

燃气余热发电系统电气控制设计与应用研究

钟运欣

摘要: 随着世界范围内对能源的需求越来越大, 环保要求也越来越苛刻, 工业节能与废热回收已经成为能源利用领域中的一个重要的研究领域。燃气余热发电是一种有效的能源回收技术并因其具有较好的经济与环境效益而备受人们重视。燃气余热发电系统实现了高温余热向电能的转换, 既能降低生产过程能源消耗, 又能有效地降低污染物排放量, 对促进绿色高企发展有着十分重要的意义。本研究旨在探讨燃气余热锅炉发电系统的电气控制设计方法, 并通过实际应用分析, 提出改进措施和优化方案。

关键词: 燃气余热发电系统; 电气控制; 设计应用

引言

燃气发电过程中, 天然气燃烧产生的高温尾气含有大量余热。若能有效回收这部分余热, 不仅能降低企业能源成本, 还能减少环境污染。在国家节能减排政策不断推进的背景下, 燃气余热锅炉发电系统的应用越来越广泛。本研究将重点探讨该系统的电气控制设计及应用要点。

一、燃气余热发电系统概述

燃气余热发电系统是一种将燃气轮机内做功后排除的高温尾气进行回收并转化为电能的高效能源利用技术。该系统的核心设备包括燃气轮机、余热锅炉和汽轮发电机组, 通过回收燃气轮机排出的高温废气中的热量, 驱动蒸汽轮机运转发电。这种发电方式既减少了能源浪费, 又降低了碳排放, 为工业节能和可持续发展提供了重要支持。在实际应用中, 余热发电系统的工艺流程复杂, 需要协调多个关键设备的高效运转。燃气轮机产生的高温烟气进入余热锅炉, 在锅炉中吸收热量产生高压蒸汽, 随后蒸汽通过管道输送至汽轮机, 推动汽轮机旋转做功, 带动发电机发电。整个系统不仅需要高效的热力设备, 还需要配套的电气系统来保障电力的稳定输出和设备的安全运行。由于余热发电系统通常应用于工业生产现场, 其设计需要充分考虑高温、高湿、振动等特殊环境条件, 并结合具体的工艺需求进行优化。这

作者简介: 钟运欣(1989.01——)男, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事燃气余热锅炉的电气设备成套设计工作。

种系统的广泛应用对于推动能源结构优化、实现绿色低碳发展具有重要意义。

二、燃气余热发电系统电气控制设计要点

1. 低压配电系统设计

低压配电系统设计是余热发电系统中不可或缺的重要环节, 特别是在燃气余热锅炉中, 它确保了系统的稳定供电和设备的安全运行。整个低压配电系统由多个关键部分组成, 其中包括电动机控制中心(MCC)和就地配电箱, 这些设备通过合理的配置和设计, 为各个用电设备提供可靠电源和稳定的控制。在设计过程中, 首先需要对系统的总负荷进行详细的计算, 这包括给水泵/风机电动机及其他辅机设备的负荷、仪控设备和辅机设备控制电源的负荷、照明系统的负荷、检修系统的负荷以及暖通设备的负荷等。燃气余热锅炉中的重要辅机设备为了系统的稳定运行通常是按一用一备的模式配置, 所以为了供电的可靠性, MCC也可以按两段来配置。除MCC外还有专门供工艺电动阀门及其他电动执行机构的380V配电柜, 以及提供仪表设备工作电源的220V仪表电源柜; 根据负荷分类, MCC一般由主厂房不同段的PC供电(双电源自动切换), 电动阀门380V电源柜一般由MCC+保安段供电(双电源自动切换), 220V仪表电源柜一般由保安段+UPS电源供电(双电源自动切换)。

其次, 要根据负荷计算结果, 选择合适的配电设备, 包括断路器、接触器、继电器等元件, 这些设备需要具备足够的额定电流和分断能力, 以应对各种运行条件下的电力需求。例如, 选用合适的断路器, 它能够在故障电流的作用下, 及时有效的切断故障回路, 保护电路免受过载和短路的危害。

此外，配电保护配置也是设计中的关键一环。系统需要配置全面的保护措施，包括短路保护、过载保护和漏电保护等。通过合理的参数整定、元件选型或者增加保护装置，确保在发生故障时，保护装置能够及时动作，隔离故障区域，防止事故扩大。例如，短路保护装置的整定值应根据电缆的长度和载流量进行精确计算，以保证在最不利情况下也能可靠动作，同时也防止了越级跳闸，避免了停电事故范围扩大的情况发生。除了配电保护外最常用的就是电动机保护了，其中根据设备的负载特性以及工艺要求，可以配置相应的马达保护器、软启动器以及变频器等装置，对设备电机进行保护以及满足工艺控制要求等；比如变频器，除了电机的过载、缺相、单相接地等电机的基本保护外，还可以对电机进行软启/停、调速等其他控制，从而提高了工艺水平、实现了自动化智能化控制，同时还节约了能耗，在电动机控制中有广泛的应用。

在整个设计过程中，还需要充分考虑系统的可靠性和可维护性。合理的配电布局和电缆敷设，不仅能够提高系统的运行效率，还能在发生故障时方便检修人员快速定位和处理问题。同时，对于特殊环境下的设备，如高温、高湿场所，还需要选用具备相应防护等级的配电设备，确保系统在各种条件下都能稳定运行。

2. 防雷与接地系统设计

防雷与接地系统设计是保障燃气余热发电系统安全运行的关键环节，其设计需要综合考虑雷电环境、设备特性及工艺需求，确保系统在各种气象条件下都能稳定运行。首先，根据现场的地理环境和雷电活动特点，按照相关规范（如GB 50057《建筑物防雷设计规范》、GB/T 50064《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》、GB/T 50065《交流电气装置的接地设计规范》）进行防雷接地的设计，余热锅炉属于第三类防雷建筑。防雷装置包括避雷针、避雷带和引下线，应均匀布设在建筑物和设备周围，确保接闪器保护范围覆盖整个系统。

在设备层面，燃气余热锅炉内部的电气设备需要重点防护感应雷和操作过电压。为此，采用浪涌保护器（SPD）对配电系统进行多级防护，根据设备的耐压等级合理选型，优先选用具有高通流容量的SPD，并将其安装在配电柜的输入端和重要设备的电源入口处，确保在雷击或操作过电压时快速泄放电涌电流，避免设备损坏。接地系统设计也是关键，需将工作接地、保护接地和防雷接地统一考虑。接地网应采用放射状或环网状布置，

接地网通常由镀锌扁钢构成，接地电阻满足国家标准规范要求。对于锅炉内的设备接地，采用就近接地原则，利用设备框架或支架作为自然接地体，并通过扁钢或电缆与主接地网可靠连接。此外，为防止接触电压和跨步电压对人体造成危害，需在人员频繁活动区域设置均压带，并确保设备外壳、配电控制盘箱柜的金属框架、电力电缆接线盒、终端盒的外壳，电力电缆的金属护套或屏蔽层，穿线的钢管和电缆桥架等。通过科学合理的防雷与接地设计，能够有效避免雷电灾害对系统造成损害，保障燃气余热发电系统的安全性和可靠性。

3. 照明系统设计

在燃气余热锅炉的生产环境中，照明系统的合理设计至关重要，它不仅关系到工作人员的操作安全和设备维护的便利性，还直接影响到整个生产流程的效率和安全性。照明按照相关规范《DL/T 5390-2014 发电厂和变电站照明设计技术规定》进行设计，需根据不同区域的实际需求和照度标准值要求，选用适当的灯具同时设置适当的灯具数量和分布。例如，在锅炉本体户外区域，一般选用栏杆式的三防LED照明设备能够确保操作人员高温和高湿环境中清晰地观察设备运行状态。而在控制配电室和操作台等室内区域，一般选用吸顶式的LED照明设备，精密的仪表和显示屏需要柔和而稳定的光线，以保证操作人员能够准确读取数据，避免因光源干扰导致的操作失误，因此往往照度要求也会更高。此外，考虑到燃气余热锅炉的特殊环境，照明系统需要具备高防护等级，防止水汽和灰尘的侵入，确保灯具的使用寿命和稳定性，通常户外灯具采用三防灯，防护等级IP65及以上，防腐等级WF2；若有防爆要求的区域还需要配置防爆灯具。

消防应急和疏散照明的设计符合GB 51309《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》，一般控制方式采用集中控制型系统，消防应急灯具采用DC36V A型消防应急灯具，采用集中电源供电。集中电源配电箱自带蓄电池，灯具不带蓄电池，主电源和蓄电池电源在集中电源内部实现输出转换后由同一配电回路为灯具供电，例如主电源失电后自动切换到蓄电池供电，从而维持消防应急和疏散照明的灯具正常工作，且时间不应少于90分钟。这是为了保障工作人员能够在紧急情况下有序撤离，防止因视线不足导致的意外事故。同时，应急照明的布局需覆盖所有可能存在人员活动的区域，包括楼梯、通道和紧急出口，确保在紧急情况下所有人员都能安全疏散。

节能性是现代照明系统设计中的关键考量之一。通过采用高效节能的LED灯具,不仅能够大幅降低能源消耗,还能延长灯具的使用寿命,减少维护成本。此外,智慧照明控制系统也是提升节能效果的重要手段,同时提高了整个厂区的自动化智能化水平,例如智慧照明控制系统,可以根据光照强度自动调节灯具亮度,也可以根据设备运行状态或后台监控需要自动开关照明设备,除此之外控制系统可以通过编程满足各种控制需求。这种系统运用物联网、大数据、云计算技术,可实现远程控制、实时监控、线路故障报警、能耗监测等多种功能,不仅提高了能源使用效率,还减少了人工操作、管理的复杂性,进一步推动了绿色生产的理念。

除了以上照明系统外,余热锅炉的烟囱上还需要装设航空障碍灯,它能有效显示出建筑物的轮廓,使飞行器操作员能判断障碍物的高度与轮廓,起到警示作用;按照国家标准规范规定,根据烟囱的实际高度,也会在烟囱上设置一层或者多层的航空障碍灯。

综合而言,照明系统设计在燃气余热锅炉厂中需要兼顾安全性、节能性和自动化智能化,确保在各种工况下都能为工作人员提供适宜的照明环境,同时降低能源消耗,实现可持续发展目标。

三、工程应用分析

1. 项目概况

某燃气余热发电项目位于华东地区工业园区,系统以两台50MW燃气轮机的高温尾气为热源,配套余热锅炉及蒸汽发电机组,年发电量约2.4亿kWh。厂区强电系统涵盖380V/10kV配电、防雷接地及全厂照明,总负荷需求达2200kVA,其中锅炉本体循环水泵(单台功率132kW)、引风机(90kW)及控制系统为核心用电负载。设计面临多重挑战:燃气轮机区域环境温度长期高达60℃,电缆需耐受高温及机械振动;厂区地势低洼;此外,锅炉本体与电缆桥架路径存在交叉,需兼顾散热与电磁兼容性。

2. 设计方案实施

低压配电系统采用双电源进线冗余设计,设置4台MCC柜靠近锅炉本体布置,配置施耐德MT系列断路器(短路分断能力50kA)及ABB变频器,电缆选用ZA-YJV-0.6/1kV耐高温阻燃型号。防雷接地系统采用环形接地网,主网由40×4mm镀锌扁钢焊接成网格,埋

深-0.8m,结合垂直接地极(L50×50×5mm角钢,间距5m)。照明系统采用120套三防LED灯具(光通量8000lm)以及30套LED低顶灯(光通量4000lm),锅炉本体区域照度达100lx,配电室区域照度达200lx,电子设备间及其他仪控区域照度达300lx。同时配置消防应急照明配电箱(容量0.5KW)2台以及消防应急照明灯和标志灯各20套,断电后可持续供电时间大于90分钟。电缆桥架选用热镀锌梯架/槽盒(宽度200、400、600mm),沿锅炉外围非高温区敷设,跨接处增设防火隔板。

3. 运行效果与问题改进

投运后监测显示,配电系统电压波动率≤2.5%,接地网冲击耐受电流达25kA,雷雨季未发生雷击故障。节能方面,LED照明较传统钠灯节电35%,并且增设了智慧照明控制系统;循环水泵及引风机电机也增设了变频器控制,年省电费约16万元。调试阶段发现锅炉本体附近电缆桥架升温超标(70℃),通过增设通风百叶窗及桥架间距扩大至150mm后,温控恢复至55℃以下。此外,原设计电缆沟排水不畅导致局部积水,通过增设坡度(5‰)及排水泵后解决。项目最终通过优化设计实现了系统可用率99.2%、年故障停机≤3次的行业领先水平,验证了强电设计方案的可靠性与经济性。

结束语

利用燃气余热锅炉进行发电不仅可以显著提升能源的使用效率和减少企业的运营开销,而且在推进绿色和低碳发展的道路上也起到了不可或缺的角色。通过对电气控制系统的硬件设计和控制策略进行优化,我们成功地实现了对系统运行状况的精准监控和智能调整,从而显著提高了设备的反应速度和运行稳定性。未来随着智能技术的进步,燃气余热锅炉发电系统将更加重视自动化和智能控制的融合,以促进系统的自适应调整和绩效优化。

参考文献

- [1] 曲晗. 钢厂转炉余热发电系统控制及并网技术研究[D]. 大连理工大学, 2014.
- [2] 金晶波. 干法水泥窑余热发电系统电气设计与实现[D]. 湖南大学, 2016.
- [3] 王一平. 工业余热发电系统蒸发器—泵—电机的建模与控制方法研究[D]. 沈阳工业大学, 2012.