

YJG4017型循环水泵节能改造探讨

谢明均

(四川华电宜宾发电有限责任公司, 四川 宜宾 644000)

摘要: 主要介绍宜宾发电公司 YJG4017 型循环水泵节能技术改造方案及改造后的运行节能效果分析。

关键词: 循环水泵; 节能改造; 技术方案; 效益分析

Abstract: In this article it is in chief to introduce the energy save technology transform plan and the efforts analyze after transform of the type YJG4017 water-cycle pump in Sichuan Yibin generate Co., Ltd

Key word: Water-cycle pump; Energy saving & Technology transform; Technology plan; Efforts analysis

中图分类号: TK263 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)04-0024-03

宜宾发电有限公司 11、12 号机组单台循环水泵均按 50% 容量设计选型且未考虑备用泵, 当任一循环水泵故障检修时势必导致机组降出力运行。3、4 号循环水泵 (YJG4017) 设计流量为 $9\ 072\ \text{m}^3/\text{h}$ 扬程 $42\ \text{m H}_2\text{O}$ ($0.41\ \text{MPa}$), 配用电机功率 $1\ 600\ \text{kW}$, 实际运行中电机存在较大的富裕容量。在保持现有电机和泵壳不变的前提下, 对叶轮进行优化可将泵的最大出力增大 $11\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$ 扬程 $42\ \text{m H}_2\text{O}$ ($0.41\ \text{MPa}$)。改造后可采用 2 台大泵 + 1 台小泵的方式运行, 既保证 11、12 号机组带额定负荷, 又保证机组有备用泵, 大大提高机组运行的安全性和经济性。

1 系统现状

1.1 循环水泵及电机主要技术规范

1.1.1 循环水泵

设备型号: YJG40-17

生产厂家: 湘电长沙水泵厂有限公司

表 1 设备技术规范

项目	参数	项目	参数
扬程	41.8 m	流量	$9\ 072\ \text{m}^3/\text{h}$
重量	23 000 kg	转速	496 r/min
汽蚀余量	9.8 m	轴功率	1 188 kW

1.1.2 循环水泵配套电机

设备型号: YL1600-12/1730

生产厂家: 湘潭电机股份有限公司

表 2 设备主要技术规范

项目	参数	项目	参数
额定电流	191.7 A	频率	50 Hz
重量	21 000 kg	转速	496 r/min
额定电压	6 000 V	功率	1 600 kW
功率因素	0.82	绝缘等级	F 级 IP23

1.2 YJG4017 循环水泵实际运行参数

表 3 运行参数

运行季节	冬季	春季	夏季
泵出口压力 (MPa)	0.435	0.435	0.435
出口压力表高 (m)	2.63	2.63	2.63
泵进口压力 (MPa)	0.035	0.05	0.15
进口压力表高 (m)	2.2	2.2	2.2
电机额定电流 I_1 (A)	191.7	191.7	191.7
实际运行电流 I (A)	161	159	157
水泵实际流量 Q (m^3/s)	2.37	2.52	2.94

1.2.1 水泵实际运行扬程

根据表 6 所示数据可知, 该泵进、出口总能头可计算如下:

$$H_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1$$

表 4 进口总能头

运行季节	冬季	春秋季	夏季
H_1 (m)	5.38	7.37	17.6

$$H_2 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

表 5 出口总能头

运行季节	冬季	春秋季节	夏季
H_2 (m)	46.61	46.62	47

式中: Z_1 为从泵进口管中心到进口压力表的高差, $Z_1 = 2.2$ m;

Z_2 为从泵进口管中心到出口压力表的高差, $Z_2 = 2.5$ m;

P_1 为泵进口表压;

P_2 为泵出口表压;

V_1 为泵进口测压断面的平均流速;

V_2 为泵出口测压断面的平均流速。

水泵实际运行扬程可计算如下 (见表 6):

$$H = H_2 - H_1$$

表 6 实际运行扬程

运行季节	冬季	春秋季节	夏季
H (m)	41.23	39.25	29.4(32)

1.2.2 水泵实际轴功率

水泵电机功率为 1 600 kW, 满负荷运行时电机电流为 191.7 A, 实际运行时电流见表 6, 则泵实际运行轴功率可估算如下:

$$N_1 = \frac{I}{I} \times 1\,600$$

1.2.3 水泵实际流量

水泵实际流量可按下式计算:

$$Q = \frac{N_1 \times \eta}{\gamma \times H}$$

式中: η 为水泵在该工况点的运行效率。

2 技改方案

本次 YJG4017 型水泵技术改造采用更换叶轮、密封环等关键部件, 电机、泵壳、管路均保持不变的技改方案, 达到大幅度增加水泵流量和明显降低水泵能耗之目的。其特点是投资少、见效快、效果好。进行上述技改工作, 是以高效水泵新技术为基础的, 通过对水泵过流部件的优化设计并利用高精度模型试验研究开发出的新型水泵, 配以现代化的加工方法及工

艺, 可以实现这一技改目标。

2.1 采用优秀水力模型

制造厂对计算机设计的若干种水力模型, 进行三维流动分析, 根据设计工况下的流场分布及压力场分布及情况, 得到水力模型的修型依据, 从而完成水力模型的优化。对于四川华电宜宾发电公司的 YJG4017 型水泵, 可使用 LY-18 型水力模型进行技术改造。这种水力模型的性能在高精度水泵通用试验台上进行了验证试验, 试验台对效率测试的综合误差小于 0.5%。试验模型泵叶轮尺寸为 $D_2 = 350$ mm, 试验转速为 $n = 1\,000$ r/min, 模型泵最小雷诺数 Re_{min} 满足 SL140-97 (水泵模型验收试验规程) 及 IEC497(1976) 的有关要求。试验内容包括能量特性和汽蚀特性等内容。模型泵能量性能试验结果见表 7, 汽蚀试验结果见表 8。

表 7 LY-18 水力模型能量试验结果

($D_{2m} = 0.35$ m, $n_m = 1\,000$ r/min)

NO	H_m (m)	Q_m (l/s)	N_m (kW)	η_m (%)
1	15.68	144.28	25.91	85.49
2	5.47	150.07	26.28	86.49
3	15.32	154.90	26.63	87.27
4	15.00	159.66	27.76	87.62
5	14.67	165.96	27.12	87.89
6	14.41	171.02	27.30	88.38
7	14.02	176.15	27.44	88.13
8	13.78	179.51	27.43	88.29
9	13.42	185.03	27.61	88.06
10	12.99	190.05	27.66	87.38
11	12.36	198.72	27.85	86.36
12	10.55	218.71	27.81	81.23

表 8 LY-18 水力模型汽蚀试验结果

参数	1	2	3	4	5
Q (l/s)	155.87	158.22	167.59	186.88	189.12
$NPSH$ (m)	1.78	1.81	1.93	2.12	2.23

2.2 采用先进的加工工艺

目前中国泵行业基本采用木模整体铸造的方法制造水泵叶轮等通流部件。由于当前中高比速离心泵叶片均为三维扭曲叶片, 木模整体铸造叶轮会产生较大偏差, 叶轮过流表面也较为粗糙。在制造用于四

川华电宜宾发电公司循环水泵技术改造用新叶轮时, 拟采用铸焊结构。即叶轮的叶片及前、后盖板分别铸造, 叶片利用专用机床按给定的三维坐标点精确加工到位, 前后盖板过流表面利用机床精确加工到位。叶片按特定的工艺定位于后盖板上, 并进行组焊。叶轮外形尺寸在完成正火 + 回火处理后加工到位。叶轮出厂前进行静平衡试验及探伤检查。叶轮尺寸偏差按 IEC497(蓄能泵模型验收试验国际规程) 中有关规定执行。新叶轮叶片型线最大误差 0.8 mm, 60% 的过流表面粗糙度达到 3.2 μ, 其余不低于 6.3 μ。叶轮最大外缘上的不平衡重量不大于 30 克。保持现有电机和泵壳不变, 对叶轮进行优化并轴进行相应改造, 增大循环水泵的出力。

分别见表 9 和表 10。

表 9 LY-18 用于 YJG4017 型水泵
增流技术改造时的能量性能

NO	H _p (m)	Q _p (m ³ /h)	N _m (kW)	η _p (%)
1	44.55	10 143	1 399.7	87.9
2	44.26	10 551	1 420.1	88.9
3	43.52	10 890	1 438.7	89.7
4	43	11 225	1 459.9	90.0
5	41.68	11 668	1 466.3	90.3
6	40.94	12 024	1 476.1	90.8
7	39.82	12 384	1 483.9	90.5
8	39.14	12 620	1 484.5	90.7
9	38.13	13 009	1 492.3	90.5
10	36.91	13 361	1 495.2	89.8
11	35.11	13 971	1 504.2	88.8
12	29.97	15 377	1 501.2	83.6

3 循环泵技改效果理论分析

3.1 改造后的性能计算

上述水力模型用于四川华电宜宾发电公司 YJ64017 和 24MNF-47A 型循环水泵技术改造时的性能计算公式见式 (1)。

表 10 LY-16 用于 24MNF-47A 型水泵
增流技术改造时的能量性能

NO	H _p (m)	Q _p (m ³ /h)	N _m (kW)	η _p (%)
1	47.5	5 958.8	921.2	83.66
2	46.14	6 748.3	973.4	87.1
3	45.32	7 439.2	1 030.4	89.08
4	44.18	7 835.6	1 049.2	89.84
5	42.5	8 475.9	1 080.5	90.76
6	40.95	9 002.7	1 098.7	91.35
7	39.95	9 487.6	1 127.7	91.52
8	39.43	9 645.6	1 130	91.63
9	38.62	9 757.1	1 121.2	91.52
10	37.24	1 0058.3	1 118.3	91.2
11	35.48	1 0828.2	1 156.6	90.42
12	31.71	11 633.9	1 145.8	87.67

$$\Delta \eta = \frac{3}{4} (1 - \eta_{m, \max}) \left(1 - \sqrt{5 \frac{D_{2m}}{D_{2p}}}\right)$$

$$\eta_p = \eta_m + \Delta \eta$$

$$H_p = H_m \left(\frac{n_p}{n_m}\right)^2 \left(\frac{D_{2p}}{D_{2m}}\right)^2 \quad (1)$$

$$H_p = Q_m \left(\frac{n_p}{n_m}\right) \left(\frac{D_{2p}}{D_{2m}}\right)^3$$

$$Q_p = Q_m \left(\frac{n_p}{n_m}\right)^3 \left(\frac{D_{2p}}{D_{2m}}\right)^5 \cdot \frac{\eta_m}{\eta_p}$$

$$NPSHP = (NPSH_m) \left(\frac{n_p}{n_m}\right)^2 \left(\frac{D_{2p}}{D_{2m}}\right)^2$$

式中: D——叶轮名义直径;

n——水泵额定转速;

NPSH——水泵汽蚀余量;

角标 m——代表模型参数值;

角标 p——代表原型参数值;

η——水泵效率;

Q——水泵流量;

H——水泵扬程;

N_T——水泵轴功率。

LY-18 和 LY-16 水力模型用于四川华电宜宾发电公司 YJG4017 型循环水泵增流节能技术改造时的能量性能和汽蚀性能 (表 11、12) 经 (1) 式换算后

表 11 LY-18 用于 YJG4017 型水泵
增流技术改造时的汽蚀性能

参数	1	2	3	4	5
Q(m ³ /h)	10 959	11 124	11 782	13 139	13 297
NPSH(m)	5.06	5.14	5.48	6.02	6.34

表 12 LY-16 用于 24MNF-47A 型水泵
增流技术改造时的汽蚀性能

参数	1	2	3	4
Q(m ³ /h)	6 828	8 093	9 758	12 207
NPSH(m)	4 093	4.14	5.66	10.21

(下转第 53 页)

表 4 第二产业 GDP 高、中、低水平数据

年 份	第二产业 高方案 GDP (亿元)	第二产业 中方案 GDP (亿元)	第二产业 低方案 GDP (亿元)
2000	1 765. 215 8	1 700. 545 3	1 610. 364 0
2001	1 928. 864 6	1 872. 087 2	1 836. 189 8
2002	2 115. 865 1	2 060. 496 4	987. 186 5
2003	2 308. 146 8	2 267. 330 5	2 208. 984 5
2004	2 513. 867 4	2 494. 341 0	2 416. 818 4
2005	2 791. 187 5	2 735. 441 7	2 653. 189 5

表 5 模型中微分方程参数

参 数	a	u
二产高方案 GM (1, 2)	1. 260	0. 431
二产中方案 GM (1, 2)	1. 361	0. 470
二产低方案 GM (1, 2)	1. 396	0. 496

表 6 几种模型预测结果及误差

模 型	预测值	实际值	精 度
二产高方案 GM (1, 2)	967. 400	957. 78	-1. 004%
二产中方案 GM (1, 2)	953. 256	957. 78	0. 47%
二产低方案 GM (1, 2)	950. 245	957. 78	0. 79%

4 结论

以重视负荷成因,考虑区间预测为出发点,结合传统负荷预测方法的优点,对灰色 GM (1, 2)模型在中长期负荷预测应用中的预测效果进行了验证。结合三个产业影响的 GM (1, 2)模型预测结果更为合理,精度也比较理想,与 GM (1, 1)模型相比并没有明显的下降。与此同时,在对二产 GDP 高、中、低三个水平的预测后确定了预测结果的区间范围。

(上接第 26 页)

以上数据表明,LY-18 和 LY-16 水力模型用于循泵改造时可满足节能和水泵安装高程的要求。

4 改造后的实际运行效果

4.1 YJG40-17 型水泵技术改造后的主要运行参数

表 12 主要运行参数

运行季节	冬季	春秋季	夏季
Q(m ³ /s)	3. 1	3. 32	4. 12
H(m)	43	41	32
N(kW)	1 460	1 476	1 503
η(%)	89	89. 5	86

电机电流: 176 A;电机线圈最高温度: 70℃;电机推力轴承温度: 52℃;电机上导轴承温度: 53℃;

该模型考虑了相关因素对预测负荷的影响,可以用于历史数据少,序列波动平缓的中长期负荷预测。

参考文献

- [1] 邓聚龙. 灰色系统理论教程 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990. 215-244
- [2] 傅立. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992. 37-57
- [3] 牛东晓等编著. 电力负荷预测技术及其应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [4] 康重庆, 夏清, 张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 1-11.
- [5] 苏娟, 杜松怀. GM (1, 2)短期现货电价灰色预测模型 [J]. 继电器, 2006, 34(1): 46-49.
- [6] 牛东晓, 张彤彤, 陈立荣, 张博. 基于关联分析的多因素电力负荷预测灰色模型群研究 [J]. 华北电力大学学报, 2006, 33(3): 90-92.
- [7] 樊爱军, 王开. 多因素时间序列资料 GM (1, N)预测模型及其应用 [J]. 第三军医大学学报, 2003, 25(19): 1774-1775.
- [8] 张龙庭, 罗佑新. 试验数据处理的多因素灰色模型 GM (1, N)及其应用 [J]. 机械设计, 2003, 20(3): 23-25.
- [9] 康重庆, 夏清, 沈瑜等. 电力系统负荷预测的综合模型 [J]. 清华大学学报, 1999, 39(1): 8-11.
- [10] 陈锦涛. 优化灰色模型在负荷预测中的应用 [J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2003, 12(4): 125.

作者简介

- 闫晨光 (1987-), 男, 本科生, 电力系统及其自动化方向;
阮仁俊 (1983-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向: 电力系统稳定与控制, 负荷预测;
王海燕 (1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 电力系统稳定与控制。

(收稿日期: 2008-06-15)

电机下导轴承温度: 40℃;泵轴承温度: 38℃;泵及电机轴承最大振动: 0. 026 mm。

4.2 改造后节能效果分析

目前在冬、春、秋三个季节需开一台大泵和二台小泵,总循环水量为 $9\ 072+2\times 6\ 372=21\ 816\ \text{m}^3/\text{h}$,改造后一台大泵和一台小泵的总流量为 $11\ 952+8\ 928=20\ 880\ \text{m}^3/\text{h}$ 两者相差 $936\ \text{m}^3/\text{h}$ 可基本实现在冬、春、秋三个季节少开一台小泵之目的。

在夏季需开二台大泵和两台小泵,总循环水量为 $2\times 10\ 584+2\times 9\ 576=40\ 320\ \text{m}^3/\text{h}$,改造后二台大泵和一台小泵的总流量为 $2\times 14\ 832+11\ 520=41\ 184\ \text{m}^3/\text{h}$ 也可实现在夏季少开一台小泵之目的,每年可实现节能:

按电价为 0. 3元/kWh 计算,每年可实现节能效益: $0. 32\times 2\ 427\ 000=72. 81$ 万元。

(收稿日期: 2008-05-15)