

TI DSP系列中文手册

TMS320LF/LC24 系列 DSP 指令和编程工具

[美] Texas Instruments Incorporated 著

徐科军 肖本贤 张兴 吴婷 等编译



清华大学出版社

TI DSP 系列中文手册

TMS320LF/LC24 系列 DSP 指令 和编程工具

[美] Texas Instruments Incorporated 著

徐科军 肖本贤 张 兴 吴 婷 等编译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

C2000 系列 DSP 是 TI 公司 TMS320 DSP 的三大系列之一, 它既具有一般 DSP 芯片的高速运算和信号处理能力, 又和单片机一样在片内集成了丰富的外设, 所以, 特别适用于数字控制系统。TMS320LF/LC24 系列 DSP 是目前 C2000 系列中应用最为广泛的 DSP 芯片。本书介绍 TMS320LF/LC24 系列 DSP 的指令和编程工具。全书共分 19 章, 具体内容分 3 部分组成: 指令集、汇编语言工具和 C 编译器。

本书可供从事自动控制、电气工程、计算机应用和仪器仪表等专业的科研和工程技术人员参考, 也可以作为相关专业本科生和研究生选修课的参考书。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13901104297 13801310933

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。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目 (CIP) 数据

TMS320LF/LC24 系列 DSP 指令和编程工具/ (美) 德州仪器著; 徐科军等编译. —北京: 清华大学出版社, 2005. 1

(TI DSP 系列中文手册)

ISBN 7-302-09026-2

I. T… II. ①德… ②徐… III. 数字信号-信号处理-程序设计 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 068343 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 曾 刚

文稿编辑: 陈韦凯

封面设计: 秦 铭

版式设计: 杨 洋

印 刷 者: 北京国马印刷厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 34 字 数: 755 千字

版 次: 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09026-2/TP·6374

印 数: 1~5000

定 价: 46.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

Copyright Grant Letter

2003-4-28

Texas Instruments (Shanghai) Co., Ltd
11F, Novel Plaza, 128 Nanjing Road West,
Huangpu District, Shanghai 200003, P.R.C.

Mr. Hu Guangshu,

We are in possession of a copy of your book draft titled as appendix provided and [printed] by Tsinghua University Press, a book printer and publisher with a principal office located at Xue Yan Mansion, Tsinghua University, Beijing, 100084, P.R.C. (the "Book"), which contains certain copyrighted information (the "Information") from the Texas Instruments TMS320 DSP series product databook.

As rightful owner of the information, we hereby give you permission to use the Information in the book on a non-exclusive basis provided that you place the following statement on the title page of the book.

"This book contains copyrighted material of Texas Instruments Incorporated, used herein with permission of the copyright owner. Errors introduced in the use or translations of the copyrighted material herein are solely the responsibility of the author or translator and are not the responsibility of Texas Instruments Incorporated. Any further use, modification, redistribution without the express approval of the copyright owner is strictly prohibited. This copyright authorization allows for reproduction only in printed and computer materials of the above-cited standards, on a regional scale and for an unlimited period of time. Should any of the copyrighted information fall under patent protection, this copyright authorization is not to be construed as an authorization to use and/or implement patent information without fulfilling attached obligations."

Please also find enclosed some information regarding TI's copyright and trademark policies, which we would request you to follow during the use of the Information.

Thank you for including TI technology in your teaching and scholarship. I welcome your call or E-mail if I can provide additional assistance.

Best Regards,

Eldon Teng
Director of Market Development
Texas Instruments Asia



TI DSP 中文手册编译委员会

(按汉语拼音排序)

主任委员:

胡广书	教授	清华大学
彭启琮	教授	电子科技大学
沈洁	经理	TI 中国大学计划

委员:

陈健	教授	上海交通大学
戴逸民	教授	中国科学技术大学
何佩琨	教授	北京理工大学
刘和平	教授	重庆大学
潘亚涛	工程师	TI 中国大学计划
桑恩方	教授	哈尔滨工程大学
王军宁	副教授	西安电子科技大学
张旭东	副教授	清华大学
曾刚	编辑	清华大学出版社

序

经过全体编译老师和编译委员会近一年的努力,“TI TMS320 系列 DSP 中文手册”终于陆续和广大读者见面了。

数字信号处理器(Digital Signal Processing, DSP)是对信号和图像实现实时处理的一类高性能的 CPU。所谓“实时(Real-Time)实现”,是指一个实际的系统能在人们听觉、视觉或按任务要求所允许的时间范围内实现对输入信号的处理并将其输出。目前, DSP 已广泛应用于通信、家电、航空航天、工业测量、控制、生物医学工程及军事等许许多多需要实时实现的领域。

美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司是全球 DSP 研发和生产的领先者。自 1982 年推出第一块 DSP 芯片以来,到 20 世纪 90 年代中期, TI 先后推出了 C10、C20、C30、C40、C50 及 C80 等 6 代 TMS320 系列的 DSP 产品。紧接着又推出了 C2000 系列、C5000 系列和 C6000 系列三大主流产品,并推出了将 DSP 和 ARM 合为一体的 OMAP 系列。这些产品无论在国外还是在国内都获得了广泛的应用。例如,“TI 中国大学计划”在 2003 年举办的“TI DSP 设计比赛”中,国内高校就有约 90 个队参加,足见 DSP 在我国已经得到普遍的重视。

凡是从事过含有 CPU 的系统设计(单片机或 DSP)的同志都知道,为了顺利地实现设计任务,一本或几本好的手册是必不可少的,其中包括该 CPU 的结构手册、指令和汇编语言手册以及开发手册等。

由于 TI 的 DSP 发展迅速,产品更新快,因此其手册自然也非常多。由于手册需要更新和补充,因此,彼此之间难免会出现重复和种类繁多的现象。使用过 TI DSP 文档的同志都感觉到,其手册在使用上是有相当难度的。另外, TI DSP 文档都是用英文写成,这也给部分工程技术人员带来一定的困难。

鉴于此, TI 中国主管提出委托国内的高校老师对其文档进行编译,并授权清华大学出版社正式出版。在“TI 中国大学计划”的建议下,2003 年 6 月通过推荐和报名方式成立了编译委员会。

通过认真讨论,编译委员会首先确定了文档编译的原则,然后确定了编译的书目,最后确定了每一本书的编译者。

关于编译的原则,我们提出了如下两点:

(1) 本文档的定位为“手册”。也就是说,每一位文档的编译者应全面了解和掌握所编译书目的所有英文文档,并了解各个文档之间的关系,在保证文档完整的基础上,选择最新的文档,并去除其中的重复内容和已经淘汰的内容。

(2) 要尽可能地按照 TI 英文文档的“本意”来形成中文,以保证手册的准确性。允

许作者按自己的经验有所发挥，以便于难点的理解。

这次编译的书目包含三大部分，一是各个系列的共用部分，如 CCS、DSP/BIOS、算法标准、C 语言编译器及开发工具等各个手册；二是按 C2000、C5000 和 C6000 三大系列分别编译它们的 CPU 结构及指令手册；三是分别编译它们的应用。

编译计划在“TI 中国大学计划”的相关会议上提出后，得到了国内高校许多老师的热情支持，很快便将要编译的书目一一落实。这些老师都有着从事 DSP 教学和科研的丰富经验，正是由于他们的大力支持，才使这一庞大的工作计划能够付诸实施。在此，谨向参加本系列手册编译工作的全体老师表示衷心的感谢！

“TI 中国大学计划”在本系列手册的编译过程中给予了多方面的大力支持，在此向他们表示衷心的感谢！

由于本系列手册的编译工作量大、时间紧，因此，尽管编译的老师 and 编译委员会都尽了最大的努力，但也难免有不妥、甚至错误之处，编译委员会全体老师恳切地希望广大读者给以批判指正。

清华大学生物医学工程系

胡广书 教授

2004 年 3 月

前 言

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 是当前发展非常迅速的一类电子器件, 其功能强大, 应用相当广泛。在世界上几个生产 DSP 芯片的大公司中, TI (Texas Instruments) 公司 TMS 系列 DSP 芯片的市场占有率最高。TI 中国大学计划的实施也促进了国内大学 DSP 的教学和 DSP 的开发。目前, 国内应用的 DSP 主要以 TI 公司的 TMS320 系列为主。但是, TI DSP 的文档一是多, 二是杂, 三是彼此之间相互重复, 这给使用者带来了很大的困难。例如, 我们从 TI 的网站上发现, TI C2000, C5000 和 C6000 3 个系列的文档超过 100 多册。对于一个 DSP 初学者来说, 往往不知道哪一本文档是最重要的。此外, 这些文档都是用英文写成, 这对国内企业界的相当一部分工程师来说, 阅读会有一定的难度。近年来, 国内大学的老师已陆续出版了十几本有关 DSP 的教材。然而, 这些教材一般都是为满足教学需要而编写的, 在选材上基本上都是对 DSP 做概括性的介绍, 或是针对某一部分的内容做较为详细的介绍。这些教材对课程教学是有用的, 但是作为产品开发, 还必须阅读原手册。鉴于以上原因, TI 公司委托由清华大学胡广书教授牵头, 组织多所高校教师编译出版 TI DSP 文档。选择 TI DSP 产品中最具代表性的 3 个系列, 即 C2000、C5000、C6000 的文档进行编译出版。本书是该套文档中的一本。

C2000 系列 DSP 是 TI 公司 TMS320 DSP 的三大系列之一, 它既具有一般 DSP 芯片的高速运算和信号处理能力, 又和单片机一样在片内集成了丰富的外设, 所以, 特别适用于数字控制系统。TMS320LF/LC24 系列 DSP 是目前 C2000 系列中应用最为广泛的 DSP 芯片。本书介绍 TMS320LF/LC24 系列 DSP 的指令和编程工具, 全书共分 19 章, 具体内容由 3 部分组成: 指令集、汇编语言工具和 C 编译器。已出版的《TMS320LF/LC24 系列 DSP 的 CPU 与外设》介绍 TMS320LF/LC24 系列的硬件, 本书与其配套, 介绍 TMS320LF/LC24 系列的软件。

本书由合肥工业大学电气与自动化工程学院徐科军主编, 肖本贤和张兴任副主编。具体完成编译工作的为: 徐科军编译第 1 章, 肖本贤、娄天玲和郭福权编译第 2 章 (其中, 从开始到指令 15 由肖本贤完成, 指令 16 到指令 36 由娄天玲完成, 指令 37 到最后由郭福权完成), 童鸣和张强编译第 3 章, 汪令祥和余发平编译第 4 章, 司媛媛、姚丹和方亮编译第 5 章, 邓凡李和倪华编译第 6 章, 肖本贤编译第 7 章, 娄天玲编译第 8、第 10 和第 11 章, 张松灿编译第 9 章, 郭福权编译第 12 章, 吴婷编译第 13 章至第 17 章, 任好编译第 18 章和第 19 章。肖本贤负责第 2 章、第 7 章至第 12 章的审阅, 张兴负责第 3 章至第 6 章的审阅, 徐科军负责第 1 章、第 13 章至第 19 章的审阅和全书的统稿。

由于编译者的水平有限，书中可能存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者于合肥工业大学电气与自动化工程学院
合肥工业大学-德州仪器数字信号处理方案实验室
2004 年 1 月

目 录

第 1 部分 指令集

第 1 章 寻址方式.....	1
1.1 立即寻址方式.....	1
1.2 直接寻址方式.....	2
1.3 间接寻址方式.....	5
第 2 章 汇编语言指令集.....	11
2.1 指令集概述.....	11
2.2 怎样用指令集说明.....	17
2.3 指令集说明.....	23

第 2 部分 汇编语言工具

第 3 章 公共目标文件格式	153
3.1 段.....	153
3.2 汇编器对段的处理.....	154
3.3 连接器对段的处理.....	159
3.4 定位.....	165
3.5 运行时定位.....	166
3.6 下载程序.....	167
3.7 公共目标文件中的符号	167
第 4 章 汇编器	169
4.1 汇编器概述.....	169
4.2 汇编器开发流程.....	169
4.3 调用汇编器.....	170
4.4 TMS320C1x/C2x/C2xx/C5x 处理器中的向上兼容性.....	172
4.5 汇编器输入的变更目录命名	176
4.6 源语句格式.....	178
4.7 常量.....	179
4.8 字符串.....	182

4.9 符号.....	182
4.10 表达式.....	187
4.11 源列表.....	190
4.12 交叉引用列表.....	192
4.13 增强指令型.....	193
第 5 章 汇编伪指令	194
5.1 伪指令总结.....	194
5.2 段定义伪指令.....	196
5.3 初始化常数伪指令.....	198
5.4 段程序计数器排序伪指令.....	200
5.5 输出列表格式伪指令.....	201
5.6 引用其他文件的伪指令.....	202
5.7 条件汇编伪指令.....	203
5.8 汇编时间符号伪指令.....	203
5.9 其他伪指令.....	204
5.10 伪指令参考.....	205
第 6 章 指令集总结	245
6.1 总结表的使用.....	245
6.2 增强指令.....	247
6.3 指令集总结表.....	248
第 7 章 宏语言	274
7.1 宏指令的使用.....	274
7.2 宏指令的定义.....	275
7.3 宏指令参数/替代符号.....	276
7.4 宏库.....	282
7.5 在宏中使用条件汇编.....	283
7.6 在宏中使用标号.....	284
7.7 在宏中产生信息.....	285
7.8 格式化输出列表.....	286
7.9 递归和嵌套的使用.....	287
7.10 宏指令小结.....	288
第 8 章 存档器	290
8.1 存档器综述.....	290
8.2 存档器开发流程.....	290

8.3 存档器的调用	291
8.4 存档器举例	292
第 9 章 连接器描述	295
9.1 连接器开发流程	295
9.2 连接器的调用	295
9.3 连接器的选择项	297
9.4 连接器命令文件	306
9.5 目标库	308
9.6 MEMORY 伪指令	309
9.7 SECTIONS 伪指令	311
9.8 指定段的运行地址	318
9.9 UNION 和 GROUP 语句的使用	321
9.10 重叠页面	324
9.11 默认定位算法	327
9.12 特殊的段类型	329
9.13 在连接时给符号赋值	330
9.14 生成和填充空洞	333
9.15 部分连接	337
9.16 连接 C 代码	338
9.17 连接器举例	340
第 10 章 绝对列表器	344
10.1 产生绝对列表	344
10.2 调用绝对列表器	345
10.3 绝对列表器举例	346
第 11 章 交叉引用列表器	350
11.1 产生一个交叉引用列表	350
11.2 调用交叉引用列表器	351
11.3 交叉引用列表举例	351
第 12 章 十六进制转换应用程序	354
12.1 十六进制转换应用程序开发流程	354
12.2 调用十六进制转换应用程序	355
12.3 命令文件	356
12.4 存储器宽度	358
12.5 ROMS 伪指令	362

12.6	SECTIONS 伪指令	366
12.7	输出文件名	367
12.8	映像模式和-fill 选项	369
12.9	为片内引导装载器创建引导表	370
12.10	ROM 器件地址的控制	374
12.11	目标格式说明	377
12.12	十六进制转换应用程序出错信息	381

第 3 部分 C 编译器

第 13 章	C 编译器说明	383
13.1	概述	383
13.2	关于 shell 程序	386
13.3	调用编译器 shell	387
13.4	通过选项改变编译器的状态	388
13.5	使用环境变量改变编译器的状态	396
13.6	控制预处理器	398
13.7	内联函数的扩展	401
13.8	使用内部列表应用程序	404
13.9	编译错误的检测和处理	406
13.10	单独调用编译器的工具	408
第 14 章	C 语言代码的优化	414
14.1	使用 C 编译优化器	414
14.2	使用-o3 选项	415
14.3	程序级的优化 (-pm 和-o3 选项)	416
14.4	使用代码优化时的特殊考虑	419
14.5	自动内联扩展 (-oi 选项)	420
14.6	使用内部列表应用程序	420
14.7	调试优化代码	421
14.8	执行哪种优化	421
第 15 章	连接 C 代码	428
15.1	作为单独的程序调用连接器	428
15.2	调用带有 shell 编译器的连接器 (-z 选项)	429
15.3	禁止连接器 (shell 选项-c)	430
15.4	连接器选项	430

15.5 控制连接过程	431
第 16 章 TMS320C2000 的 C 语言	436
16.1 TMS320C2000 C 语言的特点	436
16.2 数据类型	437
16.3 寄存器变量	438
16.4 Pragma 伪指令	439
16.5 asm 语句	440
16.6 产生全局寄存器变量	441
16.7 初始化静态和全局变量	443
16.8 与 K&R 标准 C 的兼容性	444
16.9 编译器的限制	446
第 17 章 运行环境	448
17.1 存储器模型	448
17.2 寄存器规定	453
17.3 函数结构和调用规则	456
17.4 C 与汇编语言的接口	459
17.5 中断处理	463
17.6 整型表达式分析	464
17.7 浮点表达式分析	465
17.8 系统初始化	466
第 18 章 运行时间支持函数	470
18.1 库	470
18.2 头文件	471
18.3 运行时间支持函数及宏小结	479
18.4 运行时间支持函数及宏的描述	483
第 19 章 建库应用程序	520
19.1 调用建库应用程序	520
19.2 建库应用程序选项	520
19.3 选择项总结	521
参考文献	523

第 1 部分 指 令 集

第 1 章 寻 址 方 式

本章介绍'C24x 指令集的 3 种基本的存储器寻址方式。这 3 种方式是：

- 立即寻址方式
- 直接寻址方式
- 间接寻址方式

在立即寻址中，指令中所需要的常数作为指令的操作数直接给出。'C24x 支持两种形式的立即寻址：短立即寻址和长立即寻址。

当需要访问数据存储器时，可以采用直接或间接寻址方式。直接寻址将指令字的 7 位与数据存储器页指针（DP）的 9 位连接起来，形成一个 16 位的数据存储器的地址。间接寻址通过 8 个 16 位的辅助寄存器访问数据存储器。

1.1 立即寻址方式

在立即寻址方式中，指令字中包含指令所需的一个常数。两种立即寻址方式为：

- 短立即寻址。用短立即寻址的指令将一个 8 位、9 位或 13 位的常数作为操作数。短立即寻址指令为一个单指令字，并且有一个常数嵌在该指令中。
- 长立即寻址。用长立即寻址的指令将一个 16 位常数作为操作数，从而需要两个指令字。该常数作为第 2 个指令字被发送。这个 16 位值可以是绝对常数或二进制补码。

在例 1.1 中，立即操作数作为 RPT 指令字的一部分。对于这条 RPT 指令，指令寄存器将装入如图 1.1 所示的值。立即操作数以符号#为前缀。

例 1.1 采用短立即寻址的 RPT 指令。

RPT #99；将紧跟 RPT 指令后的那条指令执行 100 次

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1

采用立即寻址的 RPT 代码

8 位常数=99

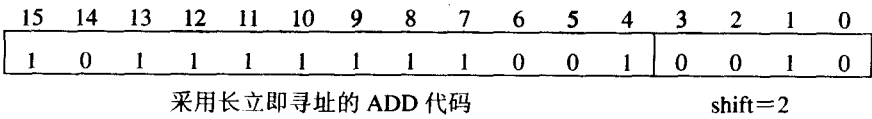
图 1.1 例 1.1 的指令寄存器内容

例 1.2 采用长立即寻址的 ADD 指令。

ADD #16384, 2; 将数据 16384 左移 2 位后, 再将结果加至累加器

例 1.2 中顺次装入的指令寄存器的两个字如图 1.2 所示。

第一条指令字:



第二条指令字:

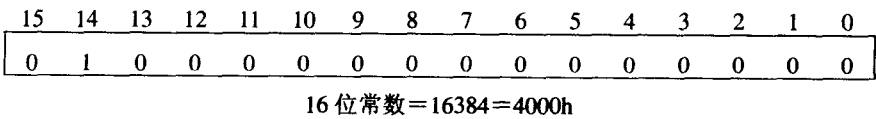


图 1.2 例 1.2 中顺次装入的指令寄存器的两个字

1.2 直接寻址方式

在直接寻址方式中, 数据存储器地址以 128 字为单位分成若干块, 该块被称做数据页。整个 64K 数据存储器共包含 512 个数据页, 标号从 0 到 511, 如图 1.3 所示。当前数据页由状态寄存器 ST0 中的 9 位数据页指针 (DP) 的值决定。例如, 若 DP 的值是 0 0000 0000, 当前数据页是 0; 若 DP 的值是 0 0000 0010, 当前数据页是 2。

DP 值	偏移量	数据存储器
0000 0000 0	000 0000	第 0 页: 000h~007Fh
⋮	⋮	
0000 0000 0	111 1111	
0000 0000 1	000 0000	第 1 页: 0080h~00FFh
⋮	⋮	
0000 0000 1	111 1111	
0000 0001 0	000 0000	第 2 页: 0100h~017Fh
⋮	⋮	
0000 0001 0	111 1111	
⋮	⋮	⋮
1111 1111 1	000 0000	第 511 页: FF80h~FFFFh
⋮	⋮	
1111 1111 1	111 1111	

图 1.3 数据存储器页

除数据页之外，处理器还必须知道该页上被访问的特定单元，这取决于 7 位偏移量，如图 1.3 所示。偏移量由指令寄存器（IR）的 7 位最低有效位（LSBs）提供，指令寄存器中包含将执行的下一条指令。在直接寻址方式中，指令寄存器内容的格式如图 1.4 所示。

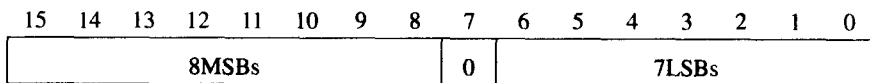


图 1.4 在直接寻址方式中指令寄存器（IR）内容的格式

8 MSBs 位 15~8 表明指令类型（例如 ADD）并包含关于该指令所访问数据的偏移量的所有信息。

0 直接/间接指示符。0 表示直接寻址，1 表示间接寻址。

7 LSBs 位 6~0 表示该指令所访问的数据存储器地址的偏移量。

处理器将 DP 值与指令寄存器的 7 位最低有效位连接起来，形成一个 16 位地址，如图 1.5 所示。DP 提供地址的 9 位高有效位，即页数；指令寄存器的 7 位最低有效位提供地址的 7 位最低有效位，即偏移量。例如，为访问数据地址 003Fh，需指定第 0 数据页（DP=0000 0000 0）和偏移量 011 1111。连接 DP 和偏移量产生一个 16 位地址 0000 0000 0011 1111，即 003Fh 或 63。

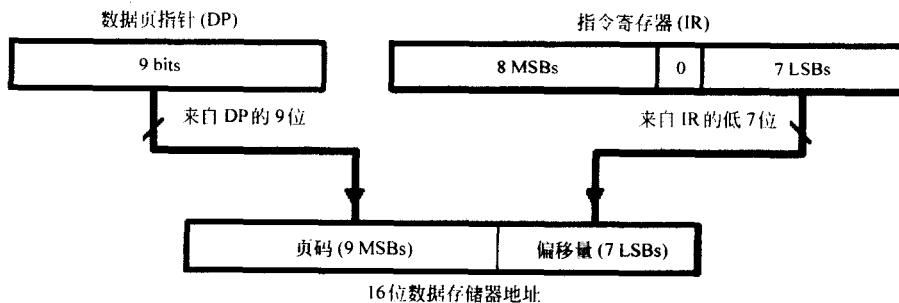


图 1.5 在直接寻址方式中数据地址的产生

注意：在所有程序中均要初始化 DP。

1.2.1 使用直接寻址方式

使用直接寻址方式时，处理器用页指针 DP 来寻找数据页，用指令寄存器的低 7 位有效位来寻址该页上的特定地址。通常做法如下：

(1) 设置数据页。将合适的值（从 0 到 511）装入 DP。DP 可由 LDP 指令装载，也可以由像装载 ST0 的任何指令来装载 DP。LDP 指令直接装载 DP，并且不影响 ST0 的其他位。例如，设置当前数据页为 32（地址 1000h~107Fh），用户能用：