

基于巴哈赛车中橡胶皮带式CVT的特性研究

金兆辉 单沉 王达 孙庆松 马振禹 李铭义

(吉林大学 汽车工程学院, 吉林 长春 130025)

摘要 为了提高橡胶式CVT的传动效率,使发动机与整车有更好的动力性匹配,进行了发动机与CVT的台架实验,绘制出发动机、CVT外特性和影响CVT因素的曲线。结果表明,在不改变CVT结构的前提下,温度是影响CVT效率的主要因素;在温度为55℃时,CVT能保持一个较高的效率。根据CVT外特性曲线绘制驱动力曲线,确定减速器的总传动比为12.9,并确定CVT中的轻甩块与重弹簧的组合可使赛车能较快地到达理论最高车速。

关键词 CVT 效率提升 动力匹配

Research on the Characteristic of Rubber Belt Type CVT in Baja Racing Car

Jin Zhaohui Shan Yuan Wang Da Sun Qingsong Ma Zhenyu Li Mingyi

(College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract In order to improve the transmission efficiency of the rubber CVT and better match the power performance of the engine and the whole vehicle, the bench test of the engine and CVT is carried out, and the curves of starting motor, external characteristics of CVT and influencing factors of CVT are drawn. The results show that, without changing the structure of the CVT, the temperature is the main factor that influence the efficiency of the CVT, and at the age of 55℃ CVT maintain a high efficiency. According to the driving force curve drawing CVT external characteristic curve, determine the total transmission ratio for the gear reducer is 12.9, and determine the CVT light left block and the combination of the heavy spring can make the car can quickly reach the highest speed.

Key words CVT Efficiency promotion Power matching

0 引言

无级变速器CVT(Continuously variable transmission)是一种汽车传动变速装置,按传送带结构可分为橡胶带式、金属链式、金属带式^[1]。相比于换挡变速器,橡胶带式CVT具有简单可靠、传动平稳、变速简便、传动比变化连续和噪声较小的优点;并且其自动变速的特点可以减轻驾驶员的操作疲劳,与巴哈赛车的特点相匹配^[2-3],对于漫长的耐久赛也具有一定的优势。

目前,橡胶带式CVT的研究文献相对较少。2009年,朱才朝等^[4]对橡胶带式CVT基本结构和调速原理进行了分析,开发了一套对带式CVT调速特性、承载能力、传动效率等进行测试的试验台。2010年,朱才朝等^[5]对其中的轴向力控制、V带振动和带与带轮间接接触分析等方面的研究进展进行了概括,给出

了提高其传动效率的若干建议。同年,王剑平^[6]分析了CVT系统的皮带偏斜,利用VB进行编程,完成对CVT偏斜距的设计,提出了提高皮带寿命、控制偏斜的措施。2012年,曹俊卫等^{[7]31-44}运用CAE分析技术,对某UTV车的橡胶V带式CVT的传动比、转速损失、转矩损失、传动效率等进行了有限元分析,得出了CVT传动性能的规律。2019年,李威尔等^[8]推导出CVT轴向力与传动比的计算公式,采用反转法提出飞块型线优化设计方法,提高了调速平衡性和动力性。2020年,梅宁等^[9]提出一种新型结构的卡盘式变径带轮无级变速器,其在传动上使用卡盘式变径带轮与多楔带相结合的带传动方式,实现了带轮与传动带的面接触式摩擦传动。

针对巴哈赛车,当确定以橡胶带式CVT为传动机构时,本文中从其工作原理出发,进行了发动机

与CVT台架实验,并利用最大功率点提高整车的动力性;由发动机与CVT的外特性曲线确定驱动力曲线,再由阻力曲线得出整车的最大速度,进而通过设计减速器的传动比数值达到预期的理论最高车速。此外,还探究了在不改变CVT结构的前提下影响CVT效率的主要因素。

1 CVT构造及工作原理

橡胶带式CVT的主要组成部件有主动盘、从动盘、皮带、扭力凸轮等(图1)。其中,主动盘主要由固定斜盘、移动斜盘、甩块、弹簧等组成,主动盘连接在发动机上,当发动机运转时,通过键带动主动盘转动,固定斜盘与移动斜盘也随之转动,移动斜盘中的甩块亦随之转动,甩块偏心放置,因此,产生一种离心力,当离心力随转速变化大于弹簧的弹力时,弹簧被压缩,移动斜盘在反力的作用下向发动机一侧的固定斜盘靠拢,使皮带向外滑动。从动盘主要由固定斜盘、移动斜盘、弹簧、扭力凸轮组成,从动盘连接在减速器的输入轴,将皮带传递的动力由从动轮传输至减速器,转速提升时,主动盘皮带向外侧滑动,皮带的长度宽度一定,皮带两侧的压力会克服移动斜盘与扭力凸轮间弹簧的弹力,使移动斜盘上的斜面凸台沿着扭力凸轮上的斜道移动,皮带在从动盘中向内滑动,此时,主、从动盘间皮带的直径变化,实现了传动比的变化,也便实现了变速的功用。

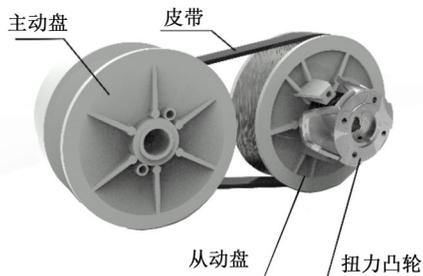


图1 CVT结构图

Fig. 1 Structure chart of CVT

当确定以CVT为巴哈赛车的变速装置时,进行发动机台架实验与CVT台架实验的目的是将CVT与整车进行更合理的动力匹配,并使CVT在变速的过程中使发动机维持在最大功率点附近。此外,还使CVT传动保持一个较高的效率。

2 实验与分析

2.1 发动机台架实验

进行发动机台架实验的目的是测得实际工况下的百力通M19发动机的外特性曲线以及为CVT台架

实验做准备。发动机台架实验图和器材表分别如图2和表1所示。

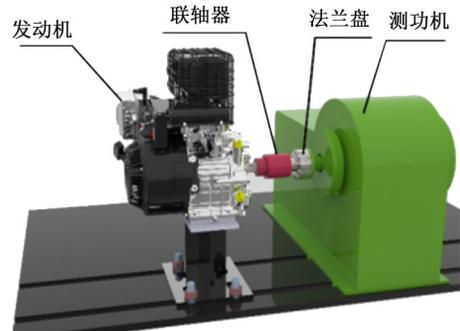


图2 发动机台架实验图

Fig. 2 Engine bench test drawing

表1 发动机台架实验器材表

Tab. 1 Table of engine bench test equipment

器材	型号	器材	型号
发动机	百力通 M19	法兰盘	加工件
联轴器	刚性梅花爪式	电涡流测功机	南峰CW系列

首先,连接好实验装置,使发动机转速从3 800 r/min缓慢均匀降至1 750 r/min,并进行多次测量,将显示表中的数据进行处理,利用公式 $P = \frac{Tn}{9\,550}$ (式中, P 为功率; T 为实际转矩; n 为实际转速),可得出不同转速下的功率。

将处理好的数据经过绘制,得到发动机的外特性曲线图,如图3所示。

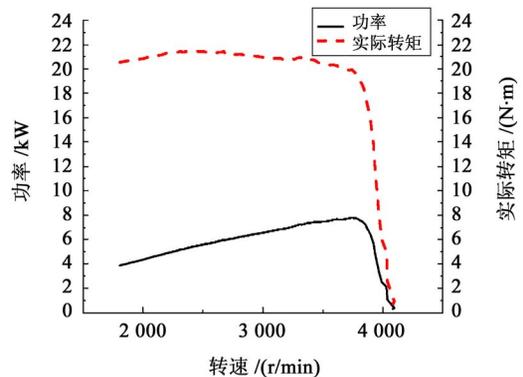


图3 发动机外特性曲线图

Fig. 3 Engine external characteristic curve

由图3中可知,发动机最大功率点位于3 600 r/min左右,最大扭矩在2 700~3 000 r/min。因此,为使整车具有良好的动力性,应使CVT主动轮的转速不低于3 000 r/min,不超过3 700 r/min。

2.2 CVT台架实验

与发动机台架实验类似, CVT台架实验时(图4), CVT的从动轮与测功机相连,发动机固定,带动CVT旋转。其中,测功机所测得的数据是从动轮的转速与转矩;此外,还同时使用霍尔效应传感

器测量主动盘的转速。

表2 CVT台架实验器材表

Tab. 2 Table of CVT bench test equipment

器材	型号	器材	型号
发动机	百力通M19	法兰盘	加工件
CVT	橡胶皮带式	霍尔传感器	淘宝购买
测功机	南峰CW系列		

实验步骤: 连接实验的装置准备就绪, 启动发动机, 记录 CVT 的转速与转矩值, 与此同时, 用传感器测量 CVT 主动盘的转速, 将数据进行处理。

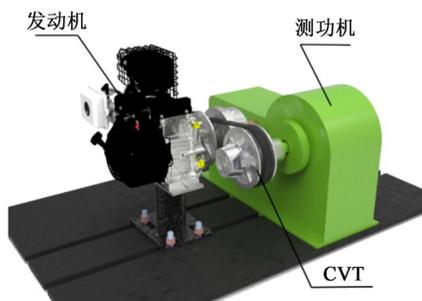


图4 CVT台架实验图

Fig. 4 CVT bench test drawing

将处理好的数据经过绘制, 得到 CVT 外特性的曲线图, 如图5所示。

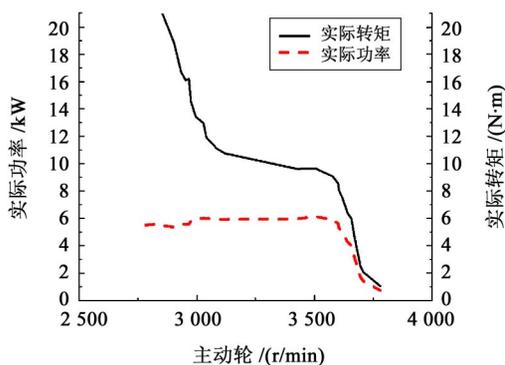


图5 CVT外特性曲线图

Fig. 5 CVT external characteristic curve

由图5中可知, 在主动盘转速为 2 700 r/min 时, CVT 开始稳定传动; 2 700~3 000 r/min 时, CVT 从动盘转矩下降迅速; 3 000~3 500 r/min 时, 转矩变化较为平缓; 从 3 500 r/min 以后, 转矩下降迅速。功率曲线在 2 700~3 500 r/min 时变化较为平缓, 从 3 500 r/min 以后迅速降低。

3 CVT 的传动效率及动力匹配

3.1 CVT 功率损失及其效率

在 CVT 运行时, 影响 CVT 传动效率的主要有摩擦损失、皮带打滑造成的损失以及发动机余热对皮带造成影响的损失。

传动系统所传递的功率为

$$P = \frac{Tn}{9\,550} \quad (1)$$

对功率作全微分得

$$dP = \frac{1}{9\,550} (dTn + dnT) \quad (2)$$

将式(1)与式(2)做除法, 可得

$$\frac{dP}{P} = \frac{dn}{n} + \frac{dT}{T} \quad (3)$$

式(3)为 CVT 的功率损失公式。由此可知, CVT 的功率损失主要分为转速损失与转矩损失。

由发动机的热效率可知, 发动机的效率为有用功除以放出的热量。由此类比, CVT 的传动效率可定义为传动系统用于输出的功率占发动机输出功率的比例, 计算式为

$$\eta = \frac{T_2 n_2}{T_1 n_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad (4)$$

即 CVT 效率为从动轮功率与主动轮功率之比。

3.2 CVT 效率及影响因素

在同一主动盘转速下, 分别取发动机与 CVT 实验所得到的功率值进行相除, 可以得出主动盘不同转速下的 CVT 效率的数据。由结果可知, CVT 的效率随主动盘转速的增大呈现上升的趋势。其中, 在转速 3 000 r/min 以上时保持较高的效率, 达到 80%, 这是由于在离合器时皮带打滑损失的功率较大, 在离合器后 CVT 效率上升^[10]。

在主动盘转速为 3 000 r/min 上下, 通过实验测得了不同温度下 CVT 的数据, 并通过式(1)计算出不同温度下 CVT 的效率, 并生成了曲线图, 如图6所示。

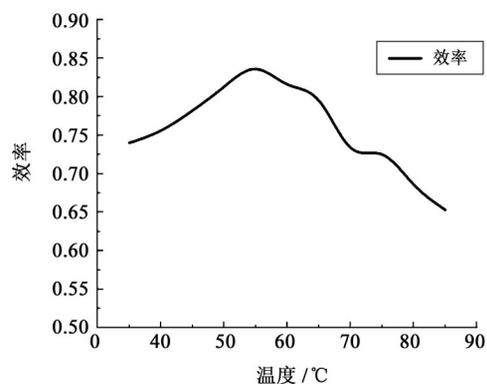


图6 CVT效率随温度变化的曲线图

Fig. 6 Graph of the efficiency of CVT as a function of temperature

由图6中可知, 温度是影响 CVT 效率的一大因素, CVT 的效率随温度的上升呈现出先增大后减小的趋势, 在温度为 55 °C 时, CVT 的效率最高。

3.3 弹簧甩块的选择

CVT 还供应了不同质量的甩块 (轻 250 g, 重 275 g) 和不同刚度的弹簧。为了探究其对 CVT 相关

参数的影响,进行了相关实验。

通过实验可得,不同质量的甩块和不同刚度的弹簧对CVT效率的影响不太大,探究其影响的因素,需从CVT的结构出发。我们知道,甩块质量的大小与CVT运转时产生的离心力有关,那么,在同一转速下的不同质量甩块的主动盘,其移动斜盘移动的距离不同,主动盘皮带半径也随之不同;同理,弹簧的刚度不同,同一转速下从动盘所受到的弹簧压力不同,从动盘的移动斜盘移动的距离也不相等,从动盘一侧的皮带半径也不同。由此可知,发动机在同一转速下,采用不同质量的甩块和不同刚度的弹簧所对应的两盘的皮带半径不同,即此时CVT的传动比不同。那么采用什么甩块与弹簧的组合可以与整车进行更好地动力性匹配呢?为此进行了相关的实验。

由实验结果(图7)可知,为了使整车在启动时具有较大的驱动力,需要有较大的传动比,并且此时相对应的发动机转矩应该较大,应该选择轻甩块;当车达到最小传动比时,为使车能较快地到达最高理论车速,应选择重弹簧。因此,轻甩块重弹簧的选择更加适应整车的动力性。

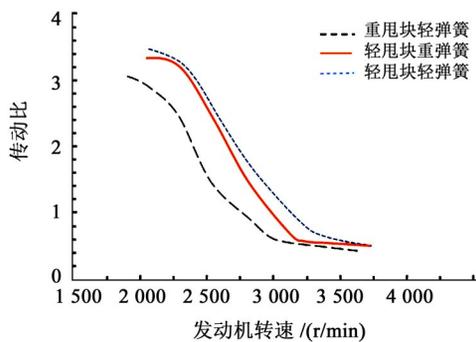


图7 传动比曲线图

Fig. 7 Transmission ratio curve

3.4 减速器传动比的选择

当我们已知CVT从动盘的转速以及对应的转矩,通过减速器中齿轮的传动比以及车轮的直径,便可以绘制整车的驱动力与车速的曲线,即 $F = \frac{T i \eta}{r}$ (式中, T 为从动盘的转矩; i 为减速器的传动比; r 为车轮的直径; η 为传动系的机械效率)。相反,如果我们不知道减速器的传动比,该曲线是一个变化的曲线,通过该变化的曲线与阻力曲线交点,即当驱动力与阻力相等时,对应的车速是车的理论最高速度。通过我们所期待的理论最高车速,便可以确定曲线的位置,通过曲线可以反推出传动比,进而可以设计减速器的各级齿轮传动比。驱动力随车速变化的散点图如图8所示。

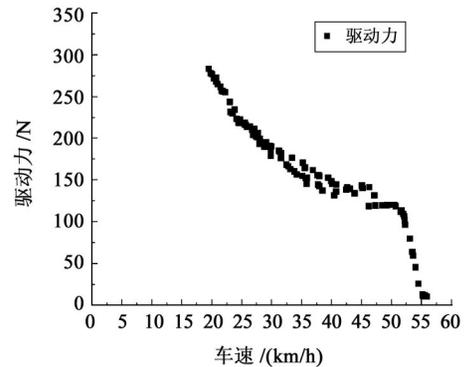


图8 驱动力随车速变化的散点图

Fig. 8 Scatter diagram of driving force varying with speed

行驶阻力的曲线由滚动阻力、空气阻力、坡度阻力与加速阻力组成^{[7]31-44},由于该曲线是模拟平坡匀速的状态,因此,坡度阻力与加速阻力可以忽略不计。由公式 $F' = mgf + \frac{C_D A}{21.15} v^2$ 便可画出汽车的阻力曲线(其中, f 为滚动阻力系数; C_D 为空气阻力系数; A 为迎风面积; v 为车速)。

如图9所示,在传动比10下的最高车速大约为42 km/h,若想提高最高车速,可以增加减速器的总传动比,使驱动力的曲线右移。最终确定减速器的传动比为12.9,此时最高车速约为60 km/h,提高了整车的动力性。

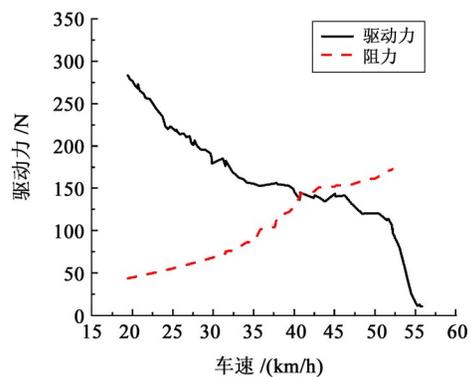


图9 驱动力与阻力随车速变化的曲线图

Fig. 9 A curve graph of driving force and resistance with speed

4 结论

通过实验探究出温度是影响CVT效率的主要因素,温度在55℃时, CVT的效率最高。因此,保持CVT在一个合适的温度范围是保持CVT高效率的一个重要因素。通过驱动力与阻力的交点推导出最高理论车速。结果表明,在减速器的传动比为12.9时,理论最高车速可达到60 km/h,提高了整车的动力性。最后,通过弹簧甩块的实验确定轻甩块重弹簧的组合使整车在启动时具有较大的驱动力,并能够使车较快地到达最高理论车速。

参 考 文 献

- [1] 王幼民,唐铃凤.金属带式无级变速器的研究综述[J].机械传动,2007,31(6):95-100.
WANG Youmin, TANG Lingfeng. Review of the researches on a metal pushing V-belt CVT [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2007, 31(6): 95-100.
- [2] 金兆辉,李铭义,王紫熙,等.巴哈越野赛车的分时四驱传动系统的设计[C]//2020中国汽车工程学会年会论文集(8).北京:机械工业出版社,2020:52-57.
JIN Zhaohui, LI Mingyi, WANG Zixi, et al. Design of time-sharing four-wheel drive system for Baja off-road racing [C]//2020 China Society of Automotive Engineering Annual Meeting Proceedings (8). Beijing: China Machine Press, 2020: 52-57.
- [3] 金兆辉,王达,于文博.基于BAJA赛车设计技术的大学生创新实践能力培养研究[J].吉林省教育学院学报,2019,35(11):15-19.
JIN Zhaohui, WANG Da, YU Wenbo. Research on the cultivation of college students' innovative practice ability based on Baja racing design technology [J]. Journal of Jilin Institute of Education, 2019, 35(11): 15-19.
- [4] 朱才朝,田佳佳,刘怀举,等.带式无级变速器性能试验台的开发[J].重庆大学学报,2009,32(3):294-298.
ZHU Caichao, TIAN Jiajia, LIU Huaiju, et al. Development of performance test bed for belt CVT [J]. Journal of Chongqing University, 2009, 32(3): 294-298.
- [5] 朱才朝,刘怀举,杜雪松,等.橡胶带式CVT特性研究现状综述[J].汽车工程,2010,32(6):519-523.
ZHU Caichao, LIU Huaiju, DU Xuesong, et al. Review on the characteristics of rubber belt CVT [J]. Automotive Engineering, 2010, 32(6): 519-523.
- [6] 王剑平.无级变速器在摩托车和沙滩车上的应用研究[D].天津:天津大学,2010:19-33.
WANG Jianping. Research on the application of infinity transmission in Motorcycle and ATV [D]. Tianjin: Tianjin University, 2010: 19-33.
- [7] 曹俊卫.橡胶V带式无级变速器传动分析研究[D].重庆:重庆大学,2012:31-44.
CAO Junwei. Study on transmission analysis of rubber V-belt CVT [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012: 31-44.
- [8] 李威尔,丁华锋,朱兰馨,等.基于理想调速特性的橡胶带式CVT飞块型线的优化方法[J].机械设计与研究,2019,35(2):191-194.
LI Weier, DING Huafeng, ZHU Lanxin, et al. Optimization method of rubber belt CVT flying-block profile based on ideal speed regulation characteristics [J]. Mechanical Design and Research, 2019, 35(2): 191-194.
- [9] 梅宁,宋爱平,于晨伟.卡盘式变径带轮无级变速器设计与分析[J].机械传动,2020,44(8):39-45.
MEI Ning, SONG Aiping, YU Chenwei. Design and analysis of chuck type variable diameter belt pulley variable transmission [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2020, 44(8): 39-45.
- [10] 陈诺,田哲文,赵一宁,等.橡胶带式无级变速器传动特性研究与试验验证[J].科技与创新,2020(14):47-48.
CHEN Nuo, TIAN Zhewen, ZHAO Yining, et al. Study and experimental verification of transmission characteristics of rubber CVT [J]. Technology and Innovation, 2020(14): 47-48.
- [11] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,1981:7-21.
YU Zhisheng. Automobile theory [M]. Beijing: China Machine Press, 1981: 7-21.
- 收稿日期:2021-01-29
基金项目:国家自然科学基金(51876079)
吉林大学2019年度本科教学改革研究立项项目(2019XYB123)
2019年吉林大学开放性创新实验项目(4260EP24)
吉林大学2021年度本科教学改革研究立项项目(2021XYB086)
2021年吉林大学开放性创新实验项目(4260EP25)
- 作者简介:金兆辉(1988—),男,吉林长春人,工程师,博士研究生;主要从事内燃机实验教学与管理及大学生方程式赛车研究。
分析与计算[J].机械制造与自动化,2020,49(3):147-150.
ZHU Suwei, DING Liping, PAN Guowei. Analysis and calculation of dual robot cooperative workspace for microcomputers [J]. Machinery Manufacturing and Automation, 2020, 49(3): 147-150.
- [15] 权龙哲,彭涛,沈柳杨,等.立体苗盘管理机器人的机械臂参数优化与试验[J].农业工程学报,2017,33(7):10-19.
QUAN Longzhe, PENG Tao, SHEN Liuyang, et al. Mechanical arm parameter optimization and test of stereo seedling tray management robot [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2017, 33(7): 10-19.
- [16] XU J Z, YANG H, LIU M J, et al. Research on winding trajectory planning for elbow pipe based on industrial robot [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 93(1/2/3/4): 1-9.
- 收稿日期:2021-02-02 修回日期:2021-03-10
基金项目:镇江市重点研发计划(GY2020007)
作者简介:邓鹏鹏(1995—),男,江苏睢宁人,在读硕士研究生;研究方向为螺旋桨加工机器人设计及结构优化。
通信作者:张春燕(1976—),女,湖北黄州人,博士,副教授,硕士生导师;研究方向为绿色制造技术及硬脆材料的精密加工。

(上接第103页)

- [10] 韦贵伟,徐振邦,赵智远,等.线驱动连续型机械臂设计与运动学仿真[J].机械传动,2019,43(11):32-38.
WEI Guiwei, XU Zhenbang, ZHAO Zhiyuan, et al. Design and kinematics simulation of line driven continuous manipulator [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2019, 43(11): 32-38.
- [11] 田海波,马宏伟,魏娟.串联机器人机械臂工作空间与结构参数研究[J].农业机械学报,2013,44(4):196-201.
TIAN Hailbo, MA Hongwei, WEI Juan. Research on workspace and structural parameters of serial robot manipulator [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 196-201.
- [12] CAI H M, XING T T. Kinematics simulation of industrial robot based on MATLAB [J]. Advanced Materials Research, 2011, 415/416/417: 690-696.
- [13] 王春,韩秋实.六自由度串联机械臂运动学及其工作空间研究[J].组合机床与自动化加工技术,2020(6):32-36.
WANG Chun, HAN Qiushi. 6-DOF serial manipulator kinematics and workspace research [J]. Combined Machine Tools and Automatic Processing Technology, 2020(6): 32-36.
- [14] 朱苏纬,丁力平,潘国威.面向微电机的双机器人协作工作空间