

双向竖井贯流泵站模型泵装置模型试验

陈容新¹, 关醒凡², 王伟², 陆伟刚²

(1. 佛山市顺德区水利水电勘测设计院, 广东 佛山 528300; 2. 江苏大学, 江苏 镇江 212013)

摘要:按照流体力学相似原理建立了黄麻涌双向竖井贯流泵站流道的装置模型, 试验测定了模型泵装置在指定叶片角度下运行的装置综合特性曲线, 将泵装置综合特性曲线换算成原型泵的特性曲线, 同时试验测定在不同工况运行状态下的汽蚀性能, 并观察进出水流道的流态, 得到了汽蚀性能结果, 提出了建设泵站的注意事项和相应的改进措施。

关键词:贯流泵; 竖井; 双向; 装置模型; 模型泵

中图分类号: TV131.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6254(2007)01-0033-05

Device model experiments of shaft-well two-direction tubular pumping station

CHEN Rong-xing¹, GUAN Xing-fan², WANG Wei², LU Wei-gang²

(1. Water Conservancy and Electricity, Reconnaissance and Design Company, Ltd. Shunde District, Fushan City, Fushan, Guangdong 528300, China; 2. Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: Based on similitude theory and hydrodynamics, the device model of tubular pumping station in Huangmayong is set up. The character figures and synthetic character figures of archetypal pump model are measured when the device models run in the appointed vane angle. In the same experiment, the cavitation parameters in diversified conditions, the state of water in conduits and the results of cavitation test are all obtained.

Key words: tubular pump; shaft-well; two-direction; device model; model pump

顺德勒流黄麻涌泵站位于广东省佛山市顺德区第一联围, 属西江下游顺德水道水系, 是一座具有抽水排涝、引水灌溉功能的泵站。泵站初拟安装两台口径 1 400 mm 竖井双向贯流泵, 型号 1400ZWB-355, 叶轮直径 1 200 mm, 转速 350 r/min, 配有 355 kW 卧式电机, 电机转速 980 r/min, 由变速装置减速到 350 r/min, 带动水泵轴旋转。泵站设计参数如下:

灌溉工况, 单台设计流量 5.0 m³/s, 设计净扬程 1.30 m, 最低净扬程 0.30 m, 最高净扬程 1.70 m。排涝工况, 单台设计流量 4~5 m³/s, 设计净扬程 3.21 m, 最低净扬程 0 m, 最高净扬程 3.99 m。泵站装置水力损失在设计流量下设定 0.35 m^[1]。

1 泵站模型试验的内容

根据泵站规模、设计参数和运行工况的实际要求, 本试验内容如下:

(1) 性能特性试验对泵站装置模型进行指定的叶片角度的性能试验, 绘制 $H-Q$, $\eta-Q$, $P-Q$ 的关系曲线。如果该叶片角度不能满足泵站运行性能要求, 再选择其他叶片角度进行试验。

(2) 优化设计两种灯泡结构方案进行比较, 优选第一种进行模型装置试验, 如果试验不符合实际运行要求, 则选第二种方案结合第一种方案试验存

收稿日期: 2006-10-08

作者简介: 陈容新(1950-), 广东顺德人, 高级工程师, 主要从事泵水力模型的试验研究。

关醒凡(1937-), 辽宁阜新, 教授, 博导, 主要从事泵水力模型的试验研究。

在的问题修改后,再进行模型泵装置试验。

(3) 对泵站装置模型进行指定叶片角的汽蚀特性试验,在每个角度的 3 个流量(1.0,0.8,1.2 倍的最优工况流量)下进行试验,求得对应流量的临界汽蚀余量。计算实际泵站的安装高程,确定叶轮中心淹没深度。

(4) 将泵站装置模型的试验结果换算成原型泵站装置的性能,绘制综合特性曲线。其性能应满足实际泵站运行要求。

(5) 模型泵及装置运行平稳,无明显噪声、振动等异常现象。

2 泵站模型试验装置设计

2.1 模型泵的选定

根据泵站实际运行工况,按比转速基本接近的原则,试验选用的是江苏大学研制的双向轴流泵模型,编号为 JMT-10B-2.5。该模型泵的叶轮直径

$D = 300 \text{ mm}$,转速 1450 r/min ,叶片角度 0° ,比转速 n_s 为 1637 ,效率 η 为 75.33% 。进出口导叶体均为直导叶,整套装置由江苏大学流体机械工程技术研究中心制作。

2.2 模型流道设计

根据流体力学理论原理,设计多种竖井双流道方案,优选两种,一种为试验方案,另一种为备选方案^[2,3]。如图 1 所示为试验方案的模型流道平面图和各个断面图。

3 试验台测试设备系统和测试项目

3.1 模型泵装置测试系统^[4]

试验设备系统主要由汽蚀筒、稳压筒、进出水箱、进出水流道、模型泵、阀门、增压泵、流量计、真空泵、扭矩仪、水银差压计、电机、管路及其他控制系统组成。分模型泵段和模型泵站装置两个试验台位,如图 2 所示。

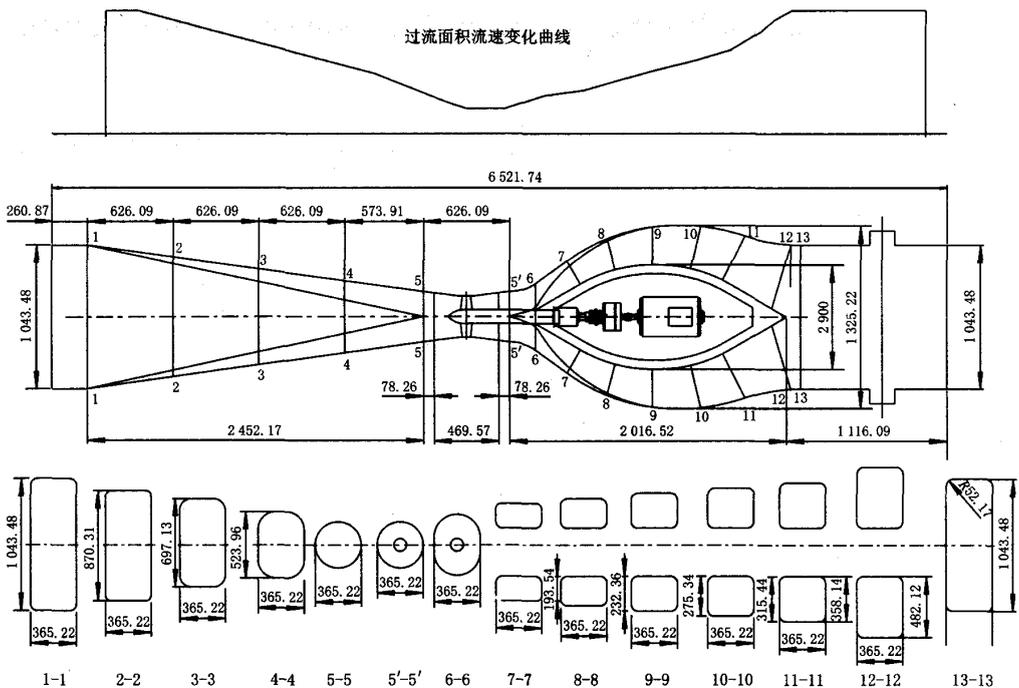


图 1 模型流道图

3.2 直接测试的项目、参数和方法

直接测试项目的测试方法和原理如图 2 所示。

(1) 装置扬程 H 的测量,测压点取在进水箱和出水箱的侧壁上,测压断面的流速近似为零,则水泵的装置扬程为

$$H = \left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right)$$

因为 $V_1 \approx V_2 \approx 0$,当使用差压传感器时, $Z_1 = Z_2$,则水泵的装置扬程为:

$$H = (p_1 - p_2) / \rho g$$

本装置选用压力传感器型号为:1151DP-5E 和 1151GP-6E,精度为 0.2 级。

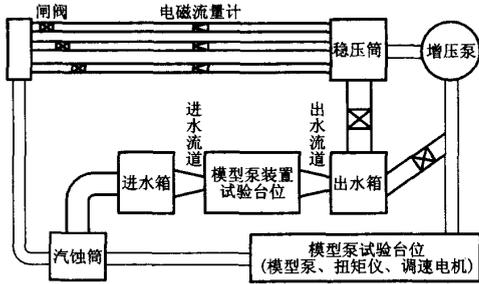


图 2 模型泵装置试验系统图

(2)装置流量 Q 的测量。在试验台的回水管路平直段上布置电磁流量计,采集一个时段的数据,并取其平均值作为该工况下的水泵流量。

本装置选用开封天恒仪表厂有限公司生产的 400 mm 口径电磁流量计,精度为 0.5 级。

(3)扭矩 M 与转速 n 的测量。扭矩与转速测试的测量选用的是扭矩转速传感器,型号为 ZJ500,精度为 0.2 级,由上海良标智能终端股份有限公司生产。

(4)噪声的测量。按照水泵噪声测试要求,在至泵体 1 m 处用 ND2 型精密声级计测量水泵的噪声。

(5)进出水流道的流态观察。为了观察进出水流道在各种方案及不同工况下的流态状况,分别在进水流道的起始端垂直水流方向设置了示流线栅,示流栅由分上下两根贯穿流道的栅杆组成,每根栅上悬挂 4 根红色丝线。在流道两侧的有机玻璃窗外,通过红色示流线能直观地观察试验中流道内的流态。

3.3 间接测量的项目参数

间接测量即为由直接测得的参数通过有关理论公式,经计算得到的其他参数,如水泵扬程、测压断面的总能量、水力损失、水阻力系数、电机输出功率、水泵功率、电机效率、装置效率等。由于计算公式比较简单,这些计算和数据处理由综合参数测量仪和计算机自动测试系统软件完成。

4 模型泵装置试验结果

4.1 模型泵装置正向特性试验结果

在水泵运行的情况下,测试了正向、反向的多组数据,限于篇幅,不一一列举,现只给出模型泵装置 0° 正向试验性能数据,见表 1。

表 1 模型泵装置 0° 正向试验性能数据

序号	流量 $Q/(L/s)$	扬程 H/m	效率 $\eta/\%$	功率 P/kW
1	390.34	0.88	51.40	6.55
2	383.29	1.12	55.29	7.61
3	378.44	1.25	57.67	8.04
4	372.62	1.45	59.85	8.85
5	364.63	1.69	62.12	9.72
6	351.00	2.10	62.79	11.50
7	341.09	2.35	63.02	12.46
8	329.79	2.66	62.39	13.78
9	322.55	2.88	62.34	14.60
10	315.16	3.06	61.61	15.34
11	310.42	3.16	61.05	15.75
12	304.86	3.44	60.70	16.93
13	296.96	3.53	60.18	17.07
14	287.02	3.76	58.96	17.94
15	279.70	3.91	57.82	18.54
16	269.55	4.09	56.15	19.24
17	264.83	4.22	55.58	19.71

4.2 原型泵站正向性能计算结果

根据原型泵装置与模型泵装置性能参数之间的换算公式,计算得出原型泵装置的性能参数见表 2。

表 2 原型泵装置的性能数据

序号	流量 $Q/(L/s)$	扬程 H/m	效率 $\eta/\%$	功率 P/kW
1	6.030	0.820	51.40	94.29
2	5.921	1.044	55.29	109.55
3	5.846	1.165	57.67	115.74
4	5.756	1.351	59.85	127.38
5	5.633	1.575	62.12	139.97
6	5.422	1.957	62.79	165.63
7	5.269	2.190	63.02	179.46
8	5.095	2.479	62.39	198.39
9	4.983	2.684	62.34	210.25
10	4.869	2.852	61.61	220.86
11	4.795	2.945	61.05	226.71
12	4.709	3.104	60.70	235.98
13	4.587	3.290	60.18	245.77
14	4.434	3.504	58.96	258.26
15	4.321	3.644	57.82	266.87
16	4.164	3.812	56.15	277.03
17	4.091	3.933	55.58	283.71

图 3 是模型泵装置正向试验性能曲线,图 4 是根据模型泵装置得出的数据换算出来的原型泵装置数据拟合的性能曲线。表 3 是模型泵装置汽蚀试验结果。

表 3 模型泵装置汽蚀试验结果

转向	流量 $Q/(m^3/s)$	汽蚀余量 $NPSH/m$	汽蚀比转速
	0.371	5.76	1 337
正向转	0.330	5.85	1 321
	0.308	6.27	1 147
反向转	0.309	7.60	987

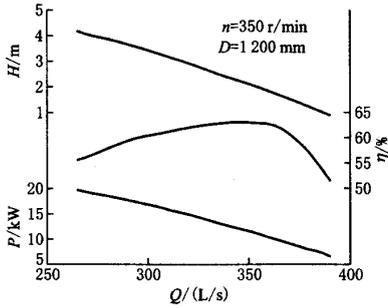


图 3 模型泵装置正向试验性能曲线

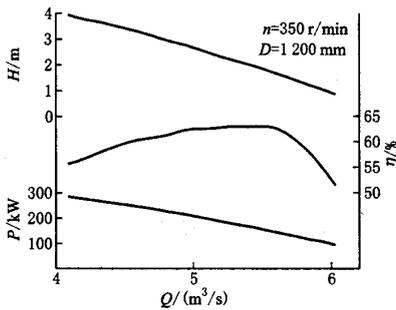


图 4 换算后的原型泵装置正向性能曲线

表 4 原型泵装置特征净扬程下的性能参数表

工 况	灌 溉		排 涝			
净扬程 H/m	1.30	0.30	1.70	3.21	3.99	4.37
流量 $Q/(m^3/s)$	5.76	6.33	5.41	4.62	3.99	3.31
效率(模型泵) $\eta/\%$	59.50	45.00	62.00	57.00	52.50	45.84
轴功率 P/kW	123.40	41.40	145.40	245.00	297.30	308.90
效率(修正 5.9%) $\eta/\%$	65.40	50.90	67.90	62.90	58.40	51.74
轴功率(修正) P/kW	112.30	36.50	132.80	230.20	267.30	273.80

4.6 流态观测结果

从出水流道的观察窗口观测流态,流态稳定,红色线波动不太大,尚未发现明显的漩流等现象。

5 装置试验结果分析

5.1 装置试验结果满足设计要求

按照模型泵装置试验结果换算的实型泵装置的性能参数分析,当实型泵叶片直径 $D=1200\text{ mm}$,转速 $n=350\text{ r/min}$ 时:

(1) 正向运转(灌溉),设计扬程 $H=1.3\text{ m}$ 时,对应的流量 $Q=5.76\text{ m}^3/\text{s}$,超过设计流量 $Q=5.0\text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2) 反向运转(排涝),设计扬程 $H=3.21\text{ m}$ 时,对应的流量 $Q=4.62\text{ m}^3/\text{s}$,满足设计流量 $Q=4.25$

4.3 汽蚀余量

原型泵装置汽蚀余量计算。按模型泵装置反向汽蚀余量 7.6 m ,计算原型泵装置的汽蚀余量,其计算结果如下:

当转速 $n=370\text{ r/min}$ 时,原型泵装置叶轮中心淹没深度: $NPSH_p=7.09\text{ m}$ (当转速 $n=350\text{ r/min}$ 时), $NPSH_p=7.92\text{ m}$ (当转速 $n=370\text{ r/min}$ 时)

4.4 原型泵淹没深度

$$h_g = [NPSH] - \frac{P_a}{\rho g} + h_c + \frac{P_v}{\rho g}$$

取 $[NPSH] = 1.4 NPSH$,水力损失取 0.2 m 。

当转速 $n=350\text{ r/min}$ 时,原型泵叶轮中心淹没深度:

$$h_{c1} = 1.4 \times 7.09 - 10.33 + 0.2 + 0.24 = 0.036\text{ m}$$

$$h_{c2} = 1.4 \times 7.92 - 10.33 + 0.2 + 0.24 = 1.2\text{ m}$$

即要求吸入液面应该在水泵叶轮中心线之上 0.036 m 或 1.2 m 。

4.5 原型泵装置对应特征净扬程下的性能参数

限于篇幅,现给出 $D=1200\text{ mm}$, $n=350\text{ r/min}$ 时特征性能参数,见表 4。

m^3/s 。

(3) 当反向运转,最高扬程 $H=4.37\text{ m}$ 时,对应最大功率(认为实际泵站效率等于模型泵装置效率)为 $P=308.9\text{ kW}$,建议电机功率选用 355 kW 。

(4) 当运行扬程 $H=4.39\text{ m}$ 时,进入稳定区。

5.2 模型泵装置最优点性能参数

正向: $H=2.35\text{ m}$, $Q=0.34\text{ m}^3/\text{s}$, $\eta=63.02\%$

反向: $H=3.23\text{ m}$, $Q=0.349\text{ m}^3/\text{s}$, $\eta=58.04\%$

5.3 模型泵装置泵正、反向运转的比较分析

试验结果表明,反向运行(前竖井两侧流道进水)与正向运转(后竖井两侧流道出水)相比较,扬程稍低点,效率降低约 3% 。

这一结果说明在流道设计时,要尽快减小竖井的宽度,同时将两流道的中分墩线尽量后移(适当

加大轴长度),使水流的速度变化梯度减小,流态平畅^[5]。

5.4 应用锥齿轮的分析

如果采用锥齿轮,则卧式电机可以改装成立式电机,这样在设计两侧流道时,可使竖井更窄、更短,流道更顺畅,可降低此段流道损失,提高装置效率。电机立装可抬高电机的安装高度,方便安装维修。

5.5 效率分析

装置试验表明,正向(灌溉)运行时,在设计净扬程1.6 m下,实泵效率为62.3%,经修正后的实泵效率达到67.9%。反向(排涝)运行时,在设计净扬程3.21 m下,实泵效率为57%,经修正后的实泵效率达到62.9%。灌溉和排涝多数在设计扬程下运行,故运行的泵装置效率会下降,流量会增大。

参考文献(References)

- [1] B·Φ·切巴耶夫斯基. 泵站设计与抽水装置试验[M]. 窦以松,译. 北京:水力电力出版社,1990:115-120.
- [2] 日本农业土木事业协会. 泵站工程技术手册[M]. 丘传忻,林中卉,等,译. 北京:中国农业出版社,1998:97-109.
- [3] 丘传忻,陈容新. 仙桃市杨林尾泵站钟型进水流道模型装置试验报告[R]. 1994:5-15.
- [4] 关醒凡,伍杰,朱泉荣. 南水北调东线已招标泵站水泵模型装置试验成果及分析[J]. 排灌机械,2006,24(1):1-6.
- [5] 丘传忻,陈容新. 洪湖市新滩口电排站进水流道模型装置试验报告[R]. 1997:6-9.

(责任编辑 贾国方)

“移动式智能高效射流自吸泵”通过中国机械工业联合会成果鉴定

2006年12月24日,中国机械工业联合会在镇江主持召开了由江苏大学流体机械工程技术研究中心、镇江远大泵业有限公司完成的“移动式智能高效射流自吸泵”项目成果鉴定会。该项目是在“十五”国家科技重大专项“射流式自吸喷灌泵的研制与产业化开发”所取得成果基础上的延伸开发和推广应用,目的是尽快把科技成果转化为生产力,创造更大的经济效益及社会效益,更好地服务于经济建设和社会发展。

鉴定委员会认为,该成果采用了射流式自吸喷灌泵设计理论与方法,开发了移动式智能高效射流自吸泵机组,应用CFD技术对自吸泵进口三维湍流场进行了数值模拟和结构优化,产品结构新颖,通用性、互换性好;采用了射流式自吸机构和回流孔自动堵塞阀,实用性强,缩短了自吸时间,提高泵效率3%~5%;开发了泵机组用太阳能智能控制装置,具有自动调节泵机组转速、智能报警和远程控制的功能。该产品经机械工业排灌机械产品质量检测中心(镇江)检测,符合有关标准。该产品已由镇江远大泵业有限公司生产,并经海南省海口钢铁股份有限公司等多家用户使用,运行稳定,可靠,使用维护方便,受到好评,具有广阔的推广应用前景。该项成果达到了国际先进水平。

(施卫东)