

火力发电厂 300 MW 级供热机组 凝结水泵配置分析

杨晓露¹, 蔡明哲²

(1. 辽宁电力勘测设计院, 辽宁 沈阳 110005; 2. 辽宁电力第四工程公司, 辽宁 辽阳 111000)

摘要: 为解决 300 MW 级供热机组的凝结水泵配置问题, 列举了 4 种方案, 分别为: 2×100%容量凝结水泵; 3×50%容量凝结水泵; 2×100%容量凝结水泵加变频器; 3×50%容量凝结水泵加变频器。并从安全性、初投资、运行费用、检修维护等方面对 4 种方案进行了比较论证, 在对各方案进行经济比较时采用了年费用最小法。研究表明, 2×100%容量凝结水泵加变频器方案的年费用最小, 仅为 159.4 万元/年, 且安全可靠, 可供同类型机组电站设计参考。

关键词: 发电厂; 机组; 凝结水泵; 可靠性

中图分类号: TM9; TM611

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)12-1512-04

Condensate pumps' arrangement analysis of 300 MW class thermal power plant

YANG Xiao-lu¹, CAI Ming-zhe²

(1. Liaoning Electric Power Survey and Design Institute, Shenyang 110005, China;

2. The Fourth Company of Liaoning Electric Power, Liaoyang 111000, China)

Abstract: In order to solve the 300 MW level heating unit's condenser pump disposition problem, four plans was enumerated, respectively including 2×100% capacity condensate pump; 3×50% capacity condensate pump; 2×100% capacity condensate pump equipped with the frequency changer; 3×50% capacity condenser pump equipped with the frequency changer. And the security reliability, the beginning investment, operating cost, overhaul maintenance and so on, were compared and proved. When carried on the economical comparison in various plans, the expense smallest method was used. The result indicates that the most economic plan is 2×100% capacity condenser pump equipped with the frequency changer one, that the year expense is only 1,594,000 Yuan/year, and it is also safe and reliable, therefore, which is referenced to the same type power plant design.

Key words: power plant; unit; condensate pump; reliability

0 引 言

凝结水泵作为电厂的重要辅机和凝结水系统的关键设备, 它的合理选型和配置是优化凝结水系统设计的关键。

根据《火力发电厂设计技术规程》(DL5000-2000) 第 10.5.1 条规定: “单台凝汽式机组宜装设两台凝结水泵, 每台凝结水泵容量为最大凝结水量的 110%; 如大容量机组需装设 3 台容量各为最大凝结水量 55%

的凝结水泵时, 应进行技术经济比较后确定”。《火力发电厂设计技术规程》(DL5000-2000) 第 10.5.2 条规定: “供热式机组当机组投产后需较长时间在纯凝汽工况或低热负荷工况下运行时, 宜装设 3 台 110% 设计热负荷工况下凝结水量或 3 台 55% 最大凝结水量的凝结水泵, 两者比较取较大值^[1]”。

一般的工程单台机组可以配置 2×100% 容量凝结水泵或者配置 3×50% 容量凝结水泵(注: 100% 容量指的是最大凝结水量的 110%; 50% 容量指的是设计热负

荷工况下凝结水量的 110%或最大凝结水量的 55%, 两者比较取较大值)^[2]。

针对供热机组的实际特点和机组运行模式,本研究主要提出以下几个凝结水泵配置方案进行技术经济比较:

方案一,2×100%容量凝结水泵;

方案二,3×50%容量凝结水泵;

方案三,2×100%容量凝结水泵加变频器(一拖二,变频器容量与单台凝泵电机容量相对应);

方案四,3×50%容量凝结水泵加变频器(一拖二+一拖一,变频器容量与单台凝泵电机容量相对应)。

以下论述中简称为方案一、方案二、方案三、方案四。

1 凝结水泵配置方案的优化分析

1.1 各凝结水泵配置方案运行可靠性比较

凝结水泵的运行可靠性与凝结水泵制造安装质量、机组的运行模式及机组的备用台数有关。机组的运行模式在电厂设计阶段根据当地的负荷情况及机组在电网中的地位等因素确定。

本研究假设机组年利用小时数为 5 500 h, 机组年运行小时数为 7 700 h, 采暖期天数为 152 天(3 648 h), 经过计算分析,确定机组运行模式如表 1 和表 2 所示。

表 1 采暖期机组运行时间及发电机功率表

负荷	运行小时数/h	发电机功率/MW
采暖期平均抽汽工况	3 648	218.470

注:机组启停时间忽略不计,本表未予考虑。

表 2 非采暖期机组运行时间表

负荷/(%)	运行小时数/h	发电机功率/MW
86.78	2 520	286.373
60	1 450	198.000
35	82	115.500

注:35%负荷为考虑机组稳燃工况。

经过计算分析得知:单台机组配置 2×100%容量凝结水泵,机组在 86.78%负荷、60%负荷、35%负荷等工况下运行时为一台泵运行,一台泵备用。单台机组配置 3×50%容量凝结水泵,机组在 86.78%负荷工况下运行时为两台泵运行,一台泵备用;机组在 60%负荷、35%负荷工况下运行时为一台泵运行,两台泵备用。由此可知,机组在 86.78%负荷下运行时,方案一与方案二均为一台泵备用,但是机组在 60%负荷、35%负荷下运行时方案一为一台泵备用,方案二为两台泵备用。因此,综合来看,方案二的运行安全性要优于方案一(86.78%负荷、60%负荷、35%负荷均为相对于发电机额定功率而言)。

在国外,早期受到容量限制,3×50%容量凝结水泵的配置用得比较多;近期由于凝结水泵的可靠性能得到充分保证,1×100%容量凝结水泵的配置用得也逐渐多起来。在日本,由于机组容量太大,2×50%容量凝结水泵的配置已经用至 1 000 MW 容量的机组。他们认为同给水泵、循环水泵一样,凝结水泵的可靠性是能充分保证的^[3-5]。

方案三,2×100%容量凝结水泵加变频器简易接线图如图 1 所示。

方案四,3×50%容量凝结水泵加变频器简易接线图如图 2 所示。

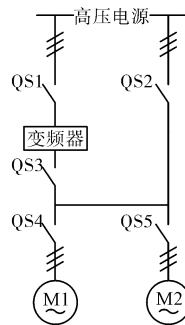


图 1 2×100%容量凝结水泵加变频器简易接线图

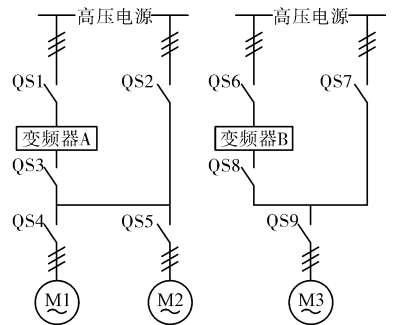


图 2 3×50%容量凝结水泵加变频器简易接线图

其中,方案三,变频器只能拖带 M1 或者 M2,不能同时带 M1、M2 运行。方案四,变频器 A 只能带 M1 或者 M2 运行,不能同时拖带 M1、M2 运行,变频器 B 只带 M3 运行,M3 可以与 M1 或者 M2 并联运行,M1 与 M2 不能同时运行。

方案一、方案二、方案三、方案四的初投资成本比较表如表 3 所示^[6]。

表 3 方案三与方案四初投资比较表(单台机组)

名称	方案一		方案二		方案三		方案四	
	数量	单位	数量	单位	数量	单位	数量	单位
凝结水泵	2	台	3	台	2	台	3	台
凝结水泵单价	68	万元	55	万元	68	万元	55	万元
凝结水泵总价	136	万元	165	万元	136	万元	165	万元
变频器总价	-	-	-	-	125	万元	126	万元
高压开关柜总价	15	万元	15	万元	30	万元	60	万元
方案初投资总价	151	万元	180	万元	291	万元	351	万元

由表 3 可见,方案一初投资最低,方案二次之,方案三比方案四初投资节省 60 万元,同时经计算方案三与方案四的全年度耗电量基本相等(如表 4 所示),再考虑到方案四操作复杂,安全可靠性能较差,故不推荐方案四。

1.2 各凝结水泵配置方案经济性比较。

单台机组运行模式如表 1 和表 2 所示。

单台机组各凝结水泵配置方案耗电量按下式计算：

$$\begin{aligned} W_1 &= \sum H_1 \times P_1 \times N_1 \\ W_2 &= \sum H_2 \times P_2 \times N_2 \\ W_3 &= \sum H_3 \times P_3 \times N_3 \\ W_4 &= \sum H_4 \times P_4 \times N_4 \end{aligned} \quad (1)$$

式中： $W_1、W_2、W_3、W_4$ —单台机组分别按方案一、方案二、方案三、方案四配置的全年度耗电量， $\text{kW}\cdot\text{h}$ ； $H_1、H_2、H_3、H_4$ —单台机组分别按方案一、方案二、方案三、方案四配置时各个工况的运行小时数， h ； $P_1、P_2、P_3、P_4$ —单台机组分别按方案一、方案二、方案三、方案四配置时各个工况凝结水泵的电机输入功率， kW ； $N_1、N_2、N_3、N_4$ —单台机组分别按方案一、方案二、方案三、方案四配置时各个工况运行凝结水泵的台数。

经计算，单台机组各凝结水泵配置方案的耗电量如表 4 所示^[7-10]。

经济性比较的方法采用“年费用最小法”。其计算公式如下：

$$NF = Z \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] + U \quad (2)$$

式中： NF —年费用； r —投资回收率，按《电力工程经济分析暂行条例》取 0.1； n —工程的经济使用年限，按《电力工程经济分析暂行条例》取 25 年； Z —折算到投产年份的设备总价格。

且：

$$Z = \sum_{t=1}^m Z_t(1+i)^{m-t} \quad (3)$$

式中： t —从投资开工这一年起至计算年的年数， m —包括工程部分投产年度在内的施工年数， Z_t —第 t 年的基建投资， i —投资利润率， U —折算年运行费。

在进行计算时， n 的取值有不同的看法，在作经济性比较时，电力工程一般取 $n=6\sim 7$ 年，而按《电力工程经济分析暂行条例》取 25 年。

经过综合分析后确定年固定费用率（即公式中括号内的数值）统一按 0.17（含设备折旧与大修费）取值。同时在进行设备选型经济性比较时，不考虑拉平煤价及补偿装机问题。煤价按照当地实际煤价计算。另外，认为每年的年运行费用均相等，设为 U_0 。

这样最小年费用就可表示为：

$$NF = 0.17Z + U_0 \quad (4)$$

暂定从签订合同到投产估计要 2 年时间。设备总价格为 Z_0 ，投资回报率 $r_0 = 0.1$ ，则折算到投产年份的总投资为：

$$Z = (Z_0/2) \times (1 + 0.1)^{2-1} + (Z_0/2) \times (1 + 0.1)^{2-2} = 1.05Z_0 \quad (5)$$

则，凝结水泵年费用为：

$$NF = 0.17 \times 1.05 \times Z_0 + U_0 = 0.1785Z_0 + U_0 \quad (6)$$

单台机组各方案的年费用对比如表 5 所示。

表 4 各方案凝结水泵的耗电量(单台机组)

	方案一 2×100% 容量凝结水泵	方案二 3×50% 容量凝结水泵	方案三 2×100% 容量凝结水泵加变频器	方案四 3×50% 容量凝结水泵加变频器
采暖期平均抽汽工况运行小时数/h	3 648	3 648	3 648	3 648
86.78%负荷工况运行小时数/h	2 520	2 520	2 520	2 520
60%负荷工况运行小时数/h	1 450	1 450	1 450	1 450
35%负荷工况运行小时数/h	82	82	82	82
采暖期平均抽汽工况运行凝结水泵台数/台	1	2	1	2
86.78%负荷工况运行凝结水泵台数/台	1	2	1	2
60%负荷工况运行凝结水泵台数/台	1	1	1	1
35%负荷工况运行凝结水泵台数/台	1	1	1	1
采暖期平均抽汽工况凝泵效率/(%)	70.2	70.2	81.5	81.5
86.78%负荷工况凝泵效率/(%)	80.2	80.2	81.5	81.5
60%负荷工况凝泵效率/(%)	65.6	81.0	81.5	81.5
35%负荷工况凝泵效率/(%)	48.5	75.3	81.5	81.5
采暖期平均抽汽工况单台凝泵消耗功率/kW	781.8	390.9	440.8	220.4
86.78%负荷工况单台凝泵功率/kW	1 042.4	521.2	949.9	475.0
60%负荷工况单台凝泵功率/kW	761.4	562.1	384.9	384.9
35%负荷工况单台凝泵功率/kW	710.5	431.4	218.9	218.9
采暖期平均抽汽工况单台凝泵电机输入功率/kW	860.0	430.0	484.9	242.4
86.78%负荷工况单台凝泵电机输入功率/kW	1 146.7	573.35	1 044.9	522.5
60%负荷工况单台凝泵电机输入功率/kW	837.6	618.3	423.4	423.4
35%负荷工况单台凝泵电机输入功率/kW	781.5	474.5	240.8	240.8
单台机组各方案全年度耗电量($\text{kW}\cdot\text{h}$)	7 305 567	6 962 408	5 035 739	5 035 626

表 5 各方案的年费用对比表(电价按 0.2 元/(kW·h))

项目	单位	方案一	方案二	方案三	方案四
土建安装及控制费用	万元	38	55	38	55
设备总费用 U_0	万元	189	235	329	406
全年总耗电量	kW·h	7 305 567	6 962 408	5 035 739	5 035 626
全年运行费 U_0	万元	146.1	139.2	100.7	100.7
年费用 NF	万元	179.8	181.1	159.4	173.2
经济排序		3	4	1	2

注:本表全年运行费 U_0 为电价与全年耗电量乘积,其他运行费用较少,未考虑。

2 结束语

按“年费用最小法”原则是设备选型的典范依据,各方案年费用排序分别为方案三(2×100%容量凝结水泵加变频器),方案四(3×50%容量凝结水泵加变频器),方案一(2×100%容量凝结水泵),方案二(3×50%容量凝结水泵),其中因为方案四耗电量高,操作复杂,安全可靠较差本研究不作推荐,而方案三年费用最小为 159.4 万元/年,则应为 4 个方案中最理想的方案。采用此方案 4 年就可以回收成本。而其他配置方案投资都较本方案高。

方案三采用变频器为一拖二,变频器容量与单台凝泵电机容量相对应,不但系统简单,而且无论在任何工况都可以保证机组运行的安全性。

在经济性比较中,凝结水泵加变频器的配置方案的初投资没有考虑设备的寿命问题,一般火力发电厂的设备选型要求寿命 30 年,但一般的变频器的使用寿命保证值只有 15 年。这样在发电厂的寿命期内存在更换一次变频器的可能性。但是由于成本回收的比较快,所以凝结水泵加变频器优越性还是比较突出的。

综上所述,本研究推荐火力发电厂 300 MW 级供热机组凝结水泵采用“2×100%容量凝结水泵(变频器一拖二)”的方案。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会.《火力发电厂设计技术规程》(DL5000—2000)[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 王 泓, 陈奕夫. 300 MW 机组凝结水泵优化配置方案[J]. 吉林电力,2008(4):12-14.
- [3] BURROWS A. New generation of condensate pumps for Russian power [J]. **Engineering World Pumps**,2004,45(7):32-33.
- [4] CAREY G. Condensate pumps...boiler feed pumps...whats the difference[J]. **Oilheating**,2009,68(6):10-15.
- [5] YU Xin-ying. Evaluation of energy consumption and analysis of energy saving[J]. **Energy**,2007(2):6-8.
- [6] 中国电力工程顾问集团公司. 火电工程限额设计参考造价指标(2010 年水平)[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [7] 唐茂平,王 斌. 1 000 MW 超超临界机组凝结水泵优化选型研究[J]. 热机技术,2009(1):5-14.
- [8] 郭立君,何 川. 泵与风机[M]. 北京:中国电力出版社,1994.
- [9] 闫 斌. 火电供热机组凝结水泵系统优化配置探讨[J]. 科技情报开发与经济,2007,17(35):292-294.
- [10] 王玉彬. 基于高压变频器的火电厂凝结水泵一拖二变频调速改造[J]. 工矿自动化,2006,3(6):88-90.

[编辑:张 翔]

(上接第 1501 页)

参考文献(References):

- [1] 叶杭冶. 风力发电机组的控制技术[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 叶杭冶. 风力发电系统的设计、运行与维护[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [3] 国家标准化工作委员会. GB50034-2004 建筑照明设计标准[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [4] 王 晶. 电气照明的节能设计探讨[J]. 低温建筑技术,2009,31(9):34-35.
- [5] 田长虹. 关于对大中型商业建筑照明的浅析[J], 电工技术,2004(7):43-44.
- [6] 姚兴佳,宋 俊. 风力发电机组原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [7] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [8] 牛彩霞. EPS 应急电源及应用选配 [J]. 科技信息,2009(27):76-77.

[编辑:张 翔]