

燃气三联供系统 规划 设计 建设与运行

杨旭中 康 慧 孙喜春 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

燃气三联供系统 规划 设计 建设与运行

杨旭中 康 慧 孙喜春 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书介绍了燃气发电、供热和制冷所需的知识与资料,适用于燃用气体燃料的以燃气轮机和内燃机为主要原动机的燃气调峰机组、热电联产机组和分布式能源站。内容包括综述、规划与政策、气体燃料、冷热负荷、主机选型、制冷制热设备、工程范例、接入系统、技术经济评价、工程建设、生产运行的准备工作等十一章。

本书可供从事燃气发电行业规划、设计、制造、施工、运行和管理工作的同志参考,也可供从事相关专业教学与研究的同志使用。

图书在版编目(CIP)数据

燃气三联供系统规划、设计、建设与运行 / 杨旭中, 康慧, 孙喜春编著. —北京: 中国电力出版社, 2014.4
ISBN 978-7-5123-5519-4

I. ①燃… II. ①杨… ②康… ③孙… III. ①燃气轮机—热电冷联供 IV. ①TK47②TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 024431 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 620 千字
印数 0001—3000 册 定价 78.00 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

气体燃料是我国主要的一次能源之一，随着节能减排和控制温室气体排放要求的日趋严格，其比重将逐年上升。

燃气发电、供热与制冷是气体燃料的主要用户之一，近年来在我国已有较快发展。燃气是优质能源，但也是不可再生能源。综合我国国情，与燃煤相比，燃气是相对贫乏的能源，也是比较昂贵的能源。因此，如何统筹考虑这些特点，是促进燃气发电行业健康发展的主要研究课题。

燃气发电机组按产品和功能可分为燃气调峰机组、热电联产机组与分布式能源站三类，其中分布式能源站是近期新发展的工艺技术，但由于它与热电联产机组两者之间尚难划清界限，因此在本书编著时，对燃气发电、供热与制冷作了全面介绍，但考虑燃气发电和热电联产方面已有较多论著，故本书以分布式能源站为阐述重点。

本书第三、四、六章与第五章第九节由中国电力工程顾问集团公司康慧编著；第十、十一章由中国华电集团公司孙喜春编著；其余章节由电力规划设计总院杨旭中编著。杨旭中负责全书统稿。

书中引用了电力规划设计总院、中国电力工程顾问集团公司、中国华电集团公司及住房和城乡建设部的工作成果，在此表示感谢。

鉴于燃气发电行业历时尚短，特别是对于分布式能源站还要不断总结经验并达成共识，加之限于编著者水平，书中不足及疏漏之处在所难免，衷心希望读者能够及时指正。

编著者
2014年3月

前言

第一章 综述	1
第一节 概述.....	1
第二节 国外天然气发电简况.....	10
第三节 国内天然气发电简况.....	15
第二章 规划与政策	21
第一节 国外管理办法与优惠政策.....	21
第二节 国内分布式能源政策研究.....	27
第三节 各省市出台的优惠政策.....	30
第四节 做好规划.....	32
第五节 机组选型.....	66
第六节 准入条件.....	72
第七节 监督与管理.....	76
第八节 设计标准简介.....	76
第三章 气体燃料	77
第一节 概况.....	77
第二节 供需平衡.....	89
第三节 输送.....	95
第四节 规划与利用.....	102
第四章 冷热负荷	109
第一节 概述.....	109
第二节 建筑物冷热负荷估算.....	110
第三节 生活热水热负荷估算.....	112
第四节 工业热负荷估算.....	113
第五节 对冷热负荷的整理归纳.....	118
第六节 冷热电负荷匹配.....	124
第七节 冷热负荷对外供应.....	130

第五章 主机选型	140
第一节 系统简介	140
第二节 燃气轮机	143
第三节 燃气内燃机	154
第四节 余热锅炉与燃气锅炉	160
第五节 蒸汽轮机	162
第六节 发电机	165
第七节 燃气—蒸汽联合循环机组	166
第八节 机组选型比较	177
第九节 主机选型及主要系统配置案例	180
第十节 新型燃机发展动向	195
第六章 制冷制热设备	202
第一节 制冷制热设备选型原则	202
第二节 制冷设备	203
第三节 制热设备	223
第四节 蓄冷(热)技术介绍	229
第五节 冷热源站设计	237
第七章 工程范例	239
第一节 燃气调峰机组	239
第二节 热电联产机组	247
第三节 分布式能源站	252
第四节 冷热电三联供在北京南站的应用	258
第八章 接入系统	262
第一节 概述	262
第二节 并网要求	263
第三节 一次接入系统	266
第四节 二次接入系统	270
第五节 运行管理	277
第六节 政策措施	277
第九章 技术经济评价	278
第一节 大中型机组参考造价	278
第二节 典型工程造价	288

第三节	运行方式与年利用小时	293
第四节	快速电（热、冷）价计算方法	296
第五节	参考电价	300
第六节	修理费用	303
第七节	经济效益分析	308
第十章	工程建设	315
第一节	安全管理	315
第二节	质量管理	325
第三节	进度管理	332
第四节	造价管理	337
第五节	项目融资	345
第六节	工程招标	349
第七节	合同管理	353
第十一章	生产运行的准备工作	368
第一节	概述	368
第二节	生产管理模式	368
第三节	生产准备大纲与计划编制	369
第四节	人员培训	374
第五节	建章立制	377
第六节	投产前的物资准备	384
第七节	启动试运	387
附录	关于发展天然气分布式能源的指导意见	394
参考文献		396

综 述

第一节 概 述

一、燃气发电再次受到热烈追逐

近年来,世界各国均致力于发电结构调整,燃气发电再次受到热烈追逐,主要原因有以下几点:

(1) 燃气发电属于清洁能源范畴。燃气发电的二氧化碳排放量仅相当于燃煤发电的 1/2 左右,其发电过程完全是成熟技术,在可再生能源还存在多种需要攻关的课题,一时还取代不了化石能源角色的情况下,燃气发电可以避开新一代技术带来的烦恼,以成熟技术比较轻松地实现国际社会分配给本国的温室气体减排指标。

(2) 经济规律对燃气发电具有强力推动力。综合比较目前可以选择的各种发电技术,燃气发电是眼下风险最小、成本最低的选择。风能、太阳能、核能发电的工程造价,均在燃气发电的 2~3 倍以上,而且在运行中还存在运行小时数低或核燃料后处理以及核电站退役的高费用,发电企业顾虑较多。燃煤发电本来是最经济的方式,但在环境问题影响下,各国立法机构纷纷出台或酝酿着多个法案,例如提高脱硫标准、提高 NO_x 排放标准、对烟气中的重金属含量立法、对 $2.5\mu\text{m}$ 以下超细粉尘排放立法等将一个接一个相继到来,发电企业感到有可能要进入增加成本的无底洞。特别是若对温室气体排放的立法出台,发电企业更是感到目前技术水平的二氧化碳提升系统(CCS)带来的经济压力难以承受。综合比较之后,燃气发电就成了发电企业心仪的建设对象。

(3) 燃气发电是可再生能源电源的好搭档。不论风电、太阳能,受有风无风、白天黑夜、晴天阴天等天气变化影响,作为电源都属于可间断电源。应对可间断电源的方法,基本归为提高天气预测水平,设置蓄能装置,增加旋转备用三大手段。但前两个手段当前尚无能力满足大规模可再生能源的调峰需要,唯有增加旋转备用容量是可靠手段。但在现有发电结构中,核电不能调峰,燃煤发电机组虽可调峰,但深调能力差,步程慢,而燃气发电机组具备频繁启停能力,启动快,单循环机组冷启动至满负荷只需 8~9min,联合循环机组启动只需 30~40min,这一明显优势使燃气发电被政府机构和企业视为推动大规模可再生能源计划的“双胞胎”。燃气发电充当的这一特殊角色实际也是促进可再生能源大规模发展的突出贡献。

(4) 天然气资源的多元化,可开采量的大幅增加,促成燃气发电的建设进入高速通道。近年来,世界各国除努力勘探开发常规天然气外,还大力勘探开发页岩气、煤层气、煤制气,其量之大已在一定程度上改变了燃料供应格局,并稳定压低了天然气价格。以至于“非常规天然气(unconventional gas)”作为一种新概念已经成为国外媒体上常见的术语。美国非常规天然气的市场份额从 2000 年只占 1%,到 2010 年占 20%,10 年增加 20 多倍,预计 2035 年

将占到 50%。美国页岩气的大量发现引起全社会庆贺，媒体甚至对此发出“Bye Bye, LNG!”的欢呼。产气量的增加导致 60 年来最大幅度的价格平稳下降。美国天然气价格已持续相当长一段时间稳定在 3~4 美元/百万 Btu，有时还要更低，与在高位运行的油价脱了钩，按同等热值计算比较，这一价格只相当于油价的 30%，与煤炭价格大致相当，甚至略低于煤价。再加上燃气发电具有造价低、建设周期短的优势，燃气发电的优势带来的快速增长是顺理成章的。

二、对“十二五”及“十二五”以后若干年内的认识

以上不能不带来我们的思考：西方主要工业化国家的做法对我们有什么启示，在“十二五”以及“十二五”以后的若干年内，我国要不要致力发展燃气发电，能不能发展燃气发电，怎样发展燃气发电，燃气发电在我国将承担什么角色，都需要我们认真研究。

(1) 燃气发电在当前电力工业中将承担的重要角色，是其他任何发电形式难以取代的。在温室气体和环境问题面前，各国面对的难题是一样的，长期依靠的熟悉的常规燃煤发电方式被视为是不适宜的，可再生能源发电在技术的成熟程度和规模上又取代不了燃煤发电的地位，两难的处境推动各国寻找各自的适用技术或技术组合，实际上是在各种发电技术中寻找三种角色。第一种，是以低成本直接减排二氧化碳的技术，最好是成熟技术，可以直接拿来就用的技术。第二种，是可以为可再生能源的发展障碍提供突破手段的技术，至少是在代价不高的前提下，满足类似百万千瓦、千万千瓦风电场接入电力系统，保证电力系统可以安全可靠调度运行的技术。第三种，是可以起到向下一代发电技术提供过渡桥梁作用的技术，即不一定是最先进的低碳技术，但其先进的低碳水平与国际社会对今后几十年分阶段的减排指标安排相吻合，其资源可以满足几十年以上，运行到几十年后可以被下一代更先进发电技术取代。不难看出，燃气发电技术可以集以上三种角色于一身，这对任何国家都是难于忽视的。尤其是我国这样的燃煤大国，可再生能源发电计划庞大，需要配套的调峰能力和捆绑输电能力也是可观的。我国有关规划部门指出，2020 年我国风电装机容量将达到 2 亿 kW，太阳能发电 2020 年达到 2000 万~5000 万 kW。按有关国家研究，每 7~8MW 的风电、太阳能发电就需要 1MW 能快速启停的可靠调峰容量配套才能满足电网调度要求。这些调峰容量不是电网中原有的，而是需要伴随风能、太阳能的开发同步建设的。我国电网原本普遍缺少调峰容量，对可再生能源发电配置的新调峰机组需求比其他国家比例还要高些，按上述计算仅此一项就需要 4000 万 kW 左右的燃机配套。因此我国对燃气发电的角色是需要的，而且是迫切的。

(2) 在“十二五”及以后，我国天然气资源的开发技术进步和资源量的增长是可以相对乐观预期的。天然气发电的快速增长并作为通向下一代先进发电技术的桥梁，关键是气源，有没有足够的气是核心问题。我国当前天然气的供应虽然有一定缺口，但国家正在多管齐下解决这一问题，一方面加大国内天然气勘探开发力度，类似普光气田这样 100 亿 m^3 /年产量的大气田已经或还要投入生产；另一方面加大引进力度，中亚天然气管道、中哈天然气管道、中缅油气管道正陆续建设并先后投运；更重要的是国家重视页岩气、煤层气、煤制天然气等非常规天然气资源的开发，开展国际合作，引进先进技术和装备，推动天然气资源规模开发。国家发展和改革委员会有关研究机构负责人透露，国家相关部门已经认识到天然气发电能够为电力调峰起到的调节作用，因此在“十二五”期间，国家将下大决心大力发展天然气发电，增加其比重。国内典型能源大省——山西省主要负责人曾表示：山西省“因煤而兴，因煤而

困”要顺应时代潮流，坚定转型发展，要建设气化山西，利用好丰富的煤层气、焦炉煤气、煤制天然气。在山西实施煤炭工业的转型。在大型企业层面，中国海洋石油总公司（简称中海油）已经与美国 chesapeake 公司联合宣布，中海油将以 20 亿美元购入其鹰滩页岩气项目 33.3% 股权，该公司是全球页岩气领域的领军者，在美国有多个页岩区块，有丰富钻采经验。中海油这样做的原因就是看到过去 10 年美国非常规天然气增加了 20 倍，改变了天然气供应格局，美国 2009 年页岩气产量 890 亿 m^3 ，已超过我国天然气产量，而我国与美国地质类似，前景诱人。中国石油天然气集团公司（简称中石油）在澳大利亚也在竞购 Arrow 公司，该公司正是世界知名煤层气开发商，这种并购无疑将加速中石油获得相关技术，加速国内煤层气开发。据国际能源署称，中国仅页岩气就拥有 26 万亿 m^3 ，煤层气也超过 30 万亿 m^3 ，但苦于缺乏勘探和钻进技术无法开采。我国相关国家机构、地方政府、大型企业已有共识，已经或正在转化为天然气资源“十二五”的战略布局，相信国内外普遍预测的 2020 年中国天然气供需达 2000 亿 m^3 ，2030 年接近 4000 亿 m^3 是能够实现的，燃气发电的角色也是重要的。

（3）“十二五”天然气发电有新的技术追求，需要与时俱进做好相关工作。“十二五”的燃气发电不完全是前几年燃气发电工程的技术重复，时代对燃气发电有更高的要求，燃气发电工程应该充分回应这些要求。这些要求包括：

1) 为满足环境和排放更严格的标准，应该选择更高技术水准的燃气机组，近几年燃气轮机制造商在竞争中开发了更高效率的机组，单循环效率 43%~45%，联合循环效率 58%~60%， NO_x 排放为 15×10^{-6} ， CO_2 排放低于燃煤发电的 50%，这样的机组无疑更适合时代的要求。

2) 为适应和保障风能，太阳能发电的大规模上网、燃气发电的设备和工艺系统设计要有更出色的启停和调峰能力。燃气轮机制造商已经明确锁定这一目标，并取得了进展。比如 ALSTOM 公司，在其代表性的 GT24、GT26 燃气机组中研究开发了双燃烧室设计，采用双燃烧室顺序燃烧（又称再热燃烧），效率更高，启动更快，而且在关闭第二燃烧室喷嘴情况下，机组稳燃负荷可轻松降到 20%，机组排放水平还能与带基荷时的排放水平持平而不上升。这样的机组无疑更符合当下的要求。再如 SIEMENS 公司，瞄准燃气轮机将在电网中承担的新角色，致力开发缩短启动时间的 FACY（Fast Cycling）技术，内容包括机组在多次启停工况下，各种相关装置设备（如余热锅炉、汽轮机组）如何满足快速启停而不拖后腿，汽轮机不必等待蒸汽参数达到某个标准再启动，而是与燃气轮机基本平行启动。第一代 FACY 技术把启动时间从 100min 降到了 55min，第二代技术已经成功将启动时间缩短到 40min 以内。当然，这些优异性能的取得不能仅依靠燃气轮机制造商就能取得，工程设计单位也必须研究优化整套机组的启动顺序，优化整个工艺系统的设计，优化所有相关设备装置的选择，保障燃气机组以电网中重要角色的身份表现出相称的优异性能。

3) 丰富燃气发电的类型，拓宽思路以多样化的形式实现燃气发电的目标。燃气轮机发电、联合循环发电、煤层气发电、城市垃圾转化沼气发电、焦炉煤气发电都属于燃气发电的内容。IGCC 燃气发电把煤气化和发电结为一体，更适合我国这样以煤炭为主要一次能源的国家。同时，IGCC 也可以多样化，除了把煤气化与燃气发电结为一体的方式外，因地制宜地把煤气化和燃气发电分设两地两厂，也是可行的选择。我国已在内蒙克什克腾旗建成 40 亿 m^3 /年煤制天然气项目，核准了内蒙汇能、辽宁阜新煤制天然气项目，如将煤制天然气用管道输往燃气电厂发电，实际也是 IGCC，不同的无非是煤炭气化与燃气发电不在一厂而已。我国煤

矿有多处煤炭自燃几十年,数千万吨煤炭已经在自燃中气化(但是非甲烷化),若引进先进技术和装备,将其纳入煤制天然气(甲烷),气源的规模也是相当可观的。

(4)当然,人类不可能长期依赖燃气发电,因为天然气也是不可再生的。但燃气发电可以用相对洁净的方式为人类争取到至少几十年的时间,让人类分阶段实现可再生能源、新一代能源的能源战略的革命。待到太阳能、风能、可控核聚变、快堆、海底天然气水合物、二氧化碳的资源化、大型蓄能技术、大规模燃料电池、海洋能等这些处在激烈竞跑中的新能源有一项或几项真正取得突破,人类将改变自己的能源面貌时,当前成熟的燃气发电技术或将升级为燃料电池技术,或将在竞争中落伍。不管将来如何,在未来和今天之间,天然气发电是重要的过渡桥梁。仅从这一点看,“十二五”的天然气发电就应该值得我们充分重视,并作出足够的努力。

三、燃气电站分类产品与功能

(一)三类机组

燃气机组可以分为三类,其产品分别为:

- (1)燃气调峰机组,产品为电。
- (2)热电联产机组,产品为热和电联供。
- (3)分布式能源站,产品为冷、热和电三联供。

(二)机组功能

(1)电网调峰。按照《产业结构调整指导目录(2011年本)》,在气源充足、重要负荷中心建设的用于电网调峰的燃气机组属于鼓励类。

(2)天然气管网削峰填谷。按照《关于发展天然气分布式能源的指导意见》(发改能源〔2011〕2196号文),推荐燃气机组发挥对电网和天然气管网的双重削峰填谷作用,以提高能源供应的安全性。

(3)热电联产机组还要保障供热范围内热负荷(工业用汽、采暖和生活用热水等)的供应。

(4)分布式能源站还要保障供冷范围内冷负荷的供应。使用蒸汽、热水或电力在站内制冷。

四、燃气调峰机组

(1)按照《产业结构调整指导目录(2011年本)》,在气源充足、重要负荷中心建设的用于电网调峰的燃气机组属于鼓励类。因此,上述三个条件,是燃气调峰机组的必要条件。

(2)按照《关于发展天然气分布式能源的指导意见》(发改能源〔2011〕2196号文),推荐燃气机组发挥对电网和天然气管网的双重削峰填谷作用,以增加能源供应的安全性。

(3)为了提高能源转换效率,优化产业结构,节能减排,达到政企双赢,燃气调峰机组宜采用大容量、高效率的F级联合循环机组。详见第五章。

(4)纯电网调峰机组,发电设备率利用小时为1200~1500h,兼顾气网填谷时,年利用小时将增加到3500h左右。详见第十章。

五、热电联产机组

(1)热电联产机组必须“以热定电”,以满足火电装机规模宏观调控的要求。

(2)“以热定电”,实质上就是用最小的装机容量满足热负荷需求。过去用“热电比”指标来要求与判别。从《热电联产和煤矸石综合利用发电项目建设管理规定》(发电能源〔2007〕

141 号文) 颁发起, 已经改用“最大的抽排汽(或供热)能力利用率”, 它比“热电比”科学, 易于操作, 更能体现产业政策定量的要求。

(3) 供工业用汽的燃煤热电厂, 原则上应采用背压机组; 供采暖负荷的热电厂, 除集中供热面积超过 1800 万 m^2 的大型城区, 可安装 2 台 300MW 级凝汽采暖两用机组外, 其余情况下, 也应采用背压机组。这一原则如何用于燃气机组, 详见第五章。

(4) 鼓励燃气调峰机组兼顾向邻近用户供热, 但需解决间断调峰与连续供热之间的矛盾。当最大抽(排)汽能力利用率不满足要求时, 仍按燃气调峰机组管理。

六、分布式能源站

(一) 分布式能源的定义

长期以来, 国内外的专家学者对于分布式能源的称谓和定义问题一直存在争议, 各持己见, 难以统一。其中, 有代表性的几个定义如下。

1. 世界分布式能源联盟 (World Alliance Decentralized Energy, WADE)

WADE 对分布式能源的定义是分布式能源是分布在用户端的、独立的各种产品和技术。包括:

(1) 高效的热电联产系统。功率为 3kW~400MW, 如燃气轮机、蒸汽轮机、内燃机、燃料电池、微型燃气轮机、斯特林发动机等。

(2) 分布式可再生能源技术, 其中包括光伏发电系统、小水电、生物能发电, 以及微风风力发电等。

2. 美国能源部

美国能源部对分布式能源的相关定义是分布式能源(也叫做分布式生产、分布式能量或分布式动力系统)可在以下几个方面区别于集中式能源, 即:

(1) 分布式能源是小型的、模块化的, 规模大致在千瓦至兆瓦级;

(2) 分布式能源包含一系列的供需双侧的技术, 包括光电系统、燃料电池、燃气内燃机、高性能燃气轮机和微燃机、热力驱动的制冷系统, 除湿装置、风力透平、需求侧管理装置、太阳能(发电)收集装置和地热能量转换系统;

(3) 分布式能源一般位于用户现场或附近, 如分布式能源装置可以直接安装在用户建筑物里, 或建在区域能源中心, 能源园区或小型微型能源网络系统之中或附近。

3. 丹麦政府能源环境部

丹麦政府能源环境部关于分布式能源的定义较简单, 即满足: 靠近用户的发电方式, 不连接到高压输电网, 装机容量小于 10MW 的能源系统, 即可称为分布式能源。

4. 北京燃气集团

北京燃气集团认为“分布式能源是相对于传统的集中供电方式而言的, 是指将冷热电系统以小规模、小容量(数千瓦至 50MW)、模块化、分散式的方式布置在用户附近, 可独立地输出冷、热、电能(Cooling, Heating & Power, CHP)的系统, 其先进技术包括太阳能利用、风能利用、燃料电池和燃气冷热电三联供等多种形式。”

5. 中国科学院工程热物理学家徐建中院士

徐建中院士对分布式能源的定义是: “分布式供电是相对于传统的集中式供电方式而言的, 是指将发电系统以小规模(数千瓦至 50MW 的小型模块式)、分散式的方式布置在用户附近, 可独立地输出电、热或(和)冷能的系统。”

6. 中国电力科学研究所副总工程师胡学浩教授

胡学浩教授对分布式能源的定义是：“分布式发电（DG）或分布式能源（DER）是一种分散、非集中式的发电方式。其具有以下特点：接近终端用户；容量很小（几十千瓦至几十兆瓦）；以孤立方式或与配电网并网方式，运行在 380V 或 10kV 或稍高的配电电压等级上（一般低于 66kV）；采用洁净或可再生能源（天然气、沼气、太阳能、生物质能、风能—小风电或水能—小水电）；常采用热电联产（CHP）或冷热电联产（CCHP）的方式。”

7. 清华大学热能系焦树建教授

焦树建教授认为分布式电站是相对于传统的集中方式而言的发电系统，它将规模较小的发电设备乃至供热和制冷设备，以分散的方式布置在用户附近。同样，清华大学电机系朱守真教授则认为：分布式电源是一种直接连接在配电网或者计量的用户侧的电源设备，具体是指功率不大（几十千瓦至几十兆瓦）、小型模块化、分布在负荷附近的清洁环保发电设施，经济、高效、可靠的发电形式。

8. 华南理工大学传热强化与过程节能实验室华贲教授

华贲教授认为“分布式能源系统（Distributed Energy System, DES）是在有限区域内采用冷热电三联供（Combined Cold Heat and Power, CCHP）技术通过管网和电缆向用户同时提供电力、蒸汽、热水和空调用冷冻水服务的综合能源供应系统，所以总称‘冷热电联供，DES/CCHP’”。

9. 政府主管部门

直到 2004 年，我国国家发展和改革委员会能源局就发展分布式能源问题向国务院总理温家宝进行汇报的文件《国家发展改革委关于分布式能源系统有关问题的报告》（发改能源〔2004〕1702 号）中正式使用了“分布式能源系统”的概念，至此“分布式能源”才得到我国官方语言的认可，形成统一认识。国家发展和改革委员会对分布式能源的定义是：“分布式能源是近年来兴起的利用小型设备向用户提供能源供应的新的能源利用方式。与传统的集中式能源系统相比，分布式能源接近负荷、不需要建设大电网进行远距离高压或超高压输电。可大大减少线损，节省输配电建设投资和运行费用；由于兼具发电、供热等多种能源服务功能，分布式能源可以有效地实现能源的梯级利用，达到更高能源综合利用效率。分布式能源设备启停方便，负荷调节灵活，各系统相互独立，系统的可靠性和安全性较高；此外，分布式能源多采取天然气、可再生能源等清洁能源为燃料。较之传统的集中式能源系统更加环保。热电联产是目前典型的分布式能源利用方式，在发达国家已得到广泛的推广利用。”

10. 英文名称

热电联产的英文名是 Combined Heat & Power (CHP)，或专用单词 Cogeneration，它是一项能提高能效而且同时产生热和电的技术。冷热电三联供的英文名是 Combined Cold Heat and Power (CCHP)，也是一项能提供能效，而且能同时产生冷、热、电的技术。从理论上讲，差不多任何能源均可作为 CHP 和 CCHP 的原料，其中包括煤炭、柴油、燃料油、天然气、液化石油气、煤气、煤层气、矿井瓦斯、焦炉煤气、地下汽化气，以及沼气、秸秆气等各种可再生能源等。但是，实际上不同国家 CHP 系统的应用和燃料的选择有所不同，如在西方发达国家，目前大量应用的是以天然气为原料的内燃机、燃气轮机或者联合循环热电联产机组的燃气热电联产，从长远来看，天然气仍将在西方国家的 CHP 系统中占据主导地位，且新能源原料的比例也将会有所增加；在我国，目前的 CHP 系统大多以煤炭为原料并用于区域供热和

工业应用。而从现在开始到 2030 年,随着用于楼宇供热供冷的小型 CCHP 应用的快速发展,以天然气和新能源为原料的 CHP 系统的比例将会大大增加。

11. 总体分析

国际上分布式能源系统主要是以天然气资源为主,由于天然气管网的发展和天然气燃料的良好环保性能,以及天然气资源的巨大发展前景,以天然气为燃料的燃气热电联产已经成为分布式能源系统的主要内容。同时,风力发电、太阳能光伏发电、生物质能发电等可再生能源发电系统,也是分布式能源的重要组成部分。目前,分布式能源在全球的发展十分迅猛,应用范围非常广泛,国外已将天然气分布式能源成功应用在大型公共建筑、建筑群、社区、院校、医院、政府机构、大型商厦、办公楼、数据中心、宾馆、体育馆、农业大棚等,其在能源系统中的比例不断提高,正在给能源工业带来革命性的变化。

(二) 天然气分布式能源基本特征

由于目前国内外的天然气分布式能源项目多建在城市,且大多采用热电联产(CHP)或冷热电联产(CCHP)的方式运行,所以燃气热电联产的特征基本反映了天然气分布式能源系统的基本特征。天然气分布式能源的基本特征主要有以下几个方面。

1. 冷热电联产化,有效提供能源综合利用效率

因为天然气分布式能源系统是将采暖、电力、制冷和生活热水,以及除湿等系统优化整合为一个新的、统一的能源综合系统,所以天然气分布式能源不仅可以同时向用户提供电、热、冷等多种能源应用方式,而且实现了优质能源的梯级合理利用,有效提高能源的利用效率(可达 70%~90%),是节约能源、提高能源利用效率、增加能源供应、应对能源短缺、能源危机和能源安全问题的一种优化的途径。

目前,芬兰、丹麦的一些区域热电分布式能源系统的能源综合利用效率已经接近 95%,而荷兰一些项目将分布式能源排放的废气注入大棚种植花卉,能源低位发热量利用效率已经超过 100%,同时废气中的二氧化碳、水蒸气成为气体肥料滋润植入生长,将资源用尽。

2. 投资收益高,输配电损耗小

因为天然气分布式能源系统采用燃气内燃机、小型燃气轮机、微型燃气轮机、燃料电池等小型或微型发电设备,并与供热、制冷、除湿、生活热水等装置组成分布式能源系统,规模一般都比较小,是用户自力更生解决能源供应,通过提高能源综合利用效率,从而减少能源费用支出的一种能源投资收益方式,所以其投资回报率一般都比较高。同时,天然气分布式能源系统一般靠近用户侧安装就近供电、供热及供冷,这不仅可以省去长途输电设施、多层变电、配电系统的电网建设,而且可提高供电可靠性,优化电力系统,降低输变电损耗。此外,分布式能源系统可以替代集中供热的热力厂、热力管网、换热站等设施,减少城市的市政建设投资和财政补贴问题。

3. 低排放,环保标准高

由于天然气分布式能源采用绿色能源天然气做燃料,同时燃气轮机使用了低氮氧化物排放的燃烧室技术,所以它可以大大减少有害气体及废料的排放,SO₂、固体废弃物和污水排放几乎为零,温室气体(CO₂)减少 50%以上,NO_x减少 80%,TSP 减少 95%,从而减轻了城市的环保压力。同时,由于天然气分布式能源摒弃了大容量远距离高电压输电线的建设,由此不仅减少了高压输电线的电磁污染,而且减少了高压输电线的线路走廊和相应的土地占用,也减少了对线路下树木的砍伐,使得占地面积全部被省略,耗水量也减少 60%以上,实

现了绿色经济。

4. 控制管理智能化

由于天然气分布式能源系统网络能够将每个能源装置的自动控制计算机连接,实现智能化指挥调度,并根据整体的电力、热力、制冷需求,蓄能与燃料变化进行优化调节,从而彻底平衡电力、热力、制冷、热水和燃料的峰谷变化平衡问题,做到控制管理智能化。同时,天然气分布式能源系统普遍容量较小,机组的启停和调节都很迅捷,便于无人值守,因此十分灵活和易于操作。

5. 智能电网与可再生能源

分布式能源系统是构筑智慧能源体系和智能电网系统的基础,为用户端大量接入分布式可再生能源,以及消化不稳定的太阳能、风力和小水电设施所发电力。实现电网自下而上地提高系统效率,优化供需结构,节约设施资源,降低整体投资。分布式能源是智能电网的基础,就如同互联网中的电脑一样,通过智能电网实现了一个扁平化的信息时代的能源系统,实现了能源用户和能源生产者之间的相互交融,彻底改变了工业时代日渐落伍的能源理念与供需关系。

6. 因地制宜,能源利用多样性

由于分布式能源可利用多种能源,如洁净能源(天然气)、新能源(氢)和可再生能源(生物质能、风能和太阳能等),并同时为用户提供电、热、冷,因此是节约能源、增加能源供应、应对能源危机和能源安全问题的一种良好途径。

7. 提高供电安全性和能源供应可靠性

天然气分布式电源星罗棋布地布置在用户端的能源系统,既可用作常规供电,又可承担应急备用电源,需要时还可用作电力调峰,与智能电网一起可以共同保障各种关键用户的电力供应安全,所以当大电网出现大面积停电事故时,具有特殊设计的天然气分布式能源系统仍能保持正常运行,从而弥补大电网在安全稳定性方面的不足。分布式能源可以采用天然气、燃油双燃料设计,在电网瘫痪和燃气供应中断的同时,继续保障电力供应。天然气分布式能源系统比较简单,易于启动关闭,可以在大电力系统崩溃后进行黑启动,也可以为电网提供转动无功补偿,由此可提高供电及电网的安全性、可靠性和稳定性。

8. 满足边远地区及特殊场合的供电需求

由于我国许多边远及农村地区远离大电网,因此难以从大电网向其供电,而燃气分布式能源系统则非常适合对乡村、牧区、山区、发展中区域及商业区和居民区提供电力。燃气分布式能源可以利用小规模天然气资源、沼气、秸秆气和其他工业可燃性废气资源。

9. 对于规划建设的有利条件

- (1) 占地面积小,选址灵活;
- (2) 建设周期短,投资风险小。

10. 对于生产运营的有利条件

- (1) 输出功率比光伏、风力发电等可再生能源相对平稳,在保障供气的条件下可控。
- (2) 如能冷、热、电三联供,发、输、配电综合成本较低。

(三) 对于分布式能源站定义的建议

1. 指导思想

- (1) 符合国际、国内共识,使它易于被有关各方接受;

(2) 不仅从技术层面、经济层面,还要从政治层面,即从体制、机制,法规、政策,规划、宏观调控等角度进行研究,使它符合国情;

(3) 尽量量化设限,使之易于操作。

2. 三个必要条件

(1) 小型。其理由是:

1) 小型化是国内外共识,而分散化是小型化的原因,模块化是小型化的措施。

2) 在我国电力工业发展历程中,大、中、小型火电机组已有明确的划分规定。即 100MW 及以下为小型,135MW 和 200MW 级为中型;300MW 及以上为大型,这是国情。

3) 不宜特别为燃气发电机组制定大、中、小型的划分规定,以体现在继承的基础上进行改革的要求。

(2) 冷、热、电三联供。其理由是:

1) 只有在厂内制冷,才能更好地实现能源的梯级利用,使全年能源利用效率能够达到 70% 以上指标的要求。

2) 无论是过去、现在或将来,利用发电厂供应的蒸汽或热水,在企业或商住区制冷都是存在的,迄今为止,它均计入热负荷,即属于热电联产范畴。

3) 由于厂内制冷供冷范围一般为 1.5km,在厂内制冷与小型化,分散化的特点也是协调的。

(3) 并网不上网。其理由是:

1) 过去曾有过就地消纳、向邻近地区供电;以 35kV (或 110kV) 及以下电压接入系统等说法,但这些说法均为纯技术性的要求。

2) 由于燃气相同热值价格比燃煤高;小型化能源利用效率低;如不采用自备电厂或直供电方式,分布式能源站将难以营利和生存。详见第十章。

3) 自备电厂的要求之一就是并网不上网,电能只能单向从网到厂站输送。

4) 因此,在工业园区拟建的分布式能源站,应具备自备电厂的其他必备条件。例如,由工业园区内主要需要热负荷的企业,特别是“141 号文”中规定可以建设自备热电站的企业,合资建设分布式能源站,投运后,其“以热定电”的电力,可以享受自备电厂的电价,达到网、厂双赢的目的。

5) 对于工业园区,这一条件最难实现,但它又是分布式能源站保本赢利能够生存的必要条件。

3. 定义与实施分析

(1) 对分布式能源站建议的定义是冷、热、电三联供,并网不上网的小型燃气能源供应站。

(2) 这一定义的主要目的是与热电联产机组相区别,以利于分类管理。

(3) 按照上述定义,在大型城区和工业园区建设的 E 级 (中型) 和 F 级 (大型) 燃气机组不属于分布式能源站范畴。

(4) 按照上述定义,在旅游集中服务区、生态园区和大型商业设施等处建设的 10MW 及以下燃气机组,多采用内燃机组,一般均属于分布式能源站 (这与丹麦一致)。

(5) 按照上述定义,对于规模较小的工业园区或城区,如拟安装 10~100MW 的燃气机组,如 B 级 (小型) 燃气—蒸汽联合循环机组,除非三个必要条件都满足,难以划入分布式能源站,需要努力创造条件,或按照热电联产管理。

第二节 国外天然气发电简况

一、天然气储采量

1. 天然气储量

(1) 根据 BP 世界能源统计, 2006 年全世界天然气探明剩余可采储量为 181 万亿 m^3 , 储采比为 63。

(2) 天然气资源 75% 以上集中在中东、欧洲及欧亚大陆。探明剩余可采储量最大的前五个国家为俄罗斯、伊朗、卡塔尔、沙特阿拉伯和阿联酋, 分别占 26.3%、15.5%、14%、3.9% 和 3.3%, 储采比均超过 77。

2. 天然气生产量

(1) 根据 BP 世界能源统计, 2006 年全世界天然气生产量为 28653 亿 m^3 。

(2) 其中产量最高的五个国家为俄罗斯、美国、加拿大、伊朗和挪威, 分别占 21.3%、18.5%、6.5%、3.7% 和 3.0%。

3. 中外对比

中国人口众多, 天然气储量不大, 生产量居世界第 13 位, 占 2.0%, 如按人均生产量计算, 排名还要靠后。因此, 发展燃气发电产业, 还需进口天然气 (含 LNG)。

二、热电联产和分布式能源站

(一) 历史及现状

国际上研究分布式能源技术从 20 世纪 70 年代就开始发展起来, 但其真正快速发展起来却是近十几年的事情, 特别是美、加大停电之后。这也是随着能源与信息技术的发展, 对环境与资源意识的提升, 对电力供应安全的要求升级, 能源市场化体制改革所出现的必然结果, 是人们对能源供应品质和环境质量追求的结果。目前, 燃气冷热电联产已经成为天然气分布式能源系统的主要内容, 美国、日本及欧洲等先进国家和地区纷纷将天然气分布式能源系统作为国策大力推广。其中天然气冷热电联产的应用十分普及, 发电机组的余热 80% 以上被有效利用, 取得了显著效果。

据国际能源署 (IEA) 统计, 世界主要国家及地区的热电机组 (CHP) 装机容量已经达到 329.2GW, 其中主要国家和地区 CHP 装机容量见表 1-1。

表 1-1 世界主要国家和地区 CHP 装机容量

国家和地区	CHP 装机容量 (MW)	国家和地区	CHP 装机容量 (MW)	国家和地区	CHP 装机容量 (MW)
美国	84707	中国台湾	7378	丹麦	5690
俄罗斯	65100	荷兰	7160	英国	5440
中国	28153	加拿大	6765	斯洛伐克	5410
德国	20840	法国	6600	罗马尼亚	5250
印度	10012	西班牙	6045	捷克	5200
日本	8723	意大利	5890	韩国	4522
波兰	8310	芬兰	5830	瑞典	3490