

# 低空飞行器的耗电和续航分析与小卫星电源管理测试

吕宝华 饶骞

电源和通用产品市场经理

# 低空飞行器助力 “低空经济”



无人机摄影或航拍



无人机喷洒农药



无人机配送



无人机森林巡视

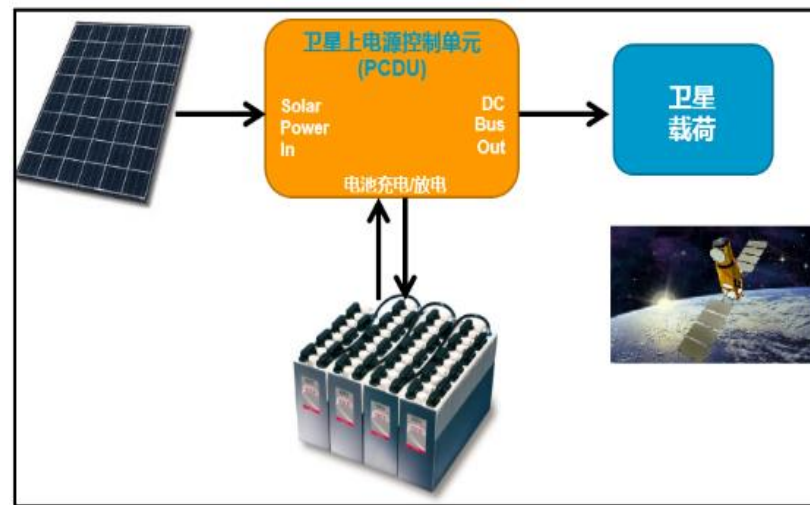
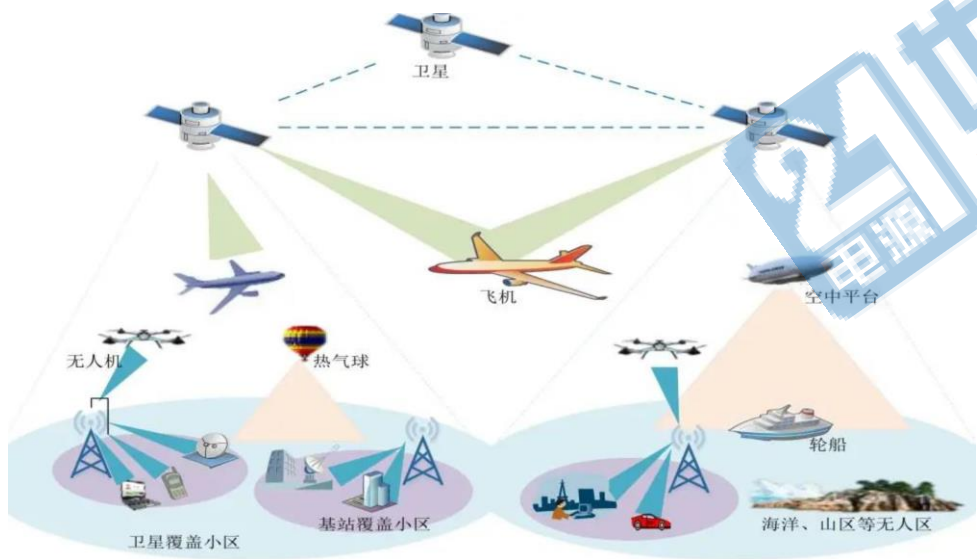
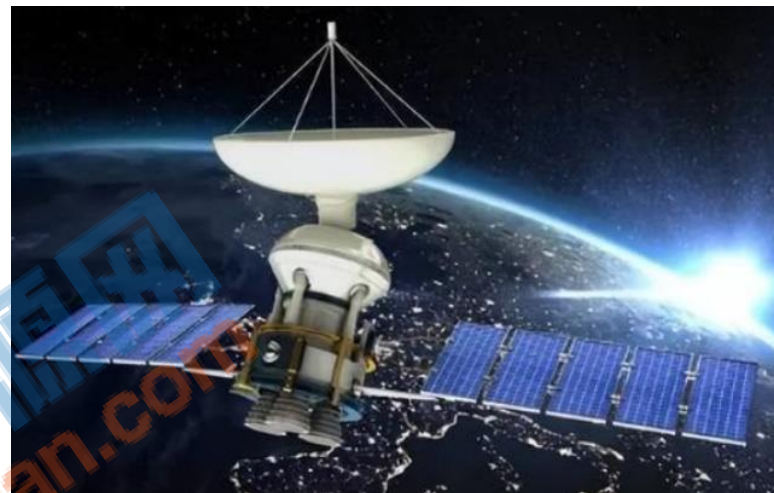
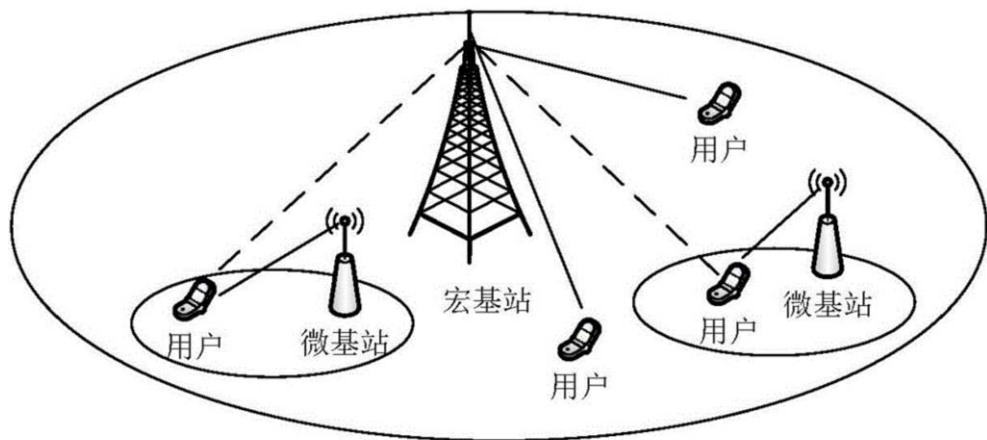


无人机边防巡逻



载人无人机

# “卫星互联网”为低空飞行器护航

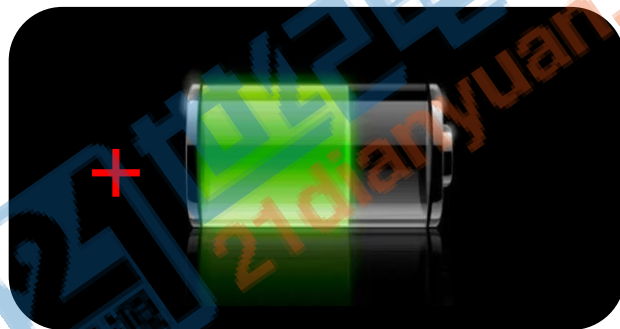


## 内容:

- ✓ 无人机、卫星载荷的耗电分析
- ✓ 电池的模型提取和电池模拟器应用
- ✓ 卫星太阳能阵列模拟器和电源管理系统

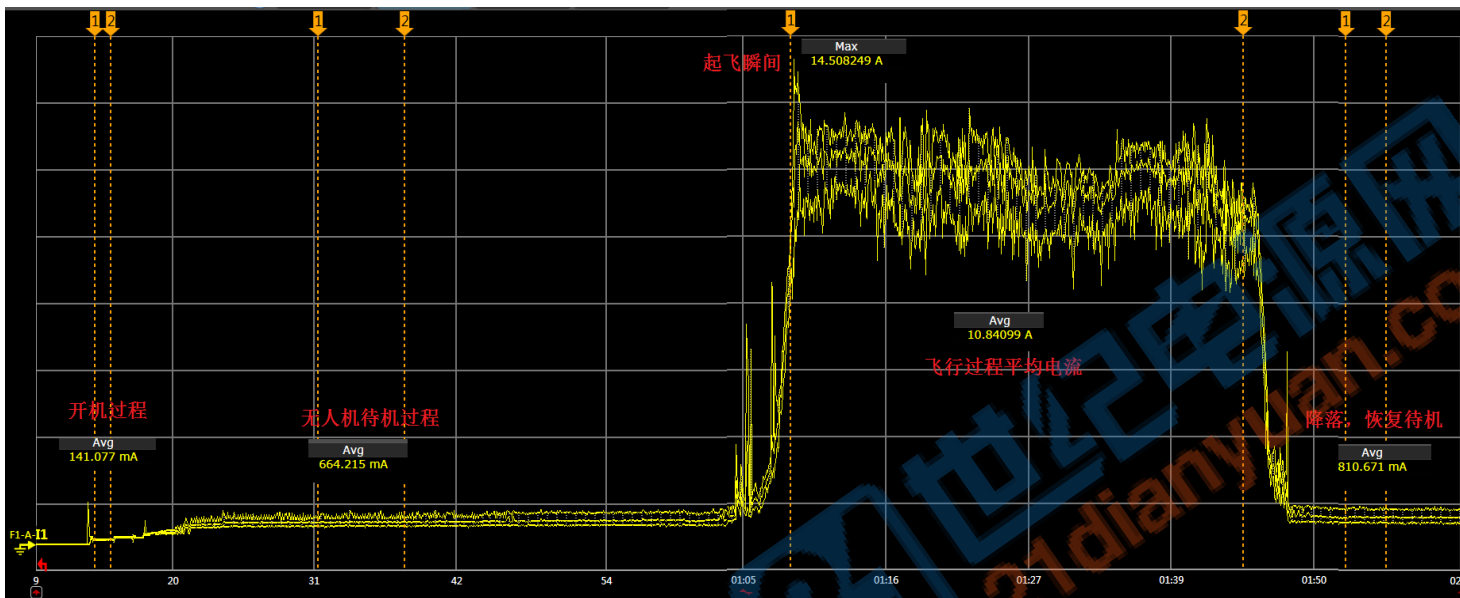


# “电池+” 时代



# 小型无人机的功耗

## 复杂的功耗模型



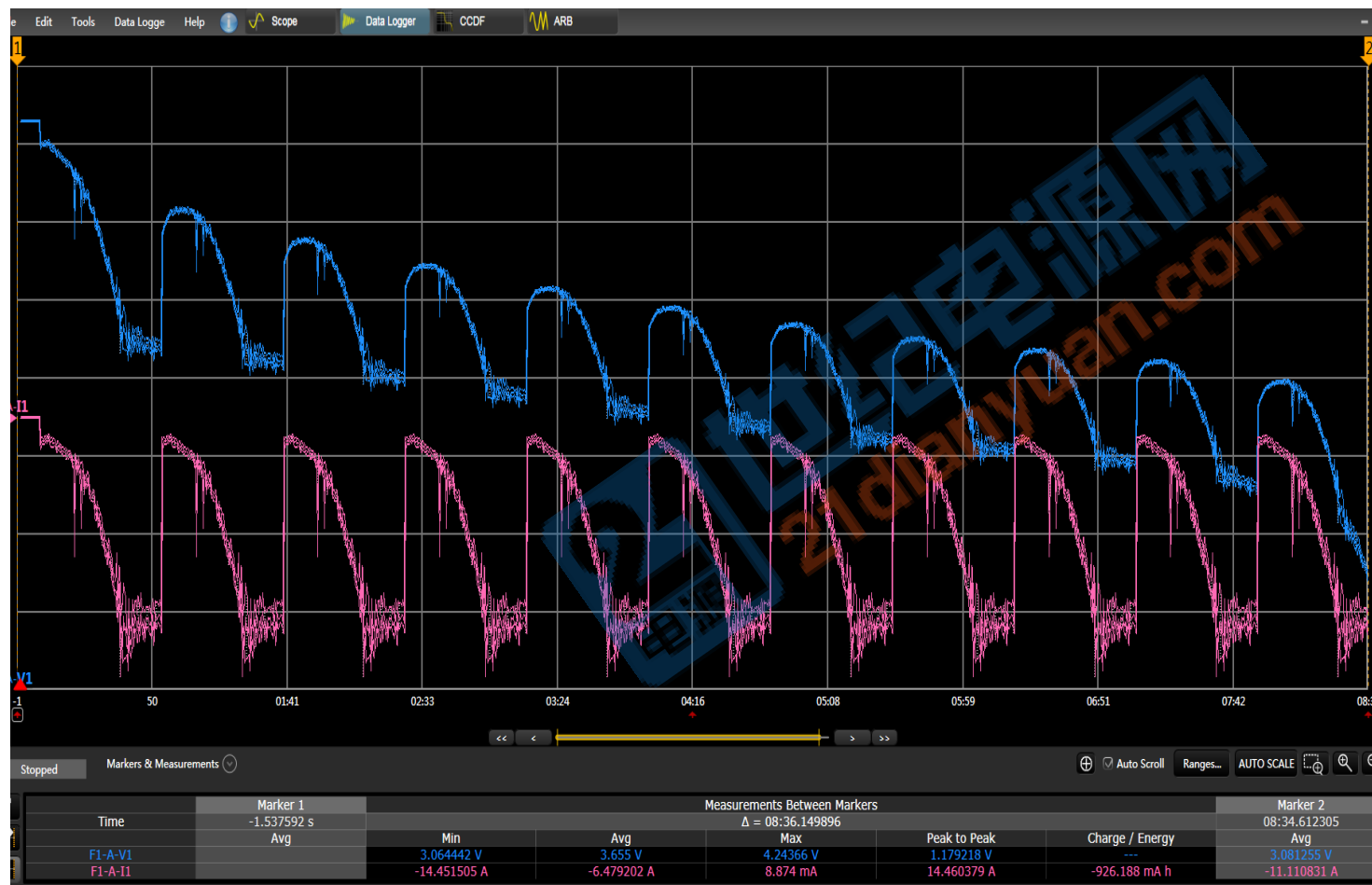
模式/ 状态	开机	待机	起飞和飞行	降落待机
起始时间	0:14	00: 34	1:09	1: 52
截至时间	0:16	00: 44	1:45	1: 56
平均电流 (A)	0.14108	0.66421	10.84	0.81067
最大电流 (A)	0.18558	1.03	14.51	1.128

- ✓ “操作无人机起飞, 降落” 从开机->连接WIFI->起飞->降落过程;
- ✓ 软件实时记录所有操作过程电流变化。



# 电流测量面临的挑战

高速、高动态电流的快速采集和长时间记录



- 起始电压: 4.24V
- 截至端电压: 3.08V
- 峰值流: 14.4A
- 平均电流: 6.48A
- 总电量: 926mAH
- 持续时间: 8分30秒



# 功耗测量面临的挑战

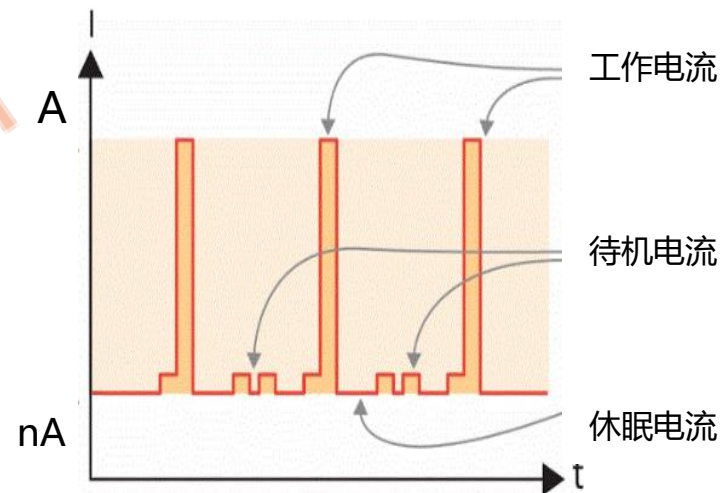
高速、高动态电流的快速采集和长时间记录

长时间 vs. 时间分辨率:

1. 窄电流脉冲测量, 采样速度快 (采样率)
2. 应用场景测量持续测量, 采样时间要长 (存储深度)

高动态范围 vs 垂直分辨率:

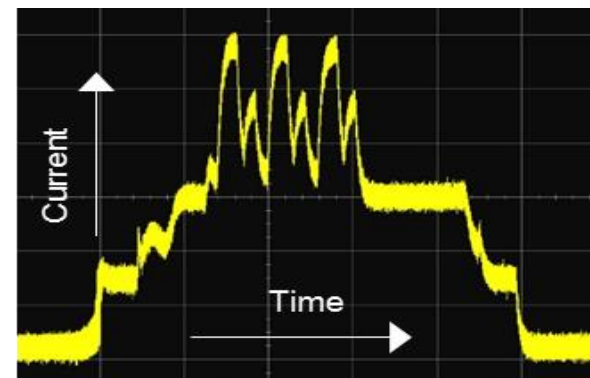
1. 休眠电流小,  $\mu\text{A}/\text{mA}$ , 甚至 $\text{nA}$ 以下(底噪)
2. 工作电流大,  $\text{mA}$ 、 $\text{A}$ 甚至数百 $\text{A}$ , 需要极高的动态电流测量能力 (A/D垂直分辨率)





# 示波器电流测量的优缺点

优点	缺点
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 示波器平台的测量带宽高，电流探头种类多，选择范围大</li><li>✓ 通道数量多，电压和电流，甚至数字信号同步测量</li><li>✓ 通过不同的电流探头，可实现非常宽范围的电流测量，如 N2780B 可达 500A</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ 受限于示波器的AD位数限制，电流测量精度较低；</li><li>❖ 受限于本底噪声和电流探头的限制，很难完成小电流测量</li><li>❖ 互感式电流每次测试前，都需要进行消磁，归零等额外操作，以消除探头的误差</li><li>❖ 存储深度限制了长时间的记录和分析</li></ul>



Measured waveform (noisy, insufficient bandwidth, ...)

## \*BV9200B先进电源系统控制和分析软件

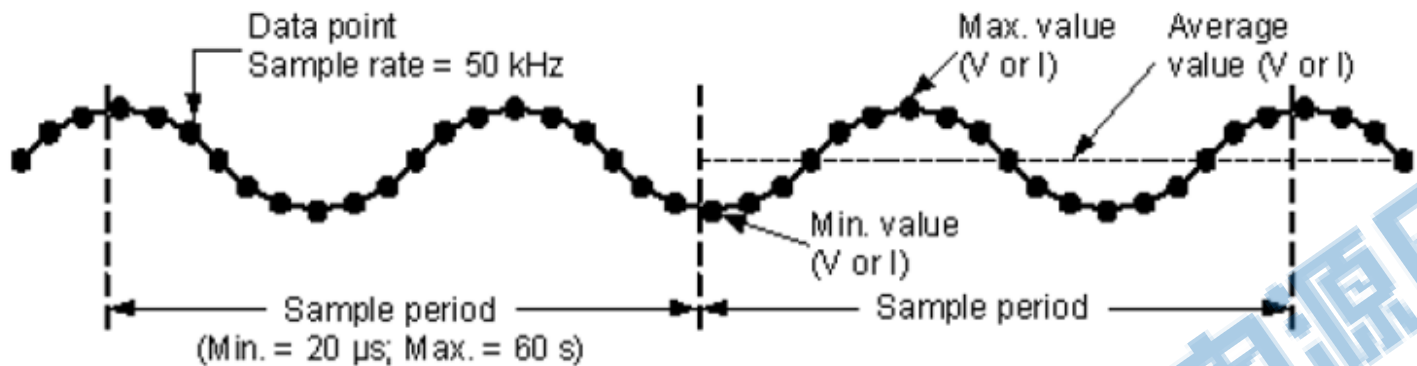


### BV9200 电源分析软件

- ✓ 18- 28比特动态, 覆盖从休眠至工作电流范围
- ✓ 高达200KHz (5us)采样率, 精确脉冲电流测量
- ✓ Data Logger数据记录仪, 1000小时连续数据记录
- ✓ BV9200可视化测试软件, 电流与状态转换同步

- ✓ 同时控制4台 N6705 /N7900 /RP7900
- ✓ 4种操作模式: 示波器、长时间记录, 波形编辑 和 CCDF):
  1. 示波器模式, 200KSa/s, 18比特, 精确捕获电压和电流的瞬态变化。
  2. Data Logger记录仪模式, 长达1000小时连续数据直接保存到PC。
  3. 64K ARB, 实现复杂波形编辑, 支持内置标准波形, 公式, 波形导入等。
- ✓ 支持API函数调用, 用户可进行软件二次开发。

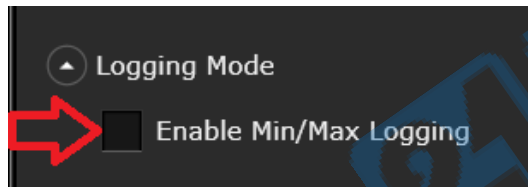
# APS独特的数据记录仪 (Data Logger)



- ✓ 高达200KHz (5us)采样率
- ✓ 长达 1000小时连续数据记录

最快 20万 数据每秒

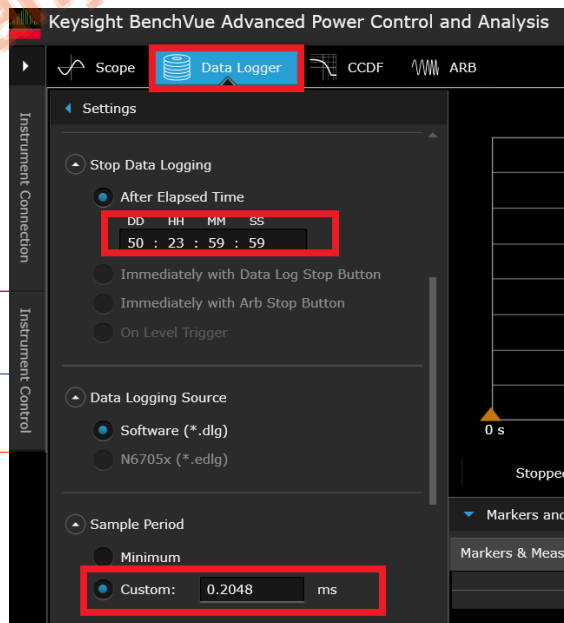
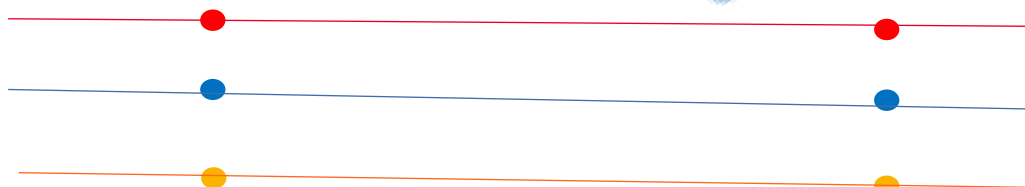
提取



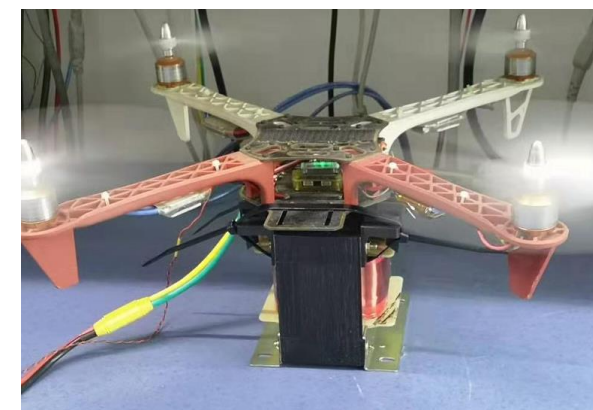
提取

提取

平均值, 最大值、最小值 (可选)



# 无人机不同载荷的功耗分析



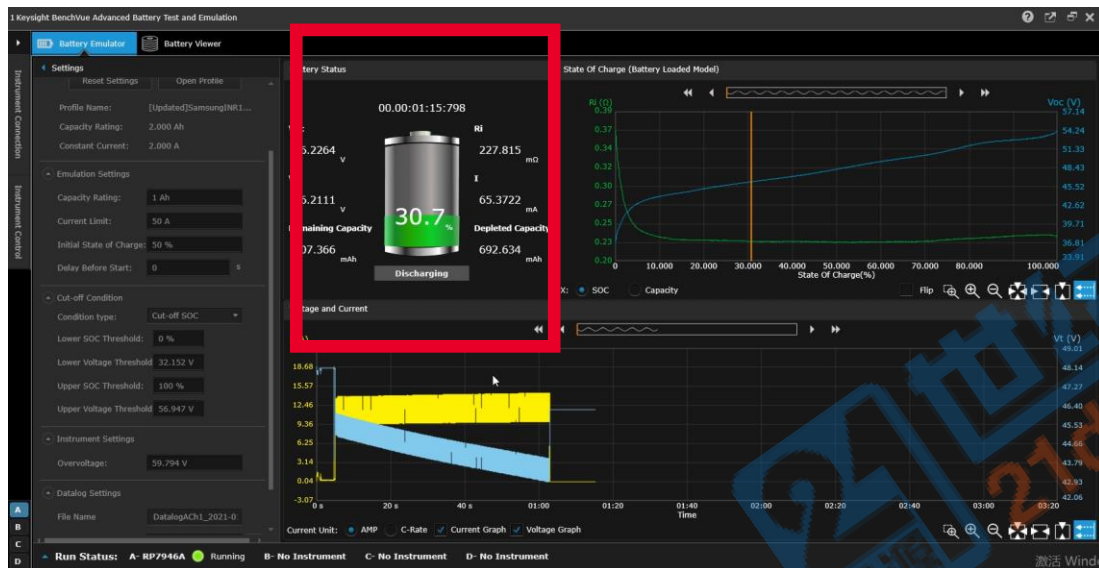
## 内容:

- ✓ 无人机、卫星载荷的耗电分析
- ✓ 电池的特性负载特性对续航的影响
- ✓ 卫星太阳能阵列模拟器和电源管理系统

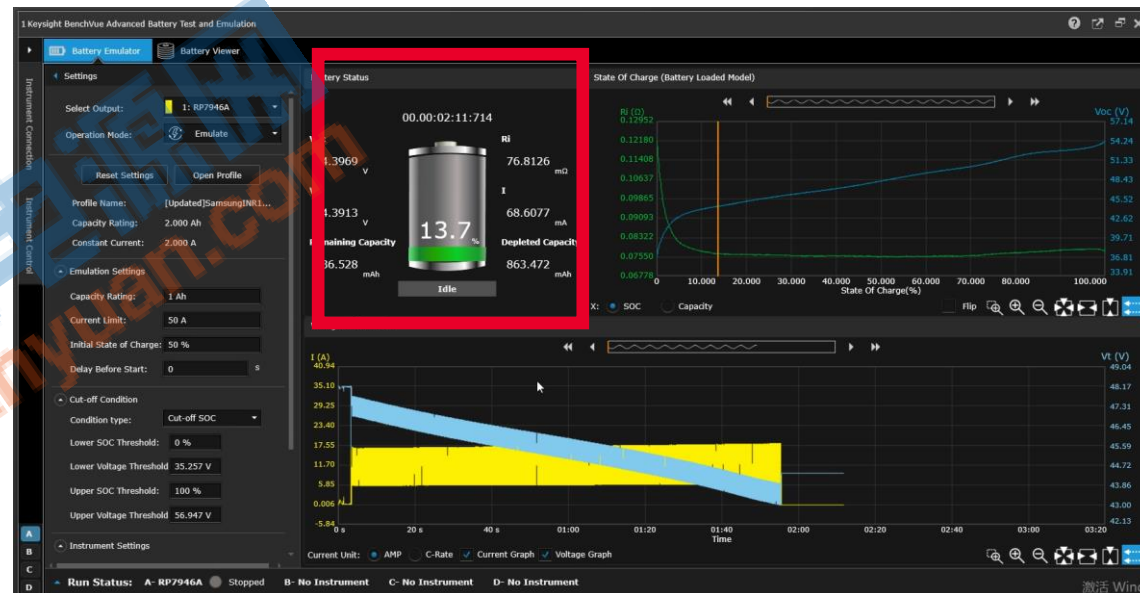
# 电池的续航

电池“剩余电量”的困惑一

## 电池A



## 电池B



案例一：两种电池，容量相同，给同一个逆变器供电

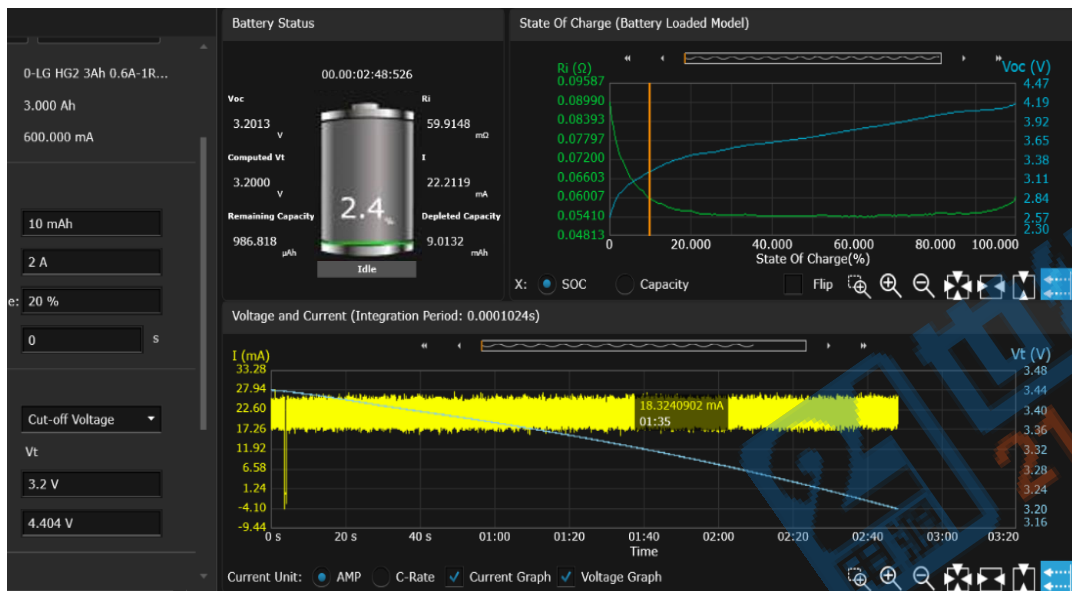
- 电池A：30.7% 剩余电量时，电池进入低压保护
- 电池B：13.7% 剩余电量时，电池进入低压保护



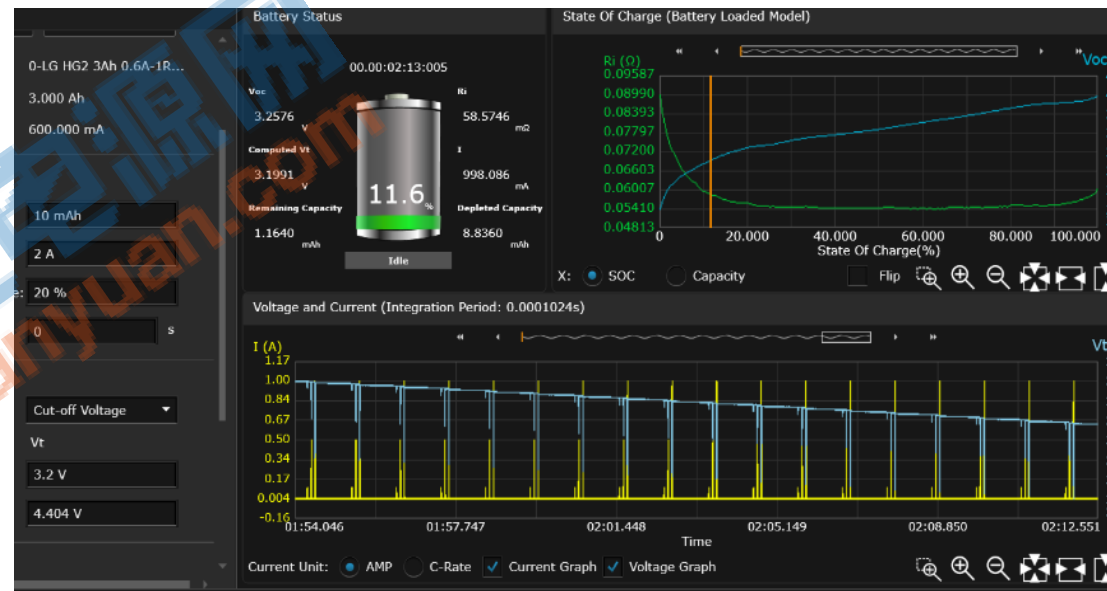
# 电池的续航

## 电池“剩余电量”的困惑二

负载一： 恒定的电流



负载二： 脉冲的电流



案例一： 同一款电池， 给不同的负载供电， 相同的平均电流

- 负载一： 2.4% 剩余电量时， 电池进入低压保护
- 负载二： 11.6% 剩余电量时， 电池进入低压保护



# 电池续航时间的评估

问题



平均功耗电流:  $xx \text{ mA}$

$$\text{续航时间} = \frac{yy \text{ mAh}}{xx \text{ mA}}$$

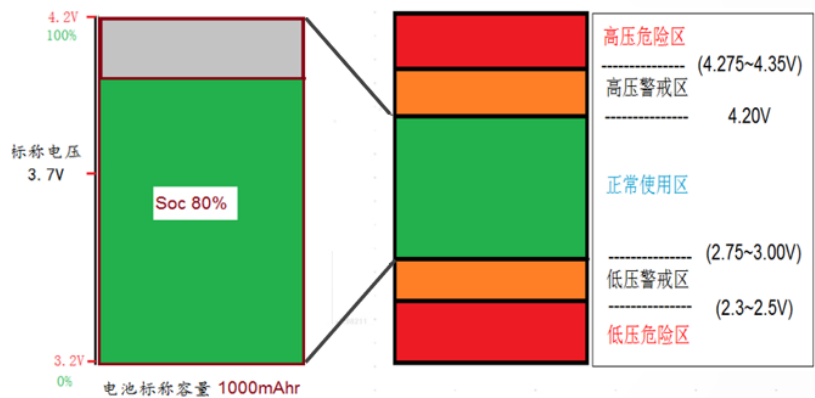
靠谱吗?



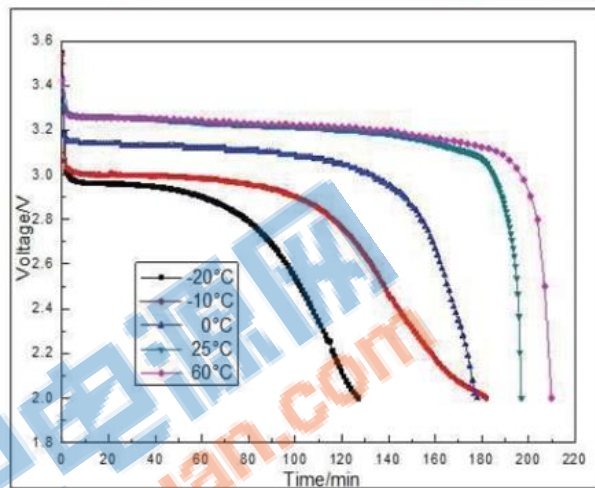
电池容量:  $yy \text{ mAh}$



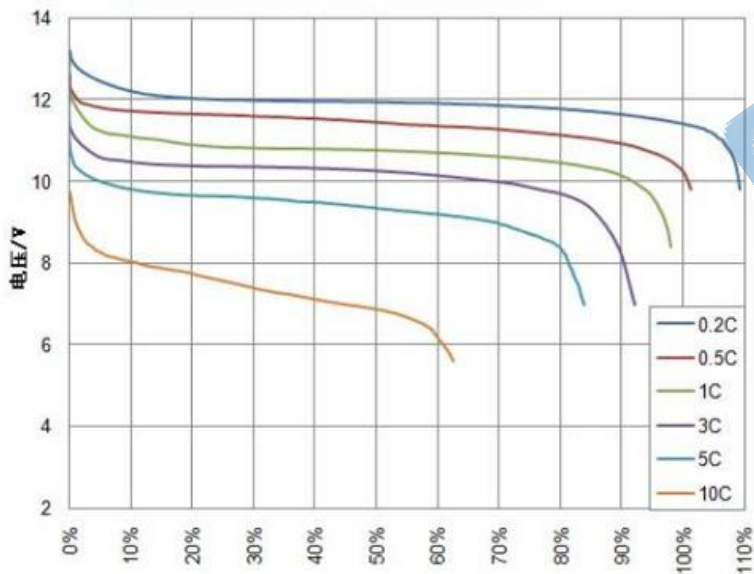
# “电池黑盒子” 主要的特性曲线?



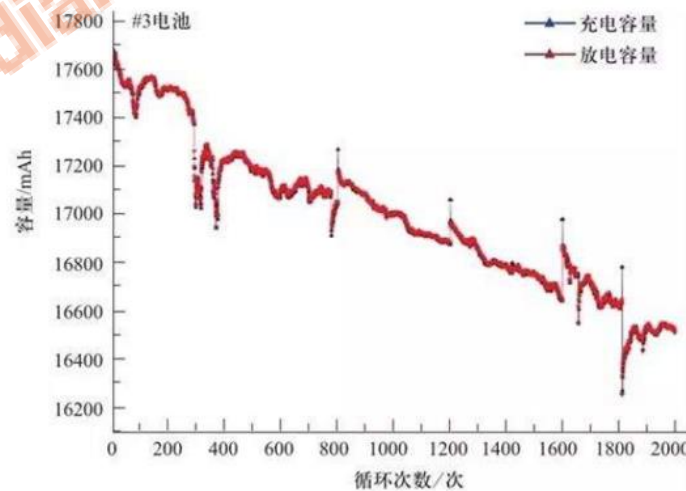
### 放电容量VS温度



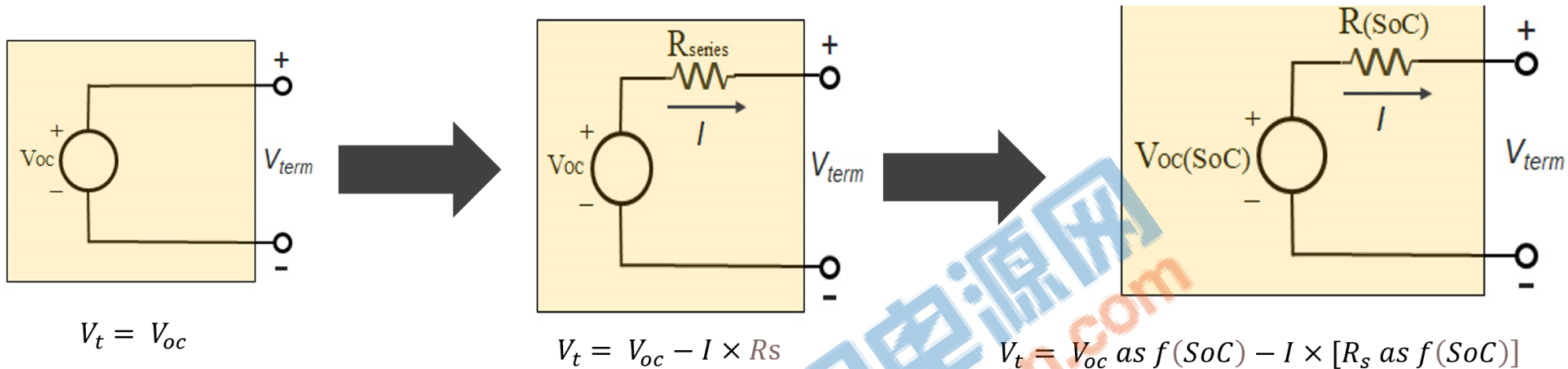
### 放电容量VS倍率



### 循环寿命和容量衰减



# 直流电源 Vs 电池模型



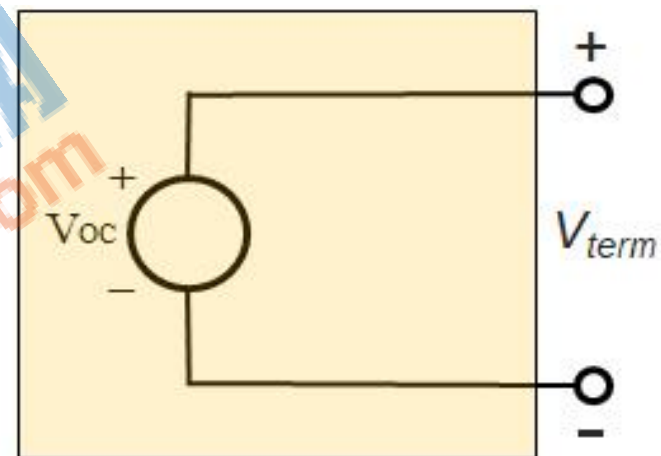
$$V_t = V_{oc}$$

$$V_t = V_{oc} - I \times R_s$$

$$V_t = V_{oc} \text{ as } f(\text{SoC}) - I \times [R_s \text{ as } f(\text{SoC})]$$

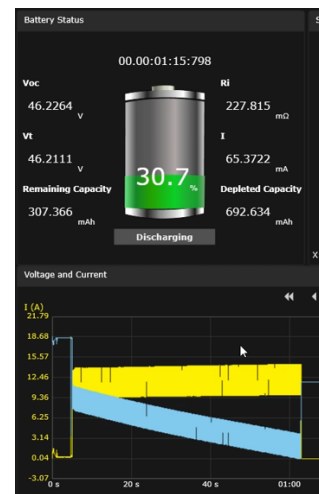
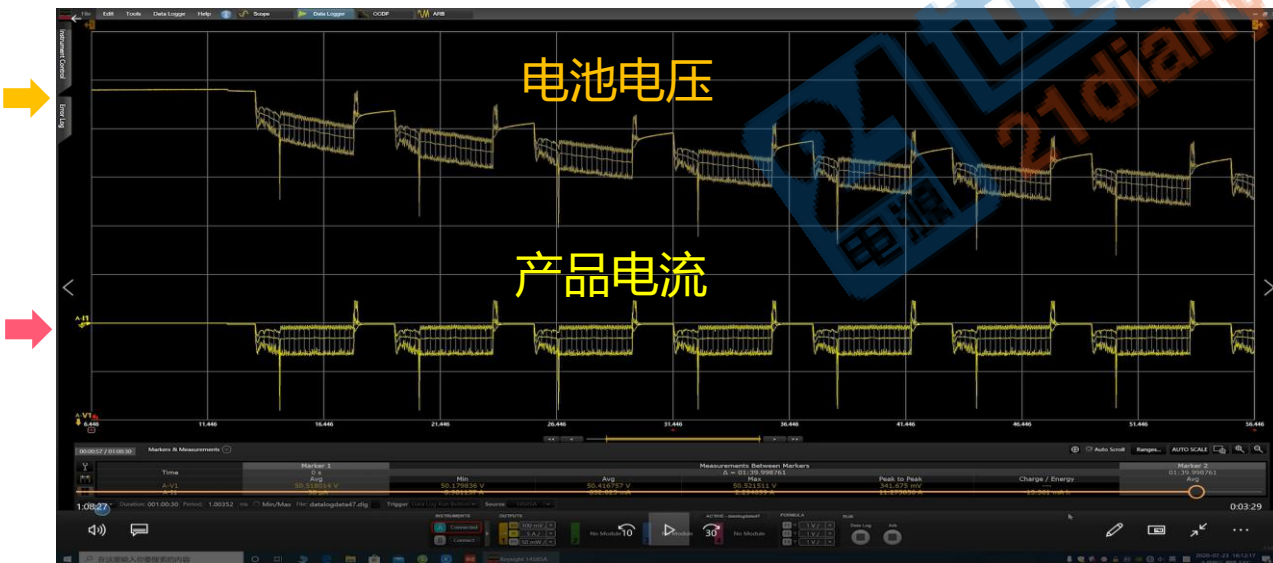
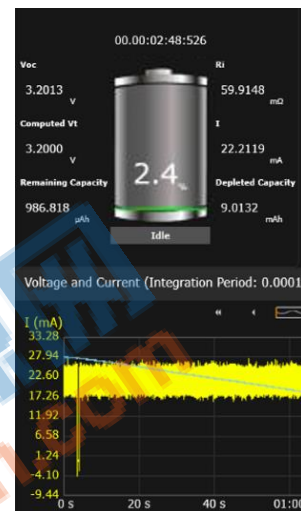
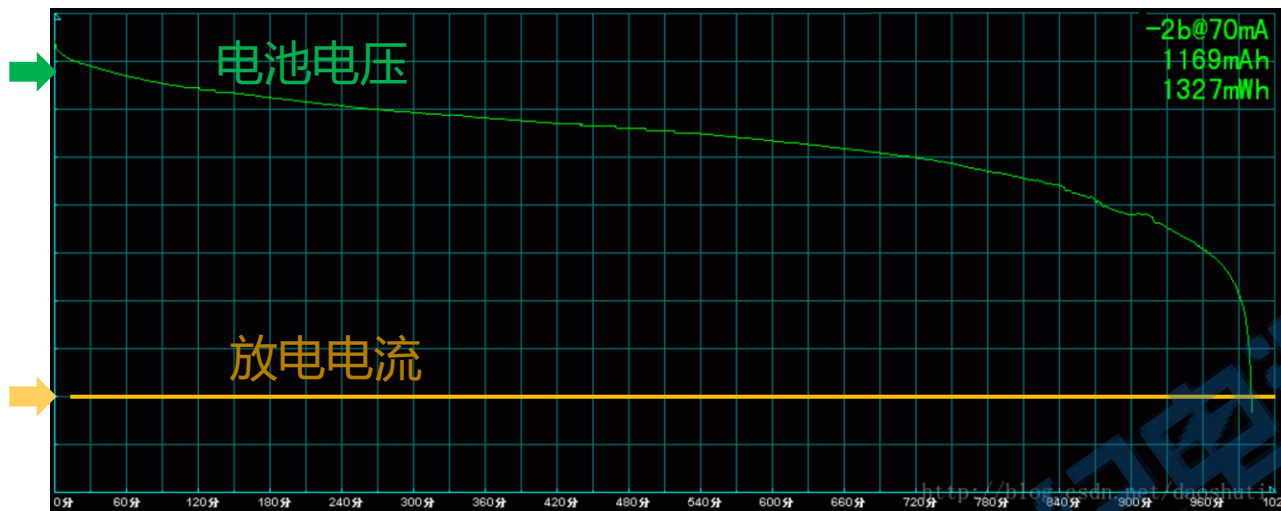
$$V_t = V_{oc} \text{ as } f[\text{SoC}(I, t, T)] - I \times \{R_s \text{ as } f[\text{SoC}(I, t, T)]\}$$

$$V_t = V_{oc} \text{ as } f[\text{SoC}(I, t)] - I \times \{R_s \text{ as } f[\text{SoC}(I, t)]\}$$

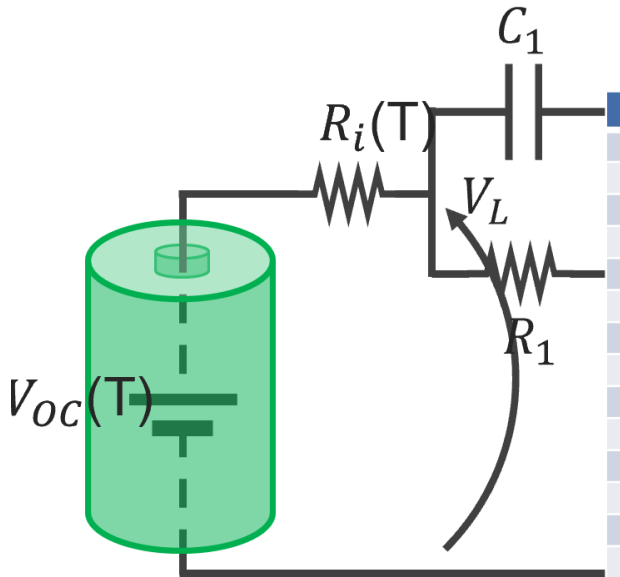


是否可以用“**直流电源**”代替“**电池**”进行测试验证？

# 标称容量 VS. 有效容量 (100%--剩余容量)



# 电池模型提取 (Profiler)



$$V_L = V_{OC} - I \cdot R_i - I \cdot Z_1$$

SoC(%)	Voc(V)	Ri(ohm)
100.00	4.18	0.086
99.50	4.14	0.086
99.00	4.12	0.086
98.50	4.11	0.085
98.00	4.10	0.085
97.50	4.09	0.085
97.00	4.08	0.085
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
2.00	3.07	0.085
1.50	3.04	0.085
1.00	3.01	0.085
0.50	2.97	0.085
0.00	2.93	0.085

Operation Mode: Profiler

Function: Discharge



创建电池模型

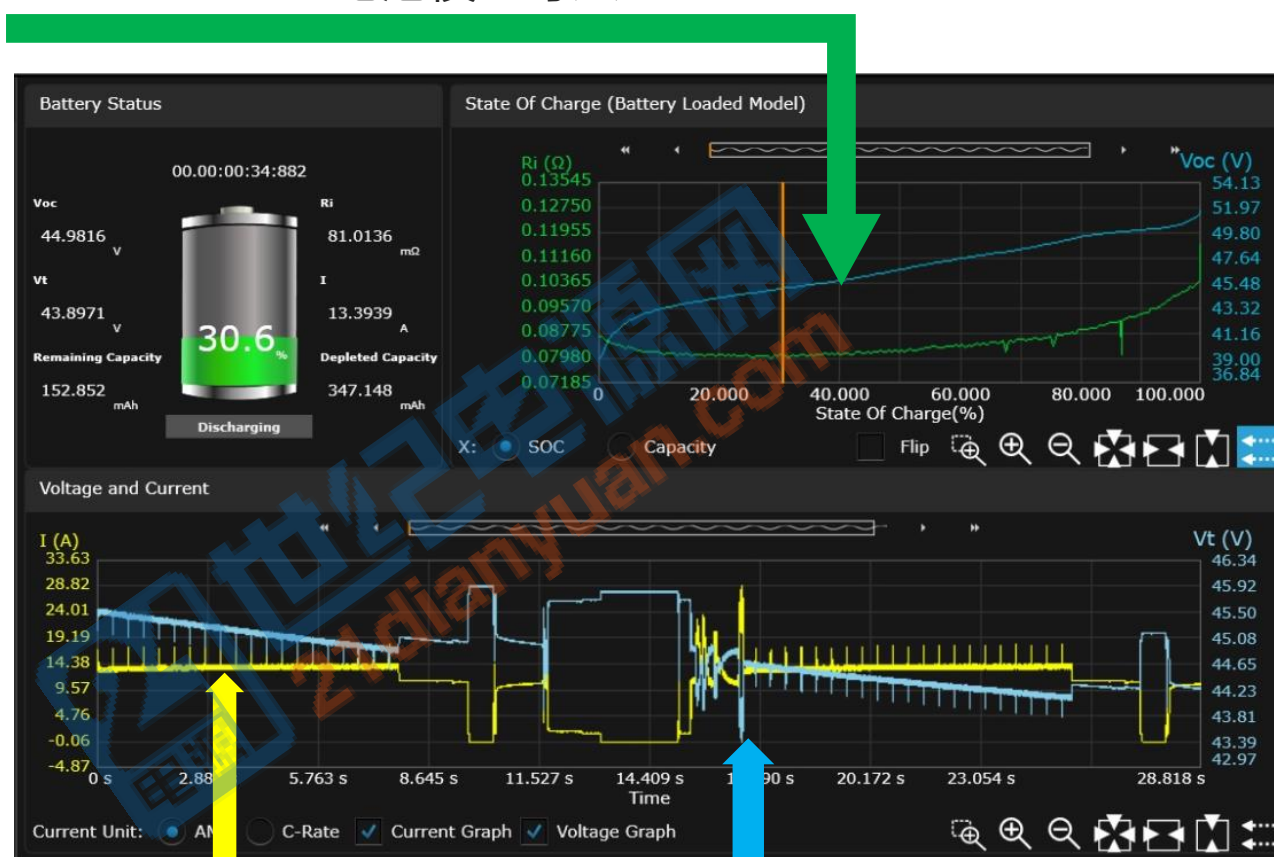


# 电池模拟器 (Emulate)

Operation Mode:  Emulate

DCR	Voc	Ahr	Soc	ΔVoc
0.027	3.440	0.000	0.000	0.000
0.026	3.657	0.040	4.279	0.217
0.027	3.716	0.081	8.605	0.059
0.028	3.735	0.123	12.983	0.019
0.029	3.762	0.163	17.298	0.027
0.030	3.788	0.204	21.643	0.025
0.031	3.811	0.246	26.065	0.023
0.031	3.828	0.288	30.511	0.017
0.031	3.841	0.330	34.895	0.012
0.030	3.852	0.371	39.247	0.012
0.030	3.866	0.412	43.597	0.014
0.029	3.882	0.453	47.950	0.016
0.029	3.900	0.494	52.295	0.018
0.028	3.922	0.535	56.644	0.022
0.028	3.948	0.576	60.990	0.025
0.027	3.976	0.617	65.336	0.029
0.027	4.006	0.658	69.703	0.030
0.027	4.037	0.699	74.050	0.031
0.027	4.070	0.740	78.412	0.033
0.027	4.105	0.782	82.768	0.035
0.027	4.143	0.823	87.121	0.037
0.027	4.182	0.864	91.462	0.039
0.028	4.213	0.904	95.710	0.031
0.028	4.236	0.944	100.000	0.024

## 电池模型导入



实时电流波形

实时电压波形

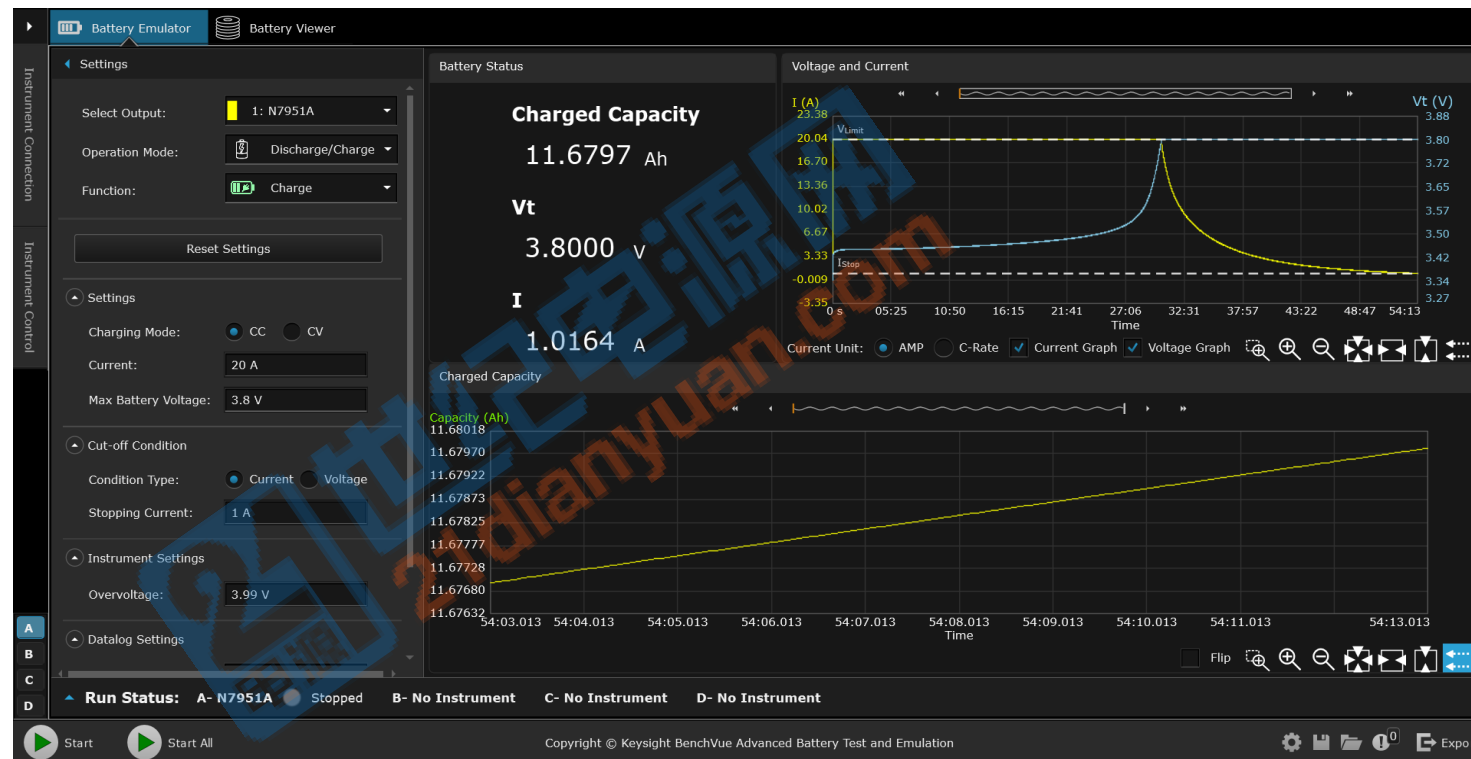
# 充放电功能验证 (Discharge/Charge)

## 充电功能

- 恒流CC + 恒压 CV
- 恒压CV

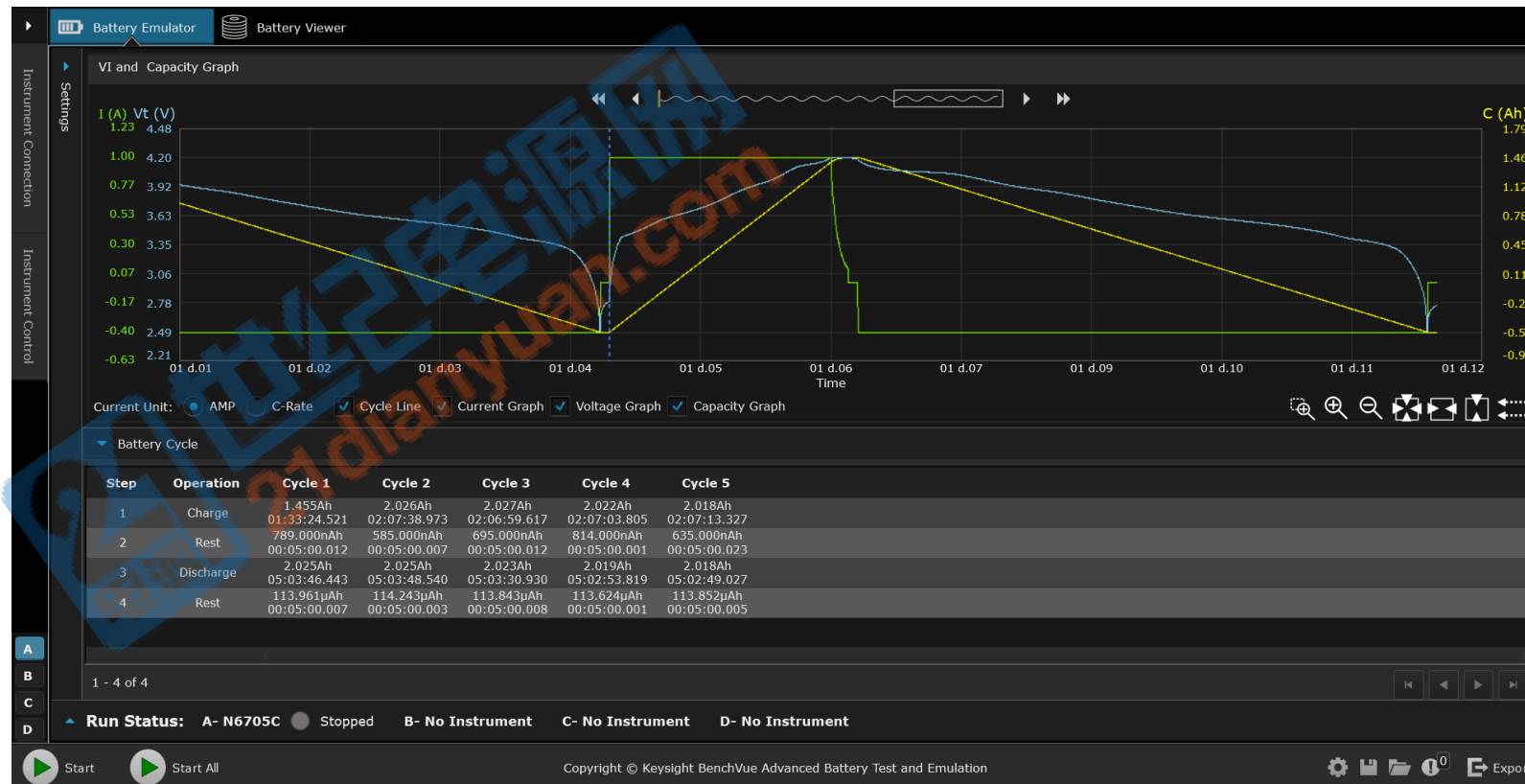
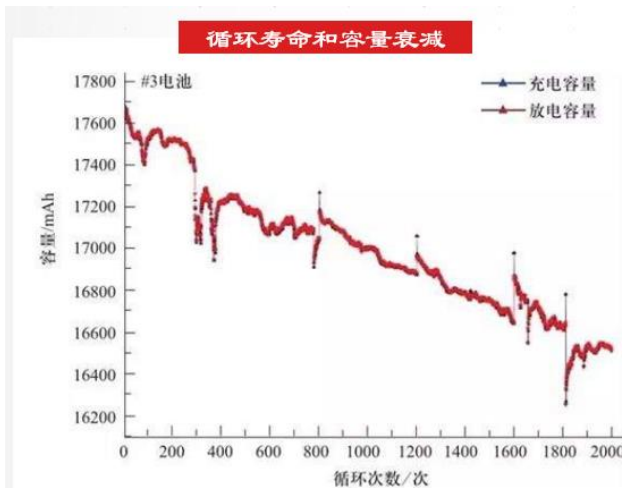
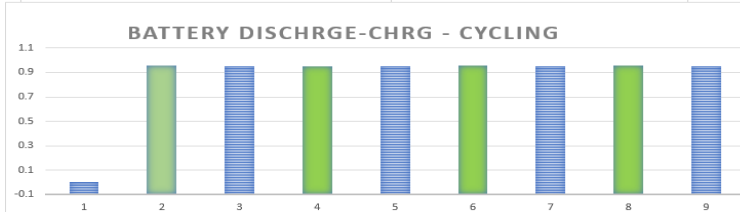
## 放电功能

- 恒流CC
- 恒阻CR
- 恒功率CP
- 产品实测的电流波形



# 循环充放电和容量衰减测试 (Cycling)

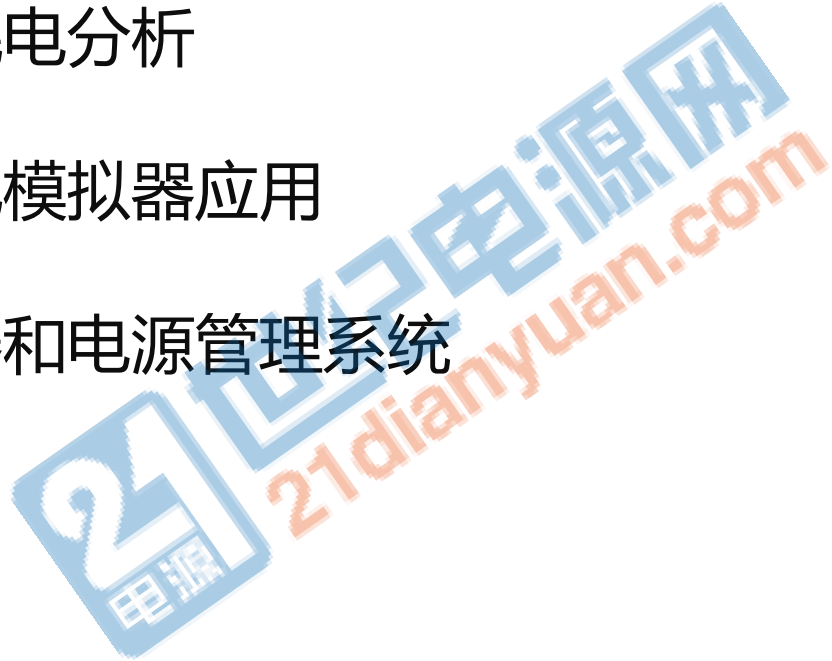
Set (Dischr_Charg_Cycle_index)	Set (AHour)
1	0.001211069
2	0.9590132
3	0.9497363
4	0.9537523
5	0.9503627
6	0.9542792
7	0.9509925
8	0.9544028
9	0.9528654





## 内容:

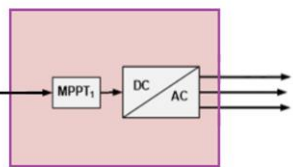
- ✓ 无人机、卫星载荷的耗电分析
- ✓ 电池的模型提取和电池模拟器应用
- ✓ 卫星太阳能阵列模拟器和电源管理系统



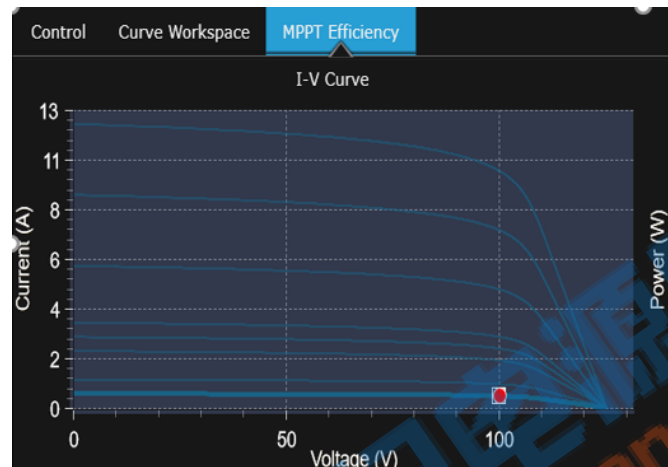
# 地面新能源光伏发电系统测试方案



PV8900光伏模拟器

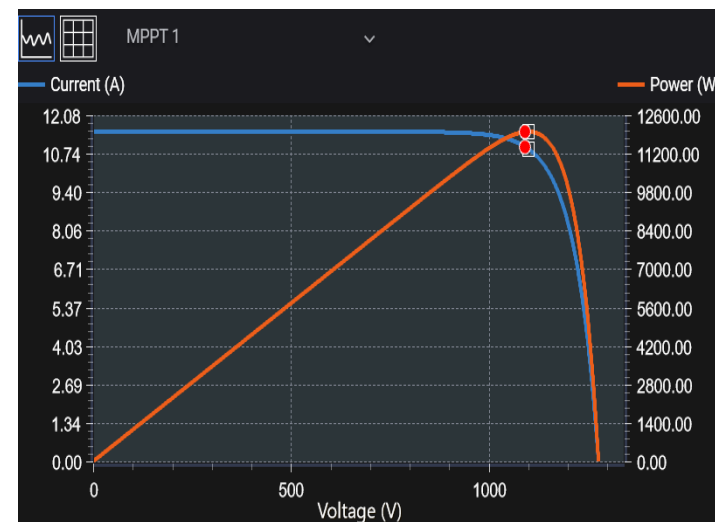
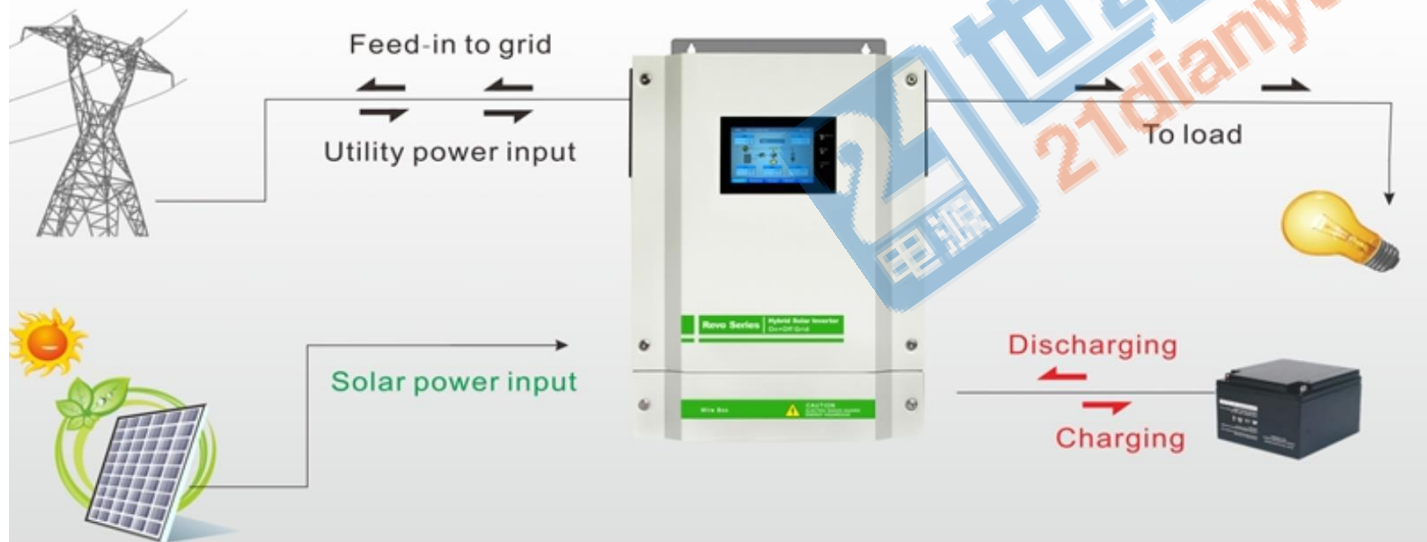


光伏逆变器

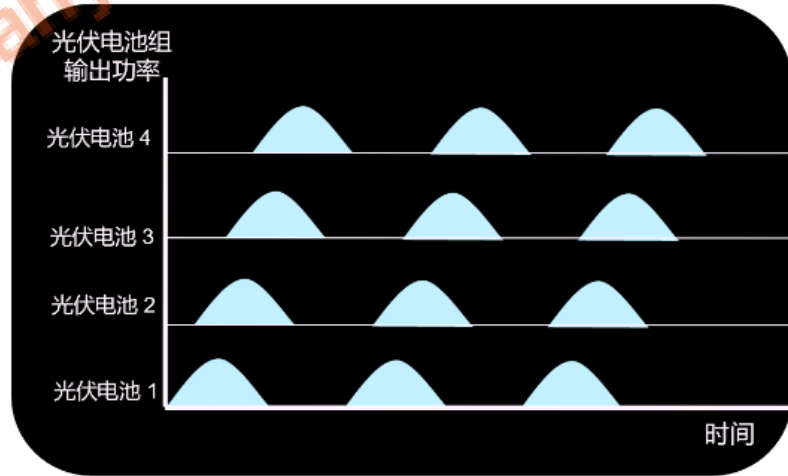
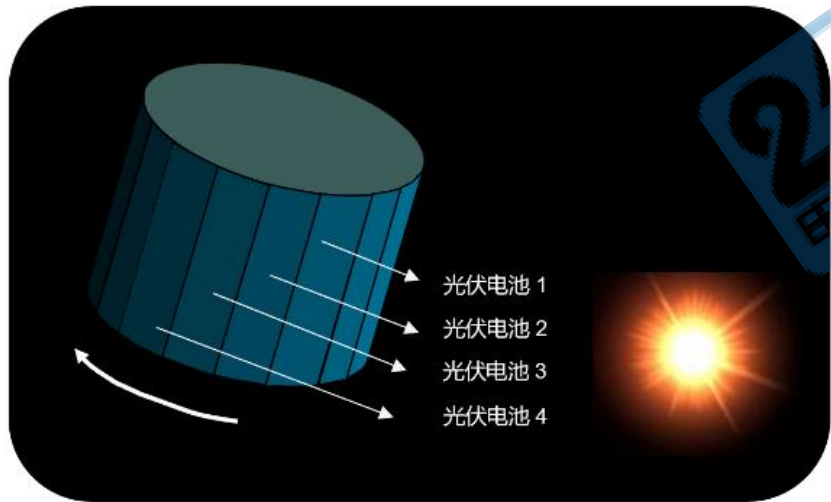
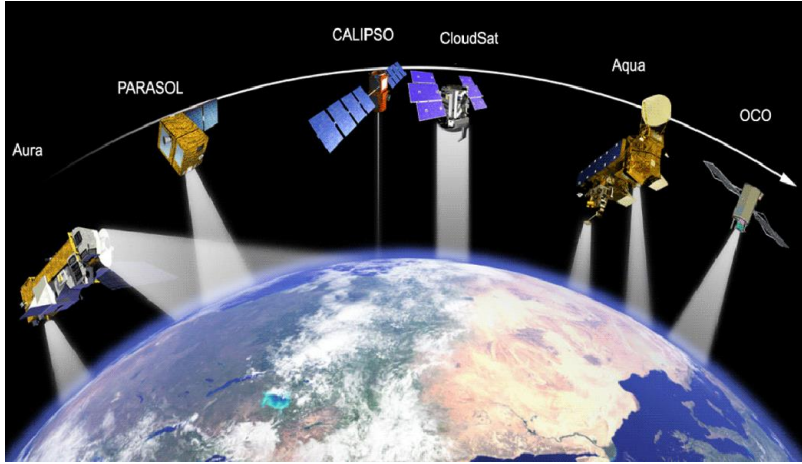


EN50530 Dynamic MPPT	Custom Static MPPT	Custom Dynamic MPPT	Estimated Time: 07:00:46
100-500	10	14	28.6
100-500	10	20	20
100-500	10	30	13.3
100-500	10	50	8
300-1000	10	10	70
300-1000	10	14	50
300-1000	10	20	35
300-1000	10	30	23.3
300-1000	10	50	14
300-1000	10	100	7
10-100	1	0.1	980

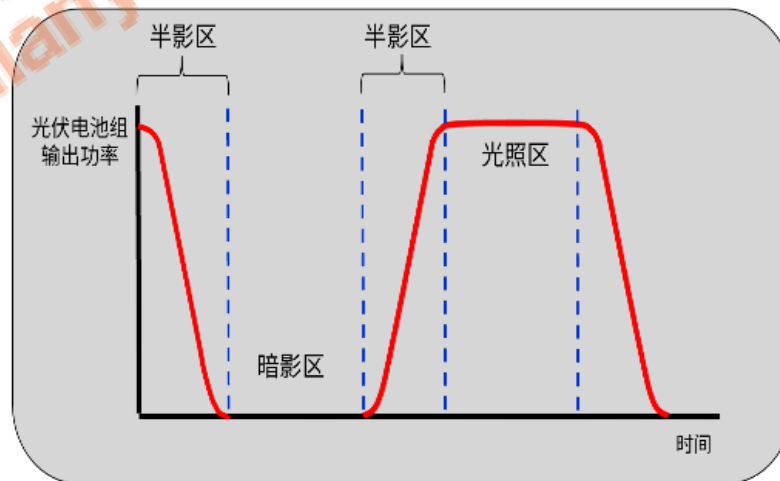
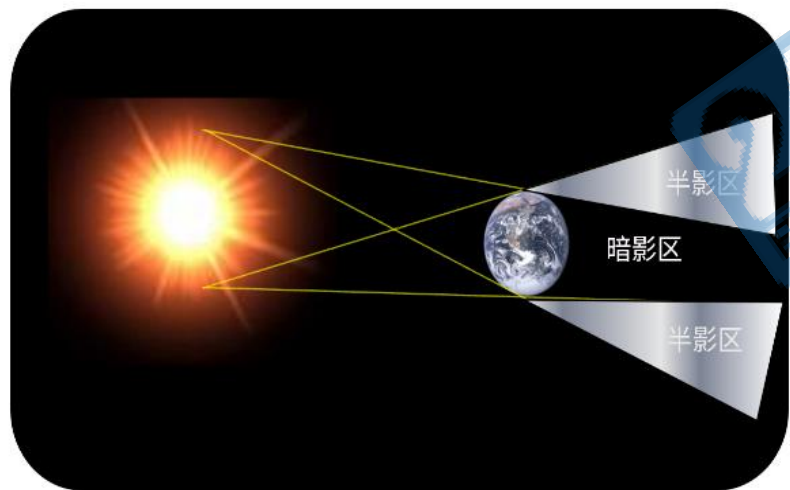
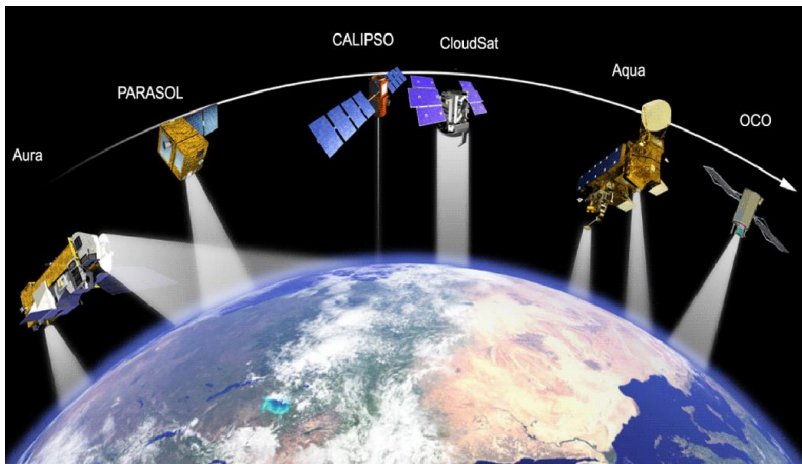
EN50530 静态/动态MPPT测量



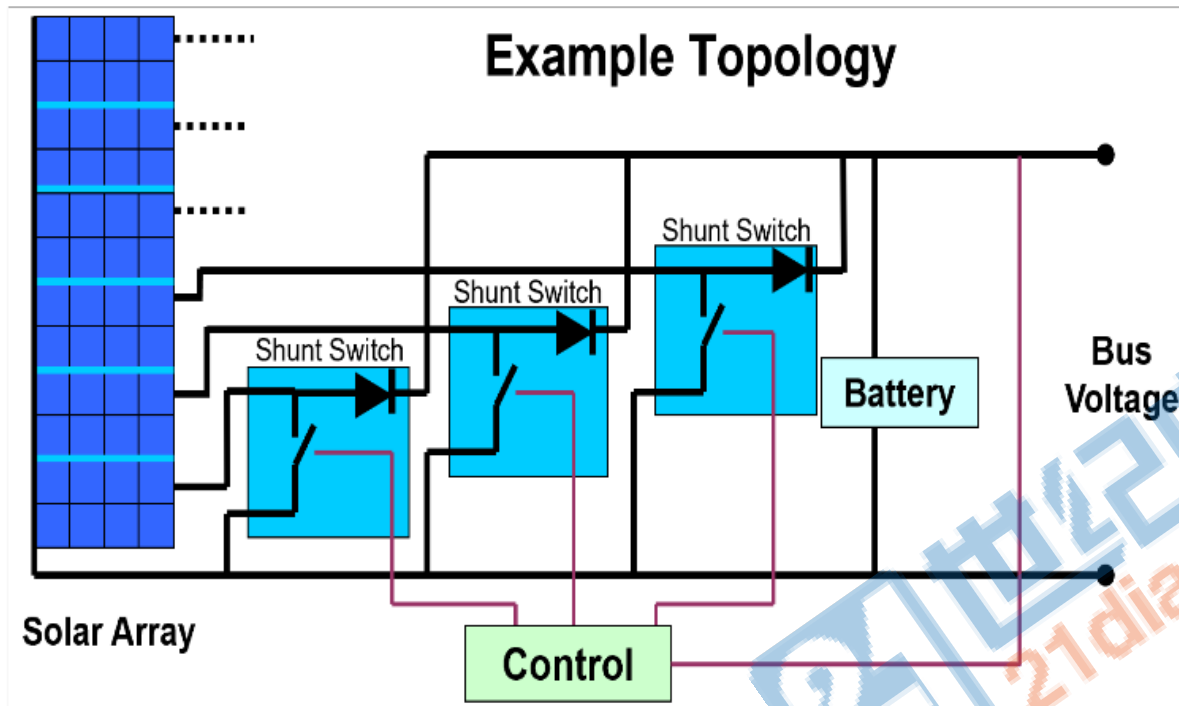
# 卫星或航天器的光伏发电系统



# 卫星或航天器的光伏发电系统



# E4360A系列光伏阵列模拟器SAS



## E436XA 光伏阵列模拟器

- 主机+模块
- 尺寸 2U
- 单台主机支持模块数量2个
- 主机功率 1200W
- 模块最大功率 600W
- 输出容抗 < 50nF
- 电流源恢复时间 < 5 $\mu$ S
- INH保护响应时间 < 5 $\mu$ S
- 最大时序开关频率 < 50KHz



E4360A SAS主机, 1200W



E4361A  
65V, 8.5A, 510W



E4362A  
130V, 5A, 600W



# MP4300A系列光伏阵列模拟器SAS

新品上市

- 相同的2U高度
- 主机功率提升至10KW
- 模块功率提升至1400W
- 单台主机支持模块数量提升至6个
- 输出电压电流覆盖更宽
- 支持双向无缝电流输出或吸收
- 触摸屏操控，设置和显示更简洁

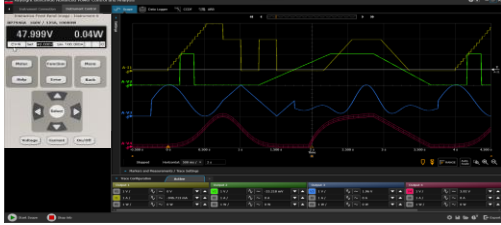


# 卫星电源控制单元PCDU “一站式” 测试



# 小结

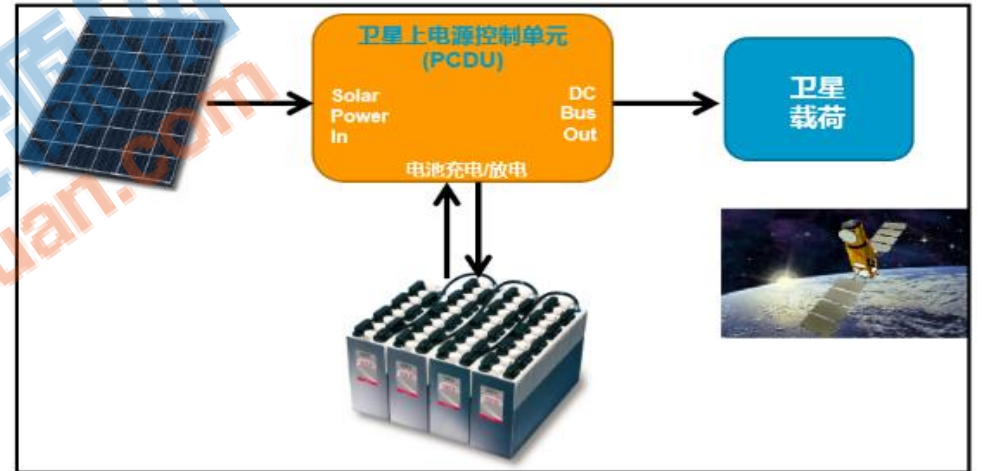
✓ APS+BV9200软件飞机和卫星的功耗分析



✓ APS+BV9210电池模型提取和电池模拟器



✓ MP4300卫星分配电源PCDU “一站式” 测试





演示更精彩



# Backup

从时间的维度看，在打造低轨卫星互联网这件事情上，中国航天业是和SpaceX站在同一条起跑线上的。2018年，中国航天科技集团有限公司（下称“航天科技”）和中国航天科工集团有限公司（下称“航天科工”）这两大中国航天巨头，各自官宣了一个低轨通信卫星星座的建设计划，分别名为“虹云工程”和“鸿雁全球卫星星座系统”（下称“鸿雁星座”）。

- 虹云工程和鸿雁星座都只规划了几百颗卫星，这种体量很难实现大面积覆盖的低延时、高通量卫星互联网服务。**GW项目**，实际上是在虹云工程和鸿雁星座的基础上做了一次升级整合。2020年9月，我国向国际电信联盟（ITU）递交了一份卫星频谱分配文件，申请了高达**12992颗卫星**的频谱分配。文件也曝光了两个名为GW-A59和GW-2的低轨宽带卫星星座计划。2021年初，中国卫星网络集团有限公司（下称“中国星网”）在雄安新区成立。

从2020年9月GW计划曝光到2023年5月1日，仅SpaceX所主导的星链项目就发射了3942颗卫星，而中国仅发射了263颗卫星，且其中至少有94颗卫星的应用领域为遥感方向。

- 上海牵头打造“**G60星链**”（又名“**千帆星座**”），“G60星链”是一个包含了12000多颗组网卫星。上海松江加快开辟新领域新赛道，主体为“垣信卫星”、“格思航天G60卫星数字工厂”。2018年成立，2019年完成试验星发射，2023年首星下线，2024年至少完成108颗卫星组网并运营，三年内完成一期1296颗卫星部署。
- 2024年5月24日，鸿擎科技向国际电信联盟（ITU）提交了预发信息（API）。该文件概述了一个名为Honghu-3（**鸿鹄-3**）的星座的计划，它将在160个轨道平面上总共发射1万颗卫星。

“我认为目前在**时间上已经没有可以（商量）的余地**了。” “太空看起来广袤无垠，但实际上可利用、‘好用’的轨道资源有限，而这些轨道上价值较高的‘点位’更是稀缺。无线电频率是一种不可再生资源，对通信、广播、信息网络等领域极其重要。无线电频率是自然界存在的物理量，无法增加也不会减少，因此极度珍贵。”

“**先到先得**”原则，卫星运营商向国际电信联盟申请一个低轨星座和通信频段后，必须在7年内发射一颗卫星并正常运行90天，在这之后，5年内需要发射申请卫星总量的50%，7年后需将申请的卫星数量全部发射完毕。

“地球近地轨道大约可以容纳6万颗卫星，从2020年申请，到现在算下来还剩10年的时间，10年要完成2万颗卫星的发射任务，这是一个非常艰巨的任务。”，星网GW和垣信G60的压力都非常大。



申报日期	归属单位	星座名称	卫星数量
2023.04-12	垣信	SAILSPACE	29338
2023.02	-	SPECSTAR	16231
2023.04-12	中国星网	CSN	13992
2023.12	中交信息	MOTS	8960
2023.08-12	银河航天	BLACKSPIDER	7216
2023.12	新星航天	CHNHTSAT-LEO	1128
2023.03	-	ASIASAT-NGSO	399
2023.12	对地观测	GC-VHF	300
累计(颗)	-	-	77494

图：中国星座申报情况，来源：ITU，国盛证券研究所

# 卫星能否按计划持续部署，往往决定星座最终成败



Source: 泰伯智库整理。

版权声明：本报告版权归泰伯智库所有，未经授权许可，不得擅自引用或将报告内容外泄。Copyright@2024, Beijing Taibo Co., Ltd. All Rights Reserved.

图：国内外星座（部分）发展变化，来源：泰伯智库