

工商业预测方法

〔英〕C.D. 刘易斯著

72

机械工业出版社

INDUSTRIAL AND BUSINESS FORECASTING METHODS

A Practical guide to exponential
smoothing and curve fitting

Colin D Lewis

Butterworth Scientific, 1982

• • •

工 商 业 预 测 方 法

[英] C. D. 刘易斯 著

苑凤岐 译

王 利 校

※

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版营业许可证出字第117号)

房山先锋印刷厂印刷

※

开本 787×1092/32k · 印张*5 · 字数130千字

1986年3月北京第一版·1986年3月北京第一次印刷

印数 00,001—16,000·定价1.00元

统一书号: 15033·6544H

序 言

本书是直接为那些积累了时间序列数据，并准备进行预测的人们编写的。

我们可以把预测解释为由过去推测未来。预测的结果是通过对客观数据进行一系列的处理和计算得到的。预测值是对未来数据值的无偏估计，而对未来数据值的主观估计则称为“预言”。尽管如此，当主观预言确实可靠时，也应该对无偏估计进行修正，因为一个无偏估计值未必有效地预测到将来发生的意外事件。例如，据悉一家主要客商下个月将受到罢市的影响，很显然，如果仍然仅仅考虑依据从前几个月的需求数据而对该客商所进行的预测，即使这一需求预测看起来很精确，也是毫无意义的。

自六十年代初以来，工商业机构使用预测技术的比例一直在稳步上升。据1977年〔1〕公布的资料，美国500家大工业公司中有88%使用了预测技术。另外，没有任何一项其他技术得到预测技术这样广泛的应用，这已成为公认的事实。

随着预测技术的发展，理论家同时也提供了多种多样可供出售的预测模型。虽然实用预测模型的应用范围日益广泛，但事实表明，在实际应用中选择的预测模型，遵循典型的 *pareto*① 关系。20%的模型在80%的实际预测中被采用，而其余的80%模型仅用于20%的实际预测。在本书中，我们专门论述前者。

有两种类型的预测模型（及其派生物）在大量预测应用

①Pareto(巴雷特)是意大利经济和统计学家，在1906年首先采用统计图表示出“关键少数和次要多数”的关系。——译者注

中起重要作用，这就是指数平滑法和回归分析（包括曲线拟合法）。这些方法之所以具有无庸置疑的通俗性、普遍性是因为：

- （1）这些方法相对来讲比较简单；
- （2）计算和存贮费用较经济；
- （3）模型可以实现自动化计算。在模型鉴定期间，预测可以在无主观干预的情况下进行；
- （4）这两种模型已被广泛地应用了二十多年。

本书第一部分论述指数平滑法，该法适用于短期预测领域。这些预测技术主要涉及的数据建立在一年之内的较短周期内。例如，每月的需求、每季度的销售量等。

本书第二部分论述回归分析和曲线拟合法。这些方法属于中期预测领域。尽管这些模型大多使用以年为基本单位的数据，但也可以在无季节性影响存在时，使用短期数据进行预测。

实际上，大多数预测是用计算机（或可编程序的计算器）来完成的，因此本书也提供了流程图和有关表格，以方便读者编制和调试适用各自情况的预测程序。

C. D. 刘易斯

参考书目

- 1 LEDBETTER, W.N. and COX, J.F. (1977) 'Operations research in production management: an investigation of past and present utilization', *Production and Inventory Management*, 18, 84

目 录

序言

第一部分	短期预测 (指数平滑法)	1
引言		1
第一章	静态情况的预测	4
第二章	非静态情况的预测——线性和季节性变化	18
第三章	预测误差的测量	38
第四章	短期预测系统的监测 (平滑误差法)	45
第五章	自适应预测	59
第六章	数据特征的识别——自相关的运用	69
第二部分	中期预测 (回归与曲线拟合)	82
引言		82
第七章	线性回归 (趋势分析)	84
第八章	曲线拟合——可由直线方程表示的曲线 ...	98
第九章	曲线拟合——可由修正指数方程表示的曲线	121
第十章	中期预测系统的监测 (V-MASK/CUSUM 法)	134
附录		147
译后记		154

第 一 部 分

短期预测（指数法平滑法）

引 言

短期预测常涉及下面四种情况：

（1）时间周期短于一年的数据（季度、一年内的会计周期、月份、周，等等）；

（2）只对某种特殊项目进行预测，在此情况下，每个时间周期都要更新预测数据；

（3）为大量项目进行预测；

（4）对某种特殊项目或产品进行预测并周期性地使用此预测方法来做下面两项分析：（a）通过分析需求来估计相应的库存量和生产调度计划；（b）进行销售分析以便估计现金的流通，掌握市场销售规律。

很明显，对于上述几种类型的应用，最适当的预测模型（或模型系列）应具有以下特点：

（1）运行价格低廉——其中应考虑设备费用、常规更新和贮存所需的费用；

（2）具有灵活性，能提供许多不同的但又紧密相关的模型类型，以适应对多种项目及不同情况的预测；

（3）高度自动化，只需最低限度的手工干预；

（4）其实用性已得到验证，因此容易找到相应的计算机软件 and 说明文献。

基于指数加权平均法的预测模型系列（也可称之为指数

平滑法)满足上述大多数要求,这种方法早在六十年代初就被引用了。

指数平滑法较之传统的移动平均法优越得多,以至现在大、小规模的生产机构多数采用这种方法,工商业的计算机软件中没有指数平滑法则不能认为是完备的。

本书第一部分第一章给出了简单指数加权平均法的概念,这是所有平滑模型的基础。第二章研究这一基本模型中较复杂的变量,这些变量必须考虑增长和受季节因素影响的情况。第三章研究量度预测误差的方法。第四章介绍专用于短期预测自动化监测的平滑技术。第五章讨论自适应预测模型的可能性。第六章讨论自相关分析在验证数据特征中的应用。尽管自相关分析并非特定以指数平滑法为基础,但它对于确定预测模型的合适类型是必要的。

本书包括的预测方法必须用数学语言来表达。为了不“吓坏”一般读者,这里将给出变量表示符号的意义和使用的代数方程式。任何人都能理解这些简单的概念,在以后的内容中不会再遇到任何困难。

作为一个例子,我们不防举一个幼稚的预测方案,例如,“设下月需求量的预测值等于本月的需求”。这句话可以写作:

预测_{下月}等于需求_{本月}

用预测 (forecast) 和需求 (demand) 的第一个字母 f 和 d 分别作为表示这两个变量的符号,并引用等号 (=), 那么这种预测方案可写为:

$$f_{\text{下月}} = d_{\text{本月}}$$

为使这个等式更加完善,我们要简化下标“本月”和

“下月”，并使其一般化。最简单的方法就是把下标用月份（或会计周期、周或双号日）来表示，并使时间都以当前时间为参考点。如果我们把当前的时间记为 t ，则将来的时间应为 t 加上正数（即 $t+1$ ， $t+2$ 等），而过去的时间应记为 t 加上负数（即 $t-1$ ， $t-2$ 等），改进了表示时间的下标之后，我们就可以用一个通常的代数等式来重写原来的预测方案

$$f_{t+1} = d_t \quad (0.1)$$

与书写表示法比较，符号表示法简单得多，通过一个实际预测方案即可以看清这一点。假设我们要表示“对下月的需求预测等于前六个月的需求或销售量的算术平均值”，这么长的一句话可以简洁地记为

$$f_{t+1} = \frac{1}{6} \sum_{i=t-5}^{t-1} d_i \quad (0.2)$$

此处，求和符号 $\sum_{i=t-5}^{t-1}$ 表示 d_i 的值由 i 等于 t 直到 $t-5$ （即 t 、 $t-1$ 、 $t-2$ 、 $t-3$ 、 $t-4$ 和 $t-5$ ）的和。展开此求和号可得到

$$f_{t+1} = 1/6 (d_t + d_{t-1} + d_{t-2} + d_{t-3} + d_{t-4} + d_{t-5}) \quad (0.3)$$

此式是 (0.2) 式的另一种表示方法。

符号表示法和代数式的概念就介绍这些。本书的内容经过精心选用，其表示方法不比这里介绍的更复杂。

第 一 章

静态情况的预测

一个静态情况是指，尽管观察值随时间周期波动，但在一个相当长的时间内观察值的平均值保持稳定。下面举例说明，图1·1表示一个依时间变化的需求值序列。可以看出，在一年之内月平均值大约为每个月100个单位，此平均值并不明显地随时间增加或减少，这就是一种典型的静态情况。在静态情况下，变量的各个值围绕一个相当稳定的平均值上下波动。

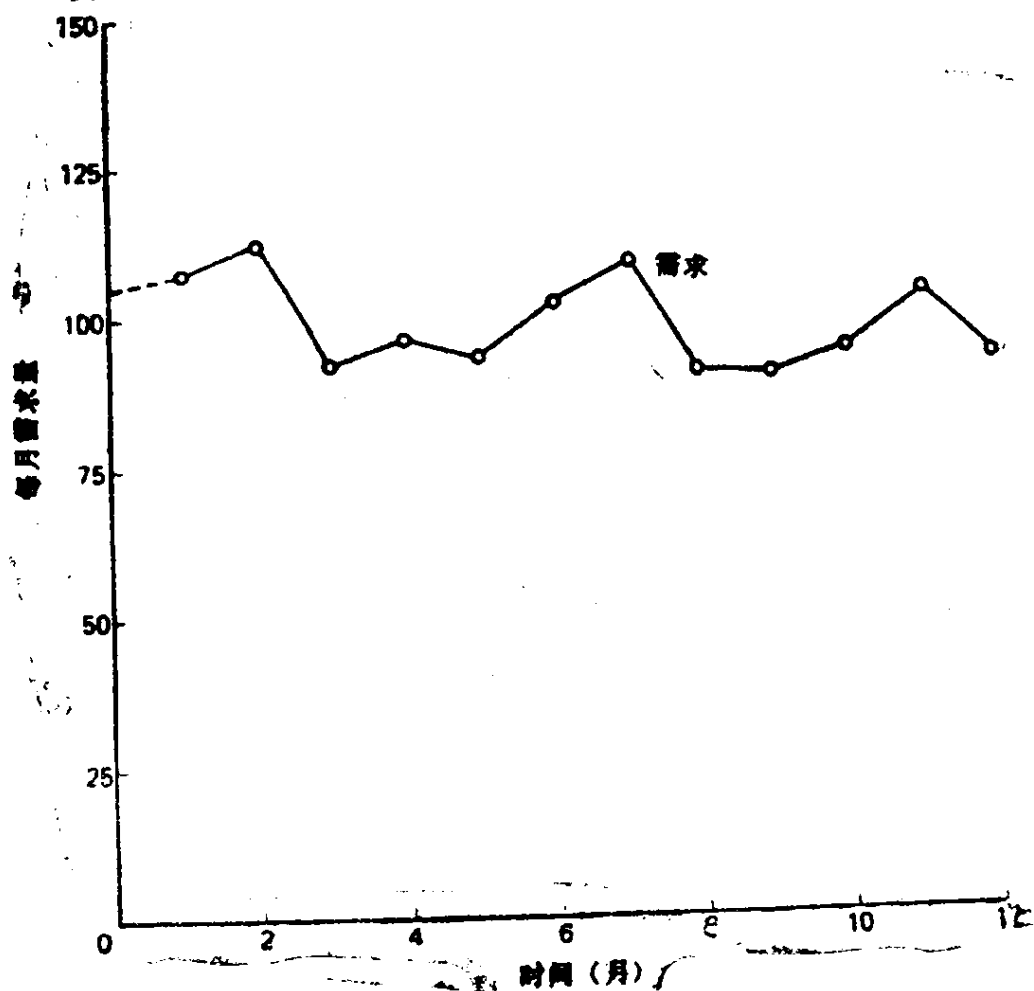


图1·1 典型静态情况

图1·2表示了一种完全不同的情况。这里的平均值明显地不稳定，它随时间不断增加。这种情况可能由下述原因引起，例如，某种产品在市场需求迅速增长的情况下仍维持其供应能力，或某种产品在市场需求稳定不变（甚至是减少的）的情况下增大占领市场的能力。实际上到底什么样的市场条件引起了平均值变化，只有销售和市场情报机构才能辨别出来。但是无论什么原因，这种预测情况与图1·1所表示的情况相比较更复杂一些。我们将在第二章专门讨论两种可能情况——线性和非静态情况。

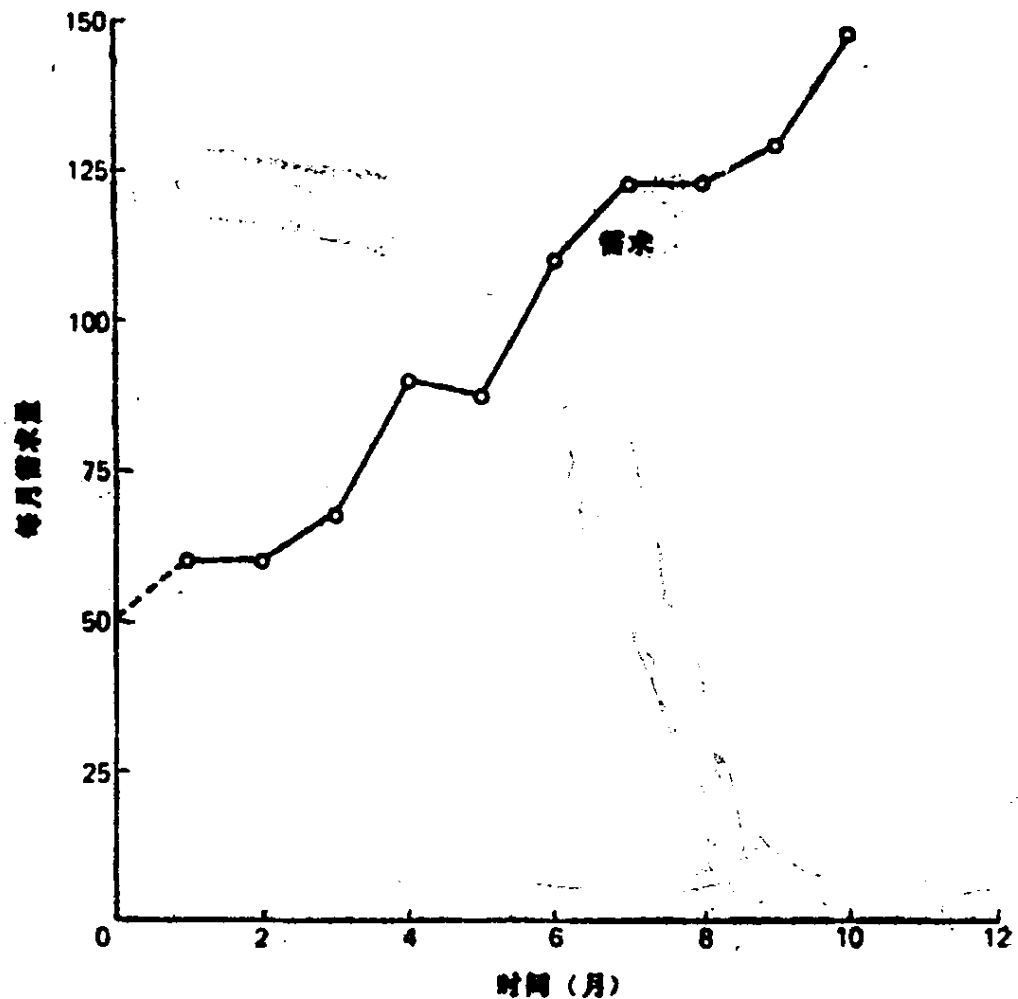


图1·2 非静态情况

在讨论预测中要用到的数学技巧之前，先讨论一下预测系统将会给出什么样的结果。首先应该看到，预测总是以过去的信息为基础的，因而预测误差必然在某种程度上存在。如果承认这一点，那么最合逻辑的预测系统的目标显然应当是：在一个较长期间内尽量减少（或限制）这种误差，由于预测误差可正可负（即预测值可能大于实际真值，也可能小于实际真值，）简单地对误差累加求和并不能反映出预测误差是否被限制到最低限度。因为无论使用什么预测系统，这种累加和总是趋于零（见 CUSUM 技术讨论，第十章）。一种更有效的方法就是对误差的平方求和，因为无论对正数或负数求平方都得到一个正的结果，使得所有误差都将在误差平方和中反映出来。

只要承认任何预测系统都有某种程度的误差存在，显然，预测值仅仅是未来可能出现真值的一个平均值，其误差均匀分布在平均值的上下两侧。在实际中，常假设这些误差服从一个概率分布，如高斯分布或称为正态分布。关于这一点在这里不作更深的解释。应当指出：只要每个时间周期内的平均值不太小，这一假设是相当合理的。在短期预测中，只要所考虑的预测项平均值大于10，就能满足上述要求。

设误差服从正态分布，我们需要度量一下误差围绕平均值分布的离散程度。通常所用的方法是众所周知的标准差，常以希腊字母 σ 表示。图1.3表示一个由于数据分布变化而引起标准差突然增加的情况——平均值大致保持在每月75的水平上，甚至变化之后也是如此，但我们可以明显看出，第六个月之后观察值的分布或离散程度已发生了变化。在一个有效的预测系统中，此变化将由标准差 σ 的变化反映出来。

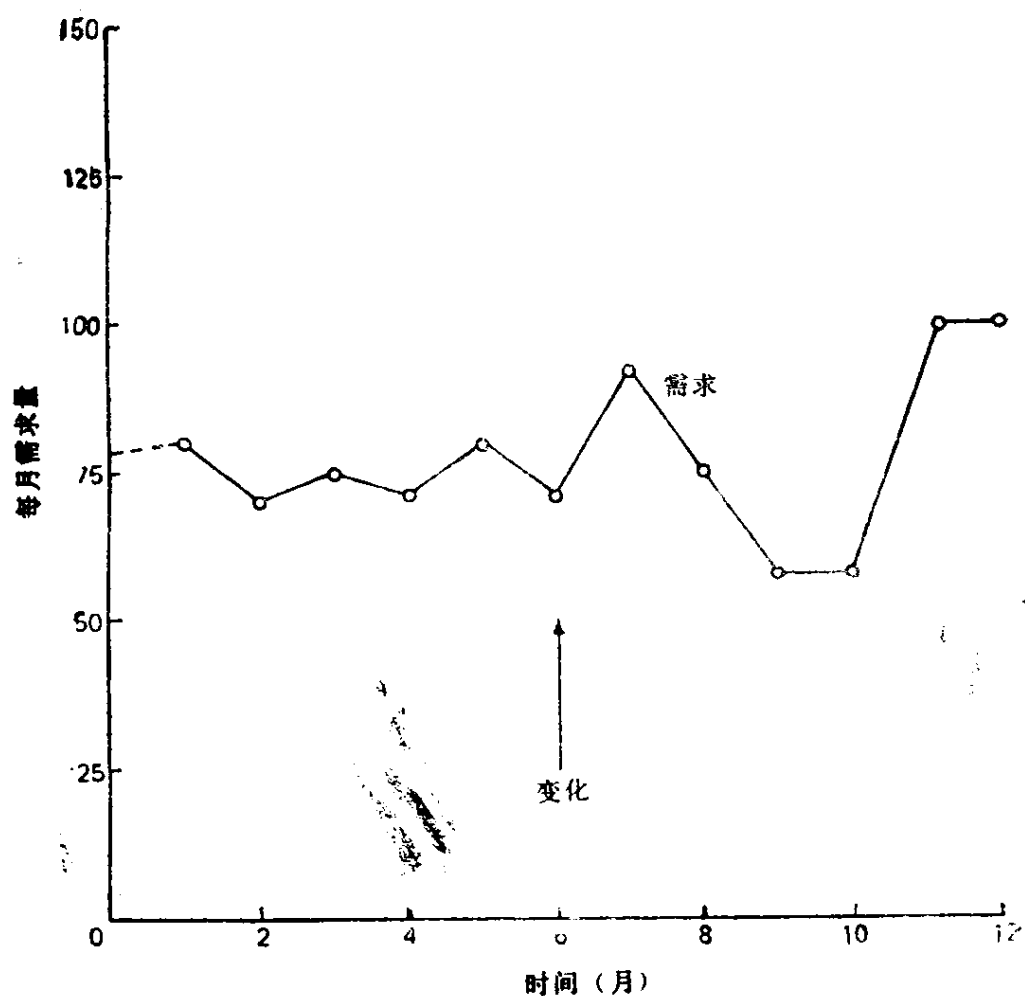


图1·3 标准差突变的情况

综上所述，对任何预测系统都有两个基本数字要估计。第一个是实际预测量，用来表示将来可能产生的期望值或平均值；第二个是标准差，用来测量各个值关于平均值的分布散度。我们在第一、二章中介绍在几种不同情况下预测未来值的方法。在第三章讲述怎样估计标准差，同时对度量预测精度的其他方法也进行评价。

预测的时间周期

一个短期预测系统把在每个时间周期中各个值的总计看作是一个单独的数据项，如每天的需求量、每周的销售量、

每日的产量等。增加时间周期的长度，增大样本的容量将会减少各个周期间单值的摆动，因此可以获得更为准确的预测。然而，随着时间周期的增长，预测系统对于数据真正或实际变化的响应速度将明显降低，只有选择一个合适的预测时间周期才能权衡这两个方面。

预测时间周期的极小值应当保证在两个时间周期内至少出现一个非零值，亦即非零点以50%的概率出现在一个时间周期内。这只是一个极小值而已，经过全面考虑可能选择较长的间隔更合适些。

如果取时间周期大于或等于一周，工商业数据在正常情况下都能达到上述在两个周期内出现一个非零值的标准。特别典型的时间周期是一个月（或者更实际一些，一个会计周期，一个计划阶段）。

预测超前的时间周期数日常称为“眼界”。

移动或滚动平均①

对下一个时间周期的平均值进行预测的传统方法是对过去 n 个时间周期的各个值求平均。这种移动平均 (m_t) 法已在引言中提到过了，其定义如下

$$m_t = \frac{1}{n} \sum_{i=t}^{t-n+1} d_i \quad (1.1)$$

另一种形式为

$$m_t = m_{t-1} + \frac{1}{n} (d_t - d_{t-n}) \quad (1.2)$$

在 (1.2) 式中，现期移动平均值直接等于上期移动

①近来纯统计学家称之为自回归过程。

平均值 m_{t-1} 加上当前值与 n 期以前观察值之差的 $1/n$ 倍。

计算出静态情况下的 m_t 是预测下一个时间周期的未来值所必须的，也是预测任何时间周期的未来值所必须的。然而，这并不意味着一个人做了六个月的预测，当下个月可得到更多的信息用以改进原估计值时也不对它进行修正。这一概念可能有点儿不好理解，这与安排日程表情况非常相似。第一、二两月的日程表是确定的，但第三、四个月的日程表只是暂时的。这个暂时计划在下两个月中便可确定下来。同理，随着时间的推移，得到新的信息，原来较粗略的预测会变得更确定。

在实际中，移动平均法有几个缺点，现讨论如下：

(1) 使用移动平均法首先必须有以往 $n-1$ 期的数据值，至少等 n 个周期时间过去后才能开始计算移动平均值，而从得到预测量。

(2) 采用移动平均法时，所有用于计算平均值的数据都赋给了相等的权，更早的数据没有用在平均值计算中，即它们的权数为零，每一项的权数表示其值对平均值的影响大小。在移动平均法中，所有包括在平均值内的数据都具有权数 $1/n$ ，而没包括在内的数据项权数则为零。

有人对等权方法提出了批评意见，因为近期的数据应比过去的数据更重要，因而权数应更大。我们可以提出一个非等权的方法来体现这种特征。这里用 (1.3) 和 (1.4) 式分别表示分数和小数权数。注意两式中任一式中权数之和皆为 1。由定义可知，为了保证一个平均值的真实性，权数之和必须为 1。

$$m_t = 1/2d_t + 1/4d_{t-1} + 3/16d_{t-2} + 1/16d_{t-3} \quad (1.3)$$

或 $m_t = 0.4d_t + 0.3d_{t-1} + 0.2d_{t-2} + 0.1d_{t-3} \quad (1.4)$

(3) 采用移动平均法必须保留足够的历史数据。这里只讨论了六个周期的移动平均，但实际上，要获得一个不太过敏的平均值，可能需要多达20个周期的数据。

(4) 由于移动平均值的灵敏度或响应速度与 n 成反比，时间周期的数目包括在平均值内，要改变灵敏度是不容易的，因为 n 值一经确定并计算出初始平均值，再改动 n 值非常困难。

移动平均法的绝大多数缺点都可以用权数为指数的一种特殊类型的移动平均法来克服。

指数加权平均①

若用一个其值随时间依指数递减的权数序列来代替先前使用的等权体系，此权数序列可定义为

$$\alpha + \alpha(1-\alpha) + \alpha(1-\alpha)^2 + \alpha(1-\alpha)^3 + \dots + \alpha(1-\alpha)^n$$

为得到真实的平均值，此权数序列的累加和应为1。当 α 在0和1之间时，可以证明这个权数序列之和为1是正确的。例如，如果 $\alpha = 0.2$ ，我们得到这样的系列：

$$0.200 + 0.160 + 0.128 + 0.102 + 0.082 + \dots$$

可见，此序列不仅接近单位和，而且具有随时间而减小的权数。

利用一个指数加权序列，一个指数加权平均数 u_t 可表示为

①在最近的统计教科书中称之为“老云哥比本日常不易混淆”。

$$u_t = \alpha d_t + \alpha(1-\alpha)d_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 d_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^3 d_{t-3} + \dots \quad (1.5)$$

亦可写作

$$u_t = \alpha d_t + (1-\alpha) [\alpha d_{t-1} + \alpha(1-\alpha)d_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 d_{t-3} + \dots] \quad (1.6)$$

将(1.5)中的 u_t 用 u_{t-1} 代替, 把式中的每一个下标都减1则得到

$$u_{t-1} = \alpha d_{t-1} + \alpha(1-\alpha)d_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 d_{t-3} + \alpha(1-\alpha)^3 d_{t-4} + \dots \quad (1.7)$$

显见, u_{t-1} 就是(1.6)式方括号中的内容。将其代入(1.6)式, 则得到

$$u_t = \alpha d_t + (1-\alpha) u_{t-1} \quad (1.8)$$

这就定义了一个简单的指数加权平均的基本方程, 所有指数平滑公式都可由此导出。

现将指数加权平均较传统的移动平均的优越之处详述如下:

(1) 用指数加权平均法开始进行预测时, 一旦估计出初始值便可由新得到的数据直接计算出较远的预测量。这里不需要象移动平均所要求的那种特殊初始化过程。

(2) 使用指数加权平均法, 权数值随时间递减, 不象移动平均法那样, 数据在某点被突然截掉不用。

(3) 只需保留少量数据便可计算出指数加权平均值 u_t 。这两个必须的数值是上期平均值 (u_{t-1}) 和当前值 (d_t)。

作为一种比较手段可以证明, 等权移动法与指数加权平均法具有同样的“平均数据期”或灵敏度的条件是

$$\frac{n-1}{2} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \quad (1.9)$$

工商业预测中使用的典型 α 值在0.05到0.3之间，具有相似灵敏度的移动平均法要求的时间周期数目应满足下表

α	n
0.05	39
0.1	19
0.2	9
0.3	5.66即6

实际上最常用的 α 值为0.1，相应的移动平均则需要长期保持18个时间周期之久的数据，很明显，这是难以办到的。

(4) 只要简单地改变 α 的值便可改变指数移动平均的灵敏度以适应预测的需要。 α 值越高，平均值的灵敏度越高， α 值越低越平稳。实践中很少采用低于0.05的值，建议也不要采用高于0.3的值。如果采用过高的 α 值，所假设的静态情况的前提几乎不能成立。非静态情况不应采用本章所讨论的简单指数加权平均法，而应采用第二章描述的模型，以适应那种非静态情况。尽管如此，还是有人频繁地选用高于0.3的 α 值。无论对隐含的情况了解多深，选用了较高的 α 值仍是值得怀疑的。

基于简单指数加权平均法预测值的计算

在实际中，大多数基于指数加权平均的预测都是用计算机来求值的，但有时使用手工计算更方便或更经济些。我们只需使用一个简单的计算器或如图1.4所示的诺莫图即可。此图由三条相同的基本直线标尺组成。左侧是上期预测(u_{t-1})