

F级燃气发电项目循环水系统的水泵选型

刘一波

(中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司, 上海 200063)

摘要 本文贯彻安全可靠、节能降耗、优化合理、经济适用、投资节约的原则,介绍了燃气电站冷端优化的步骤,在对某F级燃气发电站进行冷端优化后设计成果的基础上,通过理论分析和技术经济比较对循环水系统供水设备型式和参数进行研究,推荐出系统最优、投资最省的“1机对应2台立式混流泵和泵后快慢两阶断电动蝶阀”的循环水系统供水设备配置方案和主要设备参数,节省投资约368万元,以期为以后类似工程的设计选型提供原则参考。

关键词 燃气发电; 循环水系统; 设备选型; 两阶断电动蝶阀

中图分类号: TM61

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0004-03

近年来,我国天然气燃气发电机组的装机规模越来越大,主要用于工业抽汽和适应电网深度调峰发电。某华东地区发电项目建设2台F级重型燃气轮机,组成2套“一拖一”的燃气-蒸汽联合循环调峰机组。根据该项目厂址的厂址气象条件和厂区总平面布置特点,该项目2×450 MW级机组推荐采用带逆流式机械通风冷却塔的二次循环供水系统^[1],其中循环水泵及其出口管道上的阀门是关键设备,本文通过理论分析和技术经济比较给出关键设备的最优选型。

1 冷端优化

在电厂厂区总平面方案的基础上,整个循环水供水系统管路布置按管路最短、运行费用最低的原则优化布置。以本文所述的某华东地区燃机电厂为例,循环水泵为室内布置,循环水泵房布置在汽机房东侧,紧邻主厂房,放置在冷却塔塔组 and 主厂房之间。

本工程优化计算方法采用《火力发电厂水工设计规范》(DL/T 5399-2018)推荐采用的年费用最小法^[2]。基于~150 MW三压再热、三缸、下排汽凝汽式汽轮机的微增出力数学模型和热平衡模型,本工程汽轮机额定设计背压等冷端参数的优化^[3]按以下步骤进行:

1. 在厂区总平布置图经综合评审确定后,确定循环水管长度,同时根据厂址所处区域的夏季工况气象参数、年平均气象参数,结合我院多年国内外已建各类型电厂的工程设计经验,初步确定本工程汽轮机组的冷端配置参数范围。

2. 选择本工程凝汽器循环水夏季冷却倍率范围为56~65、凝汽器面积范围为12 000~16 000 m²、凝汽器内冷凝管外径分别为Φ20 mm和Φ25 mm、供排水

母管管径为DN2000 mm。

3. 组合上述各个可变参数,形成矩阵式的多种配置方案,采用我院冷端系统优化软件平台对不同配置方案进行水力、热力及经济等优化计算,采用年总费用最小法进行排序,得到一系列较优的冷端配置方案。

4. 对序列配置方案进行主要经济指标的敏感性分析,并在多方案综合比较的基础上提出满足本工程技术经济条件的最优冷端设备配置方案。

5. 对最优冷端设备配置方案进行校核,确保冷却水最高进水温度条件下,保证本工程汽轮机组的夏季满负荷运行时背压不超过9.80 kPa。

本工程为调峰机组,循环冷却水系统按保证TMC额定工况设计,按保证夏季纯凝工况、夏季10%气象条件下纯凝工况校核。经冷端优化计算,本工程单套F级联合循环机组的最优循环冷却水量约为28 200 t/h,额定工况时夏季循环水冷却倍率为59.95。凝汽器背压为5.50 kPa。

2 循环水泵

本工程燃料为天然气,属于清洁能源,但受制于我国富煤少气的能源资源特点,其价格相对较高。循环水泵作为电厂的能耗大户,约占厂用电的20%左右,本着保护环境、降低能耗、提高电厂联合循环效率的目的,对循环水泵进行合理选型是十分必要的。按冷却水量考虑,本工程机组冷端配置4台循环水泵(其中2台循环水泵配备变频电机)。

2.1 循环水泵类型选择

循环冷却水系统设备选择主要在冷端优化研究的成果基础上对主要设备性能、型式、结构及参数进行

配置和选择。考虑到泵前滤网和钢闸门等均为常规配置，只是根据循环水泵的配置不同，参数略有出入，本文不对其对循环参数的影响进行详细比较。

循环水泵一般采用叶片式水泵，按工作原理分为离心泵、轴流泵和混流泵^[4]。三种类型的比较见表 1。

电厂的循环水泵为大流量低扬程水泵，从表 1 可以看出，离心泵和混流泵均能满足本项目循环水泵的要求。两种泵型差别不大，混流泵进水端不需设置水平进水管、大口径的进水电动蝶阀及配套的安裝伸縮节，节省设备，且泵体平面占地较小，泵后阀门仅需浅坑布置，即泵房的地下空间尺寸可以显著縮小，结合华东地区已建在建燃机电厂的循环水泵情况，本工程优先选用立式混流泵作为循环水泵。

2.2 循环水泵结构形式选择

按照结构形式划分，水泵主要有卧式、立式和斜式三种。斜式泵的特点介于卧式泵和立式泵之间，在电厂应用较少。一般来说，立式泵的平面尺寸较小，高度较大，水泵叶片淹没于水中，水泵启动方便，在大型发电厂应用已经非常广泛。卧式泵的泵房面积大，但安裝检修方便，泵房荷载分部较均匀，地基处理费用低。卧式泵适用于水位变化幅度较小的场合，且泵的叶轮均安装在水面以下，但卧式泵对吸水管管长要求严格。两种泵的结构形式均能满足本工程及类似工程需要。从总平面布置优化和节约设备及电缆的角度

考虑，本工程设计推荐采用立式混流泵。

2.3 循环水泵调速方式选择

调节水泵转速，水泵的流量、扬程和轴功率均按相似准则进行改变。调节水泵转速可以扩大水泵的有效工作范围，适应机组负荷变化，是十分合理的调节方式。

循环水泵常用的调速方式主要是调节电源频率和改变电动机极对数两种方式。调节极对数调速就是通过电动机定子三相绕组接成几种极对数方式，使鼠笼式异步电动机可以得到几种同步转速，一般称为多速电动机，常用的有双速、三速、四速电动机三种。变极调节虽具有初期投资小，节能效果高等优点，但可调范围小。变频调节效率高，属于无极调速、调速范围广，可以从零转速平滑调到额定转速，需要增加变频器，本工程建设的电厂为深度调峰电厂，此种性质的电厂一般是作为风光等新能源发电站的容量调节补充而配套建设，负荷工况变化比较复杂，中低负荷工况下运行的时间不短，此时机组冷端对循环冷却水量的需求降低，且是变化的，如果循环水泵出力只能固定几个模式运行，那么是不节能的，因此现场运行人员可以根据机组负荷去使用变频器调节水泵电机的转速进而获得适配的循环水流量和扬程，更显合适。

如前所述，该电厂两台 9F 级机组冷端循环水泵为 4 台，1 机 2 泵，原因在于，1 机 3 泵甚至 4 泵配置方

表 1 水泵类型比较

序号	项目	离心泵	混流泵	轴流泵
1	比转速	40 ~ 300	300 ~ 500	≥ 500
2	扬程范围	≥ 10 m	5 ~ 30 m	~ 10 m
3	口径 (mm)	40 ~ 2 000	100 ~ 6 000	300 ~ 4 500
4	流量范围	流量小，但从零流量大流量均能运转	流量较大，从零到大流量均能运转	流量大，不能在小流量范围内运转
5	轴功率变化	具有上升型功率曲线，零流量时功率最小	具有平坦的功率曲线，电动机始终能满载运行	陡降型功率曲线，零流量时功率最大
6	效率变化	高效率范围广，适应扬程变化	高效率范围广，能适应扬程变化	高效率范围窄，扬程变化后，效率很快降低
7	汽蚀性能	好	好	较差
8	结构与重量	结构复杂，重量大	结构较简，重量较大	结构简单，重量较轻，但全调节水泵结构复杂
9	辅助设备	较少	中小型辅助设备少，大型泵辅助设备多	中小型辅助设备少，大型泵辅助设备多
10	维修保养	较易	较易	较麻烦
11	耐用年限	较长	较长	较短

案会明显地同时增加设备投资和土建工程量,不仅是较常规方案多两台循环泵,与其附属的阀门、滤网、导槽等也需追加。况且,9F级机组的循环水需水量相较于大型火力发电厂的冷却水量并不大,也没有必要为了运行的灵活性而选择配置更多台循环水泵,通过配套变频装置即可以实现较为灵活的运行目的。在此,笔者认为过去由于国内大型火力发电机组的兴建,作为主力电源,机组经常是满发状态,循环水泵也是全力运行,因而偏好于选取固定的设备参数。现如今,在新兴电力系统构建的时代背景下,火电机组、燃气机组经常满发的时代已经过去,均需接受电网的统一调度,总的年利用小时数大大降低,因此,设计人员需要转变设计思路,根据实际运行情况设计选择机组冷端循环水泵的特征参数,尽量追求灵活节能。

2.4 循环水泵泵后阀门类型

本工程循环水泵泵后的阀门口径为DN1600 mm,需采用自动控制方式的蝶阀,按阀门的驱动方式,主要有液控蝶阀和电动蝶阀,其中液控止回蝶阀^[5]在电厂循环水系统中应用最多,其是依靠机械变速来实现蝶阀开关速度的变化,阀门的附属设施较多,包括液压油机构、传动机构、电控装置等部分,而液压油站体积小,正常情况下此种驱动方式非常可靠,但其内里组成复杂,在实际运行中多出现系统油压不保、漏油、蝶阀不动作、阀门关闭不严等问题,影响机组安全,此外,运行中还需定期进行滤油,保证油质。

随着电控系统领域编程、变频等技术的发展,通过改变智能一体化电动执行机构输入电流的频率,从而调节电动装置的转速和输出力矩,最终实现阀瓣快、慢两阶段关闭或慢、快两阶段开启的目的,所以快慢两阶段电动蝶阀同样可以起到防止介质倒流,消除或减小水锤的作用。近年来,快慢两阶段电动蝶阀^[6]在工业循环水系统中已经得到应用,避免了液压油机构和滤油机等设备的设置,新版《火力发电厂水工设计规范》中也明确了该阀型可行。

3 静态投资

在电厂循环水泵的数量确定为1机2泵后,与立式混流泵布置相比,单级双吸卧式离心泵为干式布置,但同时需要增加吸水管路,中央循环泵房沿水流方向长度大概需要增加大概6 m,在垂直于循环水流方向的尺寸需要增加大概10 m,电缆桥架也要敷设至地下运转层,而两种水泵的进水池和吸水池的空间尺寸几乎一样。尽管选择卧式离心泵会降低泵房上部结构高度,但所节省的工程量投资还是不能覆盖所增加地下土建

结构的工程量、泵前电动蝶阀及附件以及电缆等材料的投资,更加增大了循环水系统的厂用电率。

循环水泵不同配置方案静态投资比较见表2。

表2 循环水泵不同配置方案静态投资比较

序号	项目	1机2立式混流泵方案	1机2卧式离心泵方案
1	设备购置费(万元)	569.70	666.57
2	安装工程费(万元)	370.17	300.91
3	建筑工程费(万元)	1 636	1 976.2
4	总费用(万元)	2 575.87	2 943.68
5	差价(万元)	367.81	

从循环水泵不同配置方案静态投资比较来看,1机2立式混流泵配置方案设备材料更少,设备购置费用低,建筑工程费用也比1机2卧式离心泵的方案少,静态投资较1机2卧式离心泵方案低约367.81万元。根据类似工程经验,两种水泵配置方案运行费用相差不大。

4 结束语

从节能降耗、系统优化、配置合理、经济适用的角度考虑,本工程循环水系统设备配置选用1机2立式混流泵配置方案,节约投资367.81万元。循环水泵参数如下:

1. 循环水泵采用立式混流泵,室内布置,1机2泵配置方式,其中1台为变频泵。循环水泵工频条件下参数:Q=3.917 m³/s, H=26 m, N=1400 kW, V=6 kV。

2. 循环泵后配置快慢两阶段电动蝶阀,可达到防止介质倒流和减小水锤的目的。

本文结论可适用于F级燃气一蒸汽联合循环机组以及大型石化行业循环水场的循环水泵及泵后阀门选型,供设计人员在工程前期参考。

参考文献:

- [1] 张伟. 电厂循环水系统运行质量的优化措施[J]. 化工管理, 2023(35):135-138.
- [2] DL. 火力发电厂水工设计规范. DL/T 5339-2018[S]. 2018.
- [3] 宋金时, 钟平, 梁强, 等. 带有机力通风冷却塔的机组冷端优化研究[J]. 热能动力工程, 2022, 37(02):116-121.
- [4] 许仕荣. 泵与泵站: 第七版[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [5] 刘文豪. 循环水泵液控蝶阀常见故障分析及处理[J]. 电力设备管理, 2023(17):290-292.
- [6] 同[2].