



应用型本科信息大类专业“十二五”规划教材

EDA技术

(第2版)

刘江海 主 编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

013024518

TN702-43

61-2

应用型本科信息大类专业“十二五”规划教材

EDA 技术

(第2版)

主 审 孙俊逸
主 编 刘江海
副主编 尚 玲 孟 馨 涂传威
黎 曦 常 虹 陈 荣
缪新颖
参 编 曾 婷 熊才高 陈 玮
桂 伟 吴 奎



TN702-43
61-2

华中科技大学出版社
中国·武汉



北航

01631893

图书在版编目(CIP)数据

EDA 技术(第2版)/刘江海 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.2
ISBN 978-7-5609-8565-7

I. E… II. 刘… III. 电子电路-电路设计-计算机辅助设计-高等学校-教材
IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 290651 号

EDA 技术(第2版)

刘江海 主编

策划编辑:张毅

责任编辑:史永霞

封面设计:李嫒

责任校对:代晓莺

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:20.5

字数:520千字

版次:2013年2月第2版第1次印刷

定价:38.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

内容简介

本书系统地介绍了基于 FPGA/CPLD 应用开发的 EDA 技术和硬件描述语言 VHDL, 将 VHDL 的基础知识、编程技巧和使用方法与实际工程开发技术在先进的 EDA 设计平台 Quartus II 上很好地结合起来。读者通过本书的学习能迅速地了解并掌握 EDA 技术的基本理论和工程开发实用技术, 并为后续的深入学习和发展打下坚实的理论与实践基础。

本书符合高校课堂教学和实验操作的规律与要求, 并以提高学生的实际工程设计能力为目的。全书主要内容依次为 EDA 技术与 VHDL 的基本知识、FPGA/CPLD 目标器件的结构原理、VHDL 的使用方法和设计深入、原理图的输入方法、状态机设计、EDA 技术的综合应用、Verilog HDL、宏模块的应用、SoPC 技术与应用基础。其中 EDA 技术的综合应用介绍了 IP 核的应用、电子设计竞赛项目开发、频率计设计、数字钟设计等。各章都安排了相应的习题和针对性强的实验和设计示例。书中列举的 VHDL 示例, 都经编译通过或经硬件测试。

本书通俗易懂, 条理清晰, 既有对菜单命令的详细讲解, 又有精选例题和练习供读者上机实训, 重点培养读者的“概念驱动工程”电路设计理念, 尽量减轻初学者的学习负担, 达到快速入门的目的。

本书主要面向高等院校本专科开设的 EDA 技术和 VHDL 语言基础课程, 可作为电子工程、通信、自动化、计算机、信息工程、仪器仪表等学科专业的课堂授课教材或实验指导课的主要参考书, 同时也可作为电子设计竞赛、FPGA 开发应用的自学参考书。

序

20 世纪 90 年代出现的 EDA 技术是电子设计的重要工具,其核心是利用计算机完成电路设计的全程自动化。EDA 技术应用于芯片设计和系统设计,极大地提高了电路设计的效率和可靠性,节省了设计成本,减轻了设计人员的劳动强度。

EDA 技术是高等院校电气与电子信息类专业知识结构的重要组成部分。在独立学院相关专业中开设 EDA 课程,一是要根据学生的基础知识水平及实践技能的要求,科学地选取教学内容,在向学生传授基本知识的同时,注重介绍更多更新的技术和动向,以便学生通过系统的学习和实践,初步掌握 EDA 技术并具备一定的可编程逻辑芯片的开发能力,真正做到学以致用;二是要根据专业培养目标的要求,切实改进教学方法,在课堂教学时要注意从应用的角度引导学生提高学习兴趣,初步掌握基本设计工具和设计方法,在实践教学中,以训练学生的设计思想、创新思维及创造能力,力求提高学生的工程实践能力和自主创新能力。

参加本教材编写的老师多次讲授 EDA 技术课程,对课程的内容和教学方法有较深入的研究和探讨,对学生的基础和学习能力有较全面的了解。在编写教材时特别注意到:① 学习、借鉴普通高等院校正在使用的 EDA 技术教材,针对独立学院学生的特点,删减部分较难理解和掌握的内容,同时对技术要求较高而又能回避的部分内容采取适当的方法进行处理,让不同层次的学生都能顺利地学习;② 选用的设计实例具有较强的实用性和针对性,便于自主学习,学生只要能认真听课和按要求做实验,就能做到理论与实践的结合。本教材适当地选用了大学生电子设计竞赛的内容,并对例题进行了详细的分析,既能开拓视野,又能兼顾学生的创新能力。

进入 21 世纪,EDA 技术发展得更快,这给 EDA 技

术课程内容的更新提出了更高的要求,希望本教材的作者密切关注 EDA 技术发展的动态,不断修订教材中的相关内容,同时与从事 EDA 技术的同行加强联系,开展交流和研讨,不断提高教学水平和教学质量,努力在探索独立学院学科建设方面取得新的进展。

孙俊逸
2013 年元月

第2版前言

本书在使用过程中得到了广大读者的一致好评,认为该教材是最容易阅读、最容易自学的教材之一。

随着基于 PLD 的 EDA 技术的发展和应用领域的扩大与深入,EDA 技术在电子信息、通信、自动控制及计算机应用等领域的重要性日益突出,成为电子设计工程师必备的工具之一。随着技术市场与人才市场对 EDA 技术的需求的不断提高,产品的市场需求和技术市场的要求也必然会反映到教学和科研领域中来。

以全国大学生电子设计竞赛为例,早在 1997 年第三届全国大学生电子设计竞赛中就有个别赛题需要用 EDA 技术才能圆满完成。此后这方面的竞赛内容逐届增加,到 2009 年第九届竞赛时,需要使用 EDA 技术的赛题超过全部赛题的三分之一,甚至有的赛题达到了如果没有 EDA 技术就会无从下手的程度。

基于 PLD 的 EDA 技术在本科教学中有两个明显的特点:一是各专业中 EDA 教学实验课程的普及性,很多非电类专业都包含了 EDA 技术的课程教学;二是在实验中 EDA 实验成为主流,大部分传统的实验都添加了 EDA 实验的内容,并更多地注重创新性实验。这显然是科技发展和市场需求扩大的结果。

为了适应 EDA 技术的发展和 EDA 技术教学实验的要求,更加突出实验中 EDA 技术的实用性、面向工程实际的特性和电子设计的创新性,本书的第 2 版在内容上做了很大调整,删除了第 1 版中的第 11 章 Protel 99 SE 使用基础和第 12 章印刷电路板设计基础,增加了宏模块的应用和 SoPC 技术与应用基础。

本书的作者都参与电子电路课程体系改革和课程内容改革多年,具有丰富的教学经验。本书的第 11 章宏模块的应用由孟馨编写,第 12 章 SoPC 技术与应用基础由尚玲编写。

现代电子设计技术是发展的,相应的教学内容和教

学方法也应不断改进,其中一定有许多问题值得深入探讨。我们真诚地欢迎读者对书中的错误与偏颇之处给予批评指正(E-mail:ljh2006833@sohu.com)。

编 者
2013 年元月

前言

EDA 技术是 20 世纪 90 年代随着电子信息技术发展而发展起来的杰出成果,EDA 技术的应用水平已成为一个国家电子信息工业现代化的重要标志之一。EDA 技术伴随着计算机、集成电路、电子系统设计的发展,经历了计算机辅助设计(computer assist design,简称 CAD)、计算机辅助工程设计(computer assist engineering design,简称 CAE)和电子设计自动化(electronic design automation,简称 EDA)三个发展阶段。

1) 20 世纪 70 年代的计算机辅助设计 CAD 阶段

早期的电子系统硬件设计采用的是分立元件,随着集成电路的出现和应用,硬件设计进入发展的初级阶段。初级阶段的硬件设计大量选用中小规模标准集成电路,人们将这些器件焊接在电路板上,做成初级电子系统,电子系统的调试是在组装好的 PCB(printed circuit board)板上进行的。

由于设计师对图形符号的使用数量有限,传统的手工布图方法无法满足产品复杂性的要求,更不能满足工作效率的要求。这时,人们开始将产品设计过程中高度重复性的繁杂劳动,如布图布线工作,用二维图形编辑与分析的 CAD 工具替代,最具代表性的产品就是美国 ACCEL 公司开发的 Tango 布线软件。20 世纪 70 年代是 EDA 技术发展的初期,由于 PCB 布图布线工具受到计算机工作平台的制约,其支持的设计工作有限且性能比较差。

2) 20 世纪 80 年代的计算机辅助工程设计 CAE 阶段

初级阶段的硬件设计是用大量不同型号的标准芯片实现电子系统功能的。随着微电子工艺的发展,相继出现了集成上万只晶体管的微处理器、集成几十万甚至上百万存储单元的随机存储器和只读存储器。此外,支持定制单元电路设计的硅编程、掩膜编程的门阵列,如标准单元的半定制设计方法及可编程逻辑器件(PAL 和 GAL)等一系列微结构和微电子学的研究成果都为电子



系统的设计提供了新动力。因此,可以用少数几种通用的标准芯片实现电子系统的功能。

伴随着计算机和集成电路的发展,EDA 技术进入了计算机辅助工程设计阶段。20 世纪 80 年代初推出的 EDA 工具以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局和布线为核心,重点解决电路设计没有完成之前的功能检测等问题。利用这些工具,设计师能在产品制作之前预知产品的功能与性能,能生成产品制造文件,在设计阶段对产品性能的分析前进了一大步。

如果说 20 世纪 70 年代的自动布局布线的 CAD 工具代替了设计工作中绘图的重复劳动,那么,20 世纪 80 年代出现的具有自动综合能力的 CAE 工具则代替了设计师的部分工作,对保证电子系统能设计、制造出最佳的电子产品起着关键的作用。到了 20 世纪 80 年代后期,EDA 工具已经可以进行设计描述、综合与优化和设计结果验证了,CAE 阶段的 EDA 工具不仅为成功开发电子产品创造了有利条件,而且为高级设计人员的创造性劳动提供了方便。但是,大部分从原理图出发的 EDA 工具仍然不能适应复杂电子系统的设计要求,而且具体化的元件图形制约着优化设计。

3) 20 世纪 90 年代电子设计自动化 EDA 阶段

为了满足千差万别的系统用户提出的设计要求,最好的办法是由用户自己设计芯片,让他们把想设计的电路直接设计在自己的专用芯片上。微电子技术的发展,特别是可编程逻辑器件的发展,使得微电子厂家可以为用户提供各种规模的可编程逻辑器件,使设计者通过设计芯片实现电子系统功能。EDA 技术的发展又为设计师提供了全新的 EDA 工具。这个阶段发展起来的 EDA 工具的主要任务是在设计前期将设计师从事的许多高层次设计由工具来完成,如可以将用户要求转换为设计技术规范,有效地处理可用的设计资源与理想的设计目标之间的矛盾,按具体的硬件、软件和算法分解设计等。由于电子技术和 EDA 工具的发展,设计师可以在不太长的时间内使用 EDA 工具,通过一些简单标准化的设计过程,利用微电子厂家提供的设计库来完成数万门 ASIC 和集成系统的设计与验证。

20 世纪 90 年代,设计师逐步从使用硬件转向设计硬件,从单个电子产品开发转向系统级电子产品开发(即片上系统集成,system on a chip)。因此,EDA 工具是以

系统级设计为核心,包括系统行为级描述与结构综合,系统仿真与测试验证,系统划分与指标分配,系统决策与文件生成等一整套的电子系统设计自动化工具。这时的 EDA 工具不仅具有电子系统设计的能力,而且能提供独立于工艺和厂家的系统级设计能力,具有高级抽象的设计构思手段。例如,提供方框图、状态图和流程图的编辑能力,具有适合层次描述和混合信号描述的硬件描述语言(如 VHDL、AHDL 或 Verilog HDL),同时含有各种工艺的标准元件库。只有具备上述功能的 EDA 工具,才可能使电子工程师在不熟悉各种半导体工艺的情况下,完成电子系统的设计。

未来的 EDA 技术将向广度和深度两个方向发展,EDA 将会超越电子设计的范畴进入其他领域,随着基于 EDA 的 SOC(单片系统)设计技术的发展、软硬核功能库的建立,以及基于 VHDL 所谓自顶向下设计理念的确立,未来的电子系统的设计与规划将不再是电子工程师们的专利。有专家认为,21 世纪将是 EDA 技术快速发展的时期,并且 EDA 技术将是对 21 世纪产生重大影响的十大技术之一。

EDA 技术是以计算机为工作平台,以硬件描述语言(VHDL/Verilog HDL)为设计语言,以可编程器件(CPLD / FPGA)为实验载体,以 ASIC / SOC 芯片为目标器件,进行必要的元件建模和系统仿真的电子产品自动化设计过程。它是一种高级、快速、有效的电子设计自动化工具。掌握 EDA 技术是培养高素质、高技能电子产品设计人才的需要,是现代集成电路和电子整机系统设计及科技创新和产业发展的需要。

EDA 技术是走向市场、走向社会、走向国际的基本技能。开展 EDA 技术与应用教学,适应电子系统日趋数字化、复杂化和大规模集成化发展的需要,满足社会对高技能人才日益增长的需求,为创新型人才的培养打下良好基础已迫在眉睫。

EDA 技术涉及面广,内容丰富,从教学和实用的角度看,究竟应掌握些什么内容呢?我们认为,主要应掌握四个方面的内容:① 大规模可编程逻辑器件;② 硬件描述语言;③ 软件开发工具;④ 实验开发系统。其中,大规模可编程逻辑器件是利用 EDA 技术进行电子系统设计的载体,硬件描述语言是利用 EDA 技术进行电子系统设计的主要表达手段,软件开发工具是利用 EDA 技

目
录

第 0 章	绪论	/1
0.1	传统设计方法与 EDA 设计方法的区别	/2
0.2	常用硬件描述语言	/3
第 1 章	EDA 工具软件 Quartus II 6.0	/7
1.1	安装 Quartus II 6.0 软件	/7
1.2	Quartus II 6.0 软件应用向导	/12
1.3	嵌入式逻辑分析仪的使用方法	/26
1.4	原理图输入设计方法	/29
	习题	/32
第 2 章	大规模可编程逻辑器件	/33
2.1	可编程逻辑器件概述	/33
2.2	复杂可编程逻辑器件	/37
2.3	现场可编程门阵列	/50
2.4	CPLD 和 FPGA 器件的编程与配置	/64
2.5	FPGA/CPLD 器件的测试技术	/65
2.6	FPGA 和 CPLD 器件的开发应用选择	/67
	习题	/69
第 3 章	VHDL 基本结构	/70
3.1	VHDL 概述	/70
3.2	设计实体	/73
3.3	结构体	/75
3.4	VHDL 结构体的子结构	/78
3.5	子程序结构	/82
3.6	库和程序包	/85
3.7	配置	/88
	习题	/89

第4章	VHDL 语言要素	/90
4.1	VHDL 数据对象	/90
4.2	VHDL 数据类型	/94
4.3	VHDL 操作符	/99
	习题	/103
第5章	VHDL 顺序语句	/104
5.1	赋值语句	/104
5.2	流程控制语句	/107
5.3	WAIT 语句	/120
5.4	ASSERT 语句	/123
5.5	RETURN 语句	/123
5.6	NULL 语句	/124
	习题	/124
第6章	VHDL 并行语句	/127
6.1	进程语句	/127
6.2	块语句	/131
6.3	并行信号赋值语句	/133
6.4	子程序和并行过程调用语句	/136
6.5	元件例化语句	/139
6.6	生成语句	/144
	习题	/151
第7章	组合逻辑电路模块	/153
7.1	门电路	/153
7.2	编码器、译码器、选择器电路	/157
	习题	/164
第8章	时序逻辑电路设计	/165
8.1	触发器	/165
8.2	寄存器	/173
8.3	计数器	/177
8.4	有限状态机	/180
8.5	有限状态机的基本描述	/185
8.6	MOORE 型状态机	/187
8.7	MEALY 型状态机	/190
8.8	MEALY 型和 MOORE 型状态机的变种	/192
8.9	异步状态机	/197
	习题	/199

第 9 章	EDA 技术的综合应用	/202
9.1	显示电路设计	/202
9.2	多路彩灯控制器的设计	/212
9.3	智力抢答器的设计	/215
9.4	量程自动转换数字式频率计的设计	/223
9.5	用 8×8 行共阴、列共阳双色点阵发光器件显示汉字	/231
9.6	音乐发生器的设计	/248
	习题	/253
第 10 章	Verilog HDL	/254
10.1	Verilog HDL 程序模块结构	/254
10.2	Verilog HDL 的词法	/256
10.3	Verilog HDL 的语句	/261
10.4	不同抽象级别的 Verilog HDL 模型	/268
	习题	/272
第 11 章	宏模块的应用	/273
11.1	宏模块概述	/273
11.2	存储器设计	/274
11.3	乘法器设计	/287
11.4	锁相环设计	/290
第 12 章	SoPC 技术与应用基础	/296
12.1	SoPC 技术发展概况	/296
12.2	SoPC 技术的应用	/298
12.3	Nios II 简介	/300
12.4	SoPC 设计流程与支持 Nios II 的 FPGA 器件	/304
附录 A	VHDL 语言的保留字	/309
参考文献		/310

第0章 绪 论

EDA 是英文“electronic design automation”(电子设计自动化)的缩写,EDA 技术是 20 世纪 90 年代迅速发展起来的,是现代电子设计的最新技术潮流,是综合现代电子技术和计算机技术的最新研究成果,是电子线路设计与分析的一门技术。EDA 包括电子线路的设计、计算机模拟仿真和电路分析及印制电路板的自动化设计三个方面的内容。

近些年来,EDA 技术发展迅速。一方面,各种大容量、高性能、低功耗的可编程逻辑器件不断推出,使得专用集成电路(ASIC)的生产商感受到空前的竞争压力;另一方面,出现了许多 EDA 设计辅助工具,这些工具大大提高了新型集成电路的设计效率,使更低成本、更短周期的复杂数字系统开发成为可能。于是,一场 ASIC 与 FPGA/CPLD 之争在所难免。然而 PLD 器件具有先天的竞争优势,那就是可以反复编程、在线调试。EDA 技术正是这场较量的推动引擎之一。一般来说,EDA 就是以计算机为平台,以 EDA 软件工具为开发环境,以 VHDL 为设计语言,以可编程器件为载体,以 ASIC、SOC 芯片为目标器件,以电子系统设计为应用方向的电子产品自动化设计过程。设计者只需编写硬件描述语言代码,然后选择目标器件,在集成开发环境里进行编译、仿真、综合,最后在线下载调试。整个过程中,大部分工作由 EDA 软件完成。全球许多著名的可编程器件提供商都推出了自己的集成开发工具软件,如 Altera 公司的 MAX+PLUS II、Quartus II 软件, Xilinx 公司的 Foundation、ISE 软件, Lattice 公司的 ispExpert 软件, Actel 公司的 Libero 软件等。这些软件的推出,极大地促进了集算法设计、芯片编程、印刷电路板设计于一体的 EDA 技术的发展。另外,在以 SOC 芯片为目标器件的电子系统设计要求下,可编程器件的内部开始集成高速的处理器硬核、处理器软核、DSP 模块、大量的存储资源、高速的串行收发模块、系统时钟管理器、多标准的 I/O 接口模块,这使得设计者更加得心应手,新一轮的数字革命由此引发。

20 世纪 90 年代,可编程逻辑器件迅速发展,出现了功能强大的全新的 EDA 工具。具有较强抽象描述能力的硬件描述语言(VHDL、Verilog HDL)及高性能综合工具的使用,使过去单功能电子产品开发转向系统级电子产品开发(即单片系统或片上系统集成, system on a chip,简称 SOC),开始实现概念驱动工程(concept driver engineering,简称 CDE)的梦想。广义的 EDA 技术的定义范围包括半导体工艺设计自动化,可编程器件设计自动化,电子系统设计自动化,印刷电路板设计自动化,仿真与测试、故障诊断自动化及形式验证自动化等。

EDA 技术以大规模可编程逻辑器件为设计载体,以硬件描述语言为系统逻辑描述的

主要表达方式,以计算机、大规模可编程器件的开发软件及实验开发系统为设计工具,自动完成用软件方式描述的电子系统到硬件系统的逻辑编译、逻辑化简、逻辑仿真,直至完成对于特定目标芯片的适配编译、逻辑映射、编程下载等工作,最终形成集成电子系统或专用集成芯片的一门多学科融合的新技术。

0.1 传统设计与 EDA 设计方法的区别

传统设计与 EDA 设计方法的区别主要表现在以下几个方面。

(1) 设计思想不同。传统设计采用自下而上的设计方法,如图 0.1.1 所示。

传统设计方法有以下缺点:

- ① 设计依赖手工和经验;
- ② 设计依赖现有的通用元器件;
- ③ 设计后期的仿真和调试困难;
- ④ 受自下而上设计思想的局限;
- ⑤ 设计实现周期长,灵活性差,耗时耗力,效率低下。

EDA 设计采用自上而下的设计方法,如图 0.1.2 所示。

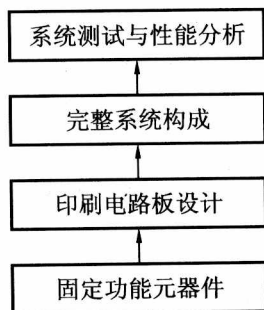


图 0.1.1 传统设计方法

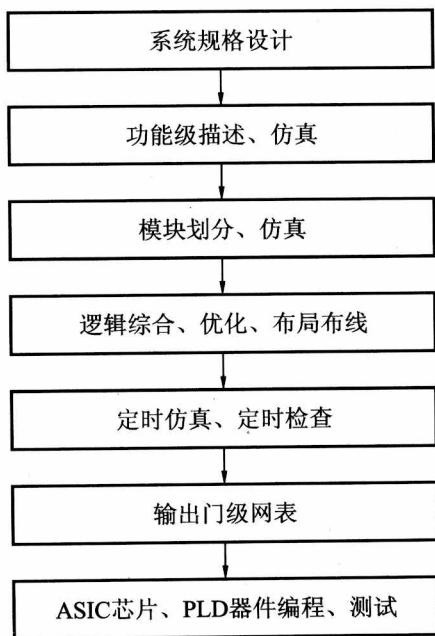


图 0.1.2 EDA 设计方法

(2) 描述方式不同。传统设计方法以电路图为主;EDA 设计方法以硬件描述语言(hardware description language,简称 HDL)为主。

(3) 设计手段不同。传统设计方法以手工设计为主;EDA 设计方法为自动实现的方法,其方案验证与设计、系统逻辑综合、布局布线、性能仿真及器件编程等均由 EDA 工具体化完成。

(4)传统的设计方法是基于印刷电路板的设计方法,EDA 技术是基于芯片的设计方法,如图 0.1.3 所示。

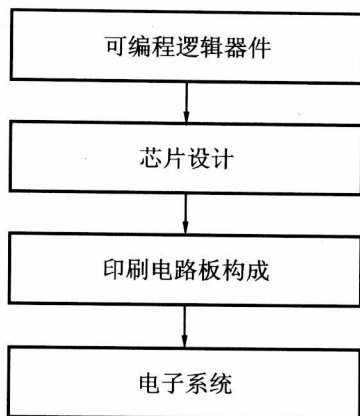


图 0.1.3 EDA 技术

传统设计方法与 EDA 设计方法的比较如表 0.1.1 所示。

表 0.1.1 传统设计方法与 EDA 设计方法的比较

传统设计方法	EDA 设计方法
自下而上	自上而下
通用的逻辑元器件	PLD (可编程逻辑器件)
系统硬件设计的后期进行仿真和调试	系统设计的早期进行仿真和修改
主要设计文件是电路原理图	多种设计文件,发展趋势以 HDL 描述文件为主
手工实现	自动实现

0.2 常用硬件描述语言

常用硬件描述语言有 VHDL、Verilog HDL 和 ABEL 等语言。VHDL 起源于美国国防部的 VHSIC, Verilog HDL 起源于集成电路的设计, ABEL 起源于可编程逻辑器件的设计。下面从使用方面将三者进行对比。

(1) 逻辑描述层次。一般的硬件描述语言可以在三个层次上进行电路描述,其层次由高到低依次可分为行为级、RTL 级和门电路级三种。

(2) 设计要求。用 VHDL 进行电子系统设计时可以不了解电路的结构细节,设计者所做的工作较少;用 Verilog HDL 和 ABEL 进行电子系统设计时需了解电路的结构细节,设计者需做大量的工作。

(3) 综合过程。任何一种语言源程序,最终都要转换成门电路级才能被布线器或适配器所接受。

(4) 对综合器的要求。VHDL 描述语言层次较高,不易控制底层电路,因而对综合器的性能要求较高;Verilog HDL 和 ABEL 对综合器的性能要求较低。

(5) 支持的 EDA 工具。支持 VHDL 和 Verilog HDL 的 EDA 工具很多,但支持