

硝酸钙溶液杂质含量测定与去除技术经济性研究

肖正城（贵州华锦铝业有限公司，贵州 贵阳 551405）

摘要：本文深入研究硝酸钙溶液杂质含量测定方法与去除技术，分析常见杂质对硝酸钙溶液性能的影响，详细阐述化学分析法、光谱分析法等测定方法的原理与特点，探讨离子交换法、膜分离法、化学沉淀法等去除技术的应用与效果，从成本、效益等方面对去除技术进行经济性分析，并对未来发展趋势进行展望，旨在为硝酸钙溶液的生产与应用提供全面的理论支持和实践指导，推动相关行业的技术进步与经济发展。

关键词：硝酸钙溶液；杂质含量测定；去除技术；经济性分析

中图分类号：TQ132.3 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 030-0058-03

Economic Study on the Determination and Removal of Impurities in Calcium Nitrate Solution

Xiao Zhengcheng (Guizhou Huajin Aluminum Industry Co., Ltd., Guiyang Guizhou 551405, China)

Abstract: This article delves into the methods and removal techniques for determining impurity content in calcium nitrate solutions, analyzes the effects of common impurities on the performance of calcium nitrate solutions, and elaborates on the principles and characteristics of chemical analysis, spectral analysis, and other measurement methods. It explores the application and effectiveness of removal technologies such as ion exchange, membrane separation, and chemical precipitation, and conducts an economic analysis of removal technologies from the perspectives of cost and benefits. It also looks forward to future development trends, aiming to provide comprehensive theoretical support and practical guidance for the production and application of calcium nitrate solutions, and promote technological progress and economic development in related industries.

Keywords: calcium nitrate solution; Impurity content determination; Remove technology; Economic analysis

硝酸钙作为一种常见的无机物，它的水溶液可作肥料使用（优质氮肥及钙肥），给农作物补充所需养分，有利于作物的生长；硝酸钙水溶液还可用来制取烟火药剂、电光源材料等，不同用途所使用的硝酸钙水溶液都有一定的质量标准。

但是在实际的生产过程当中难免存在一些原因导致硝酸钙溶液含有一定量的杂质。而这些杂质的存在会对硝酸钙溶液本身的化学特性和物理特性造成影响从而影响到产品的性能，同时也会影晌到设备的使用寿命，增大了生产的成本投入。所以需要精确的测出硝酸钙溶液中含有多少杂质并且能够找到有效的方法将这些杂质除去来保证产品达到应有的指标并减少不必要的损失。

1 硝酸钙溶液中常见杂质及其影响

1.1 常见杂质类型

由上可知：工业生产的硝酸钙溶液含有多种杂质，而且来源广；金属离子主要有 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} ，它们来源于矿物本身所含有的副成份以及设备管道内壁在强酸条件下受到少量侵蚀的结果；阴离子杂质主要是 Cl^- 、 SO_4^{2-} ，它主要来自于作为原料使用的盐卤中含有部分含氯化合物（主要是NaCl），另外还有由于原料本身的不纯净造成的；有机杂质有无机物被氧化时产生的二氧化碳等气体，在干燥的过程中形成的气泡

附着于晶体表面造成的产品外形不规则，也有来自于原材料预处理过程中夹杂的植物性残渣以及在反应系统中微生物发酵作用所产生的各种有机物。

这些杂质对于最后成品的质量都有很大的影响：金属离子会使硝酸钙变色并使其纯度下降；阴离子杂质使硝酸钙容易潮解，并降低了其贮存稳定性和溶解速度；有机杂质不但扰乱了硝酸钙的化学均匀性而且还可能会导致一些有毒害性的中间体或者终末产物在人们食用或使用硝酸钙以后进入体内，从而对人体健康带来损害。有些有机杂质还会直接刺激人的食管粘膜甚至有可能改变人体正常的生理活动。

1.2 杂质对硝酸钙溶液性能的影响

除了上述提到的影响外观和纯度的因素外，金属离子杂质对于硝酸钙溶液危害更大：

其中 Fe^{3+} 为典型催化剂型杂质，它能促使硝酸钙迅速分解并产生有毒气态产物及其他不希望有的杂质组成物； Mg^{2+} 、 Al^{3+} 等阳离子容易同溶液中 NO_3^- 进行配位作用或者化合反应形成难溶解盐类化合物，这种盐类物质将会以悬浮液形式存在或沉降下来，从而造成溶液浑浊不清且阻塞输送管路，粘附于设备器皿表面，大大降低了溶液储藏稳定性和后序加工过程的连续作业率。

另外，阴离子杂质也带来很大的问题： Cl^- 有很强

的腐蚀性能，可以跟设备金属材料起电化腐蚀作用，使仪器内部逐渐被侵蚀，引起仪器渗漏现象以及精度失效等等情况的发生，严重地缩短了仪器使用寿命，并增加了维修保养费用； SO_4^{2-} 将与 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 中的 Ca^{2+} 相结合成可溶性极小的 CaSO_4 沉淀，这不仅会造成吸附在反应器皿壁上的结垢现象，而且会消耗掉溶液中部分有效的 Ca^{2+} ，直接降低硝酸钙溶液的实际含量，使其不能达到农用肥料、化工助剂等领域要求的指标值^[1-2]。

2 硝酸钙溶液杂质含量测定方法

2.1 化学分析法

化学分析法是测定硝酸钙溶液杂质含量的经典方法之一，包括滴定分析法和重量分析法。滴定分析法是利用化学反应中物质的定量关系，通过滴定剂与被测物质的反应来确定杂质含量。

例如，对于氯离子杂质的测定，可以采用硝酸银滴定法，在酸性条件下，硝酸银与氯离子反应生成氯化银沉淀，以铬酸钾为指示剂，当氯离子完全反应后，过量的硝酸银与铬酸钾反应生成砖红色的铬酸银沉淀，指示滴定终点，从而计算出氯离子的含量。重量分析法是通过将杂质转化为可称量的物质，根据其质量来确定杂质含量。

2.2 光谱分析法

光谱分析法是基于物质与电磁辐射相互作用产生的特征光谱来测定杂质含量的方法，常见的有原子吸收光谱法（AAS）、原子发射光谱法（AES）和电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）。原子吸收光谱法利用原子对特定波长光的吸收特性，通过测量吸光度来确定金属离子杂质的含量。

例如，测定硝酸钙溶液中的铁离子含量时，将溶液雾化后引入原子化器，铁原子吸收特定波长的光，根据吸光度与铁离子浓度的线性关系，可计算出铁离子的含量。原子发射光谱法则是利用原子在激发态跃迁回基态时发射出的特征光谱来测定杂质含量，不同元素的原子发射出的光谱具有特定的波长和强度，通过检测光谱特征可确定杂质的种类和含量^[3-4]。

2.3 色谱分析法

当前检测硝酸钙溶液中有机杂质含量时，色谱分析方法因性能优异成为主流选择，其中气相色谱（GC）法与高效液相色谱（HPLC）法应用最为广泛。GC法针对沸点低、易汽化的有机化合物，HPLC法则更适配难溶解或受热易分解的小分子有机物，二者可根据杂质特性灵活选用，实现对不同类型有机杂质的精准检测。

具体操作需遵循标准化流程：先将硝酸钙溶液样

品加热至汽化状态，在设定温度下由载气（如氮气）携带进入进样口，随后送入色谱柱进行分离——色谱柱内固定相能依据有机物与固定相、流动相的相互作用差异，实现混合物的高效分离。当分离后的组分依次从色谱柱流出，会进入热导检测器（TCD）、氢火焰离子化检测器（FID）等对应检测装置，最终转化为一系列反映组分含量的信号曲线，即色谱图。

工作人员可通过色谱图中组分的保留时间进行定性分析，结合相对校正因子完成定量计算。这类色谱仪器凭借高选择性、高分辨率与高灵敏度的核心优势，能有效规避硝酸钙基体的干扰，最终实现对有机杂质含量的精准测定，检测结果的准确度与精密度均能满足严苛的分析要求。

3 硝酸钙溶液杂质去除技术

3.1 离子交换法

离子交换法就是根据离子交换树脂对各种离子选择性的交换特性除去硝酸钙溶液中的其他杂质离子的方法。

由于离子交换树脂是一类带有可交换离子基团的不溶于水的大分子化合物，因此它有类似胶体物质的一系列特征：如多孔性和网络型三维空间构架；具有许多活性表面和功能官能团（即交换基团）；易为某些离子或小分子所饱和并形成稳定结合层等等。

其中，最突出的是它的离子交换性质。离子交换树脂按其基本化学组成可分为无机盐型和有机合成两大类。前者以磺酸钠型为代表，后者则以季胺基甲叉磷酸酯型为主。常用的强酸性阳离子交换树脂，主要由苯乙烯单体和二乙烯苯经共聚而成。这种类型的树脂能够从水中置换出其他阳离子，故又称“阳离子交换剂”。

使用强酸性阳离子交换树脂作为固定相，在一定的条件下可以将水中的 Ca^{2+} 等金属离子有效地分离出来，并且不会改变原液的颜色。当含 Ca^{2+} 等金属离子的溶液流过装填了强酸性阳离子交换树脂的柱子时， H^+ 就会与这些金属离子进行交换作用，使 H^+ 取代它们的位置，而原来的 Ca^{2+} 等金属离子就被吸附到树脂表面上去，同时生成一种叫作螯合态的络合物。

3.2 膜分离法

膜分离法是采用选择透性的半透膜作为过滤介质，在外加压差的作用下，使得溶液中溶剂（如水）从浓侧向稀侧迁移并透过膜，从而使盐类等非挥发性物质留在浓液一侧的方法。

目前应用比较广泛的膜分离方法包括：反渗透（Reverse Osmosis, RO），纳滤（Nanofiltration, NF），以及超滤（Ultrafiltration, UF）。反渗透膜能完全阻隔

所有阳、阴离子及其他小分子杂质，并且当施加一定的操作压力时，可以使溶液中的水透过膜，而其他成分不能透过，则达到浓缩的目的；纳滤膜对二价离子有很高的截留率，可以有效的脱除硝酸钙母液中的 Mg^{2+} 、 SO_3^- 、 Cl^- 等杂质，而且只有一少部分的一价离子可以通过，这样就减少了硝酸钙的损耗量；超滤膜主要用来除去溶液中的大分子有机物和胶体杂质，其原理为筛分效应，即根据孔径大小的不同，把大于一定粒度的大分子或颗粒状固体粒子截留下来，小于该粒度的小分子溶质与水一起透过膜。

3.3 化学沉淀法

利用化学试剂和某些工艺参数(例如pH、温度等)来控制金属杂质在水中溶解度变化的方法称为化学沉淀法。该法的基本思路是在一定条件下向含杂的硝酸钙溶液中投加合适的沉淀剂，在此过程中由于杂质组分的某种特性发生了改变而使其与所选择的沉淀剂发生一定的化学反应并析出不溶性固体物质。

一般来讲，采用化学沉淀法进行除杂的过程大致可分为两步：

第一步，根据需要对混合液体系进行处理，使之达到一种有利于杂质沉淀的状态；

第二步，利用物理手段将已经产生的难溶盐类除去。

具体而言就是先将铁离子杂质含量较高的硝酸钙溶液调至弱碱性环境(pH=9~10)，再将其缓慢滴入到浓度为3%的NaOH溶液中，并保持搅拌状态直至产生絮状沉淀为止。然后静置一段时间待沉淀完全后再经过滤或离心方式将其中悬浮态的 $Fe(OH)_2$ 沉淀物分离出去即可得到纯化的硝酸钙溶液。

4 硝酸钙溶液杂质去除技术的经济性分析

4.1 成本分析

从成本角度出发，在对各种杂质去除技术进行比较时，应重点考察三方面的因素：一是设备投资；二是运行成本(即运行过程中所耗费的各种资源)；三是维修成本。离子交换法设备投资不大，主要是离子交换柱及相应的再生装置的投资较小，但是它的运行成本较大，这是因为离子交换树脂的再生是利用强酸或强碱进行浸泡置换的过程，因此要耗掉大量浓硫酸或氢氧化钠溶液作为再生液。

4.2 效益分析

对于效益分析主要是从杂质除去带来的直接或间接经济效益及生产能力上考虑：

一方面，由于杂质被除去了，硝酸钙溶液中的杂质含量降低，使得硝酸钙溶液的质量得到了极大的提高，在农业生产中，作物需要肥料来补充营养元素以

保证其正常生长发育，而高浓度、高质量的硝酸钙溶液可更好的为作物提供所需的养分，并且可以大大提高农产品的产量与品质；

另一方面，在工业方面使用高浓度、高质量的硝酸钙溶液能进一步提高产品质量，同时降低了废品量，使产品更具竞争优势并提高了产品的售价，为企业带来了可观的经济效益。

4.3 综合评价

针对不同情况选用不同的脱除杂质方法：如果用于大批量生产和要求较高的纯净度，则采用膜分离的方法，其一次性投入较大；但如果产品的批量较小或者要求的纯净程度不高的话，则可采用化学沉淀法与离子交换法，这两种方法的一次性设备费用相对比较低，并且它们的操作运转费用也比较低。企业在具体实施时应该根据自己的实际情况(如企业的规模大小、杂质的类别以及浓度高低、所要达到的质量指标等)来权衡利弊做出最佳抉择，既要考虑生产工艺的要求又要兼顾到生产的成本问题，这样才能既符合工艺又节约资金^[5]。

5 结束语

准确测定硝酸钙溶液中的杂质含量，并采用有效的去除技术，对于提高硝酸钙溶液的质量和应用效果、降低生产成本具有重要意义。化学分析法、光谱分析法和色谱分析法等测定方法各有优缺点，可根据杂质的种类和含量选择合适的方法。

离子交换法、膜分离法和化学沉淀法等杂质去除技术在不同的条件下展现出不同的优势和局限性，通过经济性分析可知，应综合考虑成本和效益来选择最优的去除技术。

参考文献：

- [1] 王琼瑶, 张文华, 赵继颖, 杨林. 拉曼光谱法研究硝酸钙溶液的离子缔合 [J]. 光散射学报, 2022, 30 (03):251-257.
- [2] 米泽龙. 硝酸侵蚀喷射混凝土耐久性能试验研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- [3] 汪浩. 硝酸钙溶液中脱硫石膏制备 α -半水石膏及硫酸钾的作用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- [4] 余林春, 杜怀明, 张峰榛, 罗容珍, 周刚. 硝酸钙溶液自然循环低温预浓缩实验研究 [J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2023, 26(02):25-27.
- [5] 戚凤英. 亚硝酸钙溶液中硝酸根含量的测定 [J]. 中氮肥, 2020(01):60-62.

作者简介：

肖正城(1995-)，男，汉族，贵州贵阳人，学士学位，助理工程师，研究方向：氧化铝行业化验分析检测。