

# Energy Consumption Prediction in Yunnan Province Based on GM(1,1) Model

Xiaoxiao Yin

School of Statistics and Mathematics, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan  
Email: [yinxiaoxiao2011@163.com](mailto:yinxiaoxiao2011@163.com)

Received: Jul. 27<sup>th</sup>, 2015; accepted: Aug. 7<sup>th</sup>, 2015; published: Aug. 14<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Energy is essential to human survival, economic development and social progress. Based on the historical data of energy consumption in Yunnan Province, we establish GM(1,1) model and predict total energy consumption in Yunnan province using Matlab software. The results show that energy consumption in Yunnan Province continues to grow in the next six years. In addition, the model of high prediction accuracy can accurately predict the energy consumption. It provides an important basis for the Yunnan making scientific and rational energy consumption policy.

## Keywords

GM(1,1) Model, Energy Consumption, Predictions

---

# 基于GM(1,1)模型的云南省能源消费预测研究

尹潇潇

云南财经大学统计与数学学院, 云南 昆明  
Email: [yinxiaoxiao2011@163.com](mailto:yinxiaoxiao2011@163.com)

收稿日期: 2015年7月27日; 录用日期: 2015年8月7日; 发布日期: 2015年8月14日

---

## 摘要

能源对人类生存、经济发展和社会进步至关重要。本文基于云南省能源消费总量的历史数据, 建立GM(1,1)

模型,使用Matlab软件对云南省未来能源消费总量进行预测。结果表明,云南省未来六年的能源消费量持续增长,此外,该模型的预测精度较高,可以准确预测能源消费量,为云南省制定科学合理的能源消费政策提供重要依据。

## 关键词

GM(1,1)模型, 能源消费, 预测

## 1. 引言

能源对人类和国家经济的发展、社会的进步至关重要。我国在快速发展的同时,对能源的需求量也在不断增加,从而导致了能源消耗量迅速增长,能源的供给也日趋紧张起来。我国未来经济的发展和进步将受到能源问题的影响、制约。能源在国民经济中占有重要的地位,做好能源预测的相关工作,准确预测能源未来消费的发展趋势,可以给有关部门制定科学的能源战略规划,合理的能源消费政策提供依据,同时有利于维护我国国民经济健康、持续、稳定的发展,建设节约型和谐社会,这具有重要的现实意义和战略意义。

对能源消费总量的预测研究,国内外学者采用了不同的方法进行预测。如韩君[1]建立三次曲线模型预测了1990~2003年我国的能源消费总量;程静[2]则结合广东省能源消费总量的历史数据,建立ARMA模型,运用Eviews软件,对2007~2010年广东省的能源消费总量进行预测;孙文生[3]预测河南省煤炭消费总量采用了BP人工神经网络法。还有一些学者则建立组合预测模型、灰色系统GM(1,1)模型对其他领域的问题进行预测研究,如王惠婷[4]将趋势外推模型与ARIMA模型相结合,建立了组合预测模型,预测河南省许昌市的粮食产量;李泉龙[5]在研究南水北调施工进度预测问题中,建立了GM(1,1)预测模型,结果表明该模型的预测比较接近于实际情况;王慧蕾[6]在基于MATLAB和GM(1,1)模型的预测方法应用实例一文中,建立灰色系统GM(1,1)模型对地方公共图书馆个数进行预测。

关于云南省能源消费量预测问题,本文首先结合云南省能源消费历史数据,对数据进行累加生成处理;然后建立灰色系统GM(1,1)模型,并对该模型进行残差和后验差检验;模型通过检验后,我们运用Matlab软件对云南省2015~2020年的能源消费总量及变化趋势进行预测。准确的预测有利于云南省制定科学合理的能源政策,这具有重要的理论与现实意义。

## 2. GM(1,1)模型相关理论介绍

### 2.1. 灰色系统

灰色系统理论[7]是我国学者邓聚龙教授于1982年创立的。它以部分信息已知,部分信息未知的小样本、贫信息的不确定性系统为研究对象,通过生成部分信息、开发并提取有价值的信息,实现对系统规律的探究。以灰色系统理论为依据的预测方法从创建以来,在很多领域得以成功应用。其中,一个变量、一阶微分的GM(1,1)预测模型是灰色系统预测的重要模型,由于该方法具有所需建模信息少、运算简便、精度高、易于检验等特点,因此常常将其用于能源与环境等问题的预测。

灰色预测模型(简称GM预测模型)不仅是灰色系统理论的基本模型,也是灰色控制理论的基础。它的建模是以时间序列在时间数据平面上的连续曲线或逼近曲线与时间轴所围成的区域为基础,通过微分方程拟合而建立的模型。GM(1,1)模型既是灰色模型中最基本的模型,又是灰色预测的主要模型。

## 2.2. GM(1,1)模型

### 2.2.1. GM(1,1)模型预测基本原理

GM(1,1)模型是灰色系统模型中比较常用的一种,采用该模型预测时间序列数据的数值大小时,需要的原始数据量少,而且预测结果较准确等特点。灰色 GM(1,1)预测模型的基础是数据的生成,是将原始数据序列进行一次累加处理,生成有较强规律的新的数据序列;其次建立相应的一阶单变量微分方程模型,寻找所生成的新数据序列的规律,得到微分方程的解即时间响应序列;最后再将运算结果累减还原得到原始序列拟合值的一种方法。为了确保所建立的模型具有较高的预测精度,一般还需要检验。

### 2.2.2. GM(1,1)模型预测的基本步骤

采用 GM(1,1)模型进行预测的基本步骤[8]如下:

(1) 收集整理原始数据序列:

将连续年份的原始数据序列记为  $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n))$ ,

其中  $n$  表示年数,  $x^{(0)}(n)$  表示时间  $n$  对应的数据值。

(2) 对原始数据进行一次累加处理生成新的数据序列:

将形成的数据序列记为  $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(n))$ , 其中  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ 。

(3) 对  $X^{(1)}$  建立一阶微分方程:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \quad (1)$$

其中称  $a$  为发展系数 ( $|a| < 2$ ),  $u$  为灰作用量。

(4) 利用最小二乘法得到参数序列的估计:  $\hat{\alpha} = [a, u]^T = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$

$$\text{其中 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

(5) 求解(1)式:

经解, 得到一阶微分方程的解  $\hat{x}^{(1)}(t) = \left(x^{(1)}(0) - \frac{u}{a}\right)e^{-at} + \frac{u}{a}$ , 此解也称为时间响应函数。相应地,

GM(1,1)模型的时间响应序列为  $\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(1)}(0) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} + \frac{u}{a}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$ 。

令  $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$ , 从而得到 GM(1,1)预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-ak} + \frac{u}{a}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (2)$$

(6) 对计算出的  $\hat{x}^{(1)}(k+1)$  值进行累减还原得:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (3)$$

(7) 对得到的预测值进行检验, 如果拟合的较好的话, 可以使用该 GM(1,1)模型直接进行预测, 否则

要先对残差进行修正，然后再做预测。

(8) 运用已通过检验的模型做预测。

### 2.2.3. 模型检验

模型初步确定以后，必须先检验模型的合理性，只有通过检验的模型才可以用来做预测。通常 GM(1,1) 模型检验包括残差检验和后验差检验。

(1) 残差检验

分别计算原始数据序列  $x^{(0)}(k)$  和  $\hat{x}^{(0)}(k)$  的绝对残差序列、相对残差序列和平均相对残差序列：

绝对残差序列： $\Delta^{(0)} = \left\{ \Delta^{(0)}(k) \mid \Delta^{(0)}(k) = \left| x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \right|, k = 1, 2, \dots, n \right\}$ ；

相对残差序列： $\varepsilon = \left\{ \varepsilon(k) \mid \varepsilon(k) = \frac{\Delta^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \times 100\%, k = 1, 2, \dots, n \right\}$ ；

平均相对残差序列： $\varepsilon_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(k)$ ；

GM(1,1)模型的计算精确度： $p = (1 - \varepsilon_{avg}) \times 100\%$ 。

当  $\varepsilon_{avg} < 20\%$ ，即  $p > 80\%$  时，GM(1,1)模型的计算准确度被认为一般；当  $\varepsilon_{avg} < 10\%$ ，即  $p > 90\%$  时，则 GM(1,1)模型的计算准确度较高。

(2) 后验差检验

首先计算原始数据序列和绝对残差序列的标准差即  $S_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left( x^{(0)}(k) - \overline{x^{(0)}} \right)^2}$ ，其中  $\overline{x^{(0)}}$  为原始序列的平均值  $\overline{x^{(0)}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k)$ ；

$S_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left( \Delta^{(0)}(k) - \overline{\Delta^{(0)}} \right)^2}$ ，其中  $\overline{\Delta^{(0)}}$  为残差序列的平均值  $\overline{\Delta^{(0)}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta^{(0)}(k)$ ；

从而有标准差比值  $C = \frac{S_2}{S_1}$  和小误差概率  $P = P \left\{ \left| \Delta^{(0)}(k) - \overline{\Delta^{(0)}} \right| < 0.6745S_1 \right\}$ 。

若  $C$  越小， $P$  越大，那么模型效果越好，具体检验标准见表 1。

## 3. 云南省能源总量预测研究

### 3.1. 数据来源及说明

本文主要通过建立 GM(1,1)模型研究云南省能源消费总量问题并对未来的消费趋势进行预测，因此，我们选用 2002 年至 2011 年云南省能源消费总量的数据集作为训练集，构建模型做预测，2012~2014 年的数据集作为测试集，用于检验模型的预测效果，数据[9]来源于云南省 2012 年统计年鉴。将 2002~2011 年的能源消费数据序列记为  $X^{(0)} = \left( x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n) \right)$ ，2002 年对应  $n=1$ ，依次至 2011 年对应  $n=10$ ，为了便于计算，令能源消费量的单位为亿吨标准煤。

使用 Matlab 软件作出云南省 2002~2011 年能源消费总量趋势图，如图 1 所示。

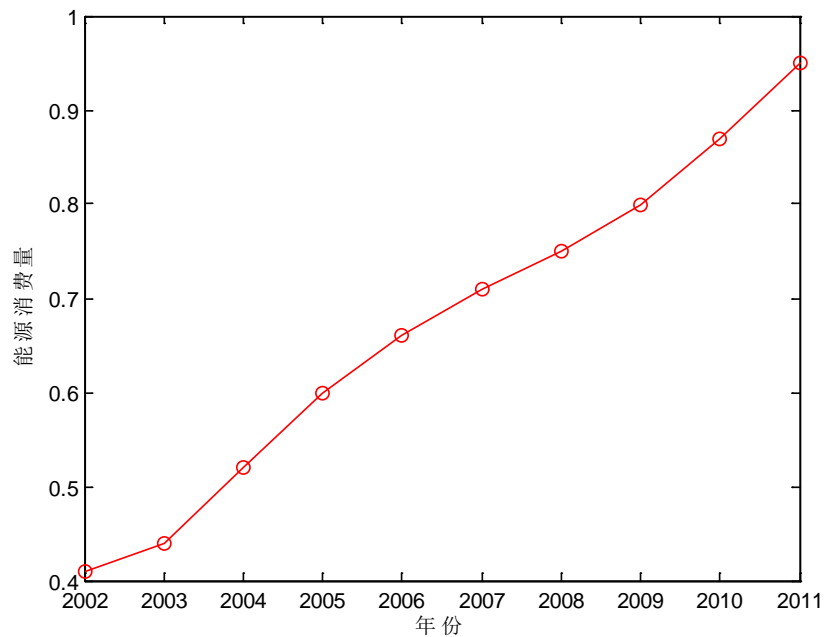
由图 1，可以发现云南省能源消费总量在 2002~2011 年期间呈逐年增长的趋势。

### 3.2. 模型构建

首先对云南省能源消费总量数据作一次累加处理；然后建立一阶微分方程，采用最小二乘法求出参数序列，进而得到该方程的解；最后就确立了 GM(1,1)预测模型。具体建模过程如下：

**Table 1.** Reference table of the standard of prediction precision test of the GM(1,1) model  
**表 1.** GM(1,1)模型预测精度检验标准参照表

模型预测精度等级	平均相对残差 $\varepsilon_{avg}$	标准差比值 $C$	小误差概率 $P$
1 (好)	小于 0.01	小于 0.35	大于 0.95
2 (合格)	小于 0.05	小于 0.5	大于 0.8
3 (勉强合格)	小于 0.1	小于 0.65	大于 0.7
4 (不合格)	大于或等于 0.2	大于或等于 0.65	小于或等于 0.7



**Figure 1.** Trend of total energy consumption from 2002-2011 in Yunnan province

**图 1.** 2002~2011 年云南省能源消费总量趋势图

第一，原始序列

$$\begin{aligned} X^{(0)} &= (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(10)) \\ &= (0.41, 0.44, 0.52, 0.60, 0.66, 0.71, 0.75, 0.80, 0.87, 0.95) \end{aligned}$$

第二，对原始数据序列  $X^{(0)}$  做依次累加处理得到生成序列  $X^{(1)}$ ，即

$$\begin{aligned} X^{(1)} &= (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), \dots, x^{(1)}(10)) \\ &= (0.41, 0.85, 1.37, 1.97, 2.63, 3.34, 4.09, 4.89, 5.76, 6.71) \end{aligned}$$

第三，对  $X^{(1)}$  建立一阶微分方程：

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \quad (4)$$

其中称  $a$  为发展系数 ( $|a| < 2$ )， $u$  为灰作用量。

第四，采用最小二乘法求参数序列的估计：

因为

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(9) + x^{(1)}(10)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$= (-0.63, 1; -1.11, 1; -1.67, 1; -2.3, 1; -2.99, 1; -3.72, 1; -4.49, 1; -5.33, 1; -6.24, 1)$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(10) \end{bmatrix} = (0.44, 0.52, 0.6, 0.66, 0.71, 0.75, 0.8, 0.87, 0.95)^T$$

从而参数序列的估计  $\hat{a} = [a, u]^T = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n = \begin{bmatrix} -0.0840 \\ 0.4343 \end{bmatrix}$ ，即  $a = -0.0840$ ， $u = 0.4343$ 。

第五，确定时间响应序列函数，建立 GM(1,1) 预测模型：

根据(2)式，时间响应序列为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left( x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a} = 5.5802e^{0.084k} - 5.1702, \quad k = 0, 1, 2, \dots, 9$$

对  $\hat{x}^{(1)}(k+1)$  进行一次累减可得云南省能源消费总量的预测模型：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, 9$$

第六，根据第五，可以得到原始序列的拟合值，从而确定绝对残差和相对残差，结果见表 2。

### 3.3. 模型检验

下面根据表 2 的计算结果，对模型分别进行残差检验和后验差检验。由表 2 再结合 2.2.3 模型检验的理论知识，可以分别计算出：平均相对残差  $\varepsilon_{avg} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \varepsilon(k) = 0.02922$ ；原始序列和绝对残差的标准差

$$S_1 = 0.1799, \quad S_2 = 0.01472, \quad \text{从而有 } C = \frac{S_2}{S_1} = 0.0818; \quad \text{小误差概率 } P = P\left\{ \left| \Delta^{(0)}(k) - \overline{\Delta^{(0)}} \right| < 0.6745S_1 \right\} = 1。$$

平均相对残差  $\varepsilon_{avg}$ 、标准差比值  $C$  和小误差概率  $P$  的结果见表 3。

根据表 1 GM(1,1) 模型预测精度检验标准参照表，可以发现： $\varepsilon_{avg} = 0.02922 < 0.05$ ，预测精度为 2 级合格； $C = 0.0818 < 0.35$ ，且  $P > 1$ ，其预测精度皆为 1 级好。下面使用 Matlab 软件作出云南省 2002~2011 年能源消费总量实际值与 GM(1,1) 模型预测值的拟合图，见图 2。其中红色线图代表 2002~2011 年云南省能源消费总量的实际值  $y$ ，而蓝色线图则代表相应年份的预测值，如下图 2 所示。

图 2 进一步说明了 GM(1,1) 模型的预测效果较好，因此，我们可以利用 GM(1,1) 模型对云南省未来能源消费总量进行预测。

将云南省 2012 年至 2014 年的能源消费总量数据作为测试集来进一步检验所建立模型的预测精度。2012~2014 年云南省能源消费总量的预测误差见表 4。

由表 4 发现：所建模型对 2012~2014 年的预测误差都较小，基本上都接近于 0，该模型的预测精度较高。因此，我们可以使用此模型对云南省未来 6 年的能源消费情况进行预测。

**Table 2.** Results of actual value, fitted value and residual of the model  
**表 2.** 原始序列值、拟合值以及残差计算结果

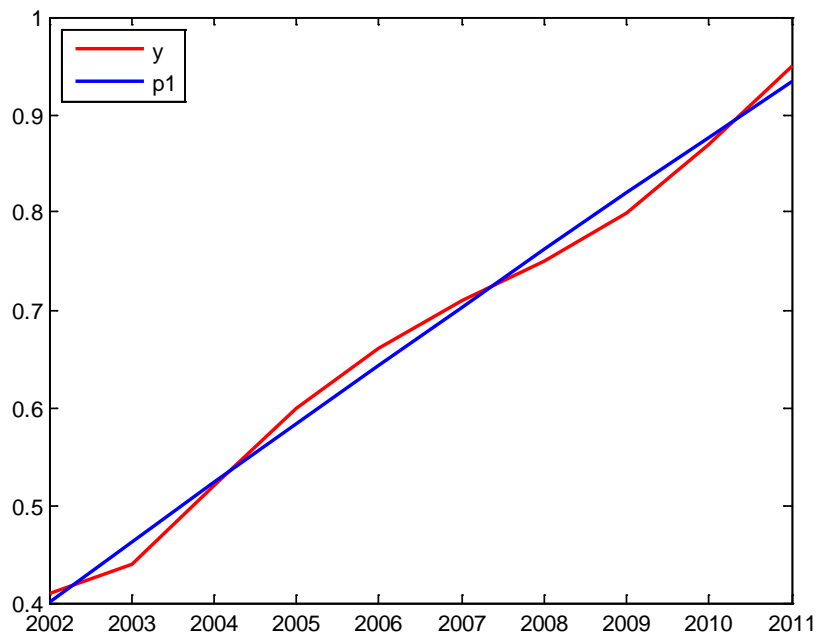
年份	$X^{(0)}$	$X^{(1)}$	$\hat{X}^{(1)}$	$\hat{X}^{(0)}$	$\Delta^{(0)}$	$\varepsilon$
2002	0.41	0.41	0.41	0.41	0	0
2003	0.44	0.85	0.899	0.489	0.049	0.1114
2004	0.52	1.37	1.4308	0.5318	0.0118	0.0227
2005	0.6	1.97	2.0093	0.5785	0.0215	0.0358
2006	0.66	2.63	2.6384	0.6291	0.0309	0.0468
2007	0.71	3.34	3.3226	0.6842	0.0258	0.0363
2008	0.75	4.09	4.0669	0.7443	0.0057	0.0076
2009	0.8	4.89	4.8763	0.8094	0.0094	0.0117
2010	0.87	5.76	5.7567	0.8804	0.0104	0.012
2011	0.95	6.71	6.7142	0.9575	0.0075	0.0079

**Table 3.** Results of the average relative residuals, standard deviation ratio and small error probability  
**表 3.** 平均相对残差、标准差比值和小误差概率计算结果

$\varepsilon_{avg}$	$C$	$P$
0.02922	0.0818	1

**Table 4.** The prediction, actual, absolute value of the relative error from 2012 to 2014  
**表 4.** 2012~2014 年预测值和真实值以及相对误差绝对值

年份	实际值(亿吨标准煤)	预测值(亿吨标准煤)	相对误差绝对值(%)
2012	1.0434	1.0414	0.1917
2013	1.1317	1.1327	0.0884
2014	1.2423	1.2419	0.0322



**Figure 2.** Fitting figure of calculated value and actual value of GM(1,1) model  
**图 2.** GM(1,1)模型计算值与实际值与的拟合图

### 3.4. 云南省能源总量预测

根据 3.2 所建立的模型 
$$\begin{cases} \hat{x}^{(1)}(k+1) = 5.5802e^{0.084k} - 5.1702 \\ \hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \end{cases}, k = 0, 1, 2, \dots, n-1, \text{ 令 } k = 13, 14, 15, 16, 17, 18,$$

可以预测出云南省 2015~2020 年能源消费总量，预测结果见表 5。

2015~2020 年云南省能源消费总量预测值变化趋势，如图 3 所示。

## 4. 结论与建议

### 4.1. 结论

本文利用云南省 2002~2011 年能源消费总量数据，建立 GM(1,1)模型预测云南省 2015~2020 年这六年的能源消费总量及其变化趋势。主要得到的结论有：

(1) 建立 GM(1,1)模型预测云南省的能源消费总量，该预测模型的平均相对残差预测精度为 2 级，标准差比值和小误差概率预测精度均为 1 级，而且能源消费总量预测值拟合效果较好，由此说明利用该 GM(1,1)模型作预测是可行的。云南省能源消费总量预测准确度的提高，为其制定科学合理的能源战略政策提供了依据。

(2) GM(1,1)模型适用于解决数据少的问题，因为没有考虑到未来一些因素变化的影响，故而该模型一般适合做短期和中期预测，对长期预测是不适合的。

(3) 由表 4 的预测和图 3 可知，云南省未来六年的能源消费总量呈逐年递增的趋势，能源形势非常严峻。因此，云南省应该大力节约能源使用量，不断的开发新能源，提高能源的使用效率。

### 4.2. 建议

根据云南省目前能源的消费情况以及预测到的未来发展趋势，云南省政府应当制定科学有效的能源

Table 5. Prediction data of total energy consumption between 2015 and 2020 in Yunnan province

表 5. 云南省 2015~2020 年能源消费总量预测值

年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020
预测值(亿吨标准煤)	1.3399	1.4573	1.585	1.7238	1.875	2.0392

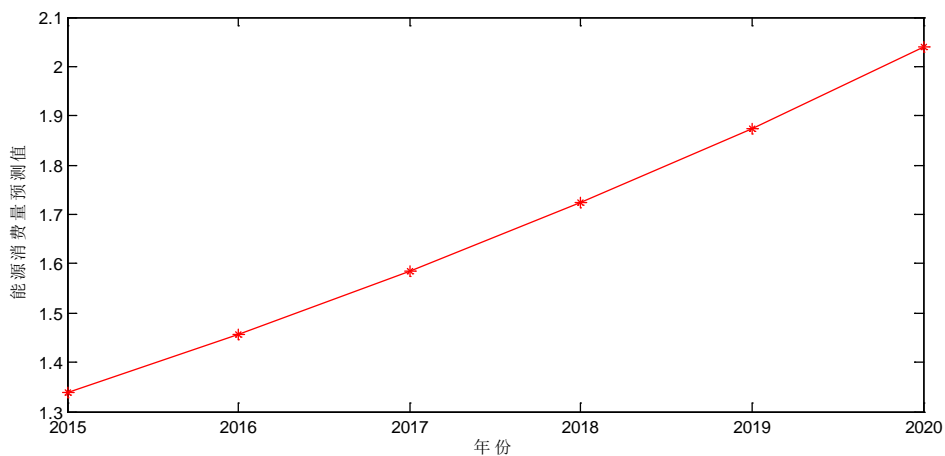


Figure 3. Trend of prediction data of total energy consumption between 2015 and 2020 in Yunnan province

图 3. 云南省 2015-2020 年能源消费量预测值变化趋势图



战略政策，提高新能源开发技术水平。此外，应倡导在发展经济的同时，务必要重视能源的合理使用，节约能源，提高能源的使用效率。

### 参考文献 (References)

- [1] 韩君, 梁亚民 (2005) 趋势外推与 ARMA 组合的能源需求预测模型. *兰州商学院学报*, **6**, 92-95.
- [2] 程静, 郑定成, 吴继权 (2010) 基于时间序列 ARMA 模型的广东省能源需求预测. *能源工程*, **1**, 1-5.
- [3] 孙文生 (2011) 基于灰色理论与 BP 神经网络的煤炭需求预测. *科技传播*, **15**, 87-88.
- [4] 王惠婷 (2013) 基于混合时间序列模型的粮食产量预测. *统计与决策*, **12**, 24.
- [5] 李泉龙 (2015) 灰色系统 GM(1,1)模型在南水北调施工进度预测中的应用. *黑龙江科技信息*, **4**, 74-75.
- [6] 王慧蕾 (2015) 基于 Matlab 和 GM(1,1)模型的预测方法应用实例. *现代计算机*, **2**, 44-47.
- [7] 邓聚龙 (1988) 灰色预测与决策. 华中理工大学出版社, 武汉.
- [8] 陈海涛 (2014) GM(1,1)模型预测我国石油需求量. *生态经济*, **2**, 127-130.
- [9] 云南省统计局 (2011) 云南省统计年鉴——2011. 中国统计出版社, 北京.