

遥观南枢纽泵站工程水泵机组选型

周伟, 丁军

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 扬州 225127)

摘要: 遥观南枢纽泵站工程是新沟河延伸拓浚工程的干河枢纽工程之一, 其主要任务是抽排武进港地区的水入京杭大运河, 兼顾排涝。该泵站设计净扬程仅为 0.7 m, 属超低扬程泵站。根据已建泵站工程模型泵装置试验成果, 从水力性能、工程投资、施工和运行管理等方面进行综合比较, 选用了已在溧阳新村枢纽成功应用的贯流泵水力模型。考虑到该泵站的最高扬程接近设计扬程的 3 倍, 还对电机定速和调速方案进行了投资及运行成本比较, 发现调速方案机泵投资较大, 但运行成本的降低并不显著, 因此最终采用定速方案。

关键词: 泵站; 特低扬程; 水泵机组选型; 遥观南枢纽

中图分类号: TV 675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2014)04-0107-04

Research on the Pump Set Selection of Yaoguannan Key Pumping Station Project

ZHOU Wei, DING Jun

(Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225127, China)

Abstract: Yaoguannan pumping station is one of the key projects in the Xingouhe extension and widening project, and its main task is to pump water from the Wujing Port area to the Beijing Hangzhou Grand Canal and to storm drainage as well. The design pump head of the pumping station is extra low, which is only 0.7 m. Based on the test results of model pump system from the constructed pump station projects and the comparisons from the perspectives of hydraulic performance, engineering investment, construction, and operation management, the tubular pump model that has been successfully adopted in the Liyangxincun pumping station was selected for the Yaoguannan pumping station. Due to that the maximum pump head is about 3 times of the design head, the investment and operation costs for the Yaoguannan pumping station were analyzed between two design schemes of fixed and adjustable motor speeds. The investment for the pump set was much larger but the effect in lowering operation cost was not obvious for the scheme of adjustable motor speed, thus the fixed speed scheme was selected finally.

Key words: pumping station; extra low pump head; pump set selection; Yaoguannan key project

作为泵站工程设计中的重要问题, 水泵选型时应该满足一定设计标准内供排水要求; 在运行中效率高, 空化性能好等要求^[1]。水泵选型的合理性直接关系到泵站工程的投资、建成后的运行和维护成本^[2-3]。

遥观南枢纽工程是新沟河延伸拓浚工程的干河枢纽工程之一, 其中泵站工程的主要任务是排武进港地区的水入运河, 兼顾排涝。泵站工程年运行小时数在 3 000 h 左右, 设计流量为 60 m³/s。遥观南枢纽泵站排水入运河时, 设计扬程仅为 0.7 m, 属于特低扬程泵站, 但最大扬程达到 1.97 m, 接近设计扬程的 3 倍, 给水泵机组选型带来了极大的困难^[4-6]。本文根据遥观南枢纽泵站工程的扬程特点, 通过对竖井贯流泵、潜水贯流泵和轴伸贯流泵三种不同的贯流泵装置方案进

行技术经济比较, 并对双速电机方案进行了分析与讨论, 以此开展水泵机组选型研究。

1 水泵形式的选择

遥观南泵站属于特低扬程泵站, 立式泵很难在如此低的设计扬程下获得较高的效率并且其电机功率大、运行费用高, 因此采用装置效率相对较高且开挖深度小、结构简单、便于管理的卧式机组装置型式^[7]。

竖井贯流式机组是将电动机和齿轮箱布置在流线型的竖井中, 与安装在流道中水泵相联接, 竖井的尺寸根据电动机和齿轮箱的结构尺寸确定, 机组结构简单, 密封止水要求不高, 维护方便; 潜水贯流式机组的水泵转轮、后导叶、齿轮箱、电机连为一体直接布置在流道中, 整体吊装, 安装方便,

收稿日期: 2014-01-09 修回日期: 2014-01-24 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

基金项目: “十一五” 国家科技支撑项目(2006BA B04A 03); 江苏省水利科技项目(2010062)

作者简介: 周伟(1970-), 女, 江苏靖江人, 高级工程师, 主要从事泵站工程设计与研究。E-mail: 103094388@qq.com

但设备可靠性要求高、密封止水要求高；轴伸贯流式机组包括平面轴伸贯流式和立面轴伸贯流式两种型式，分别采用平面“S”型流道和立面“S”型流道，轴伸贯流式机组装置的进出水流道都有弯头，不同程度地增加了流道的水力损失，影响装置的水力性能^[8]9]。因此，从机组布置、工程造价、装置效率、安装检修等方面综合考虑，竖井贯流式机组比较适合本工程。

2 水力模型的选择

近年来，在苏南地区不少城市防洪项目中的泵站工程均采用了竖井贯流泵型式，部分泵站还进行了水泵装置模型试验，见表 1。对于类似的大型泵站工程建设，可直接采用已有模型泵装置性能曲线进行水力性能的分析与比较，并借助水泵相似律，计算水泵叶轮直径和转速，确定对应于装置特征扬程的流量和效率，开展水泵选型，而不再完全依赖泵段模

型性能曲线。

表 1 贯流泵应用典型案例

Table 1 Typical application cases of tubular pumps

案例	已建贯流泵站名称	设计净扬程/m	最大净扬程/m	单机设计流量/(m ³ ·s ⁻¹)	模型试验地点
1	无锡梅梁湖泵站	1.15	1.82	10.00	河海大学
2	张家港枢纽泵站	1.47	2.11	17.24	河海大学
3	溧阳新村枢纽泵站	1.24	2.70	15.00	扬州大学

图 1 为表 1 所列 3 种已建泵站案例的模型泵装置性能曲线。由于案例 1 始建于 2003 年，相对较早，在贯流泵站设计方面可参考的经验较少，模型泵装置最高效率仅为 66%，而案例 2 和案例 3 对应的模型泵装置最高效率较高，分别达 78%、79%。所以只选择最高效率相对较高的案例 2 和案例 3，进行对比分析。

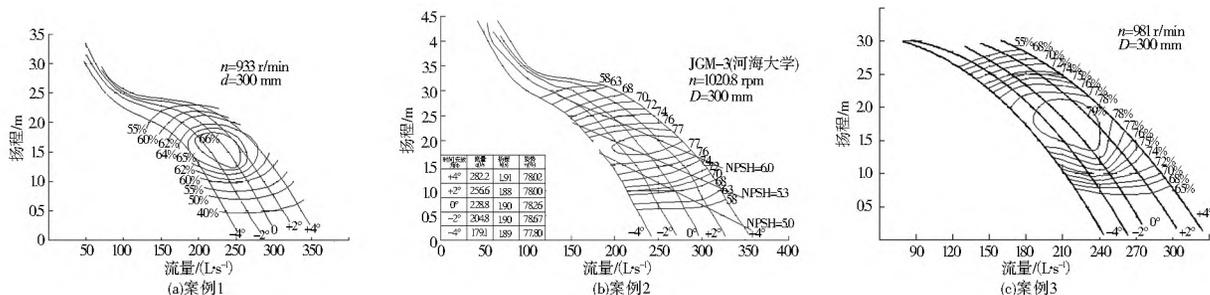


图 1 三种案例对应的模型泵装置性能曲线

Fig. 1 Performance curves of model pump system corresponding to 3 cases ((a) Case 1; (b) Case 2; (c) Case 3)

3 机组台数的选择

根据遥观南枢纽泵站工程性质、运行水位和主要技术要求，进行两个方案的比较。方案一：4 台机组，单机流量 15 m³/s；方案二：6 台机组，单机流量 10 m³/s。2 种机组台数方案，对应 2 套模型泵装置性能，因此有 4 种水泵选型结果供选择。

3.1 方案一的机组选型比较

根据遥观南枢纽泵站工程运行水位情况，选用案例 2 张家港枢纽泵站和案例 3 溧阳新村枢纽泵站竖井贯流泵模型装置性能曲线进行比较。按照案例 2 泵站模型装置性能曲线换算，选用叶轮直径 $D = 2.50$ m，转速 $n = 100$ r/min，遥观南枢纽泵站真机装置性能曲线见图 2(a)；按照案例 3 泵站模型装置性能曲线换算，选用叶轮直径 $D = 2.52$ m，转速 $n = 100$ r/min，遥观南枢纽泵站真机装置性能曲线见图 2(b)。不同工况下的遥观南枢纽泵站装置性能对比见表 2。可以看出，采用方案一时，在所有特征扬程下，选择案例 3 泵站水力模型可获得较高的装置效率。

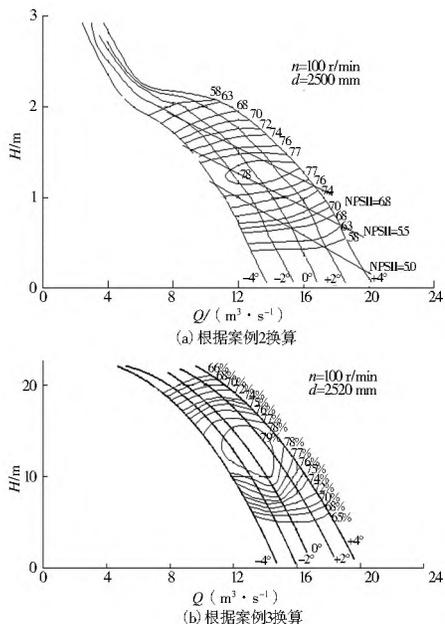


图 2 遥观南枢纽泵站真机装置性能曲线(方案一)

Fig. 2 Performance curves of prototype pump system of Yaoguannan pumping station (Scheme 1)

表 2 遥观南枢纽泵站真机性能参数对比(方案一)

Table 2 Comparison of prototype pump system parameters of Yaoguannan pumping station (Scheme 1)

泵站特性	扬程/m	案例 2 泵站水力模型 ($D = 2.5$ m, $n = 100$ r/min)			案例 3 泵站水力模型 ($D = 2.52$ m, $n = 100$ r/min)		
		叶片角(°)	流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	效率 (%)	叶片角(°)	流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	效率 (%)
排水	0.70	0	15.14	69.3	0	15.12	73.0
入运河	1.97	0	8.87	62.5	0	9.19	68.5
排涝	1.85	0	9.72	68.0	0	10.02	73.3

3.2 方案二的机组选型比较

根据遥观南枢纽泵站工程运行水位情况，选用案例 2 张家港枢纽泵站和案例 3 溧阳新村枢纽泵站竖井贯流泵模型装置性能曲线进行比较。按照案例 2 泵站模型装置性能曲线换算，选用叶轮直径 $D = 2.05$ m，转速 $n = 122$ r/min，遥观南枢纽泵站真机装置性能曲线见图 3(a)；按照案例 3 溧阳新村枢

组泵站模型装置性能曲线换算,选用叶轮直径 $D=2.05\text{ m}$, 转速 $n=124\text{ r/min}$, 遥观南枢纽泵站真机装置性能曲线见图 3(b)。不同工况下的遥观南枢纽泵站装置性能对比见表 3。可以看出,采用方案二时,在所有特征扬程下,选择案例 3 泵站水力模型同样可获得较高的装置效率。

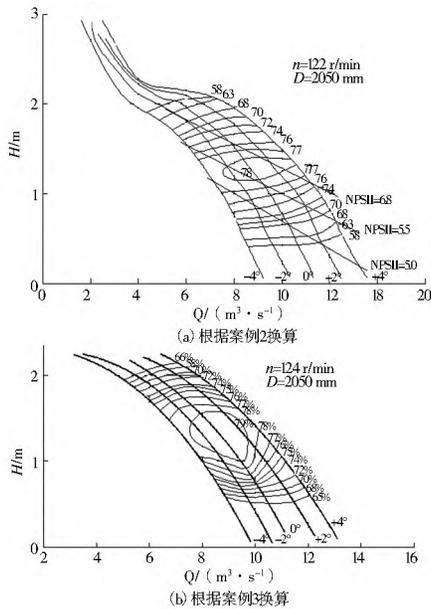


图 3 遥观南枢纽泵站真机装置性能曲线(方案二)

Fig. 3 Performance curves of prototype pump system of Yaoguannan pumping station (Scheme 2)

表 3 两种水力模型的真机性能参数对比(方案二)

Table 3 Comparison of prototype pump system parameters between two hydraulic models of (Scheme 2)

泵站特性	扬程 /m	案例 2 泵站水力模型 ($D=2.05\text{ m}, n=122\text{ r/min}$)			案例 3 泵站水力模型 ($D=2.05\text{ m}, n=124\text{ r/min}$)		
		叶片角($^\circ$)	流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	效率 (%)	叶片角($^\circ$)	流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	效率 (%)
排水入运河	0.70	0	10.19	69.4	0	10.12	72.4
	1.97	0	5.97	62.5	0	6.3	70.0
排涝	1.85	0	6.54	68.0	0	6.83	74.4

3.3 两种水泵选型方案工程造价比较

表 4 给出了两种选型方案下,遥观南枢纽泵站建设中可比部分的技术参数、工程量和造价。前已述及,两种机组选型方案在特征扬程下,选择案例 3 泵站水力模型可获得较高的装置效率。但是表 4 显示,方案一比方案二的工程投资节省 180 万元。因此无论从经济性角度,还是从管理(机组台数少更便于管理)角度出发,遥观南枢纽泵站最终采用的是:方案一的四台机组方案和案例 3 的泵站水力模型。

4 定速与调速运行方案的比较

遥观南枢纽泵站的最高扬程接近设计扬程的 3 倍。案例 3 对应的模型泵装置最高效率达到 79%,但遥观南枢纽泵站在设计扬程下的效率仅为 73.0%,若水泵长期偏离高效区运行,不利于泵站经济运行和工程效益的发挥。如果要满足设计扬程工况时水泵运行在高效区,最大扬程工况时会落入水泵性能曲线的“马鞍区”,这时水泵运行极不稳定,危及水泵机

表 4 两种选型方案遥观南枢纽泵站工程造价比较

Table 4 Comparison of construction costs between two design schemes of Yaoguannan pumping station

序号	项目	方案一(4台)	方案二(6台)
1	主设备总价	852 万元	855 万元
2	泵房土建工程量	土方工程: 16 256 m^3 砼及钢筋砼: 5 240 m^3	土方工程: 14 861 m^3 砼及钢筋砼: 6 502 m^3
3	泵房土建工程造价	674 万元	832 万元
4	金属结构工程量	闸门、拦污栅及埋件 220 t, 清污机 8 台套, 液压启闭机 8 台套	闸门、拦污栅及埋件 235 t, 清污机 8 台套, 液压启闭机 12 台套
5	金属结构工程造价	856 万元	875 万元
6	可比部分工程造价	2 382 万元	2 562 万元

注:相同部分的参数及造价未列入。

组的安全运行。若兼顾设计扬程下高效与满足最大扬程下安全运行,必须进行水泵工况调节^[10-11]。

按照溧阳新村枢纽泵站竖井贯流泵装置模型试验成果,进行遥观南枢纽泵站原型装置性能曲线换算,叶轮直径为 2.70 m,转速为 85 r/min,在排水工况设计扬程 0.7 m 下,满足泵站设计流量 15 m^3/s 要求,水泵效率达 77.2%,但泵站最大扬程已超过水泵正常运行范围,水泵无法工作。因此,在最大扬程工况下水泵需增速运行。在保持水泵叶轮直径不变的情况下,将水泵转速由 85 r/min 提高到 106 r/min,满足了最大扬程工况下水泵安全稳定运行的要求。

表 5 定速与调速方案主要设计参数与投资比较

Table 5 Comparison of main design parameters and investment between schemes of fixed and adjustable speeds

项目	定速方案	调速方案(双速电机)
叶轮直径/mm	2 520	2 700
水泵转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	100	85~106
电机功率/kW	400	450
电机转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	742	742, 595
齿轮箱速比	7.42	7.0
4 台套机电投资/万元	852	988
年运行 3000 h 耗电量/($\text{万 kW} \cdot \text{h}$)	170.4	163.2
年运行电费/万元	85.2	81.6

表 5 给出了定速与调速方案主要设计参数与投资比较。从表 5 看出,双速电机方案最大的优点是兼顾了实现设计工况高效运行与最大扬程下安全运行的要求,但调速方案机电设备投资增加了 136 万元,尚不包括电机尺寸增大引起的土建投资变化,且年运行 3 000 h 耗电量相差 7.2 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,假定电费按 0.5 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$) 计算,调速方案年节省电费 3.6 万元/年,优势并不突出,因此最终仍选择了定速方案。

5 结论

(1) 遥观南枢纽泵站设计扬程仅为 0.7 m,属特低扬程泵站,根据多方面的比较和分析,选择了竖井贯流泵机组,具有结构简单、密封止水要求低、运行维护方便的优点。

(2) 通过技术经济比较, 遥观南枢纽泵站采用了溧阳新村枢纽泵站所用的水力模型, 可获得较高的装置效率; 选择了4台叶轮直径2.52m、转速100 r/min的竖井贯流泵方案, 工程投资较为节省。

(3) 调速运行方案的机电设备投资较大, 降低运行费用的优势并不明显, 所以遥观南枢纽泵站最终采用定速方案。

参考文献(References):

- [1] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009. (LIU Chao. Pumps and Pumping Stations[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 姚林碧, 张仁田, 朱红耕, 等. 大型泵站选型合理性评价体系研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(3): 150-154. (YAO Lin bi, ZHANG Ren tian, ZHU Hong-geng, et al. Study on the Reasonability Evaluation System of Pump Type Selection for Large scale Low Head Pumping Stations [J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(3): 150-154. (in Chinese))
- [3] 张仁田. 南水北调工程中大型泵站泵型选择的若干问题[J]. 水力发电学报, 2003, 22(6): 119-127. (ZHANG Ren tian. Key Issues In The Selection Of Pumps And Their Systems for the Project of Water Transferring from South To North in China [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2003, 22(6): 119-127. (in Chinese))
- [4] 段正忠, 李援农. 灌溉泵站设计参数的确定及水泵选型[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(5): 78-80. (DU AN Zheng-zhong, LI Yuan-nong. Determination of Design Parameters and Pump Selection for Irrigation Pumping Station [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(5): 78-80. (in Chinese))
- [5] 徐磊. 大型特低扬程泵装置水力性能优化与综合比较研究[D]. 扬州大学, 2012. (XU Lei. Study on Hydraulic Performance Optimization and Comprehensive Comparison for Large Especial Low Head Pump System [D]. Yangzhou University, 2012. (in Chinese))
- [6] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (GUO Ya-jun. Comprehensive Evaluation Theory, Method and Application [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [7] 朱红耕, 张仁田, 冯旭松, 等. 不同型式贯流泵装置结构特点与水力特性分析[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(5): 58-60, 85. (ZHU Hong-geng, ZHANG Ren tian, FENG Xu-song, et al. Structural Features and Hydraulic Performances Analysis of Various Tubular Pumping Systems [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(5): 58-60, 85. (in Chinese))
- [8] 徐辉. 贯流式泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (XU Hui. Tubular Pumping Stations [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))
- [9] 成立, 刘超. 低扬程泵装置流动特性及水力性能研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(4): 85-88. (CHENG Li, LIU Chao. Advances in research on flow characteristics and hydraulic performances of low lift head pumping station [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(4): 85-88. (in Chinese))
- [10] 张前进, 周伟, 冯杰, 等. 南水北调东线工程刘老涧二站低扬程水泵机组选型设计[J]. 水泵技术, 2013(1): 34-39. (ZHANG Qian-jing, ZHOU Wei, FENG Jie, et al. Low Head Pump Set Selection Design for No. 2 Liulaojian Pumping Station in South to North Water Diversion Project [J]. Pump Technology, 2013(1): 34-39. (in Chinese))
- [11] 朱红耕, 张仁田, 罗建勤, 等. 工况调节与传动方式对贯流泵结构和装置性能的影响[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 277-281. (ZHU Hong-geng, ZHANG Ren tian, LUO Jian-qin, et al. Influence of Regulation Method and Transmission Mode on Tubular Pump Structure and System Performance [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(6): 277-281. (in Chinese))

(上接第41页)

- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999. (Wei Feng-ying. Diagnose and Forecast Technology of Modern Climate Statistics. Beijing: China Meteorological Press, 1999. (in Chinese))
- [15] Pettitt A. N. A Nonparametric Approach to the Changpoint-problem[J]. Appl. Statist. 1979, 23(2): 126-135.
- [16] 黄海云, 张山清, 沙曼曼, 等. 1961-2008年塔城地区气候变化特征[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(3): 242-248. (HUANG Hai-yun, ZHANG Shan-qing, SHA Man-man, et al. Climatic Change Characteristics in Tacheng Region from 1961 to 2008 [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2012, 35(3): 242-248. (in Chinese))
- [17] 陈洪涛, 汤英. 新疆塔城地区近55年降水变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(4): 65-69. (CHEN Hong-tao, TANG Ying. Analysis on Precipitation change Characteristics During Recent 55 Years in Tacheng prefecture of Xinjiang. [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering 2010, 21(4): 65-69. (in Chinese))