

## 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：

参赛队员（签名）：

队员 1：田宇驰

队员 2：苏铭彻

队员 3：盛 飞

参赛队教练员（签名）： 宋勤生

报名号# 1417

---

参赛队伍组别：

## 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）：

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 中国在“完美风暴”中的地位和影响

关 键 词 BP神经网络 灰色相关预测 层次分析法 改良的宋  
建模型

## 摘 要：

为合理评估中国在“完美风暴”中的地位和作用，我们选取美国和印度作为参照，分别运用 BP 神经网络预测 2030 年粮食的需求，灰色相关预测淡水资源需求，多层次函数综合预测出能源需求，并改良宋健模型预测出人口总数。之后参照“完美风暴”的爆发的临界值，并将中、印、美三个国家的水资源需求、粮食需求、能源需求、人口数进行综合打分。并由层次分析法确定各项权重，最后综合预测出中国在“完美风暴”中的地位和影响。

基于危险预测模型，我们将中国的影响的作用分成人口、能源、水资源、粮食四个子部分进行讨论，每个子部分又分为中国自身和与周边国家协同两种不同方式。我们根据四个影响因素，提出了“完美风暴”可能性的函数，此函数又有四个因素的子函数所占的权重来决定，每个子函数都由四个因素值所决定。在四个子部分的讨论中，我们分别给出了宏观上形势政策的分析，也给了简化且较为合理的数值预测，便于进行可能性数值计算，能清楚明了地看出中国的影响和作用。

我们根据初始的预测结果算出“完美风暴”发生可能性为 0.9875，通过中国自身和与周边国家协同作用“完美风暴”的可能性降为 0.8575。

最后对于计算模型给出了优缺点分析，并对模型进行了完善和深化，方便以后对该问题进行更加深入的研究和讨论。

参赛队号 1417

所选题目 C

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## Status and Influence of China in the Perfect Storm

### Abstract

In order to evaluate the status and influence of China in the “Perfect Storm”, we choose America and India as the comparison and we predict the food requirement in 2030 with the Back-Propagation Net—work algorithm, predict the freshwater requirement with the grey prediction models, predict the resource requirement with the Multi-level Equations and predict the sum of population with the developed SongJian-YuJingyuan Model. Then we refer the threshold of the burst of Perfect Storm, and give relative scores to the requirement of food, freshwater, resources and population of China, America and India. And we get the weight of every part through the A.H.P. method so that we predict the status and role of China in the Perfect Storm appropriately.

Based on the danger predicting model, we divide the effect of China into four sub-parts of population, resources, freshwater and food, and every sub-part into two smaller parts, regarding China doing all by itself or collaborating with its neighboring countries. According to the four factors, we build the function describing the possibility of Perfect Storm, which can be decided by the weight of the sub-functions of the factors. In the discussion of the four sub-parts, we propose the analysis of situation policy at the macro level, and we also predict the data in simplified and realistic method, from which we can see the influence and effect of China clearly.

We guess the possibility of Perfect Storm is 0.9875 according our initial predicting results, but we can make it as low as 0.8575 if China and its neighboring countries play their active roles.

At last, we assess the computing method we used and improve and deepen it so that we can study and discuss this issue conveniently later.

**Key Words:** Back-Propagation Net—work algorithm, grey predictions, A.H.P, improved Song-Model

## 1. 问题重述

英国首席科学顾问约翰·贝丁顿警告称，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。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%。”这些问题都是当代研究的热点，如果这些问题在同一时间爆发，那么很有可能爆发世界性的战争，深刻研究这些问题对于当代整个社会稳定和发展具有十分深远的意义。基于前一阶段模型，我们将它加深并细化，本篇我们将解决如下问题

建立合理的模型，评估中国在完美风暴中的地位和作用，并基于提出的危机预测模型，判断中国能否通过自身或者几个国家的协同调整有效降低完美风暴发生可能性

## 2. 问题分析

### 2.1. 背景分析

当今由于人口的迅猛增长和生态环境的恶化使得粮食、水和能源的造成严重的匮乏，并且温室效应气候变暖，臭氧层破坏严重，这使人类的生存面临着巨大的挑战。南北半球差距增大，局部战争与国际冲突不断，恐怖主义和极端宗教主义泛滥这都时时威胁着世界的安定和谐。这一切的不和谐的因素都是由于粮食、水、能源的匮乏所造成的。因此我们应该做好对这些基础物质需求的评估，并对未来需求做出合理的预测，进而制定好方案并对于这些生产生活必需物质进行合理的开发和配置，这样才能真正做到“未雨绸缪”，才能有效避免“完美风暴”的发生。才能从根本上维护着世界的和平和安定。

## 2. 2. 中国在完美风暴中的地位和作用分析

中国是世界上最大的发展中国家，人口世界第一，能源、水资源储备量名列前茅，农产品产量粮食需求量居于世界首位。从宏观上分析，中国在完美风暴中的地位和作用是非常重要的。为了具体科学的进行分析，我们选取了世界上的几个重要国家（美国、印度）与中国进行参照对比，并提出了合理模型对于各个国家 2030 年的水、能源、粮食需求量进行预测，并分别算出他们占世界的权重，最后通过各个指标的综合分析，直观合理的评价中国在完美风暴中的地位和作用。

## 2. 3. 中国自身影响以及协同作用的分析

### 2. 3. 1. 自身影响

中国是一个具有高度凝聚力的国家，无论从计划生育政策的实施，还是到改革开放的举措，都展现出我们国家高效率的政策执行能力。“完美风暴”发生的根源在于人口的快速增长。由于中国在过去几十年中所执行了计划生育人口政策，中国大约减少了 1 亿多的人口，这大大缓解了人口所带来了沉重的社会包袱。同时中国大力研究高产农业，就袁隆平的一项水稻杂交技术就为中国增产了几十亿公斤粮食。这基本上解决了吃饭问题，同时中国致力于水污染的整治和处理，并实施南水北调工程，这也在一定程度上解决了用水紧张的问题。中国自身有能力通过自身影响来降低完美风暴的可能性。为达到目标，中国应继续积极贯彻合理的人口生育政策，并积极采用节水绿色高产农业，这既可以达到粮食的高产同时也可以降低淡水的消耗，并在适当的条件下修建海水淡化厂，同时积极开发新能源，大力推广节能科技。

### 2. 3. 2. 协同作用

随着中国经济的迅猛发展，综合国力的提高，中国在上占据上越来越重要的位置。与此同时区域合作组织和周边合作将日趋密切，对周边国家影响力也将日益增大。中国与独联体国家（尤其是俄罗斯）已经积极开展能源领域的合作，并帮助俄罗斯联邦开发远东西伯利亚，中国对非盟在基础设施，能源、医疗等方面进行着无偿的援助。中国与拉美国家签订耕地协议，获得了相当一部分耕地的使用权，并与委内瑞拉联合进行石油的开发。中国与东盟进行区域性能源合作，木材、水资源等。中国从以色列引进滴灌技术，大力发展节水农业也可创造

巨大的经济价值。中国与周围国家合作不仅满足自身的整治、经济利益，也为帮助那些国家发展经济，使粮食增产，能源得到大力开发，也间接上证明了计划生育政策良好作用，在一定程度上抑制了人口增长。中国在未来还应该积极发挥自身对于周边国家的影响，这必将能大力降低完美风暴发生的可能性。

### 3. 模型假设

假设 2030 年以前人类采用现阶段的农业生产技术进行粮食生产，科学技术的进步不会对粮食总产量产生太大的影响。

在预测人口数量的过程中假设死亡率不会随时间发生太大变化。

假设在 2030 年以前，一些重大事件，如战争、重大自然灾害、重大疫情、人类大规模迁徙等不会发生。

假设文中所使用数据资料真实可靠。

假设在各个模型中未考虑因素不会对预测结果产生大的影响，可以忽略不计。

### 4. 符号说明

（见具体模型中）

## 第一部分：评估中国在“完美风暴”中的地位和作用

### 5. 基于BP神经网络的粮食需求量和总产量预测模型

#### 5.1. 模型建立

经分析得知，粮食的需求量由人口、种植成本、粮食价格决定，而总产量受由粮食种植总面积和粮食的单位面积产量两个子因素影响。其中粮食种植总面积和粮食的单位面积产量又由粮食市场价格，种植成本和气候变化（为了简化模型，这里将气候的变化等同为气温变化）等因素决定。反向传播神经网络(Back-Propagation Net—work，简称BP网络)是目前比较成熟和应用最广泛的人工神经网络，是一种误差反向传播的多层前向反馈神经网络，并具有实现任何复杂非线性的映射的功能[1]。影响粮食需求量和总产量的内部机制因素十分复杂，鉴于该问题满足

BP神经网络的条件，因此我们利用BP神经网络算法对我国粮食的总产量和需求  
量进行预测。

## 5.2. 模型求解

### 5.2.1. 模型思想

在BP人工神经网络中，历史样本数据中的解释变量可以作为神经网络的输入单元，经过神经网络隐含层权值与激活函数运算后，得到输出单元。选择目标函数，即选择适当的神经网络权值使得期望输出与神经网络实际输出之差的平方和最小。通过多样本学习，修改权值，不断减小偏差，最终使得解释变量与被解释变量达到最优拟合，从而将新的已知解释变量输入BP神经网络，经隐含层输出预测值。

### 5.2.2. BP网络的建立

#### 5.2.2.1. 网络层数的确定

Robert • Hecht-Nielson 证明了对于任何在闭区间的一个连续函数都可以用一个隐层的BP网络来逼近，因而一个三层的BP神经网络可以完成任意的映射[2]，因此本文BP网络采用三层结构。

#### 5.2.2.2. 输入层节点数的确定

输入层节点数与对预测结果的影响因素相对应，综合考虑预测时需要的各种影响因素，本文网络输入层节点数定为4。

#### 5.2.2.3. 隐含层节点数的确定

隐含层节点数的选取尚无理论上的指导，只有几个经验公式，且只能确定单元数的范围。如 $\sqrt{n+p+a}$ （n, p 分别为输入层、输出层节点数，a 为常数（取1~10））[3] 隐含层节点数关系到整个BP网络的精确度和学习效率，因此必须根据实际运行结果，以样本总误差最小来确定节点数。考虑到单隐含层网络的非线性映射能力较弱，对于相同的问题，为了达到预定的映射关系，隐含层节点要多一些，以增加网络的可调参数，我们把隐含层节点数初设为12。

#### 5.2.2.4. 输出层节点数的确定

我们先只以该模型预测粮食总产量（粮食需求量稍后用方法得出）一个因变量，因此取节点数为1。

#### 5.2.2.5. 训练样本的确定

我们选取1997——2008年的年平均气温、粮食种植成本以及粮食市场价格的统



计数据为我们的 BP 神经网络的训练样本。

### 5.2.2.6对模型进行深度分析和求解

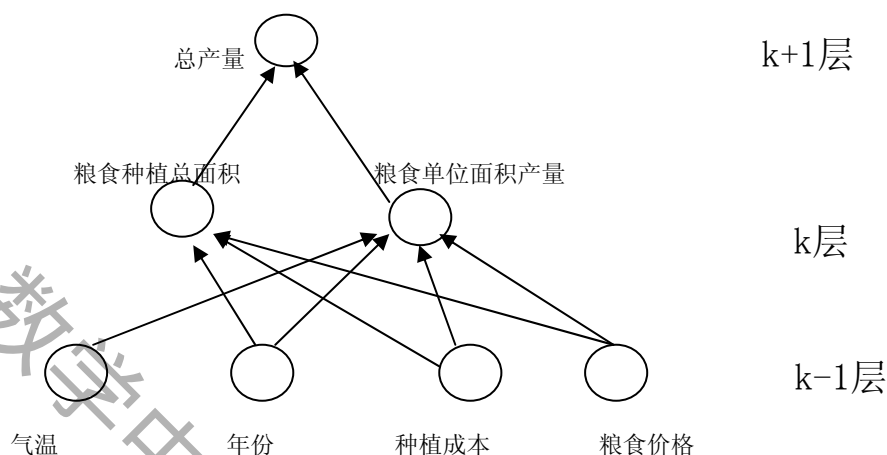


图1 三层BP神经网络模型

设有如图 1 所示的三层 BP 神经网络。其中第  $k$  层的第  $j$  个神经元的输入总和为  $I_{jk}$ ，输出为  $O_{jk}$ ， $k-1$  层的第  $i$  个神经元与  $k$  层的第  $j$  个神经元之间的权连接为  $W_{jik, k-1}$ ，则

$$\begin{cases} I_j^k = \sum W_{ji}^{k, k-1} O_i^{k-1} & (3.1) \\ O_j^k = f(I_j^k) & (3.2) \end{cases}$$

对于给定的任一输入模式，若网络的第  $k$  层的第  $j$  个神经元的输入误差（来自于  $k+1$  层）为  $E_{jk}$ ，则  $\delta$  学习算法的实质是采用梯度最速下降法，使权值沿误差函数的负梯度方向变化，即有

$$\Delta W_{ji}^{k, k-1} = -\eta \frac{\partial E_j^k}{\partial W_{ji}^{k, k-1}} \quad (3.3)$$

式中  $\eta > 0$ ，称作学习系数。

因为

$$\frac{\partial E_j^k}{\partial W_{ji}^{k, k-1}} = \frac{\partial E_j^k}{\partial I_j^k} \cdot \frac{\partial I_j^k}{\partial W_{ji}^{k, k-1}} = \delta_j^k O_i^{k-1} \quad (3.4)$$

其中

$$\delta_j^k = \frac{\partial E_j^k}{\partial I_j^k} \quad (3.5)$$

从而有

$$\Delta W_{ji}^{k,k-1} = -\eta \delta_j^k O_i^{k-1} \quad (3.6)$$

这就是通常所说的  $\delta$  学习法则。又

$$\delta_j^k = \frac{\partial E_j^k}{\partial I_j^k} = \frac{\partial E_j^k}{\partial O_j^k} \cdot \frac{\partial O_j^k}{\partial I_j^k} = \frac{\partial E_j^k}{\partial O_j^k} f(I_j^k) \quad (3.7)$$

对于神经网络的输出层  $k+1$  来说，定义它的第  $m$  个神经元输出  $O_m^{k+1}$  与期望输出  $d_m$  的误差  $E_m^{k+1}$  有如下形式

$$E_m^{k+1} = \frac{1}{2} (O_m^{k+1} - d_m)^2 \quad (3.8)$$

从而有

$$\delta_m^{k+1} = \frac{\partial E_m^{k+1}}{\partial O_m^{k+1}} f(I_m^{k+1}) = (O_m^{k+1} - d_m) f(I_m^{k+1}) \quad (3.9)$$

对于中间层  $k$  来说，它的误差来源于  $k+1$  层，根据式 (3.7) 有

$$\frac{\partial E_j^k}{\partial O_j^k} = \sum_m \frac{\partial E_m^{k+1}}{\partial I_m^{k+1}} \cdot \frac{\partial I_m^{k+1}}{\partial O_j^k} = \sum_m \delta_m^{k+1} W_{mj}^{k+1,k} \quad (3.10)$$

从而有

$$\delta_j^k = \left( \sum_m \delta_m^{k+1} W_{mj}^{k+1,k} \right) f(I_j^k) \quad (3.11)$$

由此可以把 BP 网络的学习算法分成两部分，对于输出层单元有

$$\Delta W_{mj}^{k+1,k} = -\eta \delta_m^{k+1} O_j^k, \text{ 其中 } \delta_m^{k+1} = (O_m^{k+1} - d_m) f(I_m^{k+1}) \quad (3.12)$$

对于中间层单元有

$$\Delta W_{ji}^{k,k-1} = -\eta \delta_j^k O_i^{k-1}, \text{ 其中 } \delta_j^k = \left( \sum_m \delta_m^{k+1} W_{mj}^{k+1,k} \right) f(I_j^k) \quad (3.13)$$

我们选取学习系数  $\eta=0.08$ ，根据训练好的神经网络函数对我国 2009, 2010, 2020, 2030 等几个年份的粮食生产量和需求量进行预测，预测结果见表 1。

| 年份 $t$ | 年平均气温 $T$<br>(摄氏度) | 种植成本 $p$<br>(元 / 百斤) | 粮食价格 $q$ (元/斤) | 粮食总生产量 (万吨) | BP 网络预测值 (万吨) |
|--------|--------------------|----------------------|----------------|-------------|---------------|
|--------|--------------------|----------------------|----------------|-------------|---------------|

## 报名号# 1417

|      |        |      |      |         |         |
|------|--------|------|------|---------|---------|
| 1997 | 14.625 | 53   | 0.98 | 49417.1 | 49440.3 |
| 1998 | 15.275 | 54.6 | 0.97 | 51229.5 | 51234.2 |
| 1999 | 14.525 | 57.2 | 0.95 | 50838.6 | 50824.7 |
| 2000 | 14.525 | 59.6 | 0.94 | 46217.5 | 46331.3 |
| 2001 | 14.675 | 62.1 | 0.94 | 46217.5 | 46220.0 |
| 2002 | 14.705 | 63.2 | 0.92 | 45263.7 | 45229.8 |
| 2003 | 14.425 | 66.3 | 0.96 | 45705.8 | 45733.9 |
| 2004 | 15.425 | 66.2 | 1.03 | 43069.5 | 43066.9 |
| 2005 | 14.675 | 67.2 | 1.07 | 46946.9 | 46898.0 |
| 2006 | 15.275 | 67.1 | 1.13 | 48402.2 | 48419.7 |
| 2007 | 15.425 | 68.3 | 1.15 | 49804.2 | 49831.5 |
| 2008 | 15.445 | 69.0 | 1.05 | 50160.3 | 50114.7 |
| 2009 |        |      |      |         | 50168.8 |
| 2010 |        |      |      |         | 51299.3 |
| 2020 |        |      |      |         | 57124.7 |
| 2030 |        |      |      |         | 66132.5 |

表 1 利用 BP 神经网络对我国粮食产量的预测结果

而对于粮食的需求量，我们采用同样的方法，综合考虑人口增长、饮食结构发生变化（人类对肉类的增长需要导致了饲料消耗增加）以及工业用粮（粮食用来生产生物乙醇等）等多种因素利用 BP 神经网络进行预测。得出 2009, 2010, 2020, 2030 四年的需求预测值如下：

$$R_{2009}=52197.8$$

$$R_{2010}=54521.7$$

$$R_{2020}=62248.6$$

$$R_{2030}=75430.2$$

| 年份 t | 人口<br>(亿人) | 粮食（非肉<br>类）占食物的<br>比重（%） | 工业用粮占<br>生产量权重<br>(万吨) | 粮食需求量<br>(万吨) | BP 网络预测值<br>(万吨) |
|------|------------|--------------------------|------------------------|---------------|------------------|
| 1997 | 12.36      | 90.4                     | 16.8                   | 49417.1       | 49440.3          |
| 1998 | 12.48      | 90.0                     | 19.9                   | 51229.5       | 51234.2          |
| 1999 | 12.58      | 89.5                     | 23.2                   | 50838.6       | 50824.7          |

## 报名号# 1417

|      |       |      |      |         |         |
|------|-------|------|------|---------|---------|
| 2000 | 12.67 | 88.3 | 27.6 | 46217.5 | 46331.3 |
| 2001 | 12.76 | 87.7 | 29.7 | 46217.5 | 46220.0 |
| 2002 | 12.84 | 87.4 | 32.1 | 45263.7 | 45229.8 |
| 2003 | 12.92 | 86.2 | 35.4 | 45705.8 | 45733.9 |
| 2004 | 13.00 | 84.9 | 39.4 | 43069.5 | 43066.9 |
| 2005 | 13.08 | 83.9 | 41.0 | 46946.9 | 46898.0 |
| 2006 | 13.14 | 82.4 | 43.9 | 48402.2 | 48419.7 |
| 2007 | 13.21 | 81.0 | 46.9 | 49804.2 | 49831.5 |
| 2009 |       |      |      |         | 52197.8 |
| 2010 |       |      |      |         | 54521.7 |
| 2020 |       |      |      |         | 62248.6 |
| 2030 |       |      |      |         | 75430.2 |

表 2 利用 BP 神经网络算法估测我国 2030 年的粮食需求量

## 5. 3. 利用BP模型对美国、印度和世界的粮食需求量进行预测

为了简化模型，我们仅选取美国和印度这两个极具代表性的国家进行分析建模，预测出 2030 年的粮食需求量。

| 年份 t | 人口<br>(亿人) | 粮食(非肉类)<br>占食物的比重<br>(%) | 工业用粮占<br>生产量权重<br>(%) | 粮食需求量<br>(万吨) | BP 网络预测值<br>(万吨) |
|------|------------|--------------------------|-----------------------|---------------|------------------|
| 1976 | 2.18       | 83.0                     | 3.2                   | 32531.5       | 32522.7          |
| 1981 | 2.29       | 79.3                     | 14.8                  | 34386.6       | 34371.9          |
| 1986 | 2.40       | 75.4                     | 19.2                  | 34656.2       | 34674.7          |
| 1991 | 2.53       | 70.7                     | 27.5                  | 34687.5       | 34698.0          |
| 1996 | 2.66       | 68.6                     | 39.4                  | 34746.5       | 34556.3          |
| 2001 | 2.85       | 64.1                     | 51.3                  | 34864.4       | 34820.3          |
| 2006 | 2.99       | 59.4                     | 64.2                  | 34981.2       | 34929.8          |
| 2030 |            |                          |                       |               | 50541.5          |

表 3 利用 BP 神经网络算法估测美国 2030 年的粮食需求量

## 报名号# 1417

| 年份 t | 人口<br>(亿人) | 粮食（非肉<br>类）占食物的<br>比重（%） | 工业用粮占<br>生产量权重<br>(万吨) | 粮食需求量<br>(万吨) | BP 网络预测值<br>(万吨) |
|------|------------|--------------------------|------------------------|---------------|------------------|
| 1981 | 6.80       | 92.1                     | 1.8                    | 23061.1       | 23100.8          |
| 1986 | 7.66       | 91.4                     | 4.9                    | 23000.1       | 23012.5          |
| 1991 | 8.52       | 90.5                     | 8.2                    | 23204.8       | 23208.7          |
| 1996 | 9.43       | 88.3                     | 13.8                   | 23400.7       | 23432.9          |
| 2001 | 10.27      | 86.2                     | 22.7                   | 23632.5       | 23653.6          |
| 2006 | 11.09      | 82.1                     | 42.1                   | 23913.0       | 23941.8          |
| 2030 |            |                          |                        |               | 37698.3          |

表 4 利用 BP 神经网络算法估测印度 2030 年的粮食需求量

| 年份 t | 人口<br>(亿人) | 粮食（非肉<br>类）占食物的<br>比重（%） | 工业用粮占<br>生产量权重<br>(万吨) | 粮食需求量<br>(万吨) | BP 网络预测值<br>(万吨) |
|------|------------|--------------------------|------------------------|---------------|------------------|
| 1980 | 44.44      | 90.1                     | 2.1                    | 156100.5      | 156110.7         |
| 1985 | 48.46      | 89.2                     | 5.3                    | 184334.5      | 184356.9         |
| 1990 | 52.85      | 88.3                     | 9.3                    | 195467.8      | 196012.5         |
| 1994 | 55.30      | 87.5                     | 14.1                   | 194642.8      | 19432.9          |
| 1999 | 59.78      | 86.3                     | 23.8                   | 208911.7      | 208653.6         |
| 2000 | 60.54      | 86.1                     | 25.6                   | 205142.9      | 205236.8         |
| 2001 | 61.30      | 85.7                     | 26.4                   | 203987.6      | 203795.0         |
| 2008 | 65.9       | 82.4                     | 32.1                   | 218451.7      | 217832.9         |
| 2030 |            |                          |                        |               | 336518.7         |

表 4 利用 BP 神经网络算法估测世界 2030 年的粮食需求量  
(表中部分数据来源于 中国统计年鉴、国际统计年鉴)http://www.census.gov/tjsj/

## 5. 4. 对BP模型的优缺点分析和进一步改进

### 5. 4. 1 优缺点分析

BP 算法作为至今多层前向神经网络的最主要学习算法，理论依据坚实，推导过程严谨，所得公式对称完美，物理概念清楚（误差的反向传播），通用性强。运用上面的模型，我们得到的预测结果非常接近于实际值。但是 BP 算法本身也存在很多不足之处：学习过程收敛速度缓慢；易陷于局部极小；用 BP 算法所得到的网络性能较差。

### 5. 4. 2 模型改进

针对 BP 神经网络算法的这些不足，我们在建模过程中做了适当改进：

考虑到单隐含层网络的非线性映射能力较弱，对于相同的问题，为了达到预定的映射关系，隐含层节点要多一些，为了增加网络的可调参数，我们把隐含层节点数初设为 12。

为了保证系统的稳定性，学习系数  $\eta$  的选取范围一般在 0.01 到 0.9 之间。我们将其值设为 0.08，从而大大提高了系统稳定性。

虽然 BP 人工神经网络解决了不少科学预测和最优化问题，但仍在许多问题，如所选取训练样本的数量和质量很大程度上影响着神经网络模型的学习性能，网络层数以及隐含层神经元数的选取也影响整个网络的学习能力和学习效率以及如何解决样本误差带来的影响等，上述问题在实践中都有待于进一步改进。

## 6. 灰色模型预测水资源需求量

### 6. 1. 模型建立

灰色预测方法把离散数据视为连续变量在其变化过程中所取的离散值，从而利用微分方程式处理数据；而不直接使用原始数据而是由它产生累加生成数，对生成数列使用微分方程模型[5]。这样，可以抵消大部分随机误差，显示出规律性。

水资源原始已知数据为  $x^{(0)}(i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5), x^{(0)}(6), x^{(0)}(7), x^{(0)}(8)\}$$

建立 Gm(1, 1) 模型，并进行检验。

1) 对  $x^{(0)}$  一次累加生成算子，记为  $1 - AGO$ 。

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), x^{(1)}(4), x^{(1)}(5), x^{(1)}(6), x^{(1)}(7), x^{(1)}(8)\}$$

2) 对  $x^{(1)}$  作紧邻均值生成，令

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(1) + 0.5x^{(1)}(k+1)$$

$$Z^{(1)} = \{z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), z^{(1)}(5), z^{(1)}(6), z^{(1)}(7), z^{(1)}(8)\}$$

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ -z^{(1)}(4) & 1 \\ -z^{(1)}(5) & 1 \\ -z^{(1)}(6) & 1 \\ -z^{(1)}(7) & 1 \\ -z^{(1)}(8) & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ x^{(0)}(5) \\ x^{(0)}(6) \\ x^{(0)}(7) \\ x^{(0)}(8) \end{bmatrix}$$

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

3) 确定模型

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

及时间响应式：

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(1)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

## 6. 2. 模型的求解

根据附录中灰色模型程序用 MATLAB 求解

先预测 2030 年中国水资源：

$$X^{(0)} = \{27700.8, 26867.8, 27261.3, 26460.2, 24129.6, 24053.1, 23530.1, 23455.2\}$$

为了便于求解模型，将  $X^{(0)}$  每个值都除以 10000，并进行求解：

$$X^{(0)} = \{2.7700, 2.6867, 2.7261, 2.6460, 2.4129, 2.4053, 2.3530, 2.3455\}$$

用 MATLAB 求解：

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} 0.0276 \\ 2.8357 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} a = 0.0276 \\ b = 2.8357 \end{cases}$$

取 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$ 则：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -99.9728e^{-0.0276k} + 102.7428$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$$

$$\begin{cases} 2000: x^{(0)}(1) \\ 2001: x^{(0)}(2) \\ 2002: x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ 2030: x^{(0)}(31) \end{cases}$$

$$\hat{x}^{(0)}(31) = \hat{x}^{(1)}(31) - \hat{x}^{(1)}(30)$$

$$\hat{x}^{(1)}(31) = 60.2516$$

$$\hat{x}^{(1)}(30) = 59.0625$$

$$\hat{x}^{(0)}(31) = 1.1891$$

通过求解得出中国水资源 2030 年总量 11891 亿立方米。

同理世界 2030 年水资源预测：

$$X^{(0)} = \{52.6466, 50.4200, 45.5370, 43.2390, 43.7725, \\ 43.7939, 43.7472, 43.9443\}$$

$$\begin{cases} a = 0.0368 \\ b = 49.3943 \end{cases}$$

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -1289.68e^{-0.0368k} + 1342.2$$

$$\hat{x}^{(0)}(31) = 25.4491$$

世界水资源 2030 年 254491 亿立方米。

美国 2030 年淡水需求量预测：7767 亿立方米。

印度 2030 年淡水需求量预测：2035 亿立方米



### 6. 3. 模型的检验

设原始序列：

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2) \dots x^{(0)}(n)\}$$

模型预测序列：

$$\hat{X}^{(0)} = \{\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2) \dots \hat{x}^{(0)}(n)\}$$

残差数列： $\varepsilon^{(0)} = \{\varepsilon(1), \varepsilon(2) \dots \varepsilon(n)\}$

$$\begin{aligned} &= \{x^{(0)}(1) - \hat{x}^{(0)}(1), x^{(0)}(2) - \hat{x}^{(0)}(2) \dots x^{(0)}(n) - \hat{x}^{(0)}(n)\} \\ \Delta &= \left\{ \left| \frac{\varepsilon(1)}{x^{(0)}(1)} \right|, \left| \frac{\varepsilon(2)}{x^{(0)}(2)} \right| \dots \left| \frac{\varepsilon(n)}{x^{(0)}(n)} \right| \right\} \\ &= \{\Delta_k\}_1^n \end{aligned}$$

1. 对于  $k < n$ ,  $\Delta_k = \left| \frac{\varepsilon(k)}{x^{(0)}(k)} \right|$  为  $k$  点预测相对误差,  $\Delta_n = \left| \frac{\varepsilon(n)}{x^{(0)}(n)} \right|$  为滤波相对误差,  $\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_k$  平均预测相对误差;
2.  $1 - \bar{\Delta}$  为平均相对精度,  $1 - \Delta_n$  为滤波精度;
3. 给定  $\alpha$ , 当  $\bar{\Delta} < \alpha$ , 且  $\Delta_n < \alpha$  成立时, 称模型为残差合格模型。
4. 误差检验

| 序号 | 实际数据<br>$x^{(0)}(k)$ | 预测数据<br>$\hat{x}^{(0)}(k)$ | 残差<br>$\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$ | 相对误差<br>$\Delta_k = \left  \frac{\varepsilon(k)}{x^{(0)}(k)} \right $ |
|----|----------------------|----------------------------|--|---|
| 2  | 2.6867               | 2.6474                     | 0.0413   | 1.54%   |
| 3  | 2.7261               | 2.6254                     | 0.1007   | 3.69%   |
| 4  | 2.6460               | 2.5953                     | 0.0507   | 1.92%   |
| 5  | 2.4129               | 2.4371                     | -0.0242  | 1.00%   |
| 6  | 2.4053               | 2.3907                     | 0.0146   | 0.61%   |
| 7  | 2.3530               | 2.3662                     | -0.0132  | 0.56%   |
| 8  | 2.3455               | 2.3434                     | 0.0021   | 0.09%   |

1) 残差平方和:

$$S = \varepsilon * \varepsilon^T = [\varepsilon(2) \ \varepsilon(3) \ \varepsilon(4) \ \varepsilon(5) \ \varepsilon(6) \ \varepsilon(7) \ \varepsilon(8)] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon(2) \\ \varepsilon(3) \\ \varepsilon(4) \\ \varepsilon(5) \\ \varepsilon(6) \\ \varepsilon(7) \\ \varepsilon(8) \end{bmatrix}$$

$$= 0.0413^2 + 0.1007^2 + 0.0507^2 + (-0.0242)^2 + 0.0146^2 + (-0.0132)^2 + 0.0021^2 = 0.0154$$

2) 平均相对误差:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{7} \sum_{k=2}^8 \Delta_k = \frac{1}{7} (1.54\% + 3.69\% + 1.92\% + 1.00\% + 0.61\% + 0.56\% + 0.09\%) = 1.3443\%$$

3) 计算x与x̂的灰色关联度:

$$|S| = \left| \sum_{k=2}^7 (x(k) - x(1)) + \frac{1}{2} (x(8) - x(1)) \right|$$

$$= \left| (2.6867 - 2.7700) + (2.7261 - 2.7700) + (2.6460 - 2.7700) + (2.4129 - 2.7700) + (2.4053 - 2.7700) + (2.3530 - 2.7700) + \frac{1}{2} (2.3455 - 2.7700) \right|$$

$$= |-0.0833 - 0.0439 - 0.1240 - 0.3571 - 0.3647 - 0.3170 - 0.21225|$$

$$= 1.5023$$

$$|\hat{S}| = \left| \sum_{k=2}^7 (\hat{x}(k) - \hat{x}(1)) + \frac{1}{2} (\hat{x}(8) - \hat{x}(1)) \right|$$

$$= \left| (2.6474 - 2.7700) + (2.6254 - 2.7700) + (2.5953 - 2.7700) + (2.4371 - 2.7700) + (2.3907 - 2.7700) + (2.3662 - 2.7700) + \frac{1}{2} (2.3434 - 2.7700) \right|$$

$$= |-0.1226 - 0.1446 - 0.1747 - 0.3329 - 0.3793 - 0.4038 - 0.2133|$$

$$= 1.7712$$

$$|\hat{S} - S| = \left| \sum_{k=2}^7 [(x(k) - x(1)) - (\hat{x}(k) - \hat{x}(1))] + \frac{1}{2} (x(8) - x(1)) - (\hat{x}(8) - \hat{x}(1)) \right|$$

$$= 0.1298$$

$$\varepsilon = \frac{1 + |S| + |\hat{S}|}{1 + |S| + |\hat{S}| + |\hat{S} - S|} = \frac{4.2735}{4.4033} = 0.9705 > 0.90$$

精度为一级可以用  $\hat{x}^{(1)}(k+1) = -99.9728e^{-0.0276k} + 102.7428$   
 $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$  来预测。

## 6.4. 模型的评价与改进

### 6.4.1. 模型的评价：

灰色系统从理论上讲，可以避开水资源系统内部相互影响因素

的变化机理，对系统进行全因素的分析，建立灰色预测模型，研究最终作用结果的规律。受到预测时间长，精度高的结果。灰色Gm(1, 1)预测模型具有表面上似乎是无因素分析而实际上是全因素分析的功能。

灰色系统对于一致的部分（数据）依赖很大，容易由于数据的原因导致预测的偏差。

### 6.4.2. 模型的改进：

结合多种预测方法综合考虑，得出结论，是预测根据有科学性和准确性。

## 7. 利用多层次函数拟合的方法对能源需求量进行预测

### 7.1. 模型建立

世界未来能源需求在未来几十年内将持续飙升，总体需求增长趋势也不会改变。我们经分析得到影响能源需求的因素有很多，包括国民经济发展水平，科技发展水平，国家政策影响等。这里我们选取两个最重要的指标作为影响能源需求的子因素，对能源模型进行预测。这两个指标分别为人均GDP、高科技价总值，他们成正相关。

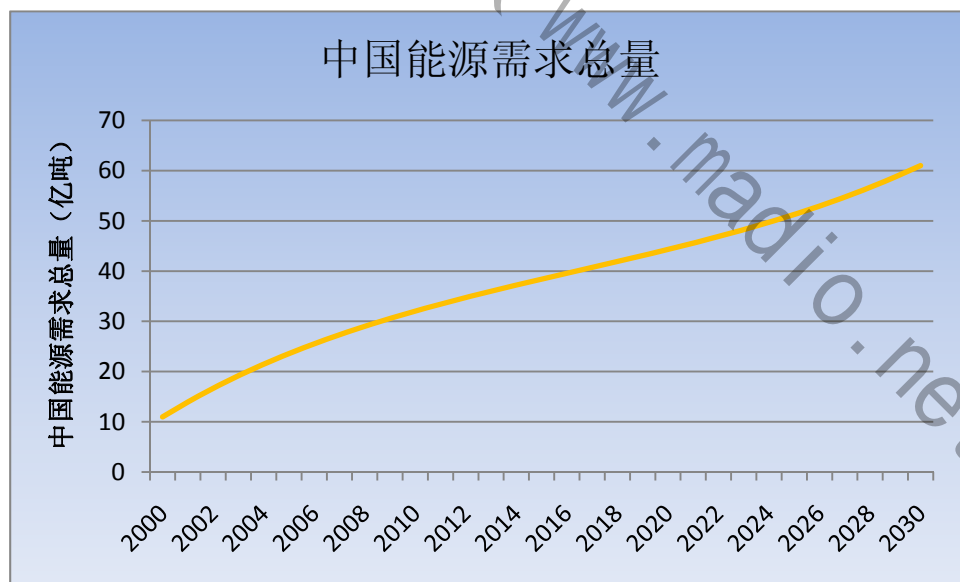
## 7.2. 模型求解

下图分别为 2000 年到 2006 年的两项指标值，以及中国的能源需求值。

依据数据我们综合提出了能源需求相关函数：

$$y_c = 9.8081x_1^{0.8} + 0.6564x_2 + 58174$$

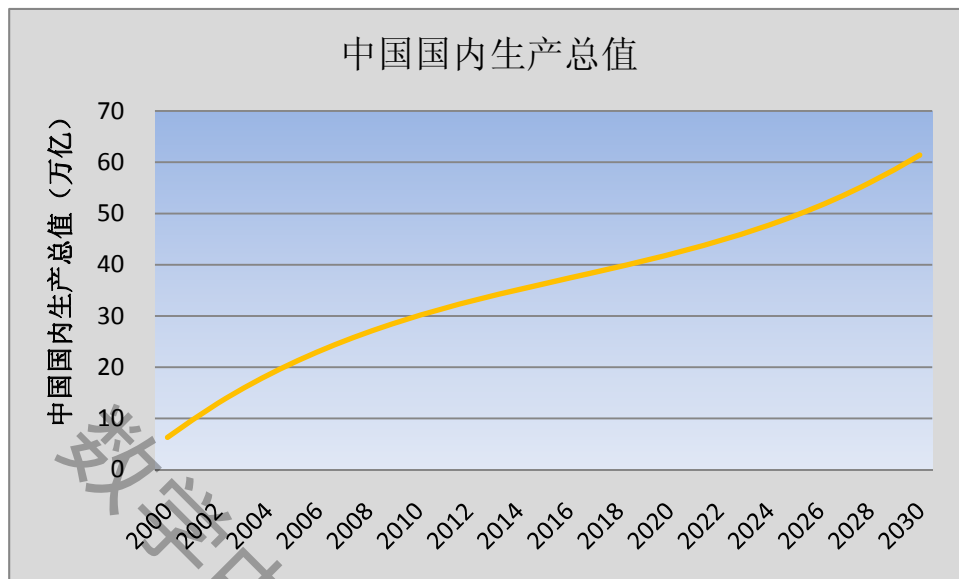
其中 $x_1$ 为高科技价总值， $x_2$ 为人均GDP， $y_c$ 为中国能源的需求值



依据 2000 年到 2006 年人均GDP、高科技价总值数据，我们用MATLAB拟合出

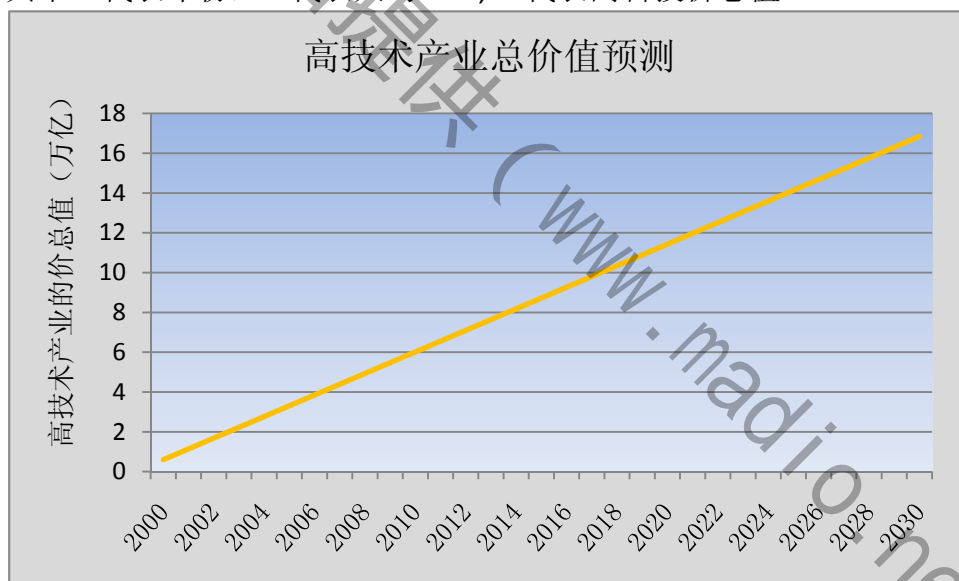
中国人均 GDP函数曲线：

$$G = 32.1190 \times n^3 - 1.9427 \times 10^5 n^2 - 3.9168 \times 10^8 n - 2.6324 \times 10^{11}$$



高科技价总值： $w = 5415n - 1.0284 \times 10^7$

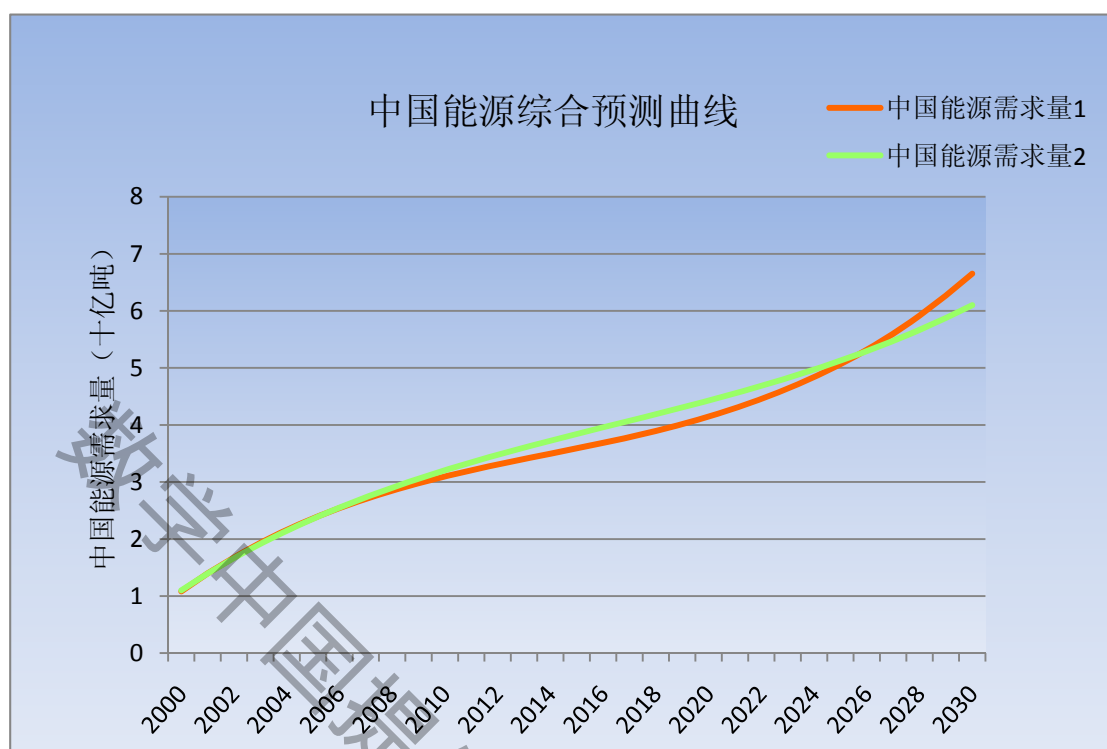
其中  $n$  代表年份， $G$  代表人均 GDP,  $w$  代表高科技价总值



为了更好对前面的函数进行综合修正作用，我们用 MATLAB 拟合出中国的能源曲线

中国能源需求曲线： $y_c = 1729n - 3.4326 \times 10^7$

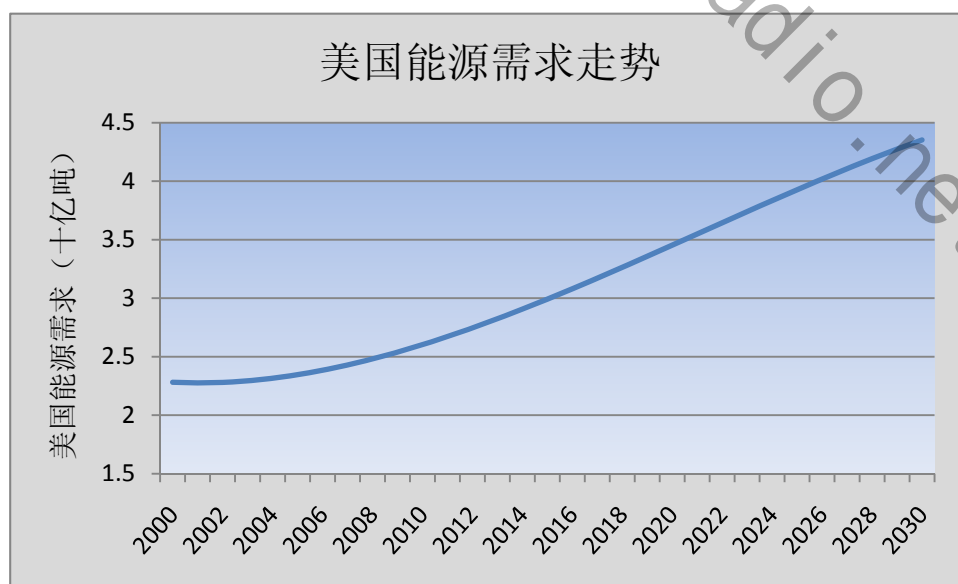
根据能源相关曲线和中国能源需求曲线我们综合预测出 2030 的中国能源需求量 662731.



我们依据 2000 年 2006 年的需求量数据，用同样的方法提出了美国能源和印度能源需求曲线

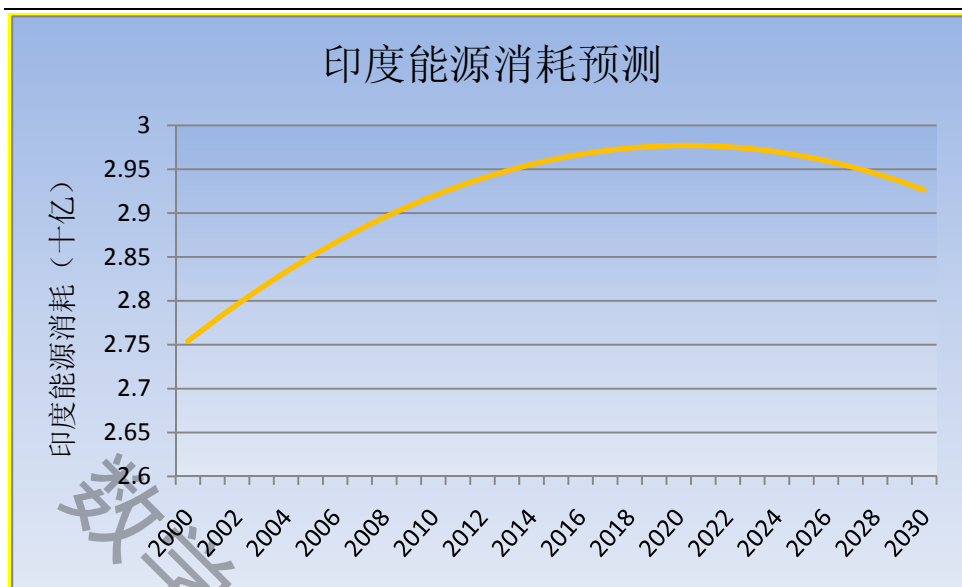
美国能源需求曲线：

$$y_A = -8.091x^3 + 48624x^2 - 9.8261 \times 10^7x + 6.6183 \times 10^{10}$$



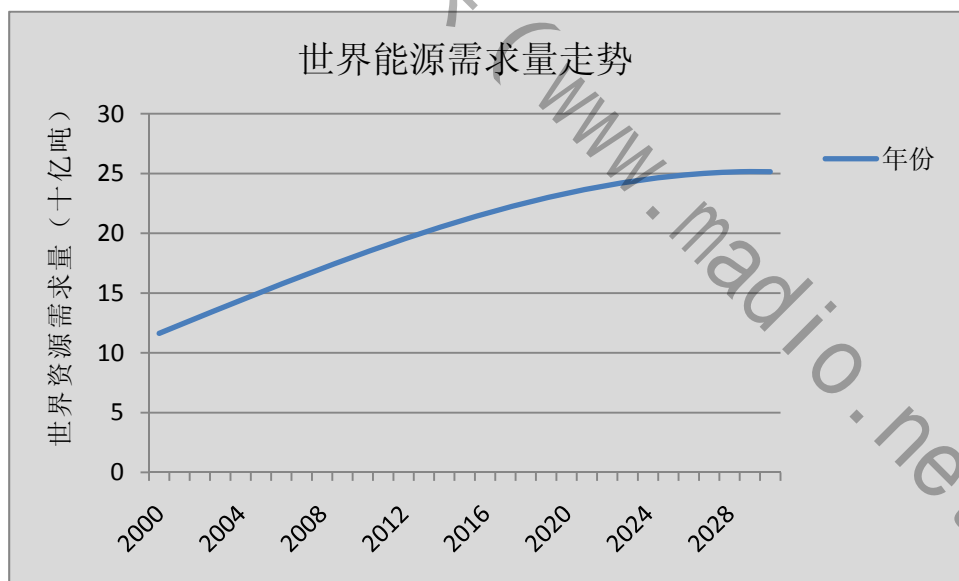
印度能源需求曲线：  $y_I = -53.9714x^2 + 218080x - 2.19999 \times 10^8$

报名号# 1417

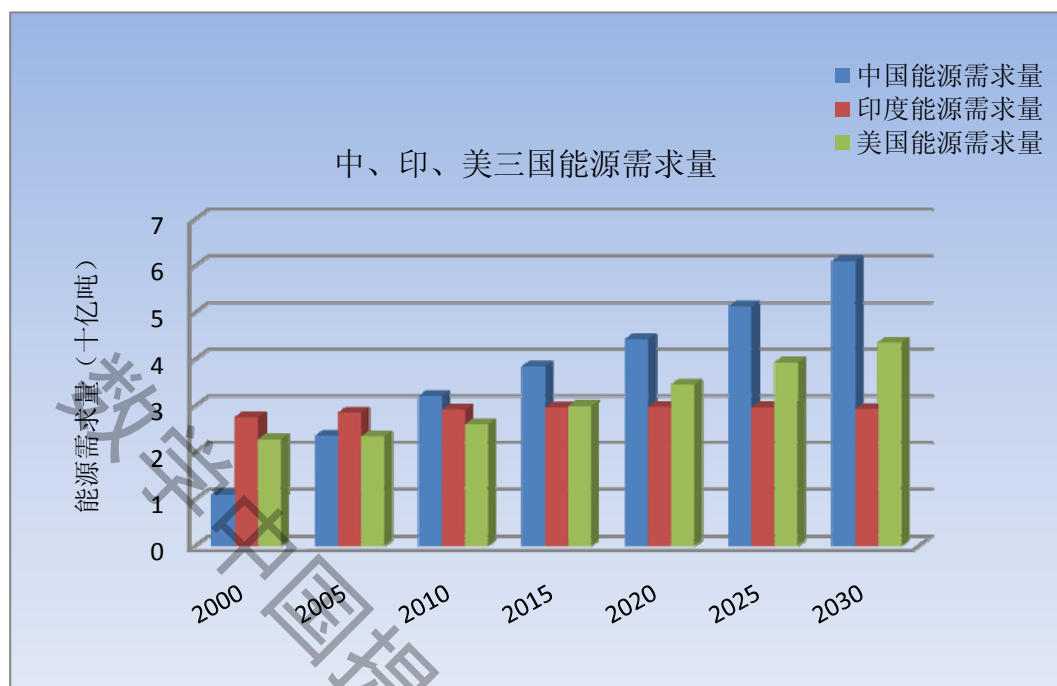


世界能源需求曲线：

$$y_w = -25.9523x^3 + 1.5566 \times 10^5 x^2 - 3.1114 \times 10^8 x + 2.0727 \times 10^{11}$$



最终我们预测出中国、印度、美国三国 2030 年能源需求量，如下图



### 7.3. 模型分析

#### 7.3.1. 数值分析

人均GDP的预测符合国家预期即 2020 年比 2000 年GDP总量翻两番，年平均GD增长大约为 8.4%，比较符合客观实际情况。同时预测出的世界 2030 能源需求总量大约比现在增加 50%，符合“完美风暴”的预想。预测出的美国 2030 年能源需求也与美国能源部预测的数据十分接近。

#### 7.3.2. 灵敏度分析



能源相关函数  $y_c = 9.8081x_1^{0.8} + 0.6564x_2 + 58174$  其中考虑到科学技术和经济对于能源需求的影响程度，9.8081 远远大于 0.6564，科学技术对于能源需求决定性很大，科学技术每提高一个层次，那么资源需求便大大增加。

### 7.3.3. 优缺点分析

优点：对于中国能源需求的预测，我们综合考虑了人均GDP和科技总产值等两个子因素，并分别提出了能源需求相关函数和中国能源需求曲线进行综合预测避免了偶然误差，使预测更加准确。同时预测出的人均GDP和能源需求值都比较符合实际情况。

缺点：由于时间有限和数据缺乏，对于许多函数仅靠MATLAB进行插值拟合，容易造成较大误差。有些函数为线性函数，预测有些粗略，仅能反映出大体的变化趋势，无法估计出精确数值。印度能源需求函数为开口向下的函数，仅仅在短时期内比较接近。

### 7.4. 模型的改进

针对美国和印度能源的需求预测，综合考虑经济，可以方面等子因素，提出相应的能源需求函数，与用MATLAB拟合出的曲线进行综合预测。提出能源需求函数时尽量使用较为复杂的指数函数。

## 8. 利用宋健-于景元人口模型<sup>[7]</sup> 预测人口数量

下面我们引入宋健-于景元人口模型对生育率调整（这里单方面指降低生育率）后的人口变化趋势进行预测，从而得到调整生育率的效果。

## 8.1. 模型假设

忽略死亡率、不孕不育率随时间的变化；

不考虑所查统计数字中人口漏报现象；

在预测时间内不发生大的疫情、自然灾害、战争而导致人口重大变化；

## 8.2. 模型建立

为研究任意时刻不同年龄的人口数量，引入人口的分布函数和密度函数。时刻 $t$ 年龄小于 $r$ 的人口称为人口分布函数，记作 $F(r, t)$ ，其中 $t, r \geq 0$ ，均为连续变量，设 $F$ 是连续、可微的。时刻 $t$ 的人口总数记作 $N(t)$ ，最高年龄记作 $x_m$ ，理论推导时设 $x_m \rightarrow \infty$ 。于是对于非负非降函数 $F(r, t)$ ，有

$$F(0, t) = 0, \quad F(x_m, t) = N(t) \quad (1)$$

人口密度函数<sup>[8]</sup>定义为

$$p(r, t) = \frac{\partial F}{\partial r} \quad (2)$$

$p(r, t)dr$ 表示时刻 $t$ 年龄在区间 $[r, r+dr)$ 内的人数。

记 $\mu(r, t)$ 为时刻 $t$ 年龄 $r$ 的人的死亡率，其含义是， $\mu(r, t)p(r, t)dr$ 表示时刻 $t$ 年龄在 $[r, r+dr)$ 内单位时间死亡的人数。

为了得到 $p(r, t)$ 满足的方程，考察时刻 $t$ 年龄变 $[r, r+dr)$ 内的人到时刻 $t+dt$ 的情况。他们中或者的那一部分人的年龄变为 $[r+dr_1, r+dr+dr_1)$ ，这里 $dr_1 = dt$ 。而在 $dt$ 这段时间内死亡的人数为 $\mu(r, t)p(r, t)dr$ 。于是

$$p(r, t)dr - p(r+dr_1, t+dt)dr = \mu(r, t)p(r, t)dr \quad (3)$$

上式可写作

$$[p(r+dr_1, t+dt) - p(r, t+dt)]dr + [p(r, t+dt)]dr = -\mu(r, t)p(r, t)drdt$$

注意到  $dr_1 = dt$  就可得到

$$\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial p}{\partial t} = -\mu(r, t) p(r, t), t, r > 0 \quad (4)$$

这是人口密度函数  $p(r, t)$  的一阶偏微分方程，其中死亡率  $\mu(r, t)$  为已知函数。

方程(4)有两个定解条件：初始密度函数记作  $p(r, 0) = p_0(r)$ ；单位时间出生的婴儿数记作  $p(0, t) = f(t)$ ，称婴儿出生率。 $p_0(r)$ 可由人口调查资料得到，是已知函数。将方程(4)及定解条件写作

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial p}{\partial t} = -\mu(r, t) p(r, t), t, r > 0 \\ p(r, 0) = p_0(r) \\ p(0, t) = f(t) \end{cases} \quad (5)$$

这个连续型人口发展方程描述了人口的演变过程，从这个方程确定出密度函数  $p(r, t)$ 以后，立即可以得到各个年龄的人口数，即人口分布函数

$$F(r, t) = \int p(s, t) ds \quad (6)$$

方程(5)的求解过程比较复杂，这里只给出一种特殊情况下的结果。在社会安定的局面下，死亡率大致与时间无关，于是可近似地假设  $\mu(r, t) = \mu(r)$ 。这时(5)式的解为

$$p(r, t) = \begin{cases} p_0(r-t)e^{-\int_{r-t}^r \mu(s) ds}, & 0 \leq t \leq r \\ f(t-r)e^{-\int_0^{r-t} \mu(s) ds}, & t > r \end{cases} \quad (7)$$

此外，我们选取人口总量函数

$$N(t) = \int_0^{r_m} p(r, t) dr \quad (8)$$

### 8.3. 生育率

在方程(5)或解(7)中  $P(r)$ 和  $\mu(r)$ 可从人口统计数据得到， $\mu(r, t)$ 也可由  $\mu(r, 0)$

粗略估计。这样，为了预测和控制人口的发展状况，人们主要关注和可以用作控制手段的就是婴儿出生率  $f(t)$  了。

生育率是反映人口生育的重要指标，是总出生数与相应人口中育龄妇女人数之间的比例。

本文使用生育率函数的改进公式：

$$f(t) = g(t + \omega)(1 - b(t)) \quad (7)$$

其中  $g(t + \omega)$  为由于政策生育、超生及其他影响的其他综合影响函数， $\omega$  与  $g(t + \omega)$  为生育率， $b(t)$  为不孕不育症患病率。不孕不育症患病率是指某时某区域出现不孕不育人数的比例，为了简化模型，通过普查和统计，将其定为常数  $b(t) = 0.08$ 。所以此时有

$$f(t) = 0.08 g(t + \omega) \quad (8)$$

#### 8.4. 求人口增长函数

联立公式(1)---(14),可以得到利用宋健-于景元人口模型的人口增长函数

$$N(t) = \int_0^t 0.08 g(t - r + \omega) e^{-\int_0^r \mu(s) ds} dr + \int_t^{r_m} p_0(r - t) e^{-\int_{r-t}^r \mu(s) ds} dr$$

通过 MATLAB 将人口增长函数分别与 1984 年—2007 年中国、美国、印度和世界的人口进行拟合，求出

$$W = (w_1, w_2, w_3, w_4) = (0.7411, 0.5430, 0.8533, 0.7011).$$

根据  $w_j$  的值我们估计 2030 年中国、美国、印度和世界的人口总量分别为

$$N_1 = 14.5276$$

$$N_2 = 3.0211$$

$$N_3 = 14.9847$$

$$N = 81.5323$$

#### 5. 模型评价

模型优点：基于宋健—于景元的人口发展模型，考虑到政策生育、超生及其他影响因素对生育率的影响，并通过大量、详尽、准确的数据处理，改进后的人口增长函数，实现了对我国、美国、印度以及世界总人口的预测。

模型缺点：为了简化模型，我们将迁移率、人口漏报、死亡率随时间的变化等因素划归为常数，会导致模型与现实数据的偏差有所增大。

## 9. 层次分析法确定权数模型

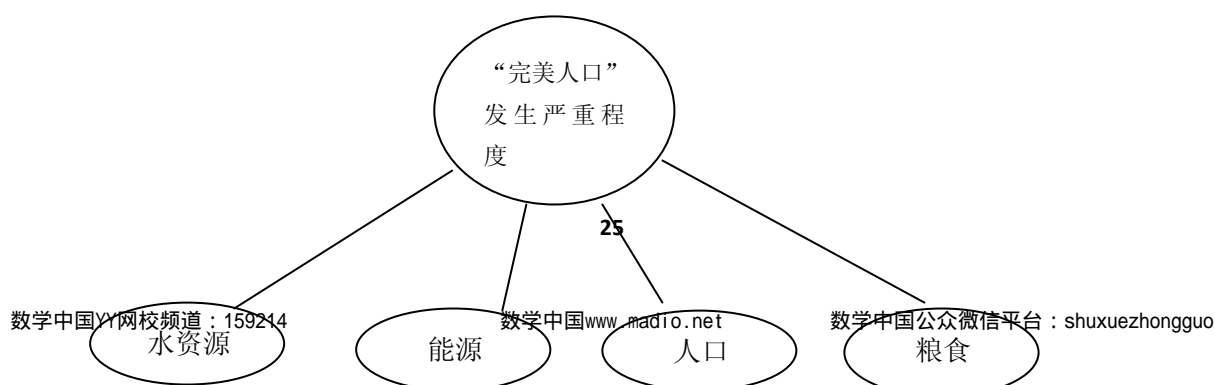
现有的确定权重的方法有很多，层次分析法(AHP)是传统的权重确定方法。层次分析法(AHP)是美国运筹学家，匹兹堡大学教授 Saaty • T • L 在 20 世纪 70 年代初提出来的。由于 AHP 在理论上具有完备性，在结构上具有严谨性，在解决问题上具有简洁性，因此 AHP 法介绍到我国后，业已在各行各业得到广泛和深入的应用。

利用层次分析法（AHP）确定四种因素对“完美风暴”发生严重程度的权重。由于水资源、能源、人口、粮食共同对“完美风暴”发生严重程度量进行作用，而这四种因素之间又有复杂的作用关系，为避免主观判断的不科学性，现决定用层次分析法对权重进行确定。

层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称 AHP）是对一些较为复杂、较为模糊的问题作出决策的简易方法，它特别适用于那些难于完全定量分析的问题。它是美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于 70 年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法。层次分析法是把复杂问题分解成各个组成因素，又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构。通过两两比较的方式确定各个因素相对重要性，然后综合决策者的判断，确定决策方案相对重要性的总排序。

### 9.1. 模型的建立

1)分析系统中各因素之间的关系，建立系统的递阶层次结构：



2) 对同一层次各元素关于上一层中某一准则的重要性进行两两比较, 构造两两比较的判断矩阵:

| 标度         | 含 义  |
|------------|--|
| 1          | 表示两个因素相比, 具有相同重要性  |
| 3          | 表示两个因素相比, 前者比后者稍重要   |
| 5          | 表示两个因素相比, 前者比后者明显重要  |
| 7          | 表示两个因素相比, 前者比后者强烈重要  |
| 9          | 表示两个因素相比, 前者比后者极端重要  |
| 2, 4, 6, 8 | 表示上述相邻判断的中间值   |
| 倒数         | 若因素 $i$ 与因素 $j$ 的重要性之比为 $a_{ij}$ , 那么因素 $j$ 与因素 $i$ 重要性之比为 $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ |

完美风暴影响程度    水资源    能源    人口    粮食

|     |   |               |               |               |
|-----|---|---------------|---------------|---------------|
| 水资源 | 1 | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{3}$ |
| 能源  | 5 | 1             | $\frac{1}{3}$ | 3             |
| 人口  | 7 | 3             | 1             | 5             |
| 粮食  | 3 | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | 1             |

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} \\ 5 & 1 & \frac{1}{3} & 3 \\ 7 & 3 & 1 & 5 \\ 3 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$$

### 3) 层次单排序及一致性检验

判断矩阵  $A$  对应于最大特征值  $\lambda_{\max}$  的特征向量  $W$ , 经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值, 这一过程称为层次单排序。

矩阵  $A$  元素满足  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, \forall i, j, k = 1, 2, 3, 4$

$A$  正互反矩阵满足上述公式因此为一致矩阵。

正互反矩阵  $A$  的最大特征根  $\lambda_{\max}$  为正实数, 其对应特征向量的所有分量均为

正实数。

用 MATLAB 求解矩阵 A 的特征值：

eig(a)

ans =

4.1170

-0.0037 + 0.6934i

-0.0037 - 0.6934i

-0.1095

$\lambda_{\max} = 4.1170$

(i) 计算一致性指标CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

$$CI = \frac{4.1170 - 4}{4 - 1} = 0.0390$$

(ii) 查找相应的平均随机一致性指标RI。对  $n=1,2,3,4,5,6,7,8,9$  Saaty 给出了 RI 值，如下表所示：

| n  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

用随机方法构造 500 个样本矩阵：随机地从 1~9 及其倒数中抽取数字构造正互反矩阵，求得最大特征根的平均值  $\lambda'_{\max}$

$$RI = \frac{\lambda'_{\max} - n}{n-1}$$

$$RI = 0.90$$

(iii) 计算一致性比例CR

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0390}{0.90} = 0.0433$$

因为  $CR < 0.10$  时，判断矩阵的一致性是可以接受的

## 9.2. 模型的求解

已知  $n$  个元素  $u_1, u_2 \dots u_n$  对于判断矩阵为  $A$ ， $u_1, u_2 \dots u_n$  的权重  $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n$  写成向量形式即为  $W = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n)^T$

求解权重：

计算步骤如下：

第一步：A 的元素按行归一化；

第二步：将归一化后的各行相加；

第三步：将相加后的向量除以 n，即得权重向量。

将判断矩阵 A 的 n 个行向量归一化后的算术平均值，近似作为权重向量，即

$$\omega_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

通过 MATLAB(程序在目录中)求解出这四个因素的权重为：

水资源：  $\omega_1 = 0.0262$

能源：  $\omega_2 = 0.1458$

人口：  $\omega_3 = 0.2500$

粮食：  $\omega_4 = 0.0708$

### 9.3. 模型的改进

通过其他方法，综合各种因素，减少人为因素，得出权重，最后将每种方法综合考虑求解权重。

1)几何平均法：将 A 的各个行向量进行几何平均，然后归一化，得到的行向量就是权重向量。其公式为

$$\omega_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{kj})^{\frac{1}{n}}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

计算步骤如下：

第一步：A 的元素按列相乘得一新向量；

第二步：将新向量的每个分量开 n 次方；

第三步：将所得向量归一化后即得权重向量。

2)特征根法：解判断矩阵 A 的特征根问题

$$AW = \lambda_{\max} W$$

式中， $\lambda_{\max}$  是 A 的最大特征根，W 是相应的特征向量，所得到的 W 经归一化后就可作为权重向量。

3)对数最小二乘法。用拟合方法确定权重向量  $W = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n)^T$ ，使残差



平方和 $\sum_{1 \leq i \leq j \leq n} [\lg a_{ij} - \lg(\omega_i / \omega_j)]^2$ 为最小。

4)最小二乘法。确定权重向量 $W = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_n)^T$ ，使残差平方和

$\sum_{1 \leq i \leq j \leq n} [\lg a_{ij} - \lg(\omega_i / \omega_j)]^2$ 为最小。

#### 9.4. 模型的评价

人们在进行社会的、经济的以及科学管理领域问题的系统分析中，面临的常常是一个由相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂而往往缺少定量数据的系统。层次分析法的优点是这类问题的决策和排序提供了一种新的、简洁而实用的建模方法。

该方法并不能克服因构造判断矩阵者的判断失误所造成的误差，所以当判断矩阵存在严重不一致时仍然必须对判断矩阵中元素的值进行调整，形成一个新的判断矩阵，如果因素较多，会影响找出一致判断矩阵的效率，这是层次分析法的缺点

### 10. 评估中国在“完美风暴”中的地位和作用

我们已经对世界、中国、美国、印度在 2030 年的水资源需求量、能源需求量、粮食需求量和人口进行建模预测，下面我们通过比较中国和美国、印度这两个极具代表性的国家在“完美风暴”发生时在世界上所占比重来说明中国在“完美风暴”中的地位和作用。

在前面我们已经通过不同的数学模型得到如下数据：

2030 年中国、美国、印度和世界水资源需求量、  
能源需求量、粮食需求量和人口的预测值

| 国家 | 2030 年水资源需求量 (亿立方米) | 2030 年能源需求量 (万吨) | 2030 年粮食需求量 (万吨) | 2030 年人口 (亿人)  |
|----|---------------------|------------------|------------------|----------------|
| 中国 | 11891               | 662731           | 75430.2          | 14.5276        |
| 美国 | 7767                | 433050           | 50541.5          | 3.0211         |
| 印度 | 2035                | 367070           | 37698.3          | 14.9847        |
| 世界 | <b>254491</b>       | <b>2515087</b>   | <b>336518.7</b>  | <b>81.5323</b> |

我们已经在前面得到水资源需求量、能源需求量、粮食需求量和人口等因素在“完美风暴”中的绝对贡献系数，即各因素在“完美风暴”中所起到作用的绝对权值。将绝对贡献系数标准化为相对贡献系数，综合考虑四个因素，我们可以求出各个国家在“完美风暴”中对世界所起作用的相对值。

已知水资源需求量、能源需求量、粮食需求量和人口的绝对贡献系数

$a = (a_i) = (0.0262, 0.1458, 0.0708, 0.2500)$ ,

其中  $i=1, 2, 3, 4$  分别代表水资源需求量、能源需求量、粮食需求量和人口。

将绝对贡献系数标准化为相对贡献系数（和为 1）如下

$$a'_i = \frac{a_i}{|a|} = \left( \frac{a_i}{\sum_{i=1}^4 a_i} \right) = (0.0532, 0.2959, 0.1437, 0.5073) = (a'_i) \quad (1)$$

利用各因素的相对贡献系数，下面我们求中国、美国和印度三个国家对世界所起作用的相对值  $b_j$

$$b_j = \sum_{i=1}^4 \frac{X_{ij}}{X_i} a'_i, \quad (2)$$

其中  $j=1, 2, 3$  分别代表中国、美国、印度；

$X_{ij}$  代表  $j$  国家  $i$  资源的需求量， $X_i$  代表世界  $i$  资源的需求量。

根据式 (1) (2)，有

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{11891}{254491} \times 0.0532 + \frac{662731}{2515087} \times 0.2959 + \frac{75430.2}{336518.7} \times 0.1437 + \frac{14.5276}{81.5323} \times 0.5073 \\ &= 0.0606394 \end{aligned}$$

报名号# 1417

$$b_2 = \frac{7767}{254491} \times 0.0262 + \frac{433050}{2515087} \times 0.1458 + \frac{50541.5}{336518.7} \times 0.0708 + \frac{3.0211}{81.5323} \times 0.2500$$

$$= 0.0200471$$

$$b_3 = \frac{2035}{254491} \times 0.0262 + \frac{367070}{2515087} \times 0.1458 + \frac{37698.3}{336518.7} \times 0.0708 + \frac{14.9847}{81.5323} \times 0.2500$$

$$= 0.0539905$$

求出  $\frac{b_1}{b_2} \approx 3.03$  ,  $\frac{b_1}{b_3} \approx 1.13$

即在“完美风暴”中我国所起的作用约为美国的 3.03 倍，印度的 1.13 倍。由于所选取的美国和印度极度具有代表性，所以可以得出在“完美风暴”中中国的地位和作用是非常重要的。

## 第二部分：结合危机预测模型，通过中国自身和几个国家协同影响降低完美风暴发生的可能性

### 11. 粮食增产对完美风暴可能性的影响

粮食增产的因素有很多种，主要是依靠增加耕作面积和增加单位亩产量。增加单位亩产量很大依靠农业科技的成果，袁隆平的杂交水稻大大提高了单位产量，以色列的节水农业-即采用的喷灌和滴灌技术，即节约了用水又增加了粮食的产量。在这里我们不要求精确的数值分析，只要求预测出大体的粮食增产趋势即可，由于科技原因对于粮食增产的复杂性，为简化模型，我们单单分析通过增加耕地，进而导致的粮食增产即可。最终分析粮食增产对我完美风暴可能性的影响。

#### 11.1. 中国国内

我们重点关注中国国内剩余的耕地，对这些耕地进行合理的开垦，进而增加耕地面积。

### 11.1.1. 背景和政策实施

我国耕地面积占世界总耕地面积的 7%，却养活着世界上 22%的人口，情况十分严峻。然而从耕地面积看，根据国家统计局的最新统计，中国耕地面积约为 18-22 亿亩，高于原先的 14 亿亩，同时还有 2 亿亩荒地，可开垦出 1 亿亩耕地，其中包括分布于东部沿海等地区的盐碱荒地，如果能成功改造，即可增加耕地 3000 万亩。即依据本国政策适度开垦荒地，增加耕地面积，必然能使粮食总量得到提高。为此我们假定到 2030 前夕，我国成功开垦 4000 万亩耕地。依据现阶段的生产力水平，粗略地估算出粮食增产量。

### 11.1.2 粮食增产量的估算

我国单位面积（公顷）粮食产量为 5.01 吨（2006 年），居于世界首位。我们将单位换算成公顷，得到 266.68 万公顷。为此我们计算出国内粮食增产量  $\sigma_1 = 1336.01$  万吨。经分析我们得知 2030 年单位粮食能力大约是我们现在的 1.48 倍，因此我们可以估计得到国内粮食增产量  $\sigma_1 = 1977.29$  万吨。

## 11.2. 国际协同

我们通过国际合作，获取国外闲置耕地，并输入科技生产力，与当地人进行联合粮食生产，进而达到粮食的增产。

### 11.2.1. 自然情况和背景

我国的人均耕地面积只有 0.077 公顷，而俄罗斯的人均耕地面积为 0.84 公顷，相当于中国的 10.9 倍。与俄罗斯开展农业合作，不但可以大大缓解我国耕地面积的不足，还可以解决中国的劳动力过剩问题。我们也同样看到，拉丁美洲国家的森林、土地等自然资源十分丰富，人口密度仅仅为每公里 21 人，大大低于世界平均水平。拉美国家拥有世界上 23% 的可耕地，12% 的已经耕地和 17% 的草场。目前全地区耕地面积达 1.6 亿公顷，潜在的可耕地面积高达 7 亿公顷，单单巴西就可有 2 亿公顷耕地，因此与他们进行农业生产合作前景是十分可观的。

### 11.3. 国家外交政策及计划实施可能性论证

近年来随着上海合作组织的建立，中俄的合作日趋密切，两国进入了一个关系蜜月期，两国在经贸、农业、能源等方面进行了广泛的合作，预期在近 20 年内，这种趋势将越来越明显。目前俄罗斯联邦人口稀少，土地广袤，约有 4000 万公顷耕地无人耕作，俄罗斯政府希望外国企业对其进行农业投资，并希望中、日、韩三国农民赴俄罗斯进行农业开垦，所以前景十分乐观。

中国和拉丁美洲关系也日趋紧密，双边贸易额突破历史新高，政治上建立了高度互信，双方在能源、农业、医疗等领域进行了广泛的合作。委内瑞拉总统访华标志着双边关系上了一个新台阶。拉美国家耕地资源丰富，但是缺乏劳动力，同时由于地理和历史原因，农业属于粗放型，单位土地公顷产量不高。拉美国家希望得到中国劳动力和技术上的援助。因此计划前景也十分乐观。

#### 11.3.1. 具体实施计划

考虑到具体的实际情况，我们应该将耕地合作的重点放在俄罗斯上，其次是拉美国家（体现在获得的百分比上），俄罗斯相对于拉美情况更好，而且距离中国较近，开垦农民较易前往。为此我们假定 2030 年前夕，中国在俄罗斯获得 2000 万公顷耕地，拉美国家获得 8000 万顷。中国不一定要派出开垦的全部劳动力，辅助以技术指导，与当地人密切合作，共同致力于世界粮食产量的提高。

#### 11.3.2 粮食增产量的估算

获得的总耕地面积： $\tau = 1$  亿公顷，由于气候地理因素，和中国农民传统技术的综合作用，我们粗略假定单位土地的平均产出为 4863.7 公斤/公顷。

（2006 年世界粮食平均生产水平即 3233.4 公斤/公顷，据权威部门预计 2030 年约为 4863.7 公斤/公顷），我们得到国外粮食增产  $\sigma_2 = 48637$  万吨

#### 11.4. 国内和国外的综合增产量

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = 50614.29 \text{ (万吨)}$$

### 12. 水资源需求对完美风暴的影响

#### 12.1. 中国农业节水分析

##### 12.1.1. 背景

以色列位于沙漠边缘地带，淡水资源十分短缺，然而以色列人民和政府致力于节水农业和淡水开发利用，取得了举世瞩目的成就。我国人口众多耕地稀少，人均占有耕地面积仅为世界的  $\frac{1}{4}$ ，为世界上 13 贫水国之一，与以色列相当，然而我们国家却没有以色列的节水情结，为此我们应该借鉴以色列的节水经验和学习先进的节水技术。

##### 12.1.2. 问题分析

目前世界上先进的灌溉技术主要有两种：喷灌和滴灌，与传统的灌溉粗放型的方式相比，喷灌能节水 50%到 60%，滴灌能节水 70%至 80%，其中滴灌设施费用要高于滴灌技术。目前节水灌溉在普及率较低，例如世界银行贷款节水灌溉项目，仅仅覆盖北京、辽宁、山东的 26 个县，面积为 160 万亩，并且这些项目大部分在东部地区，中西部的确比较少。因此在未来的 20 年内大力在中西部地区发展节水农业有着很深远的意义。我们粗略讨论下，在中西部地区大力开展节水农业对于淡水需求的影响。

##### 12.1.3. 估算节水量

鉴于实际地理和社会发展经济的实际情况，我们在中部地区采取喷灌农业，在西部地区开展滴灌农业。其中，农业用水总量：3599.5 亿立方米，农业用水约占全国总用水量的 70%，中国西部耕地面积占全国 31.6%，达 4662.5 亿亩，中部耕地面积占全国的 20%，达 2951.5 亿亩。其中西部农业用水 956.3 亿立方米，中部农业用水为 630.1 亿立方米。我们假定喷灌节水为 55%，滴灌节水 75%，由此我们计算出理论上全部采用节水技术后的节约的淡水量。

其中西部 $D_1 = 717.2$ 亿立方米，中部 $D_2 = 346.6$ 亿立方米，目前西部地区已有 17.4%的地区已经采用节水技术，中部地区已有 21.6%采用了喷灌技术，所以这些应该刨除这些数值，得到节水量西部地区应为 $F_1 = 592.4$  亿立方米，中部地区应为 $F_2 = 271.3$ 亿立方米，即得到的节水总量为 863.7 亿立方米

## 12. 2. 海水淡化分析

### 12. 2. 1. 背景介绍

早在 400 多年以前就有人提出海水淡化的问题，进入 20 世纪后，海水淡化技术随着水资源危机的加剧得到了加速发展，70 年代以来，更多的沿海国家由于水资源匮乏而加快了海水淡化的产业化。目前，无论是中东的产油国还是西方的发达国家都建有相当规模的海水淡化厂。沙特、以色列等中东国家 70%的淡水资源来自于海水淡化，美国、日本、西班牙等发达国家为了保护本国的淡水资源也竞相发展海水淡化产业。目前世界上每年海水淡化市场的成交额已达数百亿美元。在我国，海水淡化年产量也已超过了千万吨。中国是继美、法、日、以色列等国之后研究和开发海水淡化先进技术的国家之一，继西沙群岛日产 200 吨电渗析海水淡化装置成功运行后，又先后在舟山建成了日产 500 吨反渗透海水淡化站，在大连长海建成日产 1000 吨海水淡化站。日前，我国最大的日产 18000 吨苦咸水淡化工程在河北沧州建成投产。

### 12. 2. 2. 我国海水利用现状

我国是淡水资源极其匮乏的国家之一，人均淡水量仅为世界上平均水平的

1/4. 因此，一些国家在海水淡化方面的成功经验值得我们借鉴。我国是临海大国，大陆海岸线长达 18000 千米，领海面积达 300 万平方公里。海洋资源丰富。海水淡化所需的资源应该是十分充足，前景十分乐观。

目前在海水直接利用方面，我国青岛、大连、天津、上海、宁波、厦门、深圳等沿海城市的近百家单位均有利用海水作为工业冷却用水的实践。我国海水直流冷却已有近 70 年的应用历史，更先进的循环冷却技术在我国业已取得成效，已具备了示范条件。利用海水作为大生活用水(海水冲厕)代替城市生活用淡水，是节约水资源的一项重要措施。由于大生活用海水技术的逐步完善，我国沿海的部分城市已经将它应用于实际生活当中。有关资料显示：利用海水冲厕已经成为香港城市供水的一大特色，它有效地节约了淡水资源，1998 年香港的海水平均日用水量达 55 万多  $m^3$ ，海水年用水量已达 2 亿多  $m^3$ ，占香港总用水量的 18% 左右，节约了同等数量的饮用水。在天津塘沽的外滩公园也已经在应用海水冲厕技术。我国已拥有该项技术中的关键技术如：海水净化技术、防生物附着技术、大生活用海水后处理技术和大生活用海水的集成技术等。另外在此项技术发面我国也已有了技术创新如：高盐度污水处理、耐盐耐污微生物的驯化培养、耐盐耐污藻类的培养、新型高效海水用絮凝剂和混凝剂等。大生活用海水是解决我国沿海城市和地区淡水资源紧缺问题的有效途径之一。

### 12.2.3. 海水淡化成本

在海水淡化技术已成熟的今天，经济性是决定其广泛应用的重要因素。在国内，“成本和投资费用过高”，一直被视为是海水淡化难以大胆使用的主要问题，但事实情况并非如此，人们只是没有认识清楚真实的价格。

目前世界上常用的淡水取用方式主要有地下取水、远程调水和海水(苦咸水)淡化三种。开采地下水作为一个重要的开源措施，工程量小、成本低，这是很吸引人的优点，但地下取水受资源条件限制很大，而且许多地区多年来由于过度开采地下水，已形成地下漏斗，造成房屋倾斜，甚至导致了海水倒灌等环境危害，地下水的开采已经受到相当大的制约。

远程调水，目前并没有把工程投资费用以及被引水地区的间接经济损失计算在内，仅以日常运行费用、管理费计算其成本，这与真正成本相差很大。其实引水工程，除了巨额的投资之外，还要占用大量耕地，还存在被引水地区的环境危害等问题。如引黄济青(岛)工程，占地达 6.2 万亩，还会造成黄河断流、



## 报名号# 1417

植被破坏等生态环境问题，而生态环境的破坏在经济上是难以估量的。80 年代实施的引滦入津工程，时至今日每立方米成本仍达 2.3 元左右，距离天津市民的用水价 1.4 元有 0.9 元的政府补贴。专家预测，南水北调工程实施后，长江水流到北京，按现行不变成本计算，综合成本在 5 元/立方米以上，甚至有专家预测每立方米将达 20 元。美国有资料认为，远程调水超过 40 公里，成本将超过海水淡化。

对于海水淡化，能耗是直接决定其成本高低的关键。40 多年来，随着技术的提高，海水淡化的能耗指标降低了 90% 左右（从 26.4kwh/m<sup>3</sup> 降到 2.9 kwh/m<sup>3</sup>），成本随之大为降低。目前我国海水淡化的成本已经降至 4-7 元/立方米，苦咸水淡化的成本则降至 2-4 元/立方米，如天津大港电厂的海水淡化成本为 5 元/立方米左右，河北省沧州市的苦咸水淡化成本为 2.5 元/立方米左右。如果进一步综合利用，把淡化后的浓盐水用来制盐和提取化学物质等，则其淡化成本还可以大大降低。至于某些生产性的工艺用水，如电厂锅炉用水，由于对水质要求较高，需由自来水进行再处理，此时其综合成本将大大高于海水淡化的一次性处理成本。可见，如果抛开政府补贴等政策性因素而单从经济技术方面分析，海水淡化尤其是苦咸水淡化的单位成本实际上是很有竞争力的。

几种淡水获取方式的成本比较（单位：元/立方米）

| 取水方式      | 平均成本                |
|-----------|---------------------|
| 开采地下水     | 限制开采量               |
| 远程调水 引滦入津 | 2.3 元/立方米(直接成本)     |
| 南水北调      | 5-20 元/立方米(到北京平均水价) |
| 海水淡化 海水   | 4--7 元/立方米(综合成本)    |
| 苦咸水       | 2--4 元/立方米(综合成本)    |

在我国淡水资源一直受计划经济的影响，长期以来一直没有良性的水价形成机制，自来水的价格与实际价值严重背离，政府负担着巨额补贴，自来水的价格普遍偏低，目前自来水的价格一般为 1.5-2 元/立方米，随着淡化技术的不断进步和产业化规模效益的显现，海水淡化的成本将会越来越低。随着淡水资源的日趋缺乏，各个城市节水措施已经出台，实行自来水限量使用，超标加价。预期

在不久的将来，一方面海水淡化成本不断降低，另一方面自来水的价格不断上涨，两者将越来越接近，自来水价格甚至将高于苦咸水淡化的成本，随着科学技术的发展，能耗的降低，海水淡化的成本问题将得以解决，大规模的海水淡化必将在全国普及。

#### 12.2.4. 未来海水淡化的发展以及淡水增加量

2006 年，我国海水淡化日产 15 万吨，占世界海水淡化日产量的 4%。未来 20 年国际海水淡化市场充满着巨大的商机，为此我国应该大力发展海水淡化产业。力争到 2010 年，我国海水淡化规模将达到每日 80 万吨到 100 万吨，2020 年海水淡化能力达到每日 250 万至 300 万吨，2030 年达到每日 450 万吨到 500 万吨。

即相对于 2006 年，海水淡化日产量增加了 435 万吨到 485 万吨。通过估算我们得知淡水资源在 2030 年淡水量增加了 13.89 亿到 15.49 亿立方米。

### 13. 中国自身能源利用及国际能源合作

#### 13.1. 中国自身能源利用

这里我们分析中国国内能源的状况。从能源的角度上降低完美风暴的可能性有两个方面的措施：节约能源和增加能源的产量。这里我们重点分析了我国能源现状并对从节约能源和增加能源的产量两个方面具体给出多方面的未来能源使用和开发的规划，并鼓励开发新能源，分析出通过中国自身政策，能够降低完美风暴的可能性。

### 13.1.1. 中国能源现状

我国能源储量丰富，能源消费主要靠国内供应，能源自给率达 94%，我国是世界上第二大能源生产国，同时也是第二大能源消耗国。

我国常规能源探明技术可开发资源总量超过 8230 亿吨标准煤，探明剩余经济可采储量 1392 亿吨标准煤，约占世界总量的 10.1%。我国常规能源探明技术可开发资源总量超过 8230 亿吨标准煤，探明剩余经济可采储量 1392 亿吨标准煤，约占世界总量的 10.1%。我国能源储量虽然很丰富，水能资源和煤炭探明储量分别居世界第一、第三位，但人均却只有世界平均水平的一半左右，石油、天然气等人均储量更是低于世界平均水平。随着经济的发展，能源供应面临着越来越大的压力。中国从 1993 年由一个石油出口国变成一个石油净进口国之后，对能源的需求越来越大，中国每天的石油消耗量是 490 万桶。中国自己能够生产 330 万桶，其缺口 160 万桶，也就是大约三分之一，需要进口。长期以来，中国一直在努力扩大能源供应，实现能源供应多样化，以确保经济增长能够获得足够的动力。

### 13.1.2. 节能措施

中国在生活生产中由于技术条件的制约，造成资源大量的浪费，改进技术提高生产效率，节约能源有着重要的意义。例如美国奥巴马实施的《经济复兴计划君度报告》，着重推出“能源新政”，为美国家庭 4000 万个智能电表，同时投资 40 多亿美元推动电网现代化；改进发电燃料的利用效率，研制更高温度和压力参数的机组，使用整体煤气化燃气蒸汽联合循环技术，能节约煤消耗量高达 37%

提高人们的节能观念，加强节能方面的教育。建立合理的能源价格形成机制。各种能源特别是化石能源，大都是不可再生能源，能源价格应当充分反映资源稀缺程度，反映市场供需情况，反映生态保护和环境治理成本，这样才能向各类市场主体传递正确信号，从根本上促进能源节约和合理利用。

### 13.1.3. 未来能源政策

天然气热值高、碳排放强度低，是清洁的化石能源，也是满足城市和人口稠密地区能源需求的较佳选择，可以大规模开发利用。近年来我国新增天然气探明储量迅速增加，增产有很大潜力。中国大城市数量多，人口密集地区多，对天然气需求数量很大。因此，天然气大规模快速发展的条件已经具备，应当有效地增加天然气供应，进而优化能源结构。

石油是具有多种优良特性的优质能源，石油产品仍然是交通燃料的最佳选择。目前随着经济的迅猛发展，石油需求量越来越大。目前，我国陆上和海域油气资源还有很大潜力，我们保持石油产量长期稳定并有所增加，这对于确保能源安全，增加能源产量，抑制完美风暴发生有重大意义。

天然气水合物被称为“21 世纪潜在新能源”，受到各国科学家和政府广泛重视。天然气水合物又称固态甲烷，主要由甲烷与水分子组成，呈固体状态，是一种特殊的非常规天然气资源。它广泛存在于大陆周边海底和陆地冻土带内，资源极为丰富。联合国政府间气候变化专门委员会的报告认为，天然气水合物可能的资源量约为其他所有化石能源资源量总和的 2 倍，预计可开发部分也与油气资源总量相当。然而近期大规模天然气水合物的开发利用还面临一些难题，目前，我国已将天然气水合物开发技术纳入中长期科技发展规划，需要深化资源调查，开展应用研究，对天然气水合物开发技术进行探索。我们应该尽早开发这些能源。进而增加能源供给量。

太阳能是清洁无污染的能源，大力开发利用太阳能，对于增加能源供给量和减少环境污染有着重要的意义。此外，中国还有多种可再生能源资源具有成为发电能源的潜力，除生物质发电（包括直接燃烧、气化发电等）可以因地制宜发展外，地热能、海洋能也都可以开发用来发电，需要不断推进技术研发和应用。

热核聚变能被人类寄予厚望。地球上可用的聚变材料数量巨大，受控热核聚变技术一旦成功，将会开辟人类能源应用的新篇章。国际热核聚变实验堆（International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER）合作计划已经启动，如果进展顺利，有可能在 2030 年前后，开展商业性受控热核聚变发电的使用。中国已经积极参加此方面的研究，这个项目实施会使能源利用得到巨大的飞跃。

## 13.2. 国际间能源的合作

国际间的能源合作，重点讨论了中国与拉丁美洲、中国与俄罗斯、中国与非洲三个地区进行的能源合作，回顾过去的历史合作背景，分析合作，并最终对国际能源合作所带来的能源增加量进行粗略预测，分析对完美风暴的影响

### 13.2.1. 中拉合作 互利共赢

2008 年中国国内石油消费对外依存度达到 49.8%。据权威预测，中国 2009 年能源需求的一半以上都要靠进口。我国经济的发展需要能源，而拉丁美洲具有丰富的资源仍有待开采利用，面对国际经济危机的挑战和国际原油价格的动荡，原来拉美最大的石油出口国美国受到经济危机的严重打击，石油需求量严重减少，拉美产油国需要同中国展开合作，

中国在拉美的主要合作伙伴是委内瑞拉、秘鲁、厄瓜多尔、哥伦比亚等四个安第斯国家，合作项目涉及勘探、开采、冶炼、技术服务、油气管道建设等，中国与墨西哥、巴西的合作则主要以服务合同为主。由于中国能源企业进入拉美能源市场时间较晚，而且合作程度较低，因此拉美可以说是中国未来能源合作的“新大陆”，双方能源合作的潜力巨大，双方的合作有助于自身经济的发展，更能增加世界能源的供给量。

第一，拉美地区能源前景广阔，是拉美是全球三大石油出口地之一，除委内瑞拉、墨西哥、厄瓜多尔等拉美传统石油国外，巴西的石油储量几年内翻了几番，2007 年巴西已探明的石油储量达到 126 亿桶，随着图皮大油田的发现，其石油储量有望攀升至 700-1000 亿桶，世界排名将从第 17 位升至第 5 位，如果能实现预期开采，巴西将成为世界主要石油出口国。除了石油外，哥伦比亚和玻利维亚的天然气、巴西的生物能源都是中国未来拓宽能源合作的重要领域。

第二，巴西深海石油开采技术是中国开展技术合作的潜在领域。由于长期从

事海上油田的开发作业，巴西石油公司在海洋深水和超深水油气勘探开采技术方面居国际领先地位。中国同样是一个有着广阔海域的国家，提升本国石油企业的相关技术对国家的能源安全战略愈发紧迫，与巴西实现某种形式的技术合作应该是中方未来加强能源合作的一个方向。并且作为潜在能源大国和崛起中新兴国家，巴西有着与中国开展多领域合作的愿望，两国合作的长远利益在于在国际事务中实现某种战略同盟关系。因此，在未来的中国能源合作中，应该给予巴西更多的重视，这对于我国能源开发能力的提高有着重要的意义。

第三，拉美地区能源一体化建设为中国企业提供机遇。目前，能源合作成为拉美地区一体化的重要内容，并且成为带动本地区一体化发展的重要动力。合作内容可以涵括能源互换、勘探和开采技术共享与转让、能源项目相互投资、基础设施一体化等。中国企业不仅存在投资和工程承包等机遇，而且拉美内部能源合作较为开放的环境为中国企业的进入创造有利条件，可以说，中拉能源合作的重要意义在于实现与该地区的未来战略互动。

目前，中石油南美公司已同委内瑞拉方面签署了一个上下游一体化协议，计划将年产能提升到 4000 万至 5000 万吨。所谓“上下游一体化”，即在上游原产地合作开采，中游设立船运公司负责能源产品运输，下游与中国合资建厂炼油。这样一种创新的合作模式令双方成为利益共同体，既保证了双方互利共赢，又能在相对复杂动荡的政治社会环境中确保企业的稳定发展，这样的合作项目增加了能源供应量，相信随着合作的进一步深入，未来能源产出将大大提高。

### 13.2.2. 中俄合作 重在远东

#### 中俄资源的互补性

中俄两国具有得天独厚的能源合作互补性：俄罗斯是世界级的能源供应大国，2005 年出口石油 2.5 亿多吨，天然气 2000 多亿立方米，均居世界魁首。按照 2003 年，俄罗斯通过的《2020 年前俄罗斯能源战略》，到 2020 年，俄罗斯石油产量将从 2005 年的 4.7 亿多吨增加到 5.9 亿吨，出口量则从 2.5 亿多吨提高到 3 亿吨，天然气产量和出口也分别从 6000 多亿立方米和 2000 多亿立方米提高 9000 亿立方米和 3000 亿立方米。而中国则是仅次于美国的世界最大的能源进口国之一，预测表明，中国石油进口量将从 2005 年的 1.3 亿吨提高到 2020 年的约 3 亿吨，天然气进口量也将从目前的 200 多亿立方米增加到 600 多亿立方米。供求互补性为中俄两国能源合作奠定了客观物质基础。

中国和俄罗斯合作开发西伯利亚与远东资源得天独厚，不仅关系友好，经济要素互补，并且西伯利亚与远东地区是东北亚区域中能源资源最丰富、潜力最大、后劲最强的地区。因此西伯利亚与远东地区必将成为最需要的资金，和最具有潜力的大市场。

自前苏联解体后，俄罗斯经济便在逐步转轨，在这个过程中资金缺乏严重制约着俄罗斯油气工业的扩大和再生产和技术更新。为了扩大出口和稳定经济，俄罗斯注重吸引外资，与国外进行密切合作。我国外汇储备居于世界第一，我们可以与俄罗斯进行资金项目上的合作，联合开发。另外中国劳动力资源丰富，且较之于日本韩国，劳动力便宜，相比于俄罗斯人口稀少劳动力匮乏，我们又有较大的合作资本和优势。

仅 2007 年，俄罗斯通过西伯利亚大铁路向中国出口石油 1030 万吨，其中通过外贝加尔斯克口岸向中国出口 900 万吨，通过纳乌什基边境口岸向中国出口 130 万吨。俄铁总裁亚库宁对外界表示，俄铁今年计划通过西伯利亚大铁路向中国输送约 1500 万吨石油，比去年增长约 50%。俄政府还计划继续扩大对中国的石油出口量。TNK-BP 公司、罗斯石油公司及俄石油管道运输公司均希望今年俄罗斯的石油能通过阿塔苏-阿拉山口输往中国[10]。未来随着合作的进一步加深，资源出口量将进一步增加，这对促进我国经济发展，对于缓解世界能源危机有着重要的积极意义。我们综合评估中非，中拉，中俄的能源合作前景。为此，我们就中国与国外合作所创造的能源增产进行估计，一切政策按计划实施，合作顺利，大约在 2030 时候，那么总量大约增加 11.7 亿吨（换算成标准煤）

## 14. 中国对周边国家人口政策的影响

我国自实施计划生育以来，在 30 年内人口减少了大约 4 亿人。计划生育所带来人口减少的效果举世瞩目，它维护了中国社会的稳定，保证了经济的高速增长。为此世界上有许多国家（尤其是人口众多的发展中国家）借鉴了我们的计划生育政策。例如印度，作为世界上人口第二多的国家，人口压力也十分巨大，他们为此借鉴了中国计划生育政策，提倡一个家庭生育两个子女，类似地，世界人口大国巴基斯坦，孟加拉都采取了相应的人口政策。鉴于实际情况这里我们不便一一估测模型进行人口定量的分析，我们重点讨论非洲——世界上最贫穷大陆的人口数量发展情况。

非洲地区人口增长率居于世界前列，由于其传统的社会观念，经济发展水平

的制约，人口政策推行得十分缓慢。随着中国与非洲关系的日趋密切，中国对其实施了医疗、卫生、科技等方面的大力援助，并在很大程度上能影响着非洲的人口政策，最后通过降低生育率来降低非洲总人口数量，并在一定程度上降低“完美风暴”发生的可能性。

我们分析前面所得出利用宋健-于景元人口模型的人口增长函数

$$N(t) = \int_0^t 0.08g(t-r+\omega)e^{-\int_0^r \mu(s)ds} dr + \int_t^{r_m} p_0(r-t)e^{-\int_{r-t}^r \mu(s)ds} dr, \text{ 我们可以知}$$

道，人口的预测和发展状况，可以由  $g(t+\omega)$  确定。要对人口发展状况进行有效控制，就必须采取措施降低  $g(t+\omega)$  的值，也就是降低  $\omega$  的值（由题设知  $\omega$  和  $g(t+\omega)$  正相关）。通过 MATLAB 将人口增长函数与非洲 1984 年—2007 年的人口进行拟合，求出  $\omega = 0.8322$

用现在的  $\omega$  预测对非洲 2030 年的总人口进行预测，得到 17.47 亿。

我们通过降低妇女生育率的措施，使得  $\omega$  的值降低为 0.7000，再次利用宋健-于景元人口模型人口增长函数进行 2030 年人口的预测为 16.33 亿。那么通过我国的影响，使非洲能更好的执行了人口政策，使得总人口在 2030 年以前少增加了 1.14 亿人，由此可见，我们的区域协同和影响对减小“完美风暴”发生地可能性可以发挥极大的作用。

## 15.完美风暴发生的可能性分析

### 15.1. 自身发展与协同发展前发生完美风暴的可能性分析

下面我们提出函数来形容能源危机发生可能性、水资源危机发生可能性、粮食危机发生可能性和人口危机发生可能性。

(1) 对于能源来说，设能源的提供量和需求量的差值为  $\Delta h$ ，当  $\Delta h < 0$  时，危机发生可能性为 1，当  $\Delta h > 0$  时，危机可能性会随着  $\Delta h$  的增大而逐渐减小。考虑到能源危机发生可能性的这个特点，我们假设其函数形式如下：

$$\begin{cases} p_r = e^{ax}(1-bx) \\ x = \frac{\Delta h}{c} \end{cases}$$



其中  $c$  为能源危机发生时能源需求的临界值，这里取  $c=2533424$ （万吨）。

我们选取数组相关的  $\Delta h$  值，求出  $a=2.1287$ ， $b=2.3215$ ，则能源危机发生可能性函数如下：

$$\begin{cases} p_r = e^{2.1287x}(1 - 2.3215x) \\ x = \frac{\Delta h}{2533424} \end{cases}$$

(2)对于水资源来说，其危机发生可能性与能源的危机发生可能性完全类似，我们可以假设它们的可能性函数形式一致。我们选取数组相关数据，求出函数中的未知系数。得到水资源危机发生可能性函数为

$$\begin{cases} p_w = e^{2.7678x}(1 - 2.7590x) \\ x = \frac{\Delta h}{246534} \end{cases}$$

(3)粮食危机发生可能性  $\varphi$  与粮食需求量  $x$  和粮食危机发生时的粮食需求量临界值  $\alpha$  两者之比正相关并且相关性比较大。我们根据这些可以设

$$\varphi = s - \gamma\left(\frac{x}{\alpha} + 1.1081\right)^2, \text{ 其中 } \alpha = 321516.2,$$

代入相关数据计算，可以得到  $s=1.3094$ ， $\gamma=0.3094$  其中  $1.1081 = \frac{356267.2}{321516.2}$ 。

所以粮食危机发生可能性函数为

$$\varphi = 1.3094 - 0.0394\left(\frac{x}{321516.2} + 1.1081\right)^2.$$

(4)人口危机发生可能性与人口总量  $x$  几乎成线性关系，我们可以简单地设其函数为  $C = k\frac{x}{u} + d$ ，其中  $u=8.3 \times 10^9$ ，带入相关数据进行拟合，我们得到未知系数的值为  $k=2.7667, d=-1.7667$ ，。所以人口危机发生可能性函数为

$$C = 2.7667 \frac{x}{8.3 \times 10^9} - 1.7667$$

各种影响因素预测值与临界值

| 影响因素       | 预测值 ( $\lambda$ ) | 临界值 ( $\mu$ ) |
|------------|-------------------|---------------|
| 水资源 (亿立方米) | 254491            | 246534        |
| 能源 (万吨标准煤) | 2515087           | 2533424       |
| 人口 (亿)     | 82.8              | 83            |
| 粮食 (万吨)    | 336518.7          | 321516.2      |

能源单因素中完美风暴贡献可能性：

$$\Delta h = \lambda - \mu = 2533424 - 2515087 = 18337$$

$$x = \frac{\Delta h}{2533424} = \frac{18337}{2533424} = 0.0072$$

$$p_r = e^{2.1287x}(1 - 2.3215x) = 0.9803$$

水资源单因素中完美风暴贡献可能性：

$$\Delta h = \lambda - \mu = 254491 - 246534 = 7957$$

$$x = \frac{\Delta h}{246534} = \frac{7957}{246534} = 0.0323$$

$$p_w = e^{2.7678x}(1 - 2.7590x) = 0.9909$$

粮食单因素中完美风暴贡献可能性：

$$x = \lambda = 336518.7$$

$$\varphi = 1.3094 - 0.0394\left(\frac{x}{351516.2} + 1.1081\right)^2 = 0.9823$$

人口单因素中完美风暴贡献可能性：

$$x = \lambda = 82.8 \times 10^8$$

$$C = 2.7667 \frac{x}{8.3 \times 10^9} - 1.7667 = 0.9933$$

有层次分析法得出的权重：

|        |        |
|--------|--------|
| 水资源需求量 | 0.0262 |
| 能源需求量  | 0.1458 |
| 粮食需求量  | 0.0708 |
| 人口     | 0.2500 |

$$0.0262/(0.0262+0.1458+0.0709+0.2500)=0.0532$$

$$0.1458/(0.0262+0.1458+0.0709+0.2500)=0.2958$$

$$0.0708/(0.0262+0.1458+0.0709+0.2500)=0.1436$$

$$0.2500/(0.0262+0.1458+0.0709+0.2500)=0.5072$$

经过调整后的权重

|        |        |                   |
|--------|--------|-------------------|
| 水资源需求量 | 0.0532 | (p <sup>1</sup> ) |
| 能源需求量  | 0.2958 | (p <sup>2</sup> ) |
| 粮食需求量  | 0.1436 | (p <sup>3</sup> ) |
| 人口     | 0.5072 | (p <sup>4</sup> ) |

四种因素对完美风暴共同作用：

$$\begin{aligned}
 \text{完美风暴发生的可能性为: } P &= p_r * p^2 + p_w * p^1 + \varphi * p^3 + C * p^4 \\
 &= 0.9803 * 0.2958 + 0.9909 * 0.0532 + 0.9823 * \\
 0.1436 + 0.9933 * 0.5072 &= 0.9875
 \end{aligned}$$

## 15.2. 经过中国自身影响及与他国协调调整发生完美风暴的可能性分析

协同作用后 2030 总量大约增加 11.7 亿吨（换算成标准煤）

$$p'_r = e^{2.1287x}(1 - 2.3215x) = 0.8621$$

协同作用后 2030 年淡水量增加了 13.89 亿到 15.49 亿立方米。即得到的节水总量为 863.7 亿立方米

$$p'_w = e^{2.7678x}(1 - 2.7590x) = 0.8513$$

协同作用后国内和国外的综合增产量 50614.29（万吨）

$$\varphi' = 1.3094 - 0.0394\left(\frac{x}{351516.2} + 1.1081\right)^2 = 0.8233$$

协同作用后由于中国的影响，非洲能更好的执行了人口政策，使得总人口在 2030 年以前少增加了 1.14 亿人

$$C' = 2.7667 \frac{x}{8.3 \times 10^9} - 1.7667 = 0.8654$$

$$\begin{aligned}
 P' &= p'_r * p^2 + p'_w * p^1 + \varphi' * p^3 + C' * p^4 \\
 &= 0.8621 * 0.2958 + 0.8513 * 0.0532 + 0.8233 * \\
 0.1436 + 0.8654 * 0.5072 &= 0.8575
 \end{aligned}$$

经过协同作用后完美风暴发生的可能性由 0.9875 降低到 0.8575, 有效地降低了完美风暴发生的可能性。

## 16. 参考文献

- [1]曹书民, 杜清玲 基于 BP 神经网络的人力资源需求预测(J) 山东理工大学学报(自然科学版) (2008)05—0026—04:26-29)。
- [2]徐新清, 程钧谟, 杨保亮. 基于 BP 神经网络的第三方物流服务商的选择研究 [J], 华东经济管理, 2005, 9(9): 85—8)。
- [3]程屿菲, 聂规划. BP 网络在企业管理中的应用研究[j]. 武汉理工大学学报(信息与工程版), 2004, 8(4): 139—142.
- [4]<http://www.census.gov/tjsj/> 美国U.S. Census Bureau  
<http://labor/bnu.edu.cn/resource/data/index.htm>) 中国国际统计年鉴
- [5]邓聚龙. 灰色控制系统. 湖北: 华中科技大学出版社. 1993-9-1
- [6]刘文海, 赵 宏, 薛立华, 薄瑞峰顾客需求在产品概念设计方案评价决策中的权重确定方法 1671-0924 (2005) 11-0073-06
- [7]姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型 (第三版). 北京: 高等教育出版社. 2003.
- [8]<http://www.chinaep.net/hbmulu/c13/c13-18-5.htm> 海水淡化的能耗与成本
- [9]<http://www.chinaep.net/hbmulu/c13/c13-18-5.htm> 海水淡化的能耗与成本 2009 年 5 月 31 日
- [10]《中俄能源合作专题》互利共赢 造福双方——中俄国家年跳出优美经贸之舞  
来源: 国际金融报 作者: 发布时间: 2007. 04. 05]

## 附录 1

### 1.1.1. 灰色模型预测的求解

```
clear;  
clc;  
n=length(x0);  
k=0;  
  
for i=1:n           %计算累加值  
    k=k+x0(i);
```

```
x1(i)=k;
end
for i=2:n
    y(i-1)=x0(i);
end
y=y';
for i=2:n
    z(i)=0.5*(x1(1)+x1(i-1));
end

for i=1:n-1 %计算数据矩阵B的第一列数据
    c(i)=-z(i+1);
end

for j=1:n-1 %计算数据矩阵B的第二列数据
    e(j)=1;
end

for i=1:n-1 %构造数据矩阵B
    B(i,1)=c(i);
    B(i,2)=e(i);
end
alpha=inv(B'*B)*B'*y;
```

### 1.2.层次分析法求权重:

```
a=[1 1/5 1/7 1/3;
    5 1 1/3 3;
    7 3 1 5;
    3 1/3 1/5 1];
```

```
for k=1:4
    s=0;
    for i=1:4
        z=0;
        for j=1:4
            z=z+a(j,i);
        end
        s=s+a(k,i)/z;
    end
    w=1/4*s
end
```