

一种镉镍蓄电池在轨活化通用设计方法

陈燕, 张亚航, 郭坚

(北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 提出了一种卫星镉镍蓄电池在轨活化通用化设计与实现方法, 利用卫星软件根据实时遥测数据, 自主进行镉镍蓄电池在轨活化处理; 解决了传统航天器地面采用预设 V-T 曲线进行镉镍蓄电池的充放电人工控制时, 由于电流遥测频率较低且负载工作电流变化模式多, 境外的参数无法实时获取等原因, 无法获取准确的充放电电量, 不易通过深放电实现镉镍蓄电池在轨活化处理的问题; 进一步对该方法进行通用化设计, 可适用于采用电量计控制的各种航天器镉镍蓄电池, 提高镉镍蓄电池寿命末期输出能力, 延长航天器电池使用寿命。

关键词: 航天器; 镉镍蓄电池; 在轨活化

A General Design for Cd-Ni Battery Activation in-orbit

Chen Yan, Zhang Yahang, Guo Jian

(Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: Provided a method of designing and realizing the General Onboard Software for Cd-Ni battery activation in-orbit. In this scheme, the onboard software completes the Cd-Ni battery activation automatically with real-time telemetry data. It solved the problem that the ground controller can't forecast and control the traditional spacecraft Cd-Ni battery activation process exactly with V-T curve because of lack of real-time data overseas, the low frequency of telemetry and the working current changes all the while. And after the generalize designing, it is suitable for all kinds of spacecraft which used Cd-Ni battery, and improve the power supply ability and prolong the life of battery.

Keywords: spacecraft; Cd-Ni battery; activation in-orbit

0 引言

电源是卫星关键部分, 供电状态异常将会危及整星正常工作, 是航天器寿命的关键因素^[1-3]。镉镍蓄电池组是我国低轨航天器的主要储能装置, 目前仍有大量卫星使用^[4]。对于镉镍蓄电池来说, 其寿命与充放电深度关系很大。为了保证蓄电池组的寿命, 其放电深度比较浅, 一般镉镍蓄电池组放电深度约为 20%^[5]。随着航天器寿命不断延长, 在轨运行时间增加, 蓄电池组的电压会发生衰减。由于电池长期处于浅充浅放(满充电)状态下, 使得可以充、放电的活性物质逐渐减少, 结果引起放电性能下降, 也被称为“记忆效应”。

深度放电是对航天器镉镍蓄电池进行在轨活化处理, 提高镉镍蓄电池寿命末期输出能力, 延长使用寿命的有效方法。但是其操作具有一定难度, 同时也具有一定风险。我国以前的航天器, 一般采用预设好的 V-T 曲线进行镉镍蓄电池的充放电控制^[5], 只能由地面人员对充放电电量进行计算。由于电流遥测频率较低且负载工作电流变化模式多^[6-8], 而且境外的参数无法实时获取, 因此无法通过遥测数据获取准确的充放电电量, 不易通过深放电实现镉镍蓄电池在轨活化处理。

本文介绍一种镉镍蓄电池在轨活化通用化设计方法, 针

对中低轨遥感卫星, 通过航天器星载软件进行电量计控制, 由数管分系统实时采集蓄电池的充放电电流、计算充放电电量, 通过减小对蓄电池的充电时间实现蓄电池欠充电, 达到深度放电活化目的, 并自主发送遥控指令。通过在轨实际应用表明, 该方法相对以前的地面人工充放电控制方法, 大幅度提高了蓄电池深度放电精确度, 并最终提高了卫星镉镍蓄电池活化效果。

1 镉镍蓄电池在轨活化方法

为了在卫星蓄电池长期浅充浅放之后, 减少镉镍电池记忆效应, 需周期性地对电池进行完全的放电和充电。由星载软件实现电量计控制蓄电池的充放电, 通过设置条件使得电池在未充满的情况下停止充电(亏欠 ΔQ), 电池在转入放电模式后, 由于放电电量不变, 因此电池的放电深度增加, 在下一个充电过程中, 再设置条件使蓄电池多充 ΔQ , 补回亏欠的电量, 深度放电操作结束。该方案主要需满足以下策略:

1) 将深度放电的电量设计成一个参数(用 ΔQ 表示), 嵌入到蓄电池工作模式转换条件(即大电流充电模式转为涓流充电模式的条件)中, 需满足方程式(1):

$$\eta_c * Q_{充} > Q_{放} + \Delta Q \quad (1)$$

其中: $Q_{充}$ 为充电电量; η_c 为充电效率, 可通过遥控注入修改, 初始默认值为 1; ΔQ 默认为零。

2) 当需要进行在轨深度放电处理时, 在放电过程中(放电电流不小于 1A)通过遥控注入 ΔQ , 包括 $\Delta Q1$ 和 $\Delta Q2$, 其

收稿日期: 2016-03-28; 修回日期: 2016-04-29。

基金项目: 总装备部预先研究支持项目(513200702)。

作者简介: 陈燕(1979-), 女, 陕西西安人, 工程师, 主要从事航天器电源系统方向的研究。

中 ΔQ_1 为负数, ΔQ_2 为不小于 0 的数。

3) 电量计立即更新 ΔQ , 使 $\Delta Q = \Delta Q_1, \Delta Q_1$, 为设定的安全阈值, 安全阈值根据地影期长期负载下的放电安时数与光照期最大充电安时数选取, 超过安全阈值, 电量计认为数据无效, 不予更新)。

4) 当满足大电流模式转涓流模式的条件, 且发出转涓流模式的指令后, 电量计再次更新 ΔQ , 使 $\Delta Q = \Delta Q_2$ 。这样, 即可以在下一循环将蓄电池亏欠的电量充满。

5) 当再次满足大电流充电模式转涓流充电模式的条件, 且发出转涓流模式的指令后, 电量计再次更新 ΔQ , 使 ΔQ 恢复为 0, 深度放电操作结束。

2 在轨活化设计与实现

2.1 通用化设计

如本文第二节所述, 卫星镉镍蓄电池深度保护所涉及充电电量、放电电量和各类上下限值等电源属性的处理; 除此之外, 在进行通用化设计时, 还需考虑与卫星其他处理模块的接口, 例如遥控和遥测接口的处理。为了达到星载软件通用化设计的目的, 电量计处理模块必须能够充分兼容各种型号电源特点, 以及各型号遥测遥控接口。

一般来说, 对于采用镉镍蓄电池组的航天器, 其充电量和放电电量会有所差异, 且不同的轨道航天器, 在寿命周期内充放电次数也存在差异。例如地球同步轨道航天器一年只有 92 天有地影, 为了保持蓄电池组性能, 需要长期涓流充电; 而近地轨道航天器运行周期一般只有 100 分钟, 地影期超过轨道周期 1/3, 因此其充电电流几乎与负载电流相等。因此, 经过仔细梳理多个遥感卫星电源设计方案和需求, 认为以下因素将对软件通用化产生影响, 需要通用化设计时进行考虑:

- 1) 初始充电效率;
- 2) 通过指令更改的充电效率;
- 3) 充电 k 系数;
- 4) 放电 k 系数;
- 5) 充电电量;
- 6) 放电电量;
- 7) 充电电流下限;
- 8) 放电电流下限;
- 9) 对充电电流进行主备份选择;
- 10) 对放电电流进行主备份选择;
- 11) 供电阵总电流下限;
- 12) 供电阵总电流主备份选择。

本文在设计的时候, 将这些因素设计为软件参数和变量^[9-10], 并能够通过指令等手段对其进行修改, 从而适应各类型号需求的变化。同时, 将计算流程分为两个模块设计, 见本文 3.2 和 3.3 节。

2.2 子模块 1 设计

子模块 1 位于电量计遥控指令接收模块中, 用于实现将 ΔQ 赋值为 ΔQ_1 , 处理方法如下:

1) 在电量计遥控指令接收模块中, 当判断指令类型为注入 ΔQ 时进入步骤 2, 当不为该类型时继续其他指令类型的

判断;

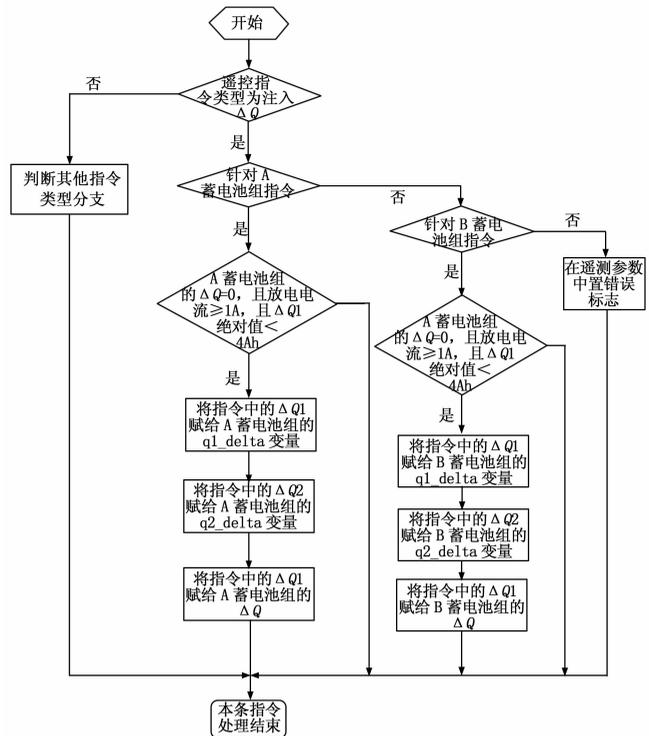


图 1 镉镍蓄电池在轨活化子模块 1 处理流程

2) 进一步判断, 当该指令为针对 A 蓄电池组的注入 ΔQ 指令时进入步骤 3, 否则进入步骤 5;

3) 当 A 蓄电池组当前的 ΔQ 为 0 (确保上一次的深度放电操作已结束或从未发生过深度放电操作), 且当前的放电电流不小于 1A (当前正处于放电模式), 且 ΔQ_1 的绝对值小于 xxAh (xxAh 为安全阈值, 确保注入了错误的放电深度值时不予执行, 以不对系统安全产生影响, 可根据蓄电池容量和正常情况下的放电电量值确定) 时, 进入步骤 4, 否则结束本次处理;

4) 将指令数据中的 ΔQ_1 赋值给 A 蓄电池组的 $q1_delta$ 变量, 将指令数据中的 ΔQ_2 赋值给 A 蓄电池组的 $q2_delta$ 变量, 将指令数据中的 ΔQ_1 赋值给 A 蓄电池组的 ΔQ 变量;

5) 进一步判断, 当该指令为针对 B 蓄电池组的注入 ΔQ 指令时进入步骤 6, 否则进入步骤 8;

6) 当 B 蓄电池组当前的 ΔQ 为 0 (确保上一次的深度放电操作已结束或从未发生过深度放电操作), 且当前的放电电流不小于 1A (当前正处于放电模式), 且 ΔQ_1 的绝对值小于 4 Ah (4 Ah 为安全阈值, 确保注入了错误的放电深度值时不予执行, 以不对系统安全产生影响, 可根据蓄电池容量和正常情况下的放电电量值确定) 时, 进入步骤 7, 否则进入步骤 8;

7) 将指令数据中的 ΔQ_1 赋值给 B 蓄电池组的 $q1_delta$ 变量, 将指令数据中的 ΔQ_2 赋值给 B 蓄电池组的 $q2_delta$ 变量, 将指令数据中的 ΔQ_1 赋值给 B 蓄电池组的 ΔQ 变量, 结束本次处理;

8) 在遥测参数中置错误标志, 结束本次处理。

星载软件实现时，其具体流程图如图 1 所示。

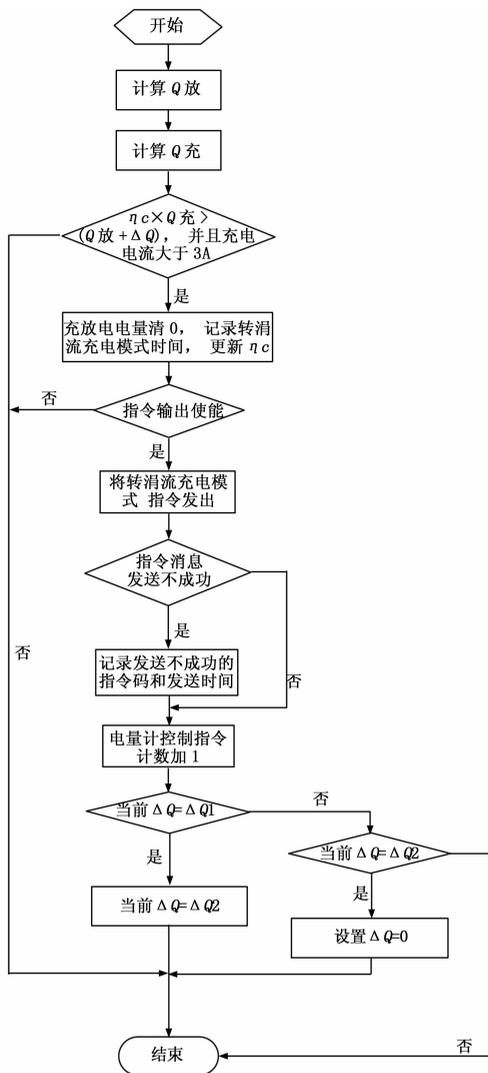


图 2 镍镉蓄电池在轨活化子模块 2 处理流程

2.3 子模块 2 设计

子模块 2 位于计算电量并判断输出转充电模式指令模块中，用于实现将 ΔQ 赋值为将 ΔQ_2 和恢复为 0，处理方法如下：

1) 根据充电电流、与上一次计算充电电量的间隔时间（即充电时间），放电电流、与上一次计算放电电量的间隔时间（即放电时间），计算出放电电量 $Q_{放}$ 、充电电量 $Q_{充}$ ；

2) 当充电电量和放电电量满足方程式 (1)，即 $\eta_c \times Q_{充} > Q_{放} + \Delta Q$ ，且充电电流大于 3A 时（确保当前处于大电流充电模式），进入步骤 3，否则结束本次处理；

3) 充电电量、放电电量清 0，记录转涓流充电模式时间，更新 η_c ；

4) 如指令输出使能，则将转涓流模式指令发出，进入步骤 5，否则结束本次处理；

5) 如指令消息发送不成功，则记录发送不成功的指令码和发送时间，进入步骤 6；

6) 电量计控制指令计数加 1，判断当前的 ΔQ 是否为

ΔQ_1 ，如果是，则进入步骤 7，如果不是，则进入步骤 8；

7) 设置 $\Delta Q = \Delta Q_2$ ，结束本次处理；

8) 判断当前的 ΔQ 是否为 ΔQ_2 ，如果是，则设置 $\Delta Q = 0$ ，结束本次处理；否则直接结束本次处理。

星载软件实现时，其具体流程图如图 2 所示。

3 应用效果

随着航天器寿命不断延长，在轨运行时间增加，蓄电池组的电压会发生衰减。由于电池长期处于浅充浅放的（满充电）状态下，使得可以充、放电的活性物质逐渐减少，结果引起放电性能下降，也被称为“记忆效应”。因此，为了提高卫星电池输出效能，本项技术需要在卫星寿命末端使用，然而目前采用本技术的卫星尚在服役过程中。因此缺乏实际数据。为此，本文所提出的蓄电池在轨活化技术，在地面进行了试验和验证。试验中，被测试镍镉蓄电池组在进行了 3 000 次 20% 的浅充浅放之后，其电池效能仅剩余 32%。经过活化之后，可以将蓄电池组效能提高至 54% 左右。

4 结论

本文为了解决了 V-T 曲线控制难以实现对航天器镍镉蓄电池进行深度放电的在轨活化问题，提供了一种镍镉蓄电池在轨深度放电星载软件实现方法。该设计主要好处体现在两个方面：

1) 解决了航天器镍镉蓄电池人工在轨活化高难度和低精度问题，实现了卫星在轨自主在轨深度放电。

2) 通过对多种卫星需求分析和梳理，进行了通用化软件设计与实现，能够满足不同卫星的需求。

目前，本文的研究成果已经在资源系列、高分辨率对地观测系列等多个卫星中得到应用，实际使用效果显著。

参考文献：

[1] 彭梅, 王巍巍, 吴静, 等. 太阳同步轨道卫星太阳电池阵衰减因子研究 [J]. 航天器工程. 2011, 20 (5): 61-67.
 [2] 谭维焯, 胡金刚. 航天器系统工程 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009.
 [3] 马世俊. 卫星电源技术 [M]. 北京: 中国宇航出版社, 2001.
 [4] 贾晓冬, 鄢婉娟, 刘元默. 空间用镍镉蓄电池组在轨性能评估技术研究 [J]. 电源技术, 2015, 39 (7): 1455-1457.
 [5] 乔学荣, 杨学毅, 李垚. 低轨道卫星镍镉蓄电池组在轨性能分析 [J]. 电源技术, 2009, 33 (12): 1101-1103.
 [6] Marsh R A, Vukson S, Surampudi. Li-ion batteries for aerospace applications. Journal of Power sources, 2001 (97-98): 25-27.
 [7] 蔡晓东, 刘治钢, 叶培建. 月球卫星氢镍蓄电池在轨管理技术及性能分析 [J]. 航天器工程. 2012, 21 (2): 81-86.
 [8] 彭成荣. 航天器总体设计 [M], 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
 [9] 张亚航, 袁璐, 郭坚. 一种基于构件的可重配置通用星载遥测软件设计 [J]. 航天器工程, 2013, 22 (4): 62-67.
 [10] 张亚航, 郭坚, 于俊慧. 一种基于非面向对象语言的星载软件构技术研究 [J]. 中国空间科学技术. 2015, 35 (4): 37-44.