

● 姚秀平 编著

燃气轮机及其 联合循环发电



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

上海市教育委员会高校重点教材建设项目

燃气轮机及其联合循环发电

上海市教育委员会 组编

姚秀平 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书全面介绍了燃气轮机及其联合循环发电技术。全书分为七章：第一章概括性地论述了联合循环的热力学原理、类型及特点；第二章简要介绍了余热锅炉型联合循环的基本特性；第三、四章分别介绍了燃气轮机、余热锅炉和汽轮机等设备的工作原理、特性及结构特点，并介绍了余热锅炉型联合循环发电机组的各种布置方案；第五、六章分别介绍了燃煤流化床联合循环和整体煤气化联合循环；最后一章简要介绍了其他几种以燃气轮机为核心的新型联合循环发电技术。各章之后附有思考题。

本书主要面向已基本掌握热能与动力工程学科的基础知识，并具备了常规蒸汽轮机发电系统方面知识的读者群体，既可作为热能与动力工程专业本、专科高年级学生的选修课教材，也可供有关专业的研究生及从事火电站设计、研究、试验、运行等工作的技术人员和管理人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气轮机及其联合循环发电/姚秀平编著. —北京：
中国电力出版社，2004
ISBN 7-5083-2525-7

I. 燃… II. 姚… III. 气轮发电机—联合循环发
电 IV. TM611.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085971 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京市铁成印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2004 年 10 月第一版 2004 年 10 月北京第一次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 8 印张 196 千字
印数 0001—4000 册 定价 18.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)



燃气—蒸汽联合循环技术是从 20 世纪 50 年代开始进入发电领域的，但是，由于当时燃气轮机的单机容量小、效率低，且只能燃用气体或液体燃料，由燃气轮机和蒸汽轮机组成的联合循环的容量也不大，所以长时期内曾一直无法与传统燃煤发电技术相匹敌。

然而，20 世纪 80 年代以后，燃气轮机的容量和热效率有了大幅度提高，常规燃油和燃天然气的燃气—蒸汽联合循环发电技术日趋成熟，燃煤的燃气—蒸汽联合循环发电技术也取得了重大突破，加之世界能源结构有了重大变化，人们对环境保护的要求也日益加强，燃气轮机及燃气—蒸汽联合循环发电机组在电力系统中的地位已发生明显变化。有资料显示，具有高效率、低污染、低水耗特点的燃气—蒸汽联合循环发电机组，在发达国家目前已成为承担各种负荷的主力发电机组。

我国由于长期以来一直施行以燃煤为主的发电政策，所以，燃气轮机及燃气—蒸汽联合循环发电技术的基础非常薄弱。但是，前几年为了适应电网调峰、改善城市大气环境以及满足沿海开放地区经济快速发展对电力的需要，国内也陆续建设了一批燃气轮机及燃气—蒸汽联合循环机组。随着天然气大规模开采工程的实施以及环保工作的加强，国内已经开始出现建造联合循环电站的热潮，仅在 2003 年，国家就批准并已完成了 23 套燃天然气的大型燃气—蒸汽联合循环机组的设备招标。同时，作为示范机组而引进增压流化床（PFBC）燃煤联合循环机组和整体煤气化联合循环（IGCC）机组的工作也在进行之中。

这些情况表明，无论在国内还是国外，燃气轮机及燃气—蒸

汽联合循环发电将成为 21 世纪占据主导地位的火力发电方式。

为了使热能与动力工程专业的学生对燃气轮机及其联合循环发电技术有所了解，作者近几年来在上海电力学院，一直将“燃气轮机及其联合循环发电”作为一门选修课来开设。同时，也应邀在许多电厂为技术人员介绍有关方面的知识。本书即在历年讲义的基础上改写而成。

本书所面向的是这样的读者群体：基本上掌握了热能与动力工程学科的基础知识，具备甚至熟知常规蒸汽轮机发电系统方面的知识，希望对燃气轮机及其联合循环发电技术有一个初步、但又较全面的了解。根据经验，适用于该读者群体需求的教材，应该具有简明、系统、易懂、新颖的特点。要达到这样的要求，取材上就要突出重点、兼顾全面；内容上就要重视概念、联系实际、反映发展；写作上就要循序渐进、深入浅出。

全书除绪论外，共分为七章。绪论部分介绍国内外发电技术的发展动向，希望读者籍此了解燃气轮机和燃气—蒸汽联合循环发电技术在各种发电技术中所处的地位、发展前景；第一章概括性地论述联合循环的热力学原理、类型及特点，使读者对联合循环发电方式建立一个整体印象；第二章简要介绍余热锅炉型联合循环的基本特性，使读者对这种最基本，也是目前应用最广泛的联合循环有一个初步的认识；第三、四章分别介绍燃气轮机、余热锅炉和汽轮机等设备的工作原理、特性及结构特点，并介绍余热锅炉型联合循环发电机组的各种布置方案，这些内容是本书的核心；第五、六章分别介绍燃煤流化床联合循环和整体煤气化联合循环，它们是燃煤联合循环的代表，被认为是最有发展前途的燃煤发电技术；最后一章简要介绍其他几种以燃气轮机为核心的联合循环，它们是新兴的联合循环发电技术，对其技术思想作一个基本的了解是必要的。每章之后都附有思考题，希望这些思考题能帮助读者深化理解、融会贯通、提炼总结各章的内容。

本书既可作为热能与动力工程专业本、专科高年级学生的选修课教材，也可供有关专业的研究生及从事火电站设计、研究、试验、运行等工作的技术人员和管理人员阅读参考。

本书的编写得到了上海市教育委员会的大力支持。编写过程中参阅了一些公开出版的教材、著作、论文和来自国内外制造企业的技术资料。上海交通大学的杜朝晖教授、上海理工大学的蔡小舒教授、上海市电力局的崔剑仇高级工程师仔细审阅了全书文稿，并提出诸多宝贵意见，在此一并致谢。由于作者理论水平和实践经验有限，书中一定存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

作 者

2004 年 7 月

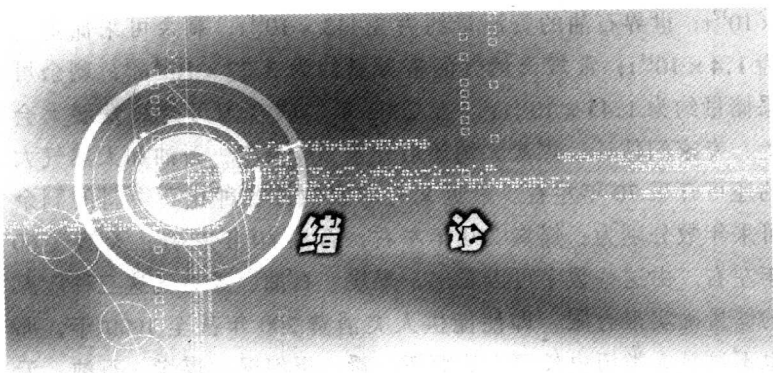


目 录

前 言

绪论	1
思考题	10
第一章 联合循环的原理、类型及特点	11
第一节 联合循环的热力学原理	11
第二节 联合循环的类型和特点	20
思考题	28
第二章 常规余热锅炉型联合循环的基本特性	30
第一节 热力系统及其特点	30
第二节 热效率与功比率	32
第三节 各组成设备的效率对联合循环效率的影响	35
第四节 常规余热锅炉型联合循环的基本特性	37
思考题	43
习题	43
第三章 电站燃气轮机	44
第一节 燃气轮机的热力循环	44
第二节 压气机的原理和特性	68
第三节 燃烧室的工作原理及结构	98
第四节 燃气透平的原理和特性	120
第五节 燃气轮机结构简介	133
思考题	153
习题	155

第四章 联合循环中的其他热力设备及机组的整体布置	156
第一节 联合循环中使用的余热锅炉	156
第二节 联合循环中使用的汽轮机	168
第三节 联合循环的主要辅助设备和系统	173
第四节 联合循环机组的布置	177
思考题	183
习题	184
第五章 燃煤流化床联合循环	185
第一节 煤的流化燃烧	185
第二节 常压流化床 (AFBC) 联合循环发电系统	192
第三节 增压流化床 (PFBC) 联合循环发电系统	195
第四节 燃煤流化床联合循环发电技术展望	202
思考题	204
第六章 整体煤气化联合循环	206
第一节 整体煤气化联合循环的基本思想	206
第二节 煤的气化及气化炉	207
第三节 粗煤气的净化	215
第四节 典型 IGCC 发电系统简介	216
第五节 整体煤气化联合循环发电技术展望	219
思考题	221
第七章 其他形式的联合循环简介	222
第一节 程氏循环	222
第二节 HAT 循环	227
第三节 卡里纳循环	230
第四节 热电 (冷) 联产的联合循环	233
第五节 基于燃料电池的联合循环	238
思考题	244
参考文献	246



一、当今社会对发电技术的发展要求

20 世纪末,正当人类沉醉于自己所创造的辉煌工业化成就之时,却忽然发现,以往那种以自然资源的巨大消耗为代价的工业化所引发的人口爆炸、资源短缺、环境恶化等社会问题已如此严重,以至于人类生活、发展以及地球生态平衡和都面临着严重的威胁。面对这些问题,人们逐渐接受了可持续发展的理念,并着手在社会各方面实施可持续发展战略。按照可持续发展的要求,人类需要努力控制人口数量、减少资源消耗、降低环境污染。

前述的社会问题在能源领域的具体反映就是能源短缺和能源在转换和消费过程中所引起的环境污染问题。到目前为止,人类能够大规模利用、以满足生产和生活需要的一次能源主要是煤炭、石油、天然气等不可再生的化石燃料。目前,这三种能源占全世界所消耗能源的 90% 左右,预计这种情况在 21 世纪还将持续相当长时间。然而,这三种能源的储量有限:根据有关资料,世界煤炭的资源量^① 约为 $3 \times 10^{13} \text{t}$, 其中剩余可采储量约为 1.1

① 国内外关于“资源量”和“储量”的概念有很大区别,这里按照欧美国家的惯例,把“储量”定义为在目前技术条件下可经济开采的量,“资源量”定义为已确认和尚未确认的储量的总和。

$\times 10^{12}\text{t}$ ；世界石油的资源量约为 $3.113 \times 10^{11}\text{t}$ ，剩余可采储量约为 $1.4 \times 10^{11}\text{t}$ ；常规天然气的资源量约为 $3.27 \times 10^{14}\text{m}^3$ ，剩余可采储量约为 $1.45 \times 10^{14}\text{m}^3$ 。在 2002 年的联合国可持续发展大会上，专家们估计：煤炭大约还可开采 200 余年，石油和天然气大约还可开采 70 年左右。最近又有专家估计各种化石燃料的剩余可采年数分别为：煤炭 220 年左右，石油 40 年左右，天然气 60 年左右。由这些数字可以看出，煤炭、石油、天然气这三种能源的储量确实很有限，即使能供人类消费 200 年甚至 1000 年，那也不过是人类历史长河中的短暂一瞬。更何况，煤炭、石油、天然气等还都是非常宝贵的化工原料。

与此同时，能源转换和消费过程中所引起的环境污染、生态破坏问题已相当严重。据统计，在排放到大气的污染物中，91% 的 SO_2 、99% 的 NO_x 、99% 的 CO 、78% 的 CO_2 、60% 的粉尘和 43% 的碳化氢是在能源的转换（主要通过燃烧）过程中产生的。 SO_2 、 NO_x 、粉尘等是造成空气污染的主要污染物质， CO_2 是引起温室效应的主要污染物质。这些数字表明，能源在转换和消费过程中产生的污染是环境污染、特别是大气污染的罪魁祸首。

由此可见，能源行业更加迫切地需要实施可持续发展战略。按照能源可持续发展的要求，人类在当前必须尽可能有效地利用能源，提高能源转换和使用的效率，并尽可能地减少污染物质的排放，同时要尽可能地增大再生能源所占的比重。

在一次能源的消费中，发电消费所占的比重最大，目前已达到 $1/3$ 以上，并且还在不断增加。在能源可持续发展的总要求下，发电工业除了需继续注重“经济、可靠、安全”的原则外，还必须满足“高效、洁净”的要求。这就决定了发电技术的基本发展趋势是：近期注重提高效率，降低污染；远期注重采用再生能源发电。展望未来，符合这一趋势的发电技术将会获得快速发展，不符合这一趋势的发电技术将会被逐步淘汰。

二、世界发电技术的发展前景

根据基本发展趋势,结合对世界经济、技术、社会等各方面因素的考虑,可以预测,在今后一段时期内,世界发电技术的发展将主要集中在以下五方面:

- (1) 超超临界、两次再热的燃煤发电;
- (2) 常压循环流化床 (ACFB) 燃煤发电;
- (3) 燃气轮机及其联合循环发电;
- (4) 新能源和再生能源发电 (包括核能、太阳能、水力、风力、地热能、潮汐能、生物质能、氢能等);
- (5) 燃料电池和分布式电站。

所谓超超临界发电,一般是指采用压力 30MPa 以上、温度 600℃ 以上的蒸汽参数的常规蒸汽轮机发电技术。美国曾于 1957 年投运了世界上第一台功率为 125MW、参数为 31MPa/621℃/566℃/560℃ 的超超临界参数、两次再热的蒸汽轮机发电机组,1958 年又投运了一台功率为 325MW、参数为 34.4MPa/649℃/566℃/566℃ 的超超临界蒸汽轮机发电机组。但是,受当时材料和技术水平的限制,这两台机组的可用率都比较低,致使人们在很长一段时期内一直认为,24MPa/538~566℃ 的超临界参数是技术经济性上的最佳参数。但是,随着超临界机组设计和运行经验的积累和材料水平的提高,一些工业化国家重新重视起了超超临界发电技术。日本于 1989 年和 1990 年成功地投运了 2 台参数为 31MPa/566℃/566℃/566℃ 的超超临界参数机组,它们分别燃用天然气和油,运行性能良好,热效率比一般的超临界机组高 2 个百分点左右。丹麦在 20 世纪 90 年代投运了 2 台功率为 412MW、参数为 28MPa/580℃/580℃/580℃ 的超超临界参数机组,一台燃煤,一台燃天然气,在凝汽器背压为 2.3kPa 的条件下,热效率可达 47%。目前,超超临界发电技术已经进入快速发展阶段。

常压循环流化床（ACFB）燃煤发电技术是以燃用劣质、高硫煤为主的中温、低污染的循环流化床锅炉为技术核心的蒸汽轮机发电技术。作为一种新型洁净燃煤发电技术，自 20 世纪 70 年代被提出以来，它一直被世界各主要工业国家所重视，在各国大力研究下，该技术现已趋于成熟并已进入发电设备市场。目前，ACFB 机组正朝着大容量、高参数方向发展，最大的机组已达到 300MW 等级。预计经过一定的商业示范运行之后，这项技术将在燃煤发电方面发挥重要作用。

燃气轮机及其联合循环发电技术是从 20 世纪 50 年代开始登上发电工业舞台的，但是由于当时燃气轮机及其联合循环的容量小、效率低，且只能燃用气体或液体燃料，所以长时期内一直无法与传统燃煤发电技术相匹敌。电力系统只是从紧急备用和调峰的角度采用了少量的燃气轮机和燃气—蒸汽联合循环发电机组。然而，在 20 世纪 80 年代以后，燃气轮机的单机容量和热效率都有了大幅度提高，常规燃油和燃天然气的燃气—蒸汽联合循环发电技术日趋成熟，燃煤的燃气—蒸汽联合循环发电技术也取得了重大突破，加之世界范围内能源资源的结构有了重大变化，人们对环境保护的要求也日益加强，燃气轮机及其联合循环发电机组在电力系统中的地位发生了明显变化。在发达国家，燃气轮机及其联合循环发电机组已经成为承担各种负荷的主力机组。据估计，目前全世界的燃气轮机及其联合循环发电机组已达到近 2000 台，总容量达到 500GW 以上。也有资料表明，目前全世界新增火电容量中，燃气轮机及其联合循环机组占到了 50% 以上，在德国更是占到了 2/3 左右。这充分说明，世界发电设备市场已发生了重大转变，预示着燃气轮机及其联合循环在发电行业中将占据主要地位。

早在 20 世纪，人们就一直在积极地开发包括核能、太阳能、水力、风力、地热能、潮汐能、生物质能、氢能等在内的新能

源、再生能源发电技术。这些发电技术目前共同存在着一次性投资费用高的缺点，但由于消耗资源少、污染轻甚至无污染，因此在环境保护备受重视的 21 世纪，将逐渐成为不可忽视的发电技术，其中，核电、太阳能光电技术和风力发电尤其值得关注。

核能是原子核发生反应所释放出来的巨大能量。原子核反应分为裂变反应和聚变反应两种类型。自前苏联 1954 年建成世界上第一座核电站以来，世界上已有 50 个左右的国家拥有了受控核裂变的核电站，一些国家的核电比例也曾达到过十分可观的程度。如今，利用受控核裂变反应的核电技术已逐渐成为一种传统发电技术。但是，由于人们对于核裂变反应堆发生放射性泄漏的担心，以及在解决核裂变废弃物处置这一世界顶级难题上所遇到的困难，利用清洁的受控核聚变反应的核电技术可能更被寄予希望。各国科学家对受控核聚变已经进行了多年探索，并已在实验条件下实现了核聚变装置的“点火”。许多人预言，受控核聚变发电大约可在本世纪中期进入中间试验。而这一旦成为现实，并且如果届时被证实它不会引起环境和社会问题，能源问题将可能会被永久性地解决。所以，受控核聚变是当代科学技术的一个极为重要的课题，也是发电技术发展的一个极为重要的课题。

太阳能光电技术已经历了半个世纪的发展。时至今日，世界太阳能电池的年产量已达到 600MW 以上，并以 30% 以上的增幅在提高，已投入应用的各种太阳能光电系统的容量已经超过 3GW，太阳能电池组件的价格已降至 2000 ~ 3000 美元/kW。目前，太阳能光电系统的主要发展方向之一是与建筑集成化，其特点是以家庭为单位进行安装和供电。为了降低造价，它们都省去蓄电池，并与大电网直接相连，以互相补充电能。在这方面，世界各主要工业国都在大力推行着“太阳能屋顶计划”，如美国政府 1997 年宣布了一项“百万太阳能屋顶计划”，其目标是到 2010 年，在全国的住宅、学校、商业建筑和政府办公楼的屋顶上安装

100 万套太阳能光电系统，总容量达到 3025MW。日本政府在 1997 年宣布了一项“七万屋顶计划”，并在顺利实现预定目标的基础上，争取到 2010 年，将光电系统总容量扩大到 7600MW。德国自 1990 年在全世界率先推出“一千屋顶计划”以来，到 1997 年即已完成近万套，总容量达到了 33MW，现正在执行一项“十万屋顶计划”。此外，意大利、印度等国政府也都在推行着规模宏大的太阳能屋顶计划。人们普遍相信，太阳能领域在 21 世纪将成为发展最快的能源领域。

风力发电在近几年也开始以惊人的速度发展。据统计，2003 年，全世界新增风力发电机组容量 8GW，并正在以 33% 的增幅增加，已投入应用的风力发电机组的容量已经达到 40GW，到 2010 年预计将会达到 180GW。目前，单机功率最大的风力机组的容量已达到 5MW。这些数字表明，风力发电也是目前发展最快的能源种类之一。

燃料电池技术是近年来进入发电工业的一种新的高效发电方式。按照电解质种类的不同，燃料电池可分为碱性型（AFC）、固体高分子型（PEFC）、磷酸型（PAFC）、熔融碳酸盐型（MCFC）和固体氧化型（SOFC）五种。其中，后三种，特别是最后两种最有可能用于固定式电站。在这三种燃料电池中，PAFC 已被商品化，MCFC 的主要技术问题已被解决，以煤气、天然气为燃料，转换效率达 50% ~ 60% 的 MCFC 已经过中间实验阶段，SOFC 也即将进入中间实验，它们展示的前景十分诱人。

随着经济和社会的发展，人们的能源需求呈现出了越来越多样化的趋势。这种趋势催生了一种新的电站概念——分布式电站。分布式电站是一种虽与电网相联，但基本上以“自给自足”方式运行、在小范围内进行“热、电”联供或“冷、热、电”三联供的发电方式。它有两种形式。第一种是在大型企业所建立的热、电联供型电站（CHP 电站，CHP——Combined Heat and Pow-



er)。第二种是由小型或微型设备组成，以分散的方式布置在用户附近或者直接与建筑物集成在一起，可独立地向用户供应冷、热、电和生活热水的 CCHP 系统（CCHP——Combined Cooling, Heating and Power）。CCHP 系统可基于燃料电池、燃气轮机、内燃机、外燃式热气机、燃气—蒸汽联合循环等多种动力系统构建，形式多种多样。

美国是 CCHP 的倡导者。在美国能源部的倡导和天然气、电力、暖通、空调等工业部门的参与下，美国于 1999 年提出了一个“CCHP 2020 年纲领”，纲领对未来 20 年的 CCHP 发展目标提出了具体实施规划。按照规划，美国到 2005 年将建成 200 个示范点；到 2010 年，20% 的新建和 5% 的已有商用、写字楼类建筑物将使用 CCHP；到 2020 年，50% 的新建和 25% 的已有商用、写字楼类建筑物将使用 CCHP。除美国之外，日本、欧洲对发展 CCHP 系统都相当重视，并具备了设计制造 CCHP 系统关键设备的能力。许多人相信，在不远的未来，小型或微型化的 CCHP 系统有可能成为地铁站、展览场馆、现代农业中心、商贸中心、医院、政府机关的办公大楼、高级住宅区、边防站以及电网难以覆盖的边远地区用户的理想选择。

三、我国发电技术的发展前景

由于受一次能源结构和经济、技术发展水平等多方面因素的制约，我国发电技术的发展不可能与世界完全同步。在我国的一次能源资源中，煤炭资源相对最丰富，所以，煤炭消费在我国一次能源消费中的比例一直占 70% 左右。在发电方面，燃煤发电所占的比例差不多在 75% 左右。另一方面，燃煤所引起的环境污染问题又极其严重。虽然随着近年来环境保护工作的加强，燃煤污染的情况有所改善，但是，大气污染的类型没有改变，污染程度仍然十分严重。

面对这样的现实，我国所能采取的政策只能是：一方面尽可能地降低燃煤所造成的污染；另一方面努力扩大洁净能源消费比重。这就决定了我国发电工业发展的基本趋向是：用高效、洁净的燃煤发电技术改造现有燃煤发电机组；努力发展新型、高效、洁净的燃煤发电技术；加速扩大其他洁净能源发电成分。

根据世界发电工业的发展趋势，结合对我国经济、技术、社会等各方面实际情况的考虑，可以预测，在今后一段时期内，我国发电技术的发展将主要集中在以下六方面：

- (1) 常规燃煤发电机组脱硫、脱销技术的发展和应；
- (2) 超临界和超超临界燃煤发电；
- (3) 常压循环流化床燃煤发电；
- (4) 燃气轮机及其联合循环发电；
- (5) 新能源和再生能源发电；
- (6) 燃料电池和分布式电站。

我国现有的主力发电机组基本上都是 200、300、600MW 等级的亚临界、不带尾气脱硫装置 (FGD) 的燃煤发电机组，这些机组绝大部分都存在 SO_2 排放高的问题。另外，为了满足经济和社会发展需要，我国还在大量地投建 300 ~ 600MW 等级的常规燃煤机组。因此，如何对现有这批主力机组进行改造，以及如何对新增的燃煤机组从一开始就合理规划，使它们具有相对低的 SO_2 排放，是摆在我们面前的一个现实问题。在该问题的解决上，国外较普遍的做法是在机组上配置 FGD 装置，现在看来我国也不得不走这条道路。由此可以预测，在现有主力机组和新增大容量燃煤机组上加装 FGD 装置会成为我国发电工业下一时期的趋向。另外，随着环保要求的提高，低 NO_x 燃烧技术在我国也有很大的发展应用潜力。

在超超临界参数机组的设计和制造方面，我国目前的条件尚不成熟。为了适应世界形势的发展，我国现在可能做的是在稳定

600MW 亚临界机组设计、制造和运行水平的基础上，向超临界机组的设计制造过渡，同时也从国外引进一些超超临界机组。在常压循环流化床燃煤发电机组的建设上，国内已有很多人意识到，在 300MW 以下等级的机组中，循环流化床锅炉在技术上比常规燃煤锅炉加 FGD 优越，经济上与后者相当，这可能会导致循环流化床机组在国内的普遍应用。据悉，国内已投用和在建的 410t/h 等级的 ACFB 锅炉有数十台，引进 1025t/h 等级 ACFB 锅炉的计划也已获得国家批准。

我国由于长期以来一直施行以燃煤发电为主的政策，所以，燃气轮机及其联合循环发电技术的基础非常薄弱。但是，近年来为了适应电网调峰、改善城市大气环境以及沿海开放地区经济快速发展对电力的需要，国内也陆续建设了一批燃气轮机及联合循环机组，总容量估计已达到 7000MW 左右。随着天然气大规模开采工程的实施以及环保工作的加强，国内已经开始出现建造联合循环电站的热潮，仅在 2003 年，国家就批准并已完成了 23 套燃天然气的联合循环机组的设备招标，仅 23 套机组的总容量就达到了 7000MW 以上。另外，我国在引进若干台增压流化床（PF-BC）燃煤联合循环示范机组和整体煤气化联合循环（IGCC）示范机组等方面的工作也在进展之中。

核能、水力发电一直是我国发电工业发展的重点之一。风力、地热能等新能源发电在我国也一直受到重视。其他如太阳能、燃料电池和以天然气为燃料的分布式电站的发电新技术虽在我国刚刚起步，但有关方面的发展值得关注。

四、联合循环发电技术在各种发电技术中所处的地位

在上述诸发电技术形式中，超临界和超超临界参数燃煤发电技术虽然能提高发电效率，并能降低 CO₂ 排放，但潜力有限，且