

# 研究轮毂与中置电机技术路线对电动滑板车性能的影响 及选型策略

仲历雄

杭州杭派电动车业有限公司 浙江 杭州 313200

**【摘要】**：轮毂电机与中置电机是电动滑板车两大主流动力技术路线，二者在结构集成度、簧下质量分配、散热条件及整车操控特性方面存在本质差异。本研究基于电机学与车辆动力学理论，对比分析两种技术路线对启动加速性能、爬坡能力、续航里程、平顺性及可维护性的影响机制。构建包含动力性能、经济性、舒适性与成本的多维评价指标体系，建立基于层次分析法的选型决策模型。理论分析表明，轮毂电机在城市平路通勤场景下具有成本与空间优势，中置电机在坡道复杂路况下综合性能提升约百分之二十五至三十五。研究结果为电动滑板车制造企业根据产品定位选择电机技术路线提供定量决策依据。

**【关键词】**：电动滑板车；轮毂电机；中置电机；性能影响；动力性能对比

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.071

## 1 引言

电动滑板车作为一种轻便灵活的个人移动工具，在短途出行市场呈现快速增长态势。动力系统是电动滑板车的核心部件，直接决定了车辆的加速能力、续航水平、操控品质以及使用成本。目前市场上主流的电动滑板车动力方案分为轮毂电机与中置电机两大技术路线。轮毂电机将电机集成于车轮内部，省去了减速机构和传动链条，结构紧凑且传动效率较高；中置电机安装于车架中部，通过链条或皮带将动力传递至后轮，可充分利用变速系统优化电机工作点。两种方案各有优劣，不同产品定位和用户场景对电机类型的需求存在显著差异。

然而，行业内对两种技术路线的性能对比多停留在经验层面，缺乏系统的理论分析和量化比较。部分制造商在选型时存在盲目跟风现象，高端车型一味采用中置电机而忽略了轮毂电机的成本优势，低端车型简单使用轮毂电机却未评估坡道性能不足带来的用户体验问题。本研究从电机工作原理和车辆动力学出发，系统分析两种技术路线对电动滑板车各项性能指标的影响，构建科学的选型决策模型，为企业产品开发提供技术经济性论证框架。

## 2 轮毂电机与中置电机的技术原理与结构特征

### 2.1 轮毂电机的结构集成与工作特性

轮毂电机将电机转子直接与车轮轮辋固定，定子安装在车轴或轮毂支架上，通电后转子带动车轮旋转，省去了中间传动环节。根据转子类型可分为外转子式和内转子式两种，外转子式转速较低扭矩较大，更适合直接驱动车轮。轮毂电机的突出优势在于高度集成化，电机占据车轮内部空间，整车外形简洁，重心较低。由于无需减速器、链条及张紧机构，传动系统零部件数量少，装配工序简化，制造成本较低。轮毂电机的转速与车速直接对应，额定转速通常设计为每分钟三百至五百转，对应车速约每小时二十至三十公里。这种低转速大扭矩特性使电

机在启动阶段可获得较大转矩，但受限于轮毂内有限的空间，磁钢尺寸和绕组匝数受到约束，电机峰值功率和过载能力相对有限。散热条件也是轮毂电机的固有短板，电机完全封闭在轮胎内部，自然对流散热效果差，长时间爬坡或重载工况下容易过热导致磁钢退磁或绕组绝缘老化。

### 2.2 中置电机的传动布局与系统特征

中置电机安装在车架中部踏板下方或车架管之间，其输出轴通过减速箱与链条或皮带驱动后轮。电机与后轮之间存在固定或可变的减速比，通常减速比在五比一至十二比一之间。中置电机的高转速特性使电机本体可设计得更紧凑，相同功率下电机体积和重量仅为轮毂电机的百分之六十至七十。由于布置在车架中部，电机热量可通过车架传导并利用骑行时迎面气流散热，热管理条件明显优于轮毂电机。

更为重要的是，中置电机与后轮之间可以接入变速系统。当电动滑板车配备变速器时，电机可始终工作在高效转速区间，无论平路还是坡道都能维持较高效率。中置电机的缺点在于传动系统增加了链条、链轮、张紧器以及相应的轴承和密封件，零部件数量多，装配精度要求高，整车成本上升约百分之二十至四十。从系统集成角度，轮毂电机属于直接驱动方案，动力系统与行走系统高度耦合；中置电机属于分离驱动方案，动力单元与车轮可独立优化，这种本质差异衍生出簧下质量、转动惯量、悬挂响应等多方面的区别。

## 3 两种技术路线对电动滑板车核心性能的影响分析

### 3.1 动力性能与操控稳定性的对比

启动加速阶段，轮毂电机的低转速大扭矩特性具有天然优势，无需经过减速机构，电机的力矩直接作用于地面。在平坦路面，轮毂电机方案的零至每小时二十公里加速时间通常比同功率中置电机方案快百分之十五至二十。然而中置电机通过减速箱增大了输出扭矩，在爬坡场景下优势明显。以百分之十五

坡度的长坡为例，中置电机可以利用较低的转速输出更高扭矩，持续爬坡速度可维持在每小时十五公里以上，而轮毂电机由于散热不足和过载能力限制，连续爬坡三分钟后速度可能降至每小时十公里以下，并触发过热保护。

电机效率与工作点密切相关，轮毂电机在额定转速附近效率可达百分之八十五至九十，但在低速大扭矩工况下效率急剧下降。中置电机通过减速比调节，可使电机在大部分工况下运行于高效区，综合效率较轮毂电机高出约五至八个百分点。操控稳定性方面，簧下质量是关键参数。轮毂电机方案使单个车轮簧下质量增加二至四公斤，路面激励下轮胎接地载荷波动增大，高速过弯时抓地力稳定性下降。中置电机将质量集中到车架，悬挂系统能更有效过滤路面振动，车轮转动惯量较小，转向轻便性和路感反馈更优。

### 3.2 续航经济性、散热可靠性与维护成本的对比

能耗经济性方面，轮毂电机传动效率高，在匀速平路行驶时电能消耗最低，但实际道路存在频繁启停和坡度，其平均效率向低效区偏移。根据城市路况循环测试，中置电机车型的百公里电耗较轮毂电机车型低约百分之五至十，考虑到传动系统机械损耗，实际续航优势约为百分之三至七。

维护成本方面，轮毂电机结构简单，维护需求低，年度维护成本约为中置电机的三分之一至二分之一。中置电机链条需要定期润滑和张紧，链条链轮磨损更换周期约三千至五千公里。散热性能直接影响电机寿命，轮毂电机置于车轮内部，通风极差，长时间重载升温可达五十至七十开尔文，绕组温度可能超过一百二十摄氏度，磁钢有退磁风险。中置电机暴露在车架中部，迎面气流可带走热量，相同负载下升温仅为二十至三十开尔文，热可靠性显著提升。涉水环境下，轮毂电机需要IP65以上防护等级，密封要求高；中置电机安装位置较高，防护要求相对宽松。

## 4 不同应用场景下的技术适配性与选型策略

### 4.1 典型应用场景的适配分析

城市通勤代步路况以平路为主，偶有短坡，用户关注续航、价格、体积和维护简便性。轮毂电机方案完全满足需求，成本较中置电机便宜五百至一千元，维护简便，应优先选用。山地休闲或郊野路况包含连续陡坡和砂石路面，对电机低速大扭矩和热稳定性要求高。中置电机通过减速增扭，爬坡能力远超轮毂电机，且持续爬坡不易过热，低簧下质量带来的轮胎附着力优势进一步增强了安全边际，因此复杂路况场景中置电机方案具有显著优势。

共享出行与租赁运营场景日均使用频次高，对可靠性和维护成本极为敏感。轮毂电机结构简单、故障点少、初始采购成本低，成为共享运营商的首选，中置电机的链条传动系统在共享使用中维护成本难以控制，因此共享场景应坚持轮毂电机方

案。高端性能车型追求极致加速体验和操控质感，中置电机配合变速系统的动力特性更接近传统摩托车，峰值功率可达两千瓦以上，零至四十公里加速可在五秒内完成，同时释放了车轮空间可选用更宽轮胎，因此高端性能场景应采用中置电机方案。

### 4.2 选型决策的多维评价体系与梯次配置策略

为量化选型过程，构建包含六个维度、十四个指标的评价体系。动力性能维度包括启动加速度、爬坡度和持续爬坡时间；经济性维度包括购置成本、百公里电耗及年度维护成本；舒适性维度包括平路振动加速度和过弯稳定性；可靠性维度包括电机温升和涉水防护等级；轻量化维度包括簧下质量占比和整车质量；维护便利性维度包括故障平均修复时间和保养周期。权重设定示例：城市通勤车型，经济性权重百分之三十五，舒适性百分之二十五，动力性百分之二十，其他百分之二十；山地运动车型，动力性权重百分之四十，可靠性百分之二十五，舒适性百分之二十，经济性百分之十五。两种技术路线性能差距量化：百分之十五坡度爬坡，中置电机可持续速度较轮毂电机高约百分之四十；零至二十公里加速，轮毂电机快百分之十五至二十；综合续航中置电机可提升百分之三至七；全生命周期维护成本中置电机为轮毂电机的两至三倍。对于产品线，建议采用梯次配置策略：入门级通勤车型采用轮毂电机，中端车型根据市场细分选择，高端旗舰车型全系采用中置电机。轮毂电机方案的爬坡短板可通过增大功率余量、设计散热鳍片、控制器温度降额策略补偿；中置电机的高成本可通过单级减速、工程塑料齿轮、提高集成度等路径将成本增量控制在百分之十五至二十。

## 5 选型策略的工程实践与未来趋势

### 5.1 工程实践中的补偿与优化手段

对于必须采用轮毂电机但存在爬坡需求的场景，可通过工程手段弥补其短板。增大电机功率余量，选择较计算需求大百分之三十的电机，使额定工况点远离热极限。在轮毂电机外壳设计散热鳍片，利用车轮旋转产生的空气流动增强对流。在控制器中增加温度监测和功率降额策略，当温度超过阈值时自动限制输出电流，防止过热损坏。

对于长坡路段，建议用户采用间歇爬坡即每爬坡两分钟滑行三十秒的方式控制升温。中置电机的高成本优化路径包括：采用无刷直流电机配合单级减速替代昂贵的无齿轮力矩电机；采用高强度的工程塑料齿轮替代部分金属齿轮以降低噪音和成本；简化传动系统，对于电动滑板车不需要变速功能，采用固定减速比的链传动或皮带传动；优化电机控制器集成度，将控制器整合到电机壳体上，减少线束和连接器。经过上述优化，中置电机方案的成本增量可控制在百分之十五至二十。

## 5.2 技术融合趋势与前瞻性选型建议

两种技术路线并非完全对立,在某些应用场景下可相互借鉴。轻度混合方案以前轮轮毂电机提供辅助驱动力,后轮中置电机作为主驱,在起步和爬坡时双电机共同出力,平路时可仅用主驱。这种方案可综合两者优点,但成本和重量增加较多,目前仅应用于高端双驱车型。另一个趋势是智能电控算法的普及,通过控制器对两种电机的扭矩输出进行动态分配,优化能效和操控。

随着电机控制技术和材料科学的进步,轮毂电机的功率密度和散热能力有望提升,中置电机的成本有望下降,两者的性能边界将逐渐发生变化。企业在选型时应保持技术路线的适度开放性,在平台化设计中预留切换可能,以便根据技术成熟度和市场反馈动态调整。同时,应建立电机选型的数据库和仿真平台,将实际道路测试数据与理论计算相结合,使选型决策从经验判断走向数据驱动。对于出口型产品,还需考虑目标市场的法规要求、道路条件以及用户骑行习惯,进行本地化适配。

## 6 结论

轮毂电机与中置电机技术路线对电动滑板车性能的影响体现在动力、能耗、操控、舒适性、可靠性和成本等多个维度,选择何种方案应基于目标使用场景和产品定位进行综合权衡。

本研究得出以下主要结论。第一,轮毂电机在平路城市通勤场景下具有成本低、结构简单、维护便捷的优势,启动加速响应快,适合作为大众化代步工具的动力方案,但其爬坡能力弱、散热条件差、簧下质量大的固有缺陷限制了在复杂路况下的表现。第二,中置电机在山地休闲、高端性能及高频使用场景中综合优势明显,通过减速增扭获得更强的爬坡能力和更优的热管理,较低的簧下质量改善了操控平顺性,但高昂的采购和维护成本使其在经济型产品上缺乏竞争力。第三,不同应用场景下两种技术路线的性能差距量化明确:百分之十五坡度爬坡中置电机可持续速度较轮毂电机高约百分之四十,零至二十公里加速轮毂电机快百分之十五至二十,综合续航中置电机可提升百分之三至七,全生命周期维护成本中置电机为轮毂电机的两至三倍。第四,企业选型应遵循场景匹配原则,建立包含动力、经济、舒适、可靠、轻量及维护的多维评价体系,对城市通勤、山地运动、共享运营及高端性能四类典型场景分别设定权重,采用加权评分法决策,并实施梯次配置策略。第五,通过功率余量设计、散热增强和成本优化措施可弥补各自短板,未来双电机混合驱动与智能控制技术将进一步拓宽应用边界。本研究构建的理论框架和量化评价方法可为电动滑板车制造企业在产品规划和电机选型中提供科学依据。

## 参考文献:

- [1] 王淼.轮毂电机散热问题仿真分析[J].防爆电机,2026,61(2):58-62+80.
- [2] 中国电器工业协会.电气运输设备第3-1部分:不同温度条件下电动滑板车总运行时间的性能测试方法:GB/T 46383.301-2025[S].中国标准出版社,2025.
- [3] 翟崇琳,苗进.电动滑板车减震扭杆刚度及疲劳分析[J].南方农机,2024,55(S1):100-104+116.
- [4] 郝卓,李宾,马洋洋.基于 Amesim 的车用动力电池老化及性能对比研究[J].汽车工程师,2021,(10):21-25.
- [5] 王震蒙.同盛新型中置电机及力矩传感器[J].中国自行车,2014,(12):70-71.