动力电池4680全极耳技术扫描

赵宇龙

中国汽车工程学会　北京　100055

摘要：介绍了4680圆柱电池结构以及全极耳圆柱锂离子电池自动化组装工序，并分享了制造视频。

关键词：圆柱电池；全级耳；焊接

刚刚过去的2021年，中国新能源汽车市场发展迎来井喷，中国汽车工业协会数据显示，2021年新能源汽车销售352.1万辆，同比增长1.6倍，由此也带动了动力电池的强劲增长。中国汽车动力电池产业创新联盟发布的动力电池数据显示：2021年1—12月，我国动力电池装车量累计154.5GWh，同比累计增长142.8%。其中三元锂电池装车量累计74.3GWh，占总装车量48.1%，同比累计增长91.3%；磷酸铁锂电池装车量累计79.8GWh，占总装车量51.7%，同比累计增长227.4%。新能源汽车的高速增长有赖于因续驶里程和充电速度的增加而增长的用户的信心。动力电池材料的创新和结构的创新可使质量能量密度不断增加，从而使续驶里程更长，充电速度更快，而结构的创新更容易实现。动力电池的结构从方形到刀片，从小圆柱到大圆柱，能量密度和功率也越来越大。结构的创新带来工艺的创新，也带来更大的难度，比如当前4680圆柱电池的全极耳技术的不成熟也令其难以大规模生产。

4680圆柱电池结构

4680圆柱电池，是圆柱电池从较小的1865到2170之后，进一步做大的结构创新（见图1）。这里的46是指电池直径46mm，80是指长度80mm。

图1　三种圆柱电池

2020 年9月23日是特斯拉电池日，埃隆·马斯克向全球展示了一款全新电池——4680无极耳电池（见图2）。相较于此前采用的2170电池，特斯拉4680电池的电芯容量是2170电池的5倍，充电功率提高6倍，每千瓦时的成本降低约14%，续驶里程提高16%。很显然，如果4680圆柱电池大规模量产，将成为新能源汽车企

图2　特斯拉4680电池

业竞争市场的利器。

相比于以前的圆柱电池，4680电池最大的结构创新是无极耳，又称全极耳。传统的圆柱体电池，正负极铜箔、铝箔隔膜叠加起来卷绕，为了引出电极，会在铜箔和铝箔两端分别焊接一个导引线叫极耳。传统的1860电池卷绕长度是800mm，以导电性更好的铜箔为例，极耳从铜箔上把电导出来长度就是800mm，相当于电流要通过800mm长的导线。通过计算得到电阻大约是20mΩ，2170电池卷绕长度约是1000mm，电阻约23mΩ，而4680电池全极耳电池把整个集流体都变成极耳，导电路径不再依赖极耳，电流从沿极耳到集流盘横向传输变为集流体纵向传输，整个导电长度由1860或者2170铜箔长度的800～1000mm变成了80mm（电池高度）。电阻降到2mΩ，内阻消耗由2W降到0.2W，直接降低一个数量级。

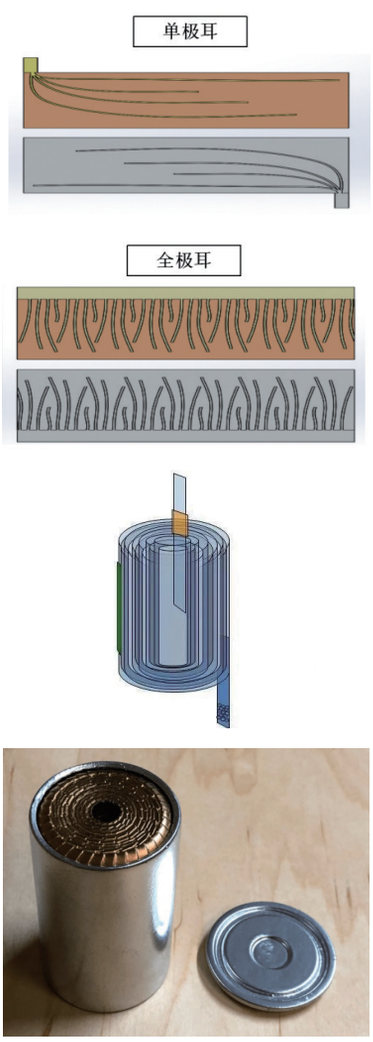

图3　单极耳和全极耳

全极耳制造技术

全极耳制造技术是4680圆柱电池制造中的关键技术，企业不会轻易公开。从特斯拉展示的生产视频来看，特斯拉发布的设备包括涂布、卷绕、灌装、封装、注液、干燥、化成、分容以及各种高速传输装置等，恰恰未公布其最核心的电芯组装设备（见图4）。

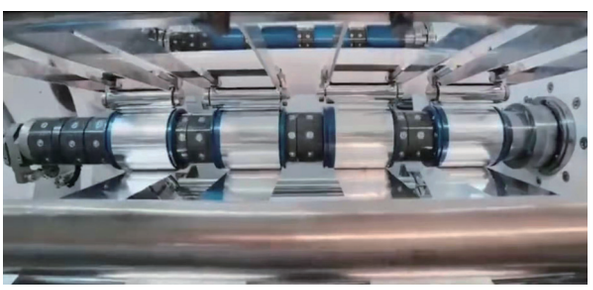

图4　特斯拉4680电池视频

合肥国轩高科动力能源有限公司在《一种全极耳圆柱锂离子电池自动化组装工艺》专利申请中公布了一种全极耳圆柱锂离子电池自动化组装工序：揉平、包胶、入壳、集流盘焊接、合盖、周边焊和氦检。具体操作如下。

1）揉平工序：将卷芯正负极两端的全极耳整形、揉挤成平面且高出隔膜一定距离，便于后续焊接集流盘。

2）包胶工序：将揉平后的卷芯正负极两端包覆绝缘胶带，防止全极耳与金属壳体接触发生短路。

3）入壳工序：顶推装置将包覆绝缘胶带后的卷芯推入壳体。

4）集流盘焊接工序：将正负极集流盘分别焊接在卷芯正负极揉平后的两个端面上。

5）合盖工序：将集流盘、盖板经过预定角度的弯折、挤压并与壳体紧密结合，实现集流盘与盖板的铆合连接，再经预点焊定型。

6）周边焊工序：将合盖好的圆柱锂离子电池进行周边封口焊接。

7）氦检工序：将周边焊后的圆柱锂离子电池采用氦检设备进行气密性检测，气密性合格的电池继续流

转，气密性不合格的电池进行返工或报废。

全极耳与集流盘或壳体连接中，对激光焊接技术要求较高：从传统两个极耳的点焊到全极耳面焊，焊接工序和焊接量都变多，激光强度和焦距不容易控制，易焊穿烧到电芯内部或者没有焊，目前电池良好率已到80%，但仍不到量产的水平（90%以上）。按照预期，特斯拉和松下将在2022年实现量产，LG化学预计在2023之后量产。国内企业亿纬锂能和比克电池也都发布了4680电池产品，近两年也能达到量产水平。

全极耳专利扫描

截止到发稿时，我国全极耳（无极耳）专利共有349项，其中关键词“圆柱+焊接”的专利为89项，如图5和图6所示。以下摘录两篇专利文章，以便读者对圆柱电池全极耳生产工序有个大概了解。

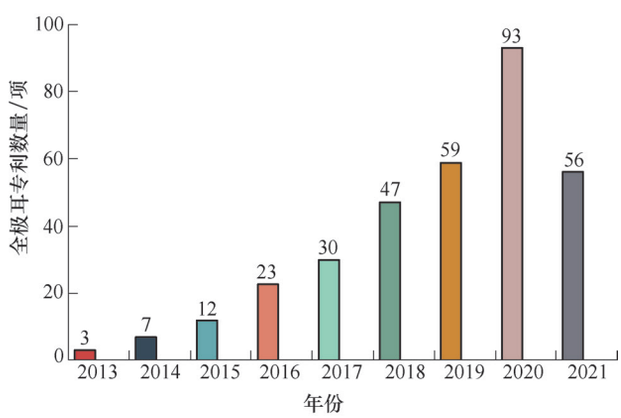

图5　2013—2021年全极耳申请专利

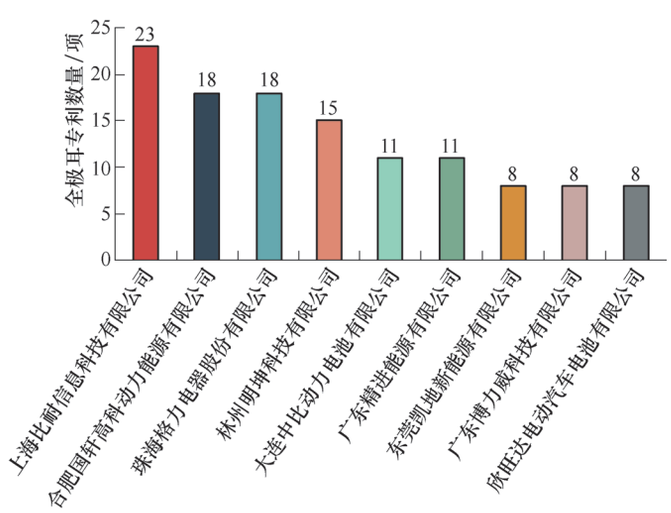

图6　全极耳专利主要企业

1.一种全极耳圆柱形卷芯的极耳整形及焊接方法

（1）申请人　上海比耐信息科技有限公司。

（2）方法　该全极耳圆柱形卷芯焊接的制备方法如下：

1）全极耳圆柱形卷芯负极端面整形。

2）负极绝缘环安装。

3）负极集流圈安装。

4）负极耳与负极集流圈内壁弧形焊接。

5）正极端面也可采用同样的整形工艺和焊接方式。

（3）技术效果和优点　圆柱形卷芯的极耳通过整形而非切极耳方式形成，可以有效减少设备投入，提高生产效率，降低生产成本。整形后的环形极耳与环形正负极环形集流圈在高出卷芯体的侧面焊接，而非在卷芯体端面焊接，可以避免端面焊时焊穿铜铝箔揉平面进而烧伤隔膜，提高成品合格率，降低材料损耗，大幅减少电池的短路和自放电风险。

图7所示为负极耳与负极集流圈焊接示意图，采用超声焊、电阻焊、氩弧焊、激光焊等方式中的任意一种或多种焊接方式，将环形负极耳与负极集流圈焊接起来。焊接区域在高出卷芯体侧面，而非在卷芯体端面，可以避免端面焊接时焊穿整形下压的箔材，进而烧伤隔膜；同时，整形下压的箔材可以有效阻档焊渣进入卷芯体内，减少电池短路和自放电风险。

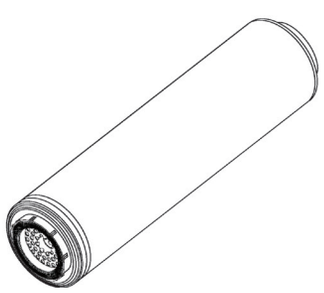

图7　负极耳与负极集流圈焊接示意

2.一种圆柱型电池无极耳焊接的制备方法

（1）申请人　东莞市创明电池技术有限公司。

（2）方法　该圆柱型电池无极耳焊接的制备方法如下：

1）将正、负极片基材采用纵向间歇式涂膜，分切后分别得到一边形成留白的正极片和负极片。

2）将正极片、隔膜、负极片依次进行层叠后绕卷

成卷芯，并使得正、负极片设置有留白的一端分别置于所述隔膜两长边的外侧、且所述隔膜边缘外露有留白。

3）将外露的留白箔材进行拍平处理，形成平整光滑的正负极箔材台面。

4）使用带凸台的负极集流体压置于所述卷芯的负极箔材台面，进行激光焊接形成负极焊接焊点。

5）使用带中心孔的正极集流体压置于所述卷芯的正极箔材台面，进行激光焊接形成正极焊接焊点。

如图8所示，焊接的焊斑圆心之间的间距为焊斑直径的0.5～1.0倍，间距过小容易使焊点叠加而造成过焊，间距过大易造成焊接不牢的现象。所述焊点数量及排列形状可自行控制。为了获得焊点均匀、稳定，焊接效果好的圆柱型电池，作为优选实施例，所述焊点形成的图形为轴对称图形。

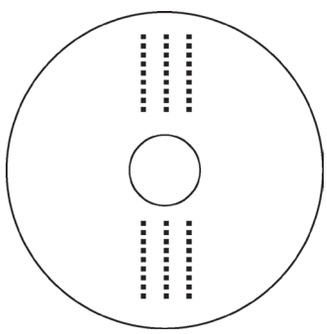

图8　焊点图形

结语

有的企业提出集流盘采用压装而不是焊接的专利，而目前所有的专利都不是基于4680电池而做的实验。特斯拉提出并应用无极耳工艺设计，也是基于收购了早前生产圆柱型碱性电池生产线的公司——加拿大海霸，以及引入Jeff Dahn研究团队，才为无极耳大圆柱型锂电池生产做设备技术研发提供了基础支撑。由于无极耳（全极耳）仍属于新技术，目前国内相关电池、设备企业在这一领域的探索仍相对有限，能提供无极耳（全极耳）工艺的设备还相对较少，能搜索到的技术文案更是寥寥无几。笔者也将继续关注这一技术的最新进展。AUTO1950

（上接第11页）

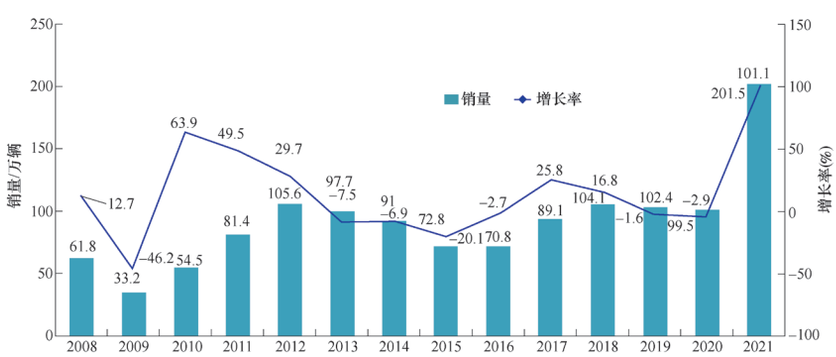

图8　2008—2021年汽车出口量情况

结语

总的来看，2021年在国内宏观经济运行总体平稳持续恢复的背景下，汽车行业发展韧性继续保持。作为国民经济重要的支柱产业，汽车行业正处于转型升级的关键阶段，变局之下的汽车行业近年来总体保持稳定发展，对宏观经济稳中向好的发展态势起到了重要的支撑作用。同时也要看到，当前汽车芯片短缺虽逐渐缓解，但仍显紧张，保持产销稳定增长依然需要全行业共同努力。

未来，在“电动化、网联化、智能化”推动下，汽车行业将继续积极拥抱新一轮科技革命，坚持创新驱动，加快融入新发展格局，成为推动全球汽车行业转型升级的领跑者，为实现第二个百年目标做出汽车行业应有的贡献。

2022年，我国将继续扎实做好“六稳”“六保”工作，持续改善民生，着力稳定宏观经济大盘，保持经济运行在合理区间。在这样的背景下，汽车市场需求将保持稳定，伴随供给端芯片供应不足、原材料价格高位运行等问题在新的一年逐步改善，预计2022年汽车市场将继续呈现稳中向好的发展态势，全年产销表现好于2021年。AUTO1950