

E级燃气-蒸汽联合循环机组启动过程优化的探索

王佰仟,姚继宇,王金龙,王连鹏,常 森

北京京能未来燃气热电有限公司,北京 102209

摘 要 针对北京京能未来燃气热电有限公司(以下简称“未来热电”)的E级燃气-蒸汽联合循环发电机组,提出了一套启动过程优化方案。经过实际应用,该方案能够有效缩短联合循环机组启动时间、减小启动能耗,同时通过启动过程优化,提高了操作质量和管理水平。

关键词 燃气联合循环机组;启动过程优化;最优耗时;启动成本;降低能耗;降低污染物排放

中图分类号 TK479

DOI 10.19769/j.zdhy.2022.05.052

0 引言

未来热电燃气-蒸汽联合循环发电机组的启动流程有2个亟须解决的问题。第一个问题是启动成本高。粗略估算,联合循环机组的平均单次启动成本在12万元左右。2017、2018年未来热电共启动41次,启机总支出约400万元。机组启动期间,整套机组(特别是燃机)效率极低,气耗达到额定工况的2倍以上^[1],一次冷态启动时长6 h左右,这使得天然气费用支出远高于售电收入。另外低负荷工况下,各类辅机也普遍运行在低负荷区,效率较低。简言之,缩短机组启动期间低负荷区停留时间,就能达到降低启动成本。

第二个问题是机组启动流程复杂,操作量大,操作过程不规范。同样的启动工况,值班员经验、理念有差异,在操作中频繁衔接不好、流程拖沓甚至关键操作和参数控制不合理等问题。以前历次启机中,多次出现机组未能按照调度要求并网的情况。

1 问题的 min 析和解决。

1.1 确定机组启动流程节点

缩短和规范机组的启动流程,首先必须明确各典型工况下启动操作的主线,即确定流程节点。根据普遍的运行操作经验,可确定机组启动流程^{[2][3]}为:辅助系统投入(补给水、冷却水、锅炉水系统和油系统等已具备启动条件)—机组具备启动条件—启动锅炉点火供汽—辅汽系统和轴封系统供汽—汽机抽真空—燃机启动并网—锅炉蒸汽参数达到汽机要求—汽机冲车—汽机低速暖机—汽机并网—汽机初负荷暖机—负荷至140 MW,启动完成。

1.2 明确机组典型启动状态

启动流程中,可变耗时主要是汽机低速暖机、汽机初负荷暖机时间,这由汽轮机在冲车时的内缸温度直接决定。根据汽轮机运行要求,作出汽机缸温—暖机时间曲

线^[4]。可见,缸温(或缸温与主汽温差)不同,暖机时间从0~120 min不等。从暖机曲线和操作经验出发,提取两个典型的缸温数值:120℃和250℃。后续的数据调取和分析,都会以3个缸温区段来讨论机组启动状态,即研究缸温小于120℃、缸温120~250℃和缸温高于250℃三个启动状态(见图1),对启动流程进行优化。

1.3 根据历史运行数据计算启动流程最优耗时

统计2017年2018年间共41次机组启、停过程的主要参数和成本,剔除异常数据并结合操作日志记录,最终确定每个步序的最优耗时。

“最优耗时”,是指正常情况下某个操作步序完成所需要的最短时间。以“轴封供汽”为例,最优耗时为20 min,意即从轴封开始暖管到正常供汽应该在20 min内完成。历史记录的操作时间从20~40 min不等。实际上开始抽真空20 min后,凝汽器背压值就能达到55 kPa以下、燃机满足启动条件,燃机的启动和继续抽真空可并行。然而有些值班员会等待汽机背压降低至9 kPa左右后方才启动燃机,这显然统筹的不合理,无谓延长了启动耗时,间接延长了各类辅机低效运行时间。其他步序限制因素各有差异,但确定的原则基本类似。

各步序固定耗时+可变耗时(缸温决定),即为当前启动状态下机组需要的最优启动用时。见表1为最优耗时和历次典型耗时的对比,可见最优耗时明显缩短,即整套机组运行在低效率区的时间缩短了。

2 最终方案

2.1 制定启动流程

综合以上数据,未来热电制定了《联合循环机组启动流程》(以下简称《流程》)。将机组启动过程划为3类,即缸温低于120℃、缸温120~250℃、缸温高于250℃3类。以缸温低于120℃工况下的启动流程为例进行说明(以燃机并网时为零时刻),见表2所示。

收稿日期:2022-05-03

作者简介:王佰仟(1982—),男,吉林四平人,本科,工程师,北京京能未来燃气热电有限公司发电部副部长;姚继宇(1982—),男,辽宁锦州人,本科,工程师,北京京能未来燃气热电有限公司发电部部长;王连鹏(1990—),男,北京人,本科,助理工程师,北京京能未来燃气热电有限公司发电部副值班员;王金龙(1988—),男,辽宁沈阳人,本科,助理工程师,北京京能未来燃气热电有限公司发电部副值班员;常森(1994—),男,北京人,本科,北京京能未来燃气热电有限公司发电部巡检员。

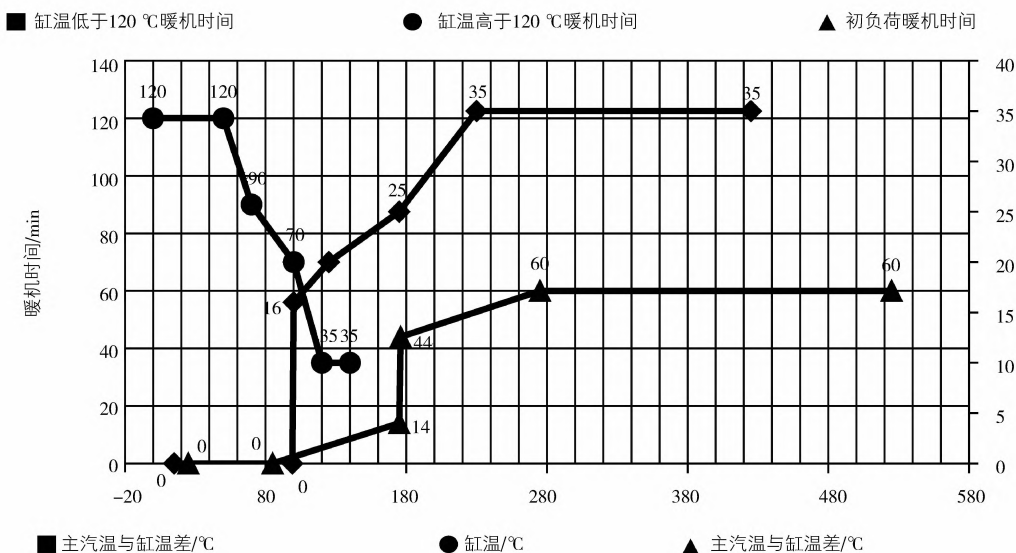


图 1 汽轮机暖机时间曲线

表 1 机组启动最优用时表

	投运启动炉	轴封供汽	汽机抽真空	燃机启动	锅炉升参数	汽机低速暖机	汽机初负荷暖机	总负荷 140 MW
最优耗时	40 min	20 min	20 min	20 min	80 min	缸温决定	缸温决定	≤1 小时
历史耗时		约 100 min		约 20 min	80~185 min	缸温决定	热态 12 min, 冷态 110 min	

表 2 联合循环机组启动流程 (缸温低于 120 ℃)

联合循环机组启动流程 (缸温低于 120 ℃)
[-01:45]点启动炉 (1)启动炉点火,并向辅汽联箱供汽; (2)投燃机连续盘车; (3)投汽机控制油系统; (4)投入发电机冷却水系统; (5)投入凝结水系统; (6)检查燃机发变组保护装置。 [-01:05]供轴封 启动一台给水泵,调整汽包水位至点火水位。 [-00:45]抽真空 背压至 40 kPa 时确认燃机具备点火条件 (READY FOR START); 开始执行《燃机发电机并网操作票》,操作至第 29 项。 [-00:25]启动燃机 顺控启动燃机,继续执行《燃机发电机并网电气操作票》。 [00:00]燃机并网 (1)执行《厂用电切换操作票》,燃机稳定负荷大于 20 MW 后切换厂用电; (2)供暖和供冷季,低省出口水温达到 80 ℃时,投扩大省煤器、热网水循环; (3)并网后低旁调阀压力设定 0.65 MPa,启动炉自动减载至零后停运; [01:20]汽机启动 汽机开始低速暖机时执行《汽机发电机并网操作票》。 注意:此处汽机启动至并网的时间间隔为 85 min,按照机组缸温接近环境温度启动的暖机时间 (78 min)考虑。若汽机启动前缸温接近 120 ℃时暖机时间将降为 40 min 左右,则此前各操作时间同步向后延迟相应时间。 [02:45]汽机并网 (实际操作时间按调度要求,以下顺延) [03:45]汽机初负荷暖机结束 (1)在汽机胀差允许情况下,尽快升负荷至总负荷 140 MW; (2)机组升负荷过程中达到投入条件时投入汽机补汽; (3)达到 SCR 投入条件时投入 SCR。 [04:45]机组总负荷至 140 MW,启动完成。

在接到电网调度要求后(燃机并网时间),运行人员能够根据流程表准确倒推各项主要步骤的操作和完成时间。例如电网下令要求燃机 08:00 并网且当前汽机缸温在 20 ℃,那么可以倒推出 06:15 启动炉应点火,09:20 汽机将具备冲车条件,并在 11:45 暖机结束。

《流程》不止规定了主要操作节点的起始时间,也对 2 个节点间同步进行的其他重要操作也做出了要求。比如在“燃机并网”和“汽机启动”间,属于燃机工况稳定、等待锅炉升参数的阶段,操作量较少,此段时间宜进行厂用电切换、投入扩大省煤器,并且应及时提高低旁压力设定值。

按照这个《流程》严格执行,能够确保机组以最经济方式、在既定的时间内完成机组启动,且各个操作节点责任明确。

2.2 其他方面的优化

本文未来热电对机组启动过程中使用的操作票做适应性优化,合理增删,使操作票更有指导性,同时提高其执行效率。比如《联合循环机组冷态启动》操作票,根据前述《流程》的指导对操作项目和顺序进行了调整。对所有涉及机组启动的所有系统设备电气操作票、热机操作票进行了修编,全方位规范操作。

此外,从 DCS 系统的控制逻辑也做出了优化,例如实现了汽机发电机定速后自动启励;从系统参数设定调节方法等多方面给出操作规范,又如从操作习惯上实现锅炉升压过程中自动接带辅汽联箱,并使启动炉自动减载停炉。

这些优化手段使得机组的启动过程操作更加顺畅、安全、节能,对同类电厂在启动原则上具有广泛的借鉴和指导意义。

3 结语

2019 年未来热电通过实施优化启动方案,获得了较好的经济效益。经过核算,机组日启动成本由 8.2 万元降低至 7.1 万元,周末启动成本由 15.8 万元降低至 13.9 万元。按照 2017 年机组启动情况(共 30 次)估算,年度可节省生产费用约 41 万元^[5]。

实施此方案,还能够获得一定的环保效益。机组启动期间,锅炉侧烟气温度较低、不满足投入 SCR 脱硝装置的条件,此时烟气 NO_x 排放值较高。以汽轮机暖机时燃机典型负荷 25 MW 来计算,烟气流量平均为 $110 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$,燃机扩散燃烧模式下锅炉 NO_x 排放量一般在 90 mg/Nm³ 以上,那么每小时的排放量至少 90 kg。方案实施后,从锅炉开始升参数到汽机暖机结束的时间平均可缩短约 20 min,即每次启机可少排放 30 kg 氮氧化物。按照 2017 年 30 次启动计,采用优化的启动方式可减少约 900 kg 氮氧化物排放。

优化启动方案实施后,获得了显著的管理效益。运行人员在得到调度的并网要求时间后,即可确定较为精准启动流程时间表。以冷态启动为例,实际并网时间和

调度要求并网时间偏差基本在 10 min 内,而启动总时长比历史平均启动时长缩短 40 min 左右。

发电机组启动是复杂的多系统协调操作,但并非无规律可循。本文正是从大量的数据中抽丝剥茧提炼出了未来热电机组启动的普遍规律,提出一种“复杂流程规范化”的思路以抛砖引玉。越复杂的生产流程,越有经济效益和管理效益可挖掘。

参考文献

- [1] 清华大学热能工程系动力机械与工程研究所,深圳南山热电股份有限公司.燃气轮机与燃气—蒸汽联合循环装置[M].中国电力出版社,2007.
- [2] 郑彦豪.燃气—蒸汽联合循环机组冷态启动优化[J].河南科技,2021(6):40-42.
- [3] 陈林.9FB 联合循环机组快速启动 min 析与运行策略优化[D].杭州:浙江大学.
- [4] Q/WLRD—114.08—01—2020.北京京能未来燃气热电有限公司集控运行规程[S].
- [5] 许凌云,史成宇.燃气—蒸汽联合循环机组效益计算与运行优化[J].热力发电,2021(9):59-65.

(上接第 159 页)

式中: c 为比热容; v 为锅炉体积; m 为水的密度; ΔT 为温度差; Q 为损失热量; P 为燃烧机功率; t 为从当前温度达到用户需要温度所需的时间^[4]。

3 小区智能供暖节能系统的应用效果

某小区总建筑采暖面积 $5\,147 \text{ m}^2$,供暖方式为燃气锅炉供暖,采暖期为 120 d,整个采暖期内 3 台锅炉总耗气量为 504.6 t。2017 年 4 月份,该小区对建筑采暖系统进行节能改造,安装智能供暖节能系统后,在 2017~2018 年的采暖期内进行了测试。结果显示,3 台锅炉总耗气量为 278.8 t,相比未进行节能改造的上一个采暖期,节约燃气 225.8 t,能源节约率达到了 44.7%。以燃气费为 1.9 元/kg 计算,该小区在 2017 年之前,每个供暖期内需要花费燃气费为 95.9 万元;而使用智能供暖节能系统后,一个供暖期内花费燃气费为 52.9 万元,节约了 43.0 万元。

4 结语

在推崇绿色环保理念的背景下,建筑供暖节能成为

热门研究课题。本文设计的一种智能供暖节能系统,以实时数据库为中心,可根据实时获取的前端数据作为智能调控依据,在计算机进行数据分析处理后自动生成调控指令,从而使建筑不同区域、不同楼层的温度得到灵活调节,在满足用户个性化采暖需求的同时,还能显著节约能耗。下一步,还要继续从系统响应速度、数据处理效率等方面展开深入研究,提高该系统的实用价值。

参考文献

- [1] 李锦良,张福鼎.基于绿色生物能源的自热式智能供暖健康家居系统[J].电子测试,2021(11):72-73.
- [2] 种道坤,周海珠,李晓萍,等.北方城市集中供暖系统能耗与过量供热案例分析[J].建筑热能通风空调,2022(4):5-6.
- [3] 陈卓,秦其昌,姚爱国,等.基于 5G 通信技术的供暖系统智能化控制研究与应用[J].有色冶金节能,2022(1):40-41.
- [4] 花俊,徐俊芳,周伟平,等.公共建筑智能化节能系统运行维护技术要点[J].建设科技,2022(3):39.