

超超临界发电有什么“超能力”

不久前,科技部部长王志刚在“中国这十年”系列主题新闻发布会上,多次提到超超临界发电,他表示,我国连续15年布局研发了百万千瓦级超超临界高效发电技术,目前供电煤耗最低可达到每千瓦时264克,大大低于全国平均值,也处于全球先进水平。目前,超超临界高效发电技术和示范工程已经在全国推广,占煤电总装机容量的26%,今后还要进一步大力推广。

“超超临界发电”一时成为热门词汇,甚至在股票市场也成了热门概念。那么,这个听上去有些拗口的热词,意味着什么样的科学“超能力”呢?



2020年11月11日,大唐东营发电有限公司的百万千瓦级超超临界燃煤发电机组投产。

“超超临界”重点在“临界”

用煤来发电,我们大家都知道。可什么是“超超临界”呢?这就要先来说说什么“临界”。

基于物理常识,一般液态纯净物经过加热或者降压到一定程度,会发生汽化;而气态纯净物在经过降温或者加压到一定程度,会发生凝结。

但任何纯净物都存在一个临界点,当压力高于临界压力时,无论如何加热,液体都不会发生汽化;当温度高于临界温度时,无论如何加压,都不会发生凝结。

比如,在常压下,水加热到100℃后继续加热会汽化成为水蒸气;而当水的压力高于22.13兆帕(约大气压的221倍),或者温度高于374.15℃时,就不再发生汽化与冷凝过程。

在临界压力或临界温度时,纯净物就处于“临界”状态;低于临界压力或临界温度,就处于“亚临界”状态;而高于临界压力或临界温度,就是“超临界”状态了。

常规火力发电机组(包括燃煤发电、生物质发电等,不包括燃气发电)是利用煤炭等燃料在锅炉内燃烧,将水加热升压成高温高压的水蒸气,推动汽轮机高速旋转,再带动发电机发电。

根据热力学定律,热力发电过程热能转化为电能的效率随锅炉出口蒸汽温度的增加而增加,实际过程需同步提高蒸汽压力、机组容量等以全面提高系统效率。

经过上百年的发展,火力发

电机组大体经历了低温低压(低于2.45兆帕、400℃)、中温中压(3.9兆帕、450℃)、高温高压(9.9兆帕、540℃)、超高压(13.8兆帕、540℃)、亚临界(16.7兆帕、540℃)、超临界(22.4兆帕、570℃)、超超临界(25至31兆帕、580℃至620℃)等参数等级,正在研制先进超超临界(35兆帕、700℃至760℃)等级发电技术。

其中,超临界、超超临界,以及正在研制的先进超超临界等级机组的初始参数都处于超临界状态,其余等级机组的初始参数都处于亚临界状态。

严格来说,纯净物只有“临界”“亚临界”“超临界”三种状态,并不存在什么“超超临界”。超超临界参数本质上就是比之前超临界参数高一个等级的参数,属于行业约定的范围。所谓“超超临界发电技术”,就是指利用给水泵将水升压至超超临界压力,再通过锅炉内燃料燃烧将水加热至超超临界温度后,通过汽轮发电机组进行发电的高效发电技术。

超超临界发电技术是当前世界最先进的火力发电技术,可在同步实现污染物超低排放的同时,将供电煤耗率降低至每千瓦时265克以下;正在积极研制的先进超超临界发电技术,更是有可能会将供电煤耗率进一步降低至每千瓦时225克以下。

超超临界发电技术是在我国富煤、贫油、少气的基本国情下,实现能源电力高质量发展的的重要途径。

曲折发展走过70余年

超超临界发电的概念在技术领域并不新鲜,从最初提出开始,目前已在全球范围内发展了70余年,大体可分为三个阶段。

第一阶段,从20世纪50年代开始,以美国、德国和苏联等为代表,在未经历超临界参数过渡的情况下,直接研制超超临界发电技术。但随后由于诸多超超临界机组频繁发生故障,从20世纪60年代后期开始,这些国家普遍将新建机组的蒸汽参数降低到超临界范围。

第二阶段,大约是从20世纪80年代初开始,超临界技术得到巩固发展。随着材料技术的发展,特别是锅炉和汽轮机材料性能的大幅提升,以及对电厂水化学方面的深入认识,早期超临界机组遇到的问题被逐一攻克。

第三阶段,大约是从20世纪90年代开始,超超临界发电技术重获新生。随着国际上环保要求日益严格,以及新材料的成功开发和常规超临界技术的成熟,超超临界技术的

发展拥有了更好的条件。以日本(三菱、东芝、日立)、欧洲(西门子、阿尔斯通)的技术为代表,在保证机组高可靠性、高可用率的前提下,采用更高的蒸汽温度和压力成为火电技术发展的主流趋势。

在中国,超超临界技术的应用起步较晚,但发展速度迅猛,走过了前期技术转让以及后期自主研发的整个过程。2003年下半年,科技部将超超临界机组参数与容量的选择列入“863”科技攻关课题,开始了超超临界火电机组的研制。随后哈尔滨电气集团、上海电气集团和东方电气集团分别从日本三菱、法国阿尔斯通和德国西门子、日本日立等公司引进1000兆瓦超超临界技术,开始建造1000兆瓦级超超临界机组。目前,超超临界高效发电技术和示范工程已经在全国推广,占煤电总装机容量的26%。中国已是世界上1000兆瓦级超超临界机组发展最快、数量最多、容量最大和运行性能最先进的国家。

材料创新研发期待突破

为进一步降低能耗和减少污染物排放,改善环境,在材料工业发展的支持下,各国的超超临界机组都在朝着更高参数的技术方向发展。这就要求进一步提升锅炉出口蒸汽的温度和压力。当前的超临界合金材料,最多可以承受630℃以下的温度范围。进一步提升锅炉出口蒸汽温度,则需要研发更先进的耐更高温度的合金材料,并通过配套焊接、制造工艺等系统研发,在保障安全的基础上尽量减少价格高昂的耐高温合金材料的使用。因此,材料成本和关键设备制造工艺是目前影响700℃先进超超临界发电技术的最大障碍。

当前世界主要经济体正在开展的700℃等级先进超超临界技术研发,可以认为是超超临界技术发展的重要方向。对此,欧盟起步最早,于1998年1月正式启动AD700先进超超临界发电计划。原计划通过示范电站的运行和技术完

善,在2011年左右实现机组商业化运行。然而由于高温合金钢和奥氏体钢价格昂贵,而相对便宜的铁素体钢性能还没有达到预期目标,整个项目的投资会大大增加,导致本计划一再推迟。目前欧盟还没有兴建示范电厂的具体计划。美国、日本等国家在发展先进超超临界技术方面也有自己的计划,目前都还没有进入商业化的相关报道。

我国于2010年7月23日在北京成立“国家700℃超超临界燃煤发电技术创新联盟”。根据700℃高效超超临界发电技术的难点,我国初步确定700℃计划示范机组容量采用600兆瓦等级,压力和温度参数为35兆帕/700℃/720℃,机组采用紧凑型布置,并制定了初步研发进度。原计划在“十二五”末建立660兆瓦、35兆帕/700℃/720℃的示范电站,但由于耐高温材料等研制的的影响,项目进度也在推迟。

延伸阅读

解开火电机组低负荷高能耗难题

《国务院关于印发建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》明确提出,要推动能源体系绿色低碳转型,促进绿色低碳技术研发和推广。2021年4月22日,中国在“领导人气候峰会”上提出,中国将严控煤电项目,“十四五”时期严控煤炭消费增长,“十五五”时期逐步减少。

2021年,我国提出“碳达峰”“碳中和”的“双碳目标”。碳达峰是指我国承诺2030年前,二氧化碳的排放不再增长,达到峰值之后逐步降低;碳中和是指我国至2060年,二氧化碳的排放量与消除量达到平衡。

截至2021年底,我国风电与太阳能发电总装机达6.35亿千瓦,以风电、光伏发电为代表的新能源电力迅猛发展,预计2030年将达12亿千瓦以上。而以火电为主体的基础电源将逐渐进入调峰运行新常态。

然而,基于热力学常识,常规火电机组调峰过程低负荷工况蒸汽流量大幅下降,引起汽轮机入口蒸汽压力近似线性下降,直接导致调峰过程机组能效大幅攀升(低负荷工况类似大马拉小车)。

比如,常规超超临界火电机组深度调峰至30%额定负荷运行时,直接导致机组参数降低至超临界乃至亚临界状态,能耗大幅攀升10%以上(每千瓦时35-40克)。

相比于先进700℃超超临界发电技术,火电机组低负荷高能耗问题,成为当前超超临界发电技术进一步发展的亟待解决的更重要问题。

在国家各部门的大力支持下,在倪维斗院士、岳光溪院士的全面指导下,清华大学、暨南大学等单位开展联合攻关,经过十余年的努力,突破了火电行业百余年来“低负荷工况机组供电煤耗必然大幅上升”的传统认知,通过将热力系统进行模块化设计,可在中低负荷工况条件下调整系统通流结构,实现火电机组全负荷高效运行。他们正在积极开发具有自主知识产权的火电机组调峰过程全负荷高效运行技术,有望全面降低火电机组调峰过程低负荷工况下的供电煤耗,实现由“中国制造”向“中国创造”的飞跃。

据《北京日报》、新华社

