

# 永磁半直驱驱动系统在密炼机中的应用

秦恩臣，夏连昌，康鹏志，崔浩森

(益阳橡胶塑料机械集团有限公司，湖南 益阳 413000)

**摘要：**近年来，随着大型轮胎和输送带客户对于炼胶产能增大和国家环保政策要求的提高，为了进一步降低密炼机的能耗，采用永磁半直驱驱动系统替代传统三相异步电机加三级或三级以上传动结构的减速机驱动系统，已成大的趋势。本文通过理论计算和实际数据对比，验证了新驱动系统的节能效果和可行性。

**关键词：**密炼机；永磁半直驱；节能；高效率

**中图分类号：**TQ330.43

**文献标识码：**B

**文章编号：**1009-797X(2025)04-0025-04

**DOI:**10.13520/j.cnki.rpte.2025.04.006

密炼机是橡胶行业中的关键设备，它在炼制生产过程中发挥着不可或缺的作用。它通过添加填料、促进剂等胶料，使之充分分散并形成均匀混炼胶，这对制造高质量的橡胶产品至关重要。同时，密炼机的能耗占据了橡胶企业总能耗的40%~50%，这使得密炼机成为了橡胶企业中最高耗能的设备。因此，优化密炼机的能效和降低其能耗，不仅可以为企业节省大量的能源成本，还有助于减少对环境的影响，符合现代社会对可持续发展的追求。

密炼机绝大部分功耗在其主驱动系统上，主要由主电机驱动器、电机和减速机组成，驱动系统的结构决定了密炼机的生产能力和能耗水平，为了进一步降低密炼机的能耗，需要对密炼机驱动系统进行优化改进。

近年来，为了能够实现更好的节能，并得到更好的炼胶效果，各个厂家针对驱动器和电机进行了多次优化，由早期的直流驱动系统到交流高压变频系统，再到最新的永磁同步驱动系统。通过更换效率更高的电机，利用其优异的机械特性来实现整体驱动系统的节能。经过这么多年的发展，大家逐渐认识到，仅仅只是对电机的优化改进已经很难使得节能效果在本质上产生更进一步的提高，大家就慢慢把目光看向整个驱动系统，使得低转速、大转矩的永磁半直驱驱动系统逐渐得到越来越多设备厂家和使用客户的关注。

换速驱动结构再到无极调速驱动结构的发展过程。这一变化主要是为了更好地满足客户对炼胶工艺和质量的严格要求。随着用户对炼胶质量要求的提高，他们需要在炼胶过程中进行多次转速调整以确保最佳效果。因此，无极调速驱动系统由于其灵活性和精确性受到了用户的广泛关注，并成为了密炼机的主流配置<sup>[1]</sup>。

无极调速驱动系统因其电机类型不同，可分为直流电机驱动、变频电机驱动和永磁同步电机驱动，该系统主要由主机驱动器、不同类型的电机和三级或三级传动以上减速机组成，为了满足炼胶所需的能量，现有的无极调速驱动系统（图1）要满足以下几个关键要求：

- (1) 电机的功率范围为250~3 000 kW。
- (2) 减速机输出转速为4~60 r/min。
- (3) 减速机具有双轴输出功能。
- (4) 电机必须具备带载启动特性，过载扭矩倍数1.5倍以上。
- (5) 电机的冷却方式可选择强风冷、空水冷、直水冷。
- (6) 大功率电机所连接的减速机必须采用稀油站冷却液压油。为了满足炼胶工艺的需求，电机的转速通常较高，导致减速机整体结构较大，占地面积也相应增加。例如，GN300密炼机的主机+电机+减速机

## 1 传统驱动系统

密炼机的驱动系统经历了从定速驱动结构到多挡

作者简介：秦恩臣（1993-），男，工学学士，工程师，主要从事炼胶设备密炼机等的设计工作。

总面积约为 8 100 mm×4 200 mm。

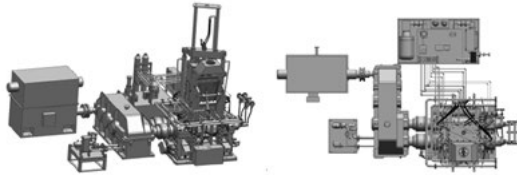


图 1 传统无极调速驱动系统密炼机

直流电机驱动系统在 2010 年以前为密炼机的标准配置，其能很好的满足密炼机的炼胶效果，有成本低、操作简单和控制精度高等优点。然而，直流电机驱动系统也存在一些缺点。首先，它的效率相对较低，特别是在轻负载时效率更低，导致能耗较高。其次，由于工作环境含有大量炭黑，故障率较高，碳刷需要经常维护和更换。此外，由于电网电源和直流装置的电源不同，用户还需要自行配备变压器，进一步增加了维护成本。

交流变频电机驱动系统因其高效率、易操作性和高精度控制而备受青睐。此类驱动系统不仅具备强大的驱动功率，而且基本免维护，能够满足各种工艺要求。相较于直流电机驱动系统，交流变频电机已经逐步取代了后者，成为工业应用中的首选。交流变频电机驱动系统的一大优势在于其可以直接连接到供电电网，无需配备专用变压器，从而节省了额外的设备成本。由于其较高的功率因数，相关设备的发热量也较低，这进一步提高了设备的效率。与直流电机相比，交流变频电机的节能效果更加显著，且由于没有碳刷，维护成本更低。然而，交流变频电机存在励磁电流的产生，导致效率有所损耗。为了进一步提高节能效果，永磁同步转子电机在近几年受到了更多的关注和研究。

永磁同步电机驱动系统因其独特的特性和优势，成为了密炼机等设备的理想选择。与其他类型电机驱动系统相比，永磁同步电机驱动系统具有以下显著优点：

(1) 高效节能：由于转子磁场由永磁体产生，无需另接励磁电源，因此无转子铜耗。同时，极小的空载电流能满足密炼机的需求，因而永磁同步电动机空载到额定负载全区间内，电动机效率都保持在较高的水平，如图 2 所示趋势图，永磁同步电动机在 20%~120% 负荷范围内效率高于 90%，而异步电机只有在特定的负荷区域效率高。这种高效率的特点使得永磁同步电机更加节能，能够为企业带来显著的节能效益。

(2) 稳定性好：由于转子磁场的稳定性，永磁同步电机的运行更加平稳可靠，减少了故障率和维护成本。

(3) 适应性强：永磁同步电机可以适应各种负载条件和环境变化，能够提供稳定的输出功率和扭矩。

(4) 环保节能：永磁同步电机的高效性能和低能耗特点，符合现代工业对环保节能的要求。

综上所述，永磁同步电机驱动系统在密炼机等设备中具有广泛的应用前景，能够为企业带来显著的经济效益和社会效益<sup>[2]</sup>。

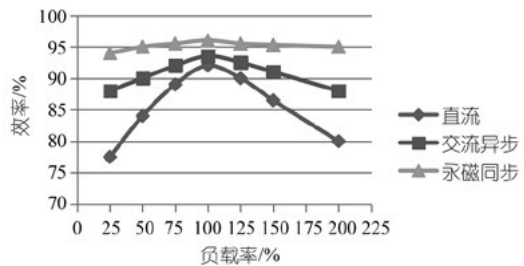


图 2 效率趋势对比

## 2 永磁半直驱驱动系统

对于传统的驱动系统，三级或三级以上传动结构的减速机是不可缺少的，但是每增加一级减速都会导致传动效率降低，进而提高了系统的实际功耗，并且因其结构，此系统还有以下几个不足之处：

(1) 工作负载波动大，电机效率低 + 三级或三级以上传动结构的减速机传动损耗大、传动链长，导致整个驱动系统的效率低。

(2) 减速机高速输入端故障率高，发热量大，故障率约占减速机 80%。

(3) 高输入转速、运行振动大、噪音大等因素导致工作环境恶劣。

(4) 减速机润滑油需要频繁更换，增加了维护成本。为了解决这些问题，需要采用更先进的技术来改进驱动系统。

针对以上问题，提出了新的高效节能的工业驱动解决方案—永磁半直驱驱动系统。永磁半直驱驱动系统是采用低转速、大扭矩的永磁同步电机加一级减速的行星轮减速器组成，相较于传统驱动系统有以下两个明显优势：

(1) 占地面积小：以 GN300 密炼机为例，密炼机主机 + 电机 + 减速机共占地面积大概为 7 300 mm×2 400 mm 大小，与传统驱动结构对比面积减小约

40%。

(2) 能效高：永磁电机转子无励磁损耗，电机效率高达 95%，行星轮减速器有重量轻、体积小、传动级数少，齿轮传动效率 98%，变频器效率 97%，计算的出永磁半直驱驱动系统效率有 90%。而传统驱动系统，异步电机效率只有 85%，减速机传动级数高，效率只有 93% 左右，其他辅助设备 95%，计算得出系统效率为 75%。

对比可知，永磁半直驱驱动系统明显具有更高的效率和更优化的性能，也为工业生产带来了更多的可能性<sup>[3]</sup>。

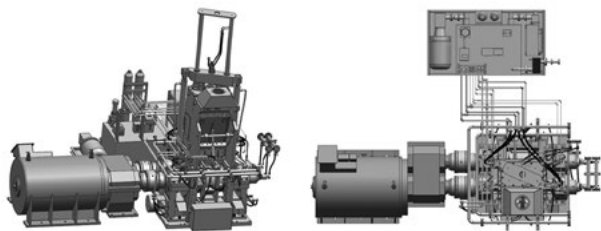


图 3 永磁半直驱驱动系统密炼机

另以 GK400N 密炼机为例，用 2 500 kW 交流异步电机 + 减速机三级驱动系统与 2500kW 的永磁半直驱驱动系统的损耗参数做对比见表 1、表 2，其中整个驱动系统主要有电机损耗和减速机损耗两部分。假设设备每台使用 24 h，每年使用 330 天，电费 0.7 元 / 度，电机平均功耗为 800 度电。

表 1 电机损耗对比

交流电机 + 减速机		永磁半直驱系统	
电机效率	89%	电机效率	94%
平均功耗 / 度	800	平均功耗	800
实际损耗 / 度	98.88	实际损耗	51.06

表 2 减速机损耗对比

交流电机 + 减速机		永磁半直驱系统	
三级传动	94%	一级传动	98%
损耗计算 / 度	51.06	损耗计算	16.33
减速机润滑 / 度	7.5	减速机润滑	0
损耗量 / 度	58.56	损耗量	16.33

综上可计算得出，永磁半直驱驱动系统比交流异步电机 + 减速机三级驱动系统每小时损耗节省 90.05 度电，每年节约电费 = 90.05 度 × 24 h / 天 × 330 天 × 0.7 元 / 度 = 501 732 元。除了电费节省外，还有维保费用的减少，进一步为企业降低运营成本。

### 3 应用案例

益阳橡机已于 21 年在山东某客户成功改造一台 1 250 kW 电机的密炼机，其中永磁半直驱电机为 1 250 kW，

最大转速 200 r/min，转矩 60 290 N.m，换之前为交流异步电机 1 250 kW，最大转速 1 000 r/min，转矩 11 940 N.m，通过间隔 3 个月的两次分别为 5 天和 3 天的实际数据采集对比，见表 3、表 4。

表 3 第一次 5 天的数据对比

	高压变频电机 + 减速机	永磁半直驱
总车数	1 573	1 581
总胶重 / 吨	325.5	325.8
总用电量 / 度	21 840	19 600
吨胶电量 / 度	67.1	60.16

以表 3 计算可知每吨胶料节约电量约 7 度。

表 4 第二次 3 天的数据对比

	高压变频电机 + 减速机	永磁半直驱
总车数	600	600
总胶重 / t	120.524	120.551
总用电量 / 度	7 960	7 080
吨胶电量 / 度	66.04	58.73

由表 4 可知运行平稳，每吨胶料节约电量约 7 度，若按每天生产 150 t 胶，一年工作 330 天，电价每度 0.7 元计算，主电机节约电费：7 × 150 × 330 × 0.7 = 242 550 元，再加上省去润滑油站和更换润滑油，电机、减速机维保的费用，每年可节省 30 万左右。

### 4 结语

密炼机作为耗能最大的炼胶设备，其驱动系统的能效提升至关重要。近年来材料和人力成本上涨，国家对节能降耗的重视程度提高，使得密炼机驱动系统的优化更加紧迫。永磁半直驱驱动方案就具有了十分现实的积极意义。

永磁半直驱驱动密炼机的电机与减速机为一体式，降低了调试难度，并且占地面积较于传统驱动系统密炼机小，方便旧产品的改造和新产品的安装。本文通过计算和实际使用数据证明了永磁半直驱驱动系统使用的可行性和节能效果，综合节能效果能达到 14% 左右，不仅解决了当前的能耗难题，还为企业创造了经济效益，是未来发展的方向，能为橡胶行业的整体进步做出积极贡献，有助于推动整个橡胶行业的可持续发展。

#### 参考文献：

- [1] 韩邦阁, 张津. 密炼机的永磁同步电动机驱动. “赛轮金宇杯”第十九届中国轮胎技术研讨会论文集, 2016.
- [2] 王俊, 杨小林, 杨义志, 等. 永磁同步驱动在密炼机上的应用. 橡塑技术与装备, 2022,(12).
- [3] 毕志军. 永磁半直驱传动系统的性能试验与仿真分析. 机械管理开发, 2022,(06).

