

新型双桥驱动混合动力汽车设计及仿真

周云山,王素贞,张军,蔡源春

湖南大学汽车电子与控制技术教育部工程研究中心,长沙 410082

摘要 针对目前混合动力汽车结构较为复杂的问题,提出了一种新型的双桥驱动模式。通过对某汽车进行牵引力耦合式混合驱动系统设计,使之成为双轴驱动混合动力,并可简单切换汽车的工作模式。建立了双桥驱动的混合动力汽车模型,并通过 AVL-Cruise 仿真得到了混合动力汽车的爬坡度、加速时间、耗电量、油耗和发动机工作点分布。仿真结果表明,牵引力耦合式混合动力驱动系统可以使发动机和电机均工作于高效区,提高了燃油利用率,节能、减排优势明显。

关键词 混合动力汽车;CVT;双桥驱动;AVL-Cruise 软件

中图分类号 U462.1

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.22.004

Design and Simulation of Double-axle Drive Hybrid Electric Vehicle

ZHOU Yunshan, WANG Suzhen, ZHANG Jun, CAI Yuanchun

Engineering Research Center of Automotive Electronics and Control Technology, Ministry of Education, Hunan University, Changsha 410082, China

Abstract In view of the complicated structure of the Hybrid Electric Vehicle (HEV), a double-axle driving system is proposed. A traction coupled-HEV drive system for the vehicle is designed, making it a double-axle drive HEV. The vehicle can simply switch the operating modes. A double-axle drive HEV model is established with the aid of AVL-Cruise, and its performance indices, such as the maximum gradient, the acceleration time, the power and the fuel consumption, and the distribution of the engine's operating points are obtained by simulation tests. The results show that the traction coupled-HEV drive system allows the engine and the motor work efficiently. Therefore, the fuel efficiency is improved, and the advantages in energy saving and emission reduction are significant.

Keywords hybrid electric vehicle; CVT; double-axle drive; AVL-Cruise

0 引言

由于能源危机和环境污染的双重压力,世界各国对混合动力汽车的研究及开发日益升温。混合动力汽车按动力传动系统分为串联、并联和混联3类,不同形式的混合动力具有不同的技术路线与结构特点。

本文对某国产品牌汽车结构进行了探讨,设计了一套牵引力耦合式混合动力驱动系统,即前后桥分别由独立的动力装置驱动,通过前后桥驱动转矩的平衡输出实现动力耦合。通过对牵引力耦合式混合动力驱动系统的匹配研究,实现对混合动力汽车发动机动力总成与电机动力总成的综合控制,并用 AVL-Cruise 对混合动力汽车的性能进行仿真分析。

1 双桥驱动模式的结构组成

本设计保留了原车的变速传动系统,经动力匹配计算后换装一台功率为原车77%的发动机,组成发动机动力总成,驱动汽车前桥;设计配置一套直流无刷电机+两挡式自动变速器组成电机动力驱动系统驱动汽车后桥。本设计将整车驱动模式分为:纯电动模式、发动机驱动模式、电机助力模式和能量回收模式^[1-2]。结构总体布局如图1所示,整车参数见表1。

如图1所示,发动机前置,与无级变速箱(CVT)、无级变速箱控制器(TCU)组成发动机动力总成驱动前桥,前桥仍然保持原车动力总成的形式;直流无刷电机、两挡变速箱、电池

收稿日期:2012-06-19;修回日期:2012-07-15

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA111710)

作者简介:周云山,教授,研究方向为汽车电子、无级变速器和新能源汽车,电子信箱:zys_8888@sina.com

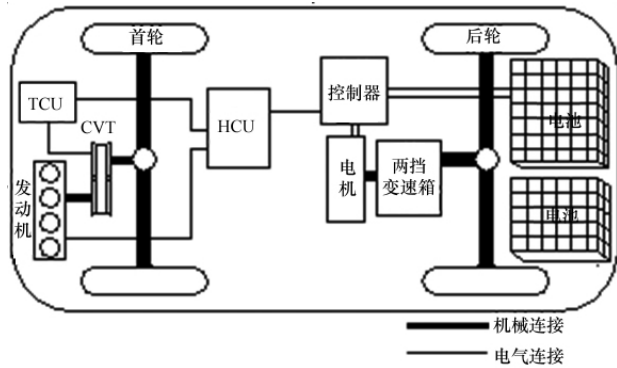


图 1 动力系统的总体构成

Fig. 1 Overall composition of the power system

及充电器后置,组成电机动力总成驱动后桥。驱动系统还包括整车控制器(HCU),用来管理整车控制策略,其工作原理是通过采集车辆运行时的各种信号来决定整车的工作模式。两套驱动系统之间是各自独立的,没有机械的连锁装置,通过HCU控制。

表 1 整车参数

Table 1 Vehicle parameters

整车质量	发动机排量	发动机功率	CVT 速比范围	
1225kg	1.2L	60kW	0.442—2.432	
车轮半径	风阻系数	迎风面积	传动效率	滚阻系数
0.3075m	0.33	2.16m ²	0.92	0.018

2 后桥的匹配及控制策略设计

2.1 后桥的匹配

动力系统是影响汽车性能的关键因素。本设计动力源相对独立,由整车控制器调节各动力源工作在高效区,避开低效区,达到系统动力的最优控制^[9]。本文在对该车的动力系统部件进行分析的基础上,利用汽车动力学理论,对后桥驱动系统进行参数匹配,选取合适的电机、电池和变速器,并对车辆的工作模式进行分析研究^[9]。

混合动力汽车驱动电机的匹配与整车控制策略有关。当混合动力汽车在市区行驶时,行驶工况固定^[9],依据标准循环工况进行功率需求分析,根据汽车行驶功率分布,确定最佳低速纯电动驱动的车速和电机功率,即电机功率是循环工况低速纯电动车速和驱动功率的函数

$$P_m=f(v, P_d) \quad (1)$$

式中, P_m 为电机功率, v 为纯电动车速, P_d 为驱动功率。

考虑到在城市道路行驶时,车速一般在 30km/h 左右,因此采用车速在 30km/h 以内以电机驱动为主的管理策略。根据式(1),驱动电机额定功率选 7—15kW 即可满足。根据现有电机的品种及汽车的驱动策略进行电机的动力匹配计算^[9],分别得到各电机驱动力-行驶阻力关系如图 2 所示。

由图 2 可以看出,13kW、9.6kW 电机都具有足够大的驱

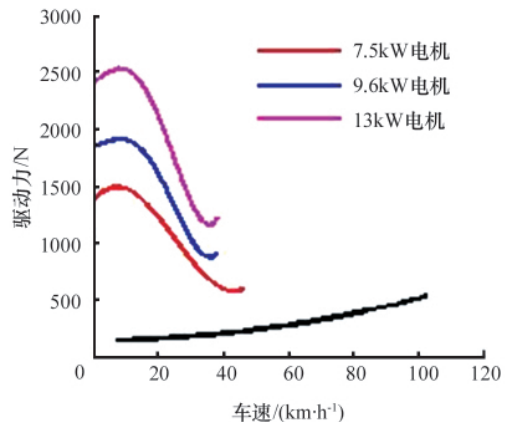


图 2 电机驱动力-行驶阻力曲线

Fig. 2 Motor force-driving resistance curves

动转矩,但考虑到电机功率越大,耗电量越大,在相同的车载电池条件下,功率越小,续航里程越高,因此决定选取 9.6kW 电机作为后驱动力源,既满足驱动力要求,又可以有相对较大的续航里程^[7]。城市道路行驶时,车速一般比较低。由图 2 可以看出,车速低于 30km/h 时,可用 9.6kW 电机单独驱动。

对于混合动力汽车,动力电池组是辅助动力源。动力电池组的功率取决于电机的最大功率,容量应满足纯电动状态下续航里程的要求。根据电机特性,选定的动力电池基本参数如表 2 所示,选取方法详见文献[8]。

表 2 动力电池基本参数

Table 2 Basic parameters of the power battery

类型	电池组 总容量/(A·h)	电池组 总电压/V	电池单 体数量	成组 方式	最大允许 放电倍率
锂离子 电池	30	312	90	串联	4

2.2 整车控制策略

2.2.1 纯电动模式

本研究中,整车工作模式有 4 种,其中纯电动模式用于汽车起步阶段及时速低于 30km/h 的城市道路行驶。当汽车起步时,行驶阻力不大,车速也较低,此时由电机驱动,所需能量均由蓄电池供给,汽车以纯电动模式起步。汽车低速行驶时,HCU 控制发动机处于关闭状态,前桥驱动系统不工作,前轮为从动轮,只有后桥驱动系统工作,后轮为驱动轮。图 3 为选定电机的特性图和电机的效率分布图。由于该型电机的额定转速在 2200r/min 左右,要想让电机经常工作在高效点附近,就必须在电机与后桥之间配装变速器。根据最高车速和最大爬坡度的要求,选取 1 挡速比为 3.765,2 挡速比为 1.531 的两挡自动变速器^[9]。

在城市中行驶时,汽车需要经常加、减车速,以纯电动模式行驶可以使汽车处于省油的高效率工况,既降低了油耗又减小了大气污染。

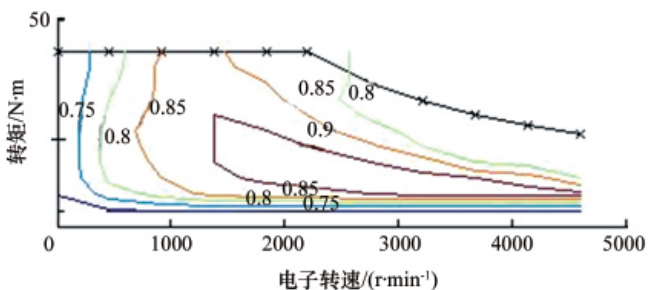


图3 电机效率

Fig. 3 Motor efficiency

2.2.2 发动机驱动模式

发动机驱动模式一般用于汽车在市郊、高速路况。本车选用的发动机转速在 2800r/min 左右时,燃油消耗率最低,发动机处于高效区;发动机工作于怠速工况时,其油耗大,转矩低,因此排放污染物较多,容易造成城市空气的严重污染。

汽车高速行驶时,发动机可以工作于高效区。所以,当 HCU 检测到车速较高时,驱动系统进入发动机驱动模式。此时,车辆同传统汽车一样,仅使用前桥驱动。当 HCU 检测到电池中的电量不足以提供汽车纯电动模式行驶所需的能量时,也会控制驱动系统进入发动机驱动模式。

发动机驱动模式时,HCU 控制发动机单独驱动,动力经过 CVT 传给车轮,驱动整车行驶,后桥驱动处于关闭状态,前轮为主动轮,后轮为从动轮,电机空转。此时,发动机工作在高效范围内,燃油消耗率低。

2.2.3 电机助力模式

电机助力模式用于汽车爬坡或加速时增加汽车的牵引力。当要求的行驶车速很高,驱动力矩很大时,发动机单独驱动会使发动机的工作点严重偏离其高效区,令发动机的燃油经济性和排放性急剧恶化。当 HCU 检测到这种情况时,会发送指令控制驱动系统进入电机助力模式,改善车辆的燃油经济性,满足车辆行驶性能的要求。通常要求轿车应具有良好的加速和爬坡能力,所以在 HCU 检测到汽车爬坡和加速时,也会发送指令控制驱动系统进入电机助力模式。

电机助力模式时,HCU 会发送指令使前后桥同时工作,

后桥辅助前桥,共同驱动车辆前进。HCU 采集发动机的转速信号,通过控制 CVT 的速比控制目标车速,根据目标车速和两挡变速器的速比确定电机转速。前后轮的驱动力矩通过 HCU 协调分配,使两套驱动系统的牵引力实现动力耦合^[9]。

在电机助力模式下,发动机仍可工作在高效区。两套动力系统互不牵连,能够充分发挥各自的特性。两个动力总成可以根据各自转矩的特点,对总的输出转矩进行最佳分配,提高混合动力汽车的动力性能。

2.2.4 能量回收及充电模式

能量回收模式用于汽车减速和制动状态。当 HCU 检测到制动踏板信号时,进入能量回收模式,电机将机械能转化为电能储存在蓄电池里。在此过程中亦产生制动力矩,不仅实现了制动能量回馈,同时也为车辆制动系统减轻了负担,减少了能量的损耗。

整车为插电式混合动力汽车,可以用纯电模式行驶。电机可以回收汽车制动能量,给电池组充电;当 HCU 检测到 SOC 电量低于 20% 时,进入发动机驱动模式,发动机带动后桥电机发电,给电池组充电;电池组也可以在停车时连接外接电源来充电。

根据混合动力汽车的特点,整车控制器中设置了模式转换开关,来控制两个动力源的运行状态。HCU 通过 CAN 总线接收不同信号并按照一定的控制策略控制车辆不同工作状态的切换^[1]。

表 3 双桥驱动混合动力系统运行状态

Table 3 The operating status of double-axle drive HEV

运行状态名称	发动机工作模式	电机工作模式
纯电动模式	关闭	驱动
发动机驱动模式	驱动	空转
电机助力模式	驱动	驱动
制动能量回收模式	关闭	发电

3 发动机燃油消耗和工作点的仿真

本文用 AVL-Cruise 建立了某混合动力汽车的模型^[12],如图 4 所示。

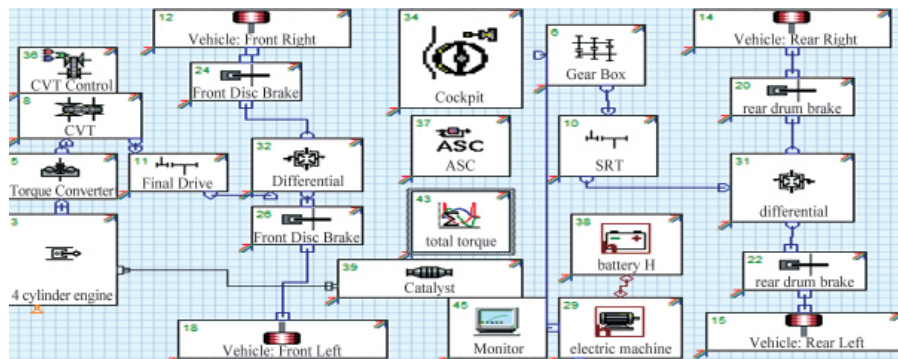


图 4 整车模型

Fig. 4 Vehicle model

由仿真数据得到纯电动驱动、发动机驱动、电机助力模式时,汽车爬坡度曲线如图5所示。

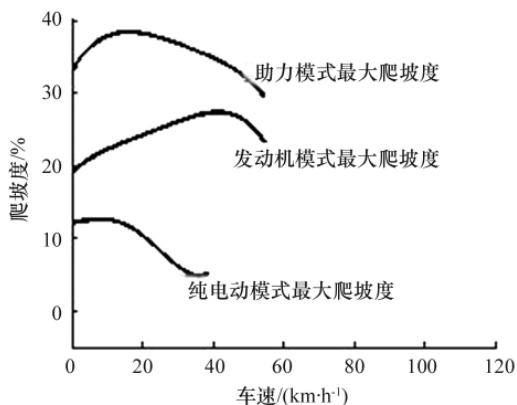


图5 爬坡度曲线
Fig. 5 Maximum gradient curve

由图5可以看出,电机单独驱动时只能爬上12%的坡,所以仅在汽车起动和低速行驶时用电机驱动模式;发动机驱动模式时,汽车的最大爬坡度为27.29%,即 $\alpha \approx 15.3^\circ$;助力模式下,最大爬坡度达到38%。

原车和双桥驱动混合动力汽车的加速时间如图6所示,原车100km加速时间为21.7s,双桥驱动混合动力汽车的100km加速时间为14.62s。

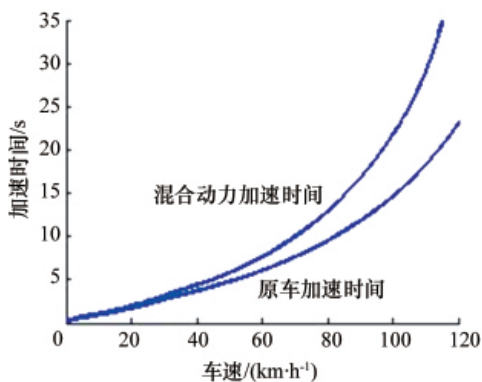


图6 加速时间曲线
Fig. 6 Acceleration time curve

由图5和图6可以看出,电机与发动机联合工作时,车辆的动力性能有很大提高。

燃油经济性是衡量混合动力汽车节油减排的重要指标之一,新欧洲汽车行驶循环工况(NEDC)包括市区运转循环(ECE15)和市郊运转循环(EUDC)工况,非常具有代表性。表4为混合动力汽车与原型车在NEDC工况下运行的电耗和油耗数据。

NEDC循环持续时间为1180s,行驶里程11.007km。其中,市区ECE15循环平均速度为18.7km/h,最高速度为50km/h;市郊EUDC循环平均速度为62.6km/h,最高速度为

表4 NEDC工况下的耗电量和油耗

Table 4 Power and fuel consumption under NEDC condition

车型	总油耗/L	100km	
		总耗电量/kW·h	耗电量/kW·h
原车	0.77	0	7.00
混合动力	0.54	0.12	4.93

120km/h。整个NEDC的循环平均速度为32.12km/h,最大加速度为 1.06m/s^2 。表4中分别列出了NEDC工况下的油耗和电耗情况。从表4可以看出,本设计的燃油消耗较原车降低29.6%,比纯发动机驱动汽车具有更好的经济性,说明了混合动力汽车在城市道路上具有节能优势。

图7显示了NEDC工况下原车发动机运行的工作点。发动机工作点大部分不位于发动机高效率区,油耗较高。图8是NEDC工况、双桥驱动混合动力模式下发动机运行的工作点,工作点大部分位于发动机高效率区范围内,油耗较低。这表明牵引力耦合式混合动力驱动系统可控制发动机在高效区工作,使发动机和电机的工作达到最佳匹配,从而达到减小油耗的目的。

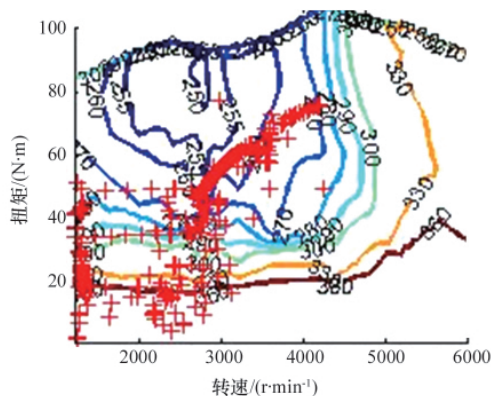


图7 原车发动机工作点分布
Fig. 7 Engine operating point maps of the original car

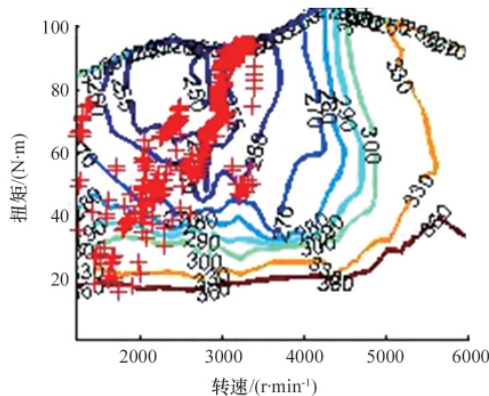


图8 新设计发动机工作点分布
Fig. 8 Engine operating point maps of the designed car

4 结论

(1) 以某国产品牌汽车为研究对象,在原车的基础上增加电机和两挡式变速器,使之成为双桥驱动的混合动力汽车。分析确定了双桥驱动混合动力汽车的基本构型,并对其进行了动力匹配研究。

(2) 在 CVT 汽车上使用双桥驱动混合动力,既能克服传统 CVT 车辆的不足,又能充分发挥混合动力汽车节能减排的优势,使节能、环保优势得到充分发挥。

(3) 通过 AVL-Cruise 对双桥驱动混合动力汽车的性能进行仿真,结果表明,本设计的驱动模式节能优势明显,节油 29.6%,减少了城市污染。

参考文献 (References)

- [1] 邹乃威. 无级变速混合动力汽车动力耦合及速比控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2009: 34-41.
Zou Naiwei. Study on power coupler and ratio control for HEV with continuously variable transmission [D]. Changchun: Jilin University, 2009: 34-41.
- [2] 王家明, 郭晋晟, 冒晓建. 新型混联式混合动力客车动力系统分析[J]. 汽车技术, 2008(9): 1-4.
Wang Jiaming, Guo Jinsheng, Mao Xiaojian. *Automotive Technology*, 2008(9): 1-4.
- [3] 方华, 顾力强. 基于城市循环工况的混合动力客车经济性仿真及试验研究[J]. 传动技术, 2010, 6(24): 16-19.
Fang Hua, Gu Liqiang. *Drive System Technique*, 2010, 6(24): 16-19.
- [4] 王加雪, 王庆年, 吴栋, 等. 插电式混合动力客车功率匹配与仿真[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2010, 11(40): 1465-1472.
Wang Jiaxue, Wang Qingnian, Wu Dong, et al. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2010, 11(40): 1465-1472.
- [5] 陈龙. 混合动力电动汽车动力性与经济性分析 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008: 16-28.
Chen Long. Hybrid electric vehicle power and economy analysis [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008: 16-28.
- [6] 周兵, 江清华, 杨易. 两挡变速器纯电动汽车动力性经济性双目标的传动比优化[J]. 汽车工程, 2011, 33(9): 792-797.
Zhou Bing, Jiang Qinghua, Yang Yi. *Automobile Engineering*, 2011, 33(9): 792-797.
- [7] 王伟, 王庆年, 初亮. 混合动力汽车驱动电机性能评价体系研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 20-25.
Wang Wei, Wang Qingnian, Chu Liang. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(8): 20-25.
- [8] 王喜明, 郭志军, 李忠利, 等. 混合动力汽车动力电池组参数匹配[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2011, 32(4): 19-23.
Wang Ximing. *Henan Science and Technology University: Natural Science Edition*, 2011, 32(4): 19-23.
- [9] 孙永正, 李献菁, 邓俊, 等. 插电式串联混合动力轿车的选型匹配与仿真[J]. 汽车工程, 2010, 32(12): 1015-1020.
Sun Yongzheng, Li Xianjing, Deng Jun, et al. *Automobile Engineering*, 2010, 32(12): 1015-1020.
- [10] 朱建新, 郑荣良, 申其壮, 等. 四驱混合动力汽车车轮转矩分配策略的研究[J]. 汽车工程, 2010, 32(12): 967-971.
Zhu Jianxin, Zheng Rongliang, Shen Qizhuang, et al. *Automobile Engineering*, 2010, 32(12): 967-971.
- [11] 胡先锋. 并联混合动力汽车动力系统优化及控制策略研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009: 31-45.
Hu Xianfeng. Optimization of powertrain and study on vehicle control strategy for a parallel hybrid electric vehicle[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2009: 31-45.
- [12] 王庆年, 于永涛, 曾小华, 等. 基于 CRUISE 软件的混合动力汽车正向仿真平台的开发 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39 (6): 1413-1419.
Wang Qingnian, Yu Yongtao, Zeng Xiaohua, et al. Development of forward-looking simulation platform for hybrid electric vehicle based on software CRUISE[J]. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2009, 39(6): 1413-1419.

(责任编辑 马宇红, 朱宇)

· 科学共同体介绍 ·

中国电工技术学会

中国电工技术学会 (China Electrotechnical Society) 成立于 1981 年 7 月 23 日, 是由以电气工程师为主体的电工科学技术工作者和电气领域中从事科研、设计、制造、应用、教学和管理等工作的单位、团体自愿组成并依法登记的社会团体法人, 是全国性的非营利性社会团体, 是中国科学技术协会的组成部分, 总部设在北京。高景德、赵明生、沈烈初、关志成等历任学会理事长。

中国电工技术学会目前拥有个人会员 5 万余名, 团体会员 1500 余个, 高级会员 2000 余名, 专业委员会 43 个, 地方学

会 22 个。学会参加的国际组织有国际电气电子工程师协会、英国电气电子工程师学会、世界电动车协会、亚太电动车协会和国际电磁场计算学会等, 并与日本、韩国等国家的科研机构及相关组织建立了联系。

中国电工技术学会每年举办学术年会、专题研讨会和高新技术报告会; 定期举办“电力电子与运动控制国际会议”、“国际电机会议”、“船舶电工国际会议”、“电动车国际会议”和“国际电磁场会议”等国际会议; 举办“电磁兼容技术”、“电力电工设备与智能化电器技术”等多种国际

科技展览会。

中国电工技术学会组织编写了《电工高新技术丛书》、《21 世纪科技发展丛书》等系列丛书; 编辑出版《电工名词术语》等重要参考文献; 当前正组织编写新版《电气工程师手册》和《中国电气工程大典》。学会主办《电工技术学报》、《电气技术》、《电力电子技术》等 30 余种学术刊物。

2010 年 1 月中国电工技术学会第七次全国会员代表大会在北京召开。原机械工业部副部长、中国银行原副行长孙昌基当选为新一届理事长。

(责任编辑 秦政)