

# 中型组足球机器人控球系统的设计与实现\*

易金桥, 廖红华, 袁海林, 艾青, 方芳  
(湖北民族学院 信息工程学院, 湖北 恩施 445000)

**摘要:**针对 RoboCup 中型组足球机器人在比赛过程中,被动式控球机构不具备断球功能、持球不稳定,以及带球不能进行小角度转弯等问题,将红外传感技术与机电一体化技术应用到中型足球机器人控球机构中,设计了基于 Atmega128 的主动式控球机构,通过串口从上位机读取机器人的行进姿态,结合红外传感器探测到的控球区域信息,选择了左右持球臂传动电机的控制方式,实现了比赛过程中机器人的断球、带球转身和持球等关键技术。采用模块化架构理念,设计了 DC-DC 电源电路、红外传感器电路、空心杯直流电机驱动电路、持球臂机械构件以及系统软件。实验结果表明,中型足球机器人控球系统的输出电压、PWM 波、红外探测距离等参数误差均小于 2%, Rising Sun 机器人在实际比赛中的有效控球时间达到了 56%。

**关键词:**单片机;控球机构;红外传感器;驱动器

中图分类号:TH122;TP24;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)11-1312-05

## Design and realization of ball hand system for medium-sized league football robot

YI Jin-qiao, LIAO Hong-hua, YUAN Hai-lin, AI Qing, FANG Fang  
(School of Information Engineering, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China)

**Abstract:** Aiming at RoboCup medium-sized league football robot in the process of game, passive handing ball mechanism do not have function of stealing the ball, handing the ball is not stable, and carrying the ball can't turn of small angle, the infrared sensor technology and mechatronics technology were applied to medium-sized football robot handing ball mechanism, the active control mechanism based on Atmega128 was designed, via a serial port from a PC to read the robot posture of the travel, combined with infrared sensors information, the drive motor control method of the arm around the ball was selected, to realize key technology including the robot of stealing the ball, the handing ball turned and the ball carried in the process of game. Modular architecture concept was adopted to design the DC-DC power supply circuit, infrared sensor circuit, the hollow glass of DC motor drive circuit, arm mechanical components of handing the ball, and system software. The experimental results show that system parameter of the output voltage, the PWM wave, infrared detection range of medium-sized league football robot, such as error less than 2%, the effective ball-handling time of the Rising Sun robot reaches 56% in the actual game.

**Key words:** microcontroller; ball handling mechanism; infrared sensor; driver module

## 0 引言

中型组足球机器人是 RobCup 世界杯机器人足球赛最具影响力的赛事之一,其目的在于促进人工智能、机器人和现代控制技术的研究和发展,突破视觉、机

械、控制、通信和策略等研究领域的关键技术,推动机器人在未来工业和军事的应用。控球机构是中型组足球机器人机械子系统的关键组件之一,其作用类似于足球运动员的控球脚,在比赛中能否可靠控球、带球、传球和射门,将对比赛的结果起到决定性作用。

根据控球机构是否具有驱动力,其可分为主动控球机构和被动控球机构。在早期的足球机器人比赛中,基本都是采用被动控球机构,例如日本的 Hibikinomusashi<sup>[1]</sup>,德国的 Tribot<sup>[2]</sup>和中国的 Water(I)等。被动控球机构的优点是机械结构简单、安装方便、无需控制、经济实惠;但是存在赛前调节繁琐、控球效率低等缺点。为了保持控球状态,机器人必须保持匀速或加速前进,不允许减速、后退和小角度转弯。随着机器人比赛规则的逐步完善和机器人控制技术的发展,出现了主动控球机构,例如葡萄牙的 Combada,荷兰的 Tech-United<sup>[3-4]</sup>,中国国防科技大学的 Nubot<sup>[5]</sup>等。相对被动控球机构而言,主动控球机构具有可靠性高、带球过程稳定、允许机器人减速/后退及小角度转身等优点。虽然主动控球机构有诸多优点,但机构机械结构和控制系统复杂,其应用研究处于起步阶段,因此设计控制准确、结构科学、性能稳定的主动控球机构仍然有着十分重要的现实意义。

本研究以 Atmega128 单片机为控制核心,通过红外传感技术采集足球信号,通过 BDMC3606 驱动模块控制持球电机,设计一套完整的主动控球机构和控制方法,并在 Rising Sun 中型组足球机器人上成功实现。

## 1 系统设计

以 AVR 单片机 Atmega128 为核心的控制系统结构框图如图 1 所示,各模块主要功能如下:

(1)MCU 模块。该模块通过串口接收来自计算机的机器人定位数据,结合红外传感器信息,判断机器人实时运行姿态和行为动作,决策控球机构的控制方案。

(2)电源模块。足球机器人采用 12 V 镍镉电池供电,经过 DC-DC 变换电路后,为驱动器、单片机和传感器电路供电。

(3)足球识别模块。该模块采用红外光电探测器识别持球范围是否存在足球,以便系统做出抢球、持球、带球、传球等控球动作。

(4)驱动模块。该模块采用 BDMC3606 驱动器直接驱动无刷直流电机,通过控制左、右电机的启停、正反转和转速,以实现不同机器人行进姿态下的控球功能。

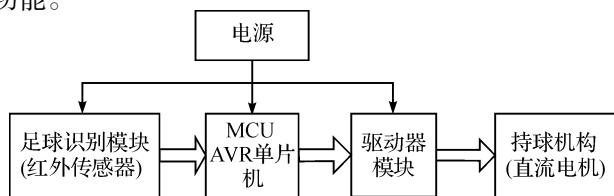


图 1 控球机构系统框图

## 2 控球系统机械结构设计

主动控球机构目前普遍采用电机传动摩擦轮,通过摩擦轮转动和挤压足球产生摩擦力,带动足球按照控制策略设定的方向旋转。由于机器人在运动过程中存在触球深度、运动速度、行进路线等参数的不同,机械结构必须采用弹性连杆和限位可调设计方式,根据文献[6-7]的研究结果,本研究采用双主动轮结构,摩擦轮接触面与中心轴线成 45°角,与接触球面平行,接触到球心的连线与水平面的夹角调节范围为 30°~60°,以确保在不同运动状态下调整触球深度。

控球机构的单臂实物图如图 2 所示。无球状态下,两主动轮组件由于限位块作用,保持了一定初始角度;控球状态下,球在机器人正前方,在拉紧弹簧作用下主动轮和球面压紧;两个主动轮由电机驱动旋转,共同作用使球始终与车体处于紧贴状态,可沿不同方向运动。

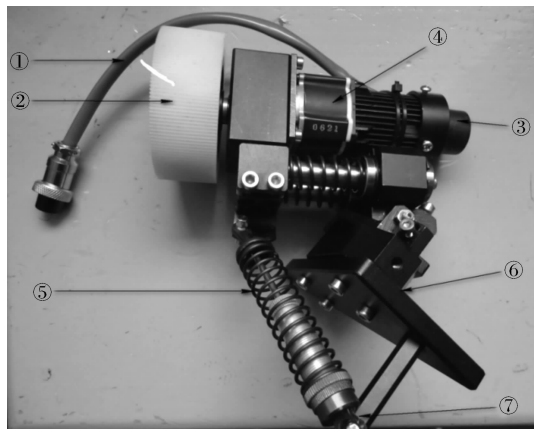


图 2 控球机构的单臂实物图

①—驱动器连接线;②—摩擦轮;③—转速测量器;④—无刷直流电机和变速箱;⑤—拉紧弹簧;⑥—支撑件和转盘组件;⑦—限位调节装置

## 3 电路设计

### 3.1 电源电路设计

中型组足球机器人比赛时间为 30 min,如果考虑到比赛过程中弹射器频繁射门等因素,必须采用大容量的可充电电池。该系统根据实战经验采用 12 V 镍镉可充电电池,其具有性能稳定、充电速度快、放电电流大、防撞击等优点,总设计容量 18 A·h,可以确保机器人在正常情况下按照额定功率工作 60 min 以上。

该控球系统是在 Voyager III 机器人基础上,专门为 Rising Sun 机器人设计的。控制电路主要有单片机模块、传感器模块和驱动器模块,其中单片机模块和传

传感器模块需要 5 V 供电,而驱动器模块需要 12 V ~ 36 V 供电。该系统的供电电源结构框图如图 3 所示。DC-DC 升压电路<sup>[8]</sup>如图 4 所示。其中,PWM 波由 AVR 单片机直接产生。

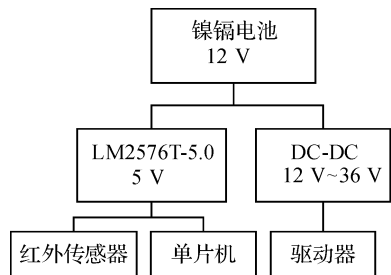


图 3 电源模块

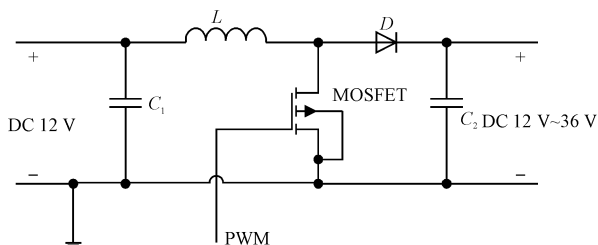


图 4 DC-DC 升压电路

### 3.2 红外传感器电路设计

E18-D80NK-N 红外传感器是一种集发射、接收于一体的光电传感器,发射光经过调制后发出,接收头对反射光进行解调输出,有效地避免了可见光的干扰。本研究通过调节传感器模块的电位器以调节传感器的最佳测量范围,其中最远检测距离可达 80 cm。

红外传感器安装在机器人的正前方,当有足球进入探测区域时,发送脉冲给单片机,单片机根据上位机传输的定位和姿态数据,确定是否抢球或持球,如果机器人位于射门有效区域,并通过上位机控制射门装置射门。在带球行进过程中,足球一直在红外传感器的探测范围内,根据测量距离的远近,单片机控制持球臂电机的转速,不仅可以实现带球转身等高难度动作,还可以在对方机器人控球情况下断球,确保在比赛过程中保持绝对的技术优势。

### 3.3 驱动器模块

BDMC3606 模块是由北京博创科技采用 16 位 DSP 处理器开发的多功能电机驱动器,具有安装简单、功能全面、连接灵活、性能稳定等优点,可用于驱动有刷永磁直流电机、空心杯永磁直流电机、步进电机和伺服电机等。具有以下的特点:输入直流电源 12 V ~ 36 V;最大连续工作电流 6 A,短时电流 10 A;特别针对空心杯电机,采用高达 80 kHz 的 PWM 频率,通过电

流调节实现力矩控制、速度控制。直流电机调速普遍采用 PWM 技术,这种调速方式具有调速特性优良、调整平滑、调速范围广、过载能力大,能承受频繁的负载冲击,还可以实现频繁的无级快速启动、制动和反转等优点,稳定性强。

由于 AVR 单片机可以直接产生 PWM 波形<sup>[9]</sup>,该系统工作模式选用 PWM 控制方式,通过改变占空比调节电机的转速。BDMC3606 驱动器可接受的 PWM 信号的频率范围为 100 Hz ~ 2 000 Hz,占空比调节范围为 1% ~ 99%,占空比大于 50% 时电机正转,占空比小于 50% 时电机反转、占空比等于 50% 时电机停止。PWM 控制信号和对应速度关系如图 5 所示。

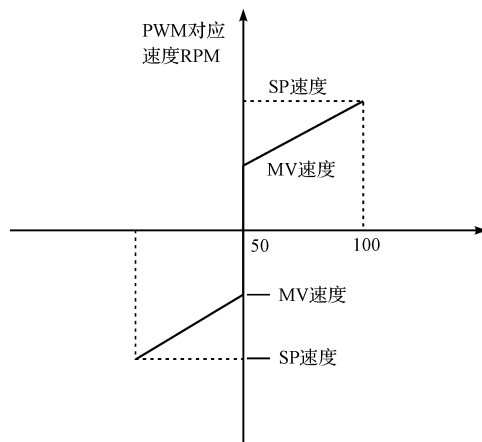


图 5 PWM 控制信号和对应速度关系

该持球臂选用 SAEG 电机,其优点是没有铁芯,没有齿槽效应,极大地降低了铁损(电涡流效应造成的铁芯内感应电流和发热产生的损耗)。其能量转换效率一般在 75% 以上,低惯量空心杯转子能获得高加速度和优异的动态响应性能,启动、制动迅速,响应极快,机械时间常数小于 28 ms,即使在高速运转状态下,其转速调节灵敏,运行稳定性、自适应能力强,自身转速波动能控制在 2% 以内。SAEG 电机与同等功率的铁芯电机相比,其重量、体积减轻 1/3 ~ 1/2,转速—电压、转速—转矩、转矩—电流等对应参数曲线都呈极好的线性关系。

机器人持球控制系统电路总体原理图如图 6 所示。

## 4 软件设计

该系统的控制核心为 Atmega128 单片机,其采用 C 语言编程。根据功能要求,系统软件流程图如图 7 所示。系统主要通过反射式红外传感器采集足球位置信息,如果球已经进入持球有效区域,则系统根据当前机器人的运动行进方式,调用相应的电机控制子程序,实现不同运动状态下的持球功能。

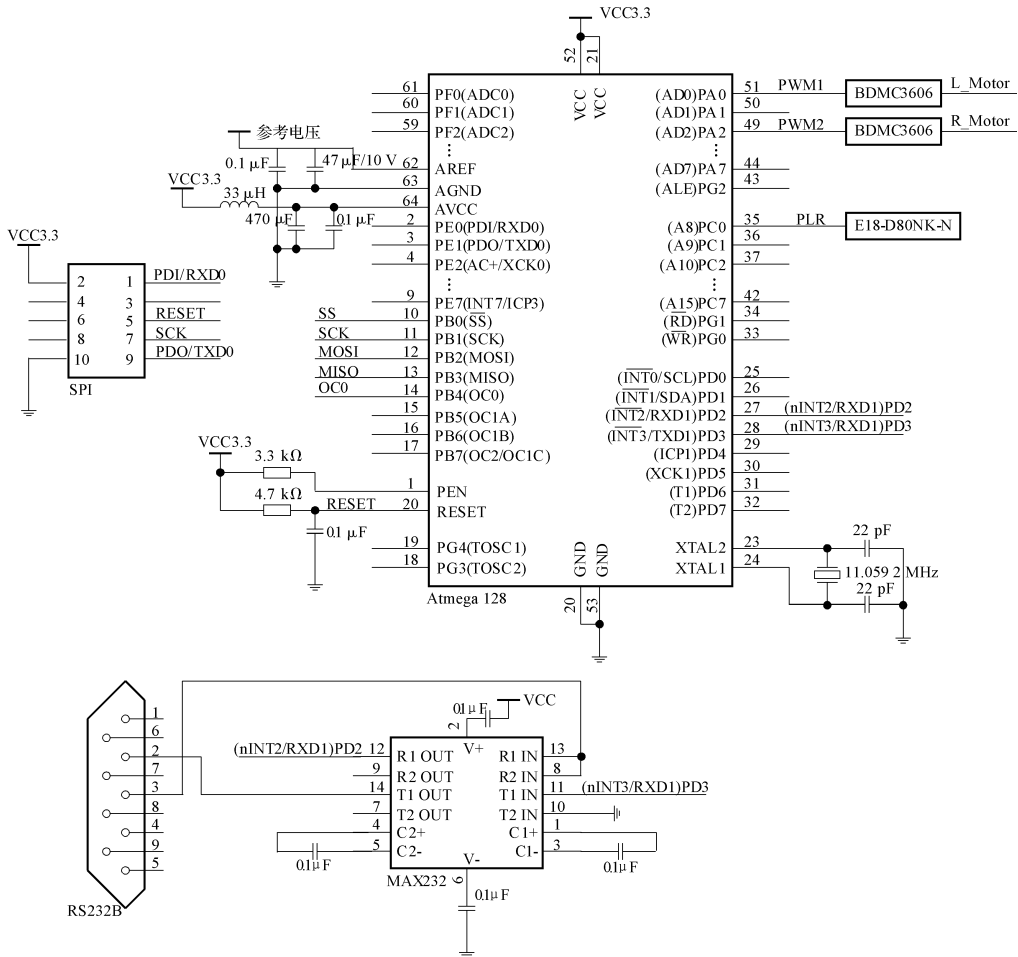


图 6 系统总体电路图

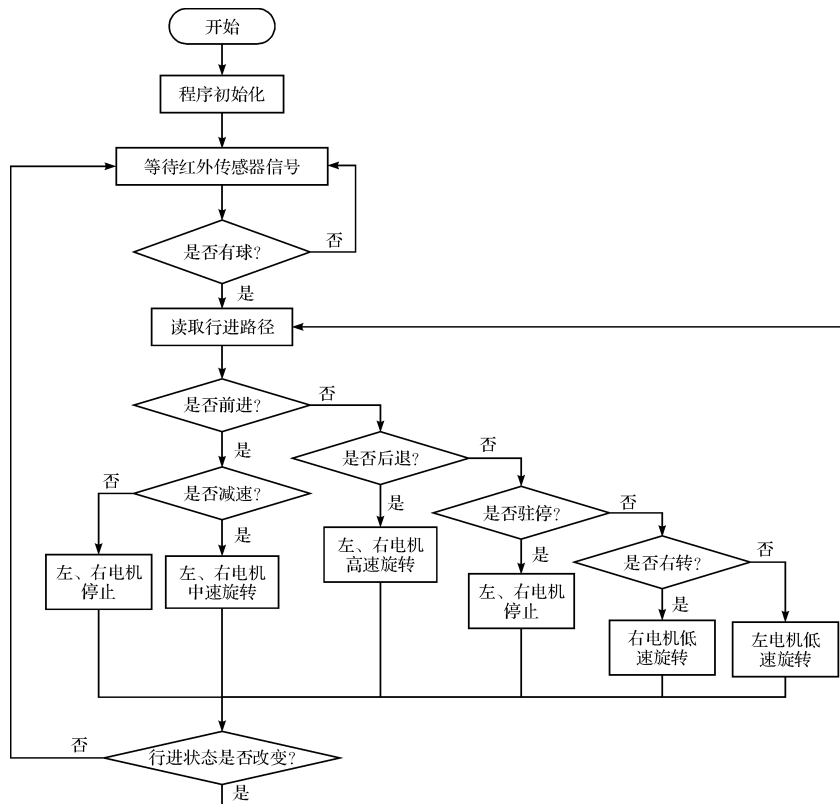


图 7 系统总体流程图

由于中型组足球机器人的上位机<sup>[10]</sup>主要负责系统的策略控制和机器人之间、机器人与裁判机之间的通信<sup>[11]</sup>,程序设计较为复杂。为了提高控球系统与上位机通信的可靠性和健壮性,该系统可以采用 FP-GA<sup>[12]</sup>控制器与上位机通信,提高系统的稳定性和通信速率。

## 5 安装与测试

### 5.1 控球机构的安装

红外传感器支架的高低决定了探测球的距离范围。如果位置较低,则传感器探测的范围将大大缩小;如果安装位置较高,则当持球机构拿到球之后,传感器有可能探测不到球的位置而产生错误信号,本研究根据实际安装测试结果,最后确定的安装高度应该在 30 cm ~ 36 cm 之间,位于机器人的中轴线上。

持球臂是控球机构的核心机械装置,安装时要确保传动摩擦轮与地面相距 25 cm,两个直流电机相对于主机中心轴线成 45°角,通过限位螺母调节使得在运动过程中两个摩擦轮最远距离为 20 cm。角度、高度、距离等参数是根据国际比赛规则和实际调试结果,综合球的大小、控球稳定性、控球速度等因素测算出来的。为了保护持球臂机电部分,笔者在机器人左、右两侧各安装了一块阻挡板,以防止在比赛过程中由于对抗冲撞而受损。系统安装完成后的效果图如图 8 所示。

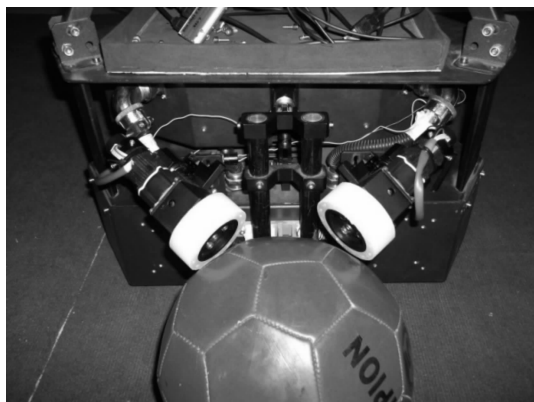


图 8 安装后的实物图

### 5.2 控球机构基本参数测试

按照上述安装方式,本研究对 Voyager III 机器人

进行了改进调试,实现了在不同行进状态下的断球、带球、转身、射门等规定动作。测试结果表明,与被动式持球方式相比,主动控球机构明显在断球、拼抢、转身等高难度动作上具有绝对优势,保证了在比赛过程中的控球时间达到 65% 以上,并能制造更多的射门机会。根据系统稳定、可靠工作的要求,本研究还对部分参数进行了精确测量,主要包括:输出电压、电机转速、PWM 占空比与频率、红外探测距离等。详细参数测试结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,所有实际测量参数与预设参数之间的误差均在误差允许范围之内。

表 1 测试参数

测试项目	测试 1	测试 2	测试 3	设定值
输出 5 V 电压值/V	4.99	4.96	4.95	5.0
输出 12 V 电压值/V	11.97	12.13	11.98	12.0
电机转速/(r · min <sup>-1</sup> )	5 986	5 997	5 989	6 000
PWM 占空比/(%)	79	81	79	80
PWM/Hz	1 998	1 996	1 991	2 000
红外探测距离/cm	19.7	19.5	19.3	20

## 6 结束语

本研究介绍的中型组足球机器人主动控球系统的硬件和软件部分都经过了严格的测试和实验,并安装在 Rising Sun 机器人上,参加了 2011 年全国机器人大赛暨“RoboCup 公开赛”实战检验,实际运用结果证明该系统稳定、可靠,在比赛过程中实现了控球率达 56%,并获得全国二等奖。

研究表明,通过提高中型组足球机器人的控球时间能在实际比赛中获得更多的射门机会,提高比赛成绩。但是,机器人足球运动作为一项综合性强、技术复杂、现场情况变化多端的高科技竞技比赛,还需要从网络的构建、算法的优化、策略的提升等方面进行研究,全面提高我国机器人竞赛总体水平。

### 参考文献 (References):

[1] SATO Y, YAMAGUCHI S, MUSASHI H, et al. Team Description Paper [CD]. RoboCup 2008 Suzhou, CD-ROM, Suzhou, China, 2008.

[2] HAFNER R, LANGE S, LAUER M, et al. Brainstormers-Tribots Team Description [CD]. RoboCup 2008 Suzhou, CD-ROM, Suzhou, China, 2008.

(下转第 1328 页)

### 本文引用格式:

易金桥,廖红华,袁海林,等. 中型组足球机器人控球系统的设计与实现[J]. 机电工程, 2013, 30(11): 1312 - 1316, 1328.

YI Jin-qiao, LIAO Hong-hua, YUAN Hai-lin, et al. Design and realization of ball hand system for medium-sized league football robot[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013, 30(11): 1312 - 1316, 1328.

## 4 结束语

本研究通过理论推导和排放试验证明,使用 SAO 流量计或者 TRACE CO<sub>2</sub> 分析仪,都可将直采测量系统测得的污染物体积浓度值精确换算成污染物的瞬态质量排放值,从而更加有效地支持汽车排放属性的开发和 ECU 标定程序的调整。

SAO 流量计和 Trace CO<sub>2</sub> 分析仪的目的都是计算出排放试验过程中的动态稀释比。SAO 流量计的测量精度高,且有附加功能,例如标定 CFV 的流量等,所以推荐它为首选。而 Trace CO<sub>2</sub> 分析仪体积小、成本低,安装方便,也是一种选择。当然在项目预算成本允许的情况下,可以考虑同时安装这两个部件,以完善整车排放开发测试系统。

### 参考文献(References):

- [1] 龚金科,黄景宇. 汽车排放及控制技术[M]. 北京:人民交通出版社,2010.
- [2] 梁国伟,周宁宁,李长武. 临界流文丘里喷嘴流量计的原理与应用[J]. 北京:中国计量学院学报,2004,15(3):

186-190.

- [3] 李春辉. 临界流文丘里喷嘴气体流量标准装置[J]. 中国计量,2012(12):113.
- [4] 李勤. 现代内燃机排气污染物的测量与控制[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [5] HOOD F J, SILIVS W M. Predicting and Preventing Water Condensation in Sampled Vehicle Exhaust for Optimal CVS Dilution[N]. USA, SAE Paper,1998,980404.
- [6] 国家标准化工作委员会. GB18352.3—2005 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [7] THOMAS C A, CARETTO L S. Improving the Calculation of Exhaust Gas Dilution During Constant Volume Sampling [N]. USA, SAE Paper,1998,980678.
- [8] 周小松,郎静. 定容取样系统简介[J]. 柴油机设计与制造,2005,14(3):39-42.
- [9] 刘巽俊,许斯都,周龙保. 内燃机的排放与控制[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [10] BEHRENDT H, MÖRSCH O. Studies on Enhanced CVS Technology to Achieve SULEV Certification[N]. USA, SAE Paper,2002-01-0048.

[编辑:张翔]

(上接第 1316 页)

- [3] AZEVEDO J L, LAU N, CORRENTE G, et al. CAMBADA' 2008: Team Description [CD]. Paper RoboCup 2008 Suzhou, CD-ROM, Suzhou, China,2008.
- [4] LUNENBURG J J M, VEN G V D. Tech-United Team Description [CD]. RoboCup 2008 Suzhou, CD-ROM, Suzhou, China,2008.
- [5] ZHANG Hui, LU Hui-min, JI Xiu-cai, et al. NuBot Team Description Paper 2008 [CD]. RoboCup 2008 Suzhou, CD-ROM, Suzhou, China,2008.
- [6] 李永新,李尚荣,杜华生,等. F-180 足球机器人结构与仿真分析[J]. 机电工程,2003,20(6):56-60.
- [7] 卢盛才,海丹,王祥科,等. RoboCup 中型组足球机器人主动控球机构设计[J]. 机电工程,2009,26(11):13-17,67.
- [8] 皮骄阳,李永新,李鹏,等. 基于 DSP 的足球机器人控

制电路设计研究[J]. 电气自动化,2006,28(1):17-29.

- [9] 田立东,周继军,秦会斌. PWM 调光 LED 驱动器设计[J]. 机电工程,2012,29(4):465-468.
- [10] 劳立辉,窦争宝,刘凤连. 移动机器人控制系统[J]. 轻工机械,2012,30(3):50-53.
- [11] 赵晓,汪明,李晓明. 改进扩展卡尔曼滤波算法在智能足球机器人比赛中的应用[J]. 机电工程,2012,29(3):334-338.
- [12] 汪明,赵晓,李晓明. 基于 FPGA 的小型足球机器人无线通信子系统的设计[J]. 机电工程,2011,28(11):1386-1390.

[编辑:张翔]

### 本文引用格式:

熊志凯,王凤金. 整车排放试验污染物瞬态质量测量方法研究[J]. 机电工程,2013,30(11):1323-1328.

XIONG Zhi-kai, WANG Feng-jin. Pollution real-time mass measurement method for vehicle emission test [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2013,30(11):1323-1328.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>