



物理学与发展中的航天能源技术

徐润君 陈心中

(中国人民解放军汽车管理学院物理室 安徽蚌埠 233011)

在人类开发太空、利用太空资源的航天活动中,航天能源是不可缺少的。无论是航天器的发射,在空间进行的姿态控制、轨道修正,还是航天器上各种电子设备的正常运行,都需要能源。由于航天器的特殊工作环境和工作性质,军事航天能源必须具有重量轻、无振动、寿命长、性能稳定等特点。物理学为航天能源的发展奠定了重要的理论基础。目前,人们正在不断地提高航天能源的利用效率,开发新的航天能源。

一、火箭发动机

火箭发动机是利用反作用推进原理产生推力的,是运载火箭的动力系统。可根据航天器在不同的运行过程需要的不同推力和工作环境,选取不同类型的火箭发动机。

火箭发动机按使用的能源不同,可分为化学火箭发动机、电火箭发动机、核火箭发动机、太阳加热式火箭发动机和光子火箭发动机等。

化学火箭发动机是将推进剂的化学能转换为排气动能的发动机,目前已被广泛应用于航天事业。按推进剂的物态化学火箭发动机又分为固体火箭发动机、液体火箭发动机及固液混合推进剂火箭发动机3种。

固体火箭发动机的优点是结构简单、成本低、使用方便、可长期贮存、工作可靠、能在短时间内产生很大推力、在真空中易于点火启动。但固体火箭发动机也有一定的缺点:例如有效排气速度相对较小,一般在2000~3000米/秒;工作时间短;在发动机点火后到推进剂完全燃烧前难以中途熄火,通常只能一次点火;燃烧情况、工作时间及推力大小难以控制。固体火箭发动机常在运载火箭中用作助推器。此外,由于航天器在运行过程中受到诸如稀薄大气阻力、太阳光压以及其他引力体的作用,实际轨道会发生偏差,或者由于某种需要,运行中的航天器要进

行轨道调整和转移,也常利用固体火箭助推器。

液体火箭发动机的优点是推进剂含能高,可获得较高的有效排气速度,尤其是液氢液氧高能推进剂发动机的最大排气速度可达5000米/秒;液体火箭发动机工作时间长,工作情况受外部环境的影响小,易于多次点火启动,推力大小与工作时间可以调节、控制。但是液体火箭发动机结构复杂,高空点火性能较差,推进剂的贮存和加注不方便,技术要求高,成本高。此外,航天器在微重力的太空中运行时,微小的干扰都会引起航天器姿态的变化。但由于航天器常常需要有一定的姿态,如太阳能电池板的方向应对着太阳,照相机镜头应对着被摄物体,因此需要多次调整航天器的姿态。液体火箭发动机可用作具有多次点火能力的姿控发动机。目前液体火箭发动机多用于运载火箭,我国的“长征”系列火箭也采用液体火箭发动机来为航天器加速,“长征3号”火箭中又开始利用高能低温氢氧发动机。

电火箭发动机是利用电能加速工作介质,使工作介质高速喷出产生推力的发动机,目前这种发动机产生的推力较小,在某些场合下已得以应用。

太阳加热火箭发动机是利用太阳能直接加热工作介质,进而使工作介质高速喷出产生推力,核火箭发动机则是利用核能加热工作介质,但这两种发动机目前还均处于试验阶段,尚未使用。光子火箭发动机是利用光子的定向流动来产生推力的,目前尚处于理论探索阶段。这些新型火箭发动机的发展还要依赖物理学的进展。

另外,在一些性能要求不高,但要求简单、可靠的场合,可利用冷气推进系统。冷气推进系统由可控挤压气源和喷管组成,常用的冷气有氮气、氦气、氟里昂和氢气等,这种推进系统的性能最低,但结构最简单,同时又是工作最可靠的推进系统。宇航员穿的宇航服就配有冷气推进系统,它用以提供宇航

员在航天器舱内和舱外进行机动时所需的推力。

二、太阳能电池

太阳能电池是利用光生伏特效应直接把太阳能转换成电能的器件,太阳能电池阵列是航天器上最常用的电源。

光生伏特效应是指某种材料吸收光能后产生电动势的效应。在气体、液体和固体中都可产生这种效应。但在固体中(尤其在半导体内)光能转换为电能的效率最高,因此太阳能电池常用半导体材料制成。在四价的硅和锗半导体中,人为地渗入某些五价元素(如砷、锑、磷等),渗入的这些杂质可以提供导电电子,改变半导体的导电性能,使之成为 n 型半导体。如果渗入硼、镉、镓等三价元素,它们所提供的不是电子而是能够容纳电子的空穴,即成为 p 型半导体。当一块半导体材料的一部分为 n 型,另一部分为 p 型,它们的交界层就称为 $p-n$ 结。当具有 $p-n$ 结的半导体受到光照时,光子激发出电子-空穴对,在结的两端就有电荷积累,从而在 $p-n$ 结产生光生伏特效应。若在 p 型层和 n 型层上焊上金属引线,接通负载,外电路便有电流通过。

虽然目前太阳能电池的效率较低、成本较高,但它具有许多独特的优点,如安全可靠、无噪声、无污染、无机械转动部件、使用维护方便、可以无人值守等。据统计,世界上 90% 以上的人造地球卫星和宇宙飞船都采用太阳能电池阵供电。但是太阳能电池阵的输出功率与其所处位置有关,因此常与蓄电池一起组成联合电源系统,以满足航天器的用电需要,使它们翱翔在浩瀚的太空中,完成各种特定任务。

目前使用的太阳能电池主要有硅太阳能电池、砷化镓太阳能电池和磷化铟太阳能电池等。相对而言,硅太阳能电池技术比较成熟,转化效率低的为 18% 左右。砷化镓太阳能电池和磷化铟太阳能电池的转化效率虽然稍高些,但成本较高。因此,如何降低太阳能电池的成本、提高效率,是摆在物理学家面前的重大课题。

三、化学电源

化学电源主要用于航天器短期供电或电功率非常小的空间任务,它在航天器的电源分系统中所占的比例较小。

氢氧燃料电池是航天器上使用的化学电池之一。所谓燃料电池是一种直接将贮存在燃料和氧化剂中的化学能等温、高效(50% ~ 70%)、环境友好地转化为电能的发电装置。它由燃料极、空气极和电

解极组成。空气极能够吸附空气,一般用多孔金属银作为空气极板材料。燃料极可以吸附氢气,极板材料为多孔性金属镍,并带有铂或钯等催化剂。最初的电解质极为包含氢氧化钾溶液的多孔性塑料等,现在正发展为直接使用固体的电解质。燃料电池工作时向燃料极供给燃料(氢),向空气极供给氧化剂(空气)。由于催化剂的作用,氢气转变为氢离子而释放出电子。电子则沿着燃料极与空气极间的外电路流向空气极,形成电流。在空气极,电子使氧成为氧离子,然后经过电解质的作用,氢、氧离子结合成水分子。所以,燃料电池的工作原理就是电解水的逆过程。因此,只要连续不断地向燃料极、空气极送进氢和空气,就可以在外电路获得连续不断的电流。燃料电池的燃料改变时,要换用不同的催化剂。氢燃料电池的能量转换效率最高,目前发展最快。

燃料电池具有效率高、无污染、无噪音、起动快、可组装、体积小、重量轻、成本低等特点,具有很好的军事应用价值。但是,如何利用低廉的成本制得更多的氢以及制成安全可靠、机动性好、更适合航天需要的燃料电池,还得依靠物理学家们的不断努力。

从目前的技术来看,对电能的储存主要是用蓄电池。蓄电池可在用电时将化学能转化为电能,在充电时将电能转化为化学能。当航天器处于日照区时,蓄电池即将多余的电能转化成化学能,而当航天器处于地球阴影区和需用大功率电能时,蓄电池又可将化学能转换成电能,以满足航天器对电能的不同需求。目前常用的蓄电池有镍镉电池、镍氢电池和硫化钠电池等。

四、热离子反应堆

最初,热离子堆在俄、美两国是作为宇宙空间站的电源而设计的,故又称为空间反应堆。它是利用热电子发电的方式直接从核热能获得电能,在太阳光较弱或稳定性要求较高的场合常被选用,主要用于行星际探测器和部分军用卫星。

为了使空间反应堆的堆芯具有最小尺寸,燃料芯块用 95% 的高浓缩铀制成。另外,为了保证从高温的核燃料中直接获取直流电,在燃料芯块的外侧布置了装备发射极和集电极的核热燃料单元体。核热燃料单元体的中心部位是带有孔洞的铀燃料芯块。把燃料芯块制成带有孔洞的形式是为了防止燃料发生熔融事故。紧靠燃料芯块的外侧,则是作为热电子发射体的金属钨。金属钨的外侧是一层金属

铈,在钨层与铈层之间有一段空隙,其中充注了气态铯,这是为了防止空间电荷效果引起发电率的降低。

为了对核燃料消耗引起的反应速度降低进行补偿以及对反应堆的启动、停堆和运行进行控制,在反应堆的外侧,沿圆周方向设置了10多个转动式控制棒。在转动式控制棒的局部,有一些扇形中子吸收体,其余部分是反射体。利用反射体的转动实现对核反应速度的控制。中子吸收体、反射体分别用碳化硼、氧化铍制成。

热离子堆的原理就是金属钨接收反应堆传出的热量后,发射出电子,被铈吸收,形成电流。之所以选择钨而不选择别的金属,主要因为钨在高温下强度仍较大,化学性质较稳定。而别的金属在高温下化学性质不稳定,会生成化合物,发电效应受影响。

五、太阳帆

400年前,著名天文学家开普勒曾设想不携带任何能源,仅仅依靠太阳光能就可使宇宙帆船驰骋太空。20世纪初,几位科学幻想小说家曾写过有关用反射镜面推动宇宙飞船的故事。1924年,俄国航天事业的先驱康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基和同事弗里德里希·灿德尔明确提出“用照到很薄的巨大反射镜上的阳光所产生的推力获得宇宙速度”。灿德尔首次提出了“太阳帆”的设想——一种包在硬质塑料上的超薄金属帆。装有太阳帆的航天器以阳光作动力,不需要火箭也不需要燃料,只要展开一个仅有100个原子厚的巨型超薄航帆,即可从取之不尽的阳光中获得持续的推力飞向宇宙空间。它飞行起来很像大洋中的帆船,改变帆的倾角即可调整前进方向。而且只要几何形状和倾角适当,这种航天器即可借助阳光的推力,飞向太阳系的边缘并进入星际空间,如果辅以从地球轨道射出的强力激光束,它可以飞得更远。

如今,“太阳帆”是指利用太阳光的光压进行宇宙航行的一种航天器。

从理论上讲,太阳光的本质是电磁波辐射,主要由可见光和少量的红外光、紫外光组成。光具有波粒二象性,光对被照射物体所施的压力称为光压。光压的存在说明电磁波具有动量。按照光子理论,每个光子的动量为 $h\nu/c$,其中 h 为普朗克常数, ν 为光波频率, c 为光速。如果每秒钟有 N 个光子垂直撞击在物体上,并被完全反射,则对物体的压力为 $2Nh\nu/c$ 。光子所产生的推力是极其微小的。如果太阳光不是垂直照射在帆面上,则太阳光的压力对太

阳帆产生的推力更小。因此仅仅利用这种推力不能使航天器从地面起飞。但是,如果先用火箭把太阳帆送入低轨道,然后再凭借太阳光压加速,由于在没有空气阻力存在的太空,太阳光子具有源源不断、方向固定等特点,太阳光子不停地撞击太阳帆,所产生的推力可以使航天器从低轨道升到高轨道,甚至加速到第二、第三宇宙速度,飞离地球、飞离太阳系。

2001年7月20日俄罗斯发射升空的“宇宙1号”太阳帆航天器的太阳帆面积为530.93平方米,由光压获得的推力仅为255克。当然,真正使用太阳帆航天器还有许多待解决的理论和技术问题。

航天技术的发展像广袤的宇宙一样永无止境。随着科学技术水平的不断提高,物理学家们的勤奋努力,将有更多的航天能源技术促使人类的脚步向更深更远的宇宙迈进。

时间数字奇观

黄初田

(宣威四中 云南 655409)

浩淼宇宙,灿烂星空,广袤天际,岁月悠悠。人们用数字显示着每一秒的时刻,而这些时刻渐渐地累积成岁月的书签,记载了亘古而神秘的宇宙。这些跳动的时刻无意间在我们身边飞逝,也闪现过多少美丽的数字组合。

在2002年02月22日20时20分02秒的这一刹,一组对称而优美的数字组合20020222202002卷入史册。它姍然地到来,却不经意地瞬逝。用概率的观点看,这个时刻在一天中的几率不足八万分之一,在一年中不足三千万分之一,在一个世纪中不足三十亿分之一,就如沧海一粟,所遇而不所求。自1千年以后,像这种只由两个数字组合的时刻记录曾有10011011011001、12211211211221、12211222211221,共3次,特别是在1111年11月11日11时11分11秒的组合1111111111111111由一个数构成,仅此而已,一往无矣!奇之又奇。在未来的岁月,只由两个数字组合的时刻记录仅存两次,就是21121211212112、21121222212112,那将要等到下一个世纪了!

数字组合不稀奇,奇就奇在它简单优美地组合,用来表示时刻,它特定地到来,却无声地消逝。在生命奋斗的历程里,很多东西不也是如此?