

第二届“数学中国杯”数学建模网络挑战赛

承 诺 书

我们仔细阅读了第二届“数学中国杯”数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站(www.madio.net)公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛报名号为：1311

参赛队员（签名）：

队员 1：张进

队员 2：王晓

队员 3：陶志富

参赛队教练员（签名）：周礼刚

参赛队伍组别：研究生组

第二届“数学中国杯”数学建模网络挑战赛

编 号 专 用 页

参赛队伍的参赛号码：（请各个参赛队提前填写好）：

研究生组 1311

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

2009 年 第二届“数学中国杯” 数学建模网络挑战赛

题 目 基于区间组合预测的危机预警模型

关 键 词 区间组合预测, 危机预警, GM(1, 1) 模型, IOWA 算子,
IOWGA 算子, IOWHA 算子, 弹性, 灾变预测

摘 要:

本文针对世界未来资源危机预警问题, 建立多因素多种单项预测方法及其基于 IOWA 算子系列的区间组合预测模型。

首先, 根据具体的因素及其与其子因素之间的关系分析和根据相关统计机构所公布的统计数据分析, 给出九种包括多元线性回归、单因子多项式回归、残差 GM(1,1) 模型等不同的针对各个因素的单项预测方法, 依据不同的单项预测方法获得了预测各单项预测模型。最后, 应用基于诱导的有序加权平均算子 (IOWA) 系列 (包括 IOWGA 和 IOWHA 算子) 的组合预测方法分别建立各项资源的区间组合预测, 并通过区间数的简单转化将区间组合预测模型转化为一般的线性规划问题进行求解。

其次, 针对统计数据不确定和有缺省值, 以及非等时间间隔的数据类型情形, 通过建立残差灰色 GM(1,1) 模型、非等时间间隔的灰色预测和灰色灾变预测模型等对考察对象进行预测, 预测结果表明这几类针对不确定数据情形下的预测能达到比较满意的效果。

最后, 为了解决一开始所提出的“完美风暴”问题, 通过建立基于时间的人口和粮食问题、淡水资源问题、能源问题以及环境气候问题的弹性模型, 通过区间预测所获得的未来人口预测区间值, 计算依据人口增长比例所获得的各项资源需求弹性, 进而与前述各项资源的预测结果进行对比, 从而知道在未来某个时刻是否会发生各项能源灾变的的同时性效应, 并依据此结论判定“完美风暴”问题发生的可能性或变化趋势, 达到预期的预测目的。

本文结束时对本文给出的模型和方法展开分析, 指出其优点和不足之处, 并给出具体的参考性意见, 以作为进一步研究的思路 and 方向, 最终以报告形式给出本文的分析结果和结论。

参赛队号 1311

所选题目 C

参赛密码 _____
(由组委会填写)

Abstract

In order to warn the lack of world natural resources in the future, this paper focus on setting up multi-factor in a variety of individual forecasting methods and proposes the interval combined forecast models that based on the induced ordered aggregation operators.

First of all, based on the analysis of the relationship between specific factors and their sub-factors as well as the analysis of the relevant statistical data published by the statistical agencies, this paper provides 9 kinds of forecasting methods which focus on each elements, such as Multivariate Linear Regression、Single-factor polynomial regression、Residual GM(1,1) model, then get each individual prediction model from different methods of individual forecasts. Finally, in an orderly manner based on the induced ordered aggregating operators (including the IOWA, IOWGA and IOWHA operators) respectively, through a combination of forecasting methods to establish the combination of the forecast range of resources, and through simple interval number into the range of combination forecasting model into general linear programming problems.

Secondly, for the uncertainty and the defects of the statistics, as well as non-interval data, through the establishment of Residual grey model, gray disaster forecasting and prediction models, we can calculate the inspect objection, results shows that these types of cases against the uncertainty of the forecast data can achieve a satisfactory results.

Finally, in order to solve the "perfect storm" problem raised by the topics, through establish the flexible model that based on Population and food problem、The issue of freshwater resources、Energy issues and environmental climate, through the forecasts of future population projections to obtain interval value, and calculated the proportion of the population growth in the proportion of resources obtained by the elasticity of demand, and the resources with the foregoing results are compared in order to know at some point in the future if there will be catastrophic, while the energy effect, and based on this conclusions to determine the "perfect storm" of the possibility of problems or changes in trends, forecast to achieve the desired purpose.

At the end of this paper, I analysis the model and the methods which were written in Chinese, and point out its strengths and weaknesses, and give the specific reference for further study. At last, I put forward the analysis results and conclusion of this paper in the form of a report.

Keywords: GM(1,1) model; IOWA operators; IOWGA operators ;IOWHA operators;Flexible; Disaster forecasting and prediction ;

基于区间组合预测方法的危机预警模型

1 问题重述

国际能源署（IEA）2008 年度《世界能源展望·2008》（以下简称《展望》）执行摘要指出，“世界能源体系正面临着抉择。目前全球能源供应和消费的发展趋势从环境、经济、社会等方面来看具有很明显的不可持续性。但这种状态是可以并且必须改变的；我们仍然来得及改变现有的状态”。尽管《展望》指出目前世界上的石油和天然气资源并不缺乏，但是由于世界区域经济不平衡和自然因素导致的现有油田和天然气资源的自然递减加剧等仍将可能造成世界能源危机。与此同时，全球气候政策未付诸实行所造成的后果据《展望》指出，到本世纪末，温室气体排放的增长将使这些气体在大气中的浓度增加一倍，这最终将导致全球的平均温度上升 6°C 。

可持续发展问题是一个关乎人类是否可以长期延续并繁荣昌盛的关键所在，世界上各发达国家和发展中国家均将可持续发展作为经济、社会发展的首要前提，这个问题也越来越成为当今人们所关注的主要问题，并且引起了各方的高度注意和研究。

因此，有必要依据现有的数据和发展道路，对那些现今仍然无法确定的将推动国际政策性的关键因素展开分析和讨论，建立一个合理的危机预测和警戒机制，从而促使各个经济主体无论是采取独立行动或者是联合的方式共同推进全球人口、资源和环境的可持续发展。另外，有必要对现行的包括人口、资源和环境的运行体制依据分析的结果给出合理的建议，尽力避免“完美风暴”的发生。

2 问题分析

可持续发展问题是一个涉及到人口、资源和环境的和谐发展问题，当今世界，人口问题越来越严重，而不可再生资源和环境随着人口的增长和消耗最终也必然产生翻天覆地的变化。其中，各种不确定性的因素也可能导致世界能源体系并不是按照我们想象的方式在发生改变，各个领域自身和各个领域之间均存在着各自的特点。

1. 世界人口的迅猛增长将是不可忽视的关键问题。

自 1900 年以来，世界人口呈现迅猛增长的态势，相比过去而言，增加相同数量的人口所需要的时间逐渐减少。尽管近些年来，由于全球各项人口政策的出台导致世界人口的增长趋缓，但是由于现有人口的基数，未来一段时间内，世界人口的增长仍然是一个重要和复杂的问题。

为了解决人口增长过快的问题，人类必须控制自己，做到有计划地生育，使人口的增长与社会、经济的发展相适应，与环境、资源相协调。

同时，人口问题与环境问题有密切的互为因果的联系，在一定社会发展阶段，一定地理环境和生产力水平条件下，人口增殖应保持在适当比例内。

2. 粮食安全问题始终是社会经济发展过程中的首要战略问题。

世界粮食产量和需求之间的缺口以及世界粮食库存量的不足仍构成当今世界粮食安全问题的主要因素。首先，由于当今科技的迅速发展，粮食单产量不断

得到提高，粮食总体的产量呈增长状态，但是由于世界人口未来相当长一段时间内仍保持的增长态势，使得粮食主产区的有效粮食耕种面积不断减少，一定程度上削减了科技给粮食产量所带来的影响，并且人均占有量得不到有效改善；其次，由于经济和科技发展的不均衡性，导致粮食分布的不均衡，造成全球粮食供求尚未达到持续的动态平衡，粮食安全问题依然不容忽视。因此，有必要建立合理和有效的粮食预警模型并分析其与其他关键因素的联系。

3. 社会经济的可持续发展对淡水资源的需求提出新的要求。

淡水资源的需求是一个涉及人口、世界工业发展水平、人们的生活水平和全球经济水平等各因素综合作用的多因素和多层面的复杂系统。但是，基于社会稳定和可持续发展的需要，必须对淡水资源的合理利用作必要的规划，使得淡水资源能得到有效的利用，满足全球可持续发展的目标。

4. “走向更清洁、更机智和更具竞争力的能源体系”是未来全球应为之奋斗的目标。

据参考情景指出，当今二氧化碳和其他温室气体的排放量正在不断增长，全球与能源相关的二氧化碳排放量 2006 年为 280 亿吨。而且这个数字在未来将不断上涨，预计到 2030 年其排放量将在 410 亿吨，这些温室气体的不断增加将带来一系列的经济、环境等社会综合问题。因此，能源问题不仅仅在于其自身的有限性，而且是关系到其他各个因素的，为此，需要对其建立合理的全球监控体系，而实行监控管理的前提是必须对其存储和开采的量进行客观、科学的预测，从而达到建立一个“更清洁、更机智和更具竞争力的能源体系”。

5. 环境气候问题逐渐引起人们的重视。

依据联合国政府间气候变化专业委员会 (IPCC) 近两年的全球通告指出，“全球气候变暖已是不争事实”，已有观测结果证实了全球大气和海洋平均温度的升高、冰雪的消融和海平面的上升。报告警告，人类一些污染行为甚至将造成“突然且无法逆转的恶果”，如南北两极冰层消融、海平面突涨数米等。

这份报告详细预测了全球变暖前景和可怕恶果。报告指出，全球气温本世纪可能上升 1.1 至 6.4 摄氏度，海平面上升 18 至 59 厘米。如果气温上升幅度超过 1.5 摄氏度，全球 20% 到 30% 的动植物物种面临灭绝。如果气温上升 3.5 摄氏度以上，40% 到 70% 的物种将面临灭绝。

全球变暖将导致气候灾害更加普遍。热带风暴将更频繁、更猛烈地光顾。高温和暴雨天气将危害世界部分地区，导致森林火灾和病疫蔓延等后果。海平面上升将令沿海地区洪涝灾害增多、陆地水源盐化。一些地区饱受洪涝灾害的同时，另一些地区将在干旱中煎熬，遭遇农作物减产和水质下降等困境。

可以看到，上述 5 个部分与全球的可持续发展有着紧密的联系，尽管各个领域自身全球的主要机构都给出了较为详细的预测数据和指导性意见，但是，正如“完美风暴”所阐述的观点一样，在这些危机在同一时间一同爆发时，谁也不能想象会发生怎样的结果。因此，依据关键因素建立系统的全球人口、经济 and 环境的预警系统是人们必要和必须采取的各种有效措施的前提。

3 模型假设

(1) 统计数据主要来源于中华人民共和国国家统计局官方网站所公布的国际数据，所获各种指标的数据均真实可靠、合理精确。

(2) 各因素的单项预测方法均采用最合理的预测方法，即单项的预测方法均是

无偏的，这样既保证区间预测的精度也保证了区间估计的结果不会因为单项预测精度的不足而导致的明显占优情形；

(3) 各区间预测方法的比较只是对预测结果与该因素各单项预测结果进行比较，区间预测方法之间也只存在对于预测效果的比较，对不同的因素选择合适的区间组合预测方法。

(4) 由于人口的发展受到迁移因素的影响，因而将迁移问题作为人口预测问题的一个子因素置于多元线性回归预测模型中考虑。

4 符号说明

符号	说明	单位
y_{it}^j	第 i 种预测单项预测方法在第 t 期的预测值	因素计量标准单位
y_t	该因素在第 t 期的观测值	因素计量标准单位
$w_i = [w_i^l, w_i^u]$	第 i 中预测方法的区间权重	\

5 模型的建立、求解与分析

5.1 基于 IOWA 算子的人口区间组合预测方法

5.1.1 全球人口发展趋势分析

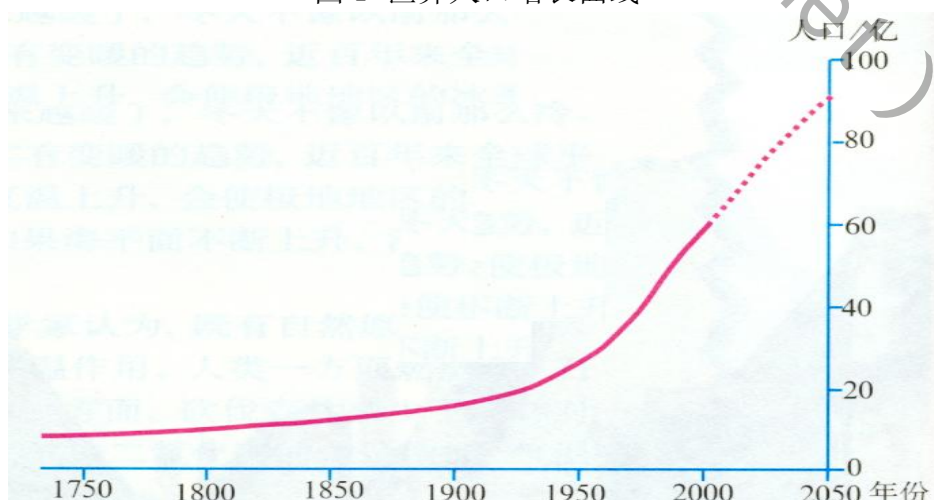
下表是自 19 世纪初以来全球人口数量增加相同数量 (10 亿) 所花费的时间：

表 1 世界人口数量变化统计

增加幅度 (单位: 亿)	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60
花费年份 (单位: 年)	100	30	15	12	12

由表可以看出，近两个世纪以来，世界人口的增加趋势整体呈迅速增加的情况。尽管近期由于全球人口政策的影响，人口的增长速度趋于平缓，但是由下面的图 1 我们能够看到，世界人口的数量由于现有人口基数的影响在未来很长一段时间内仍然处于缓慢的增长过程中。

图 1 世界人口增长曲线



通过表 1，我们可以分析出相同的一段时期内（10 年）平均每年所增加的人数比例，如表下 2 所示：

表 2 世界人口平均每年增加比例情况

时期	1830-1930	1930-1960	1960-1975	1975-1987	1987-1999	1999-2009
平均增加比例	0.1	1/3	2/3	5/6	5/6	0.8

由表 2 我们可以得到世界人口变化比例的直方图，以及据此近似可以刻画该变化比例的分布曲线如下图 2 所示：

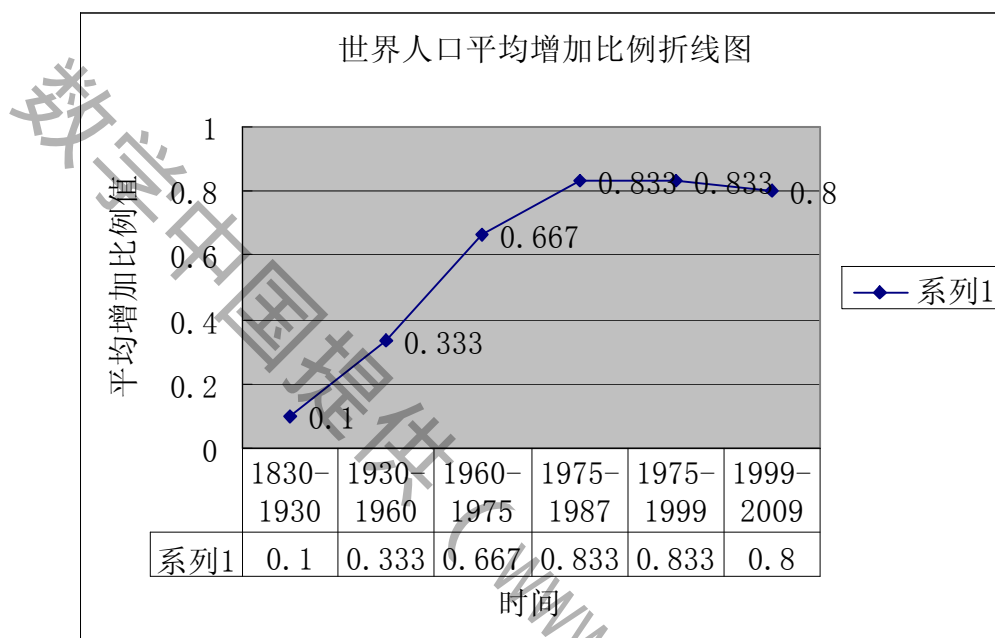


图 2 世界人口平均增长比例变化折线图

基于上述图标变化可以判定，世界人口的变化情况呈先增加后趋缓再减缓的趋势，由于人口的发展受出生率、死亡率、性别比和人口迁移等主要因素的影响，为此，易采用多元线性拟合较为适宜。同时，基于时间的拟合易采用单因子多项式预测较为适宜。另外，由于人口的统计和自身发展的不确定性，采用灰色 GM (1, 1) 模型和其他不确定性工具做人口预测模型也能达到不错的预测效果，为此，构建如下的几个单项预测方法并提出基于 IOWA 算子的区间组合预测方法。

模型 I 基于多元线性回归拟合的人口预测模型^[1]

当考虑到某个考察对象和对个因素相关联进行预测时，采用多元线性回归比较适宜。假设因变量 Y 是多个变量 X_1, X_2, \dots, X_k 和误差项 ε 的线性函数，于是得到如下的多元线性拟合的一般模型

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \varepsilon_t \quad (1)$$

这里， Y 为因变量， X_1, X_2, \dots, X_k 为自变量， ε_t 为随机扰动项。

但是建立多元线性回归的前提是考察对象与因素间具有明显的线性关系，因此需要对数据做一定得处理，一般地，建立多元线性回归的步骤为：（1）对数据进行单位根检验；（2）对数据进行共线性的检验和处理；（3）异方差的检验和处

理；(4) 序列自相关性的检验和处理；(5) 一些其他的设定与诊断检验，包括参数检验、残差检验和稳定性检验等；(6) 最终得到多元线性回归模型。

模型 II 基于单因子多项式拟合的人口预测模型^[2]

设 $t, x(t)$ 为需要考察的某个社会现象中两个变量，其中 t 为时间点，实际情况下，只知道两个变量的一些观测数据值 $(t, x(t))$ ，而变量间的函数表达式是未知的。对于典型的非线性回归且回归函数未知情形，通常的做法是用因子的多项式。一般地，通过拟合失度检验或直接通过散点图否定了线性的假定，则可依据多项式拟合来近似反映回归函数。拟合多项式的理论模型为

$$x(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \cdots + \alpha_p t^p + e, (p \in N^*) \quad (2)$$

这里， $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p$ 为待估计参数， e 为随机误差项。并且这里正整数 p 的取值依据以下的原则：如果从散点图观察到回归函数有 $k(k \in N^*)$ 个“弯”，则考虑 p 的值为 $k+1$ ，即拟合回归函数为关于变量 t 的 $k+1$ 次函数。

在获得的 n 期观测数据 $x(t)(t=1, 2, \dots, n)$ 后，可依据公式 (1) 得到实际的模型为

$$x(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \cdots + \alpha_p t^p + e_t, (p \in N^*) \quad (3)$$

这里，通常假定随机误差项为独立且服从期望为 0，方差为 σ^2 的正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 。

对待估计参数使用最小二乘法进行估计，以及各参数的分布、区间估计、各种检验统计量和预测方程等均可依据相关书籍获得，不再赘述。

实际表明，在计算机程序中用到关系曲线时，通常采用两点、三点或四点拉格朗日插值计算。曲线拟合与函数插值不同，它不要求曲线通过所有已知点，只要求得出的拟合曲线能反映数据的基本关系。由于数据本身存在误差，所以曲线拟合的过程比插值过程得到的结果更能反映客观实际。在程序中用到关系曲线时，用拟合曲线替代插值计算，可以在某种程度上消除数据本身存在的误差，能更好地反映变量间的关系；在大规模计算中，还能明显加快计算速度。

模型 III 基于灰色残差 $GM(1,1)$ 模型的人口预测模型^[3]

灰色系统建模是利用较少的或不确切的描述系统行为特征的原始数据系列作生成变换，通过建立微分方程来揭示系统事物内部连续发展变化过程。

传统的 $GM(1,1)$ 模型的形式是

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = u \quad (4)$$

它可以应用于数列预测、灾变预测、季节灾变预测和拓扑预测等方面，这里方程左边第一项为系统的逐年增量，即系统发展速度。
求微分方程的解，得到时间函数：

$$x^{(1)}(t+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (5)$$

再进行累减还原，便得到

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \hat{x}^{(1)}(t) - \hat{x}^{(1)}(t-1) \quad (6)$$

即为 $GM(1,1)$ 模型进行灰色预测的基本计算公式。

其缺点是不能反映动态过程，因而，可以通过建立如下的残差 $GM(1,1)$ 模型对上述结果进行修改和补充，从而反映动态的效果。

对已知原始数据序列 $x^{(0)}(i) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ 做残差

$$q^{(0)}(t) = x^{(0)}(i) - x^{(0)}(t), i, t = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

得到残差序列为 $q^{(0)}(t) = \{q^{(0)}(1), q^{(0)}(2), \dots, q^{(0)}(n)\}$ 。

对 $q^{(0)}(t)$ 建立 $GM(1,1)$ 模型，带入 (5) (6) 式得时间响应函数为

$$\hat{q}^{(0)}(t'+1) = -(a') \left(q^{(0)}(1') - \frac{u'}{a'} \right) e^{-a't'} \quad (8)$$

将残差 $GM(1,1)$ 模型 (8) 式代入 (5) 式有

$$x^{(0)}(t+1) = (-a) \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \delta(k-i) \cdot (-a') \left(q^{(0)}(1') - \frac{u'}{a'} \right) e^{-a't'} \quad (9)$$

这里， $\delta(k-i) = \begin{cases} 1 & k \geq i; \\ 0 & k < i. \end{cases}$

这里，最终获得的时间函数为指数函数形式，但是它们所反映的是系统内部的变化规律，与指数拟合方程的结果和意义均不是相同的。因此，灰色动态模型的累加生成，并不是可有可无的、繁琐的重复运算，而是一种揭示与寻找系统客观规律的新的思路和科学方法。

灰色残差 $GM(1,1)$ 预测模型的计算步骤：

Step1 对原始数据作一次累加生成处理

$$x^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t x^{(0)}(k)$$

得到一个新的数列，该新数列与原始数列相比，其随机程度大大弱化，平稳性则得以很大程度上的加强。

Step2 将新数列的变化趋势近似地用微分方程描述

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = u$$

其中 a, u 分别为发展系数和灰色作用量。

Step3 构造数据矩阵

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}x^{(1)}(1) - \frac{1}{2}x^{(1)}(2) & 1 \\ -\frac{1}{2}x^{(1)}(2) - \frac{1}{2}x^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}x^{(1)}(m-1) - \frac{1}{2}x^{(1)}(m) & 1 \end{pmatrix}$$

$Q_m = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(m))^T$, B 为构造的数据矩阵, 根据所查数据计算可得。

Step4 由最小二乘法可以得到

$$\begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Q_m \quad (10)$$

Step5 按照 (7)~(9) 式得到残差灰色 $GM(1,1)$ 时间响应函数。

Step6 把参数代入模型即可

模型 IV 基于 $orness$ 度^[4] 的加权滑动平均人口预测模型

设样本序列为 y_1, y_2, \dots, y_n , 要外推预测 y_{n+1} , 作加权滑动平均, 对各序列值乘上加权因子后再作平均, 记 y_{n+1} 的预测值为 \hat{y}_n , 称 $\hat{y}_n = \frac{a_1 y_n + a_2 y_{n-1} + \dots + a_N y_{n-N+1}}{N}$ 为加权滑动平均预测值, a_1, a_2, \dots, a_N 为加权因子,

满足 $\sum_{i=1}^N a_i / N = 1$ 。

由于人口是不断增长的, 所以较近年份的实际值一定大于较远年份的实际值, 即 $y_n \geq y_{n-1} \geq \dots \geq y_{n-N+1}$, 这就和美国学者 Yager 提出的有序加权平均算子

(Ordered Weighted Averaging Operator) 是一致的:

定义 1 设 $F_w: R^m \rightarrow R$ 为 m 元函数, $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 是与 F_w 有关的加权向量,

满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$, 若

$$F_w(b_1, b_2, \dots, b_m) = \sum_{i=1}^m w_i l_i$$

其中 l_i 是 b_1, b_2, \dots, b_m 中按从大到小的顺序排列的第 i 个大的数, 则称函数 F_w 是 m 维有序加权算子, 简记为 OWA 算子。

定义表明 OWA 算子是对 m 个数 b_1, b_2, \dots, b_m 按从大到小的顺序排序后进行有序加权平均的, 权数 w_i 与 a_i 无关, 而是与 b_1, b_2, \dots, b_m 的按从大小顺序排的第 i 个位置有关, 其在预测领域中已获得成功的应用^[6-9]。

权数的确定有很多种方法。而在实际中, 最新数据更能反映数据变化的趋势。因此, 要特别强调新数据的影响, 突出新数据的作用。所以我们给较近年份的实际值赋予更大的权重, 即 $a_1 \geq a_2 \geq \dots \geq a_N > 0$ 。则可根据文献[5]中提到的等差 OWA

算子的 Orness 度赋权方法来确定模型中的加权因子 a_1, a_2, \dots, a_N :

称 $orness(w) = \sum_{j=1}^n \frac{n-j}{n-1} w_j$ 为 OWA 算子的 Orness 度, 体现了预测者的乐观程度。

当 $W^* = (1, 0, \dots, 0)$, $W_* = (0, 0, \dots, 1)$, $W_A = \left(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right)$ 时, $orness(w^*) = 1$,

$orness(w_*) = 0$, $orness(w_A) = \frac{1}{2}$ 。

由文献[]知, 当 $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ 时, $orness(w) \geq \frac{1}{2}$, 且 $F_w(b_1, b_2, \dots, b_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i$ 。

这里引入等差 $d \leq 0$ 的等差 OWA 算子概念, 即 $w_i = \begin{cases} a + (i-1)d, & \text{当 } a + (i-1)d \geq 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$,

且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

取 $N = 3$, 则:

$$\hat{y}_n = \frac{a_1 y_n + a_2 y_{n-1} + a_3 y_{n-2}}{3}, \frac{a_i}{3} = w_i = a + (i-1)d$$

其中

$$\begin{cases} \text{orness}(w) = \sum_{i=1}^3 \frac{3-i}{3-1} w_i, & \text{令 } \text{orness}(w) = \frac{3}{4} \text{ 可解得} \\ \sum_{i=1}^3 [a + (i-1)d] = 1 \end{cases}$$

$d = -\frac{1}{4}, a = \frac{7}{12}$, 所以 $w_1 = \frac{7}{12}, w_2 = \frac{1}{3}, w_3 = \frac{1}{12}$, 则 $a_1 = \frac{7}{4}, a_2 = 1, a_3 = \frac{1}{4}$, 带入 $\hat{y}_n = \frac{a_1 y_n + a_2 y_{n-1} + a_3 y_{n-2}}{3}$ 得:

$$\hat{y}_n = \frac{7y_n + 4y_{n-1} + y_{n-2}}{12} \quad (11)$$

模型 V 基于 IOWA 算子的区间组合人口预测模型

区间预测是近年来发展起来的组合预测领域的又一重要方向,与模糊预测方法不同的是,对组合预测中各单项预测的权重取消原为精确值的情形,取而代之的是一个区间数情形,这样,对原各单项预测方法获得的预测值进行加权后获得的将是一个区间值。这样,使得预测的结果更具柔性,同时,也使得各单项预测的结果得到最大可能的应用来反映未来某个时刻的考察对象的数据。

首先介绍 IOWA 算子及其性质

定义 2 设 $\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle$ 为 m 个二维数组, 令:

$$F_w(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) = \sum_{i=1}^m w_i a_{v\text{-index}(i)} \quad (12)$$

则称函数 F_w 是由 v_1, v_2, \dots, v_m 所产生的 m 维诱导有序加权平均算子, 简记为 IOWA

算子, v_i 称为 a_i 的诱导值。其中 $v\text{-index}(i)$ 是 v_1, v_2, \dots, v_m 中从大到的顺序排列的

第 i 个大的数的下标, $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 是 IOWA 的加权向量, 满足

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$$

定义 2 表明 IOWA 算子是对诱导值 v_1, v_2, \dots, v_m 按从大到小的顺序排序后所

对应的 a_1, a_2, \dots, a_m 中的数进行有序加权平均, w_i 与数 a_i 的大小和位置无关, 而

是与其诱导值按从大小排的第 i 个位置所在的位置有关,

利用定义 2 容易证明 IOWA 具有如下性质:

性质 1 单调性 设 (a_1, a_2, \dots, a_m) 和 (c_1, c_2, \dots, c_m) 是两个 m 维向量, 若对任意 i

均有 $a_i \leq c_i$, 则有:

$$IOWA(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) \leq IOWA(\langle v_1, c_1 \rangle, \langle v_2, c_2 \rangle, \dots, \langle v_m, c_m \rangle)$$

性质2 幂等性 设 (a_1, a_2, \dots, a_m) 是一个 m 维向量，若对任意 i 均有 $a_i = a$ ，则有：

$$IOWA(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) = a$$

性质3 介值性 $IOWA$ 算子介于 \min 算子和 \max 算子之间，即：

$$\min_{1 \leq i \leq m} \{a_i\} \leq IOWA(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) \leq \max_{1 \leq i \leq m} \{a_i\}$$

性质4 若加权向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T = (1/m, 1/m, \dots, 1/m)^T$ ，则此时的 $IOWA$ 算子为简单算术平均算子，即：

$$IOWA(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i$$

性质5 若对任意 i 均有 $v_i = a_i, i = 1, 2, \dots, m$ ，则有：

$$IOWA(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) = OWA(a_1, a_2, \dots, a_m)$$

可见 $IOWA$ 算子是一类很广泛的信息融合算子，通常的简单算术平均算子和 OWA 算子均为它的特例。

基于 $IOWA$ 算子的区间组合预测模型构建如下

设某考察对象的指标序列的观测值为 $\{x_t, t = 1, 2, \dots, n\}$ ，现有 m 种可行的单项预测方法对其进行预测，并设第 $i (i = 1, 2, \dots, m)$ 中预测方法的在时刻 t 的预测值为 x_{it} 。现设 $W = ([w_1^l, w_1^u], [w_2^l, w_2^u], \dots, [w_m^l, w_m^u])^T$ 为 m 种单项预测方法所赋予的区间权重向量，且设 $a_i = \frac{w_i^l + w_i^u}{2}, b_i = \frac{w_i^u - w_i^l}{2}$ （定义为区间中点和区间半径，区间的另一种表达方式），则 $\tilde{w}_i = [w_i^l, w_i^u] = [a_i - b_i, a_i + b_i]$ 满足 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 。令

$$\hat{x}(t) = [\hat{a}(t) - \hat{b}(t), \hat{a}(t) + \hat{b}(t)] = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i x_{it} (\tilde{w}_i = [w_i^l, w_i^u]), \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

则 $\hat{x}(t)$ 为 t 时刻区间组合预测值，其期望值为 $\hat{a}(t)$ 。

又令

$$a_{it} = \begin{cases} |x_t - \hat{a}(t)/x_t| & |x_t - \hat{a}(t)/x_t| < 1; \\ 0 & |x_t - \hat{a}(t)/x_t| \geq 1. \end{cases}$$

这里， a_{it} 表示第 i 中预测方法在 t 时刻的预测精度，而 $|x_t - \hat{a}(t)|$ 表示第 i 中预

测方法在 t 时刻的预测期望值与观测值间的差值，由定义 2 容易知道，我们可以将第 i 种预测方法在 t 时刻的预测精度作为诱导值对其进行排序集结。

设 $a - index(it)$ 为第 i 个大的预测精度序列，则

$$IOWA_w(\langle a_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle a_{2t}, x_{2t} \rangle, \dots, \langle a_{mt}, x_{mt} \rangle) = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i x_{a-index(it)} \quad (13)$$

为时刻 t 基于预测精度所产生的 IOWA 算子组合预测值。

我们总是期望预测区间的长度越小越好且实际的观测值总在区间组合预测所获得的区间之内。因此，构建如下的最优化模型

$$\begin{aligned} \min S(\tilde{W}) &= \sum_{t=1}^n \left(x_t - \sum_{i=1}^m a_i x_{a-index(it)} \right)^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j \left(\sum_{t=1}^n x_{a-index(it)} x_{a-index(jt)} \right) \\ s.t. \quad &\begin{cases} \sum_{i=1}^m a_i = 1, \\ \sum_{i=1}^m a_i y_{it} - \sum_{i=1}^m b_i y_{it} \leq y_t; \\ \sum_{i=1}^m a_i y_{it} + \sum_{i=1}^m b_i y_{it} \geq y_t; \\ a_i \geq 0, c_i \geq 0, (i = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

通过上述过程容易发现，通过区间中点和区间半径，我们将基于 IOWA 算子的区间预测转变为基于 IOWA 算子的预测模型^[10]，模型 (14) 即为一个简单的线性规划模型^[11]，可以通过 Lingo, MATLAB 等数学和工程类软件进行简单和快速的求解，不再赘述。

5.1.2 基于 IOWA 算子的区间人口预测模型拟合与比较分析

模型一，考虑人口变化与时间、人口出生率、人口死亡率的关系因素，并且出生率、死亡率均是关于时间 t 的函数。基于附表 1 所搜集的数据通过 MATLAB 拟合得到如下的拟合函数

$$y_t = 503480 + 7790t + 210x_1(t) - 160x_2(t)。$$

$$x_1(t) = 18.128 + 0.119t - 0.267t^2 + 0.000297t^3 (t \in N^*)。$$

$$x_2(t) = 8.649 - 0.00564t - 0.000911t^2 (t \in N^*)$$

这里 t 以 1987 年为基期， $x_1(t)$ 为人口出生率， $x_2(t)$ 为人口死亡率。

模型二，应用 Eviews5.0 拟合得到多项式拟合的人口预测模型为

$$y_t = 497560.4 + 7817.517t - 2.985037t^2 (t \in N^*)。$$

模型三，基于灰数 GM (1, 1) 模型预测

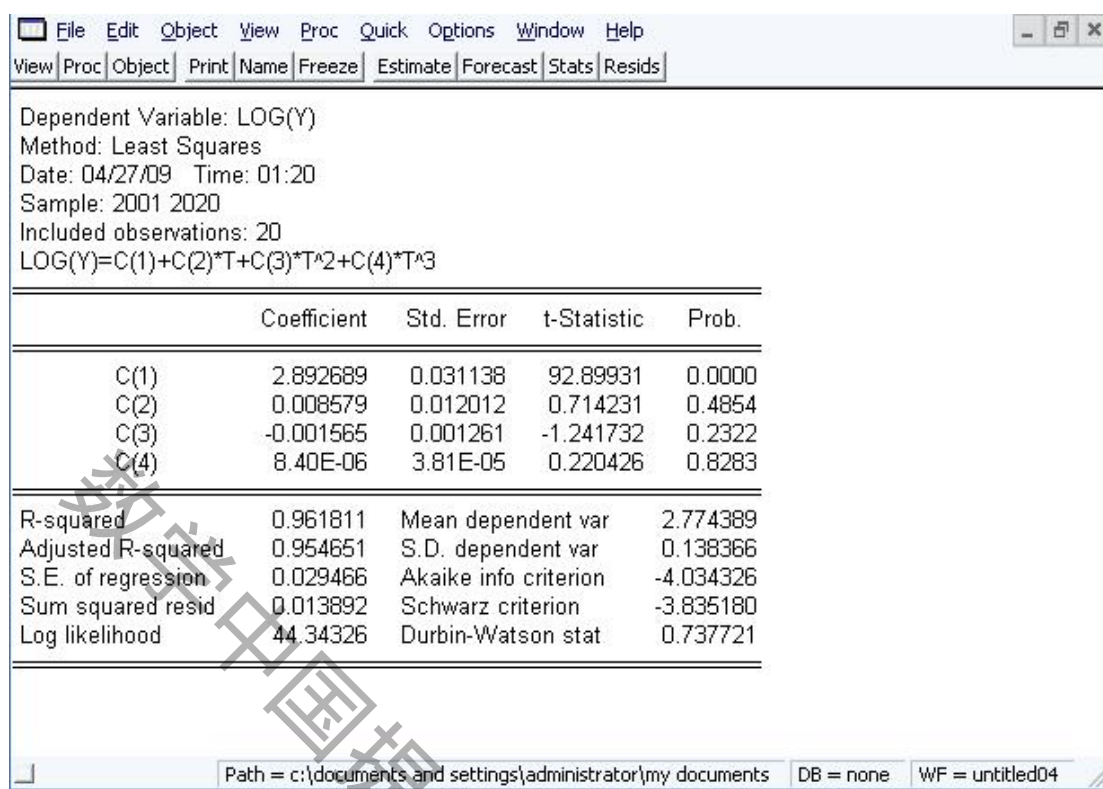


图 3 利用指数回归模型的人口预测模型

$$y_t = 18.09597e^{(0.0000084t^3 - 0.001565t^2 + 0.008579t)} (t \in N^*)。$$

这里时刻 t 均以 1987 年为基期。

由于采用灰数 GM (1, 1) 进行人口预测时, 搜索的数据在计算第三部值时遇到不可逆的情形而无法继续, 因而这里采用指数预测法代替, 但并不是说 GM (1, 1) 模型和残差 GM (1, 1) 模型无法对人口问题进行预测, 这方面的成功应用感兴趣的读者可以参考相关的文献, 至于如何对于这种数据进行修正和计算则将是下一步研究的方向。

三个单项预测方法在未来时刻的预测值如附表 7 所示, 下面即通过附表 7 的数据应用基于 IOWA 算子的区间组合预测模型对未来某个时刻 (这里为预测 2030 年的人口区间值)。

上述三个模型对于 2030 年世界历史人口的预测数据分别为 92.11 亿, 82.82 亿和 91.7 亿人。

下表即是基于上述三个单项预测方法所获得的未来年度世界人口数据

表 3 基于三个单项预测方法的未来时刻人口预测数据 (单位: 亿人)

未来时刻	模型 I	模型 II	模型 III
24 (2010 年)	71.27	67.58	38.45
29 (2015 年)	76.23	71.41	43.56
34 (2020 年)	81.39	75.23	58.85
39 (2025 年)	86.73	79.03	85.23
44 (2030 年)	92.11	82.82	91.7

注: 模型 III 对于长期预测具有较好的效果, 而短期预测则误差较大, 这与其使用数据的方式有关。

5.2 基于 IOWGA 算子的粮食区间组合预测方法

5.2.1 世界粮食产量和消耗量趋势分析

下图 4 是来源于联合国粮农组织关于世界粮食产量和消耗量的历史数据和未来预测值所描绘的折线图。

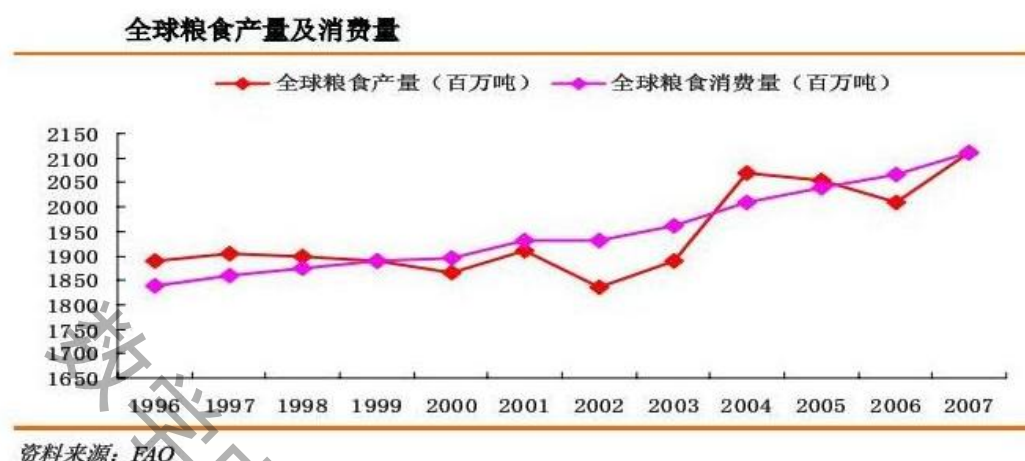


图 4 全球粮食产量及消费量历史和预测值折线图

从图 4 可以看出,全球粮食消费量基本呈一定的线性关系,而粮食的产量具有较大的波动性,这也是合情合理的。由于全球的人口在未来一段时间内将以减缓的速度不断增加,因而粮食的需求量也将随之不断增加,基于此,粮食的需求模型可以用一元线性规划予以拟合。而粮食的产量由于受到粮食主产地经济技术、生态环境、自然灾害等各种因素的影响,因而具有较大的波动性,由图示可以知道,宜采用单因子多项式预测模型。并且由图示还可以看出,全球粮食产量总体小于年度粮食消耗量,因而有必要对粮食安全问题建立合理的预测模型。但是基于题目的要求,我们主要考虑世界粮食需求量的危机预测模型,首先考察截止 2030 年是否对于粮食的需求达到 50%的幅度或者达到该幅度的可能性大小,其次,我们依据附录表 2 和表 3 的数据,考察如附表 4 的世界粮食历年产量与需求量差值的预测模型,并基于此预测模型所获得的结果结合人口预测模型等其他相关参数判断是否在 2030 年产生连环的灾变效应。

模型 VI 基于一元线性回归的粮食消费预测模型^[12]

该类模型假定因变量 Y 主要受自变量 X 的影响,它们之间存在着近似的线性函数关系,即有

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + \mu_t \quad (15)$$

式中 β_1, β_2 为待估参数, Y_t, X_t 为因变量 Y 和自变量 X 的第 t 期观测值, μ_t 为随机误差项。模型的求解和计算在相关文献中均有将为详尽的阐述,以下仅给出应用模型估计总体回归系数的结果,即

$$\hat{\beta}_2 = \frac{n \sum X_t Y_t - \sum X_t \sum Y_t}{n \sum X_t^2 - (\sum X_t)^2} \quad (16)$$

$$\hat{\beta}_1 = \sum Y_t / n - \hat{\beta}_2 \sum X_t / n = \bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X} \quad (17)$$

这里, \bar{X}, \bar{Y} 分别为自变量 X 和因变量 Y 的样本均值。

模型 VII 基于 IOWGA 算子的区间组合粮食需求预测模型

IOWGA 算子与 IOWA 算子类似，我们同样可以通过下面的一些定义和性质得到很好的验证。

定义 3 设 $F_w: R^+ \rightarrow R^+$ 为 m 元函数， $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 是与 F_w 有关的加权向量，

满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$, 若

$$F_w(b_1, b_2, \dots, b_m) = \prod_{i=1}^m l_i^{w_i}$$

其中 l_i 是 b_1, b_2, \dots, b_m 中按从大到小的顺序排列的第 i 个大的数，则称函数 F_w 是 m 维有序加权几何平均算子，简记为 *OWGA* 算子。

定义表明 *OWGA* 算子是对 m 个数 b_1, b_2, \dots, b_m 按从大到小的顺序排序后进行有序加权几何平均的，权数 w_i 与 a_i 无关，而是与 b_1, b_2, \dots, b_m 的按从大小顺序排的第 i 个位置有关。

定义 4 设 $\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle$ 为 m 个二维数组，令：

$$F_w(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) = \prod_{i=1}^m a_{v-index(i)}^{w_i} \quad (18)$$

则称函数 F_w 是由 v_1, v_2, \dots, v_m 所产生的 m 维诱导有序加权几何平均算子，简记为 *IOWGA* 算子， v_i 称为 a_i 的诱导值。其中 $v-index(i)$ 是 v_1, v_2, \dots, v_m 中从大到的顺序排列的第 i 个大的数的下标， $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 是 *IOWGA* 的加权向量，满足

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m。$$

定义 4 表明 *IOWGA* 算子是对诱导值 v_1, v_2, \dots, v_m 按从大到小的顺序排序后所对应的 a_1, a_2, \dots, a_m 中的数进行有序加权几何平均， w_i 与数 a_i 的大小和位置无关，而是与其诱导值按从大小排的第 i 个位置所在的位置有关。通常的简单几何平均算子和 *OWGA* 算子均为它的特例。

基于 IOWGA 算子的区间组合粮食需求预测模型构建如下

设某考察对象的指标序列的观测值为 $\{x_t, t = 1, 2, \dots, n\}$ ，现有 m 种可行的单项预测

方法对其进行预测，并设第 $i(i = 1, 2, \dots, m)$ 中预测方法的在时刻 t 的预测值为 x_{it} 。

现设 $W = ([w_1^l, w_1^u], [w_2^l, w_2^u], \dots, [w_m^l, w_m^u])^T$ 为 m 种单项预测方法所赋予的区间权重

向量，且设 $a_i = \frac{w_i^l + w_i^u}{2}, b_i = \frac{w_i^u - w_i^l}{2}$ （定义为区间中点和区间半径，区间的另一

种表达方式），则 $\tilde{w}_i = [w_i^l, w_i^u] = [a_i - b_i, a_i + b_i]$ 满足 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 。令

$$\hat{x}(t) = [\hat{a}(t) - \hat{b}(t), \hat{a}(t) + \hat{b}(t)] = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i x_{it} (\tilde{w}_i = [w_i^l, w_i^u]), \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

则 $\hat{x}(t)$ 为 t 时刻区间组合预测值，其期望值为 $\hat{a}(t)$ 。

又令

$$p_{it} = \begin{cases} |x_t - \hat{a}(t)/x_t| & |x_t - \hat{a}(t)/x_t| < 1; \\ 0 & |x_t - \hat{a}(t)/x_t| \geq 1. \end{cases}$$

这里， p_{it} 表示第 i 中预测方法在 t 时刻的预测精度，而 $|x_t - \hat{a}(t)|$ 表示第 i 中预测方法在 t 时刻的预测期望值与观测值间的差值，由定义 4 容易知道，我们可以将第 i 种预测方法在 t 时刻的预测精度作为诱导值对其进行排序集结。

设 $p\text{-index}(it)$ 为第 i 个大的预测精度序列，则

$$IOWGA_W(\langle p_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle p_{2t}, x_{2t} \rangle, \dots, \langle p_{mt}, x_{mt} \rangle) = \prod_{i=1}^m x_{p\text{-index}(it)}^{\tilde{w}_i} \quad (20)$$

为时刻 t 基于预测精度所产生的 IOWGA 算子组合预测值。

为求解方便，可取对数误差平方和作为优化准则：

令 $e_{p\text{-index}(it)} = \ln x_t - \ln x_{p\text{-index}(it)}$ ，于是 n 期总的组合预测对数误差平方和 G 为：

$$G = \sum_{t=1}^n (\ln x_t - \ln \prod_{i=1}^m x_{p\text{-index}(it)}^{\tilde{w}_i})^2 = \sum_{t=1}^n (\ln x_t - \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \ln x_{p\text{-index}(it)})^2$$

我们总是期望预测区间的长度越小越好且实际的观测值总在区间组合预测所获得的区间之内。因此，构建如下的最优化模型（21）

$$\min G(\tilde{W}) = \sum_{t=1}^n (\ln x_t - \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \ln x_{p-index(it)})^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j \left(\sum_{t=1}^n e_{p-index(it)} e_{p-index(jt)} \right)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m a_i = 1; \\ \sum_{i=1}^m a_i y_{it} - \sum_{i=1}^m b_i y_{it} \leq y_t; \\ \sum_{i=1}^m a_i y_{it} + \sum_{i=1}^m b_i y_{it} \geq y_t; \\ a_i \geq 0, b_i \geq 0, (i=1, 2, \dots, m) \end{cases}$$

通过上述过程容易发现，通过区间中点和区间半径，我们将基于 IOWGA 算子的区间预测转变为基于 IOWGA 算子的预测模型^[10]，模型 (21) 即为一个简单的线性规划模型^[11]，可以通过 Lingo, MATLAB 等数学和工程类软件进行简单和快速的求解，不再赘述。

5.2.2 基于 IOWGA 算子的粮食需求区间预测模型拟合与比较分析

模型 VI 通过下面的模型可以看出粮食的线性预测模型呈现较大的误差，附表 9 所示的为 Eviews5.0 所拟合的系数情况，可以看出，系数的取值可能性几乎为零，因而这里不采取该种预测方法。

模型 II 基于单因子多项式预测—即粮食与时间 t 的拟合模型

通过附表 10，可以看出，粮食产量与时间 t 呈一种复杂的变化关系，其拟合模型为

$$y_t = 38909.75 + 552.0756t + 104.7101t^2 - 0.912311t^3 + 0.034109t^4, t \in N^*$$

为体现基于 IOWGA 算子（包括 IOWA 和 IOWHA 算子）的区间组合预测效果，现援引文献[16]相关单项预测数据

表 4 各主要单项预测数据

年份	原始值	GM (1, 1)	BGM (1, 1)	GCM (1, 1)	区间预测
1970	50.2	50.2	50.2	50.2	[49.7, 50.2]
1975	57.8	60.5461	60.834	57.8	[57.9, 60.6]
1980	66.4	65.8198	65.9657	66.4	[65.1, 65.8]
1985	71.9	71.5529	71.5303	71.9	[70.8, 71.6]
1990	81.2	77.7853	77.5642	71.2	[77.0, 77.8]
1995	85.4	84.5606	84.1072	85.4	[83.7, 84.6]
2000	90.8	91.926	91.2021	90.8	[90.0, 91.9]
2002	94.9	97.4365	96.4996	94.9	[96.5, 97.4]
2004	102.2	100.7465	99.6768	100.1546	[99.7, 100.7]

解规划问题得到区间值如表 4 最后一列所示，由表 4 可以看出，区间组合预测的结果更有利于预测者做出合理的决策和制定科学的远期规划。

5.2.3 基于数据分析的世界粮食产需预测模型

模型 VIII 基于数据分析的世界粮食产需预测模型

为了能更好的反映世界粮食在未来的供需之间的关系，基于附表 6 所获得的历年世界粮食产量和消耗之间的差额数据，从附图 1 可以看出差异值的整体变化

趋势。应用 Eviews5.0 对其进行拟合有

Dependent Variable: Y				
Method: Least Squares				
Date: 04/27/09 Time: 03:23				
Sample: 2001 2014				
Included observations: 14				
Y=C(1)+C(2)*T+C(3)*T^2+C(4)*T^3				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	53572.46	17263.27	3.103263	0.0112
C(2)	-710.9183	9623.158	-0.073876	0.9426
C(3)	945.4811	1464.592	0.645559	0.5331
C(4)	-57.99513	64.33364	-0.901474	0.3885
R-squared	0.492099	Mean dependent var	71116.79	
Adjusted R-squared	0.339729	S.D. dependent var	14813.26	
S.E. of regression	12036.82	Akaike info criterion	21.86429	
Sum squared resid	1.45E+09	Schwarz criterion	22.04687	
Log likelihood	-149.0500	Durbin-Watson stat	2.241944	

图 5 世界能源产需差异拟合曲线

即拟合的模型为 $y_t = 53572.46 - 710.9183t + 945.4811t^2 - 57.99513t^3$ 。

且这里，时间 t 以 1991 年为基期。

利用 MATLAB 求解得，在 $t = 18.37$ 时该数值可能达到 0，即有可能在 2020 年左右全球一次能源产需达到平衡点，也即可能造成 2020 年以后全球一次能源产量不能够支持世界对于一次能源的需求。

5.3 基于 IOWHA 算子的能源问题区间组合预测模型

模型 IX 基于曲线回归的世界能源需求预测方法

当由观测数据得出的散点图分布不是直线时，可选择适当的曲线拟合，一般通过变量代换可以把曲线回归方程转化为直线回归方程。通过附表 6 所获得的世界主要能源产需历年变化数据和附图 1 对于数据的散点描图可以发现，在现有能源储量（预测储量和实际探明储量）仍较为乐观的前提下，世界各主要能源的年产量随着时间的变化基本呈非线性的关系，因而采用曲线拟合的方法较为适宜。下面给出能源需求预测中常见的曲线回归方程

(1) 指数函数回归模型

回归模型的一般形式为

$$Y = \alpha e^{\beta X} \quad (22)$$

则可对方程两边进行求导操作将 (21) 转化为线性回归模型，即可令 $Y' = \ln Y$ ， $\alpha' = \ln \alpha$ ，因有 $Y' = \alpha' + \beta X$ ，再依据一元线性规划的内容即可获得相应的待估参数值及检验方法，最后返回原模型。

(2) 幂函数回归模型

回归模型的一般形式为

$$Y = \alpha X^\beta \quad (23)$$

类似地，可对方程两边进行求导操作将(22)转化为线性回归模型，即可令 $Y' = \ln Y$, $\alpha' = \ln \alpha$, $X' = \ln X$, 因有 $Y' = \alpha' + \beta X'$, 同样再依据一元线性规划的内容即可获得相应的待估参数值及检验方法，最后返回原模型即可。

模型 X 基于 IOWHA 算子的区间组合世界能源需求预测模型

定义 5 设 $F_w: R^+ \rightarrow R^+$ 为 m 元函数, $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 是与 F_w 有关的加权

向量, 满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$, 若

$$F_w(b_1, b_2, \dots, b_m) = 1 / \sum_{i=1}^m (w_i / l_i)$$

其中 l_i 是 b_1, b_2, \dots, b_m 中按从大到小的顺序排列的第 i 个大的数, 则称函数 F_w 是 m 维有序加权调和平均算子, 简记为 $OWHA$ 算子。

定义 5 表明 $OWHA$ 算子是对 m 个数 b_1, b_2, \dots, b_m 按从大到小的顺序排序后进行有序加权调和平均的, 权数 w_i 与 a_i 无关, 而是与 b_1, b_2, \dots, b_m 的按从大小顺序排的第 i 个位置有关。

定义 6 设 $\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle$ 为 m 个二维数组, $a_i > 0, i = 1, 2, \dots, m$, 令:

$$F_w(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_m, a_m \rangle) = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{a_{v-index(i)}}} \quad (24)$$

则称函数 F_w 是由 v_1, v_2, \dots, v_m 所产生的 m 维诱导有序加权调和平均算子, 简记为 $IOWHA$ 算子, v_i 称为 a_i 的诱导值。其中 $v-index(i)$ 是 v_1, v_2, \dots, v_m 中从大到小的顺序排列的第 i 个大的数的下标, $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 是 $IOWHA$ 的加权向量, 满足

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

定义 6 表明 $IOWGA$ 算子是对诱导值 v_1, v_2, \dots, v_m 按从大到小的顺序排序后所对应的 a_1, a_2, \dots, a_m 中的数进行有序加权调和平均, w_i 与数 a_i 的大小和位置无关,

而是与其诱导值按从大小排的第 i 个位置所在的位置有关。通常的简单调和平均算子和 $IOWHA$ 算子均为它的特例。

基于 $IOWHA$ 算子的区间组合预测模型构建如下

设某考察对象的指标序列的观测值为 $\{x_t, t=1, 2, \dots, n\}$, 现有 m 种可行的单项预测方法对其进行预测, 并设第 $i(i=1, 2, \dots, m)$ 中预测方法的在时刻 t 的预测值为 x_{it} 。

现设 $W = ([w_1^l, w_1^u], [w_2^l, w_2^u], \dots, [w_m^l, w_m^u])^T$ 为 m 种单项预测方法所赋予的区间权重

向量, 且设 $a_i = \frac{w_i^l + w_i^u}{2}, b_i = \frac{w_i^u - w_i^l}{2}$ (定义为区间中点和区间半径, 区间的另一

种表达方式), 则 $\tilde{w}_i = [w_i^l, w_i^u] = [a_i - b_i, a_i + b_i]$ 满足 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 。令

$$\hat{x}(t) = [\hat{a}(t) - \hat{b}(t), \hat{a}(t) + \hat{b}(t)] = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i x_{it} \quad (\tilde{w}_i = [w_i^l, w_i^u]), \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

则 $\hat{x}(t)$ 为 t 时刻区间组合预测值, 其期望值为 $\hat{a}(t)$ 。

又令

$$p_{it} = \begin{cases} |x_t - \hat{a}(t)|/x_t & |x_t - \hat{a}(t)|/x_t < 1; \\ 0 & |x_t - \hat{a}(t)|/x_t \geq 1. \end{cases}$$

这里, p_{it} 表示第 i 中预测方法在 t 时刻的预测精度, 而 $|x_t - \hat{a}(t)|$ 表示第 i 中预测方法在 t 时刻的预测期望值与观测值间的差值, 由定义6容易知道, 我们可以将第 i 种预测方法在 t 时刻的预测精度作为诱导值对其进行排序集结。

设 $p\text{-index}(it)$ 为第 i 个大的预测精度序列, 则

$$IOWHA_W(\langle p_{1t}, x_{1t} \rangle, \langle p_{2t}, x_{2t} \rangle, \dots, \langle p_{mt}, x_{mt} \rangle) = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{\tilde{w}_i}{x_{p\text{-index}(it)}}}$$

为时刻 t 基于预测精度所产生的 $IOWHA$ 算子组合预测值。

令 $e_{p\text{-index}(it)} = \frac{1}{x_t} - \frac{1}{x_{p\text{-index}(it)}}$, 于是 n 期总的组合预测对数误差平方和 F 为:

$$F = \sum_{t=1}^n \left(\sum_{i=1}^m a_i \left(\frac{1}{x_t} - \frac{1}{x_{p\text{-index}(it)}} \right) \right)^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j \left(\sum_{t=1}^n e_{p\text{-index}(it)} e_{p\text{-index}(jt)} \right)$$

我们总是期望预测区间的长度越小越好且实际的观测值总在区间组合预测所获得的区间之内。因此, 构建如下的最优化模型

$$\min F(\tilde{W}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j \left(\sum_{t=1}^n e_{p-\text{index}(it)} e_{p-\text{index}(jt)} \right)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m a_i = 1; \\ \sum_{i=1}^m a_i y_{it} - \sum_{i=1}^m b_i y_{it} \leq y_t; \\ \sum_{i=1}^m a_i y_{it} + \sum_{i=1}^m b_i y_{it} \geq y_t; \\ a_i \geq 0, b_i \geq 0, (i=1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (26)$$

通过上述过程容易发现，通过区间中点和区间半径，我们将基于 IOWGA 算子的区间预测转变为基于 IOWHA 算子的预测模型^[10]，模型 (26) 即为一个简单的线性规划模型^[11]，可以通过 Lingo, MATLAB 等数学和工程类软件进行简单和快速的求解，不再赘述。

5.4 基于非等间隔序列的灰色世界淡水资源需求预测模型

5.4.1 世界淡水资源数据分析

由于淡水资源自身分布不均衡、形态不稳定和可循环性等特殊性质，相对于其他资源其历史数据的搜集和整理相对较难，因而我们只能获得一段时间之内世界淡水资源的总量和基本使用状况，见附表 5，因而寻求一种有效的淡水资源需求预测模型尤为重要。

5.4.2 基于非等间隔序列的区间灰色世界淡水资源需求预测模型

模型 XI 基于非等间隔序列的区间灰色世界淡水资源需求预测方法

GM(1,1) 模型是以等间隔时间为基础的。然而，在实际的情况多是原始数据为非等间隔序列，此时，需要将非等间隔的时间序列转化为等间隔的时间序列，经一次累加后，再近似地拟合成为一阶微分方程，即 GM(1,1) 模型，下面即给出具体的模型构造方法。

设有非等间隔原始序列 $x_i^{(0)}(t) = \{x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(n)\}$ ，

各段时间的实际间隔为 $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i, \Delta t_j = t_{j+1} - t_j$ 且 $i \neq j$ 时有 $\Delta t_i \neq \Delta t_j$ ，这里 $i, j \in \{1, 2, \dots, n-1\}$ ，表示各时段间隔不相等，则其建模步骤如下

step1：求平均时间间隔 $\Delta t_0 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta t_i = \frac{1}{n-1} (t_n - t_1)$ ；

step2：求各时段与平均时段的单位时段差系数 $\mu(t_i) = \frac{t_i - (i-1)\Delta t_0}{\Delta t_0} (i=1 \sim n)$ ；

step3：求各时段总的差值 $\Delta x_1^{(0)}(t_i) = \mu(t_i)[x_1^{(0)}(t_{i+1}) - x_1^{(0)}(t_i)]$ ；

step4：计算等间隔的灰数值 $\otimes_i = x_1^{(0)}(t_i) - \Delta x_1^{(0)}(t_i), i = 1 \sim n$ ；于是，得到等间隔序列为 $\otimes_i x_2^{(0)}(t_i) = \{x_2^{(0)}(1), x_2^{(0)}(2), \dots, x_2^{(0)}(n)\}$ 。

step5：对 $\otimes_i x_2^{(0)}(t_i)$ 建立 $GM(1,1)$ 模型，得到时间响应函数

$$\hat{x}_2^{(1)}(k+1) = \left(x_2^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} + \frac{u}{a} \text{ 或 } \hat{x}_2^{(1)}(k+1) = (-a)\left(x_2^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak};$$

式中 $\hat{x}_2^{(1)}(k+1)$ 表示以平均时间间隔 Δt 为步长的外推预测值。

step6：模型精度检验

将非等间隔序列中的时间 t_i 带入模型中，即 $\hat{x}_1^{(1)}(t) = \left(x_1^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-at/\Delta t} + \frac{u}{a}$

$\hat{x}_1^{(0)}(t) = \hat{x}_1^{(1)}(t) - \hat{x}_1^{(1)}(t - \Delta t_0)$ ，得到还原序列 $\hat{X}_1^{(0)}(t) = \{\hat{x}_1^{(0)}(1), \hat{x}_1^{(0)}(2), \dots, \hat{x}_1^{(0)}(n)\}$ 。

再求残差 $q^{(0)}(t_i) = x_1^{(0)}(t_i) - \hat{x}_1^{(0)}(t_i)$ ，并按后验差检验法对结果做可信度检验。

step7：预测，即将所要预测的时段带入 $\hat{x}_1^{(1)}(t)$ 表达式即可。

5.5 基于灰色灾变预测的世界环境气候问题预测模型

5.5.1 世界环境气候问题影响因素和数据分析

世界环境气候问题是全球性的问题，且由于环境系统的特殊性，其历年的变化只有在一段时期之后才能有相关的环境资源指标例如：人均二氧化碳排放量、臭氧层空洞面积、太阳黑子数、潮汐和其他恶性大范围自然灾害发生频率等数据体现出来，基于现有参考数据无法给出具体的数据，因而这里只给出具体的预测模型。

5.5.2 基于灰色灾变预测的世界环境气候问题预测模型

模型 XII 基于灰色灾变预测的世界环境气候问题预测模型

设有原始数据 $x^{(0)}(i) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ ，若规定一个阈值，规定大于该阈值或小于该阈值的数为异常点，则可以对未来某个时刻异常值出现的时刻进行预测，从而达到灾变预测的目的，其主要机理还是应用 $GM(1, 1)$ 模型。

6 “完美风暴”爆发可能性的系统预测模型

6.1 模型的分析 and 建立

首先，基于历史数据，绘制人口、粮食、能源、淡水资料和环境气候指标的综合数据折线图，并逐个考察人口与粮食、淡水资源、粮食和环境等指标间的关系，拟合人口（关于时间 t 的函数）与粮食、能源、淡水资源和环境指标（均是关于时间 t 的函数）之间的综合函数关系，给出粮食、能源、淡水资源和环境指标等相对于人口变化的弹性，得到其他资源基于人口变化的影响程度。

具体的危机预测模型步骤见下图 5

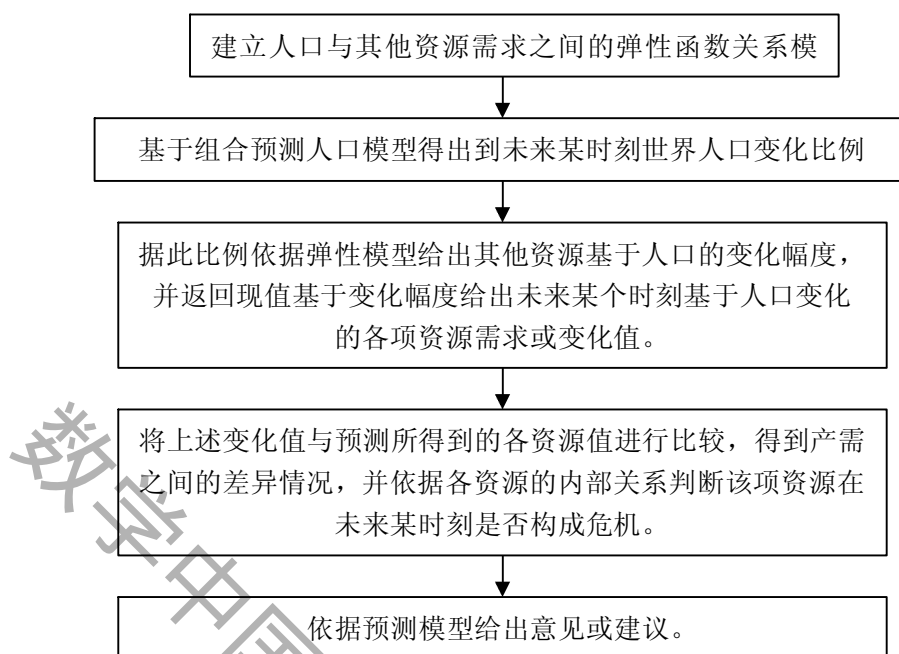


图 5 系统预测模型及方法

首先，给出人口与其他资源的弹性函数关系，即

$$P = AX^\alpha Y^\beta Z^\gamma C^\theta \mu. \quad (27)$$

其中， X 代表全球粮食需求量； Y 代表全球能源年需求量； Z 代表全球淡水资源需求量； C 为全球环境指标， μ 为随机干扰项，而 $A, \alpha, \beta, \gamma, \theta$ 均为参数，且为正数。

模型 (27) 表明，人口没增加一个单位时（例如：以 10 万作为一个单位），其他资源相应的基于人口增量的反应。更为详尽的考虑是这里的 X, Y, Z, C 均为关于时间 t 的函数，模型的拟合可以通过求对数操作转化为一般的多元线性回归模型进行求解。

6.2 模型的解的意义

基于区间组合预测或一般的无偏预测模型，我们可以得到未来时刻 t 的人口数量 y_t ，从而可以得到基于现值 y_0 的人口变化比例值 $\kappa = \frac{y_t}{y_0}$ ，依据 κ 值和模型

(27) 即可判断未来时刻 t 的基于人口增量的各能源需求规模，进而与前面各因素的需求预测进行比较是否会发生资源危机以及发生的大致时刻。

6.3 基于本文搜集数据对于人口、能源需求、和粮食需求的弹性模型

依据数据可建立如下的弹性模型

$$P = 3.93X^{-0.99}Y^{-0.18}, \quad (28)$$

即人口每增加 10 万人，能源需求将增加 0.99 个单位，而粮食需求则增加

0.18 个单位。

这里，数据有效性不高，因而拟合结果存在一定的偏差，但是基于此可以达到模型求解的目的。

7 灵敏度分析^[15]及模型的讨论

对于各个因素的多元线性回归预测模型，需要对其进行必要的灵敏度分析，以考察预测的值与相应参数之间的关系，但是基于区间组合的预测模型，其本身预测的各单项预测方法加权值和预测结果均是以区间数的形式给出，因而在指定区间内变化，预测的最终结果也必将落在给定的预测值区间之内。因而，对于组合预测模型没有给出具体的检验结果和分析，而只是通过与单项预测方法的比较给出相应的一些评价参数。

8 模型的评价、改进与推广

8.1 模型的评价

8.1.1 模型的优点

对于各个子因素的预测，本文列出几类基于不确定情形下或者数据有缺省的情形下的灰色资源需求预测模型，这类预测方法可以排除系统或认为造成的误差，从而对考察对象进行较为有效的预测。另外，为了能更好的描绘各种资源自身所持有的特点，本文对每种资源的单方面需求预测引入多元线性回归预测，不仅可以对未来某个时刻的资源需求量进行有效的预测，而且可以观测到影响该资源需求的主要因素，加深对于模型的理解。

组合预测一直是近年来预测领域的主要研究方向，并且出现了多种多样的组合预测方法，理论和实践证明，组合预测方法较各单项预测方法具有预测误差较好，拟合程度较优等良好的优点。但是，通常基于精确单项预测方法权重组合预测方法很难表述客观统计数据中系统误差和人为误差造成的影响，因而预测的结果不具有柔性，区间组合预测也是近来研究比较广泛的预测方法，它不仅达到组合预测所具有的调节预测精度的效果，而且在可控制的范围内将预测结果以区间数的形式表达出来，因而，决策者可以依据预测的区间结果给出直观的评价。本文将基于有序加权平均算子的组合预测方法扩充到区间值情形，理论上具有很好的可行性。

8.1.2 模型的缺点

由于各种因素的影响，模型具有一定程度上的局限性

(1) 数据来源精度不够。

即使是来源于中华人民共和国国家统计局官方网站上的数据，也因为各个年代或世界不同机构的统计数据差异造成模型所使用的统计数据精度达不到很好的要求，因而对模型预测的结果产生一定的影响；

(2) 基于 OWA 系列的区间组合预测模型运算过程比较麻烦，数据多，运算过程庞大，编程以及程序运行耗时比较多。

(3) 模型复杂因素较多，不能对其进行全面的考虑，造成与实际有一定的不相符之处。

8.2 模型的改进

1. 对因素形式的改进

关于迁移问题对于人口变化的影响，考虑到迁移问题数据的搜索难度较大，本文直接将该因素纳入人口预测模型的子因素考虑，如果在有充分的数据支持的情形下可以对其进行单独的建模考虑，从而使得预测的结果更细致。

2. 对方法种类的改进

在区间组合预测模型中，我们一般只采用了三种或四种单项预测方法，这在一定程度上限制了最后预测结果的精度，可以考虑在实际预测时增加若干种其它有效预测方法，在区间组合预测模型中利用最优化原理对各种单项预测方法进行综合处理，从而提高预测精度。

3. 对不精确数据或非等间隔数据的处理方法上

本文针对此类数据一般采用灰色预测模型中的累加或累减方法对其进行操作以消除其不确定性的影响，实际的建模过程中，还可以考虑用 BP 神经网络或灰色粗糙组合的方法对数据进行处理。

9 政策性建议

- 1 将全球资源看作一个系统，并基于系统的观点对整体进行预测是很有必要的。这样，有利于避免单方面的局限性，更有利于全球协调发展。
- 2 在做好各项预防和资源规划的同时，加大对于各项资源的监控力度，既可以为未来保留现在的数据，也更给后续的研究工作创造良好的资源条件。
- 3 在人口增加的同时，人均能源的消费水平应做适当调整。
- 4 “完美风暴”的发生存在一定的前提，即在各项资源均在变动的同时，各项资源的人均持有量保持在一定的水平上，因而，如何在全球内协同管理以达到 3 中的要求将是一个复杂和长期的工作。

参考文献

- [1] 袁卫，庞皓，曾五一. 统计学[M]. 北京：高等教育出版社，2000；
- [2] 陆璇. 应用统计[M]. 北京：清华大学出版社，1999；
- [3] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京：科学出版社，1991；
- [4] P.R. Yager. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 18(1998):183-190；
- [5] Xingwang Liu. On the properties of equidifferent OWA operator[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2006(43):90-107；
- [6] 陈华友，刘春林，盛昭瀚. IOWHA 算子及其在组合预测中的应用[J]. 中国管理科学，2004，12（5）：35-40；
- [7] 陈华友，刘春林. 基于 IOWA 算子的组合预测方法[J]. 预测，2003. 22（6）：61-65；
- [8] 陈华友，盛昭瀚. 一类基于 IOWGA 算子的组合预测方法[J]. 管理工程学报，2005，19（4）：36-39；
- [9] 陈华友，陈启明，李洪岩. 一类基于 OWA 算子的组合预测模型及其性质[J]. 运筹与管理，2006，15（6）：34-39；

- [10] 陈华友. 组合预测方法有效性理论及其应用[M]. 北京：科学出版社，2008（运筹与管理科学丛书：4）；
- [11] 胡运权. 运筹学教程（第二版）[M]. 北京：清华大学出版社，2003. 5；
- [12] 冯文权. 经济预测与决策技术[M]. 武汉：武汉大学出版社，2002. 3；
- [13] 吴善和. 几何凸函数与琴生不等式[J]. 数学的实践与认识，2004，34（2）：155-163；
- [14] 匡继昌. 常用不等式（第三版）[M]. 山东：山东科学技术出版社，2004. 1；
- [15] 陈华友，运筹学，合肥：中国科学技术大学出版社，2008。
- [16] 田峻山，俞奇勇，张帆. 组合优化的能源消费量预测模型[J]. 研究方法，2007，23（9）；
- [17] 曾五一，肖红叶，统计学导论，北京，科学出版社，2007。
- [18] 谢金星，薛疑，优化建模与LINDO/LINGO软件，北京：清华大学出版社，2005。
- [19] 吴建国，数学建模案例精编，北京：中国水利水电出版社，2005。
- [20] 郭亚军，综合评价理论、方法及应用，北京：科学出版社，2007。
- [21] 张晓峒，EViews使用指南与案例，北京：机械工业出版社，2007。

附录一

附表1 世界人口历年统计数据（单位：万人）

年份	人口数	年份	人口数	年份	人口数
1987	502400	1995	568700	2003	628852
1988	511200	1996	573692	2004	636969
1989	520100	1997	581719	2005	644598
1990	528500	1998	589857	2006	651776
1991	538500	1999	597897	2007	662758
1992	548000	2000	606543	2008	670443
1993	557200	2001	610176		
1994	562980	2002	619973		

注：资料来源：联合国《人口年鉴》1974年、1984年、1992年和1993年；世界银行《发展报告》1995年。

附表1.1 世界人口历年人口出生率和死亡率（单位：%）

年份	出生率	年份	死亡率
1985	18.51	1985	8.8
1986	18.36	1986	8.8
1987	18.22	1987	8.5
1988	18.01	1988	8.6
1989	17.84	1989	8.5
1990	17.75	1990	8.6
1991	17.46	1991	8.6
1992	17.33	1992	8.5
1993	16.98	1993	8.8
1994	17.12	1994	8.7
1995	17.01	1995	8.5
1996	16.98	1996	8.8
1997	16.57	1997	8.9
1998	15.64	1998	8.9
1999	14.64	1999	8.6

2000	14.03	2000	8.9
2001	13.38	2001	8.7
2002	12.86	2002	8.9
2003	12.41	2003	9.2
2004	12.29	2004	8.8
2005	12.16	2005	8.9

注：资料来源：联合国《人口年鉴》1974年、1984年、1992年和1993年；世界银行《发展报告》1995年。

附表 1.2 世界人口结婚率、离婚率和婴儿死亡率（单位：%）

年份	结婚率	年份	离婚率	年份	婴儿死亡率
1989	7.22	1989	1.47	1989	59.9
1990	7.14	1990	1.82	1990	60.6
1991	6.36	1991	1.45	1991	60.5
1992	4.39	1992	1.05	1992	60.8
1993	3.10	1993	1.82	1993	59.9
1994	6.28	1994	1.85	1994	60.3
1995	6.20	1995	2.00	1995	57.4
1996	5.56	1996	2.09	1996	54.5
1997	6.05	1997	2.37	1997	55.5
1998	5.01	1998	1.92	1998	54.5
1999	5.54	1999	1.86	1999	54.3
2000	5.68	2000	1.77	2000	57.6
2001	5.31	2001	1.90	2001	56.1
2002	5.38	2002	1.83	2002	57.2
2003	5.72	2003	2.03	2003	56.8
2004	5.63	2004	2.24	2004	54.1
2005	5.65	2005	2.16	2005	54.1

注：资料来源：联合国《人口年鉴》1974年、1984年、1992年和1993年；世界银行《发展报告》1995年。

附表 2 世界粮食产量历年统计数据（单位：万吨）

年份	粮食产量	年份	粮食产量	年份	粮食产量
1987	40298	1995	46662	2003	43070
1988	39408	1996	50453	2004	46947
1989	40755	1997	49417	2005	48402
1990	44624	1998	51230	2006	49746
1991	43529	1999	50839	2007	50150
1992	44266	2000	46217	2008	52850
1993	45649	2001	45264		
1994	44510	2002	45706		

注：资料来源：联合国《人口年鉴》1974年、1984年、1992年和1993年；世界银行《发展报告》1995年。

附表3 世界粮食需求量历史统计数据（单位：百万吨）

年份	农产品产量 (参照附表2)	总供给	国际贸易	总需求	期末库存
2000	1839.67	2401.88	232.95	1860.16	541.72
2001	1872.01	2408.77	238.57	1899.47	509.30
2002	1810.62	2319.92	233.67	1907.30	412.62
2003	1830.20	2242.83	222.74	1915.42	327.41

注：数据摘编自《中国农产品价格调查年鉴 2004》

附表4 世界粮食历年产量与需求量差额表（单位：百万吨）

年份	产需差额
2000	541.72
2001	509.30
2002	412.62
2003	327.41

附表5 世界淡水资源历年变化统计数据（单位：千立方米）

年份区域	人均淡水资源 总量	年度抽取量		
		占世界水资源总量 的百分比	人均用水量(立方米)(%)	
1970-1994	4899	17.99	3.951	24.05
2000	8649	17.11		
2003	6895	8		
1987-2003		29.6	10	90
2005	6794			

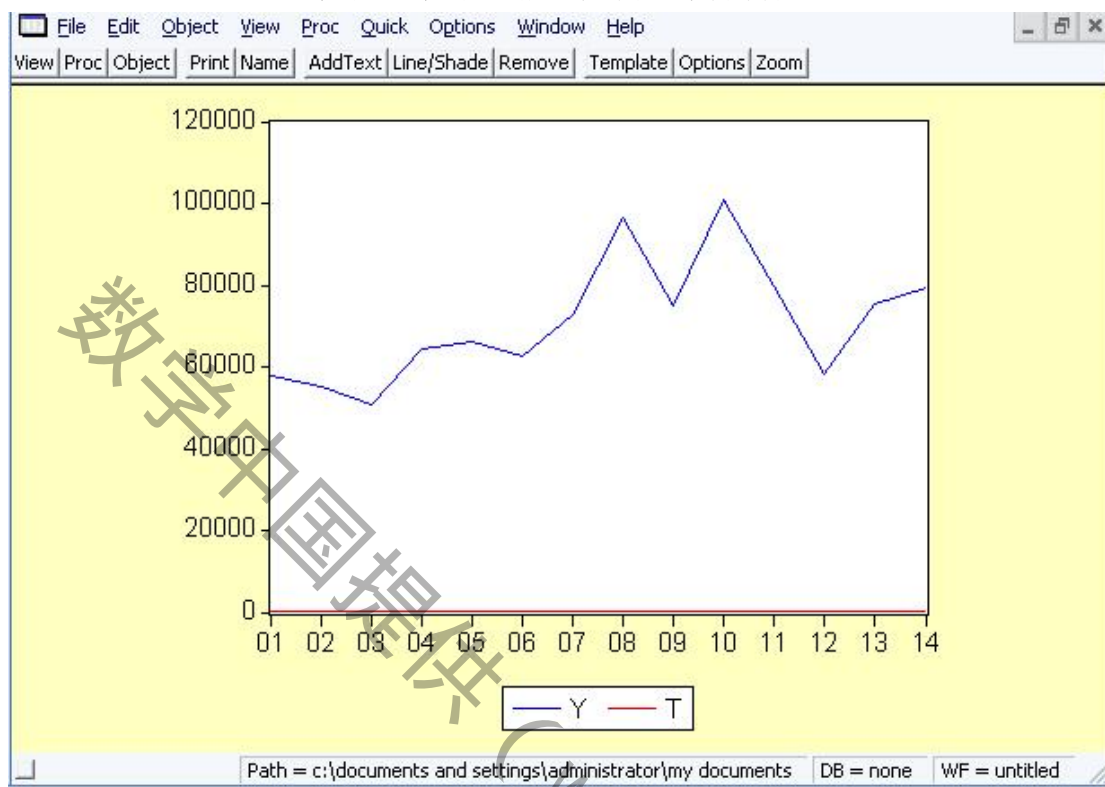
注：以上摘编自《国际统计年鉴》若干年的统计数据，系不完全统计。

附表6 世界能源储量历年变化统计数据（单位：百万吨）

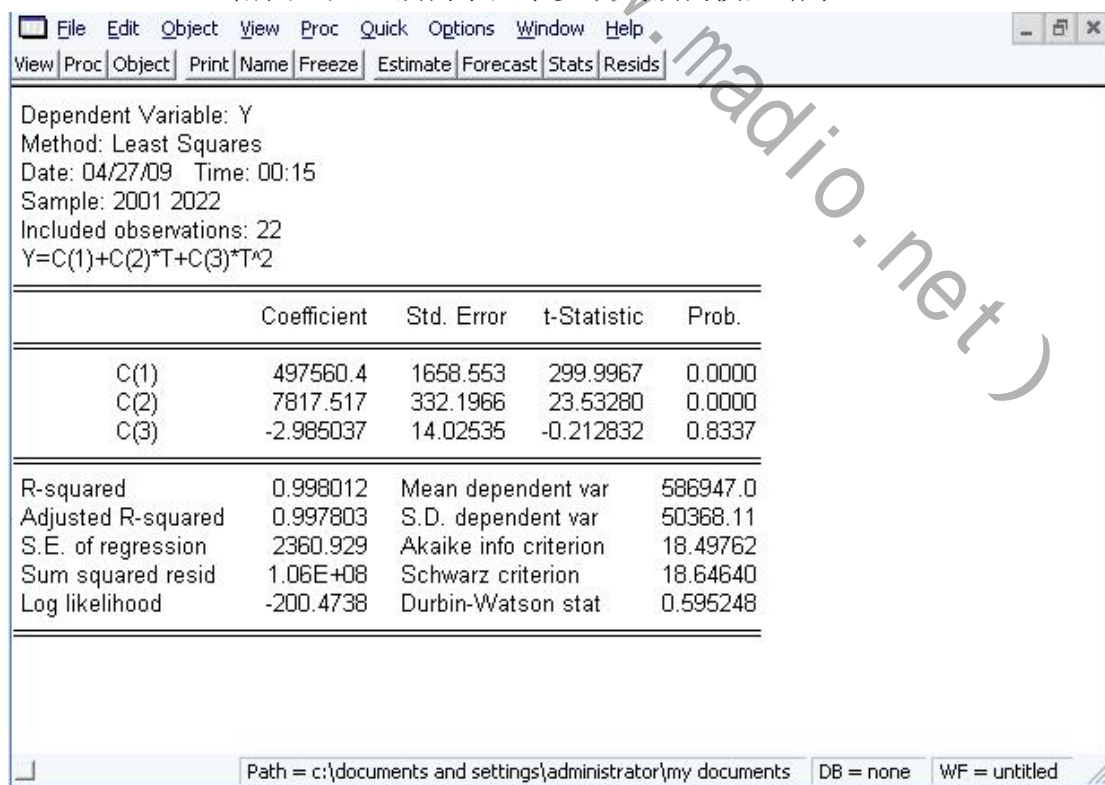
年份	一次能源产量	能源消费量	年份	一次能源产量	能源消费量
1990	1149119		1998	1288974	1192608
1991	1144448	1086462	1999	1270028	1194971
1992	1150243	1095001	2000	1313977	1212988
1993	1152739	1101936	2001	1262910	1183180
1994	1191233	1126820	2002	1271253	1212972
1995	1230562	1164327	2003	1324338	1248988

1996	1261264	1198543	2004	1384878	1305352
1997	1275473	1202537		1288974	1192608

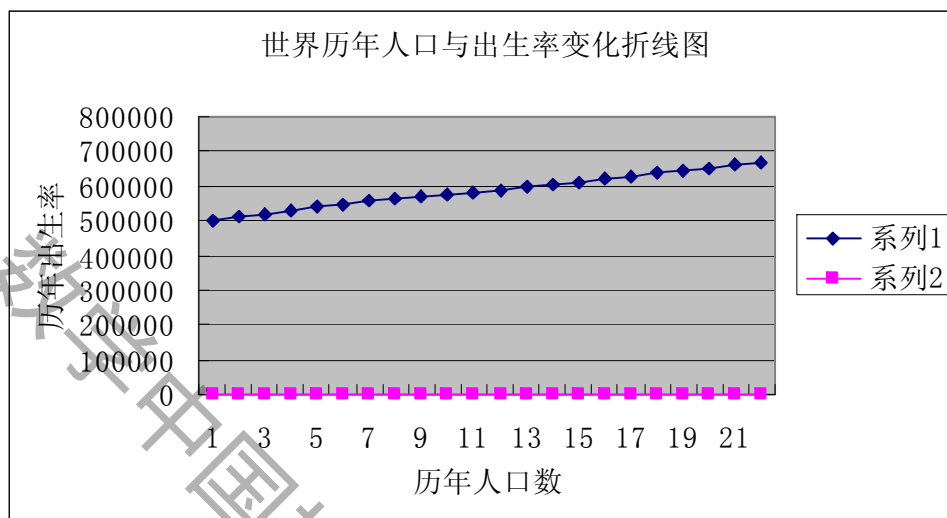
附图 1 附表 6 能源产需差额分析图



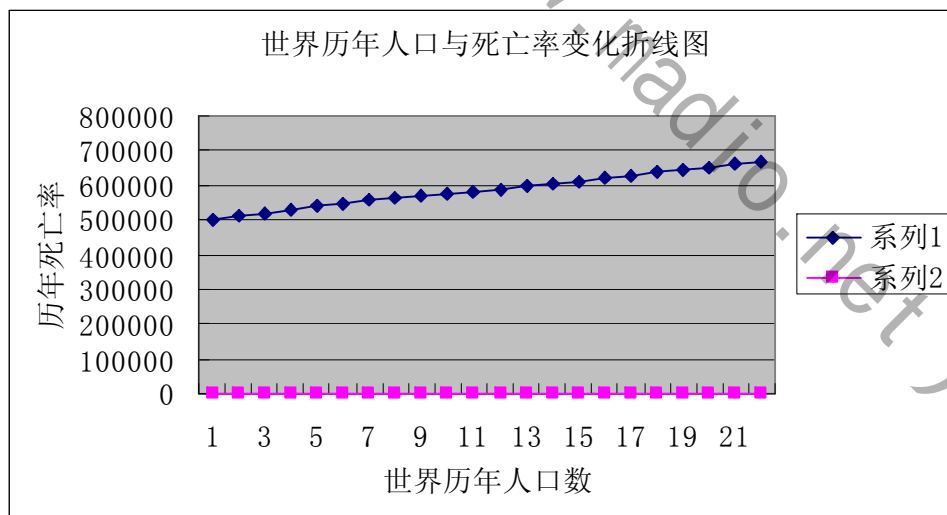
附图 1 人口预测单因子多项式预测模型结果



附图 2 世界历年人口与出生率变化折线图



附图 3 世界历年人口与死亡率变化折线图



附图 4 人口出生率与时间关系

View	Proc	Object	Print	Name	Freeze	Estimate	Forecast	Stats	Resids
Dependent Variable: Y Method: Least Squares Date: 04/27/09 Time: 00:31 Sample: 2001 2020 Included observations: 20 $Y=C(1)+C(2)*T+C(3)*T^2+C(4)*T^3$									
		Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.				
	C(1)	18.12784	0.470813	38.50327	0.0000				
	C(2)	0.119215	0.181627	0.656377	0.5209				
	C(3)	-0.026722	0.019063	-1.401797	0.1801				
	C(4)	0.000297	0.000576	0.515415	0.6133				
R-squared		0.962357	Mean dependent var		16.16950				
Adjusted R-squared		0.955298	S.D. dependent var		2.107239				
S.E. of regression		0.445528	Akaike info criterion		1.397744				
Sum squared resid		3.175927	Schwarz criterion		1.596891				
Log likelihood		-9.977444	Durbin-Watson stat		0.689907				
Path = c:\documents and settings\administrator\my documents DB = none WF = untitled04									

附图 5 人口死亡率与时间的关系

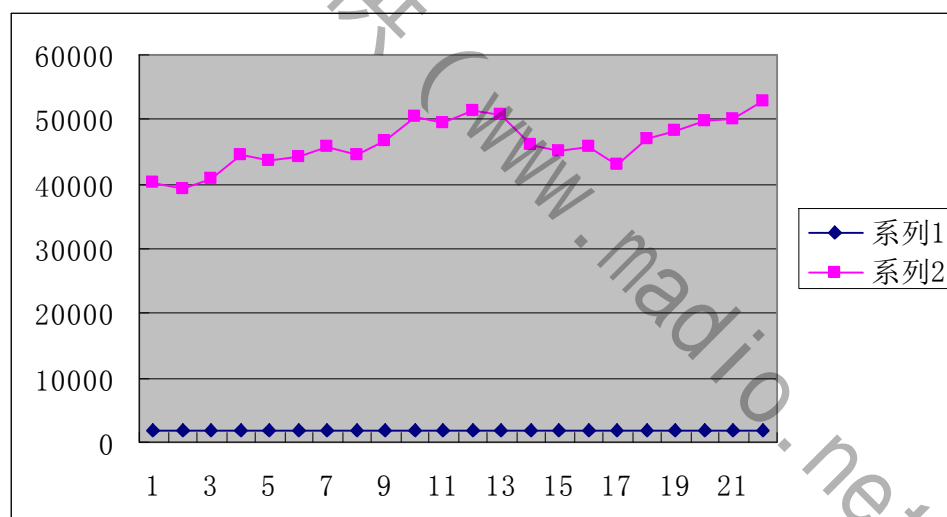
Dependent Variable: Y
Method: Least Squares
Date: 04/27/09 Time: 00:28
Sample: 2001 2022
Included observations: 22
 $Y=C(1)+C(2)*T+C(3)*T^2$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	8.648701	0.107189	80.68624	0.0000
C(2)	-0.005639	0.021469	-0.262676	0.7956
C(3)	0.000911	0.000906	1.004490	0.3278

R-squared	0.342900	Mean dependent var	8.740909
Adjusted R-squared	0.273732	S.D. dependent var	0.179043
S.E. of regression	0.152583	Akaike info criterion	-0.796098
Sum squared resid	0.442348	Schwarz criterion	-0.647319
Log likelihood	11.75707	Durbin-Watson stat	2.040784

Path = c:\documents and settings\administrator\my documents DB = none WF = untitled

附图 6 粮食和时间变化图



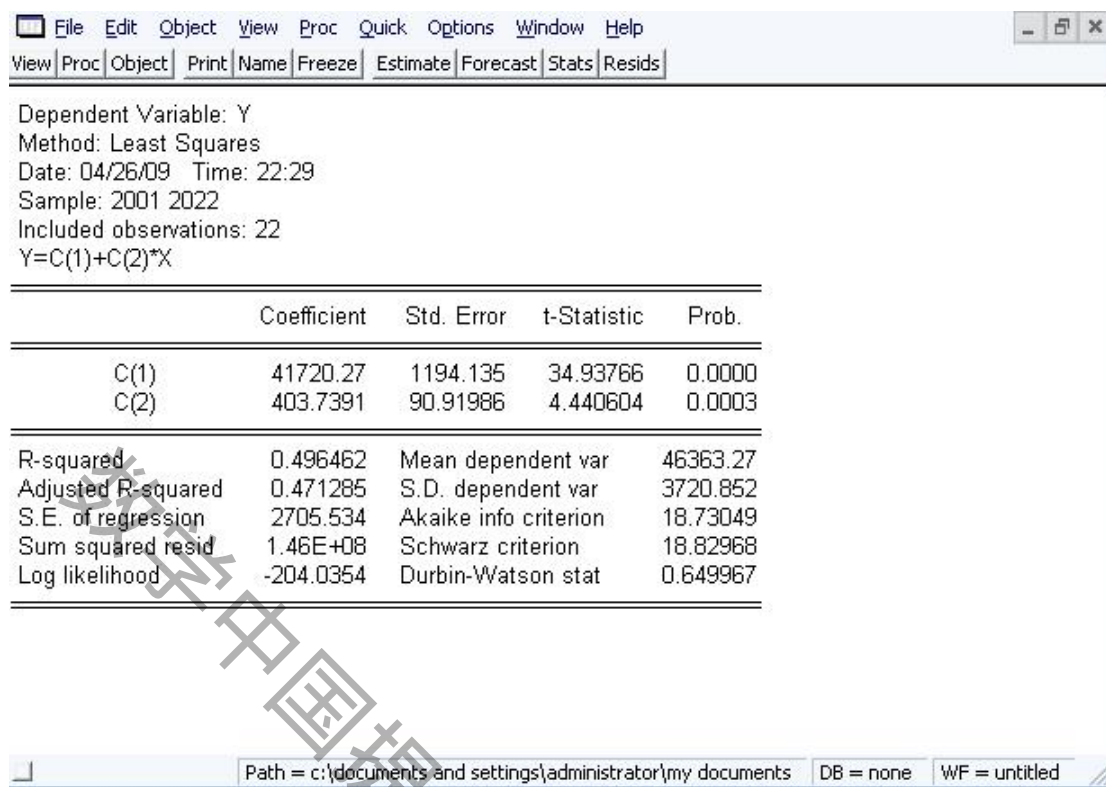
附图 7 粮食单因子多项式预测拟合模型

File Edit Object View Proc Quick Options Window Help				
View Proc Object Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids				
Dependent Variable: Y				
Method: Least Squares				
Date: 04/27/09 Time: 00:38				
Sample: 2001 2022				
Included observations: 22				
$Y=C(1)+C(2)*T+C(3)*T^2+C(4)*T^3+C(5)*T^4+C(6)*T^5$				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	38909.75	2323.371	16.74711	0.0000
C(2)	552.0756	1061.247	0.520214	0.6096
C(3)	104.7101	119.2452	0.878108	0.3921
C(4)	-0.912311	0.438023	-2.082793	0.0527
C(5)	0.034109	0.013922	2.450008	0.0254
R-squared	0.789005	Mean dependent var	46363.27	
Adjusted R-squared	0.739359	S.D. dependent var	3720.852	
S.E. of regression	1899.608	Akaike info criterion	18.13340	
Sum squared resid	61344652	Schwarz criterion	18.38136	
Log likelihood	-194.4674	Durbin-Watson stat	1.377891	
Path = c:\documents and settings\administrator\my documents DB = none WF = untitled				

附图 8 粮食线性预测模型

File Edit Object View Proc Quick Options Window Help				
View Proc Object Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids				
Dependent Variable: Y				
Method: Least Squares				
Date: 04/26/09 Time: 22:29				
Sample: 2001 2022				
Included observations: 22				
$Y=C(1)+C(2)*X$				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	41720.27	1194.135	34.93766	0.0000
C(2)	403.7391	90.91986	4.440604	0.0003
R-squared	0.496462	Mean dependent var	46363.27	
Adjusted R-squared	0.471285	S.D. dependent var	3720.852	
S.E. of regression	2705.534	Akaike info criterion	18.73049	
Sum squared resid	1.46E+08	Schwarz criterion	18.82968	
Log likelihood	-204.0354	Durbin-Watson stat	0.649967	
Path = c:\documents and settings\administrator\my documents DB = none WF = untitled				

附图 9 能源线性预测模型



附图 1 世界能源产需数据变化折线图

