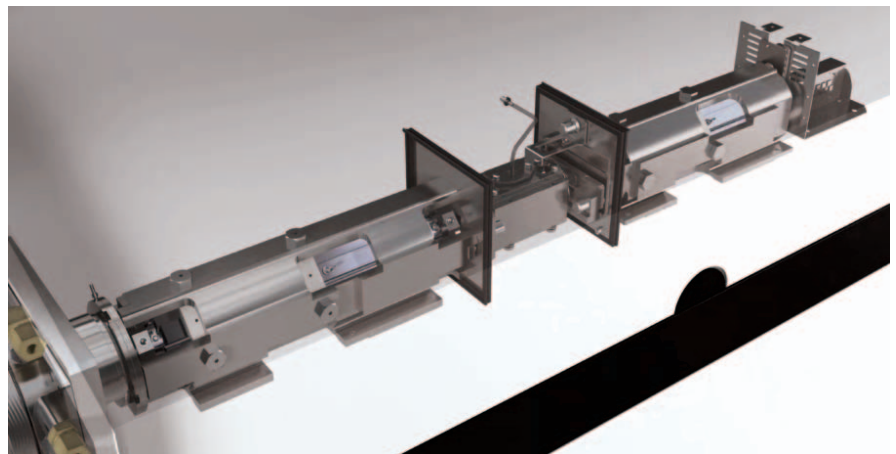


# Agilent 8800 电感耦合等离子体串联质谱仪： 认识 ICP-MS/MS 中的氧气反应模式

Agilent 8800 ICP-MS/MS

## 技术概述



### 前言

在四极杆 ICP-MS 中以氧气作为反应气去除干扰物已经非常成熟。但是，在 Agilent 8800 电感耦合等离子体串联质谱仪（ICP-MS/MS）开发之前，氧气的使用仅限于定量分析简单的、基质明确的样品中的少量分析物。这是因为氧气在碰撞反应池中会与基质成分、分析物，以及多原子物质反应，产生新的干扰物，并会造成分析物损失。为了可靠使用氧气反应模式，池内的反应环境必须严格控制。为此，Agilent 8800 ICP-MS/MS 在池前另加了一个四极杆质量过滤器。可使用这个另加的四极杆 (Q1) 在任何反应发生前准确控制进入池内的物质种类，即使有未知或复杂基质存在，也可实现化学反应体系的精确控制。碰撞反应池前附加质量过滤器的使用即为 MS/MS 模式，当前仅可使用 ICP-MS/MS 实现。MS/MS 模式结合 ICP-MS/MS，可在涉及最复杂和最具有挑战性干扰物的分析难题中应用反应化学。除了氧气，其它常用的反应气体还有氢气 ( $H_2$ ) 和氨气 ( $NH_3$ )。然而，当条件能够严格控制并使用 MS/MS 技术时， $O_2$  是最强大和最有用的去除多原子干扰物的气体。例如， $O_2$  可通过电荷转移反应去除等重原子  $^{129}Xe^+$  对  $^{129}I^+$  分析的干扰。它可用于转换分析物离子，如将  $As^+$  转换为  $AsO^+$ ，这样就可去除  $ArCl^+$  和  $REE^{2+}$  两种离子对  $As^+$  分析的干扰。最后， $WO^+$  对  $Hg^+$  分析的干扰可通过将  $WO^+$  转换为  $WOO^+$  来去除。

本技术简报的目的是介绍在 8800 ICP-MS/MS 上的不同氧反应模式的作用方式，方便用户深入了解并使用 O<sub>2</sub> 反应技术进行方法开发。

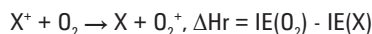
## O<sub>2</sub> 模式下的反应

在碰撞反应池 (ORS<sup>3</sup>) 中使用氧气主要涉及两种反应机制，氧原子抽减 (氧原子转移) 和电荷转移 (电子转移)，如下所示。

O 原子转移:



电荷转移:



其中,  $X$  = 分析物元素,  $\Delta Hr$  = 反应焓,  $D(O_2)$  = 氧气分子的键能,  $D(X^+-O)$  = 产物离子  $XO^+$  的键能,  $IE(O_2)$  = 氧气分子的电离能,  $IE(X)$  = 分析物原子的电离能

在 O 原子转移反应中, 一个氧原子通过与  $X^+$  离子反应从 O<sub>2</sub> 分子中转移出来, 形成具有新质量数  $m_x+16$  的氧化离子 ( $XO^+$ ), 其中  $m_x$  是分析物离子的质量数。因此, 分析物离子  $X^+$  质量转移到一个新的质量数, 远离初始干扰物的质量数  $m/z = m_x$ 。在这种情况下, 第一级四极杆 Q1 设定为  $m/z = m_x$ , 第二级四极杆 Q2 设定为  $m/z = m_x + 16$ 。图 1 展示了一个浓度 1 ppb 的多元素标准溶液通过 O 原子转移反应产生的氧化离子的重叠质谱图。因为 Q1 和 Q2 间隔 16 amu 同步扫描, 所以只有在池内形成的氧化离子可以在 Q2 质谱中被检测到。

对于电荷转移反应, O<sub>2</sub> 分子中的一个电子被转移到反应物离子  $X^+$  上, 使该离子还原并形成中性的 X。

产物和反应物两者的内在性质将决定这些反应是否发生和如何进行。由于通常这些离子-分子反应没有活化能垒, 故反应焓  $\Delta Hr$  就预示着反应的效率, 以及反应是否向前进行。

## 反应焓 $\Delta Hr$

$\Delta Hr$  是反应中吸收或释放的能量 (热)。当  $\Delta Hr$  为正时 ( $\Delta Hr > 0$ ), 反应吸热, 说明反应发生需要 (吸收) 能量。当  $\Delta Hr$  为负时 ( $\Delta Hr < 0$ ), 反应放热, 说明反应自发并释放能量。同样情况下, 发生放热反应将比可能根本不会发生的吸热反应快得多。放热的离子-分子反应通常是自发的, 这是因为当两种反应物 (如  $X^+$  和 O<sub>2</sub>) 在气相中相遇反应时不需要提供活化能。所以反应非常高效。通过反应物和产物的键能和电离能可以很容易地估算  $\Delta Hr$  (表 1)。

对于 O 原子转移反应,  $\Delta Hr$  是 O<sub>2</sub> 分子与产物离子  $XO^+$  两者间键 (结合) 能的差异, 其键能分别以  $D(O_2)$  和  $D(X^+-O)$  表示。 $D(O_2)$ , 大约 5.1 eV, 也被称为 O<sub>2</sub> 的解离能, 表示将一个 O<sub>2</sub> 分子中的两个 O 原子分开需要的能量。同样地,  $D(X^+-O)$  是分开  $X^+$  和 O 需要的能量, 也称为 O 原子与  $X^+$  的亲合力。在碰撞中, 假如 O 原子与  $X^+$  有比与 O 更高的亲合力, 即  $D(X^+-O) > D(O_2)$ , 一个 O 原子将离开并与  $X^+$  结合。这个进程是自发的, 因为  $\Delta Hr = D(O_2) - D(X^+-O) < 0$ , 即反应是放热的。表 1 列出了  $D(X^+-O)$  在文献中或从文献值推算出来的实际值。要经受放热 O 原子转移反应的离子, 在 O<sub>2</sub> 模式中将高效地形成氧化离子。使用 8800 ICP-MS/MS 在 O<sub>2</sub> 模式下检测这些离子, 推荐使用 (Q1 =  $m_x$ , Q2 =  $m_x + 16$ ) 质量对设置, 其中  $m_x$  是反应物 (分析物) 离子的质量。由图 1 可见,  $TiO^+$  和  $VO^+$  的响应强度比其它氧化离子高许多, 这是因为这两种氧化离子是通过放热反应形成的, 而其它的是通过吸热反应形成的, 这些反应需要能量才能进行下去。

对于电荷转移反应,  $\Delta Hr$  是 O<sub>2</sub> (12.06 eV) 和 X 两者间电离能的差异, 其电离能分别表示为  $IE(O_2)$  和  $IE(X)$ 。假如  $IE(X) > IE(O_2)$  ( $\Delta Hr < 0$ ), 在池内就会发生高效的电荷转移。通过这种放热电荷转移与 O<sub>2</sub> 发生反应的离子包括  $Cl^+$ 、 $Ar^+$ 、 $Kr^+$ 、 $Xe^+$  和  $CO^+$ 。

## 吸热反应的碰撞能量

在质量转移模式中，反应效率可能不需要很高。只要获得  $m_x + 16$   $m/z$  足够强的信号，就不需要  $X^+$  100% 的转换。这与干扰离子响应必须减少多个数量级的常规反应模式正相反。质量转移模式是通过“转移”分析物离子的质量，而不是通过降低干扰离子的响应强度实现的。因此较低效率的吸热反应在许多应用中也可使用。吸热反应 ( $\Delta H_r > 0$ ) 进行时需要的能量可以由反应物 ( $X^+$  和  $O_2$ ) 的动能提供。在 ORS<sup>3</sup> 中，池气体分子 ( $O_2$ ) 的动能在约室温时仅是其热运动的能量，与由八极杆偏置电位控制的反应物离子 ( $X^+$ ) 的动能相比可以忽略不计。这是因为中性的  $O_2$  不会被池中的电场加速。然而，通过设置八极杆偏置电位为负电压，反应物离子被加速，在碰撞（反应）前将使其动能增加。在这种情况下，可用于发生反应的最大能量定义为质子碰撞能量  $E_{cm}$ ，如下所示。

$$E_{cm} = m_g / (m_g + m_i) E_i$$

其中， $m_g$  和  $m_i$  分别是池气体分子 ( $O_2$ ) 和反应物离子 ( $X^+$ ) 的质量 ( $m_i = m_x$ )。

$E_i$  是参照实验室条件下离子的动能，表示如下：

$$E_i = V_p + (m_i/m_{Ar}) (5/2) kT_0 - V_{oct}$$

其中， $V_p$  是等离子体势能（约 2 eV）。第二项  $((m_i/m_{Ar}) (5/2) kT_0)$  是离子自由通过接口喷嘴时获得的能量，其中  $m_{Ar}$  是氩原子的质量； $k$  是波兹曼常数； $T_0$  是等离子体气体温度（约 5000 K）。

$V_{oct}$  是八极杆偏置电位，即 ORS<sup>3</sup> 中单电荷正离子的电势能。例如，当八极杆偏置电压设为 -10 V 时，在离子通过的八极杆中心轴附近的  $V_{oct}$  约为 -10 eV。第一项与第二项的和与  $X^+$  的离子能量相当，该能量直到  $X^+$  与气体分子在 ORS<sup>3</sup> 中碰撞前都会保留。

假如  $E_{cm} > \Delta H_r$ ，碰撞能量就会超过反应所需的能量。当然，这并不意味着只要  $E_{cm} > \Delta H_r$ ，反应就会发生。例如，碱金属离子在 ORS<sup>3</sup> 中即使  $E_{cm} > \Delta H_r$  也不会明显发生反应生成氧化离子。对于通过吸热反应生成氧化物的离子，要获得满意的  $XO^+$  离子响应强度， $E_{cm}$  必须至少高于  $\Delta H_r$  数倍。当设置八极杆偏置负电压更大时，增强的碰撞能量  $E_{cm}$  会促进吸热反应，见图 1。当八极杆偏置电压从 -5 V 升到 -20 V 时， $CrO^+$ 、

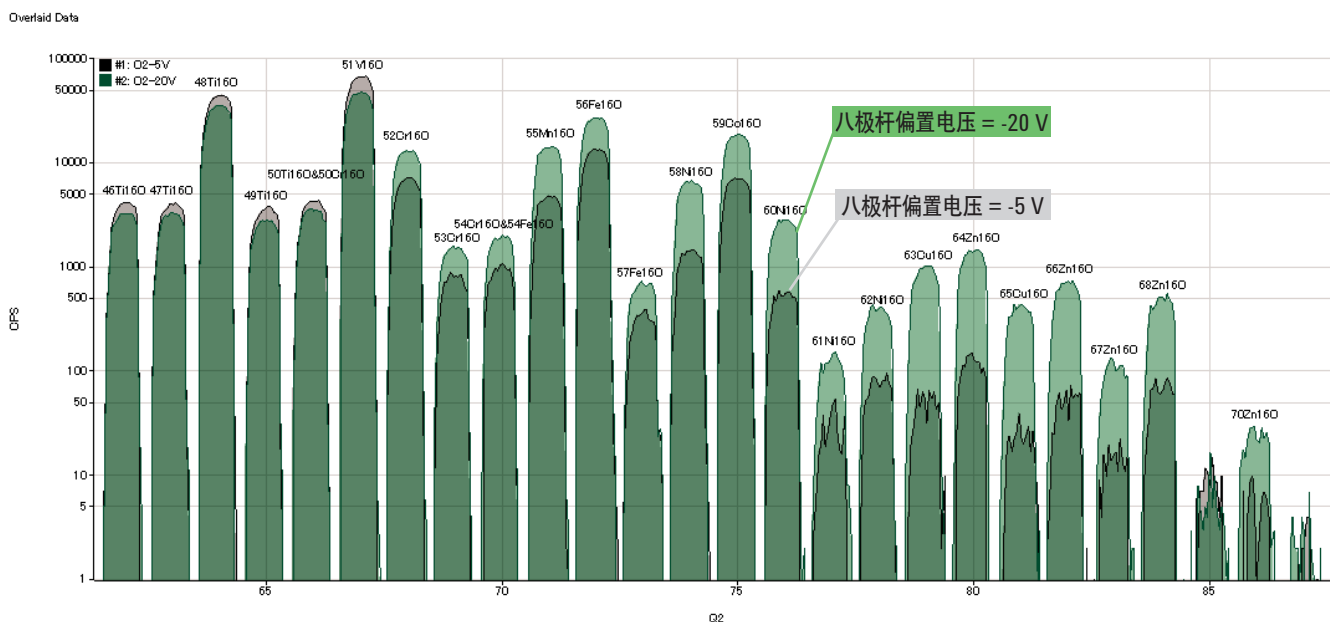


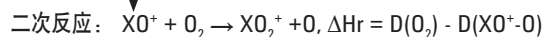
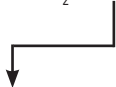
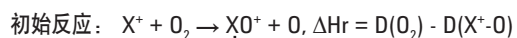
图 1. 浓度 1 ppb 的多元素标准溶液在  $O_2$  模式下测试的质谱图，Q1 和 Q2 的质量数设置分别为  $m_x$  和  $m_x + 16$ 。结果表明只有元素氧化物可被检测到。在八极杆偏置电压分别为 -5 V 和 -20 V 时测定的叠加质谱图，横坐标为 Q2 质量数。通过放热 O 原子转移反应形成的氧化离子的最佳电压大约是 -5 V ( $TiO^+$  和  $VO^+$ )。在更大的八极杆偏置负电压 -20 V，通过吸热反应生成的其它氧化离子 ( $CrO^+$ 、 $MnO^+$ 、 $FeO^+$ 、 $NiO^+$ 、 $CuO^+$  和  $ZnO^+$ ) 的响应强度得到增强，这是由于增大了碰撞能量。针对每个八极杆偏置电压优化了转向透镜电压。 $O_2$  流速设置为 0.35 mL/min

FeO<sup>+</sup>、MnO<sup>+</sup>、NiO<sup>+</sup>、CuO<sup>+</sup> 和 ZnO<sup>+</sup> 的响应强度均得到增强，如表 1 所示，因为这些氧化物都是通过吸热反应生成的。为与  $\Delta H_r$  进行比较，表中还列出了在典型的 -5 V 和 -20 V 八极杆偏置电压设置下计算的碰撞能量  $E_{cm}$ 。

假如  $E_{cm} < \Delta H_r$ ，因为发生反应需要的能量不足，吸热反应不会进行。需要注意的是，除了 O 原子转移途径，氧化物离子也可以通过其他反应途径形成，例如通过 X<sup>+</sup> 与池内残留的水分子间的反应形成。

## 二次 O 原子转移

对于离子 X<sup>+</sup> = Nb<sup>+</sup>、Mo<sup>+</sup>、Ta<sup>+</sup>、W<sup>+</sup> 和 U<sup>+</sup>，双氧化物离子 XO<sub>2</sub><sup>+</sup> 也可以在 O<sub>2</sub> 模式下生成。这是因为在碰撞反应池中，它们的初级反应产物 XO<sup>+</sup> 与第二个氧气分子间可以发生二次 O 原子转移，因为反应焓  $\Delta H_r = D(O_2) - D(XO^+-O)$  对于 XO<sup>+</sup> = NbO<sup>+</sup>、MoO<sup>+</sup>、TaO<sup>+</sup>、WO<sup>+</sup> 和 UO<sup>+</sup> 是负的，见表 1。



在这种情况下，优势产物是 XO<sup>+</sup> 还是 XO<sub>2</sub><sup>+</sup> 主要取决于 O<sub>2</sub> 在 ORS<sup>3</sup> 中的密度。一般来说，O<sub>2</sub> 的流速越高，反应中生成的 XO<sub>2</sub><sup>+</sup> 就越多，XO<sup>+</sup> 就越少。

需要注意的是也有单氧离子 XO<sup>+</sup> 在 ICP（等离子体）中产生，它们可能是多原子干扰物。那样的话，O<sub>2</sub> 模式就非常有用，因为它们可以通过高效的放热 O 原子转移反应转换为双氧化物离子。

表 1. 原子和氧化离子在 O<sub>2</sub> 模式下的反应焓和碰撞能量

反应物离子	质量数 (典型)	子离子	解离能量 D(X <sup>+</sup> -O)	ΔHr 反应焓	反应物离子能量 (计算值)	Ecm [eV] 质心碰撞能量	
X <sup>+</sup>	[u]	XO <sup>+</sup>	[eV]	[eV]	[eV]	V <sub>oct</sub> = -5 eV	V <sub>oct</sub> = -20 eV
Li <sup>+</sup>	7	NA	0.35	4.75	2.19	5.90	18.21
Be <sup>+</sup>	9	BeO <sup>+</sup>	3.76	1.34	2.24	5.65	17.36
B <sup>+</sup>	11	BO <sup>+</sup>	3.71	1.39	2.30	5.43	16.59
C <sup>+</sup>	12	CO <sup>+</sup>	8.35	-3.25	2.32	5.33	16.24
N <sup>+</sup>	14	NO <sup>+</sup>	11.00	-5.90	2.38	5.13	15.57
Na <sup>+</sup>	23	NA	0.56	4.54	2.62	4.43	13.16
Mg <sup>+</sup>	24	MgO <sup>+</sup>	1.53	3.57	2.65	4.37	12.94
Al <sup>+</sup>	27	AlO <sup>+</sup>	1.81	3.29	2.73	4.19	12.33
Si <sup>+</sup>	28	SiO <sup>+</sup>	4.99	0.11	2.75	4.14	12.14
Si <sup>+</sup>	28	SiO <sup>+</sup>	4.74	0.36	2.75	4.14	12.14
CO <sup>+</sup>	28	O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5.60	-1.95	2.75	4.14	12.14
P <sup>+</sup>	31	PO <sup>+</sup>	8.27	-3.17	2.84	3.98	11.60
S <sup>+</sup>	32	SO <sup>+</sup>	5.44	-0.34	2.86	3.93	11.43
Cl <sup>+</sup>	35	O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5.25	-0.91	2.94	3.79	10.96
Ar <sup>+</sup>	40	O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	NA	-3.70	3.08	3.59	10.26
K <sup>+</sup>	39	NA	0.13	4.97	3.05	3.63	10.39
Ca <sup>+</sup>	40	CaO <sup>+</sup>	3.57	1.53	3.08	3.59	10.26
Sc <sup>+</sup>	45	ScO <sup>+</sup>	6.77	-1.67	3.21	3.41	9.65
Ti <sup>+</sup>	48	TiO <sup>+</sup>	6.73	-1.63	3.29	3.32	9.32
V <sup>+</sup>	51	VO <sup>+</sup>	5.95	-0.85	3.37	3.23	9.01
Cr <sup>+</sup>	52	CrO <sup>+</sup>	3.72	1.38	3.40	3.20	8.91
Mn <sup>+</sup>	55	MnO <sup>+</sup>	2.95	2.15	3.48	3.12	8.64
Fe <sup>+</sup>	56	FeO <sup>+</sup>	3.53	1.57	3.51	3.09	8.55
Co <sup>+</sup>	59	CoO <sup>+</sup>	3.32	1.78	3.59	3.02	8.30
Ni <sup>+</sup>	60	NiO <sup>+</sup>	2.74	2.36	3.62	3.00	8.21
Cu <sup>+</sup>	63	CuO <sup>+</sup>	1.62	3.48	3.70	2.93	7.98
Zn <sup>+</sup>	66	ZnO <sup>+</sup>	1.65	3.45	3.78	2.87	7.76
Ga <sup>+</sup>	71	NA	NA	NA	3.91	2.77	7.43
Ge <sup>+</sup>	72	NA	NA	NA	3.94	2.75	7.37
As <sup>+</sup>	75	AsO <sup>+</sup>	5.73	-0.63	4.02	2.70	7.18
Se <sup>+</sup>	78	SeO <sup>+</sup>	4.39	0.71	4.10	2.65	7.01
Br <sup>+</sup>	79	BrO <sup>+</sup>	4.03	1.14	4.13	2.63	6.96
Kr <sup>+</sup>	84	O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	NA	-1.94	4.26	2.56	6.69
Rb <sup>+</sup>	85	NA	0.30	4.80	4.29	2.54	6.64
Sr <sup>+</sup>	88	SrO <sup>+</sup>	4.88	0.22	4.37	2.50	6.50
Y <sup>+</sup>	89	YO <sup>+</sup>	7.79	-2.69	4.40	2.49	6.45
Zr <sup>+</sup>	90	ZrO <sup>+</sup>	7.85	-2.75	4.43	2.47	6.41
Nb <sup>+</sup>	93	NbO <sup>+</sup>	9.03	-3.93	4.51	2.43	6.27
NbO <sup>+</sup>	109	NbO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5.73	-0.63			

表 1. 续

反应物离子	质量数 (典型)	子离子	解离能量 $D(X^+-O)$	$\Delta H_r$ 反应焓	反应物离子能量 (计算值)	$E_{cm}$ [eV] 质心碰撞能量	
$X^+$	[u]	$XO^+$	[eV]	[eV]	[eV]	$V_{oct} = -5 \text{ eV}$	$V_{oct} = -20 \text{ eV}$
Mo <sup>+</sup>	95	MoO <sup>+</sup>	4.27	0.83	4.56	2.41	6.19
Mo <sup>+</sup>	95	MoO <sup>+</sup>	4.93	0.17	4.56	2.41	6.19
MoO <sup>+</sup>	111	MoO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5.56	-0.46			
Tc <sup>+</sup>	99	NA	NA	NA	4.67	2.36	6.03
Ru <sup>+</sup>	101	RuO <sup>+</sup>	4.08	1.02	4.72	2.34	5.95
Rh <sup>+</sup>	103	RhO <sup>+</sup>	2.43	2.67	4.78	2.32	5.87
Pd <sup>+</sup>	105	PdO <sup>+</sup>	2.31	2.79	4.83	2.30	5.80
Sn <sup>+</sup>	118	SnO <sup>+</sup>	3.20	1.90	5.18	2.17	5.37
Sb <sup>+</sup>	121	SbO <sup>+</sup>	3.23	1.87	5.26	2.15	5.28
Te <sup>+</sup>	125	TeO <sup>+</sup>	4.13	0.97	5.37	2.11	5.17
I <sup>+</sup>	127	IO <sup>+</sup>	3.02	2.08	5.42	2.10	5.12
Xe <sup>+</sup>	132	O <sub>2</sub> <sup>+</sup>	NA	-0.07	5.56	2.06	4.99
Cs <sup>+</sup>	133	NA	0.61	4.49	5.58	2.05	4.96
Ba <sup>+</sup>	137	BaO <sup>+</sup>	5.60	-0.50	5.69	2.02	4.86
La <sup>+</sup>	139	LaO <sup>+</sup>	8.23	-3.13	5.75	2.01	4.82
La <sup>+</sup>	139	LaO <sup>+</sup>	8.73	-3.63	5.75	2.01	4.82
Ce <sup>+</sup>	140	CeO <sup>+</sup>	8.30	-3.20	5.77	2.00	4.80
Ce <sup>+</sup>	140	CeO <sup>+</sup>	8.80	-3.70	5.77	2.00	4.80
Pr <sup>+</sup>	141	PrO <sup>+</sup>	8.23	-3.13	5.80	2.00	4.77
Nd <sup>+</sup>	146	NdO <sup>+</sup>	7.76	-2.66	5.94	1.97	4.66
Sm <sup>+</sup>	147	SmO <sup>+</sup>	5.80	-0.70	5.96	1.96	4.64
Eu <sup>+</sup>	153	EuO <sup>+</sup>	4.00	1.10	6.12	1.92	4.52
Gd <sup>+</sup>	157	GdO <sup>+</sup>	7.47	-2.37	6.23	1.90	4.44
Tb <sup>+</sup>	159	TbO <sup>+</sup>	7.33	-2.23	6.29	1.89	4.40
Dy <sup>+</sup>	163	DyO <sup>+</sup>	6.11	-1.01	6.39	1.87	4.33
Ho <sup>+</sup>	165	HoO <sup>+</sup>	6.24	-1.14	6.45	1.86	4.30
Er <sup>+</sup>	166	ErO <sup>+</sup>	5.96	-0.86	6.47	1.85	4.28
Tm <sup>+</sup>	169	TmO <sup>+</sup>	4.92	0.18	6.56	1.84	4.23
Yb <sup>+</sup>	172	YbO <sup>+</sup>	3.87	1.23	6.64	1.83	4.18
Yb <sup>+</sup>	172	YbO <sup>+</sup>	4.33	0.77	6.64	1.83	4.18
Lu <sup>+</sup>	175	LuO <sup>+</sup>	5.34	-0.24	6.72	1.81	4.13
Hf <sup>+</sup>	178	HfO <sup>+</sup>	7.30	-2.20	6.80	1.80	4.08
Hf <sup>+</sup>	178	HfO <sup>+</sup>	7.53	-2.43	6.80	1.80	4.08
Ta <sup>+</sup>	181	TaO <sup>+</sup>	8.20	-3.10	6.88	1.78	4.04
TaO <sup>+</sup>	197	TaO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	6.08	-0.98			
W <sup>+</sup>	182	WO <sup>+</sup>	5.52	-0.42	6.91	1.78	4.02
WO <sup>+</sup>	198	WO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5.73	-0.63			
Re <sup>+</sup>	185	ReO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	4.43	NA	6.99	1.77	3.98
Os <sup>+</sup>	189	OsO <sup>+</sup>	4.34	0.76	7.09	1.75	3.92
Ir <sup>+</sup>	193	IrO <sup>+</sup>	2.60	2.50	7.20	1.74	3.87

表 1. 续

反应物离子	质量数 (典型)	子离子	解离能量 D(X <sup>+</sup> -O)	$\Delta H_r$ 反应焓	反应物离子能量 (计算值)	Ecm [eV] 质心碰撞能量	
X <sup>+</sup>	[u]	XO <sup>+</sup>	[eV]	[eV]	[eV]	V <sub>oct</sub> = -5 eV	V <sub>oct</sub> = -20 eV
Pt <sup>+</sup>	195	PtO <sup>+</sup>	2.60	2.50	7.26	1.73	3.84
Au <sup>+</sup>	197	NA	NA	NA	7.31	1.72	3.82
Hg <sup>+</sup>	202	NA	NA	NA	7.44	1.70	3.75
Tl <sup>+</sup>	205	NA	NA	NA	7.53	1.69	3.72
Pb <sup>+</sup>	208	PbO <sup>+</sup>	2.20	2.90	7.61	1.68	3.68
Bi <sup>+</sup>	209	BiO <sup>+</sup>	1.81	3.29	7.63	1.68	3.67
Th <sup>+</sup>	232	ThO <sup>+</sup>	8.97	-3.87	8.25	1.61	3.42
U <sup>+</sup>	238	UO <sup>+</sup>	7.99	-2.89	8.41	1.59	3.37
UO <sup>+</sup>	254	UO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	7.73	-2.63			
Np <sup>+</sup>	239	NpO <sup>+</sup>	8.01	-2.91	8.44	1.59	3.36
Pu <sup>+</sup>	242	PuO <sup>+</sup>	7.08	-1.98	8.52	1.58	3.33

1. 发生放热反应的分析物离子用红色显示。蓝色显示的是发生轻微吸热反应并生成具有满意响应强度氧化离子的分析物离子。发生放热电荷转移反应的离子用阴影显示。
2. 相同离子两种不同的反应焓表示它们来源于不同的文献。
3. 假设 D(O<sub>2</sub>) = 5.1 eV。
4. 使用假定的 2 eV 等离子体电势和 5000 K 等离子体气体温度来计算反应物离子能量。

## 结论

与传统单四极杆 ICP-MS 相比, 当在 MS/MS 模式下操作时, Agilent 8800 电感耦合等离子体串联质谱仪可大大拓展应用范围, 并改善其氧气反应模式的性能。我们现在可以充分利用碰撞反应池中氧气反应的两种不同策略进行分析。质量转移模式可通过将分析物质量或干扰物质量增加 16 amu, 使它们在二级四极杆中有效分离。或者, 干扰离子可以通过从氧气中得到一个转移电子而中性化。通过使用一级四极杆严格控制进入 ORS<sup>3</sup> 池内的离子, 可以避免以前使用 O<sub>2</sub> 的限制, 如新干扰物的形成和分析物的意外损失。

**[www.agilent.com/chem/cn](http://www.agilent.com/chem/cn)**

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本资料中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2012

2012年12月20日出版

出版号：5991-1708CHCN

The Measure of Confidence

