

3种新型煤层气集输系统增压驱动方案

赵洪滨 江 婷 杨 倩

(中国石油大学(北京)机械与储运工程学院 北京 102249)

摘 要: 根据沁水盆地煤层气开采情况设计出使用回热型燃气轮机循环、太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环、燃气-卡琳娜联合循环来驱动压缩机做功,用以给工煤层气开采增压的工艺方案。将燃气轮机余热利用技术应用到输气管道增压驱动中。基于总能系统理论和能量梯级利用原则,通过 ASPEN PLUS 软件对 3 种增压系统建模,并对各个系统进行热力性能分析及节能潜力分析。分析表明:3 种方案的发电效率分别为 60.42%、66.51% 和 65.73%,年节省成本分别为 239.83、272.54 和 268.58 万元,静态投资回收期分别为 4.19、4.29 和 4.80 a,CO₂ 减排量分别为 3 806.06、4 462 和 4 382.60 t/a,具有较好的节能潜力。

关 键 词: 燃气轮机驱动; 余热利用技术; Aspen Plus; 静态投资回收期

中图分类号: TK472 文献标识码: A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.05.015

引 言

我国煤层气资源丰富,居世界第三。每年在采煤的同时排放的煤层气在 130 亿 m³ 以上,合理抽放的气量应可达到 35 亿 m³ 左右,除去现已利用部分,每年仍有 30 亿 m³ 左右的剩余量,加上地面钻井开采的煤层气 50 亿 m³,可利用的总量达 80 亿 m³,约折合标煤 1 000 万 t。如用于发电,每年可发电近 300 亿 kW·h。我国一些盆地如沁水盆地的煤层气含量很丰富,但我国的煤层气开发起步较晚,地面技术工艺还处于起步阶段,煤层气的输送方式有管道输送、LNG 输送、CNG 输送、水合物输送以及吸附输送。文献[1]对目前煤层气的输送方式进行了详细的对比,通常情况下,对于煤层气产量较大且有销售管网依托的煤层气田,采用管道输送经济性较好。煤层气田具有低压、低渗、低产量的“三低”特点^[2],因此采用管道集输过程中,需要对其进行增压。

图 1 给出了煤层气地面集输系统工艺流程,在

其传统的增压过程中,压缩机常用的驱动方式有电动机驱动和燃气发动机驱动。

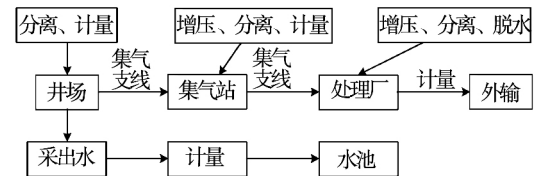


图 1 煤层气地面集输系统工艺流程示意图

Fig. 1 The process flow chart of CBM surface gathering and transportation system

电动机驱动方式需配置相应的输、配、变电系统,电动机的供电要求为一级负荷,因其能源取自电网,故受电网的制约较大,一般在环境要求高、外部电网供电可靠、电价较低及电源充足的地区才会选用;燃气发动机所用燃料气可直接取自附近的煤层气集输系统,可以直接驱动往复式压缩机。但是由于燃气发动机的排气温度很高(约 400℃),燃气发动机在发电过程中尾气余热利用不足,造成了极大的热量损失,故其热效率较低,一般不超过 40%^[3-4]。考虑到传统的增压方式应用的局限性及热效率较低,自身增压过程中需要消耗较多的燃料气,而燃气轮机驱动方式所用燃料气可直接取自附近的煤层气集输系统,对外界供电的需求量小,它是在沙漠无电、电网薄弱、电价较高和电源紧张地区的首选机型,故决定采用燃气轮机余热利用技术对其输气管道的增压方式进行改造。文献[5]对燃气轮机余热发电技术应用于输气管道的可行性进行了研究,初步证实了其可行性。文献[6-7]对一些联合循环及新型循环做了一定的研究。此外,对太阳能等新能源发电技术的研究也有很多,文献[8-11]对太阳能发电技术做了详细并且深入的介绍。

收稿日期: 2014-08-05; 修订日期: 2014-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51274224)

作者简介: 赵洪滨(1964-),男,山东寿光人,中国石油大学(北京)教授。

目前, 针对于煤层气集输系统的研究很多, 但是对集输系统中压缩机驱动方式的研究较少, 驱动是集输系统中非常重要的环节, 其效率的提高可以为整体集输系统带来非常大的经济收益。因此本研究就煤层气增压驱动方案进行了理论的研究。

1 系统介绍

针对沁水盆地煤层气集输过程增压方式进行改进, 设计出 3 种新型增压工艺方案, 并用 ASPEN PLUS 软件分别模拟传统与新型增压方案, 从热力学和经济学角度分析燃气轮机驱动压缩机增压应用于输气管道的可行性。

假定沁水盆地所有煤层气都汇集到集气站后进行集中增压, 增压方式为压缩机增压。在为压缩机提供功率一定时, 提高增压方式的效率可以减小消耗的燃料气量, 由于增压过程中所用燃料气可直接取自附近的煤层气集输系统, 煤层气所含主要成分为 CH_4 , 故减小燃料消耗可以很大程度上减小 CO_2 的排放。沁水盆地煤层气成分: CH_4 91.5%, C_2H_6 0.03%, CO_2 3.12%, N_2 5.35%, 表 1 给出了模拟参数设置。

表 1 模拟参数设置

Tab. 1 Simulation conditions and parameter settings

参 数	数 值
煤层气产量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	336 000
CBM 压缩机进口压力/MPa	0.05
CBM 压缩机出口压力/MPa	1.65
燃料入口温度/ $^{\circ}\text{C}$	20
燃料入口流量/ $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$	6
空气入口温度/ $^{\circ}\text{C}$	20
空气压缩机绝热效率/%	85
空气压缩机机械效率/%	95
空气压缩机压比	7
透平绝热效率/%	85
透平机械效率/%	95
井口套压/MPa	0.2
燃气轮机入口温度/ $^{\circ}\text{C}$	1 191
太阳表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	5 490
太阳平均辐射强度/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	875
环境温度($^{\circ}\text{C}$)/压力(MPa)	20/0.103
太阳能集热器热效率/%	75

传统增压工艺随着技术的发展, 出现了多种效率高且相对简单的燃气轮机循环, 比燃气发动机效率高出很多。

表 2 给出了 3 种替代传统增压方式工艺的特点。

表 2 3 种新型增压方式的工艺特点

Tab. 2 The features of the three new pressurization scheme process

方案类型	驱动方式	特点
传统	往复式燃气发动机	结构简单、效率低、维修费用高
方案 1	回热型燃气轮机系统	结构简单、效率较传统方式高
方案 2	太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环系统	结构较复杂、余热利用较充分、效率较高
方案 3	燃气-卡琳娜联合循环系统	结构复杂、余热利用充分、效率高

1.1 新型增压工艺方案 1

新型增压工艺系统方案 1 是考虑到传统的增压方式热效率较低和尾气余热利用不足等特点, 采用燃气轮机排气预热空气的方式即回热型燃气轮机循环系统。如图 2 所示, 燃烧室发生化学反应产生的反应产物经燃气轮机膨胀做功后, 燃气轮机出口物流 6 进入空气预热器, 给压缩后的空气物流 3 换热, 换热后的物流 4 进入燃烧室, 与煤层气发生燃烧反应, 换热后的物流 7 作为废气排出系统。燃烧后的混合气体物流 5 进入燃气透平做功, 直接带动煤层气压缩机给煤层气增压, 完成煤层气增压的任务。在此过程中, 从井场输送来的煤层气物流 1 一小部分直接进入燃烧室为系统提供燃料, 绝大部分物流 8 由燃气驱动压缩机压缩后, 物流 9 直接输送到处理厂作下一步处理。

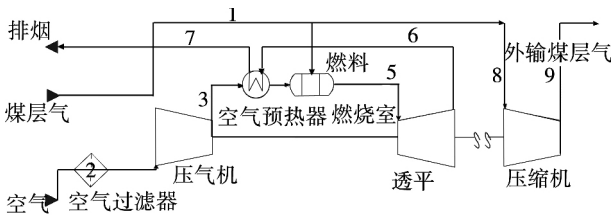


图 2 新型增压工艺方案 1

Fig. 2 The new type of pressurization driven scheme 1

$$\eta_2 = \frac{W_{GT2} + W_{ST2} - W_{C12} - W_{C22}}{m_f \cdot Q_f + Q_{in}} \quad (2)$$

$$\eta_3 = \frac{W_{GT3} + W_{ST3} - W_{C13} - W_{C23}}{m_f \cdot Q_f} \quad (3)$$

式中: W_{GT} —燃气透平功率; W_{C1} 、 W_{C2} —空气压缩机和泵耗功; m_f —燃气的质量流量, kg/s; Q_f —燃气的低位热值, kJ/kg; Q_{in} —输入太阳能集热场的热量, kJ/kg; η —系统的电效率; 下标 1、2、3 分别表示方案 1、方案 2 和方案 3。

2.2 焓分析数学模型

热力学第一定律只能从“量”的角度反映出能量的传递、损耗以及平衡情况, 而不能反映出能量品质的不同。热力学第二定律恰好弥补了其不足, 可以从“质”的角度分析系统各个环节的耗能情况。集输系统包含多种不同工作原理的热力设备, 因此工质在完成系统热力循环的过程中必然涉及到每个热力环节的具体工作过程。本研究建立了集输系统焓分析数学模型, 并对整个系统进行焓分析。

系统中涉及化学反应, 因此焓分析时需要计算化学焓在内的总焓值, 即燃料焓:

$$EX_{CBM} = [(H - H_0)_m - T_0(S - S_0)_m] + [\sum y_i^m E_{chi} + R_M T_0 \sum y_i^m \ln y_i^m] \quad (4)$$

式中: $(H - H_0)_m$ 、 $(S - S_0)_m$ —混合气体摩尔焓和摩尔熵的变化; y_i^m —各组元气体在混合气体中的摩尔分数; E_{chi} —各组元气体在 T_0 及工作压力下的化学焓。

燃烧室作为集成系统最核心的设备, 既是能量输入的源头设备, 又有化学反应进行。同时燃烧室的出口燃气具有较高的能量, 燃气初温、初压的大小直接关系到整个机组的作功, 同时又是产生余能供后续环节完成供能的关键。因此, 燃烧室的能量及其损失计算是系统用能状况与性能评价的关键。

$$EX_{h, in, air} + EX_{ch, in, air} + EX_{h, in, CBM} + EX_{ch, in, CBM} = \sum EX_{h, out} + EX_{loss} \quad (5)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\sum EX_{h, out}}{EX_{h, in, air} + EX_{ch, in, air} + EX_{h, in, CBM} + EX_{ch, in, CBM}} \quad (6)$$

式中: $EX_{h, in, air}$ 、 $EX_{ch, in, air}$ —进口空气的焓焓和化学焓, kW; $EX_{h, in, CBM}$ 、 $EX_{ch, in, CBM}$ —进口燃料的焓焓和化学焓, kW; $\sum EX_{h, out}$ —出口燃气的焓焓总和, kW;

EX_{loss} —设备的焓损失, kW; η_{ex} —燃烧室的焓效率。

根据热力学第二定律和实际方案流程作情况, 式(7)–式(9)分别给出了增压方案 1、方案 2 和方案 3 的电效率模型。

$$\eta_{ex1} = \frac{W_{GT1} + W_{ST1} - W_{C11} - W_{C21}}{(EX_{h, in, air} + EX_{ch, in, air} + EX_{h, in, CBM} + EX_{ch, in, CBM})_a} \quad (7)$$

$$\eta_{ex2} = \frac{W_{GT2} + W_{ST2} - W_{C12} - W_{C22}}{(EX_{h, in, air} + EX_{ch, in, air} + EX_{h, in, CBM} + EX_{ch, in, CBM})_b} \quad (8)$$

$$\eta_{ex3} = \frac{W_{GT3} + W_{ST3} - W_{C13} - W_{C23}}{(EX_{h, in, air} + EX_{ch, in, air} + EX_{h, in, CBM} + EX_{ch, in, CBM})_c} \quad (9)$$

为了真正反映出太阳能部分的热经济性, 定义太阳能热电转换效率, 表示太阳能集热器收集太阳能热量转化为电能的能力。同时用焓量来表示各股输入输出能量时, 则相应地太阳能焓电转化效率:

$$Q_{in} = Q_c / \eta_c = (m \times \Delta h) / \eta_c \quad (10)$$

$$A_c = Q_c / (I \times \eta_c) \quad (11)$$

式中: Q_{in} —输入太阳能集热场的热量, kJ/kg; Q_c —工质流经集热器获得的热量, kJ/kg; m —给水质量流量, kJ/kg; A_c —所需集热场面积, m^2 ; I —太阳直射辐射强度, W/m^2 。

2.2 经济性分析

静态投资回收期 SPB 是指工程项目净收益的累计值偿还投资总额所需的时间, 一般以年为评估单位。所比较方案在相同工作条件下, 采用不考虑资金的时间价值的静态投资回收期对新型的增压工艺进行技术经济性分析, 从而直观地反映项目总投资的返本期限。为寻求最佳替代方案, 本案例针对 3 个新型方案与传统增压方案进行分析比较。工程项目的投资总额 C_T 主要考虑系统设备的投资 C_S 及占地费用 C_L 。考虑到增压工艺是在原有的增压站基础上进行改建, 所占土地为厂区自有占地面积, C_L 可忽略不计。各方案收益 J_T 包括年节约燃料费用 J_F 、年 CO_2 减排收益 J_C 以及年节省维修费用 J_W 。

$$SPB = \frac{C_T}{J_F + J_C + J_W} \quad (12)$$

$$C_T = \sum C_{Si} \quad (13)$$

$$J_F = \Delta V_{CBM} \times c_{ft} \quad (14)$$

$$J_C = \Delta m_{CO_2} \times b_{ft} \quad (15)$$

式中: C_{Si} —各个设备的初始投资; ΔV_{CBM} —采用新型压缩方案后年节省燃料的体积, m^3 ; c_{ft} —煤层气单价, 元/ m^3 ; Δm_{CO_2} —采用新型压缩方案后年 CO_2 减排的量, t ; b_{ft} — CO_2 减排补贴, 元/ t 。

其中, CO_2 的减排收益主要为 CO_2 减排补贴。静态投资回收期要从两个方面进行考虑: 一是新型方案中各个设备的价格, 即设备投资; 二是设备运行较传统往复式燃气发动机所带来的收益。

3 结果与分析

3.1 热力性能分析

采用 Aspen Plus 软件对 3 种方案进行模拟, 并对模拟结果进行热力性能分析和焓分析, 表 3 给出了模拟过程中 3 个系统的各状态点参数。表 3 中给出的方案 1、方案 2 和方案 3 的状态点分别与图 2、图 3 和图 4 中给出的状态点对应。为了保证方案间的可对比性, 方案 1、方案 2 和方案 3 的状态点 1—9 的各参数是相同的, 方案 2 和方案 3 中不同的状态点也分别列于表中, 由于方案 3 状态点较多, 只取了几个对热力性能较重要的状态点列出。

表 4 给出了不同方案的模拟结果对比。首先, 由于输入燃料量和燃气轮机的基本参数相同, 所以 3 个系统中的燃气轮机净输出功率基本相同, 即 $W_{GT,1} \approx W_{GT,2} \approx W_{GT,3}$ 。但是由于方案 2、方案 3 系统又添加了烟气余热利用设备, 所以最终系统的净输出功率有较大差距; 其次, 3 种新型增压方案的排气温度分别为 598、353.15 和 343.15 K, 比传统系统的排气温度 687 K 低, 因此 3 种方案的余热利用程度大为提高, 系统做功效率及焓效率相对传统方案得到大幅度提高。方案 2 的系统效率与焓效率最高, 分别为 66.51% 和 64.24%, 方案 3 的系统效率与焓效率分别为 65.73% 和 63.49%, 而方案 1 的系统效率与焓效率为 3 种方案中最低的, 也分别达到 60.42% 和 58.54%。其中系统焓效率低于各自的做功效率是由于煤层气燃料的低热值低于系统的燃料焓。

为方便比较, 在计算方案 2 的做功效率时并没有算上太阳能输入, 而是在经济性对比中加入了太阳能投资。

此外, 从 3 种系统流程方案的复杂程度看, 方案 1 相对简单, 而方案 2、方案 3 更为复杂; 因此, 除根据效率评价系统性能好坏之外, 还应该对系统进行综合的技术经济分析。

表 3 方案 1、方案 2、方案 3 各状态点参数

Tab. 3 State point parameters of three schemes

方案	状态点	温度/K	压力/kPa	摩尔流量 /mol · s ⁻¹
1、2、3	1	293.15	50	6
	2	293.15	101.325	150
	3	580.42	800	150
	4	653.39	800	150
	5	1 464.66	800	150
	6	668	115.79	156
	7	598	101.325	156
	8	293.15	50	156.81
	9	648.7	1 650	156.81
2	10	353.15	101.325	156
	11	323.15	101.325	33.31
	12	323.17	700	33.31
	13	643	700	33.31
	14	406.1	64	33.31
3	10	343.15	115.79	156
	11	302.15	911.925	30
	12	302.6	3 647.7	30
	13	588.6	3 647.7	30
	14	374.2	303.975	30
	18	281.2	911.925	45.21
	22	361	911.925	16.43

表 4 不同方案的模拟结果对比

Tab. 4 The comparisons of the simulation results in different schemes

参 数	传统	方案 1	方案 2	方案 3
燃料流量/ $mol \cdot s^{-1}$	6	6	6	6
系统产出有用功/kW	1 768.97	2 672.03	2 932.32	2 898.18
烟气出口温度/K	687	598	353	343
燃气轮机净功/kW	/	2 672.03	2 672.03	2 672.03
蒸汽透平净功/kW	0	0	260.29	226.15
汽轮机功率/%	0	0	8.88	7.8
输入太阳能/kW	0	0	900	0
系统做功效率/%	40	60.42	66.51	65.73
系统焓效率/%	38.75	58.54	64.24	63.49

3.2 节能潜力分析

技术的先进性和经济的合理性在某个特定时间段并不都是一致的,正如集输系统增压工艺技术。虽然从目前技术发展水平来看,其前期投资成本远高于目前传统增压方式,但切不可由此质疑该技术的先进性。实际上随着各种高效循环的出现,高效循环发电有着许多无可争辩的技术经济发展优势,它无可估量的前景将会随着时间的推移、技术的发展逐步展露。各个设备的单位造价如表5所示。

表5 设备造价表

Tab. 5 The cost of the facilities

设 备	价格/万元
4 200 kW 燃气轮机	1 000
换热器	5
300 kW 蒸汽透平	80
氨气发生器	150
泵	5
聚焦式槽式集热器/ $\text{元} \cdot \text{m}^{-2}$	1 050
真空集热器/ $\text{元} \cdot \text{m}^{-2}$	700
平板集热器/ $\text{元} \cdot \text{m}^{-2}$	480

表6给出了天然气销售价格,由于煤层气成分主要是甲烷,目前针对煤层气还没有统一的销售价格,所以暂取天然气销售价格为2.67元/ m^3 来计算经济性。

表6 天然气销售价格

Tab. 6 The price of natural gas

用气分类	价格/元 $\cdot \text{m}^{-3}$
居民	2.28
工商业	3.23
发电(含供暖、制冷)	2.67
压缩天然气母站	供居民用气 2.23
	供非居民用气 2.62
车用气	5.12

3种新型增压工艺方案的经济性分析中收益主要包含3部分:节约的燃料气的年收益, CO_2 减排所得到的收益和减少的维修费用。其中 CO_2 的减排收益主要为 CO_2 减排补贴,目前价格是80元/t,减少维修费用是由于传统往复压缩机维修量大,维修费用高,按工程实际将减少的维修费用统一为50

万元/a。

表7给出了3种新型增压工艺方案的经济性分析结果。压缩机用回热型燃气轮机循环、太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环、燃气-卡琳娜联合循环驱动即方案1、方案2和方案3 3种方案的年收益分别为239.8、272.54和268.6万元,静态投资回收期分别为4.19、4.29和4.8a。从设备复杂程度上看,燃气-卡琳娜联合循环设备最为复杂,投资最多,为1 190万元;回热型燃气轮机循环最简单,前期投入成本最少,为1 005万元,而年节省成本也较多,因此静态投资回收期最短;太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环总投资为1 170万元,其中太阳能集热器投资70万元,静态投资回收期也较短。因此,从长远来看,由于整个煤层气的生产期一般为25a,就后期盈利来看,太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环盈利最多,回热型燃气轮机循环最少。不过,由于燃气-卡琳娜联合循环要用到大量的循环水及冷却水,沁水盆地地区水资源缺乏,因此在该地区不仅要考虑经济性,还要考虑技术可行性,在个别有水的地区可以考虑以燃气-卡琳娜联合循环即方案3驱动压缩机,水资源比较匮乏的地区可以考虑太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环或者回热型燃气轮机循环驱动压缩机,都比传统的燃气发动机驱动经济效益要好。

表7 不同方案的节能潜力分析

Tab. 7 Energy conservation potential analysis of the different schemes

参 数	传统	方案1	方案2	方案3
效率/%	40	60.42	66.51	65.73
所需燃料质量	13 338.1	8 803.3	8 021.7	8 116.4
流量/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$				
所需燃料体	4 810.2	3 174.8	2 892.9	2 927.1
积流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$				
节省燃料气量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	—	1 635.4	1 917.2	1 883.1
CO_2 减排/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$		3 806.1	4 462.0	4 382.6
减排收益/万元 $\cdot \text{a}^{-1}$		30.45	35.70	35.06
燃料收益/万元 $\cdot \text{a}^{-1}$		159.38	186.84	183.52
减少维修费用/万元 $\cdot \text{a}^{-1}$		50	50	50
年收益/万元 $\cdot \text{a}^{-1}$		239.8	272.54	268.6
总投资/万元		1 005	1 170	1 190
静态投资回收期/a		4.19	4.29	4.80

4 结 论

提出了 3 种新型的增压工艺,分别是用回热型燃气轮机循环、太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环和燃气-卡琳娜循环联合循环来驱动压缩机增压,即新型增压工艺方案 1、方案 2、方案 3,得出结论:

(1) 新型增压方案 1、方案 2 和方案 3 的排气温度分别为 598、353.15 和 343.15 K,对燃气轮机排气余热有较好的利用。3 种增压方案系统做功效率及烟效率分别为 60.42% 和 58.54%、66.51% 和 64.24%、65.73% 和 63.49%。

(2) 方案 1、方案 2 和方案 3 的年收益分别为 239.8、272.54 和 268.6 万元,静态投资回收期分别为 4.19、4.29 和 4.8 a。

(3) 方案 1、方案 2 和方案 3 的设备成本分别为 1 005、1 170 和 1 190 万元。方案 1 设备最为简单,方案 3 最为复杂。

因此 3 种新型增压方案都较传统增压方案效率高,尤其是太阳能辅助燃气-蒸汽联合循环,环境友好性非常强;3 种新型增压方案静态投资回收期都较短,5 年之内就可以回收成本,对于煤层气开发来说,具有良好的经济性;就长远来看,对增压驱动方式的改变具有重大实用价值。

参考文献:

- [1] 张炳俊,任魁杰,孟 良. 国内煤层气输送方式现状及简析[J]. 中国煤层气 2014, 11(2): 37-40.
ZHANG Bing-jun, REN Kui-jie, MENG Liang. Current situation and study on CBM transportation methods in China [J]. China Coalbed Methane 2014, 11(2): 37-40.
- [2] 袁宗明,邓道明. 低压气集输工程的技术特点[J]. 天然气工业 1997, 17(3): 59-63.
YUAN Zong-ming, DENG Dao-ming. Technical characteristics of low pressure gas gathering engineering [J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(3): 59-63.
- [3] 王红霞,刘 伟,王等海,等. 沁水盆地煤层气地面工艺技术[J]. 天然气工业 2008, 28(3): 109-110.
WANG Hong-xia, LIU Yi, WANG Deng-hai, et al. CBM ground technology in Qinshui basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(3): 109-110.
- [4] 葛 涛,许 茜,陈 平. 山西沁水盆地煤层气地面工艺技术研究[J]. 石油化工应用 2012, 31(9): 14-15.
GE Tao, XU Qian, CHEN Ping. Technology research of coal seam gas fields surface process in Shanxi Qinshui basin [J]. Petrochemical Industry Application 2012, 31(9): 14-15.
- [5] 张 鑫,吴 琼,李荣光,等. 燃气轮机余热发电技术应用于输气管道的可行性[J]. 油气储运 2013, 32(2): 196-198.
ZHANG Xin, WU Qiong, LI Rong-guang, et al. Application feasibility of gas-turbine waste heat power generation technology in gas pipeline [J]. Oil Gas Storage and Transportation, 2013, 32(2): 196-198.
- [6] 崔映红,卑振华. 抛物面槽式太阳能集热器热力性能研究[J]. 华北电力大学学报 2010, 37(3): 49-55.
CUI Ying-hong, BEI Zhen-hua. Research on the thermal performance of the solar parabolic trough collectors [J]. Journal of North China Electric Power University 2010, 37(3): 49-55.
- [7] 董有尔,蒙 宇,沈甜甜. 太阳能光伏发电系统应用研究[J]. 山西大学学报(自然科学版) 2013, 36(1): 40-48.
DONG You-er, MENG Yu, SHEN Tian-tian. Research and Applications of PV Systems [J]. Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.) 2013, 36(1): 40-48.
- [8] 高志超,隋 军,刘启斌,等. 抛物槽式太阳能蒸汽发生系统研究[J]. 工程热物理学报 2011, 32(5): 721-723.
GAO Zhi-chao, SUI Jun, LIU Qi-bin, et al. Study on Parabolic Trough Solar Collector Steam Generation System [J]. Journal of Engineering Thermophysics 2011, 32(5): 721-723.
- [9] Soteris A. Kalogirou. Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science 2004, 30(3): 231-295.
- [10] Yang yp, Qin Y, Zhai RR, Kouzani A, Hu E. An efficient way to use medium-or-low temperature solar heat for power generation-integration into conventional power plant [J]. Appl Therm Eng, 2011, 31: 157-162.
- [11] Lourdes Garcia-Rodriguez, Carlos Gomez-Camacho, Preliminary design and cost analysis of solar distillation system, Desalination 126(1999) 109-114.

(丛 敏 编辑)

shaft gas turbine , extended Kalman wave filtration , performance parameter , state estimation , diagnosis of thermal faults

3 种新型煤层气集输系统增压驱动方案 = **Three Supercharging and Driving Versions for Novel Type Coal Bed Centralized Transmission Systems** [刊 汉] ZHAO Hong-bin , JIANG Ting , YANG Qian (College of Mechanical Storage and Transportation Engineering , China University of Petroleum (Beijing) , Beijing , China , Post Code: 102249) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015 , 30(5) . - 708 - 714

Under the coal bed gas production conditions in Qin-shui basin , three coal bed gas supercharging process system versions for recuperative type gas turbine cycle , solar energy aided gas-steam combined cycle , gas-Kalina combined cycle driving system were designed and the gas turbine waste heat utilization technologies were applied in the supercharging and driving of gas in gas transmission pipelines. Based on the total energy system theory and energy staged utilization principles , a model for the three supercharging systems was established by using the software Aspen Plus and an analysis was also performed of the thermal performance and energy saving potential of various systems. The analytic results show that the power generation efficiencies of the three versions are 60.42% , 66.51% and 65.73% respectively , the costs saved each year are RMB 2.3983 million yuan , RMB 2.7254 million yuan and 2.6858 million yuan respectively , the static investment payback periods are 4.19 years , 4.29 years and 4.80 years respectively and the carbon dioxide emissions reduced are 3806.06 t/a , 4462 t/a and 4382.60 t/a , respectively thus enjoying a relatively good energy saving potential. **Key words:** driving by using gas turbines , waste heat utilization technology , Aspen Plus , static investment payback period

双旋流燃油燃烧火焰结构可视化试验研究 = **Experimental Study of the Visualization of the Flame Configuration During the Combustion of Fuel Oil in a Dual Swirling Flow** [刊 汉] YUAN Yong-wen , GE Bing , TIAN Yin-shen , ZANG Shu-sheng (Turbomachinery Research Institute , College of Mechanical and Power Engineering , Shanghai Jiaotong University , Shanghai , China , Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015 , 30(5) . - 715 - 719

The plane laser induced fluorescence (PLIF) technology was used to conduct an experimental study of the visualization of the flame during the combustion of fuel oil in a dual swirling flow at various gas/air equivalent ratios.