



**FAG**

added  
competence

## 世界上性能最优的转台轴承

加倍的转台转速

**SCHAEFFLER GROUP**  
INDUSTRIAL

## 世界上性能最优的转台轴承



图 1: 推力角接触转台球轴承 ZKLDF 和力矩电机 RKI

由于紧凑的转台轴承支撑，舍弗勒工业集团改善了双列推力角接触球轴承 ZKLDF 内部结构，改进后的轴承极限转速是原来极限转速的两倍。与此同时，在摩擦力矩降低的同时轴承的精度和刚度并未降低。尤其配套使用来自 IDAM，转速显著提升的扭矩电机 RKI 后，之前在车、铣床上不能使用标准组件的情况有所扭转。

### 更高转速，更低摩擦

加工中心持续的改善，需要布置的轴承特性也有相应的提高。机床转台通常装备额外的主轴功能以备车削。转台轴承必须满足机床旋转运动中对速度、摩擦力矩、刚度和精度的要求。在这里，极限转速尤其重要。这决定了理想切削速度下最小切削直径，图 2。

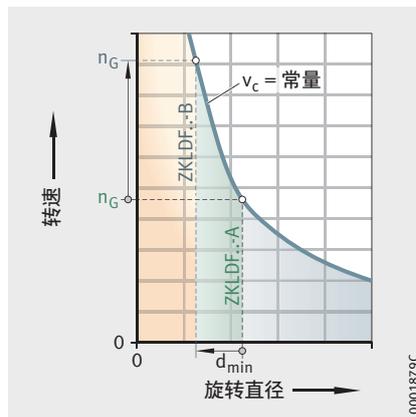


图 2: 通过增加的极限转速 ZKLDF..-B，扩大切削直径范围。

就机床的作业能力而言，如下所示：最大化的生产效率，优良的表面质量，更小的加工直径。

在轴承布置中，减小在维护或改良过程中对摩擦的影响很重要，如承载能力的增加和刚度的提高。

新一代内部结构优化的 B 型 ZKLDF 系列轴承成功展示了舍弗勒工业集团在所有轴承中加倍轴承极限转速  $n_G$  中取得的成功。例如，ZKLDF325 系列轴承之前的 A 版本中的极限转速是  $1000 \text{ min}^{-1}$  在 B 版本中增加到  $2000 \text{ min}^{-1}$ ，图 3。

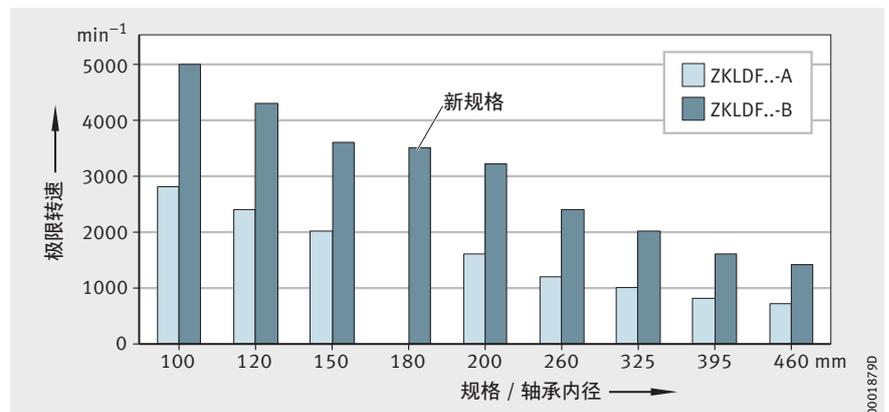


图 3: ZKLDF..-B 提高极限转速

### 显著降低摩擦力和发热

为了提高极限转速，在不减小轴承刚度的情况下，轴承的摩擦力矩显著降低，图 6。例如，在任意的工作点上，在转速在  $1000 \text{ min}^{-1}$  没有外部载荷的情况下，325 规格的轴承摩擦力矩从 3,8 Nm 降低到 1,3 Nm。几乎降低了原来摩擦力的三分之一，这不但能提高轴承的转速，而且还可以减少因为摩擦而导致的轴承温升。轴承温度越低，机床因为热感应而导致的结构变形就越小。这样，机床的精度就越高。

实际情况如下：即使在  $2000 \text{ min}^{-1}$  的转速下，325 规格的轴承平均摩擦力矩大约 3 Nm，内外套圈的热平衡温度仅仅比环境温度高 20 K，图 7。

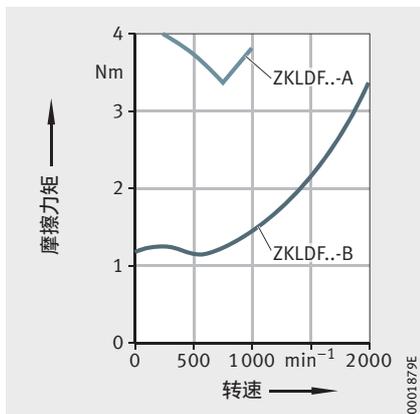


图 6: 在不影响刚度的情况下，降低摩擦力矩

### 扩展的再润滑选择

作为 B 版本革新的一部分，轴承的设计进一步优化。为了进一步扩展再润滑附件，新一代 B 版本轴承不但在轴承外圈有润滑沟槽，而且在轴承轴向安装面上还有润滑管道。

润滑脂的供给并不受轴承径向支座设计的影响，图 4 和图 5。

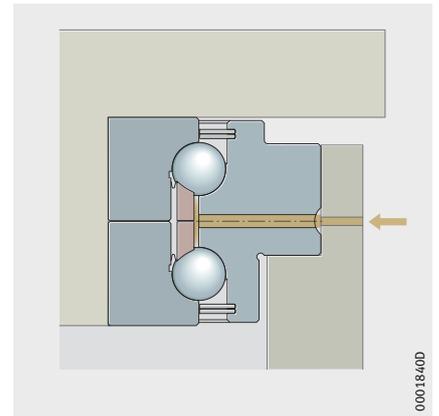


图 4: 通过外圈润滑沟槽润滑

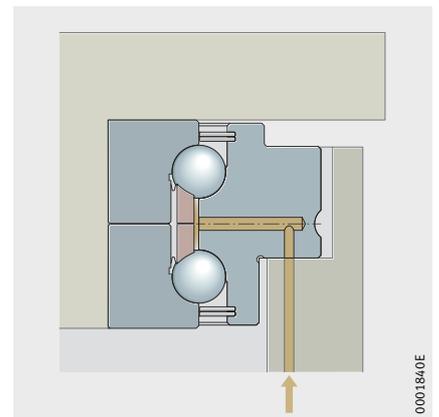


图 5: 通过外圈轴向安装面润滑

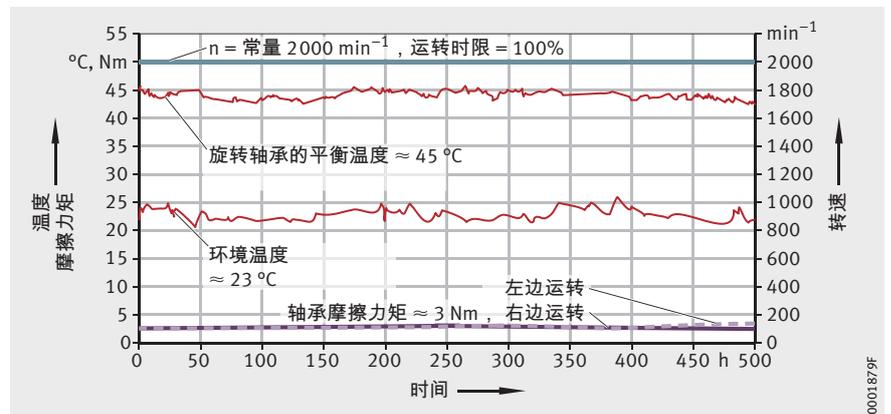


图 7: 降低的轴承摩擦，在长期运转下最小的发热

## 高性能 RKI 系列力矩电机直驱转台

来自 IDAM 的新型高性能力矩电机 RKI 提供了杰出的之前无法达到的优越的动态性能，图 8。



图 8: RKI 系列直驱电机

相较于 RI 系列，RKI 系列力矩电机转速增加 400%，扭矩增加近 30%，因此 RKI 力矩电机备受机床领域的青睐。

精简是另一个令人信服的地方。相同的动力等级，电机尺寸可以调整，电机和变频器成本降低。

## RKI 系列力矩电机的设计

新型 RKI 直驱力矩电机相较于标准的 RI 系列力矩电机转子表面没有贴付永磁铁。RKI 系列力矩电机转子由一系列镶嵌大量的磁铁的铁片组成。这种磁场系统可以形容为打包的磁通量。这种嵌入式结构的磁通量几乎比表面磁铁的磁通量高出 30% 左右。从公式  $F = B \cdot l \cdot I$  可以清楚的看得出，30% 磁通量的增加可以直接导致 30% 磁力增加。前提是，假设电流力  $I$  和线圈长度不变。

同时也可以看出，只需要简单的更换转子就可以增加力矩电机（定子和转子）30% 的力矩。增加的 30% 力矩对整个系统反电压常数和速度调整有一定影响。

无论什么时候磁场穿过线圈，都会使线圈的电压下降。

电压下降的数量取决于转子磁铁的速度。

速度越快，或者说磁场变换速度越快，电压下降越大。这就产生一个问题，当有很高的反电动势产生时，想要保证电机的电流就很难。这种情况下，在轴不能测量之前，会有剧烈的振动。

这种现象出现的时间主要取决于两个值：变频器电路直流母线电压和电机感应系数（反电动势常数）。普通变频器允许的最大电路母线电压规定在 540 V 和 600 V 之间。

这意味着，改变马达的转速的唯一办法就是调整线圈。线圈厚度的增加会减小电机感应系数。感应系数的减小通过增加马达安培数来补偿。如果感应系数减半，相应地，电流数需要加倍。

## 转矩，载荷频率和闭合力

每一种系统都有一定的线圈设计电流。例如，设计原则是 1 安培电流不能通过导体横截面面积  $1 \text{ mm}^2$  的 50 圈线圈，2 安培的电流不能通过导体横截面面积  $2 \text{ mm}^2$  的 25 圈线圈。马达的设计原则也是一样的。

同样标准的 WL 线圈配置的 RKI 和 RI 电机比较中，可以很直观的看到，RKI 设计的转速相较于 RI 要低，图 9。

在新型 RKI 大电流线圈 Zx 设计中，力矩和转速都有了很明显的提高。

通过线圈的调整，机械动力增加五倍。

在设定的扭矩下，对效率和温升导致的能耗上的关注也给予了明显的改进。

根据马达常数可以有一个直接比较。

马达常数  $k_m$  ( $\text{Nm}/\text{W}^{1/2}$ ) 表示在一定的力矩下马达产生的热量。热功损耗可以用公式  $P_v = (M/k_m)^2$  计算，从公式不难看出，如果  $k_m$  减半热功损耗就会变为原来的四倍。从 RI 系列和 RKI 系列的比较表明在同样的力矩下，可以降低 60% 的热功损耗。最终，温升减小，对冷却系统的要求也就降低了。这也导致了运行成本的降低 (TCO)。

## 应用

具备以上优点，RKI 系列可以应用于低速或高速转台或大功率主轴。因为力矩的增加，不管是精简还是应用升级都可以避免从根本上改变设计。

## 转速最快的转台

通过采用 B 版本的推力角接触球轴承 ZKLDF 和 RKI 电机，标准配置的转台能够达到之前根本不能达到的优良性能。

通过这种组合，该产品极大的提高了机床的生产效率。

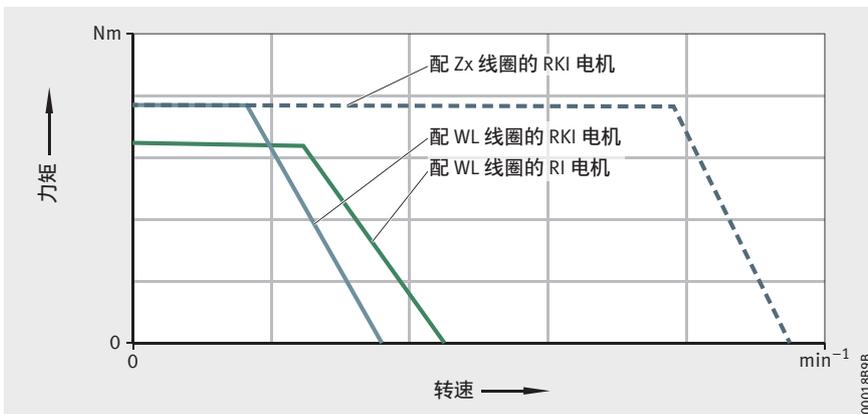


图 9: 不同线圈下 RI 和 RKI 系列电机的比较



**联系人**

程润

+86 (21) 3957 6143

run.cheng@schaeffler.com

**舍弗勒贸易 (上海) 有限公司**

上海市嘉定区安亭镇安拓路 1 号

201804

[www.schaeffler.cn](http://www.schaeffler.cn)