

梅梁湖泵站竖井贯流泵装置主要参数的确定

颜红勤

(江苏省水利工程科技咨询中心,江苏 南京 210029)

摘要 结合无锡梅梁湖泵站,阐述了低扬程泵站竖井贯流泵装置水泵 nD 值、叶轮中心安装高程、流道线型尺寸以及主要配套设备等的确定.对比分析了竖井前置和后置两种装置的水力性能,指出影响两种装置水力性能的因素虽有所不同,但总的水力性能差异不大.为便于机组安装,改善通风条件,提出应适当加大竖井尺寸,并对机组采用强迫进、出通风方式和水冷却方式,以降低机组运行温升.

关键词 竖井贯流泵;装置参数;参数确定;低扬程泵站;水力性能;梅梁湖泵站

中图分类号 :TV734.1 ;TK73 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2005)06-0091-04

Determination of main parameters for shaft tubular pumping system//YAN Hong-qin(Jiangsu Province Water Engineering Consultation Center , Nanjing 210029 , China)

Abstract : In combination with the Meilianghu Pumping Station in Wuxi City , expounded were the determination of some parameters including the nD value for water pump , the installation altitude of impeller center and the linetype of flow channel and main auxiliary equipments for the shaft tubular pumping system of low-head pumping stations. Based on a comparison of hydraulic performances of the pre-positioned and post-positioned shaft well devices , it is concluded that the hydraulic performances of the two devices under different influencing factors are almost the same . It is suggested that the size of shaft wells should be increased to make the set installation much more convenient and improve the ventilation condition of shaft wells , and that forced convection and water-cooling modes should be adopted to reduce the temperature rise during the operation of the pumping system .

Key words : shaft tubular pump ; parameter of device ; determination of parameter ; low-head pumping station ; hydraulic performance ; Meilianghu Pumping Station

1 泵站概况

江苏省无锡市梅梁湖泵站枢纽工程是以区域调水为主的大型综合性工程,是国务院太湖水污染防治“十五”计划重要工程之一.工程由一站四闸两桥及引水渠等水工建筑物组成,主要功能是引用太湖水改善梅梁湖、蠡湖及城区河网水质、水环境.枢纽泵站设计引水流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$,最大净扬程 1.82 m ,设计净扬程 $1.15\sim 1.53\text{ m}$,规划年运行时间 165 d .采用竖井前置式进水流道,平直管出水流道,安装竖井贯流泵机组 5 台套,齿轮箱间接传动,主泵型号为 2000ZGB10-1.5,设计流量 $10\text{ m}^3/\text{s}$,配套电机功率 355 kW ,转速 988 r/min .

该泵站引水扬程低,单机流量大,运行时间长,属于典型的低扬程泵站,采用的竖井贯流泵装置与其他类型低扬程泵装置亦不同^[1],泵站装置主要参数确定如下.

2 泵站装置主要参数确定

2.1 水泵 nD 值

由于泵站净扬程低,按常规主泵比转数需达 1 600 以上.目前国内虽已开发研制出一些高比转数水力模型,但这些模型除流量大、扬程低外,还出现水力损失占比大、环量分布不均、高效区范围相对较小、抗汽蚀性能较差等情况,使用结果并不令人满意^[2,3].近年来国内外趋向采用降速、增大叶轮直径、降低 nD 值的方法来获取低扬程大流量水泵的性能,且低 nD 值有利于节能和提高水泵效率.表 1 为近几年新建的部分低扬程泵站水泵 nD 值取用情况.

为合理确定本站水泵 nD 值,初选 350ZMB-3.4 水力模型,绘出不同 nD 值原型泵性能曲线^[4],求出设计、最大扬程工况下水泵特征值,见表 2.

由表 2 可知,各方案设计工况均满足泵站引水流量要求,最大扬程工况下方案二不满足泵站最高

表 1 部分低扬程泵站水泵 nD 值

泵站名称	设计扬程/m	单机流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	n /($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	D /m	nD /($\text{r} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}$)	转轮模型型号
江苏望虞河泵站	1.31 ~ 1.73	20	150	2.5	375	ZBM931-1350
广东中山东河口泵站	2.4	42	115	3.2	368	350ZMB-3.4
浙江盐官泵站	2.8	50	90	3.8	342	350ZMB-3.4
上海太浦河泵站	1.39	50	73	4.1	299.3	350ZMB-3.4
镇江九曲河泵站	1.89	22.2	150	2.55	382.5	ZBM931-1350

表 2 两种工况下水泵特征值

方案	n / ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	D / m	设计净扬程(1.15 m)				最大净扬程(1.82 m)			
			泵扬程/ m	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	泵效率/ %	配套功率/ kW	泵扬程/ m	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	泵效率/ %	配套功率/ kW
一	140	1.9	1.48	10.35	82.5	182	2.04	8.40	76.6	219
二	125	2.0	1.47	10.2	79.8	184				
三	140	2.0	1.51	10.8	82.4	209	2.08	9.2	76.7	225
四	140	2.1	1.57	11.6	81.5	218	2.14	10.1	76.7	275

注 水泵扬程 H_P = 泵站净扬程 H_{SY} + 管路损失 SQ^2 。

扬程运行要求,其他 3 个方案中,方案四流量偏大,方案一、三基本满足要求。考虑竖井尺寸要求,叶轮直径不宜过小,故选定方案三,转速 $n = 140 \text{ r/min}$,叶轮直径 $D = 2.0 \text{ m}$,即水泵 nD 值为 $280 \text{ r/min} \cdot \text{m}$ 。原型泵预测性能曲线如图 1 所示(未计尺寸效应)。由图 1 可知当 $H_{SY} = 1.15 \text{ m}$ 时, $H_P = 1.51 \text{ m}$, $Q_{SY} = Q_P = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$, $\eta_P = 82.5\%$, $\eta_{SY} = 62.75\%$ 。

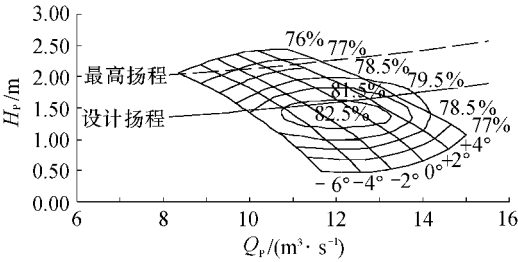


图 1 原型泵预测性能曲线

2.2 水泵叶轮中心安装高程 H_s

目前已建低扬程泵站水泵选用的水力模型主要有 350ZMB-3.4(叶片角度 0° ,汽蚀比转速 $C = 1350$),ZBM931-1350(0° , $C = 1274$),ZM3.0-Y991(0° , $C = 1183$)等,工程建成运行后水泵汽蚀性能良好。从安全考虑,按 $C = 1000$ 确定水泵叶轮中心安装高程。

水泵叶轮中心安装高程

$$H_s = H_a - [NPSH] - H_V - \Delta h - \frac{D}{2}$$

式中: H_a 为大气压力,按 10.33 m 计; $[NPSH]$ 为许用汽蚀余量,通常按 $[NPSH]$ 的 1.35 倍计, $[NPSH] = \left[\frac{5.62n\sqrt{Q}}{C} \right]^{4/3}$; H_V 为汽化压力,按 0.4 m 计; Δh 为吸水管路损失,考虑为 0.2 m 。则

$$H_s = 8.73 - 1.35 \left[\frac{5.62n\sqrt{Q}}{C} \right]^{4/3}$$

由图 1 查出设计、最大扬程工况下水泵流量,算得水泵叶轮中心安装高程分别为 3.93 m 和 4.42 m ,均大于零,说明可安装于水面以上。结合上、下游引河河底高程条件,确定叶轮中心高程为 0.0 m ,叶轮上缘淹没深度 1.23 m ,叶轮中心淹没深度 2.23 m 。

2.3 进、出水流道参数设计

2.3.1 流道进、出口断面参数

根据规范[5]中流道进口流速宜取 $0.8 \sim 1.0 \text{ m/s}$,出口流速不宜大于 1.5 m/s 的要求,确定流道进、出口断面尺寸均为 $5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ (宽 $\times$ 高),设计工况流道进、出口断面平均流速为 0.976 m/s 。

2.3.2 流道线型设计

对于竖井贯流泵装置流道线型尺寸,目前尚无较成熟的设计方法,初设阶段按流道断面面积均匀变化初步确定主要结构尺寸后,采用 CFD 技术,按照叶轮室进口流场流速分布均匀[5,6]、出水流道要求线形光滑平顺、出口流速限制在一定范围内[5]、流道内不发生脱流和旋涡且流道长度不宜过长的原则对流道进行优化设计。

优化后的进、出水流道立面、平面流场如图 2 所示①。由图 2 中可见竖井前置时,竖井两侧流道内的水流流动属收缩流动,水流在立面和平面两个方向均匀加速。平直管出水流道只需控制边界扩散角,基本能够达到平面、立面流速均匀扩散,无明显旋涡和脱流。

2.3.3 竖井进水流道特征尺寸

竖井式进水流道包括竖井及流道外壁两部分。优化后的流道线型如图 3 所示,其主要结构尺寸与叶轮直径关系如下:流道外壁全长 $6.075D$,由直线段和收缩段组成,其中直线段长 $2.825D$,收缩段长 $3.25D$,收缩曲线斜率 $0.00 \sim 0.64$ 。竖井由前锥段、

①扬州大学水利与建筑工程学院. 无锡市梅梁湖泵站进、出流道优化水力设计研究报告, 2002.

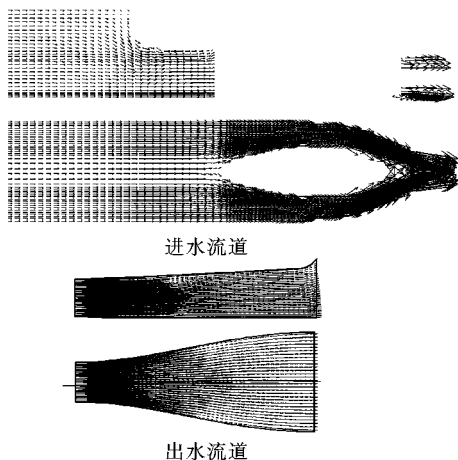


图2 进、出水流道立面、平面流场

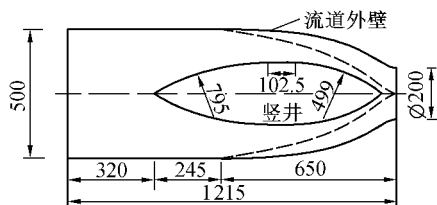


图3 竖井流道线型(单位:cm)

平直段和尾锥段三部分组成,两锥段均采用圆弧形流线.前锥圆弧半径 $3.975D$,长 $2.1D$,圆心角 32° ,曲线斜率 $0.74 \sim 0.0$;平行段长 $0.51D$,灯泡比 $0.95D$ (内径、外径灯泡比 1.2);后锥段圆弧半径 $2.495D$,长 $1.5875D$,圆心角 40° ,曲线斜率 $0.0 \sim -0.57$.

2.4 装置性能试验

为确定合适的转轮模型,初设阶段选择了3个水力性能较优秀的转轮模型,按 nD 值不变的相似准则进行同台对比试验,模型泵装置转速 $n_M = 933 \text{ r/min}$,叶轮直径 $D_M = 0.3 \text{ m}$.试验结果表明机组转速、叶轮直径等设计参数选择合适,流道水力损失小,原型泵装置性能曲线如图4所示. $H_{SY} = 1.15 \text{ m}$ 时, $Q_P = Q_{SY} = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (0°), $\eta_{SY} = 62.5\%$.

2.5 启动与断流设计

流道进口设检修门,出口设平面直升式钢结构

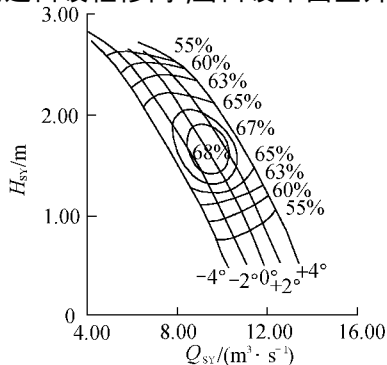


图4 原型泵装置性能曲线

快速闸门断流,配 $QPQ2 \times 160 \text{ kN}$ 启闭机.每台机组出水流道顶板设3个溢流孔用于机组启动时的安全泄流,总溢流孔面积 1.27 m^2 ,其中中孔直径 80 cm ,边孔直径 70 cm .机组启动时间约 15 s ,可明显看到溢流孔溢出水形成的瀑布,机组运行平稳.

2.6 主要配套设备选择

2.6.1 电机

配套电机型号为 $Y400-6$,额定功率 355 kW ,转速 988 r/min ,额定电压 6 kV ,可正反向运转,质量为 2.22 t ,无辅助油、水系统,采用半管道通风方式,自然进风,管道出风.

2.6.2 齿轮箱

齿轮箱采用平行轴结构,进口产品,型号为 $H2SH11$ (德国 $FLENDER$),速比 7.1 ,质量约 1.45 t ,可以正反转,飞溅润滑,外部冷却,每台 15 万元.

2.6.3 水导轴承

水泵前导叶内的水导轴承采用稀油润滑巴氏合金轴承, $N46$ 机械油润滑.润滑油储存在水泵旁的油箱内,油箱高度基本与水泵等高.水导轴承具有三个方面的特点:一是轴瓦外壳设计成球体,自动对正中心,轴瓦与轴承座采用球面接触,可沿轴线灵活转动,均衡轴瓦受力.二是轴承体所有零件均沿轴中心分半结构,便于安装、检修.三是采用3只骨架油封,里边1只开口向内封油,外面2只开口向外封水,并在封油骨架油封与封水骨架油封间和2只封水骨架油封间均设置一道回油环,将漏出的油或水通过回油(水)环管及时引出泵外.轴承体结构如图5所示.

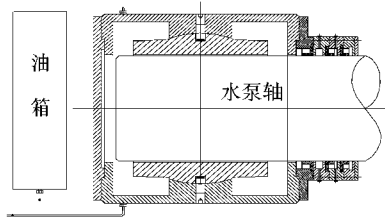


图5 水导轴承结构示意图

3 体会

3.1 竖井前置与后置装置水力性能比较

按竖井相对于叶轮的位置,竖井贯流泵装置可分为前置式和后置式两种形式,两种装置的水力性能如何,目前尚存在一些争议.本工程初设阶段对竖井后置式装置(装置全长 26 m ,直管式进水流道长 11.5 m ,出水流道内设竖井,竖井末端出水流道长 3.7 m)亦采用 CFD 技术进行了优化计算,竖井出水流道平面流场如图6所示.由流场图可见,受竖井压缩,出水流道流速分布不均,竖井平行段最大流速 4.0 m/s ,尾锥段

最大流速 3.3 m/s. 水流经竖井后, 未能及时扩散而形成射流进入出水流动末端, 在竖井后形成很大的脱流区, 并扩散至流道外. 流道出口处最大流速达 2.0 m/s, 最大流速与最小流速之比达 18^①.

分别计算两装置流道局部水力损失摩擦系数, $S_{前置} = 30.906 \times 10^{-4} \text{ s}^2/\text{m}^5$, $S_{后置} = 34.56 \times 10^{-4} \text{ s}^2/\text{m}^5$, 后置略差于前置^②. 前置式装置中, 竖井尾部收缩、水流转向、出水流动扩散三部分合计水力损失占 $S_{前置}$ 的 90.46%; 后置式装置中, 竖井段(含竖井末端脱流)损失占 $S_{后置}$ 的 88.98%. 可见影响前置式泵装置水力性能的主要因素是水泵进口前水流转向与收缩和出水流动扩散, 影响后置式泵装置水力性能的主要因素是出水流动竖井两侧水流的转向、扩散及流动能量回收特性.

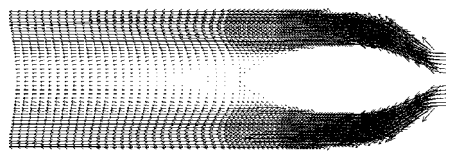


图 6 后置式竖井出水流动平面流场

3.2 竖井尺寸

本工程水泵直径 2.0 m, 竖井内径最大距离是 1.9 m. 机组安装完成后发现周围剩余的空间较小. 运行时, 受空间限制, 电机通风困难, 定子运行温度最高达 89.5 ℃. 对于采用此装置的其他工程建议适当加大竖井径向及横向尺寸, 对机组采用强迫进、出风和水冷却方式, 以保证电机正常运行.

4 结 语

梅梁湖泵站已建成并投入运行, 机组运行平稳, 达到了设计要求. 工程的成功建成, 拓宽了低扬程卧式泵机组选型范围, 可供南水北调东线工程 9 座拟采用卧式机组泵站的设计参考.

参考文献:

[1] 梅瑞松, 杨富昌. 我国泵站工程的现状与发展[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(1): 21—23.
 [2] 阮复兴, 许跃华. 大型低扬程轴流泵的评述[J]. 排灌机械, 2002, 22(5): 13—14.
 [3] 刘超, 汤方平, 袁家博, 等. 高性能低扬程轴流泵水力模型开发与应用[J]. 水泵技术, 2001(3): 3—6.
 [4] 颜红勤, 葛强. 基于 Excel 的大型泵站水泵装置选型优化[J]. 中国农村水利水电, 2004(4): 80—82.

①扬州大学水利与建筑工程学院. 无锡市梅梁湖泵站进、出流道优化水力设计研究报告, 2002.
 ②江苏省水利工程科技咨询中心. 无锡市梅梁湖泵站枢纽工程初步设计咨询报告, 2003.

[5] GB/T50265-97 泵站设计规范[S].
 [6] 陆林广. 泵站进水流道设计理论的新进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2001, 29(1): 40—45.
 [7] 成立, 刘超, 周济人. 泵站前池底坝整流数值模拟研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2001, 29(3): 42—45.
 (收稿日期 2004-08-20 编辑 骆超)

(上接第 84 页) 在建工程中廊道三维配筋模型及自动标注配筋视图. 图中标注信息正确完备, 标注文本清晰, 基本无重叠, 达到了施工图的要求. 通过运用本系统, 工程师从琐碎的制图和统计活动中解脱出来, 可将主要精力用于创意性设计.

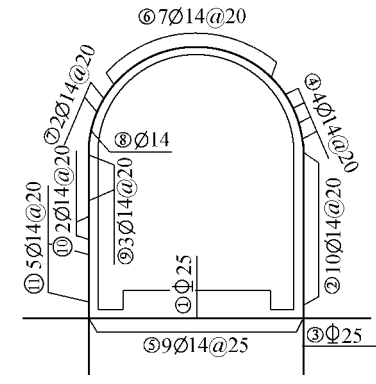


图 7 剖切面视图(自动标注后)

参考文献:

[1] 阮建新, 张茨兰. 坝内斜交廊道钢筋 CAD 软件研究[J]. 武汉水利水电大学学报, 1995, 18(5): 488—493.
 [2] 刘农, 张振鑫, 黄俊友, 等. 多孔水闸 CAD 系统[J]. 河海大学学报, 1998, 26(6): 21—25.
 [3] Ahart J R. Computer-aided building-design system(CADBDS). Journal of Computing in Civil Engineering[J]. 1997, 11(1): 4—5.
 [4] 孙江宏, 黄小龙, 罗坤. Pro/ENGINEER 2001 中文版[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
 [5] 方庆, 徐约素. 画法几何与水利工程制图[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
 (收稿日期 2004-08-30 编辑 骆超)

