

# 淮安抽水一站更新改造关键技术 研究与应用

董兆华<sup>1</sup> 孙超君<sup>2</sup> 郑慧慧<sup>3</sup>

- (1. 江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200;
2. 江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210022;
3. 连云港市赣榆区防汛防旱指挥部办公室, 江苏 连云港 222100)

**【摘要】** 淮安抽水一站改造工程克服原建设时大量资料难以收集的困难,按照工程实施不影响抗旱运行等要求,在泵站的断流方式、水泵选型、主电机推力轴承选用等方面开展研究,开发了计算机监控系统和机电设备信息化管理系统。改造完成后的泵站机组效率明显提升,具备了“无人值班、少人值守”的功能,提高了泵站运行管理的现代化管理水平。

**【关键词】** 抽水泵站; 改造; 断流方式; 轴承

中图分类号: TV52

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)08-0072-05

## Research and application of updating and transformation key technology in Huai'an Water Pumping No. 1 Station

DONG Zhaohua<sup>1</sup>, SUN Chaojun<sup>2</sup>, ZHENG Huihui<sup>3</sup>

- (1. Jiangsu Irrigation Main Irrigation Canal Administration, Huai'an 223200, China;
2. Jiangsu Qinhuai River Water Conservancy Project Administration, Nanjing 210022, China;
3. Lianyungang Ganyu District Flood Control and Drought Control Headquarters Office, Lianyungang 222100, China)

**Abstract:** The difficulty of data collection in original construction is overcome in transformation project of Huai'an Water Pumping No. 1 Station. The pump station cutoff mode, water pump selection, selection of main motor thrust bearing, etc. are studied according to the requirement that project implementation does not affect drought control operation, etc. Computer monitoring system and mechanical and electrical equipment information management system are developed. The pump station unit efficiency is improved prominently after transformation. It has the function of 'unattended personnel' and 'less attended personnel'. The modern management level of pump station operation management is improved.

**Keywords:** pumping station; transformation; interruption mode; bearing

平原水网地区,泵站是必不可少、功不可没的水利工程设施之一。江苏从20世纪50年代中期提出“抽引江水北上”的规划,60年代初开始实施,到1978年陆续建成了江都抽水一、二、三、四站和淮安抽水一、二

站,标志着江水北调总体框架构成。20世纪80年代又相继建成了泗阳抽水站、淮阴抽水站等,标志着江水北调体系日臻完善,为地方经济社会的发展提供了可靠的水源保证。进入21世纪后,对初期建设的泵站进行

安全评估表明,泵站的特征水位与实际水位已不相适应,机组运行时间长、老化严重,设备状况、技术水平已不适应经济社会的发展及技术进步。为此,江苏在南水北调东线工程中新建宝应站等工程的同时,实施了老泵站的更新改造工程,国家于2008年开始对大中型泵站进行更新改造,淮安抽水一站率先于2000年开始实施,为同类型泵站更新改造提供借鉴。

## 1 工程概况

淮安抽水一站位于江苏省淮安市南郊、苏北灌溉总渠与京杭运河的交汇处,是淮安水利枢纽的重要组成部分。始建于1972年12月,1974年3月建成投运。装有64ZLB-50型立式半调节轴流泵8台,配套TDL-215/31-24型立式同步电动机,总装机容量6400kW,设计扬程7.0m,设计流量 $60\text{m}^3/\text{s}$ ,水泵进水流道为肘形弯管,出水流道为平直管,采用拍门断流方式,主机采用强电就地控制<sup>[1]</sup>。主要作用是作为南水北调东线工程的第二级梯级站之一,抽引江都站、抽入里运河的长江水北上;抽排白马湖地区的涝水;补给大运河航运用水。

## 2 改造缘由

原站主辅机设备均为20世纪70年代初产品,经过近30年的运行,存在严重的安全隐患。主电机绝缘失去弹性,普遍龟裂,线棒鼓胀扩展,矽钢片变形明显,转子滑环凹凸不平,推力头配合松动,危及主机正常运行;主水泵长期偏离设计工况运行,气蚀严重,振动加剧,泵轴轴颈磨损严重,轴承因振动冲击,多次检修,轴承配合松动;辅机系统、电气设备均为淘汰产品,备品备件无法购买,事故隐患多,安全运行难以保证。

## 3 主要改造项目

该站于2000年实施更新改造。改造的主要内容包括:更换8台主机泵及相关辅机系统;更新所有高低压电气设备;增设泵站自动化监控系统和淮安枢纽自动化监控网络;改造进出水流道及相关土建;增设电机层强迫通风系统;拆建工作桥;新建集中控制室并维修和装饰主副厂房;更换事故闸门,并增设快速闸门;更

换拦污栅;完善部分管理设施等。

## 4 主要技术应用

### 4.1 水泵选型

该站改造前水泵为上海水泵厂生产的64ZLB-50型立式半调节轴流泵,比转速为500,设计扬程7.0m,设计流量 $7.5\text{m}^3/\text{s}$ ,叶轮直径1.54m,该泵的最优工况点扬程为8.0m,流量为 $7\text{m}^3/\text{s}$ 。但该站自建成投运以来,实际运行净扬程在3.0~5.0m之间,实际平均净扬程为3.91m,考虑进出水流道的损失,水泵实际运行工况远远偏离高效区,水泵运行效率低、气蚀严重、振动大。

经模型试验比选,改造后该站采用无锡水泵厂生产的1.75ZLQ11.2-5.3型立式全调节轴流泵,叶轮直径从原来的1.54m增加到1.64m,转速不变,设计扬程5.3m,设计流量 $11.2\text{m}^3/\text{s}$ <sup>[2]</sup>。该泵型高效区在4.0~5.0m之间,符合实际使用条件。

### 4.2 断流方式改造

该站为平直管出水流道,改造前采用拍门断流,设液压快速事故备用门,兼作检修门。改造前,出水流道出口流速约 $1.6\text{m}/\text{s}$ ,大于规范中出口流速宜在 $1.5\text{m}/\text{s}$ 以下的要求,加之采用拍门断流,出水流道水力损失较大。为减少拍门的水力损失,运行中采用加设平衡锤的方式增加拍门开度,门铰及连接平衡锤的钢丝绳磨损严重,维修工作量大,给运行管理带来不便。

更新改造后,单机流量由原来的 $7.5\text{m}^3/\text{s}$ 增加到 $11.2\text{m}^3/\text{s}$ ,如断流方式及出水流道不变,出口流速将增加到 $2.0\text{m}/\text{s}$ ,更加不能满足规范的要求。为此,改造设计过程中,对断流方式进行了充分认证分析,将拍门断流方式改为快速门断流。拆除拍门后,将出水流道按原有平面扩散角接长到原事故门槽(接长2.7m),出口宽度由原来的3.05m增加到3.73m,出口流速下降到 $1.43\text{m}/\text{s}$ 。为改善机组的启动性能,在快速工作门上开设小拍门,保证机组启动过程中出水顺畅。

将断流方式由拍门改为快速门,有效解决了因拍门不能完全开启而阻水、增加水力损失、维修工作量大且不便等问题,降低了出口流速,提高了装置效率。

### 4.3 主电机推力轴承选用

大型立式水泵机组大多采用刚性支撑的扇形可倾瓦推力滑动轴承,主要由推力头、镜板、扇形推力瓦、绝缘垫、导向瓦等部件组成<sup>[3]</sup>。在检修安装时,通过人工调整推力瓦水平和受力,经验性、随意性及由此引起的误差较大,容易造成推力瓦受力不均匀,甚至出现烧瓦事故,影响机组安全运行。

改造后,该站选用 TL1000-24/2150 型立式同步电动机,采用引进的圆形推力瓦滑动轴承,主要由推力头、导轴承座、圆形推力瓦、承载环、导向瓦等组成。主要优点有:

a. 采用碟形支撑的圆形推力瓦,每块瓦都具有自动调平功能,制造成本和安装精度要求较低,不易出现瓦块受力不平衡现象。圆形瓦的支撑点在瓦块的几何中心,对停机过程中出现的机组正向、反向转动具有更好的适应性。

b. 推力头与镜板是整体结构,消除了组合部件加工、组装时出现的累积误差,使推力头摩擦面与瓦面之间接触更加均匀,因而比同面积扇形瓦面的承载能力更强。

c. 该轴承将绝缘装置埋置在推力头内,采用高位安装,无须刮削。传统推力滑动轴承的绝缘垫片置于镜板与推力头之间,调整时,绝缘垫片往往被刮削变薄以至残破,且易存在局部间隙,影响绝缘效果。

d. 轴承冷却系统采用双金属翅片式油冷却器,抗腐蚀性强,传热效率高,使用寿命长,能够更好保证电机轴承的运行。

e. 采用此轴承后,在运输条件允许的情况下,电机可整机发运、整机起吊、整机安装,给用户使用带来方便。

### 4.4 水导轴承选用

水导轴承是大型水泵的关键部件,如果水导轴承磨损过大或损坏,则会造成机组轴线摆度增大,振动加剧,甚至发生叶片碰壳事故。在水泵上应用的水润滑非金属轴承主要有橡胶轴承、P23 轴承、F102 轴承、弹性金属塑料轴承和赛龙轴承。橡胶轴承在立式泵上应用较多,对泥沙不敏感,缓冲抑振性能较好。P23 轴承

是一种酚醛塑料轴承,脆性比较大、易碎,并且一旦有碎屑脱落,会加速磨损并拉毛与之相配的大轴轴颈。F102 轴承与 P23 轴承相比承载力高,韧性好,能耐冲击荷载,抗压强度高,耐磨性好。但它与 P23 轴承一样,在应用时对轴承材料、成型工艺及泵轴的表面处理须有严格的要求。赛龙轴承的自恢复性和弹性极好,故能耐冲击,且易加工、耐污水、耐磨损。弹性金属塑料瓦用于替代巴氏合金瓦,在油润滑推力轴承上已取得成功经验,但在水导轴承上应用不多。

改造时,无锡水泵厂在主泵水导轴承上选用上海材料研究所研制的 F102 混杂纤维自润滑复合材料,该轴承为哈夫结构,每块由 7 只瓦衬组成。该站于 2002 年 7 月进行了试运行验收,但 2004 年 4 月,多数机组先后出现因振动大而被迫停机的情况。经解体检查发现,机组大轴轴颈均不同程度偏磨,磨损最大处达 10mm,水导轴承与导叶体连接螺栓全部松动,定位销全部剪断,轴承分半合缝面的螺栓全部脱落,水导轴瓦瓦衬(F102 材料)已磨平,并有近三分之一脱落,同时叶轮外壳及叶片磨损严重。至事故发生时,运行时间最短的 2 号机组运行了 800h,最长的 5 号机组运行 2000h,远远低于厂家所称使用寿命大于 10000h 的承诺。水泵水导轴承的质量有瑕疵是引起机组振动损坏的主要原因,处理措施是将 F102 水导轴承改为橡胶轴承,对损坏的轴颈、叶轮外壳、叶片等进行返厂处理,重新进行安装,运行正常。

### 4.5 计算机监控系统开发

为降低设备的故障率,减小运行管理人员的劳动强度,提高全站的管理水平,设计开发了微机监控系统。采用开放式环境下全分布计算机监控系统,实现主辅机自动控制管理、数据库管理、在线及离线计算、各图表及曲线的生成、事故及故障信号的分析处理等功能。值班人员可通过上位机进行查询,及时了解主辅机系统、电气设备、测温系统、报警系统等运行状况。自动进行各种报表统计,对各种历史事件提供历史曲线查询、历史一览表查询、事故追忆分析等。通过视频系统对主辅机和电气设备实行监视,极大提高了运行管理水平。

开发经济运行系统。在保证机组运行安全的前提下,根据调度流量、上下游水位及机组效率曲线,自动确定最佳开机台数和机组投入顺序,并调节水泵的叶片角度,使机组在最佳工况下运行,降低能耗。系统根据机组效率曲线,从实时数据库中读取站上下游水位及各台机组叶片角度,运用双向插值法进行计算,得到单机流量;对单机流量进行累加,得到站总流量。采用动态规划技术进行优化,以机组数 $i$ 为阶段变量,以各机组的抽水流量 $Q_i$ 为决策变量,以未分配的剩余流量 $K_i$ 为状态变量,求解出模型的最优决策。

#### 4.6 机电设备信息化管理系统

建设了“机电设备信息化管理系统”,对整个泵站的机电设备实现动态管理和信息化管理,为生产、管理、运行提供方便。

“铭牌档案”模块实现对各种设备资料的管理,包括设备的技术参数、生产厂家、主要设备图片及相关使用维护说明书(存档)等,使得每一台设备都有自己的身份管理资料。“检修维护”模块实现对设备检修、维护的管理,具有维护到期提醒、维护结束认定、设备检修查询等功能。所有检修记录形成数据库,能够指导运行人员及时分析、处置运行中设备故障,制定最佳维修方案。“试验管理”模块具有对电气设备的试验记录进行状态趋势分析、缺陷提示功能。“备品件记录”模块主要实现所购备品备件库存的入库、领用、查询、统计、不同备品件数量分析、数量不足备品件的提醒功能。

该系统与其他系统(监控管理系统)之间实现了链接,有效提高了系统的灵活性,使得系统的应用更具人性化。

### 5 改造后效益分析

#### 5.1 机组运行效率分析

淮安一站于1974年投运,2002年主体工程改造完成。运行期间,水文部门一直做好机组的测流工作,包括上下游水位、机组运行台数、机组运行总功率以及实时流量等。通过对建站以来的395次测流<sup>[4]</sup>及效率分析,结合部分特征数据,可以看出泵站改造前后机组效

率的变化。

##### 5.1.1 机组运行效率变化分析

截至2002年,老机组累计进行了264次测流,该264次测流平均扬程为4.30m,单机平均流量为 $8.95\text{m}^3/\text{s}$ 、平均功率647kW,平均效率为57.9%。新机组自2002年投运以来,到2015年累计进行了131次测流,该131次测流平均扬程为3.89m,单机平均流量为 $10.14\text{m}^3/\text{s}$ 、平均功率651kW,平均效率为59.3%。从多次实测平均数据可以看出,改造后机组平均效率比改造前提高了1.4%。

改造前264次实测中,效率大于60%的共86次,占32.6%,效率大于55%的共190次,占72%;改造后131次实测中效率大于60%的共60次,占45.8%,效率大于55%的共112次,占85.5%。可以看出改造后机组运行在高效区的比例远高于改造前。

##### 5.1.2 极端工况下效率的变化分析

从实测数据看出,改造前最大实测扬程出现在1983年7月13日,为5.72m,实测效率为64.9%;最小扬程出现在1984年2月7日,为2.72m,实测效率为41.3%。改造后最大实测扬程出现在2003年9月22日,为4.85m,实测效率为69.5%;最小扬程出现在2014年11月26日,为3.2m,实测效率为52.8%。可以看出,运行在最大扬程情况下改造后比改造前高4.6%,在最小扬程下改造前比改造后提高了11.5%。

对比相同扬程下效率情况:改造前1975年9月28日,实测扬程为4.84m时,效率为60.7%(1978年5月22日,实测扬程为4.86m时,效率为60.6%),改造后2003年9月22日,扬程为4.85m时,实测效率为69.5%,提高了8.8%;改造前1986年5月2日,实测扬程为3.19m时,效率为45.4%,对应改造后2014年11月26日,扬程3.2m,实测效率为52.8%,提高了7.4%。

##### 5.1.3 效率变化的原因分析

影响机组运行效率的主要原因是机组的性能及机组运行的工况,选型时必须考虑水泵性能良好,并与泵站扬程、流量变化相适应<sup>[5]</sup>。

通过下表可以看出,该站实际运行净扬程在3~5m之间,通过多年水位测算,泵站运行实际平均净扬程为3.91m。

改造前后机组运行扬程分布区间统计表

扬程	3.0m以下	3.0~3.5m	3.5~4.0m	4.0~4.5m	4.5~5.0m	5.0m以上
改造前次数	3	31	131	135	74	21
比例/%	0.7	7.84	33.16	34.17	18.73	5.32
改造后次数	0	14	73	37	7	0
比例/%	0	10.69	55.73	28.24	5.34	0

改造前机组为64ZLB-50型立式半调节轴流泵,设计扬程7m,设计流量 $7.5\text{m}^3/\text{s}$ ,该泵的最优工况点扬程为8m,流量为 $7\text{m}^3/\text{s}$ 。因此改造前的水泵实际运行工况远远偏离高效区,从而使得水泵运行效率低下。改造后的机组选型则充分考虑到这个方面的需求,新机组设计扬程5.3m,设计流量 $11.2\text{m}^3/\text{s}$ 。该泵型高效区在4.0~5.0m之间,符合该站的实际使用条件,因此机组运行效率较高。

改造前机组叶片为半调节,需在机组停机后,抽空流道积水,打开叶轮室才可改变叶片角度,费时费力,因此基本不调节叶片。改造后机组叶片采用机械全调节方式,运行时即可很方便地改变叶片角度,从而改变机组的运行工况,使其尽可能在高效区运行。

## 5.2 机组流量增加的效益分析

改造前机组设计流量为 $7.5\text{m}^3/\text{s}$ ,改造后机组设计流量为 $11.2\text{m}^3/\text{s}$ 。改造后水泵设计流量较以前单台机组增加了 $3.7\text{m}^3/\text{s}$ 。从多次实测平均数据可以看出,改造后机组抽水的平均效率比改造前提高了1.4%。

该站作为江苏江水北调的第二梯级泵站,不仅承担着抽引江水北调抗旱的任务,而且承担着白马湖地区排涝的任务,机组运行极为频繁,近年平均运行台时均在1万台时以上。以2015年为例,整个泵站运行16700台时,以单机平均流量增加 $3.7\text{m}^3/\text{s}$ 计算,2015年整个泵站多抽水达2.22亿 $\text{m}^3$ ,可以看出改造后流量增加带来巨大的效益。

## 5.3 节能效益分析

根据多年实测数据统计分析求出,改造前机组运

行的平均流量为 $8.95\text{m}^3/\text{s}$ ,平均功率为647kW,改造后机组运行的平均流量为 $10.14\text{m}^3/\text{s}$ ,平均功率为651kW。改造后机组流量增加了13.3%,而功率仅增加了0.62%。如果运行时及时根据机组扬程变化改变叶片角度来提高运行效率,那么机组在消耗同样电量下,抽水量将更多。

通过对改造前后机组每抽一立方水消耗电功率,可以看出改造前平均消耗电功率为0.02度/ $\text{m}^3$ ,改造后平均消耗电功率为0.0178度/ $\text{m}^3$ ,这就意味着每抽一立方水改造后将节能0.0022度,节能率达11%左右。仍以2015年为例,2015年淮安一站机组抽水量为6.08亿 $\text{m}^3$ ,按照以上节能计算,整个泵站全年节约电量达133.76万度,按照电费0.54元/度的农业用电计算,每年将节约电费72.2万元。

## 5.4 技术效益分析

淮安抽水一站改造后,采用了新设备、新技术、新工艺,设备完好率和运行可靠性有了较大提高,大大降低了泵站设备运行事故,减少了设备检修费用。泵站微机监控系统的开发应用,基本具备了“无人值班、少人值守”的功能,减轻了值班人员的劳动强度,减少了运行值班人员的数量,节约了人工费用。改造前每个运行班值班人员为5人,改造后,每个班只需3人,全站可减少值班人员8人,每年可节约运行人工费近80万元。

淮安一站承担着流域性抗旱及排涝任务,机组运行相当频繁,新技术的成功应用,提高了工程安全运行的保证率,产生了较大的经济效益,为后续泵站的加固改造提供了有益的借鉴。◆

## 参考文献

- [1] 江苏省灌溉总渠管理处. 淮安抽水一站加固改造工程竣工验收报告[R]. 淮安:江苏省灌溉总渠管理处,2006.
- [2] 戴健,古凤英. 淮安一站更新改造中水泵选型问题探讨[J]. 水利水电科技进展,2002,22(1):44-46.
- [3] 王毅,陈坚,周少华,等. 大型立式泵机组碟簧支撑圆形瓦推力滑动轴承研究[J]. 中国农村水利水电,2010(3):126-129.
- [4] 江苏省灌溉总渠管理处. 江苏省灌溉总渠管理处水文站水文资料整编[R]. 淮安:江苏省灌溉总渠管理处,2015.
- [5] 孙洪滨,鲁靖华. 淮安抽水二站更新改造分析研究[J]. 水泵技术,2007(6):40-42,37.