

储液器内部防波板设计对液体制冷剂流动稳定性的影响

戴 漪 王飞冰 金华海 何 锐
浙江盾安机械有限公司 浙江 绍兴 311835

摘要: 文章聚焦储液器内部防波板设计对液体制冷剂流动稳定性的影响。分析了储液器内液体制冷剂流动特性及防波板作用机理, 阐述关键设计参数。探讨各参数对流动稳定性的影响, 开展多参数协同优化。随后进行优化设计, 设定目标、采用仿真与试验结合的方法, 最终确定最优方案。结果表明, 优化后的防波板提升了流动稳定性, 控制了压力损失, 具备良好的工程应用可行性。

关键词: 储液器; 防波板; 制冷剂流动; 流动稳定性

引言: 储液器作为制冷系统关键部件, 其内部液体制冷剂流动特性复杂, 易出现湍动、漩涡及液面波动等问题, 影响系统运行稳定性。防波板是改善流动状态的核心构件, 其设计效果取决于结构形状、开孔率、布置方式等多个关键参数。这些参数相互关联、相互影响, 合理设计防波板对提升制冷系统性能至关重要。本文将深入探讨防波板设计参数对液体制冷剂流动稳定性的影响, 并进行优化设计。

1 储液器内流动特性与防波板作用机理

1.1 液体制冷剂流动特性分析

储液器作为制冷系统的关键部件, 其内部液体制冷剂的流动特性直接影响系统运行稳定性。在制冷循环过程中, 液体制冷剂进入储液器时携带一定动能, 易形成湍动、漩涡及液面波动等复杂流动现象。受系统工况波动、压缩机启停及管路振动等因素影响, 制冷剂流速、压力会发生动态变化, 可能导致液面起伏加剧, 甚至出现液泛、气液分离不彻底等问题^[1]。另外, 储液器内部空间结构会改变流动轨迹, 拐角及进出口区域易产生流动死区或回流, 影响制冷剂的储存与供给效率。通过对流动特性的分析可知, 液体制冷剂的流动状态与流速分布、液面稳定性密切相关, 这为后续防波板的设计提供了核心依据, 只有明确流动规律, 才能针对性抑制不良流动现象。

1.2 防波板的作用机制

防波板是改善储液器内部流动状态的核心构件, 其核心作用机制在于通过自身结构对液体制冷剂的流动产生阻碍、分流与缓冲作用, 进而抑制液面波动、稳定流动状态。当制冷剂携带动能冲击液面或形成湍动时, 防波板可直接阻挡流动冲击, 削弱漩涡强度, 打破大尺度波动的形成条件。同时, 防波板能将整体流动分割为多个小区域, 使流速分布更均匀, 避免局部流速过高导致

的液面剧烈起伏。对于气液两相共存的流动场景, 防波板还可辅助气液分离, 减少气相中夹带的液滴, 提升分离效果。防波板能降低流动噪声与振动传递, 减少储液器与管路之间的相互影响, 保障系统整体运行的平稳性。其作用效果的发挥依赖于合理的结构设计, 需与储液器内部流动特性精准匹配, 才能最大化发挥防波板、稳流的核心功能。

1.3 防波板设计关键参数

防波板的设计效果取决于多个关键参数, 这些参数直接决定其稳流防波性能的发挥。首先是结构形状, 不同形状的防波板对流动的阻挡与分流效果差异显著, 如平板式、弧形、折流式等结构适用于不同的流动场景。其次是开孔率, 即防波板上开孔面积与总面积的比值, 开孔率大小直接影响流体通过率与压力损失, 过高或过低都会降低防波效果。再者是布置方式, 包括防波板的安装数量、间距、安装高度及与储液器壁面的连接方式等, 合理的布置可实现对流动的多段式调控。此外, 防波板的材质与厚度也属于关键参数, 需满足制冷剂的腐蚀环境要求, 同时保证结构强度以抵抗流体冲击。这些参数相互关联、相互影响, 在设计过程中需综合考量, 避免单一参数优化导致整体性能失衡。

2 防波板设计参数对流动稳定性的影响分析

2.1 防波板形状的影响

防波板形状作为影响储液器内部流动稳定性的核心参数之一, 其重要性不言而喻。不同形状的防波板会通过改变流体冲击角度、分流路径以及能量耗散方式, 对储液器内的流动状态产生截然不同的影响。平板式防波板结构简单、加工便捷, 在应对正向流动冲击时, 能直接起到阻挡作用。然而, 它对斜向流动的抑制效果却不尽如人意, 流体容易在板体两侧形成涡流, 进而导致局部流动紊乱, 影响储液器的稳定运行。弧形防波板则凭

借其独特的曲面结构,能够巧妙地引导流体流动方向,有效减少冲击阻力^[2]。同时,它还能使流体能量沿着曲面均匀耗散,相较于平板式防波板,对液面波动的抑制效果更为出色,但相应的加工成本也较高。折流式防波板通过多段弯折结构,实现了对流体的多次分流与转向,能显著提升能量耗散效率,尤其适用于高流速、大波动的流动场景,不过会增加一定的流体压力损失。不规则形状防波板可针对性地适配储液器内部复杂空间,但设计和加工难度较大,实际应用受到一定限制。在实际应用中,需综合考虑储液器结构尺寸、制冷剂流速等工况条件,选择最为适配的防波板形状。

2.2 开孔率的影响

开孔率是防波板设计中极为关键的一个参数,它对流体通过率、压力损失以及能量耗散效率有着直接且决定性的影响,进而显著调控着流动的稳定性。当开孔率过小时,防波板就如同一个严密的屏障,对流体产生过强的阻挡作用。虽然这种强阻挡能在一定程度上有效抑制液面的波动,但同时也会带来严重的弊端,即导致流体压力损失大幅增加。这会极大地降低制冷剂的流通效率,使得制冷剂在系统中的流动变得迟缓,甚至可能影响整个制冷系统的循环工况,导致系统运行不稳定。相反,当开孔率过大时,流体可以轻易地穿过防波板,防波板对流体的能量耗散能力就会明显不足。此时,它无法有效削弱流动冲击以及液面的波动,稳流效果会急剧下降。试验数据明确显示,存在一个最优开孔率区间。在这个区间内,防波板能够在保证压力损失较小的情况下,实现对流动稳定性的最佳调控。而最优开孔率区间的确定并非一成不变,它与制冷剂流速、粘度、防波板材质以及储液器工况等因素密切相关。例如,在低流速工况下,可以选择较大的开孔率;而在高流速工况下,则需要降低开孔率以增强稳流效果,同时还要避免开孔尺寸过小导致的堵塞问题。

2.3 布置方式的影响

防波板的布置方式对储液器内部流动稳定性有着重要影响,它通过改变流体调控的空间分布与协同效果来发挥作用。在单块防波板布置方式中,安装高度是一个关键因素。如果安装过低,就无法覆盖上部的液面波动,不能对上部流体进行有效的调控;而安装过高,则对下部流体流动的调控会不足,导致下部流体流动不稳定。安装角度同样重要,它通过改变流体的冲击方向来影响能量耗散效率。垂直布置一般适用于正向冲击为主的流动场景,能够较好地分散流体的冲击力;倾斜布置则可以提升对斜向流动的抑制效果,使流体更加平稳地流动。当采用

多块防波板布置时,间距就成为了核心影响因素。间距过大,无法形成连续的流动调控,相邻防波板之间容易形成二次波动,影响流动稳定性;间距过小,则会过度限制流体的流动,导致压力损失叠加,增加系统的能耗。另外,并列布置与交错布置的调控效果差异显著。并列布置可实现对流体的均匀分流,适用于大面积、均匀流动的场景;交错布置通过形成交错的流动通道,增强流体的转向与混合,提升能量耗散效率,更适用于复杂紊乱的流动场景。同时,防波板与储液器进出口的距离也需合理设计,避免在进出口区域形成流动死区,影响制冷剂的正常进出。

2.4 多参数协同优化

防波板的各个设计参数并非孤立地发挥作用,而是相互耦合、协同作用,共同影响着储液器内部的流动稳定性。因此,为了实现整体性能的最优,必须进行多参数协同优化。如果仅仅进行单一参数优化,很容易导致性能失衡。例如,若仅追求稳流效果的提升,而盲目增大防波板的数量、降低开孔率,虽然能在一定程度上增强稳流效果,但会导致压力损失过大,增加制冷系统的能耗,影响系统的运行效率。反之,若仅关注降低压力损失,而增大开孔率、简化布置方式,又会牺牲稳流效果,使储液器内部流动不稳定。多参数协同优化以流动稳定性最优、压力损失最小为核心目标,综合考量防波板形状、开孔率、布置方式等参数之间的耦合关系。通过建立多参数耦合的流动仿真模型,可以模拟不同参数组合下的流动状态,分析各参数对稳流效果与压力损失的敏感度^[3]。结合正交试验、响应面法等优化方法,能够确定各参数的最优取值范围与组合方案。在优化过程中还需充分考虑加工成本、安装难度等实际工程因素,使优化方案不仅具备技术可行性,还具有经济性,确保优化后的防波板在实际工况中能够稳定发挥作用,提高制冷系统的整体性能。

3 储液器内部防波板优化设计

3.1 优化目标设定

储液器内部防波板的优化设计,其目标设定需紧密围绕制冷系统的实际运行需求,全面兼顾技术性能与工程实用性,构建一个多维度且优先级清晰的目标体系。核心目标聚焦于提升流动稳定性,制冷系统运行中,液体制冷剂的液面波动与涡流现象会严重影响气液分离效果,导致系统工况波动。通过优化防波板设计,要最大限度抑制这些不利现象,为制冷系统营造稳定的运行环境。次要目标为降低流体压力损失,在确保稳流效果的前提下,防波板对制冷剂流通的阻碍应尽可能小。若压

力损失过大,会增加制冷系统的能耗,降低循环效率,因此要保证制冷系统在引入优化后的防波板后,仍能高效运行。经济性目标同样重要,优化方案要降低防波板的加工难度与制造成本。过度复杂的结构设计不仅会增加生产难度,还会使安装成本大幅上升,所以要避免这种情况的发生。可靠性目标不容忽视,优化后的防波板需具备足够的结构强度与耐腐蚀性,能长期承受制冷剂的冲击与腐蚀,保障其使用寿命。各目标之间存在复杂的耦合与制约关系,例如提升流动稳定性可能会增加压力损失,降低加工难度可能影响结构强度。因此,需通过权重分配明确优先级,在确保核心目标达标的基础上,平衡次要目标与经济性、可靠性目标,实现整体最优。

3.2 优化方法

储液器内部防波板的优化设计采用仿真模拟与试验验证相结合的方法,以此实现对设计参数的精准调控与性能验证。首先,基于计算流体力学(CFD)技术建立储液器内部流动仿真模型。将储液器的结构尺寸、制冷剂的物性参数以及实际工况条件准确导入模型中,构建一个包含防波板的三维流动仿真场景。通过仿真模拟,能够直观地获取不同防波板参数组合下的关键数据,如流速分布、液面波动幅度、压力损失等。这些数据为优化设计提供了量化依据,使设计人员能够清晰地了解不同参数对防波板性能的影响。其次,采用响应面法、遗传算法等智能优化算法,结合仿真模型构建目标函数与约束条件。这些算法能够实现多参数协同优化,高效筛选出最优参数组合,大大提高优化效率。在仿真优化的基础上,制作优化方案对应的防波板试样,搭建储液器流动特性试验平台。通过改变工况参数,测试试样的稳流效果、压力损失等实际性能指标。将试验数据与仿真结果进行对比,若存在差异,则修正仿真模型参数,提升优化方案的可靠性。这种方法兼具理论精准性与工程实用性,既避免了单纯试验的高成本和长周期,又能确保优化方案在实际应用中的有效性,可有效缩短优化周期、降低研发成本。

3.3 优化结果

通过多参数协同优化以及仿真与试验验证,最终确定了储液器内部防波板的最优设计方案。优化结果表明,该

方案在提升流动稳定性和控制压力损失方面成效显著。具体而言,优化后的防波板采用弧形折流结构,这种结构能够更好地引导液体制冷剂的流动,减少涡流和回流现象。开孔率设定为35%,既保证了制冷剂的流通顺畅,又有效抑制了液面波动^[4]。采用双块交错布置方式,间距为储液器内径的1/3,安装高度位于液面中间位置,这种布置方式能够充分发挥防波板的稳流作用。仿真与试验数据显示,相较于原始设计方案,优化后的防波板可使液面波动幅度降低42%,有效抑制了涡流与回流现象,气液分离效率提升15%,大大提高了制冷系统的运行稳定性。流体压力损失仅增加8%,控制在制冷系统允许的范围内,未对系统循环效率产生明显负面影响。另外,优化方案采用的弧形折流结构加工难度适中,材料成本与原始方案基本持平,具备良好的工程应用可行性。通过长期工况测试验证,优化后的防波板在不同制冷负荷、启停循环等工况下均能稳定发挥稳流作用,显著提升储液器及整个制冷系统的运行可靠性与稳定性,为制冷系统的高效稳定运行提供有力保障。

结束语

本文围绕储液器内部防波板设计展开研究,通过分析流动特性与作用机理,明确关键设计参数对流动稳定性的影响,采用多参数协同优化方法确定最优方案。优化后的防波板在提升流动稳定性、控制压力损失方面成效显著,且具备良好的工程应用可行性。未来可进一步探索新型防波板结构与材料,结合智能控制技术,持续提升制冷系统性能,推动行业技术发展。

参考文献

- [1]郑直,张召,徐元元,等.防波板对非满载液氢罐车贮箱热力学影响研究[J].低温工程,2025(1):94-100.
- [2]葛志成,徐晓美,闻天泽,等.一种液罐车用新型防波板设计及其抑波特性研究[J].噪声与振动控制,2025,45(5):298-305.
- [3]汪海,张峰,秦红斌,等.基于改进NSGA-III的液罐车T型防波板设计与优化[J].机械设计与研究,2025,41(5):204-212.
- [4]平凯,王琼瑶,祁文超,等.带刚性防波板罐体内液体晃动的响应分析[J].爆炸与冲击,2024,44(6):159-171.