

## NexION 2000 ICP-MS 全新等离子发生器产品优势

作者：

Tak Shun Cheung

Cindy Wong

Hamid R. Badii

PerkinElmer, Inc.

Woodbridge, Ontario, Canada

### 作为质谱法电离源的电感耦合等离子体

自从 PerkinElmer-SCIEX 公司于 1983 年首次商品化电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 以来，它就成为了发展最快的痕量元素检测技术，覆盖了多个应用领域。随着中心抽头接地线圈的设计突破，我们首次克服了 ICP 源与质谱仪成功联结的障碍，从而将等离子体电势降至最低，消除了等离子体与接地 MS 接口之间的二次放电问题。等离子体射频发生器进一步发展后出现了独特的不同步设计，在无活动部件的情况下，这种设计可以通过细微的频率变化实现等离子体阻抗变化的即时匹配。另外，通过电平衡与地面电势有关的等离子体使等离子体电势保持在最低水平。

### 等离子体的生成

电感耦合等离子体是在三个同轴石英管组成的外管，即我们所说的炬管内形成的部分电离热气体区域。图 1 为正在运行的 ICP 炬管组成示意图。氩气以不同的流速流过三个石英管，从而起到生成等离子体，冷却和保护高温等离子体下的石英炬管表面的功能，最后将气溶胶样品引入等离子体的中心通道。

炬管顶端被与射频 (RF) 发生器相连的感应线圈（也叫加感线圈）包围。感应线圈一般是由盘绕的铜管组成，由流经线圈的冷却剂进行气体冷却或液体冷却。线圈在高电压下放电，使得流经感应线圈围绕区域的下游气体中产生电子和氩离子。电磁场与离子和电子的互动使其加速。但因为和阳离子相比，电子的质量轻得多，所以电子获得了更高的速度，从而在等离子体的碰撞过程中起到主导作用。电子与氩原子发生碰撞，产生足够的能量传递，更多氩原子的电离伴随着更多电子的释放，这些电子接下来又将参与碰撞过程。当电子从原子释放的速率等于电子与粒子重新结合的速率时，点火后等离子体短暂维持。后续过程涉及光子形式的能量释放，通过氩线光谱的叠加，光子产生等离子体连续发射。

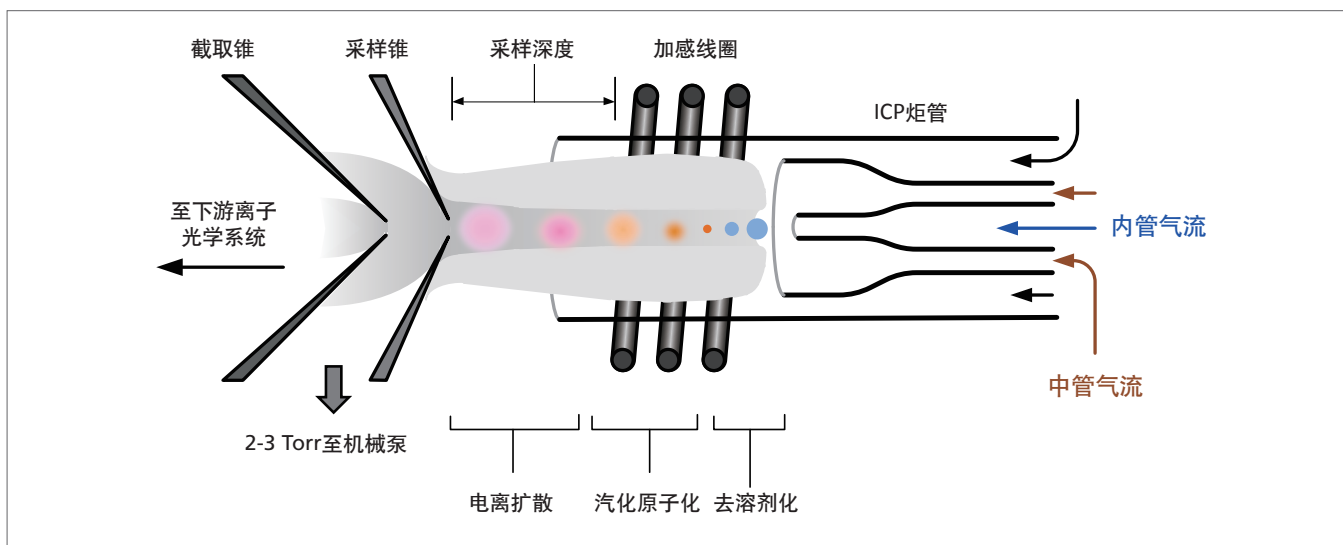


图 1. 与典型 MS 接口联结的 Ar ICP 源示意图，显示的是将一滴气溶胶样品转化为等离子体中的离子的过程。

射频磁场的大部分能量耦合于类似于“环状线圈”形状的等离子体外区，其温度可高达 10,000 K，但中心管区域的温度一般只有大约 5000 至 7000 K，这取决于等离子体的工作条件。图 2 显示的是氩 ICP 内的模拟温度场，演示了等离子体内的热不均匀性。因此不能假定 ICP 处于热力学平衡，因为包括电离、重组和激发在内的碰撞过程的性质从本质上而言各不相同。但可以放心地假定部分局部热力学平衡，在电离温度 ( $T_{ion}$ )、气体动态学温度 ( $T_{gas}$ )、电子温度 ( $T_e$ )、激发温度 ( $T_{exc}$ ) 和转动温度 ( $T_{rot}$ ) 的基础上描绘 ICP 的特征。

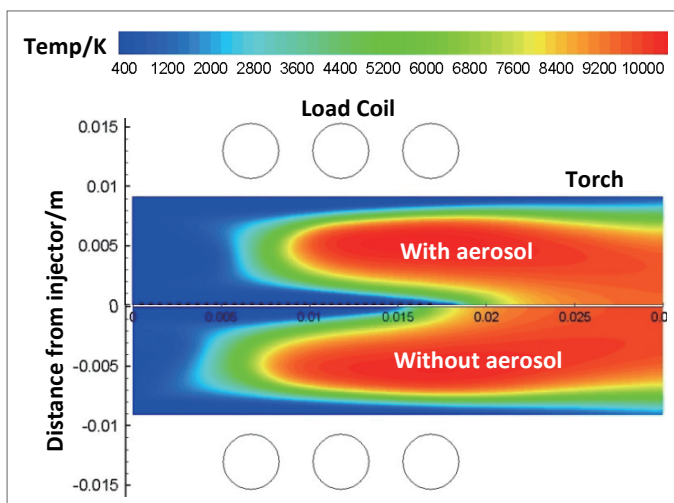


图 2. 有 (上半部) 和无 (下半部) 气溶胶引入时氩 ICP 炬内的模拟气体动力学温度场。模拟模型基于二维依照时序的 ICP 模型，假定局部热力学平衡 (LTE) 中存在光学薄射频等离子体。

图 1 还详细给出了每个液滴胶在等离子体中生成离子云的过程。气溶胶样品的液滴在等离子体中的停留时间内经历了一系列的去溶剂化、汽化、原子化和离子化过程。我们在思考由这些过程主导的等离子体区域时非常清晰明了，但实际上气溶胶样品不是由单分散液滴组成的，而是包含各种尺寸的液滴分布。因此我们认为这些区域在一定程度上重叠。除了上述过程以外，蒸汽样品的扩散和等离子体中产生的离子云可能明显影响信号的强度。通常在等离子体这个点的周围的信号是最强的，此时汽化和离子化过程几近完成，但扩散仍是这一过程的主导因素。除了液滴尺寸以外，等离子体中的这些过程的持续时长很大程度上取决于操作条件，例如等离子体取样深度、等离子体功率、雾化器气体流速和内管直径。

### ICP-MS 的理想射频发生器的重要属性

任何射频发生器的主要功能都是向加感线圈发出一个带有边界和稳定的交流电，从而点燃和维持可靠的等离子体。为了使射频功率与等离子体的传输效率最大化，源阻抗 (即发生器) 和负荷 (即等离子体源) 必须匹配，形成一个单独的电路。这叫做共鸣或阻抗匹配条件。电路的阻抗 ( $Z$ ) 取决于操作频率，并有一个实数 (电抗) 部分和虚数 (无功) 部分定义相位关系，用笛卡尔术语表示为：

$$Z = R + jX$$

式中， $j$  是虚数项 ( $\sqrt{-1}$ )， $R$  和  $X$  分别是电阻 ( $\Omega$ ) 和电抗 ( $\Omega$ )，定义阻抗的实数部分和虚数部分。

等离子体的阻抗是一个动态变量，会随着变化着的等离子体操作条件快速变化，例如射频功率、气体流速、气体类型、样品/蒸汽荷载、样品类型、操作频率和采样深度。发生器电路系统可以快速检测出负载阻抗的变化并对其作出反应，这个功能十分重要，可以将反射功率降至最低并能维持稳健的等离子体条件。**这一特征将通过操作频率的细微变化基于瞬时阻抗匹配的设计方法与依靠相对较慢和易发生故障的活动部件的设计方法区分开来，例如在阻抗匹配网络中的伺服驱动电容器。**

射频发生器的另一个重要之处就是发生器驱动加感线圈的方式。如果输出射频驱动器是单端型，加感线圈的一端总与地面相连，则我们称这种发生器为不平衡的射频驱动源。这种电路系统产生的等离子体表现出相对较高的等离子体电势，这可能导致等离子体和质谱仪的接地采样锥之间发生二次放电。降低等离子体电势的机械方法包括使用交错的加感线圈（本质上是接地极性相反的两股缠绕的加感线圈），或使用静电屏蔽矩作为加感线圈和等离子体之间的接地屏蔽。

如果发生器使用两个相同但 180° 反相的射频输出驱动加感线圈，则我们称这种发生器为平衡的射频源。这个方法首先由 PerkinElmer-SCIEX 公司研发，并以“PlasmaLok”为商标名获得专利。两个相反波形输出之间的相位关系在加感线圈的电气中心生成了虚拟接地。无论等离子体的操作条件如何（例如，内管流速、等离子体功率、基质组成），采用这种设计方法的等离子体电势被降至最低，因此在定义等离子体种类时并非占据重要地位。因此可以单独优化等离子体操作条件和离子光学。

其他属性，例如功率传输效率、尺寸、简易性、冷却方案、强度、消耗品、维护性和高低射频功率极限的快速切换依然对射频发生器的设计起着重要的作用。

### 满足创新电路要求的最新固态晶体管技术

由珀金埃尔默公司专为 NexION® 2000 ICP 质谱仪设计的最新 ICP-MS 射频发生器采用了最新的电路设计技巧和最先进的部件，在传输等离子体源的同时具备高水平的性能、稳健和经久不衰的可靠性。

在过去二十年里，人们对半导体电子产品提出了“更快、更小和更高效”的要求，于是推动人们持续不断地研发出了功率更小、集成了更多功能、外形更紧凑的电子电路系统。电力电子学也得益于最新的半导体发展，实现了更大的功率密度、更高的效能和更加优异的热稳定

性。珀金埃尔默公司的设计团队选择了最新一代的横向扩散金属氧化物半导体（LDMOS）晶体管技术，使 NexION 2000 ICP-MS 的射频发生器具备目前半导体的最强优势。

大功率密度的优点使得射频发生器使用最少的功率晶体管即可达到 1.6 kW 的高功率，消除了功率合成电路的效能损耗，从而从多个低功耗晶体管中累计功率。它还能减少许多晶体管设备里普遍存在的增益、效能、电流和热失配问题。

当可用功率超过实际输送功率，由于回退操作余度有所增加，所以高端晶体管的输出率越大，长期可靠性就越高。例如，如果一直按照最大极限运行，如需生成 800 W 射频功率，额定功率为 1.2 kW 的功率晶体管就比 800 W 的晶体管的使用寿命更长。

虽然最新的晶体管技术带来了许多优势，但仅仅使用这些晶体管还不足以构成高性能的固体等离子体发生器。考虑到设备的退化和优化，在向更快的速度、更高的效能和更大的密度大踏步前进的同时，硅晶体管的逐步完善被较低的装置击穿限值所抵消。例如，传统功率晶体管的栅通常可以承受 +/- 40V 的电压，但最新晶体管可承受的栅击穿电压仅为 -7V。由于谐振频率下的增益衰减，老式的晶体管比较不易受到超过晶体管频率响应的快速电压瞬变的影响。

新式晶体管的击穿电压较低没有对典型的低功率消耗性电子产品构成严重的问题。但是现代晶体管的击穿容差更低，会对 ICP-MS 射频发生器造成困扰，除非设计特征可以适时地克服这个缺点。和典型的电子负载不同，例如广播天线，电感耦合等离子体负载相对不稳定，阻抗范围较广。在等离子体点炬之前，等离子体线圈是纯粹的无功负载，绝大部分射频功率会反射到晶体管。在等离子体点炬之后，等离子体线圈会突然发生变化，成为有效的负载吸收器。样品溶液也会影响等离子体的射频阻抗。所有操作会随着射频阻抗、反射功率和电压瞬变快速变化。几个不受控制的电压峰值和电流浪涌的射频周期就足以使功率晶体管发生故障。因此大部分 ICP-MS 制造商偏向于使用老实的功率晶体管技术，尽管存在很多风险，例如过时、设计灵活性较差和功率传输效率较差。为了实现新式晶体管的众多优势，珀金埃尔默公司科学家设计和测试了先进的新式电路技术，从而消除击穿电压偏低的风险。研发的结果是我们得到了具有高水平可靠性、速度、效能和等离子体稳健性的射频发生器。

## 直接反馈振荡器设计

等离子体射频发生器的设计方法主要分为两种：驱动设计和振荡器设计。在驱动设计中，等离子体加感线圈由放大固定频率的射频信号源直接驱动。由于等离子体阻抗取决于对等离子体的样品装载，所以必须一直不断地监测和调整阻抗匹配网络。在某些系统中，匹配网络包括一个或多个机械可调（电机驱动）可变电容器。驱动模式的等离子体发生器一般具有较好的振幅稳定性和较低的相位噪音，同时等离子体条件不变。但是当等离子体阻抗因为样品转变、快速电压瞬变样品负载或向等离子体引入不同类型的气体而发生突变时，该系统的响应时间相对较慢。

基于振荡器的等离子体发生器的主要优点是当向等离子体载入不同的样品时阻抗匹配的响应时间较快。在典型的振荡器设计中，等离子体由变频振荡器驱动，例如压控振荡器（VCO）。用控制电压调整振荡频率，从而达到最优的阻抗匹配。阻抗网络的相位失配被用作反馈信号，从而调整频率达到最优的阻抗匹配。与采用机械调整方式的驱动模式等离子体发生器相比，频率调整由电子完成，所以实际上响应时间是瞬时的。但与射频频率相比，相位失配信号是一个低频模拟信号。因此频率调整速度受限于VCO的响应时间和电路系统中所有低通滤波器的总时间常数。

和典型的VCO型振荡器设计不一样，NexION 2000射频发生器的输出匹配网络是振荡核心不可分割的一部分。作为反馈信号的等离子体加感线圈的直接采样可以在几个射频周期内实现阻抗匹配，只需几微秒即可转换。因此，与等离子体匹配时长大约为一秒的典型VCO型振荡器相比，它能使响应更快。这一点至关重要，特别是对于优化的功率传输，可以在等离子体点火和分析较难的样品（例如，等离子体阻抗突变，如果阻抗没能快速匹配等离子体就会熄灭）时稳定等离子体。

振荡器基于平衡设计方法具有不同的振荡核心，这样一来射频输出可以略有区别地驱动等离子体加感线圈，将等离子体电势降至最低。另外，一对大功率晶体管生成的输出功率可以凭借低损耗阻抗匹配网络驱动等离子体加感线圈，无需为了功率合成使用一系列晶体管。阻抗匹配网络配备有稳健的部件，其额定击穿限值远远超过规定的操作条件。

大多数等离子体发生器可在27或40 MHz的标称频率下运行。射频发生器频率对ICP-MS分析性能特征的影响一直颇有争议。但是过去的很多研究在比较两个频率时忽略了二次放电、MS接口和离子采样过程的影响。另外也

没有考虑选择等离子体频率的一个重要决定性因素，即平衡与不平衡发生器的效果。随着操作频率的增加，包括静电屏蔽在内的针对不平衡系统的技术逐渐表现欠佳，这也解释了这些技术只能在27 MHz条件下使用的原因。NexION 2000 ICP-MS的研发过程开展了大量模拟和实验室研究，旨在分析性能和等离子体基本原理的基础上确定最佳的操作频率。使用平衡射频发生器时，由于透入深度更深，较低的频率通常生成气体动力学温度较高的等离子体；但如果将频率调高，耦合效率则有所改善，从而增强了稳健性和等离子体稳定性，改善了对复杂基体、有机溶剂和混合气体等离子体的耐受性。基于这些研究结果，专为NexION 2000系统设计的射频发生器预计在34 MHz的频率下运行，大约为27 MHz和40 MHz的中间点，以便更好地融合这两个频率的性能。

## 无故障、高功率的点炬

NexION 2000 ICP-MS的等离子体发生器为用户提供无故障、不熄炬的体验。以它的设计等离子体点火的成功率几乎为100%。例如，近期对许多NexION 2000仪器进行了加速点火测试：对仪器进行点炬/熄炬的背对背测试成功率为99.97%（1次失败）至100%（零失败）。

## 长期稳定性

等离子体发生器的长期稳定性是无故障用户体验的一个重要部分。射频发生器插件板属于水冷型，可延长使用寿命。另外，作为射频电路系统的一个组成部分，所提供的一整套高端电子产品可以保护功率晶体管，有助于长期稳定性。专为NexION 2000系统设计的射频发生器电路系统同时使用宽频带和窄频带电路技巧，从而保护晶体管不受快速电压瞬变和电压击穿的影响。

功率晶体管之间的功率和电流失配是任何等离子体射频发生器都需要避免的结果。当其中一个晶体管驱动过猛，运行温度高于另一个晶体管时这个问题就会出现，对晶体管的可靠性造成负面影响。这类问题一般源于装置增益、输出负载或输入驱动强度的失配，这些都会导致晶体管的功率载荷不均。由于失配有很多种起因，所以解决这类问题不能光靠解决一条电路。因此我们的设计团队通过严格的设计和测试方法确保控制NexION 2000射频等离子体发生器载荷两个功率晶体管的电流，使两者几近相同，保持平衡。这就是对称均衡微分射频等离子体发生器的特点；其优点不仅是减小等离子体电势，还能增加等离子体发生器的MTBF（平均故障间隔时间）。

NexION 2000 ICP-MS 的等离子体发生器配备了一个装有内置固件的专用 32b 微控制器 (MCU)。MCU 执行数字控制回路，监测和管理等离子体的操作条件。它确保晶体管在最佳的工作电压和电流下运行，从而使出错的余地最大化，避免同时发生电压击穿和电流故障。一个全新的特征是 MCU 可以在正常操作时实时监测功率晶体管的健康状态。当 MCU 检测出晶体管即将崩溃或故障刚刚发生时，MCU 会自动采取相应的措施并关闭等离子体发生器，从而避免部件被损坏。这个特征有助于延长功率晶体管的使用寿命。在操作过程中，MCU 还提供了一整套诊断信息，并通过 Syngistix™ ICP-MS 软件与用户分享该信息。

### 全新的 LumiCoil 等离子体加感线圈

NexION 2000 ICP-MS 还使用了，LumiCoil™——获得专利的全新等离子体加感线圈，它是由珀金埃尔默公司的研究和技术小组专为 NexION 2000 和全新设计的固态射频发生器设计的。一般而言，等离子体加感线圈由铜管制成，并需要一直进行主动液体或气体冷却，才能最大限度地减少线圈的氧化和退化。除了氧化以外，铜加感线圈容易受到化学腐蚀，尤其是当使用了腐蚀性样品的时候。铜表面氧化层的堆积不仅会进一步导致线圈过热，造成更多氧化物堆积，还会改变线圈作为射频电感器的特性，造成向等离子体传输功率的效能变差。线圈退化还会造成长期信号漂移，灵敏度大大降低，特别是对于高 IP 元件。缺陷点的严重氧化会使线圈相邻的弯折处形成电弧。因此一般认为铜感应线圈属于消耗性零部件，应根据仪器的操作条件定期予以更换。

#### 自冷加感线圈：LumiCoil

LumiCoil 射频线圈通过消除加感线圈的氧化和腐蚀大大延长操作寿命、增强等离子体稳定性和等离子体发生器的 MTBF。LumiCoil 的亮点是沿线圈分布有一排散热片。和传统的加感线圈不一样，全新的线圈设计无需主动冷却。散热片可以大大增加线圈的表面积，因而线圈周围的空气通风足以使线圈维持在适当的工作温度。如有必要，LumiCoil 射频线圈的维修和清洁也更加简单，因为它们是无泄漏的液体或气体管线。

#### 联结 LumiCoil 的最优功率

增加作为固件的加感线圈的表面积有助于冷却，且不考虑射频电流方向，这将降低等离子体的功率密度。原因是从加感线圈至氩等离子体，射频功率通过磁性耦合。超大尺寸的线圈绕组表面会激励杂散射频电流流过更多

的金属表面。使降低了互感系数，使加感线圈和等离子体炬中生成的等离子体之间的磁链复杂化。

因此在 LumiCoil 设计中，每个散热片的位置是经过计算的，并且设计宽度较窄，用来抑制在散热片中径向流动的同轴射频电流（如图 5 所示的红色部分）。LumiCoil 中独特的散热片设计使射频驱动电流只流经已界定的线圈绕组（如图 5 所示的蓝色部分）和流入等离子体炬的附近区域。如此一来，磁链最大化，射频功率与等离子体炬实现电感耦合。



图 3. 大部分 ICP 源中使用的铜加感线圈。



图 4. LumiCoil：针对 NexION 2000 ICP-MS 的独家专利技术。

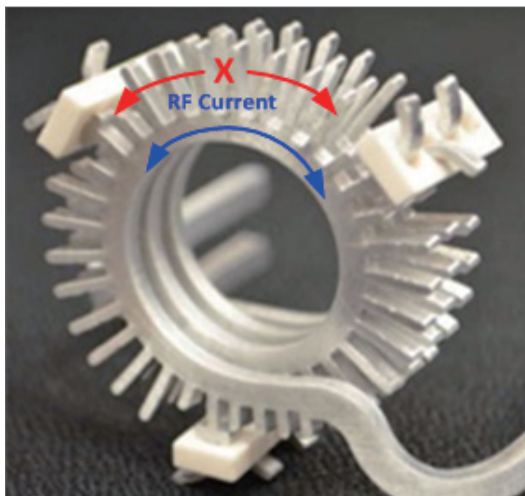


图 5. 最佳射频电流使磁链最大化

## 延长操作寿命

LumiCoil 线圈的材质使用特种铝合金，在表面形成一层氧化铝。该氧化层能高度抗化学腐蚀，和有效消除材料的热诱导氧化过程，从而保护线圈。因此和铜加感线圈相比，LumiCoil 拥有更长的操作寿命。通过在若干个装置上用多个样品类型进行测试，LumiCoil 在连续运行一年后无任何退化迹象，而与之相比的常规铜加感线圈在同样的测试条件下只维持了三个月。因此 LumiCoil 技术帮助用户将更多的关注度放在样品分析本身，而不是加感线圈的维护（即停机时间更少，效率更高）。这不仅增加了仪器的样品通量，还减少了系统零部件的更换数量，从而降低了仪器的运行成本。

与传统的等离子体加感线圈相比，LumiCoil 还达到了更优异的机械刚性。刚性陶瓷垫片使线圈绕组之间保持正确的距离，保护线圈不变形。另外，热和机械应力沿着线圈均匀地分布。

使用寿命延长、电感耦合优化和使用空气而不是昂贵的液体或气体冷却等优点使得 LumiCoil 技术为最先进的射频发生器锦上添花，提供了无故障的等离子体操作。

## 长期稳定性和基体耐受性

射频发生器的设计带来了具备优异基体耐受性的稳健等离子体，部分因为该原因，除了灵敏度有所提升以外，NexION 2000 ICP-MS 还实现了长期稳定性和基体匹配能力。以 EPA 6020B 方法论为例，为处理总溶解固体较高的复杂基质的应用而执行的测试证明了上述结论。图 6 显示的是连续操作 11 个小时 6020B 方法论的内标稳定性曲线图。在实验过程中使用  $1 \text{ g L}^{-1}$  的有证参考物质土壤溶液 A 和土壤溶液 B (High Purity Standards™, Charleston, South Carolina, USA) 以及干扰检查溶液 -A (ICS-A)，且每 10 个土壤样品进行 QC 检查（即 CCB 和 CCV）。结果显示在整个实验过程中内标具有优异的稳定性，除了空白处和 QC 检查以外实验还包括 280 个土壤样品分析。稳定性曲线还显示了空白、QC 检查和土壤样品之间信号抑制的最小值。

## 稳健的等离子体挑战一切样品

NexION 2000 系统的等离子体发生器使得等离子体异常稳健，可应对最为复杂的样品。图 7 显示的是使用常温雾室，不对雾化气或辅助气流速做特殊调整时在标准进样速率（即  $300 \mu\text{L 分钟}^{-1}$ ）下若干样品基质（水性的和有机的）的等离子体外观。

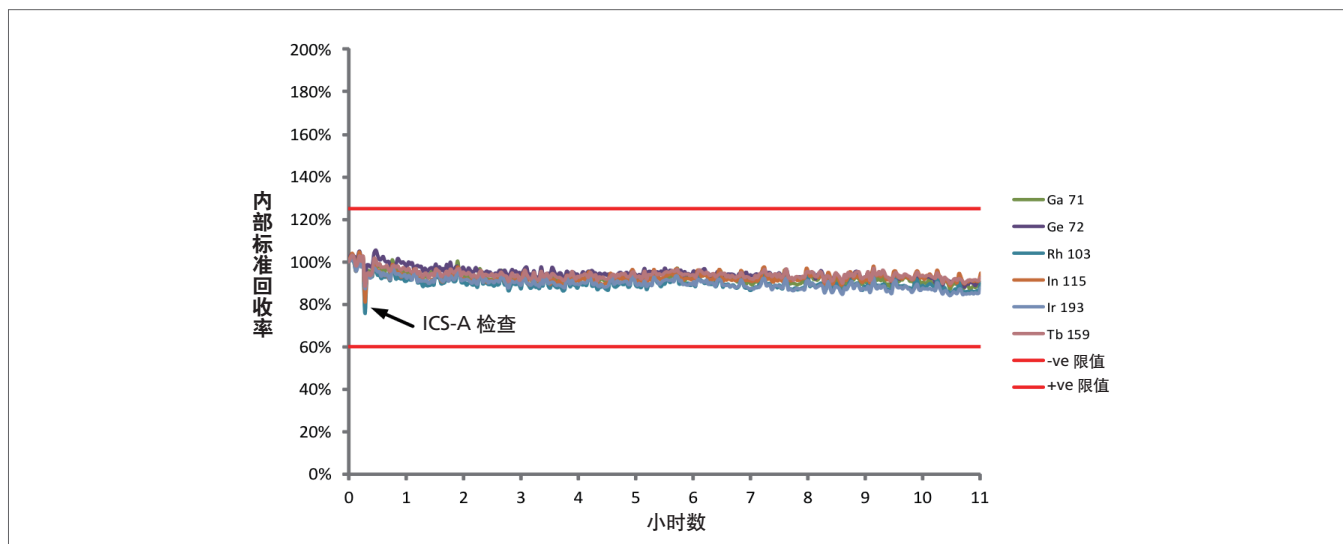


图 6. 采用 NexION 2000 ICP-MS 操作 11 小时对 280 个土壤样品进行 6020B 方法论分析得到的内部标准回收率每 10 个样品进行空白处和 CCV 检查，也包含在曲线图内。

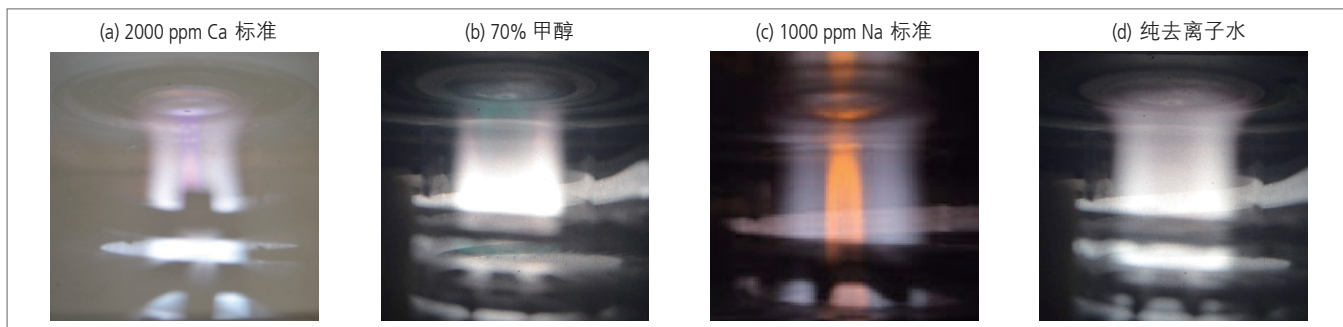


图 7. 在常规条件下使用 NexION 2000 若干样品基质的等离子体外观。

## 稳健的等离子体挑战混合气体

现在有越来越多的应用需要向等离子体源加入除了氩气以外的多种气体。O<sub>2</sub>、He 和氦气这样的混合气体非常常见，特别是当分析有机样品时或当 ICP-MS 结合激光烧蚀 (LA) 系统时。含有稀有气体、双原子气体或多原子气体的混合气体等离子体通常用于减小质谱和非质谱干扰，或用于改善某些元素的电离作用。专为 NexION 2000 ICP-MS 设计的射频发生器的快速匹配功能及其固有的稳健性使得系统对混合气体适应性非常强。通过小的频率偏移实现的阻抗匹配速度使得 NexION 2000 能够接受混合气体的突然加入。为了演示使用 NexION 2000 后等离子体源的稳健性，图 8 显示了正在运行的稳定等离子体，完全去除了样品导入，中心管暴露在空气中。

图 9 显示了使用 70 mL 分钟<sup>-1</sup> 甲烷 (CH<sub>4</sub>) 运行的等离子体。即使突然开关甲烷气体，等离子体依然继续保持稳定和不间断地操作。

## 快速等离子体功率切换

对许多应用而言，在冷等离子体条件下操作 ICP-MS 都是有效的，包括与分析半导体工艺的化学品有关的应用，可以改善因氦基多原子干扰而受到质谱重叠影响的许多元素的背景当量浓度 (BEC)。NexION 2000 ICP-MS 中的多模方法现在可以结合基于单元的模式利用热 - 冷等离子体条件，例如反应和碰撞。专为 NexION 2000 设计的等离子体发生器实现了冷 - 热等离子体条件的快速功率切换，从而增加了多模方法的样品通量。图 10 显示的是测量 59 amu 钴时 NexION 2000 系统的射频功率在 500 和 1600 W 之间周期性切换的信号响应。结果显示，两个功率电平之间的实际切换时间几乎微不足道，对于每一个功率电平，Co 信号在不到 30 秒的时间内就趋于稳定。信号稳定化所需的时间主要取决于热效应和每次功率变化后实现热平衡所需的时间。



图 8. NexION 2000 的进样系统拆除，中心管暴露在空气中，等离子体依旧稳定

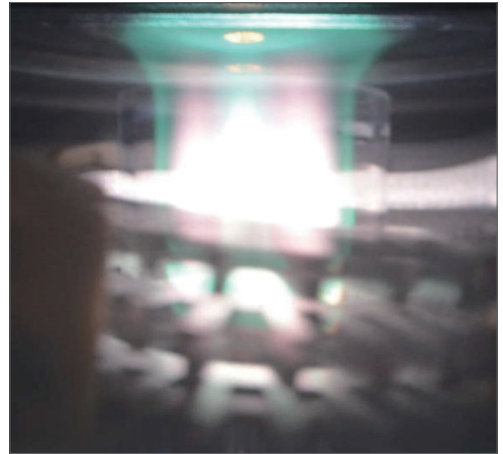


图 9. 使用 Ar/CH<sub>4</sub> 混合气体时等离子体依旧稳定

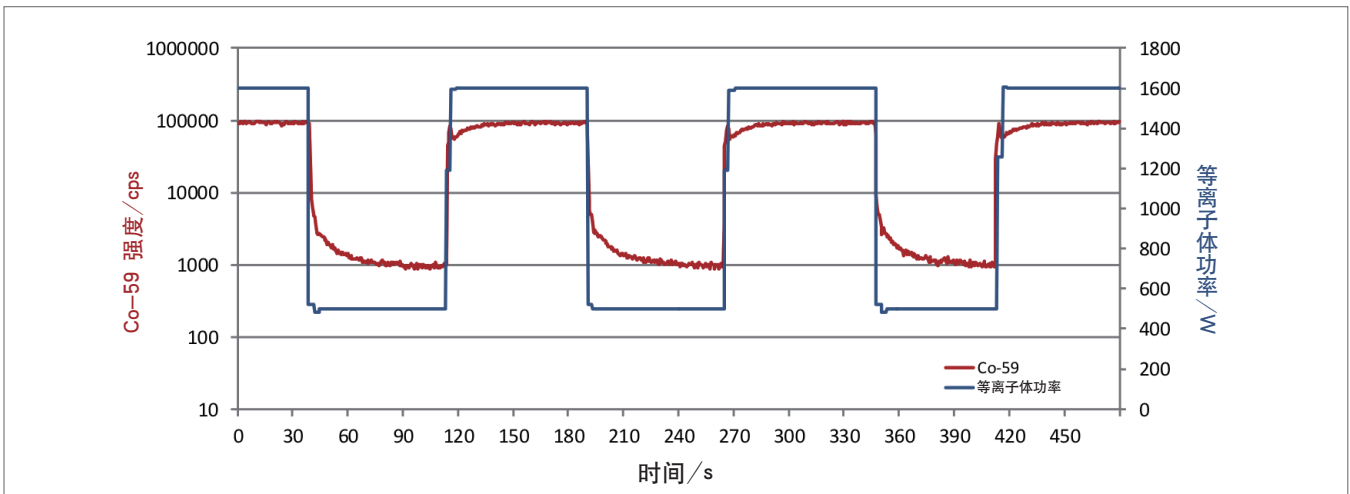


图 10. NexION 2000 在 500 和 1600 W 之间在功率传输时的输出功率和 Co 信号响应。

## 结论

获得专利的全新等离子体发生器和 LumiCoil 技术专为 NexION 2000 ICP-MS 而设计，用于提升分析性能和可靠性，同时降低操作成本。平衡和不同步射频发生器的设计主要关注在无需任何机械匹配网络或晶体管串联的情况下的稳健性、高效率、广泛的功率范围、快速功率切换和瞬时阻抗匹配等属性。另外安装于插件板的固件智能性和部件使用寿命较长的特征使 NexION 2000 的射频发生器成为真正无需维护的系统。结合全新的自冷 LumiCoil 设计，针对环境、地质、生物和半导体等一系列苛刻的应用，它提供了可靠的等离子体源，涵盖多种样品类型和等离子体条件。

珀金埃尔默企业管理（上海）有限公司  
地址：上海张江高科技园区张衡路1670号  
邮编：201203  
电话：021-60645888  
传真：021-60645999  
[www.perkinelmer.com.cn](http://www.perkinelmer.com.cn)



要获取我们全球办公室的完整列表，请访问 [www.perkinelmer.com/ContactUs](http://www.perkinelmer.com/ContactUs)

©2017, PerkinElmer, Inc. 版权所有。保留所有权利。PerkinElmer® 是 PerkinElmer, Inc. 的注册商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。所有解释权归PerkinElmer.

013242\_CHN\_01 PKI



欲了解更多信息，  
请扫描二维码关注我们的  
微信公众账号