

潜水轴流泵装置特性模型试验

葛 强¹, 陈松山², 王林锁², 严登丰²

(1. 扬州大学信息工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要 对上海市薛家泓泵站立式潜水轴流泵模型泵装置进行了能量特性和空蚀特性试验, 得出了叶片角 0° 和 $\pm 2^\circ$ 时的能量特性和空蚀特性试验结果, 探讨了不同消涡导流措施对潜水轴流泵模型装置性能的影响。结果表明, 在各工况能量试验中泵装置运行平稳、无振动, 隔涡板和导水锥两种消涡导流方案对泵装置能量特性无明显差异, 泵装置空蚀安全裕量较大, 在常遇扬程条件下运行不会产生危害性叶形空蚀, 提出了减少立式潜水轴流泵装置流经电动机灯泡体、 Γ 形弯头及出口等处水力损失的措施。

关键词 潜水轴流泵; 泵装置; 模型试验; 能量特性; 空蚀特性; 薛家泓泵站

中图分类号: TH312 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2006)05-0034-03

Model test on characteristics of submersible axial-flow pump // GE Qiang¹, CHEN Song-shan², WANG Lin-suo², YAN Deng-feng² (1. School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. School of Water Conservancy and Hydraulic Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: A vertical submersible axial-flow pump device was adopted at Xuejiahong Pumping Station in Shanghai City. The energy characteristic and cavitation characteristic of the pump device at the blade angles of 0° and $\pm 2^\circ$ were studied through model test, and the different measures for vortex suppression and flow diversion which affected the performance of the pump device were analyzed. The result shows that the pump device is stable in different operational cases and there is no harmful vortex occurring around the bugle mouth under the common lift head due to large net positive suction head of the pump device. In consideration of gravity drain function of the pumping station, an eddy-separating plate was used to replace the hydro cone in model test for choosing the best diversion scheme, and it is shown that there is no obvious difference in the energy response of the pump device between the two measures. Moreover, some measures are proposed for reducing the hydraulic loss of the pump device as water flows through the bulb body of the electric motor joints, and outlets.

Key words: submersible axial-flow pump; pump device; model test; energy characteristic; cavitation characteristic; Xuejiahong Pumping Station

潜水轴流泵是典型的机电一体化产品, 20 世纪 80 年代后在国外发展很快, 广泛应用于给排水工程和农田排灌工程。由于其具有结构紧凑, 占地面积小, 安装、拆卸、维修、保养方便, 日常维护保养工作量少, 运行平稳、噪音小, 设备可靠性高, 无故障运行周期长, 监测保护措施较完善, 自动化程度较高等特点, 近年来已为各行业相继推荐采用^[1-6]。但如何在水利工程中开展潜水轴流泵的应用研究与实践, 探索潜水泵装置布置方案, 提高泵装置运行性能, 优化泵站设计, 仍是当前低扬程潜水泵站设计中的重要课题之一^[4]。上海市薛家泓泵站安装 4 台套潜水轴流泵, 配转速 370 r/min、功率 500 kW 异步电动机, 水泵设计扬程 4.75 m, 设计工况下水泵装置扬程 3.01 m, 单泵

设计流量 $6.17 \text{ m}^3/\text{s}$ 。泵站采用提排自排相结合的方式, 由于自流排水要求, 部分进水流道亦作排水通道, 采用闸站合一的结构形式, 出水流道为屈膝封闭式, 采取拍门断流方式, 另设平板闸门作为事故门。为确保泵站建成后能安全、可靠、高效地运行, 对薛家泓泵站潜水轴流泵装置模型进行试验研究。

1 试验内容及模型泵装置设计

1.1 试验内容

通过泵装置模型试验, 获得模型泵在叶片角度 0° 和 $\pm 2^\circ$ 的装置综合特性曲线, 即 $H = H(Q)$, $\eta = \eta(Q)$ 和 $P = P(Q, H)$ 。装置扬程试验工况点最高扬程达到不稳定运行区(马鞍区), 最低扬程小于

泵站最低运行扬程 ;得到模型泵在叶片角度 0° 和 $\pm 2^\circ$ 时 3 种不同工况点(设计工况点 Q , $1.2Q$ 和 $0.8Q$) 的装置空蚀特性及飞逸特性。

1.2 模型泵装置设计

模型泵装置进出水流道按原型和模型几何相似^[7]设计制作 ,原型泵转轮直径 $D_p = 1.2\text{ m}$,模型泵转轮直径 $D_m = 0.3\text{ m}$ 模型比尺 $\lambda = D_p/D_m = 4$ 。 进水流道中间设导流墩 ,泵进口设导水锥 ,出水为 90° 弯管加出水流道。模型泵装置整体立面布置见图 1。

2 试验设备及方法

泵站试验台为平面布置式 ,图 2 为试验台平面图。试验方法按文献 [8] 进行。模型泵装置系统由水力循环系统、动力及控制系统和微机测量系统组成。模型泵装置性能试验中 ,水位、扬程、流量、转速、轴功率等参数的测定通过传感器和信号处理接口电路将数据接于微机测试系统 ,实现试验数据实

时采集和自动处理、显示、打印。

流量采用 LDG - 500 型电磁流量计和美国 FOXBORO 公司转换器 IMT-25 测量 ;模型泵装置扬程采用 CYG0204 型压差传感器测量 ;轴功率、转速采用 JN338-500A 型测功扭矩仪测定。模型泵装置效率 η_m 按下式计算^[9] :

$$\eta_m = \frac{\rho g Q_m H_{sym}}{P_m - P_0} \times 100\%$$

其中

$$P_m = \frac{2\pi n_m M_m}{60}$$

$$P_0 = \frac{2\pi n_m M_0}{60}$$

式中 : ρ 为水的密度 , kg/m^3 ; Q_m 为模型泵装置流量 , m^3/s ; H_{sym} 为模型泵装置扬程 , m ; P_m 为模型泵输入轴功率 , kW ; P_0 为空载功率 , kW ; n_m 为模型泵转速 , r/min ; M_m 为泵轴扭矩 , $\text{N}\cdot\text{m}$; M_0 为空载扭矩 , $\text{N}\cdot\text{m}$ 。

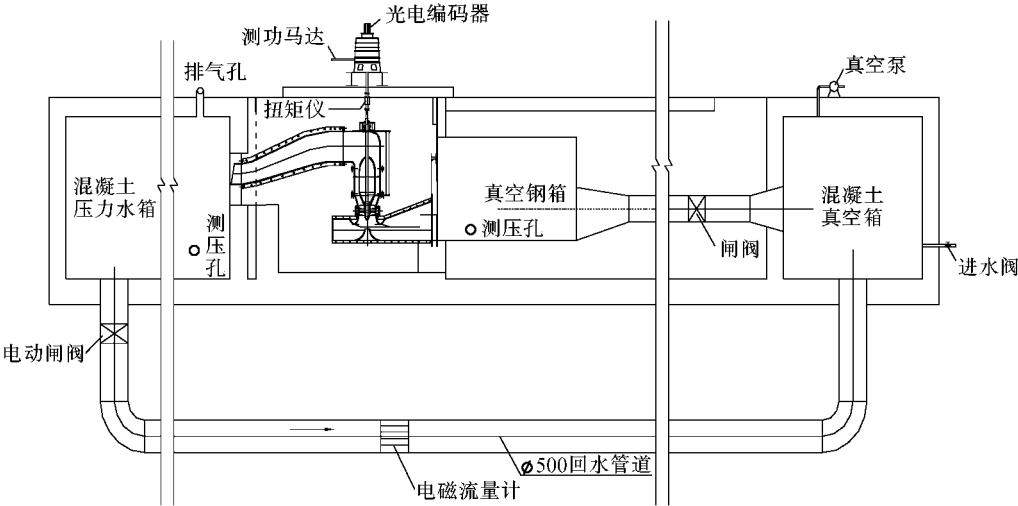


图 1 模型泵装置整体立面布置

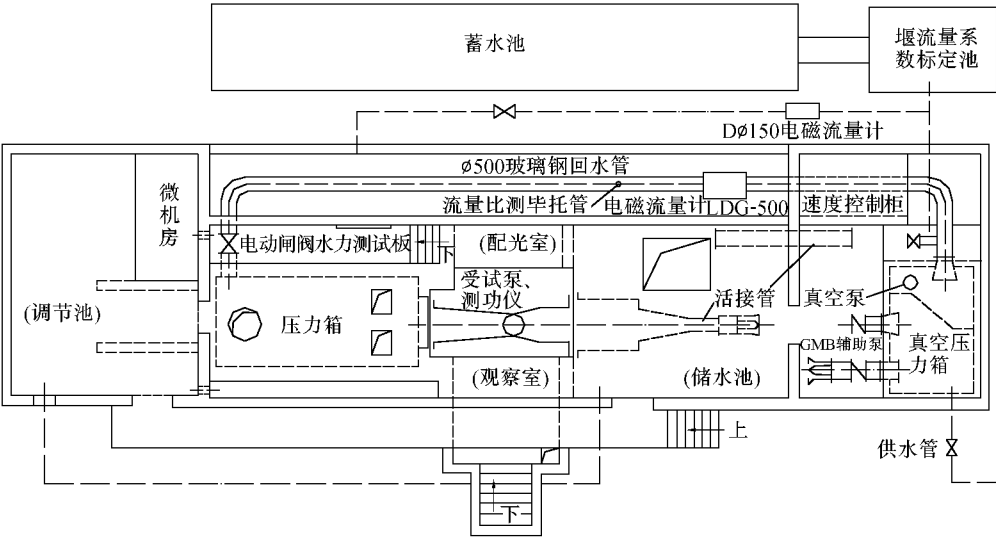


图 2 模型泵装置整体平面布置

3 模型泵装置性能试验结果

本项试验包括叶片角 0°和 ± 2°时的能量特性试验和空蚀特性试验^[1]。

3.1 模型泵装置能量特性试验结果

图 3 为模型泵装置叶片角 0°和 ± 2°时的能量特性试验结果。

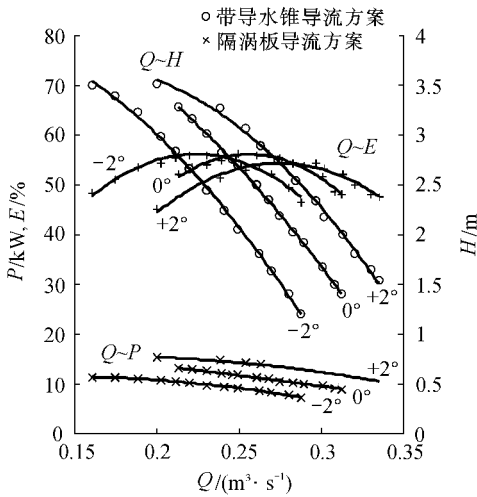


图 3 模型泵装置能量特性曲线

由于薛家泓泵站具有自排功能,为增加自排能力,在确定消涡导流方案时,试验中分别采用导水锥及隔涡板方案,并在最大运行角度 + 2°时观察了进水流态变化及对模型泵装置性能的影响,两种导流方案下模型泵装置能量特性曲线如图 4 所示,由图 4 可知,本装置采用导水锥和隔涡板消涡导流对模型泵装置性能的影响无明显差异。从流态观察结果可知用隔涡板导流在大流量时底板上偶见微弱断续漩涡,该微小漩涡未向上延伸,对进水流态没有影响,采用隔涡板可明显加大过流能力。

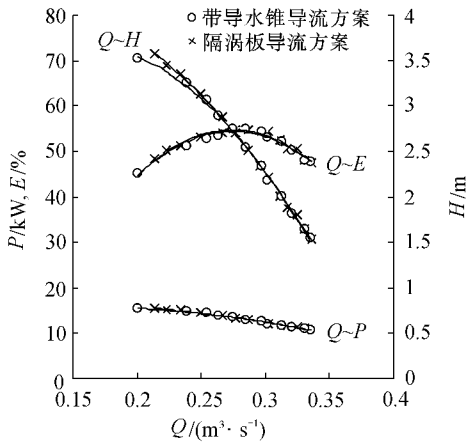


图 4 叶片角 + 2°时不同导流方案模型泵装置能量特性曲线

3.2 模型泵装置空蚀特性试验结果

试验针对等扬程(等空蚀余量)额定转速 1480 r/min,叶片角 0°和 ± 2°这 3 种工况完成临界空

蚀余量的测定,试验结果见表 1。

表 1 模型泵装置空蚀性能

叶片角	装置扬程/m	流量/(m³·s⁻¹)		临界空蚀余量/m
		模型	原型	
+ 2°	2.40	0.419	6.70	9.24
	3.12	0.391	6.26	8.13
	5.10	0.294	4.77	8.00
0°	2.20	0.390	6.25	10.51
	3.15	0.354	5.66	7.98
	5.49	0.275	4.41	7.94
- 2°	1.89	0.359	5.75	8.73
	3.21	0.312	4.98	8.01
	5.47	0.200	3.21	7.79

4 结 论

a. 对照模型泵装置能量特性试验结果,原型泵站在设计装置扬程 3.01 m 条件下,叶片角 + 2°, 0°, - 2°时流量分别为 6.47 m³/s, 5.78 m³/s, 5.10 m³/s, 功率分别为 359.8 kW, 314.7 kW, 277.9 kW, 选用该模型泵能确保泵站可靠运行,在各工况能量试验中,模型泵装置运行平稳、无振动。

b. 考虑泵站自排功能,试验中用隔涡板代替导水锥进行导流方案试验选优,结果显示进水流道内、喇叭口附近未见有害漩涡,两种消涡导流方案对模型泵装置能量特性基本无差异。

c. 当叶片角为 0°,泵站在设计装置扬程 3.01 m 工况运行时,流量为 5.78 m³/s,不能满足设计流量 6.17 m³/s 的要求。如工程的确需要 6.17 m³/s 流量,建议采用 + 2°叶片角运行,此时效率比 0°时略低,泵轴功率为 364 kW,选用功率为 500 kW 的电动机未超载,能保证泵机组顺利起动运行。

d. 根据空蚀试验结果,对照表 1,净扬程在 1.89 ~ 5.49 m 范围模型泵装置临界空蚀余量在 7.79 ~ 10.51 m,在现有泵叶轮淹没深度 1.5 m 的情况下,3 种叶片角 0°和 ± 2°时均未产生空蚀,模型泵装置空蚀安全裕量较大,在常遇扬程条件下运行不会产生危害性叶形空蚀。

e. 为减少立式潜水轴流泵装置流经电动机灯泡体、井筒、Γ 形弯头及出口等水力损失,可适当提高出水管高程,减少电机顶部突然扩大拐弯 Γ 形水力损失,进一步优化进、出水管流道尺寸,提高泵装置效率。

参考文献:

[1] 高建宏,石建军,李振芳,等.大型潜水轴流泵在污水泵站中的试验与应用[J].浙江建筑,1994(10):22-23.

(下转第 40 页)

值 故本文取 0.05 进行计算。

规范^[7]给出的设计反应谱特征周期只反映了场地对地震卓越周期的影响,没有考虑远震是由面波引起的长周期分量的影响,原因主要是远震和近震的影响无法区分。文献[6]进行统计分析的结果表明,边坡的坡高、坡度以及边坡的弹性模量在一定程度上都会对边坡的地震响应产生影响,因此,边坡数值模型的建立、模型物理力学参数的取值都应尽可能地体现边坡的真实面貌。

3 结 语

崩塌堆积体边坡在地震作用下的破坏机理十分复杂,寻找一种合理的计算方法将是一个重要的课题。拟静力法使用简单,但无法考虑地震作用的动力特性,时程分析法虽然能够更准确地反映地震的动力特性以及崩塌堆积体边坡随时间的变形变化,但需要测定场地的地震波输入,计算以及实现相对繁琐;反应谱法根据长年科研工作积累的反应谱曲线确定地震参数,计算相对简单,又能反映地震作用边坡的最大反应。但由于地震作用条件下地面运动行为十分复杂,由此所用的振型组合公式,包括 SRSS 法都是不严格的,只能是某种意义上的平均统

(上接第 21 页)

a. 研究发育有不同规模的裂隙网络,将一般构造裂隙、成岩裂隙、风化卸荷裂隙以及小型层内错动带这些(储)水介质视为连续介质,而将层间错动带视为非连续裂隙介质,建立双重介质模型。因此,如何确定其等效单元体体积是该模型建立的关键之一。

b. 通过野外裂隙测量和统计分析,得出裂隙发育的统计规律,在假设结构面为薄圆盘状、结构面光滑平直和裂隙的空间位置采用泊松模型的前提下,利用 Monte-Carlo 原理构建随机裂隙网络模型,分析裂隙率随体积变化的关系,得出的研究区裂隙率典型单元体体积能很好地反映出研究区的总体裂隙渗

(上接第 36 页)

- [2] 郑莉玲,李光勉.某排涝泵站工程水泵比选分析[J].黄河规划设计,2005(2):30-33.
- [3] 贾玉爱.浪店水源泵站工程应用大型潜水轴流泵的可行性[J].山西水利科技,1999(增刊):82-83.
- [4] 周雨农.潜水轴流泵的应用实践[J].水利科技,2001(2):51-54.
- [5] 贾效亮.潜水轴流泵在高店水库泵站工程中的应用[J].水利科技与经济,2001(4):132-133.
- [6] 夏坚远.新型潜水轴流泵在排涝工程中的应用[J].江苏

计结果,最终导致反应谱理论不够严格。本文采用加速度反应谱曲线进行取值,而加速度反应谱曲线与阻尼比的取值有密切的关系,因此,对于不同岩土体性质的崩塌堆积体边坡,阻尼比的取值也是一个需要研究的问题。

参考文献:

- [1] 刘力平,雷尊宇,周富春.地震边坡稳定分析方法综述[J].重庆交通学院学报,2001,20(3):83-88.
- [2] 顾淦臣.土石坝地震工程[M].南京:河海大学出版社,1988.
- [3] STEVEN L K. Geotechnical earthquake engineering[M]. Upper Saddle River NJ :Prentice-Hall Inc ,1996 :423-462.
- [4] NEWMARK N M. Effective of earthquake on dams and embankment[J]. Geotechnique ,1965 ,15(20):139-159.
- [5] 胡定,潘亨永,杜建成.小湾左岸坝前堆积体边坡稳定性分析研究[J].云南水力发电,2000,16(1):31-36.
- [6] 何蕴龙,陆述远,段亚辉.岩石边坡地震作用计算方法研究[J].长江科学院院报,1998,15(4):35-38.
- [7] DL 5073—2000 水工建筑物抗震设计规范[S].
- [8] 王良琛.混凝土坝地震动力分析[M].北京:地震出版社,1981.

(收稿日期 2005-06-20 编辑 高建群)

流规律。这为建立双重介质模型或等效连续介质模型中裂隙率典型单元体体积大小的确定,提供了一个新的途径。

参考文献:

- [1] 仵彦卿,张倬元.岩体力学导论[M].成都:西南交通大学出版社,1995.
- [2] 陈崇希,林敏.地下水动力学[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.
- [3] 刘佑荣.岩体力学[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [4] 徐光黎,潘别桐,唐辉明,等.岩体结构模型与应用[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.

(收稿日期 2006-03-16 编辑 骆超)

水利,2001(10):24-25.

- [7] SL140—97 水泵模型验收试验规程[S].
- [8] GB3216—89 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵试验方法[S].
- [9] 关醒凡.现代泵技术手册[M].北京:宇航出版社,1995:65-78.
- [10] 葛强,陈松山,严登丰,等.上海浦东薛家泓泵站泵装置模型试验研究报告[R].扬州:江苏机电排灌工程研究所,2004.

(收稿日期 2005-10-28 编辑 骆超)