

# 燃烧尾气中NO<sub>x</sub>减排技术在天然气净化厂的应用

邓世毅

中石化广元市天然气净化有限公司 四川 广元 628000

**摘要:** 本文聚焦于燃烧尾气中NO<sub>x</sub>减排技术在天然气净化中的应用。首先阐述了天然气净化过程中NO<sub>x</sub>产生的原因及危害,强调了NO<sub>x</sub>减排的重要性。接着详细介绍了多种常见的NO<sub>x</sub>减排技术,包括燃烧前处理技术、燃烧中控制技术和燃烧后处理技术,并分析了它们在天然气净化领域的具体应用方式、优势与局限性。最后对NO<sub>x</sub>减排技术在天然气净化中的发展趋势进行了展望,旨在为天然气净化行业实现更有效的NO<sub>x</sub>减排提供理论支持和实践参考。

**关键词:** 燃烧尾气; NO<sub>x</sub>减排技术; 天然气净化; 应用

## 1 引言

天然气作为一种清洁、高效的化石能源,在全球能源结构中占据着重要地位。随着天然气开采和利用规模的不断扩大,天然气净化过程也日益受到关注。在天然气净化过程中,燃烧是常用的处理手段之一,例如在脱硫、脱碳等工艺中,常常需要燃烧燃料气来提供热量。然而,燃烧过程会产生大量的氮氧化物(NO<sub>x</sub>),主要包括一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)等。NO<sub>x</sub>不仅会对大气环境造成严重污染,引发酸雨、光化学烟雾等环境问题,还会对人体健康产生危害。因此,研究燃烧尾气中NO<sub>x</sub>减排技术在天然气净化中的应用具有重要的现实意义。

## 2 天然气净化过程中NO<sub>x</sub>产生的原因及危害

### 2.1 NO<sub>x</sub>产生的原因

在天然气净化过程中的燃烧环节,NO<sub>x</sub>的产生主要与燃烧温度、氧气浓度和燃烧时间等因素有关。当燃烧温度较高时,空气中的氮气和氧气会发生反应生成NO<sub>x</sub>,这种由于高温产生的NO<sub>x</sub>被称为热力型NO<sub>x</sub>。此外,燃料中的氮化合物在燃烧过程中也会被氧化生成NO<sub>x</sub>,称为燃料型NO<sub>x</sub>。在天然气净化燃烧过程中,热力型NO<sub>x</sub>是主要的产生来源,尤其是在高温、富氧的燃烧条件下,NO<sub>x</sub>的生成量会显著增加。

### 2.2 NO<sub>x</sub>的危害

对大气环境的影响: NO<sub>x</sub>是形成酸雨的主要前体物之一。NO<sub>x</sub>在大气中会与水、氧气等发生一系列化学反应,生成硝酸等酸性物质,随降水落到地面,形成酸雨。酸雨会对土壤、水体、植被等造成严重破坏,影响生态平衡。同时,NO<sub>x</sub>还会参与光化学烟雾的形成。在阳光的照射下,NO<sub>x</sub>与碳氢化合物等发生光化学反应,生成臭氧、过氧乙酰硝酸酯等二次污染物,形成光化学烟雾。光化学烟雾具有强烈的刺激性,会对人体的呼吸系统和眼睛

造成伤害,还会降低大气能见度,影响交通安全。

对人体健康的危害: NO<sub>x</sub>对人体健康有直接的危害。NO是一种无色无味的气体,但它很容易与血液中的血红蛋白结合,使其失去携氧能力,导致人体缺氧,引起头痛、头晕、乏力等症状。NO<sub>2</sub>是一种具有刺激性的红棕色气体,它对人体的呼吸道和肺部有强烈的刺激作用,可引发咳嗽、气喘、肺炎等疾病,长期暴露在高浓度的NO<sub>2</sub>环境中还会增加患肺癌的风险。

## 3 常见的NO<sub>x</sub>减排技术

### 3.1 燃烧前处理技术

燃料脱氮: 燃料脱氮是通过物理或化学方法去除燃料中的氮化合物,从而减少燃烧过程中燃料型NO<sub>x</sub>的生成。常见的燃料脱氮方法包括加氢脱氮、溶剂萃取脱氮等。加氢脱氮是在催化剂的作用下,将燃料中的氮化合物与氢气反应生成氨气,然后通过分离装置将氨气去除。溶剂萃取脱氮是利用特定的溶剂对燃料中的氮化合物具有选择性溶解的特性,将氮化合物从燃料中萃取出来<sup>[1]</sup>。燃料脱氮技术可以有效降低燃料中的氮含量,减少NO<sub>x</sub>的生成,但该技术成本较高,且处理过程中可能会产生二次污染。

燃料改质: 燃料改质是通过改变燃料的化学组成和结构,提高燃料的氢碳比,降低燃料的含氮量,从而改善燃料的燃烧性能,减少NO<sub>x</sub>的生成。常见的燃料改质方法包括蒸汽重整、部分氧化等。蒸汽重整是在高温、高压和催化剂的作用下,将燃料与水蒸气反应生成氢气和一氧化碳等气体,同时去除燃料中的部分氮化合物。部分氧化是在氧气不足的条件下,将燃料进行部分氧化反应,生成含有氢气和一氧化碳的合成气,同时减少氮化合物的生成。燃料改质技术可以提高燃料的燃烧效率,降低NO<sub>x</sub>排放,但该技术设备复杂,投资成本较高。

### 3.2 燃烧中控制技术

**低氮燃烧器：**低氮燃烧器是通过优化燃烧器的结构和燃烧方式，降低燃烧温度，减少氧气浓度，从而抑制 $\text{NO}_x$ 的生成。常见的低氮燃烧器类型包括分级燃烧器、浓淡燃烧器、预混燃烧器等。分级燃烧器是将燃料和空气分级送入燃烧室，使燃烧过程分为富燃料区和富氧区。在富燃料区，燃料不完全燃烧，降低了燃烧温度，减少了热力型 $\text{NO}_x$ 的生成；在富氧区，剩余的燃料与空气充分混合燃烧，保证燃烧效率。浓淡燃烧器是将燃料分成浓相和淡相两部分，分别与空气进行燃烧。浓相燃料在缺氧条件下燃烧，降低了燃烧温度；淡相燃料在富氧条件下燃烧，保证燃烧稳定性。预混燃烧器是将燃料和空气在燃烧前充分混合，形成均匀的可燃混合物，然后送入燃烧室进行燃烧。预混燃烧可以使燃烧更加充分，降低燃烧温度，减少 $\text{NO}_x$ 的生成。低氮燃烧器具有结构简单、成本低、操作方便等优点，广泛应用于各种燃烧设备中。

**空气分级燃烧：**空气分级燃烧是将燃烧所需的空气分成一次空气和二次空气，分别送入燃烧室。一次空气量较少，使燃料在缺氧条件下燃烧，形成还原性气氛，抑制 $\text{NO}_x$ 的生成。二次空气在燃料燃烧一段时间后送入，使剩余的燃料与空气充分混合燃烧，保证燃烧效率。空气分级燃烧技术可以有效降低燃烧温度，减少热力型 $\text{NO}_x$ 的生成，同时还能还原部分已生成的 $\text{NO}_x$ 。该技术适用于大型燃烧设备，如锅炉、工业炉窑等。

**燃料分级燃烧：**燃料分级燃烧是将燃料分成主燃料和再燃燃料，主燃料与一次空气在燃烧室主燃烧区燃烧，生成大量的 $\text{NO}_x$ 。再燃燃料在主燃烧区下游喷入，与主燃烧区生成的烟气混合燃烧，形成还原性气氛，将 $\text{NO}_x$ 还原为氮气<sup>[2]</sup>。燃料分级燃烧技术可以显著降低 $\text{NO}_x$ 的排放，但需要合理控制再燃燃料的喷入量和喷入时间，以保证还原效果和燃烧效率。

### 3.3 燃烧后处理技术

**选择性催化还原（SCR）技术：**SCR技术是在催化剂的作用下，将还原剂（如氨气、尿素等）喷入燃烧尾气中，与尾气中的 $\text{NO}_x$ 发生选择性催化还原反应，将 $\text{NO}_x$ 还原为氮气和水。SCR技术具有脱硝效率高、选择性好、运行稳定等优点，是目前应用最广泛的 $\text{NO}_x$ 减排技术之一。在天然气净化过程中，SCR技术可以安装在尾气处理系统中，对燃烧尾气进行深度净化处理，使 $\text{NO}_x$ 排放达到严格的环保标准。但SCR技术需要使用催化剂和还原剂，运行成本较高，且催化剂容易中毒失活，需要定期更换。

**选择性非催化还原（SNCR）技术：**SNCR技术是在不使用催化剂的情况下，将还原剂（如氨水、尿素溶液

等）直接喷入燃烧炉膛内的高温区域（850-1100℃），与尾气中的 $\text{NO}_x$ 发生非催化还原反应，将 $\text{NO}_x$ 还原为氮气和水。SNCR技术具有设备简单、投资成本低、运行维护方便等优点，适用于中小型燃烧设备。但SNCR技术的脱硝效率相对较低，一般只有30%-60%，且还原剂的利用率不高，容易产生氨逃逸等二次污染问题。

**液体吸收法：**液体吸收法是利用特定的吸收液对燃烧尾气中的 $\text{NO}_x$ 进行吸收和化学反应，将 $\text{NO}_x$ 从尾气中去除。常见的吸收液包括水、碱液、酸液等。水吸收法主要用于吸收 $\text{NO}_2$ ，生成硝酸和亚硝酸。碱液吸收法是利用氢氧化钠、氢氧化钙等碱液与 $\text{NO}_x$ 发生化学反应，生成硝酸盐和亚硝酸盐。酸液吸收法是利用稀硝酸等酸液吸收 $\text{NO}_x$ ，生成更浓的硝酸。液体吸收法具有设备简单、操作方便等优点，但吸收效率较低，吸收液的处理和再生难度较大，容易产生二次污染。

**吸附法：**吸附法是利用吸附剂（如活性炭、分子筛等）对燃烧尾气中的 $\text{NO}_x$ 进行吸附，将 $\text{NO}_x$ 从尾气中分离出来。当吸附剂达到饱和后，可以通过加热、减压等方法进行再生，使吸附剂恢复吸附能力。吸附法具有脱硝效率高、选择性好等优点，但吸附剂的成本较高，再生过程复杂，且吸附容量有限，需要定期更换吸附剂。

## 4 $\text{NO}_x$ 减排技术在天然气净化中的应用分析

### 4.1 低氮燃烧器在天然气净化加热炉中的应用

在天然气净化过程中，加热炉是常用的设备之一，用于为脱硫、脱碳等工艺提供热量。传统的加热炉燃烧器在燃烧过程中会产生大量的 $\text{NO}_x$ ，对环境造成污染。采用低氮燃烧器可以有效降低加热炉燃烧尾气中的 $\text{NO}_x$ 排放。例如，某天然气净化厂对加热炉进行了低氮燃烧器改造，将原来的普通燃烧器更换为分级燃烧器<sup>[3]</sup>。改造后，加热炉燃烧尾气中的 $\text{NO}_x$ 浓度从原来的200mg/m<sup>3</sup>降低到了80mg/m<sup>3</sup>以下，达到了国家环保标准要求。同时，低氮燃烧器的使用还提高了加热炉的燃烧效率，降低了燃料消耗，为企业节约了成本。

### 4.2 SCR技术在天然气净化尾气处理中的应用

对于一些对环保要求较高的天然气净化项目，仅采用燃烧中控制技术难以满足严格的 $\text{NO}_x$ 排放标准，需要结合燃烧后处理技术进行深度净化。SCR技术是一种有效的燃烧后处理技术，可以广泛应用于天然气净化尾气处理中。例如，某大型天然气净化厂在尾气处理系统中安装了SCR脱硝装置，采用氨气作为还原剂，钛基催化剂作为催化材料。该装置投入运行后，尾气中的 $\text{NO}_x$ 排放浓度从原来的150mg/m<sup>3</sup>降低到了30mg/m<sup>3</sup>以下，脱硝效率达到了80%以上。同时，SCR装置的运行稳定性良好，能够长期

稳定地满足环保要求。

### 4.3 组合技术在天然气净化中的应用

在实际的天然气净化过程中,单一的 $\text{NO}_x$ 减排技术往往难以达到理想的减排效果,因此常常采用多种技术组合的方式来实现更高效的 $\text{NO}_x$ 减排。例如,某天然气净化项目采用了低氮燃烧器与SCR技术相结合的组合减排方案。首先,通过低氮燃烧器降低燃烧过程中 $\text{NO}_x$ 的生成量,使燃烧尾气中的 $\text{NO}_x$ 浓度降低到一定程度;然后,将燃烧尾气引入SCR装置进行深度净化处理,进一步降低 $\text{NO}_x$ 排放。该组合方案的实施,使天然气净化过程中的 $\text{NO}_x$ 排放得到了有效控制,达到了国内外先进的环保水平。

## 5 $\text{NO}_x$ 减排技术在天然气净化中的发展趋势

### 5.1 技术集成化

未来, $\text{NO}_x$ 减排技术将朝着集成化的方向发展。通过将多种 $\text{NO}_x$ 减排技术进行有机结合,形成一套完整的、高效的 $\text{NO}_x$ 减排解决方案,可以充分发挥各种技术的优势,提高 $\text{NO}_x$ 减排效果,降低运行成本。例如,将低氮燃烧技术、空气分级燃烧技术与SCR技术相结合,实现燃烧过程和燃烧后处理的协同控制,进一步提高 $\text{NO}_x$ 减排效率。

### 5.2 催化剂性能提升

在SCR技术中,催化剂的性能直接影响到脱硝效果和运行成本。未来,研究人员将致力于开发新型高效、低成本、长寿命的催化剂,提高催化剂的活性、选择性和抗中毒能力。例如,研发具有更高比表面积和更好分散性的纳米催化剂,以及能够适应不同工况条件的多功能催化剂等。

### 5.3 智能化控制

随着信息技术的发展,智能化控制将在 $\text{NO}_x$ 减排技术中得到广泛应用。通过安装传感器、监测设备等,实时监测燃烧过程和尾气处理过程中的各项参数,如温度、压力、氧气浓度、 $\text{NO}_x$ 浓度等,并利用先进的控制算法对

设备进行自动化控制和优化调整,实现 $\text{NO}_x$ 减排系统的智能化运行<sup>[4]</sup>。智能化控制可以提高 $\text{NO}_x$ 减排系统的稳定性和可靠性,降低运行成本和人工干预程度。

### 5.4 绿色还原剂的开发与应用

传统的SCR技术中常用的还原剂氨气和尿素在生产、储存和使用过程中存在一定的安全风险和环境污染问题。未来,将开发更加绿色、安全的还原剂,如氢气、甲醇等。这些还原剂具有无毒、无害、易储存等优点,能够有效减少二次污染的产生,提高 $\text{NO}_x$ 减排技术的环保性。

## 结语

燃烧尾气中 $\text{NO}_x$ 减排技术在天然气净化中具有重要的应用价值。 $\text{NO}_x$ 的产生不仅会对大气环境和人体健康造成危害,还会影响天然气净化行业的可持续发展。常见的 $\text{NO}_x$ 减排技术包括燃烧前处理技术、燃烧中控制技术和燃烧后处理技术,每种技术都有其独特的原理、优势和局限性。在天然气净化过程中,应根据实际情况选择合适的 $\text{NO}_x$ 减排技术或组合技术,以实现高效、经济的 $\text{NO}_x$ 减排。未来, $\text{NO}_x$ 减排技术将朝着技术集成化、催化性能提升、智能化控制和绿色还原剂开发与应用等方向发展,为天然气净化行业提供更加先进、可靠的 $\text{NO}_x$ 减排解决方案,推动天然气净化行业向绿色、环保、可持续发展的方向发展。

## 参考文献

- [1]靳苏毅,王登辉,惠世恩,等.天然气低氮氧化物燃烧研究进展与展望[J].节能技术,2021,39(04):291-298.
- [2]周仲伟,郭韵.空气预热温度对天然气加热炉内温度场和 $\text{NO}_x$ 排放的影响[J].软件,2020,41(05):31-36.
- [3]叶帛,杨如惠,王维尚.天然气锅炉低氮氧化物燃烧技术研究[J].河北农机,2020,(11):103-104.
- [4]车光兰.天然气锅炉低氮氧化物燃烧技术研究[J].工业加热,2020,49(03):13-16.