

Time-Series Grey Forecasting to Predict and Apply the Generation of Total Installed Capacity

ZHANG Xinfang

School of Information Science and Technology, Zhanjiang Normal University, Zhanjiang, China

Abstract: This paper predicts the development of the gross generation produced by hydraulic energy, fire and wind energy as well as the installed gross capacity in terms of the primitive time series data over years, and tries to obtain the applied forecasting time series data by grey prediction model of time sequence. Meanwhile, it also predicts comprehensively the development and the quantity of the gross generation produced by hydraulic energy, fire and wind energy as well as the installed gross capacity in the following few years. The result of the applied prediction offers some practical methods and data for the future development of all kinds of electric generating sets.

Keywords: time sequence; grey prediction model; grey prediction; large electric generating sets

利用时间序列灰色预测法对总发电量及总装机容量的应用预测

张馨芳

湛江师范学院信息科学与技术学院电子系, 湛江, 中国, 524048

摘要: 利用原始多年来的时间数据序列对未来电力系统的水、火、风总发电量及总装机容量, 运用时间数列灰色预测法获得应用预测时间数据序列。并对未来某些年水、火、风总发电量及总装机容量发展情况及数量进行综合应用预测。其应用预测结果, 对未来各类型发电机组及大型发电机组的发展提供了实际应用方法和数字依据, 具有一定的指导意义。

关键词: 灰色预测法; 时间数列; 灰色预测; 大型发电机组

1 引言

近些年来, 水、火、风自然能源越来越多地被利用, 水、火、风总发电量越来越高, 总装机容量也越来越高。大型发电机组的单机容量及发展情况是反映电力系统发展的重要数据, 也是影响电力系统的关键问题。由于大型发电机组的发展受多项因素影响, 如:

1. 本系统因素;
2. 非本系统因素;
3. 国家经济建设;
4. 国民经济发展;
5. 国家工农业生产需求;
6. 电力系统的故障;
7. 电力系统的输变电能力等诸多灰色因素影响, 对 2003~2007 年水、火、风总发电量及总装机容量的时间序列进行有效地、合理的、优化的、综合的全面的进行应用预报, 对于预测结果将会为电力系统得管理提供一个科学的方法, 给电力系统的工程技术人员提供简单快捷的分析方式, 并对于未来的水、火、风总发电量及总装机容量发展提供科学依据^[1], 方法简便可行。

2 时间序列灰色预测法的基本原理

2.1 时间序列灰色预测法

以原始时间序列数据为基准, 通过特定的数学计

算, 代入相互依赖的两个或两个以上要素所构成的具有特定功能的有机整体参量确定的系统, 建立系统的数学模型, 对未来某些数据量进行应用预测。

2.2 时间序列预测条件

先确立原始数据, 利用这些原始的已知时间序列数据, 进行整理和处理, 使之生成一定规律; 生成的新序列称之为“模块”这样做的目的是为了消除原始数据序列的随机性, 将原始时间数据序列上下浮动的情况转变成单调增加数据序列、并带有趋于线性或指数规律变化的数据序列。

2.3 建立时间序列灰色系统模型

利用整理出来的趋于线性或指数规律变化的数据序列, 运用时间序列灰色预测的数学方法整理的得到的数据, 对系统某参量建立系统的数学模型, 对该参量的未来值进行的应用预测, 即为时间序列灰色预测法。对于未来的水、火、风总发电量及总装机容量的应用预测属于本征性时间序列灰色系统的应用预测类型。

时间序列灰色系统不同于其他系统。时间序列灰色系统是原始多项时间数据明确，当前和未来时间数据为未知量；时间序列灰色系统是基于原始关联参量收敛原理、生成一组原始时间的数列、求出时间序列灰色系统的导数、微分方程等过程，再通过建立时间序列方程模型对时间序列灰色系统未来参量实现应用预测的。

2.4 时间序列灰色系统数学模型的建立

2.4.1 建立时间序列灰色数学模型的过程

利用灰色系统建模数学模型，不直接使用原始数据序列。首先建立，离散数据序列建立灰色系统近似的微分方程模型，确立原始时间数据值序列，生成累加数据序列，生成临近均值序列数据。通过累加序列得到一阶时间序列灰色数学模型，并求得相关数学方程的待定系数。因为时间序列数据为离散的，描述时间序列灰色数据离散数学模型，建立时间序列灰色数学模型的矩阵，求借参数，建立时间序列灰色预测数学模型[2]。

2.4.2 确立时间序列灰色动态数学模型的目的

建立时间序列灰色动态模型的方法是为了表达时间序列灰色系统的内部特性、系统规律、系统发展、系统变化，运用的物理量化过程，把现实情况和科学分析相结合，将自然科学分析、计算及试验手段运用于抽象系统。

2.4.3 关联分析

关联分析是将时间序列灰色系统按机理、按发展、按变化、按态势所做的特征分析，按发展态势建立关联的模块，确立模块测度，研究关联序列，研究所生成函数的逼近程度，最后进行应用预测分析。

3 时间序列灰色预测法在电力系统中的应用预测

3.1 时间序列灰色预测法在电力系统中的应用

随着电力系统的发展，随着改革开放进程的深入，电力行业的生产模式、经营模式、管理模式、发展思想、发展方向、发展规模、发展速度及未来的发展规划等问题不断加深、拓展、更新，加之市场变化和 market 信息等不确定因素的渗入。电力行业要在这样的环境下良好生产电业、良好经营电业、良好运行电业、良好供应电业，并明确未来发展的需求目标，难度很大。由于电力系统中的电力参数分别与以上各个问题相关联，所以利用原始数据对电力系统未来的电力参量进行应用预测的系统就是时间序列灰色预测系统。

3.2 时间序列灰色预测法在电力系统中的应用预测

3.2.1 原始数据

1. 2003~2007 年水、火、风总发电量及总装机容量统计情况

根据中国电力新闻网 2007 年 9 月统计资料，我国 2003~2007 年 100MW 以上容量发电机总装机容量(万千瓦，变换为亿瓦，)统计见下表。如表 1 所示：

表 1. 2003~2007 年水、火、风总发电量及总装机容量数据情况统计表^[3]

Table 1. Datasheet on the growth of the installed capacity of high-ration Generators above from 2003 to 2007

年份	水电总容量	火电总容量	风力总容量	总装机容量 (万千瓦)
2003	9217	28564	56.7	37,837.7
2004	10826	32490	76.4	43,392.4
2005	11652	38413	126.6	50,164.6

根据表 1 中数据进行灰色数据处理^[4]。

4.2 生成各项时间灰色数据序列

4.2.1 原始数据序列

将 2003~2007 年各年水、火、风总发电量及总装机容量统计处理作为一组灰色数列，得到原始时间统计数列方程 $X_{i0} = (x_{i0}(1), x_{i0}(2), \dots, x_{i0}(m))$ ， X_0 为原始统计数列，式中 $m=1, 2, 3, \dots, 5$ ，为年份； $i=s, h, f, z$ ；分别表示水，火，风发电量及总装机容量的数据参量，则有

$$\begin{aligned}
 X_{s0} &= \begin{pmatrix} 9217 & 10826 & 11652 & 12857 & 14057 \end{pmatrix} \\
 X_{h0} &= \begin{pmatrix} 28564 & 32490 & 38413 & 48405 & 55505 \end{pmatrix} \\
 X_{f0} &= \begin{pmatrix} 56.7 & 76.4 & 126.6 & 259.9 & 500 \end{pmatrix} \\
 X_{z0} &= \begin{pmatrix} 37837.7 & 43392.4 & 50164.6 & 61521.9 & 70062 \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{1-1}$$

4.2.2 累加数据序列

计算累加生成系列行， X_{i1} 表示生成累加序列，有

$$\begin{aligned}
 X_{i1} &= (x_{i1}(1), x_{i1}(2), \dots, x_{i1}(m)) \\
 &= \begin{pmatrix} [x_{i0}(1)] & [x_{i0}(1)+x_{i0}(2)] & \dots & [x_{i0}(m-1)+x_{i0}(m)] \end{pmatrix}, \\
 X_{s1} &= \begin{pmatrix} 9217 & 20043 & 22478 \\ 24509 & 26914 & \dots \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{h1} &= \begin{pmatrix} 28564 & 61054 & 70903 \\ 86818 & 103910 & \end{pmatrix} \\ X_{f1} &= \begin{pmatrix} 56.7 & 133.1 & 203 & 386.5 & 759.9 \end{pmatrix} \\ X_{z1} &= \begin{pmatrix} 37837.7 & 81230.1 & 93557 \\ 111686.5 & 131583.9 & \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (1-2)$$

4.2.3 生成临近均值数据序列

邻近均值序列值为 X_{ij} , 有

$$\begin{aligned} X_{ij} &= \begin{pmatrix} X_{ij}(0) & X_{ij}(1) & X_{ij}(2) \cdots & X_{ij}(m) \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \frac{X_{i1}(1)+X_{i1}(2)}{2} & \frac{X_{i1}(1)+X_{i1}(2)}{2} & \cdots \\ \frac{X_{i1}(m-1)+X_{i1}(m)}{2} & & \end{pmatrix} \\ X_{sj} &= \begin{pmatrix} 14630 & 21260.5 & 23493.5 & 25711.5 \end{pmatrix} \\ X_{hj} &= \begin{pmatrix} 44809 & 65978.5 & 78860.5 & 95364 \end{pmatrix} \\ X_{fj} &= \begin{pmatrix} 94.9 & 168.05 & 294.75 & 573.2 \end{pmatrix} \\ X_{zj} &= \begin{pmatrix} 59533.9 & 87393.55 \\ 102621.75 & 121635.2 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (1-3)$$

在累加序列 $X_{i1} = (x_{i1}(1), x_{i1}(2), \dots, x_{i1}(m))$ 的基础上, 生成一阶数列 x_{i1} , 建立时间序列灰色简单模型 GH (1, 1),

$$\frac{dx_{i1}}{dt} + ax_{i1} = c \quad (1-4)$$

由导数的定义有 $\frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(n+\Delta n) - x(n)}{\Delta t}$, 因为一般预测的系列都在时间上是离散的, 所以我们以离散的形式表示, 公式中 n 为未来被预测年份; 则有:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{i1}(n+1) - x_{i1}(n)}{(n+1) - n} = x_{i1}(n+1) - x_{ij}(n) = x_{i0}(n+1) \quad (1-5)$$

又由于离散的关系, 取 $x_{ij}(n)$ 为 $x_{i1}(n)$ 和 $x_{i1}(n-1)$ 的均值。公式 (1-2) 的微分方程表示为如下的离散方程式

$$x_{i1}(n) + ax_{ij}(n) = c \quad (1-6)$$

式 (1-3) 中 $x_i(n) = \frac{[x_{i1}(n) + x_{i1}(n+1)]}{2}$, (x_{ij} 的序列

为 X_{ij})。称 (1-6) 式为 GH(1, 1)模型, 公式 (1-4) 称为 (1-5) (1-6) 的基本方程^[5]。则得到如下的方程组:

$$\begin{cases} x_{i0}(2) + ax_{i1}(2) = b \\ x_{i0}(3) + ax_{i1}(3) = b \\ \dots \\ x_{i0}(n) + ax_{i1}(n) = b \end{cases}$$

3.3 求解 GH (1, 1) 模型参数

待定系数 b 、 a 为时间序列系统灰色估算参数, a 为时间序列数学模型的系数, 又称为发展灰度系数, 反映了 \hat{X}_{iz} (X_{iz} 的变化序列) 的发展态势; b 为灰色作用量是通过原始数据确定的数据参数, 其物理意义反映数据变化的关系, 并确定系统发展状态为灰色。灰色作用量 b 表达灰色系统实体内涵, 它反映灰色系统的数学模型不同于与一般系统的输入输出函数及系统数学模型之间的关系。用向量形式表示两个估算参数关系为: $\hat{a} = [a, b]^T$ (\hat{a} 为待定系数 a 的计算函数式)。

求解式 (1-6) 方程, 得

$$\hat{a} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (1-7)$$

式 (1-7) 中:

$$B = \begin{bmatrix} x_{i0}(2) \\ x_{i0}(3) \\ \vdots \\ x_{i0}(m) \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} -x_{i1}(2) & 1 \\ -x_{i1}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -x_{i1}(m) & 1 \end{bmatrix}$$

4.3 灰色待定参数求取

数据生成数据矩阵 B 和 A , 再利用数据矩阵水力:

$$B_s = \begin{pmatrix} 10826 \\ 11652 \\ 12857 \\ 14057 \end{pmatrix}, \quad A_s = \begin{pmatrix} -14630 & 1 \\ -21260.5 & 1 \\ -23493.5 & 1 \\ -25711.5 & 1 \end{pmatrix};$$

火力:

$$B_h = \begin{pmatrix} 32490 \\ 38413 \\ 48405 \\ 55505 \end{pmatrix}, \quad A_h = \begin{pmatrix} -44809 & 1 \\ -65978.5 & 1 \\ -78860.5 & 1 \\ -95364 & 1 \end{pmatrix};$$

风力:

$$B_f = \begin{pmatrix} 76.4 \\ 126.6 \\ 259.9 \\ 500 \end{pmatrix}, \quad A_f = \begin{pmatrix} -94.9 & 1 \\ -168.05 & 1 \\ -294.75 & 1 \\ -573.2 & 1 \end{pmatrix},$$

总装机:

$$B_z = \begin{pmatrix} 43392.4 \\ 50164.6 \\ 61521.9 \\ 70062 \end{pmatrix}, \quad A_z = \begin{pmatrix} -59533.9 & 1 \\ -87393.55 & 1 \\ -102621.75 & 1 \\ -121635.2 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1-8)$$

式(1-7)及式(1-8)中的数据,通过灰色模型求得待定系数为,

$$(A_i^T A_i)^{-1} A_i^T B_i = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}; \quad \text{则}$$

$$\text{水力: } (A_s^T A_s)^{-1} A_s^T B_s = \begin{pmatrix} -0.274 \\ 6520.6 \end{pmatrix},$$

$$a_s = -0.274, \quad b_s = 6520.6;$$

$$\text{火力: } (A_h^T A_h)^{-1} A_h^T B_h = \begin{pmatrix} -0.472 \\ 10080 \end{pmatrix}, \quad a_h = -0.472,$$

$$b_h = 10080;$$

风力:

$$(A_f^T A_f)^{-1} A_f^T B_f = \begin{pmatrix} -0.899 \\ -13.3896 \end{pmatrix},$$

$$a_f = -0.899, \quad b_f = -13.3896;$$

$$\text{总装机: } (A_z^T A_z)^{-1} A_z^T B_z = \begin{pmatrix} -0.441 \\ 15338 \end{pmatrix}, \quad a_z = -0.441,$$

$$b_z = 15338;$$

4.4 GH (1, 1) 数学模型应用预测

在确定模型的参数后,得到时间序列灰色模型方程,对灰色系统的未来参数进行应用预测。式(1-6)即GH(1,1)的基本形式的解为,(n表示未来被预测的年份):

$$x_{i1}(n) = [x_{i1}(0) - \frac{b}{a}]e^{-at} + \frac{b}{a}; \quad (1-9)$$

式(1-6)的离散形式为

$$\hat{X}_{i1}(n+1) = [x_{i1}(0) - \frac{b}{a}]e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (1-10)$$

对于GH(1,1)方程的时间响应方程,一般有 $x_{i1}(0) = x_{i0}(1)$,则:

$$\hat{X}_{i1}(n+1) = [x_{i0}(1) - \frac{b}{a}]e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (1-11)$$

还原得到时间序列灰色简单模型的预测公式,为

$$\hat{X}_{i0}(n+1) = (1 - e^a)[x_{i0}(1) - \frac{b}{a}]e^{-at} \quad (1-12)$$

将所有相应分析及计算得到的数据代入上式,有

$$X_s(n+1) = \left(9217 + \frac{6520.6}{0.274} \right) e^{0.274t} - \frac{6520.6}{0.274}$$

$$X_h(n+1) = \left(28564 + \frac{10080}{0.472} \right) e^{0.472t} - \frac{10080}{0.472}$$

$$X_f(n+1) = \left(56.7 - \frac{13.3896}{0.899} \right) e^{0.899t} + \frac{13.3896}{0.899}$$

$$X_z(n+1) = \left(37837.7 + \frac{15338}{0.441} \right) e^{0.441t} - \frac{15338}{0.441} \quad (1-13)$$

5 灰色预测结果数据值

5.1 应用预测 2010 年水、火、风总发电量及总装机容量

根据以上分析,令 $n=10$ 分别有

$$\text{水: } X_{s1}(10) = 364959.88, \quad X_{s1}(9) = 271787.13$$

$$\text{火: } X_{h1}(10) = 3471309.18, \quad X_{h1}(9) = 2157206.2$$

$$\text{风: } X_{f1}(10) = 136509.82, \quad X_{f1}(9) = 55565.11$$

$$\text{总: } X_{z1}(10) = 3808991.43,$$

$$X_{z1}(9) = 2438274.49 \quad (1-14)$$

通过式(1-14)计算得到

$$\text{水: } X_{s0}(10) = X_{s1}(10) - X_{s1}(9) = 93172.75$$

$$\text{火: } X_{h0}(10) = X_{h1}(10) - X_{h1}(9) = 134102.98$$

$$\text{风: } X_{f0}(10) = X_{f1}(10) - X_{f1}(9) = 80944.71$$

$$\text{总: } X_{z0}(10) = X_{z1}(10) - X_{z1}(9) = 1370716.94$$

$$(1-15)$$

式中:(1-15)为2010年水、火、风总发电量及总装机容量应用预测值。

5.2 应用预测 2015 年水、火、风总发电量及总装机容量

同理,令 $n=15$ 计算分别得到^[6]

$$\text{水: } X_{s1}(15) = 1506100.05,$$

$$X_{s1}(14) = 1139432.61$$

$$\text{火: } X_{h1}(15) = 36969290.7,$$

$$X_{h1}(14) = 23051689.85$$

$$\text{风: } X_{f1}(15) = 1222561.12,$$

$$X_{f1}(14) = 4975546.06$$

$$\text{总: } X_{z1}(15) = 34829194.19,$$

$$X_{z1}(14) = 22396446.70 \quad (1-16)$$

通过式(1-16)得出

$$\text{水: } X_{s0}(15) = X_{s1}(15) - X_{s1}(14) = 366667.44$$

$$\text{火: } X_{h0}(15) = X_{h1}(15) - X_{h1}(14) = 13917600.85$$

$$\text{风: } X_{f0}(15) = X_{f1}(15) - X_{f1}(14) = 7250069.06$$

$$\text{总: } X_{z0}(15) = X_{z1}(15) - X_{z1}(14) = 12432747.49 \quad (1-17)$$

式(1-17)为2015年水、火、风总发电量及总装机容量应用预测值。见表2。

6 结论

由于水、火、风总发电量及总装机容量的发展存在多种确定及未确定因素^[7],即灰色因素,所以应用预测结果有必然存在误差。本文利用灰色预测原理对水、

表 2. 水、火、风总发电量及总装机容量预测数据

Table 2. The applied forecasting data of the high-rating Generator unit with a capacity above

年份	水电总容量	火电总容量	风力总容量	总装机容量 (万千瓦)
2010	1139432.6	23051689.85	4975546.06	22396446.70
2015	366667.44	13917600.85	7250069.06	12432747.49

火、风总发电量及总装机容量应用预测分析。应用预测结果表明，到 2010 年水、火、风总发电量及总装机容量，但到 2015 年，我国电力行业发展将进入相对稳步发展趋势，水、火、风总发电量及总装机容量投入 [8]，利用时间序列灰色应用预测法通过应用预测获得的数据对中国水、火、风总发电量及总装机容量发展有一定参考或指导意义。

References (参考文献)

[1] National Electric Power Dispatching Center Generator, transformer, relay protection and applications. [M]Beijing: China Electric Power Press. 2005.1 P52~68.
国家电力调度中心.发电机变压器继电保护应用.[M] 北京: 中国电力出版社. 2005.1 P52~68

[2] HONGYiqian,ZHANGGuangming,JINDing: Based on GM (1,1) model dynamic analysis of the total forecast of Zhejiang Agricul-

tural[J].HEILongjiang Agricultural Research No.1. 2008.1. P42~44.
洪一钱,张光明,金定.基于 GM (1, 1) 模型的浙江省农机总动力预测分析[J].黑龙江: 农机化研究.第 1 期.2008.1. P42~44

[3] LIAOXiangjun 2002~2006 years Statistics of China Electric Power News Network .2007.10.20.
廖向军.2002~2006 年中国电力新闻网统计资料.2007.10.20.

[4] HEGuohua, Regional logistics demand forecasting and the application of gray prediction model , Beijing: Beijing Jiaotong University[J]. Vol 7, No. 1, Beijing 2008.1. P33~37.
何国华.区域物流需求预测及灰色预测模型的应用. 北京:北京交通大学学报[J].第 7 卷第 1 期.北京 2008.1. P33~37.

[5] JIAHuaiqin, Editor-in-Chief Applied Statistics[M]. Beijing Foreign Economic and Trade University Press 2005.3. Version 1 P27~33.
贾怀勤主编.应用统计[M]. 北京: 对外经济贸易大学出版社. 2005.3 第 1 版. P27~33.

[6] XUzha,LIURong, Partial least-squares regression method,the application of development of weapons and equipment in cost estimates. Beijing: The practice and understanding of mathematics[J]. 2005.3.P152~158.
徐哲,刘荣.偏最小二乘回归法在武器装备研制费用估算中的应用.北京: 数学的实践与认识[J]. 2005.3.P152~158.

[7] GAOChunru, Edited by. Electrical protection setting calculation and operation technology of the large generating units [M]Beijing: China Electric Power Press.
高春如编著.大型发电机组机电保护整定计算与运行技术[M]. 北京: 中国电力出版社.2005.11.P433~438.

[8] 2008 year Analysis of China's power industry and investment advisory report(introduction). China Investment Network 2008.4.7.
2008 年中国电力行业分析及投资咨询报告(介绍).中国投资网.2008.4.7.