

# 天然气部分氧化法生产合成氨工艺的问题及对策

杨兴珂 张掌权 符君

海洋石油富岛有限公司生产管理中心 海南 东方 572600

**摘要:** 本文聚焦于天然气部分氧化法生产合成氨工艺中的关键问题及其应对策略。首先,对天然气部分氧化法生产合成氨的工艺原理及流程进行了概述,随后深入分析工艺中存在的氨冷冻系统稳定性差、氨压缩机喘振、冷氨泵气缚等技术难题。针对这些问题,提出增设气液分离器、防喘线以及采用PLC和DCS控制系统等改进措施。通过实施这些对策,以期有效提升合成氨装置的稳定性和运行效率,为行业的可持续发展提供有力支持。

**关键词:** 天然气;氧化法;合成氨工艺;问题;对策

随着全球能源结构的转型和环保要求的日益严格,天然气作为清洁、高效的能源,在化工领域的应用越来越广泛。其中,天然气部分氧化法生产合成氨工艺因其原料丰富、工艺成熟而备受关注。然而,在实际生产过程中,该工艺也面临着诸多技术挑战和问题,如氨冷冻系统稳定性差、氨压缩机喘振、冷氨泵气缚等,这些问题严重影响合成氨装置的运行效率和稳定性。因此,深入研究和解决这些问题,对于提高合成氨生产效率、降低能耗和污染排放具有重要意义。

## 1 项目概况

某年产19万t合成氨装置采用天然气部分氧化法,以尾气(主要包括甲烷、一氧化碳和二氧化碳、二氧化硫等)为原料,通过低能耗催化转化法生产。该装置主要包括脱硫、转化甲烷化、脱碳、压缩、氨合成和弛放气回收等工艺单元,冷冻回路由氨冷器、分水器、压缩机、冷凝器、贮槽及冷氨泵组成,是保证氨厂平稳生产的重要组成部分。但在实际生产过程中,经常会遇到由于低温冷氨泵电流过大、液位不稳定而引起的氨压机跳车现象。在此基础上,技术人员需要通过对工艺、设备和操作的全面剖析,对工艺进行优化和调整,提出相应的解决办法,并在此基础上逐步落实。

## 2 合成氨工艺简述

在氨合成工艺中,补充气经过氨冷却器降温到7℃,对凝结水进行有效的脱除,通过分离器将凝结水分离出来,保证气体的纯度<sup>[1]</sup>。经处理的补充气体和再循环气体混合,再送入2#氨冷器,降低到-6℃,为氨气的分离提供有利条件。经过细致的分离过程,氨被妥善处理,生成的合成气通过一系列设备回收大量冷量,气体随后进入到压缩机的循环流程中,在此环节中经历进一步压缩,其压力被精确调整至大约14.2个大气压,满足后续合成工艺所需的气体条件<sup>[2]</sup>。

另一方面,由压缩机送来的合成气经过进、出塔的热交换器进行预热,然后再进入氨合成塔,进行氨的合成反应,是整个生产过程中的核心环节,通过精确控制反应条件,实现氨的高效合成。将合成塔排出的高温工艺气体送入合成废热锅炉进行余热回收,同时生成2.5 MPa中压蒸气,达到合成热量回收的目的,随后,气体进入合成锅炉给水预热器和进出塔换热器,进一步回收热量,降低能耗<sup>[3]</sup>。随后,再通过合成水冷器,将合成塔出口合成气冷却到38℃,达到降温目的。再经过1#氨冷却器的冷却后,一部分氨进入1#氨分离器进行冷凝分离。在对1#氨分离器出口的合成气进行处理时,一部分作为废气排出,保持系统的惰气组分的平衡,2#氨冷却器将大量的合成气及辅助气送至2#氨冷却器,进行再循环。

1#氨分离器,2#氨分离器,负责将液氨从合成气与循环气中分离出来,经分离后的液氨先进入液氨闪蒸罐,减压时,大量的溶解气体被快速排放<sup>[4]</sup>。经过处理的液氨,继续起到降温的作用,并将其分别送入补充气氨冷器和1#氨冷却器中,为合成气的冷却提供必要的冷量。为了确保氨冷器的稳定运行,防止其中微量水分的积累,系统从补充气的氨冷却器中抽取少量液氨,送入2#氨冷却器。同时,从2#氨冷器也会抽出一定量的液氨,经过冷氨泵的加压后,液氨被送往液氨贮槽的洗涤段,进一步去除其中的杂质和微量水分。

在合成氨的生产流程中,惰性气体的管理至关重要。为避免惰性气体在系统内积聚,进而影响生产效率和产品质量,系统会在补充新气之前,从系统中抽取少量合成气作为弛放气排出。氨压缩机作为生产中的核心设备,采用离心式设计并由电机驱动。从氨冷器外壳侧流入氨压机,经过压缩,使氨冷器内的气压、温度都得到明显的提高。然后,气体氨经氨冷凝管,在冷却时逐步冷凝为液态氨。冷凝后的液氨借助重力自然流入液氨贮槽,之后通过热

氨产品输送至尿素设备进行尿素生产<sup>[5]</sup>。在尿素生产过程中，多余的液氨将被储存于液氨储罐中，以备后续使用。

### 3 运行过程中出现的问题及原因分析

在合成氨装置的运行过程中，当装置负荷降至30%时，一系列问题逐渐浮现，会出现如下情况：

#### 3.1 冷氨泵电流的瞬间超高和频繁停运成为最突出的问题

值班的工作人员尝试启动备用的冷氨泵，但发现泵无法正常启动。即使成功启泵，泵在运行几分钟后又会自行停止运转。同时，氨冷器和氨分离器的液面起伏很大，出现高低不稳定的情况。液氨闪蒸槽液面波动不仅导致氨压机频繁跳车，还引起安全阀的跳缸，严重影响装置的安全稳定运行。

#### 3.2 合成氨装置的负荷受到上游乙炔装置的影响较大

合成氨装置的稳定运行与上游乙炔装置的运行状态紧密相连。乙炔装置由于其独特的工艺特点，经常运行在较低负荷的状态，在一定程度上对合成氨装置的运行产生了影响。具体来说，当乙炔装置处于低负荷运行时，其产生的尾气量会相应减少，这些尾气是合成氨装置的重要原料，尾气量的减少直接导致合成氨装置原料供应的不足。在低负荷工况下，合成气中液态氨含量显著下降，且其所承载的热能下降，进而影响氨冻结系统的正常运转。系统中的液氨量下降，导致氨冷器和氨分离器的液位难以保持稳定，影响整个氨冷冻系统的稳定性和效率。

#### 3.3 液位的不稳定对氨冷冻系统的运行产生极大的影响

合成氨装置在满负荷运行时，其原料——乙炔尾气，以每小时54985立方米的进气量，能够稳定地生产出23.75吨/小时的氨。然而，当装置负荷降低到30%时，情况发生了显著变化。此时，乙炔尾气的进气量相应减少，氨产量锐减至仅7吨/小时，通过数据对比清晰地反映出，合成氨装置的氨产量与其负荷以及乙炔尾气的进气量之间有着密切的关联。合成氨装置的原料主要来源于上游乙炔装置产生的尾气。因此，乙炔装置的运行状态对合成氨装置的运行有着至关重要的影响。但是，由于其工艺特点，经常在低负荷下工作，导致乙炔装置的利用率下降，合成氨装置无法运行在最佳状态。低负荷运行工作时，合成气中液氨比大幅减少，气氨携带的热量迅速减少，氨冻结系统液氨含量急剧下降，氨冷器和氨分离器的液位以保持稳定。如果液位太低，则合成气中的气氨在氨冷器中不能全部凝结为液氨，而直接进入氨分离器，氨分离器中的气相系统出现气带液的情况。反

之，当液位过高时，液氨可能进入原本只应存在气体的管道中，造成液相系统液带气的现象。这些液位不稳定的问题进一步引发氨压缩机和冷氨泵的故障。氨压缩机是一种气体压缩设备，如果液体混入其中，会严重损害压气机的叶轮，导致设备频繁出现停机故障。但是，冷氨泵是一种用来输送液体的装置，在使用过程中，如果液体中含有气体，就会产生气缚现象”，使得水泵不能正常工作。

氨分离系统是合成氨工艺的重要组成部分，包括氨冷器，气液分离器，阀门，仪表，冷氨泵，氨压缩机等。通常，氨分离器的液位需要保持在40%~50%的范围内，这一液位的控制是基于对分离器内部空间的合理利用，确保气液两相在分离器内有足够的空间进行充分接触和分离。如果液位过高，闪蒸空间将被压缩，气相无法完全从液相中分离出来，从而影响分离效果。相反，如果液位过低，当系统负荷出现波动时，分离器将无法及时调整，气氨可能直接进入冷氨泵，不仅会损坏冷氨泵，还会造成氨无法得到有效分离。同时，氨分离器的压力也需要控制在0.18MPa~0.24MPa的范围内，保持分离器内部气液两相的平衡，防止因压力过高或过低而导致的分离效果下降。当压力过高时，气氨的溶解度增大，使得分离难度增加；而压力过低则可能导致气氨过快地从液相中逸出，同样不利于分离。

### 4 解决方案

(1) 氨冷冻系统在运行过程中，常常面临“气缚”以及“氨压缩机频繁跳车”等棘手问题。为了解决这些难题，可以在氨分离设备与冷氨泵之间巧妙地增加一个气液分离器。气液分离器的作用是对2#氨冷却器中的液氨进行精细化分离，通过运用先进的分离技术，减少液氨中的气相成分，确保冷氨泵在运行时能够更加平稳、可靠，防止因气缚现象导致的泵堵塞或失效，提高整个氨冻结系统的运行效率和稳定性。其次，在氨冷凝器与1#氨冷器和2#氨冷器之间增设防喘线，喘振是压缩机在运行过程中常见的一种不稳定现象，如果不加以控制，会对压缩机造成严重的损坏。增设防喘线能够有效防止压缩机喘振的发生，提高氨冷冻系统的运行稳定性，减少故障率。第三，通过对氨冷冻系统的各种操作参数的实时采集，利用信息采集与控制系统实现远程控制，并通过远程控制的方式对系统进行精准调控。

(2) 为了消除氨冷冻系统中氨压缩过程存在的喘振、跳车等安全隐患，需要特别在氨冷凝器与1#氨冷器、2#氨冷器之间增设一条防喘线，防喘线的核心作用在于确保氨冷凝器中生成的气氨能够顺畅地流经1#氨冷

器和2#氨冷器，并最终顺利进入氨压缩机<sup>[6]</sup>。通过这一设计，防喘线有效地避免气氨在流动过程中可能出现的不稳定情况，降低氨压缩机发生喘振的风险，减少氨压缩机跳车的可能性。同时，为了实现对氨冷冻系统的精准控制，引入先进的信息采集控制系统，实时采集氨冷冻系统中各关键参数的数据，并通过远程控制的方式精确调节系统中阀门的开度，根据系统的实时运行状态，及时对阀门开度进行调整，确保氨冷冻系统的稳定运行。

(3) PLC控制系统具有高度的自动化和智能化特点，能够实时监测液氨气液分离罐的液位变化，并根据预设的参数进行自动调节。通过PLC控制系统的精确控制，能够确保液氨气液分离罐的液位始终保持在适宜范围内，避免因液位过高或过低而导致的氨分离效果不佳或冷氨泵运行异常等问题。同时，通过DCS（分布式控制系统）对液氨气液分离罐的液位和压力进行远程直接控制，实现对氨冷冻系统各个关键参数的实时监测和调控，确保整个系统的稳定运行。通过DCS系统的远程控制，根据液氨气液分离罐的实时液位和压力数据，及时调整系统的运行参数，保证氨冷冻系统的安全稳定运行。另外，该系统还可根据根据液氨气液分离罐液位的高低，自动调整冷氨泵中的液氨流量。在液氨气液分离罐中，如果液位太高，那么该系统就会自动降低冷氨泵中的液氨含量。防止因液氨过多而导致的冷氨泵过载或气缚现象；当液位过低时，系统会自动增加液氨量，确保冷氨泵的正常运行。

## 结论

综上所述，天然气部分氧化法生产合成氨工艺在实际应用中虽然具有显著优势，但同样面临着诸多技术挑战。通过增设气液分离器、防喘线以及采用PLC和DCS控制系统等对策，能够有效地解决氨冷冻系统稳定性差、氨压缩机喘振、冷氨泵气缚等问题，提升合成氨装置的运行效率和稳定性。然而，技术的创新与应用永无止境，仍需不断探索和研究，以期在天然气部分氧化法生产合成氨工艺中实现更高效的转化、更低的能耗和更少的污染排放。

## 参考文献

- [1]董正远,靳职武,张磊,等.合成氨与尿素生产工艺的风险评估与优化[J].化工设计通讯,2024,50(03):7-9.
- [2]吉旭,林今,聂李红,等.适用可再生能源不确定特性的合成氨多稳态柔性工艺技术[J].洁净煤技术,2024,30(02):23-35.
- [3]林承顺.合成氨工艺技术现状及发展趋势[J].能源化工,2024,45(01):12-15.
- [4]李帅,李国峰,杨伟强,等.合成氨尾气回收技术制取LNG工艺流程优化研究[J].粘接,2024,51(01):121-124.
- [5]王磊.双甲工艺在合成氨装置中的催化剂选择与催化性能评估[J].化工设计通讯,2023,49(12):3-5+28.
- [6]李红泰,王刚,王建安.合成氨原料气精制—醇烃化工工艺运行小结[J].氮肥技术,2023,44(06):16-19.