

厄尔尼诺现象对极移短期预报的影响^{* 1}

孙张振^{1,2)} 徐天河^{3,4)}

- (1) 长安大学地质工程与测绘工程学院, 西安 710054
(2) 航天天绘科技有限公司, 西安 710100
(3) 地理信息工程国家重点实验室, 西安 710054
(4) 西安测绘研究所, 西安 710054

摘 要 为了减弱厄尔尼诺现象对极移预报的影响, 分别利用不同拟合序列长度进行极移预报, 研究表明: 适当延长拟合序列长度至 17 ~ 19 年, 可以更好地反映极移趋势, 提高厄尔尼诺现象发生期间的极移预报精度。

关键词 极移; 短期预报; LS + AR 模型; 厄尔尼诺; 空间导航定位

中图分类号: P127. 4

文献标识码: A

INFLUENCE ON SHORT-TERM PREDICTION ACCURACY OF POLAR MOTION BY EI Niño EVENT

Sun Zhangzhen^{1,2)} and Xu Tianhe^{3,4)}

- (1) School of Geology Engineering and Surveying , Chang'an University , Xi'an 710054
(2) Aerors Inc, Xi'an 710100
(3) State Key Laboratory of Geo-information Engineering , Xi'an 710054
(4) Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping , Xi'an 710054

Abstract In order to reduce the influence of EI Niño event on polar motion prediction, the length selection of polar motion fitting series are studied for polar motion prediction. The results show that the accuracy of polar motion prediction can be improved in the time of EI Niño by extending the length of polar motion fitting series to 17-19 years.

Key words: polar motion; short-term prediction; LS + AR model; EI Niño; space navigation and positioning

1 引言

地球定向参数(EOP)包括岁差章动、极移和日长变化。EOP是实现天球和地球参考系转换的必要参数,对于极移,现代空间测地技术可提供精度达到0.1 mas的高时空分辨率的数据^[1]。然而,由于复杂的数据处理过程使人们无法实时获取如此高精度的极移数据,而只能通过高精度的预报方法来满足空间定位技术的需要。由于地球运动的不稳定性、不确定性和激发因素的多变性,即使短期预报误差也远远高于测量技术误差。导致这些不稳定性因

素的主要原因是极移半年或者更短周期的振幅和相位变化的无规律性^[2];另一个可能的原因是周年波动的振幅和相位的变化,而在厄尔尼诺现象发生期间,周年波动的振幅变化更为明显^[3,4],这也相应地增加了极移预报的难度,进而增大预报误差。

目前已建立有多种极移预报模型^[5-10],但其预报过程都是先利用最小二乘方法(LS)拟合极移时间序列中的趋势项,然后利用AR模型^[8]、ARMA模型或者人工神经网络^[11]等确定性或者随机性模型对其残差部分进行预测。在利用LS拟合极移数据时,所得到的模型参数都是固定的。但是在极移数

* 收稿日期:2012-12-25

基金项目:国家自然科学基金(41174008);全国优秀博士学位论文专项(2007B51)

作者简介:孙张振,男,1986年出生,硕士研究生,主要研究方向为地球自转参数的高精度预报。E-mail:sunzhangzhen@126.com

据中,这些周期项和趋势项都是变化的。尤其是在厄尔尼诺发生期间,这些变化更加不确定。鉴于此,本文基于LS+AR预报模型进行极移的短期预报,在此基础上研究厄尔尼诺现象对极移短期预报的影响,以及在厄尔尼诺现象发生期间如何能够提高极移预报的准确性。

2 LS + AR 模型

2.1 LS 模型

最小二乘外推模型公式为:

$$f(t) = a_0 + a_1t + B_1\cos\left(\frac{2\pi t}{R_1}\right) + B_2\sin\left(\frac{2\pi t}{R_1}\right) + C_1\cos\left(\frac{2\pi t}{R_2}\right) + C_2\sin\left(\frac{2\pi t}{R_2}\right) + D_1\cos\left(\frac{2\pi t}{R_3}\right) + D_2\sin\left(\frac{2\pi t}{R_3}\right) + \cdots$$

(1)

式中各参数的意义请参见文献[7]。

2.2 AR 模型

AR 模型的数学表达式为

$$z_t = \sum_{i=1}^p \phi_i z_{t-i} + a_t$$

(2)

式中, $\phi_1, \phi_2, \cdots, \phi_p$ 为模型参数, a_t 为白噪声序列, p 为模型阶数。

AR 模型要求建模的时间序列是平稳随机序列。运用 AR 模型关键是确定 AR 模型的阶数 p , 一般采用最终误差准则、信息论准则和传递函数准则, 本文采取最终误差准则来确定 AR 模型的阶数 p 。

最终误差准则:

$$FPE(p) = P_M(n + p + 1) / (n - p - 1)$$

(3)

式中

$$P_M = \frac{1}{n - p} \sum_{t=p+1}^n (z_t - \sum_{j=1}^p \phi_j z_{t-j})^2$$

(4)

式中使 $FPE(p)$ 达到极小值的 p 就取作 AR 模型的阶数。 $\phi_1, \phi_2, \cdots, \phi_p$ 等模型参数可以通过求解 Yule-Walker 方程来确定。

2.3 精度评定

为了便于评估预测精度, 选用均方根误差 (RMSE) 作为预报结果的评定指标, 其计算公式为

$$RMSE_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (pr_j^i - o_j^i)^2}$$

(5)

其中 o 为观测值, pr 为预报值, i 为预报跨度, n 为预报点数。

3 厄尔尼诺影响分析

许雪晴^[12]的研究表明: 基础序列长度为 10 年的极移预报精度较高。因此, 本次预报时首先应用 10 年基础序列对极移数据进行以年为统计单位的预报。图 1 为 1990—2011 年的极移预报误差比。

从图 1 可以看出, 不同年份的预报精度不同, 这

是由于在极移运动中不同时间段其激发因素的多变性, 外界因素的不确定性导致不同时间不同跨度的预报精度就不相同。为了确定厄尔尼诺现象对极移预报是否有作用, 图 2 分别给出了 1990—2011 年度预报跨度为 10、20、30 天的极移预报精度。从图中不难看出, 对比最近厄尔尼诺现象有出现的年份:

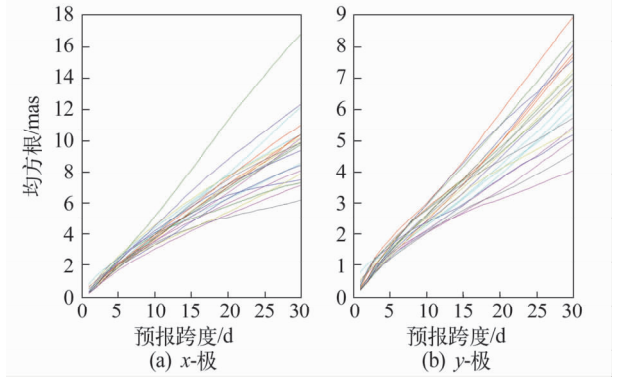


图 1 不同年份极移预报精度

Fig. 1 Accuracy of polar motion prediction in different years

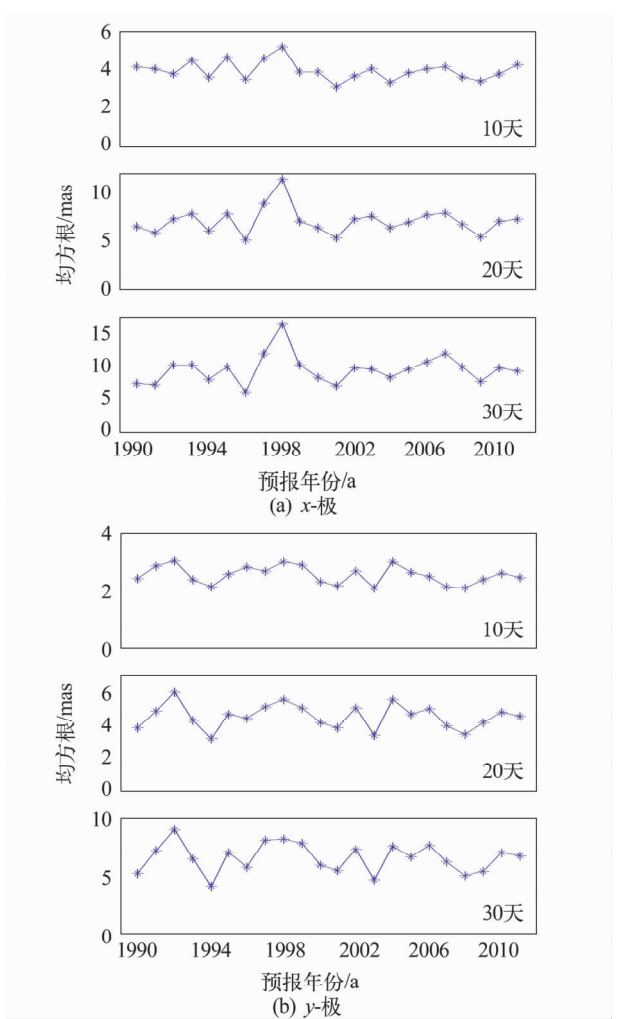


图 2 不同年份极移预报 10、20、30 天的预报精度
Fig. 2 Accuracy of polar motion prediction of time spans 10, 20, 30 days in different years

1991—1994、1997—1998、2002—2003、2004—2005、2006—2007、2009—2010 年,凡是有厄尔尼诺现象出现,其均方根误差都会随之增高,这也就体现了厄尔尼诺现象对极移运动有很大影响,它加大了极移运动的不确定性,进而增加了预报难度,使预报误差增大,这在 1997—1998 年的大型厄尔尼诺现象出现年更为明显,使其 X 方向在进行 30 天的预报中比往常有超过 5 mas 的误差影响, Y 方向误差增大也较为明显。

根据文献[3]的研究:厄尔尼诺现象的发生导致极移运动中周年项振幅的增加或降低,进而影响预报精度。由此我们增加或缩短基础序列长度,分析厄尔尼诺出现的年份其预报误差精度的改善情况

(图 3)。

从图 3 不难看出,在厄尔尼诺出现的年份,象平常年份一样进行极移预报,极移预报误差明显增大。为减弱厄尔尼诺对极移预报的影响,在利用 LS + AR 模型进行预报时,适当加大极移基础序列的长度。对于在厄尔尼诺现象出现年的短期极移预报,其基础序列长度选择是 17 ~ 19 年。表 1 给出了 1997—1998、2006—2007 年调整拟合序列长度前后的预报均方根误差。从表中数据可以得之,延长拟合基础序列对有厄尔尼诺现象出现的年份预报误差都会有不同程度的降低,且随着预报跨度的增加其降低强度更为明显。

表 1 1997—1998、2006—2007 年基础序列长度调整前后极移预报精度

Tab. 1 Accuracy of polar motion prediction before and after adjustment of basic length in the year 1997—1998 and 2006—2007

年	预报 跨度(年)	X-极			Y-极		
		调整前 (mas)	调整后 (mas)	误差降低 强度(%)	调整前 (mas)	调整后 (mas)	误差降低 强度(%)
1997	10	4.550 4	3.648 1	19.82	2.649 7	2.206 3	16.73
	20	8.804 4	6.489 4	26.29	5.058 8	3.713 2	26.59
	30	12.302 1	8.362	32.02	8.030 6	5.509	31.39
1998	10	5.188 7	4.136 6	20.27	2.960 7	2.613 6	11.72
	20	11.286 8	8.602 1	23.78	5.486 3	4.541 7	17.21
	30	16.794	12.297 8	26.77	8.185 8	6.399 5	21.82
2006	10	2.459 5	2.258 1	8.18	2.459 5	2.258 1	8.18
	20	4.929 8	4.343 8	11.88	4.929 8	4.343 8	11.88
	30	7.655 9	6.553 6	14.39	7.655 9	6.553 6	14.39
2007	10	4.11	3.728 6	9.27	2.120 3	1.894 7	10.64
	20	7.923 4	6.681 4	15.67	3.921 5	3.266 7	16.69
	30	12.162 9	9.852 2	18.99	6.148 4	4.846 5	21.17

4 结论

本文主要基于 LS + AR 预报模型对极移进行短期预报,分析厄尔尼诺现象对极移预报的影响,并通过延长最小二乘拟合长度的方法来减弱厄尔尼诺现象带来的误差,提高了厄尔尼诺现象发生期间的预报精度。

参 考 文 献

1 Kosek W, et al. Comparison of polar motion prediction results supplied by the IERS sub-bureau for rapid service and predictions and results of other prediction methods [R]. Astronomy of the Russian Acad. of Sciences, 2004.

2 Schuh H, Nagel S and Seitz T. Linear drift and periodic variations observed in long time series of polar motion [J]. Journal of Geodesy, 2001, 74: 701 – 710.

3 Kosek W, et al. Variations of annual oscillation parameters, EL NINO and their influence on polar motion prediction er-

rors[A]. Proc. Journees 2001, Systems de Reference Spatio-Temporels[C]. Brussels, 2001, 85 – 90.

4 Kosek W, McCarthy DD and Luzum B J. El Nino impact on polar motion prediction errors [J]. Stadia Geophysica et Geodaetica, 2001, 45: 347 – 361.

5 Schuh H, et al. Prediction of Earth orientation parameters by artificial neural networks[J]. Journal of Geodesy, 2002, 76: 247 – 258.

6 Kosek W, Kalarus M and Niedzielski T. Forecasting of the Earth orientation parameters—comparison of different algorithms[A]. In: Capitaine N (ed) . Proceedings of the journées 2007, systèmes de référence spatio-temporels “The celestial reference frame for the future” [C]. Observatoire de Paris Systèmes de Référence Temps-Espace UMR8630/ CNRS, Paris, France, 2008, 155 – 158.

7 Kosek W. Future improvements in EOP prediction[A]. In: Proceedings of the IAG 2009, “Geodesy for planet earth” [C]. August 31 – September 4, 2009, Buenos Aires, Argentina.

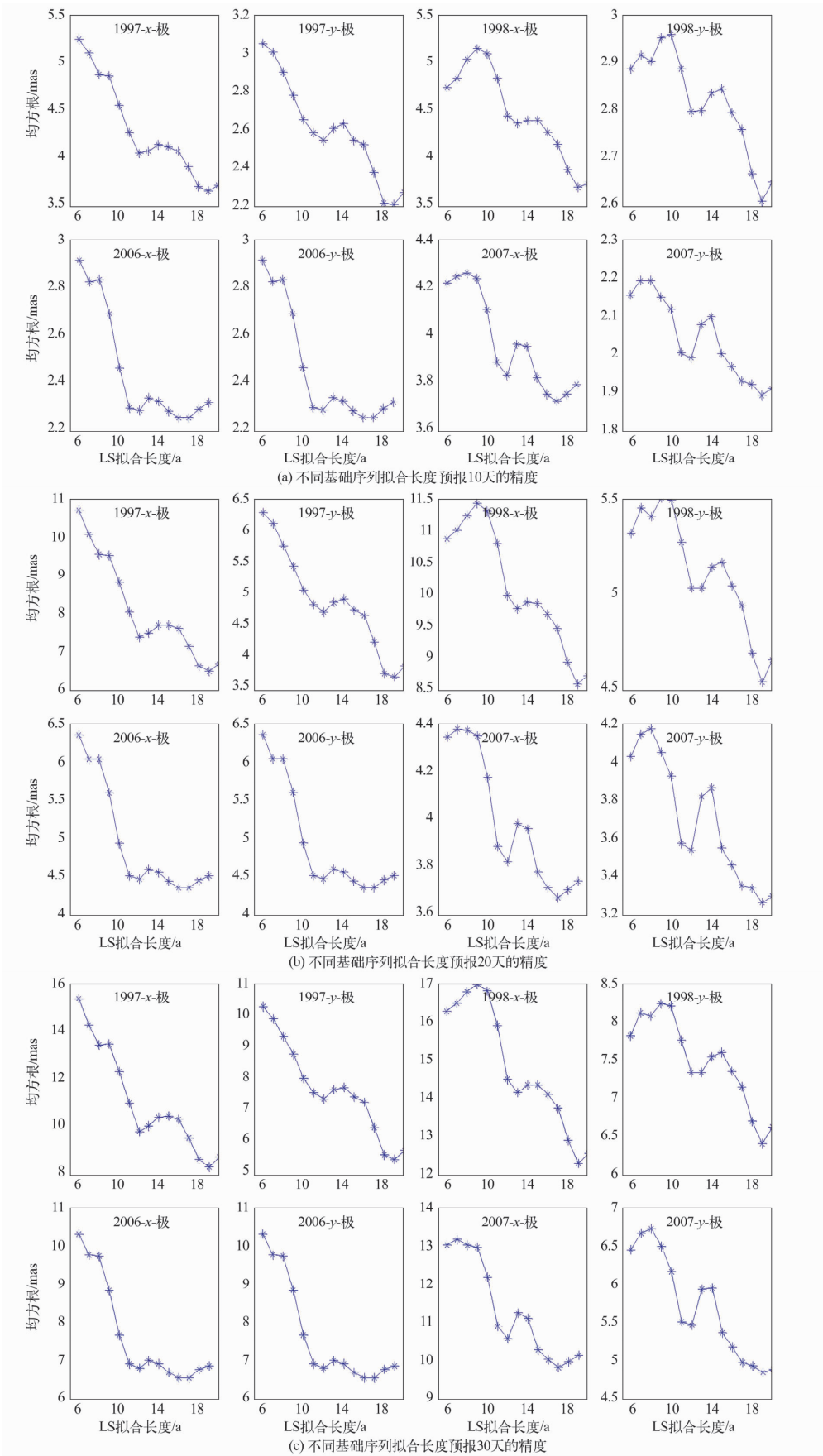


图 3 不同基础序列拟合长度预报 10、20、30 天的精度

Fig. 3 Accuracy of polar motion prediction of time spans 10, 20, 30 days in different base sequences

8

Dennis D McCarthy and Brian J Luzum. Prediction of Earth orientation[J]. Journal of Geodesy, 1991,65:18 – 21.

9

Kosek W. Causes of prediction errors of pole coordinates data [A]. In: Proceedings of the 6th Orlov’s conference, “The study of the Earth as a planet by methods of geophysics, geodesy and astronomy” [C]. June 22 – 24, 2009. MAO NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, 96 – 103.

10

Kalarus M, et al. Achievements of Earth orientation parameters prediction comparison campaign [J]. Journal of Geodesy, 2010, 84: 587 – 596.

11

王琪洁. 基于神经网络技术的地球自转变化预报[D]. 中国科学院上海天文台,2007. (Wang Qijie. Studies on the prediction of Earth’s variable rotation by Artificial Neural Networks[D]. Shanghai Astronomical observatory, Chinese Academy of Sciences,2007)

12

许雪晴,周永宏. 地球定向参数高精度预报方法研究[J]. 飞行控制学报,2010,29(2):70 – 76. (Xu Xueqing and Zhou Yonghong. High precision prediction method of earth orientation parameters [J]. Journal of Spacecraft & Technology, 2010 ,29(2):70 – 76)

13

王秀文,等. 山西地区应力场变化与地震的关系[J]. 地球物理学报, 2010, 53(5): 1 127 – 1 133. (Wang Xiuwen, et al. Research on relationship between stress field variation and earthquake in Shanxi area [J]. Chinese J Geophys. 2010, 53(5): 1 127 – 1 133)

14

Camacho A G, Montesinos F G and Vieira R. Gravity inversion by means of growing bodies [J]. Geophysics, 2000, 65(1):95 – 101.

15

Boulanger O and Chouteau M. Constrains in 3D gravity inversion[J]. Geophysics Prosp. , 2001, 49: 265 – 280.

16

刘天佑. 位场勘探数据处理新方法[M]. 北京:科学出版社, 2007. (Liu Tianyou. New data processing method for potential field exploration [M]. Beijing: Science Press, 2007.

17

郭良迁,等. 山西断陷带的近期位移和应变率特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2010, (4): 36 – 42. (Guo Liangqian, et al. Short-term displacement and characteristics of strain rate of Shanxi fault subsidence zone[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, (4): 36 – 42)

18

Silva B C, Medeiros W E and Barbosa C F. Potential-field inversion: Choosing the appropriate technique to solve a geologic problem [J]. Geophysics, 2001, 66(2): 511 – 520.

19

吕作勇,吴建平. 华北地区地壳上地幔三维 P 波速度结构[J]. 地震学报,2010, 32(1): 1 – 11. (Lǚ Zuoyong and Wu Jianping. 3-D P wave velocity structure of crust and upper mantle beneath North China[J]. Acta Seismologica Sinica ,2010, 32(1): 1 – 11)

(上接第 10 页)