

航空运输

AIR TRANSPORT AIR T

管理预测

Management Forecast ● 都业富 / 编著

Management
Forecast

航空运输管理预测

都业富 编著

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

航空运输管理预测/都业富编著. —北京: 中国民航出版社, 2000.10
ISBN 7-80110-395-5

- I. 航…
- II. 都…
- III. 民航管理-市场教材
- IV. F560.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 40739 号

航空运输管理预测

都业富 编著

出版	中国民航出版社
社址	北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
发行	中国民航出版社
电话	64290477
印刷	北京宏伟胶印厂
照排	中国民航出版社激光照排室
开本	787×1092 1/16
印张	14.5
字数	344 千字
版本	2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷
印数	1—5 000 册

书号	ISBN 7-80110-395-5/V · 141
定价	24.00 元

(如有印装错误, 本社负责调换)

序 言

改革开放的 20 年,我国由航空运输小国发展到航空运输大国,航空运输总周转量 1978 年居世界第 37 位,1999 年居世界第 9 位,同时旅客周转量居世界第 6 位。随着社会主义现代化进程及经济全球化的需要,我国航空运输正向着航空运输强国奋进。

先进的运力与落后的管理仍然是今后相当长时期内我国航空运输业所要解决的主要矛盾。现代化管理水平决定着航空运输的进程、质量、效率和效益。航空运输管理预测是现代化航空运输管理的基础。本书是为了提高航空运输管理水平而编著的。

航空运输管理的核心是对重大问题的决策,由于信息失真致使决策失误在我国航空运输发展历程中屡见不鲜。航空运输管理预测是从管理角度研究航空运输市场的各种预测问题,为决策提供科学的信息,只有十分重视学习、研究与运用管理预测,才可以在重大决策问题上不犯或少犯错误。

作者从事航空运输市场预测教学及科研工作已有 20 多年历史,尤其是进入 90 年代,与国内多家航空公司、机场及油料公司合作从事近 20 项课题研究。在这些课题研究中,航空运输市场预测往往是研究内容之一。科学研究的实践使作者对我国航空运输市场的供求规律有较深入的认识,并积累了较丰富的预测经验。贡献给读者的这本书充满了对我国航空运输市场供求规律的描述及预测经验的总结。

本书以简练、易懂的语言介绍预测技术、方法,占用大量篇幅研究、讨论如何运用预测技术、方法解决管理人员在航空运输许多领域可能遇到的预测问题,如何提高预测的精确度问题。

本书所介绍的预测技术、方法具有针对性、先进性和实用性。所谓针对性是指从 200 多种预测方法中选择了一些对航空运输市场预测精度高的方法。在短期预测方面,着重选择了一些有效的时序预测方法;所谓先进性是指本书介绍了近十几年来在航空运输市场预测方面采用的新方法。如收益管理中的 Delta 方法,成本预测中的 IE 方法,飞机流量预测中的计量经济学方法,机场业务量预测中的梯形法及横截面法等。另外对综合预测法和滚动预测法也做了较详细的介绍;所谓实用性是指介绍预测技术、方法时,尽量避免复杂的公式推导,多用案例说明预测技术、方法在航空运输管理预测中的应用,帮助读者提高预测水平。

读者读完本书并对预测技术、方法有了较好的理解和掌握,就会感到航空

运输管理预测并不神秘，并非高不可攀。只要对预测对象的发展变化趋势，采用科学方法加以认识，并找对与此相适合的预测技术、方法，就会进行高质量的预测。本书所讲述的预测原理、思路、技术、方法和技巧不仅对航空运输管理预测是很有益处的，对于航空运输市场各种业务量预测，对于其他行业的预测也很有用。

为了提高预测效率，作者向读者推荐 Office 中的 Excel 软件和 TSP 软件。Excel 的预测功能比较强大，易于操作，本书所讲述的多数预测技术、方法，此软件均能实现。读者也可使用 TSP 软件从事各种业务量预测，关于 TSP 的使用方法读者可参阅都业富、陈玉宝编著的《民用航空市场预测》，此书由天津科技翻译出版公司于 1996 年出版。本书的例题绝大多数是由这两个软件求解的。

本书对于民航管理局、省（区）局、航空公司、机场、空中交通管制、飞机维修、航材公司、航空油料公司等单位的各类管理人员、计划人员来说应是必备的。对于国家机关及飞机制造、旅游、科研院所、铁路、公路、水运等行业也具有参考价值。对于未来学研究人员及广大预测爱好者也是很有益处的。

本书也可作为高等院校的教材，有些内容适合专科的教学，有些内容适合本科的教学，有些内容适合研究生的教学。

本书能在世纪之交出版，作者感到十分荣幸。

本书之所以能很快出版，首先是由于中国民航出版社领导的大力支持和十分重视。在本书编著过程中，中国民航学院领导及民航各界同仁给予作者大力支持和帮助，在此致以谢意。书中引用了一些有代表性的案例，在此也向有关作者表示感谢。

由于作者学术水平有限，本书难免存在错误及不足之处，欢迎读者指正。

都业富

2001 年 1 月

目 录

第一章 航空运输管理的预测基础.....	(1)
第一节 航空运输管理预测.....	(1)
第二节 平均预测方法.....	(3)
第三节 回归分析预测方法.....	(12)
第二章 航空运输管理中常用的预测技术.....	(23)
第一节 多元线性回归分析预测.....	(23)
第二节 自回归预测.....	(28)
第三节 非线性回归预测法.....	(33)
第四节 时间序列的平滑预测法.....	(42)
第五节 趋势外推法.....	(53)
第六节 综合预测.....	(76)
第七节 组合预测.....	(80)
第八节 定性与定量预测的综合运用.....	(80)
第九节 滚动预测法.....	(82)
第三章 航空公司运量预测.....	(84)
第一节 航空公司运量预测概述.....	(84)
第二节 宏观运量预测.....	(86)
第三节 微观运量预测.....	(103)
第四节 季节指数预测.....	(107)
第五节 航线网络运量预测.....	(116)
第六节 航空公司运量预测实例.....	(118)
第七节 航空公司需要飞机架数预测.....	(131)
第四章 机场航空业务量预测.....	(134)
第一节 机场航空业务量预测概述.....	(134)
第二节 机场航空业务量的计量经济预测方法.....	(136)
第三节 横截面法.....	(138)
第四节 机场业务量预测的梯减法.....	(144)
第五节 新建机场的业务量预测方法.....	(149)
第六节 国外机场航空业务量预测模型简介.....	(150)
第五章 收益管理中的预测技术.....	(159)
第一节 概述.....	(159)
第二节 No-Show 率预测.....	(160)
第三节 Delta 预测法.....	(164)
第四节 旅客溢出量预测.....	(167)

第六章 航空公司成本预测	(176)
第一节 航空公司成本预测概述	(176)
第二节 变动运输成本预测	(179)
第三节 固定运输成本预测	(184)
第四节 航空公司成本预测	(186)
第七章 飞机流量预测	(188)
第一节 飞机流量预测方法	(188)
第二节 飞机流量预测	(189)
第三节 飞机流量分布预测	(193)
附录	
I 相关系数 r 分布表	(197)
II t 分布表	(200)
III F 分布表	(201)
IV 正态分布表	(206)
V 溢出表	(213)
VI 达宾-沃尔森检验表	(223)
参考文献	(226)

航空公司业务量预测内容非常丰富，本书主要介绍航空公司运量预测、成本预测和收益管理预测。运量预测包括运输总周转量预测、旅客周转量预测、货邮周转量预测、旅客运输量预测、货邮运输量预测；航空公司成本预测包括变动运输成本预测、固定运输成本预测、期间费用预测、航空公司成本预测、机型成本预测和单位成本预测；航空公司收益管理预测是当代世界航空运输管理的最新技术，它包括许多预测方法，本书介绍了一些基本预测方法。机场业务量预测主要包括旅客吞吐量预测、货邮吞吐量预测和飞机活动数预测。空中交通业务量预测，本书主要介绍其中的机场终端管制区的飞机流量预测技术。

总之，航空运输管理预测的内容十分广泛，凡是航空运输系统需要做决策、做计划的事项，都需要对其做出准确的预测。

三、本书的写作思路

本书先介绍航空运输管理预测基础，让读者掌握一些最基本、最重要、最具有可操作性的预测方法。这是读者学习、运用航空运输管理预测的切入点。在此基础上，再介绍常用的各种预测方法，读者理解了、掌握了这些方法就可以独立地从事航空运输管理的预测工作。最后作者用大量事例，从不同领域、不同角度、不同方面讲述航空公司、机场和空中交通的业务量预测技术、方法，使读者加深理解，增强动手做预测的信心。从事航空运输管理的各类人员，都会从中汲取有益的预测技能。

四、航空运输管理预测方法的分类

航空运输管理预测中的方法基本上可分为三类：定性预测法、时间序列预测法和回归分析法。

定性预测法是指管理人员根据自己的认识能力、经验和学术水平进行预测的方法。在信息少的情况下，这是非常有用的预测方法。即使做了时间序列预测和回归分析，对其预测结果也需要用定性预测加以修正、完善。

时间序列法预测是根据预测对象的数据所呈现出的规律性做预测，认识数据的模式是关键，以时间作为自变量，去拟合数据所呈现的规律性。这是使用模拟曲线做预测。

回归分析法是根据客观事物之间存在互相联系，依赖制约关系，找出内在联系及变化规律，依据规律做预测。这是一种因果关系预测。

五、预测误差

预测误差。实际值 y 与预测值 \hat{y} 之差称为预测误差。预测误差是不可避免的，科学预测就是要尽量减少误差。

本书介绍预测技术、方法时，常用以下误差概念。

绝对误差 e 。即

$$e = y - \hat{y} \quad (1-1)$$

相对误差 E 。即

$$E = \frac{y - \hat{y}}{y} \times 100\% = \frac{e}{y} \times 100\% \quad (1-2)$$

均方误差 MSE。即

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum e_i^2 = \frac{1}{n} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1-3)$$

均方根误差 RMSE。即

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1-4)$$

第二节 平均预测方法

在时间序列预测法中最基本的是平均预测方法。平均预测方法是预测中最简单、最重要的预测方法，是掌握各种预测方法的基础。

首先要明确几个基本概念：时间序列、时间序列的基本模式和时间序列的预测原理，然后介绍平均预测方法。

一、时间序列

时间序列是指依时间顺序排列起来的统计数据，用以表示航空运输某种经济活动依时间变化的过程。在航空运输管理工作中所需要的统计数据大多属于时间序列。例如：某航空公司 1978 年以来，每年完成的运输总周转量就是一个时间序列，运输总周转量是航空公司的运输产品。分析、研究这个时间序列，可以掌握某航空公司的经营规模是如何变化的，研究如何由过去演变到现在的规律。按照时间（年、月、周）顺序排列的旅客运输量、货物运输量、旅客吞吐量、货物吞吐量、飞机进港或离港的架次、某条航线飞行班次、某机场航空煤油消耗量和某种飞机备件库存量等均是时间序列。

二、时间序列的基本模式

把一时间序列在平面坐标上标出，并用折线连起来，从此折线的形态就可观察到某一变量的变化过程和趋势。显然不同变量其时间序列的数据是不同的，在平面坐标上其折线的形态也是不同的。

时间序列模式是指某个变量的时间序列所反映的可以识别的变动趋势形态。每个变量的时间序列都有其模式。水平型、趋势型、季节型、周期型和不规则型是基本模式。在管理工作中，只有少数变量的时间序列属于某一个基本模式。而绝大多数变量的时间序列模式是由两个以上基本模式组合而成。理解时间序列的基本模式对于提高预测的精度是很重要的。

变量的时间序列模式，基本上反映了该变量的变化规律和发展趋势。预测时要根据其时间序列呈现出的变化模式选择合适的预测方法。只有掌握了时间序列的基本模式及其预测方法，才有可能对受多种因素影响的变量作科学的预测。

1. 水平型模式

水平型模式是指某变量的时间序列各个数据呈现出围绕某个稳定值而上下波动的变动形态，而没有持续上升或者下降的变动趋向。也就是说，本来此变量就应取某个稳定值，之所以呈现出波动，这是由于各种随机因素引起的。例如：1998—1999 年冬春季班

期时刻表表明 CA1605 由波音 737 飞北京至大连航班，轮挡飞行时间为 70 分钟。而在这一时期内，真正轮挡飞行时间为 70 分钟的却很少，实际飞行时间总是在 70 分钟上下波动。这是由于天气变化、流量控制、工程机务、公司计划等各种不正常原因引起的。航空运输中有一些变量如市场占有率、飞机载运率及管理费占机型成本比例等在一定时期内有可能呈现出水平型变化模式。水平型模式见图 1-1。

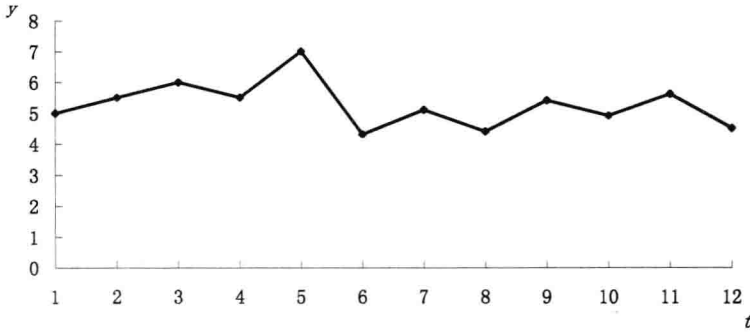


图 1-1 水平型模式

2. 趋势型模式

趋势型模式是指变量的时间序列在一定时期内呈现出持续上升或下降趋势的变动形态。趋势型模式十分繁多。最为简单的是呈现直线上升或下降趋势；有的呈现二次曲线、指数曲线、生长曲线和龚帕兹曲线等变动趋势。从严格意义上讲，水平型模式也是趋势型模式的一种，航空运输多数变量呈现出趋势型模式。例如全行业的飞行班次、轮挡飞行时间、旅客运输量、货邮运输量、旅客吞吐量、货邮吞吐量、飞机活动数、航空煤油消耗量、通用航空作业时间等等，全国各地区的上述航空运输变量的变动基本上均为趋势形态。趋势型模式见图 1-2。

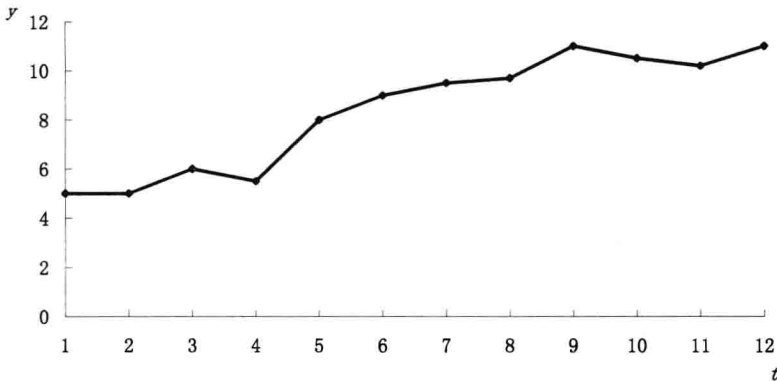


图 1-2 趋势型模式

3. 季节型模式

1) 季节型模式

季节型模式是指以一年为周期，按周、月、季编制的时间序列，变量呈现出随着月份或季度变换而变化，每年反复有规则波动的变动形态。也就是说，每年变量的最大值或最小值，都发生在相同的月份或季度。这种变动形态，与自然季节的变化，社会风尚

习惯，传统文化等因素有关。航空运输的许多业务量具有明显的季节变动规律性。季节性变动对航空运输影响很大，给管理工作带来许多困难，是管理预测研究的重要课题。季节型模式见图 1-3。

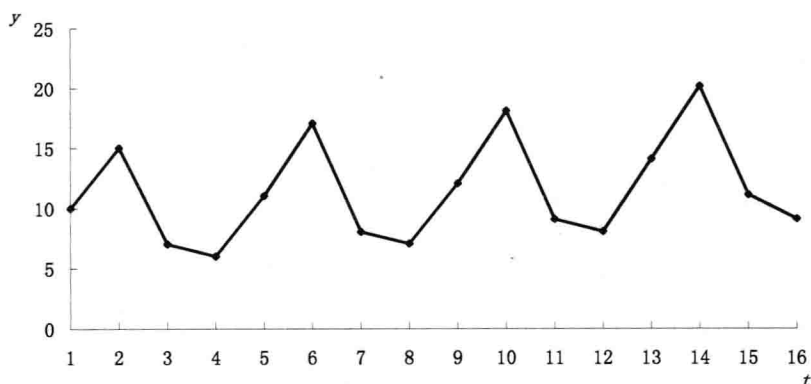


图 1-3 季节型模式

2) 准季节型模式

有些变量在一季、一月、一周甚至一天之内也发生有规则的周期变动。凡是周期在一年之内的变动都视作季节变动，称为准季节模式。研究准季节模式对于航空运输来说是至关重要的。以旅客需求量为例，一周 7 天，每天需求量是不相同的。有些国家，周五航空旅客需求量很大，而周日需求量却很小。就是在一天之内，不同时间旅客需求量也是不相同的。旅客需求量最大的小时称为旅客需求高峰小时。收益管理不仅要研究每年的旅客需求量，还要研究每季、每周的需求量，而它最重视的是研究每天每个航班的旅客需求量。

4. 周期型模式

周期型模式是指变量的时间序列在周期为一年（不含一年）以上，呈现出有规则的上升与下降循环的变动形态。实践证明，我国许多经济变量如国内生产总值的时间序列存在着周期性波动，航空运输业务量也同样存在着周期变动形态。研究航空运输业务量的周期波动，主要找出预测的转折点，这对于制定航空公司、机场及空中交通管理等等的发展战略是十分重要的。周期型模式见图 1-4。

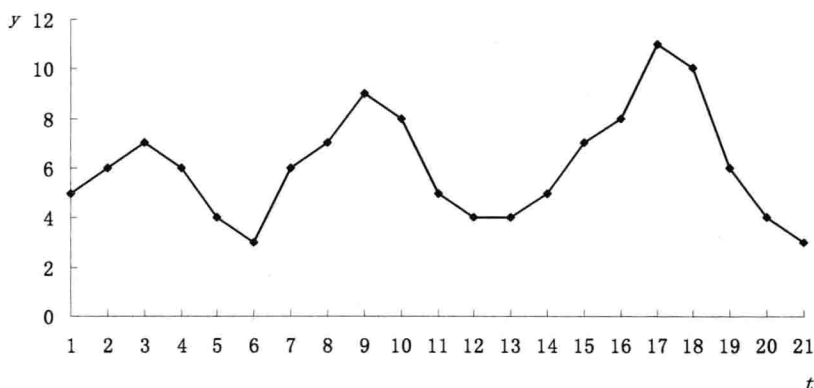


图 1-4 周期型模式

5. 不规则型模式

不规则型模式是指变量的时间序列呈现出没有一定规则的变动形态。变量的这种不规则变动，往往是变量受一些随机因素的影响而产生的。例如，有时航空运输业务量受到洪水、地震、金融危机等影响而产生不规则变动。这种不规则变动形态在预测中产生的误差称为随机误差。

有的变量其时间序列表面上看起来似乎是呈现出不规则变动形态，但经过统计处理后，能发现它存在某种长期变动形态。

三、时间序列的预测原理

时间序列预测是指利用预测变量（也可称为预测目标）的历史时间序列，分析、判断其变化规律，依据此变化规律预测变量的未来。

时间序列预测主要是以连续性原理作为依据的。连续性原理是指客观事物的发展具有合乎规律的连续性，事物发展是按照它本身固有的规律进行的。如上述，有的变量呈现水平型变动模式，而有的呈现季节性变动模式，在一定条件下，只要规律赖以发生作用的条件不发生质的变化，事物的基本发展趋势在未来还会延续下去。时间序列预测就是利用统计技术与方法，从变量的时间序列中找出演变模式，建立数学模型，对预测变量的未来发展趋势作出定量估计。

时间序列预测的自变量只有一个，就是时间。时间序列预测不同于回归预测。回归预测从因果关系出发，将影响预测变量的一些重要、关键的因素作为自变量。但回归分析不可能包括影响预测变量的全部因素。若找不到预测变量的主要、关键因素，或虽然找到了这些因素，但得不到有关因素的统计资料时，就显示出时间序列预测法的优越性。若从另一个角度看，变量的时间序列是变量受各种因素作用后产生的结果，也就是说，它是受各种因素影响的综合结果。利用变量的时间序列，分析出内在演变规律，并建立数学模型，这个数学模型本身是各种因素影响综合作用的结果。这在有些方面也显示时间序列预测的优越性。而回归预测就很难做到这一点。

在航空运输管理预测中，时间序列预测应用的十分广泛，尤其是在短期预测中，其预测精度是相当高的。

四、平均预测法

平均预测法是以一定观察期内，预测变量时间序列的平均值，作为某个未来期预测变量的预测值。当预测变量的时间序列给定后，其平均值的种类很多，例如算术平均数、几何平均数、加权算术平均数、移动平均数与指数平滑平均数等等。这些平均数计算方法、特点及用途各异。采用平均法预测时，首先分析变量时间序列的特点，根据其特点找出相应的平均值，然后再进行预测。

这里仅介绍简单算术平均法、加权算术平均法和几何平均法。它们的用途广泛，使用频繁。了解它们也为介绍其他预测方法、高级预测方法奠定了基础。

1. 简单算术平均法

简单算术平均法是以一定观察期内，预测变量时间序列的简单算术平均数作为变量的下期预测值。

当时间序列呈现出水平型的变动形态时，就可采用此方法进行预测。

其预测模型为

$$\bar{X} = \frac{\sum_{t=1}^n x_t}{n} \quad (1-5)$$

式中 \bar{X} ——下一期的预测值，即为变量 X 的简单算术平均数；

x_t ——变量 X 第 t 期的值，即变量 X 的时间序列中与时序数 t 相对应的值；

t ——时序数 ($t=1, 2, \dots, n$)；

n ——变量 X 时间序列中数据的个数。

例 1—1 1994—1998 年某航空公司使用的波音 737-400 日利用率分别为 7.4、7.5、7.3、7.6 和 7.4 轮挡飞行小时。预测 1999 年该公司波音 737-400 的日利用率。

解：波音 737-400 日利用率 R 的时间序列：7.4、7.5、7.3、7.6 和 7.4 轮挡飞行小时是一个水平型变动形态。可采用简单算术平均法进行预测。

$$\bar{R} = \frac{7.4 + 7.5 + 7.3 + 7.6 + 7.4}{5} = 7.44$$

由此可知，1999 年该公司波音 737-400 的日利用率为 7.44 轮挡飞行小时。

这个预测值称为点估计值。实际上，1999 年波音 737-400 的日利用率不一定正好为 7.44 轮挡飞行小时。

由于飞机利用率 R 是个不确定的变量，从该时间序列的数据就可看出这一点。也就是说 R 是个随机变量。因此，预测结果一般不采用点估计值，而是采用置信区间表示。即

$$\bar{R} \pm tS_e \quad (1-6)$$

式中 t ——概率度，是与预测结果可信（或可靠、把握）程度相对应的一个量。概率度可从正态分布表查出；

S_e ——标准误差。

标准误差计算公式为

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{X})^2}{n}} \quad (1-7)$$

S_e 是反映随机变量 X 的时间序列分散（或偏离）程度的一个量。以 X 时间序列的平均值 \bar{X} 为标准计算其分散程度。由本公式可知，若 $x_t = \bar{X}$ ($t=1, 2, \dots, n$)，也就是说 X 的时间序列的 n 个值都相等，则 S_e 为 0。 S_e 大，其分散程度就大；反之，分散程度就小。

下面说明本例置信区间的计算。

确定概率度 t 。若预测波音 737-400 日利用率的精度为 95%，也就是说，预测结果与实际值相比，相对误差 $\alpha=0.05$ ，即预测的把握度（或可信程度）为 95%。

见附录 IV 中的表 6，要查 $1-F(t) = \frac{\alpha}{2} = \frac{0.05}{2} = 0.0250$ 一行，0.0250 所对应的 $t=1.96$ 就是预测精度达到 95% 的把握时的概率度。这里变量 t 与附录 IV 表 6 中的变量 x 含义相同。

也可以由 $F(t)$ 一行查 t 值。

若预测精度达到 95%。则 α 为

$$\alpha = 1 - 95\% = 1 - 0.95 = 0.05$$

由 $1 - F(t) = \frac{\alpha}{2}$

可得出 $F(t) = 1 - \frac{\alpha}{2}$

本例的 $F(t)$ 应为

$$F(t) = 1 - \frac{0.05}{2} = 0.9750$$

而 $F(t) = 0.9750$ 所对应的 t 为 1.96。

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

本例中

$$n = 5$$

$$\bar{X} = \frac{7.4 + 7.5 + 7.3 + 7.6 + 7.4}{5} = 7.44$$

$$S_e = \sqrt{\frac{(7.4 - 7.44)^2 + (7.5 - 7.44)^2 + (7.3 - 7.44)^2 + (7.6 - 7.44)^2 + (7.4 - 7.44)^2}{5}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.052}{5}} = 0.1$$

置信区间为 $7.44 \pm 1.96 \times 0.1$ ，即为 (7.24 7.64)。

本例预测结果为：该公司波音 737-400 在 1999 年日利用率点估计值为 7.44 轮挡飞行小时。若预测精度为 95%，点估计值的置信区间为 7.24~7.64 轮挡飞行小时。也就是说，其最低值为 7.24，最大值为 7.64 轮挡飞行小时。

2. 加权算术平均法

1) 加权算术平均法的计算

简单算术平均预测法的不足之处在于其简单算术平均。也就是说，变量的时间序列的每个数据对未来预测结果的影响都是一样的。即每个数据的重要性都是一样的。一般说来，这不符合实际。在波音 737-400 日利用率预测中就碰到这个问题。由计算过程可知，波音 737-400 在 1994 年的利用率 7.4 轮挡飞行小时对 1999 年预测结果的影响，与 1995 年 7.5 轮挡小时的影响在重要性上是一样的。其实不然，应当是离预测期越近的数据，其重要性越大。数据重要程度称为“权数”，数据与其权数之积能充分反映对预测结果的影响程度。

设 x_t 的权数为 ω_t ，则加权算术平均预测模型为

$$\bar{X}' = \frac{\sum_{t=1}^n \omega_t x_t}{\sum_{t=1}^n \omega_t} \quad (1-8)$$

2) 加权算术平均中权数的确定

一般说来离预测期近的数据其权数大，反之权数小。若时间序列中的数据变动幅度

较小时，其权数由远而近取等差数列 $1, 2, \dots, n$ ；反之取等比数列 $1, 2, 4, 8, \dots, 2^{n-1}$ ；若时间序列数据变动幅度不定，对不同变动幅度的数据给以不同权数，相同变动幅度的数据其权数相同。 ω_t 可取为小数。

$$\sum_{t=1}^n \omega_t = 1 \quad (1-9)$$

此时

$$\bar{X}' = \frac{\sum_{t=1}^n \omega_t x_t}{\sum_{t=1}^n \omega_t} = \sum_{t=1}^n \omega_t x_t = \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_n x_n \quad (1-10)$$

例 1—2 采用加权算术平均法预测例 1—1 中的波音 737-400 日利用率。

解：分析 R 的数据特点。从数据离预测期远近看 1994 年的 7.4，其权数应小些，而 1998 年的 7.4 权数应大些。从数据变动幅度看 1997 年的 7.6 权数应大些，它比 1996 年的 7.3 增加 +0.3。

权数的确定

$$\omega_1 = 0.1 \quad \omega_2 = 0.1 \quad \omega_3 = 0.2 \quad \omega_4 = 0.3 \quad \omega_5 = 0.3$$

$$\begin{aligned} \bar{X}' &= 0.1 \times 7.4 + 0.1 \times 7.5 + 0.2 \times 7.3 + 0.3 \times 7.6 + 0.3 \times 7.4 \\ &= 7.45 \end{aligned}$$

计算标准差 S_t 仍为 0.1, t 仍为 1.96，其置信区间为：7.45 ± 1.96 × 0.1，即为 (7.25 ~ 7.65)。

该公司波音 737-400 的日利用率 1999 年预计为 7.45 轮挡小时（点估计值）。预测精度为 95% 的置信区间为 7.25 ~ 7.65 轮挡飞行小时。

3. 几何平均法

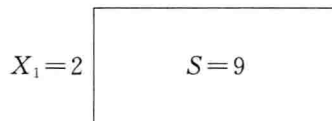
几何平均法在航空运输管理预测中得到广泛应用。尤其在制定发展计划、规划和发展战略时，它是一种必不可少的工具。

这里先介绍几何平均数、环比发展速度等概念，然后介绍如何应用几何平均法作预测。

1) 几何平均数

这是几何术语。设 $X_1=2$, $X_2=4.5$ 代表长方形两个边长，其面积为 $S=2 \times 4.5=9$ 。

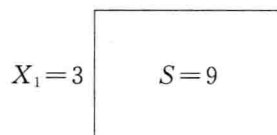
$$X_2 = 4.5$$



现在要求一个正方形，其面积也为 9，边长为多少？显然边长 X 应为

$$X = \sqrt{X_1 X_2} = \sqrt{9} = 3$$

$$X_2 = 3$$



这时 X 称为 X_1 、 X_2 的几何平均数。 X_1, X_2, \dots, X_n 的几何平均数 G 应为

$$G = \sqrt[n]{X_1 X_2 \cdots X_n} \quad (1-11)$$

2) 环比发展速度

环比发展速度，也称为发展速度。设某业务量 $t-1$ 、 t 年分别为 X_{t-1} 、 X_t ，则称

$$\frac{X_t}{X_{t-1}} \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (1-12)$$

为环比发展速度（或称环比系数）。

由上式可知，有 n 个数据可计算出 $n-1$ 个环比发展速度。

3) 几何平均预测法

用某业务量 X 的环比发展速度的几何平均数就可以对发展速度作出预测。

设 X 的时间序列 X_t 已知 ($t=1, \dots, n$)，则 $n+i$ 期的 X 预测值 \hat{X}_{n+i} 为

$$\hat{X}_{n+i} = X_n G^i = X_n \left(\frac{\sqrt[n-1]{X_n}}{\sqrt{X_1}} \right)^i \quad (1-13)$$

式中 i ——预测期离 n 期的期数。

$$G = \sqrt[n-1]{\frac{X_2}{X_1} \times \frac{X_3}{X_2} \times \cdots \times \frac{X_t}{X_{t-1}} \times \cdots \times \frac{X_n}{X_{n-1}}} = \sqrt[n-1]{\frac{X_n}{X_1}} \quad (1-14)$$

此方法常用于当某项业务量在某一时期内环比发展速度大体相等，而在预测期内，内外部环境不会发生根本性变化时。如图 1-5 所示。

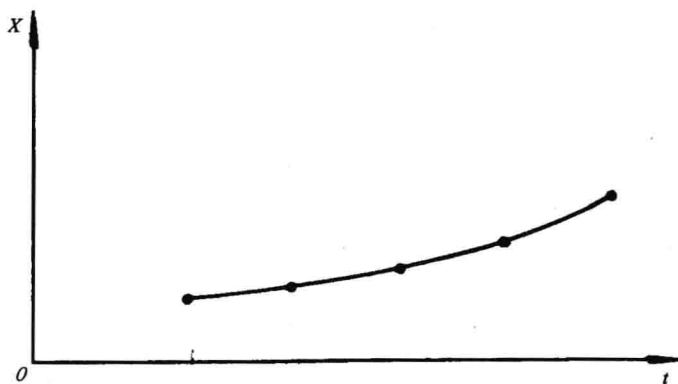


图 1-5 几何平均预测

此预测法实质上是指数预测法。

令
$$G = \sqrt[n-1]{\frac{X_n}{X_1}}$$

则有
$$\hat{X}_{n+i} = X_n G^i \quad (1-15)$$

例 1-3 1993—1997 年我国民航国际航线旅客周转量及其环比发展速度如表 1-1 所示。试用几何平均法预测 2000 年我国国际航线旅客周转量。

表 1-1 1993—1997 年国际航线旅客周转量(万人公里)

年 份	旅客周转量	环比发展速度
1993	862420	—
1994	968129	1.123
1995	1149710	1.188
1996	1361709	1.184
1997	1635499	1.201

解：从表 1-1 可看出，1993—1997 年国际航线旅客周转量环比发展速度大体相等。其几何平均速度为

$$G = \sqrt[4]{\frac{1635499}{862420}} = 1.173$$

2000 年离 1997 年为 3 年，所以 2000 年国际航线旅客周转量 P_{2000} 预计为

$$\begin{aligned} P_{2000} &= 1635499 \times (1.173)^3 \\ &= 1635499 \times 1.614 \\ &= 2639695 \end{aligned}$$

预计 2000 年我国国际旅客周转量为 2639695 万人公里。

注：由几何平均法可得出年均发展速度 \bar{V} 即

$$\bar{V} = (G - 1) \times 100\%$$

本例的年均发展速度 \bar{V} 为

$$\bar{V} = (1.173 - 1) \times 100\% = 17.3\%$$

也就是说 1993—1997 年我国国际航线旅客周转量年均增长(或年均递增) 17.3%。

几何平均数也可用对数法求得，对式 (1-14) 两边取对数得

$$\begin{aligned} \lg G &= \frac{1}{n-1} \sum_{t=2}^n \lg \frac{X_t}{X_{t-1}} \\ G &= \text{antilg} \left[\frac{\sum_{t=2}^n \lg \frac{X_t}{X_{t-1}}}{n-1} \right] \end{aligned} \quad (1-16)$$

几何平均法也经常用于对航空运输经济变量的分析，用于分析某一时期业务量发展速度。这时并不要求环比速度大体相等。例如我国航空运输飞行班次 1991 年与 1995 年分别为 204895 次和 437877 次。则“八五”期间(即 1991—1995 年)，飞行班次年均增长

$$\left(\sqrt[4]{\frac{437877}{204895}} - 1 \right) \times 100\% = 20.9\%$$