

杂盐母液蒸发结晶过程中节能减排技术研究

孙志超¹ 伊玉祥² 徐 堂³ 易金科³

1. 国电建投内蒙古能源有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017209

2. 窑街煤电集团有限公司海石湾煤矿 甘肃 兰州 730000

3. 北京高能时代环境技术股份有限公司 北京 100080

摘要: 国电建投内蒙古能源有限公司的水平衡优化及废水零排放EPC项目自投运以来,成功处理了高含盐废水及脱硫废水,并副产了高纯度氯化钠及硫酸钠工业盐副产品,实现了废水近零排放。然而,现有系统未设置杂盐母液蒸发结晶系统,导致少量MVR系统的母液未进行干燥固化处理,存在环保隐患。本研究旨在探讨杂盐母液蒸发结晶过程中的节能减排技术,通过新增杂盐母液蒸发结晶与干化设施,消除环保隐患,实现零排放合法合规要求。

关键词: 杂盐母液; 蒸发结晶; 节能减排

引言

随着工业的发展,废水处理成为重要的环保议题。国电建投内蒙古能源有限公司的废水零排放项目在这一背景下应运而生。然而,现有系统中杂盐母液的处理仍存在问题,需要进一步的技术改进以实现全面零排放。本研究聚焦于杂盐母液的蒸发结晶过程,探索节能减排技术,以期为类似项目提供参考。

1 项目背景及现状

1.1 项目概况

国电建投内蒙古能源有限公司于2020年2月启动了水平衡优化及废水零排放EPC项目,并于2021年10月成功投运。该项目有效处理了煤矿高含盐废水和布连电厂的脱硫废水,同时副产高纯度氯化钠和硫酸钠工业盐,实现了公司废水近零排放的目标。然而,现有系统未配备杂盐母液蒸发结晶装置,导致少量MVR系统母液未能干燥固化,存在环保隐患且不符合法规要求。为解决这一问题,进一步完善零排放系统,公司计划投资建设零排放杂盐母液蒸发结晶项目。该项目旨在新增杂盐母液蒸发结晶与干化设施,将产出的杂盐进行无害化处理或安全填埋,以消除环保隐患并确保合规性。项目设计处理规模为2m³/h的杂盐母液,通过此举,公司将能够全面提升废水处理效率,实现更加环保、可持续的生产运营。

1.2 自然环境及水质情况

根据鄂尔多斯市环境监测中心环境监测检验有限公司2022年5月18日提供的报告,本项目所处理的杂盐母液水质情况如下:溶解性总固体含量高达4.17×10⁵mg/L,氯化物含量为1.64×10⁵mg/L,硝酸盐含量为454mg/L,而氟化物含量则为236mg/L。由于杂盐母液中氯离子含量较高,且蒸发过程需承受高温,因此,在蒸发系统的材质

选择上,决定主要采用2207材质。具体来说,蒸发器、结晶器、加热器以及转料泵、循环泵等关键部件,均采用2207材质制造,以确保系统能够在恶劣条件下稳定运行,并满足项目对材质的高要求。通过这一选择,旨在确保整个蒸发结晶过程的可靠性,同时保障处理效率与环保标准。

2 杂盐母液蒸发结晶工艺介绍

2.1 单效蒸发工艺

单效蒸发工艺,作为蒸发技术领域的一种基本而重要的工艺方式,在杂盐母液处理过程中发挥着关键作用。这一工艺的独特之处在于,它所产生的二次蒸汽并不被回收利用以进一步驱动其他物料的蒸发,而是仅在单台蒸发器内完成整个蒸发过程。在实际操作中,杂盐母液这一待处理的稀溶液被精确地送入蒸发器。随后,它流经加热室的换热管内,这里是其发生物理和化学变化的核心区域。为了确保蒸发过程的高效进行,加热蒸汽被引入加热室的管间进行冷凝放热。这个过程中,加热蒸汽所释放的潜热通过管壁高效地传递给管内流动的杂盐母液,使其受热并逐渐沸腾汽化。这种热交换方式确保了能量的有效利用和杂盐母液的有效蒸发^[1]。随着蒸发的进行,杂盐母液中的水分逐渐被蒸发掉,溶质含量不断增加。当达到预定的浓度和温度时,浓缩后的料液从蒸发器的底部被排出,并送入浓液贮槽中储存。此时的产品,即完成液,已经初步实现了杂盐母液的浓缩和净化。而加热蒸汽在放热后,其自身会冷凝为冷凝水。这部分冷凝水随后从加热室的下部被排出,完成了其加热和冷凝的使命。单效蒸发工艺之所以在杂盐母液处理领域得到广泛应用,是因为它对溶液沸点升高参数具有广泛的适用性。无论杂盐母液的成分如何复杂,这一工

艺都能通过调整操作参数来适应不同的处理需求，从而实现有效的蒸发浓缩。

2.2 滚筒干燥机

滚筒干燥机，是一种高度专业化的内加热传导型转动连续干燥设备，广泛应用于各种需要连续干燥处理的工业生产中。其工作原理及操作流程均经过精密的设计与优化，以确保物料能够得到高效、均匀的干燥处理。在工作过程中，滚筒干燥机的滚筒通过其下部料槽或上部进行加料。物料在滚筒的旋转作用下，被均匀地粘附在滚筒表面，形成一层一定厚度的料膜。为了确保这层料膜能够均匀且高效地干燥，滚筒干燥机特别配备了料膜控制装置。这一装置能够根据物料的特性和干燥需求，精确地调整料膜的厚度，使得每一层物料都能在滚筒的转动过程中得到充分的干燥，避免出现过干或未干的情况。热量的传递是滚筒干燥机的核心。热量通过专门的管道被输送至滚筒的内壁，然后均匀地传导到滚筒

的外壁。在这个过程中，滚筒的外壁温度会逐渐升高，为物料的干燥提供必要的热源。当粘附在滚筒外壁上的料膜接触到这个高温表面时，其中的湿分会因为受热而逐渐蒸发、脱湿。这样，物料就实现了从湿态到干态的转变。完成干燥后的物料，会被安装在滚筒表面的刮刀铲离滚筒。这些干燥的物料随后落到置于刮刀下方的螺旋输送机里。螺旋输送机以其独特的螺旋结构，能够高效地将这些干物料进行集中和输送。最终，这些干物料被送至包装环节进行打包处理，为后续的储存和销售做好准备。

2.3 工艺流程

本项目工艺流程包括：母液-进料单元-单效强制循环蒸发结晶单元-汽凝水单元-出料单元-母液干化单元-包装单元。通过这一流程，杂盐母液得以有效蒸发结晶和干化，最终产出的杂盐送至外界进行无害化处理或安全填埋处置（图1）。

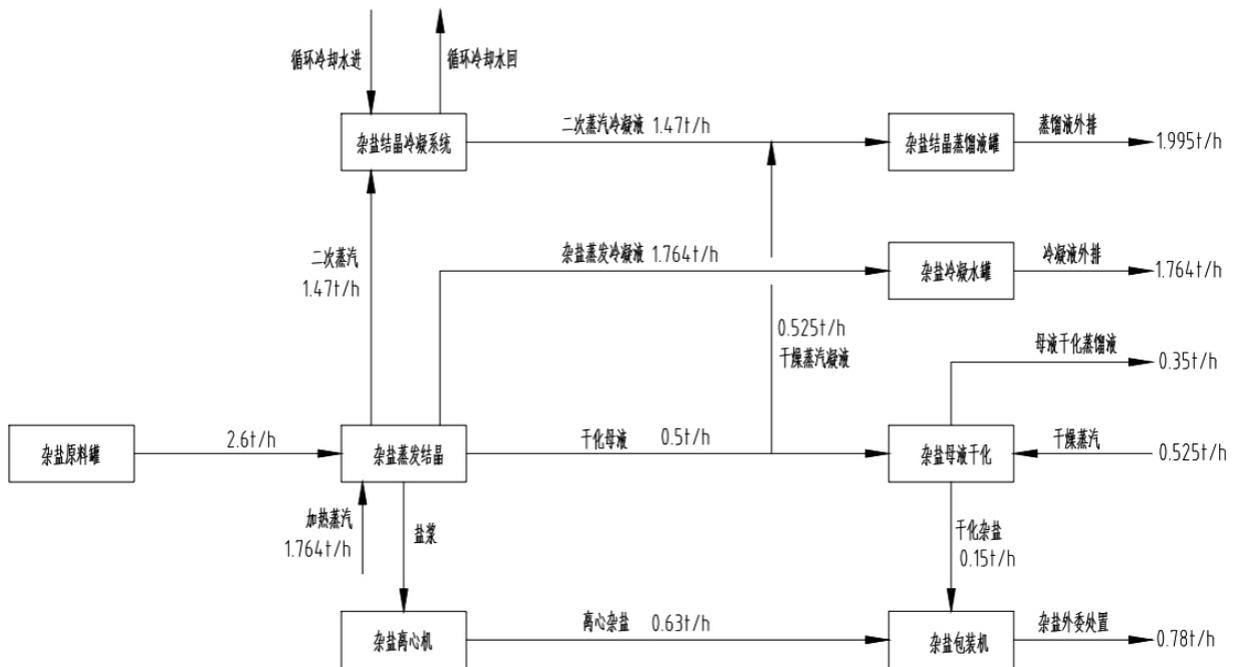


图1 杂盐母液蒸发结晶工艺流程图

3 杂盐母液蒸发结晶过程中的节能减排技术研究

3.1 高效蒸发技术

在杂盐母液蒸发结晶过程中，高效蒸发技术作为节能减排的关键手段，其应用需从多个维度进行精细化的优化与调整。首先，蒸发器的设计是高效蒸发技术的核心。通过采用先进的蒸发器结构，如三效蒸发器或MVR（机械蒸汽再压缩）蒸发器，可以显著提高热量传递效率。这些蒸发器通过多级蒸发和蒸汽的再利用，实现了能源的最大化利用。同时，蒸发器内部的换热管束和冷

凝器头部的出口尺寸、冷凝器头部的进口尺寸等关键参数也需经过精确计算和优化设计，以确保蒸汽能够充分冷凝并释放出潜热，从而提高蒸发效率。其次，在蒸发过程中，还需对操作条件进行严格控制。例如，通过调整蒸发温度、压力等参数，可以进一步优化热量传递过程，减少能源浪费^[2]。此外，还可以采用先进的自动化控制系统，对蒸发过程进行实时监控和调整，确保蒸发效率始终保持在最佳状态。另外，为了减少蒸汽消耗量，还可以考虑采用其他节能措施。例如，在蒸发器前

部设置预热器,利用低温热源对进入蒸发器的物料进行预热,从而提高物料的初始温度,降低蒸发所需的蒸汽量。同时,对蒸发器进行定期维护和清洗,保持其内部清洁和换热效率,也是实现节能减排的重要手段。

3.2 余热回收利用

在杂盐母液蒸发结晶的工艺流程中,余热回收利用技术的核心在于,充分利用蒸发过程中产生的大量蒸汽冷凝水所蕴含的余热,将其转化为有用的能源,从而进一步提高整个系统的能源利用率。具体来说,当蒸汽在蒸发器中释放潜热后,会冷凝成为冷凝水。这些冷凝水通常带有较高的温度,蕴含着丰富的余热资源。通过精心设计的余热回收系统,可以将这些冷凝水中的余热有效地回收并利用起来。一种常见的应用方式是将回收的余热用于预热原料液。在原料液进入蒸发器之前,先通过余热回收装置进行预热,可以显著提升其进入蒸发器时的温度。这样一来,蒸发器在加热原料液时所需的蒸汽量就会相应减少,从而实现了蒸汽的节约和能源的有效利用。除了预热原料液外,回收的余热还可以用于其他工艺过程。例如,可以将其用于加热工艺中的其他流体,或者用于驱动某些需要热能的辅助设备^[1]。这种多元化的应用方式,不仅提高了余热的利用率,还为整个工艺系统带来了更多的节能潜力。

3.3 材质选择与优化

在杂盐母液蒸发结晶过程中,设备的材质选择与优化是确保工艺稳定、延长设备寿命以及降低整体运行成本的关键环节。鉴于杂盐母液往往含有多种腐蚀性成分,并且在蒸发过程中会承受高温环境,因此,选择耐腐蚀、耐高温的高性能材质显得尤为重要。以2207材质为例,它凭借其出色的耐腐蚀性和耐高温性能,在杂盐母液蒸发结晶领域得到了广泛应用。这种材质能够有效抵抗杂盐母液中的腐蚀性介质,如氯离子、硫酸根离子等的侵蚀,从而确保设备的长期稳定运行。同时,其优异的耐高温性能也使得设备能够在高温环境下保持稳定的机械性能和强度,避免了因温度变化而引起的设备变形或损坏。除了2207之外,还有其他多种高性能材质可供选择,如钛合金、哈氏合金等。这些材质同样具备出色的耐腐蚀性和耐高温性能,可以根据具体的工艺要求和成本预算进行灵活选择。在材质优化的过程中,还需要综合考虑设备的结构设计和制造工艺。例如,通过优

化设备的结构设计,可以减少应力集中和腐蚀介质的滞留,从而提高设备的抗腐蚀能力。

3.4 自动化控制

在杂盐母液蒸发结晶过程中,引入自动化控制系统是提升工艺效率、保障系统运行稳定性和实现节能减排目标的关键举措。自动化控制系统通过精确监测和调控蒸发结晶过程中的各项关键参数,如温度、压力、液位和流量等,确保了整个工艺过程的优化运行。首先,自动化控制系统能够实时监测蒸发结晶过程中的温度变化。这种精准的温度控制,对于提高产品质量和节能减排效果至关重要。其次,自动化控制系统还能够对蒸发结晶过程中的压力进行精确调控。通过维持稳定的系统压力,可以确保蒸发器的稳定运行,避免因压力波动而导致的设备损坏或安全事故。同时,稳定的压力条件也有助于提高蒸发效率,进一步降低能源消耗。此外,自动化控制系统还具备液位和流量的监测与调控功能。通过对这些参数的实时监测和精确调整,系统可以确保物料在蒸发器内的均匀分布和稳定流动,从而提高了蒸发结晶过程的均匀性和稳定性。

结语

本项目的实施有效解决了现有零排放项目蒸发结晶装置杂盐母液未设置蒸发结晶无法固化处理的问题,消除了环保隐患,进一步完善了现有零排放系统。通过新增杂盐母液蒸发结晶与干化设施,产水与原零排放项目产水混合达标排放,将产出的杂盐送至界外进行无害化处理或安全填埋处置,实现了零排放合法合规的要求。

参考文献

- [1]陈哲.大海则煤矿高盐矿井水综合处理关键技术研究与应用[J].煤炭工程,2022,54(01):29-33.
- [2]贺江海,马宝祥,符红军,等.改良MVR蒸发器在煤矿超高矿化度浓水处理中的应用[J].工业水处理,2024,44(02):194-200.
- [3]董传德,刘谡飞,吕涛,等.煤矿矿井水零排放中试试验研究及结晶盐应用领域展望[C]//中国环境科学学会环境工程分会.中国环境科学学会2019年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛论文集(四).济宁二号煤矿;南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司;北京国电富通科技发展有限责任公司,2019:5.