

纳米分散研磨技术助力 硅碳负极产业化

走进上海琥崧智能科技股份有限公司——近年来，备受业界关注的特斯拉 4680 电池的推出，在电池能源领域掀起了一波新电极材料产业化的浪潮。此次与电芯体积一起增长的，不仅是电池容量、循环寿命，还有市场对其中硅碳负极材料的爆发性需求。

文 / 本刊记者 胡静

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：



chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A220836

放眼当下，硅基负极产业的发展有哪些技术痛点，纳米材料分散研磨技术的突破又将为行业带来哪些重要意义？本文走进上海琥崧智能科技股份有限公司，带您一探究竟。

硅碳负极材料：应用前景不可估量

在汽车电动化的发展进程中，续航里程和成本一直是制约纯电动汽车快速发展的重要因素。电池作为突破点，一直是各家车企、电池厂商发力的重点。型号从 1865 到 2170，再到 4680（即直径 46 mm、高度 80 mm 的新一代圆柱电池），作为新一代型号电池，毋庸置疑，4680 将有望广泛应用于车用动力电池储能设备中，为用户带来更安全、更强劲的动力源。

而 4680 电池能收获如此多的关注，是因为和传统电池相比，有几大特殊的革新亮点。首先，电池无极耳的设计解决了电池一直以来的散热难题，提升了快充

能力和安全性；干电极工艺的采用，能够简化步骤、减少制造成本；负极材料用硅碳部分替代石墨，正极材料则选择高镍去钴，电池能量密度大幅提升，续航里程更可增加 20%。

为适应更高能量密度的电池需求，硅基负极走入产业视野。在全球范围内，包括纳米硅碳、氧化亚硅基等在内的原材料，都迎来了蓬勃发展期。随着技术瓶颈的克服与终端客户接受度提升，硅碳将成本下降，实现大规模量产，CNCET（中国化工经济技术发展中心）预计，2023 年我国硅碳负极材料产量及消费量将达到 6 万 t，未来硅碳负极市场前景巨大。

硅碳负极量产的技术痛点

在动力及消费电池的催化下，随着硅基负极产业化持续铺开，群雄竞逐“硅基时代”。对于原材料生产企业来说，想要拥抱时代机遇，降低硅碳制备成本、实现高质量的大规模量产，仍存在许多现实的困难。

从材料本身特性出发，在配方研发阶段，硅碳材料有着高投入、高难度和高门槛，以及长研究周期、长验证周期和长应用周期的“三高三长”的特点。其中的高难度体现在，除了高能量密度特性以外，硅材料的膨胀系数大，多次充放电的膨胀和收缩，容易导致粉末化，进而会降低电池的整体稳定性，埋下安全隐患。

为了降低硅的几何尺寸和体积，以解决材料膨胀问题，纳米化是非常重要的环节，对于厂商的工艺要求很高。而在包覆阶段，目前主流采用“碳包硅”类似果壳的材料结构，来降低粉碎的风险，厂商则需要确定原料添加比例，以提高材料库仑效率、电流的均匀性和功率密度，这些都是难点所在。

不仅如此，材料想要从实验室走向百万吨级生产，中试的放大过程至关重要。正所谓一代材料、一代装备，材料研究、工艺和设备是一个密不可分的整体，需要形成闭环。然而，国内厂商



普遍比较重视配方研发, 开发存在着严重的割裂问题, 制约了中试放大的效率和可靠性。

除此之外，在产品质量的稳定性 and 一致性层面，国内厂商与国际领先水平仍存在较大差距。精益生产讲究“人、机、料、法、环、测”全因素平衡的理念，然而部分厂商在表征过程中，缺乏对外部条件（包括异物防护、静电控制、粉尘水分）的考量，认为工艺参数不变、检查指标在范围内，质量就会稳定，这一理念误区亟需被纠正。

毋庸置疑，在硅碳负极材料制备过程中，纳米化是成功实现产业化的关键。而纳米硅制备和包覆工艺本质上就是分散研磨的过程，但是纳米粉体及相关分散、研磨是精细化工高附加值产品的关键技术，全球仅有少数几家公司掌握，技术壁垒很高。

领军专利技术，攻破纳米材料难题

一直以来，无论是对制造企业还是用户而言，纳米材料的粒

径分布、形貌一致性都是核心的关注点。在众多制备方法中,机械球磨法凭借粒度小、分布匀和工艺简单等优势,在工业化生产中应用广泛。然而,这一传统制备方法仍有许多难题亟待解决:

1. 在纳米化过程中, 粒径 $d_{50} < 100 \text{ nm}$ 是必要的门槛, 因此研磨介质要 $< 0.1 \text{ mm}$, 筛网间隙要 $< 0.05 \text{ mm}$ ($1/2$ 研磨介质), 当纳米硅达不到要求时, 筛网就容易被堵住, 影响制备效率和正常生产。

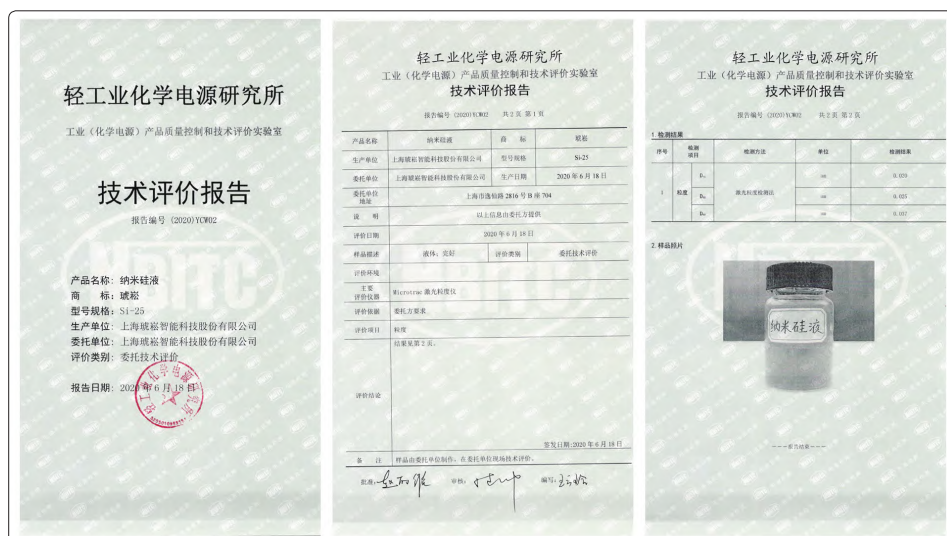
2. 研磨过程中物料和研磨介质会向出料端集聚，易导致堵料。

3. 在骨架化这一重要预处理环节, 由于纳米硅在研磨后会产生静电现象, 且会包有一层溶剂, 让粉体很难以单个颗粒的形式和石墨结合, 会导致聚乳胶化进而影响材料性能。

4. 半成品从干燥后到窑炉、粉碎及成品的物料输送环节, 气体输送速度 (速度过快会破坏物料外表面, 影响成品率)、料气比的控制都很重要。且除了要保障长距离输送的稳定性、避免堵管外, 企业还需考虑除尘环节和降低能耗的问题。

作为纳米材料分散研磨领域的领军企业，面向硅碳负极材料制备，琥崧开发了覆盖从实验室，到中试再到产业化的全流程解决方案。瞄准纳米材料研磨的无筛网化，琥崧的纳米砂磨机采用双离心分离，可利用离心力和向心力差，实现研磨介质与物料的分

为助力规模化制备, 琥崧拥有全球首家大容量的纳米砂磨机 SMN150 如图 1 所示, 制备效率



是国外设备的两倍，可大大降低单车成本、提高毛利，减少质检频次，实现进口替代，帮助企业事半功倍地实现材料的产业化。

不仅如此，琥崧通过创新的结构改进，能让物料运动在有压力的情况下，改变物料的运动轨迹，不集聚在出料段，而是处在中间位置，巧妙地解决堵料的问题。不仅如此，该设备的研磨粒径分布更窄、批次稳定性更高。琥崧研发生产的纳米砂磨机采用动态离心分离原理，确保研磨介质与物料的无障碍分离，出料顺畅，最小可使用 0.03 mm 研磨介质，实现 30 nm 以下的物料研磨，基本达到了纳米化几何尺寸的极限，2020 年已通过轻工业化学电源研究所工业产业质量控制和技术评价实验室的技术鉴定，如图 2 所示。

值得一提的是，琥崧也是国内首家拥有在线分散技术（IMS）的公司，为业内提供纳米级研磨分散服务。琥崧在线分散设备通过“真空吸料-解聚-浸润-分散”，将固液/液液进行混合分散，它通过真空无损失地吸入粉体，爆破解聚后，再与泵送液体进行浸润



图 4 位于江苏太仓“中德先进制造技术国际创新园”的琥崧生产基地

分散。特殊的定/转子设计实现了高效的剪切速率，且粒径分布均匀，可代替部分粗磨。同时，在封闭的系统内进行分散，可减少粉尘污染及 VOC 的排放，绿色环保，实现生产智能化；减少人工干预及原材料的浪费，提高产品质量的一致性和稳定性。

此外，在输送环节，琥崧还拥有专有输送技术，可让输送速度更慢、料气比更高、耗气量更低，保证长距离、短距离输送不堵管，在琥崧的气源管理系统的帮助下，更能将能耗降低 30% 以上。

打造紧密闭环，护航产业化进程

纵观硅碳纳米材料从研发走

向产业化的全过程，琥崧在行业内扮演着重要的护航者角色。无论是针对配方阶段，还是在材料骨架化、成品输送的过程中，琥崧打通了研发、中试和放大过程，并让配方、工艺和设备三者实现有机结合，打造紧密闭环，通过提供全面的系列解决方案，为产业化的工艺一致性提供坚实的基础保障，如图 3 所示。

不仅如此，在琥崧 i-Neuron® 智能化工厂解决方案的帮助下，客户还能让配方管理、订单管理、工艺管理、配置管理、设备能耗及故障，形成端到端的一体化的可视化视图，为设计方、业主方、施工方都提供巨大便利，“中德先进制造技术国际创新园”的琥崧生产基地如图 4 所示。

深耕纳米材料领域多年，琥崧拥有高端装备、数字化工厂、物联网技术领域的强大的中德专家技术团队。一直以来，公司坚持原创开发，致力于推动我国纳米材料的发展与进步。厚积薄发，琥崧现已打破德国对纳米研磨设备的技术垄断，基于强大迅捷的供应链，为国内外客户提供着全方位服务和保障。

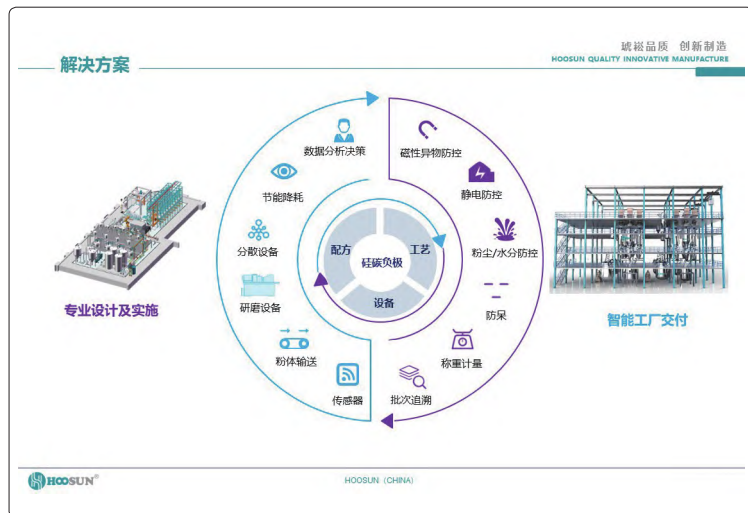


图 3 琥崧智能硅碳负极行业解决方案