大型空分设备贫氪氙提取工艺过程风险分析及控制

王 婷 李登桐
宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司，宁夏 银川 750000

[摘要]本篇文章探讨了大型空分设备贫氪氙提取工艺中的风险分析与控制措施。首先，我们对工艺流程进行了概述，包括主要设备和步骤。然后，我们详细分析了潜在风险因素，包括操作、设备、化学品、安全和健康以及环境风险。随后，介绍了风险评估方法，包括风险识别、风险分级和风险量化。接下来，讨论了操作控制、设备控制、化学品控制、安全和健康控制以及环境控制的关键措施。最后，强调了这些措施的重要性，以确保工艺的安全性、可靠性和环保性。
[关键词]大型空分设备；贫氪氙提取；过程风险；控制
DOI：10.33142/ec.v6i11.9908 中图分类号：TP3 文献标识码：A

Risk Analysis and Control of Lean Krypton Xenon Extraction Process in Large-scale Air Separation Equipment

WANG Ting, LI Dengtong
Coal to Oil Branch of CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750000, China

Abstract: This article explores the risk analysis and control measures in the lean krypton xenon extraction process of large air separation equipment. Firstly, we have provided an overview of the process flow, including the main equipment and steps. Then, we conducted a detailed analysis of potential risk factors, including operational, equipment, chemicals, safety and health, and environmental risks. Subsequently, risk assessment methods were introduced, including risk identification, risk grading, and risk quantification. Next, key measures for operational control, equipment control, chemical control, safety and health control, and environmental control were discussed. Finally, the importance of these measures was emphasized to ensure the safety, reliability, and environmental friendliness of the process.
Keywords: large air separation equipment; extraction of poor krypton and xenon; process risk; control

引言

大型空分设备贫氪氙提取工艺在许多工业应用中起着重要作用，但其复杂性和潜在风险也需要得到高度关注和有效控制。本文将深入研究该工艺的风险因素，包括操作、设备、化学品、安全和健康以及环境风险，并提供了一系列控制措施，以确保工艺的高效、安全和环保运行。通过深入分析和细致的控制，我们可以最大程度地降低风险，保障操作员的安全，延长设备寿命，同时减少对环境的不利影响。

1 贫氪氙提取工艺概述

1.1 工艺流程概述

贫氪氙提取工艺是大型空分设备中的关键过程之一，用于从气体混合物中分离出稀有气体氪和氙。该工艺的主要目标是获得高纯度的氪和氙气体，氪和氙气体在各种工业应用中具有重要的用途，包括激光技术、光谱分析、医学成像和半导体生产[1]。大型空分设备贫氪氙提取工艺一般流程如下：①气体进料：工艺的开始阶段涉及将贫氪氙混合物引入系统。通常，混合物包括氪、氙以及其他杂质气体。②压力摇晃吸附：在压力摇晃吸附装置中，混合气体在吸附剂（通常是分子筛或活性炭）上通过。氪和氙分子会被吸附到吸附剂上，而其他气体则通过。③解吸附：随后，通过降低压力或升高温度等方式，吸附剂中的氪和氙会被解吸出来，形成氪和氙的气相。④分离和纯化：此步骤中，氪和氙气体被分离出来，通常使用精炼柱或其他分离设备。设备根据物理性质差异，如沸点或吸附性能，将氪和氙分离开来。⑤氪和氙的收集和储存：分离出的氪和氙气体随后被收集并储存在专门设计的储罐中，以备后续应用。

1.2 主要设备和步骤

在贫氪氙提取工艺中，使用了多种关键设备和步骤，以实现有效的分离和纯化。第一、压力摇晃吸附装置，这是贫氪氙提取工艺的核心设备之一。它包括吸附剂床和控制系统，用于实现氪和氙的吸附和解吸附。第二、分离柱，分离柱是用于将氪和氙分离的设备。它们通常由特殊填料填充，以增加分离效率。第三、压缩机和冷却器，设备用于压缩和冷却分离后的氪和氙气体，以便进行储存和后续处理。第四、储罐和管道系统，氪和氙气体收集在专用储罐中，并通过管道系统进行输送和储存。第五、监测和控制系统，工艺需要实时监测温度、压力、流量和成分等参数，以确保操作处于安全状态，并实施必要的控制策略。

2 风险分析

2.1 潜在风险因素

2.1.1 操作风险

操作过程的失误或错误可能会发生在设备运行、化学

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

反应控制、温度和压力控制等环节。例如，工人没有按照规定的流程进行操作，可能会导致设备运行故障或产品纯度下降。此外，不正确的开关速度或操作力度也可能会对设备造成损坏。

2.1.2 设备风险

设备故障或老化可能会发生在空分设备的各个环节，如压缩、冷却、液化、分离和氪氙提取等。例如，液化设备的故障可能会导致无法将空气液化，进而影响氪氙的提取。此外，设备老化也可能会导致性能下降，影响生产效率和产品质量。

2.1.3 安全和健康风险

生产过程中可能存在一些安全和健康风险，如高温、低温、高压等危险因素。例如，在高温环境下工作可能会对工人的皮肤和呼吸系统造成伤害。此外，长时间在低温环境下工作也可能会引起冻伤和其他健康问题。

2.1.4 环境风险

在贫氪氙提取和纯化过程中，可能会产生二氧化碳等气体的尾气，如果废弃物和排放物处理不当，可能会对环境造成潜在威胁。例如，废气排放不当可能会导致空气污染和温室效应加剧，废水排放不当可能会对地表水和地下水造成污染，化学废料的不当处理也可能会对土壤和地下水造成污染。

2.2 风险评估方法

2.2.1 风险识别

风险识别是在贫氪氙提取工艺中的第一步，旨在确定可能存在的各种风险和潜在问题。首先，对操作、设备、安全和健康以及环境方面的潜在风险因素进行全面审查和分析。其次，搜集关于工艺和设备性能、历史事故、操作记录和相关法规的数据[2]。第三，请相关领域的专家参与，提供他们的经验和见解，以确定可能的风险。最后，使用故障树分析等工具，识别导致事故或故障的可能路径。

2.2.2 风险分级

风险分级是将已识别的风险因素按照其严重性和可能性进行排序的过程。这有助于确定哪些风险需要优先处理。通常，分级可以采用如下方法：第一、严重性评估：对每个潜在风险的严重性进行评估，考虑其可能导致的影响，包括人员伤害、设备损坏、生产中断、环境影响等。第二，可能性评估：评估每个潜在风险发生的可能性，考虑概率、频率和可控性等因素。第三，分级矩阵：使用分级矩阵将严重性和可能性结合起来，将风险分为不同的等级，如高风险、中风险和低风险[3]。

2.2.3 风险量化

风险量化是将风险用数字或度量标准表示的过程，以更具体地评估和比较不同风险的影响。风险量化常用的有风险值计算、经济风险评估与模拟和建模。风险值计算是将严重性和可能性的评估值转化为风险值，通常使用定量指标或百分比。经济风险评估为评估风险对生产成本、设备维护成本和潜在损失的经济影响。模拟和建模为使用模拟工具和数学模型来模拟潜在风险的影响，以便更好地理解其可能的结果。

3 风险控制

3.1 操作控制

通过操作控制措施，我们可以有效提高贫氪氙提取工艺的操作能力，降低潜在风险，并确保在出现问题时能够快速、有效地应对紧急情况，以保障工艺的持续安全运行。此一系列措施具有关键意义，以下将对其进行更详细的阐述。首先，操作程序化熟练化对于确保工艺的安全性和可靠性至关重要。通过制定详尽的操作程序和标准操作规程，操作员能够清晰地了解应如何按照规定的步骤执行工艺，包括设定正确的参数，采取适当的安全措施，以及准确记录操作数据。操作程序的严格遵守不仅有助于预防人为操作错误，还确保了工艺在一致的条件下运行，从而提高了生产效率。为了确保操作员能够正确执行这些程序，培训成为至关重要的一环。操作员必须接受全面的培训，以确保他们了解工艺的复杂性、潜在的风险和正确的操作步骤，包括如何正确使用设备、化学品的处理方法以及如何应对各种应急情况。只有经过充分培训的操作员才能在工艺运行中确保高水平的安全性和操作标准。其次，实时智能监测系统的使用对于监控关键工艺参数至关重要，系统可以安装在设备上，持续监测工艺中的各种参数，如压力、温度、流量和气体成分。实时监测系统不仅有助于及时检测到异常情况，还能够在问题发生前发出警报。例如，如果监测系统检测到异常的高压或温度，它可以立即触发警报，以便操作员可以采取紧急措施，防止事故或设备故障的发生。实时监测系统的使用可以显著提高工艺的安全性，减少了人为误差和监测延迟可能导致的风险。最后，应急计划的制定和演练是在紧急情况下保障工艺安全的关键步骤。应急计划应包括应对各种紧急情况的详细措施，例如设备故障、气体泄漏、火灾等。计划应该清晰明了，包括员工应该采取的具体行动和联系人信息。为了确保员工能够在紧急情况下迅速、有效地应对，定期的应急演练是必不可少的。演练可以帮助操作员熟悉应急程序，提高应对紧急情况的能力，以及更好地协同合作。只有通过演练，操作员才能在紧急情况下保持冷静，采取正确的行动，以最大程度地减少潜在风险和损失[4]。

3.2 设备控制

设备控制是确保大型空分设备贫氪氙提取工艺持续运行和安全性的关键组成部分。第一、定期维护。建立定期维护计划，以确保设备按照制造商的要求和最佳实践进行维护，包括定期检查、清洁、润滑和更换零部件。采取预防性维护措施，以在设备出现故障之前识别和解决问题，有助于降低意外停机的风险。第二、设备安全施工。确保

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在设备上安装了必要的安全设备，如安全阀、泄漏检测系统、火灾探测器和紧急切断装置。定期检查和测试安全设备，以确保其功能正常，并在需要时进行维护或更换。对操作员定期考核，以确保他们了解设备的安全操作，以及如何应对设备故障或紧急情况。通过定期维护和设备安全措施的实施，可以确保大型空分设备在高效、可靠和安全的条件下运行，控制措施有助于减少设备故障的风险，提高工艺的可靠性，并保护操作员和环境的安全。

3.3 碳氢化合物控制

贫氪氙提取过程主要涉及液氧、液氮及贫氪氙，主要危害为低温冻伤及氧氮窒息，同时在可先提取过程中主要存在碳氢化合物过高会引发爆炸风险，故需要着重对碳氢化合物进行控制。对于活塞式液氧泵抽取的贫氮液，应定期检查和维护液氧泵以防止泄漏，在贫氮液抽取过程中，应确保氮气中不含有大量碳氢化合物。在去水浴式汽化器中，要确保温度和压力条件适当，以防止碳氢化合物的挥发或过度汽化，定期检查汽化器的性能，以确保它在操作中不会产生碳氢化合物的副产物。在除甲烷触媒炉中，控制温度和催化剂的选择以确保高效的甲烷转化，减少未反应的碳氢化合物的存在，确保反应后的气体中没有残留的碳氢化合物，以免其进一步影响后续处理步骤。在热量回收装置中，应确保热量回收过程中不会引入碳氢化合物污染，维护换热器和水冷却器以防止任何泄漏，对分子筛吸附器的热回收过程进行控制，以减少碳氢化合物的存在。分子筛吸附器的设计和操作应足够高效，以吸附二氧化碳和水分，但不吸附碳氢化合物，定期监测分子筛吸附器的性能，确保其有效去除目标污染物。总之，对碳氢化合物的控制需要从气体源、气体处理过程、反应条件、热量回收、分子筛吸附器以及再生气体等多个方面进行严格管理和控制，以确保工艺的安全性和效率。定期的检查、维护和监测是确保碳氢化合物控制的有效手段，有助于减少潜在的风险和污染。

3.4 安全和健康控制

安全和健康控制是确保大型空分设备贫氪氙提取工艺操作员和工作环境安全的关键因素。首先，确保操作员配备适当的个人防护装备，根据风险情况包括呼吸器、安全眼镜、面罩、防护服和手套等。同时，操作员应确保能正确佩戴和使用个人防护装备，并且定期检查装备的状态，确保个人防护装备能够起到有效防护作用。其次，为所有操作员提供基础的安全培训，包括工艺的安全操作、紧急情况的应对、化学品处理和设备操作等方面。针对特定的工作岗位和任务，提供专门的培训，以确保操作员了解和能够应对特殊的安全和健康风险。另外，定期进行安全培训，以更新操作员的知识，强化他们的安全意识，并介绍新的安全标准和最佳实践。通过提供个人防护装备和适当的培训，可以减少操作员受到高压操作、有害气体暴露和其他潜在安全和健康风险的风险。这些控制措施有助于确保操作员的身体健康和安全，并减少事故和意外事件的发生。

3.5 环境控制

第一、能源消耗优化。采取节能措施，优化工艺参数和设备运行，以减少能源消耗，包括优化冷却系统、加热系统和循环流程等。建立能源管理计划，定期监测和评估能源使用情况，识别潜在的能源节约机会，并采取措施进行改进。考虑采用可再生能源，如太阳能或风能，以减少对传统能源的依赖。第二、气体排放监测。建立实时气体排放监测系统，监测有害气体排放和排放水平，以确保排放符合环保法规。定期报告气体排放数据，并确保符合当地和国家的环境法规。同时，采取措施以减少排放水平，包括采用更清洁的技术和控制设备。通过这些环境控制措施，可以最大程度地减少大型空分设备贫氪氙提取工艺对环境的负面影响，有助于降低温室气体排放、减少能源浪费，同时确保工艺符合环保法规，保护周围环境的可持续性。

4 结语

综上所述，在大型空分设备贫氪氙提取工艺中，风险分析和控制是确保工艺安全性和可持续性的不可或缺的组成部分。本文中讨论的操作控制、设备控制、化学品控制、安全和健康控制以及环境控制措施提供了一个综合性的框架，可以帮助工程师和操作员更好地理解和应对潜在的风险。通过坚守安全、健康和环保原则，我们能够确保这一关键工艺的长期成功，同时为未来的工业进步和可持续发展提供了坚实的基础。

基金项目：科技创新项目：特大型空分装置贫氪氙提取技术研究，项目编号 MZY-22-04。

[参考文献]

[1]霍泉龙.以砂爆事故为例分析空分装置设备运行风险及预防措施[J].河南化工,2022,39(1):41-44.
[2]刘兴东.空分设备设计风险识别与本质安全设计[J].大氮肥,2020,43(4):261-263.
[3]张佳良.风险管理在空分设备制造企业中的应用实例[J].现代工业经济和信息化,2016,6(18):117-120.
[4]陈韧,李建伟,张竞恒.二氧化碳风险控制及空分工厂布置优化[J].深冷技术,2016(3):16-19.
[5]马磊,杨阳,苏慧.10万m～3/h等级空分设备配套国产化空压机组项目管理的风险因素分析和控制[J].深冷技术,2016(3):54-58.

作者简介：王婷（1990.3—），女，毕业于宁夏大学化学工程专业，硕士研究生学历，就职于国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司，工程师；李登桐（1974.4—），男，毕业于甘肃省石油化工校有机化工专业，就职于国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司，工程师。

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.