

中国航天电源技术的研究和发展^①

杨小安 李国欣

(中国航天工业总公司, 贵州 563003)

我国自1970年4月24日以第一枚“CZ-1”(长征)运载火箭成功发射第一颗人造地球卫星“DFH-1”(东方红),到1994年2月8日以“CZ-3A”运载火箭成功发射“SJ-4”(实践)科学试验卫星止,先后用了31枚运载火箭发射35颗人造地球卫星(外星发射不计入内)。所有的箭上电源和星上电源全是由我国自行研制的。

又自1964年6月29日第一枚近程导弹试飞,1966年10月首次两弹结合飞行,1980年5月向太平洋发射远程火箭,1982年9月发射了水下导弹成功至今,我国已拥有多种系列的陆地、地空、岸舰、空空导弹。所有的弹上电源全由我国自行研制。其中,箭上电源均为锌银电池。星上电源以锌银电池为主电源的,20颗,占总数57.2%;以锌银电池为主电源、以硅太阳电池和镉镍电池联合供电系统为辅助电源的,4颗,占11.4%;以硅太阳电池和镉镍电池联合供电系统作为主电源的,11颗,占31.4%。弹上电源均为锌银电池和热电池。二者之比约为3:1。

从我国卫星发展的历史看,我国已从政治卫星、科学试验卫星逐步发展成返回式遥感卫星和长寿命的通讯、气象、广播资源、电视等实用卫星系列。其星上电源也从单一的锌银电池逐步发展成复杂的硅太阳电池和镉镍电池的联合供电系统。

本文概述我国箭上电源、星上电源和弹上电源等航天电源技术的研究与发展。

1 箭上电源

发射地球同步轨道静止卫星、太阳同步轨道极轨卫星和多种椭圆轨道卫星的长征系列运载火箭,其控制系统、遥测系统、安全自毁系统、外弹道测量系统等直流电源均为规格各异的人工激活干荷电二次锌银电池组。目前,锌银电池技术已十分成熟。单体品种已发展到150余种,单体容量从0.3 Ah发展到1000 Ah。自加注电解液至正式使用,可在20~40 min内达到。低温加热时间在1 h以内。采用薄极片、冷焊技术,最大工作电流可达到220 A,最大放电功率达6.6 kW。使用复合膜,电解液中加入特种添加剂,产品干态贮存期可达5~8年,湿荷电贮存1~3月,湿态使用寿命6~12月以上。电池组的质量比能量为60~240 Wh/kg、体积比能量为100~240 Wh/L。电池组的质量比功率为30~400 W/kg。

2 星上电源

除少数返回式卫星仍沿用单一锌银电池作主电源外,绝大多数的实用卫星,均已采用长寿

① 本文1994-10-23收到

命的太阳电池功率系统. 现按光伏能量转换、能量的贮存、控制和调节三个方面分述如下.

2.1 光伏能量转移

我国空间太阳电池的发展经历了三个阶段:摸索阶段(1958~1965年)、试验阶段(1965~1977年)和应用阶段(1977年~至今). 主要电源仍为硅电池. 砷化镓、磷化铟电池等尚处于予研阶段. 空间用硅电池的基体电阻率为 $10\ \Omega\cdot\text{cm}$;基本尺寸为 $2\times 4\ \text{cm}$,并有朝向 2×6 、 4×4 、 $4\times 6\ \text{cm}$ 发展的趋势,空间站用的 $8\times 8\ \text{cm}$ 已开展研究;电极材料为Ti-Pd-Ag(钛-钯-银);电池结构为BSR、BSF和BSFR等;减反射膜为 TiO_2 (二氧化钛). 表1列出典型的太阳电池方阵性能及其与国际4号、5号通讯卫星的比较.

表1 中国太阳电池方阵性能及其比较

No.	电池结构	效率(%)	安装形式	面积比功率 (W/m^2)	质量比功率 (W/kg)	备注
T ₂	BSR	10.5	壳体式	25.4	11.1	已上天
Intel 4	BSR		壳体式	22.1	11.9	已上天
T ₃	BSR	12.1	平板式	116.0	85.0	暂未上天
Intel 5	BSR	11.7	平板式	94.3	75.1	已上天
S ₁	BSF	12.5	平板式	123.7	27.9	已上天
S ₃	BSF	13.5	平板式	133.6	94.8	暂未上天

高效率、低成本是太阳电池技术不断追求的目标. 我国高效电池的研制进展较快, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$ (镓铝砷/砷化镓)电池效率已达17%(AM0, 25℃), 其4w组件已于1990年9月在“FY-1”(风云)卫星上进行搭载飞行试验. 低成本的GaAs/Ge(锗)电池已开展研究. BSFR结构的样品电池效率, 81年已达15.3%(AM0), PESC实验室效率, 1990年已达20.3%(AM1.5). 这些新结构的高效电池已于1994年2月在“SJ-4”(实践)卫星上进行搭载飞行试验.

2.2 能量贮存

镉镍电池作为一种电化学贮能装置, 对长寿命卫星的正常运行有其卓越性能. 现有空间用的全密封镉镍电池单体有11种, 最大容量65 Ah, 最大比能量44 Wh/kg. 我国贮能技术不仅满足中国航天的需要, 而且开始走向国际市场. 为瑞典空间公司研制的镉镍电池组, 已在1992年10月6日发射成功的FREJA卫星上正式使用, 性能优良. 但为了进一步提高比能量, 增长电池寿命, 国外发展了氢镍电池, 把它作为第二代贮能装置. 与镉镍电池相比, 氢镍电池的比能量高、充放电循环寿命长、可深度放电、承受过充电和过放电的能力强. 现有空间用氢镍电池单体5种, 最大容量50 Ah, 最大比能量52 Wh/kg. 电化学浸渍的镍电极、“三合一”结构的氢电极、氧化锆隔膜、锻压成型不锈钢外壳等一系列新技术措施, 使我国氢镍电池技术与国外的差距正在缩短. 目前, 30 Ah氢镍电池组样机已用在1994年2月发射的“SJ-4”卫星上搭载试验.

2.3 控制调节

控制调节装置是指作为主电源的太阳电池, 作为贮能电源的化学电池与卫星负载之间控

制调节装置. 通过部分分流调节、全开关分流调节、升降压开关式调节等技术, 实现了在轨道光照期和阴影期母线电压的全调节. 通过第三电极电压信号、温度-电压补偿曲线、电池内部压力信号和电子电量计充电控制技术, 实现了对镉镍电池或氢镍电池的充电控制和保护. 采用双母线交叉搭接、蓄电池轨道轨道激活器、蓄电池充电交替控制、电池组放电保护等技术, 进一步提高了电源系统的可靠性.

3 弹上电源

为适应导弹攻击目标的活动性、且目标速度非常快的特点, 我国独立研制发展了自动激活的干荷电一次锌银电池组和热激活的熔融盐电解质电池组二大系列.

3.1 电加热和化学加热自动激活一次锌银电池

该类电池的特点是: 贮存寿命长, 可大电流放电. 缩短在低温环境下的加热和激活时间, 是弹上电源的一项重要指标. 为此, 我国着重发展了蛇管式、双圆筒式和气囊式等结构的贮液器. 目前, 已有 30 余种电加热系列的自动激活电池, 低温加热时间均在 30 min 以内, 激活时间小于 1.5 s. 其典型性能为: 28 V、180 A、12 min、18.5 kg. 质量比功率达 272 W/kg. 化学加热系列的自动激活电池有 10 余种, 其突出优点是准备时间极短, 电池堆、电解液分别贮存, 当使用时, 通电点燃化学加热器, 让电解液在极短时间内流过加热器, 以将低温电解液加热到所需温度流入电池堆, 电池即处于工作状态, 激活和加热总时间小于 1.5 s, 最短可达 0.7 s.

3.2 热激活熔融盐电池

该类电池的特点是工作环境温度范围广、贮存寿命长、激活时间短、安装位置任意、成本低. 现已部分取代锌银一次电池. 我国在钙系列热电池的基础上, 迅速发展了锂系合金(锂铝、锂硅、锂硼)热电池. 这种锂系热电池起始电压无高波、最大放电电流达 130 A、最长放电时间为 30 min、最短激活时间已达 0.4 s(-40°C). 某典型产品与美国 Sandia 实验室的性能比较如表 2.

表 2 中国锂(硅)热电池性能及其比较

No.	工作电压(V)	工作电流密度(mA/cm^2)	放电电流(A)	激活时间(s)	脉冲电流密度(A/cm^2)
M	28	433	70	0.5~0.8	6.1
Sandia 实验室	28	265	30	0.8~1.0	4.0

4 结束语

综上所述, 中国自行研制的箭上电源、星上电源和弹上电源等航天电源技术为中国航天事业和国防现代化事业的发展作出了重大贡献. 其中不少地方已赶上国际先进水平, 也有许多地方还存在着一定的差距. 我们要急起直追; 在轻质量、长寿命、高可靠方面下苦功夫, 力争在航天电源领域不断取得新成绩. 最近提出发展两用技术, 因此, 我们不仅要把航天电源技术推向国民经济, 而且要把民用电源的先进技术和产品引进航天. 为促进航天事业的发展作出我们的努力.