

《大明历》日食计算精度分析

叶杰

咸阳师范学院 数学与统计学院 陕西咸阳 712000

DOI:10.12238/ems.v7i9.15205

[摘要] 《大明历》是南北朝时期最为精密且行用时间最长的历法,代表着南北朝时期的最高科学水平。本研究基于《大明历》日食算法原文,借助 Python 计算机语言推算《大明历》诞生(462 年)前后 95 年(367-577)日食计算结果,并与现代天文学推算的日食结果相对比,讨论《大明历》日食算法的精度,并利用 Python 计算机语言分析影响其计算精度的原因。研究发现:《大明历》精准计算出公元 367-577 年发生的全部日食现象;《大明历》食甚最大误差为 15 时 58 分 12 秒,食甚最小误差为-15 时 45 分,平均误差为 47 分 22 秒;黄经误差、日食食分对日食计算精度的影响与常识相反,二者对《大明历》的日食计算精度并无直接影响;与《大明历》日食计算相关的天文常数里,回归年、朔望月、交点月三者的周期精度对其日食计算精度有直接影响,近点月周期精度几乎无影响。

[关键词] 大明历;日食算法;精度分析

“天算农医”是中国古代科技的主要范畴,而“天”是“天算农医”的核心,“天”即“天文历法”。《大明历》是南北朝时期行用时间最长的历法,代表着南北朝最为先进的科学水准。《大明历》由祖冲之於刘宋大明六年(462)所创,历经宋齐梁陈四朝,行用年限达 80 年之久。^[1]《大明历》首次将岁差引入历法计算,^[2]开创了中国古代利用科学方法准确测定冬至时刻的新纪元,^[3]因其在历法史上有许多创新之处,故被誉为当时世上最为精密的历法。^[4]《大明历》对日食算法有重大改革,首创以交点月代替交点年预测日食的交食算法,后世历法亦遵循此法,这是中国古代天文学上的一大进步。^[3]

“日食”是太阳被月球遮蔽的现象,其在中国古代社会常被视为异常天象,且其预报精度一直受到皇室的高度重视。^[5]在中国历法史上,日食算法是历法中最重要的部分,古人云:“历法之验,验在交食”,即古人常通过日食的计算精度来判断一部历法的优劣,同时,古代改历的重要依据之一便是现行历法日食预报是否准确。^{[2]390}

严敦杰^[6]对祖冲之本人及其著作进行过系统研究,对《大明历》亦有解读,但未讨论其日食计算精度;曲安京^[7]系统梳理了中国古代传统日食算法的发展历程及变革,并对其日食算法模型进行过复原;唐泉^[8]、滕艳辉^[9-10]、胡铁珠^[11]等人在日食算法方面进行过大量深入研究,复原了多部历法的日食推算过程,也讨论了相应历法的日食计算精度,但前人多是在研究隋唐之后的日食算法,目前学界对隋唐之前交食算法及其精度并未有过多分析;

本文利用《大明历》日食算法的程序性和机械系,借助 Python 计算机语言计算《大明历》诞生前后 95 年的日食计算结果,并与现代天文学推算的日食计算结果相对比,探析天文学史上第一次“以交点月代替交点年预测日食”的日食计算精度。同时以本文将以与日食计算相关的天文常数为切入点,借助 Python 计算机语言,分析影响《大明历》日食计算精度的原因。

1 《大明历》日食推步过程

《大明历》日食算法^[1]并未涉及视差,主要借助食限,通过判断定朔时刻是否在食限范围内,在则发生日食,不在则不食。《大明历》日食算法主要分为三步:

第一步是借助“上元年数”(历法起点,夜半时正好日月合朔、正交冬至、月过近地点、日月同过黄白道交点)、“章月”与“章岁”(每年所含朔望月数)、“月法”与“日法”(朔望月周期)求出平朔时刻。算法包括“推朔术”。

第二步是借助“阴阳历”表和“通周”(近点月周期)求出平朔与黄白交点的距离,再通过“会周”(交点月周期)推算的日食食限判断是否发生交食日食。算法包括“推入迟疾历术”“推入阴阳历术”“求朔望差”“求合朔月食”。

第三步是借助“迟疾历”表,计算发生日食时具体的定朔时刻,即日食食甚时刻。算法包括“求合朔月食定大小余”。

本人曾详细解读过《大明历》算法,并给出了计算实例。

^[12]因篇幅所限,本文不再呈现。

2 《大明历》日食计算精度

考察《大明历》的日食计算精度,需对比历法推算日食

（历法值）与真实天象（真实值）的差距。本文严格按照《大明历》日食算法，借助 Python 计算机语言将其日食推算编写为计算机程序，由于一个完整的交食周期约为 19 年，本文以《大明历》制成初年（462）为准，向前和向后各推 95 年，计算这 190 年间（367~577）所有日食的食甚时刻。本文日食

表 1 《大明历》190 年间（367~577）日食计算误差

的真实值取自 NASA 官网同时期南京地区（南朝首都）的日食结果。

190 年间，《大明历》计算出南京地区发生 405 次日食，实际发生 70 次日食，实际发生的 70 次日食《大明历》都能成果计算出来。具体计算结果见表 1。

日食次数	历法值/ 年月日	历法值与真实 值误差/时	历法值与真实值 误差绝对误差/时	日食次数	历法值/ 年月日	历法值与 真实值误差/时	历法值与真实值 误差绝对误差/时
1	368. 4. 4	-7. 0500	7. 0500	36	468. 5. 8	0. 3000	0. 3000
2	370. 8. 8	-14. 6667	14. 6667	37	468. 11. 1	-7. 6167	7. 6167
3	371. 2. 2	14. 8333	14. 8333	38	469. 10. 21	-13. 5000	13. 5000
4	375. 11. 10	-2. 1667	2. 1667	39	474. 1. 4	-0. 4667	0. 4667
5	380. 1. 24	13. 6667	13. 6667	40	479. 4. 8	15. 0833	15. 0833
6	381. 1. 12	8. 2000	8. 2000	41	481. 8. 11	7. 0500	7. 0500
7	381. 7. 8	-2. 5500	2. 5500	42	484. 1. 14	7. 4500	7. 4500
8	383. 11. 11	-5. 7333	5. 7333	43	489. 3. 18	7. 6667	7. 6667
9	384. 10. 31	-0. 7667	0. 7667	44	490. 3. 7	-0. 5667	0. 5667
10	388. 8. 19	11. 5500	11. 5500	45	493. 1. 4	8. 6167	8. 6167
11	392. 6. 7	10. 3500	10. 3500	46	494. 6. 19	-10. 6833	10. 6833
12	395. 4. 6	-4. 5000	4. 5000	47	496. 10. 23	7. 7833	7. 7833
13	400. 7. 8	4. 8333	4. 8333	48	500. 8. 11	2. 4833	2. 4833
14	403. 5. 7	-4. 0333	4. 0333	49	501. 7. 31	-5. 6167	5. 6167
15	407. 2. 23	-6. 8000	6. 8000	50	508. 9. 11	3. 2667	3. 2667
16	407. 8. 19	-13. 2833	13. 2833	51	509. 8. 31	5. 2167	5. 2167
17	414. 9. 30	-7. 6000	7. 6000	52	512. 6. 30	8. 5167	8. 5167
18	415. 9. 20	13. 9833	13. 9833	53	516. 4. 18	5. 6333	5. 6333
19	417. 2. 3	6. 4833	6. 4833	54	518. 8. 22	3. 9333	3. 9333
20	424. 9. 9	-15. 7500	15. 7500	55	519. 2. 15	2. 3500	2. 3500
21	425. 3. 6	15. 9667	15. 9667	56	520. 2. 4	-7. 0833	7. 0833
22	427. 7. 10	7. 8667	7. 8667	57	521. 6. 21	5. 8667	5. 8667
23	429. 12. 12	1. 1833	1. 1833	58	522. 6. 10	-1. 1500	1. 1500
24	435. 2. 14	9. 4167	9. 4167	59	522. 12. 4	-1. 6333	1. 6333
25	438. 12. 3	-0. 8833	0. 8833	60	523. 11. 23	-11. 0000	11. 0000
26	440. 5. 17	-7. 9667	7. 9667	61	531. 6. 30	-1. 5167	1. 5167
27	442. 9. 21	13. 3333	13. 3333	62	532. 11. 13	-12. 9000	12. 9000
28	446. 7. 10	5. 1167	5. 1167	63	533. 5. 10	-5. 8500	5. 8500
29	449. 5. 8	-6. 7167	6. 7167	64	535. 9. 13	6. 6333	6. 6333
30	454. 8. 10	3. 3500	3. 3500	65	540. 6. 20	1. 1667	1. 1667
31	457. 12. 2	-7. 7000	7. 7000	66	543. 4. 20	2. 6833	2. 6833

32	461.9.20	-12.5167	12.5167	67	544.4.8	-3.7500	3.7500
33	462.3.17	9.0000	9.0000	68	545.9.22	2.3000	2.3000
34	464.7.20	6.7167	6.7167	69	547.2.6	12.0000	12.0000
35	465.1.13	-0.4000	0.4000	70	548.7.21	-12.1833	12.1833

由表 1 可知,《大明历》食甚最大误差为 15.97 时(15 时 58 分 12 秒),日食食甚时刻真实值为 17 时 59 分。《大明历》食甚最小误差为-15.75 时(-15 时 45 分),日食食甚时刻真实值为 5 时 51 分。

《大明历》食甚最大绝对误差为 0.3 时(18 分),日食食甚时刻真实值为 7 时 59 分,平均误差为 0.7893 时(47 分 22 秒),绝对误差平均值为 6.9779 时(6 时 58 分 40 秒),说明《大明历》交食算法可遵循一定的周期性,误差可相互抵消。

3 《大明历》日食计算精度分析

《大明历》日食计算精度主要受到黄经误差、食分大小和天文常数的影响,下面依次分析:

3.1 黄经误差的影响

一般来说,夏至时刻,太阳直射角高,日食计算精度应该更高;冬至时刻,太阳直射角高,日食计算精度应该更低。本文以二十四节气为节点,考察黄经误差对《大明历》日食计算精度的影响,通过表 2 可知,《大明历》交食算法与黄经误差并无太大关系,夏至前后的节气,其日食计算误差仍然很大;冬至前后的节气,其日食计算误差也有较小的情况。

表 2 《大明历》190 年间(367-577)日食与节气对照表

日食次数	历推值/年月日	历法值与真实值误差/时	节气
1	368.4.4	-7.0500	清明
2	370.8.8	-14.6667	立秋
3	516.4.18	5.6333	谷雨
4	518.8.22	3.9333	处暑
5	540.6.20	1.1667	夏至
6	548.7.21	-12.1833	大暑

3.2 食分的影响

“食分”是指太阳圆面视直径中被月球遮住的部分与日面视直径的比值。^{[2]470}一般来说,大食分更易观测,日食计算精度应该偏低,小食分较难观测,日食计算精度应该偏高。因《大明历》未设计食分算法,本文将历法值与真实值相对应,视真实值对应的食分为历法值的食分,并以 0.1 为一个

分组距离,将 190 年间 70 次日食的食分结果统计如图 1。由图 1 可知,0-0.1 区间为小食分,但其日食计算绝对误差平均值竟然小于 0.5-0.6、0.6-0.7 这类大食分,由此推测日食食分对《大明历》日食计算精度无直接影响。

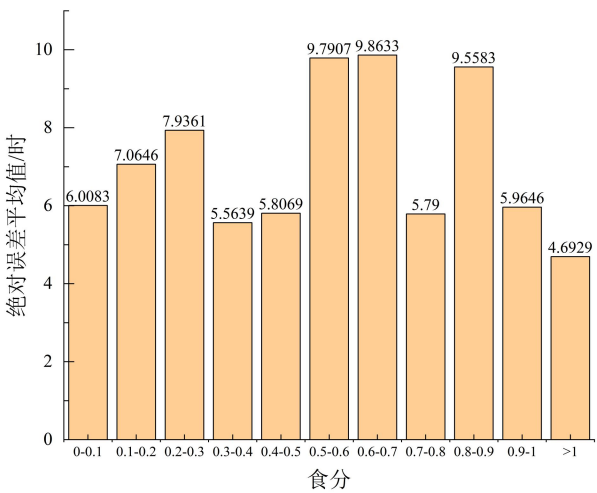


图 1 《大明历》190 年间(367-577)日食食分分布图

3.2 天文常数的影响

在《大明历》日食计算中,影响其精度的主要天文常数有回归年周期、朔望月周期、近点月周期、交点月周期,本小节将依次讨论这四个常数对《大明历》日食计算精度的影响。

一、回归年周期的影响。回归年周期的精度将直接影响冬至时刻测定的准确度,而冬至时刻是《大明历》一切算法的起点,但祖冲之用来推导岁差的准确记录很少,所以求出的岁差值偏大。^{[3]177}因此,本文将祖冲之设定的回归年周期替换为现代回归年周期 365.24219178 日,重新计算《大明历》诞生前后 95 年(367-577)的日食情况,并与现代天文学推导的日食结果进行比较。结果发现,将《大明历》的回归年替换成现代回归年周期后,日食计算失效。

二、朔望月周期的影响。朔望月周期的精度将直接影响朔日时刻测定的准确度,而朔日的确定又是日食计算的第一步。因此,本文将祖冲之设定的朔望月周期替换为现代朔望月周期 29.53058867 日,结果发现,现代朔望月周期精度虽更高,但其日食计算却失效。

三、近点月周期的影响。本文将祖冲之设定的近点月周

期替换为现代近点月周期 27.55455095 日,重新计算《大明历》诞生前后 95 年的日食情况,并与现代天文学推导的日食结果进行比较。结果发现,日食计算并未失效,只是日食计算最大误差更大,其最大误差为 15.9667 时(15 时 58 分),最小误差为-15.7667 时(-15 时 46 分),平均误差为 1.0402 时(1 时 2 分 25 秒)。为进一步对比《大明历》与现代天文学近点月周期所导致的日食计算误差,我们把二者数据分析对比,通过图 2 可知,二者的误差基本拟合,相差不大,说明近点月周期精度对日食计算精度影响不大。

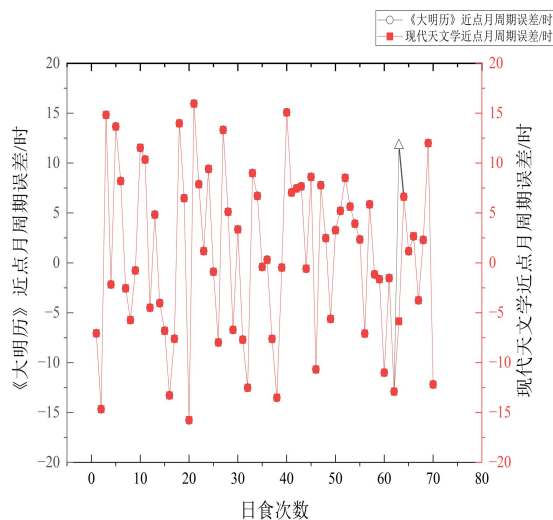


图2 《大明历》190 年间(367-577)《大明历》近点月周期与现代天文学近点月周期误差对比图

四、交点月周期的影响。《大明历》创立以交点月预测日食的计算方法,本文将祖冲之设定的交点月周期替换为现代近点月周期 27.21222039 日,重新计算《大明历》诞生前后 95 年的日食情况,并与现代天文学推导的日食结果进行比较。结果发现,《大明历》日食计算失效。

4 结论

《大明历》作为南北朝时期最为精密且行用时间最长的历法,代表着南北朝时期的最高的科学水平,其在日食计算方面亦有巨大创新。本文立足于《大明历》日食原文,借助 Python 计算机语言复现《大明历》日食算法,研究发现:

一、190 年间,《大明历》精准计算出南京地区实际发生的 70 次日食;

二、《大明历》食甚最大误差为 15 时 58 分 12 秒,食甚最小误差为-15 时 45 分,平均误差为 47 分 22 秒;

三、黄经误差、日食食分对日食计算精度的影响与生活常识相反,黄经误差及日食食分对《大明历》日食计算精度

并无直接影响,具体原因有待后续讨论;

四、《大明历》有许多天文常数精度为当时世界之最,将《大明历》“近点月周期”替换为现代高精度的“近点月周期”后,发现日食计算结果相差并不大,说明其“近点月周期”与当今无异;

五、《大明历》日食计算相关天文常数里,回归年、朔望月、交点月三者的周期精度对其日食计算精度有直接影响,将三者替换为现代高精度的天文常数后,日食计算皆失效,推测《大明历》上元积年常数并非特别精准。

[参考文献]

[1]中华书局编. 历代天文律历等志汇编(六)[M]. 北京: 中华书局, 1976: 1745-1779.

[2]曲安京. 中国数理天文学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

[3]陈久金. 中国古代天文学家[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2008.

[4]陈久金, 张昌明. 中国天文大发现[M]. 济南: 山东画报出版社, 2008: 89.

[5]滕艳辉, 唐泉. 《纪元历》日食算法及精度分析[J]. 自然科学史研究, 2013, 32(2): 140-155.

[6]严敦杰. 祖冲之科学著作校释[M]. 沈阳: 辽宁教育出版社, 2000.

[7]曲安京. 中国古代日食食差算法的原理[J]. 自然科学史研究, 2002, (2): 97-114.

[8]唐泉. 中国古代的日食食分算法[J]. 自然科学史研究, 2005, (1): 29-44.

[9]滕艳辉. 宋代的日食食限算法[J]. 科学技术哲学研究, 2014, 31(5): 78-83.

[10]滕艳辉, 王鹏云. 《崇天历》的日食预报水平[J]. 咸阳师范学院学报, 2018, 33(3): 11-15.

[11]胡铁珠. 《大衍历》交食计算精度[J]. 自然科学史研究, 2001, (4): 312-319.

[12]叶杰, 王鹏云, 滕艳辉. 《大明历》交食推算方法及行用期间交食记录分析[J]. 咸阳师范学院学报, 2025, 40(2): 72-78.

[13]基金项目: 陕西省教育厅科研计划项目(23JK0715); 咸阳师范学院科研计划项目(XSYK23010)

作者简介: 叶杰(1997-), 男, 陕西西安人, 咸阳师范学院数学与统计学院助教, 硕士, 研究方向为数理天文学史。