

一种集成电驱桥的整车应用匹配设计及验证

陈志龙, 程方斌, 常颖

(金龙联合汽车工业(苏州)有限公司, 江苏 苏州 215026)

摘要:为满足固定速比情况下整车性能匹配需要,介绍一种同轴式集成电驱桥在8.5 m城市客车上的后向匹配应用设计方法。经过整车性能测试,验证设计方法有效,说明同轴式集成电驱桥在整车应用匹配中具有优势。

关键词:城市客车; 集成电驱桥; 匹配设计

中图分类号:U469.1; U463.32⁺6 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-3331(2022)06-0018-04

Design and Verification of Vehicle Application Matching for an Integrated Electric Drive Axle

CHEN Zhilong, CHENG Fangbin, CHANG Ying

(Higer Bus Co., Ltd., Suzhou 215026, China)

Abstract: To meet the needs of vehicle performance matching with fixed speed ratio, this paper introduces a backward matching design method of coaxial integrated electric drive axle applied to an 8.5 m city bus. Through the vehicle performance test, the design method is verified to be effective, and the coaxial integrated electric drive axle has advantages in vehicle application matching.

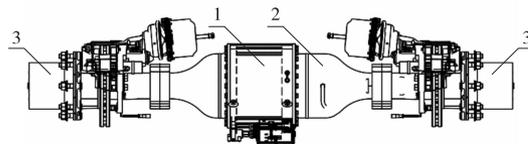
Key words: city bus; integrated electric drive axle; matching design

电驱装置作为电动汽车的核心部件,其性能的优劣决定了电动汽车整体的工作性能。因此,提高电动汽车电驱模块的技术对电动汽车的发展具有重要意义。国内某车桥企业开发出了同轴集成电驱桥,不仅省略了传动系统中间环节,同时将电机壳体与桥壳高度集成,在轻量化、传动效率和节约布置空间方面有一定优势。因此本文根据该电驱桥特点进行其整车应用匹配设计及验证。

1 整车应用匹配设计

根据该车桥额定载荷等参数,选择在8.5 m纯电动城市客车车型上进行匹配设计。该集成电驱桥的结构如图1所示,主减采用行星齿轮结构设置在电机右侧,同时在制动器两侧设置轮边减速器,传动比固定无法调整。为适应整车性能需求只能调整电机性能参数,传统的前向整车匹配设计方法已不能满足需

求(但相关计算公式一样),因此采用根据整车性能需求确定电机参数范围,然后在范围内选择合适电机的后向整车匹配设计方法。该车主要动力性能指标如下:最高车速69 km/h;15%坡度从0 km/h加速至10 km/h,加速时间不大于20 s;10%坡度从0 km/h加速至20 km/h,加速时间不大于20 s;0~50 km/h平直路面,加速时间低于18 s^[1]。



1-电机; 2-主减及差速器; 3-轮边减速器

图1 同轴式集成电驱桥结构示意图

匹配驱动电机时需确定以下几个参数范围:电机的最高转速 n_{\max} 、峰值功率 P_{\max} 、额定功率 P_e 、峰值转矩 $T_{\max}^{[2]}$ 、额定转矩 T_e 、额定转速 n_e 及外特性拐点。

收稿日期:2022-07-22。

第一作者:陈志龙(1975—),男,硕士;高级工程师;主要从事客车底盘的开发设计工作。E-mail:chenzl@higer.com。

1.1 电机最高转速

驱动电机最高转速取决于整车最高车速,并受主减速比和车轮半径的影响,如式(1)所示^[3]:

$$n_{\max} = V_{\max} i_0 / 0.377 / r = 8\,071.7 \text{ r/min} \quad (1)$$

在满足最高转速 8 071.7 r/min 的条件下,所匹配驱动电机最高转速还需预留 200~300 r/min 的裕量,故驱动电机最高转速不小于 8 300 r/min。

1.2 电机峰值功率与额定功率

驱动电机峰值功率通常需满足以下要求:

1) 设定坡道上从起步加速至要求车速时的功率为 $P_{\max 1}$ ^[4]:

$$P_{\max 1} = F_1 V = (F_f + F_i + F_w + F_j) V \quad (2)$$

式中: F_1 为车辆行驶时总阻力; F_f 为车辆行驶时滚动阻力; F_i 为车辆上坡时坡道阻力; F_w 为车辆行驶时风阻; F_j 为车辆加速时加速阻力。

式(2)中速度 V 的拟合公式见式(3)^[5]:

$$V = V_1 (t/t_m)^{1/2} \quad (3)$$

式中: V_1 为需求目标车速; t_m 为从起步到目标车速的时间; t 为加速时间。

代入对应数据,得出满足 15% 坡度上起步加速到 10 km/h、加速时间不大于 20 s 要求时所需的功率 $P_{\max 11}$ 为 72.33 kW;满足 10% 坡度上加速到 20 km/h 加速时间不大于 20 s 要求时所需的功率 $P_{\max 12}$ 为 98.5 kW。

2) 平直路面上规定时间内加速至规定车速时的功率 $P_{\max 2}$:

$$P_{\max 2} = F_1 V = (F_f + F_w + F_j) V \quad (4)$$

代入相关数据,得出满足 0~50 km/h 加速时间低于 18 s 要求时所需的功率 $P_{\max 2}$ 为 108.6 kW。

3) 电机峰值功率选择见式(5)^[6]:

$$P_{\max} \geq \{P_{\max 11}, P_{\max 12}, P_{\max 2}\} \geq 108.6 \text{ kW} \quad (5)$$

预留 10% 的裕量并圆整,则峰值功率不低于 120 kW。

4) 驱动电机的额定工况需满足整车在正常运行工况下长时间工作,即整车在平直路面,零至最高车速中的任何一个车速下匀速行驶的需求功率都需要在驱动电机的额定功率曲线之下。采用式(6)计算所需电机最小额定功率 P_e :

$$P_e = V_{\max} (M \cdot g \cdot f + 0.5 \cdot C_d \cdot S \cdot \rho \cdot V_{\max}^2 / 3.6^2) / \eta / 3\,600 = 44.53 \text{ kW} \quad (6)$$

式中: C_d 为风阻系数,取值 0.6; S 为迎风面积,取值 5.8 m²; ρ 为空气密度,取值 1.23 kg/m³; η 是传动效率,取值 0.95。

由于峰值功率不低于 120 kW,考虑电机功率过载系数为 2~3 倍^[7],初定系数为 2 倍,则额定功率不低于 60 kW。

1.3 电机峰值扭矩、额定扭矩及额定转速

驱动电机峰值扭矩需满足整车两方面的需求:

1) 满足整车坡道起步的最大爬坡度 15%,对应的角度 $\alpha = 8.54^\circ$ 。按国标 1 min 内能行驶 10 m 的要求^[8],时速较低,故此工况下可以不考虑风阻和加速阻力,所需电机扭矩 $T_{\max 1}$:

$$T_{\max 1} = [m \cdot g \cdot f \cdot \cos(\alpha) + m \cdot g \cdot \sin(\alpha)] \cdot r / i_0 / \eta = 536.66 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (7)$$

2) 满足坡道上规定时间内起步加速至一定车速的需求,此时整车克服阻力包括滚阻、坡阻、风阻及加速阻力,所需电机扭矩 $T_{\max 2}$:

$$T_{\max 2} = [Mgf \cdot \cos(\alpha_0) + Mg \cdot \sin(\alpha_0) + 0.5C_d \cdot S \cdot \rho \cdot V_{po}'^2 / 3.6^2 + \delta \cdot M \cdot V_{po}' / 3.6 / t_0] \cdot r / i_0 / \eta \quad (8)$$

根据式(8),在 15% (对应角度 $\alpha_0 = 8.54^\circ$) 的坡度上 20 s 内起步加速至 10 km/h 并匀速行驶所需扭矩 $T_{\max 21}$ 为 590.46 N·m;车辆满载下在 8% (对应角度 $\alpha_0 = 4.58^\circ$) 的坡度上 20 s 内从 0 加速至 20 km/h 并匀速行驶所需扭矩 $T_{\max 22}$ 为 401.99 N·m。

综合 $T_{\max 1}$ 、 $T_{\max 21}$ 、 $T_{\max 22}$ 的计算结果,并预留 10% 的裕量后圆整,则峰值扭矩为 650 N·m。

驱动电机的额定转矩需考虑过载系数,通常商用车驱动电机为满足满载爬坡需求,过载能力须达到 2~3 倍,则额定扭矩应处于区间 [650/3, 650/2] N·m。

驱动电机额定转速 n_e :

$$n_e = V_n \cdot i_0 / 0.377 / r \quad (9)$$

8.5 m 城市客车的常用车速 V_n 为 20~30 km/h,代入式(9)可得:车速 20 km/h 时的转速 n_{e1} 为 2 339.6 r/min,车速 30 km/h 时的转速 n_{e2} 为 3 509.4 r/min。

因此,驱动电机额定转速范围为 2 340~3 510 r/min,额定转矩范围为 216.7~325 N·m。

1.4 驱动电机外特性拐点

驱动电机外特性曲线需包络整车在规定时间内

爬坡起步加速至规定车速的需求工作点。该工作点的峰值扭矩和峰值功率是车辆动力性需求范围的边界值,此点后电机外特性值(扭矩和功率)开始逐步减小,故该工作点被称为外特性曲线拐点。根据上述峰值扭矩和峰值功率的计算可知,在爬坡要求中有两个车速(10 km/h、20 km/h)需求,对应的驱动电机转速计算公式见式(10)、(11)。

1) 车速需求为 10 km/h 时:

$$n_{g1} = V_{p01}' \cdot i_0 / 0.377 / r = 1\ 169.8 \text{ r/min} \quad (10)$$

2) 车速需求为 20 km/h 时:

$$n_{g2} = V_{p02}' \cdot i_0 / 0.377 / r = 2\ 339.6 \text{ r/min} \quad (11)$$

因此,驱动电机外特性曲线的两个拐点分别为(1 169.8 r/min, 590.46 N·m, 72.3 kW)、(2 339.6 r/min, 401.99 N·m, 98.48 kW)。

1.5 驱动电机选型参数

综合以上计算,所匹配的驱动电机各参数需满足表 1,且其外特性曲线需包络两个计算拐点。

表 1 驱动电机匹配结果

参数名称	匹配数据
最高转速/(r·min ⁻¹)	≥8 300
峰值/额定功率/kW	≥120/≥60
峰值扭矩/N·m	≥650
额定转速范围/(r·min ⁻¹)	2 340~3 510
额定扭矩范围/N·m	216.7~325
峰值扭矩拐点转速/(r·min ⁻¹)	≥1 169.8
峰值功率拐点转速/(r·min ⁻¹)	≥2 339.6

2 匹配集成电驱桥的整车性能测试

为验证匹配设计的效果,选择一辆中央分布驱动式 8.5 m 纯电动城市客车试装集成电驱桥,改装前后的电机主要性能参数见表 2。

表 2 改装前后主要性能参数对比

性能参数	改装前	改装后
最高/额定转速/(r·min ⁻¹)	2 700/1 050	9 100/3 400
峰值/额定扭矩/N·m	2 150/1 000	650/230
峰值/额定功率/kW	180/100	150/80
后桥速比	6.14	19.89

2.1 试验方案

改装前后车辆都按照 GB/T 18385—2005^[8]要求

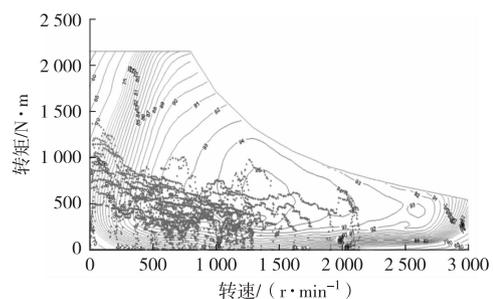
加载和试验。试验工况根据中国典型城市公交循环工况 CCBC^[9]和中国城市客车行驶工况 CHTC-B^[10]分别进行。经济性试验路线选择在苏州市内开放试验道路阳澄环路和水泽路进行,试验路程全长 6.1 km,以平直沥青路面为主,仅有一座坡度不足 5% 的桥梁;动力性能测试在公司内试车跑道行驶,跑道有 10%、15% 和 20% 三种坡道。经济性能(电耗)和动力性能分别测试 12~16 个循环,耗电量采用 BMS 和电机控制器中的电压和电流报文积分计算;行驶里程按照仪表中车速和时间报文积分计算。

2.2 试验结果

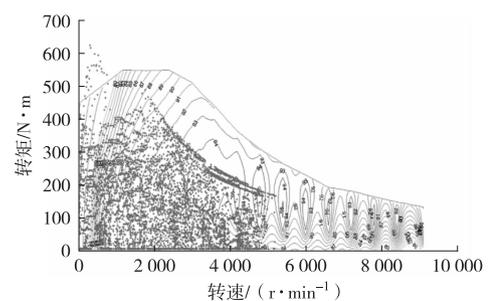
从试验结果可知,8.5 m 纯电城市客车车型匹配该同轴集成电驱桥,在制造成本基本不变的条件下,有以下几方面变化:

1) 整车减重效果明显,改装后整车整备质量下降 245 kg。

2) 整车驱动效率上升,85% 以下的低效区减少 10%,91% 以上的高效区增加 7%,如图 2 所示。



(a) 改装前驱动云点图



(b) 改装后驱动云点图

图 2 改装前后驱动云点图对比

3) 回馈效率提升,85% 以下的低效区减少 22%, 91% 以上的高效区增加 19%,具体变化见表 3。

表3 改装前后回馈效率分布对比

效率区/%	改前占比/%	改后占比/%
≥95	1	1
(95,93]	15	24
(93,91]	17	27
(91,89]	16	11
(89,87]	12	6
(87,85]	8	23
<85	30	8

4) 整车百公里综合能耗降低 7.3%。

5) 采用集成电驱桥后能节约后部电机及传动轴布置空间约 0.35 m³, 同时使缩短后悬、加大轴距平地板区域长度成为可能。

6) 采用集成电驱桥后, 由于电机壳体同时作为车桥壳体承受整车载荷, 对电机壳体强度和刚性要求提升较多, 电驱动桥的制造难度、成本和客户使用维护成本相应提高, 这是集成化中需要攻克的难题之一。

3 结束语

电动化和集成化已经成为客车尤其是城市客车的重要发展趋势。集成电驱桥的使用不仅在减轻整车质量、提高传动效率(即降低能耗)方面表现优异, 而且还节约了整车的布置空间。随着技术的日益完善, 相信会有更多的厂家在更多的车型上推广使用。

参考文献:

- [1] 张利新, 刘逸群, 明杰婷. 纯电动城市客车动力系统匹配设计及仿真分析[J]. 客车技术与研究, 2022, 44(3): 15-18.
- [2] 牛继高, 王招军, 张朋播, 等. 基于 Cruise 和 Isight 的两挡电动汽车传动系统匹配与优化[J]. 机械传动, 2021(5): 133-138.
- [3] 余志生. 汽车理论: 第3版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 6.
- [4] 牛犇杰. 纯电动车驱动系统匹配[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [5] 徐凯. 纯电动汽车整车控制系统研究和设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [6] 姜旭, 张肖野, 赵二明, 等. 纯电动汽车驱动系统的参数匹配及性能分析[J]. 机电产品开发与创新, 2020, 33(3): 57-59.
- [7] 韩宁, 梁作华, 刘婷. 纯电动汽车动力系统参数匹配及仿真研究[J]. 科技风, 2021(17): 179-181.
- [8] 国家发展和改革委员会. 电动汽车 动力性能 试验方法: GB/T 18385—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 1-2.
- [9] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动汽车能量消耗率和续驶里程试验方法: GB/T 18386—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 16.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. 中国汽车行驶工况 第2部分: 重型商用车: GB/T 38146.2—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 3-4.