，从而降低 NO_x 的排放浓度。脱硝系统具有以下特点：首先，脱硝效率较高，通常可以达到80%以上；其次，对机组负荷变化具有较强的适应性，可以根据负荷变化情况自动调整喷氨量；再次，脱硝系统通常与脱硫系统一起使用，形成一体化的环保设施；最后，脱硝系统的投资和运行成本较高，但随着环保法规的日益严格和人们环保意识的提高，其重要性也日益凸显。在火电机组中，脱硝系统的作用不仅在于降低 NO_x 的排放浓度，更在于提高机组的环保性能和市场竞争力。随着国家对环保要求的不断提高和电力市场的不断竞争，脱硝系统已经成为火电机组不可或缺的重要组成部分^[3]。

4 火电机组锅炉及脱硫脱硝系统的联合动态特性分析

4.1 锅炉与脱硫脱硝系统的协同作用

火电机组锅炉与脱硫脱硝系统作为电力生产中的两大关键系统，它们之间的协同作用对于提高整个电厂的运行效率和环保性能至关重要。锅炉作为能量转换的核心，通过燃烧化石燃料产生蒸汽，驱动汽轮机发电；而脱硫脱硝系统则负责减少燃烧过程中产生的二氧化硫（ SO_2 ）和氮氧化物（ NO_x ）的排放，以达到环保法规的要求。在协同作用方面，锅炉和脱硫脱硝系统需要密切

配合，确保在保障电力供应的同时，实现污染物的有效控制和减排。锅炉的燃烧稳定性和燃烧效率直接影响脱硫脱硝系统的运行效果。稳定的燃烧可以确保烟气中污染物的浓度和流量稳定，有利于脱硫脱硝系统的高效运行。锅炉的燃烧效率也影响着燃料的消耗量和污染物的生成量，从而间接影响脱硫脱硝系统的处理负荷和处理效果。脱硫脱硝系统的运行状态也会反过来影响锅炉的运行。脱硫脱硝系统的运行还会产生一定的能耗和副产品（如石膏等），这些都会对电厂的经济性和环保性产生影响。

4.2 联合运行中的动态响应特性

火电机组锅炉与脱硫脱硝系统的联合运行具有复杂的动态响应特性。这些特性主要体现在系统对外部扰动和内部参数变化的响应上。外部扰动如负荷变化、燃料供应波动等都会对锅炉和脱硫脱硝系统的运行产生影响，负荷变化会导致锅炉蒸汽产量的变化，进而影响脱硫脱硝系统的处理负荷和处理效果。燃料供应波动则会影响锅炉的燃烧稳定性和燃烧效率，从而间接影响脱硫脱硝系统的运行。内部参数变化如烟气温度、压力、流量、污染物浓度等也会对系统的运行产生影响，这些参数的变化会导致脱硫脱硝系统处理能力的变化，进而影响污染物的排放浓度和排放量。这些参数的变化也会反过来影响锅炉的运行状态，如燃烧稳定性、蒸发量等^[4]。在联合运行中，锅炉和脱硫脱硝系统需要具备良好的动态响应能力，能够快速适应外部扰动和内部参数变化的影响。这要求系统具备高度的自动化和智能化水平，能够实时监测各种参数的变化情况，并根据这些变化自动调整控制策略和运行参数，以确保系统的稳定、高效运行。

4.3 联合控制系统设计与优化

为了实现火电机组锅炉与脱硫脱硝系统的联合优化

运行，需要设计一套先进的联合控制系统。实时监测功能：能够实时监测锅炉和脱硫脱硝系统的各种运行参数和状态信息，包括烟气温度、压力、流量、污染物浓度等。数据分析功能：能够对实时监测到的数据进行处理和分析，提取有用的信息用于系统控制和优化。控制策略优化功能：能够根据实时监测到的数据和系统运行状态，自动调整控制策略和运行参数，实现系统的优化运行。故障诊断与预警功能：能够及时发现并诊断系统故障或异常情况，并给出相应的预警信息或处理建议。在联合控制系统的设计过程中，需要充分考虑锅炉与脱硫脱硝系统之间的协同作用和动态响应特性。通过优化控制策略、提高自动化和智能化水平等方式，实现系统的协同优化和高效运行。

结束语

随着环保法规的日益严格和电力市场的不断竞争，火电机组锅炉及脱硫脱硝系统的动态特性分析显得尤为重要。通过深入研究与技术创新，能够更好地把握系统运行的规律，实现电力生产的绿色、高效运行。展望未来，将继续探索优化策略，推动火电机组向更加环保、智能的方向发展，为构建清洁、低碳的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1]王刚.李晓东.火电机组锅炉动态特性建模及优化策略研究[J].动力工程学报.2022.32(5): 413-420.
- [2]张伟.刘红.脱硫脱硝系统动态特性分析与控制优化研究[J].热力发电.2023.44(2): 135-142.
- [3]李明.黄华.火电机组锅炉与脱硫脱硝系统协同动态特性分析[J].能源与环境.2021.33(6): 78-84.
- [4]刘慧.赵鹏.基于动态特性分析的火电机组锅炉及脱硫脱硝系统优化研究[J].电力工程技术.2022.41(1): 103-108.