

灰色模型预测天然气消费量

王 兵¹, 刘书文², 罗 山², 方 炯³, 孙 丽³

(1. 中国石油西气东输管道(销售)公司豫皖管理处, 安徽 定远 233200

2 四川科宏石油天然气工程有限公司, 重庆 400024

3 西南石油大学研究生院, 四川 成都 610500)

摘 要: 天然气是现代城市人民生活 and 工业生产的一种主要能源, 正确合理地预测天然气消费量有着重要的意义。介绍了利用灰色理论预测天然气消费量的模型, 包括 GM(1, 1)模型和动态等维灰数递补灰色预测模型, 对模型进行了求解; 介绍了模型精度的检验方法, 用实例加以验证, 与实际消费量进行了对比, 计算结果表明, 灰色模型预测天然气消费量既简单又准确, 有较好的适应性和较高的精度, 对天然气输配管网的优化运行和统一调度管理具有重要的参考意义。

关键词: 灰色模型; 预测; 天然气消费量; 灰色理论; 模型检验

文章编号: 1006-5539(2008)05-0030-03 **文献标识码:** A

0 引言

天然气具有洁净、高效、资源丰富、方便储运等优点。据 BP 的数据, 2004 年全球天然气产量已高达 $2.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 产量增长速度达 3.3%, 占世界一次能源需求总量的 25% 左右, 消费量已达 $2.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 在能源结构中的比例已增加到 24% 左右; 2005 年全球天然气产量 $2.763 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 天然气消费量为 $2.7496 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。随着我国经济的发展, 天然气产量及需求均逐年增加, 2004 年我国天然气产量超过 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比 2003 年增长 7% 以上; 2005 年, 我国天然气消费仅占全球消费量的 1.7%, 不过当年增速高达 20.8%, 位居各国前列; 2006 年, 我国天然气消费量达到 $490 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比上一年进一步增长 26%^[1-2]。随着环保要求的日益严格和人们环保意识的增强, 天然气这种洁净能源的市场份额将不断扩大, 前景十分广阔。

目前, 天然气在发电、工业、民用燃料和化工原料等领域的使用已占相当高的比重, 对促进社会进步, 经济发展和人们生活质量的提高正在发挥着越

来越重要的作用。而我国的天然气主要应用于化工、油气田开采以及发电等领域, 它们在天然气消费结构中所占比例为 87% 以上, 居民用气在天然气消费结构中所占比例不到 11%, 今后我国将大力发展居民用气^[3]。

天然气作为城市燃气, 是现代城市人民生活 and 工业生产的一种主要能源。天然气消费量是反映居民生活消费水平的一个重要的指数。故对其进行预测, 对保证管网供气量, 进行管网的优化调度、设备维修等具有重要的意义, 也有利于国家更好地分析和制定货币政策、价格政策、居民消费政策以及进行国民经济核算。

常用的预测方法有两类: 一类是因果解释性预测法, 分析用气量的主要影响因素, 建立起预测变量与影响因素的关系模型, 如回归分析法; 另一类为历史数据法, 它依赖于被预测量的历史观测数据, 通过序列分析找出其系统演变规律, 进而对系统未来发展做出预测, 如时间序列分析法、灰色预测法等。因历史数据分析法资料易于收集, 方法简捷易行, 深受同行青睐^[4-9]。

天然气消费量受众多因素的影响, 各影响因素

收稿日期: 2008-03-24

作者简介: 王 兵 (1982-), 男, 河南南阳人, 助理工程师, 硕士, 主要从事天然气管道输送工艺及管道运行方面的研究工作。电话: (0550)4284079

©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

与用量之间存在着高度的复杂性和非线性。在前人研究的基础上, 从建模机理出发, 介绍了灰色理论预测天然气消费量的模型, 并对此模型进行了求解及检验。最后, 用实例对模型进行了验证, 并与实际消费量进行了对比。

1 灰色预测模型

灰色系统理论认为: 时间序列包含着极为丰富的信息, 通过充分开发并利用少量数据中的显信息和隐信息, 可对离散数据建立微分方程的动态模型, 即灰色模型 (Grey Model, 缩写为 GM)。天然气消费受到许多不确定因素的影响, 在这个变化系统中, 既存在着已知的信息, 也存在着未知的信息, 它是一个“黑色”参数与“白色”参数共存的系统, 可用灰色系统理论对天然气消费进行分析和预测^[6~8]。

1.1 灰色模型 GM(1, 1)原理

灰色预测是用灰色模型进行定量预测, 主要使用数列预测方法^[9~10]。

对原始数据序列 $x^{(0)}$ 进行一次累加生成处理生成数列 $x^{(1)}$, 其微分方程形式为

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

式中 a, u 为模型参数。

根据微分方程理论, 式 (1) 的解为

$$x^{(1)}(t) = \left[x^{(1)}(0) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (2)$$

对其进行离散化, 并取 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$, 则

$$x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (3)$$

对式 (3) 再作累减还原, 得

$$x^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) \quad (4)$$

式 (3)、(4) 即为 GM(1, 1) 模型的时间相应函数, 也是 GM(1, 1) 模型的计算公式。

灰色预测 GM(1, 1) 模型的局限性在于, 由于模型本身的缺陷, 使其仅能适于原始数据序列按指数规律变化且变化速度不是很快的场合, 其预测精度与被预测对象目标值的灰度及变化递变规律密切相关, 当系统发生转折变化时, 利用 GM(1, 1) 模型所建立的系统预测模型精度较差。

1.2 动态等维灰数递补灰色预测模型

对于城市天然气消费来说, 随着时间的推移, 未

来的一些扰动因素将不断地对系统产生影响, 必然是未来时刻越远, 预测值的灰色区间越大, 真正有实际意义且精度较高的预测值是最近的一、二个数据。而在天然气规划设计中, 常常需要预测未来几年或更长时期的消费量, 可能利用的资料仅仅是过去到现在的几个数据。这时可先用已知的数据不多的数列建立 GM(1, 1) 模型预测一个值, 然后把这个预测值补充到已知数列中, 同时去掉最老的一个数据, 使构成的发展序列与原序列等维。接着再建立 GM(1, 1) 模型, 把预测出的下一个数据补充到发展序列中, 同时去掉最老的一个数据, 经过这样逐步预测, 依次递补, 一直到预测年限为止。用这种方法建立的 GM(1, 1) 模型, 称为动态等维灰数递补 GM(1, 1) 模型^[9]。

另外城市天然气消费量时间序列包含了这个系统变化的动态过程, 多次利用已有的数据必然能挖掘出系统更深刻的规律, 通过充分开发并利用少数数据中的显信息和隐信息, 能够进一步提高所建模型的精度。基于这样的机理可建立残差 GM(1, 1) 模型, 对原模型进行修正。记残差为

$$\epsilon^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad k=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

取式 (5) 中部分残差或全部残差构成残差数列

$$\epsilon^{(0)}(k) = \{ \epsilon^{(0)}(1), \epsilon^{(0)}(2), \dots, \epsilon^{(0)}(\eta) \} \quad \eta \leq n \quad (6)$$

对 $\epsilon^{(0)}$ 作一次累加生成运算得到 $\epsilon^{(1)}$, 对 $\epsilon^{(1)}$ 建立 GM(1, 1) 模型, 模型的解是:

$$\epsilon^{(1)}(k+1) = \left[\epsilon^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

式 (7) 与式 (3) 形式是一样的, 但式 (7) 是残差序列 GM(1, 1) 模型的解, 式 (3) 是原始数据序列的解, 把原模型与修正模型结合在一起, 即得到修正预测模型的生成序列和原始序列:

$$\begin{cases} x^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \\ \alpha(k) \left[\left[\epsilon^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \right] \\ x^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) \end{cases} \quad (8)$$

式中

$$\alpha(k) = \begin{cases} 1 & k > n - \eta \\ 0 & k \leq n - \eta \end{cases}$$

1.3 模型精度检验

灰色模型的精度通常用后验差方法检验, 其中

的两个重要数据是后验差比值 C 和小误差概率 P 。主要是检验与预测误差方差有关指标的大小和以残差为基础,考察残差较小的点出现的概率^[9]。

记录数据序列为 $\{x^{(0)}(i)\}$, 预测数列为 $\{\hat{x}^{(0)}(i)\}$, 实际值与预测差值序列为 $\{\varepsilon(i)\}$ 。

记录数据数列的均值、方差分别为 \bar{x} 和 S_x^2 ; 残差数列的均值、方差分别为 $\bar{\varepsilon}$ 和 S_ε^2 , 则

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^{(0)}(i) \quad (9)$$

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [x^{(0)}(i) - \bar{x}]^2}{n-1} \quad (10)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon(i) \quad (11)$$

$$S_\varepsilon^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [\varepsilon(i) - \bar{\varepsilon}]^2}{n-1} \quad (12)$$

则后验差比值 C 与小误差概率 P 为:

$$C = S_\varepsilon / S_x \quad (13)$$

$$P = P\{|\varepsilon(i) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745 S_\varepsilon\} \quad (14)$$

后验差比值 C 越小越好, 小误差概率 P 越大越好。按 C 与 P 两个指标综合确定预测模型的精度级别。

模型精度级别 = $\max\{C$ 所处级别, P 所处级别 $\}$ 。

一般地, 将模型的精度分为四级, 分级标准及相应的 C P 值见表 1。

表 1 模型预测精度等级 %

模型精度等级	P	C
1级(好)	≥ 0.95	≤ 0.35
2级(合格)	$0.80 \leq P < 0.95$	$0.35 < C \leq 0.5$
3级(勉强)	$0.70 \leq P < 0.80$	$0.5 < C \leq 0.65$
4级(不合格)	$P < 0.70$	$C > 0.65$

2 实例验证

利用有关文献的数据, 即某地区 1996~2005 年天然气消费量做动态等维灰数递补预测, 原始数据见表 2。

表 2 某地区 1996~2005 年天然气消费量 $10^6 \text{ m}^3 / \text{a}$

年份	1996	1997	1998	1999	2000
消费量	1 127.910	1 244.250	1 277.740	1 298.250	1 501.220
年份	2001	2002	2003	2004	2005
消费量	1 616.120	1 816.250	2 012.780	2 007.740	2 051.070

采用 $GM(1, 1)$ 基本模型, 维数确定为 5; 残差 $GM(1, 1)$ 模型维数确定为 4 动态等维灰数递补灰色预测模型维数是 5 每次用模型对未来做一步预测。

对未来 5 年的动态预测过程是: 首先用 1996~2000 年 5 个数据建立 $GM(1, 1)$ 模型, 用 1997~2000 年的 4 个残差数据建立残差 $GM(1, 1)$ 模型, 用综合的修正模型预测 2001 年的消费量; 然后用 2001 年的这个预测数据加上 1997~2000 年的 4 个原始数据再建立等维的 (5 维) $GM(1, 1)$ 模型和 (4 维) $GM(1, 1)$ 残差模型, 对 2002 年进行预测, 依次递推直到预测出 5 年后, 即 2005 年的消费量为止。所建 5 个模型的后验差比值 C 均小于 0.35 小误差概率 P 均等于 1, 模型精度均为“1 级”。预测年份实际天然气消费量与预测计算结果见表 3 可见预测精度相当好。

表 3 实际天然气消费量与预测计算结果 $10^6 \text{ m}^3 / \text{a}$

年份	2001	2002	2003	2004	2005
实际值	1 616.120	1 816.250	2 012.780	2 007.740	2 051.070
预测值	1 541.406	1 670.534	1 810.674	1 915.425	2 072.448
相对误差 / (%)	4.623	8.023	10.041	4.598	1.042

3 结论

a 利用灰色理论建立了天然气消费量的预测模型, 包括 $GM(1, 1)$ 模型和动态等维灰数递补预测模型, 提出了模型精度的检验方法。

b 模型的建立解决了天然气消费量可用历史数据较少, 序列的完整性及数据资料的可靠性较低, 规划设计中往往又需要对未来数年后的用气负荷做出预测的问题, 对天然气输配管网的优化运行和统一调度管理具有重要的参考意义。

c 实例计算中, 根据灰色预测小误差概率和后验差比值检验所建模型, 所有模型精度均为 1 级, 说明所建立的动态等维灰数递补灰色预测模型对天然气消费量的预测有较好的适应性和较高的精度, 在预测天然气消费量方面有一定的实用价值。

d 灰色预测采用生成数列建模, 利用过去到现在的较少数据, 即可对未来的数据进行预测。这说明了灰色理论在解决少数据建模和利用微分方程来充分挖掘系统的本质方面而所具有的独特作用。

(下转第 57 页)

(上接第 32 页)

模型可对未来有规律的用气量预测,但不适用城市规划发展转折性用气量的变化(如工厂、发电、化工原料等),因此仅有参考价值。

参考文献:

- [1] 中华报告网. 2004~2005 年中国天然气行业研究年度报告 [EB/OL]. <http://www.cannet.com/B7/200504/8007.asp> 2005-3
- [2] 赵剑飞. 天然气 OPEC 萌芽 [EB/OL]. <http://www.mf.com.cn/Blog/Diary.aspx?Data=393858> 2007-05-31.
- [3] 袁宗明, 谢英, 梁光川. 城市配气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004
- [4] 王效东, 黄坤. 天然气消费量的神经网络方法预测

- [J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(3): 70-72
- [5] 王希勇, 张家彬, 袁宗明. 城市燃气长期负荷预测模型的灰色方法 [J]. 管道技术与设备, 2004 (6): 6-8
- [6] 严铭卿, 廉乐明. 天然气输配工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [7] 邓聚龙. 灰色理论基础 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002
- [8] Chen J Y. Design of a Stable Grey Prediction Controller for Nonlinear Systems [J]. The Journal of Grey System, 1996, 8(4): 381-396
- [9] 汪玉春. 优化技术及其在储运工程中的应用 [M]. 成都: 西南石油大学, 2005
- [10] 周子卜, 李莉, 张淑英. 基于灰色理论的天然气需求预测 [J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(1): 74-76