

南水北调东线已招标泵站 水泵模型装置试验成果及分析

关醒凡¹, 伍杰², 朱泉荣³

(1. 江苏大学, 江苏 镇江 212013; 2. 淮河水利委员会设计院, 安徽 蚌埠 233001; 3. 锡泵研究所, 江苏 无锡 214023)

摘要: 介绍了万年闸站、解台站、刘山站、台儿庄站等泵站已进行招标后的水泵模型装置试验成果。分析模型泵段和模型泵装置试验结果表明, 两者性能差别很大: 最优效率点的叶片角度向小角度方向移动了2~4度; 泵段效率高的模型水泵装置效率亦高, 水泵模型装置最高效率和泵段相比约下降8~10个百分点; 水泵模型装置最高效率点的流量和泵段相比减小约为15%~20%; 水泵模型装置最高效率点的扬程和泵段相比大致相等, 变化范围在±5%以内。这种差别到目前为止还没有被人们定性的掌握, 在这种情况下, 按水泵模型装置的试验成果进行水泵选型和按泵段性能进行水泵选型相比, 准确性可进一步提高。

关键词: 南水北调; 泵站; 水泵模型装置; 试验分析

中图分类号: TH312 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-6254(2006)01-0001-07

1 概述

南水北调东线一期工程规划新建泵站21座, 截止到2005年底, 宝应站、解台站、万年闸、刘山站、台儿庄站和淮安四站6个泵站已开工建设。其中宝应站已建成, 采用日立技术, 由锡泵和日立合作制造。水泵模型装置试验在日立公司进行, 装置效率81%, nD 值369。

万年闸站选用了水利部南水北调工程水泵模型天津同台测试成果(以下均简称: 同台测试成果)中的12号、26号、19号、20号水力模型, 先后在天津中水北方院试验台进行了水泵模型装置试验, 试验结果见表1。万年闸站最终选用同台测试成果中的20号水力模型, 实泵转速为125 r/min, 叶轮直径3150 mm、 nD 值394。

表1 万年闸站水泵模型装置选型试验结果

水力模型	流量 Q (L/s)	扬程 H (m)	效率 η (%)	转速 n (r/min)	D (mm)	叶片角度 ϕ
12号	293.17	5.714	73.79	1450	300	-2°
26号	312.77	6.158	70.08	1450	300	-2°
19号	307.87	6.041	72.93	1450	300	-2°
20号	302.84	6.238	77.67	1450	300	-4°

解台站、刘山站、台儿庄站分别选用了12号、6号、19号水力模型, 在河海大学、扬州大学试验台进行了装置试验。

2 模型泵装置试验结果

宝应站、万年闸站、解台站、刘山站、台儿庄站的模型泵装置试验结果可供分析参考。

(1) 宝应站 $D=300$ mm, $n=1450$ r/min, 水泵模型装置性能参数(导叶式混流泵)见表2。

表2 宝应站水泵模型装置选型试验结果

叶片安放角 ϕ	流量 Q (l/s)	扬程 H (m)	效率 η (%)	汽蚀比 转速 C	比转速 n_s
+2°	450	10.56	79.3	843	606
0°	421	10.56	81.1	911	586
-2°	382	10.56	81.4	945	558
-4°	348	10.56	82.0	1005	533
-6°	314	10.56	81.9	1066	506
-8°	374	10.56	80.7	1050	476

(2) 万年闸站水泵模型装置性能参数20号模型, 天津台 $D=300$ mm, $n=1450$ r/min, 见表3。

(3) 解台站水泵模型装置性能参数12号模型, 河海台 $D=300$ mm, $n=1450$ r/min, 见表4。

(4) 刘山站水泵模型装置性能参数6号模型,

作者简介: 关醒凡(1937-), 男, 辽宁阜新人, 教授, 博士生导师, 主要从事泵站及水泵装置的教学与研究。

河海台 $D=300\text{mm}$, $n=1450\text{r/min}$, 见表 5。

(5) 台儿庄站水泵模型装置性能参数 19 号模型, 扬大台 $D=300\text{mm}$, $n=1450\text{r/min}$, 见表 6。

表 3 万年闸水泵模型装置选型试验结果

叶片安放角 ϕ	流量 Q (l/s)	扬程 H (m)	效率 η (%)	汽蚀比 转速 C	比转速 n_s
+2°	333.90	7.39	76.18	870	682
0°	324.90	7.01	76.33	960	700
-2°	313.28	6.84	76.75	1071	701
-4°	302.84	6.24	77.67	1275	726
-6°	284.81	6.18	77.46	1408	721

表 4 解台站水泵模型装置选型试验结果

叶片安放角 ϕ	流量 Q (l/s)	扬程 H (m)	效率 η (%)	汽蚀比 转速 C	比转速 n_s
+6°	382.44	6.115	71.72	946	842
+4°	363.52	5.819	73.22	978	851
+2°	349.23	5.615	73.27	985	857
0°	321.33	5.710	74.32	962	812
-2°	312.84	5.037	72.90	1000	893
-4°	292.26	5.048	72.32	982	850

表 5 刘山站水泵模型装置选型试验结果

叶片安放角 ϕ	流量 Q (l/s)	扬程 H (m)	效率 η (%)	汽蚀比 转速 C	比转速 n_s
+4°	415.5	5.018	74.71	1003	1018
+2°	392.5	5.253	75.54	1030	956
0°	355.3	5.284	76.13	998	905
-2°	313.0	5.253	75.64	977	753
-4°	296.3	5.209	74.57	984	835

表 6 台儿庄站水泵模型装置选型试验结果

叶片安放角 ϕ	流量 Q (l/s)	扬程 H (m)	效率 η (%)	汽蚀比 转速 C	比转速 n_s
+4°	371.92	6.225	76.43	1100	819
+2°	343.79	6.481	76.60	1080	764
0°	338.77	5.823	76.09	1249	822
-2°	312.16	5.781	76.20	1277	793
-4°	291.36	5.601	76.07	1158	785

3 模型泵装置综合特性曲线

宝应站、万年闸站、解台站、刘山站、台儿庄站模型泵装置综合特性曲线, 见图 1~5。

4 试验成果分析

从以上试验成果可以看出, 泵段带上进出

万方数据

水流道后的特性和泵段本身的特性相比发生明显的变化, 也就是说, 水泵装置性能和泵段性能差别很大, 水泵装置性能曲线向左方偏移, 最高效率点所在的角度及各参数均发生变化, 见图 6~8。

由图可见, 装置曲线(实线)和泵段曲线(虚线)相比向左方的移动距离较大。泵段零度最高效率点到同角度(同流量)装置曲线点的扬程下降值: 20 号模型为 1.77 m、19 号模型为 2.29 m、6 号模型为 1.81 m。对同一条曲线, 如 19 号模型的零度线, 设计点的 K 值为 16.37 ($h = KQ^2$), 向大流量方向有少量增加, 如流量为 $0.402\text{m}^3/\text{s}$ 时为 17.7; 向小量方向减小较多, 如在流量为 $0.325\text{m}^3/\text{s}$ 时为 11.93。因为曲线上各点的阻力系数 K 值各不相同, 目前还没有找到什么规律, 所以很难由泵段性能曲线预测出装置性能曲线。因此进行水泵装置试验是必要的, 待水泵模型装置试验资料积累多了, 同类型泵站直接引用已有的水泵模型装置试验成果也是可行的。

模型泵段的性能, 对某一水力模型而言是唯一的, 而水泵模型装置因流道的型式和尺寸的不同而各不相同。但是按流道的型式进行分类, 再找出各类水泵装置的泵段特性和泵装置特性之间的关系, 对指导水泵选型具有重要参考价值。现有万年闸站、解台站、刘山站、台儿庄站四个泵站比较完整的装置试验数据。这四个泵站的水泵装置都是肘形进水和直管式出水流道, 大同小异。下面对泵段和水泵装置特性间的关系加以比较和分析。

4.1 最优工况

水泵模型装置的最优工况, 即最高效率点和泵段相比向小角度偏移 2~4 度, 见表 7。

表 7

水力模型	6 号	12 号	19 号	20 号
泵段	+4°	+4°	+4°	+4°
装置	0°	0°	+2°	-4°

4.2 效率

泵段效率高的模型水泵装置效率亦高, 水泵模型装置最高效率和泵段相比约下降 8~10 百分点, 扬程越低下降越多, 见表 8。

4.3 最高效率点的流量

水泵模型装置最高效率点的流量和泵段相比减小约为 15%~20%, 见表 9。

4.4 最高效率点的扬程

水泵模型装置最高效率点的扬程和泵段相比大致相等,变化范围在 $\pm 5\%$ 以内,见表10。

表8

水力模型	6号	12号	19号	20号
泵段	86.35	83.87	86.16	86.05
装置	76.13	74.32	76.60	77.76
下降值	10.22	9.55	9.56	8.29

表9

水力模型	6号	12号	19号	20号
泵段	444.22	384.88	414.78	392.64
装置	355.20	321.33	343.71	302.84
下降值(%)	20	16.5	17.13	22.87

表10

水力模型	6号	12号	19号	20号
泵段	5.218	6.016	6.297	7.13
装置	5.284	5.710	6.481	6.84
下降值(%)	+1.3	-5.1	+2.9	-4.1

4.5 汽蚀比转速

表11为相同叶片角度下泵段和水泵模型装置汽蚀比转速。

水泵模型装置的汽蚀比转速,因增加了进口流道的水力损失,按理论分析应低于泵段的值,并且和吸入流道的设计制造质量和试验的

方法等有关。泵段的汽蚀比转速,如果泵进口存在预旋,测得的值可能比实际值低。表11中的12号水力模型汽蚀比转速下降如此之大,而19号水力模型汽蚀比转速反而有所提高的现象,目前还难以从理论上解释清楚。

表11

水力模型	6号	12号	19号	20号
泵段	1002	1426	1019	1398
装置	998	962	1070	1275
差值	-4	-464	+51	-123
叶片角度	0°	0°	+2°	-4°

5 试验成果在水泵选型中的应用

模型泵段的试验结果是水泵选型的基础,水利部南水北调工程水泵模型天津同台测试,组织严密、监督公正、试验准确,为南水北调工程水泵选型提供了可靠的数据。但是泵段的性能和带上进出水流道的水泵装置的性能有很大的差别。这种差别到目前为止还没有被人们定性的掌握,在这种情况下,按水泵模型装置的试验成果进行水泵选型与按泵段性能进行水泵选型相比,准确性可进一步提高。淮安四站还没有确定用哪个水力模型进行装置试验,我们不妨按现有的水泵模型装置试验成果进行预选。

淮安四站单泵设计流量33.4 m³/min,设计扬程4.18 m,平均扬程4.05 m,最高扬程6.25 m。

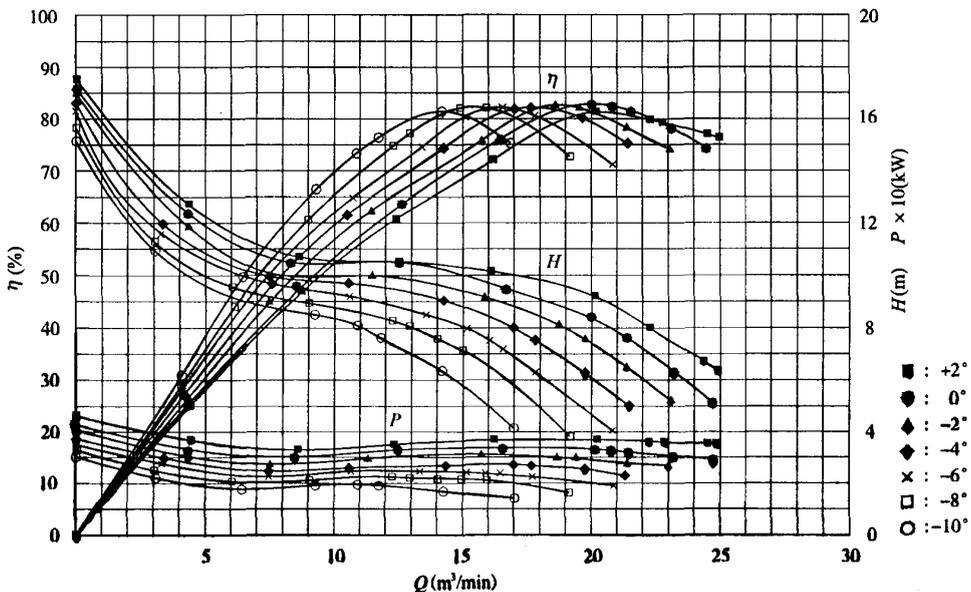


图1 宝应站模型泵装置综合特性曲线

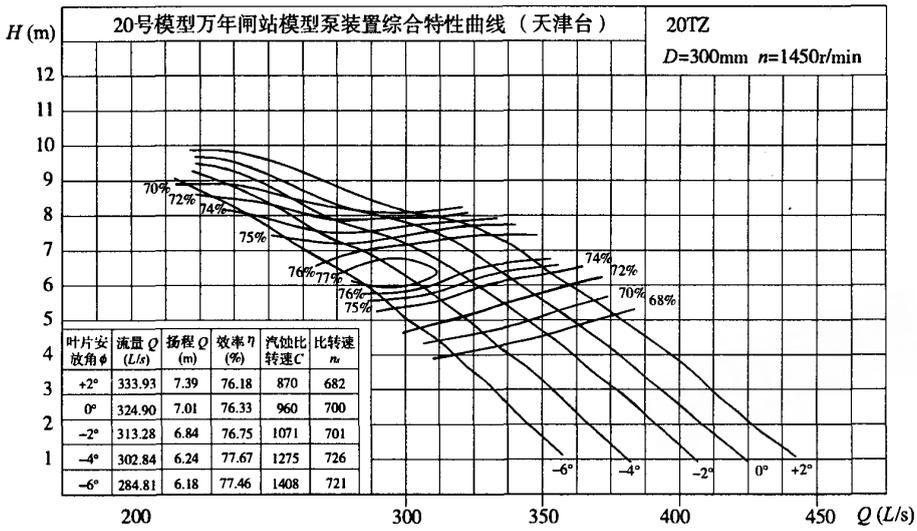


图 2

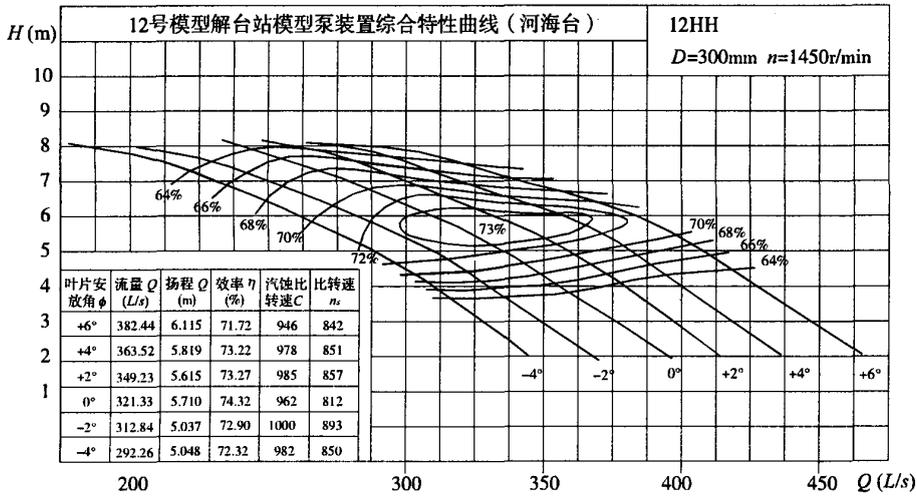


图 3

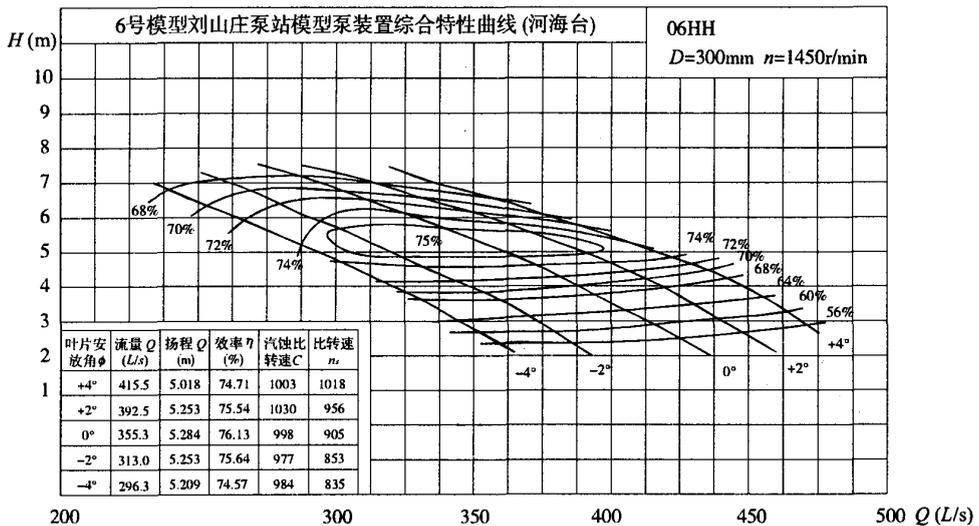


图 4

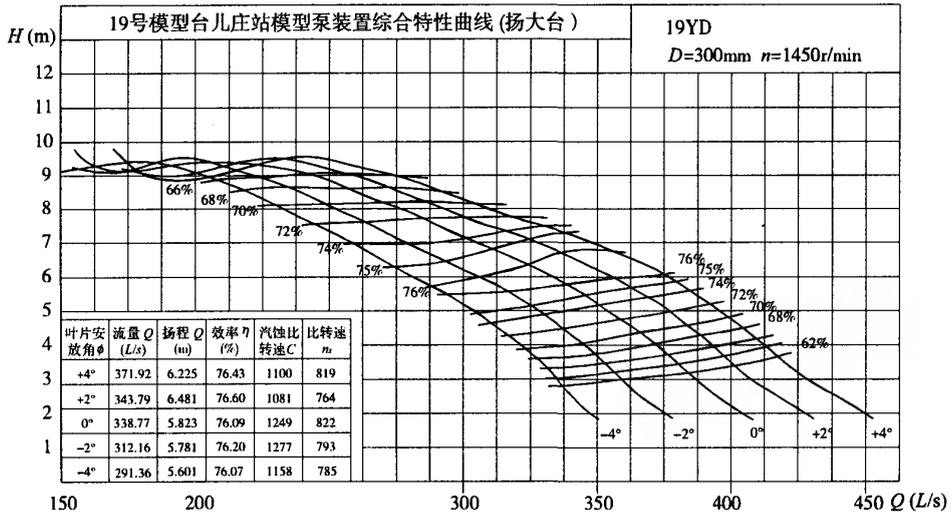


图 5

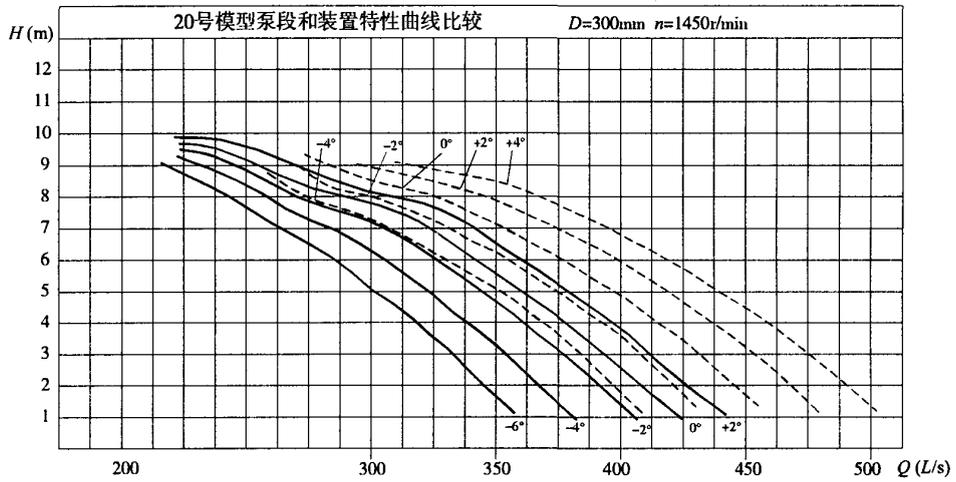


图 6

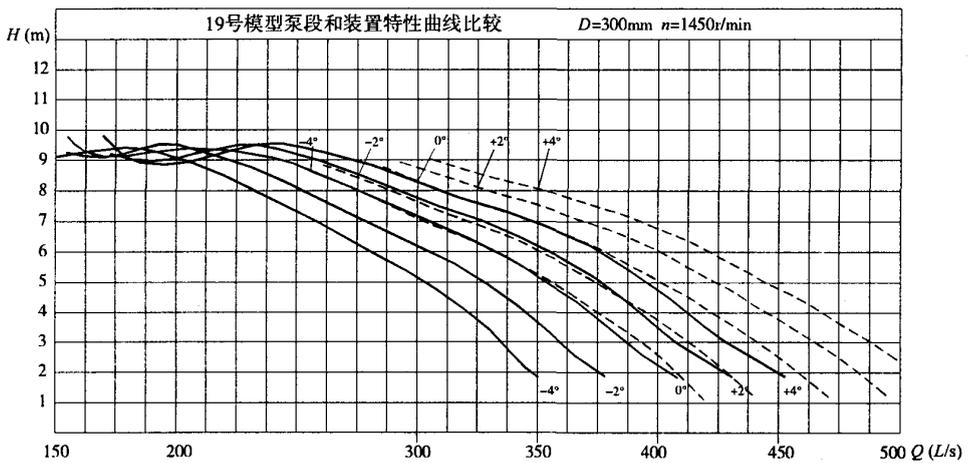


图 7

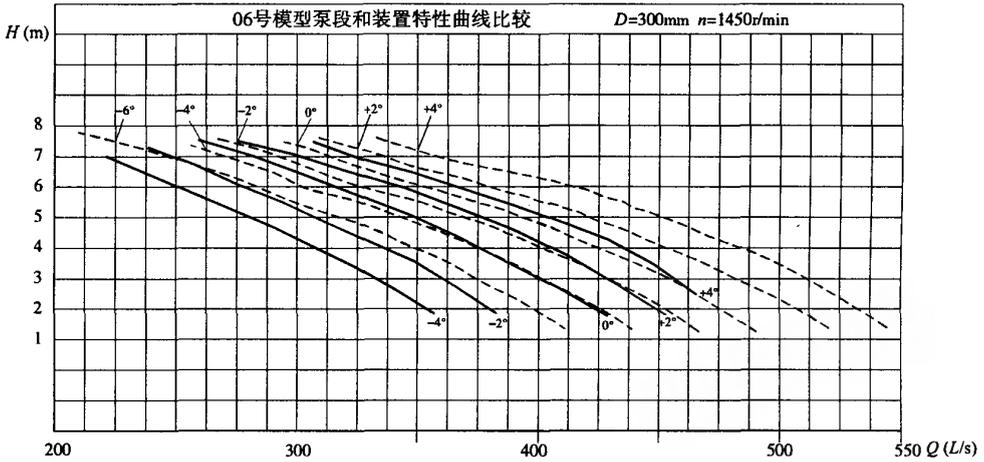


图 8

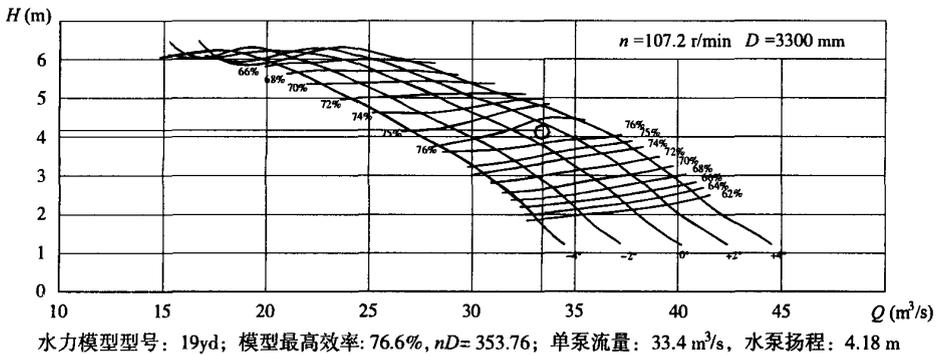


图 9 淮安四站 泵站综合特性曲线(19号模型 台儿庄站装置)

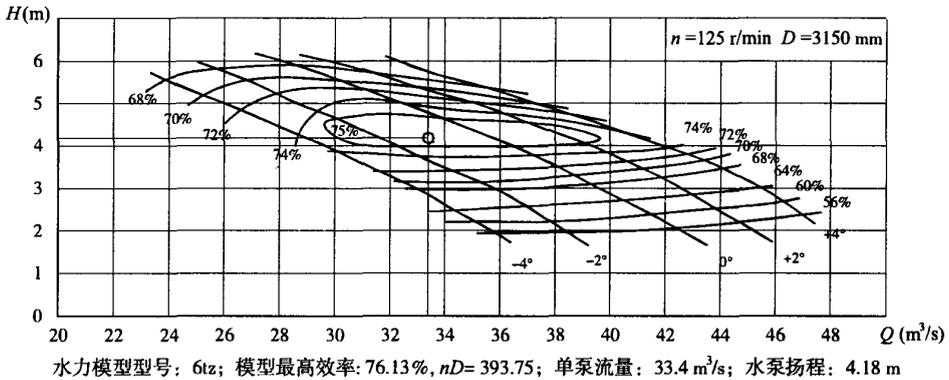


图 10 淮安四站泵站综合特性曲线(6号模型 刘山站装置)

方案一：选用6号水力模型在刘山站水泵模型装置的试验结果，选取： $n=125\text{ r/min}$ ， $D=3150\text{ mm}$ ， $nD=396$ 。通过相似换算，可以预测出淮安四站的装置性能，见图9。装置效率可达75%以上，在小角度小流量侧运行时，可满足最高扬程6.25 m的要求。

方案二：选用19号水力模型在台儿庄站水泵模型装置的试验结果，选取： $n=107.2\text{ r/min}$ ， $D=3300\text{ mm}$ ， $nD=354$ 。通过相似换算，

可以预测出淮安四站的装置性能，见图10。装置效率可达76%以上，在同一角度小流量侧运行时，可满足最高扬程6.25 m的要求。

综上所述，只要水泵模型装置的效率高，通过采用降速和增大叶轮直径的方法，一般均可实现原型泵在高效范围内运行。其中关键的问题是控制 nD 值，国外排水泵站泵的 nD 值，一般在350~400的范围内，在泵站设计中， nD 值的确定，建议也不要超出这一范围。

6 结语

仅用四个水泵模型装置试验结果,难以总结分析出一般性的规律,随着试验资料的增多和理论分析的深入,一定能总结出泵段特性和水泵装置特性之间关系的规律,为泵站设计选型指明方向。

参考文献:

- [1] 关醒凡. 系列轴流泵模型试验研究成果报告[J]. 排灌机械, 2005(4).
- [2] 关醒凡,等. 南水北调工程大型轴流泵选型中值得注意的几个问题[J]. 水泵技术, 2002(2).
- [3] 关醒凡. 能为南水北调工程做点力所能及的工作是我有

生最大的愿望[J]. 通用机械, 2004(1).

- [4] 关醒凡,等. 大型轴流泵汽蚀与选型的关系[J]. 通用机械, 2002(11).
- [5] 何成连. 水利部南水北调工程水泵模型同台测试报告[J]. 天津中水北方设计院, 2005年3月.
- [6] 何成连. 万年闸站水泵模型装置试验报告[J]. 天津中水北方设计院, 2005年9月.
- [7] 郑源. 刘山站水泵模型装置试验报告[J]. 河海大学, 2005年11月.
- [8] 陆林广. 台儿庄站水泵模型装置试验报告[J]. 扬州大学, 2005年11月.

感谢中水北方设计院何成连高级工程师、河海大学郑源教授、扬州大学陆林广教授为本文提供了原始试验数据。

Achievements and Analysis of Pump Model Unit Test for the Pump Station in the East Line of the Project of South-to-North Water Transfers

GUAN Xing-fan¹, WU Jie², ZHU Quan-rong³

(1. Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013; 2. The Design Academy of Huaihe River Water Conservancy Commission, Bengbu, Anhui 233001; 3. Wuxi Pump Manufacturing Company Limited, Wuxi, Jiangsu 214023, China)

Abstract: The achievements of unit test of pump models in pump stations of Wannian Xia, Jietai, Liushan, Taier Zhuang et al. were presented. The analysis results of them and their tests on single pumps show that, there are great difference between them, the blade angle on the best efficient point is larger by 2%~4%, and the efficiency of single pump is higher than that of pump unit by 8%~10%, and the water head of pump unit with the best efficiency approximately equal to those of single pumps, and with the scope of $\pm 5\%$. These difference have not been grasped qualitatively, in this case, choosing pump according to the test results of pump units is better than that of single pump, which can improve the reliability.

Key word: South-to-North water transfers; Pump station; Pump model unit; Test analysis

“节能节材深井离心泵的研究与开发” 通过江苏省科技成果鉴定

受江苏省科学技术厅委托,江苏省教育厅于2005年12月24日在江苏大学主持召开了江苏省科技发展计划“流体机械关键技术与产业化”所属的“节能节材深井离心泵的研究与开发”科技成果鉴定会。鉴定委员会一致认为该项目研究成果达到同类产品国际先进水平,同意通过鉴定。

该研究成果首次提出了深井离心泵极大扬程设计法和导叶进口边扭曲的反导叶导流壳三维曲面设计法的设计理论与方法,可用于井用潜水

泵和长轴深井泵更新换代产品的开发,拥有自主知识产权,具有创新性。

采用上述方法设计的深井离心泵,功率曲线平坦、高效范围宽、效率高于国家标准,泵的单级扬程比国内外同类产品提高30~50%;泵体总长和重量分别减少1/3左右,生产成本降低1/3左右,具有明显的节能节材效果和广阔的推广应用前景。

(陆伟刚 供稿)