

超声波焊接在汽车高电压配电母线中的应用

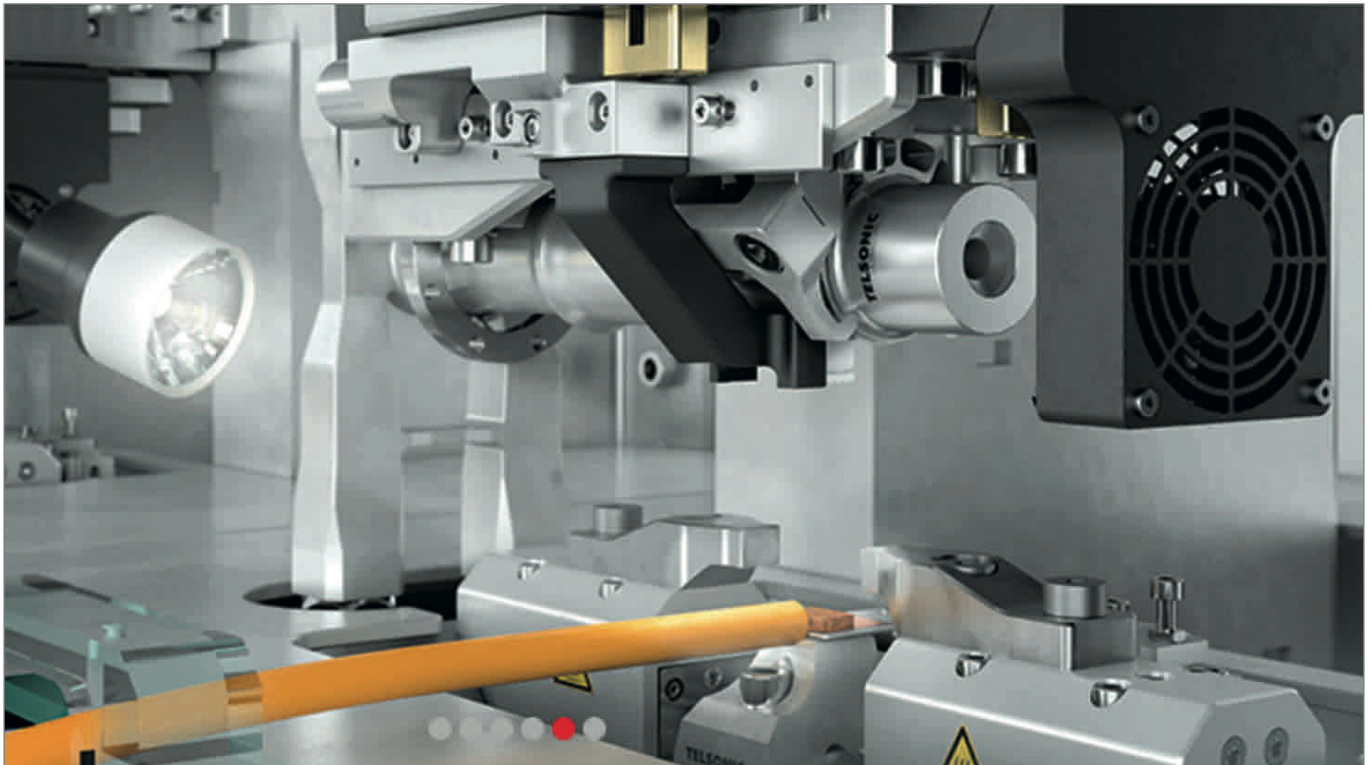
塑料焊接

金属焊接

切割

清洗

筛分



布龙施霍芬（瑞士），2023年6月

尽管电动汽车（EV）技术已经出现了一段时间，但在过去十年间，电动汽车和混合动力汽车（HEV）作为私人机动车的销量显著增长。由于电动汽车具有诸多优势，很多人将其视为汽车工业的未来。随着电动汽车和混合动力汽车市场的增长，制造商不断寻求技术进步，以提高这些车辆的效率、功率和性能，而超声波焊接将在这些技术进步中发挥重要的作用。自20世纪80年代末以来，汽车线束制造业一直是超声波焊接的最大用户，主要使用该技术来焊接绞线。然而，该技术的新应用将成为未来工艺的一部分，最终将为汽车制造商提供解决当前电动汽车技术诸多缺点的方案。

当前的电动汽车制造格局

在电动汽车中，密封包装的大型电池组用于获取驱动汽车电动机所需的工作电压和电流。目前，电动汽车/混合动力汽车的两个主要问题是储能和行驶里程。原始设备制造商（OEM）正通过两种方式来解决这些问题：制造更大的电池，以提供更远的续航里程；制造功率更强劲的电池，以实现更快的充电速度。这两个方面都有一定的挑战性。的确如此，由于电池可以做得更大，但也只能大到一定尺寸，否则就会因价格太贵或过于笨重，无法成为可行的解决方案。

传统线束通常不是人们寻求电动汽车创新的首选，但最新的科技进步对电动汽车的发展产生了重大影响，因为它们为原始设备制造商（OEM）提供了电动汽车架构迫切需要的两个条件：更轻的重量和更多的空间。为了节省空间和减轻重量，其中一种方法就是将圆形绞线改为扁平导线。而这正是母线发挥作用的地方。

什么是电气母线？

母线一词源于拉丁文单词“omnibus”，意思是“所有”(如“特定系统中的所有电流”)，母线属于扁平导线，日益成为电动汽车架构中不可或缺的组成部分。母线通常装在开关设备、配电盘和母线槽外壳内，用于大电流的本地配电。母线还用于连接电气开关站的高电压设备和电池组的低电压设备。母线是由铜、黄铜或铝制成的金属条或金属棒，用于接地和导电。电气母线可以涂覆铜等各种材料，用以提供不同的电导率限值和变化。母线具有多种形状和尺寸，这将决定导线在劣化之前能够承载的最大电流。

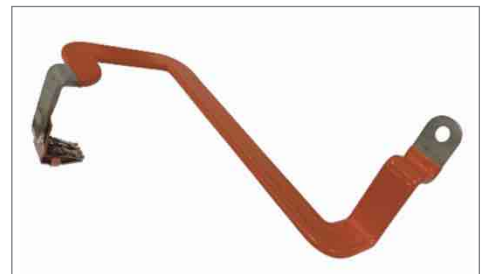
如今，一个电池组有多达 24 根母线，随着电池组越来越大和/或功率越来越大，母线数量还会增加，而电池组的内部空间仍然非常狭小。超声波焊接成为电动汽车应用中母线的首选接线工艺。但是，由于这些功率更大的电池只有在快速充电时才能发挥作用，我们很快就会看到电池组之外更多的母线创新，将大功率电源从充电入口输送到电池，再输送到其他大功率电机和设备，从而提高对创新超声波焊接应用的需求。

为什么众多公司更喜欢电气母线？

从长远来看，人们认为，对于汽车行业的部分线束，母线可能比标准电缆更受欢迎。电动汽车的日益普及、成本效益、安装简便、汽车母线较低的维修和保养成本，以及电动汽车充电基础设施的发展，成为汽车母线需求不断增长的关键因素。此外，电动汽车制造和充电基础设施的技术发展有望惠及全球汽车母线市场。根据市场研究，由于这些因素，预计 2030 年该市场将产生超过 1.7 亿美元的收入，2021 年至 2030 年的复合年增长率为 24.6%。

使用母线的优点：

- 设施成本降低，安装速度快
- 能够简便、快速地增添、移除或部署电源，无需停机
- 面向未来且高度灵活，因为有些插件可在不断电的情况下断开和连接
- 无需日常维护
- 扩展或改造速度更快、成本更低
- 更环保，因为它通常需要更少的安装材料，并且插入式插座可以重复使用并且易于部署
- 扁平导线占用空间较小，高度减小 70 %
- 与横截面积相同的电缆相比，可支持高出 15 % 的功率
- 重量更轻，包装空间更小，并且更加灵活。例如，160mm² 柔性扁平铝 (FF-AI) 电缆是 200mm² 圆形铝电缆的一种创新和替代解决方案
- 使用当今工艺最可靠、成本更低的螺栓进行紧固。
- 但扁平导线增加了额外的零件 (螺栓) 并需要特定的扭矩值
- 散热效率高：比较合电缆更有效
- 多种结构：铜和铝，刚性或柔性，层压。见图 1
- 电池内部无需具备电磁兼容性
- 便于自动化，有助于提高安全性和质量



01

母线材料和尺寸的重要性

母线通常由耐腐蚀的铜、黄铜或铝制成，装在实心或空心管中。母线的形状和尺寸，无论是扁平条还是实心棒，由于表面积与横截面积比高，散热效率更高。

尽管铜会随着时间的推移而氧化，但它仍然具有导电性，但这往往需要更大的能量来推动电力沿表面流动。虽然铜不能完全防止长时间氧化，但会大大减少其影响。母线表面涂层有助于防止氧化。

母线涂层通常有三个主要用途：

- 防止腐蚀
- 提高导电性
- 更加美观

层压母线用于防止电力电子电路并联开关装置中的循环电流。除了在电动汽车上的重要应用之外，由于具有低的电感特性，也广泛用于太阳能和风能的收集和分配方面。一种更有效且更具成本效益的方法是使用绝缘环氧树脂涂层粉末。环氧树脂涂层粉末具有极高的介电强度，可直接与母线的铜、铝或银镀层结合。

母线的大小取决于其具体用途。最常见的商用和工业母线尺寸有 40–60 安培、100 安培、225 安培、250 安培、400 安培、800 安培。

目前汽车应用使用的母线尺寸有 35、50 或 90 mm²。母线有铜和铝两种材质。

选择材料时要考虑的主要差异有：

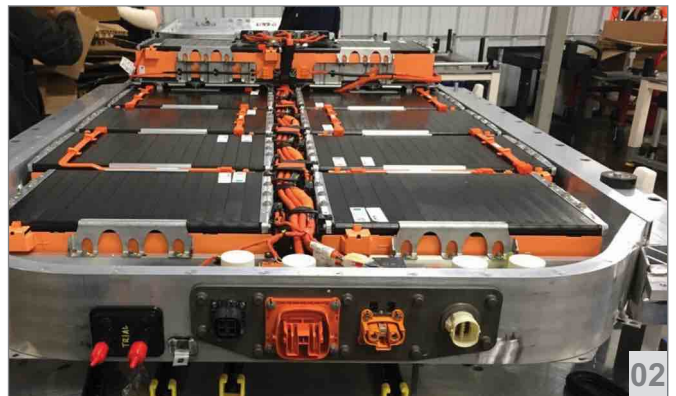
- 抗拉强度
- 载流量
- 电阻
- 重量
- 成本

铝母线成本较低，在高湿度条件下工作良好。但与铜相比，铝的电流容量更低，电阻率更高。铜的耐热特性优于铝。

母线制造商可以查看用于电动汽车/混合动力汽车或其他配电应用母线的最低要求，其中详细说明了成本、选材与性能之间的权衡。当然，对于电动汽车/混合动力汽车配电应用，驾驶员安全是一个额外的问题，在选择母线材料时，应以实现尽量高的可靠性为目标，这不仅是为了满足车辆保修要求，也是为了驾驶员和乘客的安全。

计算导线尺寸对于母线的电气和机械性能尤为重要。载流要求决定了导线的最小宽度和厚度。机械考虑因素包括抗弯强度、安装孔、连接和其他子系统元件。导线宽度应至少是导线厚度的三倍。增加接线片和安装孔会改变导体的横截面积，从而会在母线上产生潜在的热点。要避免产生热点，就须考虑每个接线片或端接的最大电流。

此外，还有一个必须考虑的重要差异是实心母线与柔性母线。对于电动汽车电池领域的应用，使用实心母线（见图 2）。



02 电动汽车电池组内部 (APTIVE_NA 大会演示文稿)

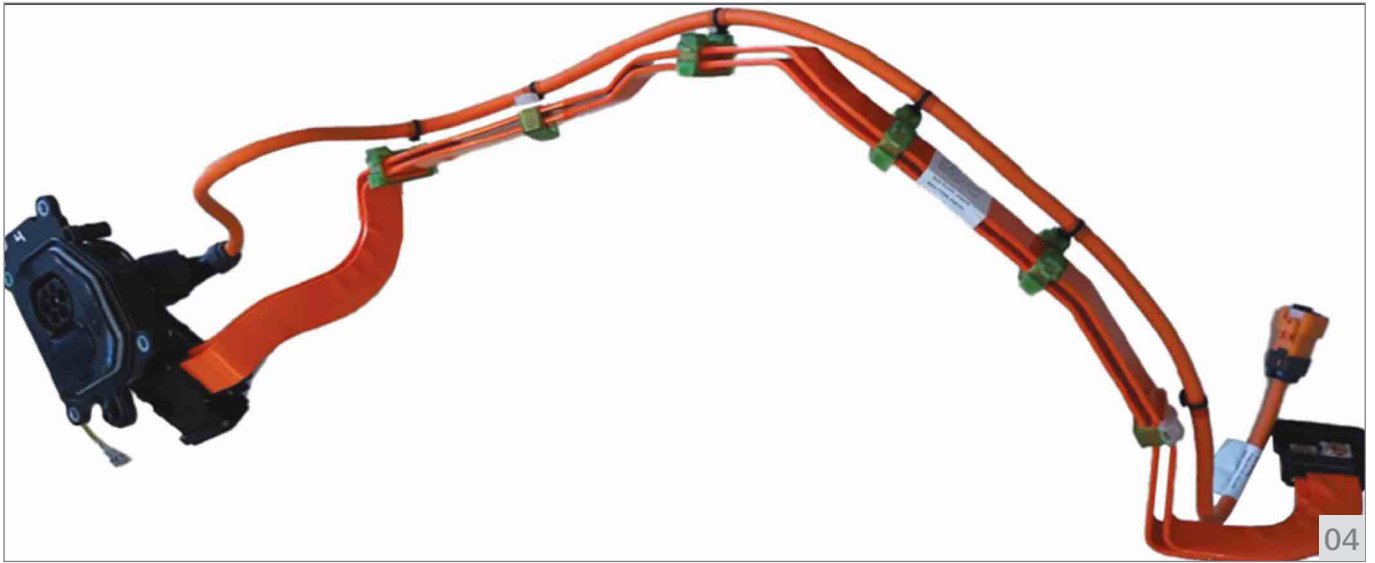
实心母线和柔性母线

当特定区域需要移动以进行组装或应用时，可在较短的区段使用柔性母线。该柔性母线用作电气“跳线”。柔性母线的示例如图 3 所示。柔性母线含有多层薄的铜或铝，用于在交流或直流系统中高效地分配电力。在装配区域焊接铜箔叠层，使端部具有刚性以便连接，而中间部分则保持柔性。需要柔性母线的应用示例如下：

- 电动汽车、混合动力汽车和燃料电池车辆
- 能源和海上领域的开关设备和变压器
- 船舶行业的发电机应用
- 变压器和充电站
- 铁路应用、化工厂和高电压配电方面的开关设备和变电站
- 发电机的电源连接
- 开关柜中的电气连接



03 柔性母线的示例



04

04 带母线的进线线束
(APTIVE_NA 大会演示文稿)

未来汽车母线的应用

电池组外的母线创新将引起人们的高度关注，它将大功率从充电入口输送至电池，再输送至其他大功率电机和设备（见图 4）。所有原始设备制造商和一级供应商越来越关注母线，主要关注高电压应用。

今日，一个电池组大约有 15-20 根母线。对于电池组之外，需要一种自动化的屏蔽过程，但今日还不存在。目前的重点是电池组。随着未来创新提高了母线在电池组外的利用率不断，这些新应用将为超声波焊接带来重大机遇，以提高母线结构中未来连接设计的整体质量。超声波焊接，尤其是扭转焊接技术，可以焊接较大尺寸的焊缝，而且振动轻微，并能焊接不易到达的区域。随着行业的发展，这些性能可将母线进一步应用于电动汽车的电池组外部。图 5 列出了在未来电动汽车应用中如何进行超声波焊接的几个示例。

特斯拉、宝马和福特等公司正在推动母线在电池组外的使用。最近，全球技术公司 APTIV 以约 6 亿美元的价格收购了意大利公司 Intercable，积极寻求利用母线在电池组外进行大功率配电。宝马是其前三大客户之一，显示出强烈追求这种新的配电方式的迹象。在美国和欧洲，还有其他一些公司正在研究带有屏蔽功能的母线。



Welding of 3D Terminal to Bus Bar



Mounting Solution for Electronic Components



Insulated Al Bus Bar & Cable Terminations

05

05 母线超声波焊接
在电动汽车应用中的未来应用

应用于电池组外面临的挑战

- 电池组外的母线需要屏蔽，但目前尚不可用，电池组有一个密封外壳来屏蔽电磁干扰
- 当母线需要在附近弯曲时，会有一个问题：母线可能太硬，或可能在弯曲处损坏
- 螺栓连接过程需要额外零件和特定的扭矩值。对于电池组外的母线应用，可以更换带螺栓孔的母线
- 由于腐蚀，铝母线的螺栓孔需要电镀
- 将连接器端接至实心母线，以便于自动化
- 由于屏蔽，无法完全实现自动化
- 焊接和组装可能需要新的标准和验证

超声波焊接母线的当前应用

超声波焊接技术是一种经过验证的接合工艺，这项技术越来越多地被汽车制造商指定用于电动汽车电缆的端子连接、母线、电池制造和电力电子系统。线性焊接是所有设备制造商使用的更为传统和众所周知的技术，它是焊接绞线的标准工艺。但是，与许多其他接合工艺一样，线性焊接也存在尺寸限制、较小区域和某些几何形状难以焊接、焊接方向以及对外围组件产生振动影响等问题。Telsonic Torsional SONIQTWIST® 和 PowerWheel® 技术为电动汽车连接应用提供前所未有的创新解决方案。使用这些创新技术可以实现许多母线应用相关的连接设计，这是线性焊接所无法实现的。目前，目前已有较小的母线应用使用超声波焊接进行连接。超声波焊接成为众多母线的首选接合工艺，比如高达 160mm² 的柔性扁平母线。

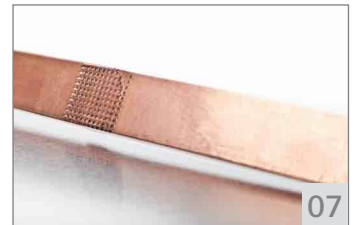
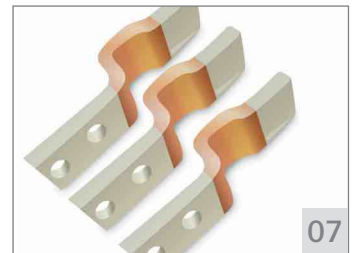
未来，在线束的母线应用方面会出现很多利用超声波焊接的新应用。下面介绍了超声波焊接在母线应用中的一些现有用途。

1. 柔性母线的固化

柔性母线的连接部分必须固化，以将其连接至标准电缆或连接器。在某些情况下，电缆或端子的连接和固化可在一步焊接中完成。根据柔性母线的整体尺寸，超声波金属焊接技术可以说是一种高质量的经济解决方案。使用扭转焊接工艺，可以焊接横截面达 200mm² 的材料。这种焊接技术可以防止连接材料的硬化，硬化可能会使材料变脆并使其性能发生明显变化。此外，利用 TT7 PowerWheel® 等 Telsonic 设备可以实现自动化固化，如图 6 和 7 中的应用所示。



06 TT7-Telsonic PowerWheel®



07 利用 TT7 Telsonic PowerWheel® 将固化的柔性母线和实心母线焊接到实心母线上

2. 将母线焊接至标准电缆

在某些应用中是将母线焊接到橙色电缆上，再将橙色电缆焊接到电流连接器上。图 8 所示为与绞合电缆焊接在一起的短电缆示例。两端焊接短电缆可能会导致焊接质量不一致，因为第一次焊接可能会因第二次焊接产生的振动而变得脆弱。长度小于 500mm 的电缆，USCAR-38 要求进行测试。利用 Telsonic PowerWheel 进行扭转焊接产生的振动很小，研究表明，根据端子的设计，此振动对绞合电缆和柔性母线的影 响甚微（见图 9）。使用扭转焊接法可将较短的电缆与适当的连接器焊接在一起。



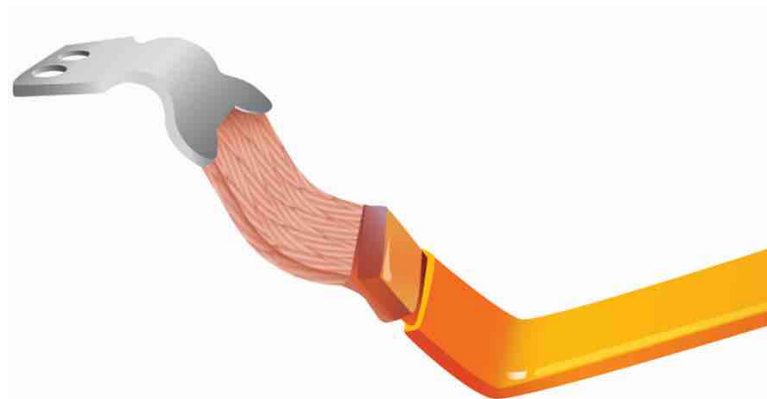
08 两端焊接的短电缆（200mm）



09 焊接到标准电缆上的实心母线（APTIVE_NA 大会演示文稿）

3. 焊接到扁平编织电缆

在有些情况下，制造商使用扁平编织电缆替代橙色电缆。焊接扁平编织电缆并将其自动切割成具有特定长度并且两端焊接的零件（见图 10）。两端有焊缝的编织电缆也称为分流器。使用超声波焊接制造分流器的优点是，在制造分流器并将分流器焊接到母线上时，所需的热量最少（见图 11）。如此可以防止由于电阻焊（另一种可以使用的技术）产生的热量使得股线变脆、异常细的股线产生刻痕。



11 与扁平编织跳线连接的实心母线

11



10



10

10 使用超声波焊接技术固化和焊接的扁平编织电缆

母线扭转焊接的应用和性能

柔性母线箔与铜等材料层压/镀上铜等材料，以防发生氧化问题。实心母线的螺栓孔连接部分必须电镀。对于实心铝母线，其接触点必须采用铜材料。因此，使用铜垫圈并用扭转焊接法与母线连接（见图 12）。这种应用可以使用经过验证的 SONIQTWIST® 技术以及 Telsonic TSP 焊接机（图 13）。

英国汽车制造商捷豹目前利用 SONIQTWIST® 和 PowerWheel® 对配电母线组件进行扭转焊接。该公司使用母线替代铜电缆，以显著降低 F-TYPE 跑车的重量和成本（见图 14）。每根母线将车辆后备箱中的电池电力输送至发动机舱的电气设备。由于铝的相对密度明显低于铜材，铝棒的重量仅为传统铜电缆的 40% 至 60%。仅就电池的连接而言，如此可以减少多达 3 千克的重量。

结论

创新和迅猛增长的电动汽车市场需要全新、正在开发的解决方案来应对未来的挑战。不久，高压母线的使用将取代高压电缆端接的一些当前应用。随着汽车工业朝着在电池组外使用母线的方向发展，在汽车工业对母线线束实行标准化之前，将会出现新的挑战。随着新的应用需要更多创新的焊接解决方案，包括焊接设备制造商在内的各个层面都将面临挑战。但新的工艺和理念将为电动汽车市场的线束提供更高效、更经济的解决方案。扭转焊接已成为业界重要的接合工艺。除了用于电池电缆端接各种连接器的解决方案外，这项技术还提供用于电动汽车重量控制、电池封装、母线、电池制造和电力电子系统的焊接解决方案。应用能力的扩展已经超出了之前的想象。随着产品设计师和工艺工程师不断熟悉扭转焊接工艺及其能力，这项技术将助推电动汽车行业达到更高的高度。原始设备制造商、一级供应商和设备供应商只有建立更加紧密的合作关系才能推动母线的利用。我们将及时了解更多信息，并引入创新理念，但超声波焊接无疑将成为其中的一个解决方案，以实现降低材料成本、减小重量和空间以及减少劳动密集型制造流程的目标。

作者：Saeed Mogadam，Telsonic Solutions LLC 顾问委员会。

本文发表于 2023 年 1 月刊的《Wiring Harness News》杂志。



12



13



14

- 12 Telsonic SONIQTWIST® TSP
- 13 使用 Telsonic 扭转焊接机 SONIQTWIST® 焊接在铝母线上的铜螺母（APTIV_NA 大会演示文稿）
- 14 焊接到母线上的 Leoni 连接螺栓