

# 克劳斯硫回收尾气中氮氧化物超标分析及调整方法

朱中华 刘金喜 曹国宝 吴红运

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司 宁夏 银川 750411

**摘要:** 克劳斯硫回收工艺在石化、煤化工等领域广泛应用,但在实际操作中,尾气中氮氧化物( $\text{NO}_x$ )的超标问题时常困扰着相关企业。本文旨在探讨克劳斯硫回收工艺中氮氧化物超标的原因,并提出相应的调整策略,以期为解决这一难题提供理论支持和实践指导。

**关键词:** 克劳斯硫回收; 氮氧化物超标; 分析及调整

## 引言

克劳斯硫回收工艺是一种从含硫化物中回收硫元素的先进技术,广泛应用于石化、煤化工等领域。然而,在实际生产过程中,尾气中氮氧化物的超标问题一直备受关注。氮氧化物的超标不仅会对环境造成污染,还可能影响企业的经济效益。因此,分析氮氧化物超标的原因并提出相应的调整方法具有重要的现实意义。

## 1 克劳斯硫回收工艺分析

克劳斯硫回收工艺是一种基于化学反应的硫回收技术,其工艺原理是通过高温条件下的克劳斯反应,将硫化氢与二氧化硫转化为硫和水。这一反应过程是可逆的,但在特定的温度和压力条件下,以及催化剂的作用下,可以实现较高的硫回收率。克劳斯硫回收工艺在尾气回收领域具有广泛的应用。在尾气回收中,克劳斯硫回收工艺的主要目标是从工业排放的尾气中高效地回收硫元素,以减少硫对环境的污染并实现硫资源的再利用。该工艺通过优化反应条件,如控制温度、压力和选择适当的催化剂,可以实现对尾气中硫化物的有效转化和回收。克劳斯硫回收工艺在尾气回收中的应用具有显著的优势。首先,该工艺能够高效地回收硫元素,通常可以达到95%以上的回收率,使得大量的硫资源得以有效利用。其次,该工艺对尾气中硫化物的适应性较强,可以处理不同浓度和种类的含硫化物,因此在不同类型的工业排放中都具有潜在的应用价值。此外,工艺过程中产生的废气、废水等环境问题也需要得到妥善处理,以确保工艺的环保性<sup>[1]</sup>。

## 2 克劳斯硫回收尾气中氮氧化物超标原因分析

### 2.1 原料含氮量过高

在克劳斯硫回收工艺中,尾气中氮氧化物超标是一个需要关注的问题。当原料中的含氮量过高时,这往往成为导致尾气中氮氧化物超标的主要原因。首先,原料中含氮量的高低直接影响硫回收工艺的化学反应平衡。

克劳斯硫回收工艺涉及复杂的化学过程,包括硫化氢与二氧化硫的克劳斯反应以及可能的副反应。当原料中的含氮量过高时,这些氮化物可能参与到反应过程中,与硫化物发生竞争反应,生成氮氧化物。其次,原料中的含氮化合物在高温条件下可能发生氧化反应,生成氮氧化物。克劳斯硫回收工艺通常在高温下进行,以促进硫的转化和回收。然而,过高的温度也可能促使原料中的含氮化合物发生氧化,从而增加了尾气中氮氧化物的含量。原料含氮量过高是导致克劳斯硫回收尾气中氮氧化物超标的重要原因之一。在实际操作中,需要对原料进行严格的质量控制,并优化工艺参数以降低尾气中氮氧化物的排放,从而实现经济效益和环境效益的平衡发展。

### 2.2 燃烧条件不佳

在克劳斯硫回收工艺中,尾气中氮氧化物超标是一个复杂的问题,其中燃烧条件不佳是一个关键的原因。燃烧是克劳斯硫回收过程中的重要环节,直接影响尾气成分和硫回收效率。第一,燃烧温度是影响氮氧化物生成的重要因素。在克劳斯硫回收工艺中,燃烧温度通常需要在特定范围内控制,以确保硫的有效转化。然而,如果燃烧温度过低,燃烧不充分,会导致原料中的氮元素未完全氧化,进而生成氮氧化物。相反,过高的燃烧温度也可能促进氮氧化物的生成,因为高温会加速空气中的氮气与氧气反应生成氮氧化物。第二,燃烧过程中的氧气供应也是影响氮氧化物生成的关键因素。如果氧气供应不足,燃烧反应不完全,会导致原料中的氮元素未充分氧化而生成氮氧化物。同时,氧气过量也可能导致尾气中氮氧化物的增加,因为过量的氧气会促进氮气与氧气的反应,生成更多的氮氧化物。第三,燃烧器的设计和运行状态也对燃烧条件产生影响。如果燃烧器设计不合理或存在故障,可能导致燃料和空气的混合不均匀,从而影响燃烧的充分性和温度分布。这种不均匀的燃烧条件可能导致局部高温区域的形成,促进氮氧化物

的生成<sup>[2]</sup>。燃烧条件不佳是导致克劳斯硫回收尾气中氮氧化物超标的重要原因之一。通过深入分析燃烧温度、氧气供应以及燃烧器设计和运行状态等因素,可以更好地理解这一问题并采取相应的措施进行优化。在实际操作中,需要严格控制燃烧条件,确保燃料和空气的充分混合和均匀分布,以降低尾气中氮氧化物的排放。

### 2.3 催化剂失活

克劳斯硫回收工艺是一种广泛应用于从含硫气体中回收硫的技术,而尾气中氮氧化物的超标是这一工艺中常见的问题。其中,催化剂失活是导致氮氧化物超标的关键因素之一。催化剂在克劳斯硫回收工艺中起到促进硫回收反应的作用,它的活性状态对反应效率和产物组成有着重要影响。然而,催化剂在长时间使用过程中可能会逐渐失活,导致反应效率下降和产物中氮氧化物的含量增加。催化剂失活的原因可能多种多样。首先,催化剂中毒是常见的失活原因之一。原料气体中可能含有一些对催化剂有毒害作用的物质,如重金属、硫的氧化物等。这些物质会与催化剂的活性中心发生相互作用,导致催化剂中毒并丧失活性。中毒的催化剂无法有效地促进硫回收反应,从而导致尾气中氮氧化物的含量增加。其次,催化剂的老化也是导致失活的原因之一。随着使用时间的延长,催化剂可能会发生物理和化学变化,如晶格结构的破坏、活性组分的流失等。此外,工艺操作条件的不当也可能导致催化剂失活。例如,过高的反应温度、不合适的压力或气氛组成等都可能对催化剂产生不利影响,加速其失活过程。因此,在克劳斯硫回收工艺中,对催化剂的合理选择和使用条件的控制至关重要。

## 3 克劳斯硫回收尾气中氮氧化物超标调整方法

### 3.1 优化原料选择

在处理克劳斯硫回收尾气中氮氧化物超标问题时,优化原料选择是一项至关重要的调整方法。原料的性质和组成直接影响硫回收工艺的效率和尾气成分,因此,通过优化原料选择,可以有效地降低尾气中氮氧化物的含量。一方面,选择低含氮量的原料是降低尾气中氮氧化物含量的关键。在克劳斯硫回收工艺中,原料中的氮元素是生成氮氧化物的主要来源。因此,通过选择含氮量较低的原料,可以直接减少氮氧化物的生成量。此外,还需要对原料进行严格的质量控制,确保原料中的其他杂质和有害物质含量在可接受范围内,以避免对硫回收工艺和催化剂产生不良影响。另一方面,优化原料的组成和性质也是降低尾气中氮氧化物含量的重要手段。不同的原料具有不同的化学性质和反应活性,对硫

回收工艺的影响也不尽相同。因此,在选择原料时,需要综合考虑其组成、性质以及与硫回收工艺的相容性等因素。通过合理的原料配比和调整,可以提高硫回收反应的效率和选择性,减少氮氧化物的生成。

### 3.2 调整燃烧条件

在克劳斯硫回收工艺中,调整燃烧条件是解决尾气中氮氧化物超标问题的重要手段之一。燃烧条件的优化能够直接影响氮氧化物的生成量,因此,合理调整燃烧参数是提高硫回收效率和降低尾气氮氧化物含量的关键。首先,调整燃烧温度是降低尾气中氮氧化物含量的重要措施。过高的燃烧温度会促进空气中的氮气与氧气反应生成氮氧化物,而过低的燃烧温度则可能导致燃烧不完全,增加氮氧化物的生成。因此,需要根据原料的性质和工艺要求,合理控制燃烧温度,确保其在最佳范围内。通过调整燃烧器的燃料和空气比例、改变燃烧器的结构或采用先进的温度控制技术等手段,可以实现燃烧温度的精确控制。其次,优化氧气供应也是调整燃烧条件的关键环节。适量的氧气供应可以保证燃料的充分燃烧,减少氮氧化物的生成。过多或过少的氧气供应都可能导致燃烧不充分或氧化反应过强,进而增加尾气中氮氧化物的含量。因此,需要根据实际情况调整氧气供应量,确保其与燃料的需求相匹配。同时,还可以考虑采用富氧燃烧技术,通过提高氧气浓度来改善燃烧效果,进一步降低氮氧化物的排放<sup>[3]</sup>。

### 3.3 催化剂再生或更换

在克劳斯硫回收工艺中,当尾气中的氮氧化物超标时,催化剂的状态往往是一个需要重点关注的因素。催化剂在长时间使用过程中可能会逐渐失活,导致反应效率下降和产物中氮氧化物的含量增加。此时,催化剂的再生或更换成为解决问题的关键手段。催化剂再生是一种经济且环保的选择。通过对失活的催化剂进行特定的处理,如热处理、化学处理等,可以恢复其部分或全部活性。再生过程旨在去除催化剂表面的污染物,恢复其活性中心,从而提高催化剂的反应性能。成功的催化剂再生不仅可以延长催化剂的使用寿命,还能显著减少尾气中氮氧化物的含量,提高硫回收率。然而,当催化剂严重失活或再生效果不佳时,更换新的催化剂是必要的。选择具有高活性、高选择性和良好稳定性的催化剂对于确保克劳斯硫回收工艺的高效运行至关重要。新型的催化剂可能具有更高的氮氧化物转化率和更低的硫化物生成率,从而有助于降低尾气中氮氧化物的含量。在更换催化剂时,需要考虑其与现有工艺的相容性。不同的催化剂可能对反应条件有不同的要求,如温度、压

力、原料组成等。因此,在选择新催化剂时,需要对其进行全面的性能评估,确保其能够在现有工艺条件下发挥最佳性能。此外,定期的催化剂维护和管理也是防止氮氧化物超标的重要措施。通过定期监测催化剂的活性、选择性等性能指标,可以及时发现并解决潜在问题。同时,建立完善的催化剂管理制度,规范催化剂的使用、储存和处置流程,有助于确保催化剂的稳定性和可靠性。

#### 3.4 增设尾气处理装置

在克劳斯硫回收工艺中,当尾气中的氮氧化物超标时,增设尾气处理装置也是一种有效的解决方案。尾气处理装置能够对排放的尾气进行进一步的处理和净化,以降低氮氧化物的含量,确保尾气排放符合环保要求。首先,增设尾气处理装置可以显著提高尾气中氮氧化物的去除效率。根据尾气中氮氧化物的种类和浓度,可以选择适当的尾气处理技术,如选择性催化还原(SCR)、选择性非催化还原(SNCR)等。这些技术通过添加还原剂或催化剂,促进氮氧化物与还原剂之间的化学反应,从而将氮氧化物转化为无害的氮气和水蒸气。通过合理配置尾气处理装置,可以实现高效的氮氧化物去除,使尾气排放达到或优于环保标准。其次,增设尾气处理装置还可以提高克劳斯硫回收工艺的灵活性和适应性。不同的原料和工艺条件可能导致尾气中氮氧化物的种类和浓度发生变化。通过增设尾气处理装置,可以根据实际情况调整处理参数和操作条件,以适应不同工况下的尾气处理需求。这种灵活性使得克劳斯硫回收工艺能够更好地应对原料波动和工艺变化带来的挑战<sup>[4]</sup>。此外,增设尾气处理装置还有助于提高克劳斯硫回收工艺的安全性和稳定性。尾气中的氮氧化物不仅对环境造成污染,还可能对设备和管道产生腐蚀作用,增加安全风险。通过增设尾气处理装置,可以及时有效地去除尾气中的氮氧化物,减少其对设备和管道的损害,保障工艺的安全稳定运行。

**4 硫回收氮氧化物调试措施——以某大型煤化工项目硫回收装置实际运行调整工况为例。**

##### 4.1 尾气炉控制调整

将硫回收一系列尾气焚烧炉第一股配风减少 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ ,氮氧化物测量值由 $110\text{mg}/\text{Nm}^3$ 缓慢下降至 $87\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。减少尾气炉高温区配风效果良好,但是必须至少保证燃料气的当量燃烧配风量,不能无节制的减少尾气炉配风,极易造成回火干烧,严重时损坏设备。

##### 4.2 制硫炉控制调整

硫回收二系列制硫炉缓慢减少伴烧燃料气量,由 $420\text{Nm}^3/\text{h}$ 降至0;硫回收二系列制硫炉缓慢减少空气量,增大氧气量,空气量由 $8100\text{Nm}^3/\text{h}$ 降至 $5500\text{Nm}^3/\text{h}$ ,氧气量由 $540\text{Nm}^3/\text{h}$ 增加至 $680\text{Nm}^3/\text{h}$ 。通过上述调整,折算后氮氧化物由 $140\text{mg}/\text{Nm}^3$ 降至 $90\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。按照理论,制硫炉属于欠氧燃烧阶段,不应该产生氮氧化物,但是在实际运行过程中,制硫炉仍能贡献部分氮氧化物份额,通过退出制硫系统伴烧燃料气,减少空气通入量,对氮氧化物降低有帮助。

##### 结语

本文通过对克劳斯硫回收工艺中氮氧化物超标原因的分析,提出了优化原料选择、调整燃烧条件、催化剂再生或更换以及增设尾气处理装置等调整方法。这些措施的实施将有助于降低尾气中氮氧化物的含量,提高企业的环保水平和经济效益。展望未来,随着环保要求的日益严格和技术的不断进步,克劳斯硫回收工艺中氮氧化物超标问题的解决将更加迫切。因此,需要继续深入研究氮氧化物的生成机理和控制技术,为实现克劳斯硫回收工艺的绿色化、高效化提供有力支持。

##### 参考文献

- [1]吉喆,叶世贵,谭秋媛,赵捷,罗欢.非常规分流硫磺回收克劳斯炉燃烧控制[J].煤化工自动化,2021,57(03):15-18.
- [2]王建伍,岳云清,杨百科.硫磺回收装置克劳斯系统堵塞原因分析及对策[J].炼油技术与工程,2021,51(04):25-28.
- [3]陈昌介,马泉,许娟.硫磺回收装置低温克劳斯反应器吸附-再生特性研究[J].硫酸工业,2019(08):44-47.
- [4]易成高,夏海波,陈荣.国外含硫天然气脱硫与硫磺回收工艺技术现状及优选设计研析[J].油气田地面工程,2018,37(11):6-11.