

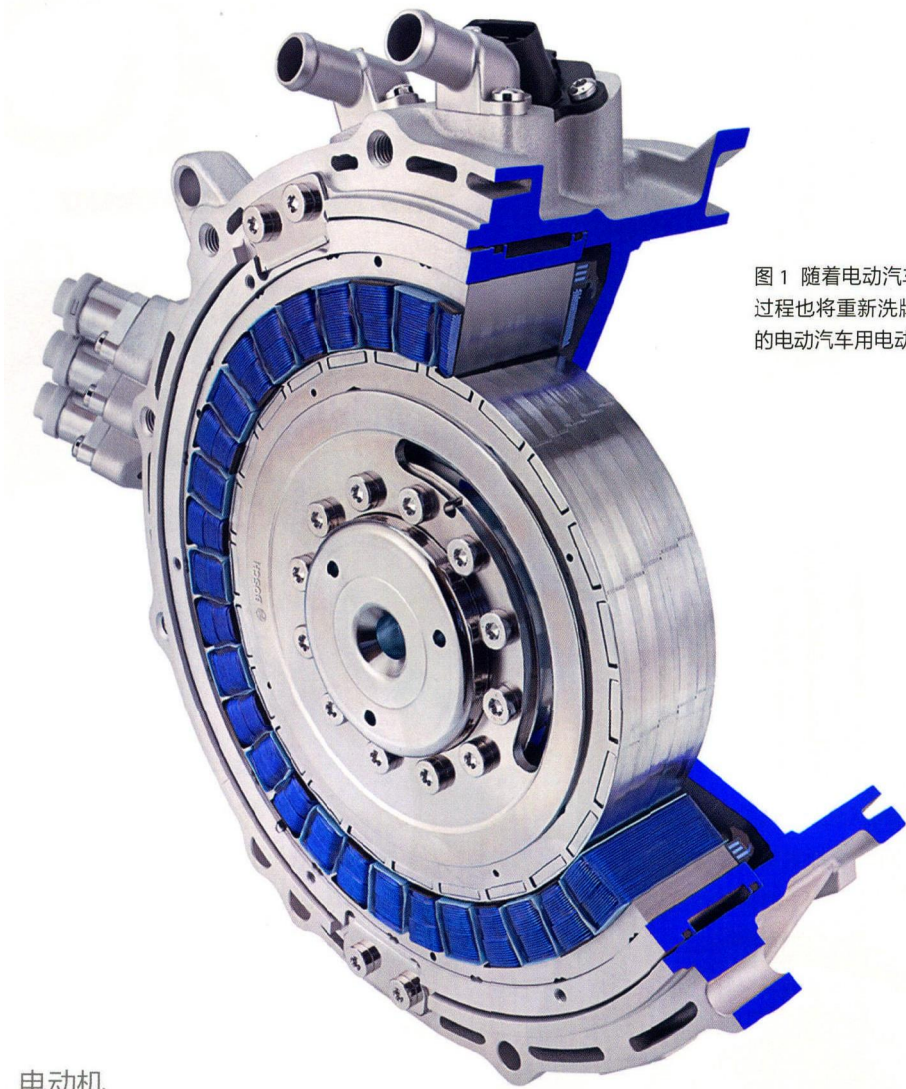


图 1 随着电动汽车产量的加大，电动汽车用电机的生产过程也将重新洗牌，这里需要面对的挑战是：开发经济性的电动汽车用电动机

电动机

# 逐步完善的电机定子

若要使越来越多的电动汽车在公路上奔驰，就要相应的提高电动汽车动力电机的产量，同时还要求很高的经济性。沿着这一方向走出的第一步则是定子组件的切割。

文 | Thomas Stäuble 和 Thomas Weber, SWD 股份公司

电动机的定子铁芯是由一片片硅钢片组成的；这些硅钢片逐层叠加起来，构成了一个定子铁芯。在硅钢片定子铁芯的绕组槽内嵌入的是产生磁场的铜线绕组。在设计电动机时就已经对硅钢片组成的定子铁芯提出了一定的技术要求，但在电动机壳体的结构设计时，也就是在最终安装电机定子的部件设计

时，对硅钢片定子也提出了相关的技术要求。硅钢片的冲裁切割工艺提供了能够更加高效的生产硅钢片定子铁芯的可能性。但为什么需要从这方面来考虑呢？尽管有着这样或者那样的问题，电动汽车市场却仍然在稳步增长。对电动汽车的市场需求一年比一年高，这也相应提

高了电动轿车的年产量。随之而来的是电动汽车的电动机生产发生了变化（图 1）：汽车工业很高的电动机需求量要求电机生产厂家能够按照经济的、产值优化的工艺方法生产电动轿车的驱动电机。这里面临的挑战是：研发拥有高工作效率的高质量电动机，并且能够大批量生产。一方面，高效率对电动轿车的行驶里程有着直接的影响；另一方面，要求无条件的满足汽车工业的高质量标准。

## 电机定子绕组切割技术 提高硅钢片材料的利用率

过去，电动机的转子铁芯和定子铁芯都是利用同一硅钢片带，在复合冲裁模中冲裁而成，然后组装成定子铁芯和转子铁芯。而今天几乎无法再利用这一技术来生产制造电动轿车的电动机。因为，今天电动机转子和定子的硅钢片在强度、可磁化性能和铁磁损方面有着完全不同的生产要求。定子铁芯冲裁后余料的内径尺寸太小，已经不适合再用来生产转子铁芯，而只能被当作废料来处理。

这就带来了材料利用率和材料损耗的问题：随着电动机产量的提高，大量的金属材料被浪费，因此需要回收再利用。今天生产制造定子铁芯最常用的方法就是切割以及单片冲裁工艺。利用这些工艺，电动机的整个定子不再是从一块硅钢片带上冲裁下来的，而是旋转 30° ~ 90°，甚至是按照一个个单独的铁芯片进行冲裁和切割。而这一个个铁芯片在硅钢片带上的排列方式保证了所剩

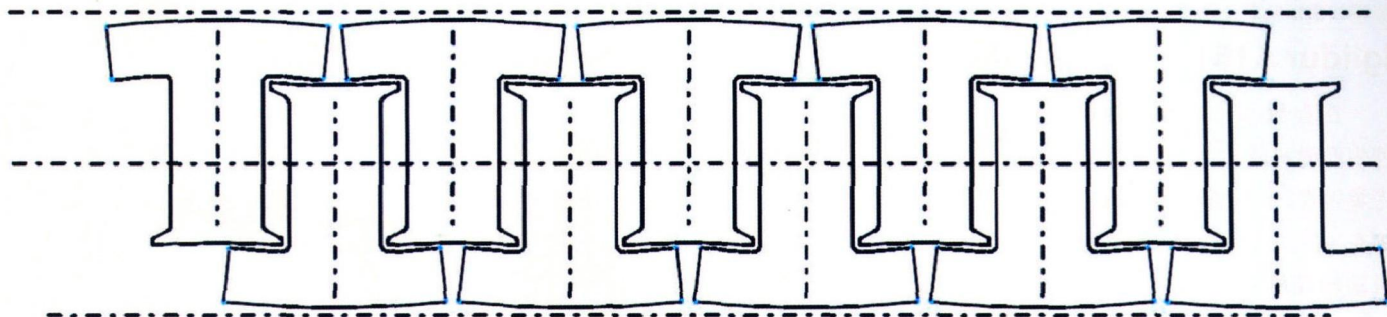


图2 定子铁芯的各个硅钢片都从同一硅钢片带上冲裁时，一组定子铁芯的硅钢片材料消耗与传统复合冲裁工艺相比，每组定子铁芯的耗材从 83 kg 减少到了 19 kg

剩废料最少。这样就可以使材料的利用率，即冲裁、切割而成的铁芯片与边角废料之比达到最大值，明显降低了材料和物流成本。

有这样一个实例：电动机定子直径 290 mm、30 片，硅钢片厚度 0.30 mm，铁芯长度 120 mm 时的重量大约为 16 kg；在传统的复合冲裁技术中带料输送的步距为 298 mm，每生产一个电机定子需要消耗 83 kg 的硅钢片电工钢，此时的材料利用率为 19%。若采用旋转 60° 的切割方式，生产时则每个定子铁芯所需要的电工钢重量为 31 kg，相应的材料利用率为 52%。这一定子铁芯可以利用硅钢片带料按照单片冲裁工艺生产制造，此时所需的硅钢片电工钢只有 19 kg（图 2），相应的材料利用率提高到了 84%。在大批量生产条件下，每年节约的金属材料重量可达数百吨之多。硅钢片电工钢轧制的纹理方向始终保持不变，对电机定子的磁化性能有着积极的影响。而单片冲裁所使用的冲裁模具是小型的、多冲裁料道的整体模具，能够设计制造的非常坚固耐用，实现了经济的生产制造。

在将一片片冲裁下来的硅钢片单片组装成电机定子的过程中，建议采用圆点连接技术或者自粘技术。采用圆点连接技术时，每一片硅钢片都有冲压凹点，整个电机定子铁芯组件就是依靠这些冲压而成的圆点连接在一起，在硅钢片之间形成了机械连接。今天，有着独特优缺点的圆点连接技术在电机定子生产过

程中得到了广泛应用。

对于切割而成和单独冲裁的定子片建议采用自粘技术。硅钢片电工钢自粘时所使用的自粘漆涂层只有微米厚。通过受控的自粘漆烘干工艺过程，在一定的压力、时间和温度的作用下，自粘漆可以把叠加在一起的硅钢片粘结为一个整体。这样就可以在硅钢铁芯片间形成具有很高强度和无短路的硅钢片连接。连接后保证了铁芯的可磁化性能，对提高电机效率有着积极的帮助和意义。

生产出来的定子铁芯不会出现回弹剥离，也不会有油侵入到硅钢片之间。这样的硅钢片铁芯满足了电动汽车技术的最高要求。利用自粘工艺可以生产制造出具有最高精度和最高强度的定子铁芯（图 3）。遗憾的是，今天常常会对由不同的技术要求所带来的定子绕组和转子绕组设计的复杂性估计不足。

只有在早期就考虑到各方面的要求才能最终得到满足使用要求、实现成本费用、质量和效率指标达到最佳化的电动汽车电动机。这里会涉及到有关温度范围、热膨胀、公差、电机机体中的配合尺寸、强度、离心力和力矩储备等机械类相关的问题。其他问题，例如可磁化性能、硅钢片质量和厚度等也都需要加以说明；包括质量、成本费用、原材料利用率和物流等。在所有的生产工艺参数中，材料利用率和绕组短路以及它们对整个定子部件的影响也有着非常重要的作用和意义。

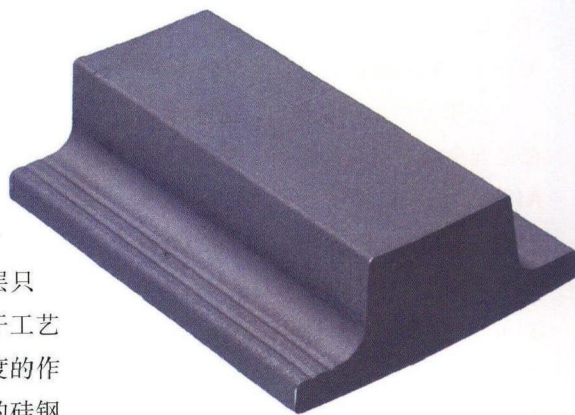


图3 利用 Backlack 硅钢可以生产制造出有着最高强度和几乎没有磁损的铁芯

## 定子铁芯大批量生产的工艺验证

今天，已经能够很好的掌握大批量生产过程中使用自粘技术生产硅钢片铁芯的工艺了。这其中包括自粘漆的粘结能力、粘结剂成分、自粘漆的排出和公差尺寸的掌控。通过选择合适的几何尺寸、形状和自粘模具能够可靠的保证规定的制造公差。所完成的自粘工艺大批量生产过程已经证明：在正确的专业知识的前提下，可以经济的实现大批量的自粘工艺产品生产。

在电动汽车市场不断扩大的时代中，铁芯切割技术是一项非常重要的生产技术。除了众所周知的高材料利用率这一优点之外，在铁芯的可磁化性能和机械性能方面也有着许多的额外优势。通过把电动机定子铁芯和转子铁芯分开、用两块带材生产制造的切割技术可以带来许多的益处。它可以按照实际情况对整个电机部件进行优化，这在大批量生产实践中多次得到了验证。MM