

核电机组经济运行问题的思考
Exploring for Economical Operation of Nuclear Power Unit
鲍旭东
(秦山核电公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 通过对机组运行管理、系统性能监控、设备技术改造等方面工作的分析, 根据火电厂和核电厂的生产实践经验, 结合电厂生产管理和系统设备的改进工作, 探讨提高二回路系统运行安全性和经济性的有效途径。

关键词: 核电厂; 二回路; 经济运行

Abstract: Through the analysis of operation management, monitoring of system performance and equipment or technology modification and so on in nuclear power station, a probe is carried out into the effective way to improve safety and economy of the operation of secondary circuit system by the practice in conventional coal-fired power station and nuclear power station along with operation management and equipment modification in Qinshan Nuclear Power Station.

Key words: NPP; Second circuit; Economical operation

秦山核电厂是中国第一座自主研究、设计、建造和管理的30万kW压水堆核电厂。1991年12月首次并网发电, 1994年4月投入商业运行。秦山核电厂在经历了几次重大的技术改造以后, 机组运行状况逐渐趋于稳定, 安全运行的天数连创佳绩。在第7次燃料循环中又创造了连续安全运行443天的国内核电厂的最好运行记录。

作为一个商业运行的核电厂, 秦山核电公司的质量目标是: 在核电厂内维持一套有效的纵深防御体系, 以保证厂内人员、公众及环境免遭放射性危害, 保证核电机组安全、可靠、经济和稳定的运行, 按电网要求提供电能。核电厂的安全运行不仅是核电营运商追求的目标, 也是公众关注核电事业的焦点。国内正在建立竞争、开放的区域电力市场, 发电企业将直接面临着市场经济的挑战。遵循公司质量目标的要求, 提高设备的安全经济运行水平, 抢占更多的发电市场份额, 是电厂技术管理工作的重点。这就要求管理人员要不断找出电厂内部在生产管理中存在的不足, 思考如何改进系统设备使机组运行的可控能损降至最低, 保证每台设备运行效率最高。以下是笔者对此问题的思考和建议。

1 建立机组完整的统计和考核体系, 实施目标管理

在核电领域广泛应用的WANO性能指标是一种评价核电厂性能、用于核电同行之间进行横向比较和相互交流的工具。WANO性能指标反映了电厂运行的管理水平, 只要WANO各项性能指标在允许值以内, 就可以向公众表明核电厂是在足够高的安全水平下运行。然而, WANO九大性能指标中不包括核燃料燃耗、机组热效率和厂用电率等对生产管理有着指导作用、能够进行纵向比较和反映机组经济性能好坏的指标。因此, WANO性能指标在反映核电厂运行经济性方面存在不足。

大亚湾核电站按照法国核电厂能量统计概念, 结合我国电力生产指标体系, 编制了核电厂应用的能量统计系统。并且, 还编写了大亚湾核电站能量统计系统使用规程和应用软件, 确保能量统计在电厂生产管理中的正常运用。能量统计系统不仅可以使专业技术人员及时掌握机组运行状况, 还可以让电厂管理者了解电厂的安全状态和发电生产情况。

常规火力发电厂在机组运行中主要控制的两大运行经济指标是发电标准煤耗率和厂用电率。通常把标准煤耗率分解成各项技术小指标, 如锅炉性能、汽轮机性能、加热器性能、凝汽器性能等, 通过运行方式的调整和优化, 控制这些设备性能小指标, 提高各个环节的效率, 降低热力系统的热耗, 以达到减少机组煤耗的目的。

在秦山核电厂的生产管理中, 各种生产指标的统计分散在不同的部门, 缺少一个完整、相互衔接的生产统计和考核体系来对生产管理的各个领域进行全面、系统的量化分析, 以建立客观的、具有挑战性的量化指标。如将这些指标作为各个部门日常生产管理的量化目标, 可促使他们深入研究和制定相应的技术措施, 不断改进管理方式和提高工作效率。大亚湾核电站和常规火电厂的生产管理经验表明: 要确保电厂长期的安全经济运行, 持续不断地提高管理水平和发电能力, 就应当根据自身管理体制, 吸取国

综述
核电设计
工程管理
工程建设
运行维护
核安全
核电前期
核电论坛
核电经济
核电国产化
质量保证
核电信息

内外先进的管理经验,制定一套完整、合适、有效的电厂指标统计和考核体系。

2 应用热力系统设备性能诊断技术,优化运行操作

压水堆核电厂的蒸汽转换动力回路(即二回路热力系统)与常规火电厂基本上相同,在理论上二回路系统中任何一台热力设备的实际运行参数偏离设计标准值都会引起能量过多损耗,降低机组的效率。我国核电事业处于发展阶段,核电机组运行还没有热力系统设备性能诊断技术的支持。分析热力设备性能的完善程度、机组的热能经济性的好坏,仅仅是通过机组大修前后的某一稳定工况的热力性能考核试验的结果进行比较分析,其结果无法体现某一个具体参数偏离所引起能损的变化,缺少时效性,对于机组变工况运行过程分析没有指导意义。常规火电厂在实际运行中应用在线的或离线的火电机组经济性诊断系统,从热力系统能量转换过程中存在的各种能量损耗推算出煤耗率的变化量,将由运行参数偏离而造成影响的信息直接反馈给运行和管理人员,指导运行操作和发电成本管理工作。

目前,秦山核电厂正在进行电厂计算机数据采集系统(DAS)的更新改造工作,如果能在改造项目中考虑开发应用二回路热力系统设备性能实时监测和分析系统,将会大大提升电厂计算机数据采集系统的功能,可为运行人员优化操作、诊断设备故障和分析运行经济性提供手段。当然,新技术的开发需要经费和人力的大量投入,对成功与否产生影响的因素也很多。文献[3][4][5]中对压水堆核电机组二回路热力系统经济性定量分析的方法进行了研究,利用等效热降法、单元分析法和矩阵分析法等方法建立计算数学模型,对二回路热力系统进行局部定量和整体分析,为优化设计和运行经济性诊断提供了有力的工具。一些针对性的理论研究,也为热力系统设备性能诊断技术在核电机组中的应用提供了理论依据。从常规火电厂的实践经验来看,国内科研单位、大专院校和DAS制造厂家完全有能力合作开发应用于核电厂二回路热力系统设备性能诊断的监测和分析系统。

3 利用新技术改造二回路辅助设备,节能降耗

为提高机组的运行效率而进行某些系统或设备的技术改造,不仅需要对设备的原设计和运行性能参数进行深入的分析研究,还必须对比论证改造前后设备的运行安全水平和经济水平,找出正确的技术改进方向。随着对二回路主要辅助设备的原设计功能和系统运行状态了解的逐步深入,认为要提高机组运行的经济性,必须积极引进和推广高新技术,进行设备更新改造,深入挖掘设备运行的潜力。以下探讨二回路系统的3个主要辅助设备的技术改进的方向。

3.1 应用新型设备提高凝汽器抽气设备的运行可靠性和经济性

秦山核电厂汽轮机配套的凝汽器抽气设备采用射汽式抽气器,工作蒸汽汽源都取自主蒸汽母管;而目前新建电厂的凝汽器抽气设备广泛采用技术成熟、运行可靠的机械水环式电动真空泵。这种泵具有良好的启动性能和运行特性,启动快速,便于操作控制,能实现主控室远程遥控和低真空自动联锁启动。射汽抽气器改电动真空泵,似乎会增加厂用电的用量,但真空泵的运行效率较高,持续运行经济性较好,其消耗的电能少于射汽抽气器消耗热能所相当的电能。另外,取消射汽式抽气器可以简化凝结水和蒸汽热力系统管道和阀门的连接,提高系统的运行可靠性和安全性。因此,用电动真空泵替换技术已落后的射汽抽气器的改进思路,符合现代大型电厂对辅机设备安全经济运行的要求。

3.2 应用高新技术改善海水升压泵的运行经济性

秦山核电厂二回路海水冷却水系统中设置了3台海水平压泵,原设计正常运行时投入2台泵向发电机空冷器和闭式工业水冷却器同时提供冷却水。经过调试运行,该系统运行方式改为冬季投入1台泵,夏季投入2台泵并只向发电机空冷器供水。而闭式工业水冷却器的冷却用水直接经过海水升压泵的旁路管线由循环水系统供给。在冬季,为了避免发电机入口风温过低,需要退出1台或2台空冷器运行。而在夏季,2台海水平压泵的流量也远大于发电机空冷器设计冷却水流量。由于流量偏大,管道内含泥沙海水流速过快,造成海水管道的弯头、三通支管处冲刷腐蚀严重,经常出现泄漏缺陷。根据现在的运行方式,可以考虑采用变频调速技术改造海水升压泵控制,实现系统恒压供水。当然节能技术的改造方案需要经济性论证,对影响其节能效果的因素要考虑周全。但交流变频调速技术的应用,可以减少水泵供水量偏大引起的电能损耗,达到降低厂用电率的目的。同时根据发电机入口风温的要求调节冷却水的流量时,不会出现“憋泵”运行,改善了工艺系统性能,避免因管道内海水的流速过高影响管件的使用寿命。

3.3 研究提高循环水泵运行可靠性和经济性的改进方案

秦山核电厂海水取水泵房设置了6台海水平压泵,夏季投入4台,冬季投入3台,向汽机厂房的凝汽器和海水冷却水系统提供冷却用海水。在海水循环水泵的实际运行中遇到的主要问题有:含沙量较高的海水对叶轮的冲刷腐蚀;水泵运转中多次发生泵轴断裂失效故障;备用循环水泵的进水池泥沙淤积严重;电动机存在漏油现象和绝缘差问题等。这些问题的存在造成设备故障率高,系统可靠性低。可见,针对循环水泵的改造必须是以提高运行可靠性为重点;同时,由于循环水泵所消耗电量占厂用电的比例很大,还应考虑改善循环水泵的运行经济性。秦山二期的每台机组配置2台海水平压泵,没有备用泵,设计选用了高效、可靠的混凝土蜗壳离心泵,配套双速电动机,可以根据需要选择低速或高速运行方式,从设计上和运行方式上充分考虑节省建设成本和连续运行的经济性。在常规火电厂循环水泵的节能改造和循环水系统的优化运行一直都是电厂降低机组厂用电率的重要措施,其改造的出发点都是针对循环水系统运行中存在的问题。如果秦山核电厂要对循环水泵进行更新改造,应充分考虑其设计方案和运行方式对机组的厂用电率和负荷因子的影响,深入研究循环水泵运行方式、汽轮机特性、凝汽器特性、循环水系统特性等问题,选择结构合理、效率高、能满足改造要求的水泵型式;还可以考虑采用双速电机提高循环水泵在不同工况下的效率,增加水泵运行的灵活性,优化运行方式。

4 提高二回路热力系统的严密性,减少热耗

在电厂安全稳定运行基础上，注重建立节能意识，利用一切技术手段来提高机组的效率，降低发电成本，这是电厂不容忽视的、长期的技术管理课题。由于核电汽轮机组新蒸汽是饱和蒸汽，汽机高压缸处于高压湿蒸汽下，低压缸又较早地进入湿蒸汽区，使得热力系统运行中会连续产生大量疏水，疏水系统的可靠运行对机组安全和经济运行有着重要的影响。因此，机组疏水系统的设计应力求简单可靠、布置合理、便于维修，以保证设备和管道运行中能正常地疏水，防止积水造成严重的水冲击损坏事故，同时减少汽水介质和能量的损失。

秦山核电厂在机组热力系统中接入高压疏水扩容器和凝汽器的疏水管线共73根，其中自动疏水阀有40只。在正常运行时，这些疏水阀门应该处于自动且关闭严密状态。在机组启停过程或接到异常水位信号时，自动开启将管道中积水或加热器多余的疏水排除。与相同装机容量的巴基斯坦恰希玛核电站相比，秦山核电厂蒸汽系统管道疏水管线设计过于简化，没有使用自动疏水器，多数气动疏水控制阀没有设置旁路，因而系统运行经济性和阀门的可维修性差。在实际运行中，气动疏水阀内漏的问题长期存在，经阀门内漏进入凝汽器蒸汽的热能被海水带走；特别是主蒸汽管道疏水阀的内漏，造成未进汽轮机做功的高能位的新蒸汽直接损失，对机组的热效率影响最大。因此，针对疏水系统中存在的问题，可以考虑对疏水系统进行改进，改善工艺系统的运行可靠性、可维修性和经济性。

5 结束语

在电厂运行管理中，制定一套能够全面反映电厂各个生产环节和系统设备运行安全状况的技术指标体系，将这些量化指标的控制过程与日常工作相结合，追求持续改进的目标，将会提高电厂的管理水平。作为商业运行的核电厂，不仅要不断满足新的环境保护和安全的要求，还要不断提高发电成本的控制水平，以应对市场经济的挑战。保持机组经济运行的工作是一个深层次的技术管理工作。分析二回路主辅系统设备运行中存在的问题，研究降低二回路热力系统的能损和减少厂用电率的有效措施，探讨提高核电机组经济运行管理水平的途径，是改善电厂运行经济性的需要。秦山核电厂近几年优异的运行业绩表明，有效的技术改造提高了电厂运行安全水平和生产业绩。因此，加快技术改造的步伐，逐步淘汰落后的技术，依靠新技术、新设备和先进的管理手段，将是电厂提高自身的安全运行水平和发电能力的主要途径。

参考文献

- [1] 咎云龙主编. 大亚湾电站生产管理丛书—技术管理. 原子能出版社, 2003年6月
- [2] 郑福裕, 邵向业, 丁云峰. 压水堆核电站运行. 原子能出版社, 1998年11月
- [3] 李运泽, 严俊杰, 林万超等. 压水堆核电机组二回路热力系统的等效热降理论研究. 汽轮机技术, 2000(1)
- [4] 严俊杰, 李运泽, 林万超等. 压水堆核电机组二回路热力系统经济性诊断理论的研究. 核动力工程, 2000(1)
- [5] 李运泽, 严俊杰, 林万超等. 压水堆核电机组二回路的矩阵分析法. 热力发电, 2000(4)
- [6] 陈庚主编. 单元机组集控运行. 中国电力出版社, 2001年5月