

The Principium and Research of the Plasma Fuel Generator or Fuel Cell Generator

Yifan Liang^{1,2}, Baihui Xu³, Qianlong Huang²

¹Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

²Naval University of Engineering, Wuhan Hubei

³Naval Shanghai Base, Shanghai

Email: LQC163CC@163.COM

Received: May 13th, 2018; accepted: May 28th, 2018; published: Jun. 5th, 2018

Abstract

This paper has put forward a new plasma fuel generator on the base of the physics. It can be expected that the new type of the fuel generator not only could inherit all excellences of the existing chemical fuel cells and conquer their all disadvantages, but also it would have its own particular predominance.

Keywords

Fuel Cell, Plasma, Generator

等离子燃料发电机与燃料电池发电机的技术比较和开发研究

梁一帆^{1,2}, 徐百汇³, 黄潜龙²

¹昆明理工大学, 云南 昆明

²海军工程大学, 湖北 武汉

³海军上海基地, 上海

Email: LQC163CC@163.COM

收稿日期: 2018年5月13日; 录用日期: 2018年5月28日; 发布日期: 2018年6月5日

摘要

本文分析了一种新型的以物理学为原理的等离子燃料发电机的工作原理, 这种燃料发电机不仅继承了现

有化学燃料电池的优点,克服了它们的缺点,而且还有自身的独特优势和特点。最后课题进行了等离子燃料发电机与燃料电池发电的比较和技术开发研究分析。

关键词

燃料电池, 等离子, 发电机

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化石能源(包括天然气、石油和煤等)就是一种黑色能源,构成了不合理的世界能源结构,因此引发了当今人类面临的三大难题——环境污染、气候变暖和石油枯竭。当今世界能源的紧迫需要是,创造一种基本不使用化石能源的机器,而且它能够将燃料所含的能量直接转换为电能,从而,从根本上解决这三大难题。

2. 燃料电池及其技术应用

从 1839 年英国科学家 William Grove 发明第一个燃料电池起,至今已有五种比较成熟的燃料电池出现[1] [2]。这五种燃料电池按其电解质不同而分,它们分别是碱性燃料电池(AFC)、磷酸燃料电池(PAFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)、固体氧化物燃料电池(SOFC)和质子交换膜燃料电池(PEMFC)。现在,人们看好的是固体氧化物燃料电池(SOFC),但主要是质子交换膜燃料电池(PEMFC)。燃料电池就是将燃料所含的能量直接转换为电能且不用化石能源。与其他化学电池一样,燃料电池也以化学为原理。

物理学为原理的燃料发电机显得十分必要。为此,本文提出了等离子燃料发电机。与电磁感应发电机一样,它以物理学为原理,其作用也是将燃料所含能量直接转换为电能,而且,可使用多种燃料(包括化石能源和可再生的生物质能,例如天然气、沼气等)。因为它结构简单,性能好,成本低,功率范围大,它定能成为电动汽车的优秀电源,从而普及电动汽车;它也可以做小至移动电话(手机)的电源,大至各种大、中、小型发电站(厂)的发电设备。因此,解决上述三大难题将指日可待。

燃料电池有多个很突出的优点: 1) 效率高,是内燃机的 2 倍左右。2) 污染小,不产生汽车尾气中的那些有害气体(HC, CO 和 NO_x 等)和热电站排放的 SO_2 ,尤其是氢燃料电池,生成的是水,人们称之为“零排放”; 3) 不排放 CO_2 ,减缓气候变暖; 4) 噪声小。

虽然燃料电池有上述远优于任何热力机械的优点,但是,这些燃料电池却存在如下的严重缺点: 1) 成本高,有的燃料电池的电极(或催化剂)含大量贵金属铂,电极和电解质的材料要求高,制造工艺复杂; 2) 燃料单一,主要的燃料是氢气,但氢的制取成本高,储存和运输困难等; 3) 功率密度小,体积大; 4) 功率调节性能差; 5) 寿命短; 6) 启动时间长。这些严重缺点在短期内是难以克服的[3] [4]。

燃料电池依靠化学原理,因此,氢、氧离子生成困难,且在它们生成后在电解质中穿透和结合缓慢。用昂贵的催化剂、最先进的电解质材料和复杂的制造工艺等办法的确解决了一些问题[2]。

3. 等离子燃料发电机及其技术应用

在大自然中,除了化学离子外,还有一种物理离子这就是等离子体中的离子[5]。等离子体是物质存在的第四态(固态,液态,气态和等离子态,“态”也可称为“相”),是一种亚稳态的物质形态。一种元

素的等离子体由其离子和电子组成,其密度充分地低,以致两者的相互作用(短程作用)可以被忽略,也就是说,元素的原子核与电子几乎是脱离状态。物质的物态变化(或相变)与其压强和温度有关,等离子体只有在压强极低或温度很高的条件下存在。在地球上,因这样的条件不是大气的常态(常温和常压),则等离子体只能在某种局部状态下存在。当等离子体的温度下降或压力上升时,等离子体就会失去稳定。当一种元素的等离子体失稳时,除了变成原子态气体的可能外,还有另一种可能,这就是,等离子体中的电子有可能被等离子体系统外的其它作用(电磁场作用)俘走;相反,等离子体中的离子也可能扑捉等离子体系统外的自由电子。

现实中的雷电产生臭氧或负氧离子就是这一现象的典型例子。雷电击穿空气产生电弧,电弧中的空气就是温度极高的等离子体,雷电结束后,等离子体的温度降低,等离子体失稳,其中的氧等离子体的一部分变为普通氧原子(O),然后变成氧分子(O₂)或臭氧(O₃);一部分要扑捉云层或大气中的电子(静电),变为负氧离子(O²⁻)。这就是不同的环境作用。

根据上述等离子体的存在条件,产生高流量的等离子体流的方法有高温法和真空法,或者是两者相结合的方法。本文以高温法为例进行讨论。最简单的高温法是在工程中广泛使用的等离子弧焊枪[6]。现将等离子焊弧焊枪的一种的基本原理示于图1。当压缩气体从气体入口6进入内腔3后,气流从喷孔5喷出;在启动脉冲电压的作用下,在A、B间流动的气体被电击穿,形成电弧,因等离子体是导体,在工作电压的作用下,A、B、C导通;接着,气流被A、B和C间的电弧强烈加热,焊枪就会从它的喷孔喷出高温、高速等离子火焰流4。由于喷孔的孔径很小(0.6~1.5 mm),火焰能量高度集中,火焰核心的温度最高达25,000~50,000 K。实践表明,两极之间的电流强度可在0.1~1000 A之间变化,因此,等离子枪的功率变化范围较大。设计新的大功率的等离子燃料发电机的结构。见图2。

等离子燃料发电机由两个等离子枪,中间加一个由绝缘材料制成的冷却槽8组成。槽内是运动的空气或纯水,起冷却作用。两等离子枪必须共轴心线。供给两等离子枪的电源是辅助电源10和11,它们是两个相互独立的电源。左边等离子枪通氢气6,称为氢气等离子枪,其中心电极1接它的辅助电源10的阴极,它的腔壁2接阳极;右边等离子枪通氧气7,称为氧气等离子枪,其中心电极15接它的辅助电源11的阳极,它的腔壁12接阴极。然后用导线将两个等离子枪的腔壁2和12连起来,形成如图2下部的主电路9,则左边等离子枪腔壁为主电路的阳极,右边等离子枪腔壁为其阴极。当左边氢气等离子枪的辅助电路接通,且氢气以一定的压力进入等离子枪的内腔后,其喷孔4和火焰套管5一定喷出高速的氢等离子体火焰流。注意,因为腔壁内不存在氧气,则这种火焰不是氢气燃烧的火焰,而是氢气被等离子枪的电弧加热的高温等离子体流。

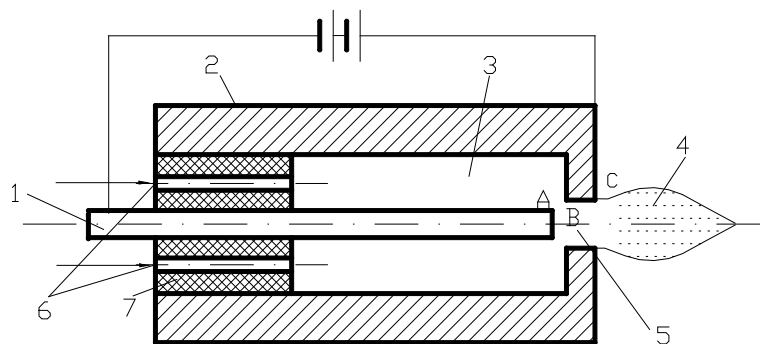


Figure 1. The principle figure of plasma welding torch. 1. Center electrode, 2. Wall of welding torch, 3. Inter antrum, 4. Blaze, 5. Spout, 6. Entrance of gas

图 1. 等离子焊枪原理图。1. 中心电极, 2. 焊枪壁, 3. 内腔, 4. 火焰, 5. 喷孔, 6. 气体入口, 7. 绝缘体

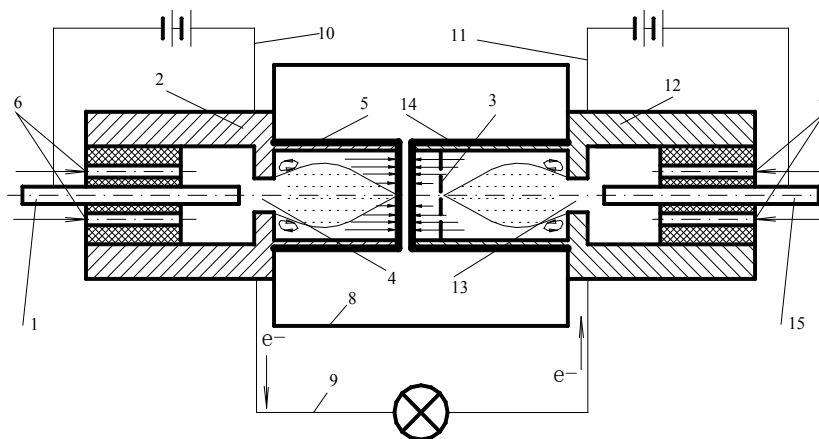


Figure 2. The principle figure of the plasma fuel generator. 1, 15—Center electrodes, 2, 12—Walls of plasma gun, 3—Metal net, 4, 13—Spouts, 5, 14—Flame sleeves, 6—Entrance of hydrogen, 7—Entrance of oxygen, 8—Cooling trough, 9—Great circuit, 10, 11—Assistant power supply

图 2. 等离子燃料发电机原理图。1, 15—中心电极, 2, 12—等离子枪壁, 3—金属网, 4, 13—喷孔, 5, 14—火焰套管, 6—氢气入口, 7—氧气入口, 8—冷却槽, 9—主电路, 10, 11—辅助电源

一个氧离子有获得 8 个电子的电势和获得 2 个电子的化学势。同样, 氢原子有可能失去它的唯一的电子而变成氢化学离子的化学势。根据电化学热力学[2]计算, 两个氢原子和一个氧原子的化学势的叠加引起 $E^0 = 1.19 \text{ V}$ (生成水蒸汽) 的初始电动势。氢和氧的直接燃烧是它们的温度到达氢的“自燃点”后, 由热运动引起氢原子的电子跳向氧原子, 引起了更强烈的热运动, 因而促成了这种化学势以热能方式释放, 同时, 化合成水。现有的化学燃料电池是氢和氧通过催化剂和电解质, 使氢在阳极失去电子, 氧在阴极得到电子, 在电路中产生电流, 促成了这种化学势以电能方式释放, 并化合成水。

当图 2 的两等离子枪喷出的等离子体流经喷孔和套管时, 在两“化学势”之差——电位差(1.19 V)的共同作用下, 氧原子核在阴极壁上捕捉自由电子的作用, 通过主电路 9 传导到阳极, 使阳极的自由电子经主电路向阴极运动, 在主电路中产生电流, 同时, 氢、氧等离子体因失去和得到电子而在流出各自套管时变成了各自的化学离子。这样, 氢、氧等离子体的这种非稳定状态下的环境作用促成了氢、氧原子的化学势以电能方式释放, 且氢、氧化学离子在流出各自套管后结合成水。比如, 如果有 10 个氧离子(假设是不带电子的裸核)流过氧等离子枪的喷孔和套管, 那么, 应有 80 个电子也伴随流过该喷孔和套管; 若要这些失稳的氧原子核全都变为氧化学离子(O^{2-}), 还缺少 20 个电子。如上所述, 一个氧原子核有获得 10 个电子的电势和化学势, 因此, 只要有 2 个氧原子核(占 10 个氧离子的 20%)撞击氧等离子枪的阴极喷孔壁和套管壁, 便可经此喷孔壁和套管壁和主电路, 从氢等离子枪的阳极获得氢等离子体失稳后因撞击而在那里失去的 20 个自由电子。此过程为阴极的氧离子对阳极的自由电子的“远程扑捉原理”。

对流的氢、氧离子流可能会在外层发生散射。当散射的氢化学离子碰上氧等离子枪的阴极套管时必然得到电子, 又重新变成氢原子, 而当散射的氧化学离子碰上氢等离子枪的阳极套管时必然失去电子, 又重新变成氧原子。为了避免这种漏电现象在冷却槽内发生, 必须在两金属套管 5 的外圆面及其端面涂敷绝缘层。失稳的氧等离子体流流出套管端面后, 在失稳的氢等离子体火焰的套管出口处形成一个负电场, 这个负电场必然影响到失稳的氢等离子体流, 促使失稳的氢等离子体流中的电子返回阳极, 并通过主电路向阴极供应足够的自由电子, 同时, 当氢等离子体失稳而流出套管时, 更多地变为氢化学离子(H^+), 进而在它的出口处形成正电场。这正电场也同样影响到失稳的氧等离子体流。这样, 流出两边套管的氢、氧化学离子显然有互相诱生的作用。

由于产生氢、氧化学离子的过程无须电解质和催化剂, 那么, 其发电过程不像“燃料电池”那样产

生“极化作用”，要消耗一部分电动势，因此，两枪的氢、氧喷孔和套管中的化学离子流共同构成了电阻很小的主电路的内电路，促使了主电路的外电路中电子的运动，所以，在主电路的回路中，其内电阻是很小的。

氢、氧原子也有上述的化学势，在图 2 中主电路接通的情况下，氢、氧原子也有可能按“远程捕捉原理”变成各自的化学离子，也同样可以在主电路中产生电流。但是，由于氧原子已经带有 8 个电子，它们必须在流动中 100%地撞击其喷孔壁和套管壁才能获得足够的电子数，从而变成 100%的氧化学离子。因此，这种“原子型”的燃料发电机的发电效率一定不会很高，即使为了增加“远程捕捉原理”的作用机会，将套管加长或在套管内设置很多层金属网，结果虽有所改善，但撞击机会仍不可能是 100% [7]。

4. 等离子燃料发电机与燃料电池发电的比较

化学离子的产生完全是物理学的原理，这种原理与用“催化剂 + 电解质”得到化学离子的化学原理是不同的。它首先将氢气和氧气变成等离子体，然后利用它们在不稳定状态下的环境作用变成各自的化学离子，无须催化剂和电解质。既然等离子体能够变成化学离子，那么，我们能否用产生高流量的等离子体流的办法来得到大量的氢、氧化学离子并使之快速结合成水，从而得到大功率的燃料发电机？

显然，在等离子体的稳定状态下是不可能发生上述过程的。我们一再强调等离子体的“不稳定”状态是因为，其作用过程只能发生在等离子体转换为气体的变化状态之中。但是，等离子体物理学的理论，如同其他物理学理论一样，受数学理论的约束，一直停留在线性(或拟线性)理论的阶段，对“非线性”的非稳态问题(不是线性的非稳定问题)研究甚少。这必然大大妨碍等离子体物理学的发展和应用。物理学家迟迟没有发现等离子燃料发电机的原因大概就在于此，即使是当今科学家十分专注的受控热核聚变反应是否成功，也可能与等离子体的另一种非线性的非稳态有关系。在线性理论中，因为解的唯一性，一旦问题陷入不稳定状态(也就是“无穷大”或“发散”)，人们就什么都知道了，即进入了死胡同。然而，在非线性的情况下，利用非线性的微分或积分方程(组)既可研究物质的稳定状态，也可研究非稳定状态，比如由等离子体转换为气体的过渡状态(相变)。众所周知，非线性的微分或积分方程(组)可以转化为非线性的代数方程组，而非线性代数方程(组)有许多解，比如一元二次代数方程有两个解(包括复数解)，而多元高次代数方程组的解更多，甚至有成千上万的解，也就是说，非线性的微分或积分方程(组)有许多解，这些解都是线性无关的独立解，而每个解的存在是有条件的，这些条件之间并无必然的逻辑联系。所以，非线性的微分或积分方程(组)不存在解的唯一性。在这许多解中，只要找到有关解的存在条件，那么，那个解就是存在的。上面的氧等离子体在非稳定状态下的多种转换可能——既有可能变成氧原子，又有可能变为带电的氧化学离子或发生其他变化，就是这种非线性的多解性的表现。大自然本来就是非线性的，而线性只不过是线性的近似或其特例。等离子体物理学的基本方程本来是非线性的，但由于数学的困难，物理学家对它进行了“线性化”，这就使整个《等离子体物理学》变成了线性科学[8]。

理论上，以上的等离子发电原理应该是正确的，但是，根据现有燃料电池和电动汽车的经验，有些看起来很严重的问题是必须解决：

1) 为了降低二辅助电路的功率消耗，从两枪喷孔射出的氢、氧火焰流的温度不一定要达到很高的火焰温度。实验表明，从两枪喷孔射出的氢、氧火焰流的核心温度，只要能够产生足够浓度的等离子体，使占氧火焰流中氧原子总数的 20%以上的氧等离子体的离子撞击喷孔壁和套管壁，而火焰核心外温度只须高于氢气的自燃点(400°C)即可。根据多种资料[1] [3]，按温升从 20 到 1000°C(平均温度)计算，二辅助电路所消耗的电能量之和仅占氢气所含能量的 3~4%，因此，二辅助电路消耗对系统效率(即整个发电机系统效率)的影响不大。

2) 关键是氢、氧等离子体变成氢、氧化学离子的生成率，也就是两等离子枪产生的等离子体有多少

变成了各自的化学离子？理论上，氢、氧等离子体完全失稳后几乎全都变为氢、氧化学离子。但实践可能不这么理想。为了提高化学离子生成率，必须增加远程捕捉原理的作用机会，除在套管内增加金属网外，还可适当增加套管长度。

3) 第二个关键问题是如何尽量增加 H^+ 和 O^{2-} 的结合率。解决的办法有多种，主要是利用不同的流体力学原理，可以在试验中决定。现有的燃料电池在两极之间都设有隔板(或以电解质作隔膜)，以避免未变成化学离子的燃气和氧气直接接触，因而避免发生强烈的燃烧或放热。但本发电机中两气体在接触前已几乎完全变成化学离子流，如上所述，不可能发生强烈热运动，因此，与燃料电池相反，两化学离子流直接接触的机会应该是越多越好，这样可提高 H^+ 和 O^{2-} 的结合率。事实上，增加结合率仅仅是为了减少 H^+ 和 O^{2-} 散发到大气中后形成的污染[9]。

4) 等离子燃料发电机的单体功率可以很大，比如是 5 KW。因为单体电池电压只有 1.2 V 左右，那么，主电路中的电流可能是 5000 A 以上，这就给主电路的导线提出了很高的要求。解决此问题的办法很多[10][11]。

5. 结论

综上所述，与燃料电池及其他发电装置比较，等离子燃料发电机具有强大优越性。单体功率可以很大且可调节，因为进入两等离子枪的燃气、空气流的流量可以很大且可调节；过载能力强；燃料价格便宜，分布很广，不存在储运困难；启动快。

等离子燃料发电机不仅继承了现有化学燃料电池的优点，克服了它们的缺点，而且还有自身的独特优势。等离子燃料发电机的上述强大优势将使人类关于电动汽车的梦想提前几十年实现。在大功率发电领域仅仅依靠电磁感应发电的格局将会改变。

基金项目

国防科技创新基金资助项目(17-163-13-ZT-008-033-01)

参考文献

- [1] 衣宝廉. 燃料电池——原理·技术·应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 泽门斯基, M. W., 迪特曼, R. H. [美]. 热学和热力学[M]. 刘皇风, 陈秉乾, 译. 北京: 科学出版社, 1987.
- [3] 向军, 杨叔华, 孙波, 梁前超. 涡轮增压柴油机修后试验及性能仿真[J]. 内燃机与配件, 2016(10): 92-94.
- [4] Kytatos, N.P., Theotokatos, G. and Xiros, N.I. (2002) Main Engine Control for Heavy Weather Conditions. *ISME 6th International Symposium on Marine Engineering*, Tokyo, 23-27 October 2002.
- [5] 朱润凯, 梁前超. 固体氧化物燃料电池与微型燃气轮机联合发电系统建模与仿真研究[J]. 舰船科学技术, 2017, 4(39): 95-99.
- [6] 张健. 固体氧化物燃料电池与燃气轮机联合循环特性分析[D]: [硕士学位论文]. 保定: 华北电力大学, 2007.
- [7] Xiros, N.I. and Kyrtatos, N.P. (2000) A Neural Predictor of Propeller Load Demand for Improved Control of Diesel Ship Propulsion. *15th IEEE/ISIC 2000 International Symposium on Intelligent Control Engineering*, Patras, Greece, 17-19 July 2000. <https://doi.org/10.1109/ISIC.2000.882944>
- [8] Kyrtatos, N.P., Theotokatos, G., Xiros, N.I., Marek, K. and Duge, R. (2007) Transient Operation of Large-Bore Two-Stroke Marine Diesel Engine Powerplants: Measurements & Simulations. *23rd CIMAC Congress*, Hamburg, 7-10 May 2007.
- [9] 马丽娜. 微型燃气轮机 C30 气体排放实验研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [10] 吴小娟. 固体氧化物燃料电池/微型燃气轮机混合发电系统的建模与控制[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [11] 胡傲生, 吴锦超, 万昕. 固体氧化物燃料电池阳极的微观建模[J]. 电源技术, 2016, 40(2): 302-323.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2328-0514，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aepe@hanspub.org