

## 分析测试

# 碱解-离子选择电极法 测定冰晶石总氟含量

李睿琪<sup>1</sup>, 陈志华<sup>2</sup>, 陈义平<sup>2</sup>, 姚岢岢<sup>1</sup>, 池汝安<sup>3</sup>, 龙秉文<sup>1\*</sup>

(1. 磷资源开发利用教育部工程研究中心, 绿色化工过程省部共建教育部重点实验室, 武汉工程大学, 湖北 武汉 430205; 2. 福建申芯电子材料有限责任公司, 福建 福州 350000; 3. 湖北三峡实验室, 湖北 宜昌 443007)

**摘要:**针对目前冰晶石总氟含量常规测定耗时长、操作烦琐、过程物质存在毒害性和测试成本高等不足, 提出了碱解-氟离子选择电极法实现快速准确测定冰晶石中的总氟含量。样品预处理过程中, 在 200℃ 下采用过量氢氧化钠在镍坩埚中碱解 1 h, 可将冰晶石中的氟完全转换为氟离子。溶液电位测量过程中, 在样品溶液和氟离子标准溶液中加入 TISAB IV 总离子强度调节缓冲溶液来消除 Al<sup>3+</sup> 的干扰, 同时在氟离子标准溶液中加入适量 Na<sup>+</sup> 和 Al<sup>3+</sup> 来保证样品溶液和标准溶液的总离子势和 Na<sup>+</sup> 浓度一致。实验结果表明, 该方法与传统化学分析法一致性良好, 平均相对偏差为 0.40%, 最大绝对偏差为 0.32%, 且 5 次平行测量相对标准偏差小于 0.50%, 适用于冰晶石总氟含量的快速批量测定, 亦可推广用于其他氟化物中总氟含量测定。

**关键词:** 离子选择性电极; 冰晶石; 氟元素; 测定

中图分类号: O657

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2024)07-0239-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.07.043

## Determination of total fluorine content in cryolite by alkaline hydrolysis-ion selective electrode method

LI Rui-qi<sup>1</sup>, CHEN Zhi-hua<sup>2</sup>, CHEN Yi-ping<sup>2</sup>, YAO Ke-ke<sup>1</sup>, CHI Ru-an<sup>3</sup>, LONG Bing-wen<sup>1\*</sup>

(1. Engineering Research Center of Phosphorus Resources Development and Utilization of Ministry of Education, Key Laboratory of Green Chemical Engineering Process of Ministry of Education, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China; 2. Fujian Shenxin Electronic Materials Co., Ltd., Fuzhou 350000, China; 3. Hubei Three Gorges Laboratory, Yichang 443007, China)

**Abstract:** The existing conventional determination methods for total fluorine content in cryolite have shortcomings such as long testing time required, complicated operation, toxic substances involved, and high testing cost. In order to overcome these shortcomings, an alkali hydrolysis-fluoride ion selective electrode method is proposed to determine total fluorine content in cryolite. In the sample pretreatment process, cryolite has been decomposed by excess sodium hydroxide in a nickel crucible at 200℃ for 1 h to facilitate all fluorine to be converted into ionic form. Then, TISAB IV solution is added into both cryolite sample solution and fluoride ion standard solution to eliminate the interference caused by Al<sup>3+</sup> and to stabilize the solution's pH value. Besides, appropriate amount of Na<sup>+</sup> and Al<sup>3+</sup> are added in the fluoride ion standard solution to keep the total ionic strength and Na concentration consistent between the sample and standard solutions. Experimental results indicate that the accuracy of the proposed method is in excellent with that of the conventional chemical analysis method, showing an average relative deviation and maximum absolute deviation of 0.40% and 0.32%, respectively, and the relative deviation of five repeated measurements is less than 0.5%. Therefore, the proposed method works well for the fast determination of large quantity samples and can be extended to determine other fluorides.

**Key words:** ion-selective electrode; cryolite; fluorine element; determination

在氟化工行业中, 氟含量是相关产品最关键的质量指标。冰晶石(Cryolite)主要成分是六氟铝酸钠或氟铝化钠(Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), 在熔融状态下能溶解氧化铝, 从而显著降低氧化铝的熔点, 且具有良好的导

电性, 因此常用作电解铝工业中助熔剂、稳定剂和导电剂<sup>[1]</sup>。生产金属铝最主流的 Hall-Heroult 工艺用到的氟化物熔体就是以冰晶石为主要成分<sup>[2]</sup>。随着铝冶炼工业的发展, 天然冰晶石资源已近枯竭, 现

收稿日期: 2023-10-19; 修回日期: 2024-05-14

基金项目: 国家自然科学基金(22078250, U23A20604); 湖北三峡实验室创新基金(SC211012); 武汉工程大学教育创新基金(CX2023043)

作者简介: 李睿琪(2000-), 女, 硕士生; 龙秉文(1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向为资源化工, 通讯联系人, bingwen\_long@163.com。

多以含磷肥副产氟硅酸或氟硅酸钠或从含氟废水中回收氟资源人工合成冰晶石供工业使用<sup>[3]</sup>。

冰晶石产品的总氟含量是评价人工合成冰晶石最重要的指标之一,理论值为 54.3%,而国标《冰晶石》(GBT 4291—2017)中规定的合成普通冰晶石的总 F 含量不低于 53.0%,高分子冰晶石的总 F 含量不低于 52.0%<sup>[4]</sup>。对冰晶石中的总氟的实验测定通常是比较烦琐和昂贵的,国标(YS/T 273.3—2020)建议的方法是蒸馏-硝酸钍容量法和氟氯化铅沉淀-硝酸汞容量法<sup>[5]</sup>。前者用碳酸钠溶解试样,经硫酸或高氯酸-水蒸汽蒸分离氟后,再以茜素磺酸钠-次甲基蓝作指示剂,用硝酸钍溶液滴定,操作烦琐,且需要特殊蒸馏设备。后者是将试样先与无水碳酸钾、石英砂在高温下混合熔融,使硅与铝形成硅铝酸盐沉淀而与氟分离,再在适当盐酸酸度下加入铅离子,与氟形成氟氯化铅沉淀,沉淀溶于硝酸后,用硝酸汞标准溶液滴定氟离子量,从而计算出氟含量。2 种测试方法都需要先使用昂贵的铂金坩埚把氟从样品单独分离处理,检测成本高,操作烦琐,干扰因素多,且耗时较长,如氟氯化铅需要静置 12 h 之后才能沉淀完全。薛旭金等<sup>[6]</sup>采用粉末压片、硼酸镶边垫底制样,用 X 射线荧光光谱法测定冰晶石中包括总氟在内的 8 个元素含量,分析速度快,测量结果准确度与化学分析结果相当。然而,测试需用到昂贵的波长型色散 X 射线荧光光谱仪,并需定期采用冰晶石国家一级标准物质对仪器进行校正,很多单位不具备这样的条件。

氟离子选择电极法是一种常用的氟含量测定方法,具有灵敏、准确、简单的特点,因而在工业废水<sup>[7]</sup>、牙膏<sup>[8]</sup>、食品<sup>[9]</sup>、大气<sup>[10]</sup>中氟含量的定量测定上得到了广泛的应用。然而,氟离子在溶液中极易与过渡金属离子如铁、铝形成复杂配合物,从而干扰结果的准确性,因此氟离子选择电极法用于测定冰晶石中的氟含量需要解决铝与氟形成配合物以及钠离子存在对溶液总离子势的影响。对于氟和金属离子易形成配合物的问题,添加总离子强度调节缓冲溶液(total ionic strength adjustment buffer, TISAB)来络合干扰离子并释放出氟离子是常用方法, TISAB 有多种配制方法,常用的调节剂有柠檬酸钠(TISAB I)、环己二胺四乙酸(TISAB II)及六次甲基四胺和钛试剂(TISAB III)。然而,对氟化物的配合物稳定常数的实验研究的结果表明<sup>[11]</sup>, Al<sup>3+</sup>对氟含量测定的干扰在所有离子是最严重的,上述总离子强度调节剂均无法消除冰晶石样品中氟铝配合

物对总氟含量的干扰。因此,本文中提出添加与铝离子络合能力更强的 TISAB IV(二水合酒石酸钠-三羟甲基氨基甲烷-盐酸)来消除铝的影响,同时在氟标准溶液中添加定量的 Na<sup>+</sup>离子来补偿冰晶石溶液中离子势的变化,从而应用离子选择电极法准确、快速地测定冰晶石中的总氟含量。

## 1 测试方法设计

### 1.1 测试原理

氟离子选择电极法是利用电极中氟化镧单晶膜对氟离子的选择响应,通过毫伏计或者 pH 计在特定温度下测量氟离子选择电极在溶液中的膜电位,利用能斯特方程计算出氟离子活度。当含 F 的稀溶液中加入 TISAB 溶液后,溶液其他组分的离子势远高于氟离子的离子势并且可保持稳定,氟离子的活度系数将保持稳定,因此可以认为离子的活度就等于离子的浓度。因此,在恒定温度下,氟离子选择电极测量得到的电势与溶液中氟离子浓度的对数呈线性关系。另一方面,标准电势  $E_0$  对于不同电极是不同的。因此,可以通过实验确定已知浓度的 F 离子标准溶液电位与浓度的线性关系,再测量未知浓度含氟离子溶液的电位,反算其浓度。

$$E = E_0 + [(2.303RT)/(n_i F)] \lg \alpha_F \quad (1)$$

冰晶石样品经过预处理后的溶液中含有 F<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>和 Al<sup>3+</sup>,以及它们形成的各种配合物。这其中形成的氟铝酸盐对总 F 的测量影响最大。而加入 TISAB 可以络合铝离子并释放出氟离子,而 TISAB 与 Al<sup>3+</sup>络合程度取决于 TISAB 溶液的种类、溶液中总 F 浓度、溶液的 pH 和总离子势。

### 1.2 TISAB IV 与铝的络合

TISAB 根据与金属离子络合能力的强弱有 4 种类型,本文中选择的 TISAB IV 型总离子强度调节缓冲溶液是由二水合酒石酸钠、三羟甲基氨基甲烷和盐酸按一定比例复配而成,溶液的 pH 为 8.46。在碱性环境下,酒石酸钠分子两端的羧基在溶液中电离后的氧负离子可与离子形成 2:1 配位,具有稳定的螯合效应,而三羟甲基氨基甲烷(Tris)有很高的缓冲能力,在水中溶解度高,是生化研究中使用较多的缓冲液。因而 TISAB IV 对铝离子具有很高的络合能力,通常在含  $1 \times 10^{-6}$  氟离子的溶液中可以络合超过  $100 \times 10^{-6}$  的铝离子。

### 1.3 pH 控制

在酸性溶液中(pH < 5),游离的 H<sup>+</sup>会与一部分 F 结合,生成分子态的 HF 和 HF<sub>2</sub><sup>-</sup>离子,从而干扰氟

离子的测量。而在  $\text{pH} > 8$  的碱性溶液中,氟将完全以游离的离子状态存在,而不与  $\text{Al}^{3+}$  络合,同时只有当  $\text{OH}^-$  浓度高于  $\text{F}^-$  总量的  $1/10$  才会干扰氟离子的测量<sup>[12]</sup>。因此,控制溶液  $\text{pH}$  在 8 左右的碱性环境,为离子选择电极法准确测量高铝溶液中氟的浓度提供了可能性。如前所述,TISAB IV 中的 Tris 具有很高的缓冲能力,可使 TISAB IV 溶液的  $\text{pH}$  稳定在 8.5 左右,而冰晶石样品经过预处理后的溶液中的  $\text{F}^-$  含量在  $10^{-6}$  级,在此情况  $\text{OH}^-$  对电极的响应没有影响。Corbillón 等<sup>[11]</sup> 的测试表明,在  $\text{pH} = 6 \sim 10$  范围内, $\text{F}^-$  浓度为  $30 \times 10^{-6}$  溶液的电势差不随  $\text{pH}$  变化而变化,十分稳定。

#### 1.4 钠离子的补偿

为提高离子选择电极的准确度,应使氟离子标样和冰晶石样品溶液中总离子势相等。由于冰晶石除氟外还含有钠和铝,因此在氟离子标样配置过程中最好添加一定量的氢氧化钠溶液和铝离子标液,这样能使标样溶液和冰晶石样品溶液的总离子势相等,从而获得更加准确测定结果。氢氧化钠溶液和铝离子标液的加入量可根据冰晶石样品溶液中钠离子和铝离子含量确定。例如取 0.15 g 固体冰晶石样品用 5.0 g 50% 的氢氧化钠碱解后定容至 250 mL,取 5 mL 加 TISAB IV 溶液后定容至 50 mL 待测电位,则可估算待测样品中的钠离子含量约为  $595 \times 10^{-6}$ ,铝离子浓度为  $7.7 \times 10^{-6}$ 。因此在配置氟离子标准曲线样品除了 TISAB IV 溶液外,还应加入适量的 NaOH 溶液和铝离子标准溶液,从而使得氟离子标样和冰晶石样品溶液中总离子势相等。

## 2 实验部分

### 2.1 材料与仪器

氟标准溶液 ( $1\ 000\ \mu\text{g}/\text{mL}$ ) 和铝标准溶液 ( $1\ 000\ \mu\text{g}/\text{mL}$ ) 购自北京有色金属研究总院;氢氧化钠 ( $\geq 99\%$ ,分析纯) 购自上海麦克林生化科技有限公司;分析纯二水合酒石酸钠、浓盐酸购自西陇化工股份有限公司;实验中用水为自制反渗透纯水 (电阻率  $> 18.2\ \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ )。

冰晶石溶液的氟离子电势采用 SH2601 微电脑精密酸度计 (准确度  $\pm 0.03\%$ ,分辨率  $0.1\ \text{mV}$ ,上海仪电科学仪器股份有限公司),装配 PF-1-01 型氟离子选择电极和  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  参比电极。所有电位测量中均通过恒温水浴控制温度在  $25^\circ\text{C}$  下在聚丙烯烧杯内进行。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 TISAB IV 溶液配制

称取 230 g 二水合酒石酸钠,242 g 三羟甲基氨基甲烷 (TRIS) 以及 84 mL 浓盐酸 (36%~38%) 溶于 500 mL 纯水中,待溶液冷却至室温后转移至 1 L 容量瓶中,并用水稀释至刻度备用,溶液  $\text{pH}$  为 8.46。

#### 2.2.2 标准曲线的配置与电势测量

氟标准溶液配置:分别取 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mL 氟标准溶液 ( $1\ 000 \times 10^{-6}$ ) 于 50 mL 塑料容量瓶中,分别加入 10 mL TISAB IV 溶液、0.5 mL 铝标液和 1 g 5% 的 NaOH 溶液加去离子水定容至 50 mL,摇匀待测。这样工作曲线上氟离子标准溶液的  $\text{F}^-$  离子浓度在  $10 \times 10^{-6} \sim 60 \times 10^{-6}$ ,钠离子浓度在  $575 \times 10^{-6}$ ,铝离子浓度在  $10 \times 10^{-6}$ 。而按 2.2.3 节处理的冰晶石样品待测溶液中  $\text{F}^-$  离子浓度应在  $30 \times 10^{-6}$  左右,位于标准曲线的中部,测量误差最小。

按浓度从低到高的顺序测得上述配置的氟标准溶液电势值  $E$ ,图 1 给出了实测  $E$  值和对应氟离子标准溶液浓度自然对数的关系。可见, $E$  与  $\lg c$  呈良好的线性关系,图中线性关系的相关系数  $R^2 = 0.9991$ 。根据 Nernst 方程式,温度在  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  之间时,氟离子浓度每改变 10 倍,理论上电极电位变化  $58 \pm 2\ \text{mV}$ ,而图 1 回归直线的斜率为 58.439,表明该电极具有良好的性能,可直接用于测量。

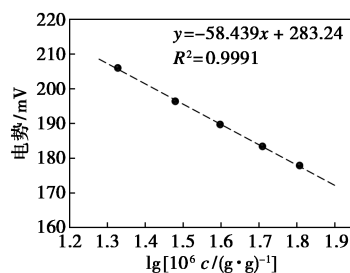


图 1 离子选择电极法测量冰晶石总氟含量的工作曲线

#### 2.2.3 样品处理及测定

冰晶石样品处理的第一步是用碱来分解,生成易溶性氟化钠和铝酸钠,从而使冰晶石中的氟完全转换为  $\text{F}^-$ 。彭祖茂<sup>[12]</sup> 采用过量 NaOH 在  $200^\circ\text{C}$  碱解冰晶石 1 h,并对碱解后的样品溶液采用了  $^{19}\text{F}$ -NMR 和  $^{27}\text{Al}$ -NMR 表征,结果发现溶液中氟和铝的存在形式分别为游离的  $\text{F}^-$  和  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ ,该结果意味着可以在无需分离  $\text{Al}^{3+}$  的情况下进一步采用离子选择电极法测试样品中的氟离子浓度,进而

计算产品中总氟含量。

一般含氟铝化合物的分析,选用铂坩埚较多,但氢氧化物对铂有一定的腐蚀性,且铂坩埚价格昂贵,因此本文中选用抗碱腐蚀性较好的镍坩埚来碱解冰晶石样品<sup>[13]</sup>。同时,为了防止样品中的铝离子使坩埚变脆,熔融温度控制在 200℃ 以下,熔融时间控制在 60 min 左右,过程安全风险低。

冰晶石样品具体的处理及测定过程为:称取 0.15 g(精确至 0.000 1 g)冰晶石固体置于镍坩埚中,加入 5.0 g 50% 的氢氧化钠和 1 mL 水混合均匀,在 180~200℃ 马弗炉内干燥 50~60 min。取出镍坩埚放置片刻后,再加入热水使干燥的混合物完全溶解。待溶液冷却至室温后转移至 250 mL 塑料容量瓶中,用水定容至刻度线。取 5 mL 上述溶液,加入 10 mL TISAB IV 溶液,用水定容至 50 mL 混匀得到测试溶液。按照氟离子标准曲线的操作过程进行测量得到电位值,通过图 1 中获得的标准曲线方程反算稀释样品溶液的氟浓度,从而计算出冰晶石中氟元素的含量。

### 3 结果与讨论

离子选择电极法可以实现对溶液中氟离子进行快速、准确地测定,采用本文中提出的方法测量了 5 个冰晶石样品中总 F 含量,并与化学分析法<sup>[5]</sup>的结果进行了对比,结果汇总于表 1。冰晶石样品为人工合成,以分析纯氢氟酸溶液配置 F 离子浓度为  $4\ 000 \times 10^{-6}$  的溶液,氢氧化钠和氢氧化铝按一定比例反应制备的偏铝酸钠溶液为沉淀剂,控制合适的溶液 pH 和沉淀剂用量,过滤干燥而得<sup>[14]</sup>。合成冰晶石产品外观为白色粉末,粉末 X-射线衍射(PXRD)图谱示于图 2,并与数据库中冰晶石的标准谱图进行了对照。可以看到合成冰晶石样品中各个特征峰非常尖锐且与标准图的出峰位置和相对峰高吻合良好,没有杂峰,可以证明产品为高纯度冰晶石。

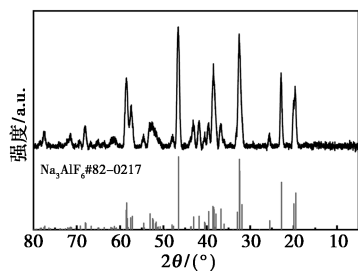


图 2 合成冰晶石样品的粉末 X-射线衍射(PXRD)图谱

同时采用吴豫强等<sup>[15]</sup>提出的电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测量了样品中的 Na 和 Al 含量(表 1),结果均满足国标中规定的含量要求。

表 1 离子选择电极法和化学分析法测量冰晶石

冰晶石	总氟含量结果比较				%
	Na	Al	F		
			离子选择电极法	化学分析法	
国家标准	≤33	≥12	≥52		
样品 1	27.59	13.17	52.69	52.43	
样品 2	30.53	14.30	53.34	53.55	
样品 3	29.74	13.29	52.34	52.42	
样品 4	26.08	12.09	52.98	52.66	
样品 5	32.66	14.78	53.63	53.47	

从表 1 中数据可以看到,离子选择电极法测出的合成冰晶石样品的总氟含量与国标中的化学分析法结果一致性较高,5 组样品的平均相对偏差为 0.4%,最大绝对偏差为 0.32%。为了验证该方法的可靠性,分别将样品 1、2 和 3 进行了 5 组平行测试,结果见表 2。从表 2 中数据可以看到,本文中提出的方法对同一样品的重现性很好,5 次测量的绝对标准偏差在 0.3% 以内,相对标准偏差在 0.5% 以内,而国标(YS/T 273.3—2020)所要求的冰晶石总氟含量测定的允许差为 ≤0.7%。以上实验结果证实了离子选择电极法是一种简便而准确的总氟测定方法,完全可以替代传统化学分析法测量冰晶石中的总氟含量。理论上本文中提出的技术方案完全可以推广用于其他氟化盐固体或液体样品中氟含量的测定。

表 2 离子选择电极法测量冰晶石总氟含量的

独立测量 次数	重复性试验结果			%
	总 F 含量			
	样品 1	样品 2	样品 3	
1	52.45	53.07	52.45	
2	52.95	53.17	52.00	
3	52.59	53.40	52.12	
4	52.65	53.57	52.35	
5	52.76	53.54	52.79	
平均值	52.69	53.34	52.34	
标准偏差	0.17	0.20	0.28	
相对标准偏差	0.32	0.37	0.53	

## 4 结论

提出采用离子选择电极法代替国标中化学分析法测定冰晶石中的总氟含量。冰晶石样品首先用过量 NaOH 条件下碱解,将其中的氟完全转换为氟离子,同时在碱性条件下氟离子不会与  $Al^{3+}$  络合,从而可在无需分离  $Al^{3+}$  的情况下,进一步采用离子选择电极法测试样品溶液中的氟离子浓度。在电位测量中,通过在样品溶液和氟离子标准溶液中加入等量的 TISAB IV 总离子强度调节缓冲溶液,利用 TISAB IV 中三羟甲基氨基甲烷高的缓冲能力将溶液的 pH 稳定在 8.5 左右,而酒石酸钠可与  $Al^{3+}$  形成稳定的螯合物,从而有效消除溶液中  $Al^{3+}$  对电极测试的干扰并稳定,同时氟离子标准溶液配置过程中添加了适量的 NaOH 溶液和铝离子标准溶液,使样品溶液和标准溶液的总离子强度和钠离子浓度保持一致,从而进一步提高了氟离子浓度测量的准确性。对人工合成高纯度冰晶石样品总氟含量的实测结果表明,本文中提出的离子选择电极法与传统化学分析法一致性良好,平均相对偏差为 0.40%,最大绝对偏差为 0.32%,且 5 次平行测量相对标准偏差小于 0.50%。

综上,氟离子选择电极法测定冰晶石中的总氟含量具有方法简单、分析快速、准确度高、重现性好的优点,且无需特殊装置和仪器,测试成本低,适用于工业生产中冰晶石总氟含量的快速批量测定。此外,该方法的技术原理可推广用于其他氟化盐固体或液体样品中氟含量的测定,为氟化盐的科学分析提供了新的思路。

## 参考文献

- [1] 丁慧萍.冰晶石产品的生产技术及市场状况[J].云南冶金,2004,33(3):64-69.
- [2] McGeer J P. Hall-Heroult: 100 years of processes evolution [J]. Journal of Metals, 1986, 38(11): 27-33.
- [3] 叶文龙,吴姝,郑建强.我国冰晶石产品生产技术的现状及发展趋势[J].化工生产与技术,2011,18(5):6-10.
- [4] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 4291—2017.冰晶石[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部.YS/T 273.3—2020.冰晶石化学分析方法和物理性能测定方法第3部分:氟含量的测定[S].北京:冶金工业出版社,2020.
- [6] 薛旭金,侯红军,王建萍.X 射线荧光光谱法测定冰晶石各元素含量的研究[J].轻金属,2008,(1):17-19.
- [7] 吴天龙,林植才,吴文勇,等.离子选择电极法测定工业废水中氟化物的探讨[J].环境,2006,(S1):72-73.
- [8] 王滔,詹婧娴.氟离子选择电极测定牙膏中氟的含量[J].当代化工研究,2021,(3):40-41.
- [9] 刘鹏,王守银.离子选择电极法测定食品添加剂硫酸钙中的氟离子[J].中国无机分析化学,2015,5(4):13-15.
- [10] 郭政,周益民,侯秀玲,等.氟离子选择电极法测量大气氟化物的方法验证[J].新疆大学学报:自然科学版,2010,27(1):81-84.
- [11] Corbillón M, Carril M P, Madariaga J M, et al. Fast determination of total fluoride by direct potentiometry in samples of aluminium fluoride and cryolite [J]. Analyst, 1995, 8(120): 2227-2231.
- [12] 彭祖茂.氟化铝和冰晶石的危险性评价与快捷测氟技术研究[D].北京:北京化工大学,2014.
- [13] 罗婵敏.氟化铝或冰晶石中总氟量滴定分析方法的探讨[J].现代物业,2013,12(6):48-49.
- [14] 姜科,周康根.结晶法从含氟废水中合成粗颗粒冰晶石[J].无机盐工业,2019,51(6):53-56.
- [15] 吴豫强,李小艳.电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定冰晶石中九种元素含量[J].轻金属,2020,(3):53-55. ■

## Syensqo 推出 Cerafy™ 系列仿生天然神经酰胺

Syensqo 推出了 Cerafy™ 系列仿生天然神经酰胺,用于护肤和护发应用。

Cerafy™ 的推出表明 Syensqo 正致力于开发更多的专业天然护肤解决方案以扩展产品组合,从而实现其美妆个护业务的快速增长。

Cerafy™ Pure NPo 是该系列的首款产品,它是一种创新的纯粉末神经酰胺 III,可解决皮肤内天然神经酰胺水平下降的问题。该产品可以恢复皮肤的屏障功能,有效防止皮肤干燥并预防皮肤早衰。

Syensqo 全球护肤市场经理 Léa Seidenbinder 表示:“神经酰胺在维持皮肤屏障的完整性方面起着非常重要的作用,能够在锁住水分的同时抵御环境带来的损伤。凭借 Cerafy™,配方师可以开发出可持续的个性化护肤方案,帮助保护、维持和修复皮肤的美丽和健康。”

Cerafy™ 通过独特的发酵工艺制成,符合 Syensqo 可再生材料和生物技术增长平台的重点发展方向。该平台利用生物技术赋能,用以开发安全的可再生碳基化学原料,并加速向可持续和循环解决方案转型。(赵艳燕)