

加热炉低氮及其配套技术在联合站库的应用实践

孙 鹏（中国石化胜利油田海洋采油厂油气集输管理中心，山东 东营 257237）

摘 要：某联合站坐落于国家自然保护区内，因其地理位置和环境保护要求的严格性，对烟气排放指标提出了极高的要求。为了实现符合这一严格标准的废气排放，本文积极探索并应用了“低氮燃烧器与烟气再循环”技术，旨在分享该技术在联合站的加热炉中的实际应用情况，并深入分析所面临的挑战和问题，最后提出了进一步优化的建议。这一探讨不仅对于自然保护区内的联合站具有重要意义，还为其他需要控制废气排放的类似场所提供了宝贵的经验和教训。

关键词：加热炉；低氮燃烧技术；氮氧化物；减排；联合站

0 引言

某联合站的分体式相变加热炉在年加热百万吨原油的任务中发挥着关键作用。根据相关法规和环保要求，废气排放中的氮氧化物排放标准应低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。然而，由于该加热炉的建设日期较早，早在 2011 年便投入运行，其氮氧化物排放水平接近环保要求，但并未达到规定的标准。因此，亟需进行技术改造以减少加热炉燃烧过程中所产生的废气排放。氮氧化物在大气中是 $\text{PM}_{2.5}$ （细颗粒物）的重要前体物质，因此对于氮氧化物排放的控制显得尤为重要。这一改造计划旨在通过引入先进的技术和工程实践，将加热炉升级为符合更严格的环保标准的设备。这将有助于减少氮氧化物排放，改善空气质量，降低大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染水平。改造计划的实施不仅有助于保护环境，减少空气污染，还将提高生产效率和能源利用效率。这不仅符合法规要求，还有助于维护社区的健康和可持续发展。通过技术改造，该联合站将为未来负责任的能源生产做出重要贡献，降低氮氧化物排放，实现更清洁、更可持续的能源加热。

1 联合站相变加热炉的现状



图 1 加热炉燃烧器

联合站相变加热炉主要由分体式相变加热炉和燃气供气流程组成，负责低含水原油的升温加热，将站内低含水原油的升温至 65°C 以上，以保证原油的沉降

脱水效果（图 1）。拟技术探索，采用低氮燃烧器 + 烟气再循环（ FGR ）技术进行改造，使其达到以下标准和要求：

- ①改造后氮氧化物排放浓度稳定在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 之下；
- ②改造后加热炉带负荷能力不能出现明显下降。

2 低氮燃烧理论基础

2.1 低氮燃烧器

低氮燃烧器是一种旨在减少燃烧过程中排放的氮氧化物的设备^[1,2]。通常，这类燃烧器的氮氧化物排放浓度保持在 $30\sim 80\text{mg}/\text{m}^3$ 之间，而那些排放浓度低于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 的被称为超低氮燃烧器。低氮燃烧器的性能改进主要依赖于以下技术手段：

- ①电子比调控制：通过精确控制燃烧空气与燃料的比例，以最小化氮氧化物的生成，实现排放的降低；
- ②氧含量控制：确保燃烧过程中提供足够的氧气以促进完全燃烧，从而减少氮氧化物的生成；
- ③全预混表面燃烧：采用全预混燃烧技术，将燃料和空气提前充分混合，以确保燃烧更加高效且排放更为清洁；
- ④分级燃烧：通过将燃料分为不同的阶段进行燃烧，以减少氮氧化物的产生；
- ⑤烟气再循环技术：将部分烟气重新引入燃烧过程中，有助于温度降低，减少氮氧化物生成。

综合运用这些技术，低氮燃烧器能够显著减少氮氧化物的排放，有助于保护环境，降低空气污染。这些技术也在工业和能源生产中得到广泛应用，以满足更为严格的环保法规和标准。

2.2 过量空气系数及含氧量

过剩空气系数（通常用 α 表示）是指燃料燃烧时实际供给的空气量与理论所需空气量之比。这一参数的大小对燃烧过程至关重要^[3]。当过剩空气系数过

大时,表示供给的空气远超所需,确保了充足的氧气,有助于完全燃烧。然而,过大的通风量也导致了高额的排烟热损失,引发了不必要的燃料浪费,同时使炉膛温度下降。相反,过小的过剩空气系数表明供给的空气不足,造成不完全燃烧和热损失,同时降低了炉内的传热效率。因此,确定合理的过剩空气系数至关重要。这一参数应当在既能够保障燃料的完全燃烧的前提下,最小化各项热损失。通过综合考虑实际情况,可以调整过剩空气系数,以实现燃料的有效利用,降低热损失,提高能源利用效率。这是在工业和能源生产中重要的优化措施,有助于提高环境友好性,降低能源成本。

2.3 分级燃烧

燃烧技术的发展旨在有效组织燃料和所需空气的混合,以减少氮氧化物的生成。以扩散式燃烧器为例,其工作原理是在燃烧之前,燃气并未与空气混合,而是通过火孔单独流出,然后依赖扩散作用与周围空气混合并进行燃烧。这种技术的优点在于燃烧过程非常稳定,不存在回火问题,操作可靠,结构简单,还可使用低压燃料气,且火焰单一而持久,但需要较大的燃烧空间。为了确保燃料与空气充分混合,通常采用以下方法:将燃料分成多股细流,从而增大与空气的接触面积;或者通过设置一定的交角或旋流状态,引入气体之间的扰动,以促进更好的混合。这些措施有助于提高燃烧效率,减少氮氧化物的排放,同时确保能源的有效利用。这些创新和改进在工业和能源领域发挥着关键作用,推动着环保和能效的提升。

2.4 烟气再循环技术

烟气再循环燃烧技术是一项关键的燃烧改进方法,其核心思想是将部分燃烧产生的烟气重新引入燃烧区域。这项技术的本质在于通过将烟气回馈至燃烧过程,以调控温度对氮氧化物生成速率的指数关系。温度与氮氧化物生成速率之间存在紧密的关联,而且温度与烟气中的氧浓度的0.5次方成正比。因此,通过将部分烟气再次引入燃烧区域,可以有效降低火焰区的最高温度,从而减少氮氧化物的形成。高温烟气在这一过程中发挥着重要的作用,对空气和燃料进行预热,实现了对燃烧温度和氧化物浓度的精确控制。这种方法不仅有助于减少氮氧化物的排放,还能够有效节约能源,提高能源利用效率。烟气再循环燃烧技术在环保和能源节约方面具有重要意义,被广泛应用于工业和能源生产领域^[2-4]。

2.5 全预混表面燃烧技术

全预混表面燃烧技术是一种燃烧方式,它在燃烧前将燃气与足够的空气充分混合,然后在燃烧过程中无需额外供给空气。这种技术的主要特点在于火焰短小,直接附着于燃烧表面,实现了高度均匀的燃烧过程,并避免了局部高温区的形成。此外,燃烧产物在燃烧区域内停留时间非常短,过剩空气系数相对较低,无需额外鼓风,从而实现了节省动力的效果。这一技术的最大优点之一是其能够有效地控制氮氧化物的生成。通过提前将燃料和空气充分混合,以确保燃烧是高度均匀的,可以有效减少氮氧化物的生成。全预混表面燃烧技术不仅提高了燃烧效率,还降低了燃烧产物中有害物质的排放,对于环境保护至关重要^[4]。这一方法在许多工业和能源应用中得到广泛采用,为提高能源利用效率和降低环境影响做出了重要贡献。

3 技术探索实践及运行效果

3.1 技术探索

①进行旧燃烧器和燃气管线的拆卸工作,随后将拆卸下来的炉体燃烧器固定螺栓更换为新的,并根据低氮燃烧器的工作参数和火焰燃烧方式来核算炉膛受热面以及热负荷承受能力。接下来,将新的燃烧器固定在安装板上,使用双头螺栓,并将该安装板与炉体的固定螺栓一同安装。最后,进行减压阀的更换,并重新布设燃气管线;

②在适当的位置开孔,并开始安装燃气再循环管道,同时还需要配置一台纸质助燃风机。通过PLC控制系统,可以调整抽取的烟气量,并将其与助燃风机送风系统中的室温空气混合,然后引入燃烧器。为了提高效率,需要在再循环管道的最低点加装冷凝水回收装置;

③升级工作还包括匹配和更新PLC控制柜,以确保整个系统的稳定性和性能提升;

3.2 调试流程

①仔细检查和校准燃气的进气压力,确保其不超过燃烧器上所规定的最大燃气压力;

②排空燃气管道中的任何空气,以确保燃气通畅;

③打开球阀,并将压力调节器的出口压力调至最低;

④将电控箱上的负荷选择开关设置为小火位置,然后将燃烧器运行开关置于“开”状态。如果程控器处于错误互锁状态,按下复位按钮;

⑤此时,检漏装置将开始检测泄漏。检漏完成后,

燃烧器将执行预吹扫并点火；

⑥如果出现点火问题，首先检查蝶阀的预置位置（应在 5° ~ 10° 之间），以及伺服马达上的点火负荷的辅助开关位置，然后进行必要的调整；

⑦点火后，伺服马达将从点火负荷运行到小火负荷。根据最低供气压力值表，使用调压阀来调整燃气压力（即电磁阀前的压力），并进行烟气中CO的检测（CO含量应低于100ppm）；

⑧在负荷范围内进行调整（从低负荷到满负荷）：使用拨动开关关闭伺服马达，然后旋转调节块。在每个调节点（即钢带的形状）处进行调整，同时进行CO的检测。必要时对燃气压力进行调整；

⑨满负荷调整（大火）：使伺服马达自动将燃烧器带至满负荷。必须设定所需的燃气量，然后通过气量计进行测量，通过调整燃气压力来调整满负荷时的燃气量。同时，通过调整控制风门的凸轮位置和调整燃烧筒和稳焰盘的相对位置来调整相应的空气量，以确保在风门打开的情况下实现最佳的燃烧效果和火焰的稳定；

⑩在负荷范围内进行检测（从满负荷到低负荷）：由于功率在满负荷和低负荷之间需要快速切换，因此只需在中间负荷点进行CO的检测；

⑪低负荷调整（小火）：将负荷选择开关设置为小火位置，然后通过调整伺服马达中的辅助开关位置来调整所需的燃气量。

3.3 技术实施后的运行效果

通过更换低氮燃烧器+烟气再循环技术实施后，委托检测机构对加热炉烟气检测氮氧化物排放浓度均在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以内。

4 改造和运行中出现的问题及建议

4.1 冷凝水产生的影响

室温空气和高温饱和烟气在送风系统中混合时，可能会引发冷凝水的形成。过量的冷凝水对燃烧器的正常运行会产生负面影响。为了应对这一问题，建议在燃烧器的吸风口前增设空气预热器，以提高进风温度，减小再循环烟气与进风之间的温差，特别是在寒冷的冬季，这有助于减轻冷凝水对燃烧器的不利影响。当燃烧器更换后，烟道温度显著下降，导致烟道内产生大量冷凝水。这不仅增加了烟道的腐蚀风险，还可能对排烟管道造成损害。为了解决这个问题，目前采用了一种新方法，即在加热炉烟囱底部安装排污管路，以将回流的冷凝水从烟囱内部引出。这一措施成功地

缓解了烟囱根部和烟箱的腐蚀问题，不仅延长了加热炉的使用寿命，还降低了维护和大修的费用。

4.2 烟气再循环管道高温产生的影响

烟气再循环管道在运行时保持高温状态（ 150°C ），这可能对操作烟气冷却或燃烧器维护的岗位员工构成高温烫伤的潜在风险。为减轻这一风险，建议对加热炉操作间内的烟气再循环管道进行保温处理，以有效防止人员烫伤的可能性。同时，值得关注的是高温烟气进入燃烧器后会使得整个燃烧器的温度升高，尤其在夏季高温季节可能对燃烧器电控箱内的电子元件造成不利影响。因此，在后续加热炉运行时，需要加强监测以确保电控箱的电子元件处于安全运行状态，避免高温对其产生不利影响。这一综合性的措施将有助于提高工作环境的安全性，减少操作人员的潜在危险，同时确保燃烧设备的稳定运行。

5 结语

改进后的加热炉不仅更加高效，还实现了更精确的氮氧化物控制，这对于降低能源消耗和排放污染物具有显著意义，不仅能够更好地保护环境，减少空气污染，还可以节约能源资源，降低运营成本，增强经济效益。此外，这次改造也将有力推动节能减排工作，将站库运营推向更加环保、可持续的方向。通过采用先进的燃烧技术可以有效减少温室气体排放，为应对气候变化做出了积极贡献。最重要的是，这一改造工程在创造绿色基层单位方面发挥了关键作用。积极采纳环保技术，以身作则，为社会树立了榜样。这不仅提升了企业形象，还加强了企业的社会责任感，为未来可持续发展打下了坚实的基础。

参考文献：

- [1] 景晔. 新型低氮燃烧器的原理及应用[J]. 石化技术, 2023, 30(8): 16-18.
- [2] 张婧帆, 李玖重, 周天宇, 等. 加热炉低CO低氮燃烧技术开发与应用[J]. 石油化工设备技术, 2023, 44(3): 33-35+44+5.
- [3] 李玖重, 孙志钦, 王恒博. 低氮燃烧器燃烧性能试验研究[J]. 环境工程, 2023, 41(S2): 265-267+273.
- [4] 宋强. 关于真空相变加热炉运行故障的探讨和分析[J]. 石化技术, 2018, 25(5): 58.

作者简介：

孙鹏（1987-），男，汉族，吉林长春人，研究生，工程师，主要从事油气集输、设备管理、计量质量管理方面的工作。