

中国煤层气发电技术发展和应用现状

樊金璐, 吴立新, 王春晶, 高明龙

(煤炭科学研究总院 北京煤化工研究分院, 北京 100013)

摘要:煤层气发电是煤层气利用的重要途径之一,以中国“十一五”期间煤层气发电的进展为背景,研究并分析了燃气发电设备在煤层气发电方面应用的优缺点以及适用范围,重点对基于内燃机的联合循环和热电(冷)联产系统方案进行分析,指出内燃机发电机组在煤层气发电方面的应用较为广泛,大规模煤层气发电项目大多采用联合循环热电发电形式,较小规模则采用热电冷联产方案,并结合具体案例进行经济分析。最后,对煤层气发电项目发展方向进行了展望。

关键词:煤层气; 发电; 联合循环; 热电联产; 经济性

中图分类号: TD849; TM619

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2012)01-0001-04

Development and application status of CBM power generation technologies in China

FAN Jin-lu, WU Li-xin, WANG Chun-jing, GAO Ming-long

(Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute Beijing 100013, China)

Abstract: Electricity generation is one of the most important ways to utilize coalmine methane (CBM) resources. Study and analyze the advantages and disadvantages of gas generating equipments in CBM electricity generation with the background of CBM electricity generation during the eleventh five years plan of China. Emphatically analyze combined cycle system and the co-production system of heat, electricity and cold based internal-combustion engine. The results show that internal-combustion engine power units are widely applied in CBM electricity generation, and the combined cycle system is suitable for larger-scale CBM programs while the cool heat and electricity co-production system is suitable for small-scale CBM programs. Economic analysis of the systems has been conducted according to the specific case and the development direction of coalmine methane power generation projects has been discussed.

Key words: coal bed methane; power generation; combined cycle system; pyroelectric co-production (CHP); economic benefits

1 背景

近年来,煤层气作为一种资源,越来越受到政府和企业的重视。煤层气可以用于民用、工业、发电、汽车燃料和化工原料^[1]。“十一五”期间,煤层气井下抽采利用量从2005年的7.35亿m³到2010年的

36亿m³,增长了近5倍。预计到2015年,中国煤层气井下抽采量将达到120亿m³,抽采利用量将达60亿m³,煤层气利用的潜力十分巨大。

煤层气发电是煤层气利用的重要途径之一。“十一五”期间,煤层气发电装机规模逐年上升,各地煤层气发电产业迅速发展。山西省煤层气资源占

收稿日期:2011-10-12 责任编辑:孙淑君

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040)

作者简介:樊金璐(1986—),男,安徽淮北人,在读硕士研究生,主要从事洁净煤技术及其技术经济评价方面的研究。

中国煤层气储量的 1/3,发电产业在全国领先。2009 年,全省煤层气发电总装机容量已达到 26 万 kW^[2]。到 2015 年山西晋煤将建成世界最大的煤层气发电集群,发电总装机容量达到 58.9 万 kW。贵州省煤层气发电起步较早,到“十一五”末,贵州省投入运行的煤层气发电装机容量 8 万 kW 左右^[3]。安徽省淮南矿业集团从 2002 年起开始建设煤层气发电项目,到“十一五”末装机容量 2.8 万 kW,并建成全国首座低浓度瓦斯发电站——谢一矿煤层气电站(2×500 kW)^[4]。淮北矿业集团 2005 年开始发展煤层气发电,截止目前总装机容量 1.75 万 kW,两淮煤层气发电工程项目见表 1。辽宁、河北、甘肃等地也在积极发展煤层气发电项目。中国煤层气发电装机容量走势如图 1 所示。

表 1 两淮矿区煤层气发电工程建设情况^[5]

地点	发电煤矿	规模/kW	机组厂家
淮南	张集	2×1360	德国道依茨
	潘一	2×1360	德国道依茨
		2×500	山东胜动
	新庄孜	1×1360	德国道依茨
	谢桥	2×1416	奥地利颜巴赫
		2×600	江苏宝驹
	潘三	2×1800	美国卡特彼勒
		4×1200	山东胜动
	谢一	2×500	山东胜动
		6×500	山东胜动
新庄孜	8×500	山东胜动	
淮北	芦岭矿	10×500	山东胜动
	海孜煤电	4×800	江苏宝驹
		2×500	山东胜动
	祁南矿	6×500	山东胜动
	朱仙庄矿	6×500	山东胜动
	杨柳矿	6×500	山东胜动

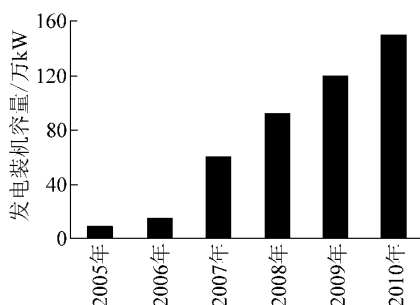


图 1 中国煤层气发电装机容量走势^[6-7]

由图 1 可知,到 2009 年,全国煤层气发电机组

已超过 1200 台,总装机容量达 120 万 kW,是 2005 年的 13 倍多;截止到 2010 年,全国煤层气发电装机容量已达 150 万 kW 以上。面对煤层气发电装机容量的急速增长,对煤层气发电技术发展和应用的研究则显得尤为重要。

2 煤层气发电热机选型

从热机选用角度,煤层气发电技术可以分为蒸汽轮机发电、燃气轮机发电以及燃气内燃机发电技术。

2.1 蒸汽轮机发电

技术十分成熟,运行可靠,单机功率大,受煤层气抽采波动性强的影响,在以煤层气为燃料的大型电站锅炉上应用受到限制,目前仅局限在小型工业锅炉供热上,占地面积大,建设周期长,目前煤层气发电基本不采用这种方式^[8]。

2.2 燃气轮机发电

技术具有系统简单,运行灵活,单机功率大,占地面积小的优点^[9]。但这种机组对气源品质要求高,一般要求甲烷含量为 35%~70%,而且气源稳定的情况下才适用。

2.3 燃气内燃机发电

技术具有系统简单,运行灵活、发电效率高的特点^[10];尤其是这种机组要求进气压力低,仅为 5~35 kPa,适用煤层气浓度范围广,煤层气浓度在 6% 以上均可利用,具有能较好地适应煤层气量和浓度的波动范围较大的优点。

2004 年以前,煤层气发电大多采用燃气轮机,经过工程验证,发现由于煤层气浓度达不到安全要求时,机组不得不开时停。而内燃机可以适应一定的煤层气浓度和气量的波动,这使得燃气内燃机发电机组在煤层气发电方面获得了越来越广泛的应用。

3 煤层气发电装机方案

3.1 联合循环发电

联合循环发电技术,即燃气-蒸汽循环发电^[11]。燃料气燃烧后产生的烟气进入燃气轮机或内燃机做功,出口烟气进入余热锅炉加热给水,产生的高温、高压蒸汽驱动汽轮机做功,从而实现能量的梯级利用。联合循环发电一般规模较大,需要浓度、气量稳定且长久的气源。图 2 是基于内燃机的联合循环发电系统流程。

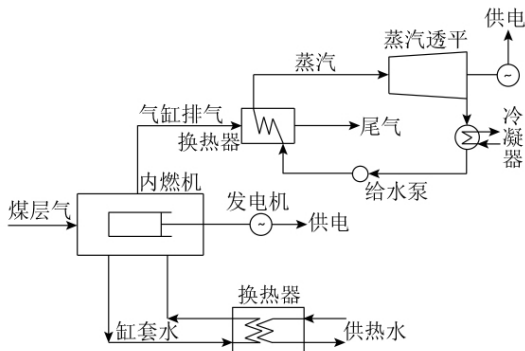


图2 基于内燃机的联合循环发电系统流程

内燃机(或燃气轮机)的联合循环发电均相当成熟,其中燃气内燃机的机组额定功率通常在 50 ~ 5000 kW,而燃气轮机的机组额定功率在 800 kW 以上。对于 1000 kW 到兆瓦的联合循环发电系统,不同热机对应的联合循环发电技术参数见表 2。

与燃气轮机相比,内燃机具有发电效率高、启动时间短、对气源变化适应性强等优点。在小功率市场,即兆瓦级煤层气联合循环发电市场,内燃机具有明显优势^[12]。

表2 2种热机对应的联合循环发电系统技术参数^[6]

机组形式	燃气内燃发电机 + 余热锅炉 + 蒸汽轮机发电机	燃气轮机发电机 + 余热锅炉 + 蒸汽轮机发电机
辅助系统	较简单	较简单
简单循环发电效率/%	34 ~ 43	25 ~ 30
全厂综合效率/%	45 ~ 90	40 ~ 90
启动时间/s	10	360 ~ 3600
检修时间/h	35000 ~ 60000	30000 ~ 50000
燃料供应压力	低压	中压
对煤层气浓度要求	6% 以上	大于 35%, 气源稳定
千瓦造价/元	5000	5200

目前已建、在建以及规划规模较大的煤层气联合循环发电项目都在山西,且均采用进口内燃机机组。如山西寺河 120 MW、山西兰花大宁 35 MW、山西中电明秀 120 MW 煤层气发电项目等,这些项目

的装机参数见表 3。从表 3 可以看出,内燃机与汽轮机的功比大约为 9 ~ 10,因此当煤层气装机容量小于 10 MW 时,余热锅炉产生的蒸汽不足,不具备联合循环发电的条件。

表3 煤层气内燃机联合循环发电项目装机参数

项目名称	装机规模/MW	内燃机	汽轮机	气源浓度/%	建设时间
寺河	120	卡特彼勒 1.8 MW × 60 台	国产 3 MW × 4 台	40 ~ 50	2006 - 08—2009 - 07
大佛寺	13	胜动 500 kW × 24 台	国产 1 MW × 1 台	< 30	2007 - 11—2008 - 05
兰花大宁	35	道依茨 4 MW × 8 台	国产 3 MW × 1 台	30 ~ 50	2008 - 04—2010 - 06
中电明秀	120	道依茨 4 MW × 28 台	国产 3 MW × 4 台	40 左右	2010 - 11
胡底	152	道依茨 4 MW × 38 台	国产	30 ~ 55	“十二五”期间

3.2 热电(冷)联产(CCHP)

热电(冷)联产,即利用一种燃料能源方式,生产 2 种或 2 种以上的能量——通常是电能和热能(冷能),实现能源的梯级利用,使系统能源利用率达到 70% ~ 90%^[13]。

根据煤层气气源的特殊性及目前市场占有率情况,本文介绍内燃机电热(冷)联产系统。内燃机发电机组的余热分为两部分:一部分为发动机排出的烟气余热;另一部分为发动机缸套冷却水。其中,烟

气余热的热能品位较高,对应的可利用热能随利用后排烟温度的变化而变化;缸套水温度较低,属品位较低的热能。

高品位的烟气经过余热锅炉产生蒸汽,蒸汽推动蒸汽轮机发电;或者采用溴化锂制冷机组进行制冷。缸套水自发电机出来后,可以进入水-水换热器进行热交换,出来的热水可以供热或者制冷,而经冷却的缸套水重新回到发电机进行闭式循环。系统流程如图 3 所示。

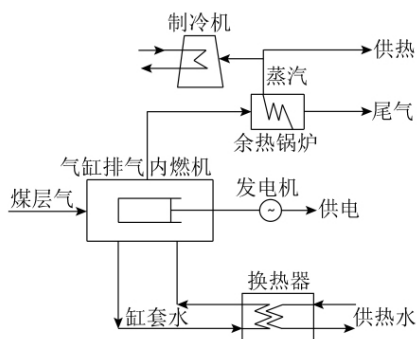


图3 基于内燃机的热电冷联产系统流程

与联合循环发电不同,热电(冷)联产项目机组规模可以相对较小,在气量不大的情况下也可以用小机组进行热电冷联供。基于中国煤层气储藏以及煤层气抽采的特点,目前中国较小规模煤层气发电项目大多采用热电冷联产形式。

4 煤层气发电项目经济性分析

4.1 热电冷联产煤层气发电

潘一南风井煤层气发电站一期安装2台德国道

依茨 TCG2020V12 内燃式煤层气发电机组,单机额定功率为 1360 kW,发电供矿井自用^[14]。夏季,利用烟气余热制冷,将冷量输送到井下降温,全矿井共需要 6000 kW 功率制冷量,一期 2 台溴化锂制冷机组制冷功率为 3459 kW;冬季,将热量送到工业广场锅炉房去供暖,实现热电冷联供,进一步提高了煤层气发电的热能利用率,节约了能源,具有较好的经济性。经计算相关技术经济指标见表 4。

4.2 内燃机联合循环发电

晋城煤业集团寺河矿煤层气发电项目于 2009 年 7 月 5 日正式投运。项目占地面积 54628 m²,发电厂总装机容量 120 MW,利用寺河矿井下抽采的质量分数为 30%~50% 的煤层气为燃料,采用联合循环发电方式,由 60 台单机容量为 1.8 MW 的卡特彼勒燃气发电机组,配备 12 台国产 EGS6.33-2.5/400 NSV 型余热锅炉和 4 台 N3-2.35 型蒸汽轮机。

采用联合循环发电后,寺河煤层气电厂发电热效率高达 47%,综合热效率高达 80% 以上,该煤层气发电厂 2010 年技术经济指标见表 4。

表4 2种装机方案技术经济指标

分析项目	淮南热电冷项目	晋城寺河联合循环发电项目
发电机组型号	道依茨内燃机+溴化锂制冷机	卡特彼勒内燃机+余热锅炉+汽轮机
发电站装机容量/kW	2×1360	120000
年运行时间/h	7500	7500
利用煤层气质量分数(CH ₄ 浓度)/%	>30	40~50
年用水量/万m ³	2.2	45
小时消耗煤层气量/m ³	715.4	30133
单位消耗煤层气量/(m ³ ·kW ⁻¹)	0.263	0.251
年利用煤层气量/万m ³	572.3	22600
年发电量/万kWh	2176	90000
发电热效率/%	43.5	47
发电厂系统效率/%	86.7	80
煤层气年发电成本/(元·kW ⁻¹)	0.55	0.536
节煤量(标煤)	0.82万tce	32.3万t
与等规模燃煤电厂相比	可减少CO ₂ 排放7.96万t, SO ₂ 排放115.5t,烟尘49.5t	可减少CO ₂ 排放319.9万t, SO ₂ 排放1617t,烟尘722t

从表4可看出,热电冷联产系统与联合循环发电系统与同等规模的燃煤电厂相比,均具有明显的节能减排效益。

5 结论与展望

煤层气发电方案的选择,应该在保障安全的前提下,根据气源情况,考虑用户需求,选择合适的内

燃机及规模。装机规模小于10MW的机组选择热电(冷)联产,具体装机组要考虑煤矿及当地居民需求;装机规模不小于10MW的机组,联合循环发电和热电(冷)联产都可以考虑,可以根据煤层气特性及技术经济分析来确定装机方案。目前,煤层气发电上网还存在一些障碍,因此煤矿区应重点发展 (下转第8页)

的进入。设立专项经费,重点支持 CCS 技术的研发和工程示范。由政府部门负责,长期组织、联合有关高校、科研院所、相关企业等单位,组成一支研发队伍,注重 CCS 技术专业人才培养,做好人才战略储备。

(3) 合作机制建设。政府部门要采取各种有利措施,大力支持 CCS 技术的实施工作,积极做好 CCS 技术的实施过程中各行业及企业间的沟通与协调,加强与国内、国际合作,制定有效的国际合作机制和跨行业协调机制。

(4) 示范项目建设。积极利用国内外的资金和技术,筛选最佳技术组合进行项目示范,做好碳捕集与封存技术的捕获、运输和封存三大环节技术及安全风险评估,消除公众对环境、健康和安全隐患的担忧,早日打造出科学的实施 CCS 技术商用模式,促进该技术在全省的实施。

4 结 语

山西省境内分布的大型煤田可作为 CO₂ 封存地,同时又有着大量的工业排放源,自然形成了良好

(上接第 4 页)

分布式能源系统,煤层气电厂所发电量原则上优先在矿区内自发自用。

目前,中国煤层气抽采利用率仅为 30% 左右,其中占抽采量约 50%、浓度低于 30% 的低浓度煤层气大部分被直接排放到大气中。2011 年初,《煤矿低浓度瓦斯与细水雾混合安全输送装备技术规范》等 10 项低浓度瓦斯输送和利用安全生产行业标准出台,低浓度煤层气发电将成为近期煤层气发电的重点。

《煤层气开发利用“十二五”规划》即将公布,将出台更加优惠的财税补贴政策。在国家政策的大力支持下,中国煤层气发电利用规模将更加快速增长。

参考文献:

- [1] 李五忠,赵庆波. 中国煤层气开发利用[M]. 北京:石油工业出版社,2008:12.
- [2] 董小恺. 山西煤层气产业化的构想与建议[J]. 山西能源与节能,2008(2):13-16.
- [3] 陈曦. 两份省政协提案和贵州煤层气[N]. 贵州政协报,2010-04-16.
- [4] 陈磊. 科技破解瓦斯治理难题. <http://www.hmmine.com/html/news/MediaFocus/812.html>.

的源汇匹配,为实施 CO₂ 捕集与封存提供了极为有利的条件;加之山西省领导及政府部门予以大力支持和关注,制定出了清晰的产业发展政策。在山西实施 CO₂ 捕集与封存技术对于碳减排和应对气候变化具有重要意义,应用前景极其广阔。

参考文献:

- [1] 王昕,董继斌,丁钟晓. 2010 年山西煤炭工业发展报告[R]. 太原:山西经济出版社,2009.
- [2] 王昕,董继斌,丁钟晓. 2011 年山西煤炭工业发展报告[R]. 太原:山西经济出版社,2010.
- [3] 梁晓亮. 低碳技术专利报告:碳捕集技术推广应用前景广阔[N]. 经济日报,2010-07-21(14).
- [4] 张临山,王荔. 2009 年山西省节能降耗取得重大进展[N]. 山西日报,2010-07-04(A1).
- [5] 最新统计公报:五年努力节能降耗成就大[N]. 太原日报,2011-06-24(4).
- [6] 王烽,汤达祯,刘洪林,等. 利用 CO₂-ECBM 技术在沁水盆地开采煤层气和埋藏 CO₂ 的潜力[J]. 天然气工业,2009,29(4):117-120.
- [5] 王岩. 淮南矿区瓦斯利用现状与前景[J]. 中国煤层气,2005,2(4):36-38.
- [6] 白红彬,杨俊辉. 煤层气发电设备的比较与选择[J]. 中国煤层气,2007,4(2):30-32.
- [7] “十二五”煤层气产能酝酿倍增. <http://news.chemnet.com/item/2011-02-10/1501448.html>.
- [8] 毛庆国,陈贵锋,谢华,等. 中国煤层气利用途径[J]. 洁净煤技术,2009,15(4):14-16.
- [9] 张文波,程宏斌. 煤层气发电与机型选择[J]. 洁净煤技术,2004,10(2):21-24.
- [10] 郭娟彦,蒋东翔,赵钢. 煤层气发电技术现状及我国煤层气发电存在的问题[J]. 中国煤层气,2004,1(2):39-43.
- [11] 赵斌. 燃气轮机与燃气内燃机在联供系统中的应用比较[J]. 化学工程与装备,2010(6):113-114.
- [12] 刘蜀卿. 内燃机和燃气轮机在发电领域的比较[J]. 内燃机,2005(10):24-25.
- [13] 徐建中. 分布式供电和冷热电联产的前景[J]. 节能与环保,2002(3):10-14.
- [14] 王勇. 煤矿瓦斯发电及热电冷联供技术研究[J]. 工矿自动化,2006(5):8-11.