

沿江低扬程双向泵站方案比选分析

曹伟岳¹, 王正飞², 朱海清²

(1. 常熟市水利工程质量监督站, 江苏 苏州 215500; 2. 常熟市水利工程建设管理中心, 江苏 苏州 215500)

摘要:常熟市徐六泾江边枢纽是提升常熟沿江区域洪涝外排能力,减轻片区排涝压力,提升区域应急抢险能力的重要工程,工程具有双向引、排水运行要求。泵型比选是关乎闸站工程运行效益发挥的关键因素,从水力性能、经济性、工程建设、运行管理4个方面对2种适合低扬程双向运行的泵型方案进行对比分析,论证推荐的X型双层流道立式轴流泵方案的经济性和合理性。

关键词:江边枢纽; 低扬程; 双向运行; 泵型比选

中图分类号:TV675

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)08-0012-0005

Comparison analysis of low lift bidirectional along the river pumping station scheme

CAO Weiyue¹, WANG Zhengfei², ZHU Haiqing²

(1. Changshu Water Conservancy Engineering Quality Supervision Station, Suzhou 215500, China;

2. Changshu Water Conservancy Project Construction Management Center, Suzhou 215500, China)

Abstract: Xu Liujiang riverside hub project is an important project for improving drainage capacity of regions along the Yangtze River, Reducing drainage pressure for the area and enhancing rescue ability in emergency. The project has the function of bidirectional diversion and drainage. The comparison and selection of pump type are critical factors to operation benefit of sluice-pump station project. This paper analysis two pump type options for low lift bidirectional operation from four aspects including hydraulic performance, economy, engineering construction and operation management.

Key words: riverside hub project; low lift; bidirectional operation; selection of pump type

在江苏沿江地区,由于内河水位与长江水位相差不大,且配合区域排涝和引水灌溉的需求,往往要求沿江泵站具有双向引水排涝功能。因而,低扬程双向泵站被大量应用,国内许多专家学者对此类泵站的结构型式和泵装置的水力性能也开展了广泛的研究。张仁田^[1]根据双向排灌站特点,分析了单向叶轮配双向流道型和双向叶轮配单一流道型

两种不同泵型和布置型式的优缺点,并指出应根据不同的衡量指标进行技术经济比较,确定最佳方案;戴立明^[2]通过分析江苏7座双向流道泵站设计,总结了双向流道泵站在结构功能、设备安装检修和运行维护方面的特点;王林锁等^[3]通过对“工字型”双向流道泵站装置特性、过流流态的试验分析,认为在合理设计基础上该装置效率可接近同类单向

收稿日期:2023-05-06

作者简介:曹伟岳(1989—),男,工程师,硕士,主要从事水工程质量监督工作。Email:547591249@qq.com

流道泵装置效率;汤方平等^[4]和胡秋瑾等^[5]从泵和泵装置特性关系出发,指出在低扬程泵站选型时采用传统等流量加大扬程选泵方法会导致泵站效率偏低,而采用等扬程加大流量选泵方法,可保证泵装置最高效率点与设计点接近。

本文以常熟市徐六泾江边枢纽为例,从水力性能、经济性、工程建设、运行管理等方面,对适合低扬程双向运行的X型双层流道立式轴流泵和S型叶片双向运行竖井贯流泵进行对比分析,论证推荐的X型双层流道立式轴流泵方案的经济性和合理性。

1 工程概况

徐六泾江边枢纽工程位于徐六泾通江口,是常熟市沿江防洪除涝的口门建筑物,工程主要任务是防洪、排涝,兼顾引水、通航。因此,泵站要求为双向引排,区域排涝时将水从徐六泾河道抽至长江,引水时将长江水抽至徐六泾河道。设计排涝流量为30 m³/s,设计引水流量为20 m³/s。泵站运行水位组合及特征扬程见表1。

2 泵型比选

2.1 泵型比选原则

根据徐六泾江边枢纽工程的特点,泵型选择主要遵循以下几个方面原则:

- (1)徐六泾泵站有排涝和引水2个工况,且两个工况的设计扬程有差异,水泵选型须考虑兼顾两种运行工况的综合性能。双向运行设计工况均需满足设计流量要求;最高与最低扬程水泵均能安全稳定运行。
- (2)采纳已有的双向运行泵站的先进成果作为本泵站的设计参考,选用泵型应技术先进、成熟。
- (3)泵组的结构应考虑安装、运行和维护的要求,安装方便、结构简单可靠、检修维护工作量尽可能少,以提高经济性。
- (4)水泵应具有较好的抗汽蚀性能,选型时对汽蚀性能和能量性能综合考虑,并合理确定水泵安装高程。
- (5)泵房布置简洁,流道型线施工简单,工程投

表1 泵站运行水位组合

运行工况		说明		水位/m	净扬程/m	总扬程/m
排涝	最高扬程	内河侧	内河常水位低值	3.30	3.44	3.84
		长江侧	长江侧历史最高潮位(1997.8.19)	6.74		
	设计扬程	内河侧	内河常水位低值	3.30	2.40	2.80
		长江侧	10年一遇排水期3日最高平均潮位	5.70		
	平均扬程	内河侧	内河常水位均值	3.35	2.18	2.58
		长江侧	多年平均高潮位	5.53		
引水	最高扬程	内河侧	引水期最高控制水位	3.50	2.26	2.66
		长江侧	95%保证率低潮位	1.24		
	设计扬程	内河侧	内河常水位均值	3.35	1.88	2.28
		长江侧	长江侧94水平年平均低潮位	1.47		
	平均扬程	内河侧	内河常水位低值	3.30	1.20	1.60
		长江侧	海洋泾泵站运行经验值	2.10		

注:最低扬程为零扬程,不予计入;表中净扬程仅考虑泵站进出水池水位差;总扬程=净扬程+门槽及清污机损失(0.40 m)

资经济合理。

2.2 泵型选择分析

目前实现双向引排的方式,应用较为广泛的有两大类。一类是单向叶轮配双向流道,主要以立式轴流泵搭配多种双向流道,包括X型双向流道、钟型双向流道和开敞式双向流道等;另一类是双向叶轮配单一流道,主要采用卧轴式或斜轴式布置,包括

竖井贯流式、灯泡式和轴伸式等。在这两大类型中最具代表性的分别为X型双层流道立式轴流泵和S型叶片双向运行竖井贯流泵。在已建运行泵站中,立式轴流泵站最大单泵流量为40 m³/s,双向竖井贯流泵单泵流量为20 m³/s,而徐六泾泵站设计排涝流量和引水流量均在经验范围内。因此,考虑对这2种泵型进行比选。

2.2.1 立式轴流泵方案

根据徐六泾泵站的水位组合以及扬程、流量要求,已建成的新沟河江边枢纽泵站采用的是双层X流道立式轴流泵,且泵站运行工况与徐六泾泵站相似,符合泵型比选要求,故立式轴流泵方案的选型计算采用这个枢纽装置的模型试验成果进行原型换算。按3台水泵考虑,经计算,叶轮直径为1 910 mm,水泵转速187.5 r/min,叶片角度为 -2° 。在换算的原型特征曲线上引水和排水设计点位置见图1。由图1可知,最高扬程工况点未进入不稳定马鞍形区。

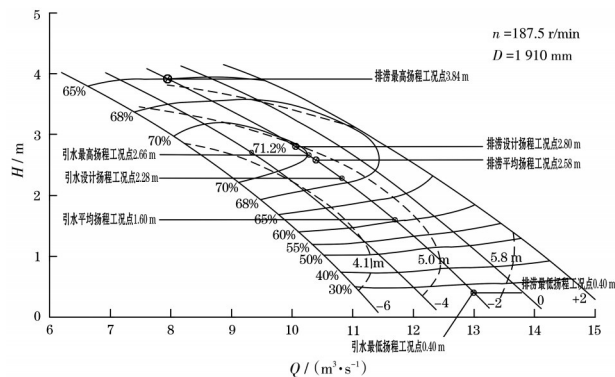


图1 立式轴流泵方案特征运行工况点位置

2.2.2 竖井贯流泵方案

已建成的遥观北枢纽泵站采用的是双向竖井贯流泵,且泵站运行工况与徐六泾泵站相似,符合泵型比选要求,故竖井贯流泵方案的选型计算采用这个枢纽装置的模型试验成果进行原型换算。按3台水泵考虑,经计算,叶轮直径为1 910 mm,水泵转速196 r/min,引水工况叶片安放角度取 -2° ,可满足引水工况设计扬程下的流量要求,但对应排涝工况设计扬程下流量 $11.12 \text{ m}^3/\text{s}$ 超出设计流量幅度较大,故排涝工况叶片安放角度取 -4° 。2种工况下原型泵装置性能曲线见图2~3。

2.2.3 立式轴流泵与竖井贯流泵方案比对

(1)水力性能方面:2种泵型设计点效率在排涝工况时基本相同,但在引水工况时立式轴流泵装置效率明显高于竖井贯流泵,综合比较排涝和引水工况各特征扬程下的装置效率,立式轴流泵方案总体要优于竖井贯流泵方案。在汽蚀性能方面,立式轴流泵叶轮的最大汽蚀余量小于竖井贯流泵,其汽蚀性能也相对较优。2种泵型在特征扬程下的性能参数见表2。

(2)经济性方面:在机组设备费用上,竖井贯流

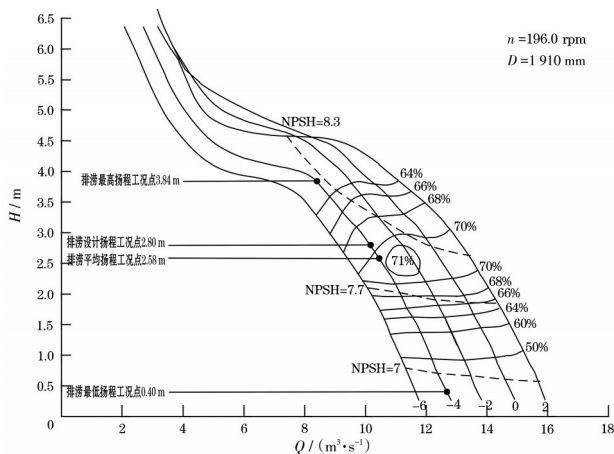


图2 竖井贯流泵方案原型泵装置性能曲线(排涝工况)

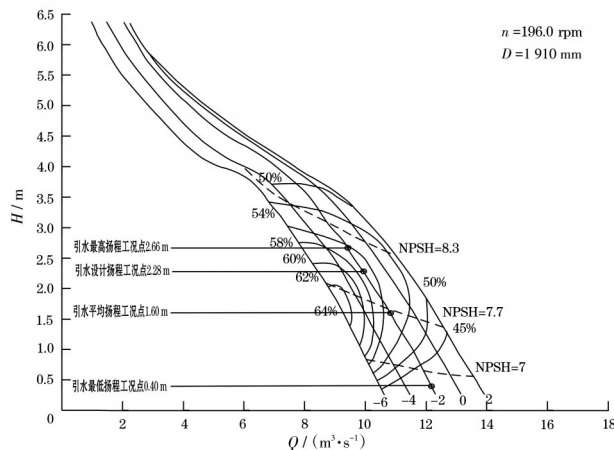


图3 竖井贯流泵方案原型泵装置性能曲线(引水工况)

泵配有齿轮减速箱,叶片调节机构较立式轴流泵更复杂,配套电机功率更高,因此设备采购费用略高;土建工程量上,立式轴流泵流道宽度大,厂房高度较高,开挖深度较大^[7],但底板长度短,竖井贯流泵流道宽度稍小,开挖浅,但底板长度大,因此2种方案土建费用相差不大;在后期运行方面,竖井贯流泵组轴功率较大,后期运行耗用电费也会更高。

(3)工程建设方面:X型双层流道立式轴流泵在江苏省沿江口门泰州引江河枢纽泵站、望虞河常熟枢纽泵站、张家港朝东圩港枢纽泵站、常熟海洋泾枢纽泵站中已得到应用,效果较好,因此该类型枢纽泵站具有丰富的建设经验。

(4)运行管理方面:竖井贯流泵在排涝和引水2个工况间叶片安放角变化较大,叶片调节结构更为复杂,且竖井空间小,后期运行维护不便。立式轴流泵结构相对简单,运行可靠,维修更为方便^[8],且常熟江边的海洋泾枢纽也采用此类泵型,已有成

表2 2种泵型在特征扬程下的性能参数比对

运行 工况	装置扬程		泵型	叶片角度/ (°)	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	效率 / %	轴功率/kW	最大汽蚀 余量/m
	特征	总扬程/m						
排涝	最高	3.84	立式轴流泵	-2	7.95	65.0	461	6.0
			竖井贯流泵	-4	8.41	57.0	556	8.3
	设计	2.80	立式轴流泵	-2	10.06	70.0	395	6.0
			竖井贯流泵	-4	10.16	69.0	404	8.3
	平均	2.58	立式轴流泵	-2	10.40	69.0	381	6.0
			竖井贯流泵	-4	10.45	70.0	378	8.3
引水	最高	2.66	立式轴流泵	-2	10.28	69.8	384	5.5
			竖井贯流泵	-2	9.42	56.0	439	8.3
	设计	2.28	立式轴流泵	-2	10.82	68.2	355	5.5
			竖井贯流泵	-2	9.94	57.0	390	8.3
	平均	1.60	立式轴流泵	-2	11.70	60.0	306	5.5
			竖井贯流泵	-2	10.83	55.0	309	8.3

熟的运行管理经验,选择同类泵型也方便运管单位的后期运行管理。

(5)附加功能:立式轴流泵可以利用X型下层流道的过水功能,实现自引、自排功能,这是其他型式流道的泵站无法具备的优点^[9]。

综合上述对比结果,X型双层流道立式轴流泵方案在引排水工况下装置效率总体要优于竖井贯流泵方案,汽蚀性能也相对较优;设备采购费用立式轴流泵方案略低于竖井贯流泵方案,但土建费用相差不大;江苏多个沿江口门均采用立式轴流泵型式,同类型工程建设及运管经验丰富,因此徐六泾江边枢纽泵型首选X型双层流道立式轴流泵。

2.3 进出水流道型式选择

已建成投运的七浦塘、新沟河江边枢纽均采用了平面对称蜗壳式双向进水流道,进口直段采用直管方箱式,流道后段采用平面蜗壳式,在双向进水流道中设置隔板,在喇叭口下方设置导水锥,抑制漩涡或涡带的发生;出水流道为方箱式,通过水泵出水流道顶部设置导水锥,在导叶体出口设置喇叭

型锥管,控制水流的扩散和流向。为保证双向抽水功能,进水流道设置闸门,液压启闭机启闭闸门;为保证泵站停机或事故能及时断流,出水流道断流采用快速闸门断流,液压启闭机快速启闭闸门。此种流道型式型线简单,施工方便,经模型试验验证水力性能较好,装置效率较高,因此,徐六泾泵站进出水流道首选此种型式。推荐方案的流道尺寸见表3。

3 结 语

可靠的泵型应用是决定工程发挥效益的首要条件。本文以常熟市徐六泾江边枢纽为例,通过对水力性能、经济性、工程建设、运行管理等4个方面的比选,选择在各方面较有优势的X型双层流道立式轴流泵,并采用型线简单、施工方便的平面对称蜗壳式进水流道和方箱式出水流道,通过切换流道来实现双向引排的功能。工程建成投运后可明显提升常熟沿江区域洪涝水外排能力,有效减轻内河排涝压力,提升区域应急抢险能力,保障区域安全。

表3 立式轴流泵进出水流道尺寸

叶轮直径	进水流道长度	出水流道长度	进出水流道 宽度	进水流道宽度	出水流道宽度	叶轮中心距 底板高度	叶轮中心距 顶板高度
1.91	9.2	6.8	5.4	2.4	2.4	2.3	3.3

参考文献:

- [1] 张仁田. 低扬程双向排灌站的泵型与布置型式[J]. 水利水电技术, 1994(3): 33-38.
- [2] 戴立明. 双向流道泵站的特点分析[J]. 江苏水利, 1999(7): 33-34.
- [3] 王林锁, 陈松山, 葛强, 等. 望虞河双向流道泵站泵装置特性试验研究[J]. 水泵技术, 2000(6): 32-36.
- [4] 汤方平, 刘超, 成立, 等. 低扬程水泵选型新方法[J]. 水利水电科技进展, 2001(4): 41-43, 70.
- [5] 胡秋瑾, 汤方平, 石丽建, 等. 大型立式轴流泵装置水力模型比选分析[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(6): 138-144.
- [6] 刘子系, 边晓阳, 徐嘉, 等. 建设双向泵站形成新型调水引流格局[J]. 江苏水利, 2017(6): 54-57, 62.
- [7] 张建华. 浅谈双向泵站的泵型选择及其应用[J]. 水利建设与管理, 2005(5): 44-45.
- [8] 张仁田. 双向轴流泵模型装置对比试验研究[J]. 流体机械, 2003, 31(10): 1-5.
- [9] 戴立明. 双向流道泵站的特点分析[J]. 江苏水利, 1999(7): 33-34.

(上接第5页)

(4)底坎利用水流翻滚、产生紊动能交换,改变了水流原有的紊流流动结构,消掉水流大部分剩余能量,有效改善流态,降低进水断面湍动能。为后续泵站工程与控藻井工程结合布置形式提供了参考。

参考文献:

- [1] 代然, 储昭升, 于秀娟, 等. 压力下伪空胞破裂对3种水华蓝藻生长及光合作用的影响[J]. 环境科学研究, 2012, 25(1): 30-35.
- [2] 潘阳, 陈旭清, 张铮惠, 等. 压力作用后的蓝藻在太湖中的生长控制机理[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(7): 8-13.
- [3] 徐亚军, 丛海兵, 朱宸, 等. 压力作用后蓝藻混凝沉淀性能研究[J]. 给水排水, 2015(7): 123-127.
- [4] 陈洪程, 杨天立, 周静姝, 等. 新型高压灭藻井系统中潜水贯流泵装置的应用研究[J]. 水利规划与设计, 2022(4): 108-115.
- [5] 罗灿, 成立, 刘超. 泵站正向进水前池底坎整流机理数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2014(5): 393-398.
- [6] 奚斌, 郑雅珍, 段元锋, 等. 闸站结合泵站前池流态优化[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(12): 91-97, 110.
- [7] 张娟, 陈洪程, 卜舸, 等. 分汊河道多泵站进水侧整流数值模拟分析[J]. 水利水电快报, 2021, 42(8): 60-66, 72.
- [8] 王远成, 吴文权. 基于RNG $k-\epsilon$ 湍流模型钝体绕流的数值模拟[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26(6): 519-523.
- [9] 张明亮, 沈永明. RNG $k-\epsilon$ 湍流模型在三维弯曲河流中的应用[J]. 水力发电学报, 2007, 26(5): 86-91.
- [10] 刘志泉, 成立, 卜舸, 等. 泵站正向进水前池“V”形导流墩整流数值模拟[J]. 中国农村水利水电, 2022(3): 183-188.
- [11] 王琪, 朱文辰, 周济人, 等. 侧向泵站进水前池流态数值计算与优化[J]. 中国农村水利水电, 2023(1): 152-157.
- [12] 刘新阳, 高传昌, 石礼文, 等. 泵站前池与进水池整流数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(3): 242-246.
- [13] 谢传流, 汤方平, 刘超, 等. 大型立式轴流泵装置叶轮选型模型试验分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 94-99, 131.
- [14] 张贤明, 吉庆丰. 泵站前池流态的数值模拟[J]. 灌溉排水, 2001, 20(1): 35-38, 42.
- [15] 苏正洋, 陆嘉伟, 张志韬, 等. 泵站前池整流技术研究综述[J]. 人民珠江, 2020, 41(1): 69-75.
- [16] 刘超. 水泵及水泵站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.