

CANoe

开发从入门到精通

杨金升 张可晨 唐新宇 编著

- ▶▶▶ 由浅入深，图文并茂，结合多年开发经验，提供丰富的实用开发实例。
- ▶▶▶ 采用CANoe 11.0版本，提供源代码及相关资料下载。

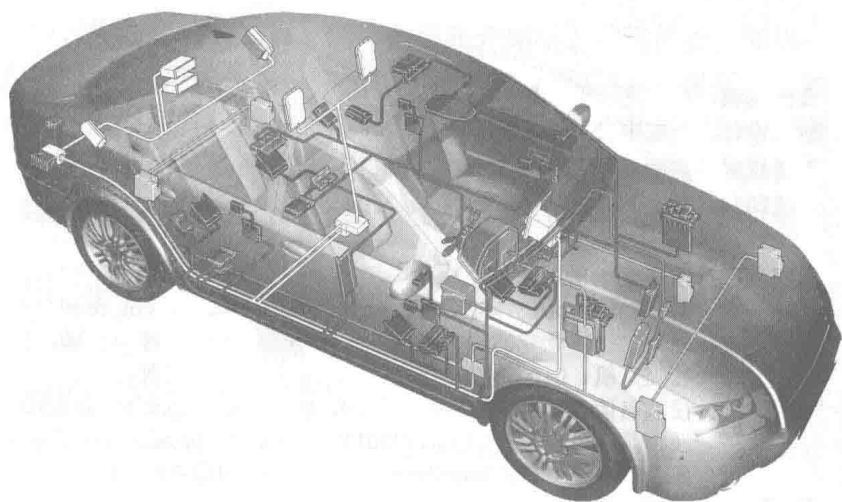


清华大学出版社

CANoe

开发从入门到精通

杨金升 张可晨 唐新宇 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书遵循由浅入深的原则，将内容分为三篇。基础篇首先介绍车载网络的相关知识，接着介绍 CANoe 开发环境和常见功能的使用，以便初学者掌握使用 CANoe 进行一般的总线仿真、测试和分析的方法；入门篇首先介绍 CANoe 开发总线仿真的基础知识，接着结合实例重点介绍总线数据库创建、面板设计，以及 CAPL 语言设计；进阶篇结合广大开发工程师可能面临的技术难题，由简单到复杂地介绍一些典型实例，以提高读者的实战技术。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目（CIP）数据

CANoe 开发从入门到精通/杨金升，张可晨，唐新宇编著. —北京：清华大学出版社，2019
ISBN 978-7-302-52289-8

I. ①C… II. ①杨… ②张… ③唐… III. ①总线—技术 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 025801 号

责任编辑：黄 芝 薛 阳

封面设计：谜底书装

责任校对：焦丽丽

责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者：三河市铭诚印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm

印 张：32.25

字 数：782 千字

版 次：2019 年 5 月第 1 版

印 次：2019 年 5 月第 1 次印刷

印 数：1~2000

定 价：89.00 元

产品编号：075252-01

前 言

中国的汽车工业正在经历轰轰烈烈的变革和创新，其发展比以往任何时代都迅速，自2009年以来，中国已经连续9年成为世界最大的汽车生产国和第一大汽车市场，稳居世界第一汽车大国地位。中国汽车的自主品牌正受到越来越多购车者的关注和认可，市场份额持续攀升，2017年的市场份额达到43%。中国品牌的强势崛起将进一步压缩海外品牌在中国的生存空间。2017年年销售量超过百万辆的就有几家自主品牌整车厂。再经几年奋起直追，继电视机、手机之后，汽车也有望成为“中国制造”的杰出代表。

在中国汽车工业的崛起过程中，我们的自主品牌也面临众多的挑战，其中比较关键的是来自技术层面的挑战。特别是很多自主品牌在积极进军和抢占高端消费市场的过程中举步艰难。我们无法摆脱对国外技术的依赖，在研发新的平台和车型时，过多地依赖国外的设计中心或供应商。

高端车型的技术门槛，其中重要的一点就体现在车载总线的创新性和复杂性上。如果想在技术上摆脱对国外设计中心或供应商的依赖，必须不断提高技术水平，充分利用现有的开发工具。CANoe作为全球汽车电子设计、开发和验证的利器，在汽车行业可谓家喻户晓。

本书结构

本书遵循由浅入深的原则，将内容分为三篇。基础篇首先介绍车载网络的相关知识，接着介绍CANoe的开发环境和常见功能的使用，以便初学者掌握使用CANoe进行一般的总线仿真、测试和分析的方法；入门篇首先介绍CANoe开发总线仿真的基础知识，接着结合实例重点介绍总线数据库创建、面板设计，以及CAPL语言设计；进阶篇结合广大开发工程师可能面临的技术难题，由简单到复杂地介绍一些典型实例，以提高读者的实战技术。

本书的具体编写分工如下：第1、2、7、16~23章由杨金升编写；第5、6、8、9、11~13章由张可晨编写；第10、14、15章由唐新宇编写初稿，张可晨整理；第3、4章由李秀娟编写；李秀娟通读了本书的全部内容，并对所有代码做了测试和验证。全书由杨金升负责策划、统稿和审阅。

关于本书中的代码

读者可以在清华大学出版社网站<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>下载相关源代码。每个章节的实例都给出不同版本CANoe的工程文件，以满足不同读者的需求。所有代码已经在以下版本中测试并验证通过。

- CANoe Full 11.0 (options: CAN + LIN)
- CANoe Demo 11.0 (options: CAN + LIN)

- CANoe Full 10.0 (options: CAN + LIN)
- CANoe Demo 10.0 (options: CAN + LIN)
- CANoe Full 9.0 (options: CAN + LIN)
- CANoe Demo 9.0 (options: CAN + LIN)
- Visual Studio 2013 (VB.NET、VC.NET、C#等代码)
- LabVIEW 2014

本书附带的资源压缩包中包含相关的源代码及附送的其他资料文件，各章的文件夹架构说明如下。

/Chapter_xx/Source	—— 本章工程源代码（含 11.0 代码及 10.0/9.0 代码压缩包）
/Chapter_xx/Additional	—— 本章相关资源
/Chapter_xx/Additional/Material	—— 本章实例需要使用的资源（如图片、模板等）
/Chapter_xx/Additional/Document	—— 本章相关参考文档
/Chapter_xx/Additional/Example	—— 本章相关参考例程

本书目标读者

- (1) 汽车行业的软硬件研发人员；
- (2) 汽车行业的测试验证人员；
- (3) 汽车电子相关专业的高校师生；
- (4) 想从事汽车电子开发和测试的工程师。

如何使用本书

- (1) 建议初学者由前往后阅读，尽量不要跳跃。
- (2) 对于有一定 CANoe 使用经验的读者，可以跳过基础篇，直接学习后面两篇。
- (3) 对于已经拥有 CANoe 正式版授权的读者，书中的实例可以上机动手实践，学习效果将更好。
- (4) 对于目前没有正式版 CANoe 的读者，可以安装 CANoe 的 Demo 版，本书绝大部分的实例都可以在 Demo 版上直接实践。

本书的约定

由于 CANoe 软件目前没有中文版，所以本书在使用一些相关名称时，部分以英文为主。英文名称第一次出现时会附上相关翻译供读者参考，例如 Option（选项）。为了避免混乱，本书需要将 CANoe 中常见的术语做如下约定。

Configuration	—— 仿真工程或工程
Measurement	—— 测量
License	—— 授权
License Option	—— 授权选项
Message	—— 报文
Signal	—— 信号

致谢

在本书的创作过程中，得到了来自家人、朋友、同事以及清华大学出版社的鼓励和支持，在此表示衷心的感谢。特别感谢上海交通大学刘功申教授的鼓励和支持，德国同事 Thomas Mehring 和中国同事黄友新等在技术上不吝指教，使本书得以顺利完成。同时，感谢 Vector（中国）的技术支持团队，在以往的技术交流中给予我们的支持和帮助。

本书虽经多次审稿修订，但限于作者的水平和条件，书中不足和疏漏之处在所难免，衷心希望读者批评指正，使之得以不断提高和完善。

欢迎读者通过清华大学出版社网站 www.tup.tsinghua.edu.cn 与我们联系，也可以通过邮件（jasonyangsz@163.com）联系作者或者加入 QQ 技术交流群（602571482），与我们进一步交流，共同进步。

仅以此书献给正在崛起的中国汽车工业！

作者
2018年11月

目 录

基 础 篇

第 1 章 车载网络概述	3
1.1 车载网络起源	3
1.2 CAN 总线概述	4
1.2.1 CAN 总线简史	4
1.2.2 CAN 总线特点	4
1.2.3 CAN 总线主要应用	5
1.2.4 CAN-FD 协议简介	6
1.3 LIN 总线概述	6
1.3.1 LIN 总线简史	6
1.3.2 LIN 总线特点	7
1.3.3 LIN 总线主要应用	7
1.4 目前典型车载网络架构	7
1.4.1 紧凑型	8
1.4.2 豪华型	8
1.5 主要的车载网络	9
1.6 车载网络发展趋势	11
第 2 章 CANoe 概述	12
2.1 关于 Vector 公司	12
2.2 CANoe 简介	13
2.3 CANoe 在 ECU 项目开发中的作用	13
2.3.1 第一阶段：全仿真网络系统	13
2.3.2 第二阶段：真实节点和部分仿真节点共存	14
2.3.3 第三阶段：全真实节点的网络系统	14
2.4 CANoe 不同版本的区别	15
2.4.1 CANoe pex 版本	15
2.4.2 CANoe run 版本	15
2.4.3 CANoe full 版本	16
2.4.4 关于 Demo 版本 CANoe	16

2.4.5	关于 64bit 版本 CANoe	17
2.5	CANoe 安装	17
2.5.1	系统配置要求	17
2.5.2	常见硬件接口卡	18
2.5.3	安装过程	18
2.6	CANoe 常见的总线授权选项	23
2.7	CANoe 的授权管理	24
2.8	CANoe 的硬件配置	25
2.8.1	硬件信息查看	25
2.8.2	硬件配置	27
2.8.3	通道数量设置	28
第 3 章	CANoe 开发环境	29
3.1	CANoe 主界面	29
3.2	CANoe 选项卡和功能区	30
3.2.1	File 菜单	30
3.2.2	Home 功能区	31
3.2.3	Analysis 功能区	32
3.2.4	Simulation 功能区	33
3.2.5	Test 功能区	34
3.2.6	Diagnostics 功能区	35
3.2.7	Environment 功能区	36
3.2.8	Hardware 功能区	37
3.2.9	Tools 功能区	38
3.2.10	Layout 功能区	39
3.3	常用仿真窗口	40
3.3.1	Simulation Setup 窗口	40
3.3.2	Start Values 窗口	40
3.4	常见诊断窗口	41
3.4.1	Diagnostic Console 窗口	41
3.4.2	Diagnostic Session Control 窗口	42
3.4.3	Fault Memory 窗口	42
3.5	常见测试窗口	43
3.5.1	Test Unit 窗口	43
3.5.2	Test Module 窗口	45
第 4 章	CANoe 总线测量和分析	46
4.1	CANoe 总线测量和分析概述	46
4.2	Measurement Setup 窗口	47

4.2.1	主要功能	48
4.2.2	插入分析窗口或数据记录模块	48
4.2.3	插入功能模块	49
4.3	常见分析窗口	49
4.3.1	Write 窗口	49
4.3.2	Trace 窗口	51
4.3.3	Graphic 窗口	52
4.3.4	State Tracker 窗口	52
4.3.5	Data 窗口	53
4.3.6	Statistics 窗口	53
4.3.7	Scope 窗口	54
4.3.8	Video 窗口	55
4.3.9	GPS 窗口	55
4.4	测量数据记录设置及处理	56
4.4.1	Logging 文件设置	56
4.4.2	Logging 文件格式	57
4.4.3	Filter 设置	57
4.4.4	Trigger 设置	58
4.4.5	Trace 导入和导出	60
4.4.6	Trace 查看和编辑	63
4.4.7	Trace 回放	64
4.5	离线分析	67
4.6	发生器模块	68
4.6.1	CAN IG 模块	68
4.6.2	IG 模块	69
第 5 章	CANoe 仿真工程配置及运行	71
5.1	配置仿真工程	71
5.1.1	物理通道分配问题	71
5.1.2	波特率设置问题	71
5.1.3	授权或相关选项缺失问题	74
5.1.4	虚拟通道设置问题	75
5.1.5	硬件连接问题	76
5.2	不同版本工程文件之间的兼容性处理	76
5.3	仿真工程个性化设置	78
5.3.1	添加/修改的 Desktop 设置	78
5.3.2	保存不同的工程配置文件	78
5.4	仿真工程文件夹的命名习惯	79

人 门 篇

第 6 章 车载总线仿真基础	83
6.1 ECU 硬件/软件架构介绍	83
6.1.1 硬件架构	83
6.1.2 软件架构	84
6.2 开发仿真工程的必要性	85
6.2.1 软件开发的 V 模型	86
6.2.2 仿真工程的必要性	86
6.3 CANoe 仿真工程架构	87
第 7 章 开发第一个 CANoe 仿真工程	88
7.1 创建第一个仿真工程	88
7.2 添加 CAN 数据库	89
7.2.1 新建 CAN 数据库	89
7.2.2 添加报文和信号	89
7.2.3 添加数据库到工程中	91
7.3 定义系统变量	91
7.4 创建仿真面板	92
7.4.1 创建开关面板	92
7.4.2 创建指示灯面板	93
7.5 创建网络节点	93
7.5.1 添加网络节点	93
7.5.2 添加 Hello World 代码	95
7.5.3 添加 Switch 代码	95
7.5.4 添加 Light 代码	96
7.6 工程运行测试	96
7.7 查看 Trace 信息	97
第 8 章 总线数据库设计	98
8.1 总线数据库概述	98
8.2 CANdb++ Editor	98
8.2.1 File 菜单	99
8.2.2 工具栏	100
8.3 在 X-Vehicle 项目中创建 CAN 总线数据库	100
8.3.1 基于模板新建总线数据库	100
8.3.2 Networks	101
8.3.3 ECUs	102

8.3.4	Network Nodes	102
8.3.5	Messages	103
8.3.6	Signals	105
8.3.7	Environment Variable	109
8.3.8	Attribute	110
8.3.9	Value Table	113
8.3.10	Byte Order	114
8.4	导入数据库文件	116
8.5	LIN 总线数据库编辑器 LDF Explorer	117
第 9 章	Panel 设计	118
9.1	Panel 概述	118
9.2	Panel 设计环境介绍	119
9.2.1	File 菜单	119
9.2.2	Home 功能区	120
9.2.3	Panel 功能区	121
9.2.4	Properties 功能区	122
9.2.5	Toolbox 窗口	122
9.2.6	Symbol Explorer 窗口	122
9.2.7	Working Area 窗口	123
9.2.8	Properties 窗口	124
9.2.9	Output Window	124
9.3	控件介绍	125
9.3.1	Switch/Indicator 控件	126
9.3.2	LED Control 控件	127
9.3.3	Input/Output Box 控件	128
9.3.4	Hex/Text Editor 控件	130
9.3.5	Analog Gauge 控件	131
9.3.6	Meter 控件	132
9.4	多帧图片简介	133
9.5	系统变量简介	134
9.6	在 X-Vehicle 项目中创建仿真 Panel	136
9.6.1	添加 Control 面板	136
9.6.2	添加 Display 面板	140
9.6.3	创建一个 Desktop	143
第 10 章	CAPL 语言设计	145
10.1	CAPL 概述	145

10.1.1	CAPL 主要用途	145
10.1.2	CAPL 的特点	146
10.2	CAPL 开发环境——CAPL 浏览器简介	146
10.2.1	File 菜单	147
10.2.2	功能区	147
10.2.3	导航区和编辑区	150
10.2.4	函数浏览区	150
10.2.5	对象浏览区	150
10.2.6	输出窗口	151
10.3	CAPL 基础——数据类型	151
10.3.1	变量的声明与定义	152
10.3.2	简单变量	153
10.3.3	复合类型	154
10.3.4	特殊类型	155
10.4	CAPL 基础——常见运算	157
10.5	CAPL 基础——流程控制	158
10.5.1	if 条件语句	158
10.5.2	switch 语句	158
10.5.3	while 循环语句	159
10.5.4	for 循环语句	160
10.5.5	break 语句	160
10.5.6	return 语句	161
10.6	CAPL 基础——程序结构	161
10.6.1	头文件	161
10.6.2	全局变量声明	162
10.6.3	事件处理	162
10.6.4	自定义函数	169
10.7	CAPL 基础——常用函数库简介	170
10.7.1	通用函数	170
10.7.2	计算函数	172
10.7.3	字符串函数	172
10.7.4	CAN 总线函数	173
10.7.5	LIN 总线函数	174
10.7.6	诊断函数	174
10.8	CAPL 基础——总线数据库的使用	175
10.9	CAPL 基础——变量和信号的访问	175
10.9.1	CAPL 中访问信号	175

10.9.2	CAPL 中访问系统变量	176
10.9.3	CAPL 中访问环境变量	176
10.10	在 X-Vehicle 项目中添加 CAPL 程序	177
10.10.1	创建节点 Engine 的 CAPL 程序	178
10.10.2	创建节点 Door 的 CAPL 程序	178
10.10.3	创建节点 Display 的 CAPL 程序	180
10.11	工程运行测试	181
第 11 章	仿真工程编译和调试	182
11.1	CAPL 程序编译	182
11.1.1	条件编译	182
11.1.2	编译 CAPL 程序	183
11.2	CAPL 程序的 Debug 功能调试	184
11.2.1	设置 Debug Mode	184
11.2.2	Debugger 工具栏	185
11.2.3	设置调试断点	185
11.2.4	变量查看	186
11.2.5	断点查看	187
11.3	使用 Write 窗口调试 CAPL 程序	187
第 12 章	仿真工程开发入门——CAN 仿真	190
12.1	总线仿真工程概述	190
12.2	总线仿真工程开发流程及策略	190
12.2.1	开发流程	190
12.2.2	仿真工程开发策略	191
12.3	工程实例简介	192
12.3.1	网络拓扑图	192
12.3.2	实现功能	193
12.4	工程实现	193
12.4.1	创建仿真工程	194
12.4.2	DBC 文件设计与导入	194
12.4.3	系统变量	197
12.4.4	面板设计	198
12.4.5	CAPL 代码实现	207
12.4.6	Automation Sequences	217
12.4.7	分析窗口设置	218
12.4.8	Trace 窗口与 Logging	220

12.4.9 Desktop 布局	221
12.5 工程运行测试	223

进阶篇

第 13 章 仿真工程开发进阶 I——CAN+LIN 仿真	227
13.1 工程实例简介	227
13.1.1 网络拓扑图	227
13.1.2 实现功能	228
13.2 工程实现	229
13.2.1 添加 LIN 总线支持	229
13.2.2 数据库 LDF 文件设计与导入	230
13.2.3 添加环境变量	236
13.2.4 面板设计	237
13.2.5 CAPL 实现	248
13.2.6 Trace 窗口与 Logging	256
13.2.7 设置 Desktop 布局	257
13.3 工程运行测试	257
13.4 扩展话题——关于网络管理	258
第 14 章 仿真工程开发进阶 II——仿真+测试	260
14.1 基于 CANoe 的自动化测试系统简介	260
14.2 Test Feature Set 功能简介	261
14.2.1 约束和条件设置函数	261
14.2.2 信号测试函数	261
14.2.3 等待指示函数	262
14.2.4 测试控制函数	263
14.2.5 故障注入函数	263
14.2.6 测试判别函数	264
14.2.7 测试架构函数	264
14.2.8 测试报告函数	265
14.3 Test Service Library 功能简介	265
14.3.1 检测函数	266
14.3.2 状态报告函数	268
14.3.3 激励函数	269
14.3.4 检测控制函数	270

14.4	测试单元与测试模块简介	270
14.4.1	测试单元与测试模块的区别	271
14.4.2	测试模块架构	271
14.5	工程实例简介	272
14.6	工程实现	272
14.6.1	添加 CAPL 测试模块	272
14.6.2	测试方法分析	274
14.6.3	CAPL 测试用例	276
14.6.4	CAPL 测试模块	282
14.7	工程运行测试	283
14.7.1	测试执行	283
14.7.2	测试报告	285
14.8	扩展话题——关于 vTESTstudio	286
第 15 章	仿真工程开发进阶 III——仿真+诊断	288
15.1	汽车诊断技术概述	288
15.1.1	诊断术语	289
15.1.2	OBD 诊断与增强型诊断	289
15.1.3	诊断协议	289
15.1.4	诊断接口	290
15.1.5	诊断周期	291
15.1.6	UDS 诊断服务	291
15.1.7	Vector 诊断工具简介	292
15.2	CANoe 诊断功能简介	293
15.2.1	诊断描述文件	294
15.2.2	安全访问服务	294
15.2.3	诊断测试窗口	295
15.3	CANoe 常见诊断函数	295
15.3.1	通信/设定功能函数	295
15.3.2	安全访问函数	296
15.3.3	对象访问函数	296
15.3.4	参数访问函数	297
15.3.5	诊断测试函数	298
15.4	工程实例简介	299
15.5	工程实现	299
15.5.1	CDD 文件导入	299
15.5.2	Security DLL 文件配置	301
15.5.3	诊断控制台	301

15.5.4	诊断测试面板	302
15.5.5	添加 Tester 节点	314
15.5.6	虚拟诊断响应	317
15.5.7	自动化诊断测试方法分析	318
15.5.8	CAPL 诊断测试模块实现	319
15.5.9	制作 GenerateKey.dll	332
15.6	工程运行测试	332
15.6.1	手动诊断测试面板	332
15.6.2	自动化诊断测试模块	333
15.7	扩展话题——VT System 在测试中的应用	335
第 16 章	CANoe 高级编程——COM Server 技术	336
16.1	COM 接口技术简介	336
16.2	CANoe COM Server 简介及设置	336
16.3	工程实例简介	337
16.4	开发实现——CANoe 工程	338
16.4.1	CANoe 工程中供调用的系统变量	338
16.4.2	CANoe 工程中供调用的总线信号	339
16.4.3	新建 CANoe CAPL 函数	340
16.5	开发实现——VB.NET 工程	342
16.5.1	新建 VB.NET 工程	342
16.5.2	添加 CANoe 相关引用	342
16.5.3	界面设计	344
16.5.4	全局变量定义	348
16.5.5	CANoe 应用和 Measurement 对象控制	348
16.5.6	CANoe 事件处理	349
16.5.7	系统变量操作	349
16.5.8	总线信号操作	350
16.5.9	CAPL 函数调用	350
16.5.10	完整代码	351
16.6	工程运行测试	362
16.7	扩展话题——Python 脚本调用 COM Server	362
第 17 章	CANoe 高级编程——CAPL DLL 技术	363
17.1	CAPL DLL 技术概述	363
17.1.1	CAPL DLL 函数列表	364
17.1.2	CAPL 回调函数	365
17.2	工程实例简介	366

17.3	工程实现——VC.NET 开发 CAPL DLL	366
17.3.1	创建用户自定义函数——CRC 算法函数	366
17.3.2	创建用户自定义函数——读取 MAC 地址函数	369
17.4	工程实现——CANoe 调用 CAPL DLL	371
17.4.1	如何添加 CAPL DLL	371
17.4.2	DLL 路径搜索顺序	372
17.4.3	添加系统变量	372
17.4.4	添加一个测试面板	372
17.4.5	添加 CAPL 代码	375
17.5	工程运行测试	378
17.6	扩展话题——CANoe 仿真工程代码保护	379
17.6.1	编译后删除源代码	379
17.6.2	加密后删除源代码	380
17.6.3	加密保护与硬件绑定	380
第 18 章	CANoe 高级编程——C Library API 技术	381
18.1	CCL 库文件概述	381
18.2	常用 CCL 接口函数介绍	381
18.3	工程实例简介	383
18.4	工程实现——VC.NET 开发 CCL	384
18.4.1	如何创建一个 CCL 库文件	384
18.4.2	CCL 代码实现	386
18.5	工程实现——CANoe 调用 CCL	389
18.5.1	如何调用 CCL API	389
18.5.2	添加系统变量	390
18.5.3	添加测试面板	390
18.5.4	添加 IG 模块	392
18.6	工程运行测试	392
第 19 章	CANoe 高级编程——自定义菜单插件	394
19.1	自定义菜单插件概述	394
19.2	工程实例简介	394
19.3	开发自定义菜单插件	394
19.3.1	创建和配置工程	395
19.3.2	代码实现	396
19.4	在 CANoe 中配置自定义菜单插件	401
19.5	工程运行测试	401
19.6	扩展话题——关于 C#语言	402