

煤制天然气与燃煤发电的 煤炭能量利用能效研究

王秀林*, 单彤文, 侯建国, 付子航, 秦 锋, 宋鹏飞, 高 振
(中海石油气电集团有限责任公司技术研发中心, 北京 100028)

摘要: 本文综合考虑煤炭一次生产转化过程能效、二次运输能效和终端使用能效, 计算煤制天然气和燃煤发电两种利用途径中, 终端为照明、炊事、供暖、热电联产、工业驱动和交通时, 煤炭的全周期能量利用效率。通过对比可知: 居民供暖是煤制天然气的最优利用方式; 其次为煤制天然气作为居民炊事使用。而煤炭作为照明、热电联产、工业驱动和交通动力使用时, 从煤炭利用效率来看, 煤制天然气的利用方式低于煤直接发电的煤炭利用方式。

关键词: 煤燃烧; 天然气; 煤制天然气; 燃煤发电; 能量效率

中图分类号: TE-9

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)12-0006-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2015.12.003

Coal energy utilization efficiency of coal-to-synthetic natural gas and coal-fired power generation

WANG Xiu-lin*, SHAN Tong-wen, HOU Jian-guo, FU Zi-hang, QIN Feng,
SONG Peng-fei, GAO Zhen

(Cnooc Gas and Power Group Research & Development Center, Beijing 100028, China)

Abstract: The energy efficiency in first coal-to-synthetic natural gas conversion process, the secondary transport and terminal applications are analyzed. The total cycle coal energy utilization efficiency for coal-to-synthetic natural gas and coal-fired power generation is calculated when the terminal applications are lighting, cooking, heating, cogeneration, industrial driving, traffic and transportation. The optimal utilization of the synthetic natural gas is found to be residents' heating, which is followed by residents' cooking. When the terminal applications are lighting, cogeneration, industrial driving, traffic and transportation, from the view of energy utilization efficiency, the coal-fired power generation is better.

Key words: coal combustion; natural gas; synthetic natural gas; coal-fired power generation; energy efficiency

2013年, 全年能源消费总量为37.5亿t标准煤, 比2012年增长3.7%, 其中煤炭消费量增长3.7%, 原油消费量增长3.4%, 天然气消费量增长13.0%, 电力消费量增长7.5%。我国煤炭消费在一次能源消费中约占65.7%, 石油、天然气、核电, 约占24.5%, 水电、风电、太阳能等非化石能源所占比例只有9.8%。

2014年11月19日, 国务院印发的《能源发展战略行动计划》提出, 2020年我国一次能源消费总量控制在48亿t标煤左右, 煤炭消费占一次性能源消费的比重控制在62%以内(42亿t原煤); 非化石能源占一次能源消费比重达到15%, 约为7.2亿t标煤; 天然气比重达到10%以上, 即4.8亿t标煤以上; 石油比重为13%, 约为6.24亿t标煤。计算对比可知, 2020年煤炭消费比重虽降低4%, 但消费总量仍有21.21%的增幅, 而天然气和非化石能源的消费总量分别增加120.69%和95.92%。详见表1。

表1 2013年和2020年我国能源消费结构

	2013年		2020年		增长/ %
	消费比 重/%	消费量/ 亿t标煤	消费比 重/%	消费量/ 亿t标煤	
化石能源					
石油	18.40	6.900	13	6.24	-9.57
煤炭	66.00	24.750	62	30.00	21.21
天然气	5.80	2.175	10	4.80	120.69
非化石能源 (水、风、核等)	9.80	3.675	15	7.20	95.92
合计	100.00	37.500	100	48.24	28.00

目前, 煤炭主要利用途径包括: 燃煤发电、工业锅炉、民用煤炉和煤制天然气等现代煤化工领域。2013年, 我国6000kW及以上供电标准煤耗率为321g/(kW·h), 同期世界先进供电煤耗水平为285g/(kW·h), 世界平均水平为325g/(kW·h)。我国工业燃煤锅炉约有47万台, 每年消耗标准煤4亿t。其平均运行效率约为65%, 这一指标比国际

先进水平低 15%~20%,每年排放烟尘约 200 万 t,二氧化硫约 600 万 t^[1]。工业锅炉能源消耗和污染排放均位居全国工业行业第二,在全国重点城市的污染量排放已超过电站锅炉^[2]。

近几年,随着煤制天然气的快速发展,煤制天然气的能量利用效率逐渐成为能源行业关注的焦点。张丽平^[3]、李传锐^[4]、黄格省^[5]和余波^[6]对煤制天然气的发展现状及趋势进行了详细分析;陈贵峰^[7]、王雷石^[8]和杜亚明^[9]对煤制天然气的能效状况进行初步阐述,并从经济和环境角度进行分析;朱彬彬^[10]提出了煤炭全周期能效的理论,开展了煤炭输送距离和能量利用效用研究。但关于煤炭全周期能效的研究鲜见报告,本文通过综合考虑煤炭一次生产转化过程能效、二次运输能效和终端使用能效,对煤制天然气和燃煤发电两种煤炭利用途径进行全周期能量利用效率进行系统研究,以提高国内能源领域最重要的资源—煤炭的利用水平和能量利用效率。

1 能效分析路线方案设计

煤炭利用效率是现代煤炭利用的一个关键因素,其可分为一次转化能效和全周期能效,对于煤炭利用途径的能效比较,在终端服务(产品)类型固定情况下进行对比才更加科学,更有意义。因此,本文分别以供暖(热)、炊事(热)、照明(电)、热电联产、工业动力(机械能)和交通(机械能)为终端产品类型,进行了煤炭发电及煤制天然气的能耗分析。具体能源利用路线如图 1 所示。

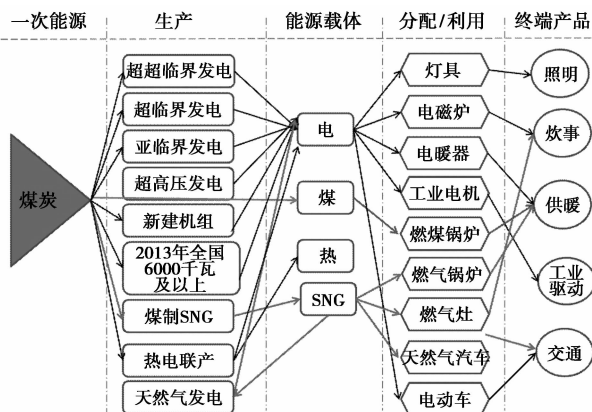


图 1 煤制天然气与煤发电对比分析路线图

2 能效比较基础数据

2.1 一次能源转化效率

2012年,我国发布《煤炭深加工示范项目规

划》,对煤制天然气项目能源利用效率提出了具体要求,要求煤制天然气项目基本能效 $\geq 56\%$,先进值 $\geq 60\%$ 。2013年,国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会批准 GB 21258—2013《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》,规定现役超超临界机组改造后能效大于 42.47%,超临界机组改造后能效大于 39.80%,亚临界组改造后能效大于 38.31%,超高压机组改造后能效大于 34.48%,新建机组能效大于 40.68%。根据 2014 年发布的《2013 年全国电力工业统计数据一览表》可知,2013 年,我国 6 000 kW 及以上发电机组能效为 38.29%。详见表 2。

表 2 煤炭一次能源转化效率对比表

内容	一次能源转化效率/%	备注
煤制 SNG 热效率	58.00	《煤炭深加工示范项目规划》中煤制 SNG 项目能效基本要求 $\geq 56\%$,先进值 $\geq 60\%$,本文取平均值 58%
超超临界	42.47	根据 GB 21258—2013《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》规定,并进行烟气脱硝、脱硫系数修正
超临界	39.80	根据 GB 21258—2013《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》规定,并进行烟气脱硝、脱硫系数修正
亚临界	38.31	根据 GB 21258—2013《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》规定,并进行烟气脱硝、脱硫系数修正
超高压	34.48	根据 GB 21258—2013《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》规定,并进行烟气脱硝、脱硫系数修正
新建机组	40.68	根据 GB 21258—2013《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》规定,并进行烟气脱硝、脱硫系数修正
2013 年我国 6000 kW 及以上发电机组	38.29	2013 年中国电力工业年度统计数据

2.2 运输过程能效

根据 2013 年中国电力工业年度统计数据,全国电力线路损失率为 6.67%,SNG 和煤的运输能效按 1 000 km 计算,根据韩红梅^[11]的研究结果,分别选择 99% 和 97% 为能效计算基准^[10]。

2.3 终端使用能效

煤制天然气和煤发电终端产品分别为照明(电)、炊事(热)、供暖(热)热电联产、工业动力(机械能)和交通(机械能)时,重点能量利用效率如表 3 所示。

表 3 终端使用能效对比表

参数	能效取值/%	备注及来源
燃气-蒸汽联合循环热电联产系统(NGCC)发电联合供热	≥55	参考 2011 年 6 月 30 日,国家发展和改革委员会第 10 号令:《关于发展热电联产的规定》
电磁炉热效率	88	根据 GB-21456—2008《家用电磁炉能效限定值及能效等级》规定:家用电磁灶能效规定级别分别为 90%、88% 和 86%,2012 年以后最低限定值为 86%。本文取上述数值的平均值 88%
燃气灶热效率	54	根据 GB-16410—2007《家用燃气灶具》标准规定:台式灶≥55%,嵌入式灶≥50%,饭锅≥55%,考虑民用燃气炉具以台式灶为主,本文选 54% 为计算值
燃煤锅炉供暖热效率	65	根据 GB/T-15317—2009《燃煤工业锅炉节能检测》规定,工业锅炉热效率指标应大于≥65%,结合赵军明研究结果:燃煤锅炉供热效率调研基本不达标 ^[12] ,本文选燃煤锅炉热效率最低值 65%
燃气锅炉供暖热效率	88.5	根据福建 DB 35/T994—2010《燃气工业锅炉节能检测办法》规定,不同规格的燃气工业锅炉热效率指标应达到 87%~90%。结合赵军明研究结果燃气锅炉供热效率调研全部达标 ^[12] ,选燃气锅炉热效率平均值为 88.5%
电机运行效率	90	根据 GB 18613—2012《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》规定,不同规格电机运行效率应达到 85%~95%,本文电机效率选为 90%
电动车能量效率	66	根据电动汽车充电过程损耗 17%、电机损耗 7%、交流损耗 3%、辅助件损耗 5%、传动系统损耗 1%,确定电动车能量效率为 66%
CNG/LNG 车能量效率	33	参考文献[11]
NGCC 发电供电效率	57	选取国内外先进联合循环机组“F”级燃气轮机的供电效率为 SNG 联合循环发电机组的供电效率
常规火电热电联产效率	≥45	参考 2011 年 6 月 30 日,国家发展和改革委员会第 10 号令《关于发展热电联产的规定》:常规火电热电联产效率≥45%

3 终端能效分析

采用一次运输能效、生产转化过程能效、二次运输能效和终端使用能效乘积,可计算出煤炭各种利用途径的累计能效,即全周期能效值。对于大型煤发电和煤制天然气项目,项目建设地一般在煤炭主产地,其全周期能效主要取决于一次生产环节能效、运输过程能效和终端使用能效。

3.1 供暖

煤炭终端为居民供暖使用时,采用不同煤炭利用方式的能效对比如表 4 所示,在煤的各种利用途径中,仅从煤的能量利用效率来看,煤炭直接燃烧的供暖效率为 63.05%,能效最高,但中小型燃煤锅炉一般不进行硫、硝等污染物回收处理,属于落后淘汰产业,将带来巨大的环境污染问题。当煤制成天然气后,在终端使用燃气锅炉供暖时能效为 63.05%,明显高于煤直接发电后采用电取暖的利用途径。所以当煤炭作为供暖使用时,应采用煤炭-煤制 SNG-SNG 供暖的煤炭利用途径。详见表 4。

表 4 煤炭终端为取暖时能效对比表

编号	路线描述	终端能效/%
1	煤炭-煤制 SNG-SNG 采暖	49.94
2	煤炭-超超临界发电-电取暖	39.65
3	煤炭-超临界发电-电取暖	37.16
4	煤炭-亚临界发电-电取暖	35.77
5	煤炭-超高压发电-电取暖	34.14
6	新建机组-电取暖	37.98
7	2013 年全国 6000 kW 及以上供电	35.75
8	燃煤-燃煤锅炉-暖气	63.05

3.2 炊事

煤炭终端为居民炊事时,煤炭全周期能效对比分析如表 5 所示。采用不同利用途径,仅从煤的能量利用效率来看,先将煤制成天然气,进行运输,在终端作为燃气使用的全周期能效相对煤直接超(超)临界发电,然后采用电磁炉使用,能量转化效率略低一些,但整体能效相差不大;煤炭采用煤制天然气利用途径的全周期能效与 2013 年全国 6 000 kW 及以上供电的全周期能效基本持平,考虑到居民使用的习惯性和舒适性,建议煤炭-煤制 SNG-燃气炉路线为以煤炭为原料进行居民炊事使用的首选路线。

表 5 煤炭终端为炊事时能效对比表

编号	路线描述	终端能效/%
1	煤炭-煤制 SNG-燃气炉	31.01
2	煤炭-超超临界发电-电磁炉	34.89
3	煤炭-超临界发电-电磁炉	32.70
4	煤炭-亚临界发电-电磁炉	31.48
5	煤炭-超高压发电-电磁炉	30.04
6	新建机组-电磁炉	33.42
7	2013 年全国 6000 kW 及以上供电	31.46

3.3 照明

煤炭终端为照明的全周期能效对比分析如表 6 所示,从对比数据可知,煤炭利用终端为照明的各种途径中,仅从煤的能量利用效率来看,煤炭-煤制 SNG-NGCC 发电的能量利用效率低于煤直接发电的利用效率。

表6 煤炭采用不同方式发电能量利用效率对比表

编号	路线描述	终端能效/%
1	煤炭-煤制 SNG-NGCC 发电	32.73
2	煤炭-超超临界发电	39.65
3	煤炭-超临界发电	37.16
4	煤炭-亚临界发电	35.77
5	煤炭-超高压发电	34.14
6	新建机组	37.98
7	2013 年全国 6000 kW 及以上供电	35.75

3.4 热电联产

采用热电联产方式利用煤炭时,其全周期能效如表7所示,由煤炭-煤制 SNG-SNG 联合供热与煤炭-普通煤电联合供热两种煤炭利用方式的能量利用效率对比结果可知,采用热电联产方式利用煤炭资源时,煤制 SNG 后,其终端能效低于煤炭直接热电联产的利用能效。

表7 煤炭采用热电联产时的能量利用效率

编号	路线描述	终端能效/%
1	煤炭-煤制 SNG-SNG 发电和供热	≥31.90
2	煤炭-普通煤电联合供热	≥45

3.5 工业驱动

煤炭终端为工业驱动时,采用不同利用途径的能量利用效率对比如表8所示,在煤的各种利用途径中,仅从煤的能量利用效率来看,先将煤制成天然气进行运输,在终端燃气发电后作为工业电力驱动使用的能效,低于煤直接发电后外输作为工业驱动使用的能效。

表8 煤炭终端为工业驱动时能效对比表

编号	路线描述	终端能效/%
1	煤炭-煤制 SNG-NGCC 发电-电机	29.46
2	煤炭-超超临界发电-电机	35.69
3	煤炭-超临界发电-电机	33.44
4	煤炭-亚临界发电-电机	32.19
5	煤炭-超高压发电-电机	30.73
6	新建机组-电机	34.18

3.6 交通

煤炭终端使用为交通运输时,采用不同利用途径的能量利用效率对比如表9所示,仅从煤的能量

表9 煤炭终端为交通动力时能效对比表

编号	路线描述	终端能效/%
1	煤炭-煤制 SNG-CNG 汽车	19.14
2	煤炭-超超临界发电-电动汽车	26.17
3	煤炭-超临界发电-电动汽车	24.53
4	煤炭-亚临界发电-电动汽车	23.61
5	煤炭-超高压发电-电动汽车	22.53
6	新建机组-电动汽车	25.07
7	2013 年全国 6000 kW 及以上供电-电动汽车	23.60

利用效率来看,先将煤制成天然气,进行运输,在终端作为 CNG(压缩天然气)汽车或者终端为燃气发电后作为电动汽车使用的能效,略低于煤直接发电后作为电动汽车动力源使用的能效。

4 结果与讨论

本文通过综合考虑煤炭一次生产转化过程能效、二次运输能效和终端使用能效,计算出煤炭各种利用方式的全周期能效值,并对煤发电、煤制天然气和现代煤化工的能效和污染物排放进行对比分析。

当煤炭终端使用为居民供暖时,煤炭-煤制 SNG-SNG 采暖的煤炭利用途径全周期能效为 49.94%,高于 2013 年全国 6 000 kW 及以上燃煤供电的全周期能效的 35.75%;当煤炭终端为居民炊事时,煤炭-煤制 SNG-燃气炉的煤炭利用路线全周期能效为 31.01%,与 2013 年全国 6 000 kW 及以上燃煤供电的全周期能效 31.46% 相当,综合考虑居民使用的习惯性、舒适性以及煤炭利益能效,当煤炭作为民用炊事和居民供暖使用时,可首选煤制天然气的利用路线;而煤炭作为照明、热电联产、工业驱动和交通动力使用时,从煤炭利用效率来看,不宜采用煤制天然气的利用路线,而应采用煤直接发电的利用路线。

本文对煤制天然气和燃煤发电对比分析仅从能量利用效率方面进行讨论,同时,煤制天然气对于我国天然气领域的能源安全和降低天然气总体价格也具有战略意义,并可在天然气调峰和储能方面发挥积极作用。

参考文献

- [1] 孙洋洋. 燃煤电厂多污染物排放清单及不确定性研究[D]. 杭州:浙江大学,工程热物理,2015,硕士:3-6.
- [2] 邹庆. 经济增长、国际贸易与我国碳排放关系研究[D]. 重庆:重庆大学,2014,博士:11-13.
- [3] 张丽平. C1 化工现状及研究进展[J]. 石油化工技术与经济, 2015,31(1):23-26.
- [4] 李传锐,刘永健,李春启,等. 我国煤制天然气发展现状、政策与应用分析[J]. 化学工业,2015,33(1):51-56.
- [5] 黄格省,李振宇,王建明. 我国现代煤化工产业发展现状及对石油化工产业的影响[J]. 化工进展,2015,34(2):295-302.
- [6] 余波,曹晨,顾为东. 中国能源消费结构与风电/煤制天然气耦合经济性分析[J]. 中国工程科学,2015,(3):101-106.
- [7] 陈贵锋,李振涛,罗腾. 现代煤化工技术经济及产业链研究[J]. 煤炭工程,2014,46(10):1-4.
- [8] 王雷石,段书武. 现代煤化工产业能耗状况与节能对策研究[J]. 洁净煤技术,2012,(4):1-3.
- [9] 杜亚明. 我国煤化工行业的能耗现状及节能战略分析[J]. 煤炭技术,2013,32(9):11-12.
- [10] 朱彬彬,王敏,韩红梅. 煤炭利用路线能源效率的全生命周期法评价[J]. 化学工业,2013,31(6):24-28.
- [11] 韩红梅. 现代煤化工产业焦点问题透析[J]. 高科技与产业化, 2014,9(220):50-61. ■