

# 黑水闪蒸技术在煤制气废水处理中的应用

刘彩霞 武建军

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:** 煤制气废水含有众多难以降解的有机物和有毒物质,传统处理方法难以满足高效、环保的废水处理要求。黑水闪蒸技术作为一种新兴的废水处理技术,通过迅速减压使废水中的溶解性气体和易挥发物质迅速逸出,从而达到净化废水的目的。本文详细探讨了黑水闪蒸技术的原理、工艺流程,深入分析了该技术在煤制气废水处理中的具体应用,并对其优势与挑战进行了全面阐述,旨在为煤制气废水的高效处理提供新的思路和方法。

**关键词:** 黑水闪蒸技术;煤制气废水;工艺流程;应用效果;优势与挑战

## 引言

随着煤化工行业的迅猛发展,煤制气废水处理问题日益受到关注。这类废水中含有的大量难降解有机物和有毒物质,对环境和人类健康构成严重威胁。黑水闪蒸技术以其独特的处理机制和高效的处理效果,为煤制气废水处理提供了一种新的解决方案。本文将对黑水闪蒸技术在煤制气废水处理中的应用进行详细具体的探讨。

## 1 黑水闪蒸技术背景与原理

### 1.1 技术背景

煤制气过程中产生的废水含有大量难以处理的污染物,如油类、固体颗粒物、氨氮等。这些污染物对环境和生态系统构成严重威胁,因此需要进行高效处理。黑水闪蒸技术作为一种有效的预处理手段,在煤制气废水处理中发挥着重要作用。

### 1.2 技术原理

黑水闪蒸技术的核心原理在于利用减压使废水中溶解的气体和易挥发物质迅速逸出。在高压下,废水中溶解的气体和某些有机物处于饱和状态,当压力迅速降低时,这些物质因溶解度降低而迅速从废水中释放出来。此外,废水在迅速减压过程中还会发生部分汽化,进一步促进有害物质的去除。

## 2 黑水闪蒸技术在煤制气废水处理中的应用流程

### 2.1 废水接收与初步处理

在煤制气废水处理流程中,废水接收与初步处理是确保整个处理系统稳定运行的关键环节。废水首先通过专门的管道系统被收集到调节池中。这一步骤至关重要,因为它不仅使得废水的流入得到有序控制,还能实现水质的均匀混合与调节,为后续处理提供更为稳定的水质条件。调节池的设计通常考虑到废水的波动性和处理量,确保即使在高峰时段也能有效缓冲,从而维持处理系统的平稳运行。在废水进入调节池之前,一般会设

置一道预处理工序,即初步过滤或沉淀,以去除废水中的大颗粒固体杂质。这些杂质可能包括煤渣、砂石以及其他大型固体废弃物,它们的存在会对后续处理设备造成损害,甚至影响整个处理效果。初步过滤主要通过物理方法实现<sup>[1]</sup>。例如,使用格栅能够有效拦截较大的固体废弃物,防止其进入后续处理系统。格栅的间距根据废水中固体杂质的大小进行合理设计,以确保拦截效果。同时,格栅的材质也需要考虑到耐腐蚀性和耐磨性,以应对废水中的腐蚀性物质和长期使用的磨损。除了格栅过滤外,初步沉淀也是常用的预处理方法。通过重力作用,废水中的重颗粒会自然沉降到池底,从而实现固液分离。这一步骤能够进一步减少废水中的悬浮物含量,为后续的黑水闪蒸处理创造更为有利的条件。

### 2.2 黑水闪蒸系统

黑水闪蒸系统是煤制气废水处理中的核心技术环节,它主要通过迅速减压使废水中的溶解性气体和易挥发物质迅速逸出,以达到净化废水的目的。该系统由多个关键设备组成,并依赖于精确的操作参数设定来实现高效的废水处理。

#### 2.2.1 系统组成

黑水闪蒸系统主要包括高压闪蒸罐、低压闪蒸罐、真空闪蒸罐以及冷凝器等关键设备。这些设备各司其职,共同协作,确保废水中的有害物质得到有效去除。

(1) 高压闪蒸罐:是整个系统的第一道处理工序,其主要作用是在较高的压力下使废水中的部分水分和溶解物汽化。(2) 低压闪蒸罐:接在高压闪蒸罐之后,通过降低压力,进一步促进废水中水分和溶解物的汽化。(3) 真空闪蒸罐:在更低的压力下操作,通常是接近真空的状态,以实现废水中剩余水分和溶解物的最大程度汽化。(4) 冷凝器:用于回收各级闪蒸罐中汽化出的水蒸气,将其冷凝成液态水,以便进一步处理或回用。

### 2.2.2 操作参数设定

操作参数的设定是黑水闪蒸系统高效运行的关键。根据废水的特性，如化学成分、浓度、温度等，需要精确设定各级闪蒸罐的压力和温度。(1) 高压闪蒸：通常在高压下进行，如0.6MPa。在这个压力下，废水中的部分水分和易挥发物质会开始汽化。(2) 低压闪蒸与真空闪蒸：随着废水进入低压闪蒸罐和真空闪蒸罐，压力逐渐降低，以达到更好的汽化效果。这种逐级减压的设计有助于最大化地去除废水中的有害物质<sup>[2]</sup>。(3) 温度也是一个重要的操作参数。通常，较高的温度有助于促进废水中物质的汽化。然而，过高的温度可能会导致设备损坏或能耗增加，因此需要综合考虑处理效果和经济效益来设定合适的温度。

### 2.2.3 汽化过程详解

废水在各级闪蒸罐中依次经历高压、低压和真空状态下的汽化过程。随着压力的逐渐降低，废水中的水分和部分溶解物逐渐汽化。这些汽化的水蒸气随后被引入冷凝器中进行冷凝回收。在高压闪蒸罐中，由于压力较高，废水中的部分物质开始汽化。进入低压闪蒸罐后，随着压力的降低，更多的水分和溶解物开始汽化。最后，在真空闪蒸罐中，废水在接近真空的状态下实现最大程度的汽化。整个汽化过程中，冷凝器起着至关重要的作用。它不仅能够有效回收汽化的水蒸气，还能防止这些水蒸气直接排放到大气中造成环境污染。回收的水蒸气经过冷凝处理后，可以进一步用于生产或排放到环境中，从而实现废水的循环利用和环保处理。

## 2.3 冷凝与回收

在黑水闪蒸系统中，冷凝与回收环节是确保资源有效利用和减少环境污染的关键步骤。汽化后的水蒸气，富含热能且相对纯净，被及时引入冷凝器中。冷凝器采用高效的热交换技术，通过冷却介质（如冷却水或空气）的作用，使水蒸气迅速冷凝成液态水。这一冷凝过程不仅实现了热能的回收，还为后续的水资源再利用提供了条件。冷凝后的水，即冷凝水，其水质相对较好，但仍需经过一系列的处理步骤，以确保其满足回用标准。这些处理可能包括过滤、消毒、调节pH值等，旨在去除可能存在的微量污染物，并调整水质以适应煤制气过程的需求。经过精细处理的冷凝水，最终可作为回用水资源重新利用于煤制气过程中。这种循环利用不仅减少了新鲜水资源的消耗，还降低了废水排放对环境的影响，从而实现了经济效益与环境保护的双重目标。

## 2.4 后续处理

经过黑水闪蒸技术处理后，废水中的大部分易挥发

物质和溶解性气体已被有效去除，但闪蒸处理后的废水仍含有一定浓度的污染物，这些污染物可能包括难以挥发的有机物、重金属离子以及残留的氨氮等。为了确保废水达到环保标准或实现更高质量的回用，必须进行后续的生化处理或深度处理。生化处理是这一阶段的重要步骤，其主要目的是通过微生物的代谢活动来进一步降解有机物和去除氨氮等污染物。在这一过程中，可采用如A/O（厌氧/好氧）工艺等成熟技术。在厌氧阶段，微生物在无氧环境下分解有机物，产生能量和中间产物；而在好氧阶段，这些中间产物被进一步氧化分解成无害物质，如二氧化碳和水。这种工艺不仅能有效去除废水中的有机物，还能显著提高废水的可生化性，为后续处理创造有利条件。除了生化处理外，深度处理也是确保废水达标排放或回用的关键环节<sup>[3]</sup>。在这一阶段，可采用活性炭吸附、膜分离等先进技术。活性炭因其多孔结构和巨大的比表面积，能有效吸附废水中的微量有机物和重金属离子，从而进一步提高水质。而膜分离技术，如超滤、反渗透等，则能通过物理方法截留废水中的微小颗粒和溶解性物质，使废水达到更高的纯净度。

## 3 应用过程中的注意事项与挑战

### 3.1 设备维护与保养

为确保黑水闪蒸技术的长期稳定运行，设备的定期维护与保养工作至关重要。这一环节涉及对设备的全面检查，特别是密封性的验证，以预防任何潜在的气体或液体泄漏。此外，由于废水中可能含有的矿物质和杂质在长期运行过程中会在设备内部形成结垢，因此，定期清洗内部结垢是保持设备性能的必要步骤。同时，对于在使用过程中磨损的部件，如密封件、轴承等，也需及时检查并更换，以确保设备的整体性能和安全性。通过这些细致的维护与保养措施，可以延长设备的使用寿命，保障黑水闪蒸技术的高效稳定运行。

### 3.2 处理参数调整

由于煤制气废水含有多种复杂且多变的化学成分，处理过程中必须高度重视水质的实时监测与参数的灵活调整。定期检测废水的水质指标，如COD、BOD、氨氮、总磷等，是确保处理效果的基础。这些检测数据不仅反映了废水的污染程度，也为处理参数的调整提供了科学依据。根据实际情况，如废水中污染物的种类和浓度变化，灵活调整处理参数，如闪蒸压力、温度以及冷凝水的回收率等，是确保废水处理效果最佳化的关键。这种动态调整策略能够使黑水闪蒸技术更好地适应煤制气废水处理中的各种挑战，从而保持高效稳定的运行状态。

## 4 黑水闪蒸技术的优势与挑战深入探讨

### 4.1 优势分析:

#### 4.1.1 高效去除有害物质

黑水闪蒸技术以其独特的工作原理,能够迅速有效地去除废水中的溶解性气体和易挥发物质。在闪蒸过程中,废水经历高压、低压到真空状态的逐级汽化,这使得废水中的有害物质随着水分的汽化而被大量去除。因此,经过黑水闪蒸技术处理的废水,其COD(化学需氧量)和BOD(生物需氧量)值显著降低,有效减轻了废水的污染负荷。

#### 4.1.2 提高废水可生化性

闪蒸处理不仅去除了废水中的大量有害物质,还改善了废水的可生化性。在汽化过程中,部分难以生物降解的有机物被转化为更易降解的形态,为后续的生物处理提供了有利条件。这一优势使得黑水闪蒸技术在与生化处理工艺结合时,能够显著提高整体废水处理效率。

#### 4.1.3 节能环保

相较于传统的物理、化学处理方法,黑水闪蒸技术在能耗和污染物排放方面具有明显优势。该技术利用废水中物质的汽化特性进行处理,无需添加大量化学药剂,从而减少了二次污染的风险。此外,闪蒸过程中产生的热能可回收利用,进一步提高了能源利用效率<sup>[4]</sup>。因此,黑水闪蒸技术不仅处理效果显著,还符合当前节能环保的社会发展需求。

### 4.2 挑战及对策:

#### 4.2.1 设备腐蚀与结垢问题

煤制气废水中常含有多种腐蚀性物质和高硬度成分,如硫化物、氯化物和钙镁离子等。这些物质在长期运行过程中会对处理设备造成腐蚀,同时在设备内部形成难以清除的结垢,严重影响设备的处理效率和使用寿命。针对设备腐蚀问题,应优先选用耐腐蚀材料来制造关键设备,如使用不锈钢、合金钢或内衬耐腐蚀材料的复合管材等。此外,可以定期对设备进行清洗和维护,以去除附着的污垢和结垢。清洗时可采用化学清洗或高压水射流清洗等方法,确保设备的清洁度和性能。同时,加强

设备的日常检查和维护工作,及时发现并处理潜在的腐蚀和结垢问题,也是延长设备使用寿命的关键。

#### 4.2.2 操作难度与安全性问题

黑水闪蒸技术涉及高压、高温等极端操作条件,这对操作人员的专业技能和安全意识提出了较高的要求。操作不当可能导致设备损坏、废水泄漏甚至人员伤亡等严重后果。为确保操作的安全性和有效性,必须加强对操作人员的专业技能培训。培训内容应包括黑水闪蒸技术的基本原理、设备结构、操作流程以及应急处理措施等。同时,建立完善的安全监管制度,明确操作规范和安全责任,确保每位操作人员都能严格遵守安全规定。此外,可在关键设备周围设置安全防护设施,如安全阀、压力表、温度计等,实时监测设备的运行状态,确保操作过程的安全可控。

### 结语

黑水闪蒸技术在煤制气废水处理中具有显著的应用效果和广阔的推广前景。本文通过对该技术的原理、工艺流程及应用进行深入研究与分析,旨在为相关领域的研究和实践提供有益的参考与借鉴。未来随着技术的不断进步和优化以及新材料、新工艺的应用与发展,相信黑水闪蒸技术将在煤化工废水处理中发挥更加重要的作用并为环境保护事业作出更大的贡献。

### 参考文献

- [1]徐广友.浅谈水煤浆气化装置闪蒸系统黑水管线设计[C]//中国管理科学研究院商学院,中国技术市场协会,中国高科技产业化研究会,中国国际科学技术合作协会,发现杂志社.第二十二届中国科学家论坛会议论文集.[出版者不详],2023:4.
- [2]徐庆磊.粉煤气化装置黑水闪蒸系统磨损原因分析及优化[J].氮肥与合成气,2021,49(08):48-49.
- [3]闫晓洋.废热锅炉流程气化工工艺黑水闪蒸系统的优化研究[J].大氮肥,2022,45(02):111-115.
- [4]张海龙,白海,任利荣.黑水闪蒸罐侧进缓冲装置的优化改造[J].化学工程与装备,2021,(04):208-209.