



中国电机工程学会
CHINESE SOCIETY FOR ELECTRICAL ENGINEERING

学术系列报告

CSEE-AC-2015-R2

“十三五” 电力科技重大技术方向 研究报告

Report on Major Technological Trend of
Electric Power in the 13th Five-Year Plan Period

中国电机工程学会



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



中国电机工程学会
CHINESE SOCIETY FOR ELECTRICAL ENGINEERING

学术系列报告

CSEE-AC-2015-R2

“十三五”电力科技重大技术方向 研究报告

Report on Major Technological Trend of
Electric Power in the 13th Five-Year Plan Period

中国电机工程学会



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

“十三五”电力科技重大技术方向研究报告 / 中国电机工程学会
编著. —北京: 中国电力出版社, 2015.11 (2016.3重印)

ISBN 978-7-5123-8537-5

I. ①十… II. ①中… III. ①电力工业-科学技术-研究报告-中国 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 263315 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司

各地新华书店经售

*

2015 年 11 月第一版 2016 年 3 月北京第二次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 4 印张 72 千字

定价 30.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编审委员会名单

主任委员	郑宝森				
副主任委员	周孝信	谢明亮	王良友	刘国跃	金耀华
	邓建玲	米树华	苏力	张诚	王树民
	王斌	赵洁	刘吉臻	宋永华	陈斌
委员	韩英铎	陈厚群	潘垣	黄其励	雷清泉
	陶文铨	岳光溪	程时杰	过增元	郭剑波
	周小谦	张晓鲁	张运洲	林伟杰	陈小良
	范建斌	余建国	梁昌乾	李少华	刘传柱
	钟鲁文	曹保钧			

编写人员名单

主 编 周孝信
副 主 编 陈小良 张运洲 魏 玢
编 写 人 员 (按姓氏笔画排列)

王月明	王伟胜	王海茹	王聪生	王耀华
牛玉广	石文辉	朱任翔	刘云	孙锐
李新	杨威	肖平	肖立业	肖俊峰
时振刚	何雅玲	余璟	闵勇	张兴
张祖平	陈永翀	陈寅彪	林伟杰	周荣灿
周缨	孟玉婵	赵敏	赵毅	胡家兵
俞卓平	姚明宇	姚建国	姚强	袁勇
徐洪泉	黄学良	黄湘	曹军辉	曹枚根
梁发光	鲁宗相	谢国辉	廖海燕	樊昊

目 录

引言	1
上篇 我国电力科技发展现状与形势	3
一、发展现状	3
1. 燃煤发电技术领域	3
2. 输配电技术领域	4
3. 新能源发电技术领域	5
4. 水力发电技术领域	6
5. 核电技术领域	8
6. 燃气轮机发电领域	9
二、发展新形势	11
1. 世界电力技术发展形势	11
2. 我国电力技术发展形势	11
下篇 “十三五”电力科技重大方向及关键技术	14
一、智能电网技术	16
1. 大规模可再生能源并网调控技术	17
2. 大电网柔性互联技术	18
3. 现代配电网多元用户供需互动用电技术	18
4. 储能新技术	19
二、我国新一代能源系统技术	21
1. 源端综合能源电力系统关键技术	21
2. 受端综合能源电力系统关键技术	22
3. 未来我国西部直流电网技术	23
三、全球能源互联网技术	23
1. 全球能源互联网战略规划技术	24
2. 大容量、远距离输电技术与装备	24
3. 大电网安全稳定运行和控制技术	25

四、高效清洁火力发电技术	26
1. 700℃超超临界发电关键技术	26
2. 超超临界循环流化床发电技术	27
3. 联合循环发电及煤基多联产技术	28
4. 特种煤发电技术	28
5. 燃煤电厂烟气污染物一体化脱除及二氧化碳捕集技术	29
6. 燃气轮机联合循环和微型燃机冷热电联供发电技术	30
五、可再生能源发电及利用技术	31
1. 海上风力发电技术	32
2. 太阳能光热发电技术	33
3. 新能源发电功率高精度预测技术	33
4. 新能源发电优化调度技术	34
六、水力发电技术	35
1. 超高坝建设技术	35
2. 大型地下洞室群关键技术	36
3. 环境保护、移民安置与生态修复技术	37
4. 高性能大容量水电机组技术	37
5. 数字化、智能化水电与研发	38
七、先进核能发电技术	40
1. 第三代大型先进核电技术及装备	40
2. 第四代核电技术	41
3. 模块化小型核反应堆技术	42
八、系统能效提升技术	43
1. 单一能源系统内部节能增效技术	43
2. 多能源超大系统协同增效及综合能量管理技术	45
3. 火电厂余热利用与海水淡化集成优化	45
4. 配用电系统的能效提升技术	46
九、基础性、前瞻性技术研究	48
1. 电工新材料	48
2. 无线输电技术	48
3. 超导技术	49

4. 智能电网基础支撑技术	51
5. 超临界二氧化碳循环发电技术	51
6. 新能源发电与火力发电协同利用技术	52
结束语	54



引 言

2015 年是国家“十三五”规划编制启动之年，是我国经济社会发展承前启后、继往开来的关键之年，做好“十三五”规划研究和编制工作十分重要。电力规划是能源规划的重要组成部分，电力科技规划是电力行业创新发展的核心内容。“十三五”期间，随着创新驱动发展战略、能源革命、“互联网+”行动计划等国家战略部署不断深入推进，我国电力科技发展面临前所未有的机遇和挑战，针对电力科技规划和技术创新方向开展专题研究，对推动电力行业科学发展、电力科技不断创新具有十分重要的意义。

电力行业创新发展要认真贯彻落实十八届五中全会精神，按照《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》的有关要求，坚持绿色低碳循环发展，推进能源革命，加快技术创新，突破相关领域核心技术，特别是智能电网、储能、全球能源互联网、高效清洁燃煤发电、分布式能源、先进核能发电等关键技术，加快发展利用风能、太阳能、生物质能、水能、地热能发电，安全高效发展核电，加快促进新能源、电动汽车、电力装备等产业发展壮大，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系。

中国电机工程学会认真分析电力科技领域发展现状和趋势，积极开展“十三五”电力科技重大技术方向研究。专门成立了编审委员会，邀请电网、火电、水电、核电及可再生能源等相关领域的院士和专家参与或指导规划编制，国网能源研究院全程参加报告编制并承担了报告汇总工作，国家电网公司、清华大学、西安交通大学、电力规划设计总院、西安热工院等多家单位的专家承担专题研究及报告编制工作。同时，中国科协给予大力支持，资助学会立项开展研究。编制过程中，通过专题研究、问卷调查、专门访问、专题研讨会等形式，广泛收集专家意见，并在此基础上



组织核心专家集中工作，反复征询意见，多次修订完善，历时半年，形成研究报告，经编审委员会研究通过予以发布。

研究报告分析了我国电力科技发展现状和发展新形势，系统地论述并提出了“十三五”期间应重点研究的 9 个电力科技重大技术方向，围绕这 9 个重大技术方向，精心梳理和筛选出需要重点研究的 38 项关键技术，逐项分析了关键技术的现状及存在的问题，提出了主要研究内容及目标。

作为我国电力行业的科技社团组织，中国电机工程学会集合了全行业力量开展五年规划重大技术方向研究，报告内容力求全面、系统、准确，并具有一定的前瞻性，以期为国家有关部门、电力行业企事业单位、科研院所以及广大科技工作者在开展“十三五”电力规划和关键技术研究过程中提供参考和借鉴。



上篇 我国电力科技发展 现状与形势

一、发展现状

“十二五”以来，我国电力技术蓬勃发展，特高压输电技术及装备、智能电网、高效清洁燃煤、水电、第三代核电技术及装备、新能源并网发电等关键领域取得重大技术突破，形成了国际领先的技术优势。特高压电网技术实现了中国创造和中国引领；城乡高可靠性现代配电网建设取得长足进步，智能电网技术发展走在世界的前列；燃煤发电在超超临界、洁净煤和超低排放技术方面实现新突破；水电在大坝设计和建设、地下大型洞室设计和建设、大型水轮发电机制造等技术方面已跻身世界先进水平；第三代核电关键装备基本上实现自主化设计和国产化制造；风电、光伏发电产能居世界前列，已成为世界新能源并网规模最大、发展最快的国家。

1. 燃煤发电技术领域

近年来，我国燃煤发电技术在提高燃煤机组热效率、促进节能减排等方面取得了积极进展。发电技术和装备不断向高参数、大容量、高效及低排放方向发展，锅炉、汽轮机制造和运行控制技术取得长足进步，总体技术接近国际先进水平，部分技术达到国际领先水平。

在粉煤发电技术方面，我国超超临界燃煤发电技术发展迅速，目前已投入运行的 1000MW 级和 600MW 级 600℃超超临界机组数量及装机容量均居世界首位，拥有自主知识产权并已出口国外，机组发电效率可超过 45%，已达到国际先进水平。国内二次再热发电技术应用虽然起步较晚，但已具备自主开发和制造具有自主知识

产权的超超临界二次再热双轴机组的能力，技术水平与国际先进水平相当。

在循环流化床技术方面，我国建成最大容量的循环流化床锅炉——四川白马 600MW 超临界机组，蒸汽参数为 25.4MPa/571℃/569℃，机组供电效率为 43.2%，是世界上第一台 600MW 超临界循环流化床锅炉，标志着我国在循环流化床燃烧技术研究、装备研发和运行控制技术达到世界领先水平。

在整体煤气化联合循环发电技术方面，我国已建成投运了天津 IGCC 发电技术首座示范电站，机组运行稳定可靠，是我国自主研发、设计、建设、运营的技术示范项目，整体技术接近国际先进水平。

2. 输配电技术领域

近年来，我国在输配电技术领域实现了突破性进展。特高压交流 1000kV、直流 ± 800 kV 系列成套装备已实现了国产化，在电压等级、输电距离、传输容量、关键设备等方面不断刷新世界记录，整体达到国际领先水平。目前，已建成投运包括晋东南—南阳—荆门 1000kV 特高压交流、向家坝—上海 ± 800 kV 特高压直流、云南楚雄—广东广州 ± 800 kV 特高压直流在内的共三回交流和六回直流特高压输电工程，“特高压交流输电关键技术、成套设备及工程应用”荣获国家科学技术进步特等奖。城乡配电网建设依托信息与通信技术，以提高可靠性、经济性、实现普遍服务为目标，在配电网结构优化、可再生能源接入、多元化负荷互动、低电压治理、设备标准化、配电自动化与智能电表普及率等方面，取得了重大进步，整体达到国际先进水平。

在超/特高压输变电技术方面，攻克了特高压同塔多回输电技术，提升了特高压交流工程设计与施工水平；完善了 ± 800 kV 直流输电关键技术，提升了 ± 800 kV 换流变压器、换流阀、金具和套管技术参数和制造水平，在哈密南—郑州、溪洛渡左岸—浙江金华、灵州—绍兴等 ± 800 kV 特高压直流工程中应用。

在输变电装备技术方面，实现了全系列、全电压等级装备的基本自主制备。研制了 1000kV 国产化 GIS 并示范应用，研发了 126kV 智能隔离断路器，研制成功世界首支 1100kV/3150A 干式油气套管和国内首支 1100kV/3150A 油浸式油气套管，研制了世界首套特高压串补装置并在晋东南—荆门工程示范应用，突破了特高压直流换流阀技术并在锦屏—苏南和哈密南—郑州示范应用，突破了多端柔性直流输电技术并在广东岭澳、浙江舟山实现了多端柔性直流输电，在世界上率先实现工程应用。

在大电网安全和控制技术方面，提出了基于响应的大电网稳定控制理论和方法、

应对电网异常状态的综合防御技术，建成了华中电网跨区交直流电网协调控制系统示范工程；在大电网故障扰动冲击影响机理、低频振荡扰动源定位、在线稳定分析实用化等方面取得标志性成果，全面巩固和提升了特高压交直流电网规划和运行的技术支撑能力。

在配电网及分布式电源并网技术方面，突破了配电自动化大型主站、智能配电终端、配电信息交互等技术，常规配电自动化系统技术成熟并大范围应用，建设了多个智能配电示范园区工程；开发了分布式电源并网保护监控的实用化关键装备及微电网运行控制系统，建成一批微电网示范工程；研发了智能配电网自愈控制系统，实现了示范应用；配电自动化测试技术方面达到国际领先水平，初步建立了配电自动化系统试验检测平台。

在配电网一次设备方面，我国输配电网一次设备制造产业占国内机械制造业的 25% 以上，已成为我国经济发展的重要支柱产业之一。然而我国配电网一次设备的中长期可靠性与设备能耗，以及在智能化、免维护、一二次设备的一体化方面与世界领先水平仍有一定的差距。需要进一步掌握关键核心技术，提高产品质量，增强核心竞争力。

3. 新能源发电技术领域

相比美国、西班牙、德国等发达国家，我国新能源发电技术起步较晚、发展很快。自 2006 年 1 月 1 日《中华人民共和国可再生能源法》颁布实施以来，我国大力推动风电、太阳能发电等新能源发展，通过引进、消化、吸收和自主研发，目前，风能、太阳能、生物质能发电和利用技术都取得了较快发展。

在风力发电方面，风力发电机组的单机容量和关键技术不断进步，已经形成 4MW 以下风电机组整机及关键零部件的装备设计制造技术体系，初步掌握 5~6MW 风电机组整机集成技术，风机制造企业在全球十大整机制造商中占据 4 席；风电并网利用技术实现突破性进展，建成具有国际领先水平的风电并网试验检测中心，研发了电网侧以及电站侧风电功率预测系统，在主要风电省区实现全面覆盖；突破了风电并网智能控制和调度运行技术，实施了国家风光储输示范工程；建成了包括甘肃、蒙西、蒙东、冀北、新疆、山东、辽宁等 7 个超过 6000MW 的大型陆上风电基地，具备引领世界大规模风电基地设计、建设与运行的能力。

在太阳能发电方面，形成以晶硅太阳能电池为主的产业集群，生产设备部分实现国产化；薄膜太阳能电池技术产业化步伐加快。目前，我国多晶硅电池平均转换效率达到 18% 左右，单晶硅电池平均转换效率接近 20%，薄膜电池效率最高达到了

21%，均处于全球先进水平，太阳能电池产量连续多年稳居世界各国第一。我国已掌握并网光伏发电系统设计集成技术，研制成功光伏自动跟踪装置、数据采集与进程监控系统等关键设备，突破光伏发电功率预测、光伏发电调度运行等并网关键技术，建成了甘肃、青海、新疆百万千瓦光伏发电基地。太阳能热发电技术在塔式、槽式、线性菲涅尔式、碟式热发电等方面取得了重要成果，其中，塔式和槽式发电项目已开展示范应用。

在生物质发电方面，基于纯生物质原料的直燃发电是我国生物质发电成熟的主流技术，生物质气化发电规模还较小，目前我国生物质直燃发电已初具产业规模，例如：广东湛江生物质直燃电厂最大规模达到 50MW。2006 年起，在发展初期，我国生物质直燃发电以引进丹麦的水冷振动炉排技术为主。经过近几年的消化、改进和完善，我国自主开发的生物质层燃技术逐渐成熟。以木薯等非粮作物为原料的燃料乙醇技术正在起步应用，已建成年产 20 万 t 燃料乙醇示范工厂，成为继巴西、美国之后第三大生物燃料乙醇生产国。

在海洋能发电方面，我国海洋能开发利用至今已有 40 多年历史，整体处于示范应用向产业化转化的重要阶段，其中，潮汐能发电技术已趋于成熟，建成投运了浙江江厦、广东甘竹滩等多个潮汐电站。波浪能与海流能技术研发与小型样机示范取得显著进展，温差能发电已完成原理试验研究，但目前仍停留在实验室原理试验与小型装置示范阶段。

在地热能发电方面，我国中低温地热发电处于产业化发展的初期，技术基本成熟，但关键材料与设备的国产化程度较低。国外中低温地热发电技术已达到模块化、集成化和产业化发展水平；增强型地热发电整体技术水平仍处于起步阶段，还没有工程示范应用；高温地热蒸汽发电技术与国外存在较大差距，仅有西藏羊八井地热电站开展示范应用，深层高温地热钻井方面尚没有形成相关的技术储备。

4. 水力发电技术领域

水电是我国重要的能源资源，大力发展水电符合我国能源发展及可持续发展战略，是我国能源发展和电力发展的重要组成部分。1949 年以来，我国水力发电取得了长足发展，取得令人瞩目的成绩。特别是近年来，国内陆续开工建设并相继建成了一大批世界级工程，在全球清洁能源和水利资源开发建设工程的规划设计、施工、运行管理等方面形成了较为完备的技术体系，高坝大库、大容量、长引水洞、大型地下洞室等总体技术走在国际领先行列。

水能资源开发规划方面,我国水电近十年开发规划主要完成了水资源复查,我国大陆水力资源理论蕴藏量在1万kW及以上的河流共3886条,水力资源理论蕴藏量年电量为60 829亿kWh,平均功率为69 440万kW;水电开发规划按照“合理开发、和谐发展”的原则确定开发方案,开发理念得到进一步提升;抽水蓄能电站选点规划,已完成21个省市的选点规划,已查明优良站址250处,总装机容量3.1亿kW。

大坝工程技术方面,进入21世纪以来的十多年中,我国建成了一批高水平大坝工程,坝工技术有许多重大突破。在混凝土坝方面,建成了举世瞩目三峡重力坝和构皮滩、拉西瓦、小湾等一批拱坝。在土石坝方面,建成了有国际影响力的水布垭(坝高233m,国际最高)、三板溪和洪家渡等面板堆石坝和小浪底、瀑布沟、糯扎渡等土石心墙堆石坝。在碾压混凝土坝方面,已建坝高超过100m的既有重力坝,又有拱坝,碾压混凝土重力坝有光照(坝高200.5m,国际最高)、龙滩(已建坝高192m,远景坝高216.5m)等坝,碾压混凝土拱坝有万家口子(坝高167.5m,国际最高)、沙牌、大花水等坝。中国大坝经受了汶川特大地震的严峻考验。我国在高坝设计理论及方法、筑坝材料、基础处理、施工技术、大坝抗震技术等方面开展了大量研究探索工作,并取得一系列新成果。

地下工程技术方面,我国许多水电工程,尤其是抽水蓄能电站和西南地区的常规水电站,引水发电系统(包括输水建筑物和发电厂房)和泄洪、导流建筑物布置在地下。目前,我国建设的地下厂房跨度已超过33m,高度超过70m,长度可在300m左右;引水洞更是长达17km,而其最大埋深达2500m,且为岩溶地层。经过多年努力,我国地下工程技术已趋成熟。

高边坡处理技术方面,我国西南、西北地区的河谷自然边坡有的高达千米乃至千米以上。高边坡稳定在西部水电开发中问题突出。通过科技攻关,我国对百米到数百米级的岩质高边坡处理形成了行之有效的成套技术,解决了许多工程建设难题。

水机组及金属结构技术方面,我国水电设备,选择了一条引进先进设备和引进核心技术并举的发展方针,并依托国家重大工程,开展引进、消化、吸收、再创新。经过多年努力,已实现跨越式发展,具备了自主研制大型水机组的能力,核心技术的开发和关键部件的制造达到了国外同等水平。已生产的混流式机组,最大单机容量达800MW,转轮直径超过10m;轴流转桨式机组,最大单机容量为200MW,最大转轮直径11.3m;灯泡贯流式机组,最大单机容量75MW,最大转轮直径7.9m;

可逆式抽水蓄能机组，最大单机容量为 250MW，最大转轮直径 5.2m。我国水电机组的制造水平已步入国际先进行列。

金属结构制造方面，我国泄洪控制闸门及启闭机技术已达到国际同类型设备水平。表孔弧形门孔口面积已达到 437m^2 ，水头达 150m；平板定轮门孔口面积达 290m^2 ，轮压达 6000kN。门式启闭机容量已达到 5000kN，行程 140m；固定卷扬机的容量达到 $2\times 8000\text{kN}$ ，扬程 50m；液压启闭机的容量已达到 8000kN，行程 20m。我国水电工程金属结构制造与安装技术已位居国际领先水平。

5. 核电技术领域

核反应堆是核电的关键技术。我国第三代核电技术水平达到世界先进水平，“华龙一号”作为百万千瓦级核电站已核准在建。在其他先进核反应堆研发方面，我国积极推动快堆、高温气冷堆、热核聚变装置、小型模块化堆等技术研发，实验快堆已实现并网发电，正在推进商用示范快堆的建设；高温气冷堆示范工程于 2012 年开工建设，热核聚变装置也取得了积极进展；小型模块化反应堆处在原型开发设计阶段。

在压水堆技术方面，我国已处于世界前列。自主研发的三代核电机型“华龙一号”，以及在引进 AP1000 的基础上研发的 CAP1400 压水堆核电站，在设计、试验、设备制造、安全性等方面均取得重大进展，关键设备基本上实现自主化设计和国产化制造。我国引进了美国 AP1000 第三代核电技术，全球首批非能动安全第三代核电站正在我国浙江三门、山东海阳建造。

在高温气冷堆技术方面，我国已经掌握了高温气冷堆核电站的总体设计技术和建设技术。2013 年建成世界上规模最大的高温氦气试验回路，作为高温气冷堆核电站示范工程关键部件和系统工程试验验证的关键平台。已研制成功世界首台套大功率电磁轴承主氦风机工程样机，并处于世界领先水平。

在快堆技术方面，快堆技术将使铀资源的利用率提高 50~60 倍，使人类在核能的有效利用方面取得革命性的重大突破。目前，我国已经启动示范快堆的开发和建造工作，已并网发电的中国实验快堆（CEFR）核热功率 65MW，发电功率 20MW，安全特性指标部分已达到第四代先进核能系统的安全目标要求，标志着我国在四代核电技术研发方面接近国际先进水平。中国已成为世界上继俄罗斯之后掌握运行中的快中子堆技术的第二个国家。

在小型模块化堆技术方面，我国于 1980 年就已经开始小型反应堆技术研究。目前，实际工程应用并不多，除清华大学 NHR200 低温供热堆技术已有试验堆工程验

证外,其他堆型还处于开发设计阶段。

6. 燃气轮机发电领域

在重型燃气轮机联合循环发电技术方面。燃气轮机联合循环发电具有高效、清洁、低污染、启停灵活、自动化程度高等优点,是发达国家电力工业的重点发展方向之一。重型燃气轮机的引进和自主研发亦使我国在燃气轮机设计、制造、燃烧等基础领域取得进展,但燃气轮机技术水平与发达国家差距巨大,国内发电用燃气轮机设备仍严重依赖进口。国际先进的 G/H、J 级重型燃气轮机燃气初温已经达到 $1500\sim 1600^{\circ}\text{C}$,简单循环发电效率达到 $40\%\sim 41\%$,联合循环的发电效率已达 60% , NO_x 排放已低于 10ppm ,二氧化硫和粉尘几乎近零排放,二氧化碳单位发电量的排放强度仅为燃煤发电的 40% 。燃气轮机联合循环发电是清洁、高效、低污染、运行灵活的发电技术。

在微燃气轮机冷热电联供发电技术方面。微燃气轮机冷热电联供系统在国内的使用十分有限,目前尚处于发展和推广阶段。截至 2015 年 6 月,全国已建成的微燃机分布式三联供项目约 20 项。从使用效果分析,微燃机技术已较为成熟,系统运行稳定,可推广应用于小型的楼宇式燃气冷热电分布式能源项目。

微型燃气轮机发电装置起源于美国国家航空与宇航管理局 20 世纪 60 年代开发的涡轮增压器,并在 90 年代发展成熟并获得推广应用。微燃机以可燃性气体、液体为燃料,其单机功率范围为几十到几百千瓦,单机发电效率为 $12\%\sim 30\%$,热电综合效率为 $75\%\sim 90\%$ 。微燃机同时和发电机一体化设计,整台发电机组的尺寸显著减小,质量减轻。

微型燃气轮机发电系统有两类:第一类是通过齿轮箱,将额定转速为 3600rpm 或 3000rpm 的动力涡轮与传统发电机相连,并网时不需要额外的电力电子装置,结构简单,但由于齿轮箱维护费用高昂而导致应用范围有限;第二类是采用单轴结构,通过压缩机涡轮产生的转矩驱动高速永磁发电机发电,其产生的三相交流电频率高达 $1500\text{Hz}\sim 4000\text{Hz}$,需要通过整流逆变装置并网,控制较为复杂,相对于第一类燃气轮机发电系统,单轴系统效率更高、结构更紧凑、可靠性也更高,因此应用比较广泛也是目前的主流产品。

微燃机发电装置的主要优点包括:

(1) 可靠性高。微型燃气轮机是为持续运行的常规发电而设计开发的,整套系统只有一个运动部件,并采用空气轴承技术,因此其连续运行可靠率高达 99.996% ,平均每年的停机检修时间不超过 2h ,停机率远低于备用电源发电机组。

(2) 使用寿命长, 可超过 20 年。

(3) 保养间隔长, 维护成本低。微型燃气轮机结构简单, 采用空气轴承和冷却, 不需润滑系统、散热系统、冷却剂等, 因此保养周期约为 8000h, 维护成本只有往复式内燃机的 5%。

(4) 发电效率高。采用回热技术, 发电效率可以超过 30%, 热电综合效率超过 75%。

(5) 燃料适应性好。能利用天然气、垃圾填埋气、油田伴生气、污水发酵气、煤层气、生物质气等气体燃料, 以及柴油、煤油等液体燃料。

(6) 超低噪声、无振动。运行非常平稳, 无振动; 旋转速度高达 96 000rpm, 主要产生高频噪声, 很容易被隔音材料吸收, 因此噪声水平很低, 距其 10m 处测量为 65dB。

(7) 超低排放。微型燃气轮机采用富氧燃烧, 因此颗粒和烟度排放几乎为零, NO_x 排放小于 9ppm。

目前微燃机冷热电联供发电技术的主要应用领域有: 建筑楼宇、小区、医院、车站、机场、金融和信息中心等重要商业和国家公共设施; 化工、木材加工、纺织等工艺用电、用热、用冷和用汽; 边防基地、军事设施等国防部门; 西部边远地区及其它缺电地区、用电安全性要求高的地方供电; 城市垃圾处理场沼气发电; 通过模块式组装的微型燃气轮机群体中型电站; 微燃机冷热电联供系统等。

总体而言, “十二五”以来我国电力技术水平大幅提升, 输变电运行控制技术与输变电装备制造水平已实现全面引领, 城乡配电网建设在供电可靠性、运行经济性、实现普遍服务方面已取得长足进步, 但在燃煤机组高温材料、风机设计和关键部件、光热发电技术、四代核电技术等方面与世界先进水平基本相当, 重型燃气轮机与微燃气轮机制造技术还落后于世界先进水平。适用于 700°C 超超临界机组的高温材料等支撑技术尚未取得突破; 燃气轮机设计技术和高温材料部分仍然落后。快堆核电技术在示范应用、运行经验、技术掌握等方面整体水平与俄罗斯、美国、法国和日本相比仍有差距; 小型模块化堆技术仍处于开发设计阶段; 核燃料元件和乏燃料处理技术落后于发达国家; 风电控制系统、叶片设计以及轴承等关键部件依赖进口; 太阳能热发电技术、生物质直燃技术与国际先进水平相比存在差距; 配电网一次设备的中长期可靠性还有待进一步提升, 配电网一次设备与信息通信技术的一体化也是今后实现配电网智能化升级换代的重要标志。