

## 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](http://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：

1054

参赛队员（签名）：

队员 1：荣夫博

队员 2：张宗瑶

队员 3：曾开胜

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：本科组

## 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）：

1054

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 2030 “完美风暴”的预测分析

关 键 词 BP 神经网络 模糊综合判定 主成分分析 可持续发展

## 摘 要：

人类生存环境不断恶化是当今人类所面临的重大问题，研究造成环境恶化的原因具有重要的意义。本文通过对世界人口、能源、粮食、淡水四个方面进行研究分析，对人类现在以及将来的生存状况进行了综合评估。

在问题一中，首先我们通过查找有关数据，并且对相关数据进行预测分析，得出以下结果：到 2030 年，世界人口达到 93 亿，远远超过 83 亿；能源需求量增加 45.09%；粮食需求增加 45.9%；淡水需求量增加 57.7%。结果初步证明了约翰·贝丁顿“完美风暴”观点的正确性。其次，为了构建“完美风暴”的危机预测模型，首要解决的就是人类生存状况这一抽象概念的量化问题，于是我们利用了模糊综合评判方法，对人类生存状况进行了量化，得到了人类生存状况的危机评判标准，即危机评判等级参数。最后，建立 BP 神经网络模型，构建世界人口、能源需求量、粮食需求量和淡水需求量这四个因子与危机评判等级参数之间的关系，并利用 2030 年的四个因子预测值输入到 BP 神经网络，通过神经网络的模拟训练，将得到相应的输出值，即危机评判等级参数，完成了对未来危机状况的预测。我们得到的结果如下：

$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
19.6700	13.6741	15.4244	24.5720	26.9043

从结果可以看到，2030 年的人类生存状况处于非常危险的状态。再一次证明了“完美风暴”的正确性，并且我们预测 2030 年以后的危机评判等级参数，得出随着时间的推移，人类生存环境将会变得更加恶劣。同时，我们也对四个因子采用主成分分析法对其进行分析，结果得出人口问题是引发能源、粮食、淡水问题的主要原因，并且在文中构建了人口与能源、粮食、淡水需求量之间的函数关系。

在问题二中，通过我们构建的模型对“完美风暴”问题的研究与分析，写了一个可持续发展报告，对人口、能源、粮食、淡水这四个问题进行了详细的阐述，并且提出了一些切实可行、非常有价值的解决措施。

参赛队号 1054

所选题目 C 题

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## 目录

一、问题重述.....	2
二、问题分析.....	3
2.1 对问题背景的分析.....	3
2.2 对约翰·贝丁顿观点的论证分析.....	3
2.3 对人口、能源、粮食、淡水之间关系的分析.....	3
2.4 对“完美风暴”危机预测模型的分析.....	3
三、问题假设.....	3
四、符号说明.....	4
五、模型的建立与求解.....	4
5.1 Berta lanffy 人口预测模型.....	4
5.1.1 Logistic 模型的简要介绍.....	4
5.1.2 建立 Berta lanffy 模型.....	4
5.1.3 Berta lanffy 模型求解.....	5
5.2 运用灰色模型预测世界人口.....	8
5.2.1 对灰色模型的一些说明.....	8
5.2.2 灰色模型预测人口的数学原理.....	8
5.2.3 利用灰色模型预测中短期世界人口总量.....	9
5.3 利用自回归模型对粮食需求量进行预测.....	10
5.3.1 自回归模型的建立.....	10
5.3.2 模型的求解.....	11
5.4 基于能源需求时间序列的连续参数小波网络预测模型.....	12
5.4.1 对于连续参数小波网络的一些说明.....	12
5.4.2 构建连续参数小波网络对能源需求进行预测.....	12
5.5 利用二次滑动模型对淡水需求量的预测.....	16
5.5.1 模型的建立.....	16
5.5.2 模型的求解.....	17
5.6 人口、能源、粮食、淡水之间的关系分析.....	17
5.6.1 主成分分析模型.....	17
5.6.2 人口与能源需求、粮食需求、淡水需求关系模型.....	19
5.7 “完美风暴”的危险评估模型.....	20
5.7.1 模型的准备.....	20
5.7.2 生存系统风险的模糊综合评判方法.....	23
5.7.3 模型的求解.....	26
5.8 基于 BP 神经网络的“完美风暴”危险预测模型.....	27
5.8.1 输入输出数据的归一化处理.....	27
5.8.2 输入 / 输出向量设计及网络层数的选取.....	28
5.8.3 BP 网络设计.....	28
5.8.4 学习速率与训练方法的确定.....	28
5.8.5 传输函数的选取.....	28
5.8.6 期望误差的选取.....	29
5.8.6 训练样本的确定.....	29
5.8.7 利用 MATLAB 软件对 BP 神经网络的学习训练.....	29

5.8.8 对 2030 年“完美风暴”进行预测.....	30
六、结果分析与模型检验.....	31
6.1 对能源、粮食、淡水需求量、世界人口预测值的分析.....	31
6.2 对 BP 神经网络的“完美风暴”预测值的分析.....	31
6.3 对 BP 神经网络的稳定性分析.....	32
七、模型的进一步讨论.....	32
7.1 对 BP 神经网络模型的进一步讨论.....	32
7.2 “完美风暴”危险评估模型的进一步讨论.....	33
7.3 对“完美风暴”危险评估模型的影响因子的进一步讨论.....	33
八、可持续发展报告.....	33
8.1 人口问题.....	33
8.2 能源问题.....	34
8.3 粮食问题.....	36
8.4 淡水问题.....	36
九、参考文献.....	37
十、附录.....	38

## 一、问题重述

英国科学家约翰·贝丁顿于3月18日在英国《卫报》发表文章警告称，气候变化和人口增长将导致食品、水和能源短缺，进而引发大规模移民、公共骚乱和国际冲突。如果未来数年内没有充分准备的话，到2030年，世界将面临“完美风暴”，出现大的动荡。贝丁顿说，人口的持续增长将会在未来20年里引发对食品、水和能源的大量需求，与此同时，各国政府还必须应对气候变化。所有这一切都将同时到来。据贝丁顿教授说，再过20多年，全球人口将增加到大约83亿。仅此一点，就意味着全球资源需求将在未来变得更大。贝丁顿博士警告说，资源短缺压力将急剧增加，气候变化将使问题恶化。目前，全球的粮食储存量太小，只有年消费量的14%，一旦发生干旱或者洪灾，粮食就会严重短缺。他说：“我们的粮食储备是50年来最低的，到2030年，我们对粮食的需求会增加50%，同时，我们对能源的需求也会增加50%，淡水的需求会增加30%。”

编者按：人口问题、粮食问题、淡水问题、能源问题、环境气候问题及移民问题这些历年来都是数学建模赛题考察的热点，然而这些问题如果集中在一起将引发不可预想的恶果。正如约翰·贝丁顿所说，如果这些问题集中在一起同时爆发，谁也无法保证不会发生世界范围内的动荡或战争。

问题1：收集上述问题的有效数据论证约翰·贝丁顿的观点，建立危机预测模型，并分析其影响因子之间的关系，根据时间的推移得出最坏的结果或判定“完美风暴”发生的可能性（可建立多个问题子模型，影响因子可根据收集数据的多少作出调整。引用各国数据均以英文单词的第一个大写字母标注国家）。

问题2：针对“完美风暴”发生或不发生，试写一篇可持续发展报告，向社会阐述你的观点，此报告可作为网上公开展示的新闻稿。

## 二、问题分析

### 2.1 对问题背景的分析

如今，由于气候的变化以及人口的迅速增长使得食品、水和能源的短缺，并且人类的生活环境变得更加恶劣，如果长此以往，战乱与国际冲突，将随时可能爆发，人类的生存面临这巨大的挑战。所以，对现在人类生活环境状况的评估是非常具有必要性的，同时对于人口增长、能源、粮食和淡水的需求预测也是很有必要的，因为只有做好了，预测分析工作，才能够对未来的发展趋势由很好的了解，对与制定补救措施具有很大的帮助。

### 2.2 对约翰·贝丁顿观点的论证分析

对于文中约翰·贝丁顿所提到的，人口、能源、粮食和淡水需求量到 2030 年会发生重大变化。为了来论证这一观点的正确性，首先就是搜集相关的数据，然后利用相关的模型对上述四个因子分别进行预测。通过模型所得到的预测值来判定约翰·贝丁顿观点的正确性。

在人口预测中，首先使用 Bertalanffy 模型对 2030 年的人口做大致的估计，因为人口系统具有明显的灰色性，然后使用灰色预测模型对人口进行预测，最后以灰色模型的结果为准。在能源需求量、粮食需求量、淡水需求量的预测中，分别使用在各自领域比较成熟的连续参数小波网络预测模型、自回归模型、二次滑动模型进行数据预测。

### 2.3 对人口、能源、粮食、淡水之间关系的分析

研究人口、能源、粮食、淡水之间关系的意义在于对运用于人类生存危机状况量化处理的模糊综合估计方法中权值矩阵的确定起到关键作用，所以，通过利用主成分分析法可以求出四者之间的相关性，并且通过相关性可以构建四者之间的函数关系。

### 2.4 对“完美风暴”危机预测模型的分析

人类生存环境的危机状况是一个抽象的概念，没有具体数值来表示。那么，对于这种情况，我们必须找到一种方法，使这种危机的状况能够被量化，于是我们选择用风险估计中常用的模糊综合估计方法来对人类生存环境的危机状况进行量化处理，得到一个对危机状况的直观表示方法。

在得到每一年的危机状况的估计量化值（模型中我们称为危险评判等级参数）后，我们可以通过构建世界人口、能源、粮食和淡水需求量这四个因子与所求得的量化值之间的关系，于是利用 BP 神经网络来构建两者之间的输入输出关系，并且通过 BP 神经网络的网络训练模拟功能，可以预测出 2030 年人类生存环境的危机状况，以此进行判断“完美风暴”发生的可能性。

### 三、问题假设

- 1、预测世界人口的模型中，只对世界人口总数量进行分析，忽略城乡人口比例、性别比例、人口老龄化等对世界人口产生影响的因素。
- 2、在 2030 年以前不会爆发战争、自然灾害等突发事件
- 3、在 2030 年以前人类没有发现和利用新能源，以石油、煤等为主要能源
- 4、在 2030 年以前人类没有大规模使用海水淡化技术
- 5、在 2030 年以前人类使用现阶段的农业生产技术进行粮食生产

### 四、符号说明

$RK$  ----世界人口

$NX$  ----能源需求

$LX$  ----粮食需求

$DX$  ----淡水需求

$u_i$  -----危机评判等级参数

（注：以上是本文中的全局变量符号说明，在建模过程中引入的局部变量在论文中局部说明）

### 五、模型的建立与求解

#### 5.1 Bertalanffy 人口预测模型

##### 5.1.1 Logistic 模型的简要介绍

Bertalanffy模型[1]是Logistic模型的推广，下面先简要介绍一下Logistic模型。Logistic模型的表达式为：

$$y_t = \frac{L}{(1 + \mu e^{-At_t})}$$

$$\frac{dy}{dt} = Ay(1 - \frac{y}{L}) \quad (1)$$

其中， $A$ 相当于 $y=0$ 时的增长率，称固有增长率； $y$ 表示极限容量(如在生态学中人口)或饱和水平(描述技术扩散时)； $(1 - \frac{y}{L})$ 体现了对种群增长的阻滞作用。 $\frac{dy}{dt} \sim y$ 是一条抛物线，它表明种群增长率先增大后减小，在 $y = L/2$ 处达到最大值。 $y \sim t$ 是一条S形曲线，拐点在 $y = L/2$ 处，当 $t \rightarrow \infty$ 时 $y \rightarrow L$ 。

### 5.1.2 建立 Bertalanffy 模型

对该模型进行扩展，即

$$\frac{dy}{dt} = by(1 - (\frac{y}{L})^\lambda) / \lambda \quad (2)$$

其中，式（2）将式（1）中阻尾项  $\frac{-by^2}{L}$  化作  $-b(\frac{y}{L})^\lambda$ ，并作  $\frac{1}{\lambda}$  的伸展。

由上可见，Bertalanffy模型是Logistic的推广，引入的伸缩因子  $\lambda$  使模型具有较好的灵活性，但其参数估计自然要比Logistic模型要复杂些。下面就用Bertalanffy模型对中国未来人口增长进行预测。

对式（2）作变形，得

$$\frac{d(\frac{y}{L})^\lambda}{dt} = A(\frac{y}{L})^\lambda [1 - (\frac{y}{L})^\lambda], \quad \text{令 } \mu = (\frac{L}{y_0})^\lambda - 1, \quad \text{从而得到}$$

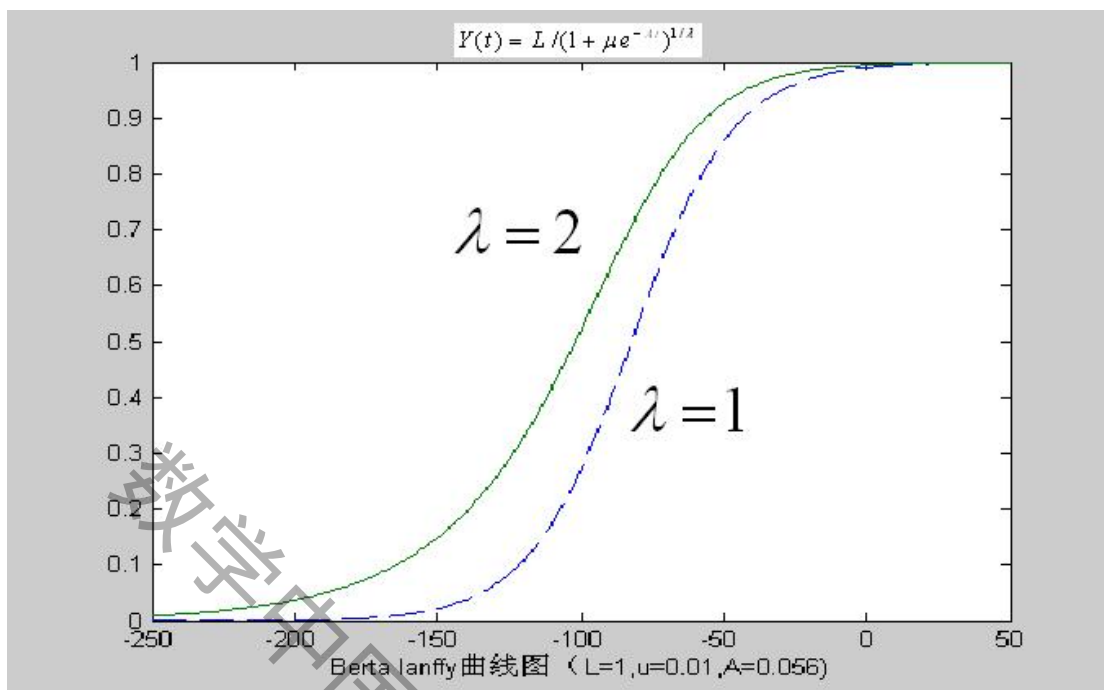
$$y(t) = \frac{L}{[1 + \mu e^{-At}]^{\frac{1}{\lambda}}}, \quad \text{对比（1）式，不难发现，Bertalanffy模型可以看作是进行尺度}$$

变换  $Y = (\frac{y}{L})^\lambda$  后，以Y为响应变量，其增长上限为1的Logistic模型。

### 5.1.3 Bertalanffy 模型求解

典型的Logistic图形常用来拟合人口变化情况，其图像为“S”型。对于Bertalanffy公式，当  $\mu, A, L, \lambda$  皆为常数。下图中显示当  $L=1, \mu=0.01, A=0.056$  时，其图像大致走向为如下所示：





以1970-2006世界统计人口[4]为基础，可以通过最小二乘拟合确定常数 $\mu, A, L, \lambda$ ，其过程如下：

令  $y_i = \frac{L}{(1 + \mu e^{-At_i})^{\frac{1}{\lambda}}} + \varepsilon_i, (i=1, 2, 3, \dots)$ ，拟合残差平方得到：

$S(L, \mu, A, \lambda) = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2 = (y_i - \frac{L}{(1 + \mu e^{-At_i})^{\frac{1}{\lambda}}})^2$ ，根据最大似然准则，可知当：

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial A} = 2 \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \left[ \frac{-L \ln t_i \mu e^{-At_i}}{\phi(1 + \mu e^{-At_i})^{\frac{1}{\lambda}+1}} \right] = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \mu} = 2 \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \left[ \frac{-1}{\phi(1 + \mu e^{-bt_i})^{\frac{1}{\lambda}+1}} \right] = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \lambda} = 2 \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \left[ \frac{-L \ln(1 + \mu e^{-At_i})}{\phi(1 + \mu e^{-bt_i})^{\frac{1}{\lambda}+1}} \right] = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial L} = 2 \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \left[ \frac{-L e^{-At_i}}{(1 + \mu e^{-bt_i})^{\frac{1}{\lambda}}} \right] = 0, \end{cases}$$

根据上述数学原理，使用麦夸特法(Levenberg-Marquardt) + 通用全局优化法，利用1stopt1.5进行曲线拟合，得到如下结果：

表5.1.1 Berta lanffy模型预测世界人口结果

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
人口数量	662510	672197	678597	684951	691258	697518	706817	712955	719044	725083	734046	739959
年份	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
人口数量	745820	751629	760246	765925	771552	777126	782648	790830	796219	801554	806837	814660

图5.1.1 Berta lanffy模型拟合图像

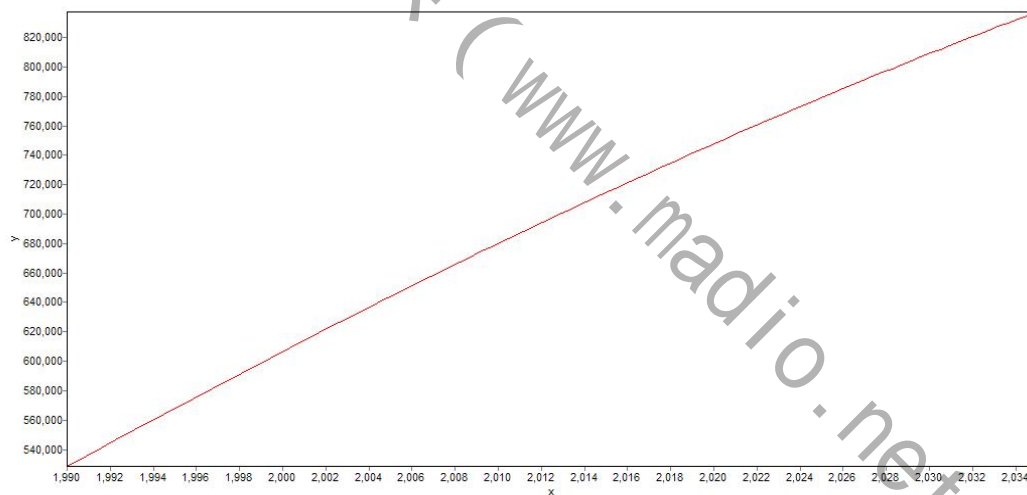


图5.1.2 Berta lanffy模型残差柱图

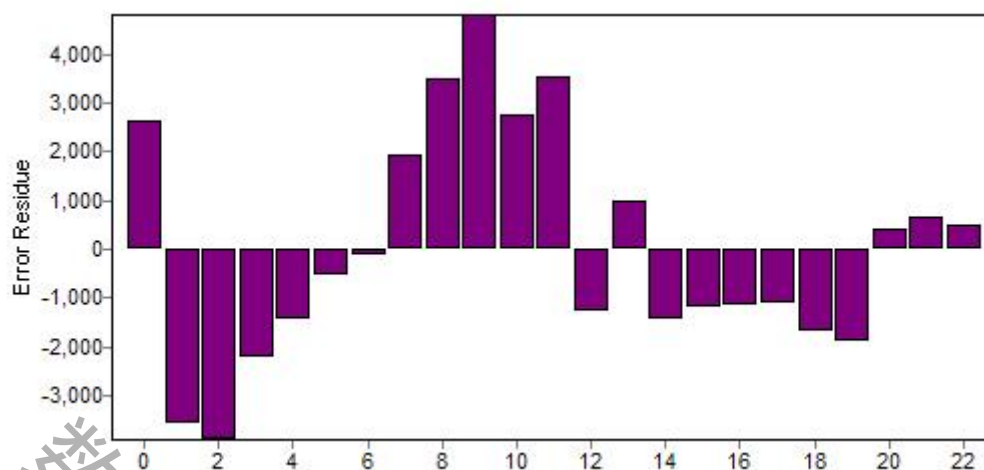


表5.1.2 Berta lanffy公式拟合结果

均方差(RMSE)	1338.51018709623
残差平方和(SSE)	117535938.435673
相关系数(R):	0.999423312474939
相关系数之平方(R^2)	0.998846957518379
决定系数(DC)	0.998846927486589
卡方系数(Chi-Square)	113.054950515086
F统计(F-Statistic)	18191.6854254934

上述结果可见，拟合效果较好。最终得到人口随年份增长的函数关系式为：

$$y(t) = \frac{1192754.35097525}{[1 + -3082718.44420143e^{0.0185147312855329t}]^{\frac{1}{-3.77719248563575E-10}}}$$

## 5.2 运用灰色模型预测世界人口

### 5.2.1 对灰色模型的一些说明

影响人口增长的因素有社会、经济、自然、环境、科学技术等众多因素（如下图所示），且这些因素之间的结构关系难以准确描述，它们对人口增长的作用更是无法精确计算。多数因素都在动态变化之中，其运行机制和变化规律难以完全明白，这反映了人口系统具有明显的灰色性。灰色系统模型在不要求大数据样本的前提下，依照现实信息有限的原则，不必拼凑数据不准，关系不清、变化不明的参数，而是从自身的时间序列中寻

找有用信息建立模型，发现和认识内在规律，并进行预测。

### 5.2.2 灰色模型预测人口的数学原理

灰色预测建模[2]是以灰色模块概念为基础的，对于给定的2001-2005人口[4]原始数据列的处理步骤如下：

灰色预测讲求灰色量序列长度的适度原则。

Step 1: 对数据序列  $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3) \dots x^{(0)}(N)\}$  作一次累加生成，得到

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3) \dots x^{(1)}(N)\}, \text{ 其中 } x^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t x^{(0)}(k)$$

Step 2: 构造累加矩阵B与常数项向量与常数项向量  $Y_N$ ，即

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(N-1) + x^{(1)}(N)) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y_N = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3) \dots x^{(1)}(N)]^T$$

Step 3: 利用最小二乘法解灰参数  $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$

Step 4: 把灰色参数带入时间函数

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a}$$

Step 5: 由  $\hat{X}^{(1)}$  求导还原，建立 GM(1,1)

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = -a(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at}$$

Step 6: 计算  $x^{(0)}(t)$  与  $\hat{x}^{(0)}(t)$  之差  $\varepsilon^{(0)}(t)$  与相对误差  $e(t)$  如下：

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

$$e(t) = \varepsilon^{(1)}(t) / x^{(0)}(t)$$

Step 7: 模型诊断与应用进行预报

必须通过模型诊断对模型的可靠性进行分析，现计算观察数据离差

$$S_1^2 = \sum_{t=1}^n (x^{(0)}(t) - \bar{x}^{(0)}(t))^2$$

残差的离差  $S_2$

$$S_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} (q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}(t))^2$$

再验算后验方差比

$$c = \frac{S_1}{S_2}$$

及小误差概率

$$p = \left\{ \left| q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}(t) \right| < 0.6745 S_1 \right\}$$

根据后验比可以进行模型判断。

### 5.2.3 利用灰色模型预测中短期世界人口总量

运用灰色动态GM(1,1)模型，对世界人口建立不同序列长度的灰色预测模型，需要从中选择最佳灰色预测模型长度。通过选择几组不同长度的原始数据列进行计算，进行回代检验、误差分析比较，拟选择1996-2006年的人口[4]统计数据作为最佳长度进行中短期人口的预测。

下面为具体计算的结果：

表5.2 灰色模型预测世界人口数量（单位：万人）

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
人口数量	665231	675026	684966	695052	705286	715671	726209	736903	747753	758764	769936	781273
年份	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
人口数量	792777	804451	816296	828316	840513	852889	865448	878191	891122	904244	917559	931070

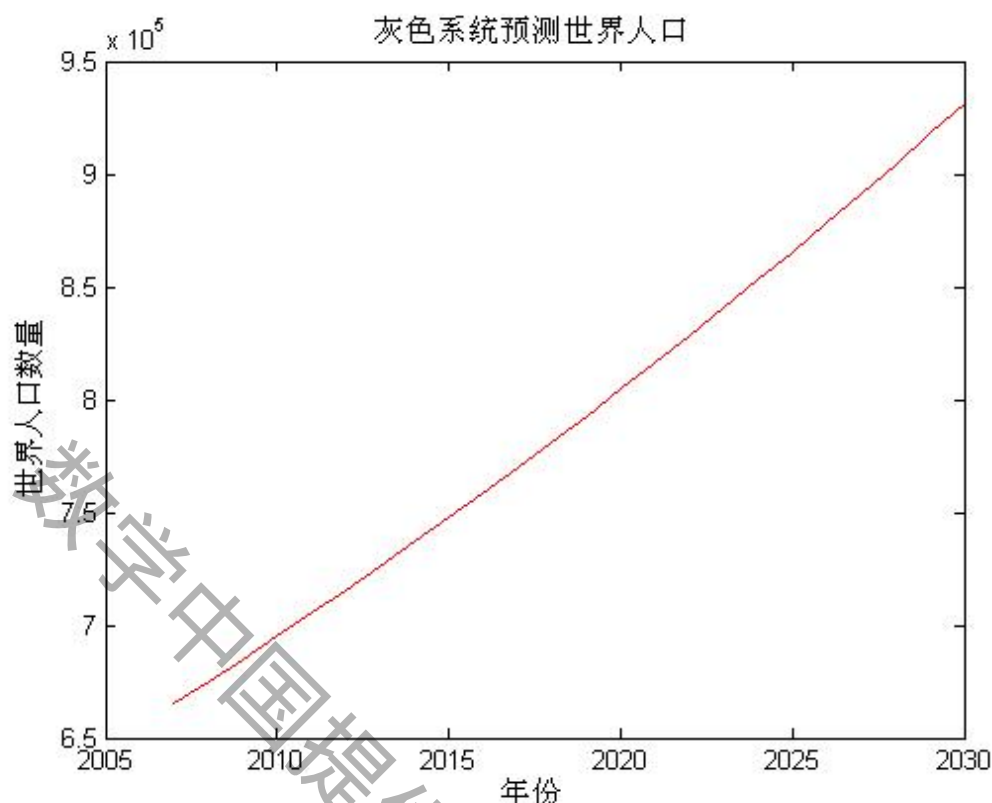


图 5.2 灰色模型拟合图像

### 5.3 利用自回归模型对粮食需求量进行预测

#### 5.3.1 自回归模型的建立

首先，利用反双曲正弦线将数据列  $\{x_k\}$  的部分和数据列  $\{S_k\}$  变换为更光滑的数据列  $\{H_k\}$  ( $H_k = \ln(S_k + S_k^2 + 1)$ )；其次，对数据列  $\{H_k\}$  建立线性自回归预测模型

$\hat{H}_t = \hat{a}H_{t-1} + \hat{\beta}$ ，则：

$$\hat{a} = \frac{(n-1) \sum_{i=2}^n H_{i-1} H_i - \sum_{i=2}^n H_{i-1} \sum_{i=2}^n H_i}{(n-1) \sum_{i=2}^n H_{i-1}^2 - (\sum_{i=2}^n H_{i-1})^2}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=2}^n H_i - \hat{a} \sum_{i=2}^n H_{i-1}}{n-1}$$

预测出  $\hat{H}_k (2, \dots, n+1)$ ；最后，利用反双曲正弦函数变换  $H_k = \ln(S_k + S_k^2)$  的逆变换

得到  $\hat{S}_k = \frac{e^{\hat{H}_k} - e^{-\hat{H}_k}}{2} (k = 2, \dots, n+1)$ , 求出  $\hat{x}_{n+1} = \hat{S}_{n+1} - \hat{S}_n$ 。

### 5.3.2 模型的求解

根据上述公式, 以 1987~2004 年的世界粮食需求量[4]为样本利用 1stopt 软件对粮食需求量进行预测, 得到结果如下:

表 5.3.1 自回归模型对世界粮食需求的预测结果 (单位: 万吨)

年份	2026	2027	2028	2029	2030
粮食需求量	20672	21786	22881	23996	25944

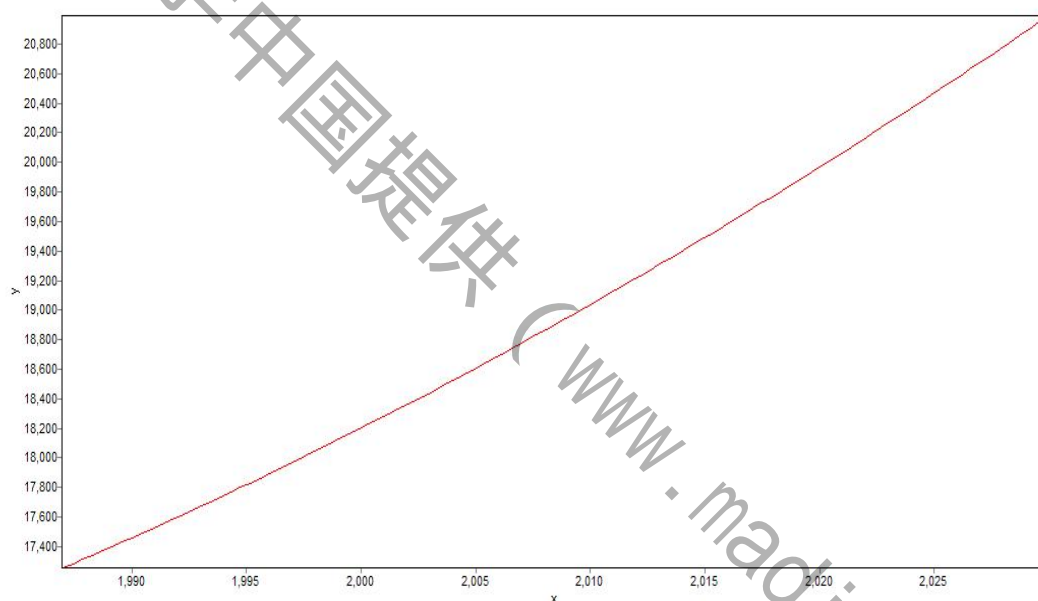


图 5.3 自回归模型拟合曲线

表 5.3.2 自回归模型拟合结果

均方差(RMSE)	75.1722532315533
残差平方和(SSE)	124319.088429993
相关系数(R)	0.988229122451591
相关系数之平方(R^2)	0.976596798461443
决定系数(DC)	0.976596798461442
卡方系数(Chi-Square)	3.67460454961862
F 统计(F-Statistic)	834.583932332907

## 5.4 基于能源需求时间序列的连续参数小波网络预测模型

### 5.4.1 对于连续参数小波网络的一些说明

为了建立小波神经网络能源需求预测模型，我们首先介绍小波和小波变换的概念，我们称满足条件  $\int_{-\infty}^{+\infty} |\varphi(W)|^2 |W|^{-1} dW < +\infty$  平方可积函数  $\varphi(t) \in L^2(R)$  为基本小波或母小

波，其中  $\hat{\varphi}(W)$  为  $\varphi(t)$  的傅里叶变换，令  $\varphi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ，其中  $a, b$  为实数且其  $a \neq 0$ ，将  $\varphi_{a,b}(t)$  称为由母小波  $\varphi$  生成的依赖于参数  $a, b$  的连续小波。

对任意的函数  $f(t) \in L^2(R)$ ，其连续小波可变换成：

$$W_f(a, b) \leq f, \varphi_{ab} \geq \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

其中  $a, b$  分别称为  $\varphi_{a,b}(t)$  的收缩因子和平移因子，对与函数  $f(t)$ ，其局部结构的分辨可以通过调节参数  $a, b$ ，即调节小波基窗口大小和位置来实现，与傅里叶分析类似，基于小波变换的小波分析同样是将信号函数分解成小波基，以此构成级数来逼近信号函数，不同的是小波基是通过平移和伸缩构成的，具有良好的局部化性质，依据小波理论可达到最佳的函数逼近能力。

### 5.4.2 构建连续参数小波网络对能源需求进行预测

连续参数小波网络是基于小波分析二构成的具有神经网络思想的模型，即用连续小波基函数取代了通常的神经网络中的非线性 Sigmoid 函数，对于能源需求量组成非线性时间序列，可以通过用所选取的非线性小波基进行线性叠加来实现，也就是用小波级数的有限项来逼近人口时间序列函数。

#### 5.4.2.1 模型的构建

如果小波函数系  $\left\{ \varphi\left(\frac{t-b_k}{a_k}\right) : k \in Z \right\}$  满足框架条件，即存在两个常数  $c_{\min} > 0$  和

$c_{\max} < \infty$ ，使得对任意的函数  $f(t) \in L^2(R)$ ，下列不等式成立。

$$c_{\min} \|f\|^2 \leq \sum_k \left| \langle \varphi, f \rangle \right|^2 \leq c_{\max} \|f\|^2 \quad (2)$$

小波函数系  $\left\{ \varphi\left(\frac{t-b_k}{a_k}\right) : k \in Z \right\}$  在  $L^2(R)$  空间是稠密的。因此能源需求量时间序列



函数  $f(t)$  可用连续小波基进行拟合：

$$g(t) = \sum_{k=1}^N W_k \varphi\left(\frac{t-b_k}{a_k}\right) \quad (3)$$

其中  $g(t)$  为能源需求量时间序列  $f(t)$  的预测值序列， $W_k$ 、 $a_k$ 、 $b_k$  分别为权系数、小波基的伸缩因子、平移因子， $N$  为小波基的个数，公式 (3) 的逼近问题可选用连续参数小波网络来实现。图 5.3 给出了连续参数小波网络结构，网络为单隐层结构，仅含有一个输入和一个输出节点。

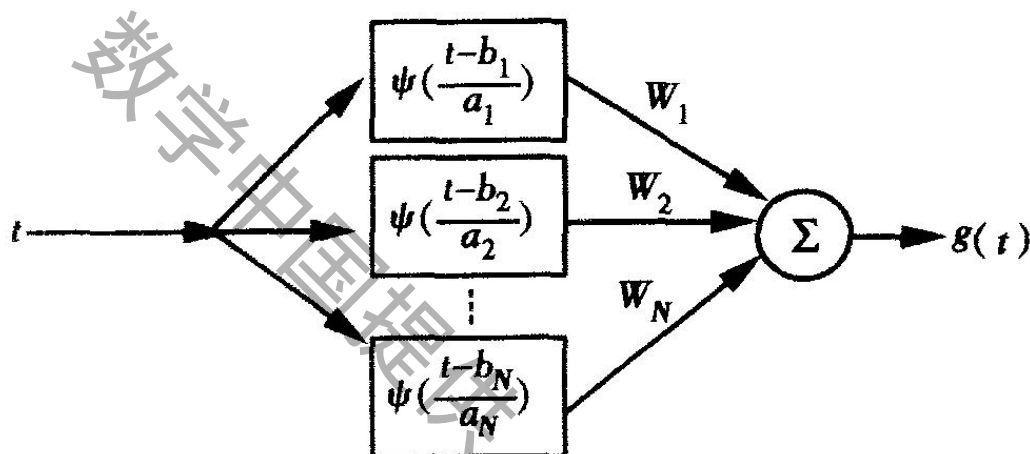


图 5.3 连续参数小波网络结构

#### 5.4.2.2 小波函数的确定

我们的目的是确定网络参数  $W_k$ 、 $a_k$ 、 $b_k$  可通过最小均方误差能量函数进行优化：

$$E = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N [f(t) - g(t)]^2 \quad (4)$$

其中  $N$  为数据采样总数，公式 (3) 中的小波函数可采用国外较多使用的 MORLET 母小波，该小波是余弦调制的高斯波  $\varphi(t) = \cos(1.75t) \exp(-t^2/2)$ 。为了书写方便，令

$t' = \frac{t-b_k}{a_k}$ ，将公式 (3) 带入公式 (4)，则公式 (4) 中  $E$  的梯度可分别表示为：

$$g(W_k) = \frac{\partial E}{\partial W_k} = - \sum_{t=1}^N [f(t) - g(t)] \cdot \cos(1.75t') \cdot \exp\left(-\frac{t'^2}{2}\right)$$

$$g(b_k) = \frac{\partial E}{\partial b_k} = - \sum_{t=1}^N [f(t) - g(t)] W_k \left[ 1.75 \sin(1.75t') \exp\left(-\frac{t'^2}{2}\right) \cdot \frac{1}{a_k} + \cos(1.75t') \cdot \exp\left(-\frac{t'^2}{2}\right) \cdot \frac{t'}{a_k} \right]$$

$$g(a_k) = \frac{\partial E}{\partial a_k} = - \sum_{t=1}^N [f(t) - g(t)] W_k \cdot [1.75 \sin(1.75t') \cdot \frac{t'}{a_k} + \cos(1.75t') \cdot \exp\left(-\frac{t'^2}{2}\right) \cdot \frac{t'^2}{a_k}] = t' g(b_k) \quad (7)$$

采用共轭梯度法优化网络参数  $W_k$ 、 $a_k$ 、 $b_k$ ，分别令向量： $\vec{W} = (W_1, W_2, \dots, W_k)$ ， $\vec{g}(\vec{W}) = (g(W_1), g(W_2), \dots, g(W_k))$ ， $\vec{S}(\vec{W})_i$  为  $\vec{W}$  第  $i$  次循环搜索方向，它是  $W$  的函数，则：

$$\vec{S}(\vec{W}) = \begin{cases} -\vec{g}(\vec{W})_i \\ -\vec{g}(\vec{W})_i + \frac{\vec{g}(\vec{W})_i [-\vec{g}(\vec{W})_i]^T}{\vec{g}(\vec{W})_{i-1} [-\vec{g}(\vec{W})_{i-1}]^T} \vec{S}(\vec{W})_{i-1} \end{cases} \quad (8)$$

权重向量按下式调节：

$$\vec{W}_{i+1} = \vec{W}_i + a_{w_i} \vec{S}(\vec{W})_i \quad (9)$$

第一步是计算第  $i$  此迭代的以搜索方向  $S$ ；第二步则用变步长  $a_w$  计算的权值矢量，对每一步迭代，计算步长的选择由两种方式：变步长和固定步长。

在此采用一维搜索变步长法计算最佳步长  $a_w$ ，每次循环时，按公式 (8) 和 (9) 分别调节网络参数向量  $W$ ，直至收敛与某一确定值或循环结束为止，对参数  $a_k$ 、 $b_k$  的训练，只要把公式 (8) 与 (9) 中的  $W$  换为  $a_k$ 、 $b_k$  之后，即可按同样方式调整。

#### 5.4.2.3 对隐层小波元的确定

本文中我们将选择 1996~2006 年世界能源需求量[4]为样本对未来 24 年进行预测，模型中我们将隐层小波元选为 10 个。

#### 5.4.2.4 模型的求解

根据上述模型提供的算法，利用 MATLAB 编程得到权值矩阵  $W$  如下：

$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$W_8$	$W_9$	$W_{10}$
32452	27965	86431	54744	87076	47672	68965	32954	79645	76543

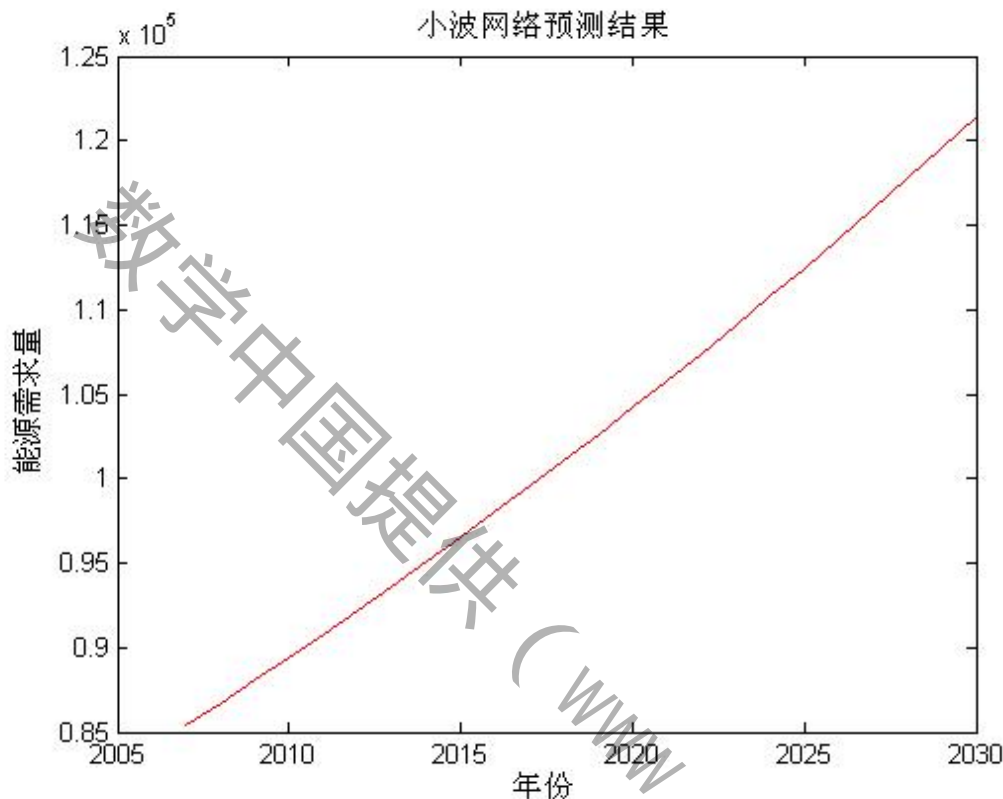
其中  $a_k = 0.23532$ ， $b_k = 0.623782$

得到  $W_k$ 、 $a_k$ 、 $b_k$  的值后，对世界人口需求量进行预测得到结果如下：

表 5.4 世界能源需求量预测值（标准油 单位：万桶）

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
能源需求量	85413	86729	88065	89422	90800	92199	93620	95062	96527	98014	99525	101058
年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030

年份												
能源需求量	102615	104196	105802	107432	109088	110768	112475	114208	115968	117755	119569	121412



## 5.5 利用二次滑动模型对淡水需求量的预测

### 5.5.1 模型的建立

二次滑动平均是一次滑动平均的引伸，用于预测具有线性趋势的时间序列数据。如果我们知道趋势函数为线性， $T_t = \beta_0 + \beta_1 t$ ，距  $t$  最近的  $k$  个历史数据构成的滑动平均数

$$M_t = \frac{1}{n}(x_t + x_{t-1} + \cdots + x_{t-n+1}),$$

只要  $(n-1)/2$  为整数，它就可以作为  $x_{t-\frac{n-1}{2}}$  的估计。也就是说， $M_t$  可作为  $T_{t-\frac{n-1}{2}}$  的估计。

注意  $T_t$  的线性形式

$$T_{t-\frac{n-1}{2}} = \beta_0 + \beta_1(t - \frac{n-1}{2}) = T_t - \frac{n-1}{2}\beta_1$$

类似地， $M_{t-1}$  应为  $T_{t-1-\frac{n-1}{2}}$  的估计， $M_{t-(n-1)}$  应为  $T_{t-\frac{3}{2}(n-1)}$  估计。 $M_t, M_{t-1}, \dots, M_{t-(n-1)}$  这  $n$  个滑动平均数再求平均数，这样构成了第二个平均数序列  $M'_t$ 。根据关于  $M_t$  的叙述， $M'_t$  应为  $T_{t-\frac{n-1}{2}}, T_{t-1-\frac{n-1}{2}}, \dots, T_{t-\frac{3}{2}(n-1)}$  的中心时刻  $T_{t-(n-1)}$  的合理估计，而  $T_{t-(n-1)}$  可表示为：

$$T_{t-(n-1)} = \beta_0 + \beta_1 [t - (n-1)] = T_t - (n-1)\beta_1$$

于是  $M_t - M'_t$  提供了  $(k-1)\beta_1/2$  的信息。这样我们实际上得到了  $\beta_1$  的双重滑动平均估计：

$$\hat{\beta}_t(t) = \frac{2}{n-1} (M_t - M'_t)$$

双重滑动平均数技巧也可以用来估计  $t$  时刻的趋势函数，即估计  $\beta_0 + \beta_1 t$ ，因为  $2M_t$  是  $2\beta_0 + \beta_1(2t - n + 1)$  的估计， $M_t$  是  $\beta_0 + \beta_1(t - n + 1)$  的估计，因此， $2M_t - M'_t$  是  $\beta_0 + \beta_1 t$  的合理估计，即  $\hat{T}_t(t) = 2A_t - A'_t$ 。序列的超前  $\rho$  步预测应为：

$$\hat{x}_{t+p} = \hat{T}_t(t) + p\hat{\beta}_t(t)。$$

这种使用滑动平均数的再滑动平均所构成的序列得到参数估计的方法可以在其他许多场合应用。如果两次滑动的长度均为  $n$ ，称之为“ $n \times nM$ ”。显然利用“ $n \times nM$ ”方法作出预测必须使用  $(2n-1)$  个最近邻的历史数据。其实在使用双重滑动平均数方法时，未必一定要求两次滑动的长度相等。假如第一次  $M$  的长度为  $n_1$ ，第二次  $M_t$  的长度为  $n_2$ ，那么双重滑动平均法可表示为“ $n_2 \times n_1 M$ ”。

## 5.5.2 模型的求解

根据上述模型，以 1996~2006 年世界淡水资源需求量为样本，利用 DPS 数据处理软件解得淡水资源的预测结果如下：

表 5.5 淡水资源需求量（单位：亿立方米）

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
能源 需求 量	103772	106211	102633	105719	107583	115966	118405	114151	117324	119138	128160	130599
年份	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
能源 需求 量	125670	128928	130694	140354	142793	137188	140533	142249	152548	154987	148707	152137

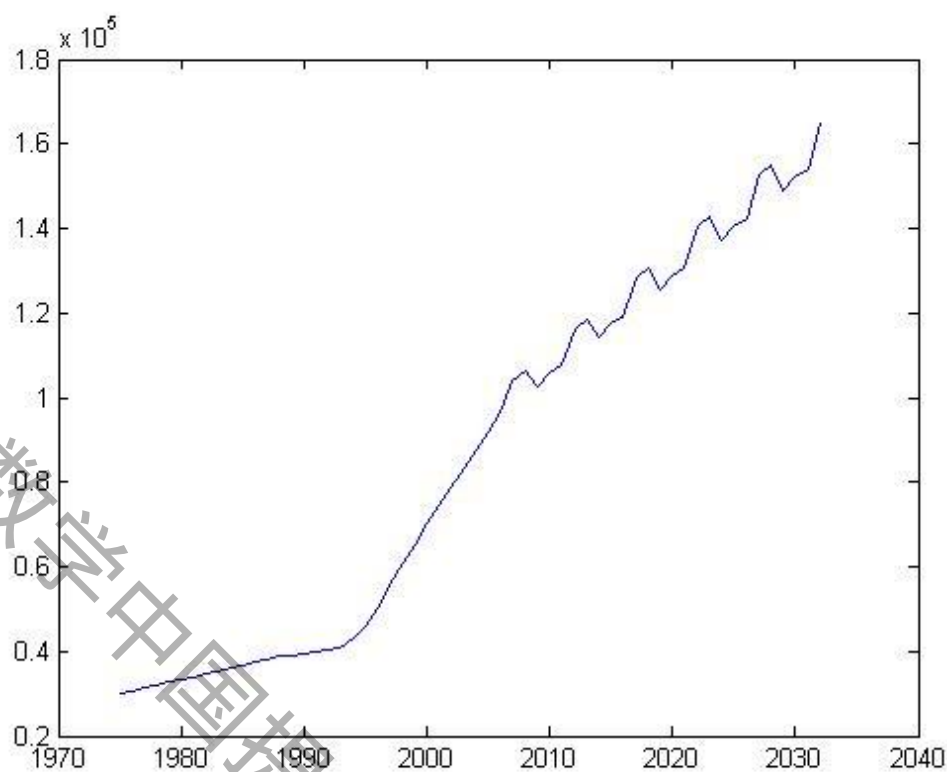


图 5.5 淡水资源需求量拟合图像

## 5.6 人口、能源、粮食、淡水之间的关系分析

### 5.6.1 主成分分析模型

#### 1、主成分分析的计算过程

设观测样本矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

$n$  为样本数， $p$  为变量数。为使该样本集在降维中所引起的平方误差最小，必须进行两方面的工作：一是进行坐标变换，即用雅可方法求解正交变换矩阵；二是选取  $m(m < p)$  个主成分。

(1) 将原始数据进行标准化处理，即对样本集中元素  $x_{ik}$  作

$$x_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (i=1, 2, \cdots, n; k=1, 2, \cdots, p)$$

变换，其中  $\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ik}$ ， $S_k^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2$ 。

主成分分析的明显特征是每个主分量依赖于测量初始变量所用的尺度，当尺度改变是，会得到不同的特征值  $\lambda$ 。克服这个困难的方法是对初始变量进行以上标准化处理，使其方差为 1。

(2) 计算样本矩阵的相关系数矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix}$$

(3) 对应于相关系数矩阵  $R$ ，用雅可比方法求特征方程  $|R - \lambda I| = 0$  的  $p$  个非负的特征值  $\lambda_1 > \lambda_2 > \cdots > \lambda_p \geq 0$ ，对应与特征值  $\lambda_i$  的相应特征向量为

$$C^{(i)} = (C_1^{(i)}, C_2^{(i)}, \dots, C_p^{(i)}), i=1, 2, \dots, p, \text{ 并且满足 } C^{(i)} C^{(j)} = \sum_{k=1}^p C_k^{(i)} C_k^{(j)} = \begin{cases} 1 & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}。$$

(4) 选择  $m(m < p)$  个主分量。当前面  $m$  个主分量  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m (m < p)$  的方差

和占全部总方差的比例  $a = \frac{\left( \sum_{i=1}^m \lambda_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^p \lambda_i \right)}$  接近于 1 时，选取前  $m$  个因子  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  为 1、

2、...、 $m$  个主分量。这  $m$  个主分量的方差和占全部总方差的 85% 以上，基本上保留了原来因子  $x_1, x_2, \dots, x_p$  的信息，由此因子数目将由  $p$  个减少为  $m$ ，从而起到筛选因子的作用。

## 2、模型的求解

利用上述模型的计算过程，运用 DPS 数据分析软件对 1987~2006 年的世界人口、能源需求量、粮食需求量、淡水需求量（具体数值见附录 1、2、3、4）进行主成分分析，得到以下结果：

表 5.6.1 四个变量的相关性分析

变量	世界人口	能源需求量	粮食需求量	淡水需求量
世界人口	1.0000	0.6560	0.5890	0.7169
能源需求量	0.6560	1.0000	0.1477	0.8204
粮食需求量	0.5890	0.1477	1.0000	0.3741
淡水需求量	0.7169	0.8204	0.8205	1.0000

表 5.6.2 四个变量的权值比较

变量	世界人口	能源需求量	粮食需求量	淡水需求量
权值	0.6439	0.2304	0.0908	0.0349

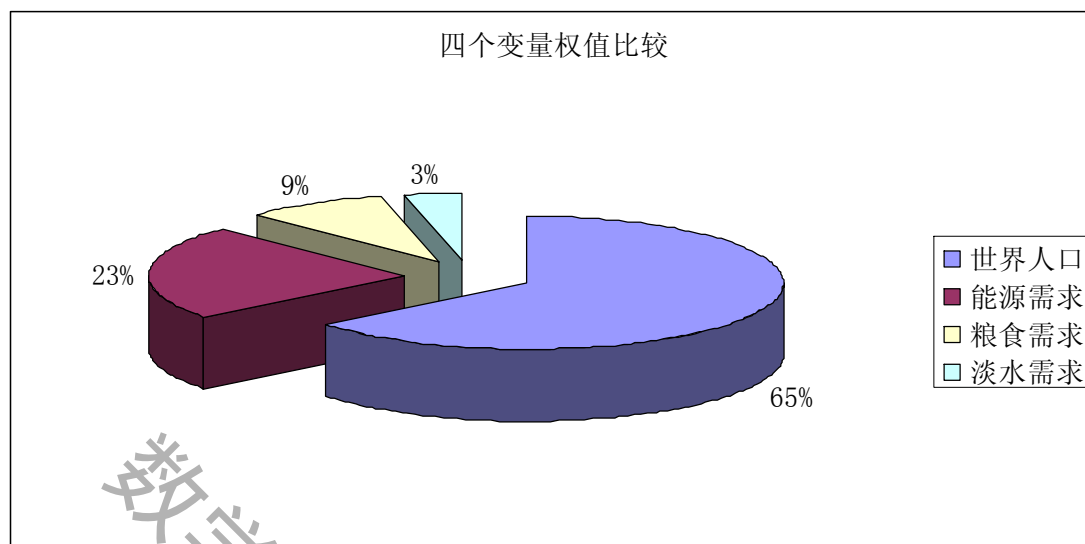


图 5.6.1

从表 5.6.1 中可知，世界人口对能源需求量、粮食需求量、淡水需求量的变化影响很大，说明了引起能源、粮食、淡水问题的主要原因在与人口问题。

## 5.6.2 人口与能源需求、粮食需求、淡水需求关系模型

### 1、一些分析说明

我们利用 EXCEL 软件绘制出四个因子的变化趋势图，如图 6.6.2 所示，从中又一次得知能源需求、粮食需求、淡水需求的增长趋势分别与人口的增长趋势很相似，与于是我们决定利用回归分析法，得出人口与能源需求、粮食需求、淡水需求之间的三个函数关系

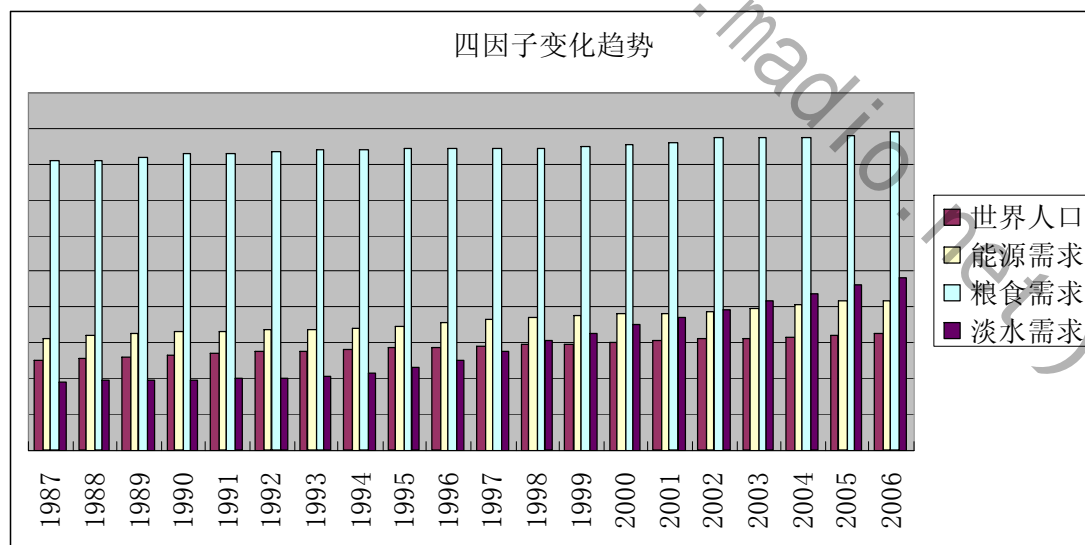


图 5.6.2

### 2、求解函数关系

我们利用 MATLAB 软件的回归分析工具箱对这三个函数关系的求解，得到一下结果：

世界人口与能源需求：

$$NX = 18.249RK^2 + 702.05RK + 62641$$

$$R^2 = 0.9894$$

世界人口与粮食需求

$$LX = 0.4064RK^2 + 66.717RK + 16187$$

$$R^2 = 0.9682$$

世界人口与淡水需求

$$DX = 162.93RK^2 - 98.16RK + 36697$$

$$R^2 = 0.9887$$

## 5.7 “完美风暴”的危险评估模型

### 5.7.1 模型的准备

我们将人类的生存环境定义为生存系统。

#### 一、 风险率

生存系统风险评价指标风险率根据风险理论，荷载是使系统“失事”的驱动力，而抗力则是对象抵御“失事”的能力。如果把生存系统的失事状态记为  $F \in (\lambda > \rho)$ ，正常状态记为  $S \in (\lambda < \rho)$ ，那么生存系统的风险率为

$$r = P(\lambda > \rho) = P\{X_t \in F\} \quad (1)$$

式中：  $X_t$  为系统生存状态变量

如果水生存系统的工作状态有长期的记录，风险率也可以定义为生存系统不能正常工作的时间与整个工作历时之比，即

$$a = \frac{1}{NS} \sum_{t=1}^{NS} I_t \quad (2)$$

式中，NS 为生存系统工作的总历时；  $I_t$  是生存系统的状态变量。

$$I_t = \begin{cases} 0, & \text{系统工作正常}(X_t \in S) \\ 1, & \text{系统失事}(X_t \in F) \end{cases}$$

#### 二、 脆弱性

脆弱性是描述生存系统失事损失平均严重程度的重要指标。为了定量表示系统的脆弱性，假定系统，其相应的发生概率为，那么系统的脆弱性可表达为



$$\chi = E(S) = \sum_{t=1}^{NF} P_t S_t \quad (3)$$

式中，NF 为系统失事的总次数。

### 三、 重现期

事故周期是两次进入失事模式 F 之间的时间间隔，也叫平均重现期。用  $d(\mu, n)$  表示第 n 间隔时间的历时，则平均重现期为

$$\omega = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} d(\mu, n) \quad (4)$$

式中， $N = N(\mu)$  是 0 到 t 时段内属于模式 F 的事故数目。

### 四、 可恢复性

恢复性是描述系统从事故状态返回到正常状态的可能性。系统的恢复性越高，表明该系统能更快地从事故状态转变为正常运行状态。它可以由如下的条件概率来定义

$$\beta = P(X_t \in S | X_{t-1} \in F) \quad (5)$$

上式亦可用全概率公式改写为

$$\beta = \frac{P\{X_{t-1} \in F, X_t \in S\}}{P\{X_{t-1} \in F\}} \quad (6)$$

引入整数变量

$$\gamma_t = \begin{cases} 1, & X_t \in F \\ 0, & X_t \in S \end{cases} \quad (7)$$

及

$$Z_t = \begin{cases} 1, & X_{t-1} \in F, X_t \in S \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

这样，由式 (6) 可得

$$\beta = \sum_{t=1}^{NS} Z_t / \sum_{t=1}^{NS} \gamma_t \quad (10)$$

记

$$T_{FS} = \sum_{t=1}^{NS} Z_t, T_F = \sum_{t=1}^{NS} \gamma_t \quad (11)$$

则有

$$\beta = \begin{cases} T_{FS} / T_F, & T_F \neq 0 \\ 1, & T_F = 0 \end{cases} \quad (12)$$

从上式可以看出，当  $T_F = 0$ ，即整个生存系统在整个历时中一直处于正常工作状态，则

$\beta=1$ ；而当  $T_{FS}=0$ ，即生存系统一直处于失事状态（ $T_F=NS$ ），则  $\beta=0$ 。一般来讲， $0<\beta<1$ 。这表明生存系统有时会处于失事状态，但有可能恢复正常状态，而且失事的历时越长，恢复性越小，也就是说生存系统在经历了一个较长时期的失事之后，转为正常状态是比较困难的。

## 五、 风险度

用概率分布的数学特征，如标准差  $\sigma$  或半标准差  $\sigma-$ ，可以说明风险的大小。 $\sigma$  和  $\sigma-$  越大，则风险越大，反之越小。这是因为概率分布越分散，实际结果原理期望值的概率就越大。

$$\sigma = (D(X))^{1/2} = \left( \sum_{i=1}^n (X_i - E(X))^2 / (n-1) \right)^{1/2} \quad (14)$$

或

$$\sigma = (D(X))^{1/2} = \left( \sum_{i=1}^n (X_i - E(X))^2 P(X_i) \right)^{1/2} \quad (15)$$

用  $\sigma$ 、 $\sigma-$  比较风险大小虽然简单，概念明确，但  $\sigma-$  为某一物理量的绝对量，当两个比较方案的期望值相差很大时，则可比性差，同时比较结果可能不准确。为了克服用  $\sigma-$  可比性差的不足，可用其相对量作为比较参数，该相对量定义为风险度  $FD_i$ ，即标准差与期望值的比值（也称变差系数）

$$C_v = \sigma_i / E(X) = \sigma_i / \mu_i \quad (16)$$

风险度不同于风险率，前者的值可大于 1，而后者只能小于或等于 1。

### 5.7.2 生存系统风险的模糊综合评判方法

风险评价是在风险识别和风险分析的基础上，把损失概率、损失程度以及其他因素综合起来考虑分析该风险的影响，寻求风险对策并分析该对策的影响，为风险决策创造条件。本文用上述定义的风险率、脆弱性、可恢复性、重现期、风险度作为生存系统风险的评价指标，采用模糊综合评判方法对生存系统风险进行评价。

设给定 2 个有限论域  $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$  和  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ ，其中，U 代表综合评判的因素所组成的集合；V 代表评语所组成的集合。则模糊综合评判即表示下列的模糊变换  $B = A \times R$ ，式中 A 为 U 上的模糊子集。而评判结果 B 是 V 上的模糊子集，并且可表示为  $B = A \times R A = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ ， $0 \leq \lambda_i \leq 1$ ； $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ， $0 \leq b_j \leq 1$ 。其中  $\lambda_i$  表示单因素  $u_i$  在总评定因素中所起作用大小的变量，也在一定程度上代表根据单因素  $u_i$  评定等级的能力； $b_j$  为等级  $v_j$  对综合评定所得模糊子集 B 的隶属度，它表示综合评判的结果。

关系矩阵 R 可表示为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

式中： $r_{ij}$ 表示因素 $u_i$ 的评价对等级 $v_j$ 的隶属度，因而矩阵 $R$ 中第 $i$ 行 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ 即为第 $i$ 个因素 $u_i$ 的单因素评判结果。在评价计算中 $A = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 代表了各个因素对综合评判重要性的权系数，因此满足 $\sum \lambda_i = 1, (i=1, 2, \dots, m)$ ；同时，模糊变换 $A \times R$ 也即退化为普通矩阵计算，即 $b_j = \min(1, \sum \lambda_i \bullet r_{ij}), i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ 。上述权系数的确定可用层次分析法（AHP）得到。

由上述分析可以看出，评价因素集 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$ 对应评语集 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ ，而评判矩阵中 $r_{ij}$ 即为某因素 $u_i$ 对应等级 $v_j$ 的隶属度，其值可根据各评价因素的实际数值对照各因素的分级指标推求。我们将评语级分为5个级别，各评价因素分级指标见表5.7.1。

表 5.7.1 各评价因素分级指标

短缺风险	$u_1$ （风险率）	$u_2$ （脆弱性）	$u_3$ （可恢复性）	$u_4$ （重现期）	$u_5$ （风险度）
$V_1$ （低）	$\leq 0.200$	$\leq 0.200$	$\geq 0.800$	$\geq 9.000$	$\leq 0.200$
$V_2$ （较低）	0.200~0.400	0.200~0.400	0.601~0.800	6.001~9.000	0.201~0.600
$V_3$ （中）	0.401~0.600	0.401~0.600	0.401~0.600	3.001~6.000	0.601~1.000
$V_4$ （较高）	0.601~0.800	0.601~0.800	0.200~0.400	1.000~3.000	1.001~2.000
$V_5$ （高）	$\geq 0.800$	$\geq 0.800$	$\leq 0.200$	$\leq 1$	$\geq 2.000$

由于生存风险率、脆弱性、风险度是越小越优性指标，所以对于 $u_1, u_2, u_5$ 各评语级可构造如下隶属函数：

$$\mu_{v_1}(\Phi) = \begin{cases} 1, & \Phi \leq a_{i1} \\ \frac{a_{i2} - \Phi}{a_{i2} - a_{i1}}, & a_{i1} < \Phi \leq a_{i2} \\ 0, & \Phi > a_{i2} \end{cases}$$

$$\mu_{v_2}(\Phi) = \begin{cases} \frac{\Phi}{a_{i1}}, & \Phi \leq a_{i1} \\ 1, & a_{i1} < \Phi \leq a_{i2} \\ \frac{a_{i3} - \Phi}{a_{i3} - a_{i2}}, & a_{i2} < \Phi \leq a_{i3} \\ 0, & \Phi > a_{i3} \end{cases}$$

$$\mu_{v_3}(\Phi) = \begin{cases} 0, & \Phi \leq a_{i1} \\ \frac{\Phi}{a_{i2}}, & a_{i1} < \Phi \leq a_{i2} \\ 1, & a_{i2} < \Phi \leq a_{i3} \\ \frac{a_{i4} - \Phi}{a_{i4} - a_{i3}}, & a_{i3} < \Phi \leq a_{i4} \\ 0, & \Phi > a_{i4} \end{cases}$$

$$\mu_{v_4}(\Phi) = \begin{cases} 0, & \Phi \leq a_{i2} \\ \frac{\Phi}{a_{i3}}, & a_{i2} < \Phi \leq a_{i3} \\ 1, & a_{i3} < \Phi \leq a_{i4} \\ \frac{\Phi - a_{i4}}{a_{i4} - a_{i3}}, & \Phi > a_{i4} \end{cases}$$

$$\mu_{v_5}(\Phi) = \begin{cases} \frac{\Phi}{a_{i3}}, & \Phi \leq a_{i3} \\ \frac{\Phi - a_{i3}}{a_{i4} - a_{i3}}, & a_{i3} < \Phi \leq a_{i4} \\ 1, & \Phi > a_{i4} \end{cases}$$

由于生存系统可恢复性和重现期是越大越优性指标，所以对于  $u_3$ 、 $u_4$  各评语级可构造如下隶属函数：

$$\mu_{v_1}(\Phi) = \begin{cases} 1, & \Phi \geq a_{i1} \\ \frac{a_{i2} - \Phi}{a_{i2} - a_{i1}}, & a_{i2} \leq \Phi < a_{i1} \\ 0, & \Phi < a_{i2} \end{cases}$$

$$\mu_{v_2}(\Phi) = \begin{cases} \frac{a_{i1}}{\Phi}, & \Phi \geq a_{i1} \\ 1, & a_{i2} \leq \Phi < a_{i1} \\ \frac{a_{i3} - \Phi}{a_{i3} - a_{i2}}, & a_{i3} \leq \Phi < a_{i2} \\ 0, & \Phi < a_{i3} \end{cases}$$

$$\mu_{v_3}(\Phi) = \begin{cases} 0, & \Phi \geq a_{i1} \\ \frac{a_{i2}}{\Phi}, & a_{i2} \leq \Phi < a_{i1} \\ 1, & a_{i3} \leq \Phi < a_{i2} \\ \frac{a_{i3} - \Phi}{a_{i4} - a_{i3}}, & a_{i4} \leq \Phi < a_{i3} \\ 0, & \Phi < a_{i4} \end{cases}$$

$$\mu_{v_4}(\Phi) = \begin{cases} 0, & \Phi \geq a_{i2} \\ \frac{a_{i3}}{\Phi}, & a_{i3} \leq \Phi < a_{i2} \\ 1, & a_{i4} \leq \Phi < a_{i3} \\ \frac{\Phi}{a_{i4}}, & \Phi < a_{i4} \end{cases}$$

$$\mu_{v_5}(\Phi) = \begin{cases} 0, & \Phi \geq a_{i3} \\ \frac{a_{i4}}{\Phi}, & a_{i4} \leq \Phi < a_{i3} \\ 1, & \Phi < a_{i4} \end{cases}$$

对于生存系统风险评价的因素  $U$  而言，对应一个测定指标向量  $Y = (\phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{13}, \phi_{14}, \phi_{15})$ 。

其中那个， $\phi_{ij}$  是  $U$  相对于  $u_{ij}$  的测定值。这样  $u_{v_i}(\phi_{ij})$  便表示相对于因素  $u_i$  而言属于  $v_i$  的程度。对于因素集  $U$ ，便有下面的模糊关系矩阵

$$R_U = \begin{bmatrix} u_{v_1}(\phi_{11}) & u_{v_2}(\phi_{11}) & u_{v_3}(\phi_{11}) & u_{v_4}(\phi_{11}) & u_{v_5}(\phi_{11}) \\ u_{v_1}(\phi_{12}) & u_{v_2}(\phi_{12}) & u_{v_3}(\phi_{12}) & u_{v_4}(\phi_{12}) & u_{v_5}(\phi_{12}) \\ u_{v_1}(\phi_{13}) & u_{v_2}(\phi_{13}) & u_{v_3}(\phi_{13}) & u_{v_4}(\phi_{13}) & u_{v_5}(\phi_{13}) \\ u_{v_1}(\phi_{14}) & u_{v_2}(\phi_{14}) & u_{v_3}(\phi_{14}) & u_{v_4}(\phi_{14}) & u_{v_5}(\phi_{14}) \\ u_{v_1}(\phi_{15}) & u_{v_2}(\phi_{15}) & u_{v_3}(\phi_{15}) & u_{v_4}(\phi_{15}) & u_{v_5}(\phi_{15}) \end{bmatrix}$$

生存系统风险评价各因素的权重确定采用层次分析法（AHP），设权重计算结果为  $A = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5)$ ，于是可得出综合评判向量

$$B = A \circ R_U = \left\{ (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5) \circ \begin{bmatrix} u_{v_1}(\phi_{11}) & u_{v_2}(\phi_{11}) & u_{v_3}(\phi_{11}) & u_{v_4}(\phi_{11}) & u_{v_5}(\phi_{11}) \\ u_{v_1}(\phi_{12}) & u_{v_2}(\phi_{12}) & u_{v_3}(\phi_{12}) & u_{v_4}(\phi_{12}) & u_{v_5}(\phi_{12}) \\ u_{v_1}(\phi_{13}) & u_{v_2}(\phi_{13}) & u_{v_3}(\phi_{13}) & u_{v_4}(\phi_{13}) & u_{v_5}(\phi_{13}) \\ u_{v_1}(\phi_{14}) & u_{v_2}(\phi_{14}) & u_{v_3}(\phi_{14}) & u_{v_4}(\phi_{14}) & u_{v_5}(\phi_{14}) \\ u_{v_1}(\phi_{15}) & u_{v_2}(\phi_{15}) & u_{v_3}(\phi_{15}) & u_{v_4}(\phi_{15}) & u_{v_5}(\phi_{15}) \end{bmatrix} \right\}$$

在综合评判中，我们选取“加权平均型”的  $M(\bullet, \oplus)$  模型，即  $b_j = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^n \lambda_i r_{ij} \right\}$ 。由于

$\sum_{i=1}^n \lambda_i r_{ij}$ ，该模型实际上蜕化为一般的实数加法，即

$$b_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (17)$$

选取与  $\max \{b_{ij}\}$  对应的评语为区域生存系统风险的评判结果。

为了比较直观的说明风险程度，我们将其分成 5 级，分别叫做低风险、较低风险、中风险、较高风险和高风险，风险各级别按综合分值评判，其评判标准和各级别风险的特征见表 5.7.2。

表 5.7.2 生存系统短缺风险级别评价

风险评价等级	风险级别	系统的风险特征
V1	低风险	可以忽略的风险
V2	较低风险	可以接受的风险
V3	中风险	边缘风险
V4	较高风险	不可接受风险
V5	高风险	灾变风险，系统受到严重破坏

## 5.7.3 模型的求解

我们确定选定输入测定值为 2001~2005 年以来各年的相应数据，如下表：

年份	人口(万人)	能源(万桶)	淡水(亿立方米)	粮食(万吨)
2001	613010	76828	74533	17118
2002	619973	77737	78674	17492
2003	627252	79158	83423	17460
2004	636969	81898	87654	17495
2005	644598	83080	91987	17573
2006	651776	83719	96452	17770

测定指标向量  $Y = (\phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{13}, \phi_{14}) = (6963, 909.5543557, 4141, 374)$ ，计算出模糊关系矩阵

$$R_U = \begin{bmatrix} 0.4546 & 0.6210 & 0.6981 & 0.6152 & 0.6532 \\ 0.3941 & 0.3260 & 0.3662 & -0.1507 & 0.3667 \\ 0.4730 & 0.2527 & 0.4662 & 0.5009 & 0.3604 \\ 0.6976 & 0.4017 & 0.2477 & 0.5635 & 0.1540 \end{bmatrix}$$

采用 AHP 法对评价指标的权重计算结果为  $A = (0.6, 0.2, 0.1, 0.1)$ ，此时评判结果  $V$  上的模糊子集  $B = (0.4686, 0.5032, 0.5635, 0.4454, 0.5167)$ 。

采用同样的方法可以得到模糊集矩阵  $B^*$  如下表

表 5.7.3 危险评价等级矩阵

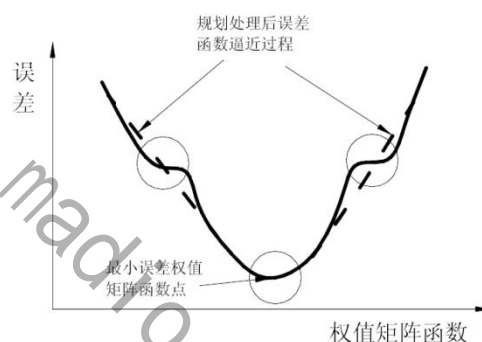
年份 \ 评价	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
1987	0.6700	0.6741	0.4244	2.5720	1.9043
1988	0.6275	0.7050	0.3302	2.4893	1.9209
1989	0.6656	0.8369	0.2500	2.4164	1.9357
1990	0.6074	0.7776	0.3746	2.3510	1.9500
1991	0.7603	0.7297	0.2137	2.2964	1.9620
1992	0.6008	0.6487	0.3907	2.5031	1.9063
1993	0.6522	0.6480	0.3289	2.4552	1.9172
1994	0.6914	0.6384	0.2500	2.4083	1.9313

1995	0.7158	0.7618	0.2518	2.3510	1.9500
1996	0.7527	0.7979	0.1692	2.3205	1.9673
1997	0.7066	0.7674	0.4393	2.4760	1.9009
1998	0.7365	0.7605	0.3509	2.4498	1.9146
1999	0.6613	0.6220	0.2500	2.3922	1.9325
2000	0.6932	0.6509	0.1579	2.3510	1.9500
2001	0.7380	0.7936	0.1838	2.3119	1.9650
2002	0.6605	0.6685	0.4480	2.5258	1.9006
2003	0.7336	0.7852	0.3595	2.4748	1.9155
2004	0.7507	0.7150	0.2500	2.3970	1.9353
2005	0.7921	0.7548	0.3725	2.3510	1.9500
2006	0.7395	0.8008	0.2030	2.3152	1.9638

## 5.8 基于 BP 神经网络的“完美风暴”危险预测模型

### 5.8.1 输入输出数据的归一化处理

由于 BP 神经网络训练样本集中输入、输出（目标）样本参数的绝对值离散性有时太大或过于集中，在网络权值矩阵误差函数逼近过程中，易产生局部误差最优或误差震荡等缺陷（如右图示）。必须对输入、输出进行归一化处理，防止在网络权值矩阵误差函数训练时不会进入局部误差最优或误差震荡等缺陷区域。此外，归一化处理可以使得具有不同物理意义和量纲的输入变量赋以同等重要的地位，避免数值大的变量掩盖数值小的变量，避免神经元饱和，保证网络的收敛性，提高网络的收敛速度。归一化处理：我们可采用下列公式将数据压缩在（0，1）的范围内，



$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

### 5.8.2 输入 / 输出向量设计及网络层数的选取

人口、能源、粮食、淡水对应 4 个参数，显而易见，输入变量是一个 4 维的向量，同时由上一个模型得到了五个风险等级评判参数，所以输出变量是一个 5 维的向量，即危险指数。在样本中，由于各种数据都是实际的测量值，因此这些数据可以对网络进行有效地训练。如果从提高网络的精度的角度出发，一方面可以增加网络训练样本的数目，另一方面还可以增加网络层数。由于样本数目足够，在此模型中我们建立三个 BP 网络进行分析。

### 5.8.3 BP 网络设计

对于 BP 网络，有一个非常重要的定理。即对于任何在闭区间内的一个连续函数都可以用单隐层的 BP 网络逼近，因而一个三层 BP 网络就可以完成任意的  $n$  维到  $m$  维的映射。

隐层的神经元数目选择是一个十分复杂的问题，隐单元的数目与问题的要求、输入输出单元的数目都有直接关系。隐单元的数目太多会导致学习时间过长、误差不一定最佳，也会导致容错性差、不能识别以前没有看到的样本，因此一定存在一个最佳的隐单元数。

根据 Kolmogorov 定理[2]，采用一个  $N \times (2N+1) \times M$  的三层 BP 网络作为状态分类器。

其中  $N$  表示输入特征向量的分量数， $M$  表示输出状态类别总数。由于  $N=4$ ，我们得知隐层的神经元数目为 9 个。

### 5.8.4 学习速率与训练方法的确定

学习速率决定每一次循环训练所产生的权值的变化量。过大的学习速率可能导致系统的不稳定，但是过小的学习速率将导致训练时间较长，收敛速度很慢，不过能保证网络的误差值趋于最小。一般情况下，学习速率的选取范围在 0.01~0.9 之间。

为了保证系统的稳定性，我们选择网络学习速率为 0.05。鉴于自适应学习速率通过保证稳定训练的前提下，达到了合理的高速率，可以减少训练时间。在本题中，我们采用自适应学习速率（*traingdx*）训练方法。

### 5.8.5 传输函数的选取

期望误差的控制，通过对网络训练参数的设定实现。考虑到具体网络训练时的训练精度和训练时间，同时确保能够对系统进行较好的预测，保证预测的实际精度，我们在网络中使训练次数极值  $net.trainParam.epochs = 2000$ ，网络训练的误差允许值

$net.trainParam.goal = 0.0001$ 。

### 5.8.6 期望误差的选取

期望误差的控制，通过对网络训练参数的设定实现。考虑到具体网络训练时的训练精度和训练时间，同时确保能够对系统进行较好的预测，保证预测的实际精度，我们在网络中使训练次数极值  $net.trainParam.epochs = 2000$ ，网络训练的误差允许值

$net.trainParam.goal = 0.0001$ 。

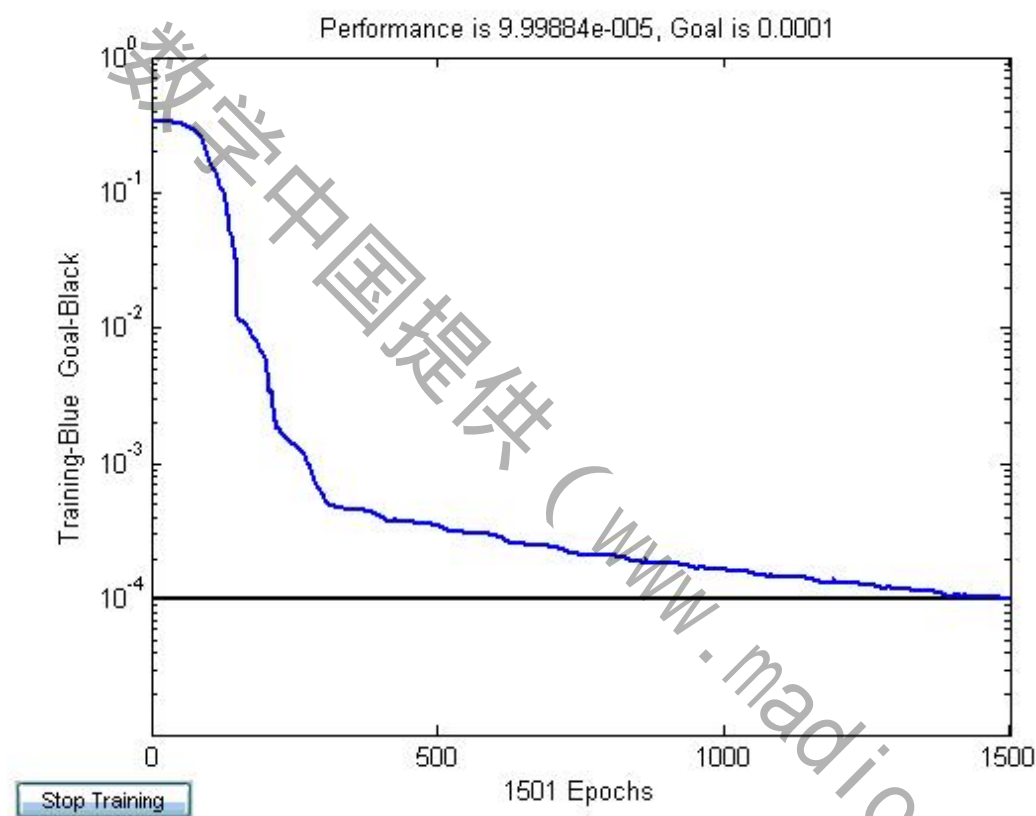


### 5.8.6 训练样本的确定

我们选择 1987~2002 年的世界人口、能源需求、粮食需求、淡水需求的统计数据为训练样本，以 2003~2006 年的数据为检测样本，归一化后的训练样本请具体参考附录 4.

### 5.8.7 利用 MATLAB 软件对 BP 神经网络的学习训练

我们利用 MATLAB 的 BP 网络工具箱对数据进行 BP 网络进行学习和训练，训练过程如下图所示：



神经网络训练后的模型为：

$$\begin{cases} c_j = f\left(\sum_i IW\{1,1\}x_i - b\{1\}\right) = \tan \operatorname{sig}\left(\sum_i IW\{1,1\}x_i - b\{1\}\right) \\ y = f\left(\sum_j LW\{2,1\}c_j - b\{2\}\right) = \log \operatorname{sig}\left(\sum_j LW\{2,1\}c_j - b\{2\}\right) \end{cases}, j=1,2,\dots,15 \quad * \text{ MERGEFORMAT (1)}$$

式中，

$x_i$  —— 输入层输入列向量 ( $i=1,2,\dots,17$ )；

$c_j$  —— 隐含层输出列向量；

$y$  —— 神经网络的输出值；

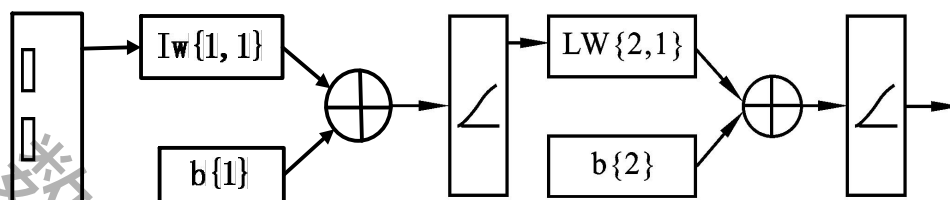
$IW\{1,1\}$  —— 输入层到隐含层的权值；

$LW_{2,1}$ ——隐含层到输出层的权值；

$b_{1\}$ ——隐含层的阈值；

$b_{2\}$ ——输出层的阈值；

该模型可用图直观表示如下：



得到的神经网络的权值矩阵请具体参考附录 6

### 5.8.8 对 2030 年“完美风暴”进行预测

通过上述模型的构建，我们已经对 1987 至 2002 年十六年的世界人口、能源需求量、粮食需求量、淡水需求量的统计样本与危险评判等级参数之间的关系进行了神经网络的训练，得到了能够反应两者之间的关系（是一个复杂的网络结构，通过权值矩阵来表示特征），若对“完美风暴”进行预测，只要将 2030 年所预测的世界人口、能源需求量、粮食需求量、淡水需求量的值输入神经网络中，就会输出相应的危险评判等级参数，于是根据参数就可以判断“完美风暴”发生的可能性。

经上述工作，我们得到了 2030 年世界人口、能源需求量、粮食需求量、淡水需求量的预测样本如下：

世界人口（万人）	能源需求（标准油：万桶）	粮食需求（万吨）	淡水需求（亿立方米）
931070	121412	25944	152137

通过神经网络模型的模拟训练的到以下五个危险评判等级参数：

表 5.8 2030 年危险评判等级参数

$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
19.6700	13.6741	15.4244	24.5720	26.9043

## 六、结果分析与模型检验

### 6.1 对能源、粮食、淡水需求量、世界人口预测值的分析

通过各种模型我们预测出 2030 年世界人口、能源、粮食、淡水需求量的预测值，并且我们将以 2006 年的数据作为人类生活环境的现状。

表 6.1 人类生活现状与预测值对比

年份	2006	2030
世界人口（万人）	651776	931070
能源需求量（标准油，万桶）	83719	121412
粮食需求量（万吨）	17770	25944
淡水需求量（亿立方米）	96452	152137

通过表 6.1 的数据我们可以得到以下结果：

- （1）世界人口达到 93 亿，远远超过 83 亿
- （2）能源需求量增加 45.09%
- （3）粮食需求增加 45.9%
- （4）淡水增加 57.7%

根据上面四个结果，初步论证了约翰·贝丁顿的“完美风暴”理论的正确性。

## 6.2 对 BP 神经网络的“完美风暴”预测值的分析

通过神经网络的模拟可以得到 2030 年的危险评估等级参数，将表 5.8 与表 5.7.1 的比较不难发现，到 2030 年，人类生存系统的危险评估等级参数非常高，达到危险的级别，证明了“完美风暴”发生的可能性非常大。并且我们也预测出 2030 年至 2040 年的危险评估等级参数，得出随着时间的不断推移，“完美风暴”发生的可能性越来越大，人类生存的环境将变得更加危险、恶劣，结果如下：

年份 \ 评价	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
2031	19.7421	12.2322	24.3235	23.4214	11.3444
2032	21.4323	21.2445	13.4326	21.4313	21.3254
2033	24.0521	28.6923	26.9076	28.8943	28.3772
2034	25.4890	28.0485	28.9985	20.4787	29.8473
2035	29.0982	29.7872	29.0785	20.8893	29.9746
2036	30.8741	34.8983	38.7658	32.8989	33.6786
2037	38.6482	38.9874	38.6985	30.9875	39.8786
2038	39.8185	35.7623	40.8392	38.8899	45.2989
2039	43.8972	42.9824	32.0835	41.9782	41.8974
2040	48.9878	49.7864	48.7676	44.4896	35.3254

## 6.3 对 BP 神经网络的稳定性分析

鉴于模型的目的是为了预测，所以模型的稳定性显得尤为重要，必须对模型进行稳定性分析。

BP 算法是一个有效的算法，由于具有理论依据坚实、推导过程严谨、物理概念清晰和通用性好等特点，是当前网络学习的主要算法。同时存在一些不足，主要有：训练时间长，出现局部极小值，网络结构难以确定等。本文在建立神经网络模型过程中，通过预处理以及合理选择训练方法实现网络收敛、避开局部极小值，有效地提高了模型的稳定性。

(1) 数据正规化处理(归一化)和 Matlab 工具箱函数 `prestd` 实现数据正规化,通过对样本集数据参数和输出样本数据参数进行正规化处理,可有效防止网络训练进入局部误差最小或误差震荡缺陷<sup>[14]</sup>;

(2) 根据  $N \times (2N + 1) \times M$  进行设计隐含层节点数,有效设计网络,保证训练精度、减少训练复杂度、缩短训练时间;

(3) 考虑到数据样本的随机性和非线性性,采用对非线性问题解决较好的 S 型传输函数。S 传输函数使得输出值在 0 和 1 之间,使算法收敛速度加快,对每次训练进行有效调整,达到加速收敛目的;

(4) 倾向于选取较小的学习速率以保证系统的稳定性,学习速率的选取范围一般在 0.01~0.9 之间。我们选择网络学习速率为 0.05。

(5) 采用 `traingdx` 训练函数训练,附加动量法使反向传播减少了网络在误差表面陷入低谷的可能性有助于减少训练时间。

综上所述,本文建立的神经网络模型通过合理的处理和有效的方法选取,确保 BP 网络高精度快速收敛。确保预测模型的精度和健壮性。

## 七、模型的进一步讨论

### 7.1 对 BP 神经网络模型的进一步讨论

我们建立的基于 BP 神经网络的“完美风暴”危险预测模型在预测危险发生的次数中,达到了较高的精度,能够很好的应用,若能够在以下方面做进一步的深入研究,则能够更好的改进该模型。

1、由于神经网络是以传统统计学理论为基础的,必然要求有较多的数据样本,在本题中我们查找到相当可观的数据样本,所以模型的精度会达到很高,但是如果在样本不足的情况下,BP 神经网络模型模型的精度会很低,所以若能够在算法上有所改进,使得 BP 神经网络能够在样本不足的情况下依然能够达到很高,那么该模型的使用范围将更加广泛。

2、我们在该模型中的训练时间较长,在实际生活中,进行预测当然是越快越好,而 BP 神经网络的精度是跟训练时间成正比的,若能对 BP 神经网络进行改进,使得在保证精度的前提下缩短训练时间,将大大提高该模型的实用性。

### 7.2 “完美风暴”危险评估模型的进一步讨论

我们利用模糊综合估计的方法对人类生存系统的危险情况进行估计,也就是说通过世界人口、能源需求、粮食需求、淡水需求这四个指标,计算出相应的危险评估等级参数,以此来判断人类生存情况的危险程度。

在模糊综合估计的方法中我们运用到了层次分析法对权值矩阵进行确定,层次分析法的主观因素比较强,使得整个估计过程带有主观因素,为了减少主观因素的成分,我们可以用熵值取权法对权值矩阵进行客观修正,使得整个估计过程能够更加准确,更加实用。

### 7.3 对“完美风暴”危险评估模型的影响因子的进一步讨论

在现实中，评价人类生存系统的危险情况的因素有很多，其中温室效应是最值得引人瞩目的因素之一。众所周知，由于人口迅速增长，工业的大力发展，以石油为主的能源过度使用，使得温室效应更加严重。同时温室效应的发生必然带来淡水资源的减少，南北极冰川融化，使得海平面升高，一些沿海地区被海水淹没，造成大规模的移民问题，使得人类的生存环境更加恶劣。所以温室效应也是一个值得考虑和分析的因素。

## 八、可持续发展报告

回顾历史我们可以看到，人类社会在不断的飞速发展，生产力也是前所未有地提高，人类的生活水平得到改善。但生产力发展的同时，也为我们带来了新的问题。如今，由于人的寿命大大延长，造成了现在全球人口膨胀；经历过三次工业革命，人类对以石油为代表的能源依赖程度大大增加，导致了现在的能源短缺；人口的不断增长，使得人类对粮食、淡水的需求量不断上升，引发了世界一些国家和地区的饥荒、旱灾。如果人再不采取补救措施，那么就会出现我们模型所预测的那样，“完美风暴”的出现，人类的生存面临重大挑战。

根据我们模型的求解与结果的分析，结合当今世界的现实情况，我们对人口、能源、粮食、淡水、温室效应等问题进行阐述，并提出自己的一些补救措施：

### 8.1 人口问题

目前世界人口面临两大主要问题：一是人口增长过快；二是社会发展不平衡。多年来，世界人口年均以 7800 万人的速度递增。1999 年 10 月，全球人口超过了 60 亿。预计到 2050 年，全球人口将增至 89 亿。人口的急剧增长，给发展中国家带来了沉重的经济和社会负担。由于穷国与富国发展程度不同，它们之间生活水平、包括健康和教育等在内的人口素质的差距不断扩大，对全球经济和社会的平衡发展极为不利。

人口问题已引起世界各国的广泛关注。1994 年，第三次国际人口与发展大会在埃及首都开罗召开，共有 179 个国家参与了这次会议，会议通过了为期 20 年的《行动纲领》。会议期间，与会各国达成了以下共识：人口过速增长和生育率过高必然阻碍经济发展，故必须加强国际合作，改善发展中国家的经济环境，以利于人口计划的实施。会议要求世界各国在 2000 年前每年共筹集 170 亿美元资金，专门用于人口和生殖健康计划，并希望在 2015 年前将筹资数额增加到每年 210 亿美元。

6 年过去了，亚、非、拉地区不少发展中国家根据会议精神重新立法，采取了计划生育措施，加强了生殖健康教育。但现实距会议要求还存在着不小的差距：这些项目每年得到的资金尚不到 100 亿美元，其中 80% 来自发展中国家。会议要求的每年 57 亿美元的国际援助更没有得到落实，美国等西方发达国家远远没有完成其承诺的援助份额。

目前，全球约有 10 亿个 20 岁以下的少女正在进入育龄期，这个数字是前所未有的。此外，全球约有 3.5 亿对夫妇得不到计划生育和生殖健康服务，还有 7500 万例非自愿怀孕，青春期产儿占全球新生儿总数的 11%。这些数字充分说明了计划生育和进一步提供生殖健康服务的必要性。

解决措施：

- 1、积极预防出生缺陷发生，促进人口素质和健康水平全面提高；
- 2、对人口性别比升高问题实行综合治理，完善政策法规体系，开展“关爱女孩行动”依法保护女孩的生存发展权；
- 3、积极促进人口分布和就业结构比例合理，努力实现城乡共同发展和进步；
- 4、创建环境生态良好的人居环境。

## 8.2 能源问题

能源是人类社会经济发展的重要物质基础，是生产力飞跃的主要动力源泉，石油被誉为“工业血液”。世界经济发展充分表明：能源的增长速度与国民生产总值同步增长，呈正相关。战后 50~70 年代世界资本主义经济的大发展与充足的廉价能源供给，特别是石油供给是分不开的。为此，能源供给引起世界的普遍关注。通常说的能源问题，实际上是世界石油问题。

廉价石油是二次战后西方工业发达国家经济发展的原动力。但在这些国家中，除近年由于北海油田开发，自给有余的英国、挪威，以及加拿大等国外，大多自产石油供应不足，每年要靠大量进口原油发展经济。如日本年消费量 2 亿多吨，自给率只有 0.2%，法国为 1.7~4.2%，前联邦德国为 5.3~7.9%，意大利 3.4%，就是世界产油大国之一的美国，其自给率也只有 2/3 左右。它们所消费的大量石油，主要来自亚、非、拉地区。

第二次世界大战后，50~60 年代亚、非、拉地区许多国家独立后，石油勘探工作有很大进展，储量和产量大幅度增加。

1990 年亚非拉地区约占世界探明储量的 85% 以上，产量的 2/3 和出口量的 80%。世界年产 5000 万吨以上石油的 14 个国家中，10 个是发展中国家，特别是中东，这里是世界最大储油、产油和出口油的地区。但这些国家只占世界石油消费量和炼油能力的 20% 左右。长期以来，西方几家石油垄断公司控制了世界石油的勘探、开采、生产、销售、贸易和储运，如 1972 年埃克森等美、英、荷、法的 8 家石油公司控制世界石油储量的 1/2，产量和贸易的各 3/4。他们利用政治、经济实力压低石油价格，获取暴利。

1973 年 8 家石油公司获利 12 亿美元。50~60 年代每桶原油价格只有 1~2 美元，西方工业发达国家（包括日本）深受其惠，使富国愈富，而亚非拉石油生产国和出口国仍处于贫困、落后的境地。为此由中东国家发起，为维护国家主权，石油经济权益，反对石油垄断组织的掠夺，协调石油政策，建立了“石油输出国组织”（简称 OPEC 欧佩克）（见石油输出国组织）。

70 年代以来，发展中国家石油生产国几次采取减产、禁运、提价、国有化等措施冲击西方工业发达国家。一些国家实现石油国有化，到 1981 年收回石油开采权的 92%，8 家石油公司仍控制世界探明储量的 10%，产量的 20%，当年获利 5.7 亿美元。西方工业发达国家丧失了廉价石油的来源，减少和中断了石油供给，使许多工厂关闭，失业率上升，生产量下降。能源危机使整个工业发达国家经济出现了减速、停滞、下降，加深了经济危机。同时，石油供给也波及到靠进口石油的发展中国家，于是，能源问题成为世界性的大问题。

能源问题对世界各国的影响也不尽相同。各国根据各自的国情采取相应的对策和措施，力求缓和能源问题。如调整能源消费结构，避免单一化，积极开发新能源，建立新的海上石油基地，以及从多方面使能源消费日益走向多元化，开展节能研究和采取节能措施等等。

石油供给问题是能源问题的重要内容。目前 OPEC 拥有世界总储量的 67%，产量的  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ ，出口量的 70% 以上。在今后相当长的时间里仍是世界石油的主要供给基地。OPEC 的石油主要输往日本（占 20.9%）、欧共体（30%）、美国（30.7%）、意大利（9.2%）。在石油输出国与消费国之间，不仅是个经济关系问题，同时还涉及到地区间（南北关系）和国家间的复杂的政治关系问题，所以建立国际新秩序是当务之急。

油价变动问题，过去长期在西方石油垄断公司控制下，压低价格，产油国受到了巨大损失。70 年代以来，油价从每桶几美元上浮到 35 美元（1982 年末历史最高），之后又下跃到 10 美元（1986 年），近年又有所提高。1991 年每桶为 20.37 美元（各月平均）。石油价格上涨给产油区，特别是输出国增加了外汇收入，为民族经济发展提供了充足的资金。近些年，许多产油国的工业、农业、交通运输业和文教事业等都有很大发展。人均国民生产总值已居世界前列。但由于长期的殖民统治，经济基础薄弱，经济结构畸形，发展经济的任务还是相当繁重的。近年油价下跃，收入减少，又带来不少困难。油价上浮对靠进口石油的发达国家的经济发展是个限制因素，对进口石油的发展中国家增加了外汇支出负担。OPEC 和其他产油国都希望产油国团结合作，提高产量限额，力求稳定石油的合理价格，确保产油国获得稳定公平的收入，并有效地供给消费国石油，使其石油投资也能获公平收入，以利世界经济的发展。所以，建立国际经济新秩序是当务之急。另外，发达国家石油储量的不断下降，以美国最为突出。还有世界石油资源地域分布的不平衡，地域经济发展水平的巨大差异，加深了世界能源问题的严重性。

解决措施：

一、要坚持把节约能源放在首位，实行全面、严格的节约能源制度和措施，显著提高能源利用效率。

二、要大力调整和优化能源结构，坚持以煤炭为主体、电力为中心、油气和新能源全面发展的战略。

三、要搞好能源发展合理布局，兼顾城市和农村经济社会发展的需要，并综合考虑能源生产、运输和消费合理配置，促进能源与交通协调发展。

四、要依靠科技进步和创新。无论是能源开发还是能源节约，都必须重视科技理论创新，广泛采用先进技术，淘汰落后设备、技术和工艺，强化科学管理。

五、要切实加强环境保护，充分考虑资源约束和环境的承载力，努力减轻能源生产和消费对环境的影响。

六、要高度重视能源安全，搞好能源供应多元化，加快石油战略储备建设，健全能源安全预警应急体系。

七、要制定能源发展保障措施，完善能源资源政策和能源开发政策，充分发挥市场机制作用，加大能源投入力度。

### 8.3 粮食问题

根据联合国粮食及农业组织(FAO)2004 年的年度饥饿报告，饥饿和营养不良给人类带来了巨大的苦难，每年造成 500 万以上的儿童死亡，使发展中国家遭受几十亿美元的生产率损失和国民收入损失。尽管粮食生产在稳步发展，粮食安全程度也在不断提高，但是我们仍然面临这样严峻的现实，那就是：全世界有六分之一的人口，或者说 8.5 亿人正在遭受慢性营养不良的折磨，其中有许多是儿童。造成全球粮食安全状况恶化的首要原因之一是世界人口的持续增长。据预测，世界人口将从今天的 67 亿增加到 2030 年的 93 亿。目前，全世界有 12 亿人口生活在贫困线以下，其中 70% 生活在农村地区。按照目前的人口增长速度，到 2030 年，世界粮食产量必须翻一番才能满足需求。同时，随

着人口的增长和农村地区的城市化，能否获得尚未耕作的肥沃土地将成为一种限制性因素，而越采越多的农民将不得不转移到生产率相对要低得多的边缘化的土地上进行耕作。

解决措施：

一、立足现状，节约用粮。

二、研发新的农业生产技术，提高粮食作物的产量，加大生产效率，满足人口对粮食的需求。

三、合理利用土地资源，加强农田的基本设施，创造有利于种粮农民的劳动条件

四、采用现代化灌溉技术，优化土地与水资源的配置

## 8.4 淡水问题

地球上总的水体积大约为 14 亿  $\text{km}^3$ ，其中只有 2.5% 是淡水，或者说只有 0.35 亿  $\text{km}^3$  的淡水（见对面的表）。大部分的淡水以永久性冰或雪的形式封存于南极洲和格陵兰岛，或成为埋藏很深的地下水。能被人类所利用的水资源主要是湖泊、河流、土壤湿气和埋藏相对较浅的地下水盆地。这些水资源中可用的部分仅有 20 万  $\text{km}^3$ ——不足淡水总量的 1%，仅为地球上水资源总量的 0.01%。这些能够利用的水很多都位于远离人类的地方，进而为水利用带来了复杂的问题。

淡水补给依赖于海洋表面的蒸发。每年海洋要蒸发掉 50.5 万  $\text{km}^3$  的海水，即 1.4 米厚的水层。此外，陆地表面还要蒸发 7.2 万  $\text{km}^3$ 。所有降水中有 80% 降落到海洋中，即 48.5 万  $\text{km}^3$ /年，其余 11.9 万  $\text{km}^3$ /年的降水降落于陆地。地表降水量和蒸发量之差（每年约 11.9 万  $\text{km}^3$  减去 7.2 万  $\text{km}^3$  的差额）就形成了地表径流和地下水的补给——大约 4.7 万  $\text{km}^3$ /年。主要大陆地区平均每年水平衡的一个估算显示在对面图中，其中包括降水、蒸发和径流。所有径流中，半数以上发生在亚洲和南美洲，很大一部分发生在同一条河中，即亚马逊河，这条河每年要带走 6 千  $\text{km}^3$  的水。

约有 1/3 的世界人口居住在中度至高度水紧张的国家——这些地方的耗水量超过了可再生淡水资源的 10%。拥有世界人口 40% 的 80 个左右的国家曾在 20 世纪 90 年代的中期经历了严重的水短缺（CSD 1997a），估计在 25 年之内，2/3 的世界人口将要居住在水紧张的国家里（CSD 1997b）。到 2020 年，水的使用量将会提高 40%，其中 17% 以上的水将用于满足人口增长需求的食品生产（World Water Council 2000a）。在过去的一个世纪里，人口增长、工业发展和灌溉农业的扩张是引起水需求增加的三个主要因素。过去的二十年中，农业消耗了经济发展中的大部分淡水。规划者一直认为通过增加更多的基础设施来控制水文循环，这样就可以满足不断增长的需水量。传统上，修筑河坝是保障灌溉用水、水利发电和生活用水的主要手段。世界上最大的 227 条河流中，已经有大约 60% 被堤坝、引流、运河等强烈地或中等程度地切割，同时对淡水生态系统也造成了影响（WCD 2000）。从增加粮食产量和水利发电等方面来看，这些基础设施的确带来了很大的好处。同时，这些基础设施的造价也非常之大。在过去的 50 年里，堤坝改变了世界河流的形状，使得不同地区约 4~8 千万人口迁移，导致临近的生态系统发生了不可逆转的变化。

强调供水，同时法规的力度不大，使得水资源管理的效率非常有限，这在发展中地区尤为突出。政策制订人员已经摆脱了完全的供应方案，转向需求管理，强调多种措施的结合来保证不同地区的水供给。这些措施包括提高水的利用效率、价格政策和私有化。联合水资源管理（IWRM）成为了新的重点，即考虑让所有股东参与水资源的规



划、开发和管理（CSD 1997b）。

解决措施：

- 一、意识到水的社会和经济价值；
- 二、强调水的高效分配；
- 三、认识到流域管理是有效管理水资源的关键；
- 四、在河流所经过的行政区域之间开展较大的合作，以保证资源的公平分配；
- 五、改善数据的收集；
- 六、认识到所有利益有关的团体在水管理中的作用；
- 七、通过综合的水资源管理实现战略政策上的主动；
- 八、以及意识到包括人口和工业的增长、污染的加剧等各种因素导致的水匮乏问题越来越严重。

综上所述，人类面临着众多的挑战，必须要尽快找出切实有效的补救措施，科学发展，统筹兼顾，真正做到人与自然的和谐发展

## 九、参考文献

- [1]姜启元 谢金星 叶俊，《数学模型（第三版）》 高等教育出版社  
[2]葛哲学、孙志强 《神经网络理论与 MATLAB2007 实现》 电子工业出版社  
[3]傅立 《灰色系统理论及其应用》 科学技术文献出版社  
[4]国际统计年鉴 2009，中国统计出版社，2009.

## 十、附录

### 1、1970~2006 年世界人口统计（单位：万人）

年份	人口
1970	369700
1980	444400
1985	484600
1987	502400
1988	511200
1989	520100
1990	528500
1991	538500
1992	548000
1993	557200
1994	562980
1995	571606

1996	574560
1997	584590
1998	589848
1999	597773
2000	605412
2001	613010
2002	619973
2003	627252
2004	636969
2005	644598
2006	651776

## 2、1965~2006 年世界能源需求量（标准油，单位：万桶）

年份	能源需求 量
1965	31240
1966	33637
1967	36072
1968	39026
1969	42485
1970	46066
1971	48596
1972	52144
1973	56325
1974	55491
1975	54991
1976	58427
1977	60604
1978	63221
1979	64381
1980	61731
1981	59803
1982	58123
1983	57873
1984	59106
1985	59384
1986	61163
1987	62454
1988	64274
1989	65611
1990	66830
1991	66811
1992	67519
1993	67377
1994	68666

1995	69830
1996	71489
1997	73591
1998	73928
1999	75549
2000	76280
2001	76828
2002	77737
2003	79158
2004	81898
2005	83080
2006	83719

### 3、1987~2006 年世界粮食需求量（单位：万吨）

1987	16171
1988	16222
1989	16388
1990	16542
1991	16608
1992	16683
1993	16754
1994	16824
1995	16850
1996	16910
1997	16928
1998	16930
1999	16973
2000	17118
2001	17230
2002	17492
2003	17460
2004	17495
2005	17573
2006	17770

### 4、1975~2006 年世界淡水需求量（单位：亿立方米）

年份	淡水需求量
1975	30123
1976	30702
1977	31352
1978	32045
1979	32673
1980	33353
1981	34033
1982	34713
1983	35397

1984	36086
1985	36769
1986	37452
1987	38135
1988	38813
1989	39003
1990	39387
1991	39712
1992	40245
1993	41012
1994	43021
1995	46012
1996	50234
1997	55743
1998	61081
1999	65279
2000	70523
2001	74533
2002	78674
2003	83423
2004	87654
2005	91987
2006	96452

#### 4、归一化后的神经网络训练样本

1	0.0952	0	0.0452
1	0.0971	0	0.0456
1	0.0977	0	0.0449
1	0.0962	0	0.0446
1	0.0957	0	0.0443
1	0.0937	0	0.0443
1	0.0949	0	0.0449
1	0.0955	0	0.048
1	0.0979	0	0.0526
1	0.0998	0	0.0598
1	0.0995	0	0.0684
1	0.1009	0	0.0771
1	0.1006	0	0.0832
1	0.1006	0	0.0908
1	0.1	0	0.0962
1	0.1	0	0.1016

#### 5、神经网络权值样本

$IW\{1,1\}$  的矩阵

-0.0003	1.4996	0.0000	0.1114
0.0010	-0.8895	0.0000	-0.1879
-0.0008	1.0007	0.0000	-0.1790
0.0006	0.6688	0.0000	-0.2018
0.0005	-1.6956	0.0000	0.0505
0.0004	-0.9619	0.0000	-0.1823
0.0000	1.0965	0.0000	-0.1699
-0.0003	1.2249	0.0000	0.1555
0.0005	-0.8912	0.0000	0.1879
-0.0003	-0.6332	0.0000	0.2036
0.0003	-0.2021	0.0000	-0.2171
0.0009	-1.7340	0.0000	-0.0217
-0.0001	-1.7297	0.0000	-0.0267
0.0006	-1.3718	0.0000	-0.1348
-0.0002	-1.4203	0.0000	-0.1267
-0.0008	-0.9607	0.0000	0.1823
0.0005	1.1794	0.0000	0.1610
-0.0002	-1.5214	0.0000	0.1066
-0.0013	-1.7410	0.0000	-0.0102
-0.0007	1.5662	0.0000	0.0958

 $LW\{2,1\}$  的权值矩阵

-0.7230	0.9048	0.0340	-0.3546	0.0728	-0.6341	-1.0878
-0.7804	1.0115	-0.1780	0.1086	0.3968	-0.7142	-0.4737
0.9897	-1.4304	0.2776	0.2403	-1.0801	-1.3143	-0.0909
0.5139	1.1321	-1.3840	-0.8866	0.2027	0.0880	0.8417
-0.7847	0.4148	-0.9240	0.1843	-0.0587	-0.6443	-0.7613
-0.2070	-1.0837	0.1852	-0.0760	0.6968	0.0767	-0.1004
0.8627	0.0299	-0.2922	0.6816	0.7106	0.6381	0.1281
0.1788	-0.1406	-1.2258	0.2076	0.1697	0.9721	-0.4403
0.8129	0.8384	-0.9358	0.8717	0.5459	-0.1019	0.2277
-0.7660	-0.2656	-0.3723	-0.2732	-0.6195	0.1951	0.0976
-1.0444	2.5403	-1.8956	1.6311	0.5697	1.9262	
-1.2993	1.8654	-0.8001	2.0897	-0.0916	1.2959	
0.1931	1.1619	-0.2416	1.0940	0.6147	-0.8345	
0.3543	-0.4817	0.6996	-0.4140	-0.9026	0.7450	
-0.4116	-0.1089	-1.0921	-0.9064	-0.5705	1.3922	

 $b\{1\}$  的权值矩阵

-160.5697

106.8334  
-90.0593  
-54.0237  
165.4181  
110.2566  
-96.5197  
-132.3848  
74.4748  
-77.0965  
35.4486  
170.2018  
168.4408  
141.5726  
144.2084  
75.7570  
-121.6810  
135.0404  
163.1824  
-153.7970

$b_{\{2\}}$  的权值矩阵

1.4945  
0.3172  
-1.5677  
2.3132  
-2.3881