DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: BALANCED BENCHMARKING

数据包络分析
平衡标杆法

【加】Wade D. Cook 【美】Joe Zhu 著

吴华清 译

科学出版社

数据包络分析
平衡标杆法

〔加〕Wade D. Cook　〔美〕Joe Zhu　著
吴华清　译

安徽师范大学图书馆
藏书

科学出版社
北京

图字：01-2016-2619 号

内 容 简 介

本书较为全面、系统地介绍了数据包络分析(DEA)理论的基本原理、经典模型、算法设计、主流应用以及基于 Excel 平台的模型运算与分析软件的使用指导。全书共 14 章，主要内容包括：线性规划介绍、数据包络分析的基本概念及软件实现、径向效率和 DEA 乘子模型、DEA 对偶模型、DEA 模型和规模报酬、特殊情形下的 DEA 模型、基于松弛和非径向的 DEA 模型、权重约束、超效率 DEA 模型、基于 DEA 的 Malmquist 指数、情境依赖 DEA 模型、灵活指标、交叉效率、基准模型。本书设计了诸多案例，同时推出配套的案例数据及练习等文件信息下载(请访问网址 http://www.ecsponline.com/，选择“网上书店”，检索图书书名，在图书详情页面“资源下载”栏目中获取)，方便读者学习和使用。

本书内容由浅入深，语言通俗易懂，可读性强，且较好地平衡了 DEA 理论与方法的基础性与前沿性。不仅可作为高等院校经济类、管理类专业本科生、研究生(包括 MBA)的教材，也可作为对经济管理定量分析方法感兴趣的学者及研究人员的参考用书。

Data Envelopment Analysis: Balanced Benchmarking, Wade D. Cook and Joe Zhu, 978-1492974796.

Copyright © 2013 by Wade D. Cook and Joe Zhu. All Rights Reserved.

图书在版编目(CIP)数据

数据包络分析：平衡标杆法 / (加)韦德 · D. 库克 (Wade D. Cook), (美)朱乔 (Joe Zhu)著；吴华清译. —北京：科学出版社, 2017.9

书名原文: Data Envelopment Analysis: Balanced Benchmarking

ISBN 978-7-03- 054411-7

Ⅰ. ① 数… Ⅱ. ①韦…②朱…③吴… Ⅲ.①统计数据-统计分析-教材 Ⅳ. ①O212.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 221095 号

责任编辑：王腾飞 曾佳佳 / 责任校对：邹慧卿
责任印制：张 伟 / 封面设计：许 瑞

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717
http://www.sciencep.com

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2017 年 9 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16
2017 年 9 月第一次印刷 印张: 14 5/8
字数: 300 000

定价: 89.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

序

效率分析一直受到经济管理学者与实践者高度关注。它所蕴含的科学问题主要有如下四个方面：①效率评价，即通过主观或客观的角度、定量或定性的方法、自评或他评的机制、既定或未定的准则、静态或动态的层次，对被评对象的效率状态进行合理的判断；②效率机理，即对被评对象的效率高低的原因进行判定，既包括如效率分解的直接成因分析，也包括如影响因素的间接机理分析；③效率改进，即基于效率评价的结果，对被评对象的效率提升给出指导性对策，其改进的依据和方向可能是既定的准则，又可能是特定的标杆；④效率学习，效率学习是以效率机理为基础而发生的效率改进，是前三项科学问题的综合，通常而言，效率改进发生在同类样本的互相借鉴之中，而效率学习则是基于效率机理而发生的跨行业、跨时间的深度学习和提升。

作为非参数效率分析方法的典型代表，数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 自 Abraham Charnes, William W. Cooper 以及 Eduardo Rhodes 这三位教授于 1978 年提出至今，已有 40 年整。John W. Boudreau 教授在 *Management Science* 创刊 50 周年庆祝专辑中撰文指出，“组织效率管理之所以被主流管理科学所接纳为一个子专题，并被广泛研究，是因为它拥有一种方法，这种方法就是数据包络分析。”

加拿大约克大学 (York University) 的 Wade D. Cook 教授与美国伍斯特工学院 (Worcester Polytechnic Institute) 的 Joe Zhu 教授，均是 DEA 领域的国际知名学者。该书是他们倾力编写的有关 DEA 的基础性著作。该著作有如下特点：①基础性，全书以清晰的逻辑阐明了 DEA 的基本原理、经典模型、算法设计、主流应用，通过阅读该书，读者能够非常轻松地学习到 DEA 的思想精髓，对于 DEA 在中国的进一步传播具有很好的推动作用；②应用性，作者不仅提供了有利于使用 DEA 工具的软件使用指导，而且还通过各种案例的提供，阐明了如何使用 DEA 来指导实践管理活动；③学术前沿性，该书的后半部分，将 DEA 近年的主要学术发展进行了高度凝练。通过该书，读者能够快速把握 DEA 研究的前沿命题和未来的议题方向，对于有志在本领域开展学术研究的读者是十分有帮助的。

中国学者已经在 DEA 领域国际学术研究团队中占有重要的一席之地，而且他们的国际影响力正不断提升。作为中国的一名管理科学学者，我衷心期待中国的 DEA 研究学者和学生能够从该书中得到更多的启发，也能够在未来国际学术研究中代表中国做出更多创新性的贡献；同时，我也衷心期待更多的实业界人士能够通

过该书了解 DEA 的研究价值和应用前景，能在实践中更多地使用 DEA 工具来改进管理效率。最后，作为 Wade D. Cook 教授与 Joe Zhu 教授的学术合作伙伴，我衷心祝愿他们向中国读者提供的这份礼物能够结出丰硕的成果。

是为序。

2017 年 8 月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　　录

第 1 章　线性规划介绍

1.1 引　言

作为数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 方法的核心，本章我们先介绍线性规划 (linear programming, LP) 的概念，在本书的后续章节中我们将深入探讨 DEA 方法和模型。尽管线性规划有许多理论概念，但是在本章中我们重点研究某些在 DEA 方法中具有一般适用性的简单应用。作为一类简单常见的线性规划应用，我们很容易通过它来理解线性规划的几何性质，以及用于分析此类问题的电脑软件 (Solver)。

1.2 线性规划模型

线性规划模型是一种可以帮助管理者制定决策的方法。20 世纪 40 年代末期第二次世界大战结束后，伴随着大量物流问题的兴起，线性规划模型就对许多组织产生了重大的影响。

以下是几个线性规划简单应用的例子：

(1) 一家工厂需要制订生产/库存计划来满足未来销售需求。理论上，这些生产计划与政策要既能满足公司销售需求，又能确保总生产和库存成本最小。

(2) 一位金融分析师想要从各类股票及债券中选择出投资组合来，他需要在考虑风险因素的同时，制定一种投资组合使得投资回报率最大。

(3) 一位营销经理想要在广播、电视、报纸及杂志等多种可选的媒体中，确定一种最佳的既定广告总预算的分摊方案，以确保产生最大的广告效应。

(4) 一家公司的仓库遍布全国各地，产品可以从任意仓库发货配送给顾客。公司需要确定从各个仓库发往不同消费者手中的各种产品的数量，以确保总运输费用最小。

这些例子展示了线性规划的用途，并且表明它可处理情境的多样性。仔细观察发现，这些例子都有一个基本的性质：即都关注某些总量的最大化或是最小化。例 1 目的是使成本最小化，例 2 是想实现投资回报率最大化，例 3 是营销经理希望广告效应最大化，例 4 中该公司想实现运输成本的最小化。

在所有的线性规划问题中，目标都是希望获得某个数量的最大化或者最小化。

同样，所有线性规划问题都有第二个性质：实现目标的过程中总是有或多或少的条件约束或者限制。在上述例子中，工厂的总生产和总库存问题受到产品需求以及生产能力的约束；金融分析师的投资组合问题受到自己可用投资总额以及每种股票或者债券可投资的最大量的约束；营销经理媒体选择问题受到广告总预算以及不同媒体的可获得性的约束；在分仓库运输问题中，运输费用最小化受到每间仓库的可供应产品总量的约束。因此，约束条件是每个线性规划问题所必备的一般特点。

1.3　一个简单的最大化问题

考虑以下简单的产品组合问题，约翰斯顿 (Johnston) 公司的两种产品 (1 号及 2 号) 每种利润分别为 3 美元及 3.6 美元。我们可以假定这些数据是净收入并且所有成本都会进入生产过程。产品在生产的过程中必须经过四个部门：A，B，C 和 D，生产一个单位的 1 号产品，要在部门 A 花费 2 小时，部门 C 花费 3 小时以及部门 D 花费 1 个小时 (该种产品不需要经过部门 B)。2 号产品则要在部门 A 花费 2 小时，部门 B 花费 3 小时，部门 C 花费 1 小时以及部门 D 花费 30 分钟。假定四个部门的生产能力如下：A 为 8 小时，B 为 9 小时，C 为 7.5 小时，D 为 3 小时。该公司想要确定最优的产品组合，即确定两种产品各自的生产数量，从而在符合资源约束的条件下使得利润最大化。

这个问题是典型的生产问题，许多组织都会有。为了找到最优产品组合，有必要对此问题运用解析法重新表述。

1.3.1　问题公式化

问题公式化或问题建模，是指将用文字描述的问题转化为数学表达的过程。这种公式化的方法是一种艺术，掌握它需要大量的练习及经验。尽管每个问题都有一些特点，但是大多数问题都是有共性的。所以，一些建模的一般原则对问题建模或许是有帮助的，特别对于初学者。我们将通过为约翰斯顿公司的问题建模来阐述这些原则。

彻底理解这个问题：我们选择约翰斯顿公司的问题来介绍线性规划的一个主要原因是其容易理解。然而，一些更复杂问题则需要更多的思考，以确定哪些问题需要包括在模型中。此例中，我们首先快速阅读问题描述从而对该问题有个基本了解。

用文字形式描述出问题的目标及约束条件。目标：利润最大化。约束条件：四个部门可用的最大生产时间，这直接约束了两种产品生产总量。

定义决策变量：明确基于决策制定者控制下的变量或是数量。

我们将以上想法用公式化语言表达出来，从决策变量开始。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

(1) 决策变量：解决此类型问题第一步都是确定决策变量，这些是决策者能够控制的总量，并且为了实现组织目标可以设定任何值。在此例中，我们想要分别确定两种产品的生产量。因此，这里决策变量就是：x_1 代表 1 号产品总量，x_2 代表 2 号产品总量。

(2) 利润函数：在定义了决策变量之后，就可以构建利润函数与约束条件的数学表达式。已知 1 号及 2 号产品的单位利润分别为 3 美元及 3.6 美元，那么 x_1 及 x_2 单位的这两种产品的总利润为 $3x_1 + 3.60x_2$。我们将表达式 $3x_1 + 3.60x_2$ 定一个更为一般的名字：目标函数。

(3) 约束条件：1 号及 2 号产品都需要在部门 A 花费 2 小时的时间。所以，部门 A 的资源需求可表示为 $2x_1 + 2x_2$。已知部门 A 的生产能力为 8 小时，并且假定不能超出该生产上限，所以约束条件可用下列表达式表示出来：

$$2x_1 + 2x_2 \leqslant 8$$

同理，部门 B，C，D 的可用时间表示为以下约束条件：

$$\begin{aligned}0x_1 + 3x_2 &\leqslant 9\\ 3x_1 + x_2 &\leqslant 7.5\\ x_1 + 0.5x_2 &\leqslant 3\end{aligned}$$

这四个不等式将部门资源有限性全部以约束条件表达出来。

(4) 非负性：在此类型的大部分问题中，变量一般都不能为负数。这里，在给出设计的变量 (产品总量) 的含义之后是很自然的。因此非负性约束可以表示为

$$x_1, x_2 \geqslant 0$$

必须指出非负性约束不是经常有效，考虑一种情况：Y 为月底 1 号产品货架库存总量。如果确实存在库存剩余，很明显 Y 应为正数，然而如果产品用完了并且延期交货，那么为了适应延期交货现象我们需要将 Y 定义为负数。

1.3.2 约翰斯顿公司问题的数学模型

现在，约翰斯顿公司问题的数学表达或说公式表达已经完成了，我们已经将现实问题的目标与约束转换为一系列的数学关系，即数学模型。产品组合问题的完整代数表达式为

$$\begin{aligned}&\max \quad 3x_1 + 3.60x_2\\ &\text{s.t.}\\ &2x_1 + 2x_2 \leqslant 8 \quad \text{(A)}\\ &0x_1 + 3x_2 \leqslant 9 \quad \text{(B)}\\ &3x_1 + x_2 \leqslant 7.5 \quad \text{(C)}\\ &x_1 + 0.5x_2 \leqslant 3 \quad \text{(D)}\\ &x_1, x_2 \geqslant 0\end{aligned}$$

我们的目标是找到满足所有条件的产品生产组合，同时得到一个大于或等于任何其他可行解的目标函数值。为此，我们就能找到此问题的最优解。该问题的数学模型即为线性规划。它包含约束条件及目标函数，这是所有的线性规划所共有的。但是，什么是使这一数学模型成为线性规划问题的特别之处呢？特别之处就是，目标函数与所有的约束条件 (约束不等式的左边) 都是决策变量的线性函数。数学函数是以决策变量的一次方独立出现，就叫做线性函数。目标函数 $3x_1 + 3.60x_2$ 是线性函数，因为每个决策变量都是独立出现，并且均为决策变量的一次方。部门 A 所用的工作总量 $2x_1 + 2x_2$ 由于相同原因也是线性函数，同样地，约束条件 2,3,4 中的左式都是线性函数，因此，该问题的数学模型被称为线性规划模型，线性规划与计算机编程无关。这里用 “规划” 一词意味着 “选择一种方法”，而当问题的数学模型仅仅包含线性函数时，线性规划就成了解决方法。

1.4　图解法程序

在约翰斯顿公司问题中，两种产品的任一特定产量组合均被看成是问题的解。然而，只有那些满足所有的约束条件的解才被称作可行解。在所有可行解当中，能够满足利润最大化的那组解，则被称作是最优解，也即最优的生产组合。然而此时，我们并不知道最优解是什么。在这一节中，我们将介绍怎样运用图解法程序来找出有两个决策变量的线性规划问题的可行解与最优解。另外，我们也将介绍如何用基于 Excel 的软件包 Solver 来求解该模型。

介绍图解法之前，我们首先建立二维图表，横轴代表 x_1，纵轴代表 x_2(图 1.1)，每个点 (x_1, x_2) 代表着每个可能的解决方案，所以图中显示的点都是一个可行解。

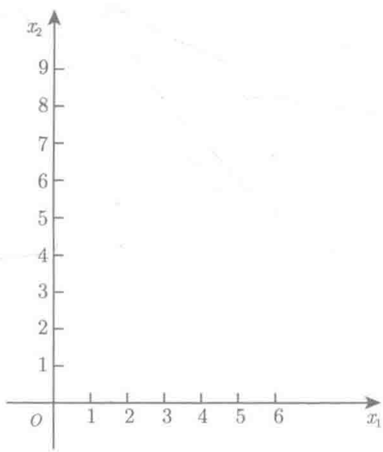

图 1.1　二维可行解空间

$x_1 = 0, x_2 = 0$ 代表的可行解被称为原点。由于 x_1 与 x_2 是非负的，所以图 1.1 中可行解变量均为大于零的正数。

之前我们已经将部门 A 所要求的约束条件表示出来:

$$2x_1 + 2x_2 \leqslant 8$$

为了在图中表示出满足条件的可行点，我们首先画出取等号时的情形。

我们描出满足等式的任意两点，连接这两点来画出这条直线。令 $x_1 = 0$，那么得到 $x_2 = 4$，因此 $(x_1 = 0, x_2 = 4)$ 满足该等式，为了找到满足等式的另一点，我们令 $x_2 = 0$，得到 $x_1 = 4$，那么满足等式的第二个点便是 $(x_1 = 4, x_2 = 0)$，有了这两点便可以画出这条直线，这条直线被称作部门 A 的约束线，见图 1.2。

而满足资源 A 的不等式条件的可行解 (x_1, x_2) 则是这条约束线及坐标轴围成区域的点的集合，那么在该例中，所有的可行解就是这条约束线上的所有点及围成三角形内部的点 (包括原点)，如图 1.3 所示。

其余三个约束条件的图示跟上面的步骤类似，满足这四个约束条件的区域我们称作可行域。如图 1.4 所示。

接下来可按构建约束线的类似方法构建利润函数线，并切过可行域。将该直线尽可能往右移动但仍需保证跟可行域相交，注意到移动到最边缘的时候正好过约束 A 与约束 B 的交点，如图 1.5 所示。

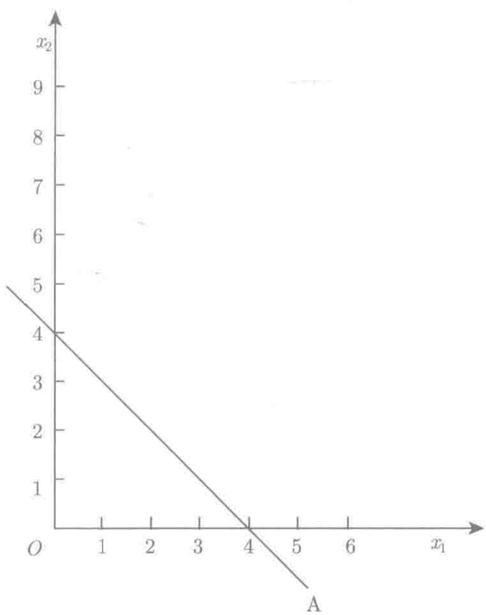

图 1.2 部门 A 资源等式约束

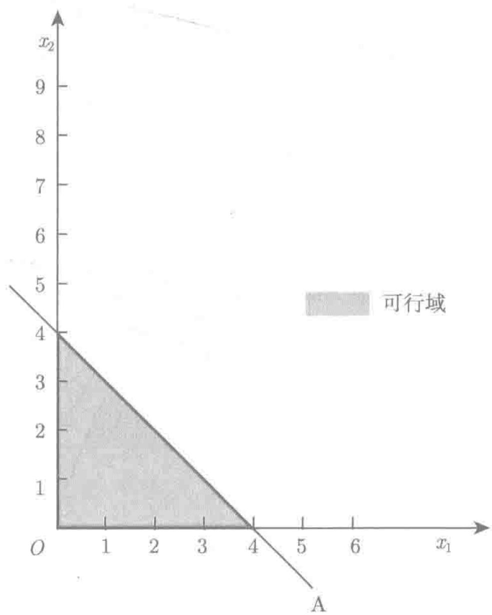

图 1.3 部门 A 资源不等式约束

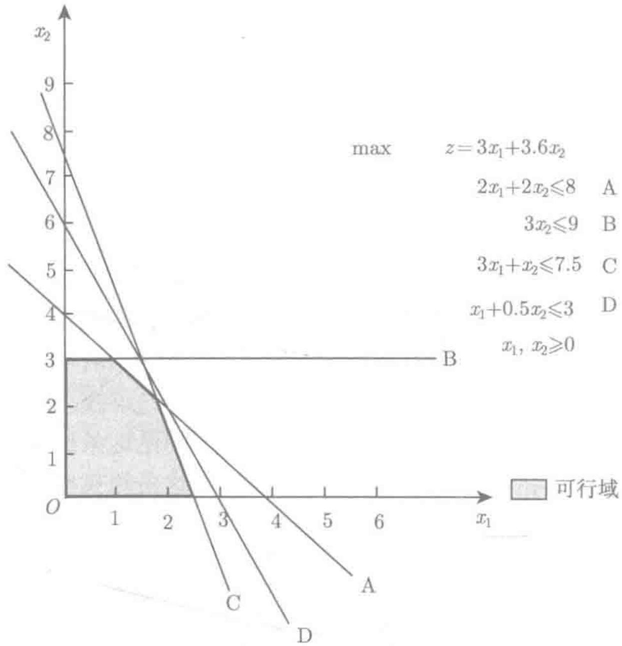

图 1.4　可行域

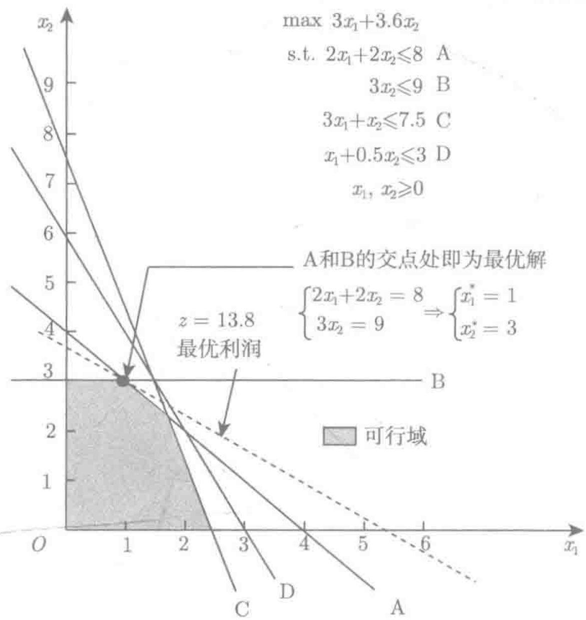

图 1.5　最优解

注意到，在该点时部门 A 与 B 正好完全使用其资源，即不再有可用资源剩余。然而对于部门 C 与 D 却不是这样，部门 C 与 D 还存在剩余 (松弛)。明确地说，

部门 C 总共有 7.5 小时可利用却只利用了 6 个小时，存在 1.5 小时的剩余 (松弛)。同样地，部门 D 也存有 0.5 小时的剩余 (松弛)。

在接下来的章节中，我们将用软件 Solver 演示如何找到该问题的最优解。

1.5 约翰斯顿公司问题数据表模型的公式表示

本节中，我们将演示如何将约翰斯顿公司的问题用电子表格程序解决，使用 Excel Solver 来确定数据模型的最优解。

线性规划的电子表格程序在 Excel 中的实现包括以下四部分：①决策变量单元格；②计算目标函数值的公式单元格；③计算约束条件左边的公式值单元格；④计算约束条件右边的公式值单元格。我们使用该问题中的数据直接来构建电子表格程序的四个部分。

构建电子表格程序的步骤：

通过之前对线性规划模型的讨论，我们了解到无论何时，要想为一个问题构建电子表格程序，必须遵循以下五个步骤：

步骤 1：往表格中输入该问题的相关数据；

步骤 2：确定所有决策变量的单元格位置；

步骤 3：选择一个单元格，并输入计算目标函数的公式；

步骤 4：选择一个单元格，并输入计算每个约束条件的左侧的公式值；

步骤 5：选择一个单元格，并输入计算每个约束条件的右侧的公式值。

按照以上五个步骤，有如图 1.6 所示的表格显示。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	**Depts File**								
2	Variables	Prod1	Prod2	Total					
3									
4	Values	1	1	6.6	<<<Profit			Max 3X1+3.6X2	
5							Subject To:		
6	Dept1			4		8		2X1+2X2<8	
7	Dept2			3		9		3X2<9	
8	Dept3			4		7.5		3X1+X2<7.5	
9	Dept4			1.5		3		X1+0.5X2<3	
10									
11									
12	Data								
13		3	3.6						
14		2	2						
15		0	3						
16		3	1						
17		1	0.5						

图 1.6 约翰斯顿公司问题表格

注意到该表格包括两个部分：数据部分以及模型部分。将数据及模型分开的优点在于，一旦决定哪些单元格用来包含问题所需数据的话，分析师便可以独立建立模型。第二个优点就是一旦模型被确定了，我们可以通过只改变表格中的数据来研究输入变量的变化造成的影响。现在让我们详细说明在约翰斯顿公司问题上如何构建这两个部分。

步骤 1：输入所有与问题相关的数据。我们首先从表格底部开始输入数据。对于约翰斯顿公司问题，我们需要输入以上讨论的各产品的生产时间等。例如，生产每单位产品 1 与 2 在部门 A 需要的时间 (即 1 号产品需要 2 小时，2 号产品需要 2 小时) 分别在单元格 B14 及 C14 显示。同样地，对于其他三个部门，部门 B 在 B15 与 C15 显示，部门 C 在 B16 与 C16 显示，部门 D 在 B17 与 C17 显示。相似地，每单位产品的利润则在单元格 B13 及 C13 显示。

步骤 2：明确所有决策变量的单元格位置。单元格 B4 将包含产品 1 的数量，而单元格 C4 则包含产品 2 的量。

步骤 3：选择一个单元格，并输入计算目标函数的公式。单元格 D4 包含计算目标函数的公式，即 D4=B4*B13+C4*C13。对应的利润表达式就是 $z = 3x_1 + 3.6x_2$。

步骤 4：选择一个单元格，并输入计算每个约束条件的左侧的公式(这些单元格被称作左手边单元格，LHS)，单元格 E6 包含了部门 A 所需时间的公式，即 E6 的内容就是：=B4*B14+C4*C14。

其他三个部门相应的就是 (分别位于 E7 到 E9)：

=B4*B15+C4*C15

=B4*B16+C4*C16

=B4*B17+C4*C17

注意到，我们可以使用 SUMPRODUCT 函数来替代计算公式，那么单元格 E6 内容即为：=SUMPRODUCT($B$4:$C$4,B14:C14)。

步骤 5：选择一个单元格，并输入计算每个约束条件的右侧的公式值 (这些单元格被称作右手边单元格，RHS)。 在单元格 F6 到 F9 中我们已经输入了四个部门可用时间总量，分别为 8,9,7.5,3。

1.6　Solver 的使用

1. 调用软件

在表格中建立起线性规划 (LP) 模型之后，我们可以使用 Solver 来求最优解。在 DEA 模型建立之后也可以用软件 Solver 求得最优解。首先，需要在 Excel 中单击 Data 标签来调用 Solver 软件，如图 1.7 所示。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com