

双碳背景下应急备用电源的定位和经济性研究

张健,张健赞,胡振广,龚家猷,赵海军,张万淋

(国家能源集团技术经济研究院,北京 102211)

摘要:应急备用电源是贯彻和落实碳达峰和碳中和工作方案的必要措施,是促进煤电行业优化升级的重要举措,其运行状态可分为长期停运、热备用和运行 3 种状态。2019 年以来,夏季全社会用电负荷屡创新高,电力系统也历经迎峰度夏、能耗双控政策和新能源大规模波动的极端考验,全社会电高峰期均可由在运电源提供充足电力,火电机组承担了大量调峰和调频服务。挂网煤电机组负荷率相对较低,2021 年煤电机组利用小时数为 4 448 h,顶峰能力由挂网机组承担。这种局面导致应急备用电源长期处于停运状态,不能很好解决电力系统出现的临时性电源短缺问题。在新能源发电突降,正常备用煤电机组不能按时启动时,长期停运的应急备用电源应急启动时间更长,不能起到顶峰和短时间快速带负荷的作用。在经济层面,应急备用电源的长期停运也会导致冷却水系统、轴承、烟道、受热面、换热器、疏水管等部位加速腐蚀,维护检修工作量一般不会少于机组正常运行,运行维护工作量的大幅增加,导致运维成本高。对某服役到期的 300 MW 机组进行应急备用期间的运维费用测算,需运维费用约 7 063 万元/a,随着备用时间的延长,费用将升高。在不计算设备折旧,假设运行期间成本和收益相抵的前提下,该 300 MW 应急备用电源按年运行 168 h,负荷率按 80%,应急备用成本约 1.75 元/kW 时,与其他调节方式相比较,没有优势。煤电应急备用电源备用费用高,应急启动时间长,严重影响其发挥其应有的应急备用功能。

关键词:应急备用电源;运行状态;运行维护;煤电关停;技术经济

中图分类号:F407.61;TK018 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2023)S2-0829-05

Research on positioning and economy of emergency standby power supply based on dual carbon background

ZHANG Jian,ZHANG Jianyun,HU Zhenguang,GONG Jiayou,ZHAO Haijun,ZHANG Wanlin

(CHN Energy Technology & Economics Research Institute,Beijing 102211,China)

Abstract: Emergency standby power supply is a necessary measure to implement the carbon peak and carbon neutralization work plan, and an important measure to promote the optimization and upgrading of the coal power industry. Its operation status can be divided into long-term shutdown, hot standby and operation. Since 2019, the power load of the whole society has repeatedly reached new highs in summer, and the power system has also experienced extreme tests of peak summer, energy consumption dual control policy and large-scale fluctuations in new energy. During the peak period of electricity in the whole society, sufficient power can be provided by the operating power supply, and thermal power units undertake a large number of peak shaving and frequency modulation services. The load rate of grid connected coal-fired power units is relatively low. In 2021, the utilization hours of coal-fired power units will be 4 448 h, and the peak capacity will be borne by the grid connected units. This situation leads to the long-term shutdown of the emergency standby power supply, which can not solve the problem of temporary power shortage in the power system. When the new energy power generation plummeted and the normal standby coal-fired power unit could not be started on time, the emergency start-up time of the long-term shutdown emergency standby power supply was longer, which could not reach the peak and the pain of rapid load in a short time. At the economic level, the long-term shutdown of the emergency standby power supply will also lead to accelerated corrosion of the cooling water system, bearings, flue, heating

收稿日期:2022-07-06; **责任编辑:**常明然 **DOI:**10.13226/j.issn.1006-6772.SD22070601

基金项目:碳排放双控背景下的煤电机组“三改联动”研究资助项目(GNJY-R-22-07);碳中和背景下能源企业转型发展战略研究资助项目(GJNY-21-139)

作者简介:张健(1981—)男,河北平山人,高级工程师,硕士。E-mail:16090434@chnenergy.com.cn

引用格式:张健,张健赞,胡振广,等.双碳背景下应急备用电源的定位和经济性研究[J].洁净煤技术,2023,29(S2):829-833.

ZHANG Jian,ZHANG Jianyun,HU Zhenguang,et al.Research on positioning and economy of emergency standby power supply based on dual carbon background[J].Clean Coal Technology,2023,29(S2):829-833.

surface, heat exchanger, drain pipe and other parts. The maintenance and overhaul workload is generally no less than the normal operation of the unit. The substantial increase in the operation and maintenance workload will lead to high operation and maintenance costs. The operation and maintenance cost of a 300 MW unit due for service during the emergency standby period is estimated to be about 70 million 630 thousand yuan /a. With the extension of the standby time, the cost will increase. Without calculating the depreciation of equipment, assuming that the costs and benefits during the operation period are offset, the 300 MW emergency standby power supply operates 168 h a year, the load rate is 80%, and the emergency standby cost is about 1.75 yuan/kWh. Compared with other regulation methods, it has no advantage. The high standby cost and long emergency start-up time of coal power emergency standby power supply seriously affect its due emergency standby function.

Key words: Emergency standby power supply; operation status; operation and maintenance; coal power shutdown; technical economy

0 引言

为贯彻落实中共中央国务院关于做好碳达峰碳中和和工作意见的精神,推动能源行业结构优化升级,进一步提升煤电机组清洁高效灵活性水平,促进电力行业清洁低碳转型,助力全国碳达峰、碳中和目标如期实现,国家发改委和能源局印发《全国煤电机组改造升级的通知》,要求在确保电力安全的前提下,坚持市场导向,合理把握节奏,实现降耗减碳。对符合《关于深入推进供给侧结构性改革 进一步淘汰煤电落后产能 促进煤电行业优化升级的意见》中关停要求的燃煤机组,加大淘汰工作力度,原则上关而不拆,全部创造条件转为应急备用和调峰电源。

为解决局部地区、部分时段出现的电力热力供应短缺问题,国家发展改革委、国家能源局于 2018 年印发《煤电应急备用电源管理指导意见》,提出申请认定应急备用电源的条件和相应的管理政策。意见还给出了备用容量成本及分摊办法原则,要求优先通过发电权交易方式解决,剩余费用试点执行两部制电价。

我国可再生能源发展取得的巨大成绩,截至 2021 年底,我国水电、风电、太阳能和核电发电的装机规模分别达到 39 092 万、32 848 万、30 656 万和 5 326 万 kW,可再生能源总发电量位居世界第 1^[1-2]。随风电和太阳能发电大规模接入电力系统,火电利用小时数将长期保持在相对较低水平,部分火电机组需腾出容量用来消纳日益增长的风电和火电^[3-4]。2020 年以来,全球经济受疫情影响发展停滞,我国经济一枝独秀,全国煤电利用小时数从 2019 年的 4 293 h 上升至 2021 年的 4 448 h,2021 年全国多省市出现拉闸限电,更凸显了应急备用电源在新型电力系统中的保供作用^[5-7]。以河南省为例,“十四五”期间预计 10 台关而不拆的煤电机组列入应急电源运行,合计 242.50 MW^[8]。

刘军会等^[8]基于 2030 年河南省实现碳达峰的发展情景,研究提出河南电力发展目标,分析研判系

统成本变化趋势,并量化测算“十四五”期间推动我省电力行业低碳转型所需的总体投资规模。韩军锋等^[9]结合当前国家对煤电应急备用电源的要求和河南省淘汰煤电落后产能等相关政策,以河南某电厂 1 台 300 MW 煤电机组为实例,对煤电应急备用电源进行经济性分析。随着全国大量应急备用电源接入电力系统,应急备用机组运行状态的核定,运行和维护费用的核算,合理的补偿方案等尚未进行深入研究。

1 应急备用电源运行状态研究

1.1 长期停运

应急备用电源的定位是常态下停机备用,应急状态下启动,顶峰运行后停机,在发挥保供作用的同时为降低整体能耗和排放作出贡献。根据 2019 年以来全国电力系统运行情况,各地电力主管部门采取有序用电措施,主动错峰避峰,不会出现拉闸限电。用电高峰来临前,可提前将机组置于热备用状态,以备在全社会用电高峰时段投入运行,保证市场电力供应。

煤电机组根据机组停运方式的不同,停机状态、保养费用、启动过程、启动费用和启动时间均不相同。机组长期停运,机炉需要进行保养,一般采用氨水法、氨水碱化烘干和成膜法,根据行业内通用作法,停机保护 2~3 个月后,为确保锅炉保护效果,需要点火重复保护作业;为降低运维费用,所有辅机系统停运,定期试运转;发电机出口刀闸分开,发电机排氢完毕,电气系统处于冷备用;制粉系统余煤余粉要每日监测,防止发生自燃;炉膛及烟道内部放置干燥剂,并定期更换,防止内壁腐蚀;电动机要投入电加热;冬季应采取防冻措施,投入伴热^[10-11]。

除定期工作外,长期停运的机组启动时要进行大量的启动试验工作,并进行管道和设备注水、辅机启动、冷态冲洗、锅炉点火、热态冲洗、升温升压、暖机和并网,该过程会消耗大量燃料、电力和除盐水^[12]。依据定期试验深度和广度,长期停运机组的

启动时间一般不低于 72 h。电网调度在预计未来 3~4 d 用电高峰即将到来时,要提前通知应急备用电源做好应急启动工作,将机组状态摆放至热备用状态,随时投入运行,满足高峰用电需求。

1.2 热态备用

当用电高峰期持续时,应急备用电源会处于启停调峰状态,白天用电高峰期启动,夜晚用电高峰后停运。此时机组锅炉运行状态为灭火待启动或带厂用电运行方式,根据锅炉和汽轮机壁温确定启动时间。该运行方式下的机组启动时间一般不超过 1~4 h。

2021 年,东北三省风电总装机达到约 35 000 MW。夏季高峰期最严重时,东北风电装机总出力最低只有 34 MW。9 月 21 日冷空气过后,风电出力明显下降,拉闸限电期间,风电出力远不足装机容量的 10%,而此时辽宁的火电出力仅为装机容量的一半左右,短时间内出现电力供应缺口。因此,除煤价偏高,煤电出力困难之外,东北拉闸限电的主要原因是有顺序用电没有很好执行^[13]。此类拉闸限电的原因是短时电力出力不足。因电网内的煤机并未全部并网,

表 1 2021 年底各地发电装机与 2022 年最高负荷

电网	发电总装机/MW	水电装机/MW	火电装机/MW	核电装机/MW	风电装机/MW	太阳能发电装机/MW	最高负荷/MW
河南电网	111 140	4 070	73 010	0	18 500	15 560	68 170
甘肃电网	61 520	9 670	23 090	0	17 250	11 460	17 870
山东电网	173 340	1 680	115 990	2 500	19 420	33 430	97 580
山西电网	113 380	2 240	75 330	0	21 230	14 580	34 240
西北电网	356 640	34 860	178 320	0	75 050	68 290	112 180

2021 年全国南方省份拉闸限电由能耗双控导致^[14-15],投入应急备用电源并不会缓解用电紧张局面。东北拉闸限电的原因为风电发电量突降,有序用电没有很好执行,此时的应急备用电源应处于长期停运方式,不能立刻启动弥补电力缺口。

可以预见,应急备用电源将长期处于停运状态,负荷中短期预测出现缺口时,转入热备用状态,极端情况下投入运行。

2 运行和备用时长研究

近年全社会电高峰期均可由在运电源提供充足电力,且火电机组承担了大量的调峰和调频服务,挂网煤电机组负荷率相对较低,2021 年煤电机组利用小时数为 4 448 h,顶峰能力由挂网机组承担。目前煤电应急备用电源定位并不明晰,也无详细的标准可供执行,因此成本也无法做到精确测算。根据典型省份用电负荷曲线^[16],2020 电网年最高负荷出现在 6—8 月,日用电高峰一般出现在 12:00 和

电网优先考虑将该停备机组并入电网,满足用电需求。此时应急备用电源处于长期停运状态,不能迅速并入电网供电,也不能缓解用电需求。

若能根据中短期的天气情况预测风电和太阳能发电出力,则可将应急备用电源置于热备用状态,甚至带厂用电运行,发电机合闸后,即可向电网提供顶峰服务。

1.3 运行状态分析

据国家电网监测数据显示,受持续高温影响,2022 年 6 月,河北、山东、河南、陕西、甘肃、宁夏、新疆等 7 个省级电网及西北电网用电负荷均创历史新高,是用电高峰期,应急备用电源理应启动顶峰,发挥保供作用。

2022 年用电高峰期,各地最高负荷均低于火电装机,剔除跨区域送电负荷后,上述各地发电装机均能满足当地用电需求(表 1),不发生拉闸限电,不需要应急备用电源启动顶峰运行。电网应当将应急备用电源置于热态启动运行方式,其他电源突然失去出力后,随时并网。

21:00。结合 2022 年 6 月份北方出现用电高峰的情况,初步判断每年 9 月至次年 5 月,应急备用电源处于长期停运。

文献[9]表明,每年 6—9 月是全社会用电高峰期,均有 3 个用电高峰值,3 个用电高峰值处于约 1 个月内。可预测应急调峰电源机组每年约有 1 个月处于热备用状态,并在用电高峰期启动 3 次,预测共运行约 168 h。

3 长期停运成本分析

以某电厂 1 台 300 MW 亚临界煤电机组为例,对其应急备用成本进行分析。

3.1 日常维护成本

机组长期停运期间,维护工作主要包括停炉保养、停机保养、设备和阀门的定期试运行、电气设备定期清扫、带电设备消缺、除盐水系统维护、构建筑物维修、仪表定期检验、压力容器定期检验、技术监督等费用^[17-18]等,日常维护成本约 4 321 万元/(a·台),见表 2。

表 2 日常维护成本

序号	项目名称	预计金额/(万元·a ⁻¹)	备注
1	停炉保养	240	每 3 个月重复保护作业,包括燃料费、辅助蒸汽费、水费、电费、药剂费及除湿剂等
2	定期工作	200	包括电费、水费等
3	电气设备定期清扫	10	每年两次
4	技术监督和技术服务	111	技术监督按 2 元/kW,技术服务按 1.7 元/kW
5	试验校验费	100	包括仪表校验和压力容器检验等
6	日常修理费	800	
7	固定材料费	260	不含机组发电所需的变动材料 ^[9]
8	设备更新	1 100	包含电子设备、电气设备和催化剂等 ^[9]
9	C 级检修费用	1 500	按 2 a C 级检修一次
合计		4 321	

3.2 机组应急启动和运行费用

机组启动包含大量的启动试验工作,并进行管道和设备注水、辅机启动、冷态冲洗、锅炉点火、热态冲洗、升温升压、暖机和并网,整个过程持续 48~72 h,期间消耗大量的辅助蒸汽、燃煤、除盐水、厂用电和燃油,启动需约 100 万元/次。机组停运后,部分辅机需继续运行,并需要加药保养,按 20 万元/次,3 次启停耗约 360 万元。

考虑到燃煤、冷却水、脱硝剂、脱硫剂和除盐水等需要临时购买,成本比常年运行的机组高,售电成本和售电收益相抵。

3.3 人工薪酬费用

应急备用机组保留 3 班运行值班人员,机组启动及机炉保养期间实行三班运转方式,备用期间只上白班,进行定期工作、办理三票和模拟操作。每个班组包括 6 位主控室操盘人员,2 位脱硫除灰操作人员,2 位化学水制水车间操作人员,2 位输煤值班室值班人员。另外,需要汽机、锅炉、电气、热控、辅控专业检修工程师各 2 人,化学、脱硫、除灰检修工程师各 1 人。运行和检修人员共需要 49 人/台。薪酬按税前 18 万元/(人·a),共需 882 万元/a。

此外,日常维护工作中搭脚手架、CEMS 维护保

养、应急事件处理、小型委托项目、小型维护项目等还需要外委其他工作人员,按 1 500 万元/a。

3.4 总费用估算

应急备用机组一般寿命即将到期,设备已到使用极限,需更新改造。机组长时间停运也会导致冷却水系统、轴承、烟道、受热面、换热器、疏水管等部位加速腐蚀,维护检修工作量一般不会少于正常运行机组^[19-20]。如东北某前苏联进口超超临界机组停机未超过 6 个月,但因锅炉低温再热器结构原因,停炉时部分积水未能排出,导致钢管腐蚀泄漏,需整体更换;北京某应急备用电源包含 2 台供热机组,3 a 备用未启动,经专业机构评估重新启动费用约 6~7 亿元。表 3 统计了全国 4 厂 300 MW 等级机组年运维费用,费用中包含职工薪酬、修理费、生产运行费、其他费用,部分机组包含管理费用。

由表 3 可知,一台 300 MW 等级机组在正常运行期间,不计算管理费的前提下,平均日常运维管理费约 7 213 万元/a。应急备用机组设备维护工作量不会低于正常运行机组,300 MW 机组保守估计需要约 7 063 万元/a,随着备用时间的延长,费用将会升高。

表 3 2021 年典型机组日常运维管理费用表

所在省份	机组容量/MW	2021 年维护费用/亿元	是否包含管理费	剔除管理费后的维护费/亿元	机组维护费用/(亿元·台 ⁻¹)
广西	2×350	2.40	是	1.40	0.700
安徽	2×320	1.30	否	1.30	0.650
海南	2×350	1.45	否	1.45	0.725
广东	2×350	3.02	是	1.62	0.810

在不计算设备折旧,假设运行期间成本和收益相抵的前提下,300 MW 应急备用电源按年运行

168 h,负荷率按 80%,应急备用成本约 1.75 元/kW 时,与其他调节方式相比较无优势。

4 结 论

1)在新能源装机规模不断增长的新型电力市场中,我国装机规模和装机结构要求煤电机组调峰运行,以满足新能源电力的消纳,煤电顶峰运行几率不高。在役煤电可满足电网迎峰度夏和迎峰度冬,煤电应急备用电源只有在新能源发电突减,挂网煤机不足或煤电大规模非停,且处于热备用状态时,才有投入运行的可能性。因此,应急备用电源将长期处于停运状态。

2)煤电机组长期停运,热力系统、冷却水系统、轴承、阀门、炉膛和烟道等部位氧化腐蚀将加快,日常维护费用将比正常运行时高。因此,一台300 MW的煤电应急备用电源,运行维护费用不低于7 063万元/a。

3)应急备用电源投入几率小,年运行费用高,与现有其他调峰调频手段相比性价比低,建议在消耗完其既有寿命后,不再进行大规模延寿改造,及时退役。

参考文献:

- [1] 张文华.面向系统灵活性的高比例可再生能源电力规划研究[D].北京:华北电力大学(北京),2021:1-15.
- [2] 中国可再生能源学会风能专业委员会.2021年中国风电吊装容量统计简报[J].风能,2022(5):38-52.
- [3] 张沈习,王丹阳,程浩忠,等.双碳目标下低碳综合能源系统规划关键技术及挑战[J].电力系统及其自动化,2022,46(8):189-205.
- [4] 毛健雄,郭慧娜,吴玉新.中国煤电低碳转型之路-国外生物质发电政策/技术综述及启示[J].洁净煤技术,2022,28(3):1-11.
- [5] 王铁辰.防止拉闸限电现象再发生[N].经济日报,2022-6-2(006).
- [6] 李洛瑶,杨雪荣.碳中和背景下对“拉闸限电”的思考[J].现代工业经济和信息化,2022,212(2):106-107.
- [7] 陈轶丽.拉闸限电:原因、影响及启示[J].河北企业,2022(6):29-31.
- [8] 刘军会,杨萌.双碳目标下河南省构建新型电力系统成本分析[C]//河南省电机工程学会2021年优秀科技论文集.河南:[s.n.],2021:133-137.
- [9] 韩军锋,唐天琦.河南省煤电应急备用电源经济性分析[J].河南电力,2020(s1):56-59.
- [10] 陈立伟.H热电厂设备维修管理研究[D].大连:大连理工大学,2021.
- [11] 冯礼奎,楼华栋,赖建忠.联合循环余热机组停/备用腐蚀防护技术综述[J].浙江电力,2018,37(8):86-90.
- [12] 郭通.电力系统灵活性评价及灵活性改造规划研究[D].北京:华北电力大学(北京),2021.
- [13] 马晨晨,吴斯旻,火电缺煤,风电“看天吃饭”东北巨大电力缺口待填补[N],第一财经日报,2021-09-29(006).
- [14] 程坦.简单说,拉闸限电就是因为缺煤[J].中国石油和化工产业观察,2021(10):32-33.
- [15] 杨俊峰,李博洋,霍婧,等.“十四五”中国光伏行业绿色低碳发展关键问题分析[J],有色金属(冶炼部分),2021(12):57-65.
- [16] 《国家发展改革委 国家能源局关于做好2021年电力中长期合同签订工作的通知》(发改运行[2020]1784号)[JB/OL].(2020-12-02).https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202012/t20201202_1252095.html?code=&state=123.
- [17] 韩雪,李继峰,俞敏.缓解“限电”需破解火电“越发越亏”怪圈[J].电力设备管理,2021(9):1.
- [18] 吕春光.火力发电厂做好设备运行可靠性管理的途径分析[J].现代制造技术与装备.2018(3):189-192.
- [19] 常春广.火力发电厂设备的综合维护管理[J].化工管理,2021(2):122-123.
- [20] 卢林发.浅谈发电厂设备一体化管理[J].华东电力,2001(11):8-11.