

前景广阔的核电池

陈 建

提起核电池,人们可能会把它与层层设防的核电站联系在一起,甚至还会联想到辐射、扩散等危险字眼。殊不知它正在悄悄改变着我们的生活。

一、核电池的基本原理与特点

原子核按其稳定性可分为稳定原子核和不稳定(或放射性)原子核两类。不稳定的原子核都会自发转变成另一种核而同时放出射线,这种变化叫放射性衰变。原子核在衰变过程中放出 α 射线、 β 射线和 γ 射线。 α 射线是 He^+ 粒子流,它是带正电的氦核。

β 射线是高速运动的电子流。衰变时出射的粒子(射线)会放出能量,如 ^{210}Po 发生衰变时可放出约5.4MeV能量,这一能量基本上为出射的 β 粒子所带走;氦(^3H)发生 β 衰变时放出18.6KeV能量,几乎都被出射的电子(β 射线)和反中微子所带走。核电池就是利用放射性同位素衰变放出载能粒子(如 α 粒子、 β 粒子和 γ 射线)的能量或由它们所引起的热效应、光效应或电离作用等来产生电能的一种装置,又称为同位素电池。

很重的原子核在分裂为两块或更多块的同时,也会放出很多能量,称为裂变能,原子弹、核电站都是利用裂变能的成功例子;很轻的两个原子核聚合成一个较重的原子核,放出的能量更大,称为聚变能,氢弹、太阳高温就是利用的聚变能。但核电池既不利用裂变能、又不利用高温高压下的聚变能,它是利用射线能量来发电的。

核电池衰变时放出的能量大小和速度不受外界环境中的温度、化学反应、压力、电磁场的影响,因此

核电池以抗干扰性强和工作准确、可靠而著称。另一个特点是衰变时间很长,这决定了核电池可长期使用。放射性同位素的半衰期大多都长达数十年到数百年,这就决定了核电池能够使用数十年之久。另外,同位素在自然衰变中放出的能量比一般物质发生化学反应释放的能量大得多,这就使核电池在体积上有独特优势。

近年来核电池的快速发展来自于多方面因素的推动,如进入外太空探测的航天器无法应用太阳能电池,人体内心脏起搏器的动力源需长时间供电,极地、深海等极端条件探测所用的动力源需要在很大温度范围和恶劣环境中工作……核电池的特点使其成为最佳选择,如航天技术中使用的核电池经历木星周围的高辐射带、月球上的极端温度、火星上的严重尘暴,历时数十年仍能正常工作。

为了保障核电池安全使用,避免发生核泄漏,必须对核电池密封保护。一般包括同位素放射源的包覆、能量转换层外的防辐射层和外壳。目前的密封保护材料主要包括金属合金、碳素材料及陶瓷材料等。但对核电池本身的辐射不必过于担心,因为密封的金属核电池足以完全密闭放射线。如厦门大学与美国威斯康辛大学曼迪逊分校、美国康奈尔大学、美国凯斯西储大学等研究人员研制的微型原子电池的就是嵌入人体的,它选择 ^{63}Ni 做为放射性同位素,衰变中释放出的 β 射线穿透性不高,一张纸就能把它隔离开,更不用说穿透金属了。作为心脏起搏器等仪器的电源,对人体不会产生不良影响。

要利用聚焦高强度(数十至数百 W cm^{-2})声波的空化作用产生的流速高达 100m s^{-1} 的射流以及机械效应使体内结石碎裂,从而自行排出体外。目前,超声粉碎肾结石、胆囊结石和膀胱结石已有较多应用,临床还可用超声波击碎血栓,减少血流障碍。这种方法可使病人免受手术之苦,故有很大发展前途。

超声白内障乳化

超声白内障乳化将超声手术刀(频率30KHz、振幅30~300 μm 、功率50~70W)从微小切口(2~3mm)伸入眼内,利用超声波对人体组织的碎裂和

空化效应,将白内障乳化、吸出,再植入人工晶体。这种手术具有操作简便灵活,时间短、切口小、出血少、愈合快的特点,大大减轻了病人的痛苦。此外,利用超声波还可进行吸脂减肥、除疤美容、清除皮肤死皮、污垢等。

超声波在医疗领域中的作用越来越受到重视,但其副作用也不容忽视,值得注意的是,超声强度或剂量必须严格选择和控制,否则会损害机体,因此超声安全剂量的深入探讨也日趋重要。

(陕西省西安通信学院数理教研室 710106)

核电池的缺点是发电效率偏低(约为10%)、价格昂贵;同时电池所使用的放射性同位素有放射性污染,必须妥善防护;而且一旦电池装成后,不管是否使用,随着放射性源的衰变,电性能都要衰减。

二、核电池的类型与放射性同位素的选择

放射性核素辐射的核能转变成电能,有几种不同类型。

直接充电型核电池 利用放射源发射的带电粒子产生电势差。放射源放出的电子,给绝缘导体充电后被收集器收集起来。电池的两个电极都选用金属,发射电子的一端(放射源)为正极,接收电子的一端为负极。这种核电池可产生高达150千伏的电压,但电流很小,最大短路电流只有 10^{-11} 安。

温差电偶型核电池 它利用放射源产生的热能实现能量转换。作为一种成熟的核电池,它所用的能量转换材料为热电材料,是核电池的重要部件,其功能是将放射性同位素衰变时产生的热能转变为电能。温差热电转换部分由一些性能优异的半导体材料组成,如碲化铋、碲化铅、锗硅合金和硒族化合物等,把这些材料串联起来,P型半导体元件和N型半导体元件就作为电池的两极。它与周围介质之间的温差通过半导体温差热电元件转变为电势差,源源不断地发电。

PN结型核电池 与光电池原理类似,用放射线照射PN结,产生电子-空穴对,在自建电场的作用下,空穴移向P区、电子移向N区,从而在P区和N区间产生电势差。

荧光体光电式核电池 利用射线诱发荧光物质发光后通过光电转换成电能。它不把放射性同位素衰变放出载能粒子直接照射到半导体上,而是通过荧光材料将衰变能转变为光能,再用太阳能电池将光能转变为电能。优点是荧光材料吸收了射线,可以减小核辐射对半导体材料的损伤。缺点在于太阳能电池的转换能力随光强度减小而减弱得非常快,因此随着衰变过程的进行和荧光材料转换能力的减弱,电池的输出在后期减小得比较快。

气体电离式核电池 利用射线对气体的电离作用产生离子,这些离子在电场作用下定向运动形成电流。电场则由具有不同逸出功的金属间的接触电势差产生。即能量转换靠逸出功有差异的材料实现,一般高逸出功的材料有铂、氧化铅、钨和金等,低

逸出功的材料有镁和铝等,放射性气体电介质通常为氙或 ^{85}Kr 。若用二氧化铅(高逸出功)和镁(低逸出功)作为电极,开路电压可达1.5伏左右。

放射性同位素是核电池中的心脏部分,作为核电池的能量来源,同位素放射源都必须满足以下条件:半衰期长(以保证电池的长寿命)、功率密度高、放射性危险小、容易加工、经济和易于屏蔽等。现有的放射性同位素超过2500多种,其中可用于核电池的核素有近10种,如 ^{90}Sr 、 ^{147}Pm 、 ^{238}Pu 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 等。空间应用中最合适的是衰变中放出粒子的放射性同位素,如 ^{238}Pu 和 ^{210}Po ,它们的外照射剂量低,所需屏蔽重量小,可大大节省发射费用。目前美国在空间飞行器上均使用 ^{238}Pu 。偏僻地区使用核电池,可选择 ^{90}Sr 作为放射源。 ^{90}Sr 经济易得,本身就是裂变堆的主要放射性废物之一,可从核电站的放射性废物中提取,仅全世界核电站每年核废料中的Sr就有5吨,用它发电其实是对核电站废料中放射性同位素的再利用。

三、核电池的应用

社会对高效能长寿命电池的迫切需求、放射性同位素的人工制造、粒子能量收集及转换机制的解决,促成核电池从构想发展到实用阶段。核电池具有结构紧凑、运行可靠、不受周围环境影响、能长期工作而无须看管等优点,可广泛用于众多领域,在生活和生产中发挥着日益显著的作用,人们不必“谈核色变”。

航天领域的应用 实施空间探索用航天器需要安装多种多样的科学仪器以及电子、照相、通讯等精密装置,对电源的要求非常高,除了功率必须满足要求外,还要求体积小、重量轻和寿命长,能适应宇航中的各种苛刻环境。尽管太阳能电池广泛用于人造地球卫星,但是当航天器运行到地球背面、在月球的漫长黑夜、向远离太阳的其他星球飞行过程中,太阳能电池就显得力不从心了,强烈宇宙射线的照射甚至可能使能量转换元件失效。而核电池则可满足各种航天器长期、安全、可靠的供电要求,被普遍看好并广泛应用,成为迄今为止航天器仪器、设备最理想的电源。美、俄等国已将核电池实际应用于航天器的能源供应,如2006年1月发射升空的新视野号(New Horizons,又译作新地平线号),是美国国家航空航天局的一项探测计划,其航程将途经木星,借用木星引力加速,然后直奔冥王星,预计在2015年7

月最接近冥王星。主要目的是考察冥王星、冥卫一等柯伊伯带天体。由于冥王星距离太阳太远,阳光由太阳到达冥王星需要 4 小时,在冥王星附近能够接收的太阳能只有地球的 1%,探测船无法利用太阳能产生足够的能量,因此核电池是唯一的选择(图 1 为新视野号探测器飞抵冥王星模拟图)。

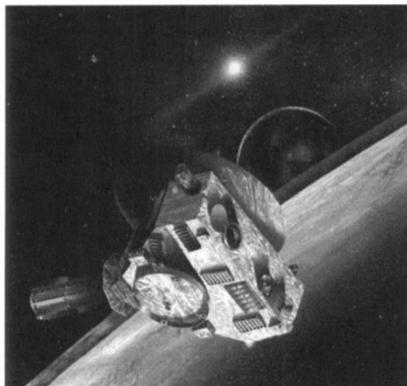


图 1

随着我国空间探测的进一步发展(包括“登月计划”的启动)以及未来深空探测的需求,为我国航天器提供稳定、持久的能源已提到议事日程上来,核电池成为航天技术进步的重要标志,掌握同位素电池制备的一系列关键技术并具备自主研制生产能力显得尤为重要。据报道,我国第一个 ^{238}Pu 同位素电池已于 2006 年在中国原子能科学研究院诞生,我国自行研制的两款月面巡视探测器(通称月球车,图 2 为我国月球车模型图),也将采用同位素衰变原理发明的核电池。

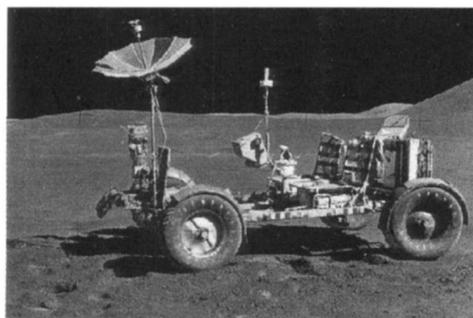


图 2

人类航天活动的日益拓展会对空间电源提出新的要求,核电池必将成为航天技术进步的重要工具。

医学领域的应用 在医学上,长寿命核电池已广泛用于心脏起搏器,全世界已有成千上万的心脏病患者被植入核电池驱动的心脏起搏器,使他们重获新生。根据身体的活动情况,一台心脏泵大约需要 10~15 瓦的电力,足以同一盏写字台荧光灯相比

拟。以前在无法解决能源问题时,人们只能把能源放在体外,但连结体外到体内的管线却成了重要的感染渠道。现在植入人体内的微型核电池体积仅 18 立方毫米,比 1 节 2 号电池还小,重量仅 100 多克,150 毫克 ^{238}Pu 作核电池的放射源可连续使用 10 年以上。如换用产生同样功率的化学电池,要保证同样的使用寿命,其重量几乎与成人的体重相当。目前在神经模拟器和人工血压调节器等医疗器械中也开始广泛使用放射性同位素电池。

深海等极端区域的应用 海洋深处也是核电池的用武之地。一些海底设施,如海下声纳、各种海下科学仪器、海底油井阀门的开关、海底电缆的中继站等需要保证长寿命能源,通常的太阳能电池、燃料电池和其他化学电池很难胜任,只能使用核电池。在军事上,核电池用于海底潜艇导航信标,能保证航标每隔几秒钟闪光一次,而且几十年内不换电池。核电池作为水下监听器(监听敌方潜水艇的活动)的电源,安全可靠、成本低、结构简单。

地面上有许多终年积雪冻冰的高寒地区、遥远荒凉的孤岛、荒无人烟的沙漠,还有南极、北极等,也需要建立气象站和导航站。用其他电源,更换和维修极其困难。而采用核电池则可建成自动气象站或自动导航站,实现自动记录和自动控制,常年无须更换和维修电源。

最近,有报道称微型核电池技术已被成功引入手机制造领域,一旦投产,手机可终身免充电。也有科学家大胆提出在电动汽车上使用核电池的设想,或许不远的将来,电动汽车上将使用长期工作不需要维修、高效、大功率、小体积、低成本的核电池。

随着核电池安全、效能和成本等问题的解决和技术的不断成熟,其应用领域必然会更加广阔。

(江苏省南通高等师范学校 226006)

