

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2024.10.011

锂离子电池用电解铜箔产业趋势和标准化建议

刘志英^{1,2}, 李明茂^{1*}, 尹宁康¹, 刘 奇², 王丽丽², 胡 焱², 钟铭为²

(1. 江西理工大学 先进铜产业学院, 江西 鹰潭 335000; 2. 鹰潭市检验检测认证院, 江西 鹰潭 335000)

摘要: 随着低碳政策的持续实施, 作为新能源材料的锂离子电池用电解铜箔 (简称锂电铜箔) 产能产量呈井喷式发展, 国内锂电铜箔制造技术迅速提升至全球领先水平, 飞速的发展也带来一系列问题。梳理了国内锂电铜箔的发展历程、厚度变化趋势、装备国产化情况、近七年产能产量, 提出了锂电铜箔行业下一步主攻方向和建议, 提出了锂电铜箔产品、方法标准和产品碳足迹标准存在的问题及制/修订建议。

关键词: 锂离子电池; 电解铜箔; 锂电铜箔; 产业趋势; 标准化建议

中图分类号: TG146.1

文献标识码: A

Suggestions and standardization suggestions for electrolytic copper foil in lithium-ion battery

Liu Zhiying^{1,2}, Li Mingmao^{1*}, Yin Ningkang¹, Liu Qi², Wang Lili², Hu Yan², Zhong Mingwei²

(1. Advanced Copper Industry Institute, Jiangxi University of Science and Technology, Yingtan 335000, China; 2. Yingtan Inspection and Certification Institute, Yingtan 335000, China)

Abstract: With the continuous implementation of low-carbon policies, as a new energy material, the production capacity of electrolytic copper foil for lithium-ion batteries (hereinafter referred to as lithium battery and copper foil) has been blowout development, and the domestic lithium copper foil manufacturing technology has rapidly improved to the world's leading level. However, the rapid development also brings a series of problems. The development process of domestic lithium battery and copper foil in China, the trend of thickness changes, the domestic production of equipment, the production energy and production in the past seven years are reviewed, and the next main attack direction and suggestions of the lithium battery and copper foil industry are proposed, and the problems and revision suggestions of lithium copper foil products, method standards and product carbon footprint standards are also put forward.

Keywords: lithium-ion battery; electrolytic copper foil; lithium battery and copper foil; industrial trend; standardization suggestion

随着全球大力发展低碳经济、国内“双碳”政策 及配套规划的实施, 被称为外贸“新三样”的电动汽

收稿日期: 2024-04-26

修回日期: 2024-06-06

作者简介: 刘志英 (1992—), 男, 硕士生, 工程师, 研究方向为铜及铜合金检验检测及标准化, email: 1301536609@qq.com

通信作者: 李明茂 (1982—), 男, 硕士, 教授, 主要从事有色金属新产品、新技术的研究, email: 2641932212@qq.com

基金项目: 江西省市场监督管理局科技项目 (GSJK202222); 江西省市场监督管理局科技项目 (GSJK202315); 江西省科技厅重大科技研发专项 (20213AAE01007)

车、锂电池和光伏产品,产量和销量剧增。据中汽协数据,2023年,我国新能源汽车产销分别完成958.7万辆和949.5万辆,同比分别增长35.8%和37.9%,国内市场占有率达到31.6%,提前2年完成了国务院办公厅关于《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》中设定的2025年新能源汽车市场渗透率达20%的目标。2024年1月至2月我国出口新能源汽车18.2万辆,同比增长7.5%,延续了近年来汽车“出海”的良好势头^[1],高工产研锂电研究所预测,2024年国内新能源汽车销量有望达到1 150万辆,同比增长21%。据Canalys统计,全球2023年新能源汽车销量为1 370万辆,同比增长29%,并预测2024年全球新能源汽车销量将同比增长27%,销量高达1 750万辆。2023年国内新能源汽车销量全球占比为69.3%。据高工产研储能研究所统计数据,2023年我国动力锂电池出货量630 GWh,全球占比超过70%;储能锂电池出货量超200 GWh,全球占比超过90%,随着锂离子电池轻量化水平提高和缓解汽车用户续航里程的焦虑,单车带电量呈现逐年递增的趋势,根据高工锂电数据,2020年纯电乘用车平均带电量为45 kWh,2024年2月已提升至58.5 kWh,增长比例达30%;2020年插电式混合动力汽车(PHEV)平均带电量小于20 kWh,2024年2月已提升至28.8 kWh,增长比例达44%以上^[2]。随着新能源汽车市场渗透率的不断提升,单车带电量的稳步提升,高工产研锂电研究所预测,2024年我国锂电池出货有望达到1 089 GWh,同比增长23%。锂离子电池用铜箔(以下简称锂电铜箔)作为电动汽车和锂电池的重要原材料^[3]。在政策和技术研发的有力支持下,近些年我国锂电铜箔行业进入了快速扩产期,产能产量快速攀升,生产研发能力有了长足进步,但锂电铜箔的配套标准却没有做到基本同步。

锂电铜箔属于工业和信息化部发布的《工业和信息化部关于发布重点新材料首批次应用示范指导目录(2024年版)》规定的“高性能铜板、铜箔”重点新材料。锂电铜箔行业是国务院第五次全国经济普查领导小组办公室列为《工业战略性新兴产业分类目录(2023)》的行业。锂电铜箔产业趋势的研究有利于落实工业和信息化部办公厅和国家市场监督管理总局办公厅联合印发的《关于做好锂离子电池产业链供应链协同稳定发展工作的通知》工信厅联电子函〔2022〕298号中提出的应“实事求是制定本地区锂电产业发展政策”,和工业和信息化部

等六部门《关于推动能源电子产业发展的指导意见》工信部联电子〔2022〕181号“推动基础元器件、基础材料、基础工艺等领域重点突破,锻造产业长板,补齐基础短板,提升产业链供应链抗风险能力。”政策要求。锂电铜箔标准化建议响应了工业和信息化部等四部门联合印发的《新产业标准化领航工程实施方案(2023—2035年)》中提出的“先进有色金属及稀土材料面向轻量化、高性能、精密化等应用需求,研制铝、镁、铜、钛、镍等高性能有色金属结构材料及检测方法标准。”

本文将从国内锂电铜箔发展历程、生产装备特点、未来发展趋势并结合我国锂电铜箔发展现状提出产品标准、方法标准和低碳标准的制/修订建议。

1 我国锂电铜箔行业概况

1.1 我国锂电铜箔发展历程与现状

电解铜箔按用途主要分为锂电铜箔和电子电路铜箔,电解铜箔20世纪30年代主要用于建筑防潮和装饰,20世纪50年代逐渐应用于印制电路板^[4],2000年后开始应用于锂离子电池^[5]。锂离子电池应用领域也由早期的电动玩具,向数码产品^[6]、智能手机、新能源汽车和储能领域迅速发展。每次新应用领域的开拓,因市场需求的激增,都伴随着锂电铜箔厚度的下降。由于锂电铜箔制造流程短和产品牌号单一,近百年来,没有颠覆性非常强的技术出现,现有锂电铜箔制造技术和原理与最早的美国安康特公司在1937年使用的是一样的。我国电解铜箔行业从业人员对电解铜箔装备、工艺和检测都进行了系统详细的研究,形成了溶铜罐^[7-10]、阳极槽^[11-12]、阴极辊制造^[13-20]、阴极辊抛磨^[21-24]、添加剂^[25]、电解液过滤^[26]、输液系统^[27-28]、烘烤^[29]、翘曲度^[30-34]、撕边^[35-36]、褶皱^[37-39]、厚度均匀性^[40-45]、表面缺陷^[46-53]、硬度测试^[54]、拉伸试验^[55-58]、端面铜粉^[59-60]等为主的专利群,同时我国在功率半导体、永磁同步电机^[61]等核心零部件,添加剂提纯等方面也都得到了长足的发展,为我国锂电铜箔在短时间内达到世界领先水平提供了先决条件。

锂离子电池用铜箔标称厚度一般需在12 μm以下^[62],锂电铜箔为非载体铜箔,当达到极薄厚度时制造难度比载体铜箔更高,每次标称厚度的降低,都是新的突破。因产品研发进展的保密性,各公司在宣传力度和广度上有所不同,本文引用的时间节点,仅以笔者掌握的资料进行排序。“1963年本溪合

金厂建成我国第一个电解铜箔车间”^[5]正式开启国产电解铜箔新纪元,自此国内有电解铜箔用于覆铜板^[63]。1992年国内建成第一家自研自产电解铜箔企业—惠州联合铜箔电子材料有限公司^[5]。1999年,中科英华联合铜箔(惠州公司)研发出18 μm 电解铜箔,填补了国内该领域产品空白,打破了日本的长期垄断^[64]。2002年铜陵中金铜箔公司10 μm 锂电铜箔初具规模^[65],2003年联合铜箔实现9 μm 双面光锂离子电池用电解铜箔批量供货^[65-66],2013年,青海电子材料成功研发出6 μm 双面光锂电铜箔^[67],是超薄型非载体电解铜箔的突破性成果,2014年嘉元科技股份有限公司实现7 μm 双面光锂电铜箔量产^[68],2018年嘉元科技股份有限公司实现6 μm 双面光锂电铜箔量产^[68];2020年嘉元科技股份有限公司已实现4.5 μm 锂电铜箔批量供货^[69],2022年江铜铜箔科技已具备4.0 μm 锂电铜箔规模化生产能力^[70],2023年,灵宝宝鑫电子科技有限公司成功实现3.5 μm 锂电铜箔批量生产^[71]。2021年我国4.5 μm 以上锂电铜箔的产能和产量已是全球最大^[72]。锂电铜箔幅宽已从2009年的1.35 m增大到现今的1.80 m,生产效率显著提高。

1.2 铜箔厚度变化

锂离子电池于1972年Armand等开始研究^[73],1991年日本SONY公司率先实现了量产^[74],锂离子电池与镍镉电池相比有着比能量高、循环寿命长、重量轻等优点^[75],经过近几十年的迭代升级,被广泛应用于新能源汽车、新型储能系统和电子产品。锂电铜箔是商用锂离子电池的负极集流体重要原材料^[76-77],随着新能源汽车等对能量密度需求的提高,高精度的铜箔优势凸显^[78]。负极集流体锂电铜箔约占锂离子电池成本的5%~8%^[79],质量约占电池总重量的10%,降低锂电铜箔的厚度可以显著减轻锂离子电池的重量、增加能量密度。采用名义厚度为4 μm 的锂电铜箔制备锂离子电池相比采用6 μm 锂电铜箔,锂离子电池的能量密度能提高5%左右。因此锂离子电池生产企业希望在满足工艺要求时锂电铜箔越薄越好。

锂电铜箔随着厚度的降低,制造时更容易出现表面缺陷、撕边和断箔等问题,锂电厂商应用时更容易出现打褶、切片掉粉和电池内阻大等问题,因此对锂电铜箔提出了高抗拉强度、高弹性模量和高延伸率的要求。经电池厂商上下游协调攻关,加速了生产装备和产品应用水平的提高。在国内以宁德

时代为代表的全球锂离子电池头部企业,在2018年领先全球研发出了适合6 μm 锂电铜箔的涂布机和高速卷绕机,实现了8 μm 锂电铜箔向6 μm 锂电铜箔的应用切换^[80]。按下了国内锂电铜箔轻薄化的快捷键。随后国内其他的锂离子电池大厂如比亚迪、国轩高科、亿纬锂能等,也纷纷实现了6 μm 锂电池铜箔在锂离子电池中的应用。从调研得知,宁德时代2020年开始导入4.5 μm 锂电铜箔,2021年实现了全面导入,目前国外锂电池厂商如松下、LGC、三星等依旧以8 μm 锂电铜箔为主。据中电材协电子铜箔材料分会对国内锂电铜箔分厚度统计,8 μm 锂电铜箔2017年产量为4.65万吨,占比为65%,2021年产量为6.75万吨,占比为28%,2018年后主导地位逐步降低;6 μm 锂电铜箔2017年产量为1.00万吨,占比为9%,2021年产量为13.82万吨,占比为58%,近年占比稳步提升,2023年预计达82%;4.5 μm 锂电铜箔2020年(1.53万吨)开始达万吨以上,占比为10%,2021年产量为1.33万吨,占比为5%,4.5 μm 锂电铜箔产量未能迅速提升,主要是下游应用还有诸多待验证问题需解决,限制了订单量。随着下游应用水平的稳步提升,GGII预测,2025年5.0 μm 和4.5 μm 极薄锂电铜箔出货量占比可能达50%以上。

1.3 锂电铜箔装备国产化

锂电铜箔生箔机的核心部件是阴极辊,阴极辊的制备技术长期被日韩国家垄断。目前国内航天科技四院7414厂、洪田科技和西安泰金等公司均实现了高品质阴极辊的量产^[81]。2016年航天科技四院7414厂研制的2.7 m锂电铜箔生产用大直径阴极辊^[82],打破了日美等国外企业对生箔机核心部件阴极辊的长期垄断,为锂电铜箔生产装备的国产化注入了强心剂。经现场调研得知,2016年首先在宝鑫电子科技投产成功,生产的锂电铜箔质量较日本设备生产的铜箔更好。国产阴极辊自此在国内电解铜箔新建项目中迅速铺开。此外国内设备具有价格低、售后维护方便、供货周期相对较短等优势,相较于进口设备,国产阴极辊市场份额正逐步攀升。近几年国内企业在阴极辊直径、晶粒度以及粗糙度等方面均已获得突破,性能指标与进口设备相比,差距进一步缩小。2022年西安泰金新能率先推出全球首台直径3.6 m阴极辊^[83],2023年中国航天科技四院7414厂航天新科研制的锂电铜箔装备直径3.6 m阴极辊顺利交付^[84]。日韩厂商扩产保守,国内阴极辊出现供不应求的现象,未来国产阴极辊有望在国内

市场渗透率进一步提高,实现全面进口替代。助力我国锂离子电池用电解铜箔生产能力和制备技术继续保持全球领先地位,并有效助力新能源汽车产业引领全球。

1.4 产能产量

在资本和核心设备国产化双重支持下,加上惠州联合铜箔、广东嘉元等头部企业为锂电铜箔行业培养的大量管理和技术人才,我国锂电铜箔产业实

现了新建项目如雨后春笋般投产,国内产能产量得以迅速增长。锂电铜箔2017年产能占比仅30%,到2023年时产能占比已高达60.8%。2022年锂电铜箔产能产量首次超过了电子电路铜箔产能,详见表1、表2,2023年依旧保持强劲增长趋势。产能为企业规划设计应具备年产多少吨的能力;产量为企业实际生产的合格产品数量;受开工率和产品合格率限制,产量会比产能小很多。

表1 2017~2023年国内电解铜箔产能统计(万吨/年)

Tab.1 From 2017 to 2023, domestic electrolytic copper foil production capacity statistics units

铜箔种类	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年 (预测)
电子电路铜箔	26.34	30.15	33.50	37.62	40.52	52.9	61.3	82.8
锂电池铜箔	11.31	16.24	19.86	22.90	31.60	60.0	95.0	141.1
总产能	37.65	46.39	53.36	60.52	72.12	112.9	156.3	223.9
年增长率/%	14.4	23.2	15.0	13.4	19.2	57.2	51.1	43.3

注:数据来自中电材协电子铜箔材料分会。

表2 2017~2023年国内电解铜箔产量统计(万吨)

Tab.2 2017 to 2023 domestic electrolytic copper foil production statistics

铜箔种类	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
电子电路铜箔	26.6	27.6	29.3	33.6	35.4	37.0	36.0
锂电池铜箔	7.1	11.9	13.8	15.3	25.5	41.5	51.5

注:数据来自中电材协电子铜箔材料分会、中国有色金属加工工业协会

1.5 产能分布

锂离子电池需求急剧增长,促进了锂电铜箔需求的骤增,各地政府纷纷看好锂电铜箔行业,新建项目迅速上马。国内锂电铜箔产业主要分布于江西、河南^[85]、广东、湖北、甘肃、安徽、福建和广西等地,产能分布呈现向铜加工集群地^[86]和电能富裕地集聚的特点。2018年江西省铜材总产量全国第一后,已连续6年,产量占比全国第一,近三年持续达18.8%以上。充裕便利的铜材供应和良好的政策环境,让江西省快速成为了锂电铜箔产能最大的地区。

1.6 海外布局

由于现阶段国内锂电铜箔产能相对过剩,出口方面存在局部贸易壁垒,锂离子电池厂商纷纷海外设厂产能转移到国外等原因,2023年海亮集团在印度尼西亚^[87]投建10万吨高性能电解铜箔项目,2023年诺德新材料在比利时投建3万吨锂电铜箔厂,其

他锂电铜箔企业亦在筹划相关事宜。

海外布局有利于缓解我国铜产品的对外依存度、有利于加大高端装备出口、有利于加大制造技术输出和文化输出、有利于增强锂电铜箔生产企业抗风险能力,增强产业链供应链韧性,为我国从“世界工厂”向“世界工厂”的大脑中枢转变提供基础。

1.7 锂电铜箔行业下一步主攻方向建议

为应对锂离子电池对高能量密度、高安全、高循环次数、低成本、高倍率的强烈需求,锂电铜箔企业可从产品研发和生产关键方面发力,实现降本增效。技术研发方向,开发3 μm 及以下无载体锂电铜箔、4 μm 超高弹性模量铜箔以适应现有锂离子电池需求;开发多孔铜箔、泡沫铜等适应固态电池负极集流体的需求。研制适宜的添加剂,进一步完善锂电铜箔的抗拉强度、断后伸长率、针孔和翘曲度等性能;加强表面处理技术研究,使锂电铜箔具有更好的表面一致性、耐腐蚀性和抗氧化性。生产

关键方向，研发电流分布更均匀的电解槽、控制精度更高的电机、高晶粒度等级高导电耐腐蚀的阴极辊、高精度长寿命的分切刀，探究电解液中非铜金属的除杂和利用、再生铜原料作为电解铜箔用铜原料的短流程应用等，从而稳步降低单位合格产品的用电量、用硫酸量、用水量和铜原料用量，提升资源综合利用率，实现降本增效。与锂离子电池厂商协同攻克，极薄锂电铜箔的应用问题，用制造技术的创新，实现突破困境的目的。

2 锂电铜箔标准化建议

2.1 产品标准

锂电铜箔现行标准为SJ/T 11483—2014《锂离子电池用电解铜箔》^[88]，该标准实施后为促进和规范锂电铜箔行业的高质量发展起到了重要作用，但随着近些年我国锂电铜箔制造技术的突飞猛进，SJ/T 11483—2014^[88]规定的技术要求已不能引领锂电铜箔行业的发展，大部分内容都需要进行修订。

表 3 SJ/T 11483—2014^[88]产品标准修订建议

Tab.3 SJ/T 11483—2014^[88] product standard amendment suggestions

序号	标准内容	修改原因	修改为
1	单面光、双面毛和双面粗化处理	双面光锂电铜箔与早期的单面毛锂电铜箔或双面毛锂电铜箔相比，双面光锂电铜箔与负极材料的接触面积成倍增加，能有效降低接触电阻，提高电池容量和结构的对称性，且耐冷热性能更好，电池的使用寿命更长。该三类产品表面粗糙度和厚度普遍较大，不利于锂离子电池做薄和减重。现电池厂商订货绝大部分都是双面光锂电铜箔	删除产品标准中单面光、双面毛和双面粗化处理三类锂电铜箔产品
2	双面光锂电铜箔型号：8~20 μm	6 μm 及以下锂电铜箔市场份额已占主导地位	增加名义厚度为 3.5、4.0、4.5、5.0、6.0 和 7.0 μm 的双面光锂电铜箔技术要求
3	表面润湿张力 ≥32×10 ⁻³ N/m	提高表面润湿张力有利于提高负极材料与铜箔的亲水性。公开文献 ^[89-92] 等均表明国内具备生产表面润湿张力≥38×10 ⁻³ N/m 的锂电铜箔能力，相关企业标准和团体标准也均要求锂电铜箔的表面润湿张力≥38×10 ⁻³ N/m	提高所有双面光锂电铜箔的表面润湿张力（由 32×10 ⁻³ N/m 到 38×10 ⁻³ N/m）的要求
4	双面光锂电铜箔：抗拉强度 ≥294 MPa、延伸率 ≥3.0%	抗拉强度低易造成涂布过程中发生断裂；锂离子电池在充放电过程中不断膨胀收缩，需要铜箔具有一定的延伸率。低的抗拉强度和延伸率，负极会出现龟裂。普强型锂电铜箔 ^[93] 常温抗拉强度为 330~400 MPa，常温延伸率 >3.0 %；5 μm 铜箔 ^[25] 抗拉强度 ≥470 MPa，延伸率 ≥3%；锂电铜箔 ^[94] 抗拉强度为 400~480 MPa，延伸率为 4.0%~8.5%。超薄铜箔 ^[95] 抗拉强度 ≤510 MPa、延伸率 ≤10%；锂电铜箔 ^[96] 抗拉强度为 568~687 MPa；双面光锂电铜箔 ^[97] ，抗拉强度 ≥380 MPa，延伸率 ≥7.0%	建议以抗拉强度和延伸率为指标，将锂电铜箔分为普通抗拉强度锂电铜箔（300 MPa ≤ R _m < 400 MPa）、中等抗拉强度锂电铜箔（400 MPa ≤ R _m < 500 MPa）、高抗拉强度锂电铜箔（500 MPa ≤ R _m < 600 MPa）、超高抗拉强度锂电铜箔（≥600 MPa）、高延伸率锂电铜箔（A ₅₀ > 6%）和高抗拉强度高延伸率锂电铜箔（500 MPa ≤ R _m < 600 MPa、A ₅₀ > 6%）等。
5	无相关内容	环保和出口需求。	增加铬含量和限用物质等环保指标
6	无相关内容	锂电铜箔翘曲度大不利于极耳焊接，影响生产效率	增加翘曲度
7	无相关内容	铜粉易刺破隔膜造成短路	增加端面铜粉
8	无相关内容	厚度均匀性较差时会使负极活性材料涂覆不均匀	厚度均匀性

2.2 方法标准

2.2.1 现行方法标准存在的问题

近年来我国锂电铜箔蓬勃发展,对锂电铜箔的检测方法的准确性、稳定性、可操作性、时限性等各方面都提出了更高的要求。SJ/T11483—2014^[88]中各测试项目采用的方法,详见表3。由表3,可知主要测试项目的方法标准都已废止,并且因

SJ/T11483—2014^[88]为注明日期的引用GB/T 5230—1995《电解铜箔》^[98]、GB/T 22638.4—2008《铝箔试验方法 第4部分:表面润湿张力的测定》^[99],于是被引用文件的最新版不适用于SJ/T11483—2014^[88],从而导致执行SJ/T11483—2014^[88]生产的锂电铜箔主要项目无测试方法可依。

表4 SJ/T11483—2014^[88]引用的方法标准

Tab.4 SJ/T11483—2014^[88]cited method standard

序号	测试项目	方法标准	备注
1	外观	目视	—
2	针孔	GB/T 5230—1995 ^[98]	已废止,被 GB/T 5230—2020《印制板用电解铜箔》 ^[100] 替代
3	划痕	GB/T 6462—2005 ^[101]	—
4	宽度	适当的工具	—
5	单位面积质量	GB/T 5230—1995 ^[98]	已废止,被 GB/T 5230—2020 ^[100] 替代
6	铜含量	GB/T 5121.1—2008《铜及铜合金化学分析法 铜含量的测定》 ^[102]	—
7	抗拉强度、延伸率	GB/T 5230—1995 ^[98]	已废止,被 GB/T 5230—2020 ^[100]
8	表面粗糙度	SJ/T11483—2014 ^[88]	—
9	表面润湿张力	GB/T 22638.4—2008 ^[99]	已废止,被 GB/T 22638.4—2016《铝箔试验方法 第4部分:表面润湿张力的测定》 ^[103] 替代。
10	抗氧化性	SJ/T11483—2014《锂离子电池用电解铜箔》 ^[88]	—

2.2.2 SJ/T 11483—2014^[88]所引测试方法标准最新版本适用性

GB/T 5230—1995^[98]的替代标准为GB/T 5230—2020^[100]《印制板用铜箔》,GB/T 5230—2020^[100]物理性能引用的方法标准为GB/T 29847—2013《印制板用铜箔试验方法》^[104]。GB/T 5230—2020^[100]只对9 μm以上的电解铜箔做物理性能要求。GB/T 29847—2013^[104]适用范围是刚性及挠性印制板用铜箔,而非锂电铜箔。

2.2.3 开展锂电铜箔试验方法及标准研制

针对锂电铜箔重点关注的技术指标如厚度均匀性、针孔、翘曲度、端面铜粉、抗氧化性、光泽度和表面润湿张力等,制定符合行业内测试现状的测试方法。解决多项目无方法标准可依,致使锂电铜箔产品标准技术指标过少的问题,为后续SJ/T11483—2014^[88]的修订提供方法标准支撑;解决因锂电铜箔测试方法无现行有效的国家标准或行

业标准,导致第三方检测机构,无法进行能力范围认定或认可,出现生产企业或质量监管部门需要第三方报告时,无第三方检测机构能够出具有法律效力的第三方报告的问题,加强监督,促进产品质量跃迁;解决因锂电铜箔上下游对锂电铜箔的测试项目种类和测试参数各家在细节上有不同,锂电铜箔生产企业为满足测试结果的一致,不得不采购几整套不同的设备,以达到给A电池厂供货,就采用A套设备测试,给B电池厂供货就采用B套设备测试,制定统一的测试方法有利于降低锂电铜箔生产企业测试设备投入和提高测试设备利用率。执行统一的国家标准,有利于提高测试结果的重复性和再现性,进而减少因质量异议产生的贸易摩擦,降低行业运行成本。

2.3 产品碳足迹标准

锂电铜箔作为新能源汽车和锂离子电池的重要原材料,是实现“碳达峰”、“碳中和”的重要载体,

因此锂电铜箔自身的碳足迹必然会引起上下游的重点关注。国内有色金属碳足迹还处于起步阶段^[105], 现行产品碳足迹标准, 暂没有适用锂电铜箔的标准, 为应对以欧盟“碳关税”为代表的绿色技术壁垒和锂电铜箔产品的协同降碳, 积极推动我国锂电铜箔产品碳足迹标准的制定, 有利于掌握产业主动权和话语权。鉴于国家标准和行业标准制定周期长, 可先行制定响应快、周期短的团体标准, 同步申请国家标准项目计划。

《电解铜箔单位产品能源消耗限额》、《节水型企业电解铜箔行业》等低碳标准都还处于酝酿阶段。加快锂电铜箔系列低碳标准的研制, 引领行业水平全面提升, 促进行业良性运行, 从而助力我国在锂电铜箔领域长期保持领先优势。

3 总结

我国锂电铜箔能在较短的时间内达到全球领先水平, 得益于政策引导和几代锂电铜箔产业工作人员的接续奋斗无私奉献。国内锂电铜箔制造装备虽有长足进步, 核心零部件的百分百国产化还有距离, 设备的长期稳定性不够, 能耗水平高; 产品标准修订滞后, 方法标准和低碳标准欠缺; 低端产能重复建设占比高, 低价无序竞争严重等问题; 产业集中度低。

锂电铜箔优异的综合性能使其成为了锂离子电池不可替代的负极集流体, 但随着终端客户对锂离子电池要求的不断提高, 加之锂电铜箔产能严重过剩, 唯有质量优、价格合适的锂电铜箔才有市场。尾部企业淘汰将加速, 中游企业与头部企业整合, 从而提高产业集中度和创新水平将是主要趋势, 下一步应补齐标准化等软实力的短板和增强制造设备技术创新和产品质量的长项, 实现重点技术的再突破, 从而让行业具备长期获得超额利润的基础。

参考文献

- [1] 人民网. 产销同比双增 中国一汽实现首季开门红 [EB/OL]. <http://finance.people.com.cn/GB/n1/2024/0403/c1004-40209570.html>, 2024-04-03/2024-04-09.
- [2] 高工锂电. 新能源车平均带电量提升: BEV58.5 度, PHEV28.8 度 [EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/Mu>

XdGslOoE66sVCfR4FzOw, 2024-04-04/2024-04-09.

- [3] 李映泉. 铜箔紧缺涨势凶猛 爆发式扩产难解近渴[N]. 证券时报, 2021-07-02 (A09).
- [4] 黄洁. 铜箔的生产技术及发展趋向[J]. 铜业工程, 2003(2): 83-84.
- [5] 金荣涛. 电解铜箔产业发展趋势[J]. 印制电路信息, 2003(2): 22-24, 31.
- [6] 思瀚产业研究院. 锂电铜箔行业情况及产业链上下游分析[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1773827920434602347&wfr=spider&for=pc>, 2023-08-10/2024-03-16.
- [7] 万新领, 高元亨, 刘龙富. 一种用于生产铜箔的高效溶铜罐: 中国, CN202220185459.3[P]. 2022-08-12.
- [8] 杨声鸿, 刘晓燕, 杨剑文, 等. 一种电解铜箔自动溶铜装置: 中国, CN202211432522.X [P]. 2023-07-07.
- [9] 黄练彬, 杨剑文, 杨雨平, 等. 一种具有搅拌铲料功能的铜箔生产用溶铜罐: 中国, CN202210157014.9 [P]. 2023-04-25.
- [10] 叶敬敏, 王俊锋, 刘少华, 等. 用于 6 微米铜箔生产的溶铜罐: 中国, CN201910527592.5[P]. 2020-09-18.
- [11] 张贵斌, 郑惠军, 周启伦, 等. 一种生箔机阳极槽: 中国, CN201720138247.9 [P]. 2017-07-07.
- [12] 万新领, 高元亨, 关灿球. 一种防止铜箔撕边的阳极板: 中国, CN201921863618.5 [P]. 2020-06-30.
- [13] 孙凤岭. 一种搭焊与锻打变形复合成形方法: 中国, CN202111185660.8 [P]. 2024-04-26.
- [14] 沈楚, 冯庆, 王思琦, 等. 一种超大幅宽旋压阴极辊制造方法: 中国, CN202111390451.7 [P]. 2023-09-19.
- [15] 王超, 冯庆, 何秀玲, 等. 一种电解铜箔用无缝阴极辊钛筒的制造方法: 中国, CN202210742263.4 [P]. 2023-08-04.
- [16] 苗东, 葛晓林, 冯庆, 等. 一种大规格阴极辊及制造方法: 中国, CN202210528775.0 [P]. 2023-04-11.
- [17] 李博, 冯庆, 苗东, 等. 一种导电能力强的阴极辊加工装置及其加工流程: 中国, CN202210015829.3 [P]. 2023-03-14.
- [18] 张乐, 冯庆, 王思琦, 等. 一种用于生产高强极薄铜箔的大幅宽阴极辊: 中国, CN202111521532.6 [P]. 2022-10-18.
- [19] 杨勃, 冯庆, 李博, 等. 一种更换方便低成本的阴极辊:

- 中国, CN202111617234.7 [P]. 2022-08-12.
- [20] 张乐, 冯庆, 沈楚, 等. 一种大直径钛合金筒形件的冷旋压成形方法: 中国, CN202111421906.7 [P]. 2023-04-14.
- [21] 李建伟, 廖平元, 刘少华, 等. 电解铜箔生产甚低轮廓铜箔用阴极辊的研磨方法: 中国, CN201410259970.3 [P]. 2017-03-01.
- [22] 景冬建, 松田光也, 陈贤生. 一种阴极辊表面研磨装置: 中国, CN202111080195.1 [P]. 2022-06-24.
- [23] 凌超军, 廖平元, 刘少华, 等. 一种铜箔生产用阴极辊在线抛光装置: 中国, CN202210518982.8 [P]. 2023-07-28.
- [24] 王凤梅, 杨剑文, 杨雨平, 等. 一种电解铜箔抛光辊自动清理设备: 中国, CN202211342262.7 [P]. 2023-05-23.
- [25] 周启伦. 一种制造5微米高抗拉铜箔用的添加剂及工艺: 中国, CN201811101179.4 [P]. 2018-12-11.
- [26] 万新领, 高元亨, 刘龙富. 一种铜箔生产中电解液的过滤装置: 中国, CN202220356076.8 [P]. 2022-06-14.
- [27] 万新领, 高元亨, 罗志艺, 等. 电解铜箔生箔机电解槽用进液调节阀: 中国, CN202221302606.7 [P]. 2022-11-15.
- [28] 彭颂, 叶铭, 廖平元, 等. 一种电解铜箔设备精密配液装置: 中国, CN202111012119.7 [P]. 2022-05-13.
- [29] 万新领, 高元亨, 聂谷明. 一种新型锂电铜箔烘烤箱装置: 中国, CN202223043994.4 [P]. 2023-02-28.
- [30] 林炼钦, 潘文俊, 黄集贤, 等. 基于耳料的电解铜箔翘曲测试机具及测试方法: 中国, CN202210269373.3 [P]. 2022-11-01.
- [31] 郭丽平, 郑衍年, 刘少华, 等. 一种动力电池用电解铜箔翘曲连续化测试方法及设备: 中国, CN202210224457.5 [P]. 2022-09-27.
- [32] 林伟民, 郭志航, 邹子萍, 等. 一种具有铜箔端部翘曲在线检测处理装置的生产线: 中国, CN202110214302.9 [P]. 2021-09-14.
- [33] 曾尚南, 杨剑文, 杨雨平, 等. 一种电解铜箔降低翘曲量处理设备以及处理方法: 中国, CN202210355814.1 [P]. 2022-12-02.
- [34] 郑衍年, 郭丽平, 刘少华, 等. 一种端部型电热的电解铜箔防翘曲设备及其工作方法: 中国, CN202210434290.5 [P]. 2022-11-29.
- [35] 杨弘, 洪远程, 杨扬, 等. 一种极薄铜箔的制造方法及其生产设备: 中国, CN202210197401.5 [P]. 2022-10-14.
- [36] 杨雨平, 陈优昌, 李志华, 等. 一种具有撕边在线收卷装置的生箔机: 中国, CN202111006243.2 [P]. 2022-02-11.
- [37] 万新领, 高元亨, 罗志艺, 等. 一种张力分散均匀的辊类装置: 中国, CN201921723046.0 [P]. 2020-05-29.
- [38] 万新领, 高元亨, 罗志艺, 等. 一种带自动调节辊的铜箔收卷装置: 中国, CN202220354985.8 [P]. 2022-06-07.
- [39] 周启伦, 万新领. 一种生箔收卷压辊装置: 中国, CN201821639055.7 [P]. 2019-05-24.
- [40] 王爱军, 廖平元, 杨剑文, 等. 一种铜箔厚度均匀性处理方法、铜箔表面处理方法: 中国, CN202010568715.2 [P]. 2021-01-19.
- [41] 郭丽平, 廖平元, 刘少华, 等. 一种电解铜箔厚度均匀性自动化测定系统: 中国, CN201911303308.2 [P]. 2020-08-11.
- [42] 温欢元, 杨剑文, 杨雨平, 等. 基于电解电流的离散化铜箔厚度监测方法以及监测系统: 中国, CN202210641000.4 [P]. 2023-05-12.
- [43] 杨艳球, 郭志航, 郑衍年, 等. 一种电解铜箔纵向尺度均匀性测量方法、系统、生箔机: 中国, CN202210025712.3 [P]. 2023-05-02.
- [44] 黄勇, 廖平元, 温佳栋, 等. 一种铜箔生产方法以及铜箔厚度检测方法、存储介质: 中国, CN202210642314.6 [P]. 2023-03-21.
- [45] 万新领, 高元亨, 胡月清. 一种分切在线厚度检测装置: 中国, CN201821597711.1 [P]. 2019-04-19.
- [46] 万新领, 高元亨, 刘丕冲. 一种分切表面缺陷在线检测装置: 中国, CN201821599943.0 [P]. 2019-04-19.
- [47] 郭丽平, 廖平元, 刘少华, 等. 用于检测铜箔渗透针孔的硫酸自动涂刷设备: 中国, CN201810633847.1 [P]. 2023-08-08.
- [48] 邹子萍, 郭丽平, 刘少华, 等. 一种电解铜箔针孔检测标记系统: 中国, CN202210240367.5 [P]. 2023-06-06.
- [49] 廖平元, 杨剑文, 李永根, 等. 一种铜箔表面色差检测与修复装置: 中国, CN201810047456.1 [P]. 2023-09-05.
- [50] 王俊锋, 王崇华, 刘焕添, 等. 一种铜箔表面色差修复的处理方法: 中国, CN201810047420.3 [P]. 2023-06-23.
- [51] 杨苑, 王崇华, 廖平元, 等. 一种防止4.5 μm 铜箔发白

- 的生产方法: 中国, CN202210151131.4 [P]. 2022-09-27.
- [52] 王崇华, 张小玲, 廖平元, 等. 一种波浪纹检测纠正设备: 中国, CN201620505294.8 [P]. 2016-10-12.
- [53] 李建国, 庄如珍, 廖平元, 等. 一种铜箔表面酸雾点控制装置: 中国, CN201820513368.1 [P]. 2018-11-16.
- [54] 温丙台, 曾嘉文, 谢佳博, 等. 一种多工位硬度检测装置: 中国, CN202320375877.3 [P]. 2023-07-28.
- [55] 曾嘉文, 温丙台, 谢佳博, 等. 一种铜箔力学性能检测用夹持装置: 中国, CN202222904757.6 [P]. 2023-05-23.
- [56] 凌超军, 廖平元, 刘少华, 等. 一种铜箔抗拉延伸率在线抽样检测装置: 中国, CN202110881847.5 [P]. 2021-12-28.
- [57] 刘晓燕, 王洪杰, 庄伟雄, 等. 一种铜箔延展性能测试装置及工艺: 中国, CN202211011084.X [P]. 2023-03-14.
- [58] 温丙台, 洪远程, 郑衍年, 等. 一种铜箔生产用抗拉强度检测装置: 中国, CN202222158166.9 [P]. 2023-01-03.
- [59] 张小玲, 陈优昌, 邹子萍, 等. 一种锂离子电池用铜箔铜粉粒度检测装置: 中国, CN201520212066.7 [P]. 2015-07-15.
- [60] 庄如珍, 李建国, 陈优昌, 等. 一种铜箔铜粉清除装置及使用方法: 中国, CN201610237522.2 [P]. 2017-12-08.
- [61] 高鹏, 王晓远. 轴向磁场复合 PCB 定子有铁心永磁同步电机: 中国, CN202010100324.8 [P]. 2022-07-12.
- [62] 刘若曦. 铜箔行业的强者之争[J]. 中国有色金属, 2015(14): 58-59.
- [63] 龚永林. 中国早期印制电路板生产技术回顾(1)[J]. 印制电路信息, 2023, 31(3): 4-10.
- [64] 曹伍. 铜箔成为中科英华第二大主业[N]. 中国有色金属报, 2006-04-20 (006).
- [65] 陈平华. 电解铜箔市场研究报告[J]. 世界有色金属, 2005(5): 19-27.
- [66] 诺德股份. 喜讯: 诺德股份获“最具成长力企业二十强”殊荣[EB/OL]. <https://mp.weixin.qq.com/s/kOOoSGXj4Q63-12K4fYaTw>, 2024-05-30/2024-06-01.
- [67] 樊娅楠. 用实力书写炼铜成纸的奇迹[N]. 西宁晚报, 2023-08-25 (A09).
- [68] 财是. 嘉元科技专题研究报告: 铜箔技术迭代叠加产能释放, 迎来量利双升[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1701057664370301510&wfr=spider&for=pc>, 2021-05-29/2024-03-16.
- [69] 东方财富网. 嘉元科技: 已向国内头部锂电池厂商批量供应 4.5 μm 铜箔产品[EB/OL]. <https://finance.eastmoney.com/a/202011091694355325.html>, 2020-11-09/2024-03-16.
- [70] 江铜铜箔首卷万米 4.0 μm 极薄锂电铜箔顺利下卷[J]. 有色金属材料与工程, 2022, 43(3): 62.
- [71] 大河网. 这些豫企相当潮 | 灵宝铜箔何以领跑[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1782791469699626498&wfr=spider&for=pc>, 2023-11-17/2024-03-16.
- [72] 米绪军, 娄花芬, 解浩峰, 等. 我国先进铜基材料发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(1): 8.
- [73] Murphy D, Broadhead J, Steele B. Materials for advanced batteries[M]. New York: Plenum Press, 1980.
- [74] Nishi Y. The development of lithium ion secondary batteries[J]. Chemical Record, 2001, 1(5): 406-413.
- [75] Nishi Yoshio. Lithium ion secondary batteries: Past 10 years and the future [J]. Journal of Power Sources, 2001, 100: 101.
- [76] Chu H-C, Tuan H-Y. High-performance lithium-ion batteries with 1.5 μm thin copper nanowire foil as a current collector [J]. Journal of Power Sources, 2017, 346: 40-48.
- [77] Nagpure S C, Downing R G, Bhushan B, et al. Discovery of lithium in copper current collectors used in batteries[J]. Scripta Materialia, 2012, 67: 669-672.
- [78] 超华科技: 被忽视的锂电池核心材料供应商[J]. 股市动态分析, 2016(24): 51.
- [79] 中国有色金属加工工业协会. 高端市场需求迫切 锂电铜箔超薄化进程加速[EB/OL]. <https://www.cnfa.net.cn/news/show-2219.aspx>, 2019-12-23/2024-05-23.
- [80] 财是. 嘉元科技专题研究报告: 铜箔技术迭代叠加产能释放, 迎来量利双升[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1701057664370301510&wfr=spider&for=pc>, 2021-05-29/2024-03-16.
- [81] 任利娜, 侯智敏, 牛靖, 等. 电解铜箔用阴极辊的研究进展及发展趋势[J]. 精密成形工程, 2020, 12(2): 84-92.
- [82] 潇湘晨报. 这项“西安科技”填补国内空白! 国内首个 3 米直径新能源锂电铜箔核心装备阴极辊发布面市[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1744764249594481712&wfr=spider&for=pc>, 2022-09-23/2024-03-16.

- [83] 西安新闻网. 新能源锂电铜箔核心装备大直径 3.6 米阴极辊填补国内空白 西安泰金新能彰显“中国制造”力量[EB/OL]. https://www.xiancn.com/content/2023-04/02/content_6708151.htm, 2023-04-02/2024-03-16.
- [84] 知乎. 新能源锂电铜箔装备新纪录! 国内最大直径 3.6 米阴极辊成功下线交付客户[EB/OL]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/673433256>, 2023-12-15/2024-03-16.
- [85] 邱熙然, 朱逸慧. 三门峡: 勠力“铜”心厚积“箔”发[J]. 中国有色金属, 2021(11): 31-35.
- [86] 章新亮, 刘志英, 饶锦武, 等. 国内铜工业进展与江西铜产品现状[J]. 世界有色金属, 2019(18): 239-242.
- [87] 王乔琪. 海亮股份拟斥资 59 亿海外扩产电解铜箔[N]. 上海证券报, 2023-02-28 (005).
- [88] 中华人民共和国工业和信息化部. SJ/T 11483-2014 锂离子电池用电解铜箔[S]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2014.
- [89] 徐龙, 徐辉, 何桂青, 等. 改善 4.5 μm 铜箔无法连续收卷问题的添加剂工艺[J]. 安徽科技, 2021(10): 47-50.
- [90] 李民, 陶炳贞, 杨孝坤. 一种 4.5 μm 极薄电解铜箔的制备装置及其制备工艺: 中国, CN202010032482.4 [P]. 2022-02-18.
- [91] 马校彬, 潘建锋, 马志华, 等. 一种无铬环保型超薄锂电铜箔及其制备工艺: 中国, CN202211583067.3 [P]. 2023-07-04.
- [92] 操声跃, 张红亮, 何桂青, 等. 一种锂离子电池用 4.5 μm 电解铜箔、制备方法及其添加剂: 中国, CN201910871243.5 [P]. 2021-07-06.
- [93] 王俊锋, 钟孟捷, 叶敬敏, 等. 一种普强型锂离子电池用极薄电解铜箔的制备方法: 中国, CN202010053832.5 [P]. 2021-07-16.
- [94] 王俊锋, 刘晓燕, 郭志航, 等. 一种高抗拉强度锂离子电池用极薄电解铜箔的制备方法: 中国, CN202010053840.X [P]. 2021-06-18.
- [95] 叶铭, 廖平元, 刘少华, 等. 一种超薄铜箔及其制备方法: 中国, CN202110161499.4 [P]. 2021-12-28.
- [96] 彭颂, 廖平元, 叶铭, 等. 一种电解铜箔及其制备方法: 中国, CN202110161468.9 [P]. 2021-06-18.
- [97] 刘少华, 王俊锋, 叶敬敏, 等. 超薄电解铜箔的制造方法: 中国, CN200810220571.0 [P]. 2011-07-13.
- [98] 国家技术监督局. GB/T 5230—1995 电解铜箔[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [99] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22638.4—2008 铝箔试验方法 第 4 部分: 表面润湿张力的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [100] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 5230—2020 印制板用电解铜箔[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [101] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6462—2005 金属和氧化物覆盖层 厚度测量 显微镜法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [102] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5121.1—2008 铜及铜合金化学分析方法 第 1 部分: 铜含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [103] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22638.4—2016 铝箔试验方法 第 4 部分: 表面润湿张力的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [104] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 29847—2013 印制板用铜箔试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [105] 刘志英, 李明茂, 陈熾娉, 等. 我国有色金属行业产品碳足迹评价标准现状及思考[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(1): 1-6.