低氮燃烧技术在垃圾焚烧锅炉领域中的成功应用

张方清
重庆三峰卡万塔环境产业有限公司　重庆　400084

摘　要：低氮燃烧技术（VLN）是通过空气分级（EAS）与烟气再循环（IGR）而实现的。针对垃圾焚烧锅NOx的减排需求，在900 ~ 1100摄氏度的温度范围内喷入氨水或尿素，实现无催化剂条件下的NOx减排，降低烟气中一氧化氮的含量。通过低氮燃烧技术，既可以实现NOx的减排，又可以大幅度降低操作时氨水或尿素的消耗量，降低废弃物发电厂的运行成本。本文阐述了NOx的生成途径，并对垃圾焚烧锅炉中低氮燃烧技术进行了分析，探讨了低氮燃烧控制技术的应用。

关键词：低氮燃烧技术；垃圾焚烧锅炉；领域；应用

为降低运行成本，我国现有城市垃圾焚烧发电厂均未安装专用脱硝设备，且烟气中一氧化氮的排放量，通常为300–400 mg/m^3（标态），符合“01标准”要求。目前，如果满足“14标准”中300 mg/m^3（标态）的要求，我国已建成或在建的生活垃圾焚烧厂，需配备专用脱硝设备或配套专用脱硝设备结合低氮量燃烧技术。

一、NOx的生成路径

一氧化氮的产生有燃料型一氧化氮、热力型一氧化氮与快速型一氧化氮三种。其中，热力型NOx主要通过空气中的氮气在较高的温度下发生氧化反应，当燃烧温度在1350摄氏度以下时，基本不会生成热力型NOx，当温度达到1500摄氏度以上时，则热力型NOx达到15%—25%。而快速型NOx主要来源于碳氢离子团与空气中的氮气在燃烧时发生化学反应，一般比例小于5%。而燃料型NOx是指在燃烧过程中氮化合物经高温裂解后，再被氧化生成的NOx，占NOx总量的绝大部分。在城市垃圾焚烧中，因为燃烧温度一般在1000摄氏度以下，热力型一氧化氮与快速型一氧化氮均可被忽视，因而，对燃料型一氧化氮进行有效调控，是实现NOx减排的重要途径[1]。

二、分析在垃圾焚烧锅炉领域中低氮燃烧技术

经过几年的研究与创新，我国在这方面已有了长足的进步，并已初步建立一套完善的技术系统。目前，我国城市生活垃圾废气处理中，需要整合多种技术，比如，正在研发的技术与新技术等，为城市生活垃圾处理注入了新的活力。目前，我国垃圾焚烧锅炉普遍采用的是常规的低氮燃烧技术。通过对低氮燃烧技术系统与控制方法的研究，使一氧化氮的排放量得到了有效的降低，同时，也使其燃烧效率在较大程度上得到了提高，减轻了对环境的污染。与此同时，一系列新的低氮燃烧技术也相继出现，并取得了较好的经济效益。近年来，由于人们对环境保护的重视，以及各种技术与工艺的创新，使得人们对低氮燃烧技术的研究越来越重视。因此，采用先进的数学模型与调控方法，并与垃圾燃烧炉自身特性相融合，可以使一氧化氮的排放量得到精确的控制，有助于环境的保护。

（一）生活垃圾低氮燃烧技术

在高温燃烧过程中，燃烧催化剂、生活垃圾以及空气中的成分发生反应，会产生NOx。低氮燃烧技术过程的核心在于对重要反应环节进行调控，现有的烟气净化方法有选择性非催化还原（SNCR）、选择性催化还原（SCR）两种。采用选择性非催化还原（SNCR）技术，将烟道与炉膛的温度调至（850–1000℃）内，将大量尿素或与氨基还原剂喷入其中。该成分无需经过任何的催化反应，就可以将烟气中的一氧化氮（NOx）转变为无害的氮气（N_2）与水分。而选择性催化还原技术需要对催化剂进行调控，对化学反应进行控制，从而达到降低NOx生成的目的。该技术利用催化剂，在低温条件下促进NOx生成，达到降低废气NOx排放的目的[2]。

在垃圾焚烧锅炉方面，采用新型的低氮燃烧技术，对于环保有着十分重要的意义。但是，从实际的应用效果来看，在实际应用中，使用选择性催化还原（SCR）技术仍有一些问题。尿素及相应的水溶液加入后，会引起周围环境温度骤降，使其与周围环境温度不一致，降低了其脱硝效率，只能达到30% ~ 50%的应用效果。另外，该技术一般适合于中小型锅炉的使用，规模较小。

而在低氮燃烧技术中，选择催化还原技术则具有高效、低温等优点，但难以有效控制其成本。另外，该技术的加工过程非常繁琐，而且其工作周期很长，维修工作量很大。所以，在选用适当的低氮燃烧技术时，应从经济性、可维修性、使用效率等方面进行综合考虑，才能达到较好环保效果，提高经济利益。

（二）低氮燃烧控制技术

在生活垃圾焚烧锅炉的研究中，低氮燃烧控制技术是一种有效的控制方法。目前，国内已开展了一系列的研究工作，主要是解决目前国内各种方法应用中所存在的问题，以及目前尚在研制中的方法。电子束辐照（EBP）技术属于新型的干式脱硫方法，可以完成烟气进行增湿、降温、收集副产品、添加氨气等过程，可显著减少燃煤烟气中NOx与SO_2含量。通过电子束辐照，可以产生活性因子，使烟气中的存在的污染物被氧化，将其转化为硫酸与硝酸等物质。然后，与喷入的氨水发生化学反应，形成硫酸铵与硝酸铵微粒，并将其回收。尽管电子束照射的流程比较简单，不会对锅炉操作及燃烧效率造成影响，且粉尘污染少等，但在应用中仍面临诸多问题。这种方法依赖于高功率的电子束，导致其制造费用较高，且很难满足长期运行要求。对部分X射线采取防辐射措施，会给设备的操作与维修带来一定的难度。所以，在进行该技术的推广与使用过程中，必须对环保效果、成本和设备的稳定性等进行综合考虑，从而有效控制生活垃圾燃烧锅炉的低痰排放[3]。

伴随对低氮燃烧技术研究的深入，形成了一种新型的微生物脱硝方法。该技术是以已被驯化的脱氮菌为基础，在液相或固相中实现一氧化氮的高效净化，使其转化为N_2。NO_2在水中先溶解生成NO_3和NO_2^-，再经微生物将其转化为N_2，而NO被微生物吸收后又将其转化为N_2。该技术投资少、设备简单、运行费用低、处理效果好，且无二次污染。今后，实现这一目标的核心是低成本脱氮菌繁殖的研究，并开发相应的固定化载体。目前，除生物脱硝方法外，也存在着光催化氧化技术。该工艺采用了光催化法对NO_2进行处理，达到了净化的目的。此外，利用微波法烟气脱硝技术也是一项新的研究方向。在微波引导下，利用沸石催化剂、活性炭等部分对NO进行高效催化，并将其转化为氮气、二氧化碳或水，并大幅降低NO分解的反应温度。本技术的研究为我国城市生活垃圾焚烧锅炉处理系统开辟新途径，使一氧化氮的排放得到了有效控制，因此，低氮燃烧控制技术的应用具有重要的意义和应用价值。

（三）新型低氮燃烧技术

低氮燃烧技术在垃圾焚烧锅炉中是一项有效技术。为了对焚烧烟气进行有效的控制，新型低氮燃烧技术出现。该技术将优化与整合了多种技术，使烟气再循环技术与高分子脱硝技术相结合，形成一套融合的新型燃烧调控技术。采用空气动力传输的方法，在锅炉内设置特殊的喷枪，对干粉脱硝剂进行喷洒。干粉脱硝剂在750—1250摄氏度范围内进行喷洒，迅速进行高温裂解，形成碳氢化合物与活性氨等气体，作为气态还原剂，对气态脱硝进行高效的参与。该方法可以有效地脱除还原大多数NOx，并且其公益效率可以达到40%—80%。此外，综合烟气再循环技术的原理是将一部分低温烟气从锅炉排放出口抽回，使其再次进入燃烧器进风口，使其重新燃烧，并与助燃气体进行掺混，既能还原NOx，又能有效地抑制其再生。新型低氮燃烧技术为热力型NOx的生成与控制提供了新的思路。

三、在实际案例中低氮燃烧控制技术的应用

结合工程实例，在上海某生活垃圾焚烧厂二期废气处理工艺中应用低氮燃烧控制技术，对其进行了详细介绍。起初，这家企业采用了选择性非催化还原技术，对一氧化氮的排放进行有效的控制。但该工艺具有脱硝效果不稳定、成本高等不足。因此，企业将PNCR+烟气再循环系统应用于第三号炉中，改善其脱硝效果，使其运行更加稳定运行。该系统将烟气再循环技术与聚合物催化还原（PNCR）脱硝剂相融合，可显著提升其反应性能与脱硝效果，使NOx的排放浓度下降[4]。

（一）工艺体系改造

在3号锅炉的技术改造中，第一步是在二烟道上部安装一个平台，增设2吨脱硝剂储仓和配套设施。为保证高效贮存和脱硝试剂的利用，该技术采用除尘器、遥控料位开关、振打设备、称重及温控设备等。南北区各处均新增了大型缓冲储存物料，并加装气力传输设备，可将物料分散运送到四个小型锅炉间。在方案执行过程中，采用循序渐进的方法。在前期实验中，先设置一个炉顶小仓系统，然后采用电动葫芦把脱硝剂输送到炉顶小仓。然后，结合实验结果，将其逐渐送入大的缓冲仓中。通过3号高炉的成功试验，今后还将应用于其他锅炉的应用。为更好的支撑脱硝，在高炉炉前料仓底部设置4台一拖二的小料斗，与8台脱硝设备相对应。在二烟道顶部的圆孔及管道中，8个Ψ50枪管的可作为给料系统的通道。给料系统由罗茨风机、变频给料机、压力表、压力调节阀以及喷枪等组成，全部都装在一个新加的炉

顶平台上，以便高效地供应脱硝剂。

在3号锅炉引风出口开设500 mm直径的孔洞，加装蝶阀及管路，在原有二次风进口之前，对二次风机进行电气调整。通过对原有二次风口进行分离，改变操作模式，使二次风可以平稳的流入锅炉。为保证系统的安全运行，对3号锅炉烟气再循环系统中的电机、管路、风机、压力表和温度计等进行了全方位的检测。目前，该项目已经完成了全部的设施及系统的供电，并且完成了系统的隔热工作，达到了投入使用的条件。在工艺体系改造中，对锅炉负荷、混合后二次风风温、二次风温度、冷二次风风量、炉膛温度、CEMS供氧量等进行观测，以保证锅炉的稳定运行[5]。

（二）分析改造结果

在实践中，低氮燃烧控制技术的具体运用是：在70 t/h负荷时，采用高分子脱硝技术，可以实现NOx排放量小于80 mg/Nm^3，且消耗总量为2.33公斤/吨。同时，PNCR与SNCR联合应用可在每吨平均PNCR 2公斤的情况下，NOx浓度低于50 mg/Nm^3。研究表明，PNCR与SNCR联合使用对NOx的减排具有明显的抑制作用，能够有效地减少NOx的生成，改善其燃烧控制系统的综合性能（如表一）。通过对下表的分析，可以清楚地看出各种燃烧控制方法对一氧化氮的排放量及消耗情况。低氮燃烧控制技术的运用将为我国节能减排及资源综合开发利用等领域的发展奠定坚实的理论基础。

表一　在NOx排放和消耗量中不同燃烧控制技术的表现

燃烧控制技术	NOx排放量（mg/Nm$_3$）	平均消耗量（kg/吨垃圾）
高分子脱硝	小于80	2.33
PNCR+SNCR	小于50	2

四、NOx排放计算模型评估与实际运行分析

NOx排放计算模型评估与实际运行分析十分重要，尤其是在垃圾焚烧锅炉领域来说。在垃圾焚烧锅炉领域，SO和HCl等原始排放的污染物能够利用经验公式，估算出原废气中SO和HCl的含量。但是，目前还很难利用经验公式精确地估算出这些污染物的浓度。在垃圾焚烧锅炉中应用低氮燃烧控制技术，对燃烧过程的因素进行综合考虑，NOx排放（NO、NO_2与N_2O）的数学表达式为NOx=f f{Fuel，Temperature，Time，Geometry，IGR，EAS，EAL}。通过对该计算模式的评价与应用研究，发现在100% MCR条件下某公司出口美洲地区的垃圾焚烧余热锅炉的日均NOx排放量（基准态O_2：11%，干烟气）如下：

通过对NOx排放计算模式的评估和实际应用表明，在垃圾燃料中一氧化痰量低于0.5%的情况下，在停用SNCR（禁止喷氨）时，使锅炉原来的排放低于180 mg/m^3（标准）；当SNCR启动（炉内喷氨）时，锅炉初始排放分别低于120 mg/m^{2}和6–12 mg/m^3（标准）。而在含一氧化痰量低于1.8%的情况下，如果停止SNCR，则锅炉初始排放将低于250毫克/米立方（标准）；在启动SNCR后，锅炉初始排放和氨逃逸量分别低于150 mg/m^{3}和6–12 mg/m^2。将SNCR脱硝与低氮燃烧联合起来，在满足NOx减排要求的同时，大幅度减少氨氮、尿素用量，并可以完全停止喷氨。虽然IGR风机存在着一定的能耗，但是，从总体上看，该风机的运行费用要优于单纯使用SNCR。该技术的实施将为NOx减排和环保行业的发展奠定基础[6]。

结论

总之，PNCR+烟气再循环脱硝技术能够完全取代目前的SCR脱硝系统与SNCR的脱销工艺，具有广泛的适用性，适用范围广，不需要使用任何的催化剂，仅需要在850−1100摄氏度之间就可以实现脱销，适用于各种燃机、锅炉、燃气工业炉等的烟气或废气净化。所以，在未来，继续低氮燃烧技术创新，可以实现环境保持，促进我国可持续发展。

参考文献

[1]何文豪，卢硕，刘彬，程怀志.超级低氮燃烧技术在废酸裂解炉上的应用[J].硫磷设计与粉体工程，2024，（02）：26−30+58.

[2]赵世刚，王娟，刘晓云.链条锅炉低氮燃烧改造技术及应用效果研究[J].山西化工，2024，44（03）：132−133+140.

[3]邢艳果，孙旭辉.内部烟气循环技术在低氮燃烧器中的应用[J].工业锅炉，2024，（01）：44−48.

[4]贾艳萍，高文平，刘伟，张建虎.多元耦合低氮燃烧技术在蒸汽锅炉中的应用[J].河南化工，2024，41（02）：49−50+62.

[5]吕钊敏，熊小鹤，谭厚章，王学斌，王肖肖.煤粉气化低氮灵活燃烧研究进展[J].电力科技与环保，2024，40（01）：1−8.

[6]何刚，周洪，王伟，曾建.基于低氮燃烧技术的600 MW机组锅炉燃烧器优化改造[J].工业炉，2024，46（01）：34−37.