

运行与管理

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.021

污水处理厂轴流泵电流爬升的原因及解决方法

顾玉中¹, 黄学军¹, 金秋景², 张若天¹

(1. 蓝深集团股份有限公司, 江苏 南京 211500; 2. 南京合工流体科技有限公司, 江苏 南京 211500)

摘 要: 轴流泵在污水处理厂污泥回流泵房或氧化沟工艺的使用过程中,会出现工作一段时间后电流缓慢爬升的现象,导致设备不能正常使用。轴流泵可以在理想流体即清水中正常使用,但在黏性流体即污水中使用,由于叶轮对流体的黏度反应比较灵敏,使得叶轮的水力性能具有突变性,对水力效率和轴功率产生影响;加上黏性流动具有很大的旋性和旋涡的扩散性,增加了汽蚀发生的可能性,也降低了水泵效率,使电机负载产生变化,运行电流缓慢爬升。为了提高水泵的抗汽蚀性能,在保证符合设计工况各项性能参数的前提下,通过适当降低 nD 值,选择高汽蚀比转速模型,使得改造后的水泵运行更加稳定,有效延长水泵水力部件的使用寿命,也有效拓宽了轴流泵的使用范围。

关键词: 轴流泵; 污水处理; 电流爬升; nD 值; 汽蚀性能

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0119-04

Cause and Solution of Current Climbing in Axial Flow Pump in WWTP

GU Yu-zhong¹, HUANG Xue-jun¹, JIN Qiu-jing², ZHANG Ruo-tian¹

(1. Lanshen Group Co. Ltd., Nanjing 211500, China; 2. Nanjing Hegone Fluid Technology Co. Ltd., Nanjing 211500, China)

Abstract: When axial flow pumps are used in sludge reflux pump house of wastewater treatment plants or oxidation ditch process, the current will climb slowly after a period of operation and then the pumps can't be used normally. The axial flow pump can be used normally in ideal fluid (clean water), but its hydraulic efficiency and shaft power are affected when used in viscous fluids (wastewater), because the impeller is sensitive to fluid viscosity and the hydraulic performance of impeller is mutable. In addition, the viscous flow has great rotation and vortex dispersion, which increases cavitation possibility and reduces pump efficiency, so that the motor load changes and the running current slowly climbs. In order to improve the cavitation resistance of the pump, under the premise of ensuring the performance parameters of the design condition, the high cavitation ratio speed model is selected by appropriately lowering the nD value to make the transformed pump run more stable, effectively extend the service life of the hydraulic components of the pump, and effectively expand the use range of the axial flow pump.

Key words: axial flow pump; wastewater treatment; current climbing; nD value; cavitation performance

轴流泵属于叶片泵范畴,适用于大流量、低扬程的场合。该类泵输送的介质大多是清水(或物理化学性质类似于清水的其他液体)、河水(包括雨水)等。伴随环保要求的提高和计算流体力学(CFD)计算机仿真模拟技术的发展,经过不断对原有模型进行优化设计,轴流泵的使用范围越来越广,其大流量、低扬程、高效率的特性逐渐在污水处理厂的进水提升泵房、污泥回流泵房、氧化沟、MBR膜池、高密池以及出水提升泵房等得到了广泛运用。但由于污水特有的一些特性,使得轴流泵在输送污水特别是在污泥回流泵房的使用过程中,容易出现电机运行电流爬升的现象,随着运行时间的延长,电流不断增大,直至过载保护开始动作而关停水泵。伴随电流爬升的同时会产生流量下降现象,噪声和振动明显。

1 轴流泵选型及清水测试结果

重庆某污水处理厂污泥回流泵房要求抽送污水用轴流泵,设计流量为 $900\text{ m}^3/\text{h}$,设计扬程为 4.4 m ,配套电机功率为 18.5 kW 。按上述要求不考虑水的黏性等参数影响,可计算在理想流体中的水泵比转数为:

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

式中, $n=1450\text{ r/min}$, $Q=900\text{ m}^3/\text{h}=0.25\text{ m}^3/\text{s}$,

$$H=4.4\text{ m}, \text{ 则: } n_s = \frac{3.65 \times 1450 \times \sqrt{0.25}}{4.4^{3/4}} = 871.0。$$

选用1000比转数模型,水泵型号为350ZQB-100,轴流泵出厂前在清水中的测试报告结果如表1所示。

表1 350ZQB-100型轴流泵测试报告

Tab.1 Test report for 350ZQB-100 axial flow pump

测试点	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	扬程/ m	输入功率/ kW	电流/ A	电泵效率/ %
1	1051.02	1.98	11.31	24.52	50.10
2	1034.64	2.30	12.27	25.61	52.82
3	1026.93	2.55	12.44	25.93	57.33
4	1006.33	2.86	12.93	26.51	60.61
5	978.34	3.19	13.50	27.15	62.97
6	954.88	3.60	14.24	28.11	65.74
7	933.65	3.96	14.78	28.52	68.12
8	896.59	4.32	15.30	29.57	68.92
9	878.14	4.62	15.79	30.10	69.96
10	845.14	5.12	16.63	31.34	70.88
11	790.83	5.72	17.65	32.63	69.80

由表1可知,在清水中水泵性能完全符合设计

要求,测试时间为 2 h ,电流变化趋势未出现异常。

2 现场测试及电流爬升原因分析

将水泵安装于回流泵房的井筒内,开机时实测现场装置净扬程约 4.42 m ,井筒直径 600 mm ,则污水在井筒内的流速为 0.88 m/s ,因流速较小,井筒长度较短,产生的沿程损失忽略不计,出水口水头损失约 0.04 m ,即装置总扬程约为 4.46 m 。开机后试运行记录如表2所示。

表2 运行时间与电流变化

Tab.2 Running time & electric current change

进水池 液位/m	出水池 液位/m	装置总扬程(净 扬程+管损)/m	运行时间/min	运行电 流/A
162.30	166.65	4.39	1	31.0
162.25	166.65	4.44	5	34.0
162.22	166.65	4.47	10	38.0
162.20	166.65	4.49	15	43.0
162.16	166.65	4.53	18	45.0

由表2可知,水泵在污泥回流泵房使用时,在装置总扬程变化不大的情况下,15 min后水泵运行电流爬升了 12 A ,18 min后电流继续爬升,导致过载保护动作,自动停机。究其原因是在污泥回流工艺中,需要保证污泥回流时稳定的活性污泥浓度,以保持活性污泥的吸附能力,由于污泥回流泵房中活性污泥与水混合后形成黏性流体,具有旋性和扩散性^[1],回流池的污水在吸入叶轮室时会产生不对称旋涡,旋涡会对叶片出口流畅的均匀性产生不良影响,影响叶片对流体做功能力。这种不对称旋涡运动越剧烈,在外特性的表现就是对水泵扬程影响越大,且效率会随之下降。流体的黏性也使摩擦阻力增加,出现水泵电机负载变大而使电流开始爬升。

用ANSYS CFX流体力学分析计算软件对理想流体单向流动进行数值模拟计算,当抽送液体中含有较多未析出的空气时,流体冲击发生在叶片外缘的工作面,旋涡区出现在叶片背面,所以分别在叶片的工作面和背面形成了高压区和低压区。当旋涡区的空气在由背面低压区流向工作面高压区流并靠近叶片外缘时,体积迅速减小发生破灭,对叶片产生汽蚀破坏。

空气旋涡在叶片背面的分布见图1。而在污水处理厂内,由于污水处理工艺的需要,污泥回流泵房中的污水溶解较多的前道工序产生的空气,在被水泵吸入叶轮室的过程中,形成漏斗形空腔^[2],产生汽蚀现象,当漏斗形空腔占据叶片背面大部分面积

时,水泵的扬程将下降较快,尤其是叶片外缘进口处,在外特性上表现为流量-扬程曲线和流量-效率曲线的下降,长时间的汽蚀会导致泵装置水力性能下降,诱导泵装置出现振动和噪声^[3],甚至会对轴流泵叶片产生空蚀破坏,降低叶片的做功能力^[4],水泵效率下降,电机负载随之变大,电机的运行电流开始出现爬升。

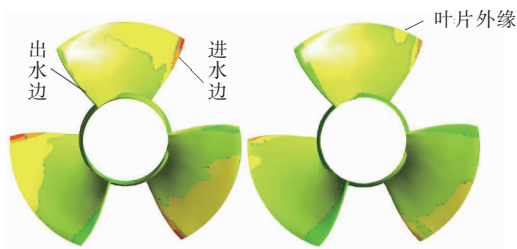


图 1 空气旋涡在叶片背面的分布

Fig. 1 Distribution of air vortices on the back of blades

汽蚀的出现,改变了叶轮室内部流体的流动状态,当叶轮叶片表面被黏性流体附着并慢慢覆盖后,叶片表面的摩擦损失减小,使泵扬程和效率略有提高,对电机的运行电流也有一定的影响。发生汽蚀现象时,必然会对叶片,特别是外缘产生较大的破坏作用。

发生汽蚀破坏的叶轮见图 2。



图 2 发生汽蚀破坏的叶轮

Fig. 2 Cavitation-damaged impeller

3 解决方案及效果

对于一台既定的水泵,其抗汽蚀性能与 nD (转速 \times 叶轮直径) 值密切相关^[5]。某一确定模型的水泵,其抗汽蚀性能的 nD 值是确定的。本次出现电流爬升的这台水泵转速 n 为 1 450 r/min,叶轮直径 D 为 300 mm,即其 nD 值等于 435。在清水中使用时,在设计工况内工作,一般不会发生汽蚀现象。这与表 1 的测试报告也是吻合的。而在污水中,特别是含有大量溶解气体的污水,在蒸汽发生之前液体中一部分溶解的空气及其他气体比较容易析出而形成空泡。为避免汽蚀现象的发生,就需要适当降低

nD 值。

接下来将对污水厂污泥回流泵房使用的水泵进行重新计算选型。

首先重新确定 nD 值。叶轮直径 $D = 300$ mm 不变,水泵转速选择 6 极电机,转速 n 为 980 r/min,则新泵 nD 值等于 294,然后确定新泵模型。

由式(1)重新选择模型:

$$n_s = \frac{3.65 \times 980 \times \sqrt{0.25}}{4.4^{3/4}} = 588.7$$

选用 500 比转数模型,水泵型号为 350HQB - 50D,配套电机功率还是 18.5 kW。新泵测试报告如表 3 所示。

表 3 350HQB - 50D 型轴流泵测试报告

Tab. 3 Test report for 350HQB - 50D axial flow pump

测试点	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	扬程/ m	输入功率/ kW	电流/ A	电泵效率/ %
1	1 146.45	1.88	11.47	27.64	51.17
2	1 090.10	2.31	12.11	28.36	56.65
3	1 048.45	2.74	13.20	29.80	59.27
4	981.33	3.31	13.60	30.34	65.06
5	960.75	3.62	14.09	30.89	67.24
6	905.38	4.02	14.42	31.53	68.72
7	824.53	4.42	14.92	32.27	66.50
8	754.22	4.87	15.10	32.64	66.26
9	711.22	5.02	15.21	32.66	63.93
10	605.99	5.39	15.41	32.94	57.73
11	470.27	6.09	15.34	32.82	50.85

对比表 1 和表 3,在要求的设计扬程点(4.4 m)时的流量基本一致,满足设计要求。然后将新泵重新装入原来的旧泵井筒,并开泵观察运行电流变化,记录于表 4 中。

表 4 测试时间内的电流变化

Tab. 4 Electric current change during test time

进水池 液位/m	出水池 液位/m	装置总扬程 (净扬程 + 管损)/m	运行时间/ min	运行电 流/A
162.28	166.65	4.41	1	33.4
162.26	166.65	4.43	5	33.5
162.23	166.65	4.46	10	33.7
162.21	166.65	4.48	15	33.8
162.08	166.65	4.61	60	34.2

从实际运行 2 周的观察记录来看,实际运行电流为 33.4 ~ 34.2 A(见图 3),运行平稳无异常,流量和扬程也满足污泥回流泵房的设计要求。

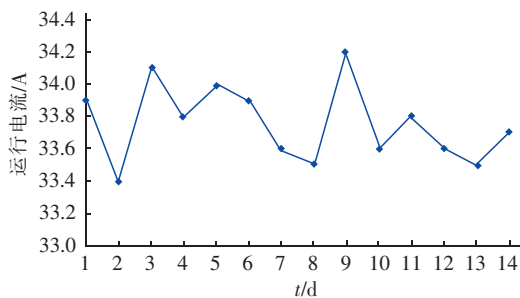


图3 2周内运行电流的变化

Fig. 3 Electric current change in two weeks

从表4和图3可以看出,适当降低 nD 值的新泵在污泥回流泵房中经长时间运行,使用效果与原先的水泵相比,噪声低,振动小,运行特别平稳,电流基本稳定,没有出现电流爬升的现象,与新泵在清水中测试的效果基本一致,完全满足污水处理工艺设计要求,这为轴流泵在污水中的正常使用提供了解决方案,拓宽了轴流泵的使用范围。

4 结语

轴流泵模型大多以理想流体为研究对象,比较适用抽送清水或物理化学性质类似于清水的其他液体,而在抽送污水处理工艺中的黏性流体时,不但要考虑污水的特殊性质,也要考虑不同的污水处理工艺过程中的水质是否含有大量溶解气体,如在曝气池、污泥回流泵房等场合中使用,即需要与清水介质中的选型要有所区别,以期既满足大流量、低扬程的性能要求,也能用于抽送一些特殊介质,扩大轴流泵的使用范围。如果还按清水介质选用轴流泵模型,容易出现电流爬升现象。一旦出现电机过载现象,再采用变频降速、调小角度或者更换耐汽蚀材料的叶轮,不但影响了污水处理厂的正常运行,对设备配套件的使用寿命也有很大的影响。

要防止污水处理厂使用轴流泵时出现电流爬升现象,采用适当降低 nD 值的方法在多座污水厂的其他污水处理工艺中使用实践证明,可明显降低水泵运行时的噪声和振动值,使水泵运行更加稳定,也使得同叶轮直径的水泵叶片外缘液流速度减小,改善水泵运行条件,减少汽蚀现象发生的概率,延长了水泵的使用寿命。

参考文献:

[1] 梁智权. 流体力学[M]. 重庆:重庆大学出版社,

2002.

Liang Zhiqun. Fluid Mechanics [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2002 (in Chinese).

[2] 向信霖,樊星. 污水处理厂轴流泵电流超负荷原因分析[J]. 广州化工, 2012, 40(18): 107-109.

Xiang Xinlin, Fan Xing. Analysis of causes of shaft flowing pump current overload in sewage plant [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(18): 107-109 (in Chinese).

[3] 张德胜,施卫东,陈斌,等. 轴流泵叶轮汽蚀两相流的数值模拟与分析[J]. 流体机械, 2013, 41(4): 16-20. Zhang Desheng, Shi Weidong, Chen Bin, et al. Experiment and numerical simulation of cavitation flow in axial-flow pump impeller [J]. Fluid Machinery, 2013, 41(4): 16-20 (in Chinese).

[4] 吴晨晖,汤方平,杨帆,等. 空化对轴流泵叶轮能量转化特性的影响[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(4): 49-55.

Wu Chenhui, Tang Fangping, Yang Fan, et al. Numerical simulation analysis of cavitation impact on energy conversion characteristics of an axial flow pump [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2019, 39(4): 49-55 (in Chinese).

[5] 关醒凡. 现代泵理论与设计[M]. 北京:中国宇航出版社, 2011.

Guan Xingfan. Modern Pump Theory and Design [M]. Beijing: China Aerospace Press, 2011 (in Chinese).



作者简介:顾玉中(1977-),男,江苏南京人,大学本科,工程师,主要从事水泵制造工艺及设计研究工作。

E-mail: 18913023152@163.com

收稿日期:2020-03-18