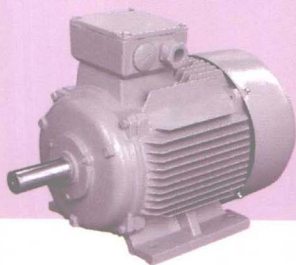


电动机的嵌入式控制丛书

电动机的DSP控制

——TI公司DSP应用（第2版）



王晓明 编著

 北京航空航天大学出版社



电动机的嵌入式:

TM320.12
W384-2.02

电动机的 DSP 控制 ——TI 公司 DSP 应用

(第 2 版)

王晓明 编著

TM320.12
W384-2.02
北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

电动机的数字控制是电动机控制的发展趋势,为电动机控制而专门设计的 DSP 已逐渐地成为实现电动机全数字实时控制的最有力的工具。本书以 TI 公司的 DSP 为例,详尽、系统地介绍了直流电动机、交流异步电动机、交流永磁同步电动机、步进电动机、无刷直流电动机和开关磁阻电动机这些常用电动机的控制原理,并介绍了利用 DSP 对电动机进行控制的方法。结合每一种控制原理和方法的介绍,本书都给出了具体的编程例子,并给出了非常详细的程序注释,使读者一看就懂,一学就会。与第 1 版相比,增加了定点 DSP 数据 Q 格式表示法和交流异步电动机无速度传感器控制技术。

本书适合于对电动机的 DSP 控制感兴趣的初学者使用,可作为从事电动机控制和电气传动研究的工程技术人员、高校教师、研究生和本科生自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电动机的 DSP 控制: TI 公司 DSP 应用/王晓明编著. —2
版. —北京:北京航空航天大学出版社,2009. 8

ISBN 978-7-81124-867-8

I. 电… II. 王… III. 数字信号—信号处理—应用—电
动机—控制 IV. TM320.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 137575 号

© 2009, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制本书及其所附光盘内容。侵权必究。

电动机的 DSP 控制——TI 公司 DSP 应用 (第 2 版)

王晓明 编著

责任编辑 董云凤 张金伟 张 淳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpresse@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:28 字数:627 千字

2009 年 9 月第 2 版 2009 年 9 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-867-8 定价:49.00 元(含光盘 1 张)

序

TMS320LC240xA 和 TMS320LF240xA 是德州仪器(Texas Instruments)推出的 DSP 微控制器产品系列, TMS320LF2407A 是这一产品系列最具代表性的产品。与本系列其他芯片相比, TMS320LF2407A 片上资源最丰富, 并配有外存接口, 最多允许用户直接外接 64 K 字的外存。

TMS320LF2407A 可以达到 40 兆指令每秒的运算速度(40 MIPS), 包括 16 位乘法的运算速度, 并具有 32 K 字片上闪存(Flash)、16 通道模拟输入高速 10 位模/数转换器(A/D)、多个功能丰富的通用计时器、多路可编程脉宽调制(PWM)输出、可编程脉宽调制输出死区、多路信号输入捕捉(CAP)、光电编码盘接口(QEP), 以及业界通用的异步串行接口(SCI)、串行(同步)外设接口(SPI)和 CAN 总线接口。这些丰富的片上资源使得 TMS320LF2407A 在工业控制中尤其是在电动机控制应用中比传统的单片机有着无与伦比的优势。也正是因为这一点, TMS320LF2407A 正在越来越广泛地应用于工业控制和电动机控制的不同领域。

TMS320LC/LF240xA 成功的应用例子很多, 目前见到最多的还是电动机控制, 如通用逆变器的控制、工业用织布机和绣花机控制、健身器材运动部分控制、变频空调、变频冰箱控制等。这些应用尤其是工业应用, 不仅利用了 TMS320LC/LF240xA 上的可编程脉宽调制等电动机控制资源, 还充分利用了模/数转换器、通用计时器以及各种通信接口资源。例如 CAN 总线就正在变成工业控制常用的通信手段。

本书对 TMS320LF2407A 的片上资源及使用作了详细描述。在此基础上, 作者用大量的篇幅全面描述了各种电动机的控制和基于 DSP 的控制算法及其实现。其中包括直流电动机、交流感应电动机、永磁同步电动机、步进电动机、无刷直流电动机以及开关磁阻电动机等, 包括针对不同电动机的不同脉宽调制方法、矢量与非矢量控制、有位置/速度传感器及无位置/速度传感器控制算法、坐标变换等, 并具体描述了电动机电流、位置等的检测方法及其实现, 列出了许多编程实例。

随着工业和电动机控制系统性能和智能要求的不断提高,一些以前不需考虑的复杂高级算法,如电动机的矢量控制、电动机及系统的非线性控制、系统的最优控制、适应性控制等正在变为产品,成为在市场上取胜的必需要素。德州仪器 TMS320LC/LF240xA DSP 的强大计算能力正好满足了市场这一需求。更重要的是,这一产品系列还同时提供了大量的其他片上资源,使用户在得到强有力的计算能力的同时,还得到了甚至比传统微控制器更丰富的其他片上资源。

这一市场趋势造成了广大应用及设计工程师对德州仪器 TMS320LC/LF240xA DSP 及其应用进一步了解的需求。《电动机的 DSP 控制——TI 公司 DSP 应用》一书正好迎合了市场,也就是迎合了广大应用及设计工程师的这一需求,是一本很有价值的工程技术参考书。

德州仪器(上海)有限公司

于振宇

2004 年 2 月 1 日于上海

第2版前言

本书第1版自2004年出版后,深受读者的喜爱和好评。除了在大陆热销外,也在台湾和香港书店产生热烈的反响,读者遍及海内外。有许多高校和培训单位使用本书作为教材,开设了电动机DSP控制的课程。许多读者来函来电,对本书给予了很高评价。这些都极大地鼓舞了作者的写作热情。同时也感觉到普及电动机DSP控制技术绝非一朝一夕的事情,任重而道远,需要做的工作还有很多。因此,作者在进行了大量深入、细致准备工作的基础上,对本书进行了如下修改:

(1) 定点DSP芯片价格便宜、编程容易,是用户的首选。但是在使用中对数据的规格化处理仍然是一个难点。在第1版中,对定点DSP的数据Q格式表示法讲述的不多,并且将其放在“直流电动机DSP控制”一章中,以至于有些读者没能找到该内容。在本次修改中,将其单列一章,同时增加了设计方法和设计公式的介绍,并给出详细的设计例子。此外,还将数字PI控制内容划入该章中,使本章成为基础知识篇。

(2) 交流异步电动机无速度传感器控制技术已经越来越多地应用于实际,在本次修改中增加了这方面技术的介绍。重点介绍了转子磁场定向控制技术,通过基于数学模型的磁通估计技术和开环速度估计技术,来实现无速度传感器交流异步电动机的速度控制。一旦掌握了这种转子磁场定向控制技术,读者也可以很容易地将其应用到有速度传感器交流异步电动机的控制中。

(3) 对部分程序进行了修改,使之更加完善。

在这里我要衷心地感谢北京航空航天大学出版社在打击与制止侵权、盗版行为所做出的不懈努力和坚定态度,也感谢北京航空航天大学出版社长期以来对本书在各方面所给予的大力支持。

最后还要特别感谢佟绍成、李卫民、王天利、卫绍元、鲁宝春、常国威、李成英、李国义、齐世武、李铁军、何勃、张波、潘静、王晓磊、马宇、张桐、庄喜润、刘瑶、周青山、董玉林、冯准、郑军、张涛、刘卓为本书第2版的资料搜集和整理、图形绘制、文

稿校对、程序试验所做的工作,以及对我工作所给予的各种支持和精神鼓励。

由于作者水平有限,加之时间紧迫,书中难免有错误和不完善之处,敬请读者批评指正。我的电子信箱是: motor-nc@126.com 或 motor-nc@sohu.com。

辽宁工业大学

王晓明

2009 年 4 月

前言

DSP(Digital Signal Processors)以运算速度快为显著特征,而单片机则以数字控制功能强为特点。电动机的数字控制既要求控制器有强大的 I/O 控制功能,又要求控制器有高速的信号处理能力以实现实时控制。因此,世界上各大 DSP 生产商将 DSP 的高运算速度与单片机的高控制能力相结合,开发出电动机控制的专用 DSP。这种 DSP 还集成了电动机控制所必需的可增加死区且灵活多变的多路 PWM 信号发生器、高速高精度 ADC,以及用于电动机速度和位置反馈的编码器接口等电路,因而可以说这种 DSP 是目前用于电动机控制中功能最强大的控制器。近几年来,随着这种 DSP 价格不断下调(与单片机的价格越来越接近),以及其开发工具价格不断下降,一个电动机 DSP 控制的普及时代已经来临。本书正是为了普及电动机的 DSP 控制技术知识而编写的,目的是为了满足不同层次对电动机 DSP 控制技术感兴趣的人们的学习要求。

为此,本书在编写思路上有如下特点:

第一,力求使本书面向初学者。不仅面向电动机的 DSP 控制的初学者,而且还面向电动机的数字控制的初学者。因此,在各种电动机的控制原理和用 DSP 实现控制这两方面内容的介绍中,都力求尽量通俗、具体和详细。

第二,注重 DSP 软件编程方法的介绍。因为 DSP 的高度集成化,所以外围电路用得最少,成为真正意义上的低成本、全数字控制。因此,本书将重点放在控制软件编程方法的介绍上,尽可能将软件编写的思路、数据格式的设计、软件设计的技巧介绍给读者。

第三,提供详细和实用的编程例子。这些例子可供读者直接使用,或至少给读者一个启发,以帮助读者在此基础上开发出自己的应用产品。

全书共有 8 章和 5 个附录:第 1 章介绍 TI 公司 TMS320LF2407A DSP 的结构原理和基本外设;第 2 章~第 8 章分别介绍直流电动机、交流异步电动机、交流永磁同步电动机、步进电动机、无刷直流电动机和开关磁阻电动机的结构特点、驱

动方法、调速控制原理、用 DSP 实现调速的方法及编程例子;附录 A 给出 TMS320LF2407A DSP 全部寄存器的名称、符号和地址;附录 B 给出每一条汇编指令的说明和例子,使读者能够快速地了解指令系统;附录 C 给出汇编伪指令的含义;附录 D 给出 TI 公司定义的命令文件和头文件,附录 E 给出光盘程序目录。

本书得到了辽宁省教育厅高校科研基金的资助(项目编号:20032087)。

在编写过程中,还得到了美国德州仪器(TI)公司于振宇博士的技术指导和郑晓龙先生的热心帮助,在此表示衷心的感谢。

全书由王晓明和王玲共同编写。研究生崔建、庄喜润、孙维涛参与了本书的资料收集、整理和部分程序的调试工作;单艺斌、黄梦桃、才桂明参与了本书的图形绘制、文字输入和校对工作;另外对本书的编写提供帮助和支持的还有佟绍成、宋长清、王艳秋、李卫民、王天利、常国威、鲁宝春、卫绍元、李国义、李铁军、齐世武、李成英、王德江,在此一并表示谢意。

最后还要感谢北京航空航天大学出版社对本书的出版所给予的支持。

向在本书编写过程中所参阅的文献的作者们深表敬意。

由于作者水平有限,加之时间紧迫,书中难免有错误和不完善之处,敬请读者批评指正。我的电子信箱是:motor-nc@sohu.com 或 motor-nc@126.com。

辽宁工学院

王晓明

2004 年 2 月

目 录

第 1 章 TMS320LF2407A DSP

1.1 TMS320LF2407A DSP 的特点及引脚功能	1
1.1.1 特 点	1
1.1.2 引脚功能	2
1.2 TMS320LF2407A DSP 的组成及结构	9
1.2.1 总体结构	9
1.2.2 存储器结构及 I/O 空间	9
1.2.3 CPU	13
1.2.4 系统及 I/O 端口的配置	18
1.3 TMS320LF2407A DSP 的指令系统	22
1.3.1 程序控制	22
1.3.2 寻址方式	24
1.3.3 指令集	26
1.4 TMS320LF2407A DSP 的中断系统	28
1.4.1 中断分类	28
1.4.2 可屏蔽中断结构	30
1.4.3 中断寄存器	34
1.4.4 可屏蔽中断服务子程序	36
1.5 TMS320LF2407A DSP 的事件管理器及 PWM	39
1.5.1 事件管理器模块结构	40
1.5.2 定时器	42
1.5.3 PWM 和空间矢量 PWM 波形的生成	49
1.5.4 增量式光电编码器接口(QEP)	56
1.5.5 捕捉单元	57
1.6 TMS320LF2407A DSP 的 A/D 转换器	59
1.6.1 ADC 编组自动转换功能	59

1.6.2	ADC 的转换时间、校准与自测	66
第 2 章 定点 DSP 的数据 Q 格式表示方法与电动机的 PI 控制		
2.1	定点 DSP 的数据 Q 格式	68
2.1.1	定点 DSP 的数据 Q 格式表示方法	68
2.1.2	Q 格式数据运算规则	70
2.1.3	数据标幺化处理	71
2.2	数字 PI 调节器的 DSP 实现方法	71
第 3 章 直流电动机的 DSP 控制		
3.1	直流电动机的控制原理	76
3.2	直流电动机单极性驱动可逆 PWM 系统	79
3.3	直流电动机双极性驱动可逆 PWM 系统	81
3.4	直流电动机的 DSP 控制方法及编程例子	83
3.4.1	单极性可逆 PWM 系统 DSP 控制方法及编程例子	83
3.4.2	双极性可逆 PWM 系统 DSP 控制方法及编程例子	92
第 4 章 交流电动机的 SPWM 与 SVPWM 技术以及 DSP 控制的实现		
4.1	交流异步电动机变频调速原理	100
4.1.1	变频调速原理	100
4.1.2	变频与变压	101
4.1.3	变频与变压的实现——SPWM 调制波	104
4.2	三相采样型电压 SPWM 波生成原理与控制算法	107
4.2.1	自然采样法	108
4.2.2	对称规则采样法	109
4.2.3	不对称规则采样法	111
4.2.4	不对称规则采样法的 DSP 编程	113
4.3	电压空间矢量 SVPWM 技术	128
4.3.1	电压空间矢量 SVPWM 技术基本原理	129
4.3.2	电压空间矢量 SVPWM 技术的 DSP 实现方法	135
第 5 章 交流异步电动机的矢量控制		
5.1	交流异步电动机的矢量控制基本原理	166
5.2	矢量控制的坐标变换	170
5.2.1	Clarke 变换	171
5.2.2	Park 变换	175
5.3	转子磁链位置的计算	178
5.4	交流异步电动机的 DSP 矢量控制	180

5.4.1 三相异步电动机的 DSP 控制系统	180
5.4.2 三相异步电动机的 DSP 控制编程例子	181
第 6 章 交流异步电动机无速度传感器转子磁场定向控制	
6.1 交流异步电动机转子磁场定向控制	201
6.2 磁通观测原理	203
6.3 基于数学模型的开环速度估计原理	206
6.4 无速度传感器转子磁场定向 DSP 控制实现方法	206
6.4.1 磁通观测器数学模型的离散化和 PU 化处理	207
6.4.2 速度估计数学模型的离散化和 PU 化处理	209
6.4.3 无速度传感器转子磁场定向 DSP 控制编程例子	210
第 7 章 三相永磁同步伺服电动机的 DSP 控制	
7.1 三相永磁同步伺服电动机的结构和工作原理	269
7.2 转子磁场定向矢量控制与弱磁控制	270
7.3 三相永磁同步伺服电动机的 DSP 控制	271
7.3.1 三相永磁同步伺服电动机的 DSP 控制系统	271
7.3.2 三相永磁同步伺服电动机的 DSP 控制编程例子	272
第 8 章 步进电动机的 DSP 控制	
8.1 步进电动机的工作原理	295
8.1.1 步进电动机的结构	295
8.1.2 步进电动机的工作方式	297
8.2 步进电动机的 DSP 控制方法	301
8.2.1 步进电动机的脉冲分配	302
8.2.2 步进电动机的速度控制	305
8.3 步进电动机的驱动	306
8.3.1 双电压驱动	306
8.3.2 高低压驱动	307
8.3.3 斩波驱动	308
8.3.4 集成电路驱动	308
8.4 步进电动机的运行控制	309
8.4.1 步进电动机的位置控制	309
8.4.2 步进电动机的加减速控制	312
第 9 章 无刷直流电动机的 DSP 控制	
9.1 无刷直流电动机的结构和原理	318
9.1.1 无刷直流电动机的结构	318

9.1.2	无刷直流电动机的工作原理	319
9.2	三相无刷直流电动机星形联结全桥驱动原理	321
9.3	三相无刷直流电动机的 DSP 控制	323
9.3.1	三相无刷直流电动机的 DSP 控制策略	324
9.3.2	电流的检测和计算	325
9.3.3	位置检测和速度计算	326
9.3.4	无刷直流电动机的 DSP 控制编程例子	328
9.4	无位置传感器的无刷直流电动机 DSP 控制	337
9.4.1	利用感应电动势检测转子位置原理	337
9.4.2	用 DSP 实现无位置传感器无刷直流电动机控制的方法	338
9.4.3	DSP 控制编程例子	341
第 10 章	开关磁阻电动机的 DSP 控制	
10.1	开关磁阻电动机的结构、工作原理和特点	356
10.2	开关磁阻电动机的功率驱动电路	359
10.3	开关磁阻电动机的线性模式分析	361
10.3.1	开关磁阻电动机理想的相电感线性分析	361
10.3.2	开关磁阻电动机转矩的定性分析	362
10.4	开关磁阻电动机的控制方法	363
10.5	开关磁阻电动机的 DSP 控制及编程例子	366
附录 A	TMS320LF2407A 寄存器符号、名称和地址	382
附录 B	TMS320C24x 指令说明及举例	389
B.1	累加器、算术和逻辑运算指令	389
B.2	辅助寄存器指令	398
B.3	T、P 寄存器和乘法指令	400
B.4	转移指令	405
B.5	控制指令	408
B.6	I/O 和存储器传送指令	413
B.7	指令按字母顺序检索表	416
附录 C	TMS320C24x 伪指令	419
附录 D	命令文件和头文件	424
附录 E	光盘内容说明	433
参考文献		434

第 1 章

TMS320LF2407A DSP

TI 公司自从 1982 年生产出第一片定点 DSP 以来,已推出 C1x、C2x、C20x、C24x、C5x、C54x、C6x 定点 DSP, C3x、C4x 浮点 DSP 以及 C8x 多处理器系列 DSP。它们广泛地应用在通信、图像与声音处理和控制领域。其中 C24x 系列 DSP 是专为电动机控制(DMC)而设计的,它们兼有 DSP 的高运算速度和单片机的强控制能力。

TMS320LF2407A DSP 属于 TI 公司 TMS320C2000 系列定点 DSP 中的 C24xx 产品系列,该系列产品还有 TMS320LF2401A、2402A、2403A、2406A,以及 TMS320LC2401A、2402A、2404A、2406A。C24xx 系列 DSP 兼容早期的 C24x DSP 系列。其中“LF”代表片内 FLASH EPROM(3.3 V)，“LC”代表低电压 CMOS(3.3 V)。近几年 TI 公司又推出 TMS320C28x 系列 DSP,它是 32 位定点 DSP,速度可达 150 MIPS,是电动机控制专用 DSP 的高端产品。

本书将以高性能和低价位的 16 位定点 TMS320LF2407A DSP 为例介绍 DSP 对电动机的控制。因此,在本章中重点介绍 TMS320LF2407A DSP 的结构特点、中断系统、I/O、事件管理器和 A/D 转换器。由于篇幅所限,有关该 DSP 更多、更详细的内容请参考 TI 公司的《TMS320LF/LC240xA DSP Controllers Reference Guide》^[3]和《TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用》^[18]。

1.1 TMS320LF2407A DSP 的特点及引脚功能

1.1.1 特点

TMS320LF2407A DSP 有如下特点:

- 由于采用了高性能的静态 CMOS 制造技术,因此该 DSP 具有低功耗和高速度的特点。工作电压 3.3 V,有 4 种低功耗工作方式。单指令周期最短为 25 ns(40 MHz),最高运算速度可达 40 MIPS,4 级指令执行流水线。低功耗有利于电池供电的应用场合;而高

速度非常适用于电动机的实时控制。

- 由于使用了 TMS320C2xx DSP CPU 的内核,因此保证了与 TMS320C24x 系列 DSP 的代码兼容性。
- 片内集成了 32K 字的 FLASH 程序存储器,2K 字的单口 RAM,544 字的双口 RAM。因而使该芯片可用于产品开发。可编程的密码保护能够充分地维护用户的知识产权。
- 提供外扩展 64K 字程序存储器、64K 字数据存储器、64K 字 I/O 的能力。
- 两个专用于电动机控制的事件管理器(EV),每一个都包含了 2 个 16 位的通用定时器;8 个 16 位的脉宽调制(PWM)输出通道;1 个能够快速封锁输出的外部引脚 $\overline{\text{PDPINTx}}$ (其状态可从 COMCONx 寄存器获得);可防止上下桥臂直通的可编程死区功能;3 个捕捉单元;1 个增量式光电位置编码器接口。
- 可编程看门狗定时器,保证程序运行的安全性。
- 16 通道的 10 位 A/D 转换器,具有可编程自动排序功能,4 个启动 A/D 转换的触发源,最快 A/D 转换时间 375 ns。
- 控制器局域网(CAN)2.0B 模块。
- 串行接口 SPI 和 SCI 模块。
- 基于锁相环的时钟发生器(PLL)。
- 41 个通用的 I/O 引脚。
- 32 位的累加器和 32 位中央算术逻辑单元(CALU);16 位×16 位并行乘法器,可实现单指令周期的乘法运算;5 个外设中断。
- 1149.1—1990 IEEE 标准的 JTAG 仿真接口。
- 很宽的工作温度范围 A: -40~85℃
 S: -40~125℃

1.1.2 引脚功能

TMS320LF2407A DSP 共有 144 个引脚,采用 PGE 封装。其封装图见图 1-1。引脚功能见图 1-2 和表 1-1。

表 1-1 TMS320LF2407A 引脚功能

引脚名称	引脚序号	引脚功能
事件管理器 A(EVA)		
CAP1/QEP1/IOPA3	83	捕捉输入 #1/编码器输入 #1/通用 IO(↑)
CAP2/QEP2/IOPA4	79	捕捉输入 #2/编码器输入 #2/通用 IO(↑)
CAP3/IOPA5	75	捕捉输入 #3/通用 IO(↑)

续表 1-1

引脚名称	引脚序号	引脚功能
PWM1/ IOPA6	56	比较或 PWM 输出 #1/通用 IO(↑)
PWM2/ IOPA7	54	比较或 PWM 输出 #2/通用 IO(↑)
PWM3/ IOPB0	52	比较或 PWM 输出 #3/通用 IO(↑)
PWM4/ IOPB1	47	比较或 PWM 输出 #4/通用 IO(↑)
PWM5/ IOPB2	44	比较或 PWM 输出 #5/通用 IO(↑)
PWM6/ IOPB3	40	比较或 PWM 输出 #6/通用 IO(↑)
T1PWM/T1CMP/ IOPB4	16	T1PWM 输出/T1 比较输出/通用 IO(↑)
T2PWM/T2CMP/ IOPB5	18	T2PWM 输出/T2 比较输出/通用 IO(↑)
TDIRA/ IOPB6	14	通用定时器计数方向输入 A/通用 IO(↑)
TCLKINA/ IOPB7	37	通用定时器外部时钟输入 A/通用 IO(↑)
事件管理器 B(EVB)		
CAP4/QEP3/ IOPE7	88	捕捉输入 #4/编码器输入 #3/通用 IO(↑)
CAP5/QEP4/ IOPF0	81	捕捉输入 #5/编码器输入 #4/通用 IO(↑)
CAP6/ IOPF1	69	捕捉输入 #6/通用 IO(↑)
PWM7/ IOPE1	65	比较或 PWM 输出 #7/通用 IO(↑)
PWM8/ IOPE2	62	比较或 PWM 输出 #8/通用 IO(↑)
PWM9/ IOPE3	59	比较或 PWM 输出 #9/通用 IO(↑)
PWM10/ IOPE4	55	比较或 PWM 输出 #10/通用 IO(↑)
PWM11/ IOPE5	46	比较或 PWM 输出 #11/通用 IO(↑)
PWM12/ IOPE6	38	比较或 PWM 输出 #12/通用 IO(↑)
T3PWM/T3CMP/ IOPF2	8	T3PWM 输出/T3 比较输出/通用 IO(↑)
T4PWM/T4CMP/ IOPF3	6	T4PWM 输出/T4 比较输出/通用 IO(↑)
TDIRB/ IOPF4	2	通用定时器计数方向输入 B/通用 IO(↑)
TCLKINB/ IOPF5	126	通用定时器外部时钟输入 B/通用 IO(↑)
A/D 转换器		
ADCIN00	112	ADC 模拟输入通道 #0
ADCIN01	110	ADC 模拟输入通道 #1
ADCIN02	107	ADC 模拟输入通道 #2
ADCIN03	105	ADC 模拟输入通道 #3
ADCIN04	103	ADC 模拟输入通道 #4
ADCIN05	102	ADC 模拟输入通道 #5

续表 1-1

引脚名称	引脚序号	引脚功能
ADCIN06	100	ADC 模拟输入通道 #6
ADCIN07	99	ADC 模拟输入通道 #7
ADCIN08	113	ADC 模拟输入通道 #8
ADCIN09	111	ADC 模拟输入通道 #9
ADCIN10	109	ADC 模拟输入通道 #10
ADCIN11	108	ADC 模拟输入通道 #11
ADCIN12	106	ADC 模拟输入通道 #12
ADCIN13	104	ADC 模拟输入通道 #13
ADCIN14	101	ADC 模拟输入通道 #14
ADCIN15	98	ADC 模拟输入通道 #15
V _{REFHI}	115	ADC 高模拟参考电压输入端
V _{REFLO}	114	ADC 低模拟参考电压输入端
V _{CCA}	116	ADC 模拟工作电压(3.3 V)
V _{SSA}	117	ADC 模拟地
CAN SCI SPI		
CANRX/IOPC7	70	CAN 接收数据/通用 IO(↑)
CANTX/IOPC6	72	CAN 发送数据/通用 IO(↑)
SCITXD/IOPA0	25	SCI 异步串行发送数据/通用 IO(↑)
SCIRXD/IOPA1	26	SCI 异步串行接收数据/通用 IO(↑)
SPICLK/IOPC4	35	SPI 时钟/通用 IO(↑)
SPISIMO/IOPC2	30	SPI 从动输入、主控输出/通用 IO(↑)
SPISOMI/IOPC3	32	SPI 从动输出、主控输入/通用 IO(↑)
SPISTE/IOPC5	33	SPI 从动发送使能/通用 IO(↑)
外部中断与时钟		
$\overline{RS}$	133	复位(↑),高电平时复位
$\overline{PDPINTA}$	7	功率保护输入引脚 A(↑),可封锁 PWM 输出
XINT1/IOPA2	23	外中断 1/通用 IO(↑)
XINT2/ADCSOC/IOPD0	21	外中断 2/外部启动 A/D 转换/通用 IO(↑)
CLKOUT/IOPE0	73	时钟输出/通用 IO(↑)
$\overline{PDPINTB}$	137	功率保护输入引脚 B(↑),可封锁 PWM 输出
振荡器、PLL、FLASH、BOOT 及其它		
XTAL1/CLKIN	123	晶振输入/时钟输入