

低压化成箔电性能快速评价的水合处理技术研究

余云国

江苏南通江海电容器股份有限公司 江苏 南通 226361

摘要: 本文研究了低压化成箔电性能的快速评价方法,重点探讨了水合处理技术在其中的应用。低压化成箔作为铝电解电容器的关键材料,其电性能直接影响电容器的性能与可靠性。传统电性能评价方法耗时较长,无法满足现代生产的高效检测需求。因此,本研究通过水合处理技术,探究了不同处理参数对低压化成箔电性能的影响规律,并构建了基于水合处理的电性能快速评价模型。实验结果显示,水合处理能显著改变低压化成箔的微观结构,进而影响其电性能。通过模型验证,证明了该快速评价方法在测试时间、成本和准确性方面均优于传统方法。

关键词: 低压化成箔;电性能;水合处理;快速评价

引言: 低压化成箔作为电子元器件中的关键材料,广泛应用于各类电子产品中,其电性能的优劣直接影响产品的性能与可靠性。准确、快速地评价低压化成箔的电性能对于生产过程中的质量控制以及产品研发至关重要。传统的电性能评价方法往往耗时较长,无法满足现代生产对高效检测的需求,开发一种快速、有效的低压化成箔电性能评价技术具有迫切的现实意义。水合处理技术作为一种新的处理手段,在材料表面改性等方面展现出独特优势,有望为低压化成箔电性能的快速评价提供新的途径。

1 低压化成箔电性能及水合处理技术概述

1.1 低压化成箔电性能指标

低压化成箔作为铝电解电容器的核心组成部分,其电性能指标对电容器乃至整个电子设备的性能起着决定性作用。在众多电性能指标中,电容量、漏电流和击穿电压尤为关键。电容量是衡量低压化成箔储能能力的重要指标;它反映了单位面积或单位质量的化成箔在特定条件下所能储存的电荷量。电容量越高,意味着电容器能够储存更多的电能,从而为电子设备提供更稳定、更持久的电力支持。在便携式电子设备中,高比电容的低压化成箔可使电池续航时间显著延长,满足用户长时间使用的需求。电容器的大小与化成箔的微观结构、表面粗糙度以及氧化膜的质量密切相关。通过优化化成工艺,增加箔材的有效表面积,能够提升比电容值。漏电流则是影响电子设备能耗与稳定性的关键因素;当电容器接入电路后,由于化成箔表面氧化膜并非理想的绝缘体,会有微小电流通过,这就是漏电流。漏电流过大,不仅会造成电能的无端损耗,增加设备的能耗,还可能导致电容器发热,影响其使用寿命,甚至引发设备故障。在精密电子仪器中,对漏电流的要求极为严格,微

小的漏电流波动都可能干扰仪器的正常运行,为降低漏电流,需要在生产过程中严格控制氧化膜的质量,确保其具有良好的绝缘性能。击穿电压关系到电子设备的安全运行;它是指在一定条件下,能够使低压化成箔表面氧化膜被击穿的最小电压值。当施加在电容器上的电压超过击穿电压时,氧化膜会被破坏,导致电容器短路,进而损坏电子设备。在高压电路应用中,对低压化成箔的击穿电压要求更高,以确保设备在高电压环境下能够安全稳定运行。不同的应用场景对低压化成箔电性能指标的侧重点有所不同。例如,在通信基站的电源滤波电路中,更注重电容量和漏电流指标,以保证电源的稳定输出;而在电动汽车的电池管理系统中,对击穿电压和比电容都有严格要求,既要确保电容器能承受高电压,又要具备足够的储能能力^[1]。

1.2 水合处理技术原理

水合处理技术是一种通过水分子与低压化成箔表面及内部物质发生物理化学反应,来改变其微观结构与化学成分,进而调控电性能的重要手段。在水合处理过程中,水分子会与化成箔表面的氧化铝发生一系列复杂反应。首先,水分子会吸附在氧化铝表面,形成一层水合膜。随着反应的进行,部分水分子会解离成氢离子和氢氧根离子,氢离子与氧化铝中的氧原子结合,形成羟基化产物。同时,氢氧根离子也会参与反应,与氧化铝晶格中的铝离子发生络合作用,导致氧化铝晶格结构发生一定程度的畸变。这一过程可以用化学反应方程式表示为: $Al_2O_3 + nH_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3$ (n 为水分子数)。此外,水合处理还可能引发一些副反应,如在特定条件下,水分子与箔材中的杂质元素发生反应,改变杂质的存在形式和分布状态;反应条件对水合处理的进程与结果有着显著影响,温度是一个关键因素,升高温度能够加快水

分子的运动速度，增加其与化成箔表面及内部物质的碰撞几率，从而加速反应进程。但温度过高可能导致反应过于剧烈，使化成箔的微观结构受到过度破坏，反而不利于电性能的优化。反应时间也至关重要，足够的反应时间能够保证化学反应充分进行，使水合处理效果更加显著。但过长的反应时间会增加生产成本，降低生产效率。溶液浓度同样影响着水合处理效果，不同浓度的溶液中，水分子及其他离子的活性不同，对化成箔的作用强度也有所差异。例如，在一定范围内，增加溶液中氢氧根离子的浓度，能够促进氧化铝的羟基化反应，但浓度过高可能导致反应难以控制^[2]。通过深入研究这些反应条件对水合处理的影响，能够为优化水合处理工艺提供坚实的理论依据，从而实现对低压化成箔电性能的精准调控。

2 水合处理技术在低压化成箔领域的应用现状

在低压化成箔领域，水合处理技术正逐渐成为提升产品性能与生产效率的关键技术之一。在性能优化方面，水合处理技术已展现出显著的成效。以南通海星电子股份有限公司为例，该公司申请的“一种降低水合后升压时间的低压化成方法”专利，通过精细的六级化成工艺和磷酸处理等步骤，有效提升阳极氧化铝箔的电容量和耐水合性能。经此方法处理后，特定小时水合处理后的升压时间较原工艺有显著降低，如六小时处理后升压时间降低约40%，这极大改善了低压化成箔的耐水合特性，从而有效延长了铝电解电容器的使用寿命和可靠性。这对于提升电子产品的整体稳定性具有重要意义；在生产效率提升方面，江海股份获得授权的“一种低压化成箔的水合处理方法”专利具有代表性。该方法将低压化成箔浸入恒温大于95℃的特定水合处理液中，根据低压化成箔的不同Vf值设定浸泡时间，随后进行水洗、烘干和电性能测试。该水合处理液包含乙二醇、己二酸和/或其铵盐、对硝基苯甲酸以及添加剂等多种成分，通过精确配比，能够快速评估水合后低压化成箔用于制造高频低阻电容器的耐水合性能。这一方法大幅缩短了检测时长，显著提高了生产效率。然而，水合处理技术在实际应用中仍面临一些挑战。首先，不同企业所采用的水合处理工艺和处理液配方存在较大差异，缺乏统一的标准规范，导致产品质量参差不齐；其次，水合处理过程中的反应条件如温度、时间、溶液浓度及pH值等对操作人员的技术要求较高。

3 实验设计与过程

3.1 实验材料与设备

本实验选取特定规格的低压化成箔作为实验对象，

其原材料为高纯度铝箔。实验所需设备包括精密水合处理装置，该装置能准确调控水合反应的温度、时间及水分浓度等关键参数。此外，配备高精度电性能测试设备，诸如电容测试仪（精度达 $\pm 0.1\mu\text{F}$ ）、漏电流测试仪（精度为 $\pm 0.01\mu\text{A}$ ）及损耗角正切测试仪（精度为 ± 0.001 ），用于精确测量处理前后化成箔的电性能参数。

3.2 实验方案设计

在描述实验方案设计时，可以加入对《铝电解电容器》一书中提到的关键实验设计原则的引用或解释，以及这些原则如何指导您的实验设计。例如：根据《铝电解电容器》一书的指导，实验设计需充分考虑水合处理过程中的关键参数，包括温度、时间和溶液浓度，以确保实验的全面性和准确性。本实验方案参考了书中的实验设计原则，设置不同的水合温度（如80℃、90℃、105℃，同时考虑书中提到的可能最佳温度范围）、水合时间（如1小时、2小时、以及根据书中经验推荐的更长时间点，如12小时）和处理液的浓度（如5%、10%、15%，同时对比书中提及的有效浓度范围）。这样的设计旨在全面探究各因素对低压化成箔电性能的影响规律^[3]。

3.3 实验步骤

首先，将低压化成箔样品依次置于超声波清洗器中，以40W功率、40kHz频率，用去离子水搭配适量专用清洗剂（如某品牌的铝箔清洗剂，按1:100的比例稀释）清洗15分钟，有效去除表面杂质与油污。接着，进行化学预处理，将样品浸泡于5%浓度的稀盐酸溶液5分钟，后用去离子水冲洗至中性，并使用氮气吹干。预处理后的样品放入精准控温的水合处理装置，按设定温度（如80℃）、时间与水浓度（如10%）开启反应。处理完成，取出样品在去离子水中以30W功率、30kHz频率超声漂洗5分钟，于60℃烘箱内烘干2小时。最后，运用电容测试仪（精度为 $\pm 0.1\mu\text{F}$ ）、漏电流测试仪（精度为 $\pm 0.01\mu\text{A}$ ）与损耗角正切测试仪（精度为 ± 0.001 ），在标准温湿度环境（温度25℃，相对湿度50%）下测试电性能，每个样品重复测量5次取均值记录数据，运用Origin软件进行数据处理与分析。

4 低压化成箔电性能评价方法

4.1 传统电性能评价方法

传统低压化成箔电性能评价主要依据相关行业标准进行，如电子行业标准SJ/T1140-2017《电子设备用固定电容器第14部分：分规范片式铝电解电容器》。该标准详细规定了化成箔的电性能测试要求，包括比电容、漏电流、击穿电压等关键指标。传统评价方法通常涉及复杂的测试流程，需要使用高精度的测试仪器和设备，以

确保测试结果的准确性和可靠性。然而,这种方法存在明显的局限性。由于测试流程繁琐,所需时间较长,往往无法满足大规模生产线上对化成箔电性能的实时检测需求。另外,传统评价方法还涉及高昂的测试成本,包括仪器购置、维护以及测试过程中的耗材费用等,这些都增加企业的生产成本。

4.2 基于水合处理的电性能快速评价方法构建

基于水合处理的电性能快速评价方法时,本研究借鉴了《铝电解电容器》一书中关于电性能与工艺参数之间关系的深入剖析。书中提到的多元线性回归分析、人工神经网络算法等数据分析方法,为本研究提供了坚实的理论基础。通过对实验数据的拟合与训练,建立电性能与水合处理参数之间的数学模型,实现对低压化成箔电性能的快速预测。这一方法的构建过程充分考虑了书中提到的模型构建注意事项,如数据预处理、模型验证等,以确保模型的准确性和可靠性。

5 实验结果与讨论

5.1 水合处理对低压化成箔微观结构的影响

利用扫描电子显微镜、X射线衍射仪等微观结构分析仪器,观察水合处理前后低压化成箔的微观结构变化。这些分析方法的选取和应用均参考了《铝电解电容器》一书中的相关章节。通过对比分析,发现水合处理对低压化成箔的表面形貌、晶体结构、元素分布等产生了显著影响,这些变化与电性能的改变密切相关。这一发现与书中提及的微观结构变化对电性能影响的理论相吻合,进一步证实了水合处理在改善低压化成箔电性能方面的有效性^[4]。

5.2 水合处理参数对低压化成箔电性能的影响规律

分析不同水合处理参数(温度、时间、溶液浓度、pH值等)下低压化成箔电性能测试数据,绘制电性能指标随水合处理参数变化曲线。通过曲线分析,总结水合处理参数对低压化成箔电性能的影响规律,如温度升高,比电容先增大后减小,漏电流逐渐增大等。探讨影响规律产生的原因,从物理化学角度解释水合处理过程

对电性能的作用机制。

5.3 基于水合处理的电性能快速评价方法验证

在验证基于水合处理的电性能快速评价方法时,参考了《铝电解电容器》一书中关于模型验证的方法和标准。通过将实验数据代入模型进行预测,并与实际测试值进行对比分析,评估了模型的准确性和可靠性。针对模型误差产生的原因,结合书中的相关章节进行深入分析,并提出改进模型的措施与建议。这些改进建议旨在进一步提高电性能快速评价方法的准确性和可靠性,为低压化成箔的生产质量控制和产品研发提供更有力的支持。

结束语

本研究通过深入探究水合处理对低压化成箔电性能的影响机制,成功构建基于水合处理的电性能快速评价模型。该模型不仅提高电性能评价的效率和准确性,还为低压化成箔的生产质量控制和产品研发提供新的技术手段。未来,将进一步优化模型参数,扩大实验样本量,以进一步提高模型的通用性和可靠性。同时,也将继续探索更多新型处理技术,为低压化成箔性能的提升和应用拓展做出更大贡献。

参考文献

- [1]朱鸿伟,王建中.高介电常数复合氧化膜低压化成箔制备及性能表征[J].科技视界,2018(23):158-160.DOI:10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2018.23.070.
- [2]徐友龙.铝电解电容器,2020年9月第1版,ISBN 978-7-5693-1782-4.
- [3]董晓红,黄勇,武玉柱,等.长寿命铝电解电容器用化成箔制备工艺研究[J].电子元件与材料,2021,(5).DOI:10.14106/j.cnki.1001-2028.2021.0163.
- [4]吕根品,方铭清,闫小宇,等.低压铝电解电容器用腐蚀箔结构模型探讨[J].电子元件与材料,2021,40(1):36-41. DOI:10.14106/j.cnki.1001-2028.2021.1583.
- [5]陈文莲,谢悦,沈梓涵,等.金属离子对电极箔扩面腐蚀影响的研究进展[J].广州化工,2021,49(16):14-15.