

# 空分装置水冷塔溢流管虹吸现象及其处理措施

王文清 施佳豪

杭州杭氧低温液化设备有限公司 浙江 杭州 311305

**摘要:** 本文聚焦于空分装置中水冷塔溢流管常见的虹吸现象, 深入分析该现象的形成机理及其对装置运行效率与稳定性的影响。针对这一问题, 本文总结传统处理方法的局限性, 并探讨新型处理措施及技术的研究与应用。通过构建全面的效果评估体系, 对处理措施进行实验验证与分析, 最终提出优化与改进的方向。本文旨在为空分装置水冷塔溢流管虹吸现象的有效处理提供科学依据和技术支持。

**关键词:** 空分装置; 水冷塔溢流管; 虹吸现象; 处理措施

## 1 水冷塔溢流管虹吸现象的成因

水冷塔溢流管虹吸现象的成因主要源于压强差的原理。当水冷塔内的气体流量增大, 特别是当污氮气、氧气和氩气等大量进入水冷塔时, 塔内的压力会随之增加。这种压力的增加会压迫塔底的液面, 使得液体在压力的作用下被迫从溢流管流出。具体来说, 当水冷塔内的气量增大到一定程度, 填料层上的水因气压增高而无法正常下流, 部分水被污氮气大量蒸发, 而大部分水则从塔壁下流。此时, 塔内气压的增高会在溢流管处产生虹吸现象。这是因为溢流管通常设计为倒U形, 其进口端位于塔内液面以下, 而出口端则位于塔外。当塔内压力高于塔外时, 就会在溢流管内部形成压力差, 使得水从压力高的塔内被“吸”向压力低的塔外, 形成虹吸现象。虹吸现象的发生还受到重力作用的影响。在虹吸过程中, 重力使得水从高处(塔内)流向低处(塔外), 同时液态分子间的引力与位能差也促进了水的流动。当塔内与塔外的气压差达到一定程度时, 水就会持续从溢流管流出, 直到塔内与塔外的气压相等, 虹吸现象才会停止<sup>[1]</sup>。为了防止水冷塔溢流管虹吸现象的发生, 可以采取一些措施。例如, 在溢流管上部开一个小口子, 以破坏虹吸现象产生的条件; 或者调整进入水冷塔的气量, 避免气量过大导致塔内压力过高; 还可以考虑改变溢流管的设计, 如将溢流管改为垂直向上安装等。这些措施都可以有效地防止或减轻水冷塔溢流管虹吸现象的发生。

## 2 虹吸现象对空分装置运行的影响

虹吸现象对空分装置的运行可以产生一系列显著的影响, 这些影响直接关系到装置的效率、稳定性和安全性。虹吸现象会导致水冷塔内的液位异常下降, 在水冷塔中, 液位是维持设备正常运行的关键因素之一, 它直接关系到热交换效率和气体洗涤效果。当虹吸现象发生时, 大量的水被迅速从溢流管排出, 导致塔内液位急

剧下降。这不仅会降低热交换效率, 影响气体的冷却和洗涤效果, 还可能引发塔内填料层的干烧, 进而损坏设备。虹吸现象还会对空分装置的气体分离效果产生负面影响, 空分装置的主要功能是将空气中的各种组分进行分离, 得到高纯度的氧气、氮气等气体。而水冷塔作为空分装置中的一个重要组成部分, 其运行状态直接影响到后续气体分离的效果。当水冷塔因虹吸现象导致液位下降时, 进入塔内的气体可能无法得到充分的洗涤和冷却, 导致气体中携带的杂质增多, 进而影响后续分离工序的效率和纯度。虹吸现象还可能对空分装置的安全运行构成威胁, 由于虹吸现象发生时, 大量的水被迅速排出, 可能导致设备周围环境的湿度急剧增加, 甚至引发地面积水、设备锈蚀等问题, 如果虹吸现象持续存在且未得到及时处理, 还可能导致水冷塔内的液位过低, 进而引发设备故障或停机事故, 对生产造成严重影响。

## 3 溢流管虹吸现象的特征与监测方法

### 3.1 溢流管虹吸现象的特征

溢流管虹吸现象在空分装置中展现出几个显著的特征。第一, 最直观的表现是溢流管出口处出现连续且大量的水流出, 这种水流通常不受常规操作控制, 呈现出不稳定的流量特征。第二, 随着虹吸现象的发生, 水冷塔内的液位会迅速且显著地下降, 这可以通过液位监测装置清晰地观察到, 由于水流的快速流失, 可能会伴随有水流声或气泡声等异常声响<sup>[2]</sup>。第三, 虹吸现象往往伴随着塔内气体压力的变化, 这种压力变化可能是导致虹吸现象的直接原因, 也可能由虹吸现象进一步加剧。第四, 如果虹吸现象持续存在且未得到及时处理, 还可能导致水冷塔周围环境的湿度增加, 以及可能出现设备锈蚀等间接影响。

### 3.2 虹吸现象的监测手段

为了及时发现并处理溢流管虹吸现象, 需要采取一

系列有效的监测手段,最直接的方法是安装液位监测装置,实时监测水冷塔内的液位变化。当发现液位异常下降时,应立即检查是否存在虹吸现象。可以通过安装压力传感器来监测塔内及塔外的气体压力变化,特别是关注两者之间的压力差,因为压力差是引发虹吸现象的关键因素之一。还可以利用视觉检查手段,定期巡视水冷塔及溢流管周围区域,观察是否有异常的水流、气泡或声响等现象,对于关键的设备和管道,可以定期进行维护和检查,确保其处于良好的工作状态,减少虹吸现象发生的可能性。结合自动化控制系统,可以实现对虹吸现象的自动监测和预警,一旦检测到异常信号,立即触发报警并采取相应的应急措施。

#### 4 水冷塔溢流管虹吸现象的处理措施

##### 4.1 传统虹吸现象处理方法

在处理水冷塔溢流管虹吸现象的传统方法中,我们依赖于物理结构的巧妙设计与操作管理的精细化,针对溢流管的设计调整,工程师们会精心计算并调整溢流管的孔径大小、位置以及安装角度,以确保其能够在适当的时机释放塔内过高的压力,从而避免虹吸现象的发生。这种设计上的微调,往往需要对流体动力学有深入的理解,并结合具体的工况条件进行反复试验与优化<sup>[3]</sup>。在操作管理方面,传统方法强调了对运行参数的实时监控与灵活调整。通过安装高精度的液位计、压力传感器等监测设备,我们能够实时获取水冷塔内部的运行数据,如液位高度、压力变化等。一旦发现数据异常,如液位迅速下降或压力波动异常,操作人员会立即采取措施,如调整进气量、开启旁通阀门等,以恢复塔内的正常工况,防止虹吸现象的进一步发展。定期对水冷塔进行清洗和维护也是传统处理方法中不可或缺的一环。随着使用时间的增长,水冷塔内部可能会积累各种污垢和杂质,这些物质不仅会影响热交换效率,还可能堵塞溢流管等关键部件,导致虹吸现象的发生,通过定期清洗和检查,可以保持水冷塔内部的清洁和畅通,预防虹吸现象的发生。

##### 4.2 新型处理措施及技术的研发与应用

随着科技的飞速发展,新型处理措施及技术为水冷塔溢流管虹吸现象的解决提供了更为广阔的空间。其中,智能化控制系统的应用尤为引人注目。这种系统通过集成传感器、控制器、执行器等先进设备,实现了对水冷塔运行状态的全面监控和自动调节。当系统监测到虹吸现象发生的迹象时,会立即启动预设的应急处理程序,自动调整气体流量、液位等关键参数,以迅速消除虹吸现象的影响。这种智能化的处理方式不仅提高了处

理效率,还大大降低了人工操作的难度和成本。新型材料和技术的研究也为虹吸现象的处理提供了新的思路。例如,采用具有优异耐腐蚀性和弹性的高分子材料制作溢流管,可以有效减少因材料老化、变形等原因导致的虹吸现象,利用数值模拟和仿真技术,我们可以对水冷塔内部复杂的流场进行精确模拟和分析,找出虹吸现象发生的根本原因和影响因素。这种基于科学分析的方法为制定更加有效的处理措施提供了有力支持。

##### 4.3 完善的虹吸现象处理措施的重要性

完善的虹吸现象处理措施对于保障空分装置的安全、稳定和高效运行具有至关重要的意义。首先,从安全角度来看,虹吸现象的发生可能导致水冷塔内部结构受损、设备故障甚至引发安全事故。通过采取有效的处理措施,可以及时发现并消除这些潜在的安全隐患,确保空分装置在安全的环境下运行<sup>[4]</sup>。其次,从生产效率和成本控制的角度来看,虹吸现象的发生会严重影响空分装置的性能和效率。一方面,它会导致热交换效率下降、气体洗涤效果减弱等问题;另一方面,它还会增加能耗和维修成本等不必要的支出,通过完善处理措施来减少或消除虹吸现象的发生,对于提高生产效率和降低运行成本具有重要意义。最后,从环保和可持续发展的角度来看,完善的虹吸现象处理措施也符合当前社会对环保和节能的要求。通过减少能耗和排放、提高资源利用效率等方式来降低对环境的影响和污染,是实现可持续发展的关键途径之一。因此应该高度重视虹吸现象的处理工作,并不断探索和应用更加先进和有效的处理技术和方法。

#### 5 虹吸现象处理效果评估与优化

##### 5.1 虹吸现象处理方法效果评估指标

在评估虹吸现象处理方法的效果时,需要建立一套全面、科学的评估指标体系,以确保评估结果的客观性和准确性。以下是一些关键的评估指标:(1)虹吸现象消除率:这是最直接也是最重要的评估指标之一。它反映了处理方法对于消除虹吸现象的能力。具体计算时,可以通过比较处理前后虹吸现象发生的频率、持续时间或影响范围等参数来确定。(2)系统稳定性提升度:虹吸现象不仅影响水冷塔本身的运行,还可能对整个空分系统的稳定性造成冲击,评估处理方法的效果时,需要考察其对系统稳定性的提升程度。这可以通过监测系统压力、温度、流量等关键参数的波动情况来评估。(3)能效改善率:虹吸现象往往伴随着能量的浪费和效率的降低,评估处理方法的效果时,还需要关注其对能效的改善情况。具体可以通过比较处理前后系统的能耗、热

交换效率等参数来评估。(4) 维护成本降低率: 有效的处理方法能够减少因虹吸现象导致的设备损坏和维修需求, 从而降低维护成本, 评估时也需要考虑这一方面的效果。(5) 环境友好性: 在环保意识日益增强的今天, 评估处理方法的环境友好性也显得尤为重要。这包括处理过程中是否产生有害物质、是否有利于节能减排等方面。(6) 操作便捷性: 处理方法的操作便捷性也是评估其效果的一个重要方面。一个易于操作、维护的处理方法能够降低人工成本和操作风险。

### 5.2 虹吸现象处理效果的实验验证与分析

为了验证虹吸现象处理方法的实际效果, 需要进行一系列的实验验证与分析。首先, 根据评估指标和实验目的, 设计合理的实验方案。这包括确定实验对象(如具体型号的水冷塔)、实验条件(如进气量、水温等)、实验步骤以及数据采集方法等。在实验开始前, 需要对实验对象进行充分的检查和准备。包括清洗水冷塔、检查各部件的完好性、安装必要的监测设备等<sup>[5]</sup>。按照实验方案进行实验。在实验过程中, 需要严格控制实验条件, 确保实验结果的准确性和可重复性。同时需要实时记录实验数据, 以便后续分析。实验结束后, 对收集到的数据进行处理和分析。通过对比处理前后各评估指标的变化情况, 评估处理方法的实际效果, 还可以利用统计学方法对数据进行分析, 以验证实验结果的可靠性和显著性。根据实验结果, 讨论处理方法的优缺点、适用范围以及可能的改进方向, 总结实验经验和教训, 为未来的研究和应用提供参考。

### 5.3 虹吸现象处理方法的优化与改进

在评估和处理虹吸现象的过程中, 我们往往会发现一些不足之处或需要改进的地方。不断探索和应用新技术、新材料和新方法, 以提高处理方法的效率和效果。例如, 利用智能控制技术实现对虹吸现象的实时监测和自动处理; 采用新型耐腐蚀材料制作溢流管等。通过调整处理方法的参数设置, 如溢流管的孔径大小、位置、安装角度等, 以优化处理效果。这需要对流体力学和热力学等原理有深入的理解, 并结合具体的工况条件进

行反复试验和优化。将处理方法与空分系统的其他部分进行集成, 以实现更加高效、协同的运行。例如, 将虹吸现象处理系统与空分系统的控制系统进行集成, 实现对虹吸现象的自动监测和预警; 将处理系统与冷却水循环系统进行集成, 以提高热交换效率等。制定详细、规范的操作规程和维护手册, 确保操作人员能够正确、有效地使用和处理虹吸现象, 加强对操作人员的培训和教育, 提高他们的专业素养和操作技能。建立持续改进的机制和文化, 鼓励员工提出改进意见和建议。通过不断的试验、验证和优化, 不断完善虹吸现象处理方法, 以适应不同工况条件和需求的变化。虹吸现象处理效果的评估与优化是一个复杂而系统的过程。通过建立科学的评估指标体系、进行严谨的实验验证与分析以及不断探索和优化处理方法, 可以不断提高虹吸现象的处理效果, 确保空分装置的安全、稳定和高效运行。

### 结束语

空分装置水冷塔溢流管的虹吸现象是一个亟待解决的问题, 其有效处理对于保障装置的安全、稳定和高效运行具有重要意义。通过不断探索和应用新技术、新方法, 可以逐步克服传统处理方法的局限性, 提高处理效果。未来, 还将继续深化研究, 完善评估体系, 为空分装置水冷塔溢流管虹吸现象的处理提供更加全面、科学的解决方案。

### 参考文献

- [1]郭永昌,胡晖.LNG冷能空分装置节能分析及问题探讨[J].制冷,2019,36(02):89-92.
- [2]吴波.豫光金铅空分装置氮压机的节能改造[J].通用机械,2020(06):62-63.
- [3]陆君君,王永健.空分装置的工艺路线及设备选型分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(02):258-260.
- [4]张亮,赵振宇.危险气体对煤化工空分装置安全的影响[J].化工管理,2021(04):116-117.
- [5]王永健,陆君君.空分装置危险点分析及处理措施[J].化学工程与装备,2022,(07):218-220.