Techcomp 天美仪拓实验室设备(上海)有限公司 Techcomp Instrument Co.,Ltd

天美集团总部
香港新界葵涌永得利广场1座2606
852－27519488
techcomp@techcomp.com.hk

北京分公司
北京市朝阳区北苑路58号航空科技大厦1号楼4层
010－64010651
techcomp@techcomp.cn

全国免费服务热线
400-810-7898
www.techcomp.cn
www.techcomp.com.hk

天美仪拓实验室设备(上海)有限公司
上海市松江新桥民益路 201号16幢
021-67687200
techcomp@techcomp.cn

广州分公司
广州市海珠区南边路38号保利1918产业园自编20号楼A218
020-32644011
techcomp@techcomp.cn

天美集团官方网站 天美集团官方微信 售后小程序

Techcomp

APPLICATION SOLUTION FOR LITHIUM BATTERY INDUSTRY

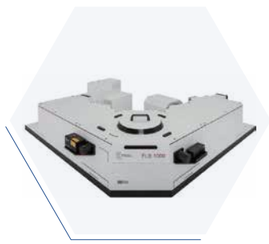
锂电池行业应用解决方案

天美仪拓实验室设备(上海)有限公司

天美公司简介

天美集团专注从事化学分析仪器、色谱仪器、生命科学及实验室常规设备的研发、制造及销售公司，成立35年来不断为科研、教育、检测及生产提供完整可靠的实验室解决方案。

近十年来天美积极拓展国际市场，在多个国家设立分支机构，先后收购了英国Dynamica达美柯品牌、具有百年历史的法国实验室温控设备Froilabo（法莱宝）公司、有八十年历史专注于实验室精密称量的瑞士Precisa（普利赛斯）公司、有五十年历史并在全球荧光光谱仪具有领先地位的英国Edinburgh Instruments（爱丁堡仪器）、德国布鲁克公司Scion气相\气质以及Tekmar顶空产品线，2021年又进一步控股了英国同位素质谱公司(Isotopx)。



锂电池行业及其未来！

锂电池概念：锂电池是以锂金属或锂合金为负极材料，采用非水电解质溶液的电池。随着科技的发展，锂电池已经成为主流。

锂电池分类及优势：一般分为两类，锂金属电池和锂离子电池。其优势包括：能量高、电池电压高、工作温度范围宽、储存寿命长，等。

应用：广泛应用于军用和民用小电器。大容量的锂电池已广泛应用于电动汽车，成为电动汽车的主要动力源之一。锂电池也将应用于人造卫星、航空航天、储能等领域。

工作原理：锂电池主要由正极材料、负极材料、隔膜、电解液组成。锂离子在正负极之间迁移，与正、负极材料发生化学反应，将化学能和电能相互转换，实现电荷的转移，从而完成充电与放电的过程。隔膜主要是将正极与负极隔离，防止短路。（见图1）

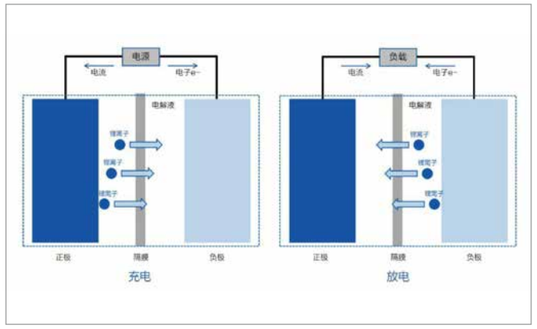


图1：工作原理图

锂电池与我们的生活：锂电池在我们生活中，影响着方方面面，我们用到的手机，电脑，出行使用的电动车，使用的充电宝等，里面装都是用了锂电池。

未来及前景：目前锂电池主要的一个应用领域，新能源，已经成为全球发展的主要方向，新能源汽车对锂电池的需求不断攀升。根据下图（中商产业研究院2022年数据）显示，新能源汽车占比高达53%以上。此外，手机、电动工具、数码相机等行业的快速发展，锂电池的需求将持续增长，前景广阔。锂电池的意义在现今迈向清洁时代显得尤为重要。目前全国已有超过400家锂电池产业链领先企业。随着国内对新能源产业的大力扶持，国内外很多相关的企业、科研机构及高校等单位已加大资金、人员、设备/仪器各方面的投入，不断研究新材料，提高锂电池的各方面的性能。锂电池材料所关心的结构、性能等，均与电池材料的组成与微结构密切相关。准确和全面的了解锂电池材料的构效关系需要运用多种检测技术。

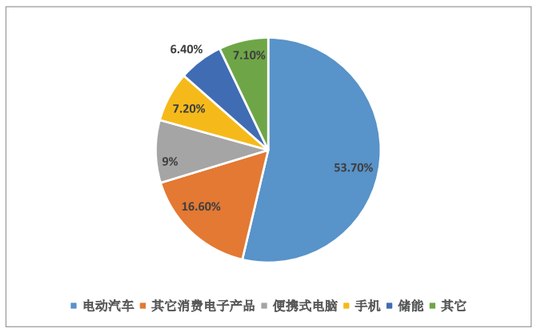


图2. 中国锂电池下游应用领域占比统计（数据来自于中商情报网）

我国作为锂电池第一大国，有条件并且也需要从战略角度，更好地发展锂电池产业，迈入中国新能源时代。

锂电池产业链:

如下表1我们汇总了锂电池产业链上游,中游,下游所涉及的内容:

锂电池产业链上游	
正极材料(锂电池中成本最高的部分,约占40%	钴酸理
	锰酸锂
	磷酸铁锂
	三元材料
负极材料(分为碳基和非碳基两大类)	石墨材料(负极材料中占比80%以上)
	碳材料
	钛酸锂
	硅碳负极 (下一代主导材料)
电解液	溶剂
	添加剂
	电解质 (成本在电解液中占比约40%)
隔膜材料 (最具技术壁垒的关键内层组件)	
上游 为原材料与锂电设备	

加工 →

中游		
锂电芯	锂电池	锂电池模组及电池包装:
		圆柱形电池 方形电池 软包电池
中游 是锂电池制造,将正极、负极、电解液、隔膜加工后形成锂电芯,锂电芯进行模组装配及 PACK 形成了锂电池包		

应用 →

下游	
动力领域(占比 60-70%)	锂电池回收利用
消费领域	
储能领域(风光储能 / 家庭储能 /基站)	
下游 是锂电池应用,主要有新能源汽车储能、消费电子、电动工具等领域,最后对锂电池进行回收利用	

表1:锂电产业链上/中/下游涉及的不同原材料及加工和应用

应用解决方案:

其中所用原材料,及成分含量的控制及检测,定性和定量分析都需要用到很多仪器(如,快速水分测定仪,DSC, 热重分析仪,气相色谱仪,质谱仪,拉曼光谱仪,红外光谱仪,水分灰分仪,离心机,安全柜,手套箱,天平,及其它常规设备。天美仪拓实验室设备(上海)有限公司,作为分析仪器、色谱仪器、生命科学及实验室常规设备的主要领导者,将为锂电池行业的应用提供全面解决方案,助力企业及科研人员在锂电行业的更高成就!

类别	应用及要求	天美推荐仪器
锂电池材料成分水分控制/含量检测/热稳定性检测	正极材料、负极材料,电解液、隔膜等材料中的水分控制及快速测量,热稳定性,热安全性能,熔融温度,等的测定,及所需材料的称量	Precisa水分测定仪 Precisa 电子天平 Techcomp 差示扫描量热仪 Techcomp RZY-2A热重分析仪 Techcomp CRY-2A差热分析仪
样品气化后的定性定量分析	电解液中阻燃剂检测,电解液中其他添加剂分析,电解液有机溶剂成分研究,锂电池产气成分检测	SCION 8300&8500 GC 气相色谱仪 SCION 8700 SQ & 8900 TQ 质谱仪
正负极材料/电解液/隔膜/绝缘片等原材料的鉴定,测试,分析,及表征	锂电池原材料的鉴定,正极材料/及电解液原料分析,电极材料、隔膜材料及电解质的表征,热失控产气体测试,负极材料灰分测试,等	英国爱丁堡显微共聚焦拉曼光谱仪RM5 紫外-可见分光光度计UV2600/1200 傅里叶变换红外光谱仪IR5 英国爱丁堡气体传感器 瑞士 Precisa 全自动水分灰分仪
样品的其它常规操作	针对材料样品中微量元素的分离,检测,烘干,存储,灭菌	Dynamica台式离心机 Nuaire 安全柜 Froilabo 烘箱/超低温冰箱 COY手套箱 Tomy灭菌锅

表2:天美仪拓助力锂电行业的应用方案推荐表

锂电电芯制造过程中的水份控制整体方案

Precisa
A Techcomp Company

高效准确	物理方法	一体化	坚固便捷	低至100ppm至高精度
5min测试 提升效率	不受成分限制 无须化学背景	快速判定 无须转移	产线依然表现优异 智能化操作界面	可读性0.1mg/0.001%MC 针对低水分含量样品的完美方案

锂电浆料固含量快速测定

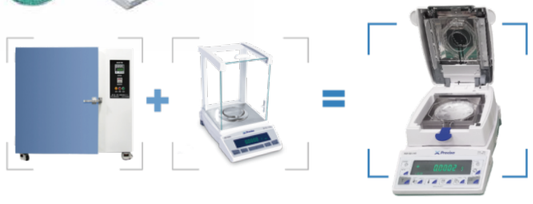
快速水分测定仪

用途:为了满足后续涂布工艺要求,产线需要快速测定锂电池浆料的固含量

推荐设备:普利赛斯Precisa 快速水分测定仪 330XM

优点和主要特性:

- 结果准确,重复性好
  - 新环形卤素灯:精准控温,热量均匀
  - 卓越称量传感器:0.1mg/0.001%MC
- 大大提高产线效率
  - 卤素灯加热技术:0.78-1.1um 快速升温
  - 称量单元:感知更快,更稳定
  - 一体化设计:一键操作,自动计算
- 智能测试
  - 智能化操作界面
  - 支持多种数据传输方式,对接MES/LIMS系统



Precisa 330XM快速水分测定仪

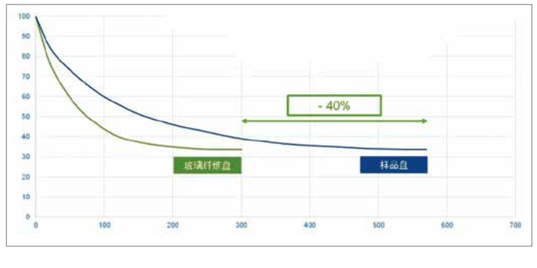
卓越的称量性能--最佳重复性

样品:正极浆料

推荐设备: Precisa XM60-HR

1. 选择选定的测试方法
   - 升温程序:标准
   - 干燥温度:140 °C
   - 关机模式:3(1mg/50s)
   - 显示模式: %DC
2. 添加样品
   - 使用搅拌器均匀搅拌样品
   - 放置铝箔样品盘和玻璃纤维盘并去皮
   - 加入1.5g 样品并均匀分布在玻璃纤维盘中
3. 测试结果和实时测试曲线(如右)

Smples	正极浆料		
	Mean (%DC)	SD	Time (min)
快水法	65.462	0.034	6
烘箱法	65.47	0.055	120



玻璃纤维盘:液体样品的完美解决方案

- 样品平铺更均匀
- 增加受热面积

锂电正负极极片水分控制

快速水分测定仪

用途：极片生产过程中水分会影响电池性能

推荐设备：普利赛斯Precisa 快速水分测定仪 365EM

优点和主要特性：

- 快速测试
  - 低至100ppm精度
  - 低水分含量完美解决方案
- 专业的测试方案
  - 专业的系统对接解决方案
- 无线和有线数据传输
  - 未来统一的数据管理
  - 测试参数与数据安全

Precisa 365EM快速水分测定仪

快水挥发份 → KF H2O → 其他杂质

低水含量样品快捷测试的不二之选！

样品：正极极片

推荐设备：Precisa EM120-HR

- 与KF结果的差值可作为杂质含量的判定标准
- 适当的减少有机溶剂在实验室带来的危害
- 提升产线测试效率

Smaples	EM120-HR		
	Mean（%DC）	SD	Time（min）
正极极片磷酸铁锂	0.676	0.056	10

EM120-HR快速水份测定仪

铝箱样品盘

玻璃纤维盘

Tips:极片水份含量非常低，且容易吸水:

- 建议选择EM120-HR在现场做样
- 与KF法结果有偏差 → 测试成分不同
- 加热浮力会导致出现曲线先上升在下降的现象

100ppm 可读性 0.1mg

挥发份 结果准确 重复性好

便捷 自动计算 易于清洁

锂电材料的热稳定性

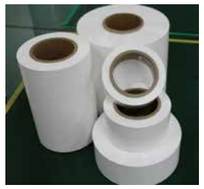
DSC30差示扫描量热仪

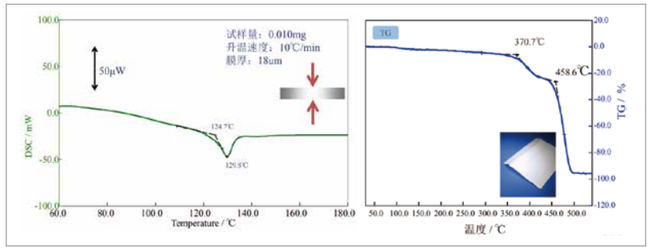
用途：电池材料隔离膜的宏观热性能评价

推荐设备：天美Techcomp差示扫描量热仪 DSC30-3

优点和主要特性：

- 机械制冷-40°C
- 稳定性和重复性能好
- 可配备ipad显示
- DSC测量范围达到1000mw
- 加热炉纯银材料，温控性能好
- 自动升降炉盖





- 隔离膜：由聚乙烯或聚丙烯组成的微孔结构的薄膜
- 位于电池正极和负极之间，将正负极活性物质隔开，防止两级因接触而发生短路；此外还需让电解液中的离子在正负极之间能自由通过。当电池内部温度异常时，隔膜发生熔融，微孔关闭，变为绝缘体，防止电解质通过，遮断电流，从而起到安全保护的作用

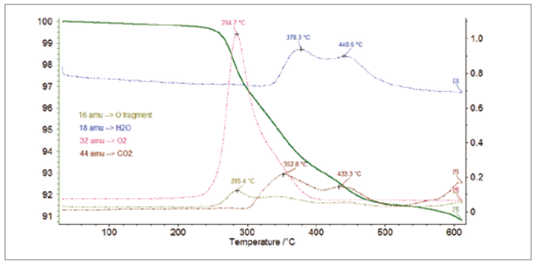
RZY-2A热重分析仪/ZRY-2A高温综合同步热分析

用途：钴酸锂被广泛地用作锂离子电池的正极材料。在设计内在更安全、更高效的电池系统时，该正极材料的热稳定性也是一个重要因素。

推荐设备：Techcomp RZY-2A热重分析仪/ZRY-2A高温综合同步热分析

优点和主要特性：

- 炉子体积小、重量轻
- 天平采用下皿式结构
- 采样过程全智能化
- 光电天平精度百万分之一
- 双路气氛控制单元
- 可根据用户需要提供专业软件升级
- 外观升级



铌酸锂LiNbO3居里温度测试

CRY-2A差热分析仪

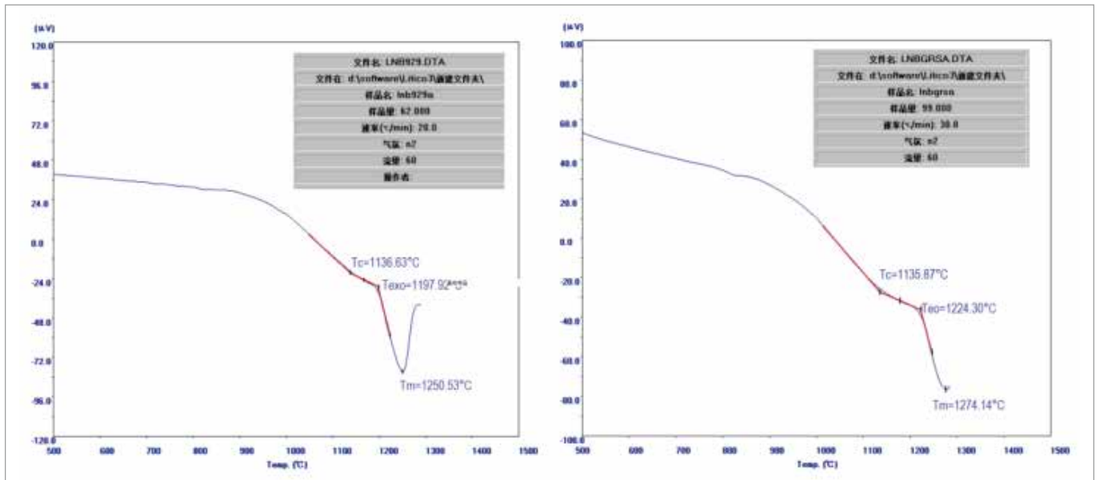
用途：铌酸锂晶体是用途最广泛的新型无机材料之一，它是很好的压电换能材料，铁电材料，电光材料。

推荐设备：Techcomp CRY-2A差热分析仪

优点和主要特性：

- 最高温度可达1450℃
- 炉子体积小、重量轻；炉子的热容量小，升降温速率快，炉温控制精度高
- 采样过程全智能化，能实时灵敏准确反应样品特性
- 配备数据采样、数据处理（可计算熔点、热焓、玻璃化温度、部分面积、氧化诱导期、动力学参数等）、数据输出功能的全方位专业智能软件包
- 用户可方便对仪器进行仪器常数校正，包括温度和热焓校正，减少仪器系统误差

0.1mg实验坩埚：凹底氧化铝坩埚
温度范围：室温~1300℃
实验气氛：氮气N2
升温速率：30℃/min



▲晶粉样品　　▲片状样品

锂电正负极极片称量

分析电子天平

用途：正负极极片称重计算面密度

推荐设备：普利赛斯Precisa 分析天平 321LS

优点和主要特性：

- 简便的按键操作
- 全自动校准，可根据温度变化和时间设定自动启动内校系统(SCS)
- 可快速判断最小样品量
- 符合GMP/GLP要求
- 上下壳体全铝合金制造，坚固耐用
- 可选IP65 防护等级

Precisa 321LS分析天平

锂电上游材料锂盐称量

半微量电子天平

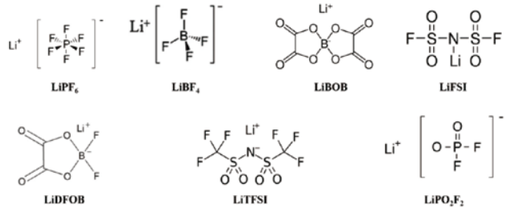
用途：锂盐称重

推荐设备：普利赛斯Precisa 半微量天平 360ES

优点和主要特性：

- 简便的按键操作
- 图形化显示，可定制化
- 独特的圆形风罩
- 多用户管理
- 最小样品量(USP 41)
- 人性化校准系统，可根据温度变化和时间设定自动启动内校系统(SCS)
- 可选IP65 防护等级

Precisa 360ES半微量天平



锂电池电解液和产气成分检测 Scion GC及GC-MS 系统

SCION气相色谱仪产自荷兰，继承并发展了原瓦里安的设计理念：创新性与可靠性结合。基于对行业需求的深刻理解，SCION 8000系列GC优越稳定的性能将带给用户前所未有的成功体验。SCION 8300-GC 和 8500-GC 能够满足众多用户的常规和特定需求，具有性能可靠，操作简单、易于维护等特点。

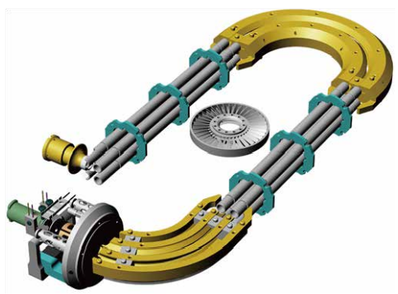
SCION8300 GC 气相色谱

SCION8300 GC 气相色谱

SCION GC-MS 系统：

- 惰性系统流路设计，无需担心样品吸附
- 轴向惰性离子源，分子路径畅通，无需频繁清洗离子源
- 高精度控制保证长时间运行的稳定性和重复性
- 独特的 90°弯曲 q0，保护四级杆不被污染，超高灵敏度，
- S/N≥1500:1
- 多轴设计，最大程度消除中性噪音，提高灵敏度
- q0主动聚焦技术，通过氦气分子聚焦离子束，提高灵敏
- 度，操作简单，易于维护
- 创新的无透镜设计（美国专利 6576897），使调谐更加简单
- EDR检测器带来更宽的线性范围，杜绝检测器饱和
- 仅输入化合物名称，相应的 MRM 信息即可自动填写
- 模块化设计，离子源更换和清洗更加容易，高容量分子涡轮泵，仪器随时待命！
- 抽真空 25 min 即可正常运行
- 轻松兼容 CI 源，反应气可使用较高流量
- 体积精巧，结构紧凑
- 多重弯曲，结构精巧，为您将实验室空间节省到极至

SCION8300 GC 8900TQ 三重四极杆气质联用仪



SCION 8900 TQ 三重四极杆示意图

电解液中阻燃剂检测

阻燃添加剂一直是电子电气产品的检测热点。2015 年 6 月 4 日，欧盟颁布 RoHS 2.0 修订指令，PBB 和 PBDE 依然在管控之列，并更新了配套检测标准：IEC 62321-6:2015《气相色谱质谱联用测定多 溴联苯和多溴联苯醚》。我国检验检疫行业标准SN/T 2005.2-2005 同样规定了电子电气产品中多溴联苯和多溴联苯醚的气相色谱-质谱测定方法，与 ROHS 测试方法 IEC 62321-6：2015 方法归纳如下：

方法	SN/T 2005.2-2005	IEC 62321-6:2015
化合物	一溴联苯（醚），二溴联苯（醚），三溴联苯（醚），四溴联苯（醚），五溴联苯（醚），六溴联苯（醚），七溴联苯（醚），八溴联苯（醚），九溴联苯（醚），十溴联苯（醚）。	一溴联苯（醚），二溴联苯（醚），三溴联苯（醚），四溴联苯（醚），五溴联苯（醚），六溴联苯（醚），七溴联苯（醚），八溴联苯（醚），九溴联苯（醚），十溴联苯（醚）。
仪器	GC-MS	GC-MS
前处理	索氏提取	索氏提取
色谱柱	VF-5HT, 30 m×0.25 mm×0.1 μm（瓦里安品牌色谱柱）	5%苯基甲基聚硅氧烷，15 m×0.25 mm×0.1 μm，高温柱
程序升温	100 ℃（3 min），以 5 ℃/min 升到 320℃（10 min）。	110 ℃（2 min），以 40 ℃/min 升到 200 ℃，10 ℃/min 升到 260 ℃，20 ℃/min 升到 340℃（2 min）。
进样口	分流不分流进样口，320℃	**三种进样口，选择其一即可。** ① PTV 进样口：初温 50-90 ℃，以 300℃/min 升到 350℃（15min） ② COC 进样口：也可选用 COC 进样口，高沸点组分灵敏度会提高，但要注意基质效应 ③ SSL 进样口：280℃
传输线	320℃	300℃
离子源	300℃	230℃
载气	He，1.5 mL/min	He，1 mL/min
进样量	1 μL，不分流	1 μL，不分流
质量扫描范围	100-1000 amu	至少扫描到 1000 amu
溶剂延迟	5 min	

这两项标准都要求质量数范围至少达到1000amu，这是因为PBDEs的分子量非常大，含溴原子较多，溴又存在多种同位素，而质谱仪扫描质量范围必须包括质量数最大的PBDE的分子离子峰，否则该仪器就不适用该物质。十溴联苯醚的分子量为959.17，所以扫描质量数范围必须大于959并且有一定的上限范围，所以两项标准都要求质谱仪的扫描质量数范围至少达到 1000amu。

SCION 8700SQ 及 8900TQ 提供行业领先的扫描质量数范围，可以从 1amu 扫描到 1200amu，非常适用于多溴联苯醚的分析。

按照 IEC 62321-6，采用 SCION 8700SQ 测试了 5 种 PBBs，总离子流图如图1所示

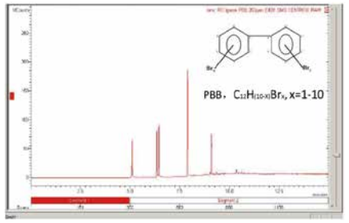


图 1. 5 种多溴联苯 PBBs 的总离子流图

5 种多溴联苯分离度良好，分别对单个多溴联苯的质谱图进行谱库检索，匹配准确，如图2至图4所示。

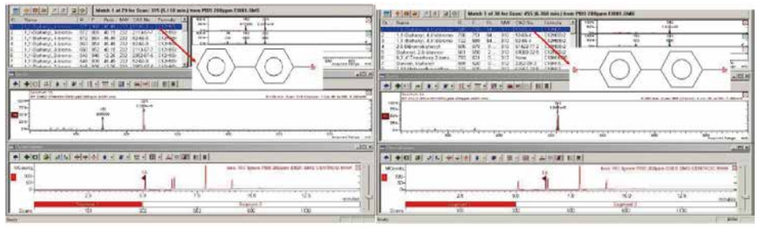


图 2. 一溴联苯（C12H9Br）和二溴联苯（C12H8Br2）质谱图的谱库检索结果

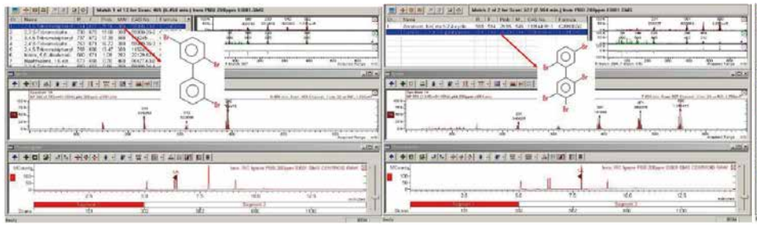


图 3. 三溴联苯（C12H7Br3）和五溴联苯（C12H5Br5）质谱图的谱库检索结果

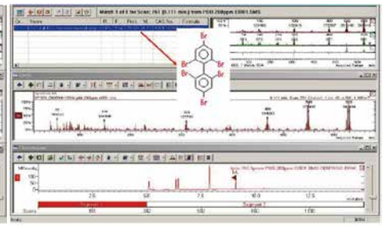


图 4. 六溴联苯（C12H4Br6）质谱图的谱库检索结果

多溴联苯醚容易被玻璃衬管表面吸附，造成脱尾；普通质谱仪质量数范围限制，高分子量的样品容易产生歧视，响应很低；尤其高质量的十溴二苯醚沸点太高，因此需要较高的末温，无法用普通色谱柱分析。针对这些问题，SCION选用惰性衬管，并且由于 SCION MS 质量数范围高达 1200，不必担心高质量端歧视；选择 SCION 89000TQ 三重四级杆质谱，建立 MS/MS 方法，使用离子对的方式定性和定量，提高灵敏度。7 种 PBDEs 的总离子流图如图 5 所示。

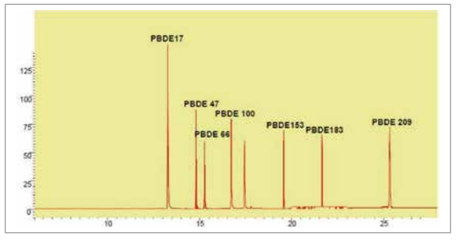
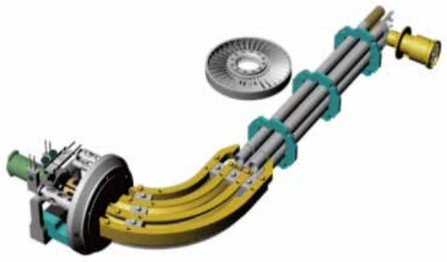


图 5. 7 种 PBDEs 的总离子流

电解液中其他添加剂分析

除了溴代阻燃剂，锂电池电解液还有其他添加剂，用于改善锂电池的性能。一般来说，所用的添加剂主要有三方面的作用：第一，改善SEI膜的性能。在锂离子电池电解液中加入苯甲醚或其卤代衍生物，能够改善电池的循环性能，减少电池的不可逆容量损失。第二，降低电解液中的微量水和HF酸。碳化二亚胺类化合物能阻止$LiPF_6$水解成酸，另外，一些金属氧化物如Al_2O_3、MgO、BaO、Li_2CO_3、$CaCO_3$等被用来清除HF。第三，防止过充电、过放电。电池生产厂家对电池耐过充放性能的要求非常迫切。传统防过充电通过电池内部的保护电路，现在希望向电解液中加入添加剂，如咪唑钠圈、联苯类、咔唑类等化合物，该类化合物正处于研究阶段。

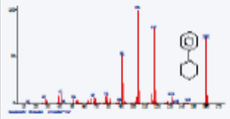
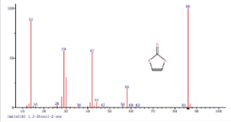
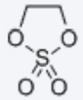
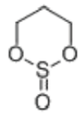
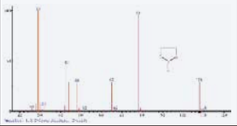
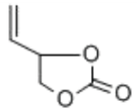
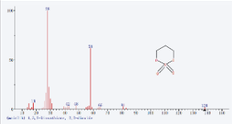
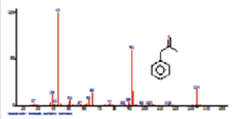
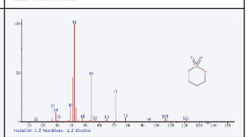
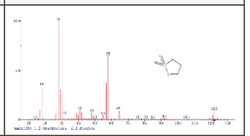
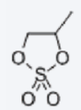
SCION8300 GC 8700SQ 单四极杆气质联用仪

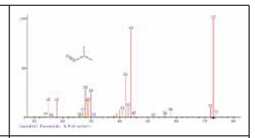
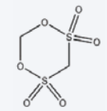
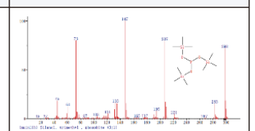
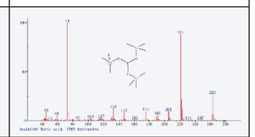
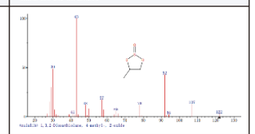
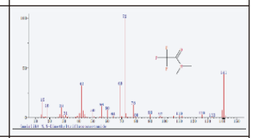
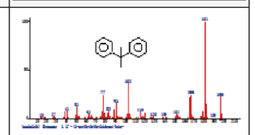
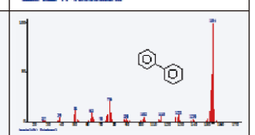
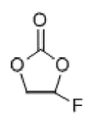
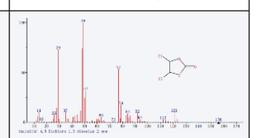
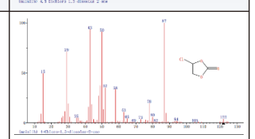
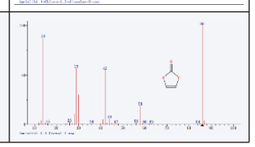


SCION8700 SQ 单四极杆质谱示意图

不同的生产厂家对电池的用途、性能要求不一，所选择的添加剂的侧重点也存在差异。但这些添加剂都是有机物，且沸点不高，都在 400°C以下，适合用 SCION-GCMS 检测，并且几乎所有物质都被 NIST 谱库收录，说明 GCMS 测试这些添加剂是可行的。根据这些添加剂的物化性质及官能团，以及谱库方法推荐，可选择 SCION-5ms 或 SCION-1ms 色谱柱进行分离。

实际检测结果见下表

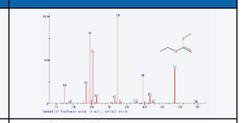
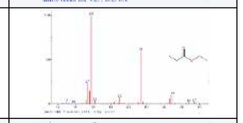
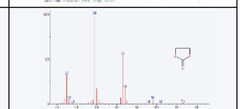
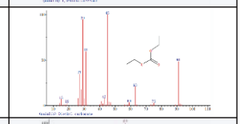
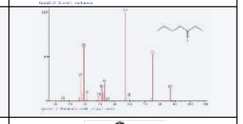
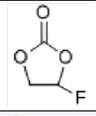
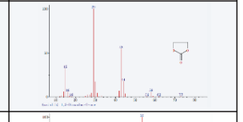
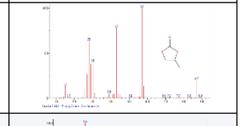
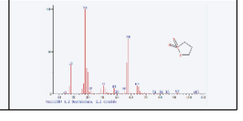
序号	化学名称	用途	CAS号	分子式	分子量	沸点	质谱信息
1	环己基苯 (CHB) Cyclohexyl benzene	用于锂二次电池电解液的添加剂，具有防过充性能。应用于锂电池高温溶剂。	827-52-1	C12H16	160	239-240°C	
2	亚硫酸亚乙酯（ES、DTO） Ethylene sulfite	作锂离子电池电解质的有机溶剂，又可作为锂离子电池电解液的添加剂，锂离子电池电解质添加了DTO后将呈现出优异的储存稳定性，可以提高电解液的低温性能，同时可以防止 PC 分子嵌入石墨电极。	3741-38-6	C2H4O3S	108	170.6°C	
3	硫酸亚乙酯（DTD） Ethylene Sulfate	作为锂离子电池电解液的添加剂，其作用在于抑制电池初始容量的下降，增大初始放电容量，减少高温放置后的电池膨胀，提高电池的充放电性能及循环次数。用于有机合成的羟乙基化试剂合成药物中间体。	1072-53-3	C2H4O4S	124	232.1±7°C	
4	亚硫酸丙烯酯（PS） Propylene sulfite	用于锂二次电池电解液添加剂，可以提高电解液的低温性能，同时可以防止 PC 分子嵌入石墨电极；用于有机合成、药物中间体。	4176-55-0	C3H6O3S	122	187.5°C	
5	碳酸亚乙烯酯 (VC) Vinylene carbonate	是一种锂离子电池新型有机成膜添加剂与过充电保护添加剂，具有良好的高低温性能及防气胀功能，可以提高电池的容量和循环寿命。还可作为制备聚碳酸亚乙烯酯的单体。	872-36-6	C3H2O3	86	162°C	
6	碳酸乙烯亚乙酯 （VEC）Vinyl Ethylene Carbonate	锂二次电池中作高反应活性的成膜添加剂。见附注	4427-96-7	C5H6O3	114.1	237°C	
7	硫酸丙烯酯 Trimethylene Sulfite	用于锂二次电池电解液添加剂，可以提高电解液的低温性能，同时可以防止 PC 分子嵌入石墨电极；用于有机合成、药物中间体。	1073-05-8	C3H6O4S	138	153°C	
8	苯基丙酮 Phenylacetone 1-Phenyl-2-acetone	应用于锂离子电池电解液	103-79-7	C9H10O	134	216°C	
9	1,4 丁烷磺酸内酯（1,4BS） 1,4-Butane sultone	应用于锂离子电池电解液中	1633-83-6	C4H8O3S	136	299.9°C	
10	1,3- 丙烷磺酸内酯 1,3-Propanesultone； 1,2-Oxathiolane, 2,2-dioxide	重要的医药中间体，也应用于光亮剂，染料，双离子表面活性剂，磺化剂，锂电池等	1120-71-4	C3H6SO3	122	297.6°C	
11	4- 甲基硫酸亚乙酯 Propane 1,2-Cyclic suefate，4-Meth- yl-2-oxo-1,3,2- dioxathiolane-2， 2-dioxide	锂离子电池电解液添加剂，有机合成中间体，药物中间体等。	5689-83-8	C3H6O4S	138	371.6°C	

12	N,N- 二甲基甲酰胺 DMF N,N-Dimethylformamide； Formdimethylamide	二甲基甲酰胺(DMF)作为重要的化工原料以及性能优良的溶剂。用作溶剂，具有很强的溶解能力，属极性惰性溶剂，能够溶解聚氨酯、聚丙烯腈、聚氯乙烯等，对铁和软钢没有腐蚀性，但钢和铝会使溶剂变色。还可用作底涂剂。	68-12-2	C3H7NO	73	153°C	
13	甲烷二磺酸亚甲酯 1,5,2,4-dioxadith- iane-2,2,4,4-tetraoxide， methylene methanedisulfonate	添加了MMDS的电池具有很好的高温循环性能。适用于动力电池，特别是锰酸锂做正极材料的动力电池，MMDS 能防止高温下熔出的 Mn 吸附在负极表面，抑制了阻抗上升，有效提高了循环周期特性，可以大大增加其循环寿命。	99591-74-9	C2H4O6S2	188	-	
14	三（三甲基硅烷）亚磷酸酯 Tris(trimethylsilyl) Phosphite	锂离子电池电解液添加剂	1795-31-9	[(CH3)3SiO]3P C9H27PSi3 O3	298	236.1°C	
15	三（三甲基硅烷）硼酸酯 Tris(trimethylsilyl) borate	锂离子电池电解液添加剂	4325-85-3	[(CH3)3SiO]3B	278	186°C	
16	4- 甲基亚硫酸乙烯酯 propone-1,2-cyceic suefite1,2- propanediol sulfite, 4-methye-1,3,2-di- oxathio lane-2-oxide	锂离子电池电解液添加剂	1469-73-4	C3H6O3S	122	-	
17	N,N'- 二甲基三氟乙酰胺 N,N'-dimethyl-trifluo- roacetamide	锂离子电池电解液添加剂，有助于改善电池 PC 基电解液的性能和锂离子电池的低温性能	1547-87-1	C4H6F3NO	141	132°C	
18	2,2- 二苯丙烷 2,2-diphenylpropane	锂离子电池电解液添加剂，可以起防护过充作用。	778-22-3	(CH3)2C (C6 H5)2	196.29	282°C	
19	BP(联苯)	BP（联苯）和 CHB（环己基苯）在过充时，在电解液氧化前发生电聚合，起到防过充作用	92-52-4	C12H10	154	255°C	
20	氟代碳酸乙烯酯 (F-EC) Fluoroethylene carbonate	主要的锂离子电池电解液添加剂，形成 SEI 膜的性能更好，形成紧密结构层但又不增加阻抗，能阻止电解液进一步分解，提高电解液的低温性能和循环寿命。	114435-02-8	C3H3FO3	106	249.5°C	
21	氯代碳酸乙烯酯 Chloroethylene carbonate; Chloroeth- yleneglycol carbonate	合成锂离子电池电解液添加剂的中间	3967-54-2	C3H3ClO3	122	237.3°C	
22	二氯代碳酸乙烯酯 1,3-Dioxolane, 4,5-dichloro-2-oxo	锂电池化学品	3967-55-3	C3H2Cl2O3	156	28·1.7°C	
23	碳酸亚乙烯酯 Vinylene carbonate； 1,3-Dioxo-2-one	锂离子电池电解液添加剂	872-36-6	C3H2O3	86.05	162°C	

电解液有机溶剂成分研究

锂电池电解液应具有较高的离子导电性。这就要求有机溶剂的介电常数高、粘度小。烷基碳酸盐如PC，EC等极性强，介电常数高，但粘度大，分子间作用力大，锂离子在其中移动速度慢。而线性酯如DMC（二甲基碳酸盐）、DEC（二乙基碳酸盐）等粘度低，但介电常数也低。因此，为获得具有高离子导电性的溶液，一般都采用 PC+DEC，EC+DMC 等混合溶剂。国内常用电解液体系有 EC+DMC、EC+DEC、EC+DMC+EMC、EC+DMC+DEC 等。

电解液常用有机溶液成分的质谱检测信息如下表

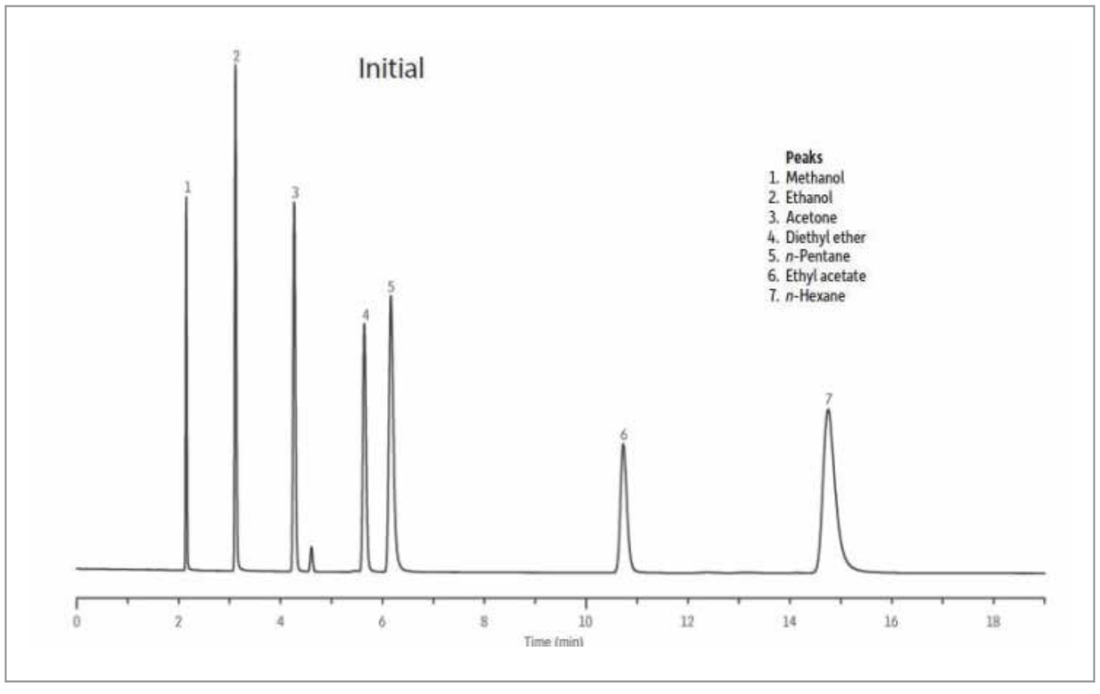
序号	化合物	CAS号	分子式	分子量	沸点	质谱信息
1	碳酸甲乙酯 EMC	623-53-0	C4H8O3	104	107°C	
2	丙酸乙酯 EP	105-37-3	C5H10O2	102	99°C	
3	碳酸亚乙酯 VC	96-49-1	C3H4O3	88	244°C	
4	碳酸二乙酯 DEC	105-58-8	C5H10O3	118	127°C	
5	丙酸丙酯 PP	106-36-5	C6H12O2	116	123°C	
6	氟代碳酸乙烯酯 FEC	114435-02-8	C3H3 FO3	106	249.5°C	
7	碳酸乙烯酯 EC	96-49-1	C3H4O3	88	244°C	
8	碳酸丙烯酯 PC	108-32-7	C4H6O3	102	240°C	
9	1,3-丙磺酸内酯 PS	1120-71-4	C3H6O3S	122	297°C	

由表可知，锂电池电解液有机溶剂沸点都在90-300°C之间，可采用SCION-GCMS测试锂离子电池电解液成分，选择SCION 8700SQ搭配SCION-5ms色谱柱即可。可将电解液样品采用乙酸乙酯直接稀释到合适的倍数，用气相色谱-质谱进行定性、定量，分析电解液中酯类物质。

锂电池产气成分检测

软包装锂电池在实际使用过程中，会发生产气从而导致电池膨胀，使设备无法使用。电池产生气体的主要成分是二氧化碳、乙烯、甲烷，另外还有氢气、一氧化碳、乙烷、氮气等。1999 年，K. Kumai 等研究者以 18650 型号的圆柱型电池为研究对象，对电池在正常使用电位范围(4.2~2.5V)、过放电电位(4.2V)时的产气情况进行了研究。结果表明，对正极材料为 $LiCoO_2$，电解液组成为 1M LiPF6 的 PC/DEC/DMC/EMC 体系，在不同电位下产生的气体各有不同，其中过充电产气主要以CO_2为主，正常电位范围内产生的气体主要以几种酯类的还原分解生成的烷烃类为主，而过放电同样与正常电位范围内的产气原理相类似，主要生成烷烃类气体、CO和CO_2。因此产气种类和含量对锂电池性能研究有重要意义。本文给出一种 GCMS 测试锂电池产气成分检测的方法。

可采用SCION-Q-bond色谱柱测试锂电池产气情况。SCION-Q-bond 色谱柱填料为 100%二乙烯基苯，对 C1-C3 异构体具有卓越的分离能力，最高可以分离 C12 烷烃；该色谱柱具有强保留性，可用于 CO_2 和甲烷与 $O_2/N_2/CO$的分离（需配置柱温箱冷却部件，方可实现$O_2/N_2/CO$分离）。下图为 SCION-Q-bond 色谱柱分离甲醇、乙醇、丙酮、二乙醚、正丙烷、乙酸乙酯、正己烷的色谱图

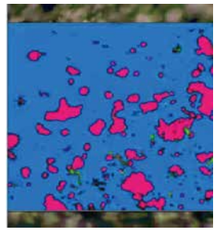


鼓包气成分检测示例图谱

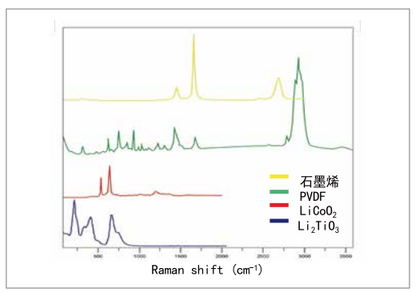
拉曼光谱在锂电池领域中的应用

用途：

- 锂电池原材料的鉴定
  - 金属氧化物
  - 碳材料
  - 粘合剂（聚合物材料）
  - 电解质
- 可视化正负极材料各组分的分布
- 正负极材料劣化分析
- 粘结剂的分布
- 结合电化学各组件，可原位检测锂电池在充放电过程中材料结构的变化

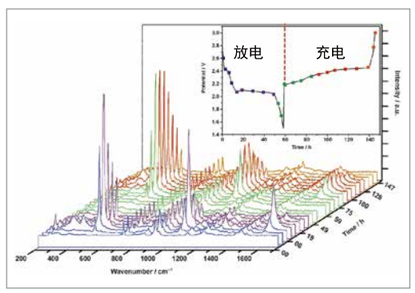


拉曼成像用于分析锂电池中不同组分：脱锂的$LiCoO_2$(绿色)、Mn_2O_2尖晶石（玫红色）、$LiCoO_2$（蓝色）



拉曼光谱确定锂电池中的不同组分：

石墨烯、PVDF、$LiCoO_2$、Li_2TiO_3



原位拉曼光谱表征在充放电过程中锂电池的结构变化：可以证明电解液中多硫化物的存在，用于辅助改善隔膜或者电极性能

推荐设备：英国爱丁堡显微共聚焦拉曼光谱仪RM5

优点和主要特性：

- 一体式科研级显微拉曼光谱仪
- 最多集成3个拉曼激光器
- 最多集成2个探测器
- 5位光栅塔轮
- 4位滤光片塔轮
- 真共焦技术
- 成像软件

锂电池正极材料原料分析

紫外-可见分光光度计

用途：锂电池正极材料原料（碳酸锂、单水氢氧化锂、氯化锂）中的硫酸根、铁、硅、氯、铝、砷的分析测试。（《GB/T 11064.9-2013》国标推荐）

推荐设备：紫外-可见分光光度计UV2600

优点和主要特性：

- 经典双光束光路设计
- 五档带宽自动切换（0.2/0.5/1/2/5nm）
- 实时暗电流自动校正
- 波长驱动细分，超快的扫描速度
- 压铸铝合金底板，光学系统稳定可靠，超低的杂散光
- 积分球、长程池架、自动六联池等多种附件满足测试需求

紫外-可见分光光度计UV2600

锂电池电解液原料分析

紫外-可见分光光度计

用途：锂电池电解液主要成分（六氟磷酸锂）中氟化锂的化学分析（三氧化二铁含量的测定）（《GB/T 22660.7-2008》国标推荐）。

推荐设备：紫外-可见分光光度计UV1200

优点和主要特性：

- 经典的比例双光束光路系统，固定带宽
- 直观的触屏操作，简单易用
- 一体式压铸铝合金底板，保证光学系统的稳定
- 全模具化一体成型外型，更加坚固耐用
- 激光刻画凹面光栅（高分辨率、高灵敏度、低杂散光）
- 多种附件可选，满足多种测试需求

紫外-可见分光光度计UV1200

锂电池热失控产气体测试

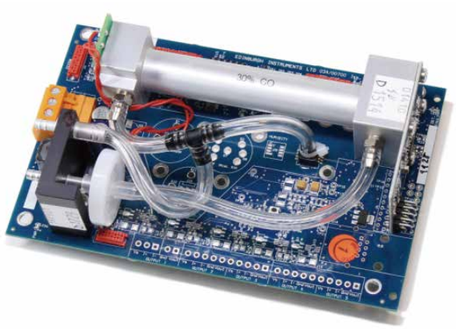
用途：测试锂电池热失控会后产生的产气规律和气体组成，在锂离子电池组热失控预警防护产品设计和生产中采取相应的防护措施。

推荐设备：英国爱丁堡气体传感器Gascard NG系列

- 传感器原理类型:NDIR 非分散性红外气体传感器
- 检测气体类型：CO2、CO及烷烃类
- 探测浓度范围：500ppm—100%（不同气体多浓度范围可选）
- 通讯方式:RS232; 模拟信号（4-20mA,0-20mA）

优点和主要特性：

- 精准：准确度 ±2%FSD
- 快速：响应时间 T90=10s(可程序编程)
- 稳定：零点稳定性 ±2% (超过12个月以上)
- 可靠：免维护



Infrared gas sensors: Gascard Range
GASCARD NG
For CO_2, CO & CH_4

锂电池负极材料灰分及挥发分的测试

用途：测试锂电池负极材料，如中间相、石墨、以及沥青包覆天然石墨材料、沥青等物质的灰分、挥发分含量，确定原料品质特性。

推荐设备：瑞士 Precisa 全自动水分灰分仪 prepASH 340系列

优点和主要特性：

- 操作简便，轻松上手

  测试替代传统烘箱马弗炉法，仅三步操作即轻松获取灰分或挥发分数据
- 容量大，测试效率

  可同时测试多至29位样品的灰分挥发分，自动出具报告和测试数据
- 精准度高，结果可靠

  分析精度：≤0.02%RSD，数据可追溯
- 连接三通气流单元，选择通入空气、N2、O2

prepASH® Series 340

锂电池电极材料、隔膜材料及电解质的表征

傅里叶变换红外光谱仪

用途：锂电池电极材料、隔膜材料的表征；锂电池聚合物电解质的表征（研究电极上形成的SEI膜的组成和性能、负极材料的晶相结构以及隔膜材料在充放电过程中化学键的变化；探索聚合物电解质中离子传递过程以及聚合物的微结构）。

推荐设备：傅里叶变换红外光谱仪IR5

优点和主要特性：

- 性能卓越--高灵敏度和光谱分辨率
- 配置灵活--选择配置第二检测器，获得更高的灵敏度
- 用户友好--操作简单，配备多种用户模式
- 无忧维护--拥有湿度控制技术，无需人工维护
- Miracle软件--强大、易用的专用红外测试和数据分析软件

傅里叶变换红外光谱仪IR5

样品的日常操作中其它辅助设备

手套箱设备

用途：锂电池材料可在手套箱内对敏感样品进行操作

推荐设备：美国的COY手套箱

优点和主要特性：

- 主机型号多，可选常规手套箱，也有厌氧箱、控氧箱、及定制实验工作箱可提供
- 箱体全透明，易于观察，且具有多种材质可供选择可实时监测并显示氢、氧浓度
- 且具有多种选配件加装功能（如显微镜观察窗），满足不同应用的需求
- COY公司成立于1969，其手套箱连续多年稳占美国市场54%以上，是全球最具盛名的生产商之一，可为您提供最适的手套箱设备

COY 手套箱

台式离心机

用途：锂电池中微量元素或其它所需成分的快速分离

推荐设备：英国Dynamica 台式高速冷冻离心机 V18R Pro

优点和主要特性：

- 具有独特的转头自锁、非接触式不平衡检测等多种领先技术，使操作变得简单，方便，安全。几秒钟内即可轻松取放转头及样品，无需工具锁定即可离心。
- 转速高（可达18000rpm），容量大（4x300ml），有多种转头可选，适用于0.2-300ml的不同样品的任意离心
- 先进的温度补偿、目视平衡，更好的保障了敏感样品的低温离心，及样品的快速配平。
- 是台式离心机的安心之选

Velocity 18R Pro

生物安全柜

用途：锂电池材料在安全柜内操作，保护了人员，样品，环境的生物安全，避免一旦含有有毒有害物质或元素对人和环境的损害。

推荐设备：美国Nuaire NU-543-400/500/600系列安全柜

优点和主要特性：

- 具有内外双层304不锈钢材质，主机性能更稳定，更符合生物安全级别要求高的操作中
- 具有专利设计的HEPEX™零泄漏气流系统，保障更好的安全性
- 采用大功率DC　ECM风机，使过滤器和主机使用寿命更长，噪音更低，操作更舒适
- Nuaire始建于1972年，被公认为实验室基础设备的领导者，是安全柜的品质之选

Nuaire NU-543系列安全柜

低温存储设备

用途：锂电池材料在低温下的有效存储及保护

推荐设备：法国Froilabo超低温冰箱

优点和主要特性：

- 采用真空隔热保温层（VIP），超薄占地小却容量大
- 低温环境范围宽，最低可提供-80到-85°C的低温环境
- 有不同的容量可选，从340L，515L，690L,到1000L，满足不同的需要
- 耗电量更低，断电亦可持续保温，比普通机型延长高达22%的时间
- Froilabo在温控领域具有百年的历史和经验，将为您提供更好的质量和服务

BM 690

烘干设备

用途：锂电池材料样品中水分的烘干

推荐设备：法国Froilabo烘箱

优点和主要特性：

- 有多种型号可选，可选AP/AE系列的中等容量（60L/120L/240L）烘箱，或AP系列的大容量烘箱（可达414L或735L）
- 具有不锈钢内胆，方便消毒、清洁

AP/AE烘箱
60L,120L,240L

灭菌消毒设备

用途：锂电池材料制造过程中所有器具的消毒灭菌

推荐设备：日本的Tomy灭菌器

优点和主要特性：

- 具有脚踏开关上掀盖
- 灭菌后可快速降温
- 具有定时预约功能，及安全锁四合一系
- TOMY是日本一家具有悠久历史的公司，成立于1958年，是知名的灭菌锅品牌