

《授时历》预报 2012 年日食*

李 勇¹, 周 亮^{1,2}

(1. 中国科学院国家天文台, 北京 100012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 元代郭守敬等 1280 年编制的《授时历》是中国本土科学家研制的最后一部历法, 具有极高的精度。采用其仍可预报 2012 年 5 月 21 日发生的日食, 其预报北京地区的见食情况时食甚时刻误差 4 min, 食分误差为 0.04。给出了《授时历》推步的 1990~2050 年北京地区的见食情况及精度, 其中食甚时刻的标准偏差为 103.04 min, 食分的标准偏差则不低于 0.33。通过考察 1280~2050 年间 186 个日食计算结果, 可得出《授时历》自行用以来推步日食的误差, 考虑到存在错报(不可见)和漏报因素的影响, 其食甚时刻和食分的标准偏差分别不低于 50.65 min 和 0.19; 同时指出, 随着行用时间的延长其推时误差也逐步放大。

关键词: 天文学史; 历法; 郭守敬; 日食

中图分类号: P1-092 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7673(2012)01-0100-07

中国古历凡一百余部, 源远流长, 行用数千年。完整的历法内容一般分为步气朔、步发敛、步日躔、步月离、步晷漏(步中星)、步交会和步五星 7 部分。时至元明, 以《授时历》(包括《大统历》)为代表的传统的中国历法的编算和研制工作达到了顶峰, 精度极高, 成为中国历史上极负盛名的一部历法, 也是完全由中国本土科学家完成的最后一部历法。

《授时历》由元代大天文学家郭守敬(1231~1316)等编纂。历成于 1280 年, 行用于 1281~1644 年, 元世祖忽必烈钦定其名。它集中国传统诸历大成, 是古代行用时间最长、精度极高的一部名历。它代表了中国古代最高的历算水准。李谦在《授时历议》中指出: 该历上推下求, “可以永久而无弊, 非止密于今而已”。它用定朔、平气注历, 彻底抛弃了积年推步法, 所给年长有长期变化, 更加注重实测。郭氏守敬等为了达到一劳永逸的目的, 编得的《授时历》, 虽依变化年长为算, 但随着时间的推移, 一如他历, 差失不免。

显然, 发达的历术离不开发达的天文观测、天文理论和天文仪器。古人治历明时, 古代历法相当于现代的天文年历, 古代的历书相当于现今的日历。古代历法也属华夏的历史遗存, 包括历经(天文年历)、仪器和历书(残历、日历)等。目前对《授时历》的研究工作亦不缺乏, 其国际关注度也有提升, 如新城新藏^[1]、李约瑟^[2]、山田庆儿^[3]、薮内清^[4]等多有研究, 外国学者对《授时历》的研究至今仍在继续^[5], 2008 年, 宾西法尼亚大学(University of Pennsylvania)的席文(Nathan Sivin)先生集 40 年对《授时历》的研究, 出版了专著《Granting the Seasons》, 令人钦佩^[6]。然而, 《授时历》曾是我国历史上的一部名历, 虽也曾历经七百年辉煌, 现终究只作为中华民族的灿烂文化遗产, 存入宝库, 随着历史的推移, 渐渐远去。

总之, 通过对其推步术的还原方法可获取数据, 弘扬传统科技成就。故目前需加强程序化、自动化和可视化等方面的研究。

1 郭守敬与元大都天文台

席泽宗院士生前曾指出: “以往我们的天文考古研究主要是研究与天文有关的出土文物, 缺乏西

* 基金项目: 国家自然科学基金(10973022)资助。

收稿日期: 2011-02-14; 修定日期: 2011-02-28

作者简介: 李 勇, 男, 研究员, 研究方向: 天文年代学、天文历法、天文考古学、天文地球动力学, Email: yli@bao.ac.cn

方那样对史前天文遗址的研究。陶寺天文观测遗迹的发现,是中国考古天文学的真正开端^[7]。据考古研究所发掘报告,陶寺古观象台的观测缝平均残深仅 8.8 cm,观测中心的残深 30 cm^[8],可见或许正是这些残存浅薄的夯土结构托起了中国最古观象台的要件。

郭守敬(1231~1316),字若思,顺德邢台(今河北邢台)人。生于元太宗三年,卒于元仁宗延祐二年。中国元代杰出的天文学家、仪器制造家和水利工程专家。他创造了简仪、仰仪等天文仪器,编撰了中国古代最优秀的历法《授时历》,同时还为北京通惠河的水利建设作出了巨大贡献。他的一生洋溢着“度越千古”、“巧思绝人”的智慧^[9]。

元朝统治中国的历史虽然很短,但是中国古代天文学的发展却在这一时期达到了高峰。至元 16 年(1279),忽必烈在大都(今北京)东城墙建立了一座规模宏大的天文台,并把国家的天文机构太史院设在了这里。王恂为第一任太史令,郭守敬为第二任。整座天文台长 500 尺,宽 375 尺,中心建筑是一个高七丈,分三层的灵台。第一层南屋是太史令等天文台负责人的办公室,向东的房间是负责推算的工作人员,向西的房间是负责观测和计时的工作人员,向北的房间为仪器储藏室。仅推算、测验、漏刻三局就有 70 人。第二层按离、巽、坤、震、兑、坎、乾、艮八方分成 8 个房间。它们分别是观测准备室、图书资料室、天球仪和星图室、漏壶计时室、日月行星室、恒星室等专业工作室。最上一层为观测台,北有简仪,中有仰仪,西有圭表,东有玲珑仪,南边是印历工作局、堂、神厨和算学的建筑。可见元大都天文台规模宏大,人员众多,组织严密,设备齐全。更令人瞩目的是该台拥有大量先进的观测仪器^[10]。



图 1 中国元代的大天文学家郭守敬(1231~1316)
Fig. 1 Guo Shoujing (1231~1316), a famous astronomer in the Chinese Yuan dynasty

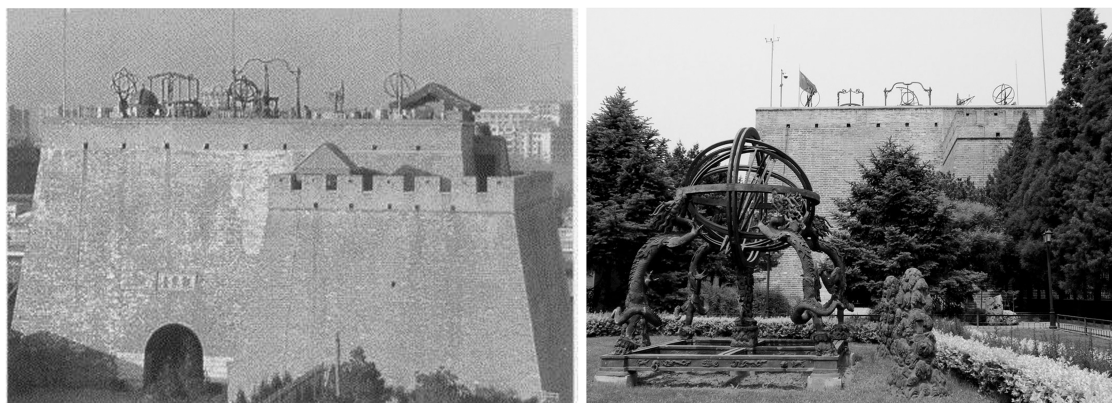


图 2 北京古观象台建于明正统七年(1442 年),是明清两代的国家天文台
Fig. 2 The Beijing Ancient Observatory, which was built in the year 1442 serving as the National Astronomical Observatory in the Ming and Qing dynasties

从 1279 年至今已逾 730 周年,即元大都天文台建台超过了 730 周年,故作此文纪念当时的国家天文台建台 730 周年。

2 古历的集大成者——《授时历》可推步日食

现代天文历算的精确性已经广为熟知,对交食的推算更是毫厘不爽、分秒不差。但利用中国古代历法能否计算出当代日食?这就是本文所要讨论的。古代历法尽管早已被历史尘封,但在当时人们的生活中也曾扮演过重要角色。尤其在中国古代,历法推算不仅是天文学家的重要工作,历法也是皇权的象征。这样经过数千年的发展,在元代才出现了《授时历》——这一华夏先民的颠峰之作。

《授时历》的推步精度究竟如何?为此其在颁行之初也提交了一份测评报告,《元史历志》言:

“二十年(1283年), 诏太子谕德李谦为历议, 发明新历(《授时历》)顺天求合之微, 考证前代人为附会之失, 诚可以貽之永久, 自古及今, 其推验之精, 盖未有出于此者也。”李谦所纂的《授时历议》载术文前。《历议》是一部详细研究《授时历》的长篇论文, 它用大量的材料和史实颂扬《授时历》推算之精, 其中包括和其它历法的比验结果及与历史记载的复核。如在其“交食”部分言到“今合朔既正, 则加时无早晚之差; 气刻适中, 则食分无强弱之失; 推而上之, 自诗、书、春秋及三国以来所载亏食, 无不合焉者。合于既往, 则行之悠久, 自可无弊矣。”它复验了约百余次历史上各代的交食, 甚至包括年代难考的《诗经》、《书经》日食, 其中给出了公元3世纪至13世纪的35次日食和45次月食的原始记录(这些计时记录大部分在史书中首次出现)和推算的详细比验结果, 《授时历》推算时间的精度为: 同刻(0^m)的占31%, 一刻(14^m.4)的占44%, 二刻(28^m.8)的占24%, 故精度在30^m之内的合计占99%, 比验的结果也确认了《授时历》是其时最佳历法^[11]。

据先期对《授时历》推步术的研究^[12-15], 并采用现代计算机技术复原其朔望和交食的推步方法, 由此同样可得出由《授时历》方法推步的现代日食结果, 表1列出了用《授时历》方法计算的1900~2050年间北京(即元代国都大都)可见的日食。《授时历》推步日食的结果通常只包括初亏分、食甚分、复圆分和食分。为方便起见本文只列出食甚分(即食甚时刻)和食分, 并与现代计算结果加以比较和讨论。

表1 用《授时历》预报1990~2050年北京日食的结果及精度

Table 1 Solar eclipses at Beijing from the year 1990 to the year 2050 predicted by the Shoushi Li and their accuracies according to modern calculations

序	公历	《授时历》方法			现代方法			误差	
		干支	食甚分	食分	食类	食甚时刻	食分	时刻/min	食分
1	1990.7.22	戊子(25)	10:41	0.16	全食	10:10	0.01	31	0.15
2	1992.1.5	庚辰(17)	7:19	0.62	环食	不可见			>0.62
3	1992.12.24	甲戌(11)	9:31	0.47	偏食	7:35	*0.39	116	0.08
4	1995.10.24	戊子(25)	14:49	0.10	全食	12:09	0.24	160	-0.14
5	1997.3.9	庚戌(47)	10:29	0.68	全食	8:41	0.85	108	-0.17
6	1998.8.22	辛丑(38)	8:54	0.06	环食	8:42	-0.12	12	0.18
7	2002.6.11	庚戌(47)	6:27	0.20	环食	6:39	0.12	-12	0.08
8	2003.5.31	甲辰(41)	12:31	0.02	环食	不可见			>0.02
9	2004.10.14	丙寅(3)	12:03	0.49	偏食	10:00	-0.07	123	0.56
10	2007.3.19	壬子(49)	12:31	0.12	偏食	10:23	0.40	128	-0.28
11	2009.7.22	戊辰(5)	10:28	0.83	全食	9:32	0.73	56	0.1
12	2010.1.15	乙丑(2)	18:10	0.74	环食	16:52	0.82	78	-0.08
13	2012.5.21	壬午(19)	6:29	0.63	环食	6:33	0.67	-4	-0.04
14	2016.3.9	庚寅(27)	11:44	0.27	全食	9:29	-0.02	135	0.29
15	2019.1.6	癸卯(40)	10:41	0.82	偏食	8:34	0.31	127	0.51
16	2019.12.26	丁酉(34)	16:32	0.57	环食	13:46	0.15	166	0.42
17	2020.6.21	乙未(32)	15:37	0.39	环食	15:50	0.59	-13	-0.2
18	2021.6.10	己丑(26)	20:13	0.68	环食	19:41	*0.15	32	0.53
19	2030.6.1	丁卯(4)	15:12	0.58	环食	15:45	0.68	-33	-0.1
20	2032.11.3	癸丑(50)	15:58	0.75	偏食	13:55	0.61	123	0.14
21	2035.9.2	丙寅(3)	9:58	0.91	全食	8:32	1.01	86	-0.1
22	2041.10.25	辛卯(28)	9:50	0.74	环食	7:49	0.82	121	-0.08
23	2042.4.20	戊子(25)	11:08	0.83	全食	10:08	0.38	60	0.45

续 表

序	公历	《授时历》方法			现代方法			误差	
		干支	食甚分	食分	食类	食甚时刻	食分	时刻/min	食分
24	2046.2.6	丙申(33)	7:13	0.26	环食	不可见		>0.26	
25	2047.1.26	庚寅(27)	11:28	0.64	偏食	8:54	0.75	154	-0.11
26	2049.11.25	甲辰(41)	16:41	0.21	全环	14:10	-0.04	151	0.25
27	2008.8.1	漏报			全食	19:10	0.92		>0.92
28	2018.8.11	漏报			偏食	18:50	0.34		>0.34
标准偏差								103.04	0.33

表 1 中序 27~28 为《授时历》漏报的日食。由现代方法计算所得结果取自刘次沅、马莉萍的《中国历史日食典》^[16], 食分前加“*”, 指食甚在日出前或日落后, 食分前加“-”, 表示看不到日食。“误差”给出的为《授时历》方法所得结果-现代方法所得结果。

由表 1 可知, 在 1990 年至 2050 年间,《授时历》可预报北京日食凡 26 次。但据刘次沅、马莉萍的《中国历史日食典》, 可知其中有 7 次不可见, 此外还漏报可见日食 2 次, 其差错率超 30%。将《中国历史日食典》与张培瑜先生的日食表^[17]比较, 可得在这一时间段内, 两表给出相关日食食分的最大差异为 0.01, 食甚时刻的最大差异为 2 min, 结果基本一致。同时, 显见若仍采用《授时历》方法预报北京(当时京城)的见食情况, 误差已较大。食甚时刻的中误差为 103.04 min, 其食分的中误差亦不低于 0.33。其预报的时刻误差最大者达 166 min。具体每次日食的数据详见表 1。不过在此 60 年间仍有少数精确预测, 例如对 2012 年 5 月 21 日的日食, 其推步食甚时刻的误差仅 4 min, 食分差 0.04。

显见,《授时历》推步现代日食的标准偏差已逾 100 min。但它行用已来的推步精度如何? 为此考察了 1280 年至 2050 年以来的 186 次日食, 时段覆盖了其行用的 1280~1644 年区间, 甚至下沿到现代, 这样的考察可对《授时历》有一个更为全面的了解。经过处理这 186 次日食数据, 考虑到不可见和漏报因素, 可得其食甚时刻和食分的中误差分别不低于 50.65 min 和 0.19。由此可得,《授时历》在不同时期推步日食的误差差异较大, 这些数据中除表 1 具体给出了 1990~2050 年的 28 次外, 其余均未一一列出, 图 3 则给出了每次日食推步的精度结果, 据此亦可直观地反映其误差的变化趋势。

将这 186 次日食再依平均历元进行统计, 结果列于表 2, 可见随着年代向现代推移, 即《授时历》制成时间的增长, 其推步食甚时刻的误差逐步放大。

图 4 由表 2 中的数据绘成, 它亦直观地显示出这种变化趋势。

表 2 《授时历》推步日食食甚时刻和食分的精度

Table 2 The centri-averaged accuracies of moments of middle eclipse and magnitudes of solar eclipses calculated by the Shoushi Li

年代	平均历元	日食数	食分中误差	食甚时刻中误差/min
1280~1399	1341.909	38	0.14	21.73
1400~1499	1451.191	32	0.16	28.32
1500~1599	1550.343	31	0.14	38.35
1600~1699	1655.813	30	0.15	37.61
1700~1785	1744.800	27	0.16	57.03
1900~2050	2016.660	28	0.33	103.04

表 2 中在 1646~1785 年代区间内, 中误差由《授时历》计算值与观测值相比较而得^[18], 其余则均与现代理论计算值相比而得, 其中 1280~1644 年间的的数据属于《授时历》行用期内^[19]。

其实, 若采用《授时历》预测现代日食, 特别是食甚时刻, 其最大的问题由图 3 可见, 就在于

所产生误差的摆动（幅度）与其颁行初期相比明显增大。当然它也可能出现某次高精度，如上文所说的预报2012年日食。但结果是自1281年《授时历》行用以来，它的日食预报的时刻误差值也是逐步加大，呈现出历法用之愈久，则误差逐步增大的局面，尽管也会偶尔出现较为精确的预报，但这一趋势并未改变。尽管这不是古代天文家的初衷，却是事实。究其根源，因为它是在非力学体系下建立的天体运行及预测方法，并未正确地掌握天体运行规律，故出现矛盾和困难的局面也无法避免。

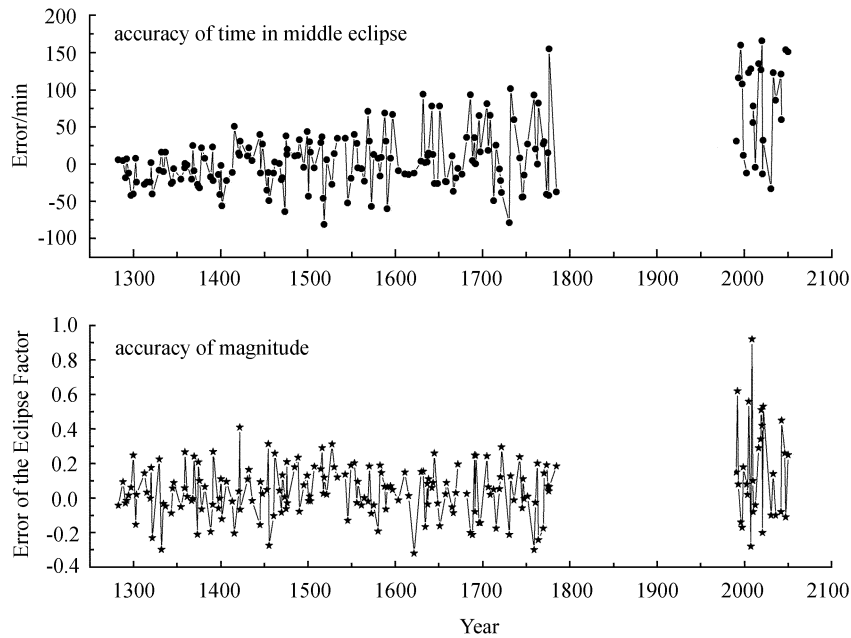


图3 《授时历》推步1280~2050年北京日食食甚时刻和食分的精度

Fig. 3 Accuracies of moments of middle eclipse and magnitudes of solar eclipses at Beijing from the year 1280 to the year 2050 calculated by the *Shoushi Li*

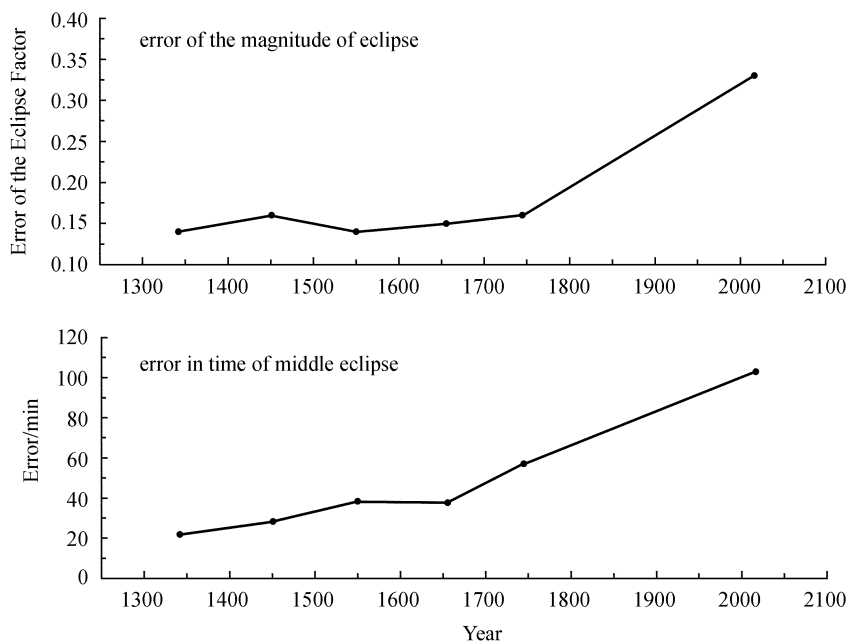


图4 《授时历》推步日食食甚时刻和食分的误差

Fig. 4 Plots of accuracies in Table 2

3 结 论

采用古代的《授时历》预报现代日食,似难以置信,但它的确能做到,只是在预报精度上已经不能达到当初的设计标准。不应忘记它体现了 730 年前先贤们的天文成就,他们研制的《授时历》,不仅能历象授时,同时亦不辱皇命,颁行天下。甚至对现代日食,亦能作出预报,这并非应景之需。

总之,对《授时历》推步术的复原研究,其一,可掌握古历的推步方法,具体分析当时所采用的数学手段。其二,获得古代《朔闰表》、《交食表》和日、月、行星《星历表》等,可与现代天文学的相关理论作平行研究。例如,朔望、交食及行星位置计算问题,中心差和视差的改正等问题,以获取《授时历》的推步精度。其三,推步方法的恢复,特别是实现了程序化和可视化后,研究成果还可面向社会、面向公众,可使繁复的古历推步过程变得方便快捷,起到弘扬和宣传中国传统科学成就的作用。其四,历法推步术可将史料中时常残缺的实时观测数据恢复。由于古历推步模型是在非力学体系下建立起来的经验公式,它是在拟合了已往的实时观测资料基础上归纳得到的预报函数,故从某种意义上讲古历法还是当时难得的现已失传的实时史料的载体。如能正确地读取它们,即可作为对往往“纪之甚简”的史料的补充和恢复;其结果可用于历史、考古、年代学及地球自转长期变化等文史及天文学的相关研究中,古历推步法本身就是天文年代学的一种方法,具有一定的应用前景和拓展空间。

现在看来,尽管中国古代的天文历法似乎与西方传来的现代天文学关联不大,但正如席文(Nathan Sivin)先生所说:“《授时历》让我们能够近距离地观察这一经历了约 2000 年的正常运转而未受干扰的中国传统科学的顶端。”^[20](The Season-granting system has allowed us a close look at the high point of that tradition, which spanned without interruption nearly two thousand years.)

参考文献:

- [1] 新城新藏. 东洋天文学史研究 [M]. 上海: 中华学艺社, 1933.
- [2] J Needham. Science and Civilisation in China [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1959.
- [3] 山田庆儿. 授时历之路——中国中世纪的科学与国家 [M]. 东京: 米苏祖书房, 1980.
- [4] 藪内清. 中国天文历法 [M]. 东京: 平凡社, 1990.
- [5] 藪内清, 中山茂. 《授时历》译注与研究 [M]. 川崎: I K Cooperation, 2006.
- [6] Sivin, Nathan. Granting the Seasons [M]. Springer, 2008.
- [7] 江晓原, 陈晓中, 伊世同, 等. 山西襄汾陶寺城址天文观测遗迹功能讨论 [J]. 考古, 2006 (11): 81-94.
- [8] 中国社会科学院考古研究所山西队, 山西省考古研究所, 临汾市文物局. 山西襄汾县陶寺中期城址大型建筑 IIFJT1 基址 2004~2005 年发掘简报 [J]. 考古, 2007(4): 3-25.
- [9] 卢家锡, 席泽宗. 彩色插图中国科学技术史 [M]. 北京: 中国科学技术出版社祥云(美国)出版公司, 1997: 182.
- [10] 戴逸, 龚书铎. 中国通史(第三卷) [M]. 郑州: 海燕出版社, 2002: 210.
- [11] 李勇. 20 世纪 90 年代运用古交食史料研究地球自转长期变化的进展 [C] // 追寻中华古代文明的踪迹——李学勤先生学术活动五十年纪念文集. 上海: 复旦大学出版社, 2002: 300-306.
- [12] 李勇, 张培瑜. 中国古历定朔推步综述 [J]. 天文学进展, 1996, 14(1): 66-76.
Li Yong, Zhang Peiyu. A Review on the Calculation Methods of the Real New Moon in the Chinese Ancient Calendars [J]. Progress in Astronomy, 1996, 14(1): 66-76.
- [13] 李勇, 张培瑜. 《授时历》交食推步研究 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1996, 32(1): 16-24.
Li Yong, Zhang Peiyu. Research on the Calculating Methods of Eclipses about the Calendar of Shousthi [J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 1996, 32(1): 16-24.

- [14] Y Li, C Z Zhang. Chinese Syzygy Calculation Established in the 13th Century [J]. *Astronomy and Astrophysics*, 1998, 332: 1142–1146.
- [15] Y Li, C Z Zhang. Chinese Models of Solar and Lunar Motions in the 13th Century [J]. *Astronomy and Astrophysics*, 1998, 333: 13–15.
- [16] 刘次沅, 马莉萍. 中国历史日食典 [M]. 北京: 世界图书出版公司, 2006: 97–98.
- [17] 张培瑜. 三千五百年历日天象 [M]. 郑州: 河南教育出版社, 1990: 1051–1052.
- [18] Y Li, C Z Zhang. Accuracy of Solar Eclipse Calculations, 1644–1785, with the Chinese Shoushi Calendar [J]. *Journal for the History of Astronomy*, 1999, 30(2): 161–167.
- [19] 李勇, 张培瑜. 中国 13 世纪历法的交食推算精度 [J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 1999, 35(4): 421–424.
- Li Yong, Zhang Peiyu. The Eclipse Calculating Precision of Chinese Ancient Calendar in the 13th Century [J]. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 1999, 35(4): 421–424.
- [20] Sivin Nathan. *Granting the Seasons* [M]. Springer, 2008: 561.

The Ancient Chinese Calendar *Shoushi Li* Still Usable for Predicting Solar Eclipses in the Year 2012

Li Yong¹, Zhou Liang^{1,2}

(1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China, Email: yli@bao.ac.cn;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In 1280 A. D. in the *Yuan* dynasty (from 1279 A. D. to 1367 A. D.) the Chinese ancient calendar *Shoushi Li* (or *Shou-shih li*) was made by *Guo Shoujing* (or *Kuo Shou-ching*) and his colleagues. The calendar has a high precision. It is the last calendar designed by ancient indigenous Chinese scientists. The *Shoushi Li* is thus one of the most famous calendars in the ancient China, and was recorded in the *Lizhi* (ancient calendar book of China) of the *Yuanshi* (annals of the *Yuan* dynasty). There are seven important calculation parts in the *Shoushi Li*, including solar positions, syzygies, corrections of solar motion and lunar motion, eclipses, and so on. The locations of the five planets are also in the list. Almost every part has a corresponding section in a modern astronomical ephemerides. The period of its usage (from 1281 A. D. to 1644 A. D.) is the longest among calendars in the ancient China. It was also a new calendar system at the time, in the sense that it dropped the traditional method of carrying out calculations from an epoch of the distant past. The essential constants of calculation were obtained from meticulous observations. Currently this calendar can still predict the solar eclipse to occur in May 21, 2012 and the local circumstance in *Beijing*. The error for the time of the middle of eclipse is 4 min and the error of magnitude of the maximal eclipse is 0.04. This paper also provides the results from the *Shoushi li* for local circumstance and accuracy during the year 1990 to the year 2050 in Beijing. The standard deviation of the time errors is 103.04 min and that of magnitudes at the maximal eclipses is no less than 0.33. After investigating 186 solar eclipses from the year 1280 to the year 2050, the overall accuracy of the *Shoushi Li* can be derived. Considering missed and erroneous records of solar eclipses the standard deviations of the two aspects should not be better than 50.65 min and 0.19, respectively. We have extended the calendar algorithms in steps by using a computer, and we find that the errors of the *Shoushi Li* increases with time after issueing. This calendar has not been in use for 450 years, but in some cases it is still of high accuracy, and the solar eclipse in 2012 is an example.

Key words: History of astronomy; Calendar; *Guo Shoujing*; Solar eclipse