

研究与探讨

燃用褐煤气化燃料的燃气轮机电站

(欧州燃气轮机公司 阿尔斯通) M. Molère P. Carros E. Deramond
(捷克 SUV) Z. Bucko J. Mutinsky

摘要 对在捷克弗莱索瓦一个现有的褐煤气化厂内装设的两台 9E 型燃气轮机联合循环装置的情况作了介绍,特别是在能源利用最佳化、燃料适应性、环保和良好的社会影响等方面进行了描述。

关键词 一体化煤气联合循环 燃气轮机 联合循环 煤的气化

中图分类号 TM611.31: TQ548

1 前言

谈及在燃气轮机中燃用由煤衍生的燃料来发电的概念,要涉及能源市场上的两个主角:煤和燃气轮机。

煤,长期以来因其低效能和对环境的不良影响,传统印象一直不佳。然而,近几十年来大量技术领域积累的综合进展使其获益。现已有一批经验证可用的把煤转变为洁净而有效的能源技术:

- 煤燃烧: 循环流化床; 增压流化床燃烧;
- 烟气净化: 电除尘; 烟气脱硫; 选择催化或非催化降 NO_x;
- 煤转换: 中、低热值煤气; 合成天然气; 合成燃料;
- 蒸汽循环: 超临界锅炉;
- 综合系统: 一体化煤气联合循环

燃气轮机,在电站方面是个相对后来者,但因其短时期内在效率、功率和低排放方面所取得的重要进展,已使其移到前台。今天,烧天然气的联合循环已为洁净、高效电站在世界范围内竖立了新标准。然而,燃气轮机工业必须致力于增加其非标应用场合:

- 热电联供可在各种工业部门应用: 精炼厂,化工厂、造纸厂,焦化炉或高炉装置等,因为它们能利用过程燃料;
- 因燃料变更(液化石油气,液化天然气; 煤气化)和开发当地资源(如: 生物资源)的需要而导致新的发电方式。

为适应这些应用,发动机应具备四个特性: 使用燃料的灵活性,良好的一体化综合能力,结实耐用和结合工业制约的维修保养经验。只有工业燃气轮机,尤其是重型燃气轮机具有这些显明的特征。

把煤和燃气轮机技术结合起来的先进能源规划对未来的发电概念来讲有一系列可供选择的方案。除经典的可用性和可靠性要求外,还要求最佳的能源利用效率,适应多种燃料(煤气、天然气、合成天然气)的能力,运行灵活性(适度日起动)和达到良好的环保标准。事实上,在中欧和远东(中国)为了以一种更有效和对大自然敏感的方式开发丰富的煤和褐煤资源,已经采取了重要的行动。

本文描述在捷克共和国布拉格西面 150 公里的弗莱索瓦工业区(离著名的卡罗维法利渡假村很近)一座 400 MW 级燃用煤衍生的气体作燃料的电站情况。

2 项目主要特点

2.1 项目说明

自 1969 年以来,一家从事采煤、能源转换和分配的捷克 SUV 公司在弗莱索瓦运营其褐煤气化装置,产量为 125 吨/小时合成气,俗称“蒸汽瓦斯”,通过城市煤气主网络供应。然而,捷克当局在 80 年代提出的一项长期能源计划预示捷克共和国的城市煤气将逐步由从 CIC 进口的天然气所取代。预料到这一决定所带来的影响,SUV 于 1992 年决定,在他们传统的煤气厂中加一个电站。从社会观点看,这一决定使公司的煤矿能维持一个满意的雇员水平。

所选的技术方案要满足两个主要目标: 选择一个有效的电站方案使经济性最佳和倡导一项环保意识项目。结果是建立一座 400 MW 级电站,用两台 EGT 公司的 9E 型燃气轮机构成两套相同的 195 MW 联合循环,安装于煤气发生器附近。捷克“能源

规划”公司作为项目的主要设计者、咨询和监造者；

两台出力均为 123.4 MW (ISO, 天然气) 的燃气轮机用褐煤气 (也称“能量气”) 作主燃料, 天然气作为起动、补充和备用燃料。为降低 NO_x , 采用蒸气回注。

2.2 一个新的煤基能量组合

整个弗莱索瓦能量综合利用, 无论从煤气化或燃气轮机技术的观点, 代表了一种技术特点。其实, 世界上已有大量的致力于燃气轮机用煤气化的燃料燃烧的规划, 但仅有少数的几个达到工业实际应用。

在弗莱索瓦, 煤气厂用户和燃气轮机制造商所面临的新一轮挑战在于要支持使用褐煤气和相关的备用天然气, 而又不损害电站的运行可靠性。这当然要使燃气轮机燃料系统的设计和控制最佳化。该系统使用两种燃料气, 并必须满足下列要求

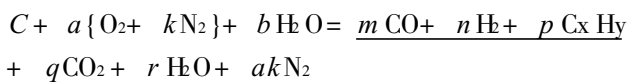
- 安全可靠地点火、加负荷和调整功率；
- 需要时恰当地切换燃料；
- NO_x 降至 45 ppmV (在 15% O_2)

3 褐煤气化厂

弗莱索瓦现在拥有的是一座现代的、有效的气化装置, 不象 50 年建的, 仅有简单的煤碳化的方式来生产城市煤气的煤气厂, 原厂现已废弃。

3.1 吹氧化原理

传统使用的“蒸汽瓦斯”(或“水瓦斯”)这个词是指在煤的转换过程中用水(蒸汽)而产生的气化产物, 在此过程中, 用氧或空气使碳部分氧化。这个最一般的转换可表述如下:



(对吹氧和吹空气气化, k 值分别为 0 和约 3.76)。所产生的合成气的系数 a, b, \dots, r , 以及 LHV 取决于煤的性质和特有的过程特性: 压力、床温分布、滞留时间、反应器型式(滑动床、流化床和悬浮床)。上述的简单总方程式没有考虑 H_2S , NH_3 , COS 的生成, 也没有考虑导致产生复杂的有机副产品(苯、酚和焦油)的氧化热解。吹氧化产生中热值合成气, 吹空气气化生成低热值合成气。

3.2 气化过程和设备

弗莱索瓦煤气厂的利益在于煤、氧、合成气和副产品加工的恰当组合, 实现了(图 1): a) 褐煤预处理, b) 合成气产生, c) 合成气净化, 包括去除微粒和焦油, d) 气态、液态的排污处理和固体废物处理, e) 有销路的副产品 (N_2 , H_2SO_4 ……) 的回收和精整。此外, CO_2 含量和褐煤气低热值可用气体净化装置 (RECTISOL 处理) 来调整, 使之灵活地提供有用产品, 即可供煤气网络(城市煤气)又可供燃气轮机(“能量气”)用。

3.2.1 增压气化

气化装置所耗之褐煤采自属 SUV 的 JIR1 露天煤矿, 褐煤的主要特性见表 1。

表 1 褐煤分析

A 原褐煤的组份分析 (% 按重量)			
可燃物质	47.6% (± 4.2%)		
水份	39.0% (± 2%)		
灰	14.4% (± 1.8%)		
B 干褐煤的元素分析 (% 按重量)			
碳	56.6% (± 2.5%)	硫	0.9% (± 0.3%)
氧	15.1% (± 1%)	氮	0.8% (± 0.2%)
氢	4.6% (± 0.15%)	灰份	22% (± 3%)

26 个相同的吹氧增压气化器在 2.7 MPa 下用 LUERGI 滑动床工艺运行(图 2)。

褐煤用湿式破碎至 10–50 mm 网目(细粒煤不适宜用于气化器), 经预干燥后供入 26 个气化器, 它们分别在两个室内成组, 平行运行。

额定条件下, 气化过程的总量平衡如下:

- 原生天然气产物: 240 000 Nm^3/h
- 褐煤耗量: 200 t/h
- 氧耗量: 40 000 Nm^3/h (95% 纯氧 568 t/h)
- 蒸汽耗量: 200 t/h (320~350°C 过热蒸汽)

从 1995 年记录的总平衡表上可见有很大的操作灵活性。所产的合成气按体积超过耗氧量五倍, 是一个在技术、经济上均令人感兴趣的性能。由于合成气已为 2.6 MPa, 因而无需额外增压即可供往煤气网络或电厂。

3.2.2 空气分离装置

95% 纯氧来自现场的深冷空分装置, 它同时产生 150 000 Nm^3/h 氮, 部分作为副产品销往市场。

3.2.3 褐煤气净化

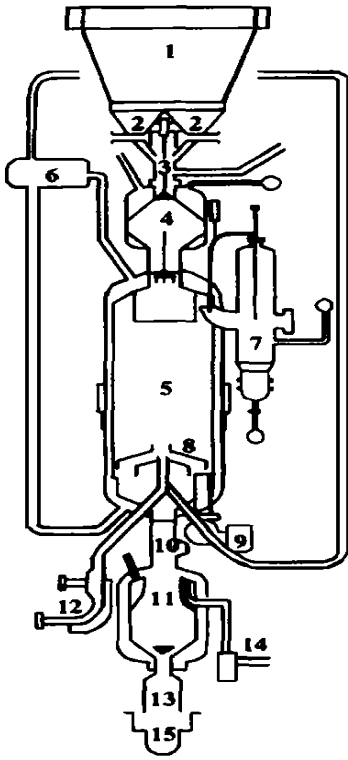
原生合成气组成:

——主要组分 H₂ CO CH₄(可燃气); CO₂和 H₂O(隋性组分);

—— N₂, C₂- C₄和 Ar, 小量(约 2%);

—— H₂S痕量; COS; 苯 (C₆H₆), BTX 苯 (C₆H₆, 甲苯, 二甲苯); 酚和焦油。

最后一组副产品是有毒的, 有腐蚀性的或不希望的物质, 必须除去。为此, 原生褐煤气先被冷却, 其时水被冷凝, 包括含水份的两相及湿焦油被分离, 从过程中除去, 并经进一步纯化, 处理后作为向市场销售的副产品。



全部合成气用 - 35°C 甲醇进一步过冷和冲洗, 按 RECTISOL 过程作排气干燥和净化。有两个平行的两次吸收 / 解吸塔列, 它们完成: 1) 彻底去除 H₂S 苯和无机固体粒子(在两个 RECTISOL 列的第一净化级中), 2) 去除 CO₂ (仅在供煤气网络的 RECTISOL 列的第二净化级中) 这些涤气塔也去除对燃气轮机构成潜在侵蚀危害的灰粒。

图 2 捷克斯洛伐克高压气化器

- 1.煤斗 2.煤计量筒 3.煤闸
- 4.锁定室 5.气化器
- 6.蒸汽收集器 7.预冷器
- 8.旋转装置 9.炉算驱动装置
- 10.顶灰闸 11.灰锁定室
- 12.混合设备 13.底灰闸
- 14.减压设备 15.灰通道

在侵蚀危害的灰粒。

3.2.4 能量气和城市煤气

当褐煤气送往电厂时无需去除 CO₂, 因为当不可燃的 CO₂ 在燃气涡轮中膨胀时产生正的机械功, 然而其含量必须符合设计燃气轮机喷嘴所允许的 WI 范围(见 4.3.1)。这就是为什么用于电厂和用于城市煤气网络的褐煤气经受不同的净化处理, 导致

不同的组分的原因。前者称为“能量气”, 后者称为“灯气”。

最终, 气化厂平均产量为 200 000 Nm³/h (约 125 t/h) 净化褐煤气, 供电厂或城市网络。净化褐煤气的低热值取决于 CO₂ 含量, 大致范围从 11.5 MJ/m³ (25% CO₂, “能量气”) 到 15 MJ/m³ (10% CO₂, “灯气”) (表 2)

表 2 能量气、城市煤气和天然气的典型成份 (%)

	能量气	城市煤气	天然气
CO ₂	24.5	9.4	0.1
CO	15	19.56	0
H ₂	46.8	54.1	0
N ₂	0.6	1.0	0.8
CH ₄	11.6	14.4	98.1
C ₂ H ₆	0.65	0.5	0.7
C ₂ H ₄	0.14	0.1	0
C ₃ H ₈	0.16	0.1	0.2
C ₃ H ₆	0.07	0.05	1
C ₄ H ₁₀ ⁺	0.004	0.002	0.1
Ar	0.35	0.71	0
O ₂	0.1	0.08	0
比重 kg/Nm ³	0.824	0.618	0.73
低热值 kJ/m ³	11 802	13 973	35 869
Wobbe系数 (= kJ° K ^{-1/2} Nm ⁻³)	871at	(1 190)	2 811

应指出, “灯气”在注入城市网络前已用掺天然气的方法使其低热值增至 17~ 18 MJ/Nm³。

3.2.5 降低污染

气化厂产生的污染主要是排放液态和气态的硫和氮, 可用化学过程作彻底处理:

—— 废水(合成气冷凝水+ 清洗水)蒸馏, 分离出 NH₃, 它以液态 NH₃ 和 NH₄OH 溶液贮存和销售。

—— RECTISOL 装置中由甲醇再生释放的残气中含有有害臭味的硫醇, 使残气通过燃烧器, 以除臭。

—— 因周期性地向气化器加煤和出灰而产生的合成气驱气中主要含有 H₂S 和 NH₃, 用燃烧分别氧化为 SO₂ 和 NO_x, 随后用 SCR 来降低 NO_x。SO₂ 催化氧化为 SO₃, SO₃ 水合形成可供市场的 H₂SO₄ (93%) (图 3)

4 燃气轮机

4.1 9171E 燃气轮机

自 1979 年以来 EGT 生产 9E 型 (MS9001E 型) 重型燃气轮机。目前,全世界在运行的该型机已超过 245 台。这是一型单轴发动机,17 级压气机,3 级涡轮,结实通用的含 14 个单管的燃烧系统。9E 型在适应燃料的灵活性方面性能优良,燃料范围包括:天然气、液化石油气,包括石脑油和液化天然气的轻、重馏分燃料、灰分燃料和煤派生的燃料。轴流压气机有足够的失速裕度,使 9E 发动机特别适于燃用煤气,甚至在冷的环境温度下也可应用。

与先前的 MS9161E 型相比,MS9171E 型在

ISO (天然气) 条件下的额定出力为 123.4 MW (+ 5.6%), 燃气初温为 1124°C (+ 20°C), 压比为 12.3 (+ 16.5%)。

9E 型标准燃烧室允许注蒸汽或水, 可把 NO_x 值降至约 42 ppm (天然气) 和 64 ppm (柴油), 在新的或改装的燃气轮机上也可用于干式低 NO_x 系统。9E 型的起动程序可在 8.5 分钟实现同步并网, 此后 12 分钟达全负荷。

9E 型适于下列应用场合:

- 简单循环 (用于调峰或备用);
- 联合循环 (基本负荷);
- 热电联供

燃料的灵活性, 应用的多用性和低排放性能是 9E 型已确立的质量。

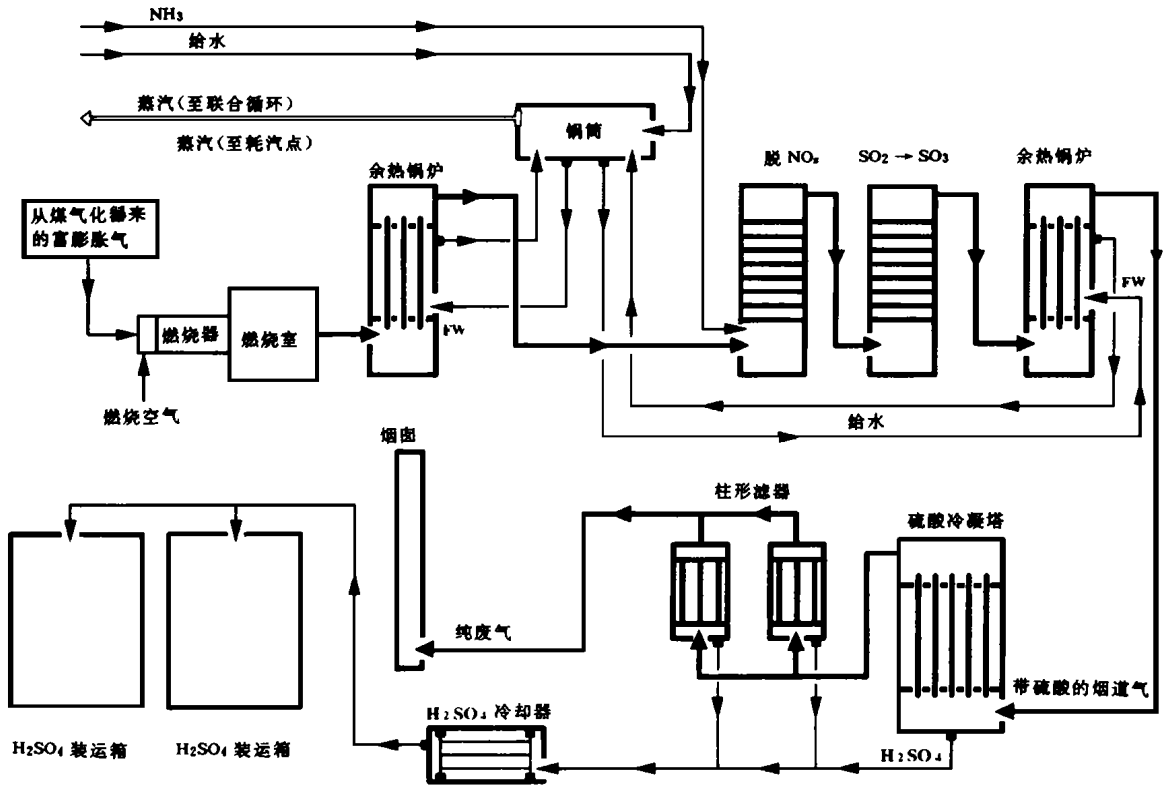


图 3 烟道气的脱硫和脱氮

4.2 燃烧

一般说来, 评估燃气轮机中任何气体燃料的燃烧能力或可燃性有两个主要准则:

—— 可燃性特性: 可燃性的上限与下限之比必须超过 2.2, 以使从安全燃烧到全负荷间保持火焰

稳定。

—— 低热值: 在标准多管燃烧室中, 为保证可靠燃烧, 根据排放和气体热力特性认为 10 MJ/Nm³ 是一个最小值。在弗莱索瓦, 能量气的可燃性上, 下限之比约为 6.8 (得益于含氧量 43%)

4.3 燃料灵活性

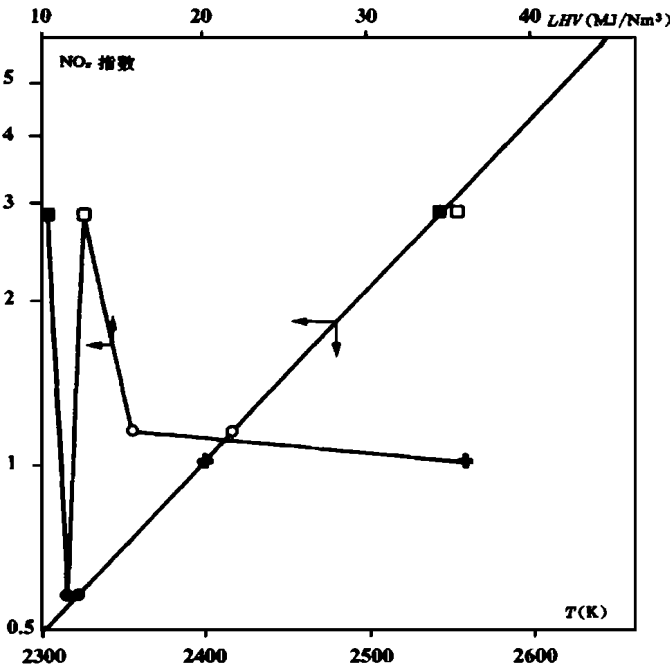


图 4 各种气体燃料的 NOx 排放指数与低热值 (LHV) 和理想配比燃料温度 (T) 的关联

+ 天然气 (NOx 指数 = 1) ● 弗莱索瓦蒸汽瓦斯 (25% CO₂)
○ 弗莱索瓦蒸汽瓦斯 (9% CO₂) □ 氢

4.3.1 Wobbet 系数

与燃料气有关连的另一个参数是 Wobbe 系数 (“WI”):

$$WI = LHV / (SG \cdot T)^{0.5}$$

式中, SG—燃料气比重 (相对于空气)

T—燃料气的绝对温度

该系数与可燃性观念无关, 与气体燃料系统的尺度有关, WI 的作用可如下定义: “如果具有相同 WI 值的两种不同燃料气的两股气流, 通过两个同样的气体喷嘴 (即通道孔相同), 当两个喷嘴的压降相等时它们将输送相当大卡的功 (kcal / s)

在多燃料运行中, 与 WI 的关联是要使燃料气在喷嘴端喷射 (喷入火焰中) 所获之功能值保持在一适当的范围内。该功能正比于喷嘴压比。在设计时, 对同一喷嘴组, 根据可接受的燃料喷嘴压比变化, 所允许的燃料气 WI 的变化必须不超过 ± 5%。

4.3.2 双燃料气设计

弗莱索瓦采用的燃料政策是既最大限度地利用褐煤气, 又用天然气作为备用和补充燃料。由于褐煤气和天然气的 WI 值不同, 已建立的燃料系统的设

计如下:

— 两根不同燃料气的总管 (也可被内连), 将燃料气分别供至 14 个喷嘴, 而每个喷嘴相应地有两种不同的型式, 每种孔径均按其特定的 WI 值计算得出, 以保证燃料喷注的适当面积

— 以适当运用两根总管的方式可以复盖所有运行情况 (指定的负荷; 所选的气体燃料: 能量气或天然气或两者的混合气) 和所有所需程序 (起动、变负荷、停机) 均有效。

4.4 燃料气的净化要求

要严格控制燃料气中的固体和液体物的出现, 以保护燃气轮机硬件, 尤其是热部件。即使如果合成气中并不含有任何燃料应用的硫, 含硫酸钠的燃料气仍可能诱发硫蚀。这一危险可用使钠含量低于限制值 (X_g)_m 来控制 (X_g)_m 用下式确定:

$(X_g)_m = (X_{cg})_m + \{ (X_{cg})_m - X_a \} AFR_w$
式中, (X_{cg})_m—燃料气体中的钠浓度的最大容许值, 18ppb (按重量)。

X_a—环境空气中的钠浓度 (ppb)

AFR_w—燃气轮机总的空气—燃料比 (按重量), 随 LHV 增加。

对天然气 (LHV = 34 MJ/Nm³, AFR_w = 54), (X_g)_m 达到 1ppm 是可接受的, 对弗莱索瓦的褐煤气, 钠浓度不允许超过 0.3ppm。注意, 为简化起见, 上述讨论中并未考虑注蒸汽或水, 或空气中所含的钠。

4.5 排放控制

4.5.1 SO_x 的排放量非常低 (仅几个 ppm), 这要归功于气体净化装置

4.5.2 NO_x

在燃烧中产生两类 NO_x: 1) “热力 NO_x”, 直接由 N₂ 和 O₂ 间的反应产生。2) “有机 NO_x”, 源自燃料结合氮 (“FBN”)。

煤气化器将褐煤的含氮物质 (胺, 杂环等) 的大部分转化成阿摩尼亚。不过这种形式的 FBN 再次在合成气净化装置中被清除。所以, 弗莱索瓦透平排放的仅为热力 NO_x。

与广泛流行的看法相反, 热力 NO_x 的排放并不直接与燃料的低热值有关。这一简化规则可成功地用于有类似化学构成的燃料 (如甲烷和丙烷), 实际

上热力 NO_x 的动能随绝热理想配比燃烧温度 (“ T_{st} ”) 的增加而呈指数关系增加, T_{st} 是在反应区或“火焰前峰”产生的最高温度。

图 4 对五种气体 (CO 、 H_2 、 CH_4 和两种由煤派生的燃料气) 以 LHV 和 T_{st} 对 NO_x 排放的关联方式作了清晰的图示。例如, 尽管纯氢的低热值要比甲烷低 70%, 但纯氢的 NO_x 排放要比甲烷高两倍。然而, 以 LHV 降低为特征的煤气系列, 其 T_{st} 和 NO_x 值也下降, 这是由于惯性摩擦增加, 在火焰中起着散热装置的作用。

4.5.3 注蒸汽降低 NO_x

喷注稀释剂来减少燃气轮机排放的 NO_x 是一项已得到验证的技术, 它起着冷却火焰的稀释或抑制剂的作用, 从而降低了 T_{st} 值。最有用的稀释剂是水和蒸汽, 但注氮 (在吹氧气化装置中可得到) 或甚至注 CO_2 也是可行的。

已证明 H_2O 是比 N_2 更有效的抑制剂, 而且在弗莱索瓦氮的外销价格看好, 故用注蒸汽来降低 NO_x 是有效的。 NO_x 的限制值是 45ppm (按容积), 还应注意弗莱索瓦褐煤气中所含的 CO_2 也有助于降低 NO_x 。

5 结论

弗莱索瓦的褐煤气化发电厂提供了一个洁净煤技术的有意思的实例。实际上, 它把一个有效的初级能源转换过程与燃料适应性强的燃气轮机结合在一起。这种设备的相容组合使用户能因其相关质量 (即能源利用的有效性、运行的多方面适应性和环境意识) 在世界上成为利益之源。

(闻雪友 译)

[后记] 收到 MR. MOLIERE 从 EGT (法国, BELFORT) 寄给我的一封信, 希望将上文能在“热能动力工程”杂志上发表。他认为煤气化问题的研究和在中国已非常活跃, 相信会有不少读者感兴趣。当然, 还希望我能将此文译成中文。同时寄来了授权书。

信中还认为这也是中法科技工作者间合作的一种形式。

朋友之托, 欣然接受。何况已不是第一次了。

(闻雪友)

英语论文摘要

实现水回收的注蒸汽燃气轮机试验装置

(哈尔滨七〇三研究所) 闻雪友 邹积国 付正 俞世康 李凌波

燃气轮机回注蒸汽循环 (STIG) 具有一系列的优点, 但耗损处理水是其缺点。本文介绍在一台 SIA-02 工业小燃气轮机上所进行的回注蒸汽并将水回收的试验装置设计和试验情况。

装置由燃气轮机、直流余热锅炉、水力测功器、蒸汽回注系统、冷却冷凝器和自动控制系统等组成。

实现“闭式”循环的关键之一, 在于能否有效地回收水。本装置因要考虑低温热源的应用, 因此决定采用表面式冷却冷凝器, 而且研制了一种新颖的紧

凑型螺旋板翅式冷却冷凝器作为回收装置, 不仅作了详尽的理论计算分析, 而且其后在 SIA-02 STIG 装置上实现了设计点 100% 的水回收。

论文最后对简单循环 STIG 循环和“闭式” STIG 循环的试验结果作了比较。

论文指出世界上第一套工业用回收水的注蒸汽燃气轮机于 1993 年 8 月刚开始运行, 而本项工作在 1995 年首次在国内实现 100% 回收水的 STIG 整机试验运行。(论文见 30 页)

面向对象的燃气轮机仿真建模 = **Target-oriented Gas Turbine Simulation and Model Establishment** [刊, 中] / Xie Zhiwu, Chen Delai, Weng Shilie (Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 243~ 246

To give full play to the pivotal role of simulation technology in the whole-life cycle of a gas turbine, it is essential to employ a target-oriented method in the course of turbine simulation and model establishment. Following a review and summing-up of the experiences and lessons in the process mode and process mode modularized gas turbine simulation practice, this paper expounds the necessity of using the target-oriented method in this area and comments on the recent progress in the study of target-oriented gas turbine model establishment with three promising development tendencies being pinpointed. Key words: gas turbine, simulation, model establishment, target-oriented method

燃用褐煤气化燃料的燃气轮机电站 = (Vresova Czech Republic) = **Brown Coal Gasified Fuel-fired Gas Turbine Power Station (Vresova Czech Republic)** [刊, 中] / M. Moliere, P. Carros, E. Deramond (European Gas Turbines S A, GEC Alsthom) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 247~ 253

A comprehensive description is given of the present condition of two model 9E gas turbines installed in an existing brown coal gasification plant in Vresova of Czech Republic with emphasis on such aspects as optimized utilization of energy sources, fuel adaptability, environmental protection and favorable social impact, etc. Key words: integrated coal gas-based combined cycle, gas turbine, combined cycle, gasification of coal

燃煤气的闭式 STIG 循环的热力学分析 = **Thermodynamic Analysis of Coal Gas-fired Closed STIG Cycle** [刊, 中] / Chen Anbin, Wang Yongqing, Shang Demin, Yan Jialu (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 254~ 256, 266

With coal gasification technology being used for a closed cycle steam injected gas turbine a thermodynamic analysis is performed of a coal gasification product-fired closed STIG cycle, which is compared with a coal gas-fired open STIG cycle. In addition, analyzed are also water recovery influencing factors. Key words: coal gasification, water recovery, STIG cycle

注蒸汽燃气轮机最佳注汽量的研究 = **A Study of Optimum Steam Injection Rate for a Steam Injected Gas Turbine** [刊, 中] / Hu Zongjun, Wu Minglan (Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 257~ 260

First, a thermodynamic analysis from the viewpoint of components heat balance is conducted of a steam injected gas turbine (STIG) with a corresponding thermodynamic process calculation model being set up. Within a wide range of pressure ratio $\pi = 8 \sim 48$ and turbine inlet temperature $TIT = 900 \sim 1300^\circ\text{C}$ a performance simulation has been carried out for the STIG. An in-depth and comprehensive study is conducted of the correlation of an optimum steam injection rate and gas turbine performance. Key words: gas turbine, steam injection, optimum steam injection rate, STIG technology

锅炉全炉膛火焰数字图象处理与监测系统开发与研究 = **Development and Study of a Boiler Furnace Flame Digital Image Processing and Monitoring System** [刊, 中] / Zou Yu, Lu Zhenzhong, Wang Shimin (South-eastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 261~ 263

In view of the inability to attain a design target in home-made thermal power plant boiler safety protection system with the current furnace safety safeguard system (FSSS) mainly based on the logic discrimination of contact signal magnitudes the authors have come up with a scheme featuring the introduction of an analog quantity into the FSSS. On this basis developed is a new generation of flame detection system based on digital image processing, which is capable of describing furnace flame combustion situation through an analog quantity mode. A detailed analysis has been given of the system scheme design, system configuration and industrial testing. Key words: boiler, furnace, protection, flame detection, image processing, digital treatment, compression