

硝系统生产周期稳定延长的实用罐型及高效工艺方案优化实践

朱留兵¹ 骆成 赖璇

湖南省雪天盐碱新材料有限公司 湖南 衡阳 421400

摘要: 本文聚焦硝系统闪蒸罐罐型优化问题,旨在解决传统中心筒出料罐型易结大块盐等弊端。首先明确罐型优化目标为缓解结大块盐问题、延长生产周期及确保闪发罐在闪发强度增大时稳定运行。进而提出三种罐型优化设计方案,包括 8° 纯切向进料罐型、15° 纯切向进料罐型和径向进料(双切线加中心进料)罐型,分析其各自设计特点、罐内流体运动流场情况及对料液蒸发和晶体成长的影响。采用 Fluent 软件进行模拟分析,结果显示纯切向进料罐型存在固相分布不均、速度和温度分布不均等问题,加速内壁结块;而双切向进料罐型避免了流速分布不均,降低循环料液流动速度,减小热短路损失,为晶核成长提供稳定环境,还降低了设备与土建投资。综合比较,双切向进料罐型优势显著,被确定为最佳方案,为硝系统闪蒸罐的优化设计提供了科学参考,有望提升生产质量与效率。

关键词: 硝系统; 闪蒸罐; 罐型优化; 双切向进料罐型; 模拟分析

DOI: 10.63887/fss.2025.1.5.7

引言

硝系统在生产中占据着举足轻重的地位,其生产的稳定性直接影响着整个工业链的运转。稳定的生产周期能够显著提高生产效率,减少因频繁停机维护而产生的成本,进而降低整体生产成本。对于企业而言,稳定的生产周期意味着更高的经济效益和更强的市场竞争力。然而,传统硝系统生产存在着诸多问题。传统硝系统闪发罐通常采用中心筒出料的罐型设计,这种设计在实际生产过程中暴露出明显的弊端。在母液闪发过程中,晶体容易在中心筒和罐壁上附着,形成坚硬的盐块。随着盐块的不断积累,母液的蒸发空间逐渐减少,导致系统的生产周期大幅缩短,频繁的清理和维护工作不仅增加了人力成本,还严重影响了生产的连续性。

本研究致力于寻找实用的罐型和高效的工艺方案,以解决传统硝系统生产中晶体附着、蒸发空间减少等问题。通过优化罐型和工艺,旨在稳定并延长硝系统的生产周期,提高生产效率和产品质量,从而提升硝系统生产的经济效益和稳定性,为相关工业的可持续发展提供有力支持。

1 传统硝系统闪蒸罐问题分析

1.1 传统罐型结构及工作原理

在传统的盐硝联产生产工艺里,硝系统闪蒸罐常采用中心筒出料的罐型设计。该罐型具有独特的结构特点,其中心筒是一个关键的结构部件,它在整个闪蒸罐中处于中心位置,是物料进入的重要通道^[1]。母液从特定的进料口进入闪蒸罐内,在闪蒸罐的蒸发空间里,由于压力的突然降低,母液中的部分水分迅速蒸发,形成蒸汽上升。而晶体则随着母液的流动,部分会在下循环进料口周围聚集,最终通过中心筒出料。这种罐型的工作原理基于闪蒸的物理过程,利用压力差使母液中的水分快速蒸发,从而实现盐硝晶体的形成。在整个过程中,中心筒起到了引导物料流动和出料的重要作用,确保了生产流程的有序进行^[2]。

1.2 传统罐型存在的问题及影响

传统的中心筒出料罐型在运行过程中暴露出诸多问题,对硝系统的生产造成了显著的负面影响。结合文档可知,晶体在中心筒和罐壁上附着是一个严重的问题。在生产过程中,随着母液的不蒸发和晶体的持续形成,晶体颗粒会逐渐在中心筒和罐壁表面聚集^[3]。

这些晶体不断生长堆积,逐渐形成致密且坚硬的盐块,像一层厚重的壳覆盖在闪发罐的内部。这种盐块的形成带来了一系列连锁反应,其中母液蒸发空间减少是最为直接的影响。原本闪蒸罐内有足够的空间供母液进行蒸发,但随着盐块的不断增厚,母液能够进行蒸发的有效空间大幅缩小。这意味着在相同的时间内,母液能够蒸发的水分量减少,生产效率降低^[4]。而且,母液蒸发空间的减少还会影响到整个系统的稳定性。由于蒸发空间受限,蒸汽的上升和排出也会受到阻碍,可能导致罐内压力不稳定,进一步影响晶体的形成和生长过程。最终,这些问题共同作用,导致系统生产周期缩短。原本可以持续较长时间稳定运行的硝系统,因为盐块的堆积和蒸发空间的减少,不得不频繁地进行停工清理和维护,大大降低了生产的连续性和效率,增加了生产成本^[5]。

2 罐型优化设计方案

2.1 优化目标与思路

在硝系统生产过程中,传统罐型存在诸多问题,因此对罐型进行优化具有重要意义。罐型优化的目标十分明确,首先是要缓解闪发罐内结大块盐的问题。在传统工艺里,结大块盐会导致母液蒸发空间减少、系统生产周期缩短等不良后果,所以解决这一问题优化的关键目标之一。其次,延长硝系统的生产周期也是重要目标。更长的生产周期意味着更高的生产效率和更低的成本,能为企业带来更大的经济效益。最后,要确保闪发罐在闪发强度增大的工况下仍能稳定运行。随着生产需求的变化,闪发强度可能会增大,这就要求闪发罐具备良好的稳定性,以保证整个生产过程的顺利进行。基于这些目标,在优化设计时需要综合考虑罐型的结构、进料方式等因素,以达到最佳的优化效果。

2.2 三种罐型优化设计方案

2.2.1 8° 纯切向进料罐型

8° 纯切向进料罐型具有独特的设计特点,其进料方向以 8° 的纯切向角度进入罐内。这种设计使得罐内流体运动流场呈现出相对规则的状态,流速较快,并且能产生明显的旋涡流场。然而,这些特点对料液

蒸发和晶体成长产生了不利影响。由于循环料液停留时间短,料液在罐内无法充分与蒸发空间接触,导致蒸发不充分。同时,晶体成长需要稳定且持续的环境,较短的停留时间无法满足晶体充分发育的需求,使得晶体难以达到理想的大小和质量,进而影响硝系统的生产效果。

2.2.2 15° 纯切向进料罐型

15° 纯切向进料罐型与 8° 纯切向进料罐型有相似之处。在罐内流体的旋涡形态方面,15° 纯切向进料罐型的旋涡形态较好,相比 8° 纯切向进料罐型可能在旋涡的稳定性和形状上更具优势。但总体而言,它仍然存在明显的旋涡形态。这种明显的旋涡形态使得罐内流体流动不够稳定,不利于料液蒸发和晶体成长。和 8° 纯切向进料罐型一样,因为旋涡的存在,循环料液不能充分与蒸发空间接触,减少了料液蒸发的机会。并且不稳定的流体环境无法为晶体成长提供良好的条件,限制了晶体的正常发育,对硝系统的生产质量和效率产生负面影响。

2.2.3 径向进料(双切线加中心进料)罐型

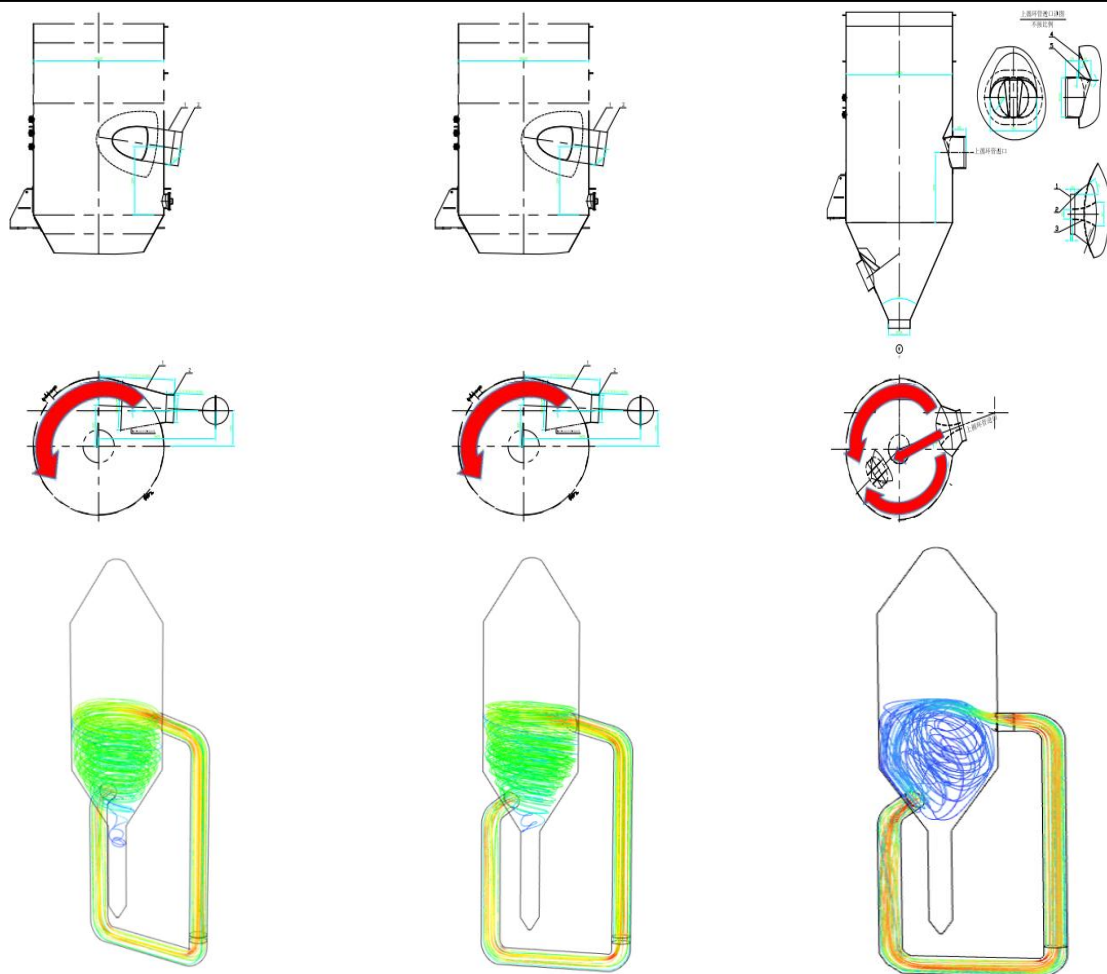
径向进料(双切线加中心进料)罐型采用了独特的进料方式,结合了双切向进料和中心进料。双切向进料的对冲设计使得罐内流体运动流场呈现出与前两种罐型不同的特点。其流速相对缓慢,这为循环料液提供了充足的蒸发时间。在缓慢的流动状态下,料液能够更充分地接触蒸发空间,提高了蒸发效率。此外,流体的无序性是该罐型的重要优势。这种无序性为晶体成长提供了充足的时间和良好的环境。晶体在无序的流体中能够更自由地生长,不受过于规则或快速流动的流体的干扰,有利于晶体的充分发育,有助于提高硝系统的生产质量和效率,对延长硝系统生产周期也具有积极作用。

3 罐型模拟分析与比较

3.1 流体模拟软件及方法

在对不同罐型进行模拟分析时,采用了专业的流体模拟软件 Fluent。Fluent 是一款功能强大且广泛应用于流体力学模拟的软件,它能够准确地模拟流体在各种复杂环境下的流动特性。在本次模拟分析中,首先根据不同罐型的实际结构建立精确的三维模型,

进料局部示意图



罐内流场模拟图

1. 由于采用纯切向进料方式,罐内流体运动流场呈现出较高的规律性,且流速显著加快。

说明 2. 罐内流体形成了显著的旋涡流场,在高速流动条件下,循环料液在罐内的停留时间明显缩短,导致短路热损失加剧。这不仅不利于料液的有效蒸发,还阻碍了晶体的正常成长。

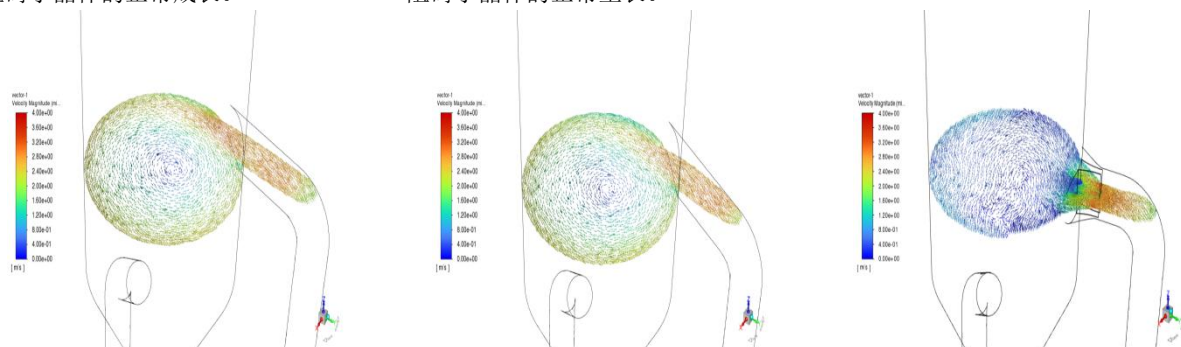
1. 由于采用纯切向进料方式,罐内流体运动流场呈现出较高的规律性,且流速显著提升。

2. 罐内流体形成了显著的旋涡流场,在高速流动条件下,循环料液在罐内的停留时间显著缩短,导致短路热损失加剧。这不仅不利于料液的有效蒸发,还阻碍了晶体的正常生长。

1. 由于采用双切向进料方式,进料形式设计为力的对冲,罐内流体运动流场流速相对较低。

2. 在低流速的流体运动状态下,上效转入的循环料液获得了较为充足的蒸发时间。同时,流体的无序性也为晶体的成长提供了充分的时间。

出料口截面图



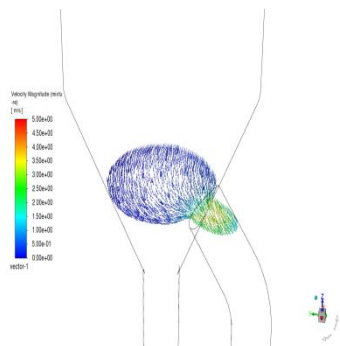
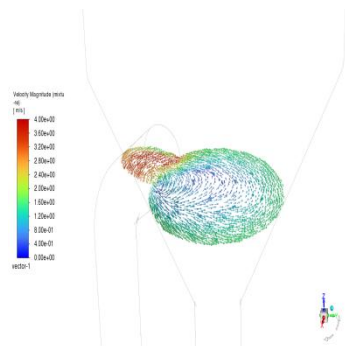
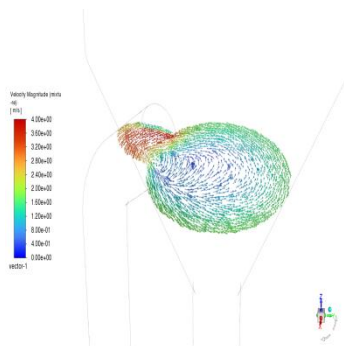
说明

1. 由于采用纯切线进料方式，罐内流体运动流速呈现出较高的规律性，且进口流速显著加快。

1. 由于采用纯切线进料方式，罐内流体运动流速呈现出较高的规律性，且进口流速显著加快。

1. 由于采用双切线对冲式进料方式，进口流体力场相互抵消，使得进口面的流速保持相对平稳且处于较低水平。

进口截面图



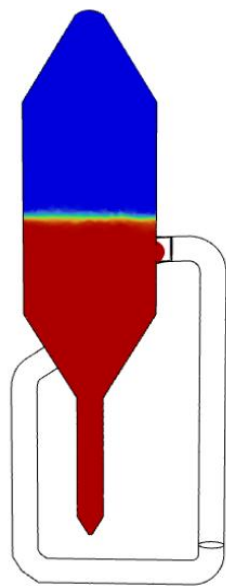
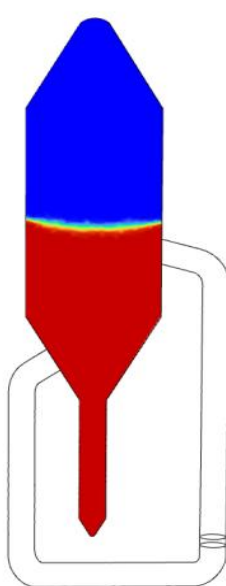
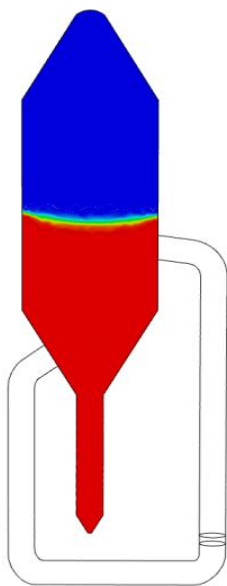
说明

1. 采用纯切向进料方式时，罐内流体呈现显著的旋涡运动状态，其中循环管进料口位置的流速较高，导致料液在罐内的停留时间较短，闪发时间相对不足。

1. 采用纯切向进料方式时，罐内流体呈现显著的旋涡运动状态，其中循环管进料口位置的流速较高，导致料液在罐内的停留时间较短，闪发时间相对不足。

1. 根据流场速度分布图分析，双切向进料方式下，罐内流速整体分布较为平缓且稳定，为料液的闪发和晶体的成长提供了充足的时间。

罐内汽水相云图



说明

1. 基于流体力场与进口流速分布的分析，8° 纯切向进料方式相较于 15° 进料方式，其进口流速显著加快，且在罐内形成的旋涡形态更为明显。

1. 基于流体力场与进口流速分布的分析，15° 纯切向进料方式在罐内形成的旋涡形态较 8° 进料方式更为理想，但与双切向进料方式相比，其旋涡形态仍较为显著。

1. 基于流体力场与进口流速分布的分析，双切向进料方式通过力的对冲设计，有效消除了罐内的旋涡状态，使得罐内水相运动状态趋于平稳。

3.2 不同罐型模拟结果分析

3.2.1 纯切向进料罐型模拟结果

纯切向进料罐型在模拟过程中暴露出一些明显的问题。由于其循环流量大、出口流速快，离心力作用加剧了蒸发室中固相分布不均的情况。这种固相分布

不均进一步导致轴向速度分布不均匀，使得晶体难以在沸腾区中得到均匀悬浮。同时，速度和温度分布也不均匀，这种不均匀性对沸腾面低流速处的内壁产生了不良影响。在低流速区域，晶体更容易沉积和附着，加速了内壁的结块速度。内壁结块不仅会影响罐型的

使用寿命,还会降低蒸发效率,进而影响整个生产过程的稳定性和产品质量。

3.2.2 双切向进料罐型模拟结果

双切向进料罐型相比纯切向进料罐型具有诸多优势。首先,它避免了纯切向进料流速分布不均的问题,使得罐内流体的流动更加均匀。其次,该罐型降低了罐内循环料液的流动速度,减小了热短路损失,提高了能量利用效率。而且,这种较为均匀和稳定的流动状态为晶核的成长提供了较为稳定的环境,有利于晶体的均匀生长和发育。从经济角度来看,双切向进料罐型减少了中心筒与转料夹套的构造,这直接降低了设备投资。同时,由于结构的简化,土建投资也相应降低,为企业节省了大量的成本。

3.3 罐型比较与选择

综合三种罐型的模拟结果,对它们的优缺点进行比较。纯切向进料罐型存在固相分布不均、速度和温度分布不均以及内壁结块速度快等问题,不利于晶体的均匀生长和设备的长期稳定运行。而双切向进料罐型在避免流速分布不均、降低循环料液流动速度、减小热短路损失以及为晶核成长提供稳定环境等方面表现出色,并且还能降低设备投资和土建投资。因此,经过综合评估,双切向进料罐型为最佳方案,在实际应用中能够更好地满足生产需求,提高生产效率和经济效益。

4 结论

本研究围绕硝系统闪蒸罐罐型展开了全面且深入的分析与优化工作,通过对传统罐型存在问题的剖析、多种优化设计方案的模拟分析与比较,得出了以下重

要结论:

传统罐型问题突出:传统硝系统闪蒸罐采用中心筒出料罐型,晶体易在中心筒和罐壁附着形成盐块,导致母液蒸发空间减少,进而缩短系统生产周期,降低生产效率,增加生产成本。

优化设计方案各有优劣:8°纯切向进料罐型:罐内流体运动流场相对规则、流速快、有明显旋涡流场且循环料液停留时间短,不利于料液蒸发和晶体成长。15°纯切向进料罐型:与8°纯切向进料罐型类似,虽旋涡形态较好,但仍不利于料液蒸发和晶体成长。径向进料(双切线加中心进料)罐型:流速相对缓慢,为循环料液提供充足蒸发时间,流体无序性利于晶体成长,有助于提高生产质量和效率。

模拟分析凸显双切向进料罐型优势:纯切向进料罐型:循环流量大、出口流速快,造成固相分布不均、轴向速度分布不均、速度和温度分布不均,加速沸腾面低流速处内壁结块速度,影响设备使用寿命和生产稳定性。双切向进料罐型:避免流速分布不均,降低循环料液流动速度,减小热短路损失,为晶核成长提供稳定环境,同时降低设备投资和土建投资。

最佳罐型选择明确:综合模拟结果,双切向进料罐型在解决传统罐型问题、优化生产过程以及降低成本等方面优势明显,因此确定为最佳方案。

本研究成果为硝系统闪蒸罐的设计和 optimization 提供了科学依据,双切向进料罐型的应用有望显著提升硝系统的生产质量和效率,为相关企业带来良好的经济效益和社会效益。未来可进一步研究双切向进料罐型在不同工况下的运行特性,以实现更精准的设计和更高效的生产。

参考文献

- [1] 蒋浩,欧宇星,汪四新,等. 闪蒸罐失效分析与改进建议[J]. 中国特种设备安全,2025,41(04):79-86.
- [2] 张曼玉,贺高红,李新华,等. 基于模糊控制的闪蒸罐 PID 控制器设计与仿真[J]. 化工自动化及仪表,2024,51(01):48-55.
- [3] 袁永健,耿文远,刘素芬,等. 闪蒸罐过滤器腐蚀泄漏原因[J]. 理化检验-物理分册,2023,59(10):40-44.
- [4] 鲁强,陈菁,彭赛军. 制盐和母液回收装置盐硝联产技术改造项目变革工艺技术分析[J]. 中国井矿盐,2023,54(03):1-2+5.
- [5] 郑三强,李兴彬,罗兴国,等. 盐硝联产芒硝水不溶物的产生与控制[J]. 无机盐工业,2022,54(08):90-95.