

工频泵与变频泵在母管制系统中并列运行分析

李瑶 郝跃鹏 滕浩 张杜峰
连云港虹洋热电有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i9.7241

[摘要] 热电厂在发电的同时需要对周边企业用户外供蒸汽,大型热电厂汽轮机通常采用背压机组,通过汽轮机的抽汽或排汽对外供汽,机组效率相对较高。背压机组负荷调整方式为以热定电,即外供汽流量决定发电功率。大型化工企业使用的蒸汽参数高,供汽参数的稳定性要求高,供汽中断损失大,并且用汽负荷调整较为频繁,需要供汽单位配合同步调整。为确保供汽稳定,配套热用户为大型化工企业的热电厂,部分系统通常会采用母管制,即相同系统上的设备并列运行,可以降低设备异常对运行的影响,提高外供汽的稳定。热电厂中如常见的除盐水供水系统、给水系统等均会设计为母管制,多台泵并列运行,并会设计一定数量的备用泵,在某台泵出现故障时及时启动备用泵,不会对系统运行造成较大影响。

Analysis of Parallel Operation of Power Frequency Pump and Variable Frequency Pump in the Main Control System

Li Yao, Hao Yuepeng, Teng Hao, Zhang Dufeng
Lianyungang Hongyang Thermal Power Co., Ltd.

[Abstract] Thermal power plants need to supply steam to surrounding enterprise users while generating electricity. Large thermal power plant steam turbines usually use back pressure units, which supply steam to the outside through the extraction or exhaust of the turbine, resulting in relatively high unit efficiency. The load adjustment method of the back pressure unit is based on heat to electricity, that is, the external steam flow determines the power generation. The steam parameters used by large chemical enterprises are high, and the stability requirements for steam supply parameters are high. The loss of steam supply interruption is large, and the steam load adjustment is frequent, requiring the cooperation of the steam supply unit for synchronous adjustment. To ensure stable steam supply, for thermal power plants with large chemical enterprises as supporting heat users, some systems usually adopt a main control system, which means that equipment on the same system runs in parallel to reduce the impact of equipment abnormalities on operation and improve the stability of external steam supply. The common desalination water supply system and water supply system in thermal power plants are designed as main control pipes, with multiple pumps running in parallel and a certain number of backup pumps designed to be started in a timely manner when one pump fails, without causing significant impact on the system operation.

在热电厂中,除盐水泵、给水泵均属重要辅机设备,运行电压高,功率大,运行时间长,有较大的节能降耗空间。考虑到热电厂负荷调整较为频繁的特点,供水系统在设计上要有一

定的可调节性。常见的调节方式有出口节流调节、再循环调节、采用调速泵等方式,调速泵常见有汽动泵、液耦泵、变频泵。从系统的布置和经济性角度考虑,采用变频泵作为调速泵是较

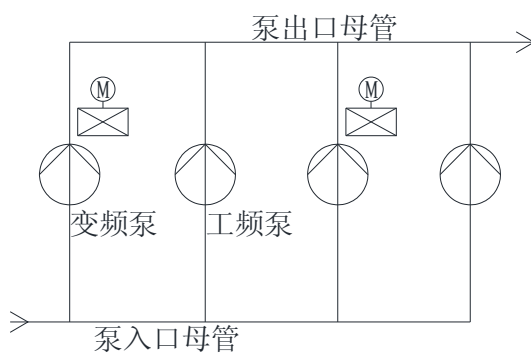
为常见的设备选型。变频泵的特点就是调节线性好, 稳定可靠, 系统简单, 但高压变频器相对成本较高, 将泵全部设计为变频的话前期投入较大, 后期也会存在一定的维护成本。所以从设计上采用工频泵与变频泵并列运行的方式, 既能解决系统调节的问题, 又能降低设计及使用成本, 是较为合理的运行方式。但母管制给水系统中如果工频泵与变频泵选型的不合适可能造成调节空间小, 甚至无法并列运行的情况。本文分析工频泵与变频泵在并列运行中容易出现的问题, 并对这些问题提出合理解决方案, 从而实现该模式下系统运行的可调节性和经济性。

背景介绍: 某大型热电厂配置为 6 台 800t/h 的循环流化床锅炉, 3 台 35MW 背压机及 3 台 60MW 背压机, 正常外供汽量约 2400t/h。除盐水处理系统、给水系统、蒸汽系统均采用母管制。6 台炉产蒸汽汇集到一条主蒸汽母管, 从主蒸汽母管引出 6 台机及 8 台双减对外供汽, 锅炉可根据检修周期轮停, 不会对外供汽造成影响。

设计上给水系统采用变频泵加工频泵的运行方式, 变频泵用于负荷调节。除盐水处理系统配置 6 台除盐水泵, 2 台变频 4 台工频; 锅炉给水系统配置 8 台电动给水泵, 4 台变频泵和 4 台工频泵。正常运行时除盐水泵 2 台变频泵 1 台工频泵并列运行, 锅炉给水系统 2 台变频泵 2 台工频泵并列运行。锅炉给水系统正常运行时高压给水冷母管 (给水泵出口母管) 压力约 19MPa, 冷母管的水经过高压加热器加热后汇集到热母管, 再分配至各台锅炉。每台工频给水泵额定流量约 900t/h, 工、变频给水泵并列运行时, 每台变频给水泵出口流量 780-900t/h 之间调节。

连锁备用给水泵通常进、出口门全开。考虑到大功率电机工频启动对电网冲击大的问题, 给水系统通常情况下将变频泵作为连锁备用泵, 投入连锁保护; 工频泵只在监护下手动启动。

选型方面, 工频泵与变频泵的型号一致, 电机与泵的各参数相同。



工频、变频泵母管制并列运行示意图

从实际运行情况分析, 工频泵和变频泵并列运行存在以下优点:

改变电机频率后, 电机的功率也同步变化, 通过改变频率匹配工况需求, 无其他传输或节流等损失, 运行在非额定工况, 变频泵相对工频泵效率会更高。目前高压变频器技术相对成熟, 运行中稳定性好, 并且利用变频泵软启动的方式, 对电网冲击小, 启停操作对给水系统压力扰动小。

变频泵直接调整传动设备的能量输出, 除变频器本身较小的能量损耗外, 无其他能量损失, 运行效率高。并且变频泵调节线性好, 调节速度可设置, 调节范围广、可实现一键启动, 正常 2 分钟左右便可带到正常负荷。

变频泵与其他调速泵相比, 系统组成简单, 启停及调节操作方便, 调节较为线性, 运行稳定可靠, 后期运行维护成本低。

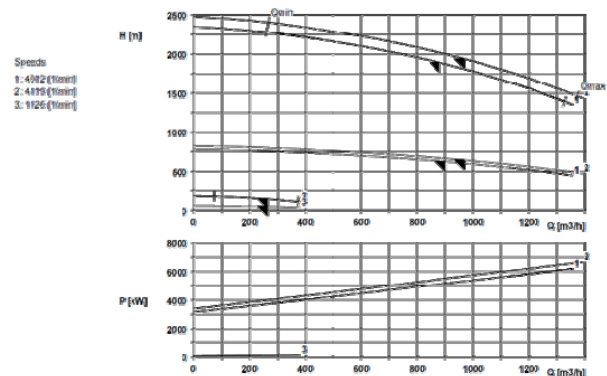
同时在实际运行中, 工频泵和变频泵并列运行存在以下问题:

1、变频泵调节空间小

从设备安全考虑, 泵厂通常会对泵的安全运行最大流量提出要求, 以防止过流量运行时过大的轴向推力对泵造成损坏。泵的扬程和流量成反比, 泵轴功率和流量成正比, 对于工频泵而言, 运行时出口压力越低, 则流量越大。

在有工频泵并列运行的系统中, 给水泵出口母管的压力不能与工频泵的出口安全运行压力偏差过大, 否则易造成工频泵因扬程低导致超流量运行。母管制系统工频泵对于出口压力的要求限制了变频泵的调节。泵的转速和流量成正比, 和扬程成正比平方。为达到工频泵不超流量工况下的工作压力, 变频泵运行时必然将转速调整至与工频泵相近, 才能满足泵的出口压力匹配, 否则可能导致因变频泵出口扬程不足而不出水。在此高扬程的运行方式下, 变频泵的调节区间很小, 尤其是低负荷时运行风险较大, 有些调速泵还可在此工况下发生共振的情况, 泵的安全运行区间被进一步的压缩。

根据该热电厂在实际运行情况得出, 变频泵频率调节必须在 90% 以上, 其出口压力才能够达到 19MPa, 此时泵才能够对外供水, 而频率调节至 95% 时泵的流量达到 600t/h, 变频泵的调节区间小。当泵出口母管压力降至 18.5MPa 时, 工频泵实际流量超 1000t/h, 超设计流量 900t/h 约 10%。



给水泵在不同转速下扬程与流量、功率与流量的关系

2、变频泵低负荷下容易引汽共振、轴瓦损坏等情况

前面讲到了工频泵与变频泵在母管制系统中, 变频泵转速必须接近额定转速时才能对外出力此时运行状况为低流量、高扬程, 对于很多类型的泵而言, 是较为恶劣的运行工况。通过该热电厂实际运行情况来看, 工、变频给水泵并列运行时, 变频泵流量低于 780t/h 后振动超报警值, 随着负荷升高振动逐步降低, 泵的安全运行区间小。在负荷较低时, 为了维持变频泵不超限, 不得已通过调节泵出口再循环维持泵的负荷, 防止

变频泵流量低、振动大,导致整体运行经济性差,管道阀门冲刷严重。

3、高扬程低流量的运行方式,经济性不高

该热电厂正常运行时2台工频泵及2台变频泵运行,另外两条变频泵备用。在负荷不变的情况下,将两台工频泵切换为两台变频泵,降低泵出口压力,分析泵功率下降情况。在试验中得出,4台变频运行在额定给水压力19.5MPa下,给水泵总电流为1348A。给水泵出口母管压力降低至16.5MPa,总流量不变,总电流下降了302A,下降了22.4%。所以按照当前配置,工频与变频泵并列运行,经济性反而不高。

给水泵负荷试验数据表

| 日期 | 给水泵出口压力 (MPa) | 给水泵出口流量 (t/h) | 给水泵出口温度 (°C) | 给水泵出口振动 (mm/s) | 给水泵出口噪音 (dB) | 给水泵出口电流 (A) | 给水泵出口功率 (kW) | 给水泵出口效率 (%) | 给水泵出口扬程 (m) | 给水泵出口流量 (t/h) | 给水泵出口温度 (°C) | 给水泵出口振动 (mm/s) | 给水泵出口噪音 (dB) | 给水泵出口电流 (A) | 给水泵出口功率 (kW) | 给水泵出口效率 (%) | 给水泵出口扬程 (m) |
|------------|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|---------------|--------------|----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 2023-07-10 | 19.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1348 | 1348 | 95 | 19.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1348 | 1348 | 95 | 19.5 |
| 2023-07-11 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 |
| 2023-07-12 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 |
| 2023-07-13 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 |
| 2023-07-14 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 |
| 2023-07-15 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 |
| 2023-07-16 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 | 1348 | 200 | 0.5 | 85 | 1046 | 1046 | 95 | 16.5 |

从上述数据中得出,给水系统的运行压力越低,经济性越好。但运行压力越低,系统承载波动的能力就越差,正常运行时,给水压力通常为汽包压力的1.25倍。

工频泵与变频泵型号相同时,安全运行调整空间小,并且经济性差。实际运行中在维持工频泵出力不变的情况下通过运行调整也可以维持系统的正常运行。如合理的负荷分配,避开泵的共振区间;通过出口再循环的调节改变泵的出力等方式,均能够维持系统正常运行,不过对于负荷范围要求高,调整难度大,并且长期运行经济性差。

工频泵与变频泵在母管制系统中并列运行中问题的解决方案:

1、从设计上及设备选型上解决工频泵与变频泵的匹配问题

同型号工频泵与变频泵并列运行时最大的矛盾点是工频泵的流量限制了扬程的变化。作为母管制系统,工频泵的扬程决定的变频泵的扬程,从而限制的变频泵的调节区间,并且无法实现给水系统高效率工况运行。

为避免上述情况,首先从设计开始,选择一个安全的,经济的给水压力,将该运行工况下的扬程作为工频泵的额定扬程。工频泵的选型区别于其他设备,不是余量越大就越好,泵的选型必须要符合安全、经济工况。运行压力确定后,再根据锅炉蒸发量与进、出口系统要求确定工频泵的流量、结构等,最终确定工频泵的选型。

变频泵为能够在正常运行工况下有着一定的调节区间,在扬程及流量的设计上可适当保守,根据调节余量设计泵的参数,其额定扬程及流量要大于工频泵,并且以保证有足够的调节区间。变频泵的选型要充分考虑母管制系统锅炉及给水泵最极端的运行方式,将其作为泵的设计点,通常为110%BMCR设计点,确定变频泵型号。泵的选型要经过合理的计算,确保泵能够长期运行在经济工况附近,同时能够应对一定的负荷波动,有着合理的调节范围。

2、对于已经出现上述问题的系统,可以采取限制工频泵

出力的方式解决并列运行中出现的问题:

(1) 改变工频泵的叶轮,降低工频泵的出力,使系统运行在低于额定压力下的工况,满足工、变频泵并列运行时变频泵的调节区间,避免因系统压力低导致工频泵过流量情况。常见的方式有:对现有的叶轮进行车削、更换新的叶轮等。此方案会降低系统整体的运行压力,实施前需要评估降低压力后系统运行的可行性。

(2) 工频泵出口加装调节阀,通过节流的方式降低工频泵的出力,以满足低负荷工况下变频泵的调节。此方案对于工况变化适应性较好,可根据需求调整系统压力。此方案会导致调节阀前的压力升高,需考虑泵的安全性;并且采用阀门节流的方式对阀门冲刷严重,经济性也较差。

(3) 将工频泵改为变频泵,变工况调节能力好,调整灵活。此方案实施前需充分考虑电机的冷却问题,并且增加变频器的成本较高。

该热电厂除盐水供水系统由于工频泵与变频泵型号相同。实际运行中调节困难,容易造成工频泵运行超流量。前期是通过节流工频泵出口门的方式运行,节流后声音、振动较大,后期对叶轮进行更换,降低工频泵的功率,从根本上解决了并列运行中出现的问题。

工频泵与变频泵并列运行时运行调整中的注意事项:

为便于负荷的调整,变频泵通常偏离额定负荷运行,留有一定的调整余量。在负荷较低时首先要重点关注泵出口流量,防止因转速低、扬程低突然不出水。当流量低于最小流量时及时开启再循环,防止打闷泵。同时给水泵低负荷运行时做好泵的振动及瓦温的监视,防止参数超标损坏设备。当变频泵出口压力升高后,工频泵出口流量降低,变频泵流量增加,需防止过负荷运行。

在母管制系统中,给水压力的波动会引发众多问题,如锅炉补水调门的变化,减温水调门的变化,给水泵流量的变化等,并列运行的机组越多,影响被放大的程度就越大。在工、变频给水泵并列运行时,通常将泵的出口稳定作为调节方向,调节时通常维持出口压力在小范围内波动。

结论:

工频泵与变频泵并列运行即能兼顾运行中的经济性,又能降低一定的施工投入,系统简单,在热电厂属于较为理想的设计方案。在母管制系统中工频泵与变频泵的匹配问题直接影响到后期的安全稳定运行。工频泵与变频泵的并列运行前提是变频泵的额定出力必须大于工频泵。通常情况下为确保系统的经济性和稳定性,工频泵扬程的确定要符合实际情况,不是越大越好。同样的变频泵在选型时要考虑正常运行时的最佳效率点,并有合理的调节区间。通过合理的选型匹配充分发挥该运行方式下的经济性和可调节性,避免因匹配不当造成系统偏离经济工况运行。

[参考文献]

[1]王寒栋.《泵与风机》.机械工业出版社,2009.