东方中科

新三代光伏逆变器和储能系统的测试

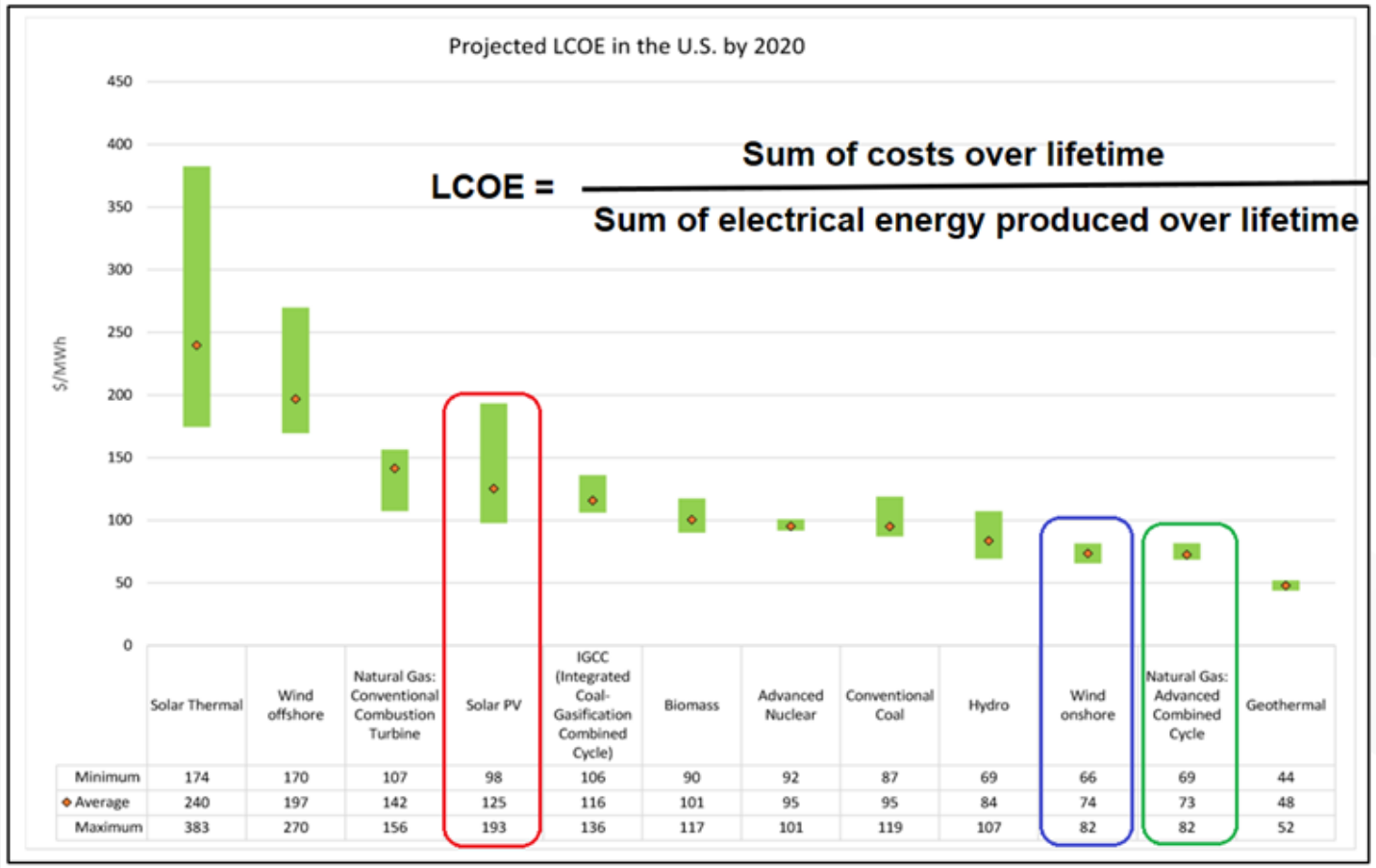
科 技 无 限　　服 务 创 新

新能源的发展机遇与挑战

以电池+为代表的储能和设备市场需求激增

光伏发电的盈利核心问题

LCOE 平准化度电成本



	Solar Thermal	Wind offshore	Natural Gas: Conventional Combustion Turbine	Solar PV	IGCC (Integrated Coal-Gasification Combined Cycle)	Biomass	Advanced Nuclear	Conventional Coal	Hydro	Wind onshore	Natural Gas: Advanced Combined Cycle	Geothermal
Minimum	174	170	107	98	106	90	92	87	69	66	69	44
Average	240	197	142	125	116	101	95	95	84	74	73	48
Maximum	383	270	156	193	136	117	101	119	107	82	82	52

影响度电成本的核心

- 建设系统成本
- 发电量和效率
- 维护成本

技术手段

- 采用更高效的光伏板
- 不断提升转换效率
- 减少弃光率、峰谷差价

我们今天的内容：

✓降低光伏度电成本的核心手段

✓2000V高压、大功率、高精度光伏逆变器测试

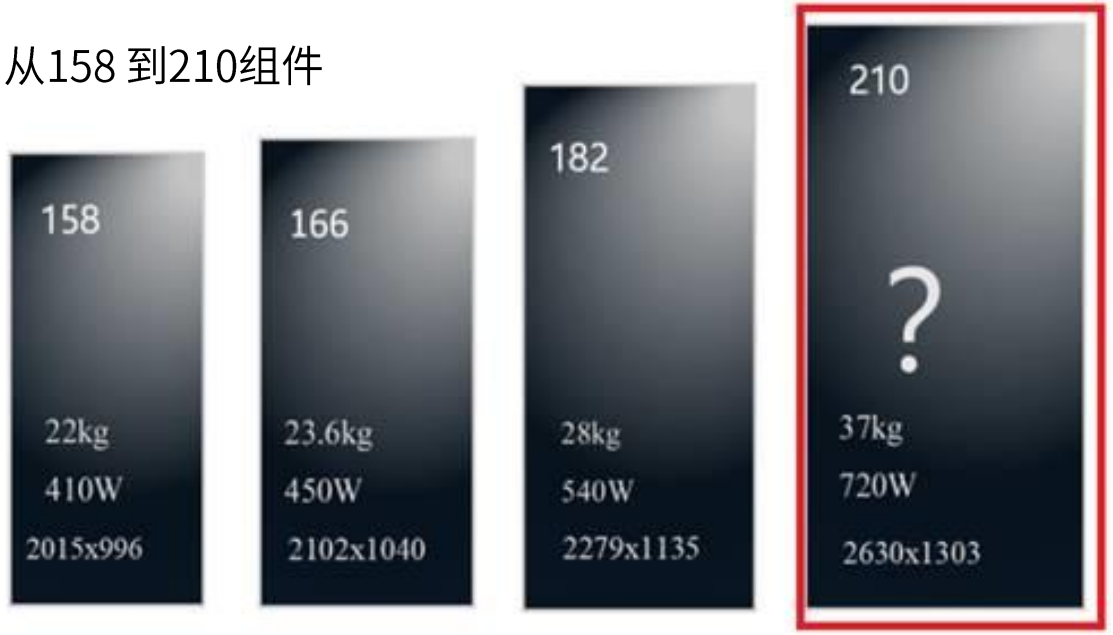
✓ 电池模拟、优化储能电池选型和逆变器的设计

✓动力电池“快速温升”应对电动汽车低温困局

降低度电成本的核心手段一

更高效的光伏面板、更高的电压

从158 到210组件



首页 光伏要闻 光伏政策 光伏财经 市场分析 企业动态 光伏评论 工程

助力平价上网逆变器冲刺2000V

25 04月 2021

鉴衡认证 16:26

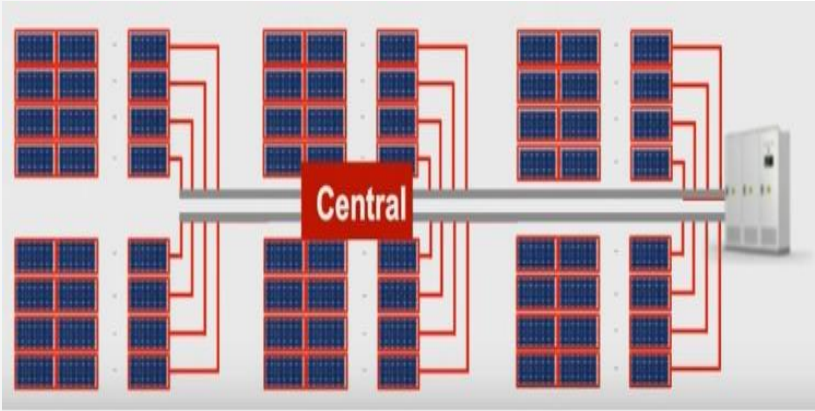
2021年4月22日，北京鉴衡认证中心在京组织召开《2000V光伏并网逆变器及其零部件技术要求及标准现状》研讨会，阳光电源股份有限公司作为重点技术支持单位参与本次会议。

鉴衡纪振双副主任主持本次会议，自华为、固德威、正泰、科华、科士达等逆变器企业，以及IGBT、连接器、断路器、熔断器、传感器、电容、电缆等关键零部件企业近50位专家代表参加了本次研讨会。

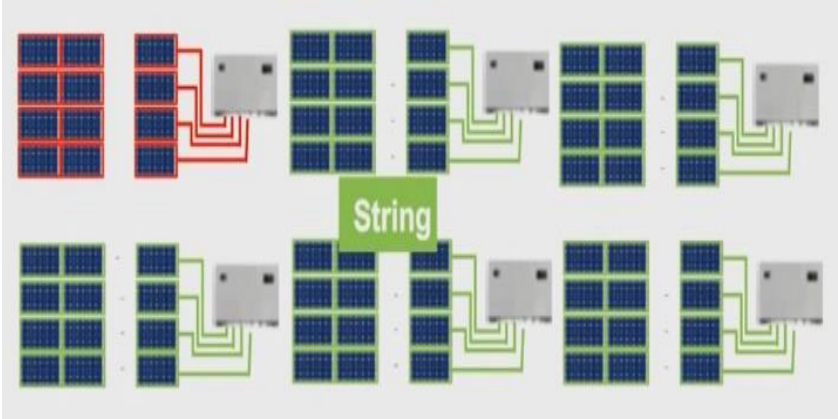
会上，专家就2000V逆变器的整体指标趋势与技术要求展开探究，主要含电压提升对逆变器的设计、关键元器件/原材料选型、参考标准体系的变化；涉及关键部件的现状及要求以及关键部件为适应2000V电压等级所面临的挑战、技术革新；2000V设备对测试能力的要求。

降低度电成本的核心手段二

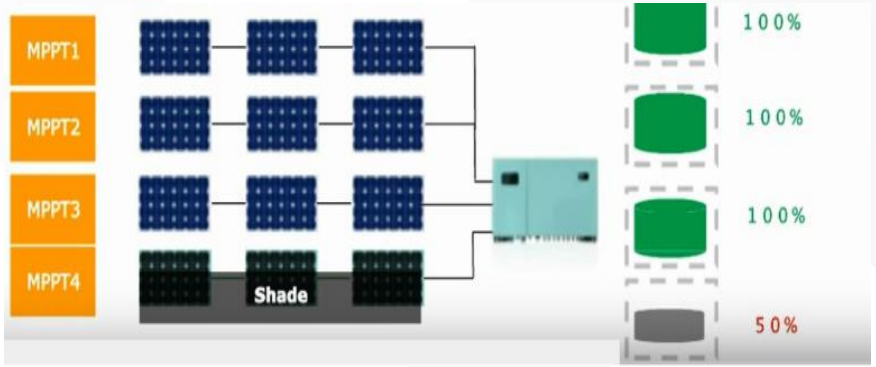
光伏逆变器的演进路线



第1代，集中式



第2代，组串式-低压系统 <1000V

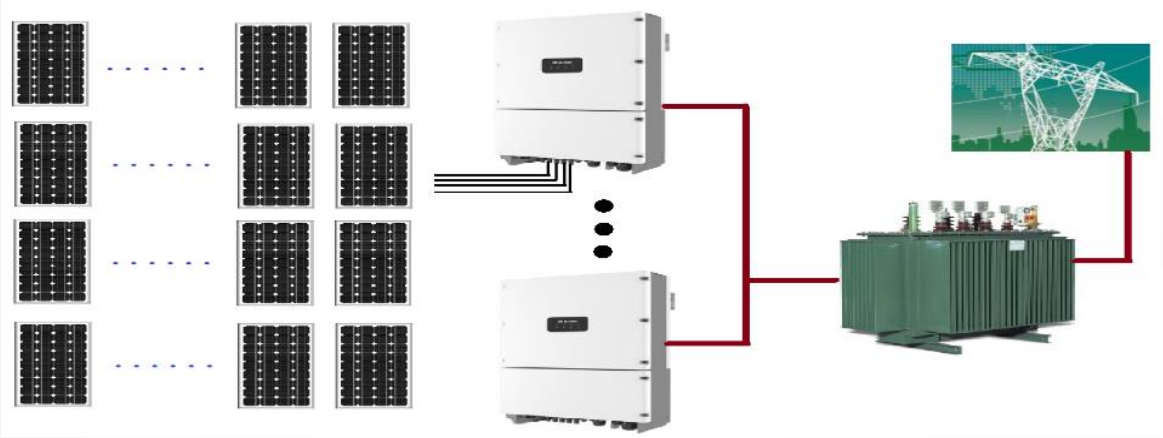


第3代，组串-高压系统 ，1500V

?

降低度电成本的核心手段二

利用高压、组串式结构， 降低成本



	1500V 系统	1000V系统
每个组串数 （280W/p）	30	20
并联子串数	334	501
单串功率 / 逆变器功率（8串）	8.4KW / 64KW	5.6KW / 44.8KW
逆变器台数/汇流箱台	42 / 21	60 / 30

- 直流侧输入电压提高后，每串可连接更多组件，比传统的600V/1000V系统组串长度可以增加50%
- 子串数量减少了167个， 逆变器数据减少18个，汇流箱数量减少了9个
- 直流侧线缆使用量减少，汇流箱、直流柜、逆变器的单位功率密度提升，安装、维护等方面工作量也减少
- 同第一代系统对比，1500V光伏发电系统，度电成本可降低 30%

降低度电成本的核心手段三

光储一体的系统， 减少弃光率

减少弃光率， 降低光伏发电的总体成本

- 弃光率增加1%，即意味着光伏成本上涨1.2%

国家发展改革委关于
进一步完善分时电价机制的通知

发改价格〔2021〕1093号

国家发展改革委
2021年7月26日

各省、自治区、直辖市发展改革委，国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司：

为贯彻落实党中央、国务院关于深化电价改革、完善电价形成机制的决策部署 服务以新能源为主体的新型电力系统建设，促进能源绿色低碳发展，现就进一步完善分时电价机制有关事项通知如下。

一、总体要求

适应新能源大规模发展、电力市场加快建设、电力系统峰谷特性变化等新形势新要求，持续深化电价市场化改革、充分发挥市场决定价格作用，形成有效的市场化分时电价信号。在保持销售电价总水平基本稳定的基础上，进一步完善目录分时电价机制，更好引导用户削峰填谷、改善电力供需状况、促进新能源消纳，为构建以新能源为主体的新型电力系统、保障电力系统安全稳定经济运行提供支撑。

二、优化分时电价机制

（一）完善峰谷电价机制。

1.科学划分峰谷时段。各地要统筹考虑当地电力供需状况、系统用电负荷特性、新能源装机占比、系统调节能力等因素，将系统供需紧张、边际供电成本高的时段确定为高峰时段，引导用户节约用电、错峰避峰；将系统供需宽松、边际供电成本低的时段确定为低谷时段，促进新能源消纳、引导用户调整负荷。可再生能源发电装机比重高的地方，要充分考虑新能源发电出力波动，以及净负荷曲线变化特性。

2.合理确定峰谷电价价差。各地要统筹考虑当地电力系统峰谷差率、新能源装机占比、系统调节能力等因素，合理确定峰谷电价价差，上年或当年预计最大系统峰谷差率超过40%的地方，峰谷电价价差原则上不低于4:1；其他地方原则上不低于3:1。

我们今天的内容：

✓降低光伏度电成本的核心手段

✓2000V高压、大功率、高精度光伏逆变器测试

✓ 电池模拟、优化储能电池选型和逆变器的设计

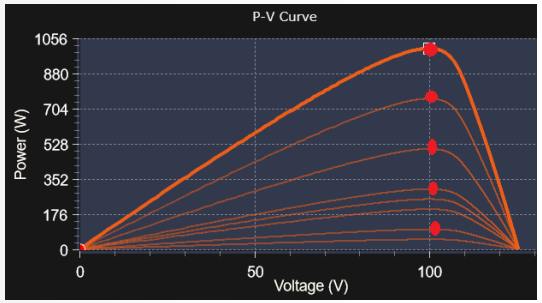
✓动力电池“快速温升”应对电动汽车低温困局

基于APS先进电源系统的光储一体化测试方案

全面考虑光伏逆变和储能系统的性能

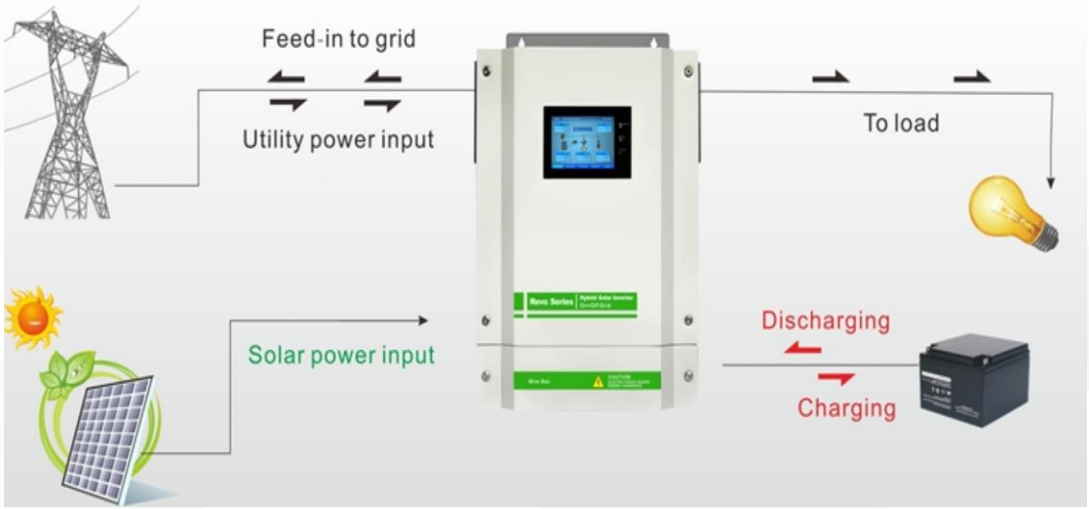
RP7983A 30KW/2000V/±30A

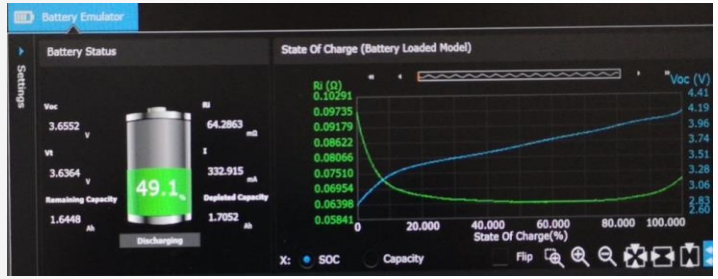
RP7982A 30KW/1000V/±90A



DG9000A 12通道独立MPPT软件

全面验证光伏逆变系统指标



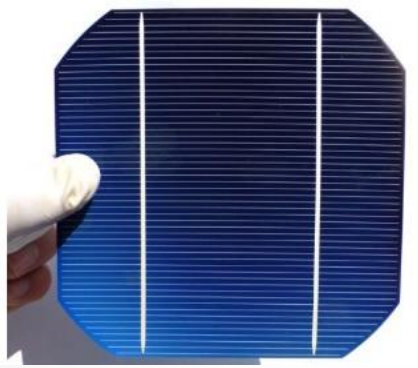


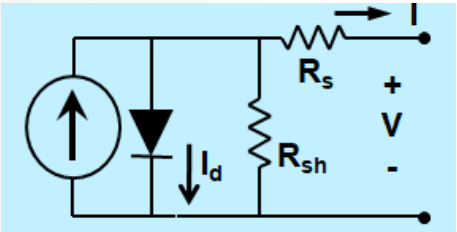
BV9210 电池分析和模拟器软件

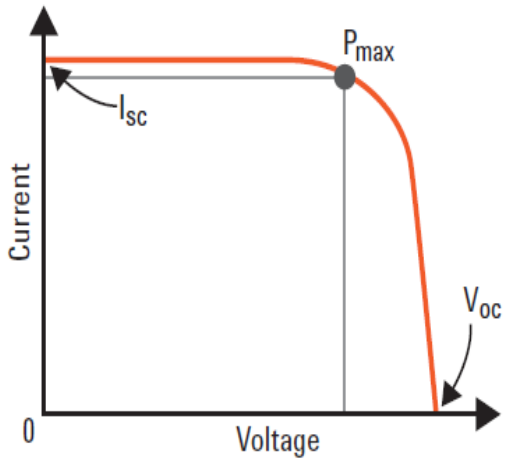
对储能电池和逆变器进行深层分析

光伏逆变器测试挑战

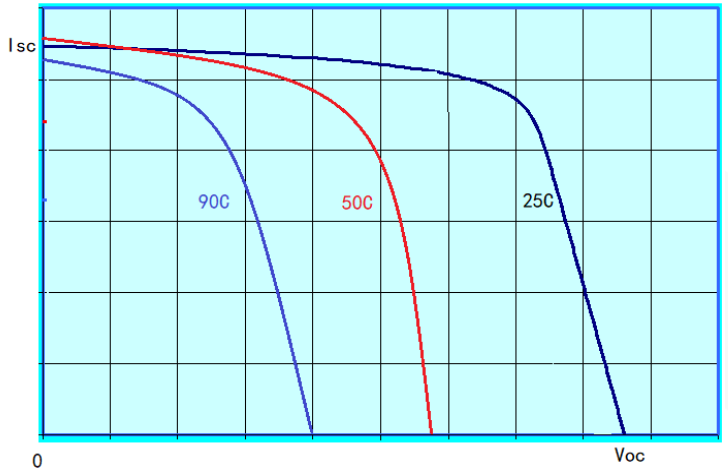
光伏电池的特性

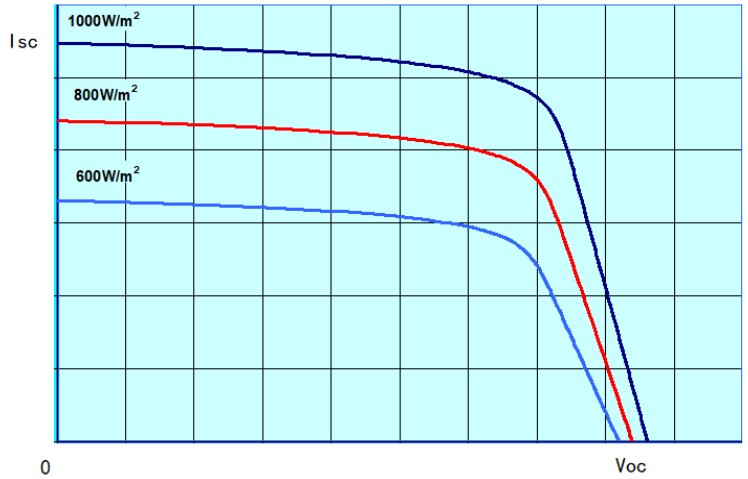






Solar cell I-V curve

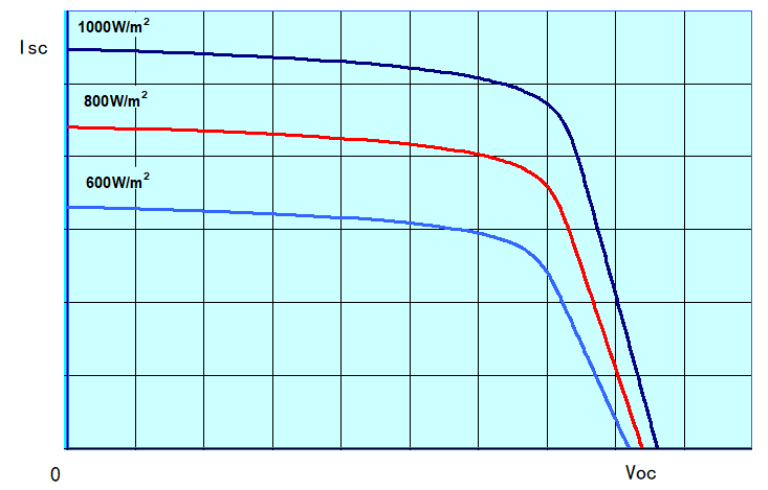


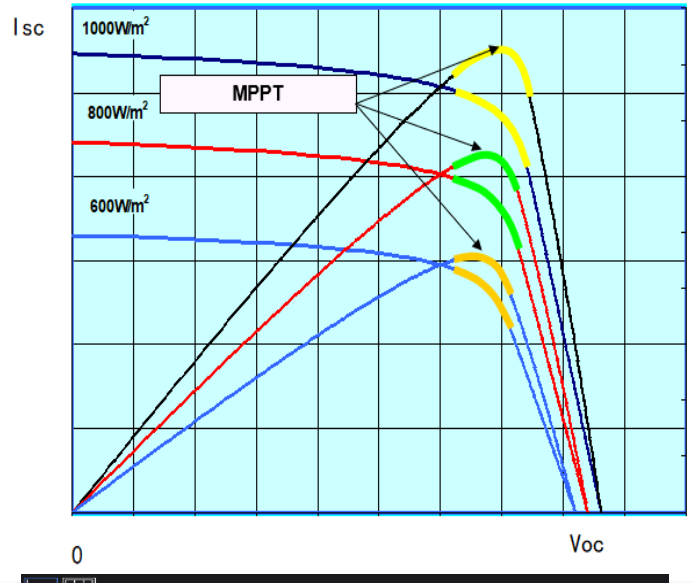


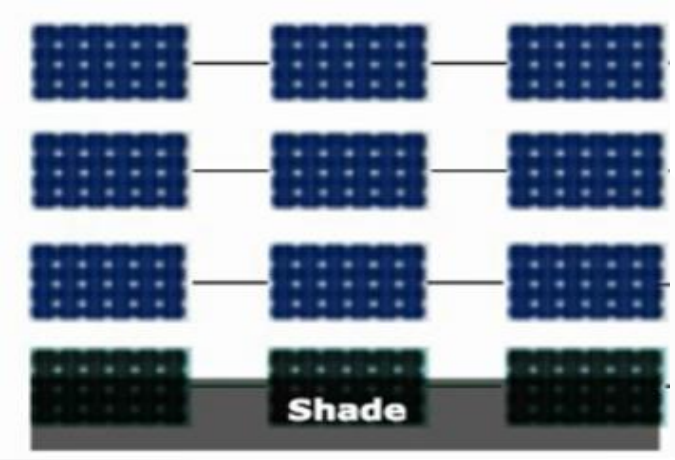
短路点： 电压 = 0V， 电流 = Isc
开路点： 电压 = Voc，电流 = 0A
最大功率点： 电压 = Vmax, 电流 = Imax, 功率 = Pmax

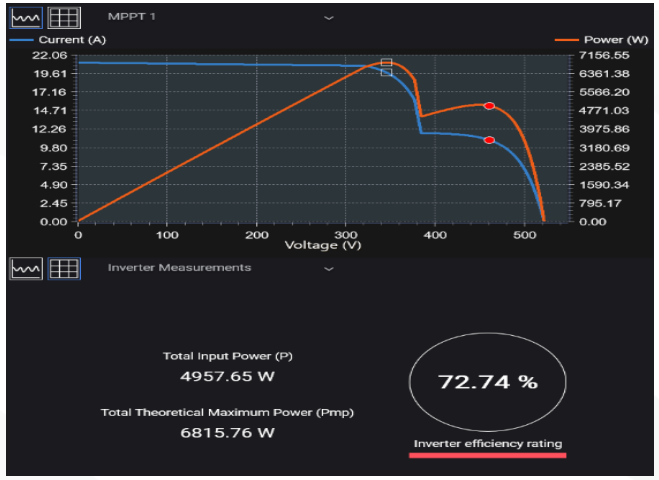
光伏逆变器测试挑战

MPPT的跟踪



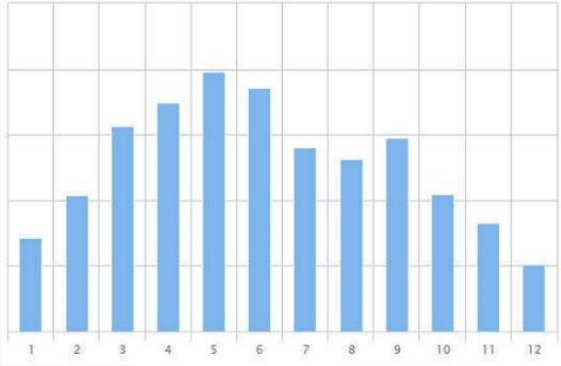




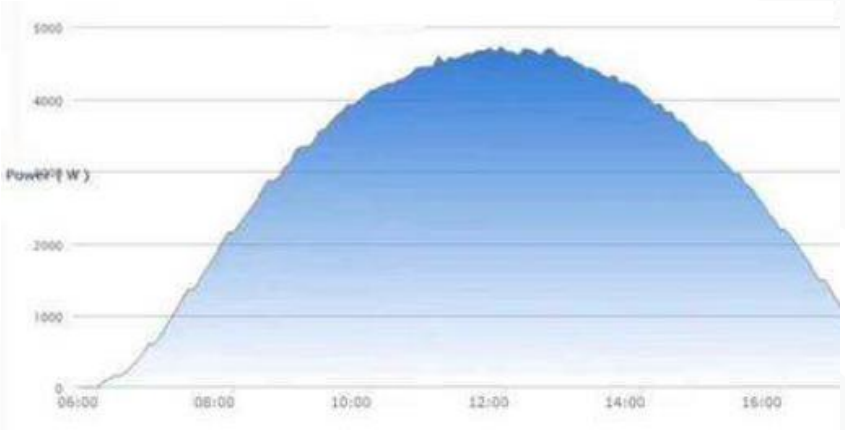


光伏逆变器综合效率测试和评定的挑战

不同地域和季节加权



太阳光辐照强度季节和气候变化



早、中、晚光照强度和角度变化

中国太阳能资源区光伏并网逆变器加权效率的权重系数表

权重系数	a_{CGC-1}	a_{CGC-2}	a_{CGC-3}	a_{CGC-4}	a_{CGC-5}	a_{CGC-6}	a_{CGC-7}
	0.02	0.03	0.06	0.12	0.25	0.37	0.15
负载点	MPP-1	MPP-2	MPP-3	MPP-4	MPP-5	MPP-6	MPP-7
	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00

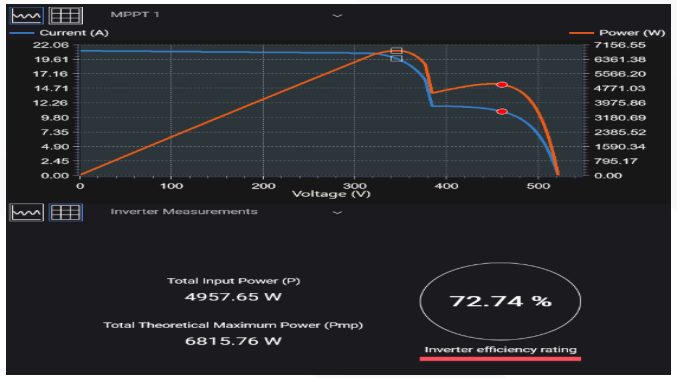
第三代高压、大功率光伏模拟器

PV8900 系列光伏模拟器， 2000V，30KW

- 四个型号， 1500V – 2000V， 30A – 60A;

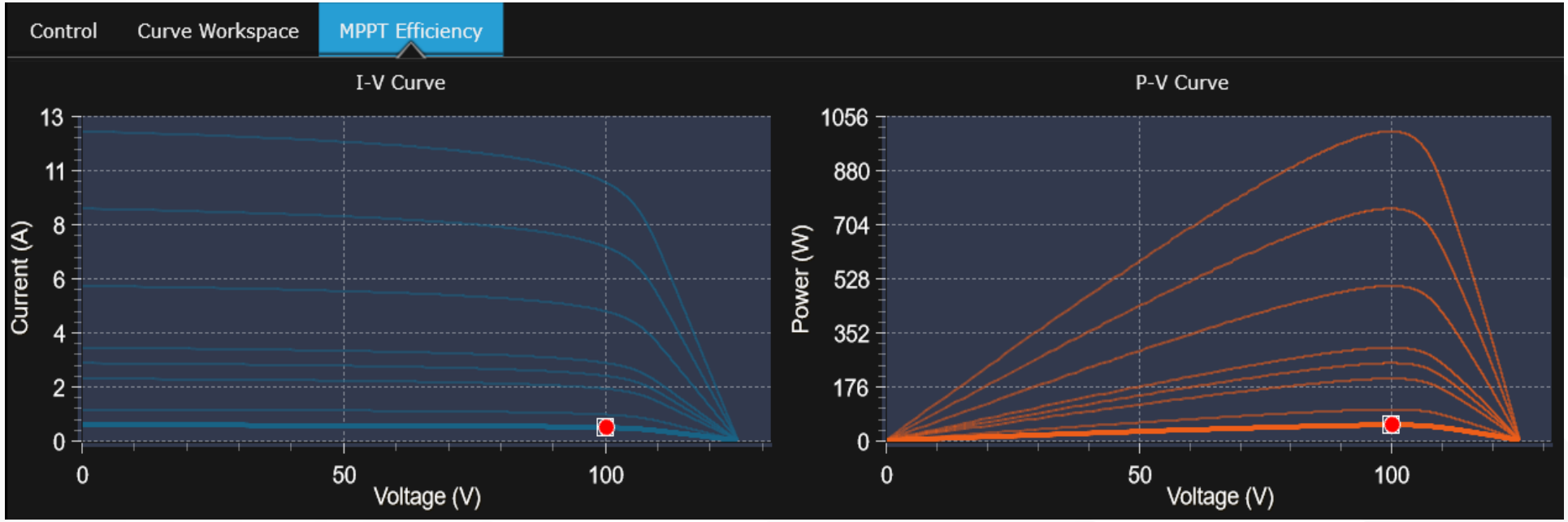
  20KW/30KW, 并联可构成600KW的系统
- 电压、电流和功率精度比传统设备提升10倍
- 最多设置12路输入光伏逆变器MPPT测试
- EN50530 一致性测试， 并自动生成测试报告

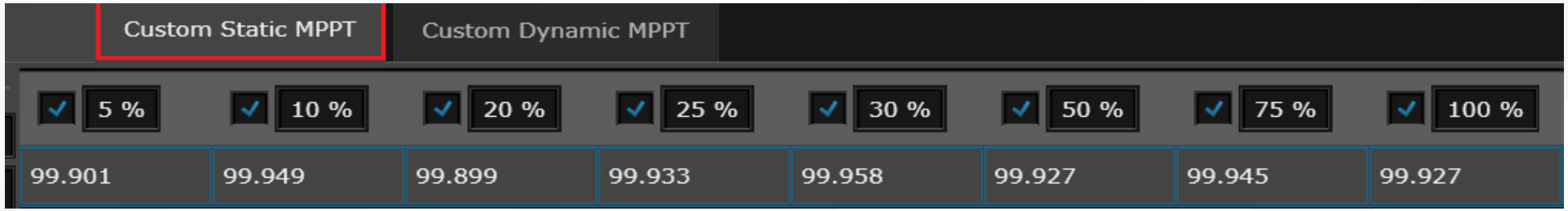
1Q PV	电压（V）	电流 （A）	功率 （KW）
PV8921A	1500	30	20
PV8922A	2000	30	
PV8931A	1500	60	30
PV8932A	2000	30	
2Q RP			
RP7972A	1000	±60	20
RP7973A	2000	±30	
RP7982A	1000	±90	30
RP7983A	2000	±30	
RP7984A	1500	±60	



DG8900 MPPT效率测试软件

静态测试





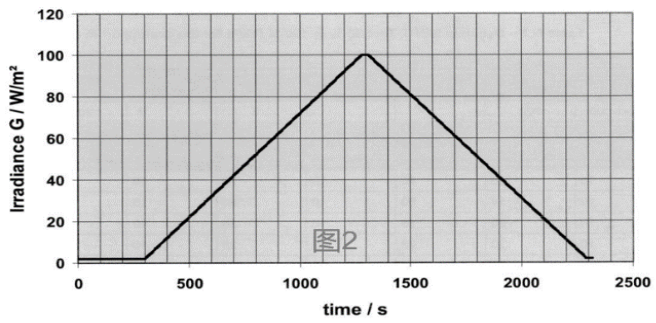
动态MPPT综合效率

EN50530标准定义

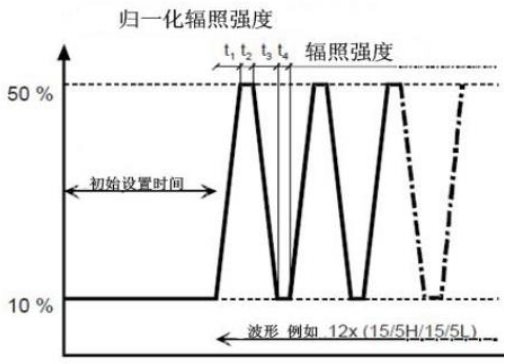
30%→100%标准辐照度条件下的动态最大功率点跟踪试验步骤

辐照度区间 W/m²	区间大小 W/m²					等待时间 S	
300-1000	700					300	
循环次数	斜率 W/m²/s	上升时间 t_1 S	驻留时间 t_2 S	下降时间 t_3 S	驻留时间 t_4 S	持续时间 S	$\eta_{MPPTdyn}$
10	10	70	10	70	10	1 900	
10	14	50	10	50	10	1 500	
10	20	35	10	35	10	1 200	
10	30	23	10	23	10	967	
10	50	14	10	14	10	780	
10	100	7	10	7	10	640	
						总测试时间：6 987	

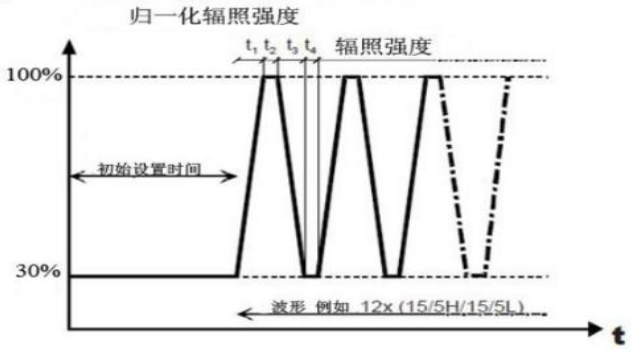
10次循环 X （上升时间70S + 驻留时间10S+ 下降时间70S+驻留时间10S） + 等待时间300S = 1900S



晨曦和日落过程辐照强度变化



低和中等辐照强度变化



中等和高辐照强度变化

DG8900的动态MPPT综合效率测试

设置用户定制的MTTP测试

EN50530 Dynamic MPPT | Custom Static MPPT | Custom Dynamic MPPT

100-500	10	10	40	10	40	10	1300
100-500	10	14	28.6	10	28.6	10	1071
100-500	10	20	20	10	20	10	900
100-500	10	30	13.3	10	13.3	10	767
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				

Estimated Time: 07:00:46
Time Running: 00:00:00
Status: Completed
Progress:
Start Test

EN50530 Dynamic MPPT | Custom Static MPPT | Custom Dynamic MPPT

Enable	From (W/m²)	To (W/m²)	From (°C)	To (°C)	# Cycles	Ramp Up (s)	Dwell High (s)	Ramp Down (s)	Dwell Lo
✓	100	500	25	25	2	800	10	800	10
✓	200	900	25	50	3	800	10	800	10

Add Test Step
Insert Test Step
Remove Test Step

APS业界最佳的测试精度让MPPT测试更可信

99.90% 效率的可信度

中国太阳能资源区光伏并网逆变器加权效率的权重系数表

权重系数	a_{CGC-1}	a_{CGC-2}	a_{CGC-3}	a_{CGC-4}	a_{CGC-5}	a_{CGC-6}	a_{CGC-7}
	0.02	0.03	0.06	0.12	0.25	0.37	0.15
负载点	MPP-1	MPP-2	MPP-3	MPP-4	MPP-5	MPP-6	MPP-7
	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	0.75	1.00

Custom Static MPPT | Custom Dynamic MPPT

5 %	10 %	20 %	25 %	30 %	50 %	75 %	100 %
99.901	99.949	99.899	99.933	99.958	99.927	99.945	99.927

99.927% 的效率可信吗?

	PV8922A	N8957APV
最大电压	2000V	1500V
最大电流	30A	30A
最大功率	20KW	15KW
电压输出精度	0.04% + 150mV	1500mV
电流输出精度	0.03%+2mA	60mA
电压测量精度	0.04% + 150mV	1500mV
电流测量精度	0.03%+2mA	60mA
电压纹波Vrms	400mV	400mV
电流纹波Irms	15mA	26mA
电压分辨率	20mV	61mV
电流分辨率	0.6mA	2mA
电压上升/下降时间（空载）	0.2mS / 0.2mS	30mS/10S
电流源模式	支持	否
电流上升/下降时间	0.1mS/0.1mS	否
瞬态响应时间	0.3mS	1.5mS

功率精度 / MPPT误差 (Vm=1000V)	【(V+Err) *(I + Err)- Pout】/Pout (%)	
1000V X 20A = 20KW	0.095	/
1000V X 15A = 15KW （50%）	0.098	0.551
1000V X 9V = 9kW （30%）	0.107	0.818
1000V X 6A = 6KW （20%）	0.118	1.151
1000V X 3A =3KW （10%）	0.152	2.153
1000V X 1.5A = 1.5KW （5%）	0.218	4.156

是德科技N8957APV第2代光伏

N8957APV Photovoltaic Array Simulator

当前标准定定义的MPPT测试明显的存在缺陷

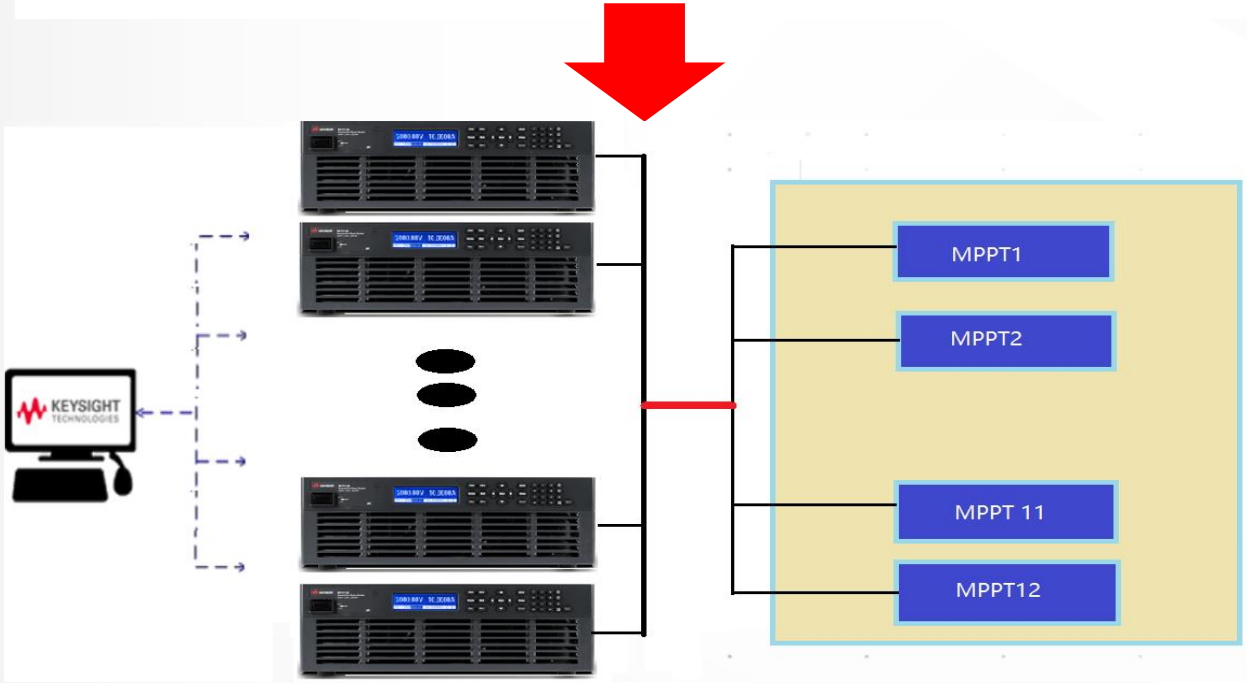
与集中式MPPT无异

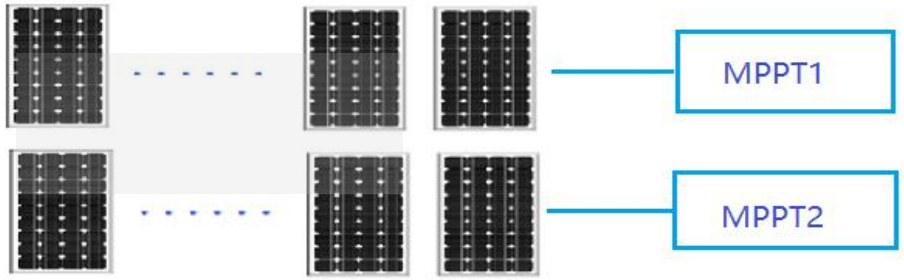
动态 MPPT 效率测试条件

被测逆变器如有多个直流输入端口，则每一个输入端口参数配置应与制造商的要求相一致。对于多路独立 MPPT 控制的逆变器，光伏阵列模拟器输出功率应平均分配到逆变器的每一个输入端口。

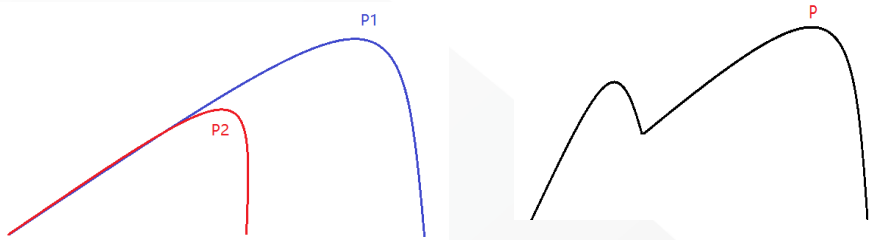
辐照度参数变化曲线应满足相应的要求。

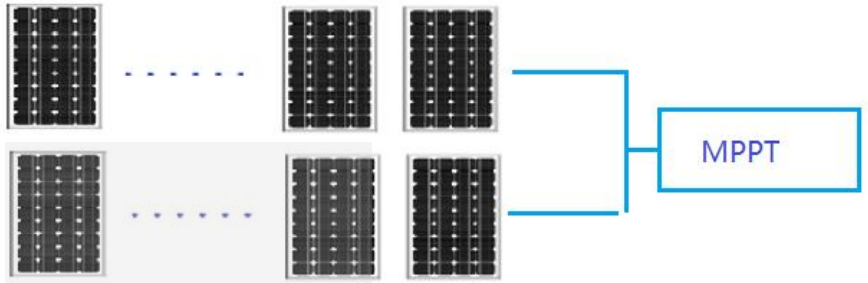
为避免因电网电压的大小而影响测试结果，所有测试应在额定电网条件下进行。





2串，2MPPT， 100%渗透率

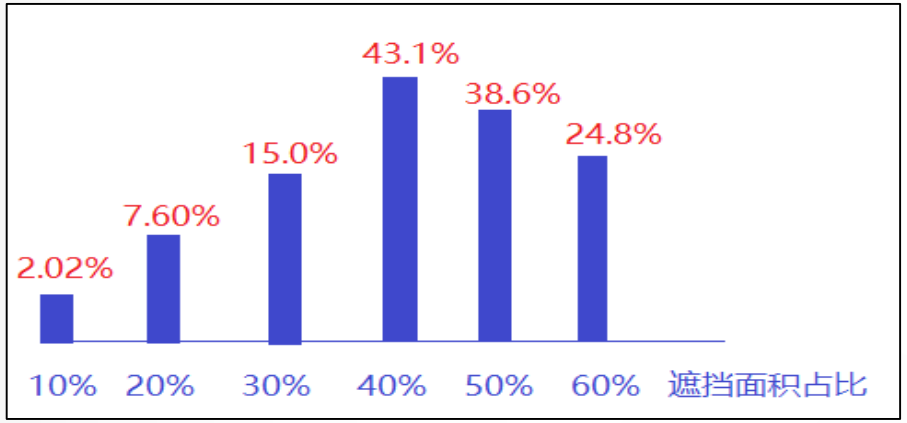




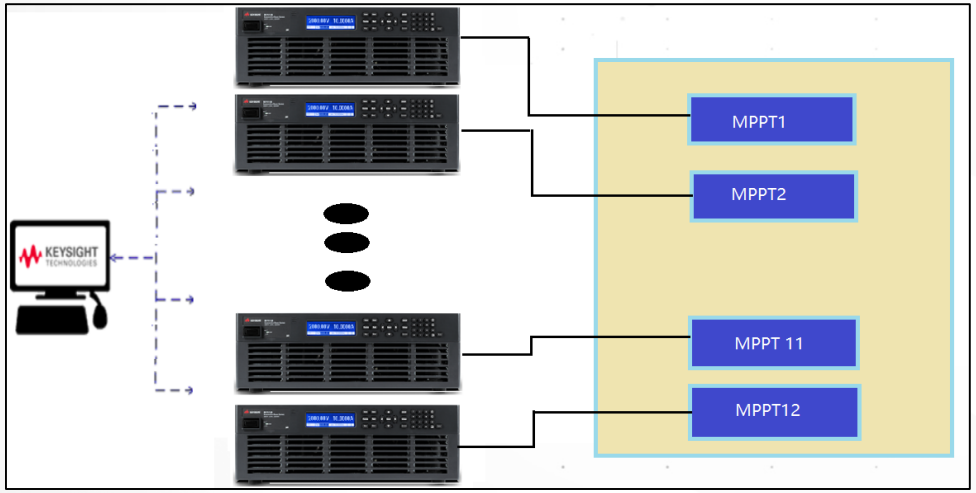
2串，1MPPT， 50%渗透率

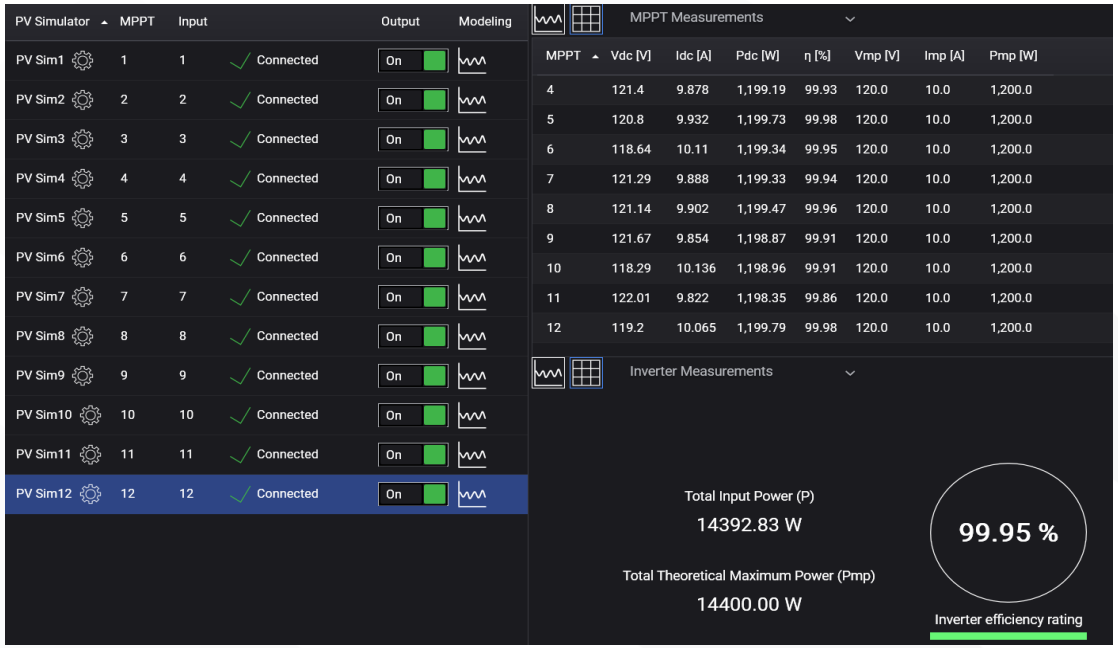
DG9000A MPPT综合测试软件

12路独立MPPT/实现100%渗透率MPPT测量



50%渗透率，发电量损失率





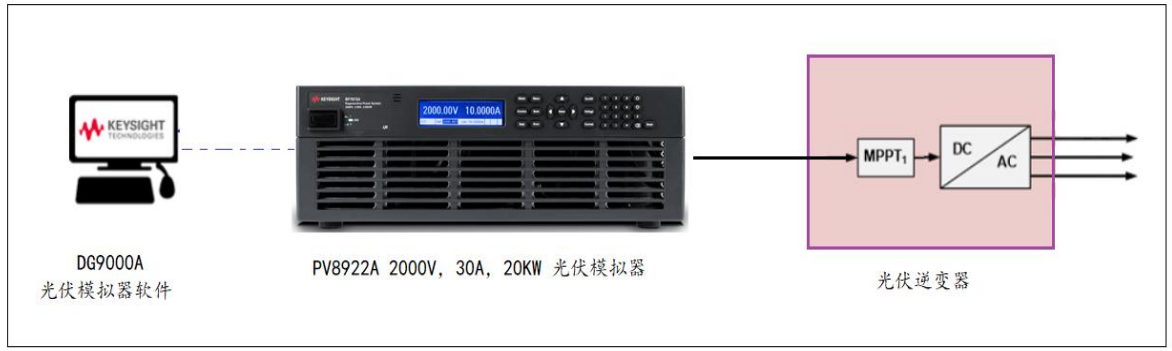
DG9000A 12路MPPT和逆变器MPPT综合测试软件

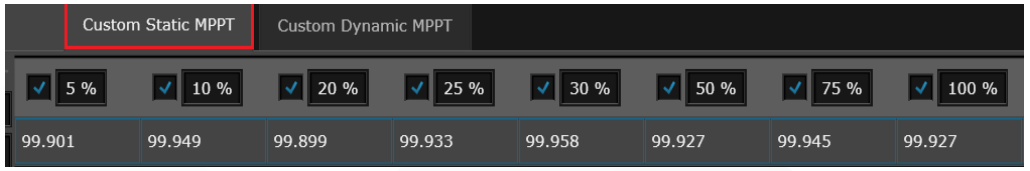
12台 X 30 KW = 360KW 逆变器

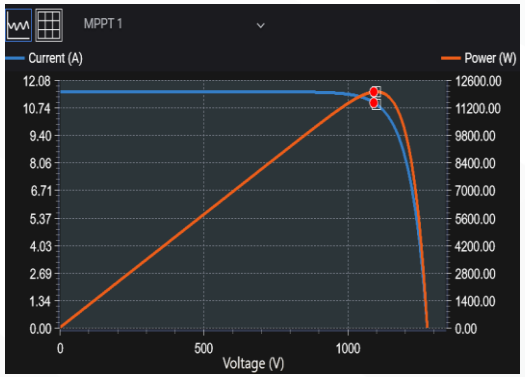
新一代光伏模拟器

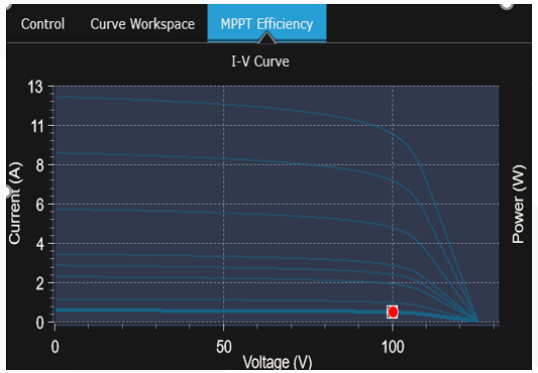
更高的电压、更大的功率

1Q PV	电压（V）	电流（A）	功率(KW)
PV8921A	1500	30	20
PV8922A	2000	30	
PV8931A	1500	60	30
PV8932A	2000	30	
2Q RP			
RP7972A	1000	±60	20
RP7973A	2000	±30	
RP7982A	1000	±90	30
RP7983A	2000	±30	









EN50530 静态/动态MPPT测量

任意PV曲线编辑

我们今天的内容：

✓降低光伏度电成本的核心手段

✓2000V高压、大功率、高精度光伏逆变器测试

✓ 电池模拟、优化储能电池选型和逆变器的设计

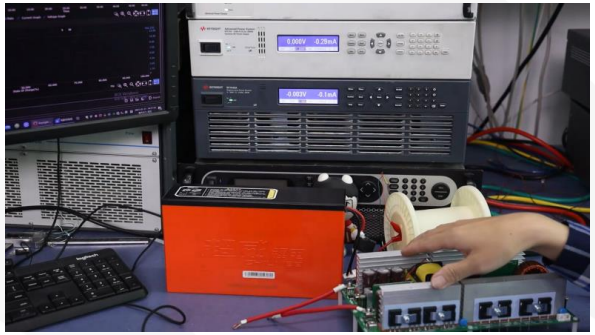
✓动力电池“快速温升”应对电动汽车低温困局

储能电站的电池续航能力

电池剩余电量的预测和评估

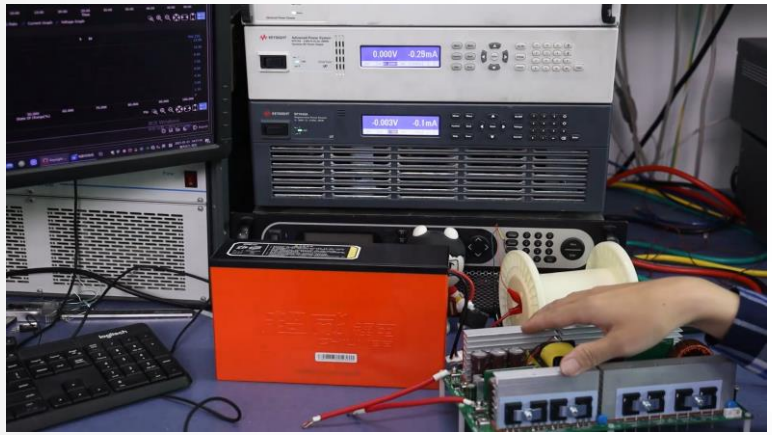
$$续航时间n = \frac{yy\ Ah}{xx\ A}$$

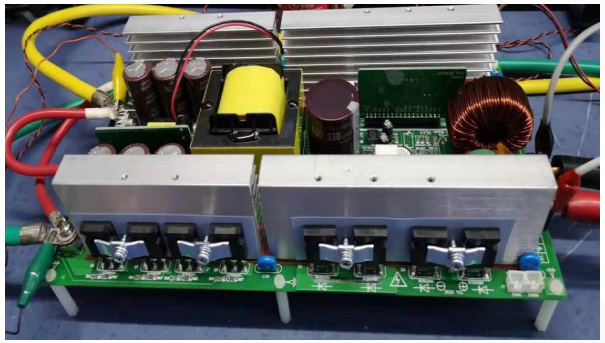
?

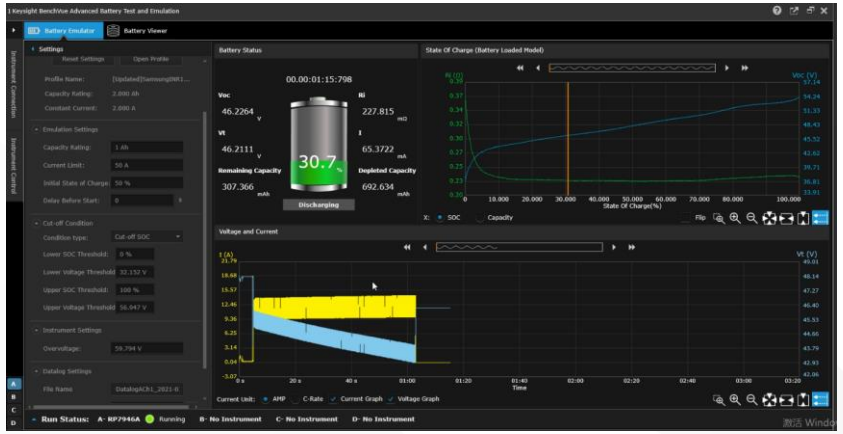


电池剩余电量的测试

与负载特性和电池特性密切相关







储能系统能效评估

逆变器效率和电池容量，未必是决定电池续航时间的关键因素

储能逆变器续航

开环储能逆变器：
效率：96%
电池利用率：1-29.8%=70.2%

软闭环储能逆变器：
效率：91%
电池利用率：1-2.8%=97.2%

开环设计

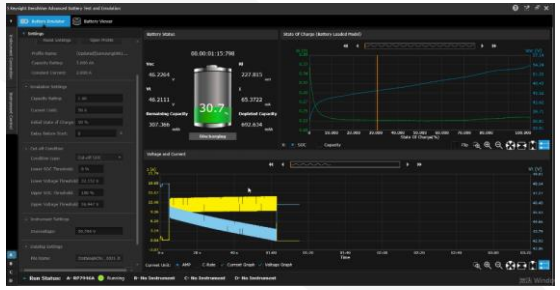
硬闭环设计

软闭环设计

开环储能逆变器效能为：96%*70.2*=67.397%

软闭环储能逆变器的效能为：91%*97.2%=88.452%

提高 88.452−67.397=21.055% 续航。



电池模拟器广泛的应用

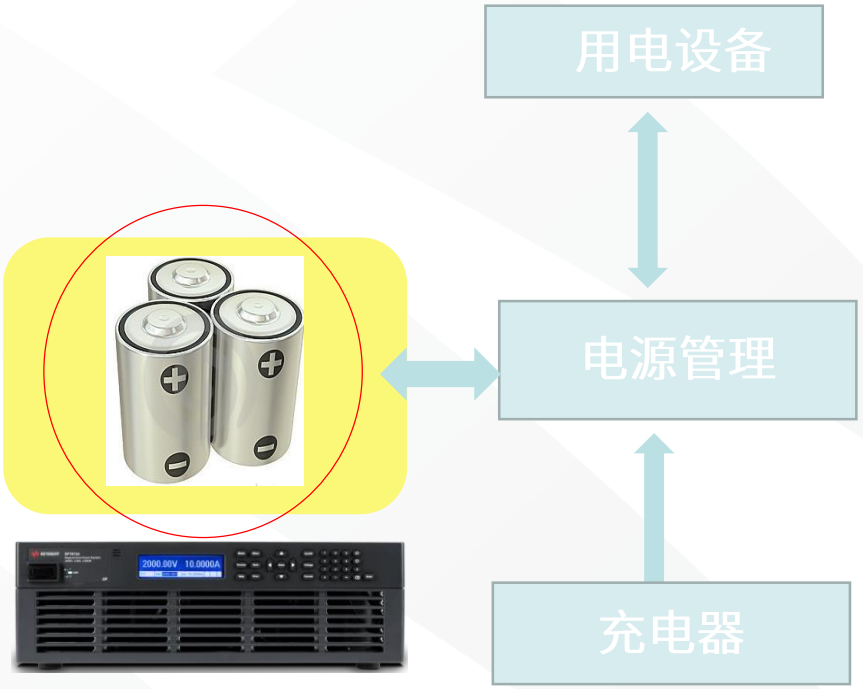
减少研发电池管理原型机的不确定性， 缩短开发时间

电池组直接供电

- 电池状态调节困难，如Soc容量，内阻，循环次数，温度变化等
- 电池状态受温度、循环次数、压力等影响大、重复性差。
- PCS/BMS等研发测试、如果失效将导致电池的过充/放，甚至安全隐患
- 需要使用其它的测量设备监控电压、电流、电量等参数。

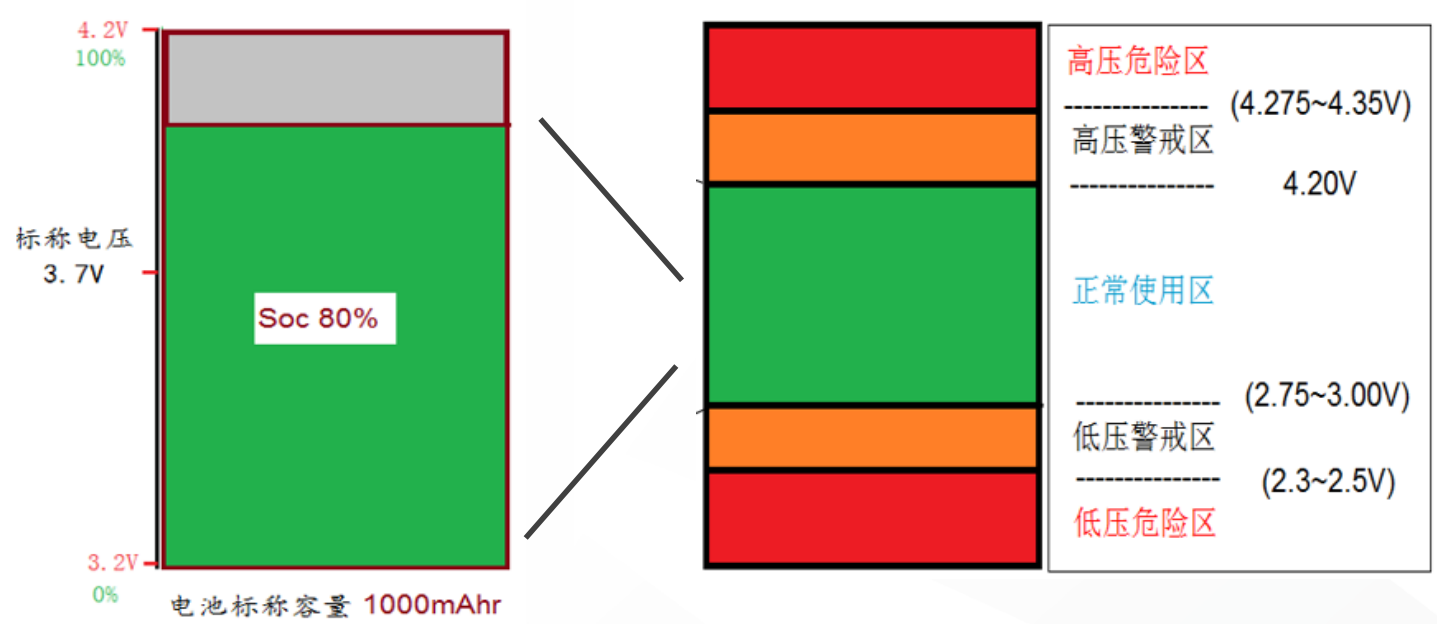
电池模拟器

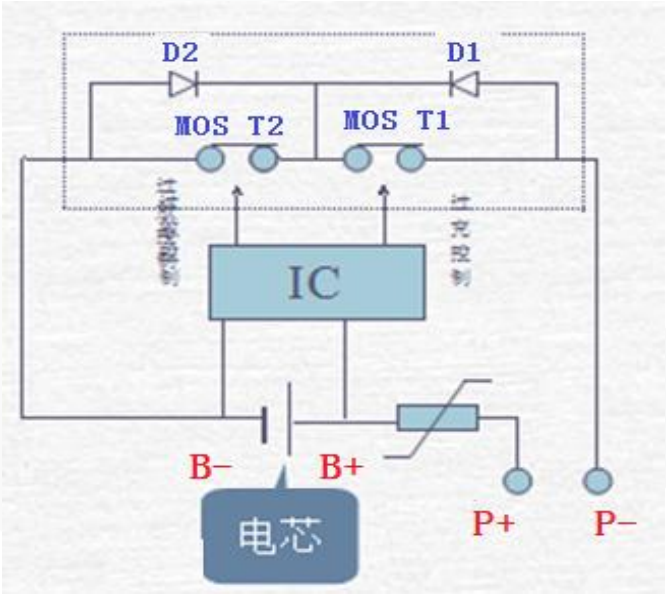
- ✓ 适用于任意的规格的电池模型（电压，电量不限）
- ✓ 内置电池内阻仿真（符合电池端电压，开路电压、电量变化规律）
- ✓ 任意设置电池模拟的起始点（研发调试灵活）
- ✓ 模拟电池端电压与电量变化（随充、放电过程改变电压）
- ✓ 强大的保护，无任何电池安全隐患和风险



锂电池的特性

电池结构



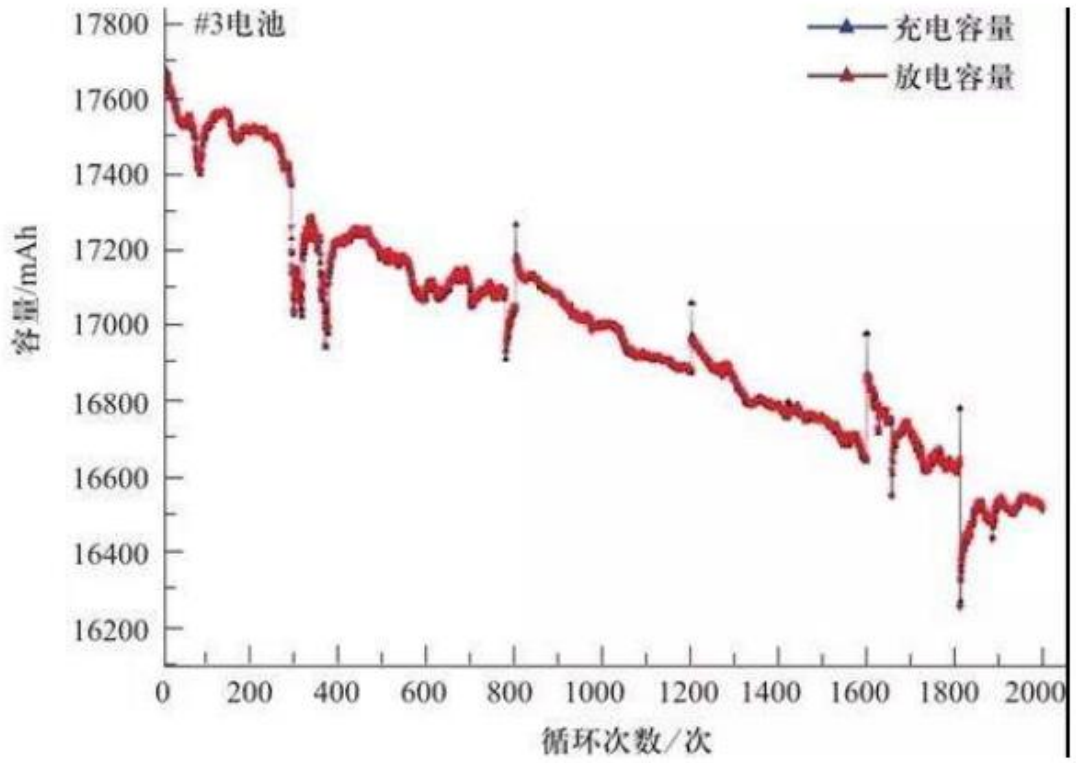


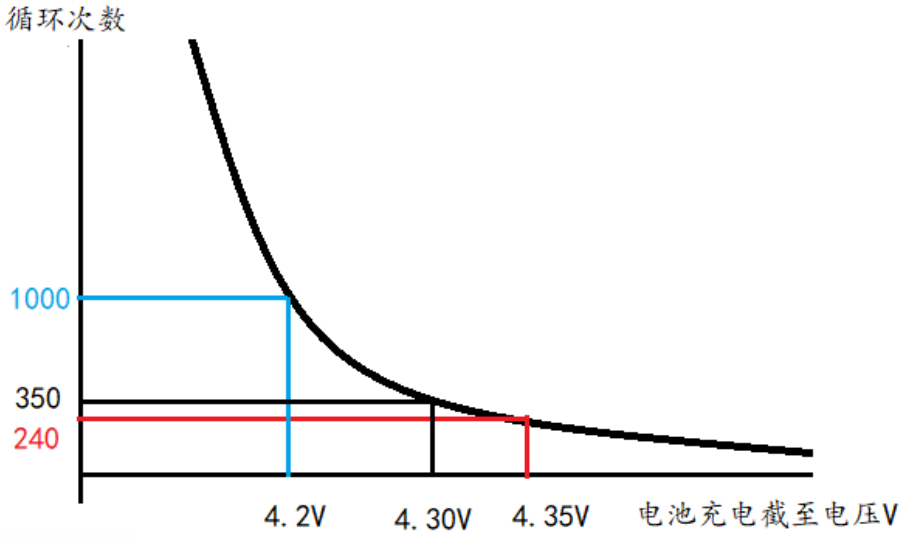
电池保护电路

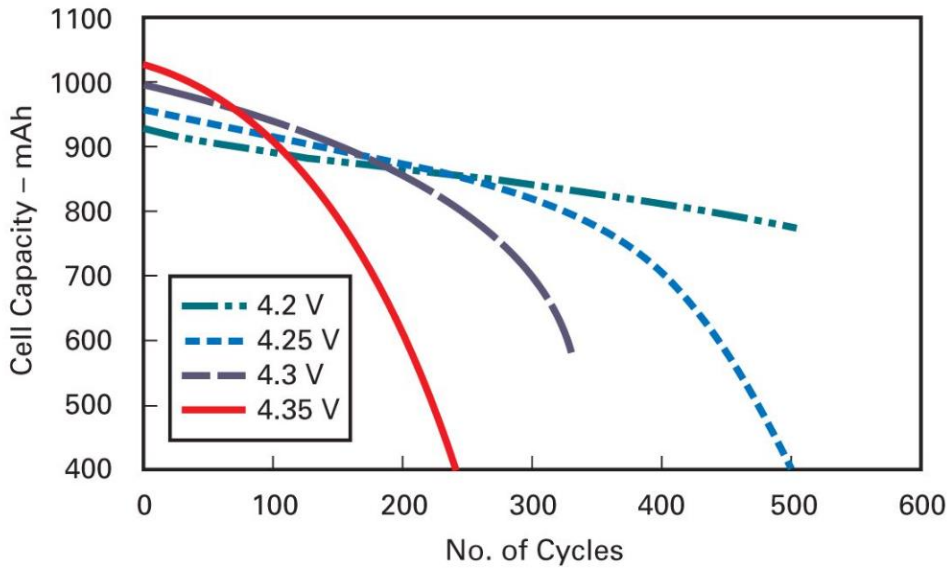
锂电池的几张非常重要曲线

电池寿命与截至电压

循环寿命和容量衰减



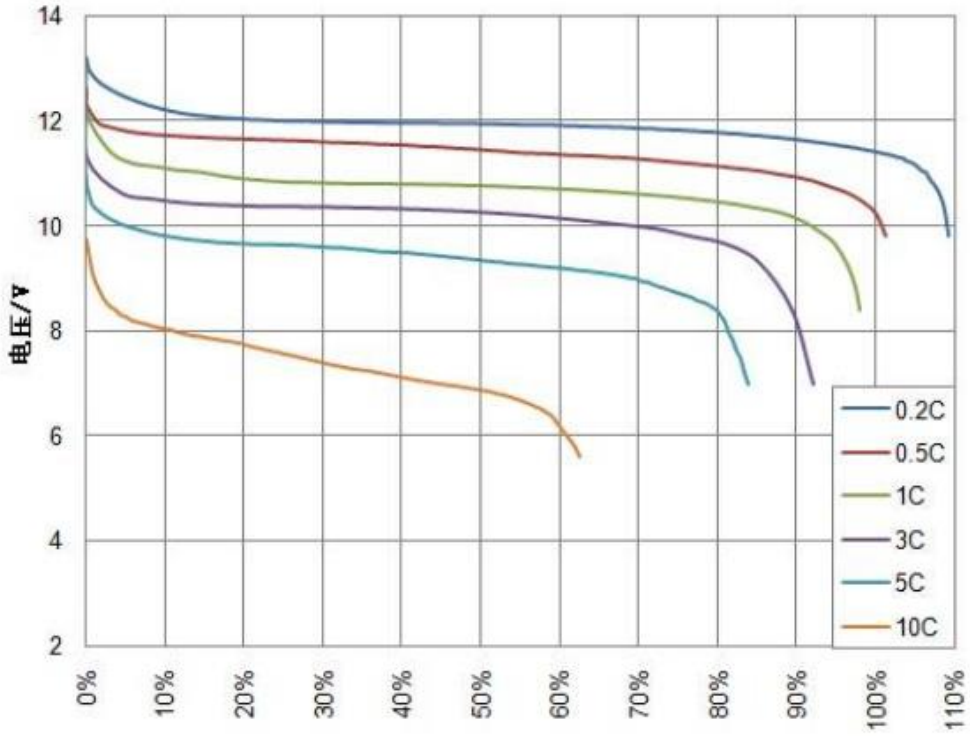




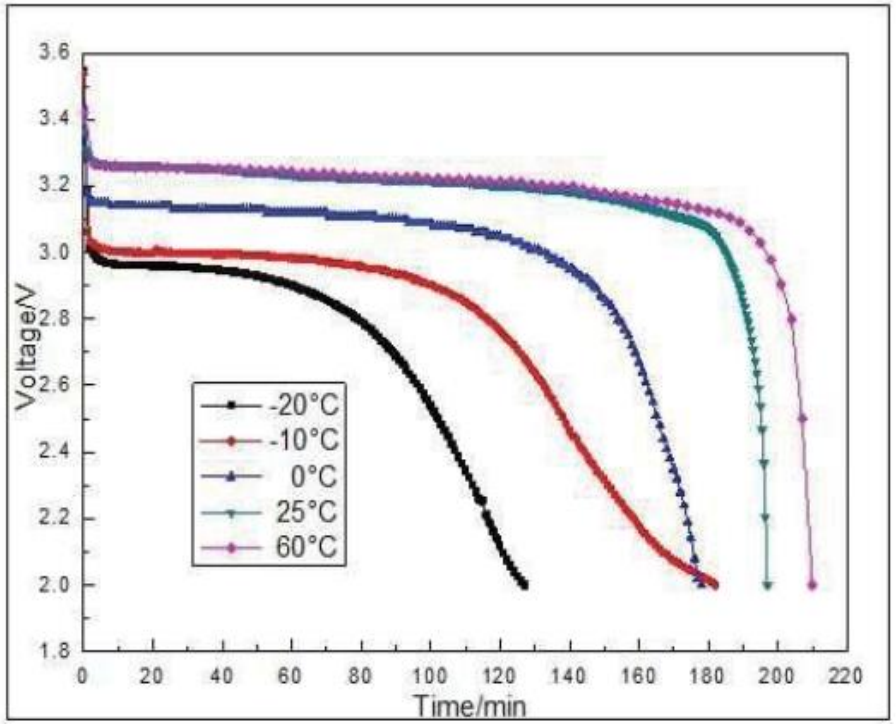
锂电池的几张非常重要曲线

电池容量与温度/倍率关系

放电容量vs倍率

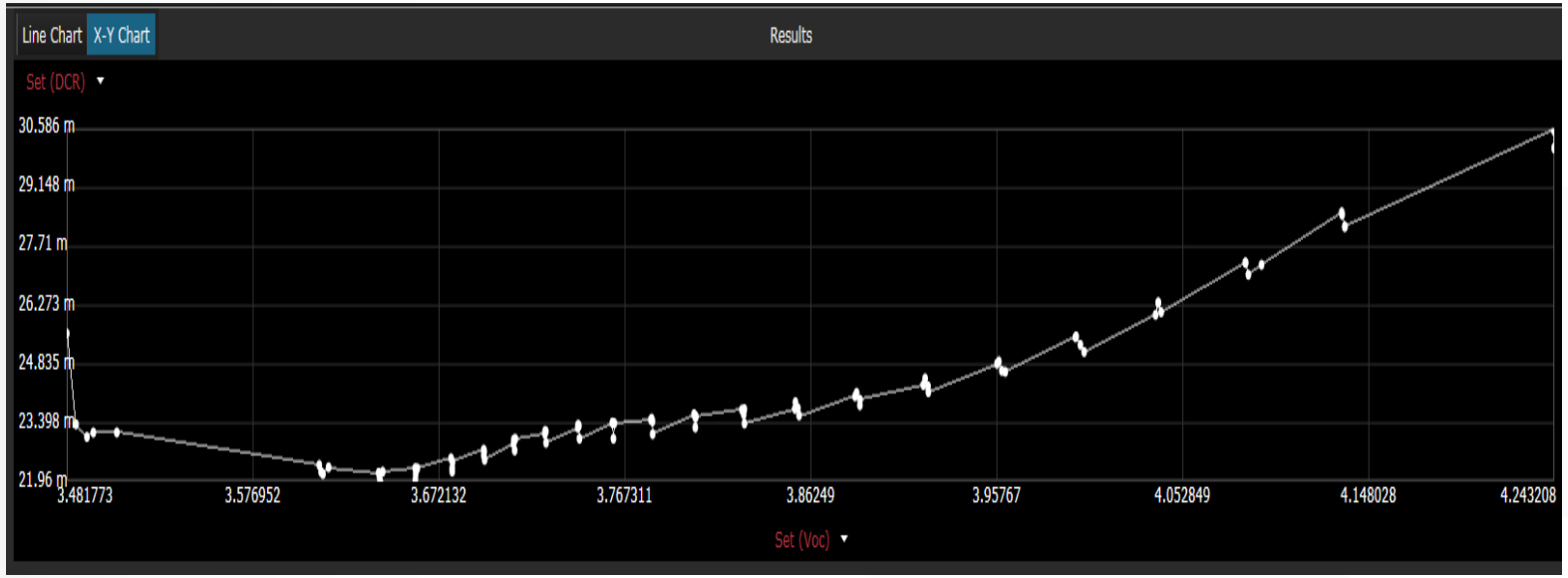


放电容量vs温度



多变的电池内阻

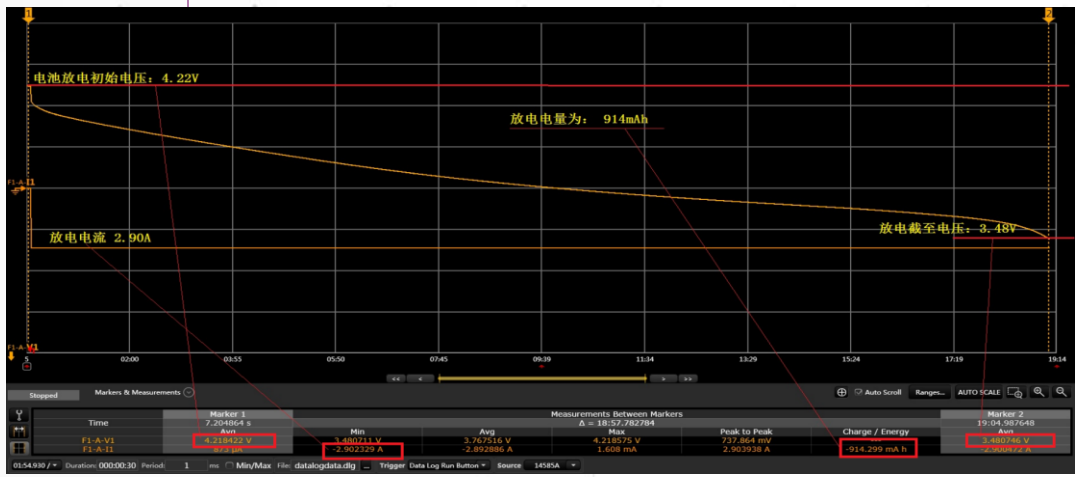
温度和容量SOC的影响

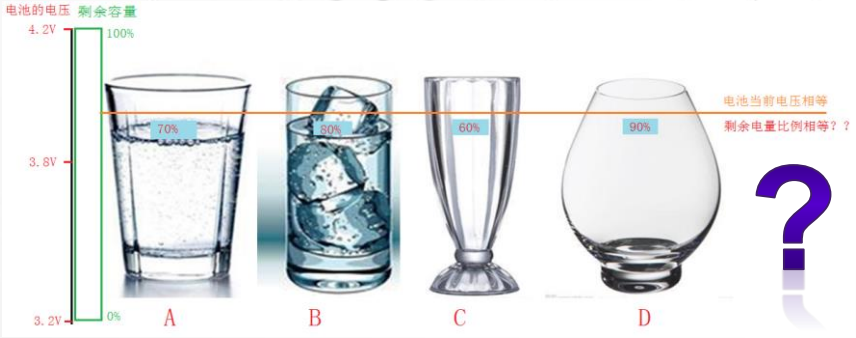


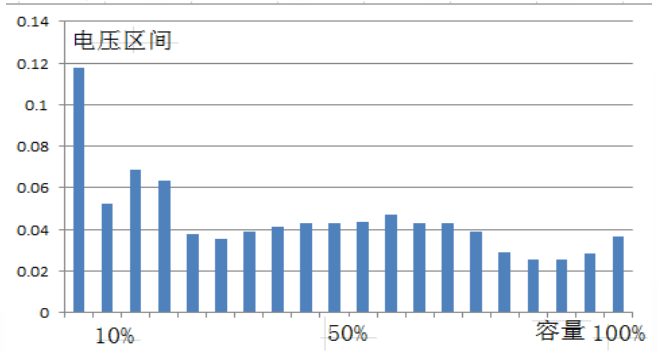
Percentage charge	RBatt Scale Factor		
	-20°C	0°C	25°C
100	1223	289	100
95	1142	283	103
90	1150	284	102
85	1114	285	106
80	1101	291	111
75	1097	291	118
70	1101	276	126
65	1106	269	110
60	1119	271	102
55	1138	280	102
50	1164	295	108
45	1196	317	116
40	1245	343	122
35	1319	362	121
30	1428	363	121
25	1665	380	126
20	2216	447	152
15	3248	535	187
10	5502	700	236
9	6454	744	247
8	7404	788	259
7	8355	702	233
6	9307	702	247
5	9269	752	260
4	10192	834	277
3	12216	1011	304
2	14942	1388	351
1	18629	2014	423
0	23448	3057	528

电池容量分布

电池端电压 VS. 容量



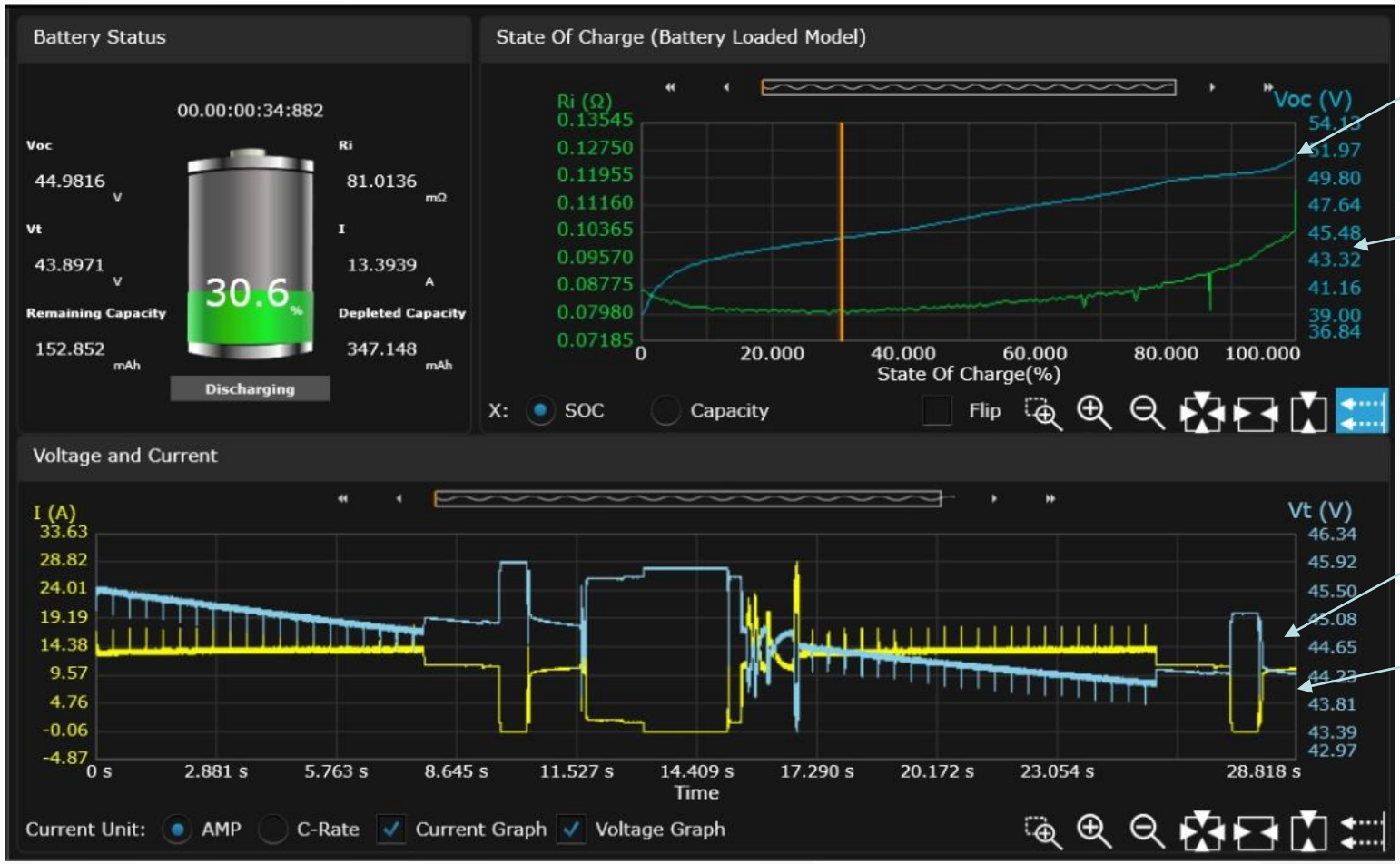




Soc （%）	Voc （V）
0%	3.3
5%	3.417419645
10%	3.469712651
15%	3.538586398
20%	3.601882875
25%	3.639315377
30%	3.674645796
35%	3.713511828
40%	3.754836719
45%	3.797917202
50%	3.84076305
55%	3.884100026
60%	3.930903831
65%	3.974087812
70%	4.016838519
75%	4.055635768
80%	4.084480586
85%	4.109850219
90%	4.135330419
95%	4.163642325
100%	4.199976858

电池状态和高速动态模拟

模拟电池在充放电过程中真实的端电压



电池的SOC

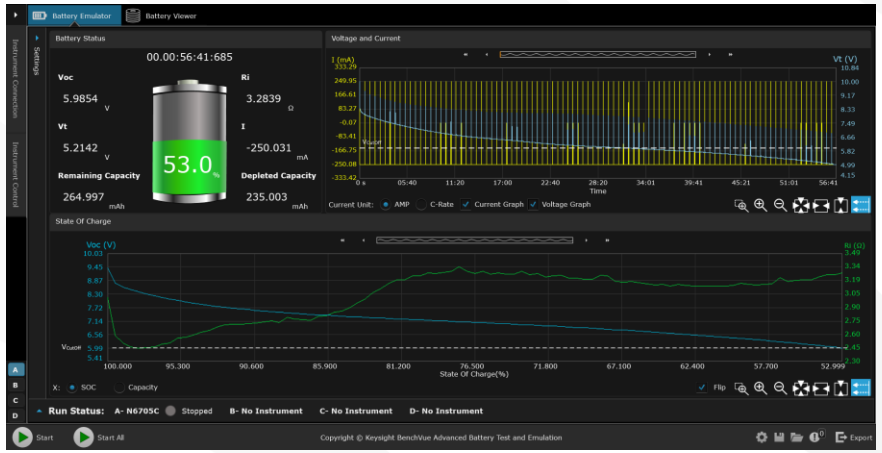
电池的内置

变化的端电压

变化的拉载电流

BV9210B 电池测试和电池模拟器软件

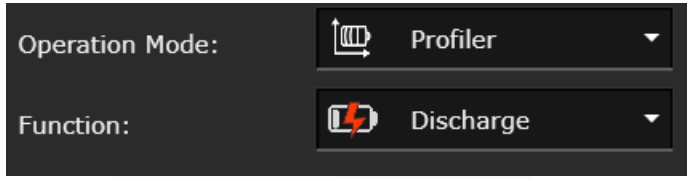
- BV9210B – 同时4台仪表控制
- BV9211B – 单台仪表控制
- 四种操作模式：
  - 电池模型提取
  - 电池模拟器
  - 电池充/放电测试
  - 电池循环充/放电测试
- 提供API接口，允许进行软件的二次开发
- 支持多种仪表，覆盖20W - 400KW 应用领域
  - N6705C/N6700C主机 及 N6781-86A SMU模块
  - N7900A 1KW/2KW APS先进电源系统
  - RP7900 5KW-20KW R-APS 回馈先进电源系统

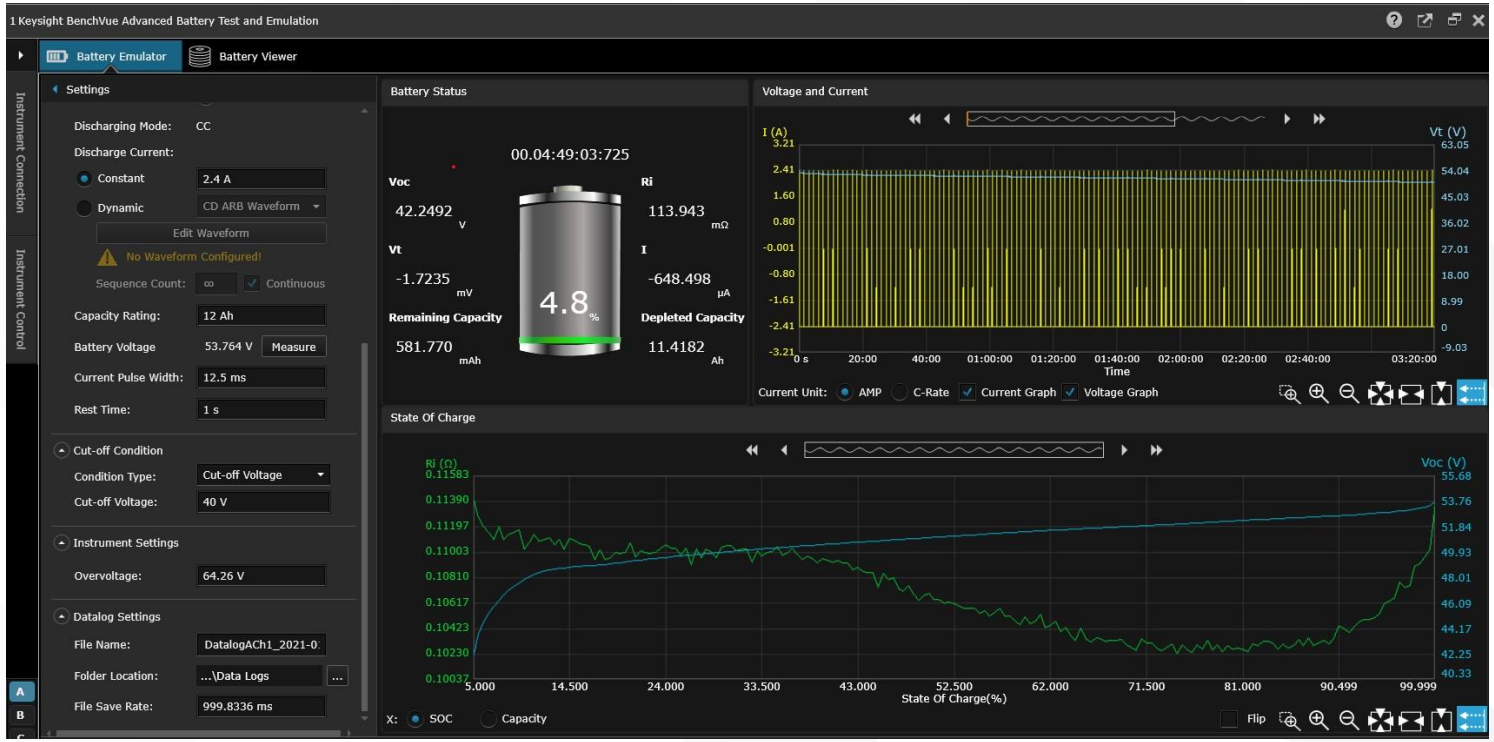


一键式电池模型提取（Profiler)

在连续充电或放到过程中完成模型提取全过程

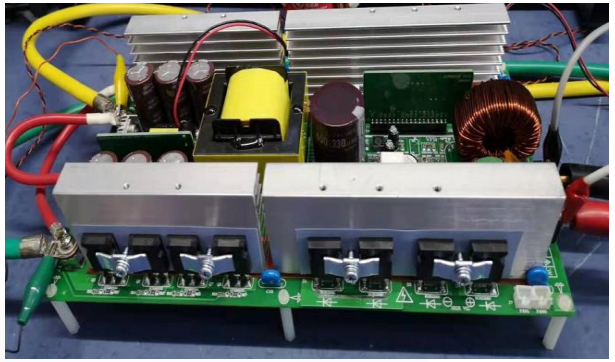
DCR	Voc	Ahr	Soc	ΔVoc
0.027	3.440	0.000	0.000	0.000
0.026	3.657	0.040	4.279	0.217
0.027	3.716	0.081	8.605	0.059
0.028	3.735	0.123	12.983	0.019
0.029	3.762	0.163	17.298	0.027
0.030	3.788	0.204	21.643	0.025
0.031	3.811	0.246	26.065	0.023
0.031	3.828	0.288	30.511	0.017
0.031	3.841	0.330	34.895	0.012
0.030	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

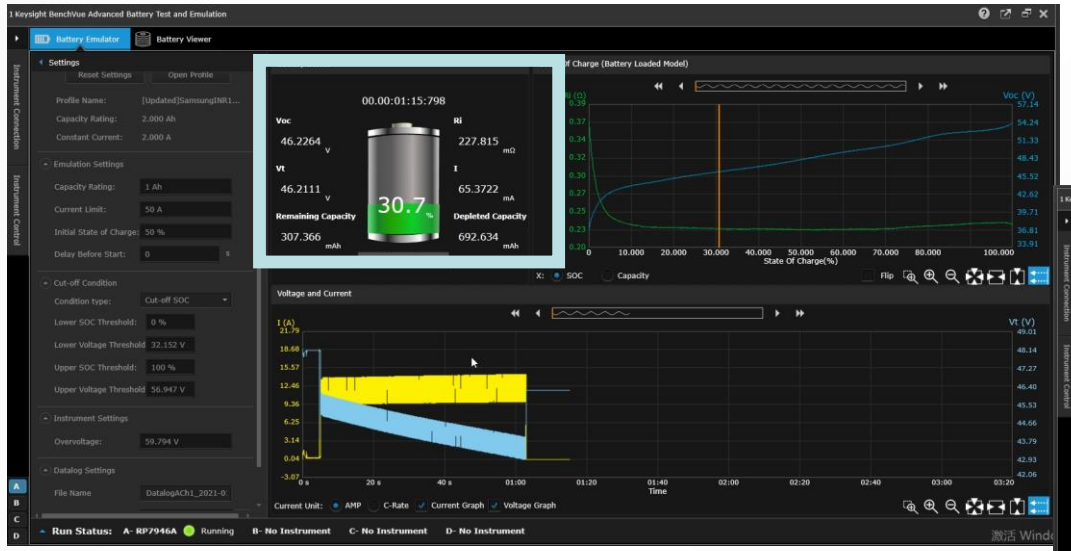




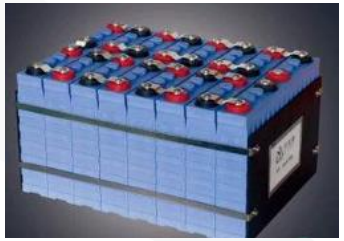
电池剩余电量的测试

同一个逆变器， 不同类型的电池， 电池剩余电量的比较





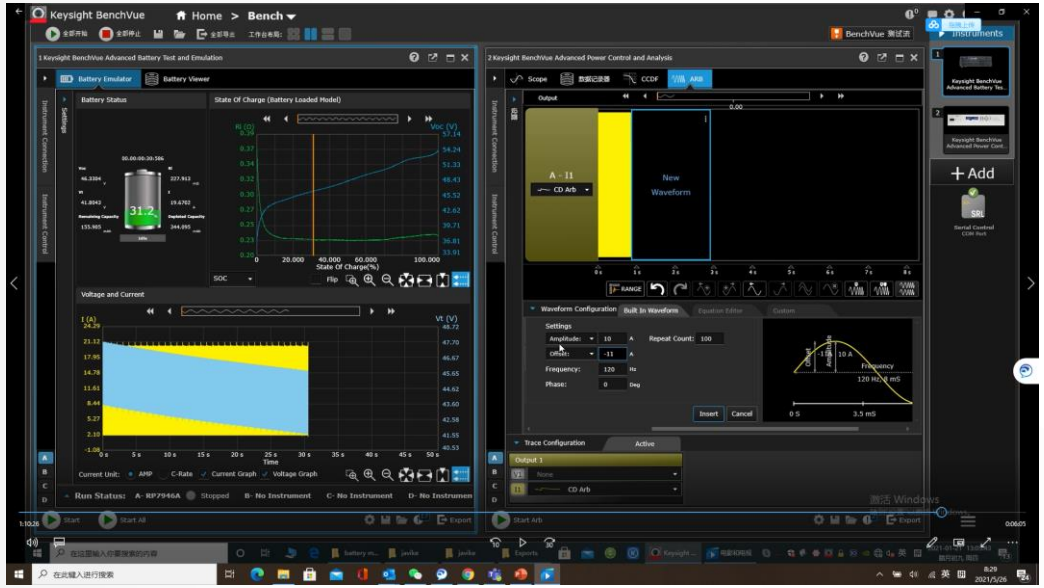
电池类型A

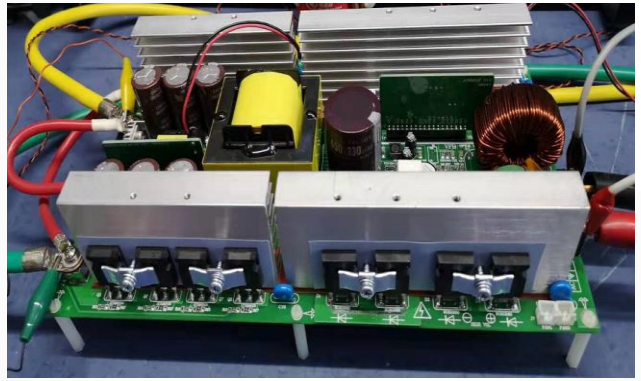


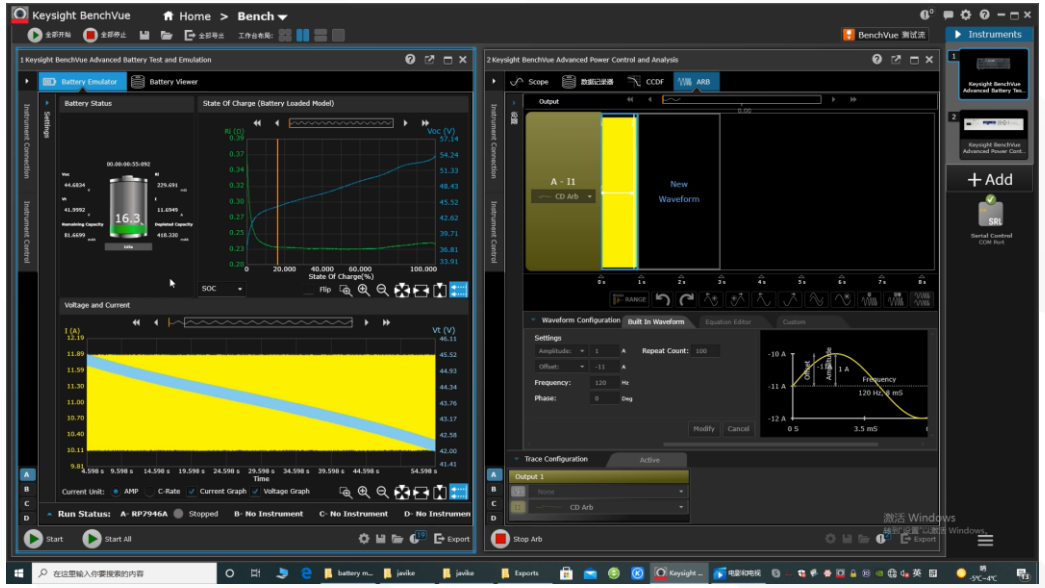
电池类型B

电池剩余电量的测试

相同的电池， 逆变器设计改进前后的剩余电量比较

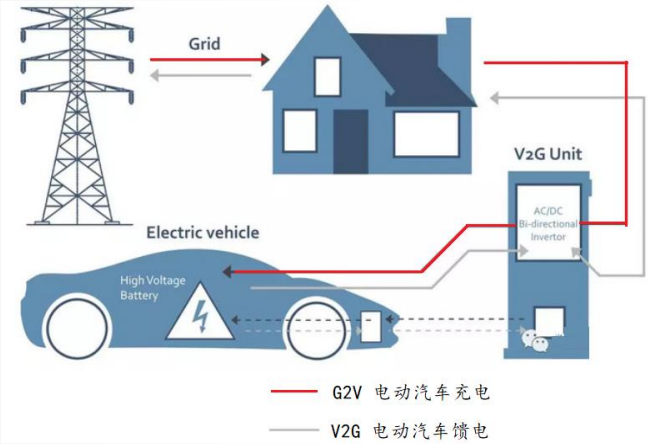




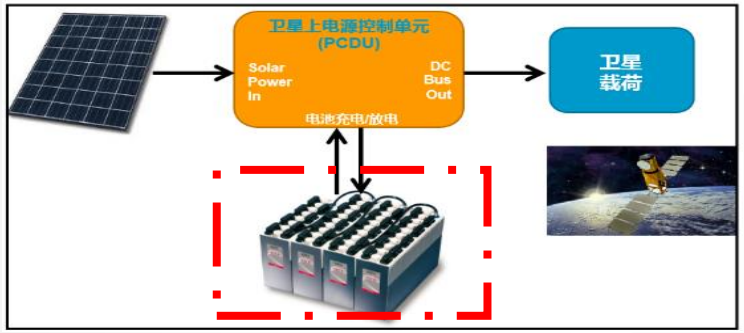


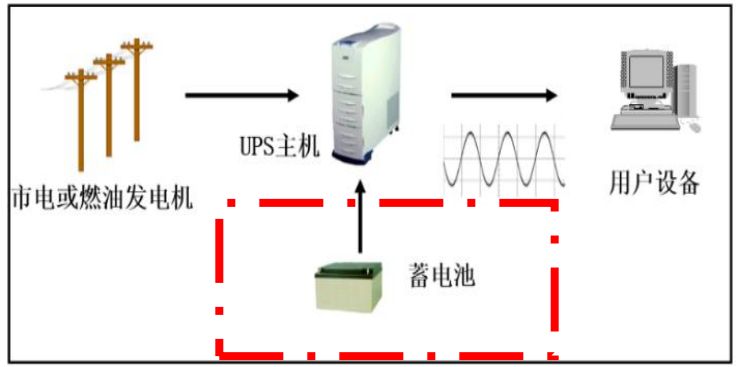
电池模拟器广泛的应用

电池管理器（BMS）开发和测试



电池模拟器BSS





我们今天的内容：

✓降低光伏度电成本的核心手段

✓2000V高压、大功率、高精度光伏逆变器测试

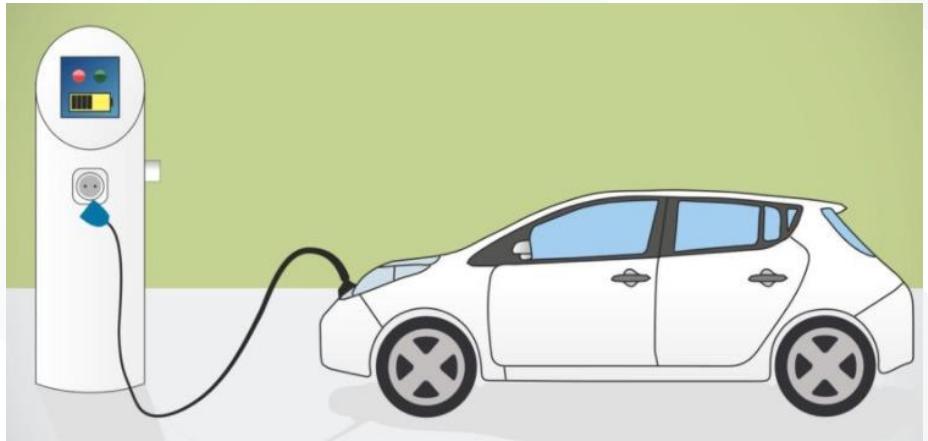
✓ 电池模拟、优化储能电池选型和逆变器的设计

✓动力电池“快速温升”应对电动汽车低温困局

冷冻模式

电动车挥之不去的尴尬

低温续航 难……



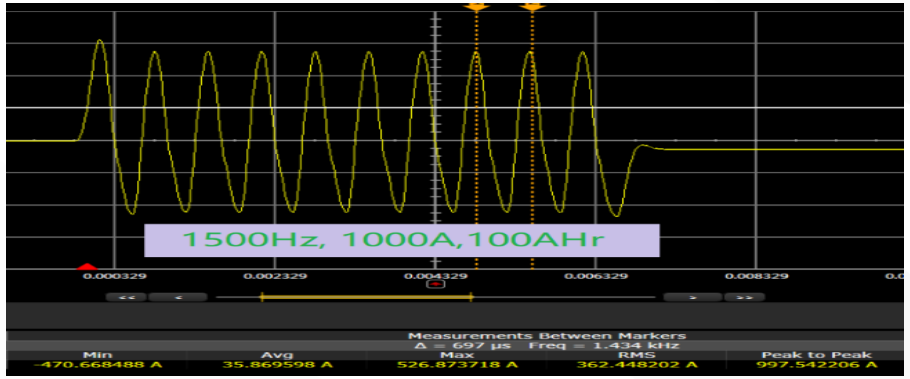
低温充电难 ……

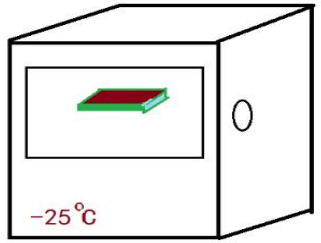
动力电池低温特性和快速温升技术路径

高频震荡的大电流快速提升电池温度

Percentage charge	RBatt Scale Factor		
	-20°C	0°C	25°C
100	1223	289	100
95	1142	283	103
90	1150	284	102
85	1114	285	106
80	1101	291	111
75	1097	291	118
70	1101	276	126
65	1106	269	110
60	1119	271	102
55	1138	28[illegible]	102
50	1164	29[illegible]	108
45	1196	3[illegible]7	116
40	1245	[illegible]43	122
35	1319	[illegible]62	121
30	1428	363	121
25	1665	380	126
20	2216	447	152
15	3248	535	187
10	5502	700	236
9	6454	744	247
8	7404	788	259
7	8355	702	233
6	9307	702	247
5	9269	752	260
4	10192	834	277
3	[illegible]	1011	304
2	14942	1388	351
1	18629	2014	423
0	23448	3057	528

电池类型	电压等级（V）	电流有效值 RMS （A）		频率（Hz）
		温升 速率 1.5℃/分钟	温升 速率 3℃/分钟	
电芯/CELL	3.8	345	500	500-2000
模组/Module	100	750	1000	
电池包/Pack	380	900	1200	

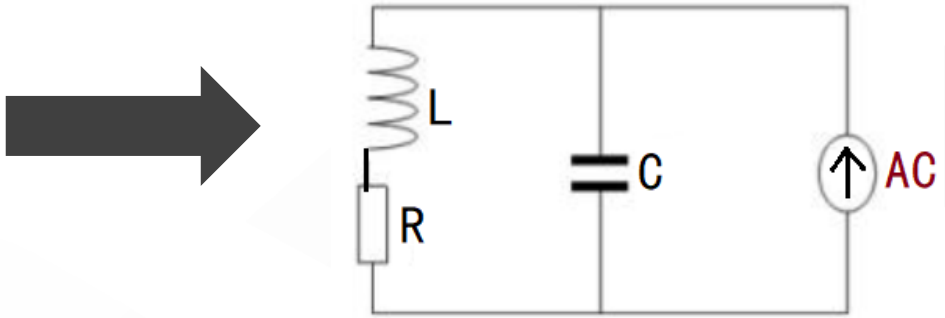




RP7943A， 20V，±800A

动力电池快速温升测试难题

高频、大电流



电芯： 3.8V, 100Ahr
电池包： 380V, 100Ahr

Q = I * S = C*V
Q = 100Ahr = 100A * 3600S = 360000 C
➢ 电芯电量电压区间： 4.2V - 3.2V = 1.0V
等效电容 C = Q/V = $3.6 * 10^5$ Fa (超级电容)

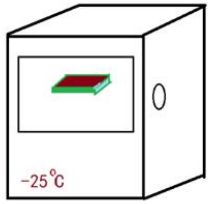
LC电路带宽和截至频率：

$$截至频率\ fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} > 500Hz$$

动力电芯/电池 注入频率 >500Hz， 幅值>500A的电流波形非常困难！

APS 电流波形注入和测量

超电流任意波高频、大幅度注入



BV9200 先进电源控制和分析软件

	RP943A	RP7945A	RP7946A	RP7982A
电压范围	0-20V	80V	160V	1000V
电流范围	0- ±800A	0- ±250A	0- ±125A	0- ±90A
功率范围	0-10KW	0-10KW	0-10KW	0-30KW
高度	3U			
电压纹波(CV)	3mV	8mV	20mV	3V
电压精度	0.02%+2mV	0.02%+8mV	0.02%+16mV	0.04% + 75 mV
电压分辨率(18bit)	191uV	800 μV	1.6mV	10 mV
电流精度	0.04%+90mA	0.03% + 25 mA	0.03% +13 mA	0.03% + 4 mA
电流分辨率 (18bit)	15.5mA	5mA	2.5mA	1.2 mA
OVP保护响应时间	30uS			
电压上升/下降时间	80uS	75uS	75uS	200uS
电流上升/下降时间	300uS	180uS	190uS	100 μs
瞬态响应时间	300uS			
正负电流无缝切换	是			
内置任意波形点数	64KSa			
内置示波器采样率	200KSa/s			
数据记录仪时长	1000小时			
内阻模拟	支持			
内阻设定精度	0.05% + 2 μΩ	0.05% + 16 μΩ	0.05% + 50 μΩ	0.06% + 0.55 mΩ
程控接口	GPIB/USB/LAN			

波形编辑

波形测试

APS电压波形注入和测量

高压、高频注入

300Vdc + 10kHz, 114Vp Sine Wave

300Vdc + 10kHz Signal AM modulation 1kHz, 60Vp

APS 先进电源系统的小结

电源棘手问题，就找“APS”

- 超高压、大功率、精准光伏/储能测试
- 储能逆变器的电流和功耗分析和电池续航测试
- 快充快放的电池BMS安全和续航分析
- 动力电池的高频、高电流注入快速温升测试

N7900 APS

BV9200 APS分析软件

RP7900 R-APS

BV9210 电池模拟器软件

电压	型号	电流	功率	备注
9V	N7950A	±100A	1KW	工作于负载时，N7900 为功率消耗型，100%功率吸收需要配置N7909A功能耗散器 RP7900为馈网式
	N7970A	±200A	2KW	
20V	N7951A	±50A	1KW	
	N7971A	±100A	2KW	
	RP7941A	±400A	5KW	
	RP7943A	±800A	10KW	
40V	N7952A	±25A	1KW	
	N7972A	±50A	2KW	
60V	N7953A	±16.7A	1KW	
	N7973A	±33A	2KW	
80V	N7954A	±12.5A	1KW	
	N7974A	±25A	2KW	
	RP7942A	±125A	5KW	
	RP7945A	±250A	10KW	
120V	N7976A	±16.7A	2KW	
160V	N7977A	±12.5A	2KW	
	RP7946A	±125A	10KW	
500V	RP7961A	±20A	5KW	
	RP7962A	±40A	10KW	
950V	RP7963A	±20A	10KW	
1000V	RP7972A	±60A	20KW	
2000V	RP7973A	±30A	20KW	
1500V	PV8921A	30A	20KW	光伏模拟器
2000V	PV8922A	30A	20KW	
BV9201A	PC 电源控制软件，*RP79xx 适用			
DG9000A	PC 光伏模拟器软件，*PV8921A，PV8922A适用			
BV0003B	PC BenchVue电源控制软件，兼容Keysight 所有电源			