

注：浙江省科技计划资助项目（NO. 2017C33224）

摘要：随着汽车工业的迅速发展，出于环保考虑，传统的化油器式汽车逐渐被电控喷油车辆所代替。而氧传感器是电控喷油车辆电子控制系统的重要器件，让发动机得到最佳浓度的混合气，实现降低有害气体的排放和节油的目的。本文介绍了一种用于电控喷油车辆电子控制系统的氧传感器——汽车四线片式氧传感器，主要从制作流程、工作原理、测试方法三个方面来展开叙述，为诊断和应用此传感器提供了依据。

关键词：汽车四线；片式；氧传感器

中图分类号：TP212

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2019)07-0012-06

收稿日期：2019-06-24

# 浅谈汽车四线片式氧传感器

沈建明<sup>1</sup> 胡元云<sup>2</sup> 徐鑫<sup>2</sup> 雷英栋<sup>1</sup>

1. 嘉兴职业技术学院，嘉兴 314036；2. 嘉兴佳利电子有限公司，嘉兴 314003

## 一、前言

自1976年德国的博世（Bosch）公司和日本的丰田公司率先将氧传感器应用到汽车上，并将其产品系列化以来，短短十几年的时间里，汽车氧传感器已广泛应用于汽车空燃比的控制及尾气净化上，售出车辆累计已达几亿辆。

汽车制造业是我国国民经济发展的支柱产业之一，在经济持续发展的同时，我国汽车保有量以每年平均13%的速度增长<sup>[1]</sup>。汽车的大量增加一方面促进了经济的发展和方便了人民的生活和生产，另一方面随之而来的愈加严重的排气污染也给人民的生活环境带来了极大的威胁。

汽车尾气中主要包含碳氢化合物（CH）、一氧化碳（CO）和氮氧化物（NOX）等严重危害人类健康的污染物。据有关资料统计<sup>[2]</sup>，大城市中70%以上CH，80%以上CO和40%以上NOX的污染来自汽车排气。仅一年我国机动车排放的一氧化碳和氮氧化物分别达到几千万吨。汽车尾气对人体伤害很大，更为严重的是它们还能够引发光化学烟雾，给国民经济和人民健康带来极大损失。因此，由汽车引发的环境

问题让世界各国对汽车尾气排放标准要求也越来越严格。由环境保护部、国家质检总局分别于2016年12月23日、2018年6月22日发布，《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》自2020年7月1日起实施、《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》自2019年7月1日起实施。

氧传感器是现代汽车控制废气排放、提高燃油经济性的重要传感器之一，是发动机用于调节空燃比信号，让燃油及排放达到一定要求的重要依据<sup>[3]</sup>。本文讲述了一种用于汽车的先进氧传感器，主要介绍了它的制作流程、工作原理以及测试方法三个方面，不仅为应用此传感器提供依据，而且可以为诊断排除汽车发动机故障提供帮助。

## 二、制作流程

针对日益严重的汽车尾气污染，作为汽车电喷技术的关键零部件之一的氧传感器的研制迫在眉睫。

汽车氧传感器的制作是以Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和ZrO<sub>2</sub>固体电解质为材料，铂作为催化剂，在一定温度下进行流延、冲孔、印刷、层压、切割、共烧结、检测七步完成制成。

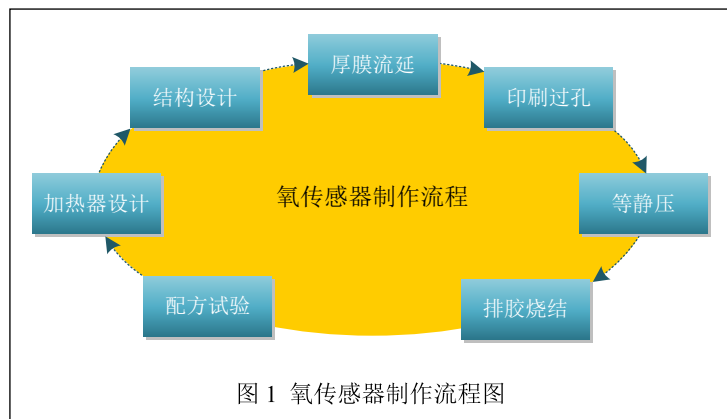


图1 氧传感器制作流程图

具体步骤如下：

第一，选择氧化铝、氧化锆配方进行试验和确定；

第二，进行加热器的设计，控制加热器、引线印刷重量与厚度；

第三，进行结构的设计，实现信号功能的实现；

第四，厚膜流延浆料配方、共烧，控制氧化铝、氧化锆烧结收缩率；

第五，进行印刷、过孔，沉淀 LTCC 印刷经验，控制及优化工艺参数；

第六，等静压，流延膜配方，控制真空度、等静压参数；

第七，排胶烧结工艺，利用 TGA、DSC、TMA 分析手段，控制排胶烧结程序。

具体流程如图 1 所示。

### 三、工作原理

汽车四线片式氧传感器的四线是指两根加热线和两根信号线，加热线是为了让氧传感器能更快地进入到工作状态，信号线是用来传输信号。

氧传感器的电动势产生机理如图 2 所示。在一定的温度下，当  $ZrO_2$  固体电解质两端的气体压力不同时，由于  $O^{2-}$  在固体电解质内的迁移而使两边电极上产生不同的电势，形成电势差。其电势差可通过能斯特公式计算得出<sup>[4]</sup>：

$$E = \frac{RT}{4F} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (1)$$

其中： $R$ —通用气体常数；

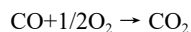
$T$ —锆固体电解质活性区的绝对温度；

$F$ —法拉第常数；

$P_1$ —外层电极的电极—电解质界面处的氧分压；

$P_2$ —大气中的氧分压。

当把铂涂覆在二氧化锆管上时，除去电极作用外，还有下述催化作业：



靠这种作用<sup>[5]</sup>，浓混合气燃烧所排放的废气与氧传感器催化剂铂接触时，因为废气中残存的低浓度氧  $O_2$  与一氧化碳  $CO$  几乎全部都参与化学反应，铂表面的  $O_2$  浓度为 0，

$CO$  浓度也减少，所以，氧浓度之差变得非常大，由此产生了 1V 左右的电动势。

当稀薄混合气燃烧时，因为排放气体中存在有浓度的  $O_2$  和低浓度的  $CO$ ，即使  $CO$  与  $O_2$  进行化学反应，还是有多余的  $O_2$  存在，氧浓度差很小，所以，几乎不产生电压。

当汽车发动机空燃比接近理论值时，因为排放气体中的  $CO$  与  $O_2$  的浓度很低，所以在铂的表面  $O_2$  与  $CO$  从完全进行化学反应（ $CO$  过剩， $O_2$  为 0）的状态急剧变化为氧含量过剩（ $CO$  为 0， $O_2$  过剩）的状态，氧浓度之比急剧变化，电动势也急剧变化。也就是说，氧传感器在理论空燃比值附近形成了一个开关（输出电压突变），偏浓输出高电压，偏稀输出低电压，电压差接近 1V，氧传感器输出电压与发动机空燃比的关系如图 3 所示。

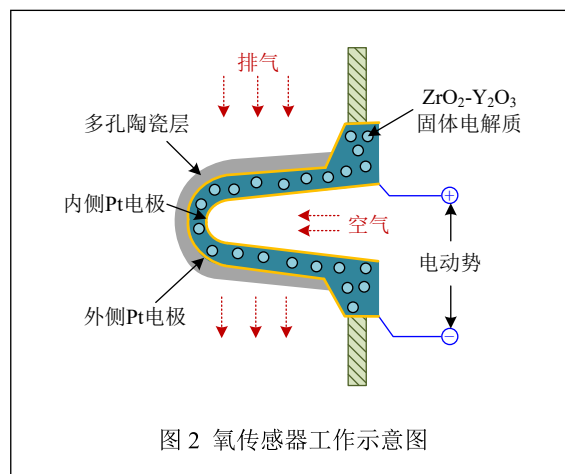
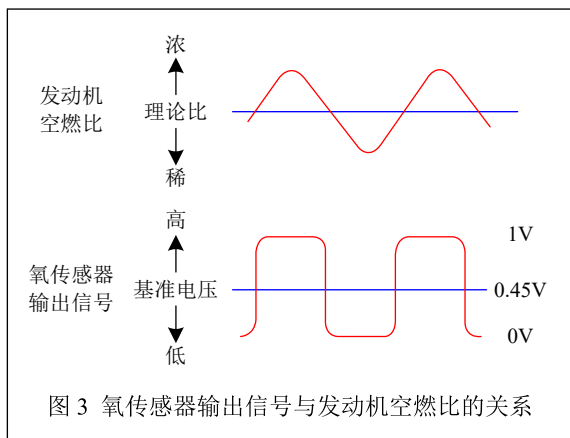


图2 氧传感器工作示意图



目前，三元催化方式（氧传感器、三元催化剂与电子控制供油系统，即所谓三元系统）在降低汽车排放技术中处于主导地位<sup>[6]</sup>。为了使废气中的 CO、CH、NO<sub>x</sub> 三种成份在各种工况下都能得到很高的净化率，发动机就必须在各种工况下一直把空燃比控制在理论值附近。为此，利用氧传感器检测排放气体中的氧浓度及微机反馈控制来调整发动机空燃比，成为必不可少的手段；同时也表明，氧传感器是使该系统最有效地发挥作用必不可少的部件。

发动机空燃比反馈控制原理如图 4 所示。在该系统中，当空燃比较低，氧浓度较稀时，排放气体中的氧浓度增加，氧传感器把“稀薄状态”通知微机，微机发出信号增加喷油量；当空燃比较高，氧浓度较浓时，排放气体中的氧浓度降低，氧传感器把“较浓状态”通知微机，然后微机发出信号减少喷油量，又回复到原来状态。反馈控制系统就是这样往复动作，从而把空燃比控制在理论值。

氧传感器也称气体浓度传感器，是发动机电控系统中一个非常重要的传感器，其功能是通过监测排气中氧离子的含量来获得混合气的空燃比信号，并将空燃比信号转换成电子信号输入 ECU。ECU 根据氧传感器信号来控制喷油时间，实现空燃比的闭环控制，让空燃比尽量能控制在 14.7（此时尾气 lambda 值维持在 0.98~1.02 之间），让发动机得到最佳浓度的混合气，

这样使汽车降低有害气体的排放和节油的目的。

目前，我国自主生产的氧传感器芯片检测手段并未有官方权威认证，也无标准评判标准，所以检测成了氧传感器进一步优化的重中之重。

#### 四、汽车四线片式氧传感器的测试

为了氧传感器芯片性能合格，使用稳定可靠，就必须进行一定的测试，这里对于氧传感器的检测主要介绍以下四个检测手段：燃烧台架性能测试、外观检验、耐久性试验和强度测试。

##### 1、燃烧台架性能测试

一台半自动化氧传感器芯片测试台架能快速精准的测试出芯片的起燃时间、最高电压、最低电压、上升时间、下降时间、内阻、稳态电流等数据，极大地降低了测试的人工成本和时间。各项指标的含义如下：

起燃时间：从室温到正常工作所需时间；

最高电压：浓燃状态下的电压；

最低电压：稀燃状态下的电压；

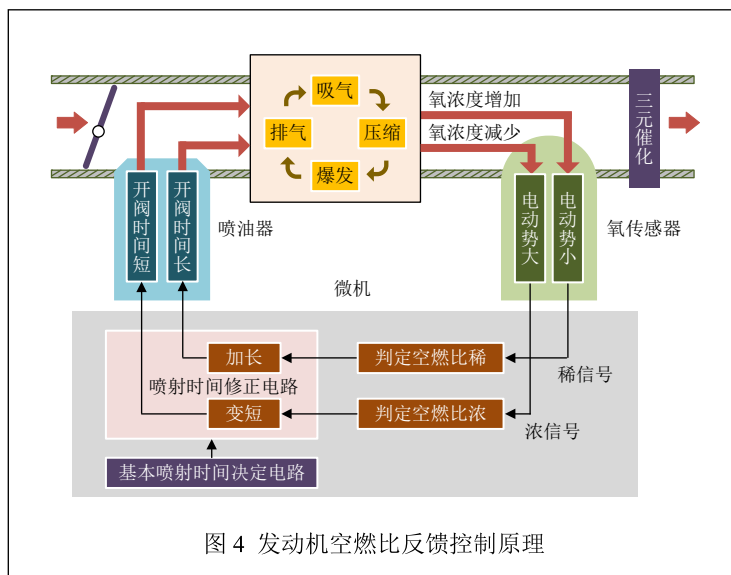
上升时间：从稀燃到浓燃芯片的反应时间；

下降时间：从浓燃到稀燃芯片的反应时间；

内阻：芯片正常工作时信号端的电阻；

稳态电流：芯片正常工作时加热端的电流；

冷态电阻：芯片室温时加热端的电阻。



在测试之前设定“合格判定标准”，各项指标的含义如表1所示。

表1 合格判定标准

测试参数	合格标准
起燃时间 (s)	≤ 17
最高电压 (mV)	> 750
最低电压 (mV)	≤ 100
上升时间 (ms)	< 25
下降时间 (ms)	< 25
内阻 (Ω)	50~500
稳态电流 (A)	0.4~0.6 (13V)
冷态电阻 (Ω)	9~16

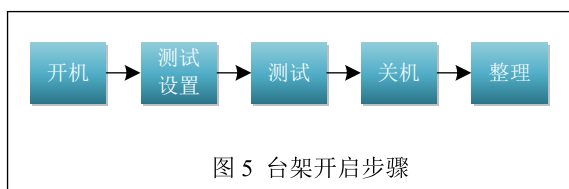


图5 台架开启步骤

台架开启步骤如图5所示。首先开启天然气，将测试车间窗户打开，开启煤气罐阀门，逆时针旋转两圈，开启钢管上空气阀门，旋转手柄90°至开启状态，然后开启台架主控电源，各仪表正常显示，开启计算机，进入windows系统主界面后，在桌面双击“燃烧测试台”文件，选择测试程序段，点击“点火”按钮，设备进入预热状态，通过“设备状态”观察设备预热进度，进度条到达100后，设备预热完成，进入待测状态。

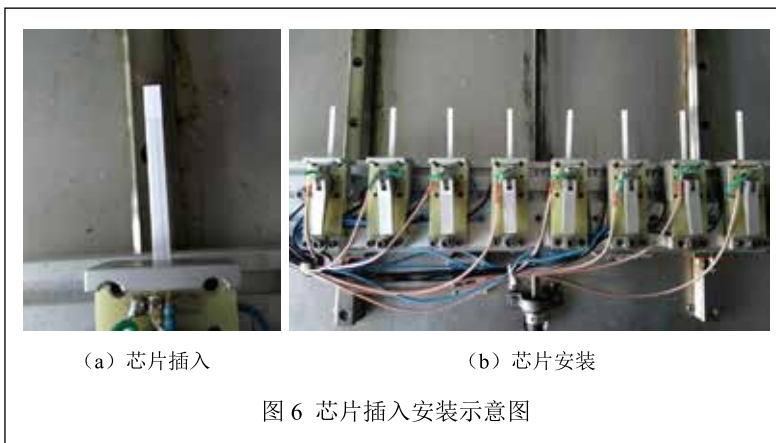
下面将芯片插入测试夹具中，芯片保护层朝上。确认无误后夹紧夹具，每轮测试安装8个测试样件，如图6所示。

测试过程中观察显示屏中的传感器信号曲线，测试完成后，测试夹具退出测试工位，恢复至待机位置。观察测试数据表，可以得到起燃时间、

最高电压、最低电压、上升时间、下降时间、内阻、稳态电流和冷态电阻。取样件用镊子，避免手直接触碰样件而烫伤，取样时镊子夹住芯片中间部分，取下芯片，放置到陶瓷板上。测得的数据如表2所示。测试完成后，关闭天然气，及时清理工作台及周边卫生，样件归放整理。

异常数据分析：

- (1) 当芯片电阻大于11Ω，或芯片内阻大于500Ω时，都有可能导致芯片起燃时间变慢；
- (2) 最高电压出现异常的原因可能是电极催化活性不够；
- (3) 最低电压出现异常的原因可能是保护层孔隙率偏低；
- (4) 内阻不在正常范围内的原因可能是印刷信号端浆料重量未到达理想值；
- (5) 稳态电流有问题的原因是芯片阻值未到达理想值；



(a) 芯片插入

(b) 芯片安装

图6 芯片插入安装示意图

表2 燃烧台架测试数据

测试参数	样本1	样本2	样本3	样本4	样本5	样本6	样本7	样本8
起燃时间 (s)	6.82	6.90	0.00	6.94	0.00	0.00	7.11	10.96
最高电压 (mV)	794.22	776.29	77.21	772.10	225.41	169.57	818.45	812.47
最低电压 (mV)	30.23	3.39	75.98	-10.97	163.50	-3.50	23.57	22.15
上升时间 (ms)	9.67	9.00	0.00	10.00	0.00	0.00	9.00	8.33
下降时间 (ms)	15.00	16.33	0.00	16.00	0.00	0.00	14.00	15.33
内阻 (Ω)	138.00	145.02	2170.78	147.08	40.73	326.31	145.91	143.66
稳态电流 (A)	0.47	0.49	0.47	0.49	0.48	0.50	0.51	0.51
冷态电阻 (Ω)	9.5	9.45	9.54	8.9	9.35	8.13	10.35	9.36

表 3 外观检查评判标准

外观现象	检测方法	评判标准	原因
保护层破损	游标卡尺	破损直径 > 1mm, 判定为不合格	芯片保护层强度不足有待改善
脱层	目测	肉眼观察	氧化铝氧化锆共烧异常
点缺陷	目测	肉眼观察	流延膜片有为溶解树脂
图案缺损	游标卡尺	缺损 > 1mm, 判定为不合格	印刷缺陷
切割偏位	游标卡尺	偏移 > 0.5mm, 判定为不合格	切割机切歌过程未对位
保护层凸起	游标卡尺	凸起厚度 > 0.2mm, 判定为不合格	突起处碳层气化过快气体无法及时排出
弯曲	游标卡尺	测试所取元件的中间位置厚度, 其值作为厚度基数。所测值小于厚度基数 + 0.1mm 则判定为合格, 大于则判定为不合格	氧化锆和氧化铝之间收缩率差距过大

(6) 冷态电阻异常的原因是印刷时加热端浆料重量未到达理想值。

2、外观检测

外观检测主要是目测和游标卡尺检测, 对该批次所有样件进行外观筛选, 样件具有分层, 表面点缺陷现象判定为不良品。通过游标卡尺, 对切割偏位, 保护层破损, 印刷缺陷, 弯曲等不良、保护层凸起进行判定, 评判标准如表 3 所示。

3、耐久性试验

取 18 根芯片置于夹具中, 设置电源在 16V 的电压下通电 3min 断电冷却 1min 做循环试验。图 7 为测试设备的侧面图和俯视图。在循环 N 次之后测试芯片性能, 通过对对比前后性能来判断芯片的耐久性。

4、强度测试

三点弯曲强度测试主要分为准备、开机、装样、测试和关机五步, 具体操作步骤为:

(1) 准备好需要测试强度的芯片, 清空下空间三点弯曲试验的夹具和测试空间;

(2) 打开电脑, 打开控制盒电源, 双击电脑界面程序, 用户登录, 进入测试程序;

(3) 用测试程序右侧栏中“连续上升下降”或手控盒前 2 个键“快上”“快下”调节下降速度。确认试验机

主机处于无负荷状态。按手控盒第 3 个键“归零”让测试程序各项数据归 0。标准安放待测试芯片, 调节跨距, 保证支柱、负载头的平行度, 芯片横置于中间位置。调节起始位置让负载端尽量接近芯片且“荷重”数据为零;

(4) 点开测试程序, 新建测试, 在右边输入测试该芯片的宽度、厚度、跨距 (HTM03AN 跨距 30), 点击“确认”, 左侧栏“测试方法列表”中选择测试定速度 0.5mm/min。完成设置后点击程序左上“执行

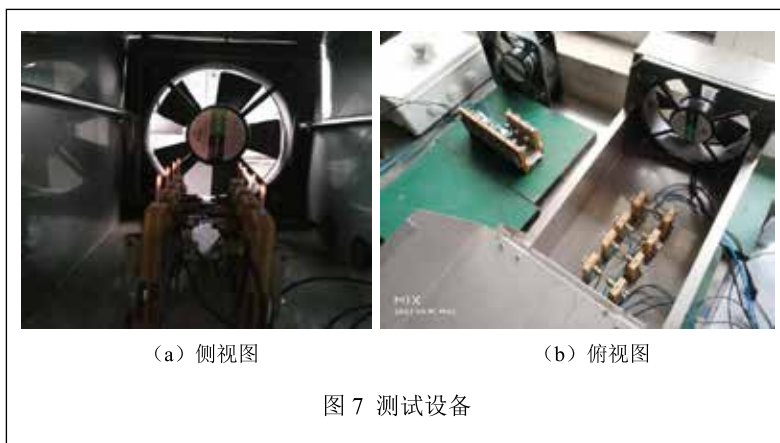


图 7 测试设备

表 4 测试结果

测试编号	1#-1
最大荷重 (N)	76.136
跨距 (mm)	30.000
弯曲强度 (MPa)	444.142
宽度 (mm)	4.110
厚度 (mm)	1.370
弯曲弹性模量 (Ei) (MPa)	238365.198

测试”开始测试，同时程序会自动跳到“结果图形”窗。完成芯片测试后，在“结果图形”窗下点击“WORD报告”，点击“确定”后自动生成以测试批号为文件名的 doc 文件；

(5) 退出程序，关闭控制盒电源，关闭试验机主机电源。

测试结果如表 4 所示。

根据强度测试结果分析可知芯片是按照德尔福共烧结构仿制，德尔福原装芯片强度大致为 300MPa 左右，我们制作芯片基本已都能达到这个强度。影响强度的因素大致有几点：共烧结构是否稳定；氧化铝氧化锆粉料的配方；共烧温度设置等。

## 五、总结

随着汽车工业的发展，特别是汽车保有量及使用频率的增加，汽车尾气所引起的污染问题越来越引起人们的重视，传统的化油器式车辆势必要被电控喷油车辆所代替。而氧传感器是电控喷油车辆电子控制系统的重要器件，通过氧传感器采集排气中氧离子含量来获得混合气的空燃比信号，并转换成电子信号输入 ECU。ECU 控制喷油时间，实现空燃比控制在 14.7，让发动机得到最佳浓度的混合气，实现降低有害气体的排放和节油的目的。作为电控喷油车辆电子控制系统的重要器件——汽车四线片式氧传感器，本文主要对它的制作流程、工作原理、测试方法进行了详细阐述，为诊断和应用此传感器提供了依据。

## 参考文献

- [1] 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: 1-7.
- [2] 覃有钧, 陈鲁言. 汽车尾气污染 [M]. 广州: 中山大学出版社, 1995: 17-19.
- [3] 郑琼姑. 浅谈氧传感器 [A]. 海南省机械工程学会会议论文集 [C]. 2018: 176-178.
- [4] 秦邦朝. 汽车用氧传感器 [J]. 传感器技术, 1992(03): 5-11.
- [5] 徐文华. 车用氧传感器的构造原理及故障诊断 [J]. 南宁职业技术学院学报, 2008(02): 18-23.
- [6] 刘建鲲. 氧传感器的结构与工作原理 [J]. 交通科技与经济, 2007(04): 56-61.

## Discussion on Four-wire and Chip of Oxygen Sensor for Automobile

SHEN Jian-ming<sup>1</sup>, HU Yuan-yun<sup>2</sup>, XU Xin<sup>2</sup>, LEI Ying-dong<sup>1</sup>

(1. *Jiaxing Vocational Technical College, Jiaxing 314036, China*; 2. *Jiaxing GLEAD Electronics Co., Ltd., Jiaxing 314003, China*)

**Abstract:** With the rapid development of automobile industry, the traditional carburettor vehicle is bound to be replaced by the electronic fuel injection vehicle for environment protection reasons. The oxygen sensor is an important device in the electronic control system of the electronic fuel injection vehicle, which makes the engine get the mixture gas with best concentration and gets the purposes of reducing the emission of harmful gases and saving fuel. An advanced oxygen sensor used in the electronic control system of the electronic fuel injection vehicle, four-wire and chip of oxygen sensor for automobile, is introduced from three aspects of fabrication flow, working principle and test method, which provides the basis for the diagnosis and application of this kind of sensor.

**Key words:** four-wire of automobile; chip; oxygen sensor

## 作者简介

沈建明: 嘉兴职业技术学院, 讲师, 硕士, 研究方向为电子控制。

通信地址: 浙江省嘉兴市桐乡大道 547 号

邮编: 314036

邮箱: 619568404@qq.com

胡元云: 嘉兴佳利电子有限公司, 高级工程师, 研究方向为电子技术。

徐鑫: 嘉兴佳利电子有限公司, 助理工程师, 研究方向为电子技术。

雷英栋: 嘉兴职业技术学院, 助教, 研究方向为汽车应用。