

藏文抄本《此处日月食发生的年月日预报及观测记录》研究

才让加 唐 泉✉

(西北大学 科学史高等研究院, 西安 710127; 陕西省文化遗产数字人文重点实验室, 西安 710127)

摘要 日月食在藏传佛教中具有特殊的宗教意义, 因此古代藏族历算家非常重视对日月食的预报, 藏文史籍中留下大量关于日月食的预报记录和观测记录。藏文抄本《此处日月食发生的年月日预报及观测记录》记载了藏族历算家关于1544—1616年36条日月食的预报记录和观测记录。本文基于Python语言, 对藏传时轮历经典文献《火空海》中的五要素及罗睺算法进行数值模拟, 并采用《月食明灯》的交食推算方法, 对该抄本所载36条日月食预报记录进行重新计算和校勘。同时利用天文软件SkyMap Pro7提取的日月食理论数据, 考察该抄本中36条日月食的预报记录和观测记录的可靠性。研究表明, 按照《火空海》及《月食明灯》推算的日月食初亏时刻误差较大, 但如果对该抄本中36条日月食记录的初亏时刻以每46年修正1漏刻(24分钟), 则其中7条日食记录的初亏时刻平均绝对误差从172分钟降至123分钟, 27条月食记录的初亏时刻平均绝对误差从114分钟降到63分钟。本文的研究对客观评价藏传时轮历的交食预报水平具有重要的参考意义。

关键词 关火空海; 月食明灯; 日月食; 记录

中图分类号 N092

文献标识码 A **文章编号** 1000-0224(2025)04-0408-21

1 引言

日月食是一种非常引人注目的特殊天象, 大多数文明和民族将其视为不祥之兆。但根据藏传佛教密宗修法, 日食和月食发生时刻是修习佛法或积德的最佳时间。释迦

收稿日期: 2024-03-29; 修回日期: 2025-05-03。

作者简介: 才让加, 1991年生, 青海共和人, 博士研究生, 研究方向为数理天文学史。唐泉, 1974年生, 甘肃靖远人, 教授, 主要从事数理天文学史研究, Email: tangquan74@nwu.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目“藏历中的日月食算法及精度研究”(项目编号: 12373075)。

室利(shakya shria, 1127—1225)所著《四季变换》(dus chen bzhi'i 'gyur rtsis)称:“日食时行善及积德以千万倍增,月食时行善及积德以七千万倍增。”^[1]《大方广菩萨藏文殊师利根本仪轨经》('jam dpal rtsa rgyud)^[2]、《清凉经》(bsil ba'i mdo)^[3]、《日月经》(nyi ma zla ba'i mdo)^[4]和《时轮法胤心要》(rigs ldan snying gi thig le)^[5]等藏文文献中也能见到类似记载。在古代藏族学者的观念中,精确预报日月食发生时刻并在期间修行佛法、供养本尊和冥想,成为藏传佛教僧侣修行的一条捷径。因此,古代藏族学者非常重视对日月食的预测和记录,藏族史籍中留存了大量的日月食预测和观测记录。例如,西藏自治区藏医院出版的130卷《雪域藏医历算大典》(gangs ljongs sman rtsis kun 'dus chen mo)中,第116卷收录《此处日月食发生的年月日预报及观测记录》('di na nyi zla gza' 'dzin byung ba'i lo zla tshes grangs dang bcas pa'i myong rtsis kyi ri mo zin bris bkod pa zhig yod pa,下文简称“《记录》”)等4部载有日月食记录的藏文抄本文献^[6],这些抄本是研究古代藏族交食记录的宝贵资料。

日月食算法是藏族天文历算中的核心内容,一直受到科学史家的高度关注。20世纪80年代,黄明信和陈久金合作,将商卓特·桑热(phyag mdzod byams pa gsung rab)所著《时轮法胤心要》和马杨索巴嘉参(ma y'ang bzod pa rgyal mtshan)所著《马杨汉历要旨》(rgya rtsis las rgyal khab chen po pe cing gnas pa'i yul gru gtso bor byas te nyi zla gza' 'dzin brtag tshul)^[7]翻译为汉文,对算法原理进行了详细释读,并给出日月食算例,相关研究成果汇集为《藏历的原理与实践》^[8]一书。黄明信和陈久金的研究工作填补了这一领域的空白,为学界进一步从事藏历研究奠定了坚实基础。2016年,韩国学者曹锡孝(Sokhyo Jo)较为详细地讨论了藏传时轮历日月食计算基本原理,并从宗教学角度进行了解释。^[9]近年来,一些学者对藏族经典数理天文学著作中日月食算法及其精度展开研究,例如,吉毛卓玛等人对《白琉璃》(Baidūrya dkar po)日食预报精度的讨论^[10],东周才让等人对《日光论》(nyin byed snang ba)的交食预报精度的讨论^[11],郭甜等人对《马杨汉历要旨》和《汉历文殊喜悦供云》月食预报精度的讨论^[12],都值得关注。

关于藏文文献中日月食记录研究,仅有才让加等人讨论过《雪域藏医历算大典》所收录的18世纪藏文抄本《部分日月食记录》所载1749—1765年18条日月食的预报记录和观测记录^[13],收录于《雪域藏医历算大典》中的其他日月食记录,尚未得到学界充分关注。藏文抄本《记录》包括1544—1616年的36条日月食预报记录,其中大部分预报记录详细记载了按照体系派和作用派^①推算日月食的基础数据,包括预测日月食时太阳、月亮的真位置,计算初亏时刻的重要数值等,但并未记载初亏时刻、复圆时刻等具体数据。此外,绝大多数预报记录中记载了当时的观测过程和结果。本文将参考相

① 体系派是指依据《时轮根本经》(dus 'khor rts rgyud)直接讲解的理论而形成的历算学派。作用派则是指《时轮摄略经》(dus 'khor bsdu rgyud)中吸收“作用外道派(mi rdag byed pa)”的内容,并以此经为依据形成的历算学派。

关藏族天文历算著作,并借助 Python 编程手段对其进行研究,考察古代藏族学者的日月食预报水平和观测记录的可靠性。

2 《记录》校勘

2.1 《记录》内容简介

藏文抄本《记录》原件收藏于布达拉宫,共 5 叶 10 面,每叶大小为 6.9cm×36.8cm 的长方形纸,纸色发黄,所有边缘整齐,部分页面有磨损,内容以藏文草体记录,首页有第司·桑结嘉措(sde srid sangs rgyas rgya mtsho, 1653—1705)的朱红批注。该抄本记载了 1544—1616 年的 36 条日月食记录,包括定曜、定日、罗睺根、罗睺头、罗睺尾等基础数据。但从记录顺序来看,记录者并非按照时间顺序记录,该抄本中的第一条记录为藏历第九饶迥金狗年一月十五日(1551 年 2 月 20 日)的月食预报记录,最后一条记录为藏历金猪年十月三十日(1611 年 12 月 4 日)日食预报记录。每一条记录分别详细记载了推算日月食的一些基础数据,并记录了当时的观测过程和观测结果。

该抄本首页有第司·桑结嘉措的朱红批注:

此为德勒格昂彭措又名涅唐仲多巴关于交食的经验录,本人对该文献内容进行了复算与研究,在保留其原貌的同时,将其要义收录于《〈白琉璃〉子母篇》。([6], 47 页)

从上述批注来看,德勒格昂彭措(bde legs gar dbang phun tshogs)又名涅唐仲多巴(snye thang grong stod pa),应该是这些交食记录的记录者。但关于他的生平信息和其他资料,目前尚未找到详细记载。

《记录》每面载有 4 条交食记录。以该抄本第 4 页为例,从左到右分别记录了藏历第九饶迥土马年三月十五日(1558 年 4 月 3 日)、土马年九月十五日(1558 年 9 月 27 日)、土羊年八月十五日(1558 年 9 月 27 日)以及土羊年八月十五日(1559 年 9 月 16 日)四次月食记录,如图 1 所示。

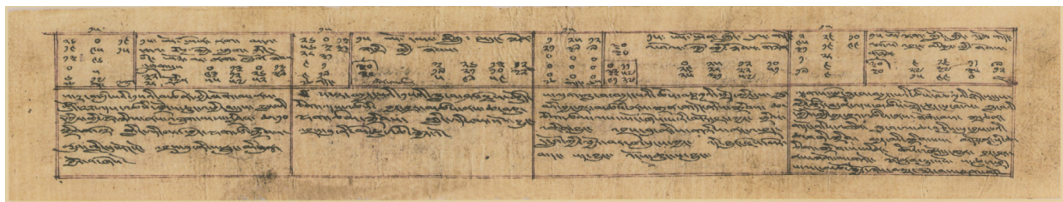


图 1 《记录》第 4 页

目前尚未发现该藏文抄本的刻本。该抄本以藏文草体写成,由于年代久远,有的字迹变得模糊,错漏不少,再加上大多数藏文采用了缩写,从而给正确释读带来很大困难。而且在该抄本中,部分文字有写完后不小心被手蹭掉的痕迹,这也为正确释读文献带来了很大困难。鉴于以上原因,我们首先将《记录》转写成藏文楷体,再将其翻

译为汉文,在翻译时若还未出现标准藏汉对译词,仍保留了原文。我们以该抄本所载藏历第九绕迥土羊年八月十五日(1559年9月16日)月食记录为例,考察每条日月食记录的形式与内容。该条月食记录的汉文翻译如图2所示。

1	25	12			མོ་མོ་ལ།	周六	ཁུང།	དུ་ལ།	གཞིང།
21	37	9	30		འཕེ་ལ།	ཟླ།	狗	རྩོད་ལ།	གཉེན།
0	0	0	30						
0	0	0	0	11	0		25	12	10
0	0	0	33	57	24		28	22	51
根	头	尾	41	27	25		31	57	
土羊年八月十五日亥时自月亮的东北方向由罗喉头起蚀，计算结果差一分为全食，但实际全蚀。									

图2 《记录》所载土羊年八月十五日月食记录(汉文翻译)

为方便讨论,首先需要对图2中的特殊名词进行必要解释。左边方格三列数值表示罗喉值,“根”指罗喉根,表示发生交食时黄白升交点在黄道上距春分点西行的弧长,即1宿21弧刻;第二列中“头”指罗喉头,表示发生交食时黄白升交点在黄道上距春分点东行的弧长,即25宿37弧刻;第三列中“尾”指罗喉尾,表示发生交食时黄白降交点在黄道上距春分点的弧长,即12宿9弧刻。

右边方格左上方的数字表示昼夜长度,即该日昼长为30漏刻,夜长为30漏刻,大多数记录中在这对数字附近标明了“昼长”和“夜长”。右边方格右下方四列数字中,第一列为定曜,是指所求日太阴日准确的曜序数及太阴日结束时刻,即0曜24漏刻25漏分;第二列为太阳日月宿,是指该日太阳日开始时,月亮所在之宿与该宿中已过的弧长,即25宿28弧刻31弧分;第三列为定日,是指所求日太阴日结束时刻太阳的真位置,即12宿22弧刻57弧分;第四列为会合,没有具体的天文意义,只用于星占。中间小方格中的数字也是比较特殊的地方,是该日体系派定曜与定日值,即按体系派该日定曜为0曜33漏刻41漏分,定日为11宿57弧刻27弧分。右上方两行文字中第一行第二个“周六”为当日值日曜,也就是星期,第二列第三个“狗”为每日生肖,其余为占星名词,无天文学含义。

这些记录中绝大多数都给出了初亏和复圆、入食方向、食分和颜色等重要信息,如火牛年三月十五日(1577年4月3日)月食观测记录为:

火牛年三月十五日晚夜半前夕自月亮东北方向以罗喉尾食,计算得食11分^①,

但实际全食,食延与食分一致,颜色为红黑色,至黎明时复圆于此洲。([6], 49页)其中,初亏时刻为夜半,在罗喉尾处由东北方向起食,推算所得的食分为11分,但实际观测为全食,月食发生时月亮的颜色为红黑色,于黎明时复圆。

^① 《月食明灯》中月全食以12分给出,11分表示食分大小为11/12。

2.2 《记录》校勘

36 条日月食的预报记录仅给出了推算日月食的基本数据,并未记载初亏时刻、复圆时刻等具体数据。因此,需基于现存的基本参数进行必要的天文计算,方能推导出缺失的食相时刻数据。为了考察这些基础数据记录的准确性,我们利用 Python 编程语言模拟了 13—19 世纪藏传时轮历经典著作《火空海》(me mkha' rgya mtsho)^[14]、《白莲亲教》(pad dkar zhal lung)^[15]、《白琉璃》^[16]、《日光论》^[17]和《时轮法胤心要》([5], 22-24 页)中的五要素和罗睺算法^①,所得体系派与作用派五要素数值均与《藏族天文历算数据宝典》^[18]所给数值完全一致。在这些著作中,由于《火空海》成书年代最早,且只涉及作用派算法,所以历代学者认为所有藏历典籍中的作用派算法及原理均依据《火空海》而来,因此《火空海》在藏族天文历算发展史上具有非常重要的地位^[19]。

借助 Python 编程语言模拟上述著作中作用派五要素算法,将所得结果与抄本中 36 条日月食记录基础数值对比,发现除个别记录数值外,其余数值均与按作用派所推结果完全一致,而在上述著作中《火空海》成书年代最早,因此我们以《火空海》中的算法重新计算每条记录中的五要素数据,对记录有误数据加以校勘并试图说明记录有误的原因。

《记录》中 36 条日月食记录的记录形式及数据与图 2 所示类似,每条记录给出按作用派算法计算日月食的基础数值,也有部分记录中给出按体系派计算日月食的基础数值。例如,藏历水猪年十二月十五日(1563 年 1 月 9 日)月食、藏历土龙年八月三十日(1568 年 9 月 21 日)日食和藏历金龙年十二月十五日(1581 年 1 月 20 日)月食等 7 条记录给出按体系派计算的罗睺值、定曜、太阴日月宿、定日等数据,我们按照《白莲亲教》、《白琉璃》和《历算综论》(rtsis gzhang kun btus)^[20]等著作中体系派五要素算法计算,所得结果均与记录不符。目前,我们尚未找到成书时间早于 1551 年的藏历文献,其中五要素算法的推算结果与记录相符,因此本文仅对各条日月食记录中的作用派数据进行校勘,而不涉及体系派相关数据的校勘及分析。

《火空海》由扎巴坚赞(grags pa rgyal mtshan, 1147—1216)著于 1205 年,篇幅仅有 14 叶 28 面,主要内容包括五要素计算、罗睺与交食、五曜三部分,其中交食算法影响了后期大多数藏历著作。《火空海》在计算积月时隐含了历元:

火空海(403)^②加自第一绕迥第一年(1027)至所求年的已过年数,减去手蛇月(182)所得为积年。([14], 217 页)

“饶迥”系藏语“rab byung”之音译,意译应为“胜生周”,亦为丁卯年之别称。在藏传时轮历体系中,每 60 年为一轮回,而每一年份自有其专属名称,该命名体系并非从甲子年起算,而是以相当于丁卯年的胜生年为起点,因此,不宜将其简单称作六十甲子,

① 藏传时轮历采用近世历元,《火空海》历元为 806 年,《白莲亲教》历元为 1447 年,《白琉璃》历元为 1687 年,《如光论》历元为 1714 年,《时轮法胤心要》历元为 1827 年。

② 本文中出现的数字异名时,在异名后和圆弧中标注了其代表的数字。

而宜称之为“胜生周期”或“丁卯周期”。首个胜生周期始于公元 1027 年的丁卯年。

根据上述引文,若设 n 为所求年,则有 $403 + (n - 1027) - 182 = n - 806$,由此可知《火空海》的历元为 806 年。这部著作被命名为《火空海》的原因,并不是说它的历元为 403 年,而是因为它的第一句为“顶礼文殊,火空海加自第一绕迥第一年……”([14], 217 页),后世学者在整理这部文献时,将第一句作为这部著作的名称。

通过模拟《火空海》五要素算法并将计算结果与《藏族天文历算数据宝典》给出的数据进行比对,所有作用派五要素数值均完全吻合,由此发现抄本中少数日月食记录中相关数据计算有误。我们将所有校勘结果列为表 1。

表 1 《记录》校勘

藏历日期	公历日期	五要素	记录	校勘
金狗年 1 月 15 日	1551 年 2 月 20 日	定曜	$6^z(40^q)20'$ ①	$6^z[35^q]20'$
金狗年 1 月 15 日	1551 年 2 月 20 日	太阳日月宿	$10^k(8^q)52'$	$10^k[13^q]52'$
土马年 9 月 15 日	1558 年 9 月 27 日	太阳日月宿	$26^k21^q(49')$	$26^k21^q[50']$
金猴年 1 月 15 日	1561 年 1 月 31 日	定曜	$6^z3^q(11')$	$6^z3^q[12']$
土兔年 1 月 15 日	1580 年 1 月 31 日	定曜	1^z33^q	$1^z33^q[15']$
金牛年 5 月 15 日	1601 年 6 月 15 日	定曜	$6^z26^q(8')$	$6^z26^q[18']$
金牛年 11 月 15 日	1601 年 12 月 9 日	定曜	$1^z26^q(51')$	$1^z26^q[53']$
火马年 8 月 15 日	1606 年 9 月 16 日	定曜	$0^z(11)^q44'$	$0^z[12^q]44'$
火龙年 1 月 15 日	1616 年 3 月 3 日	定曜	$2^z12^q(29')$	$2^z12^q[28']$

经过分析,将部分数据有误的原因归结为如下三类。

第一类为计算有误,如藏历金狗年一月十五日(1551 年 2 月 20 日)月食记录中定曜记录为 $6^z40^q20'$,而按《火空海》计算该日定曜为 $6^z35^q20'$,根据计算结果及《藏族天文历算数据宝典》,该日定曜均为 $6^z35^q20'$,所以将该条记录定曜校勘为 $6^z35^q20'$ 。原因可能是当时记录者计算错误。类似计算错误还有藏历金狗年一月十五日(1551 年 2 月 20 日)月食记录中太阴日月宿 $10^k8^q52'$,应校勘为 $10^k13^q52'$;藏历金牛年十一月十五日(1601 年 12 月 9 日)月食记录中定曜记录为 $1^z26^q51'$,应校勘为 $1^z26^q53'$ 。藏历火马年八月十五日(1606 年 9 月 16 日)月食记录中定曜为 $0^z11^q44'$,应校勘为 $0^z12^q44'$ 。

第二类是传抄错误或漏写。例如藏历金龙年一月十五日(1580 年 1 月 31 日)月食记录中定曜为 1^z33^q ,计算结果与《藏族天文历算数据宝典》结果均为 $1^z33^q15'$,故将其校

① 为了讨论方便,约定以下时间符号: $a_1^z a_2^q a_3^a a_4^m a_5^m a_6^m$ 表示 a_1 曜 a_2 漏刻 a_3 漏分 a_4 息 a_5 为 67 分位 a_6 为 707 分位。再约定距离符号为: $b_1^k b_2^q b_3^a b_4^m b_5^m$ 表示 b_1 宿 b_2 弧刻 b_3 弧分 b_4 息 b_5 为 67 分位,由于推算的对象不同,其子位需要根据推算对象进行选取。

勘为 $1^{\circ}33'15''$ 。原因可能为当时记录者的传抄错误或漏写。类似情况还有藏历金牛年五月十五日(1601年6月15日)月食记录中定曜为 $6^{\circ}26'8''$ ，应校勘为 $6^{\circ}26'18''$ 。

第三类是进位有误。例如藏历土马年九月十五日(1558年9月27日)月食记录中太阴日月宿记录为 $26^{\circ}21'49''$ ，计算结果与《藏族天文历算数据宝典》给出的数据均为 $26^{\circ}21'50''$ ，所以校勘为 $26^{\circ}21'50''$ 。原因可能是计算过程中子位计算值有误后进位至息位，再进位至刻位后导致。类似情况还有藏历金猴年一月十五日(1561年1月31日)月食记录中定曜记录为 $6^{\circ}3'11''$ ，应校勘为 $6^{\circ}3'12''$ ，藏历火龙年一月十五日(1616年3月3日)月食记录中定曜数值 $2^{\circ}12'29''$ ，应校勘为 $2^{\circ}12'28''$ 。此外，在36条记录中，第12条记录与第16条记录的数值重复，都是1560年9月4日月食基础数据，第14条记录与第17条重复，都是1561年2月14日日食基础数据。

3 《记录》预报及观测精度

西藏自治区藏医院出版的《雪域藏医历算大典》第116卷中不仅收录了大量的日月食记录，还收录了诸多藏族天文学家关于日月食的经验录和手札等抄本，如德勒格昂彭措所著《月食明灯》(zla 'dzin gsal ba'i sgron me)。该藏文抄本原件收藏于布达拉宫，抄本共6叶12面，每叶大小为 $7.3\text{cm} \times 46.3\text{cm}$ 的长方形纸，纸色发黄，所有边缘非常整齐，内容以藏文草体记录，抄本中出现数字异名时在异名的上方或者下方标注了数字^①，起到相互校正的作用。抄本《月食明灯》未注明作者及成书年代，但是首页有第司·桑结嘉措的朱红批注：

对德勒格昂彭措所著《月食明灯》进行了复算并研究，保留了原样，并将内涵收录于《〈白琉璃〉子母篇》。([6]，23页)

据此可知，第司·桑结嘉措对《月食明灯》抄本中关于日月食算法及其答疑部分进行了详尽的考订。

《记录》中只记录了推算日月食的基础数据，包括预测日月食时太阳、月亮的真位置，计算初亏时刻的重要数值等，若需得到初亏时刻、复圆时刻等具体数据，还需要按交食推步算法继续推算。结合《记录》与《月食明灯》首页第司·桑结嘉措批注的文本，可以确认这两部文献均为德勒格昂彭措所著。基于此，本文以《月食明灯》为参照标准，对该抄本所载日月食预报的精度水平进行分析，并对其观测记录的完整性和可信度进行系统性评估。

① 藏历文献中为避免数码写错、刻错或印错，常用异名来代替数字，同时也会在异名的上方或者下方标注数字，起到两者相互校正的作用。在用异名表达时，先从个位写起，再写十位，……，依次从右往左写，例如403可以写成火(me)(3)空(mkha')(0)海(rgya mtsho)(4)，而并非海空火，再如手(2)(lag)蛇(8)(klu)月(zla)(1)应为182。

3.1 《月食明灯》交食算法概要

《月食明灯》在按作用派算法计算五要素及罗睺等数值的基础之上设计了交食推步过程, 共分为三部分: 第一部分是月食推步方法, 分为 7 节, 依次为月食食限、食分、食延、初亏时刻、入食方位、颜色、月食占象; 第二部分为日食推步方法, 也分为 7 节, 内容与月食推步过程类似; 第三部分为日食答疑, 记载了若太阳黄经小于罗睺黄经时不可能有日食等特殊情况的说明。需说明的是, 本研究仅针对前六项具有科学意义的计算内容展开分析, 日月食占象部分因属于传统占卜范畴, 不具现代天文学意义, 故不予讨论。

3.1.1 月食算法概要

关于月食食限,《月食明灯》称:

第十五个太阴日的太阳日月宿加该太阴日定曜行度, 所得与罗睺头、尾中最为接近的数值相减, 差数宿位为空, 弧刻位在四十五以下有月食。([6], 24 页) 藏传时轮历将 1 周天平均分为 27 份, 分别以 28 宿命名, 其中牛宿与女宿共占一宿的幅度, 且认为 28 宿以娄宿为首, 规定 1 宿 = 60 弧刻, 由此得到 1 周天 = 27 宿 = 1 620 弧刻, 所以可以得到 $1^\circ = 4.5$ 弧刻。引文中“太阳日月宿加该太阴日定曜行度”为太阴日月宿算法, 即太阳日月宿与定曜行度的和, 表示该太阴日结束时月亮真位置, 从引文可得《月食明灯》月食食限为 0 宿 45 弧刻, 即 10° 。

关于月食食分,《月食明灯》称“若减余为零时为全食, 非零时除以二, 以商数减太阴日(15), 差为食分。”([6], 24-25 页)可见, 此书利用月亮位置与黄白升降交点的位置差(即月食食限)来定义月食食分。假设月亮位置与黄白升降交点的位置差为 Δ_λ , 若 $\Delta_\lambda = 0$ 时, 为全食; 若 $\Delta_\lambda \neq 0$ 时, Δ_λ 除以 2 之后得到 $\Delta_\lambda/2 = w + r/2$, 以所得商减 15, 可得 $15 - w = q_m$, 即 q_m 为月食食分。

关于月食食延,《月食明灯》称“全食食延为日(12)漏刻, 半食食延为六漏刻, 其他情况以此类推。”([6], 25 页)可见,《月食明灯》规定发生月全食时食延为 12 漏刻(4 小时 48 分钟), 半食时食延为 6 漏刻(2 小时 24 分钟), 随着食分的减小, 食延也按比例减小。漏刻是藏传时轮历特殊的计时单位, 1 昼夜为 60 漏刻, 故 1 漏刻 = 24 分钟。

关于月食初亏时刻,《月食明灯》称:“定曜行度加修正值方向(10), 所得行度终了时发生月食。”([6], 25 页)关于交食的预报, 藏传时轮历认为发生在黑白交替之际, 所以只需求出第 15 个太阴日或第 30 个太阴日结束时刻即可, 也就是第 15 个太阴日或第 30 个太阴日定曜值。通过上述引文可以知道《月食明灯》中对月食初亏时刻给出了 10 漏刻, 即 240 分钟的修正。《火空海》等较早历法在给出初亏时刻时没有给出修正值, 后期藏历著作如《日光论》中, 达摩师利(Dha rma hrvi, 1654—1718)根据多年的观测经验, 对体系派初亏时刻做出相应修正, 并给出了 0 至 5 漏刻共 10 个不同的修正值([17], 43 页)。

关于月食入食方位与复圆方位,《月食明灯》同时给出:

以太阴日月宿减罗喉头,或以罗喉尾减太阴日月宿,夜半从东北方向入食,上半夜从东北偏东方向入食,下半夜从东北偏北方向入食,从西面复圆;以罗喉头减太阴日月宿或以太阴日月宿减罗喉尾,夜半从东南方向入食,下半夜从偏南方向入食,黎明时偏东方向入食。([6], 25 页)

藏传时轮历中,有关月食入食方位的讨论基本上都是定性的。最先描述了月食入食方位的文献是《火空海》,后世绝大多数历法家在日月交食部分给出类似的术文,但在细节方面也有改进。

唐代天文学家僧一行在《大衍历》^[21]中对日月食的预测方法进行了详细阐述,包括对日月食入食方位的描述。引文“以太阴日月宿减罗喉头,或者以罗喉尾减太阴日月宿”的情况,与《大衍历》中“月在阳历,初起东北,甚于正北,复于西北”的描述相近。引文所述“以罗喉头减太阴日月宿或以太阴日月宿减罗喉尾”的情况,与《大衍历》中“月在阴历,初起东南,甚于正南,复于西南”的描述相近。

对于发生月食时月亮的颜色,《月食明灯》中有如下规定:“头食且全食时深红,尾食且全食时火红。”([6], 25-26 页)其中“头食”指的是在罗喉头,亦是在黄白升交点处发生月食,“尾食”指的是罗喉尾,亦是在黄白降交点处发生月食。中国传统历法对交食发生时日月的颜色没有描述,但是在印度古代历法中一般都会给出发生日食或月食时日月的颜色^[22],这也间接说明藏传时轮历与印度古代历法的同源性。

3.1.2 日食算法概要

关于日食食限,《月食明灯》称:

第三十个太阴日定日与罗喉头、尾中最为接近的数值相减,若以罗喉头减定日,差在零宿空海(40)弧刻以下有日食;以定日减罗喉头,差数在行(5)弧刻以下有食;以罗喉尾减定日,差数在蛇(8)弧刻以下有食;以定日减罗喉尾,差数同前零宿空海(40)弧刻以下有食,若遇“颠倒”必不食。([6], 26-27 页)

据此,《月食明灯》中日食食限以太阳与罗喉头、尾位置差给出,分为四种情况:一是以罗喉头减太阳位置差在 40 弧刻(约为 8.89°)以下;二是以太阳减罗喉头位置差在 5 弧刻(约为 1.11°)以下;三是以罗喉尾减太阳位置差在 8 弧刻(约为 1.78°)以下;四是以太阳减罗喉尾位置差在 40 弧刻以下。上述引文中“若遇颠倒必不食”表示太阳黄经小于罗喉头即黄白升交的黄经必然不会出现日食。早期藏历文献对于日食食限只给出了粗略的数值,《火空海》认为:

判断是否发生日月食时看罗喉头与太阴日月宿的宿位,若宿位相同,则有交食;若宿位不同,看罗喉尾与太阴日月宿宿位是否相同,若宿位相同,则有交食。

([14], 222 页)

可见此书所取日月食食限为 1 宿,即 13.33° ,后期藏历著作根据长期的观测经验,给出比较明确的日月食食限,但是在不同典籍中给出的日月食食限略有不同,如《日光论》([17], 43-44 页)认为在以下三种情况下才会发生日食:一是以罗喉头减太阳的黄

经差在 50 弧刻(11.11°)以下; 二是以罗睺尾减太阳的黄经差在 8 弧刻(1.78°)以下; 三是以太阳减罗睺尾的位置差在 40 弧刻以下。随着藏历理论的不完善, 日月食食限越来越精确。

关于日食食分,《月食明灯》称:

相减后的差数, 若差数为零, 为全食; 差数在能者(7)弧刻以下, 差数加向(10), 差数在能者(7)弧刻以上, 差数加行(5), 以减 60, 所得乘以日(12), 所得积除以 60, 商为食分。日食食分最大为十二分, 所得商数为 6 时, 为半食, 以此类推。([6], 27 页)

根据上述术文,《月食明灯》规定日全食食分为 12 分, 日偏食食分根据太阳与罗睺头或罗睺尾的位置差按比例求出。假设太阳与黄白升降交点位置差为 Δ_{σ} , 若 $\Delta_{\sigma} = 0$ 时, 为全食; 若 $\Delta_{\sigma} \leq 7$, 时, $\{[60 - (\Delta_{\sigma} + 10)] \times 12\} / 60 = q_s + r/60$, 即 q_s 为食分; 若 $\Delta_{\sigma} > 7$ 时, $\{[60 - (\Delta_{\sigma} + 5)] \times 12\} / 60 = q_s + r/60$, 即 q_s 为食分。早期藏历日食食分是以太阳位置与罗睺头、尾中最为接近的数值占比给出, 如《火空海》关于食分认为:

能减全部时为全食, 能减一半或四分之一时, 食分为半食或食四分之一。

([14], 222 页)

可见,《火空海》中认为太阳真位置与罗睺头、尾中最为接近的数值占比为 100%, 则食分为 1, 若占 1/2 或 1/4 时, 则食分为 1/2 或 1/4, 其他情况依次可以推出。随着对精度要求的提高, 历法家给出的算法也逐渐复杂。

关于日食食延,《月食明灯》称:

所得商数为六时, 食延为六漏刻, 全食时食延为十二漏刻, 总言之, 食分与食延相互对应, 所食几分, 食延为几漏刻。([6], 27-28 页)

可见,《月食明灯》中日食食延的数值与日食食分相同, 例如日食食分为 6 分, 则日食食延为 6 漏刻, 全食时食延为 12 漏刻, 其他食分以此类推。

关于日食初亏时刻,《月食明灯》称:

第三十个太阴日定曜行度加修正值, 昼夜等长时加蛇(8)漏刻, 二至加向(10)漏刻, 所得行度终了时发生日食。([6], 28 页)

可见,《月食明灯》在给出日食初亏时刻时对第三十个太阴日结束时刻做了 8—10 漏刻的修正。但在早期历法如《火空海》([14], 208-209 页)中没有对初亏时刻做出修正, 以定曜行度终了时作为日月食的初亏时刻。

关于日食入食方位,《月食明灯》规定:

以罗睺头或尾减定日者, 中午从西南方向入食, 上午从偏南方向入食, 下午从偏西方向入食; 以定日减罗睺尾者, 中午从西北方向入食, 上午从偏北方向入食, 下午从偏西方向入食。([6], 28 页)

其中,“以罗睺头或尾减定日者”与《大衍历》([21], 2088 页)求日蚀所起“月在阳历, 初起西南”的情况相近; 而“以定日减罗睺尾者”则与《大衍历》“月在阴历, 初起西北”

时的情况相近,即月亮自西向东运动,在黄道北,月亮自北边遮挡日面,月影运动就是自西北经正北到东北;月亮在黄道南,月影运动就是自西南经正南到东南。

对于发生日食时太阳的颜色,《月食明灯》中有如下规定:

头食者红黑色,尾食者古铜色,觜参两宿上食或全食时为天青色。([6], 28 页)

中国古代历法中,尽管对月食的记录颇为详尽,但关于月食期间月亮可能出现的颜色变化及其象征意义的记载却并不多见。然而,古印度天文学中,阿耶波多所著《阿耶波多历算书》(Aryabhatiya)^[23]等著作,不仅包括对颜色变化的观察和记录,还包括对日食颜色及其象征意义的详细解释。

3.2 《记录》预报记录分析

利用天文软件 SkyMap Pro7 可以提取拉萨地区的日月食数据,但是该抄本中的 36 条日月食的预报记录仅给出了推算日月食的基本数据,并未记载初亏时刻、复圆时刻等具体数据,所以需要对这些基本数据进行简单运算后,方可得到初亏时刻和复圆时刻等具体数值,再与相应的理论结果进行比较,分析误差。以土羊年八月十五日(1559 年 9 月 16 日)月食为例,按照《月食明灯》给出的月食推算方法,分以下步骤处理基本数据。

第一步,判断是否发生月食。该条记录记载了按照《火空海》等作用派著作推出太阳日月宿为 $25^{\circ}28'32''3'''$ 、定曜为 $0^{\circ}24'24''4'''$ 、罗喉头为 $25^{\circ}39'$ 。按《月食明灯》给出计算太阴日月宿的方法“太阳日月宿加该太阴日定曜行度”,便能得到该日太阴日月宿为 $25^{\circ}52'57''$,即为月亮真位置。罗喉与太阴日月宿做差得到罗月距 $0^{\circ}13'57'' \approx 3.11^{\circ}$,据《月食明灯》给出的食限 10° 可以判断该日发生月食。

第二步,计算月食初亏时刻。由于 1 漏刻=24 分钟,1 漏分=24 秒,因此首先将该条记录中的定曜 $24^{\circ}25'$ 转换成 24 小时制为 9 小时 46 分钟。藏传时轮历认为交食初亏时刻为定曜,定曜指真太阴日时刻,即所求日准确的曜序数和该日内太阴日结束的漏刻、漏分、息和子位数值,也就是说该太阳日内从今晨能看见掌纹时起太阴日结束时的时间段。本文约定早晨能看见掌纹的时间为天亮时间,所以需要确定每天天亮时间。根据陆忠汉等人编著的《实用气象手册》^[24]中所给不同经纬度地区天亮时间的计算方法,可以计算出拉萨地区 9 月 16 日的天亮时间为 05:12,所以在该日定曜值加天亮时间得拉萨时间初亏时刻为 14:58,而该次月食理论拉萨时间初亏时刻为 21:07,误差为 369 分钟。

在计算每条交食的初亏时刻时,《月食明灯》对日月食初亏时刻进行了 10 漏刻,也就是 4 小时的修正。在上述算例中,对第 15 个太阴日定曜做加 10 漏刻的修正,得到 $24^{\circ}25' + 10^{\circ} = 34^{\circ}25'$,转换为 24 小时制为 13 小时 46 分钟,再加天亮时间 05:12,则此次历推拉萨时间初亏时刻为 18:58,与理论值的误差为 129 分钟,对其他记录进行同样的处理后得到的结果如表 2 和表 3 所示。

表 2 《记录》日食初亏时刻预报精度

藏历日期	公历日期	类型	理论 初亏	初亏 (未修正)	绝对误差 (单位： 分钟)	初亏 (修正 10 漏刻)	绝对误差 (单位： 分钟)
火马年 4 月 30 日	1546 年 5 月 29 日	拉萨不可见					
火马年 10 月 30 日	1546 年 11 月 23 日	P	18 : 13	09 : 39	514	13 : 39	274
水兔年 12 月 30 日	1553 年 1 月 14 日	P	13 : 15	07 : 14	361	11 : 14	121
金鸡年 1 月 30 日	1561 年 2 月 14 日	A	13 : 46	07 : 02	404	11 : 02	164
土龙年 8 月 30 日	1568 年 9 月 21 日	P	08 : 06	03 : 28	278	07 : 28	38
金猪年 10 月 30 日	1611 年 12 月 4 日	拉萨不可见					
水鼠年 4 月 30 日	1612 年 5 月 30 日	P	17 : 52	09 : 29	503	13 : 29	263

表 3 《记录》月食初亏时刻预报精度

藏历日期	公历日期	类型	理论 初亏	初亏 (未修正)	绝对误差 (单位： 分钟)	初亏 (修正 10 漏刻)	绝对误差 (单位： 分钟)
水兔年 1 月 15 日	1544 年 1 月 10 日	T	09 : 53	03 : 50	363	07 : 50	123
金狗年 1 月 15 日	1551 年 2 月 20 日	T	00 : 06	20 : 14	232	00 : 14	8
金猪年 1 月 15 日	1552 年 2 月 10 日	T	14 : 16	10 : 10	246	14 : 10	6
土马年 3 月 15 日	1558 年 4 月 3 日	P	04 : 11	22 : 54	317	02 : 54	77
土马年 9 月 15 日	1558 年 9 月 27 日	P	19 : 17	12 : 56	381	16 : 56	141
土羊年 8 月 15 日	1559 年 9 月 16 日	T	21 : 07	14 : 58	369	18 : 58	129
金猴年 9 月 15 日	1560 年 9 月 4 日	P	22 : 33	16 : 03	390	20 : 03	150
金猴年 1 月 15 日	1561 年 1 月 31 日	N	11 : 46	无月食			
水狗年 12 月 15 日	1562 年 1 月 20 日	T	18 : 00	11 : 40	380	15 : 40	140
水猪年 12 月 15 日	1563 年 1 月 9 日	T	17 : 36	12 : 00	336	16 : 00	96
火鼠年 9 月 15 日	1576 年 10 月 8 日	P	03 : 00	20 : 26	394	00 : 26	154
火牛年 3 月 15 日	1577 年 4 月 3 日	T	00 : 24	19 : 58	266	23 : 58	26
金龙年 1 月 15 日	1580 年 1 月 31 日	T	02 : 01	19 : 41	380	23 : 41	140
金蛇年 12 月 15 日	1581 年 1 月 20 日	T	01 : 33	19 : 57	336	23 : 57	96
水马年 12 月 15 日	1582 年 1 月 9 日	P	03 : 35	21 : 13	382	01 : 13	142
金牛年 5 月 15 日	1601 年 6 月 15 日	P	22 : 40	14 : 57	463	18 : 57	223
金牛年 11 月 15 日	1601 年 12 月 9 日	P	22 : 30	16 : 57	333	20 : 57	93
水虎年 5 月 15 日	1602 年 6 月 4 日	T	22 : 23	16 : 42	341	20 : 42	101
水兔年 11 月 15 日	1603 年 11 月 18 日	P	23 : 20	16 : 04	436	20 : 04	196

续表3

藏历日期	公历日期	类型	理论 初亏	初亏 (未修正)	绝对误差 (单位: 分钟)	初亏 (修正 10 漏刻)	绝对误差 (单位: 分钟)
木蛇年闰 2 月 15 日	1605 年 4 月 3 日	P	00 : 55	20 : 10	285	00 : 10	45
火马年 8 月 15 日	1606 年 9 月 16 日	T	16 : 08	10 : 17	351	14 : 17	111
火马年 2 月 15 日	1607 年 3 月 13 日	N	21 : 18	无月食			
土鸡年 6 月 15 日	1609 年 7 月 17 日	T	03 : 39	21 : 30	369	01 : 30	129
土鸡年 12 月 15 日	1610 年 1 月 9 日	T	17 : 00	11 : 41	319	15 : 41	79
水鼠年 4 月 15 日	1612 年 5 月 15 日	P	02 : 31	20 : 27	364	00 : 27	124
水牛年 9 月 15 日	1613 年 10 月 28 日	T	19 : 17	12 : 46	391	16 : 46	151
火龙年 1 月 15 日	1616 年 3 月 3 日	P	17 : 40	10 : 56	404	14 : 56	164

从表 2 和表 3 可以得出,《记录》所载 7 条日食记录中有 2 条日食在拉萨地区不可见,其余记录经过 10 漏刻的修正,初亏预报与理论误差最大为 274 分钟,最小误差为 38 分钟,平均绝对误差 172 分钟。27 条月食记录也做了同样的修正后,月食初亏预报与理论最大误差是 223 分钟,最小误差是 6 分钟,平均绝对误差是 114 分钟。

对于藏历火马年四月三十日(1546 年 5 月 29 日)日食和金猪年十月三十日(1611 年 12 月 4 日)日食在拉萨不可见,观测记录中注明未见食。藏历水兔年一月十五日(1544 年 1 月 10 日)月食,从 SkyMap Pro7 提取理论值时发现此次月食过程发生在白天,记录者在观测记录中也有说明“按计算的结果该日有月食,但未能观测到。”([6], 49 页)藏历金猪年一月十五日(1552 年 2 月 10 日)月食发生于白天,记录者在记录中载有“……对于此洲月升前已蚀,并复圆”([6], 48 页)。藏历金猴年一月十五日(1561 年 1 月 31 日)月食,记录中该太阴日结束时罗睺尾值为 $10^{\text{k}}9'$, 太阳日月宿值为 $9^{\text{k}}16''24'$, 该日定曜为 $6^{\text{c}}3^{\text{q}}11'$, 太阳日月宿加定曜行度可得太阴日月宿为 $9^{\text{k}}19''35'$, 罗睺尾与太阴日月宿做差得 $0^{\text{k}}49''25'$, 按照《月食明灯》给出的食限 10° , 可以判断该日无月食,而按《火空海》月食食限有食,从 SkyMap Pro7 提取理论值时,1561 年 1 月 31 日为半影月食且发生在白天,记录者在观测记录中载有“按照该日计算得到的数据会发生月食,但实际此洲没有发生月食”([6], 51 页)。类似情况还有藏历火马年二月十五日(1607 年 3 月 13 日)月食。([6], 56 页)

3.3 《记录》观测记录分析

从 36 条观测记录来看,绝大多数记录都给出了初亏、入食方向和食分。如以土羊年八月十五日(1559 年 9 月 16 日)月食观测记录为:“土羊年八月十五日亥时自月亮东北方向由罗睺头起蚀,计算结果差一分为全食,但实际全蚀。”([6], 50 页)观测记录中给出了初亏时刻为亥时,而理论初亏时刻为 21 : 07,月食起食方向为东北方向,计

算食分为 11/12 分，但实际观测食分为全食，理论食分为全食。36 条观测记录的形式与此类似，详细观测记录及理论对比见表 4 与表 5。

表 4 《记录》日食观测精度

藏历日期	公历日期	类型	理论初亏	观测初亏	入食方位	理论食分	观测食分	食分绝对误差
火马年 4 月 30 日	1546 年 5 月 29 日	未见蚀						
火马年 10 月 30 日	1546 年 11 月 23 日	P	18 : 13	午时	西	0.757	8/12	0.09
水兔年 12 月 30 日	1553 年 1 月 14 日	P	13 : 15	日正	西	0.659	7/12	0.08
金鸡年 1 月 30 日	1561 年 2 月 14 日	A	13 : 46	—	南	0.963	7/12	0.38
土龙年 8 月 30 日	1568 年 9 月 21 日	P	08 : 06	隅中	—	0.683	4/12	0.35
金猪年 10 月 30 日	1611 年 12 月 4 日	未见蚀						
水鼠年 4 月 30 日	1612 年 5 月 30 日	P	17 : 52	晚餐时	西	0.213	3/12	0.04

表 5 《记录》月食观测精度

藏历日期	公历日期	类型	理论初亏	观测初亏	入食方位	理论食分	观测食分	食分绝对误差
水兔年 1 月 15 日	1544 年 1 月 10 日	T	09 : 53	未见蚀		1.084	—	—
金狗年 1 月 15 日	1551 年 2 月 20 日	T	00 : 06	夜半	东	1.179	全食	0
金猪年 1 月 15 日	1552 年 2 月 10 日	T	14 : 16	升前已复圆	—	1.276	—	—
土马年 3 月 15 日	1558 年 4 月 3 日	P	04 : 11	天黑后	南	0.879	10/12	0.046
土马年 9 月 15 日	1558 年 9 月 27 日	P	19 : 17	月升前	—	0.916	10/12	0.083
土羊年 8 月 15 日	1559 年 9 月 16 日	T	21 : 07	亥时	东北	1.409	全食	0
金猴年 9 月 15 日	1560 年 9 月 4 日	P	22 : 33	天黑后	东北	0.096	4/12	0.237
金猴年 1 月 15 日	1561 年 1 月 31 日	N	11 : 46	未见蚀		—	—	—
水狗年 12 月 15 日	1562 年 1 月 20 日	T	18 : 00	月升时	东	1.061	全食	0
水猪年 12 月 15 日	1563 年 1 月 9 日	T	17 : 36	月升时	东北	1.313	全食	0
火鼠年 9 月 15 日	1576 年 10 月 8 日	P	03 : 00	黎明	东北	0.846	7/12	0.263
火牛年 3 月 15 日	1577 年 4 月 3 日	T	00 : 24	夜半	东北	1.565	全食	0
金龙年 1 月 15 日	1580 年 1 月 31 日	T	02 : 01	夜半后	东南	1.031	11/12	0.083
金蛇年 12 月 15 日	1581 年 1 月 20 日	T	01 : 33	夜半	东北	1.336	全食	0
水马年 12 月 15 日	1582 年 1 月 9 日	P	03 : 35	夜半后	东北	0.120	4/12	0.213
金牛年 5 月 15 日	1601 年 6 月 15 日	P	22 : 40	定昏	东北	0.267	8/12	0.399
金牛年 11 月 15 日	1601 年 12 月 9 日	P	22 : 30	上半夜	东北	0.915	8/12	0.248
水虎年 5 月 15 日	1602 年 6 月 4 日	T	22 : 23	定昏	东北	1.669	全食	0
水兔年 11 月 15 日	1603 年 11 月 18 日	P	23 : 20	夜半	东北偏北	0.214	8/12	0.453
木蛇年闰 2 月 15 日	1605 年 4 月 3 日	P	00 : 55	夜半	东北	0.992	11/12	0.075
火马年 8 月 15 日	1606 年 9 月 16 日	T	16 : 08	—	东北	1.627	全食	0

续表5

藏历日期	公历日期	类型	理论初亏	观测初亏	入食方位	理论食分	观测食分	食分绝对误差
火马年 2 月 15 日	1607 年 3 月 13 日	N	21 : 18	未见蚀		—	—	
土鸡年 6 月 15 日	1609 年 7 月 17 日	T	03 : 39	日旦	东南	1.384	8/12	0.333
土鸡年 12 月 15 日	1610 年 1 月 9 日	T	17 : 00	定昏	东	1.581	全食	0
水鼠年 4 月 15 日	1612 年 5 月 15 日	P	02 : 31	鸡鸣	南	0.559	7/12	0.024
水牛年 9 月 15 日	1613 年 10 月 28 日	T	19 : 17	日夕	东北近北	1.619	全食	0
火龙年 1 月 15 日	1616 年 3 月 3 日	P	17 : 40	日夕	东	0.938	11/12	0.021

从 7 条日食记录来看,理论初亏时刻大致在记录初亏时间范围之内,对于藏历火马年四月三十日(1546 年 5 月 29 日)和藏历金猪年十月三十日(1611 年 12 月 4 日)日食,记录者说明了这两次日食不可见,查阅这两次日食带,拉萨地区不在日食带内。从 27 条月食记录来看,理论初亏时刻也在记录的初亏时间范围之内。总体而言,对于绝大多数观测记录,记录者只给出了“夜半后”、“月升时”和“晚餐时”等较为宽泛初亏时间段,并未给出具体初亏时刻,所以无法考证观测初亏时刻的精度。

月食食分是指月球进入地球本影的最大深度与月球直径之比,因此月全食的食分可能会大于 1。在进行精度分析时,当理论食分大于 1 时,取理论食分为 1,再与观测食分进行比较。除个别记录未留下食分大小的记录外,绝大多数实测记录都有食分记录,但给出的食分都是肉眼观测,所以存在着观测误差,日食食分最大误差是 0.38 分,最小误差是 0.04 分,平均绝对误差是 0.19 分;月食食分最大误差是 0.453 分,最小误差是 0 分,平均绝对误差是 0.1 分。

4 对《记录》交食预报精度的再讨论

基于《记录》的数据,分析 7 次日食和 27 次月食的初亏时刻,可以发现,即便以 10 漏刻(约 4 小时)修正后的初亏时刻与理论值仍偏差较大。19 世纪初的止贡丹增曲吉坚赞(‘bri gung bstan ‘dzin chos kyi rgyal mtshan, 1793—?)所著《摄略经五要素及日月食算法实践》(nyi zla sgra gcan ‘jug tshul bsdus pa’i rgyud kyi lnga bsdus lag len man ngag gser gyi thur ma)^[25]也明确给出了关于作用派初亏时刻以 18 漏刻的修正。

从目前所收集的资料来看,德勒格昂彭措、达摩师利、止贡丹增曲吉坚赞等已认识到,《火空海》等早期历法对日月食的预报与实际观测有一定误差,并结合观测经验对初亏时刻加以修正。但这些修正并未完全解决日月食预报的精度问题,也并未说明如此修正的原因以及天文意义。

藏历著作中所取天文常数的精度对日月食的预测至关重要,部分常数的微小误差经过较长时间累积后,会对预测结果产生显著影响。例如以公元 806 年作为历元的《火

空海》,经过近千年的应用,其计算结果与实际天象之间存在较大偏差是无法避免的。

为揭示《火空海》交食初亏时刻产生误差的原因,按照《火空海》的计算方法,我们对公元 900—1300 年共 400 年的日食和月食初亏时刻进行了重新计算。其间,拉萨可见的日食发生了 146 次,根据《火空海》的日食食限判断,能准确判断出 145 次,准确率达 99.31%。其中 1253 年 3 月 1 日的日偏食未能被准确判断,即漏推。拉萨可见的月全食和月偏食共发生了 440 次,而这些月食均能被《火空海》的月食食限准确判断有食。将计算结果与相应的理论结果进行比较,绘出 146 次日食和 440 次月食初亏误差散点图,分别如图 3 和图 4 所示。

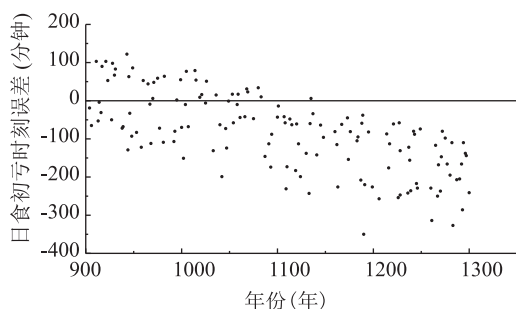


图 3 900—1300 年日食初亏时刻误差(修正前)散点图

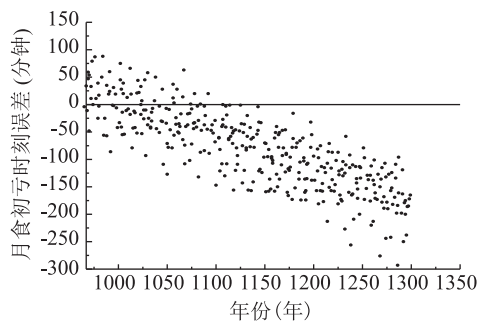


图 4 900—1300 年月食初亏时刻误差(修正前)散点图

通过分析发现,如果对每次交食的初亏时刻均进行 10 漏刻或 18 漏刻的修正,并不能很好地提高预报的精度。《火空海》中太阴日的平均长度为 59 漏刻 3 漏分 4 息,即大约 29.53056 日,而理论朔望月长度值约为 29.53059 日,这导致每个朔望月的误差约为 0.00003 日。随着时间积累,此误差会逐渐增大,从而影响历法推算日月食的精度。《火空海》中太阴月与理论朔望月之间的误差每 46 年将会增加 1 漏刻,相当于 24 分钟。结合《记录》中记录日月食年份区间在公元 1544—1616 年,可以知道《月食明灯》中对日月食初亏时刻以 10 漏刻修正大致符合上述误差修正的结论。不仅如此,19 世纪初《摄略经五要素及日月食算法实践》明确给出的作用派关于初亏时刻进行 18 漏刻修正,也与上述结论大致符合。

进一步通过图 3 和图 4 以及在这一区间的误差分析可知,公元 967 年日月食初亏时刻误差最小,前后误差分别以减小或增大的趋势改变。如果要考察公元 900—1300 年日月食初亏时刻,就需要从公元 967 年起每 46 年修正 1 漏刻(24 分钟),公元 967—1342 年具体修正值及其对应的修正年份如表 6 所示。

表 6 《火空海》日月食初亏时刻修正年份区间及修正值

年份区间	967—1013	1014—1060	1061—1107	1108—1154	1155—1201	1202—1248	1249—1295	1296—1342
修正值	0 漏刻	1 漏刻	2 漏刻	3 漏刻	4 漏刻	5 漏刻	6 漏刻	7 漏刻

按照表 6 所给修正规则,对公元 967—1300 年 120 次日食和 374 次月食初亏时刻分

别进行相应的修正，并将修正后的结果与相应理论结果进行比较，绘制出日食和月食初亏时刻的误差散点图，分别如图 5 和图 6 所示。

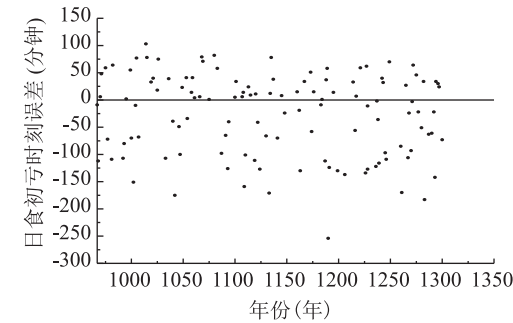


图 5 967—1300 年日食初亏时刻(修正后)误差散点图

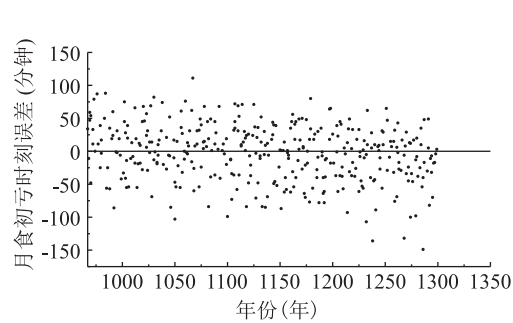


图 6 967—1300 年月食初亏时刻(修正后)误差散点图

从图 5 和图 6 中日月食初亏时刻误差修正前后散点图可以知道，藏传时轮历系统对日月食的预报误差较大，经过从公元 967 年起每 46 年进行 1 漏刻(24 分钟)的修正后，初亏时刻误差有所降低，详情见表 7。

表 7 《火空海》日月食预报误差

日食			月食	
绝对误差 (单位：分钟)	初亏时刻(修正前)	初亏时刻(修正后)	初亏时刻(修正前)	初亏时刻(修正后)
最大误差	350	254	293	149
最小误差	1	1	0	0
平均绝对误差	115	64	89	34

对《记录》中的 36 条交食记录进行每 46 年修正 1 漏刻的修正，进一步考察这 36 条交食记录的误差。根据表 6 中的规则，需要对 1544—1577 年的交食初亏时刻进行 12 漏刻的修正；对 1580—1624 年的交食初亏时刻进行 13 漏刻的修正，修正前后的初亏时刻及误差分别如表 8 和表 9 所示。

表 8 《记录》日食初亏时刻预报精度

藏历日期	公历日期	类型	理论初亏	初亏 (未修正)	绝对误差 (单位： 分钟)	初亏 (修正后)	绝对误差 (单位： 分钟)
火马年 4 月 30 日	1546 年 5 月 29 日	拉萨不可见					
火马年 10 月 30 日	1546 年 11 月 23 日	P	18 : 13	09 : 39	514	14 : 27	226
水兔年 12 月 30 日	1553 年 1 月 14 日	P	13 : 15	07 : 14	361	12 : 02	73
金鸡年 1 月 30 日	1561 年 2 月 14 日	A	13 : 46	07 : 02	404	11 : 50	116
土龙年 8 月 30 日	1568 年 9 月 21 日	P	08 : 06	03 : 28	278	08 : 16	10

续表8							
藏历日期	公历日期	类型	理论初亏	初亏 (未修正)	绝对误差 (单位： 分钟)	初亏 (修正后)	绝对误差 (单位： 分钟)
金猪年 10 月 30 日	1611 年 12 月 4 日	拉萨不可见					
水鼠年 4 月 30 日	1612 年 5 月 30 日	P	17 : 52	09 : 29	503	14 : 41	191

表 9 《记录》月食初亏时刻预报精度

藏历日期	公历日期	类型	理论初亏	初亏 (未修正)	绝对误差 (单位： 分钟)	初亏 (修正后)	绝对误差 (单位： 分钟)
水兔年 1 月 15 日	1544 年 1 月 10 日	T	09 : 53	03 : 50	363	08 : 38	75
金狗年 1 月 15 日	1551 年 2 月 20 日	T	00 : 06	20 : 14	232	01 : 02	56
金猪年 1 月 15 日	1552 年 2 月 10 日	T	14 : 16	10 : 10	246	14 : 58	42
土马年 3 月 15 日	1558 年 4 月 3 日	P	04 : 11	22 : 54	317	03 : 42	29
土马年 9 月 15 日	1558 年 9 月 27 日	P	19 : 17	12 : 56	381	17 : 44	93
土羊年 8 月 15 日	1559 年 9 月 16 日	T	21 : 07	14 : 58	369	19 : 46	81
金猴年 9 月 15 日	1560 年 9 月 4 日	P	22 : 33	16 : 03	390	20 : 51	102
金猴年 1 月 15 日	1561 年 1 月 31 日	N	11 : 46	无月食			
水狗年 12 月 15 日	1562 年 1 月 20 日	T	18 : 00	11 : 40	380	16 : 28	92
水猪年 12 月 15 日	1563 年 1 月 9 日	T	17 : 36	12 : 00	336	16 : 48	48
火鼠年 9 月 15 日	1576 年 10 月 8 日	P	03 : 00	20 : 26	394	01 : 14	106
火牛年 3 月 15 日	1577 年 4 月 3 日	T	00 : 24	19 : 58	266	00 : 46	22
金龙年 1 月 15 日	1580 年 1 月 31 日	T	02 : 01	19 : 41	380	00 : 53	68
金蛇年 12 月 15 日	1581 年 1 月 20 日	T	01 : 33	19 : 57	336	01 : 09	24
水马年 12 月 15 日	1582 年 1 月 9 日	P	03 : 35	21 : 13	382	02 : 25	70
金牛年 5 月 15 日	1601 年 6 月 15 日	P	22 : 40	14 : 57	463	20 : 09	151
金牛年 11 月 15 日	1601 年 12 月 9 日	P	22 : 30	16 : 57	333	22 : 09	21
水虎年 5 月 15 日	1602 年 6 月 4 日	T	22 : 23	16 : 42	341	21 : 54	29
水兔年 11 月 15 日	1603 年 11 月 18 日	P	23 : 20	16 : 04	436	21 : 16	124
木蛇年 闰 2 月 15 日	1605 年 4 月 3 日	P	00 : 55	20 : 10	285	01 : 22	27
火马年 8 月 15 日	1606 年 9 月 16 日	T	16 : 08	10 : 17	351	15 : 29	39
火马年 2 月 15 日	1607 年 3 月 13 日	N	21 : 18	无月食			
土鸡年 6 月 15 日	1609 年 7 月 17 日	T	03 : 39	21 : 30	369	02 : 42	57
土鸡年 12 月 15 日	1610 年 1 月 9 日	T	17 : 00	11 : 41	319	16 : 53	7
水鼠年 4 月 15 日	1612 年 5 月 15 日	P	02 : 31	20 : 27	364	01 : 39	52
水牛年 9 月 15 日	1613 年 10 月 28 日	T	19 : 17	12 : 46	391	17 : 58	79
火龙年 1 月 15 日	1616 年 3 月 3 日	P	17 : 40	10 : 56	404	16 : 08	92

基于表 7 和表 8 的分析结果显示，经过系统修正后的交食初亏时刻精度得到显著

提升,但仍存在一定误差。在日食记录方面,7条日食记录初亏时刻呈现出较大离散性:最大误差达226分钟,最小误差为10分钟,其平均绝对误差为123分钟。相较而言,27条月食记录的误差分布更为集中:最大误差151分钟,最小误差7分钟,平均绝对误差降至63分钟,这一对比数据表明:其一,月食初亏时刻的预测精度整体优于日食;其二,自967年起以46年修正1漏刻的方法对月食的误差改善效果更为显著。上述分析进一步表明,在充分尊重和保持藏族天文历算文化内涵与历史价值的基础上,引入现代天文观测数据与计算技术进行系统性校准,既能有效提升历法预测的准确性与实用价值,又能构建起连接藏族传统天文学与现代科学研究的学术桥梁。

5 结 语

对于藏传佛教僧侣而言,宗教信仰和对星相学的需求使得他们对日月食的预报与观测极为重视。古代藏族天文学家,尤其是学习藏历的僧人,留下了丰富的日月食预报和观测记录。自16世纪起,藏区众多寺院,尤其是西藏的色拉寺和哲蚌寺等,便有预测日月食并张贴预测榜文以比较准确度的传统。

藏文抄本《记录》记载了36条交食记录,提供了罗睺值、定曜、太阳日月宿、会合值等关键信息。大部分记录还记载了该日实际是否发生交食,以及交食的初亏时段、食分及亏复方向等信息。基于记录的年代和数据,这份抄本应是16世纪中期至17世纪初期,依据《火空海》和《白莲亲教》等历法中作用派算法推算日月位置,预报交食初亏时刻,并完成基础数值的记录。然而,抄本中的部分数据存在误差,这在古代历法推算中是难以避免的,因为沙盘计算的特性使得错误发生后难以查找。

通过对该抄本中交食记录进行全面统计分析,并利用Python语言模拟《火空海》和《月食明灯》交食算法,对比分析36条日月食的预测结果与天文软件SkyMap Pro7中提取的日月食数据。同时分析藏历中对日月食初亏时刻进行修正的天文学意义,并对967—1300年间拉萨地区120次日食初亏时刻和374次月食初亏时刻进行46年1漏刻的修正。研究表明,对于这120次日食的初亏时刻,修正前后的平均绝对误差分别为115分钟和64分钟;对于这374次月食初亏时刻,修正前后的平均绝对误差分别为89分和34分钟。用该方法对36条记录进行类似的修正后,其误差也有明显降低。

通过对900—1300年146次日食和440次月食初亏时刻误差的研究表明,德勒格昂彭措在《月食明灯》中对日月食初亏时刻以10漏刻修正和19世纪初止贡丹增曲吉贤赞在《摄略经五要素及日月食算法实践》中对初亏时刻进行18漏刻修正,是由于《火空海》中太阴月与理论朔望月长度有0.00003日的误差所导致。

致 谢 在拙文修改过程中,两位匿名外审专家和中国科学院自然科学史研究所邹大海研究员提出了宝贵意见,中国科学院国家授时中心刘次沅研究员对相关现代天

文计算进行指导, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 释迦室利. 四季变换(藏文版)[M]. 德格: 木刻本, 出版年代不详: 2.
- [2] 释迦罗追, 译. 大方广菩萨藏文殊师利根本仪轨经(藏文版)[M]. 北京: 木刻本, 出版年代不详: 45-298.
- [3] 作者不详. 清凉经(藏文版)[M]. 北京: 木刻本, 出版年代不详: 1092-1123.
- [4] 尼玛坚赞, 译. 日月经(藏文版)[M]. 北京: 木刻本, 出版年代不详: 1-4.
- [5] 先巴塔义. 先巴桑热天文历算汇编(藏文版)[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 2018: 29.
- [6] 西藏自治区藏医院. 雪域藏医历算大典: 第 116 卷(藏文版)[M]. 北京: 中国藏学出版社, 2016: 47-300.
- [7] 《喜马拉雅文库》编写组. 小五明文献分类集成·天文历算: 第 51 卷(藏文版)[M]. 北京: 民族出版社, 2020: 221-240.
- [8] 黄明信, 陈久金. 藏历的原理与实践[M]. 北京: 民族出版社, 1987.
- [9] SOKHYO J. *Topics on the History of Tibetan Astronomy With a Focus on Background Knowledge of Eclipse Calculations in the 18th Century*[D]. Cambridge, Massachusetts: Harvard University, 2016.
- [10] 吉毛卓玛, 唐泉. 《白琉璃》日食算法及精度研究[J]. 中国科技史杂志, 2025, 46(2): 246-262.
- [11] 东周才让, 才让加, 辛佳岱. 《日光论》交食算法及精度研究[J]. 中国科技史杂志, 2025, 46(2): 263-280.
- [12] 郭甜, 唐泉. 藏传时宪历月食算法及精度研究: 以《马杨汉历心要》为例[J]. 中国科技史杂志, 2025, 46(2): 227-245.
- [13] 才让加, 郭甜, 唐泉. 藏文抄本《部分日月食记录》研究[J]. 中国科技史杂志, 2025, 46(2): 210-226.
- [14] 银巴. 藏族古代历算学资料汇编(藏文版)[M]. 北京: 民族出版社, 2005: 217-220.
- [15] 普巴伦珠嘉措, 等. 历算白莲口传心要(藏文版)[M]. 北京: 民族出版社, 2002: 254-323.
- [16] 第司·桑杰嘉措. 白琉璃论(藏文版)[M]. 北京: 中国藏学出版社, 1996: 29-34.
- [17] 达玛尔西日. 大译师达玛尔西日文集(藏文版)[M]. 拉萨: 西藏藏文古籍出版社, 2013: 23-25.
- [18] 银巴. 藏族天文历算数据宝典(藏文版)[M]. 北京: 中国藏学出版社, 2018.
- [19] 银巴. 藏族天文历算应用软件的开发研究[J]. 西北民族大学学报(藏文版), 2019, 67(4): 63-71.
- [20] 噶玛让迥多吉. 噶玛让迥多吉文集: 第 11 卷(藏文版)[M]. 木刻本, 版本及年代不详: 579-584.
- [21] 历代天文等志汇编(7)[M]. 北京: 中华书局, 1976: 2085-2086.
- [22] SUBBARAYAPP A B. V. SARMA K V. *A Source-Book Based Primarily on Sanskrit Texts*[M]. Bombay: Nehru Centre, 1985: 238-239.
- [23] CLARK W E. *The Aryabhatiya: An Ancient Indian Work on Mathematics and Astronomy*[M]. Chicago: The University of Chicago Press, 1930: 81.
- [24] 陆忠汉, 陆长荣, 王婉馨. 实用气象手册[M]. 上海: 上海辞书出版社, 1984: 21-25.
- [25] 《喜马拉雅文库》编写组. 小五明文献分类集成·天文历算: 第 31 卷(藏文版)[M]. 北京: 民族出版社, 2020: 317-321.

Research on the Tibetan Manuscript *Chronological Predictions and Observational Records of Solar and Lunar Eclipses Occurring Here*

CAI Rangjia, TANG Quan

(1. Institute for Advanced Study in History of Science, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Shaanxi Province Key Laboratory of Cultural Heritage and Digital Humanities, Xi'an 710127, China)

Abstract Due to the special religious significance of solar and lunar eclipses in Tibetan Buddhism, ancient Tibetan astronomers placed great emphasis on predicting these celestial events. Tibetan historical texts preserve numerous records of eclipse predictions and observations. The Tibetan manuscript *Chronological Predictions and Observational Records of Solar and Lunar Eclipses Occurring Here* documents 36 prediction and observation records of eclipses between 1544 and 1616 by Tibetan astronomers. This study employs Python to simulate the Five Elements and Rahu algorithms from the classical Tibetan Kalachakra text *Me Mkha' Rgya Mtsho* and recalculates the 36 eclipse predictions in the manuscript using the eclipse computation method from *zla 'dzin gsal ba'i sgron me*. Additionally, theoretical eclipse data extracted from the astronomical software SkyMap Pro7 were used to evaluate the reliability of the manuscript's prediction and observation records. The findings reveal that the initial eclipse contact times calculated using *Me Mkha' Rgya Mtsho* and *zla 'dzin gsal ba'i sgron me* exhibited significant errors. However, by applying a correction of 1 mark (24 minutes) every 46 years to the initial contact times of the 36 eclipses in the manuscript, the mean absolute error for the 7 solar eclipse records decreased from 172 minutes to 123 minutes, while that for the 27 lunar eclipse records decreased from 114 minutes to 63 minutes. This research provides valuable insights for objectively evaluating the predictive accuracy of eclipses in the Tibetan Kalachakra tradition.

Keywords *Me Mkha' Rgya Mtsho* ; *zla 'dzin gsal ba'i sgron me*; records