

二乙基三胺五乙酸浸取-电感耦合等离子体质谱法 测定石灰性土壤中有效态铜锌铁锰

罗治定, 张 宁*, 王敬功, 刘庆学, 李 星, 姜云军

(河北省地质实验测试中心, 河北保定 071051)

摘要:采用二乙基三胺五乙酸(DTPA)浸提石灰性土壤样品中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 后, 样品溶液基体盐分较大, 此时若直接采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)进行测定, 极易使仪器的采样锥和截取锥发生堵塞, 雾室和炬管积盐, 进而影响测定准确性。据此, 实验用 DTPA 浸提样品后, 采用对样品溶液稀释 10~30 倍和在标准溶液系列中加入 DTPA 溶液进行基体匹配的方法以消除基体干扰, 利用氦碰撞模式进行测定以消除多原子离子⁴⁰Ar¹⁶O 对⁵⁶Fe 的质谱干扰, 最终实现了 ICP-MS 对石灰性土壤中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的测定。对氦气流量进行了优化, 并确定氦气流量为 4.5 mL/min。在优化的实验条件下, Cu、Zn 的质量浓度为 5~200 ng/mL、Fe 的质量浓度为 100~3000 ng/mL、Mn 的质量浓度为 30~1000 ng/mL 时, 各元素质量浓度分别与其计数值呈线性关系, 相关系数均不小于 0.9998。方法检出限为 0.003~0.01 mg/kg。按照实验方法测定土壤有效态成分分析标准物质中的有效态 Cu、Zn、Fe、Mn, 测定值与认定值一致, 相对标准偏差(RSD)为 1.3%~3.1%。采用实验方法和标准方法 HJ 804—2016(电感耦合等离子体原子发射光谱法)进行方法对照试验, 二者测定值基本一致。

关键词:电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS); 石灰性土壤; 有效态铜; 有效态锌; 有效态铁; 有效态锰; 二乙基三胺五乙酸(DTPA)

中图分类号: O657.63

文献标志码: A

文章编号: 1000-7571(2019)01-0042-06

土壤有效态是指在土壤中容易被植物所吸收利用的元素存在形态^[1], 从土壤化学的观点看, 包括水溶态、酸溶态、螯合态和吸附态等, 土壤中的元素能否被植物吸收, 主要取决于该元素的有效态。有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 在植物体内多为酶、辅酶的组成和活化剂, 它们一旦缺乏, 植物便不能正常生长, 有时会成为作物产量和品质的限制因子^[2]。因此, 土壤有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的准确测定, 对土壤评价和指导施肥具有重要意义。

石灰性土壤是富含碳酸钙或碳酸氢钙等石灰性物质的土壤, 呈中性或弱碱性。通常情况下, 采用二乙基三胺五乙酸(DTPA)对石灰性土壤中的 Cu、Zn、Fe、Mn 进行浸提^[3-6], 再对浸出液中各元素的含量进行测定即可得到有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的含量。石灰性土壤有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的测定

常用分光光度法^[3]、原子吸收光谱法(AAS)^[3-4]或电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)^[4-5]、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)。随着分析仪器的的发展, ICP-MS 以其明显的简便快捷、准确度高、精密度好的优点成为有效态元素测定研究的主要方向^[7-11]。采用 ICP-MS 法测定时存在以下问题: DTPA 浸提剂成分复杂, 基体盐分较大, 仪器的采样锥和截取锥极易发生堵塞, 雾室和炬管积盐, 出现灵敏度下降、信号漂移的现象, 且有严重的多原子离子⁴⁰Ar¹⁶O 对⁵⁶Fe 的干扰。本文采用对样品溶液稀释 10~30 倍和在标准溶液系列中加入 DTPA 溶液进行基体匹配以消除基体干扰, 采用氦碰撞模式消除了多原子离子干扰, 建立了采用 ICP-MS 测定石灰性土壤样品中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的方法。

收稿日期: 2018-05-09

基金项目: 河北省地质矿产勘查开发局科研项目(201706)

作者简介: 罗治定(1965—), 女, 工程师, 研究方向为岩矿分析; E-mail: nanzhangstar99@163.com

* 通讯联系人: 张 宁(1980—), 女, 高级工程师, 硕士, 研究方向为土壤、岩矿分析; E-mail: nanzhangstar@163.com

1 实验部分

1.1 仪器及工作条件

Agilent 7700x 电感耦合等离子体质谱仪(安捷伦科技有限公司),仪器主要工作参数如下:射频功率为 1550 W,雾化室温度为 2℃,采样深度为 8.0 mm(采样锥为镍锥),载气流速为 1.05 L/min,辅助气流速为 1.00 L/min,等离子体流速为 15.0 L/min,氦气流量为 4.5 mL/min;HY-8 调速多用振荡器(金坛市宏华仪器厂),往复式。

1.2 主要试剂

Cu、Zn、Fe、Mn 单元素标准储备液(国家计量研究院):各元素质量浓度均为 1000 μg/mL;Cu、Zn、Fe、Mn 混合标准工作液:Cu、Zn、Fe、Mn 质量浓度分别为

2.50、2.00、25.0、10.0 μg/mL,分别移取 2.50、2.00、25.0、10.0 mL Cu、Zn、Fe、Mn 单元素标准储备液于 100 mL 容量瓶中,加入 5.0 mL HCl,稀释至刻度,摇匀备用;DTPA 浸提液(pH 7.30):称取 1.967 g DTPA 溶于 13.3 mL 三乙醇胺和少量水中,再将 1.47 g 二水氯化钙(CaCl₂·2H₂O)溶于水中,二者一并转入 1 L 容量瓶,加水至 950 mL,在 pH 计上用 6 mol/L HCl 调节至 7.30,用水定容,贮于塑料瓶中。

石灰性土壤有效态成分分析标准物质 GBW07412a、GBW07458、GBW07461 均由中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所研制,其有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的认定值见表 1;DTPA、三乙醇胺、CaCl₂·2H₂O、HCl 均为分析纯;Ar 气(纯度为 99.99%);实验用水为去离子水。

表 1 石灰性土壤有效态成分分析标准物质中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的认定值

Table 1 The certified values of available copper, zinc, iron and manganese in calcareous soil available

标准物质编号 CRM No.	component analysis certified reference materials			
	有效态 Cu Available copper	有效态 Zn Available zinc	有效态 Fe Available iron	有效态 Mn Available manganese
GBW07412a	3.3	2.4	202	31
GBW07458	2.6	2.3	142	67
GBW07461	2.6	1.04	76	21

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

称取 10.0 g(准确至 0.01 g)通过 2 mm 孔径筛的风干样品于 100 mL 塑料瓶中,加 20.00 mL DTPA 浸提液,加盖后于(25±2)℃下,以 160~200 r/min 的振荡频率振荡 2 h,取下离心 10 min,干过滤得清液。从滤液(以 20.00 mL 计)中取 5.00 mL 于 100 mL 塑料容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀待测。同时制备样品空白。

1.3.2 标准溶液系列的配制

用 Cu、Zn、Fe、Mn 混合标准工作液稀释配制混合标准工作溶液系列,各元素质量浓度依次为:0、5、10、30、50、200 ng/mL Cu;0、5、10、30、50、200 ng/mL Zn;0、100、300、500、800、3000 ng/mL Fe;0、30、50、100、300、1000 ng/mL Mn,加入与测试液等量 DTPA 浸提液进行基体匹配,用水定容、摇匀。

2 结果与讨论

2.1 基体干扰及校正

由于采用 DTPA 对样品进行了浸取,因此溶液

基体盐分较大,如果直接对浸提液进行测定,极易使仪器的采样锥和截取锥发生堵塞,雾室和炬管积盐,进而导致仪器稳定性降低,测定结果的准确度受到影响。实验采用稀释法对浸提液稀释一定倍数,并在标准溶液系列中加入 DTPA 溶液进行基体匹配以消除基体对测定的干扰。选用土壤有效态成分分析标准物质 GBW07461 为试验对象,考察了浸提液稀释倍数为 0~40 倍时对有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 测定的影响,结果见表 2(n=5)。由表 2 可见,稀释倍数低于 10 时,测定值与认定值偏离较大,相对标准偏差为 3.5%~11%,精密度较差,这可能是由于炬管积盐使仪器稳定性降低,信号漂移较重引起的;稀释倍数为 10~30 时,测定值与认定值一致,相对标准偏差为 0.57%~4.1%;稀释倍数高于 30 时,相对标准偏差为 2.8%~6.8%,精密度相对于稀释倍数为 10~30 时变差,尤其对低含量的元素较为明显,这可能是稀释倍数越大其相应的计数值越低,因稀释产生的误差影响变大所致。因此选择稀释倍数为 10~30。

2.2 质谱干扰

同量异位素干扰和多原子离子干扰是 ICP-MS

表 2 稀释倍数对测定的影响

Table 2 Influence of different dilutions on determination

标准物质 CRM	稀释倍数 Dilution multiple	有效态 Cu Available copper		有效态 Zn Available zinc		有效态 Fe Available iron		有效态 Mn Available manganese	
		平均值 Average/ (mg/kg)	RSD/ %	平均值 Average/ (mg/kg)	RSD/ %	平均值 Average/ (mg/kg)	RSD/ %	平均值 Average/ (mg/kg)	RSD/ %
		0	2.30	11	0.80	11	58	5.2	17
GBW07461	5	2.43	6.9	0.90	5.1	65	3.5	19	4.3
	10	2.57	3.2	1.00	3.4	75	1.4	21	3.5
	20	2.61	1.3	1.04	2.2	77	0.57	21	2.9
	30	2.62	2.4	1.06	4.3	78	1.1	20	4.1
	40	2.61	5.2	1.03	6.8	77	2.8	21	5.4

的主要干扰。实验首先通过仪器工作参数的优化和最佳同位素的选择最大程度地避免了质谱干扰。碰撞/反应池技术是近年来消除多原子离子干扰的较有效方式^[12-14], 考虑到⁵⁶Fe 受多原子离子⁴⁰Ar¹⁶O 的干扰, 考察了在八级杆碰撞/反应池(ORS)中引入碰撞气氦气(氦碰撞模式)和无氦气引入(普通模式)下待测元素背景等效浓度(BEC)的变化情况。结果表明, 在氦碰撞模式下, BEC 从 82 ng/mL 大幅降低至 1 ng/mL, 而 Cu、Zn、Mn 的 BEC 变化不大。实验选择以高纯氦气为碰撞气, 采用氦碰撞模式进行测定。

2.3 氦气流量

氦碰撞模式在分子离子干扰被降低的同时, 待测元素的灵敏度会有所损失。若池内氦气流速过低, 则干扰不能被彻底消除; 而若池内氦气流速过高, 虽然干扰可大大消除, 但元素的灵敏度亦会降低较多, 使检出限满足不了分析要求。在氦气流速为

3~5 mL/min 时考察了试剂空白与 800 ng/mL 的 Fe 标准溶液在⁵⁶Fe 处所产生的信号响应。结果表明氦气流速为 4.5 mL/min 时, Fe 具有最低的 BEC 值, 因此, 将此流速作为最佳条件。

2.4 校准曲线和检出限

按照仪器设定的工作条件对标准溶液系列进行测定, 以各元素的质量浓度(ρ)为横坐标, 其对应的强度计数值(CPS)为纵坐标, 绘制校准曲线。结果表明, Cu、Zn 的质量浓度为 5~200 ng/mL 时, Fe 的质量浓度为 100~3000 ng/mL 时, Mn 的质量浓度为 30~1000 ng/mL 时, 各元素质量浓度分别与其强度计数值呈线性关系, 相关系数均大于 0.9998, 如表 3 所示。检出限按重复测定 11 次空白所得的标准偏差的 3 倍计算。有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的检出限分别为 0.003、0.007、0.01、0.003 mg/kg, 较标准方法 HJ 804—2016(ICP-AES)具有更低的检出限。

表 3 线性方程、相关系数和检出限

Table 3 Linear equations, correlation coefficients and detection limits

元素 Element	线性方程 Linear equation	相关系数 Correlation coefficient	检出限 Detection limit/(mg/kg)	
			实验方法 Proposed method	HJ 804—2016
⁶³ Cu	$y = 15310.9x + 36455$	0.9999	0.003	0.005
⁶⁶ Zn	$y = 3005.8x + 5657$	1.0000	0.007	0.04
⁵⁶ Fe	$y = 12498.0x + 45117$	0.9998	0.01	0.04
⁵⁵ Mn	$y = 10542.5x + 9409$	1.0000	0.003	0.02

2.5 精密度和正确度

按照实验方法测定石灰性土壤有效态成分分析标准物质 GBW07412a、GBW07458、GBW07461 中的有效态 Cu、Zn、Fe、Mn, 考察方法的精密度, 并将结果与认定值比对, 具体见表 4。

由表 4 可见: 3 个样品中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的相对标准偏差(RSD)均不大于 3.1%; 且测定值与

认定值基本一致。

2.6 方法对照试验

选取不同批次的两个石灰性土壤样品, 采用实验方法进行测定, 并采用标准方法 HJ 804—2016 (ICP-AES)进行方法对照试验, 结果见表 5($n=5$)。

由表 5 可见, 本法测定值与标准方法的测定值基本一致, 可见本方法的正确度满足要求。

表 4 石灰性土壤有效态成分分析标准物质中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 的测定结果

Table 4 Determination results of available Cu, Zn, Fe and Mn in calcareous soil available component analysis certified reference materials

标准物质 编号 CRM No.	元素 Element	认定值 Certified/ (mg/kg)	测定值 Found/ (mg/kg)	平均值 Average/ (mg/kg)	相对标准 偏差 RSD/%
GBW07412a	有效态 Cu	3.3	3.38, 3.39, 3.35, 3.40, 3.42, 3.33, 3.41, 3.43, 3.39, 3.29	3.38	1.3
	有效态 Zn	2.4	2.31, 2.41, 2.33, 2.36, 2.36, 2.36, 2.43, 2.41, 2.38, 2.34	2.37	1.6
	有效态 Fe	202	202, 201, 199, 205, 206, 199, 207, 210, 206, 196	203	2.2
	有效态 Mn	31	32, 32, 31, 32, 32, 32, 32, 33, 32, 31	32	1.3
GBW07458	有效态 Cu	2.6	2.47, 2.46, 2.59, 2.56, 2.53, 2.56, 2.59, 2.57, 2.61, 2.58	2.55	2.0
	有效态 Zn	2.3	2.32, 2.30, 2.41, 2.35, 2.39, 2.35, 2.41, 2.46, 2.44, 2.55	2.40	3.1
	有效态 Fe	142	136, 135, 143, 140, 138, 139, 144, 144, 144, 141	140	2.4
	有效态 Mn	67	67, 66, 69, 68, 68, 69, 70, 69, 69, 68	68	1.7
GBW07461	有效态 Cu	2.6	2.56, 2.56, 2.59, 2.50, 2.53, 2.59, 2.67, 2.62, 2.56, 2.62	2.58	1.9
	有效态 Zn	1.04	1.00, 1.03, 1.04, 1.02, 1.06, 1.05, 1.10, 1.03, 1.03, 1.10	1.05	3.1
	有效态 Fe	76	78, 78, 80, 78, 78, 80, 81, 81, 79, 80	79	1.6
	有效态 Mn	21	20, 20, 20, 20, 20, 20, 21, 21, 20, 20	20	2.1

表 5 两种方法对石灰性土壤中有效态 Cu、Zn、Fe、Mn 测定结果对比

Table 5 Comparison of two methods for determination of available Cu, Zn, Fe and Mn in calcareous soil

样品 Sample	元素 Element	实验方法 Proposed method			HJ 804—2016 测定值 Found by HJ 804—2016
		测定值 Found/(mg/kg)	平均值 Average/(mg/kg)	相对标准偏差 RSD/%	
样品 1	有效态 Cu	1.78, 1.73, 1.74, 1.75, 1.81	1.76	1.8	1.70
	有效态 Zn	0.56, 0.52, 0.58, 0.52, 0.55	0.55	4.7	0.56
	有效态 Fe	38.7, 38.5, 38.8, 40.3, 37.1	38.7	2.9	37.7
	有效态 Mn	14.8, 14.7, 15.0, 15.3, 15.2	15.0	1.7	15.5
样品 2	有效态 Cu	2.56, 2.56, 2.59, 2.50, 2.53	2.55	1.3	2.62
	有效态 Zn	1.00, 1.03, 1.04, 1.02, 1.06	1.03	2.2	1.03
	有效态 Fe	78, 78, 79, 78, 78	78	0.57	76
	有效态 Mn	20, 20, 21, 21, 20	20	2.7	21

参考文献:

[1] 侯明,王香桂.土壤有效态钒的浸提剂和浸提条件研究[J].土壤通报,2010,41(5):1241-1245.
HOU Ming, WANG Xiang-gui. Study on extraction conditions and extractants for available vanadium in soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(5): 1241-1245.

[2] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].3版.北京:中国农业出版社,2010.

[3] 国家林业局.LY/T 1210~1275—1999 森林土壤分析方法[S].北京:中国标准出版社,1999.

[4] 中华人民共和国农业部.NY/T 890—2004 土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提法[S].北京:中国标准出版社,2004.

[5] 环境保护部.HJ 804—2016 土壤 8 种有效态元素的测定 二乙三胺五乙酸浸提-电感耦合等离子体发射光谱法[S].北京:中国标准出版社,2016.

[6] 林光西,徐霞,张静梅.ICP-MS 测定土壤样品中的有效

锰、铜和锌[J].光谱实验室,2006,23(6):1267-1270.
LIN Guang-xi, XU Xia, ZHANG Jing-mei. Determination of available Mn, Cu and Zn in soil by ICP-MS[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2006, 23(6): 1267-1270.

[7] 农云军,谢继丹,黄名湖,等.超声提取-ICP-MS 法测定土壤有效铅和镉[J].质谱学报,2016,37(1):68-74.
NONG Yun-jun, XIE Ji-dan, HUANG Ming-hu, et al. Measurement of available lead and cadmium in soil by ICP-MS with ultrasonic extraction[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2016, 37(1): 68-74.

[8] 季海冰,潘荷芳,李震宇,等.电感耦合等离子体光谱法测定土壤中重金属有效态浓度[J].环境污染与防治,2008,30(12):60-62,66.
JI Hai-bing, PAN He-fang, LI Zhen-yu, et al. ICP/MS for determination of bio-available heavy metals in soil samples[J]. Environmental Pollution & Control, 2008, 30(12): 60-62, 66.

- [9] 王艳泽, 施燕支, 张华, 等. ICP-MS 对土壤样品中有效硼的测定[J]. *光谱学与光谱分析*, 2006, 26(7): 1334-1335.
WANG Yan-ze, SHI Yan-zhi, ZHANG Hua, et al. Study on the method for the determination of soil available B by ICP-MS[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2006, 26(7): 1334-1335.
- [10] 韩张雄, 熊英, 王龙山, 等. DTPA 浸提-电感耦合等离子体质谱法测定石灰性土壤中的有效态钴和有效态铅[J]. *岩矿测试*, 2012, 31(6): 950-953.
HAN Zhang-xiong, XIONG Ying, WANG Long-shan, et al. Rapid determination of available cobalt & lead in calcareous soils by inductively coupled plasma-mass spectrometry with DTPA extraction[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2012, 31(6): 950-953.
- [11] 杜英秋. 土壤中镉、镍、铅全量和有效态的 ICP-MS 法测定及两者相关性分析[J]. *中国西部科技*, 2015, 14(12): 101-104, 84.
DU Ying-qiu. Determination for total content and available state of cadmium, nickel, lead in soil by ICP-MS and correlation analysis between the two [J]. *Science and Technology of West China*, 2015, 14(12): 101-104, 84.
- [12] 洪灯, 许菲菲, 姜士磊, 等. ICP-MS 法测定硅胶奶嘴中 8 种可溶性重金属[J]. *化学研究*, 2015, 26(2): 170-174.
HONG Deng, XU Fei-fei, JIANG Shi-lei, et al. Determination of eight kinds soluble heavy metals in silicone nipple by ICP-MS[J]. *Chemical Research*, 2015, 26(2): 170-174.
- [13] 李敏, 连晓文, 梁旭霞, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定水中低浓度铁受钙干扰的消除[J]. *理化检验: 化学分册*, 2012, 48(7): 815-817.
LI Min, LIAN Xiao-wen, LIANG Xu-xia, et al. On the elimination of interference of calcium in the ICP-MS determination of iron with low concentration in water [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, 2012, 48(7): 815-817.
- [14] 刘蜜, 仇海旭, 郭伟, 等. 利用电感耦合等离子体质谱仪 He 碰撞反应模式测定土壤有效钼[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(6): 171-175.
LIU Mi, QIU Hai-xu, GUO Wei, et al. Determination of soil available molybdenum using inductively coupled plasma mass spectrometry with He collision model [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017(6): 171-175.

Determination of available copper, zinc, iron and manganese in calcareous soil by inductively coupled plasma mass spectrometry with diethylenetriaminepentaacetic acid extraction

LUO Zhi-ding, ZHANG Ning*, WANG Jing-gong, LIU Qing-xue
LI Xing, JIANG Yun-jun

(Hebei Research Center for Geoanalysis, Baoding 071051, China)

Abstract: The available Cu, Zn, Fe and Mn in calcareous soil sample were extracted by diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA). Since the contents of matrix salts in sample solution were high, the sampling cone and skimmer cone of instrument were easily blocked if the sample solution was directly determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The salification in atomizing chamber and torch tube would influence on the determination accuracy. After leaching sample with DTPA, the sample solution was diluted for 10-30 times. Meanwhile, DTPA solution was added into standard solution series for matrix matching to eliminate the matrix interference. The mass spectrometry interference of polyatomic ion $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ with the determination of ^{56}Fe was eliminated using helium collision mode. Consequently, the determination of available Cu, Zn, Fe and Mn in calcareous soil by ICP-MS was realized. The flow rate of helium was optimized and the optimum flow rate was 4.5 mL/min. Under the optimized experimental conditions, the mass concentration of elements had linear relationship with the counting value for Cu, Zn (5-200 ng/mL), Fe (100-3000 ng/mL) and Mn (30-1000 ng/mL). The correlation coefficients were all not less than 0.9998. The detection limit was 0.003-0.01 mg/kg. The contents of available Cu, Zn, Fe and Mn in certified reference materials of soil for available composition analysis were determination according to the experimental method. The found results were consistent with the certified values, and the rela-

tive standard deviations (RSD) were between 1.3% and 3.1%. The proposed method was compared with the standard method HJ 804-2016 (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry), and the determination results were basically consistent.

Key words: inductively coupled plasma mass spectrometry; calcareous soil; available copper; available zinc; available iron; available manganese; diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)

日立分析仪器发布新款紧凑型火花直读光谱仪 FM EXPERT

从废旧金属中的痕量元素分析到来料检测、熔化过程控制和成品检测,严格的质量控制在整个金属行业中都至关重要。FM EXPERT 属于一款新一代直读光谱仪,集卓越的分析性能和紧凑型设计为一体。其较宽的波长范围使其适用于在金属质量保证和生产工艺控制过程中分析所有相关元素。同时,FM EXPERT 配备紧凑型 CCD 光学系统,还可分析低含量氮。

FM EXPERT 结合了日立智能光学系统和改良的等离子体视图,确保在整个波长范围内实现卓越的分析性能,且检出限低。氦气净化光学系统降低了维护周期和运营成本。FM EXPERT 的密封氦气系统属于同类最佳产品,可提供最佳光学等离子体观测视野、喷射电极技术,确保可靠的氮分析,其检出限为 30×10^{-6} 。

氮分析在金属生产中越来越重要,金属制造商、加工商和铸造行业需要一个紧凑型且高性能的入门级火花直读光谱仪来进行氮分析,所以 FM EXPERT 是他们理想的分析设备。大多数钢制品要求氮保持在最小值,以避免机械性能不一致、焊接钢的热影响区脆化、低温成形性差、应变老化以及在铸造过程中形成销孔。FM EXPERT 性能优于同类产品,特别是对于低含量氮分析。

三面开放的火花台,几乎可以测量任何尺寸的样品,从大的半成品到细小的线材。与同类系统相比,火花台内的新氦气流量管理系统可减少和延长火花台清理间隔时间。此外,基于波长实时校准和快速连接,仪器的再启动是非常高效的。所有这些特点都保证了仪器的最大可用性。

除了创新的硬件技术之外,市场上用于快速和方便地识别牌号的金属数据库已经安装在 FM EXPERT 上。日立的 GRADE Database 牌号数据库能提供来自 69 个国家和标准中超过 339000 种金属材料的 1200 多万条记录。您只需几下点击就可以更新您仪器的牌号数据库,而不用费时研究规范和牌号目录。