



贵金属和铜——碳结构换向系统的对比

作为有刷电机的一个关键部件，换向系统直接影响到电机的性能和寿命。目前普遍应用的换向系统大致分两类：一是电刷和换向器均采用金或银等贵金属的合金，二是电刷采用石墨、换向器采用金属铜，也就是所谓的铜——碳结构。

由于铜和石墨均有优良的耐磨性、铜具有良好的导电性、石墨具有优异的抗氧化性，所以这种结构的系统寿命往往较长，尤其在负载较大的情况下，其优势更加明显。

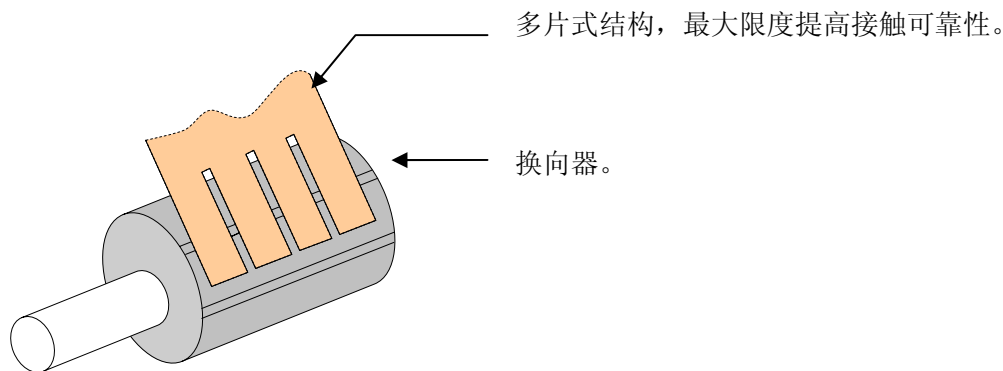
当然它也存在缺陷：

- 1、 毕竟石墨属于非金属，其导电性能较差，对于小电机，本身电流较弱，系统电阻较大将直接影响电机的效率；
- 2、 石墨延展性和弹性不足、材质发脆，不容易对其进行非常精巧的加工，因此在小电机上应用比较困难；

而以上两点正是贵金属材料的优势所在：导电性能、延展性和弹性俱佳且易于加工，但抗氧化性和耐磨性则较次，另外，在大电机上应用贵金属，还会增加产品成本。

因次，大电机上一般采用铜——碳结构，而小电机则采用贵金属。具体地说，FAULHABER 最新样本所列出的有刷电机中，直径大于等于 23mm 的，全部采用了铜——碳结构换向系统，而直径小于等于 22mm 的，则几乎全部采用贵金属材料换向系统（只有 1331 和 1727 系列例外。这两个系列特为重载运行进行了多种优化设计，包括采用铜——碳结构换向系统，其价格比较昂贵）。

为了改善贵金属换向系统的性能，FAULHABER 采用了多种特殊方法和技术，例如分段合金制造（不同部位的合金成分不同，根据需要来强化导电性和耐磨性、抗氧化性）和灭弧技术（对于名义电压较高的电机，例如 24V，运行时更容易产生电火花，该技术可以有效减灭电火花）等，下图是贵金属换向系统示意图：



但是由于磨损较大，贵金属换向系统的寿命通常只有铜——碳结构的 1/3。对于使用电压较高、工作电流较大的电机，其可能产生的电火花还将大大加剧电刷和换向器的氧化，所以这类电机均采用铜——碳结构换向系统。

综上所述，铜——碳结构总体上性能优于贵金属。但考虑到加工难度和接触电阻等问题，FAULHABER 的小电机（直径不超过 22mm）通常使用的是贵金属换向系统。

对于运行时需要频繁启停和改变转向（类似摆动）、经常在一圈以内转动等特殊工况，无论是铜——碳结构还是贵金属换向系统，均不建议采用，此时应考虑使用无刷电机。