

螺旋离心泵叶轮结构对泥沙输送效率影响

孙伟伟

海斯特(青岛)泵业有限公司 山东 青岛 266200

【摘要】：在市政污水处理、水利工程、泥沙输送等领域，螺旋离心泵的运行效率与稳定性直接关系到整个输送系统的能耗与运维成本。叶轮作为螺旋离心泵的核心工作部件，其结构设计和材质选择对泥沙输送效率具有决定性影响。本文以海斯特螺旋离心泵为研究对象，结合其在污水泵站、含沙水流输送等实际应用场景，分析叶轮结构参数、材质特性及防堵塞技术对泥沙输送效率的作用机制，通过实际工程案例验证优化叶轮结构在提升输送效率、降低堵塞风险和运维成本方面的实践价值，为螺旋离心泵在泥沙输送场景中的优化设计与应用提供参考。

【关键词】：螺旋离心泵；叶轮结构；泥沙输送；输送效率；防堵塞技术

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.020

1 引言

泥沙输送广泛存在于市政污水处理、雨水排放、水利工程、工业废水处理等多个领域，其介质通常含有固体颗粒、悬浮杂质等，具有磨损性强、易堵塞的特点。在输送过程中，泵体的堵塞与磨损是导致输送效率下降、运维成本增加的主要问题。据实际工程数据显示，部分污水泵站因介质中纤维杂质、泥沙颗粒导致泵体频繁堵塞，每周需停机维护1次以上，不仅影响输送连续性，还大幅提升了人工与设备损耗成本。螺旋离心泵凭借其独特的流体力学特性，在含杂质介质输送中表现出显著优势，而叶轮作为能量转换与介质推送的核心部件，其结构设计直接决定了泵体的抗堵塞能力、能量转换效率和耐磨性能。海斯特螺旋离心泵通过优化叶轮结构设计，开发畅流技术等创新方案，在荷兰水务公司等实际应用场景中实现了无堵塞运行，验证了叶轮结构优化对泥沙输送效率的提升作用。本文基于海斯特螺旋离心泵的产品技术参数与工程应用案例，系统分析叶轮结构各关键因素对泥沙输送效率的影响，为同类泵体的设计优化与工程应用提供理论与实践支撑。

2 螺旋离心泵叶轮结构核心参数与泥沙输送的适配性

2.1 叶轮通道尺寸设计与防堵塞效率

泥沙输送中，介质中的固体颗粒、纤维杂质易在叶轮通道内堆积，导致流道堵塞，进而降低输送效率甚至停机。叶轮通道尺寸是影响防堵塞性能的关键参数，海斯特螺旋离心泵采用大通道设计理念，通过扩大叶轮流道宽度与进出口口径，减少杂质滞留概率。其叶轮通道适配不同粒径的泥沙颗粒与纤维杂质，针对市政污水中常见的擦拭巾纤维等易聚集杂质，大通道

设计可避免其形成“污物塞”堵塞流道，保障介质流通顺畅。从输送效率来看，合理的通道尺寸设计需在防堵塞与能量转换效率之间达到平衡。海斯特通过多种不同型号的叶轮设计，实现了通道尺寸与输送介质特性的精准匹配。例如，在雨水洪水输送场景中，针对含沙量较高、颗粒较大的介质，采用宽通道叶轮设计，使泥沙颗粒顺利通过流道，减少流动阻力；在回流污泥输送中，兼顾通道宽度与流体流动性，实现活性污泥的柔和输送，既避免堵塞，又保护菌胶团不被破坏，间接保障处理系统效率。实践证明，大通道叶轮设计可使泵体在泥沙含量较高的介质中保持连续运行，维护周期延长30%以上，显著提升了整体输送效率。

2.2 叶片形态与螺旋角度对流体力学性能的影响

叶片形态与螺旋角度直接决定了叶轮对介质的推送方式与能量传递效率，进而影响泥沙输送效果。螺旋离心泵的叶片采用螺旋形设计，其螺旋角度的合理性直接关系到流体在流道内的流动状态，避免漩涡与能量损耗。海斯特螺旋离心叶轮采用优化的螺旋角度设计，使介质在叶轮旋转过程中沿螺旋面平稳流动，减少颗粒与叶片表面的冲击碰撞，降低磨损的同时提升能量转换效率。叶片数量与形状同样影响输送效率。过少的叶片会导致流体流动不稳定，能量传递不充分；过多的叶片则会缩小流道空间，增加堵塞风险。海斯特叶轮通过数值模拟与实验验证，确定了最优叶片数量与曲面形状，既保证了能量传递的高效性，又为泥沙颗粒提供了充足的流动空间。在含油污水输送场景中，优化的叶片形态可减少介质在流道内的滞留，降低乳化物生成概率，同时提升介质推送速度，使输送流量稳定在设计范围内，流量波动控制在5%以内。

2.3 叶轮进出口结构与输送连续性

叶轮进出口尺寸的匹配性对泥沙输送连续性至关重要。海斯特螺旋离心泵吸口尺寸范围为 65 至 700 毫米，出水口尺寸为 50 至 700 毫米，通过进出口尺寸的合理配比，降低介质进入与排出时的局部阻力损失。吸口的扩口设计可减少泥沙颗粒在吸入口的堆积，出水口的流线型设计则加速介质排出，避免因出口阻力导致的流道内压力升高与颗粒沉积。此外，所有能提供高效率的污水泵都需要具有某种形式的间隙来保持其高效性，叶轮边缘与涡壳吸口、内衬的间隙设计也影响输送效率。过小的间隙易导致泥沙颗粒卡滞，造成叶轮磨损与电机过载；过大的间隙则会产生回流现象，降低能量转换效率。海斯特通过特殊的轴向调节结构设计，比如通过垫片的厚度来调整叶轮间隙（图 1），还有一种通过可调内衬（图 2）来调整叶轮间隙的水泵，将泵的间隙在合理范围内，既避免了颗粒卡滞风险，又减少了回流损失，使泵体在泥沙输送中保持较高的容积效率，容积效率可达 85% 以上。

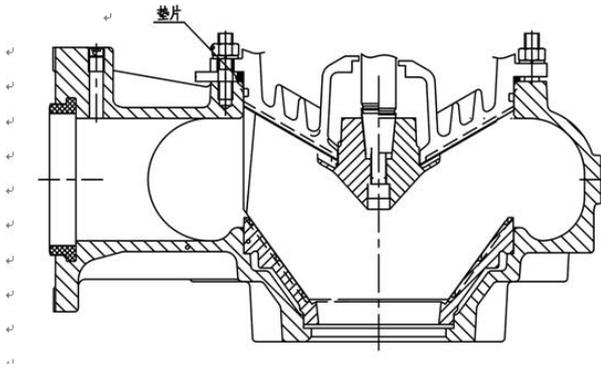


图 1

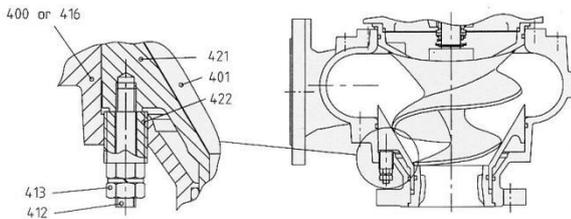


图 2

3 叶轮材质选择对泥沙输送效率的间接影响

3.1 材质特性与叶轮损耗的核心关联

泥沙介质的磨损性是影响螺旋离心泵长期运行效率的关键因素之一。叶轮作为直接与介质接触的核心部件，其表面会在泥沙颗粒的冲击、摩擦作用下逐渐损耗，导致叶片厚度变薄、流道形状变形等结构参数改变，进而破坏流体力学设计的合理性，造成输送效率持续下降。因此，叶轮材质的耐磨性与耐腐蚀性直接决定了泵体的运行稳定性，更是保障长期输送效率的重要前提。

3.2 海斯特叶轮多元材质及场景适配

海斯特螺旋离心泵针对不同泥沙介质特性，提供了多元化的叶轮材质选择，实现与输送场景的精准匹配。球墨铸铁材质叶轮凭借较高的强度与基础耐磨性，适用于泥沙颗粒较小、磨损性适中的常规场景，如城市污水输送；不锈钢与双相钢材质则在耐腐蚀性与耐磨性上实现双重升级，能够抵御含油污水、工业废水等腐蚀性较强的介质，同时应对硬度较高的泥沙颗粒冲刷，适配复杂严苛的输送环境；复合材料叶轮则聚焦轻量化与耐磨损的平衡需求，在移动泵站等对设备重量有明确要求的场景中表现突出。

3.3 材质适配对效率稳定性的实践验证

材质选择的合理性直接影响叶轮使用寿命与输送效率稳定性。实际应用数据显示，若材质选择不当，叶轮磨损速度会显著加快，通常运行 1 至 2 年后就会出现叶片变薄、流道变形等问题，导致输送效率下降 10% 至 20%，不仅影响输送连续性，还需频繁更换叶轮以维持系统运行。而采用与介质特性适配的材质后，叶轮使用寿命可延长至 5 年以上，长期运行效率保持率超过 90%，大幅降低了更换与维护成本。例如在海岸防洪工程中，海水与泥沙的双重侵蚀对叶轮材质提出了极高要求，海斯特选用双相钢材质叶轮，有效抵御了腐蚀与磨损，确保泵体在高负荷工况下持续高效运行，为防洪系统的可靠性提供了关键保障。

4 结构创新物流技术对泥沙输送效率的提升作用

4.1 极端污染环境下的技术研发痛点

在市政污水处理、工业废水排放、雨水洪水输送等极端污染场景中，泥沙介质不仅含大量粗细不均的固体颗粒，还常夹杂纤维杂质、漂浮物等复杂成分——例如城市污水中经马桶冲洗的擦拭巾纤维、工业废水中的废渣颗粒、雨水洪水中的枯枝落叶与泥沙混合物。这些杂质在输送过程中易相互缠绕、聚集，形成致密的“污物塞”，而传统叶轮结构存在设计缺陷，其轮毂与泵壳之间的流道转角、叶片边缘等部位易形成流动死区，杂质一旦进入死区便难以被流体带走，逐渐沉积堆积，最终导致叶轮流道堵塞。堵塞问题会引发一系列连锁反应：泵体流量骤降，无法满足输送需求，迫使系统停机清理；频繁停机不仅破坏了输送连续性，影响后续污水处理、防洪排涝等工艺的正常推进，还大幅增加了人工清理成本与设备损耗——维护人员需直接接触污染介质清理杂质，劳动强度大且存在安全隐患，同时频繁启停会加剧电机、轴承等部件的磨损，缩短泵体整体使用寿命。此外，堵塞还会导致泵内流体阻力增大，电机负载飙升，能耗显著上升，造成能源浪费。这些问题长期困扰着水务管理与工业生产领域，成为制约泥沙输送效率提升的核心技术痛点，也推动了针对性的叶轮结构创新技术研发。

4.2 畅流技术的核心结构与适配性

针对极端污染环境下的堵塞难题，海斯特聚焦叶轮结构优化，研发出兼具防堵塞与提效功能的畅流技术，其核心设计围绕“破除死区、加速流动、减少接触”三大核心目标展开。在叶轮前后端，畅流技术创新设置了螺旋形导流叶片与流线型凹槽结构，这些导流部件与叶轮主体通过相对旋转运动，能够形成强导流效应：一方面引导流道内的介质形成螺旋状环流，大幅提升死区位置的流体流速，利用高速流体的冲刷力将即将沉积的杂质及时带走，从根源上避免堆积；另一方面，导流结构优化了流道内的流体轨迹，使介质流动更顺畅，减少漩涡与湍流现象，降低能量损耗。同时，畅流技术对叶轮叶片边缘进行了切削处理，采用导向斜角设计，减少了杂质与叶轮部件的接触点和挂阻面，避免纤维杂质缠绕在叶轮及过流部件上，进一步降低了堵塞风险，同时也减少了杂质对叶轮的冲击与摩擦，延缓叶轮磨损。从适配范围来看，畅流技术具备极强的灵活性与实用性：其标准配置适用于2至6英寸的中小型污水泵，可直接集成于新泵生产环节，满足常规极端污染场景的输送需求。

4.3 畅流技术的工程应用效果验证

荷兰水务公司的“问题泵站”应用案例充分验证了畅流技术的实践价值。该区域污水中含有大量通过马桶冲洗的擦拭巾纤维，这些纤维易聚集形成“污物塞”，导致传统泵体频繁堵塞，每周需停机清理1至2次，不仅输送效率低下，还产生了高昂的人工维护成本。采用配备畅流技术的海斯特螺旋离心泵后，叶轮堵塞问题得到彻底解决，设备连续运行周期延长至3个月以上，维护频率大幅降低，维护成本直接减少60%。同时，畅流技术通过优化流体流动状态，减少了能量损耗，使输送流量稳定在设计值范围内，能量损耗较传统泵体减少15%，实现了输送效率与运行经济性的双重提升。畅流技术的成功应用，进一步印证了叶轮结构创新对泥沙输送效率的关键作用。该技术不仅针对性解决了极端污染环境下的堵塞难题，更通过优化流体力学性能提升了能量转换效率，为高含沙、高杂质介质的输送提供了高效可行的技术解决方案，拓展了螺旋离心泵在复杂严苛场景中的应用边界。

5 工程应用案例分析

5.1 荷兰水务公司污水泵站改造项目

荷兰部分污水泵站因污水中含有大量通过马桶冲洗的擦

拭巾纤维，导致传统污水泵频繁堵塞，每周至少1台泵因堵塞停机，维护人员需人工清理泵内垃圾，运维成本高昂。为解决该问题，荷兰水务公司采用海斯特螺旋离心泵，其核心优化点包括大通道叶轮设计、畅流技术应用及适配材质选择。改造后，泵站泵体堵塞现象彻底消除，设备连续运行周期延长至6个月以上，维护频率降低90%，年维护成本节省约40万欧元。同时，螺旋离心泵的能量转换效率提升12%，按泵站日均运行12小时计算，年节电约3.6万度。该案例验证了大通道叶轮与畅流技术在高杂质泥沙介质输送中的防堵塞优势，以及对输送效率与运维成本的优化作用。

5.2 回流污泥泵房应用项目

在市政污水处理厂的回流污泥泵房，需将回流活性污泥柔和输送，避免菌胶团破坏，同时防止污泥中杂质堵塞泵体。海斯特螺旋离心泵通过优化叶轮叶片形态与通道尺寸，实现了污泥的低剪切输送，菌胶团存活率提升至95%以上，保障了污水处理效果。此外，叶轮采用不锈钢材质，抵御污泥的腐蚀性与磨损性，设备运行3年无明显磨损，输送效率保持稳定，流量波动控制在3%以内。与传统泵体相比，该项目中螺旋离心泵的年运行效率提升10%，维护成本降低50%，充分体现了叶轮结构优化与材质适配在特殊泥沙介质输送中的应用价值。

6 结论

螺旋离心泵叶轮结构作为影响泥沙输送效率的核心因素，其通道尺寸、叶片形态、螺旋角度、进出口结构及材质选择均与输送效率、防堵塞性能、运行稳定性密切相关。大通道叶轮设计可有效避免泥沙颗粒与纤维杂质堵塞，保障介质流通顺畅；优化的叶片形态与螺旋角度能够减少流体能量损耗，提升能量转换效率；适配的耐磨耐腐蚀材质可延长叶轮使用寿命，保证长期运行效率稳定；畅流技术等结构创新则进一步强化了极端污染环境下的防堵塞能力，提升整体输送效率。

海斯特螺旋离心泵的工程应用案例表明，通过叶轮结构的精准优化与技术创新，可保障设备长期稳定运行。未来研究可进一步结合数值模拟与实验测试，深入分析不同泥沙特性下叶轮结构参数的最优组合，开发更具针对性的叶轮优化设计方法，为螺旋离心泵在更广泛泥沙输送场景中的高效应用提供技术支撑。

参考文献：

- [1] 周峰,李玉宏,李琪飞,等.螺旋离心泵不同工况下流固耦合受力分析[J].液压气动与密封,2023,43(09):19-22.
- [2] 周峰,李玉宏,李琪飞,等.螺旋离心泵不同工况下流固耦合受力分析[J].液压气动与密封,2023,43(09):19-22.
- [3] 邓育轩,李仁年,韩伟,等.螺旋离心泵叶轮区域漩涡空化的计算与分析[J].兰州理工大学学报,2015,41(03):55-58.
- [4] 李仁年,赵文杰,李琪飞.螺旋离心泵固液两相流中的叶轮磨损分析[J].甘肃科学学报,2014,26(01):67-70.