

# 燃料电池-燃气轮机混合发电装置研发

王 骏

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘 要:** 燃料电池因其广阔的发展潜力受到了越多的关注, 高温燃料电池的发电模式具有很高的能量转换效率, 同时污染也相对较小, 排气的温度较高, 高温燃料电池的排气温度与燃气轮机涡轮的进口温度具有相容想, 由此其具备燃气轮机所构成的混合发电的天然优势, 燃气电池与燃气轮机所构成的混合装置混合发电装置, 在分布式发电领域具有广阔的应用前景, 为了有效降低研发项目的风险, 形成对其相关性能的研究, 通过对燃料电池以及燃气轮机的混合装置进行分析和研究, 明确了燃料电池-燃气轮机混合发电的原理以及其结构和控制的参数设计, 为类似燃料电池与燃气轮机的混合发电装置的研发提供了可供参考的经验。

**关键词:** 燃料电池; 燃气轮机; 混合; 发电装置

随着经济的发展和人们生活方式的转变, 在能源的利用过程中, 人们逐渐意识到能源利用方式存在的缺陷以及不足。一方面在于在燃料中所储存的化学能必须首先转换为热能然后才能转变为机械能或者电能, 受到卡诺循环以及现代材料的限制, 致使所获得的效率往往只有 33%~35%, 损失了大量的能量<sup>[1]</sup>; 而另一方面, 传统的能源利用方式给环境带来了很大程度的污染, 对于发电行业虽然使用了多种先进技术, 例如超高压、超临界以及超超临界机组的开发, 研发出了流化床燃烧以及气体联合循环发电技术, 然而所带来的是机组规模较大、超高压远距离输电以及成本投入的增加, 然而污染的问题一直无法根本解决。

## 1 燃料电池与燃气轮机混合发电优势

燃料电池不以燃烧的方式, 而是通过电化学反应的方式将燃料的化学能直接转换为电能, 转换的效率较高, 一般约为 45%, 若是在技术上加以完善或者实现热能的综合利用, 其效率将达到 80%, 其反应的产物为水, 由此能实现无污染的转换, 使用氢气作为燃料, 不仅能从煤炭、天然气以及石油当中提取, 还可从生物排放物、植物以及工业废料等物质中提取出来<sup>[2]</sup>, 由此, 其作为一种再生能源, 具有传统能源无法比拟的优势:

污染较小, 噪音较低。将燃料电池作为发电装置使用其突出的优势在于减少了污染的排放, 基本上可实现零污染。同时, 燃料电池无热机活塞引擎

等机械传动部位的设置, 致使相应的发电机无噪声; 模块化的结构形式, 具有较强的可搭建性, 容易建立功率匹配, 同时也便于分期建设以及设备维护; 其发电质量较高、适应能力较强, 当系统负载存在变动之时将能在短时间内响应, 并且效率受到的影响不大, 其初级的燃料来源广泛<sup>[3]</sup>, 但应通过专门的装置进行制取; 生产的周期较短, 并且不需要并网发电, 具有较强的机动性。

## 2 混合装置的发电原理

高温燃料指的是堆内工作温度以及排气温度都相对较高的燃料电池, 当工作的温度超过 600℃时, 能实现煤炭气、天然气以及石油、沼气的重复利用, 并且具有较高的转换效率。通过将微型燃气轮机引入高温燃料电池系统, 从而构成了混合装置, 典型的混合循环装置结构有顶层循环以及底层循环几种形式。顶层循环通过将燃料电池取代燃烧室, 通过高温排气进入涡轮膨胀作功, 而后通过燃气轮机实现电厂的平衡<sup>[4]</sup>。一般而言, 顶层循环要求燃料电池的内部流动和工作处于一定的压力状况之下。如图 1 所示。

底层循环则是通过燃料电池使用燃气轮机的排气作为阴极的空气源<sup>[5]</sup>, 而涡轮的进口空气则可通过燃料电池阳极的高温排气当中的剩余燃料的再次燃烧进行加热, 燃料电池用于实现电厂的平衡, 底层的循环当中, 燃料电池的内部流动和工作状况一般都处于常压状态之下。如图 2 所示。

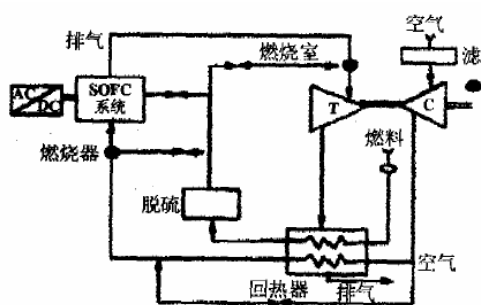


图1 顶层循环结构体系

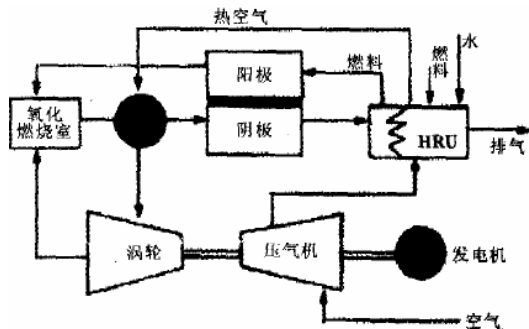


图2 底层循环结构体系

对于熔融碳酸盐燃料电池而言<sup>[6]</sup>，混合装置使用顶层和底层循环各有特征和优势，而对于固体氧化物燃料电池系统而言，由于在实际运行过程中的温度较高，由此应将电池堆封闭运行，一般在有压的工作状态下，在构成混合装置时应使用顶层循环模式。

### 3 燃气轮机的关键部件

#### 3.1 压气机

当前燃气轮机的发电机组的气压机多选择离心式的压气机，往往较少采用轴流式的压气机，压气机的压缩比一般为 3.0~4.0。与轴流式压气机做比较。离心式的压气机叶轮的单级压比较高，容易加工，生产的成本较低等优势，当前在燃气轮机中所用的离心式压气机叶轮所使用后弯式叶轮，在压比低于 4.0 的状况下，叶轮的材料可使用铸造合金或者锻造铝合金，而高于 4.0 的状况下，则应采用钢铁合金材料。

#### 3.2 燃烧室

燃气轮机发电装置多使用的燃烧室类型包括单管以及环形燃烧室。环形燃烧室又有折流环形燃烧室以及回漉环形燃烧室，为了降低二氧化碳的排放，环形燃烧室可使用催化燃烧技术，从而能在燃烧室的空燃比较低的情况下实现稳定燃烧，催化燃烧室有三个区域所构成：预热、预蒸发及催化燃烧区域。

#### 3.3 透平

一般燃气轮机上常使用的透平包括向心透平以及轴流透平。向心透平简单、成本较低、性能较好并且容易装配，对于叶之间的间隙不敏感，然而其惯性较大。虽然轴流涡轮膨胀比十分有限，然而也具有足够的做功能力，在实际的涡轮设计过程中，应注重涡轮的最高效率点所对应的系数在 0.2~0.3，载荷系统在 0.9~1.0 之间，然而由于在多数状况下，实际设计的涡轮系数不一定处于这个范围。同时在涡轮的设计当中，还应注意保证设计的涡轮速比约为 0.7，由此相应的叶轮才能达到较高的效率。

#### 3.4 发电机

燃气轮机的发电机组所使用的高速发电机包括永磁、磁阻、单极感应、伦德尔式发电机几种形式。随着永磁材料的持续改善致使高速永磁发电机的效率以及质量都比绕线磁极式发电机优越，该种发电机已经达到了在 260℃ 温度下保持正常运转。燃气轮机的发电机组使用高速发电机将面临着高速平衡的问题、狭小空间内的部件冷却问题、磁性保持及温度限制问题、精密零件的维护和修理问题等等<sup>[7]</sup>。

#### 3.5 回热器

通过使用高效率低成本的热交换器实现燃气轮机的工作效率，其效率能与复发电机组系统相媲美。通过对燃烧室所需要使用的空气进行预热，从而减少燃料的消耗。回流换热器使用不锈钢制成的外壳，保证其使用寿命，同时效率可达到 90%，燃气机的效率可从 18% 提升至 30%。低速同步电机与高速永磁发电机各有优缺点。低速发电机的转速低，对转子的动力性要求不高，同时不需要通过频率转换器，降低了整个发电机的成本，同时其冷却的问题也并不突出。然而低速发电机需配备减速箱，要带动减速箱需要克服一定的阻力，整个机组的起动相对困难，同时由于发电机的尺寸较大，重量也相对较大。高速发电机体积较小，同时由于其不需要使用减速箱，由此也不存在减速箱的阻力损失，同时能保证机组的转速较高的状况下点火，从而省略了额外的点火电路以及点火启动供油系统，在很大程度上简化了机组的起动。然而高速电机需要将所产生的高频交流电流转换为直流电流，以及在直流电流的转化过程中将产生转换器与逆变器的损失。高速发电机具有冷却问题，同时也具有较高的电机成本。

### 4 混合装置的主要控制参数

#### 4.1 转速

单轴燃气轮机的一个重要的被控制的参数则为转速，由于压气机、透平以及发电机都位于同一根轴上，由此这三个部件的转速保持一致，根据实际的试验结果可了解到，保持透平入口气的温度不变，使用转速调节的方式在部分工作状况下将具有更高的工作效率，由此在实际尊阿苏设计过程中，应设计合适的转速调节器控制转速，从而保证相关系统的稳定运行，同时也能取得较好的性能。一般而言，燃气轮机的输出功率与转速的平方成正比，转速调节器主要是随着负载的变化状况计算出最优的转速并将转速迅速调节到最优值。

#### 4.2 透平入口气温度

根据实践可了解到，透平入口气温度（TIT）对系统的运行效率具有较大的影响，通过控制透平入口气温度，将在很大程度上实现对系统性能的改善。最为直接的方式则是在燃料室当中加入燃料，然而燃料电池的发电率高于燃气轮机，通过将燃料电池发电其效率将超过燃气轮机。通过在联合循环发电系统中加入燃气轮机，从而实现了对于燃料电池当中阳极所排出的热量以及未反应的燃料的利用，从而避免或者尽量少往燃料室加入附加的燃料，由此则不能将 TIT 的值设置过高，此外，透平入口气温度的提升也在一定程度上受到透平材料的限制，若是温度过高则必须采用耐高温材料，然而也在一定程度上增加了制造的成本，通过综合考虑，透平入口气温度的理想值应设定为 1173K<sup>[8]</sup>。

#### 4.3 压缩比

燃气轮机的压缩比能在一定程度上提高燃料电池的性能，同时，当压缩比处于一定的范围内部时，压缩比的提升也能在一定程度上提高燃气轮机的性能，运行压力的提升能在一定程度上提高燃料电池的输出电压，同时由于联合循环系统当中的绝大部分是通过燃料电池所发出的，由此提升燃料电池的性能则在一定程度上提升整个循环系统的性能。但也不应设置过高的压缩比。这是由于压气机的能耗较大。燃气轮机透平所发出的功大约有 2/3 用于拖动压气机，由此其输出的功率只有透平发出功率的 1/3。此外，燃气轮机的发电效率仅仅在初期随着压缩比的提高而提高，超过一定的范围反而将下降。燃气轮机的压缩比选择应综合考虑燃气电

池以及燃气轮机的性能变化状况。一般压缩比可设置为 3.0~4.0 范围内。

### 5 结束语

燃料电池由于其高效率以及环保性能等优势，成为了新一代发电系统，逐渐受到了越来越多的重视，燃料电池-燃气轮机混合发电装置由于其广阔的适应性在发电系统当中应用广泛，同时由于高温燃料电池的排气温度较高，从而致使其与燃气轮机所构成的混合发电装置成为了必然的选择。燃料电池以及燃气轮机所构成的混合装置为有效降低污染以及排放提供了条件，同时也将一定程度上减少项目投资，提高燃料的利用效率，随着人们对能源应用质量要求的逐步提高，相应的发电系统将成为最具竞争力的能源系统之一<sup>[9]</sup>。

#### 参考文献：

- [1] 张会生,翁史烈,苏明. 燃料电池-燃气轮机混合发电装置研究现状[J]. 电源技术, 2006(02).
- [2] 熊家祚,曾庆山,孔金生. 熔融碳酸盐燃料电池建模及控制的综述[J]. 矿山机械, 2007(06).
- [3] 程健,许世森. 高温燃料电池发电系统研究[J]. 中国电力, 2007(03).
- [4] 王礼进,张会生,翁史烈. 内重整高温固体氧化物燃料电池建模与仿真[J]. 中国电机工程学报, 2007(35).
- [5] 包成,蔡宁生. 固体氧化物燃料电池—燃气轮机混合发电系统建模与控制的研究现状与进展[J]. 机械工程学报, 2008(02).
- [6] 吴小娟,朱新坚,曹广益,等. 基于神经网络的固体氧化物燃料电池电堆建模[J]. 系统仿真学报, 2008(04).
- [7] 王礼进,张会生,翁史烈. 间接内重整固体氧化物燃料电池的建模与仿真[J]. 热能动力工程, 2008(03).
- [8] 张会生,苏明,翁史烈. 微型燃气轮机在燃料电池-燃气轮机混合装置中的应用[J]. 上海汽轮机, 2003(01).
- [9] 张会生,刘永文,苏明,等. 高温燃料电池—燃气轮机混合发电系统性能分析[J]. 热能动力工程, 2002(02).

#### 作者简介：

王 骏 (1978-), 江苏丹阳人, 硕士研究生, 热能工程专业, 高级工程师, 主要研究火电及联合循环机组启动调试, 技术改造, 性能试验和运行优化工作等, E-mail: aries\_wj@126.com。