

等离子点火系统在燃气轮机上的应用

韩立忠¹, 曾 喜², 陈艳芬¹, 陈洪发¹

(1. 哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 中国人民解放军驻 436 厂军事代表室, 上海 200011)

摘 要: 介绍了等离子点火系统的组成、工作原理和应用效果。等离子点火器与电火花点火器相比, 具有放电能量大, 耐污垢的优点, 特别是点火的同时对燃烧具有强化作用。分析了不同机组对系统的配置要求以及使用中需注意的若干问题。

关 键 词: 燃气轮机; 燃烧室; 等离子

中图分类号: TK413. 9 文献标识码: B

1 引 言

近几年, 电站燃气轮机越来越多地转向燃用重油, 传统的电火花点火方法已无法满足机组的起动要求。因此, 烧重油的燃气轮机电厂都配备一套轻油供油系统, 用于机组在起动/ 停机过程中分别进行轻油/ 重油/ 轻油的切换。由于调峰机组起动频繁, 轻油耗量大, 导致成本增加。另外, 电火花点火器对污垢比较敏感, 影响机组的点火可靠性。等离子点火系统克服了上述弊端。由于压缩效应形成的高温点火核心——等离子电弧, 对燃烧具有强化作用, 可以迅速而可靠地点燃主燃料, 实现机组在各种油品条件下的成功起动。系统具有放电能量高, 耐垢性好, 促进燃烧过程的特点。

2 系统组成及工作原理

等离子点火系统主要由电源和火花塞组成, 两者以高压屏蔽电缆连接, 带有屏蔽弯头和连接接头。按照使用要求的不同, 系统有单通道和双通道两种结构形式, 前者配有一个火花塞, 后者有两个火花塞。单通道系统原理图如图 1 所示。

交流电经过升压和整流, 高压脉冲发生器产生的高电压脉冲施加到火花塞的电极上。

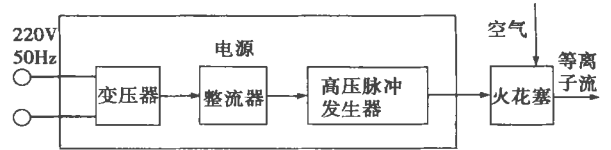


图 1 系统原理图

众所周知, 空气常态时呈电中性。当受到外界因素作用时, 就发生电离而导电。在等离子点火系统中, 电离主要以热电离和电场电离为主。电离产生的自由电弧受通道约束时, 由于机械压缩效应, 电弧能量密度加大。空气从电极间引入, 与电弧接触, 气体被加热到等离子体温度, 进一步提高弧柱能量密度, 具有热压缩效应。以上两种效应的结果形成高能的等离子流, 高速喷入燃料雾化锥中, 完成点火功能。工程上实际应用的等离子点火系统火花塞如图 2 所示。

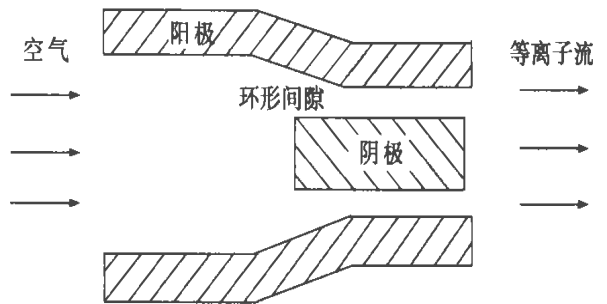


图 2 火花塞结构

阴极沿圆柱形阳极的轴线布置, 阴阳极之间形成环形的放电间隙。从燃气轮机压气机来的压缩空气进入火花塞空间, 流经环形间隙时流通截面急剧缩小, 受到机械压缩和热压缩的作用, 形成等离子流。

3 应用效果

该系统功率选择范围宽。依据机组启动时燃料性质和空气—燃料比(AFR)的不同,功率从几百瓦到几百千瓦。圆柱形电极的使用消除了普通电火花点火器依靠尖端放电易粘污垢的缺陷。由于等离子流与空气—燃料混合物的作用,在2000—3000K的温度下,空气过量系数为0.2~0.4,接触时间为 10^{-4} s数量级的范围内,产生了大量的氮原子,在与氧分子反应过程中生成的氧原子促进燃料的燃烧。此外,具有足够温度和紊流度的活化中心含有其它大量处于激发态的原子、原子团、带电粒子,如H、CO等高速喷入燃烧室。可以在活化能很低的条件下,与贫油空气—燃料混合物发生化学连锁反应,强化并稳定燃烧过程。

利用反应度 η 来评估其对燃烧过程的强化效果。 $\eta = (G_f - \Delta G_f) / G_f$,式中 G_f —通过反应器的燃料流量; ΔG_f —从反应器带出的未反应的燃料流量。研究表明,普通电火花点火器使燃料的反应度 η 处于0.22~0.35的水平,而等离子点火器则使 η 值提高到0.43~0.75的范围(见图3)。相比而言,该系统使燃烧室的点火范围显著变宽,启动工况冒烟大为减少。在燃用劣质燃料时,效果更加明显。

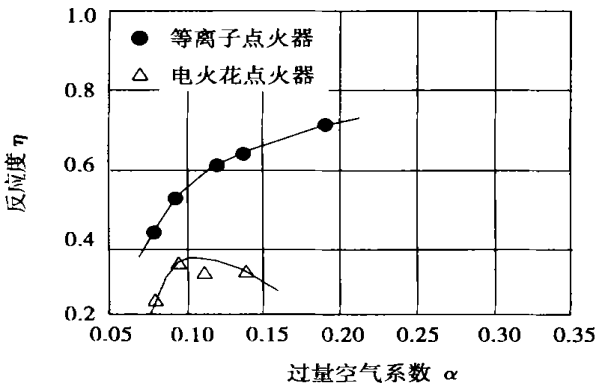


图3 反应度比较曲线

4 不同点火条件下的系统配置

燃料的点火过程作为燃料燃烧一般过程的特殊阶段,此时可燃混合物在一定的组成、温度、压力、运动速度和紊流度条件下,实现燃料的点火。根据燃气轮机的类型和燃料种类,等离子点火系统应保证在低耗电的情况下,有较高的工作效率和可靠性。

4.1 点火器功率

功率的选择主要考虑在点火过程的初始阶段形成高能火焰核心。理论上,当点火器附近燃料—空气混合物处于化学恰当比时,所需点火器功率最小。由于不同机组点火转速和燃料种类的不同,进而产生点火时空气压力、空气温度和燃料蒸发速率、着火温度的较大区别,而这些因素也都影响所需的点火能量。机组点火转速低,燃料雾化性能差,着火温度高,就应选用大功率的点火器。

4.2 点火方式

点火方式分直接点火和间接点火。直接点火设点火器自动退出装置。间接点火设置启动喷油嘴,并配有一套启动供油系统。必要时,启动喷油嘴还需引入雾化空气。

4.3 安装位置

火花塞安装在燃烧室内最有利于点火成功的位置上。直接点火的点火器安装在最大回流区附近,油雾锥的外缘。电源则布置在远离高温的环境中。

4.4 阴极端头形式

阴极端头形状的选择要考虑电弧的起燃、稳定以及电极的烧损问题。端头的形状有不同形式(见图4)。对于小电流的点火器可选择(a)(c)(d),对于大电流的点火器可选(b)(e)。

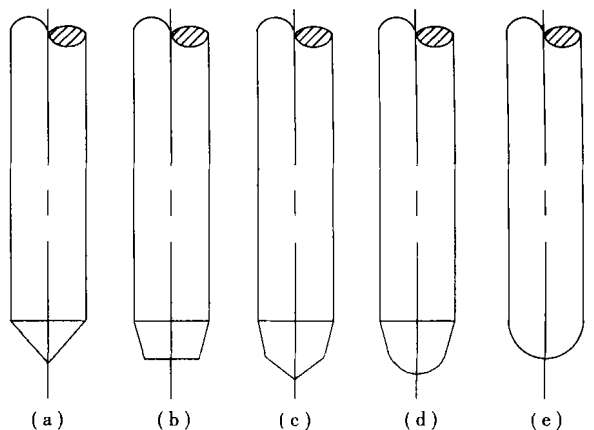


图4 阴极端头形状

5 结束语

等离子点火系统不需要使燃机机组结构进行复杂变化的情况下,可大幅度提高机组的点火成功率。(下转第420页)

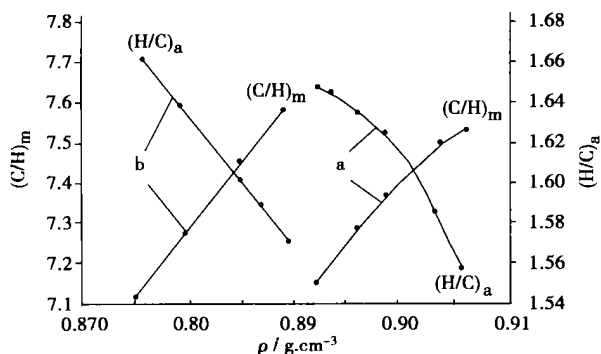


图 4 HS-A 柴油机燃料油(a)与柴油(b)中 $(H/C)_a$ 、 $(C/H)_m$ 随密度 ρ 的变化

检测 HS-A 柴油机燃料油、0 号柴油、重柴油的技术指标, 数据见表 6。

从表中可以清楚的看到 HS-A 柴油机燃料油技术指标在 0 号柴油和重柴油之间, 是可替代柴油的新型燃料油。

5 应用试验及长期可靠性测试

HS-A 柴油机燃料油在松花江中的小型轮船上进行试验, 其发动机为 S2100 型。试验过程中发动机运行良好, 测试数据与柴油接近。又在香港“伟高”轮捷克产 700 kW 发动机和江苏苏泰兴渔 2105 号等多条轮船上试用 HS-A 柴油机燃料油, 都取得了很好的效果。

为检验 HS-A 柴油机燃料油运行的长期可靠性和在远洋船舶应用的可能性, 交通部船舶运输节能技术服务中心和交通部上海船舶运输科学研究所 在 6 135 Ca 柴油机上进行了 360 h 连续可靠性试验。试验着重对以下方面进行测试:

(a) 6 135 Ca 柴油机性能测试。试验表明: 6 135 Ca 柴油机使用 HS-A 柴油机燃料油时, 对柴油机转速和功率没有影响。柴油机的稳定性与使用柴油基本相同。

(b) 6 135Ca 柴油机启动试验。在常温下, 柴油机能够依次顺利启动。

(c) 运行可靠性试验。柴油机连续运行 360 h 没有更换喷油嘴, 喷油压力没有降低, 燃油过滤器滤芯未见破损, 润滑油使用寿命可以保持在推荐时间内 (300 ~ 500 h), 柴油机运行中未发生异常情况。

(d) 柴油机燃烧室积炭检查。柴油机连续运行 360 h 后, 观察燃烧室喷油嘴、活塞顶、排气阀等积炭情况。气缸盖燃烧室内有少许正常积炭, 喷油嘴和活塞顶部的积炭与柴油机使用柴油的情况没有明显差别。

试验结果表明: 高、中、低速柴油机可以使用 HS-A 柴油机燃料油, 高压油泵柱塞不会出现咬死, 喷油嘴不会堵塞, 推进特性平均增加 1.89%, 负荷特性平均增加 4.85%, 运行安全可靠。

HS-A 柴油机燃料油技术合成工艺简单, 采用先进、全封闭的静态混合装置, 保证各组分均匀混合; 该燃料完全可以替代 0 号柴油在各种高、中、低速柴油机上应用, 也可在各种柴油燃烧器上使用。

参考文献:

- [1] 白崎高保, 藤堂尚之. 催化剂制造[M]. 北京: 石油工业出版社, 1981.
- [2] 尾崎·萃. 催化剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1982.
- [3] 何学良, 詹永厚, 李疏松. 内燃机燃料[M]. 北京: 中国石化出版社, 1999.

(辉 编辑)

(上接第 416 页)

针对原有烧劣质油的机组, 可以在原来的点火器位置用该系统替代。由于系统结构简单而紧凑, 改装工作量小, 适合于在国内燃机应用领域推广。使用时应注意: 检查高压电缆的完好性, 电源接地情况, 系统绝缘性能以及电极间的间隙; 检查系统工作能力。通电后, 电极间应产生脉冲放电电弧, 频率符合要求且稳定; 严禁操作人员在系统处于工作状态下, 打开电源箱箱盖或接触高压屏蔽电缆; 禁止该系统

与腐蚀性物质(化学药品, 酸和碱等)一起保管; 禁止引起锈蚀的气体及水等其它液体进入电源箱。

参考文献:

- [1] 沈阳机电学院焊接教研组. 等离子弧与焊接[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- [2] 罗恩 J R. 工业等离子体工程[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 孔杏凡. 等离子体及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982.

(辉 编辑)

process a local thermodynamic-balance fluid model was employed with SIMPLEX algorithm being used for a numerical scheme. A curvilinear coordinate system was put into use for a mesh model. A distribution diagram showing the variation of temperature and speed field and constituent elements was provided by the calculation results. **Key words:** plasma, numerical simulation, chemical reaction, local thermodynamics equilibrium

用资源的观点评价能源利用项目 = **Evaluation of Energy Resource Utilization Projects from the Viewpoint of Resources** [刊, 汉] / YE Han-dong, LI Yu-hong, YE Da-jun (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 407 ~ 410

During the evaluation of energy resource utilization projects a comprehensive evaluation method should be used with technical, economic, environmental and other related factors being taken into account. The authors have described a comprehensive evaluation method based on a total resource system. Under this method air, water and fuel, etc consumed (including those expended by pollution) in production are converted into material resources. Moreover, from the viewpoint of social-average marginal cost-cut calculated is the external cost to the society due to the utilization of resources. It is noted that during the calculation of resource values the external cost must be included and be listed into the final total cost. Furthermore, the principles of this comprehensive evaluation method are also expounded. A combined cycle cogeneration power plant involving a natural gas-fired gas turbine is compared with a coal-fired cogeneration power plant system. The results of this comparison demonstrate that the evaluation of power projects from the viewpoint of resource utilization is fully justified. **Key words:** total resources, comprehensive evaluation, energy-based power project, environment

火炬气在燃煤锅炉上的回收利用研究 = **An Investigation on the Recycling of Flare Gas for Use in a Coal-fired Boiler** [刊, 汉] / CHAI Qin-hu, DING Yan-jun (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), ZHANG De-hua, ZHANG Wen-wu (Thermal Power Plant of Yangtze Petrochemical Co. Ltd., Nanjing, China, Post Code: 210048) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 411 ~ 414

Through a specific retrofit example the problem of flare gas recycling for use in a coal-fired boiler is analyzed with the impact of mixed burning of coal and flare gas on the boiler operating characteristics being tested and probed. It is noted that, depending on the volume flow of flare gas and its specific properties, one must adjust accordingly the air distribution mode and optimum excess air factor, etc with a view to achieving satisfactory results in this recycling effort. **Key words:** coal-fired boiler, flare gas, recycling unit

等离子点火系统在燃气轮机上的应用 = **The Use of Plasma Ignition Systems in Gas Turbines** [刊, 汉] / HAN Li-zhong, CHEN Hong-fa, CHEN Yan-fen (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), ZENG Xi (Chinese Navy Military Representative Office at No. 436 Factory) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 415 ~ 416

The composition, working principles and usage effectiveness of a plasma ignition system are described. As compared with other electric-spark ignition units, the plasma ignition system features high electric-discharge energy, dirt resistance, and particularly a combustion intensification function during ignition. Some requirements regarding the system configuration for different engine units are analyzed, and several issues meriting close attention during operation also presented. **Key words:** gas turbine, combustor, plasma

HS-A 柴油机燃料油技术研究 = **Technical Study of HS-A Diesel Engine Fuel Oil** [刊, 汉] / WANG Zhi-cheng, CAO Zhi-de, ZHANG Hong-qi (Heilongjiang Provincial Energy Source Environment Research Academy, Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 417 ~ 420