文章编号: 1672 - 3317 (2023) 03 - 0090 - 07

平面 S 型轴伸贯流泵装置泵内流动特性研究

全 莉, 刘 颖*, 吴泽昊, 严 杰

(扬州市勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘 要:【目的】探究低扬程泵站平面 S 型泵装置内压力脉动特性和流动稳定性。【方法】采用软件 CFX 开展三维全流道数值模拟,湍流模型选择为 RNG k-c。采用快速傅里叶变换对压力信号进行处理,在 Ansys 后处理系统中对流场数据进行可视化处理。分析了小流量工况 0.8 Qd、设计工况 Qd和大流量工况 1.2 Qd等 3 个典型工况下泵装置内的流动特性、压力脉动特性和涡量分布特性。【结果】进水流道内水流流态稳定,流量工况主要影响出水流道内的流动稳定;叶轮内压力脉动激励源为叶轮的旋转作用,在叶轮进口脉动频率成分复杂,主频为叶频;而叶轮出口脉动幅值较小,存在明显的低频脉动;进水流道内水流涡量接近 0,叶轮室、导叶室和出水流道内的涡量差别很大,受到叶轮的旋转扰动叶轮室内和导叶室内流场涡量最大。小流量工况下泵段和出水流道内的涡量差异最大,随着流量的增大涡量减小。【结论】涡量分布规律与泵装置内流态变化一致,这从能量的角度解释了不同流量工况下流动稳定差异的原因。研究结果对充分了解平面 S 型泵装置内流动特性和流动稳定机理提供理论指导,对工程运行提供借鉴意义。 关键词:平面 S 型轴伸贯流泵;涡量;压力脉动;流动特性;数值模拟 中图分类号:TK26 文献标志码:A doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022208 OSID:

全莉, 刘颖, 吴泽昊, 等. 平面 S 型轴伸贯流泵装置泵内流动特性研究[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(3): 90-96. QUAN Li, LIU Ying, WU Zehao, et al. Flow Characteristics in Plane S-type Axial Extended Tubular Pump[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(3): 90-96.

0 引 言

【研究意义】随着我国社会经济的不断发展, 同时伴随着"双碳"战略的提出,社会能源平衡和 水资源区域平衡的重要性更加突出,为满足跨流域 调水的重要需求,全国修建了大量的泵站^[1]。水泵 是区域调水的核心,根据流量和扬程的不同,水泵 主要分为离心泵、轴流泵以及混流泵^[2]。其中,在 低扬程的供水工程中轴流泵使用较多,根据安装布 置形式轴流泵可分为立式轴流泵、斜流式和平面式, 平面 S 型水泵机组是平面式水泵的一种^[3]。开展平 面 S 型轴伸贯流泵装置内的流动稳定性机理研究对 提高水泵的工程运行和优化设计具有重要的学术价 值和工程价值。【研究进展】近年来,平面 S 型轴伸 贯流泵在低扬程泵站中得到了大量的应用。同时, 国内外专家对于这种泵装置内的流动特性开展了大 量的试验和数值计算研究。仇宝云等^[4]通过对低扬 程大型泵站单管出水流道进行研究,提出了后导叶 设计方法。陆伟刚等^[5]通过全流道的模拟开发,使 得轴伸贯流泵装置运行效率达到 83.55%^[6]。刘超^[7] 总结了低扬程泵站的发展趋势,介绍了大型低扬程

泵装置中出水流道的内部流动特征。这些研究促进 了平面 S 型轴伸贯流泵装置的研发和优化。但是, 对于低扬程平面 S 型轴伸贯流泵内的流动稳定性的 研究仍然有很大的空间。【切入点】本文针对低扬程 泵站平面 S 型泵装置内压力脉动特性和流动稳定性, 采用软件 CFX 开展三维全流道数值模拟。【拟解决 的关键问题】本文通过分析不同流量工况下泵装置 内的流动特性、压力脉动和涡量分布特性,以探究 平面 S 型泵装置内的流动特性,为平面 S 型轴伸泵 装置的优化设计提供理论指导,研究结果具有重要 的学术意义和工程意义。

1 研究背景及方法

1.1 研究背景

本文研究背景为黄金泵闸站中一平面 S 型轴伸 贯流泵装置。研究对象为相同的水力模型,其叶轮 直径为 300 mm 的平面 S 型轴伸贯流泵装置。

1.2 计算模型

1.2.1 几何模型及其参数

泵装置包含进水流道、叶轮室、后置导叶、出水流道,为保证进出水水流的平顺性和与实际流动 情况接近,在进出水流道前分别建立进水池和出水 池等延伸段,计算模型如图1所示。叶轮叶片数为4, 叶轮直径为300 mm,叶顶间隙0.2 mm,导叶数为7。 水泵设计流量工况为220 L/s。采用 Turbogrid 完成

收稿日期: 2022-04-14

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20190647)

作者简介: 全莉(1992-), 女。工程师, 学士, 主要从事流体机械内部 流动分析研究。E-mail: 370868925@qq.com

通信作者:刘颖(1989-),女。工程师,学士,主要从事流体机械内部 流动分析研究。E-mail: liuying@126.com

导叶和叶轮的网格剖分,网格为六面体网格。对进 出水流道及延伸段采用 ICEM 中完成六面体结构化 网格剖分,网格质量均大于 0.35,网格角度介于 24°~155°之间。采用水力损失评判网格无关性,不 同网格数量时泵装置总水力损失如图 3 所示。当网 格数量超过 410 万时,总水力损失无明显变化,相 对误差控制在±3%以内,此时网格数量可满足计算 要求。图 4 为计算模型壁面 y+值分布,y+值最大值 接近 300,在进出水流道处。









whole flow channel of pump device

1.2.2 边界条件及计算参数

本文计算模型进口采用质量流量边界条件,出 口采用压力边界,壁面采用无滑移壁面,叶轮进出 口的交界面采用动静交界面。对于非定常动静交界 面采用 Transient Rotor Stator。压力脉动测点选择在 叶轮进口、叶轮出口、导叶出口,如图 5 所示。首 先采用定常计算对模型进行全流道数值模拟,获得 机组能量性能曲线。然后,对小流量工况 0.8 Q_d、 设计流量工况 Q_d和大流量工况 1.2 Q_d等 3 个流量工 况进行非定常计算,计算周期为 6 个叶轮旋转周期, 计算步长为叶轮旋转 2°的时长。计算过程选用迎风 格式,收敛精度设置为 10⁻⁴。





1.3 数学模型

1.3.1 控制方程

本文计算模型中水流为常温水,没有热量交换 故忽略能量守恒定律,流动过程主要考虑流体的各 物理量对空间的分布和随时间的演化,对不可压缩 流体,主要是满足质量守恒和动量守恒^[8-10]。

质量守恒方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0.$$
 (1)

动量方程:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j}, \qquad (2)$$

式中: ρ 为流体密度; u_i 、 u_j 为流体在i、j方向上的速度分量;p为时均压力; μ 为流体的运动黏性系数; x_i 、 x_j 为空间坐标分量。

1.3.2 湍流模型

在 CFD 计算过程中,先后形成了多种湍流模型, 其中 RNG *k-ε* 湍流模型考虑了平均流动中的旋转流 动情况,更适合于计算高应变率和流线弯曲程度较 大等较为复杂的流动情况^[11-13],在旋转水力机械中 得到大量的应用,因此,本文中湍流模型选择为 RNG *k-ε* 湍流模型。

2 结果与分析

2.1 流场特性分析

图 6 为不同流量工况下泵装置整体的流动分布。 不同工况下泵装置进水流道内流态和速度表明进水 流道内流动平顺。叶轮室和导叶室及出水流道内的 水流流态差别比较大,明显可以看出流量越大出水 流道内的水流越平顺,旋转流距离泵出口越远。小 流量工况下出水口水流旋转流距离出水口较近。这 说明流量对于平面 S 型泵装置内的流动影响主要集 中在泵段和出水流道内,流量越大出水流道内水流 流态越平顺,流量越小出水流道内流态越差,水流 越容易出现旋转流动。不同流量工况下出水段 S 型 过渡位置存在水流交汇的旋转流动和流速不均匀分 布,说明平面 S 型出水流道过渡段会影响水流的平 稳流动。





2.2 压力脉动频域特性分析

进一步分析平面 S 型轴伸贯流泵装置内压力脉 动特性,对压力脉动时域数据进行快速傅里叶变换, 得到泵装置不同位置的压力脉动频域特性数据。采 用无量纲压力脉动系数 C_p值来表征叶轮进出口和导 叶出口的压力脉动幅值, *C*_p 值主要反映了由叶轮旋转诱导的压力脉动,与叶轮的旋转有直接的内在关系^[14-15], *C*_p值定义如下:

$$C_{\rm p} = \frac{(p - \bar{p})/1\ 000}{\frac{1}{2}\rho U_{\rm tip}^2},\tag{3}$$

式中: $U_{tip} = \frac{2\pi rn}{60}$; *p* 为监测点的瞬时压力 (Pa); \bar{p} 为监测点的时均压力 (Pa); ρ 为水的密度 (kg/m³); U_{tip} 为叶轮叶顶的圆周速度 (m/s); *r* 为叶轮半径 (m); *n* 为叶轮转速 (r/min)。

由于叶轮转速 n 为 1 250 r/min,叶片数为 4,因 此叶轮转动频率 $f_n = \frac{1250}{60} = 20.83$ Hz,叶片通过频率 f_n (简称叶频)为 83.33 Hz。图 7—图 9 分别为小流 量工况下、设计流量工况和大流量工况下叶轮进口 P1 测点、叶轮出口 P9 测点、导叶出口 P17 测点的 频域图。

1)小流量工况下,叶轮进口压力脉动主频为 83.33 Hz,主频幅值 C_p值为 0.008 7;叶轮出口压力 脉动主频为 41.66 Hz,主频幅值 C_p值为 0.003 2;导 叶出口压力脉动主频为 27.83 Hz,主频幅值 C_p值为 0.004 2。可以看到,小流量工况下叶轮进口压力脉 动的主频均为叶频,叶轮出口压力脉动主频为 2 倍 叶轮转动频率,导叶出口压力脉动主频为 1.3 倍叶轮 转动频率,说明小流量工况下在叶轮内部压力脉动 激励源为旋转的叶轮,经过导叶的整流,叶轮的旋 转作用对导叶出口压力脉动的影响程度减弱。在叶 轮进口存在叶频的谐波成分,而叶轮出口谐波成分 幅值较小。导叶出口压力脉动频率成分复杂,存在 明显的低频脉动,但在 1 倍叶轮转动频率处脉动幅 值较大,这说明叶轮作为一个激励源对导叶出口流 场仍有影响。





Fig.7 Frequency domain curve of pressure fluctuation of pump device under small flow condition

2)设计流量工况下,叶轮进口压力脉动主频为83.33 Hz,主频幅值 C_p值为 0.007 9;叶轮出口压力

脉动主频为 41.66 Hz, 主频幅值 C_p 值为 0.002 7; 导 叶出口压力脉动主频为 27.83 Hz, 主频幅值 C_p 值为 0.003 7。设计流量工况下叶轮进口压力脉动的主频 均为叶频,叶轮出口压力脉动主频为 2 倍叶轮转动 频率,导叶出口的压力脉动主频为 1.3 倍叶轮转动 频率,在叶轮进出口和导叶的出口也存在高阶谐波。 设计流量工况下泵装置内压力脉动频率特性与小流 量工况下压力脉动频率特性基本一致,但是幅值明 显减小。



图 8 设计流量工况下泵装置压力脉动频域曲线

Fig.8 Frequency domain curve of pressure fluctuation of pump device under design flow condition

3) 大流量工况下,叶轮进口压力脉动主频为 83.33 Hz,主频幅值 C_p值为 0.007 1;叶轮出口压力 脉动主频为 83.33 Hz,主频幅值 C_p值为 0.002 2;导 叶出口压力脉动主频为 41.66 Hz,主频幅值 C_p值为 0.004 1。可以看到,大流量工况下叶轮进口和叶轮 出口的压力脉动主频均为叶频,导叶出口压力脉动 主频频率为 2 倍叶轮转动频率,这说明大流量工况 下叶轮的旋转作用对叶轮进出口和导叶出口的压力 脉动激励强度占主导作用,并且受叶轮旋转作用的 影响,叶轮进出口压力脉动在叶轮转频整数倍处存 在明显的谐波成分。



图 9 大流量工况下泵装置压力脉动频域曲线

Fig.9 Frequency domain curve of pressure fluctuation of pump device under large flow condition

2.3 泵装置流动稳定性分析

为进一步分析泵装置内流动稳定性,采用涡量 表征全流道内的流动稳定性,涡量的大小代表流场 内的旋度,通过流体力学理论可知,涡量在一定程 度上旋度代表了流动的稳定性^[16-17]。分析断面如图 10 所示。





分布。不同流量工况下的涡量分布清晰的表明进水 流道内水流涡量接近 0,水流未发生旋转流动,说 明进水流道内能量分布均匀,水流流动稳定,这与 前面流动分析结果一致,验证了流量工况对平面 S 型轴伸泵装置内流动稳定性影响较小。叶轮室内和 导叶室内流场涡量最大,这是因为在泵段内流场受 到叶轮的旋转扰动,水流为旋转流。不同流量工况 下叶轮室、导叶室和出水流道内的涡量分布差别很 大,这说明流量工况对叶轮进口后的水流稳定性影 响较大。小流量工况下泵段和出水流道内的涡量最 大,不同位置差异很大,随着流量的增大涡量减小, 这说明流量越大平面 S 型泵装置内的流场越稳定, 这从能量的角度解释了前面不同流量工况下流动稳 定差异的原因。





3 讨论

目前水泵的高效稳定运行是水泵研发的重要指标,在特殊环境下由于上下游水位的限制使得常规的离心泵和立式轴流泵难以应用,低扬程泵站得到了大量的应用^[1-2,14,17-18]。进出水流道是低扬程泵站 重要的过流构筑物,根据进出水流道的形式,低扬 程大型泵站通常包含肘形、钟形、贯流式、斜式、 簸箕形、箱涵式和平面蜗壳式等,平面 S 型轴伸贯 流泵装置是贯流泵装置的一种,目前对于低扬程泵 站内的流动研究形成了较多的研究成果^[4-5,19]。

陈松山^[20]指出在低扬程泵站中出水流道水力损 失占泵装置总水力损失比例较大,其水力设计合理 性对泵装置效率指标影响较大,流道中危害性漩涡 存在会导致泵机组产生振动、噪音等,这与本文研 究中得到的现象一致,本文通过分析流道不同位置 的压力脉动特性和流道内的涡量变化特性,得到之 前研究没有的研究成果。平面 S 型轴伸贯流泵装置 全流道内涡量分布揭示了流道内流动稳定特性。不 同流量工况下,进水流道、叶轮室、导叶室和出水 流道内的涡量分布差别很大。受到叶轮的旋转扰动, 叶轮室内和导叶室内流场涡量最大。流量工况主要 影响出水流道内的流动稳定,流量越小出水流道内 流态越差,水流越容易出现旋转流动。平面 S 型轴 伸泵装置叶轮进口压力脉动主频为叶频,压力脉动 激励源为叶轮的旋转作用,这与众多叶片式水泵中 叶轮内压力脉动特性一致。叶轮进口存在叶片通过 频率的谐波成分,叶轮出口各测点叶片的高阶谐波

幅值较小。导叶出口各测点的压力脉动频率成分复杂, 存在明显的低频脉动。小流量工况下泵段和出水流道 内的涡量差异最大,随着流量的增大,涡量减小,流 量越大平面S型泵装置内的流场越稳定。这从能量的 角度解释了不同流量工况下流动稳定差异的原因。

本文研究得到的一些现象与已有的研究结果一 致^[21-23],不同流量工况下平面 S 型轴伸贯流泵装置 进水流道内水流流态稳定。同时本文结合工程应用 从流道内水流紊乱度的角度进一步研究了平面 S 型 泵装置内流动稳定性和压力脉动之间的内在关联机 理。研究成果对于工程中指导水泵运行和流道设计 具有重要的意义。

4 结 论

 1)不同流量工况下平面S型轴伸贯流泵装置进 水流道内水流流态稳定。流量工况主要影响出水流 道内的流动稳定,流量越小出水流道内流态越差, 水流越容易出现旋转流动。

2) 平面 S 型轴伸泵装置叶轮进口压力脉动激励 源为叶轮的旋转作用叶轮进口存在叶片通过频率的 高阶谐波,频率在 100 Hz 以上,叶轮出口各测点叶 片的高阶谐波幅值较小。导叶出口各测点的压力脉 动频率成分复杂,存在明显的低频脉动,在 1 倍叶 轮转动频率处谐波成分幅值较大,说明叶轮旋转对 导叶出口流场仍有影响。

3)不同流量工况下,进水流道内水流涡量为 0, 叶轮室、导叶室和出水流道内的涡量分布差别很大, 受到叶轮的旋转扰动叶轮室内和导叶室内流场涡量 最大。小流量工况下泵段和出水流道内的涡量差异 最大,随着流量的增大涡量减小,流量越大平面 S 型泵装置内的流场越稳定。

参考文献:

- 刘军,施伟,徐磊,等.大型低扬程泵装置水力设计关键技术的创新与 发展[J]. 江苏水利, 2021(12): 1-7, 14.
 LIU Jun, SHI Wei, XU Lei, et al. Innovation and development of key technologies for hydraulic design of large-scale pump system with low head[J]. Jiangsu Water Resources, 2021(12): 1-7, 14.
- [2] 杨帆, 刘超, 汤方平, 等. S 形贯流泵装置多工况过流部件水力性能分析[J]. 农业机械学报, 2014, 45(5): 71-77. YANG Fan, LIU Chao, TANG Fangping, et al. Hydraulic performance analysis of flow passage components in S-shaped shaft extension tubular pumping system under multi-conditions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(5): 71-77.
- [3] 梁金栋, 陆林广, 徐磊, 等. 轴流泵装置导叶出口水流速度环量对出水 流道水力损失的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 55-60. LIANG Jindong, LU Linguang, XU Lei, et al. Influence of flow velocity circulation at guide vane outlet of axial-flow pump on hydraulic loss in outlet conduit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(1): 55-60.
- [4] 仇宝云,刘超,袁伟声.大型水泵轴向后导叶叶片出口角对出水流道

性能的影响[J]. 机械工程学报, 2000, 36(7): 74-77. QIU Baoyun, LIU Chao, YUAN Weisheng. Influence of blade outlet angle of axial outlet diffuer of large pump on performance of its discharge passage[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2000, 36(7): 74-77.

- [5] 陆伟刚,董雷, 王兆飞,等. 流量与环量对低扬程泵装置流道水头损失的交叉影响[J]. 应用数学和力学, 2012, 33(12): 1 431-1 441.
 LU Weigang, DONG Lei, WANG Zhaofei, et al. Cross influence of discharge and circulation on head loss of the conduit of pump system with low head[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2012, 33(12): 1 431-1 441.
- [6] 徐磊,陆林广,陈伟,等.南水北调工程邳州站竖井贯流泵装置进出水 流态分析[J].农业工程学报, 2012, 28(6): 50-56.
 XU Lei, LU Linguang, CHEN Wei, et al. Flow pattern analysis on inlet and outlet conduit of shaft tubular pump system of Pizhou pumping station in South-to-North Water Diversion Project[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 50-56.
- [7] 刘超. 轴流泵系统技术创新与发展分析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 49-59.

LIU Chao. Researches and developments of axial-flow pump system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 49-59.

- [8] 谢荣盛,汤方平,刘超,等. 轴伸式出水流道内流场数值模拟分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8): 29-34, 41.
 XIE Rongsheng, TANG Fangping, LIU Chao, et al. Numerical simulation analysis of internal flow in S-shaped outlet conduit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 29-34, 41.
- [9] 宋希杰, 刘超, 杨帆, 等. 进水漩涡诱发轴流泵压力脉动的试验研究[J]. 振动与冲击, 2018, 37(17): 25-31, 62.
 SONG Xijie, LIU Chao, YANG Fan, et al. Tests for inlet vortex-induced pressure fluctuation of an axial flow pump[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(17): 25-31, 62.
- [10] 仇宝云,黄季艳,袁寿其,等. 轴流泵出水流道水力损失试验研究[J]. 机械工程学报, 2006, 42(5): 39-44. QIU Baoyun, HUANG Jiyan, YUAN Shouqi, et al. Test investigation on hydraulic losses in discharge passage of axial-flow pump[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(5): 39-44.
- [11] 李伟, 平元峰, 施卫东, 等. 导叶式混流泵旋转失速的研究进展[J]. 排 灌机械工程学报, 2019, 37(9): 737-745.
 LI Wei, PING Yuanfeng, SHI Weidong, et al. Research progress in rotating stall in mixed-flow pumps with guide vane[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2019, 37(9): 737-745.
- [12] 徐磊,李非凡,孙世宏,等.前置竖井贯流泵出水流道设计参数对其水 力性能的影响[J].灌溉排水学报, 2021, 40(11): 73-78.
 XU Lei, LI Feifan, SUN Shihong, et al. Influence of Outlet Conduit Parameters on the Performance of Shaft Tubular Pump[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(11): 73-78.
- [13] CAO P Y, WANG Y, KANG C, et al. Investigation of the role of nonuniform suction flow in the performance of water-jet pump[J]. Ocean

Engineering, 2017, 140: 258-269.

- [14] 刘宁, 汪易森, 张纲主编, 于永海[等]编写. 南水北调工程水泵模型同 台测试[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [15] 张德胜,王海宇,施卫东,等. 轴流泵多工况压力脉动特性试验[J]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 139-145.
 ZHANG Desheng, WANG Haiyu, SHI Weidong, et al. Experimental investigation of pressure fluctuation with multiple flow rates in scaled axial flow pump[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 139-145.
- [16] 陈会向,周大庆,张蓝国,等. 基于 CFD 的双向竖井贯流泵装置水力 性能数值模拟[J].水电能源科学, 2013, 31(11): 183-187.
 CHEN Huixiang, ZHOU Daqing, ZHANG Languo, et al. Hydraulic performance improvement of bidirectional shaft tubular pump system based on CFD[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(11): 183-187.
- [17] 宋希杰,刘超,罗灿,等. 轴流泵装置中侧壁漩涡特性及消涡研究[J].
 流体机械, 2018, 46(6): 27-32, 4.
 SONG Xijie, LIU Chao, LUO Can, et al. Research on the characteristics of sidewall vortex and vortex elimination in axial-flow pump[J]. Fluid Machinery. 2018, 46(6): 27-32. 4.
- [18] 张付林,郑源,李城易,等.双向轴伸泵装置反向运行流动及振动特性研究[J]. 工程热物理学报, 2020, 41(10): 2 452-2 459. ZHANG Fulin, ZHENG Yuan, LI Chengyi, et al. Flow and vibration characteristics of the bidirectional shaft extension pump in reverse operation[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2020, 41(10): 2 452-2 459.
- [19] 郑源,李城易,顾晓峰,等. S 型弯管对双向轴伸泵性能及稳定性的影响[J]. 工程热物理学报, 2019, 40(2): 319-327.
 ZHENG Yuan, LI Chengyi, GU Xiaofeng, et al. Effects of S-shaped elbow in bidirectional shaft extension pump on the performance and stability[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2019, 40(2): 319-327.
- [20] 陈松山. 低扬程大型泵站装置特性研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2007. CHEN Songshan. Study on pump set characteristics of low-water head large pumping station[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2007.
- [21] 刘军,施伟,徐磊,等. 大型低扬程泵装置水力设计关键技术的创新与发展[J]. 江苏水利, 2021(12): 1-7, 14.
 LIU Jun, SHI Wei, XU Lei, et al. Innovation and development of key technologies for hydraulic design of large-scale pump system with low head[J]. Jiangsu Water Resources, 2021(12): 1-7, 14.

 [22] 梁金栋, 陆林广, 徐磊, 等. 大型泵站低扬程泵装置效率指标的推算[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(1): 1-5.
 LIANG Jindong, LU Linguang, XU Lei, et al. Calculation of efficiency indexes for pump system of a large pumping station with low head[J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(1): 1-5.

[23] 刘超, 张松, 谢传流, 等. 高效平面 S 形轴伸泵装置优化设计与模型试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 132-140.
LIU Chao, ZHANG Song, XIE Chuanliu, et al. Optimal design and model test of high performance S-shaped shaft extension pump system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(12): 132-140.

Flow Characteristics in Plane S-type Axial Extended Tubular Pump

QUAN Li, LIU Ying^{*}, WU Zehao, YAN Jie

(Yangzhou Survey, Design and Research Institute, Yangzhou 225009, China)

Abstract: [Objective] The S-type axial extended tubular pump is a device widely used in various hydraulic engineering projects. The objective of this paper is to analyze the pressure pulsation characteristics and flow stability in the pump under different working conditions in low-lift stations. [Method] Three-dimensional full-channel numerical simulation is carried out with software CFX, and the turbulence model is selected as RNG k- ε . Fast Fourier transform (FFT) is used to process the pressure signal, and the flow data is visualized in the Ansys Post

system. The flow characteristics, pressure pulsation characteristics and vorticity distribution characteristics in the pump unit under three typical conditions, 0.8 Q_d , Q_d and 1.2 Q_d (Q_d is the design flow condition) were analyzed.

(Result**)** Flow pattern in the inlet of the channel is stable, and flow stability in the outlet of the channel is mainly affected by flow condition. The impeller's rotation serves as the excitation source of pressure pulsation in the pump, and there are high-order harmonics of blade frequency at the inlet of the impeller. The amplitude of high-order harmonics at the outlet of the impeller is small, and there are complex frequency components at the outlet of the guide vane, along with evident low-frequency pulsations. We also find that the flow vorticity in the inlet passage is zero, while the vorticity in the impeller chamber, guide vane chamber, and outlet passage is highly diverse. Due to the rotation disturbance of the impeller, the vorticity in the flow field in the impeller chamber and guide vane chamber is the largest. Under low flow condition, the difference in vorticity between the pump section and the outlet channel is the highest, while the vorticity decreases with increasing flow. This is consistent with the change of flow pattern in the pump device, thereby explaining, from an energy perspective, the reason for variation of the flow stability under different flow conditions. **(**Conclusion **)** Our results provide guidance for comprehending the mechanisms underlying flow characteristics and stability in the plane S-type pump device. They are helpful for engineering design.

Key words: plane S-type axial extension tubular pump; vorticity; pressure pulsation; flow characteristics; numerical simulation

责任编辑:赵宇龙

(上接第64页)

The Way and Amount of Straw Mulching Impact Water Consumption and Yield of Potato

MA Juhua¹, HUANG Caixia^{1*}, LI Yazhen¹, YANG Yong¹, CHEN Zhipi², LI Hongcai³,

LI Yongjun², HU Liangliang¹, WANG Longlong¹, ZHANG Qian¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Dingxi Hydraulic Research Institute, Dingxi 743000, China; 3. Dingxi Water Resources Bureau, Dingxi 743000, China)

Abstract: [Objective] Straw mulching and ridge tillage is an improved agronomic technology to sustain crop production in the loess plateau in northwestern China. How their combination impacts water uptake and crop yield is not well understood. This paper is to fill this knowledge gap. [Method] The experiment was conducted in a potato field and compared ridge tillage and traditional flatten tillage. For the ridge tillage, there were three mulching treatments: film mulching (PM), locally high straw mulching (RSM9), and locally low straw mulching (RSM6). For the traditional flatten tillage, there were also three treatments: locally high straw mulching (PSM9), locally low straw mulching (PSM6), and full straw mulching (FC). The control is flatten tillage without mulching. [Result] ① Compared with CK, mulching increased the yield and WUE of the potato by 11.8%~21.7% and 15.9%~26.7%, respectively. Compared with PSM treatments, RSM treatments increased the yield and WUE of the potato by 1.5% and 1.7%, respectively. Compared with the locally high straw mulching (9 000 kg/hm²), the locally low straw mulching (6 000 kg/hm²) increased the yield and WUE by 6.1% and 6.5%, respectively. (2) Compared with CK, local straw mulching increased soil moisture in some regions and reduced it in other regions, but overall, it increased soil water content. The increased soil water storage under different treatments was ranked in the order of RSM6 >PSM6 >PSM9 treatment. ③ Compared with CK, partial straw mulching increased total water consumption, daily water consumption, and water consumption coefficient for potato tuber formation and starch accumulation by 4.6 mm, 0.11 mm/d and 2.7%, respectively. Water consumption during tuber expansion and harvest was greater in RSM than in PSM, while the opposite was true during soil-tuber expansion. [Conclusion] Straw mulching can reduce water consumption before tuber expansion, increase water consumption after tuber expansion, balance water consumption and demand during key growth stages, and promote potato growth and development. For all treatments we compared, ridge tillage coupled with partial straw mulching at 6 000 kg/hm² was most effective. Key words: local straw mulching; culture; high ridge; water consumption characteristics; potato

责任编辑:白芳芳