

循环流化床锅炉 SNCR 脱硝尿素热解技术优化

DOI : 10. 12238/j pm. v5i 12. 7458

方绪宽

四川白马循环流化床示范电站有限责任公司

[摘要] 循环流化床锅炉作为一种清洁高效的锅炉类型，在我国得到了广泛的应用。然而，其氮氧化物 (NO_x) 排放问题仍亟待解决。尿素热解作为一种有效的 SNCR 脱硝技术，在降低循环流化床锅炉 NO_x 排放方面具有显著优势。基于此，本文将对尿素热解技术在循环流化床锅炉上的优化应用进行探讨。

[关键词] 循环流化床；氮氧化物；脱硝；尿素热解

Optimization of SNCR denitration urea pyrolysis technology for circulating fluidized bed boiler

Fang Xukuan

Sichuan Baima Circulating Fluidized Bed Demonstration Power Station Co., Ltd.

[Abstract] Circulating fluidized bed boilers, as a clean and efficient type of boiler, have been widely used in China. However, the issue of nitrogen oxide (NO_x) emissions still needs to be urgently addressed. Urea pyrolysis, as an effective SNCR denitrification technology, has significant advantages in reducing NO_x emissions from circulating fluidized bed boilers. Based on this, this article will explore the optimized application of urea pyrolysis technology in circulating fluidized bed boilers.

[Key words] circulating fluidized bed; Nitrogen oxides; Denitrification; Urea pyrolysis

1. 尿素热解系统概述

尿素热解系统是 SNCR 脱硝技术的关键部分，其主要作用是将尿素分解为氨，以实现与烟气中的氮氧化物发生还原反应。尿素热解系统的优化旨在提高脱硝效率，降低运行成本，

并确保设备的安全稳定运行。

尿素热解制氨系统主要由尿素颗粒储存和溶解系统、尿素溶液储存和输送系统、尿素热解系统、尿素溶液喷射系统等组成，工艺设备示意图如图 1 所示。

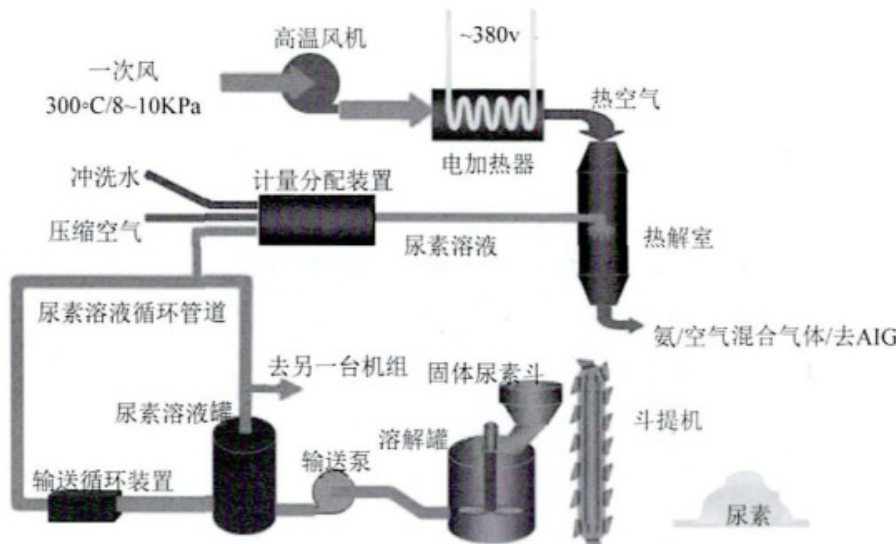


图 1 尿素热解工艺设备示意图

2 尿素热解工艺流程详述

尿素热解工艺是将尿素在高温条件下分解为氨气和二氧化碳的过程，通常应用于锅炉烟气脱硝技术中，通过氨气与氮氧化物的还原反应，降低烟气中氮氧化物的排放。尿素热解工艺流程包括尿素储存与输送系统、热解器系统、氨气喷射系统、烟气循环系统以及脱硝效果监测与控制系统。以下将详细介绍各个子系统的作用与运行原理。

2.1 尿素储存与输送系统

尿素储存与输送系统是整个尿素热解工艺流程的起点。首先，尿素原料以颗粒状的形式存储在尿素储存罐中，这些储存罐通常设计为密封结构，以防止尿素与空气中的水分接触，避免颗粒结块而影响输送效果。尿素储存罐通常配备温度和湿度控制系统，以确保尿素在最佳环境条件下储存。

接下来，尿素通过输送泵或螺旋输送机输送到热解器中。在输送过程中，均匀的尿素颗粒分布是至关重要的，特别是在尿素进入热解器之前，必须确保尿素颗粒的流动性良好，避免颗粒间的粘连或堵塞。这不仅影响尿素的输送效率，也会直接影响到后续的热解反应效果。因此，尿素输送设备往往还配备了振动筛等装置，以确保尿素颗粒的均匀性。

2.2 热解器系统

热解器系统是尿素热解工艺的核心部分。尿素颗粒在高温环境下进入热解器后，迅速被加热并与热解器内的高温催化剂接触，发生热解反应。热解器的设计一般采用双层结构，外层为保温层，内层为耐高温的反应腔，确保在高温下设备的稳定运行。在热解过程中，尿素被分解为氨气和二氧化碳，反应的效率与热解器的温度控制密切相关。热解器内部的温度通常保持在700°C至800°C之间，这一温度范围内的反应速度最快，产氨率最高。为了确保反应充分进行，热解器出口通常设有氨气分离器，用于有效分离生成的氨气和二氧化碳。这些氨气随后被输送到后续的氨气喷射系统。

2.3 氨气喷射系统

氨气喷射系统是将生成的氨气注入到锅炉烟气中的关键环节。氨气通过喷射装置与烟气中的氮氧化物发生反应，生成无害的氮气和水，从而达到脱硝的效果。喷射系统的设计需要确保氨气在烟气中的均匀分布，这是决定脱硝效率的关键因素之一。

喷射系统通常包括多个喷枪，这些喷枪根据锅炉烟气的流动情况进行布置，确保氨气能够覆盖整个烟道。同时，控制阀门负责调节氨气的流量，以适应不同的锅炉工况和烟气成分。氨气流量的控制不仅影响脱硝效果，也与氨气的过量喷射引发的氨逃逸问题相关，因此，喷射系统的精确控制至关重要。

2.4 烟气循环系统

烟气循环系统通过将部分锅炉烟气引入尿素热解系统，形成内循环，进一步提高系统的热效率和脱硝效果。烟气循环系统的设计包括了烟道、风机、旋风分离器等关键设备，其主要功能是在保证烟气中二氧化硫和其他杂质含量不过高的前提下，将高温烟气重新引入热解器中，从而为尿素的热解反应提供额外的热量支持。

通过烟气循环系统，可以优化尿素热解的能量利用率，减少外部能源的消耗。同时，调整烟气的循环量也能够调节脱硝反应

的强度，降低氮氧化物的排放浓度。烟气循环系统还需与热解器系统进行联动控制，以确保整个系统的稳定性和高效运行。

2.5 脱硝效果监测与控制系统

脱硝效果监测与控制系统是尿素热解工艺流程中的智能化部分，负责实时监测和调节系统的运行状态。通过安装在锅炉出口处的氮氧化物分析仪，系统能够精准检测烟气中的氮氧化物浓度，并根据数据反馈自动调节尿素热解系统的各项参数，如尿素的供给量、热解温度、氨气喷射流量等。

为了实现最佳的脱硝效果，监测与控制系统还集成了流量计、温度计、压力计等多种传感器，通过多点监测和数据分析，系统能够提前预警并调整，避免反应不充分或氨逃逸等问题的发生。通过不断优化控制逻辑，整个尿素热解系统能够在各种复杂工况下保持高效的脱硝性能。

3. 尿素热解效率主要影响因素

尿素热解效率受到多个因素的影响，这些因素的变化会直接影响到氨气的生成速率和烟气脱硝效果。因此，在设计和操作尿素热解系统时，必须考虑这些因素的最佳组合，以确保系统的高效稳定运行。以下是影响尿素热解效率的主要因素的分析。

3.1 尿素热解温度

温度是尿素热解过程中的一个关键因素。一般来说，随着温度的升高，尿素的热解反应速率加快，氨气的生成量也会增加，从而提高脱硝效果。根据热解反应的动力学分析，尿素在700°C至800°C的温度范围内反应最为迅速，这是工业上常用的热解温度范围。然而，过高的热解温度会带来一些负面影响，例如氨的氧化反应加剧，生成不需要的氮氧化物，导致脱硝效率下降。因此，尿素热解温度必须在合理范围内进行控制，以在保证氨生成速率的同时，防止氨的过度氧化。

此外，温度的波动也可能影响尿素热解的稳定性。在实际操作中，通过使用高精度的温度控制系统，确保热解器内部温度的均匀分布，可以有效提高热解效率并减少副产物的生成。这也意味着在设计热解器时，保温材料的选择和温度调控策略都是非常重要的因素。

3.2 尿素溶液浓度

尿素溶液的浓度直接决定了氨气的生成量以及脱硝反应的效率。在相同的热解条件下，较高浓度的尿素溶液可以提供更多的尿素分子，进而生成更多的氨气，提高脱硝效果。然而，尿素溶液的浓度并非越高越好，过高的浓度会引发一系列问题。

首先，高浓度的尿素溶液会增加热解系统和喷射系统的腐蚀风险。尿素溶液中的杂质在高温条件下容易沉积在设备表面，导致喷嘴堵塞或设备损坏。此外，溶液的高浓度可能使传质过程变得更加困难，降低反应的整体效率。因此，在实际应用中，尿素溶液浓度的选择需要在氨气生成量和设备稳定性之间找到平衡点，以确保系统的长期可靠运行。

3.3 喷射氨气流量

氨气的喷射流量是决定脱硝效果的又一关键参数。在尿素热解过程中，生成的氨气通过喷射系统注入锅炉烟气，与烟气中的氮氧化物发生还原反应，生成无害的氮气和水。为了提高脱硝效率，适当增加氨气的喷射流量是必要的。然而，喷射流量的增加必须谨慎处理，过大的氨气流量可能导致氨逃逸现象，

即部分未反应的氨气直接排放到大气中，形成二次污染问题。

因此，氨气流量的调节需要根据锅炉烟气的流量和成分进行精准控制。在不同的工况下，需要对喷射系统进行灵活调整，确保氨气能够与氮氧化物充分反应，避免不必要的资源浪费和环境污染问题。同时，使用精密的控制阀门和传感器，可以有效减少氨逃逸现象，提高脱硝效率。

4. 尿素热解技术优化措施

为了提高尿素热解技术的效率并进一步提升脱硝效果，需对现有的技术工艺进行优化。这些优化措施包括提高热解温度控制精度、调整尿素溶液浓度、优化喷射氨气流量、高性能催化剂的选择与应用、烟气循环量调节策略的优化，以及加强脱硝效果监测与控制系统建设。以下将详细介绍这些优化措施。

4.1 提高尿素热解温度控制精度

热解温度是影响尿素热解效率的关键因素之一。在实际操作中，温度的波动可能导致氨气生成不稳定，进而影响脱硝效果。为此，提高尿素热解温度的控制精度至关重要。通过采用先进的控制技术，如比例-积分-微分 (PID) 控制或自适应控制算法，可以有效提高热解器内部的温度控制精度。这种控制方法能够根据实时的温度监测数据，自动调节加热系统的功率输出，从而将温度波动控制在最小范围内。

此外，还可以使用更加灵敏的温度传感器和监控系统，对热解器内的温度进行多点监测，确保温度均匀分布。这些措施能够有效减少局部过热或过冷现象，避免因温度不均导致的反应不完全或氨氧化问题，从而提高脱硝效率。

4.2 尿素溶液浓度调节

尿素溶液的浓度直接影响氨气的生成量以及喷射系统的工作效率。为了优化尿素溶液浓度，可以根据锅炉工况和氮氧化物的浓度进行动态调整。例如，当锅炉负荷较高或氮氧化物浓度较高时，可以适当增加尿素溶液的浓度，以提高氨气的生成量和脱硝效果。而在锅炉负荷较低或脱硝需求较小时，可以适当降低尿素溶液浓度，以减少设备的腐蚀风险和运行成本。

分段式调节策略是一种有效的方法，通过对不同工况下的尿素溶液浓度进行分阶段调整，可以实现脱硝效果与设备维护成本之间的平衡。这种动态调节方法需要依赖于实时监测数据和先进的控制算法，确保尿素溶液浓度的调整既能够满足脱硝需求，又不会对设备造成过多负担。

4.3 喷射氨气流量优化调节

喷射氨气流量是尿素热解系统中影响脱硝效率的关键参数之一。通过优化氨气的喷射流量，可以确保氨气与烟气中的氮氧化物充分反应，最大化脱硝效果。然而，氨气的流量调节需要非常精准，以避免氨逃逸现象的发生，即未反应的氨气直接排放到大气中，造成二次污染。

为了实现喷射氨气流量的最佳调节，可以采用智能控制系统，如基于神经网络的自适应控制方法。该系统能够根据实时的锅炉烟气条件和脱硝需求，自动调整氨气的喷射量，确保氨气能够与氮氧化物完全反应。此外，喷射系统的定期维护与校准也非常重要，确保喷射装置在高效状态下运行，减少因喷嘴堵塞或喷射不均匀造成的脱硝效率下降问题。

4.4 高性能催化剂的选择与应用

催化剂是尿素热解过程中加速反应的重要介质。选择高性

能的催化剂可以显著提高尿素的热解速率，增加氨气的生成量，从而提高整体的脱硝效果。在选择催化剂时，需考虑其活性、耐高温性、耐磨损性和抗毒性等多个因素。此外，催化剂的再生能力和使用寿命也是需要重点考虑的内容。

为了保持催化剂的高效性能，必须定期对其进行清洗和更换，防止催化剂表面被杂质覆盖而导致活性下降。在实际应用中，还可以根据不同的工况需求，选用不同类型的催化剂，以实现脱硝过程的最优化。通过合理选择和应用高性能催化剂，可以显著提升尿素热解系统的整体效率。

4.5 烟气循环量调节策略的优化

烟气循环量的调节对尿素热解反应和脱硝效率有着直接的影响。在脱硝过程中，合理的烟气循环量调节策略可以显著提高系统的整体效率。通常情况下，增加烟气循环量可以提高热解反应器内的温度均匀性，减少外部加热的需求，从而提高系统的能效。然而，过高的烟气循环量可能导致烟气中杂质的累积，进而影响反应器的运行效果。

优化烟气循环量的调节策略，需要考虑多个因素，包括锅炉的运行工况、烟气的成分以及设备的设计参数。通过采用分段式调节策略，可以根据实际需求对烟气循环量进行动态调整，确保脱硝效果的同时，减少系统的能耗和设备磨损。此外，定期维护和清理烟气循环系统中的关键设备，也能够有效延长其使用寿命。

4.6 加强脱硝效果监测与控制系统建设

为了确保尿素热解脱硝系统在各种工况下都能保持高效运行，需要建立一套完善的监测与控制系统。该系统应包括实时的氮氧化物浓度监测、尿素热解器内温度和压力监控，以及氨气喷射流量的智能调节等功能。通过将这些数据集成到统一的控制平台中，操作人员可以实时调整系统参数，确保脱硝过程的稳定性和高效性。

此外，先进的监测与控制系统还应具备故障预警和自动修正功能，当系统出现异常情况时，能够及时发出警报并采取相应的调整措施。这种智能化的控制系统不仅可以提高脱硝效率，还能够减少操作人员的工作量，提升整个系统的安全性和可靠性。

结语：

综上所述，尿素热解技术在烟气脱硝领域具有广泛的应用前景。通过对尿素热解温度、尿素溶液浓度、喷射氨气流量、催化剂以及烟气循环量等影响因素的深入研究，可以有效提高脱硝效果，降低氮氧化物排放。同时，优化控制逻辑和监测系统，可以实现脱硝效果的最佳化。未来，随着环保法规的日益严格，尿素热解技术在烟气脱硝领域的应用将得到进一步推广。为了满足日益增长的市场需求，广大科研人员和工程技术人员应继续深入研究尿素热解技术的优化措施，提高脱硝效果，降低运行成本，为我国烟气脱硝领域的发展贡献力量。

[参考文献]

[1]陆春美,程世庆,王永征.循环流化床锅炉设备与运行[M].北京:中国电力出版社,2008.

[2]张国光,蒋翠荣,姜英,等.固体不完全燃烧热损失对锅炉热平衡效率的影响[J].煤质技术,2008(5):50-53.