

零起点 · 全实例 · 模块化 · 逐步进阶



数控宏程序编程 从入门到精通

杜军 李贞惠 唐万军 编著

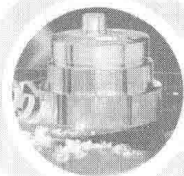


FANUC、华中HNC、SIEMENS数控系统宏程序编程技能完全掌握



化学工业出版社

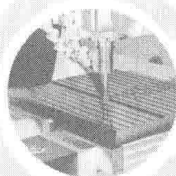
FANUC



数控宏程序编程 从入门到精通

杜军 李贞惠 唐万军 编著

HNC



SIEMENS



化学工业出版社

· 北京 ·

本书涵盖了 FANUC、华中（HNC）、SIEMENS 三大典型数控系统宏程序编程的基础知识、数控车削、数控铣削加工宏程序编程、程序算法、宏程序编程所涉及的基本数学知识等内容，对常见的外圆、切槽、普通螺纹与复杂螺纹车削和平面、型腔、孔系、球面、凸台铣削，以及系列零件、公式曲线等数控加工典型案例进行了宏程序编程的详细讲解，内容详尽，知识讲解由浅入深、循序渐进，便于理解，程序实例典型丰富、可操作性强，全部采用模块化编写，适合读者逐章自学或者随心查阅，并适于实际加工直接调用。

本书可供从事数控加工的操作人员、数控编程工程技术人员以及大专院校数控专业、机电一体化专业的师生学习和参考。

图书在版编目（CIP）数据

数控宏程序编程从入门到精通/杜军，李贞惠，唐万军
编著. —北京：化学工业出版社，2019.3

ISBN 978-7-122-33679-8

I. ①数… II. ①杜…②李…③唐… III. ①数控机
床-车床-程序设计 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 005860 号

责任编辑：张兴辉
责任校对：王素芹

文字编辑：陈 喆
装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 27½ 字数 691 千字 2019 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：118.00 元

版权所有 违者必究





数控宏程序编程是“神秘”的，它令初涉者望而却步，入门者欣喜若狂，精通者讳莫如深。同时数控宏程序又是“神奇”的，程序短小精悍且功能非常强大，易于定制，使用简单，合理运用它既可以提高程序本身质量，又可以提高加工质量，节约时间，提高工作效率。

但是，学习宏程序编程并不容易。现在各大工科类大学 and 高职院校并不进行系统、深入的学习，一些商业化的培训学校也仅介绍基础知识，学习效果并不太好，因此学习强大的宏程序编程技术主要还得靠数控编程技术人员来自学。目前，许多宏程序编程的图书大多介绍相关知识，鲜有应用案例。而编写本书的目的，就是希望为广大读者提供一本宏程序编程知识与技能的实用性工具书，以满足广大读者系统学习、全面掌握宏程序编程技术的需求。

本书较全面、系统地讲解了 FANUC、华中、SIEMENS 三大数控系统宏程序编程的基础知识和编程案例，以典型的零件型面加工为线索，内容详尽，知识讲解由浅入深、循序渐进，便于理解，程序实例典型丰富、可操作性强，全部采用模块化编写，适合读者逐章自学或者随时查阅，并适于实际加工直接调用。

宏程序的功能强大，学会编制宏程序有相当的难度，如何简单、有效地学习宏程序和编制宏程序，避免多走弯路，编著者在本书的编写过程中做了积极的探索，并对宏程序的学习提一些建议和想法：

(1) 具备一定的英语基础 在宏程序编制过程中需要用到许多英文单词或单词的缩写，掌握一定的英语基础可以正确理解其含义，增强分析程序和编制程序的能力；再者，数控系统面板按键及显示屏幕中也有为数不少的英语单词，良好的英语基础有利于熟练操作数控系统。

(2) 储备适量数学知识 编制宏程序必须有良好的数学基础，数学知识的作用有多方面：计算轮廓节点坐标需要频繁的数学运算；在加工规律曲线、曲面时，必须熟悉其数学公式并根据公式编制相应的宏程序进行拟合加工，如椭圆的加工；更重要的是，良好的数学基础可以使人的思维敏捷，具有条理性，这正是编制宏程序所必需的。

(3) 掌握一定的计算机编程知识 宏程序是一类特殊的、实用性极强的专用计算机控制程序，其中许多基本概念、编程规则都是从通用计算机语言编程中移植过来的，所以学习 C 语言、BASIC、FORTRAN 等高级编程语言的知识，有助于快速理解并掌握宏程序。

(4) 好的学习目标 多学习优秀的程序代码和源代码。阅读他人的程序代码是非常好的学习方法，特别是代码库的作者是专家或者程序的质量有很高评价时。一个经典案例，一本好书都值得收藏。

(5) 良好的编程习惯 采用模块化结构编程，尽量减少模块间联系，便于每个模块可以独立编制、测试。程序要简单可靠，有必要的容错性，适当的冗余设计，正确的算法，无误的程序语句格式，对应的变量与引用。在编程时尽可能做好必要的注释，方便事后的查看。

(6) 足够的耐心与毅力 编制好的程序先不急于直接上机床运行，多做计算机仿真验证。程序的修改和调试是必要的，要静下心来，不急不躁。程序有 bug 是正常的，多检查程序结构、变量定义与引用，格式的疏忽甚至输入细微的错误都可能导致程序出错。相对于普通程序，宏程序显得枯燥且难懂。编制宏程序过程中需要灵活的逻辑思维能力，调试宏程序需要付出更多的努力，发现并修正其中的错误需要耐心与细致，更要有毅力从一次次失败中汲取经验教训并最终取得成功。

为了本书内容的正确和案例程序不出错误并按预期执行，编著者做了很多细致的实践验证工作。但鉴于水平有限，不足之处在所难免，具体使用环境的不同也会带来无法预料的结果，望读者见谅并提出宝贵修改意见。

编著者

引言 / 1

第 1 章 从外圆柱面车削开始 / 7

- 1.1 变量 / 8
- 1.2 算术运算 / 10
- 1.3 转移语句 / 13
- 1.4 循环语句 / 19

第 2 章 外圆锥面车削 / 23

第 3 章 程序格式与结构 / 27

- 3.1 程序格式 / 28
- 3.2 循环结构 / 29
- 3.3 选择结构 / 35

第 4 章 沟槽 / 41

- 4.1 矩形窄槽 / 42
- 4.2 矩形宽槽 / 45
- 4.3 等距多槽 / 49
- 4.4 梯形槽 / 51

第 5 章 螺纹车削 / 59

- 5.1 外圆柱螺纹 / 60
- 5.2 矩形螺纹 / 62
- 5.3 梯形螺纹 / 65
- 5.4 多线梯形螺纹 / 69
- 5.5 变螺距螺纹 / 71
- 5.6 圆弧形螺纹 / 77
- 5.7 圆弧面螺纹 / 80

第 6 章 球车削 / 85

- 6.1 半球 / 86
- 6.2 圆球 / 88

第 7 章 系列零件车削 / 91

- 7.1 尺寸不同系列零件加工 / 92

7.2 一次装夹多件加工 / 97

第 8 章 轮廓仿形加工 / 99

第 9 章 公式曲线的宏程序编程模板 / 103

第 10 章 椭圆曲线车削 / 109

- 10.1 正椭圆曲线（工件原点在椭圆中心） / 110
- 10.2 正椭圆曲线（工件原点不在椭圆中心） / 116
- 10.3 倾斜椭圆曲线 / 121
- 10.4 椭圆曲面螺纹 / 128

第 11 章 抛物曲线车削 / 133

第 12 章 双曲线车削 / 137

第 13 章 正弦曲线车削 / 141

第 14 章 公式曲线加工的其他情况 / 147

- 14.1 其他公式曲线车削 / 148
- 14.2 粗精加工含公式曲线零件 / 152
- 14.3 圆弧插补逼近公式曲线 / 155
- 14.4 数值计算与加工循环分离编程 / 158

第 15 章 模块化编程与“耦合” / 163

- 15.1 宏程序的优点 / 164
- 15.2 系统变量 / 166
- 15.3 宏程序的调用 / 172
 - 15.3.1 宏程序调用概述 / 172
 - 15.3.2 简单宏程序调用（G65） / 172
 - 15.3.3 模态宏程序调用（G66、G67） / 176
 - 15.3.4 G 指令宏程序调用 / 179
 - 15.3.5 M 指令宏程序调用 / 180
 - 15.3.6 M 指令子程序调用 / 181
- 15.4 定制固定循环 / 182
- 15.5 模块化耦合 / 185

第 16 章 提高加工效率 / 187

第 17 章 系列零件铣削 / 195

- 17.1 不同尺寸规格系列零件 / 196

17.2 相同轮廓的重复铣削 / 200

17.3 刻线加工 / 202

17.4 月牙形轮廓加工 / 211

17.5 离合器齿形加工 / 213

第 18 章 平面铣削 / 217

18.1 矩形平面 / 218

18.2 圆形平面 / 223

第 19 章 椭圆曲线铣削 / 227

19.1 完整正椭圆曲线 / 228

19.2 正椭圆曲线段 / 231

19.3 倾斜椭圆曲线 / 236

第 20 章 抛物曲线铣削 / 241

第 21 章 双曲线铣削 / 245

第 22 章 正弦曲线铣削 / 249

22.1 平面正弦曲线 / 250

22.2 空间正弦曲线 / 251

第 23 章 阿基米德螺线铣削 / 259

23.1 螺线段铣削 / 260

23.2 螺旋铣削圆形平面 / 264

第 24 章 其他公式曲线铣削 / 267

第 25 章 孔系铣削 / 275

25.1 直线分布孔系 / 276

25.2 矩形分布孔系 / 278

25.3 圆周均布孔系 / 283

25.4 圆弧分布孔系 / 285

第 26 章 型腔铣削 / 289

26.1 圆形型腔 / 290

26.2 矩形型腔 / 293

26.3 腰形型腔 / 297

第 27 章 螺纹铣削 / 305

第 28 章 球面铣削 / 309

- 28.1 凸球面 / 310
- 28.2 凹球面 / 317
- 28.3 椭球面 / 322

第 29 章 凸台面铣削 / 329

- 29.1 圆锥台 / 330
- 29.2 椭圆锥台 / 334
- 29.3 天圆地方 / 337

第 30 章 水平布置形状类零件铣削 / 345

- 30.1 水平半圆柱面 / 346
- 30.2 水平半圆锥面 / 351
- 30.3 牟合方盖 / 354

第 31 章 立体五角星铣削 / 361

第 32 章 零件轮廓铣削 / 367

- 32.1 零件轮廓粗精加工 / 368
- 32.2 零件轮廓倒角 / 372

第 33 章 特征元 / 379

第 34 章 程序如何实现“智能” / 383

第 35 章 数控应用数学 / 391

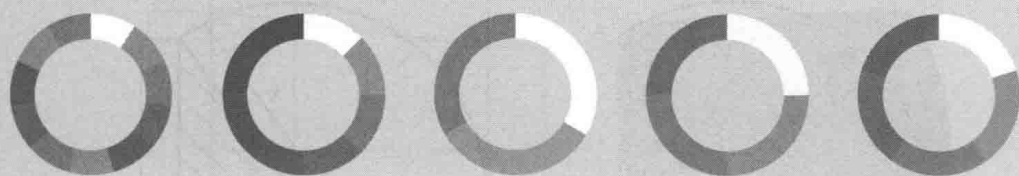
- 35.1 三角函数 / 392
- 35.2 平面几何 / 393
- 35.3 平面解析几何 / 397
- 35.4 数学的程序化处理 / 400

第 36 章 他山之石 / 405

- 36.1 HNC-21T22T 固定循环宏程序源代码 / 406
- 36.2 HNC-21M22M 固定循环宏程序源代码 / 418

参考文献 / 432

引言



如图 0-1(a) 所示直角三角形，已知一直边 a 长 3，另一直边 b 长 4，试求斜边 c 的长度？

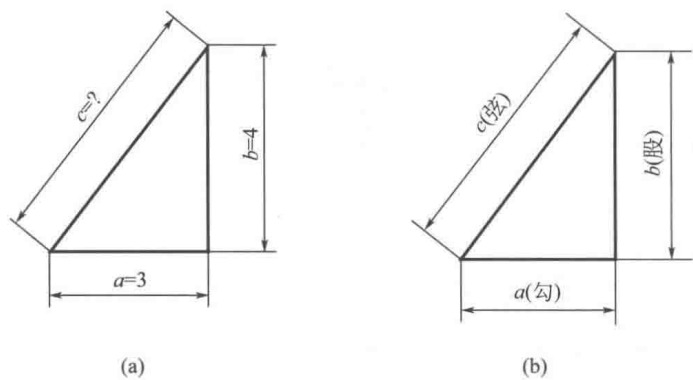


图 0-1 直角三角形

答案是显而易见的，解题时需要用到几何中的勾股定理，直角三角形的两条直角边的平方和等于斜边的平方，写为表达式：

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{0-1}$$

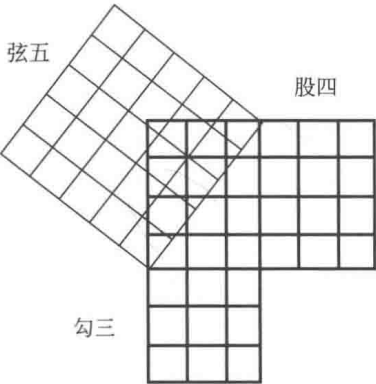


图 0-2 勾三股四弦五

如图 0-1(b) 所示，中国古代称直角三角形为勾股形，并且直角边中较小者为勾，另一长直角边为股，斜边为弦，所以称这个定理为勾股定理。

由于 $a=3, b=4$ ，解得： $c=\sqrt{3^2+4^2}=5$

当然本题的更简便解法是运用“勾三股四弦五”（图 0-2），意思是如果勾是三，股是四，那么弦就是五，这是勾股定理的一个特例。

来个复杂点的，如图 0-3(a) 所示，若已知 R 和 L 的值，试求 A 点的坐标值（填出表 0-1 中的 XY 值）。

表 0-1 填出 A 点的 XY 值

尺寸	R	L	X	Y
尺寸 1	5	3		
尺寸 2	50	30		
尺寸 3	50	40		
尺寸 4	40	32		
尺寸 5	30	18		

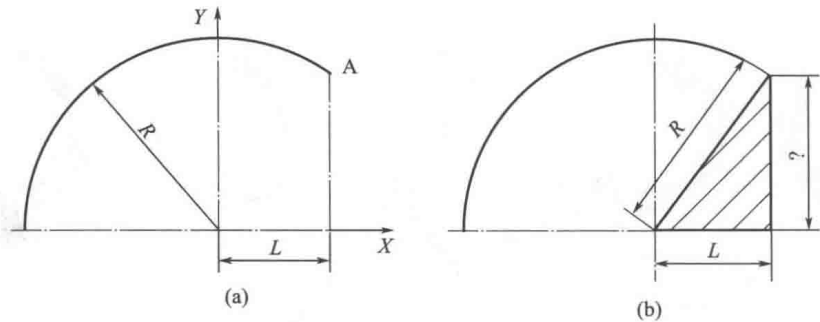


图 0-3 求 A 点坐标值

在图 0-3(b) 中构建了一个直角三角形，斜边长 R ，一直边长 L （即 A 点的 X 坐标值），另一直边长（A 点的 Y 坐标值）可用勾股定理的转换式子 $Y=\sqrt{R^2-L^2}$ 算出。

其实这个题也可以用“勾三股四弦五”计算，如表 0-2 所示。

表 0-2 A 点的 XY 值

尺寸	R	L	X(L 值)	Y(直边长)	提示
尺寸 1	5	3	3	4	勾 3 股 4 弦 5
尺寸 2	50	30	30	40	勾 3(×10)股 4(×10)弦 5(×10)
尺寸 3	50	40	40	30	勾 3(×10)股 4(×10)弦 5(×10)
尺寸 4	40	32	32	24	勾 3(×8)股 4(×8)弦 5(×8)
尺寸 5	30	18	18	24	勾 3(×6)股 4(×6)弦 5(×6)

你会发现，“勾三股四弦五”中的“三四五”并不只能是数字“345”，我们把它理解成“三份、四份、五份”更合适。

上面两图多个尺寸的计算中，虽然数值各不相同，但是都可以用同一种算法知识（勾三股四弦五）来解决！这就是举一反三谓之“变”。

再来一题：找一找，图 0-4 中三个圆锥有什么共同点？

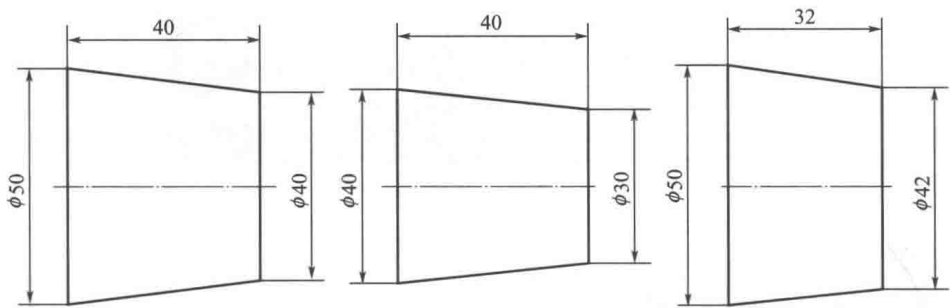


图 0-4 三个圆锥

答案是图中三个圆锥的锥度值相同，都是 1：4，不信你用圆锥的四个基本参数关系式算算吧：

$$C=\frac{D-d}{L} \tag{0-2}$$

式中， C 表示圆锥锥度（如图 0-5 所示）； D 是圆锥大径； d 是小径； L 为圆锥长度。

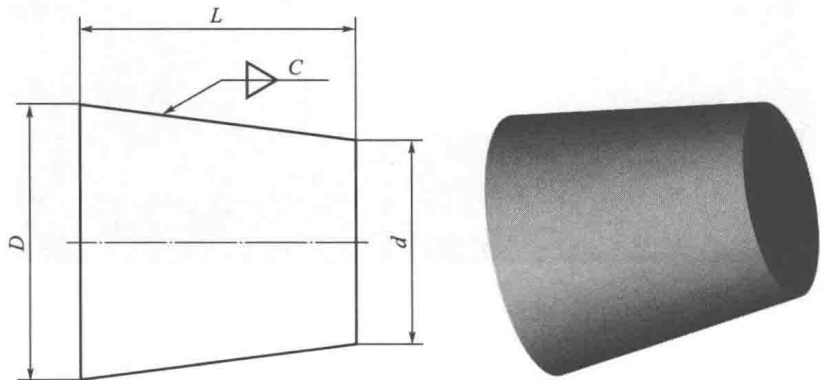


图 0-5 圆锥四个基本参数

面对纷繁的事物，就像图 0-4 中表面上看是三个不同的圆锥一样，也许它们之间存在某种内在的联系呢！正所谓追根溯源寻“不变”，就看你能不能发现它了。

我们在观察某一现象或过程时，常常会遇到各种不同的量，其中有的量在过程中不起变化，我们把其称之为常量，如上面例子中的 3、4、50、18 等都是常量；而有的量在过程中是变化的，也就是可以取不同的数值，我们称其为变量，上面例子中提到的勾股定理 [式(0-1)] 中的 abc 、“勾三股四弦五”中的“三四五”和圆锥的四个基本参数关系式 [式(0-2)] 中的 $DdLC$ 都是变量。当然常量和变量也不是一成不变的，它们的关系是辩证的，可能存在着某种联系：

(1) 变量的“万变”

变量就像一张银行卡，变量的值是可以变化的（卡里的钱多少是可以变化的，可以往卡里存钱，也可以取钱），如图 0-6 所示。



图 0-6 银行卡

(2) 变量的“不变”

同银行卡一样，当我们去查询的某一刻，变量的值（银行卡里的钱）又是固定的，如图 0-7 所示。

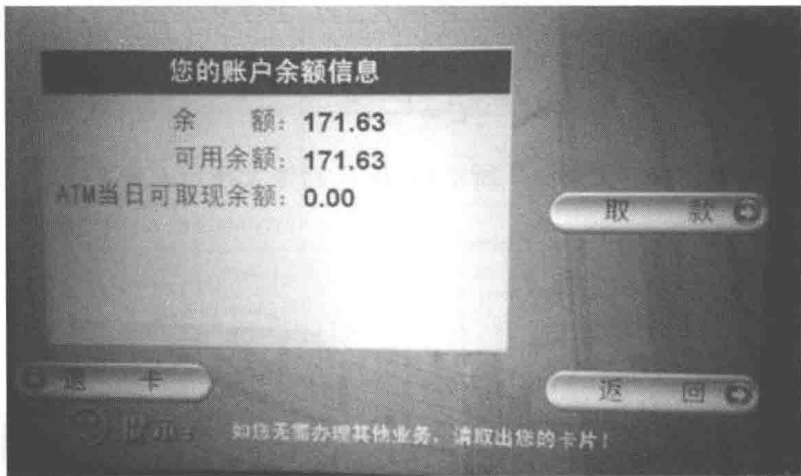


图 0-7 账户余额

(3) 变量之间的运算

变量之间可以进行运算，就像银行卡间可以转账一样，如图 0-8 所示。



图 0-8 转账

总结一下，常量是在某个过程中保持不变的量；变量是在某个过程中产生变化的量。理解常量与变量的辩证关系，对宏程序编程具有重要的意义。

从常量到变量，不是数值或表述的变化，而是发生了质上的根本性变化，是思维上的变化，是解决宏程序编程问题的钥匙。

某种意义上来说，宏程序玩的就是“变量”，或者说数字游戏，就像纸牌（图 0-9），提前制定好规则，在规则范围内发挥吧！简单点就玩比大小，复杂点就“斗地主”，烧脑点就“三国杀”，变化多端，趣味无穷，看你自己愿意挑战哪个难度。

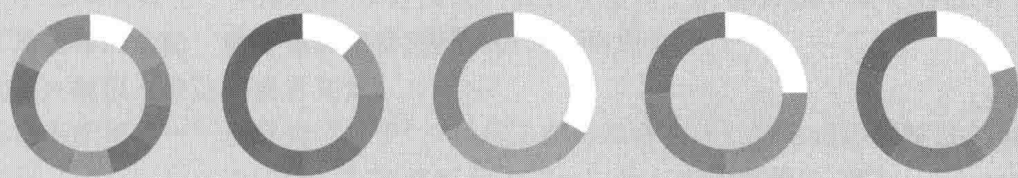


图 0-9 纸牌

一场宏程序编程“游戏”的大幕已经拉开了！

第1章

从外圆柱面车削开始



通过前一节学习，我们了解到了变量对于数控宏程序编程具有重要的意义。本章我们将通过一个简单的圆柱面车削实例来完成宏程序编程基础知识的学习。

1.1 变量

数控车削精加工如图 1-1 所示 $\phi 50 \times 60$ 外圆柱面，试编程。

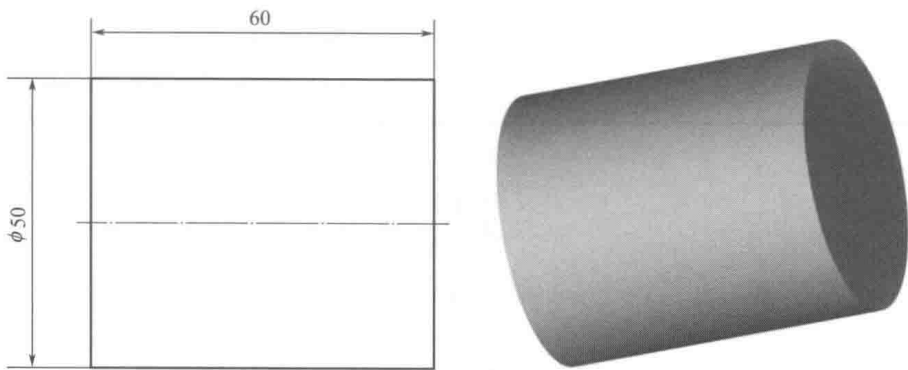


图 1-1 $\phi 50 \times 60$ 圆柱

设工件原点在圆柱右端面与轴线的交点上，选用外圆车刀，从 (100, 100) 位置起刀，加工完毕后返回起刀点。编制加工部分程序如下：

```
G00 X50 Z2
G01 Z-60 F0.1
G00 X100
Z100
```

如果数控车削精加工如图 1-2(b) 所示 $D \times L$ 外圆柱面，可编程如下：

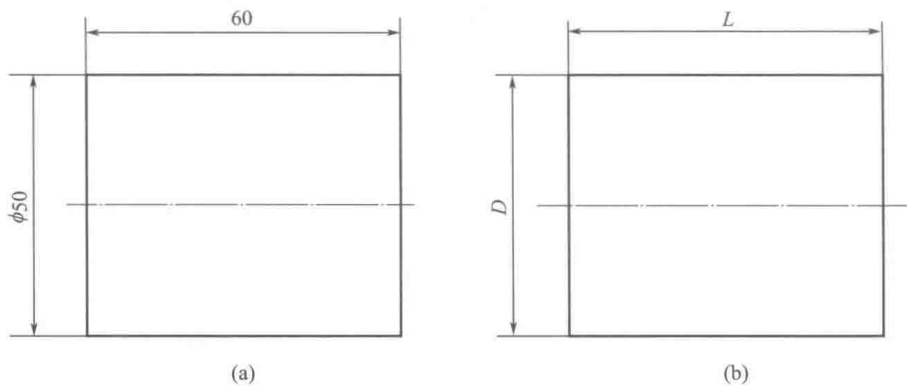


图 1-2 $D \times L$ 圆柱

```
G00 XD Z2
G01 Z-L F0.1
G00 X100
Z100
```

圆柱直径用符号 D 表示，长度用符号 L 表示，它可以代表原来的 $\phi 50 \times 60$ ，也可以表示 $\phi 40 \times 35$ 、 $\phi 20 \times 30$ 等其他值的圆柱。根据前面的定义， $\phi 50 \times 60$ 就是用常量表示的圆