

明清之际汤若望的窥筒望远镜*

戴念祖

(中国科学院自然科学史研究所 北京 100010)

常悦

(首都师范大学物理系 北京 100037)

摘要 明末清初耶稣会士汤若望(Adam Schall von Bell, 1591—1666)所制造和使用的窥筒望远镜是什么样的光学仪器, 已有人做出了一些分析与推测. 文章根据有关历史文献的记述, 又在物理实验室做相关模拟实验, 从而得出, 汤若望的“窥筒望远镜”既非摄影箱、亦非开普勒式望远镜, 就其结构而言, 它本质上是属于伽利略式望远镜.

关键词 汤若望, 望远镜, 光学史, 天文学史

THE TELESCOPE OF ADAM SCHALL VON BELL

DAI Nian-Zu

(Institute of History of Natural Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100010, China)

CHANG Yue

(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract There have been various conjectures on the kind of telescope produced and used by the Jesuit missionary Adam Schall von Bell (1591—1666) in the late Ming and early Qing Dynasties. Based on the accounts in historical documents together with simulated experiments conducted by the authors in a physics laboratory, we conclude that the said optical instrument was neither a camera obscura nor a Keplerian telescope, and that judging from its structure, it was essentially a Galilean telescope.

Key words Adam Schall von Bell, history of optics, history of astronomy

1618年,金尼阁(Nicolaus Trigault, 1577—1628)和汤若望(Adam Schall von Bell, 1591—1666)一同离欧来华,将望远镜携入中国.金尼阁早在1610年入华,1613年被派回欧洲向教皇报告在中国的传教活动并募集书籍和科学仪器.他和汤若望携入华的望远镜就是在欧洲募集的捐赠品之一^[1].汤若望来华后的第一件工作是撰写《远镜说》一书(见图1).此后又制造了所谓“窥筒”、“远镜”或“窥筒远镜”,并用于观测日月交食和少数其他天象,如“木星食司怪二星^[2]”,看见“积尸气为数十小星团聚^[3]”而成等^[4].汤若望的“窥筒远镜”究竟是什么样的光学仪器?本文就此谈点看法.不当之处,祈识者教正.



1 有关窥筒望远镜的文献记载

当汤若望和金尼阁来华时,伽利略式望远镜(Galilean telescopes)和开普勒式望远镜(Keplerian telescopes)在欧洲都已制造成功.或许,由于伽利略

图1 《远镜说》书影



用望远镜观察天象的成功及其巨大社会影响,汤若望入华后撰写的《远镜说》只介绍了伽利略式望远镜.或许,这也与他们携带入华的望远镜只有伽利略

* 2001-04-10收到

式一种类型相关。后来,汤若望进入由徐光启、李天经先后主持的“崇祯历局”。从他们在历局所写的著作和奏疏中,可以知道他们所使用和制造的望远镜类型。

徐光启(1562—1633)主持崇祯历局期间,汤若望未制成望远镜。此时历局所用望远镜是汤若望等从欧洲携带入华的。崇祯七年(1634)十月二十九日,李天经奏疏:

“若夫窥筒,亦名望远镜,前奉明问,业已约略陈之。但其制,两端俱用玻璃,而其中层层虚管,随视物远近以为短长,亦有引伸之法,不但可以仰窥天象,且能映数里外物如在眼前,可以望敌施炮,有大用焉。此则远西诸臣罗雅谷、汤若望等从其本国携来而葺饰之,以呈御览者也。”^[5]

这具进呈御览的望远镜是由耶稣会士汤若望等人从欧洲携入华的^[6]。可以推知,或许它就是1618年金尼阁、汤若望入华时所携带者。时隔15年,此望远镜已外表陈旧。因此,进呈时重新加以油彩粉饰而已。

汤若望首次制造的两具望远镜完成于崇祯八年(1635)七八月间。李天经在同年八月初五日奏:

“臣即督同本局远臣汤若望、罗雅谷等,将其本国携来玻璃,星夜如法制造,今已造完。谨将窥远二具恭进御览。”^[7]

“如法制造”是如同已携入华的望远镜而制造者。入清后,汤若望于顺治元年(1644)又制造了一具望远镜进献清朝廷。他在同年七月初九“进新法测天仪器事”疏中列出了所进仪器清单,其中有“窥远镜一具(置镜铜架并螺丝转架各一,木立架一,看日食绢纸壳二)”^[8]。“看日食绢纸壳”的用途将在下面涉及。由上可见,汤若望制造了三具望远镜以进献明清两朝廷。当然,他也会为观察天象而制造一些同类型的望远镜。至于其类型,只能从其他文字中作出断论。

崇祯九年(1636)十二月十九日,李天经在奏疏各家有关日食之争中写道:“临期日光闪耀,止凭目力,炫耀不真,或用水盆,亦荡摇难定。惟有臣前所进窥远镜,用以映照尺素之上,自初亏至复圆,所见分数,界限真确,昼然不爽。随以亏复之际,验以地平日晷,时刻自定。其法:以远镜与日光正对,将圆纸壳中开圆孔,安以镜尾以掩其光,复将别纸界一圆圈,大小任意,内分十分,置对镜下,其距离远近以光满圈界为度。将亏时,务移所界分数就之,而边际了了分明矣。但在天之正南,实为纸上之正北,方向乃相反

矣。”^[9]

这段文字中“尺素”是一张正方形白纸。它和“其法”中“界一圆圈”的“别纸”都是作为像屏使用的。这段文字表明,汤若望籍助望远镜观察日食,不以肉眼直接对准望远镜的目瞳观察,而是以白纸为像屏,将来自望远镜的光束投射于屏上,呈现于屏上的是物体的倒立实像,眼睛观看屏幕就见到了像。所以在屏上画圆,将其径分十等,这是为了测量日食多寡的需要。汤若望于顺治元年(1644)八月初一日食前,推算日食绘图正是这种望远镜投影图(图2)^[8]。然而,以上所引文献均不见其望远镜内装置的是什么形状的透镜。



图2 汤若望绘日食图

实际上,在仅涉及伽利略式望远镜的造法与用法的《远镜说》一书中,同样叙述了用望远镜观察太阳的情形。他写道:“视太阳……只以筒镜两相合宜,以前镜直对太阳,以白净纸一张置眼镜下,远近如法,撮其光射,则太阳本体在天,在纸丝毫不异。若用硬纸尺许,中剪空圆形,冒靠后镜上,则日光团聚,下射纸面,四暗中光,黑白更显,体相更真矣。”^[10]

因为《远镜说》只涉及早期伽利略式望远镜,因此,这里所谓的“筒镜”肯定是伽利略式望远镜。所谓“前镜”即物镜、凸透镜;所谓“眼镜”或“后镜”,就是目镜、凹透镜。中剪空圆形的硬纸壳(也即前述“绢纸壳”)套于望远镜后,是为了造成望远镜后端较为黑暗的观察背景,以便在其投影的纸屏上看清太阳的像。

不仅《远镜说》有记述,而且,正是在崇祯历局期间编写的《交食历指》一书中,汤若望叙述了多种观

测日月食的方法.其中,就望远镜观察法,他写道:“又一法,用远镜或于密室、或在室外.但在外者,必以纸壳围窥筒以掩余耀.若绝无次光者,然而形始显矣.盖玻璃原厚,能聚光,使明分于周次光.又以本形能易光以小为大,可用以细测(因镜后玻璃得缺形光以斜透,其元形无不易之使大,见《远镜》本论).然距镜远近无论,止[只]以平面与镜面平行,开阖长短俱取乎正(光中现昏白若云气则长,边有兰色则短.进管时需开阖得正).”^[11]

继而,汤若望在进一步解释所以能用望远镜观测日食的原因时,透露出他所制造和使用的望远镜类型.他写道:“或问:远镜前后有玻璃,在前者聚光渐小至一点,乃在后者受其光而复散于外,则后玻璃可当一点之孔,何所射之光形不真乎?曰:后玻璃不正居聚光之点,必略进焉,以接未全聚之光,乃复开展可耳.故谓此当甚微之孔则可,谓当无分点之孔则不可.所以用远镜测者,纵或不真,然较之不用镜者,不但能使测之形大而显,亦庶几于真形不远矣.”^[11]

在有两片“玻璃”组成的望远镜中,“前者”为物镜,它既能“聚光渐小至一点”,必为凸透镜无疑,这“一点”也就是凸透镜的焦点.“后者”或“后玻璃”为目镜,它能“受其(前者)之光而复散于外”,也显然是凹透镜.由一凸一凹的两片玻璃透镜组成的望远镜,就其结构而言,是属于伽利略式望远镜.伽利略式望远镜的凸透镜焦点与凹透镜虚焦点几乎重合,物镜与目镜共焦.汤若望在这段文字中设想的问题,实质上是说为什么伽利略望远镜能在其后的屏上呈现出真的太阳实像?汤若望自己对此作出的解释,说明他对伽利略式望远镜的两个镜头作了位置调整,使其中凹透镜的位置“不正居聚光之点(即凸透镜的焦点——本文笔注),必略进矣”、“略进”到何处?是否使物镜与目镜共焦?汤若望对此未有明言.是否共焦,是汤若望“窥筒远镜”与伽利略式望远镜的稍许差别.正是这一差别,致使“窥筒远镜”可以投影在屏上.为了解释“窥筒远镜”投影在屏上的倒立实像,汤若望将目镜看成“甚微之孔”,即比“针孔”(“无分点之孔”)大的小孔,试图以“小孔成像”解释“窥筒远镜”的投影.这个解释并不正确.

由上分析可知,汤若望所谓“窥筒”、“远镜”或“窥筒远镜”本质上是伽利略式望远镜.

2 窥筒远镜成像解

早期伽利略式和开普勒式望远镜都是只有两片

薄透镜组成的.它们的成像光路如图3、图4.伽利略式望远镜由一凸透镜(L_1)和一凹透镜(L_2)组成,两透镜共焦,即 L_1 的像方焦点与 L_2 的物方焦点重合,筒长为 $l = f_1 - f_2$ (f_1 、 f_2 分别为两透镜的焦距)¹⁾.当无限远物点的光线(平行光)入射时,经伽利略式望远镜射出的仍为平行光,但视角被放大($\omega_1 > \omega_0$).因此,它的特点是:通过目瞳看到的像是正立的虚像,虽便于观察,但不能测量,筒长相对较短,视场较小.而开普勒式望远镜是由两片凸透镜组成的,两片透镜共焦,但筒长 $l = f_1 + f_2$ (f_1 和 f_2 分别为两透镜的焦距). L_1 的焦距要大一些, L_2 焦距小些.其主要特别是,通过目瞳看到的像是到立实像,不便于观察,若在共焦面装上刻度光阑,却又便于测量,但筒长相对地较长,视场较大.



图3 伽利略式望远镜光路



图4 开普勒式望远镜光路

但是,汤若望不是以肉眼在望远镜目瞳上观察筒内的像,他是将物体的像通过望远镜投影到镜后屏上,肉眼观察屏,并测量屏上的像.汤若望制造和使用的是类似于伽利略式望远镜的“窥筒远镜”,它能在其后的屏上成像吗?我们为此做了一个简单实验.

取一片凸透镜(L_1)和一片凹透镜(L_2), L_1 的焦距 $f_1 = 16.7\text{cm}$, L_2 的焦距 $f_2 = -11.25\text{cm}$.在 L_1 前方60cm处置一物体h.调节 L_1 和 L_2 的距离,使其不共焦.当 L_2 处于 L_1 后方约15.5cm处时(如图5),在 L_2 后方约25cm处的像屏上看到一个倒立的实像h'.调

1) 本文不以教科书中的负符号表示凹透镜的虚焦距,否则,筒长公式为 $l = f_1 + f_2$

节 L_1 与 L_2 、 L_2 与像屏的位置,可在屏上看到大小不同、清晰度亦不同的像.这个实验表明,由凸、凹两片透镜组成的光学系统,确实可以在凹透镜后方像屏上形成倒立实像.这是因为入射到凹透镜的光并非平行光,而是收敛式光锥;凹透镜虽有发散作用,但只能使入射光锥有所偏折,光锥顶点延长而已.自然,凹透镜的作用也不是如同汤若望所解释的那样具有小孔的光学性能.



图5 由一片凸透镜和一片凹透镜组成的光学系统的成像光路

在这样的两片透镜组成的光学系统中,如果入射到 L_1 的光是平行光(如图6),也即物体为无限远处,如太阳,那么,此时只要使 L_2 稍微离开共焦状态,也就是令 L_1 与 L_2 两透镜间距(筒长)略大于该两透镜的焦距之差($l < f_1 - f_2$)¹⁾,这样就可以用像屏看到来自望远镜的投影之像.



图6 平行光对凹凸透镜组合的成像光路

由此可见,汤若望所使用和制造的窥筒,确实可以在其后的像屏上观察到物体的投影实像.严格说来,这种窥筒并非伽利略式望远镜.但是,调节后者的两透镜位置(也即距离),又很容易使后者成为前者.虽然伽利略式望远镜或窥筒的视场小,但也足于观测日月交食及本文前言中所述及的少量天象.就其视场问题,李天经在崇祯七年(1634)九月十三日奏疏中说:

“此窥管之制,论其圆径不过寸许,而上透星光,注于人目.凡两星密联,人目难辨其界者,此管能别之;凡星体细微,人目难见其体者,此管能见之;凡两星距半度以内,新法所谓三十分,穷仪器与目力不能测见分明者,此管能纳其星于中而明晰之.是其容半度强者,即此管之度分是也.惟两星相距半度以外,则不能同见.臣请略举一二.如觜宿三星相距三十七

分,不能同见;五车西柱下二星相距四十四分,愈不能同见.则此管之度分为半度强,不其彰明较著乎?!”^[12]

窥筒望远镜的视场为“半度强”.按今天话说,在30'—45'之间都可以称作“半度强”,甚至于勉强些50'亦可称作“半度强”.汤若望用此窥筒主要是观察日月交食.观测到“五车西柱下二星相距四十四分”是该窥筒最大视场的一次记录,而今天的计算值是46'^[4].可见,类似伽利略式望远镜的窥筒,能满足汤若望观察天象、尤其观测日月交食以改历的需要.

汤若望等人用窥筒观测日食或月食的情形,如同图7所示.崇祯四年(1631),徐光启、汤若望和历局其他人员开始用此窥筒观测日食食分^[13].事实上,早在1612年前后,德国耶稣会士沙伊纳(Christopher Scheiner)曾用这种方法观察太阳黑子,此时他所用的类似伽利略式望远镜称之为“太阳镜”.将“太阳镜”物镜端伸出暗室窗外,对准太阳,在其后面即暗室的白屏上得到有黑子的日轮像,暗室里的人就全都能看到它^[14].汤若望用窥筒观测日月食的方法,可能是从他的同乡、同教派的沙伊纳那里学到的.



图7 窥筒望远镜观察日食方法及其光路

本文作者之一在不久前发表的文章^[1]和著作^[15]中,曾经误以为,汤若望的窥筒望远镜是摄影箱(camera).虽然摄影箱的屏上有倒实像,其观测方法与窥筒望远镜相似,但像小,不便测量.因此,这些论著的有关结论应当根据本文的讨论予以更正.

日本科学史学家桥本敬造也曾对汤若望窥筒作过推测性结论.他根据太阳与它的投影像成上下颠倒关系的记述,以为“崇祯改历”所用的望远镜(也即汤若望所制造和使用的望远镜)是开普勒式望远镜^[4].张柏春在其最近的一篇论文中似乎也同意桥本的看法^[16].桥本的看法也是错误的.他将文献记述的望远镜后面像屏上成倒像与人眼通过望远镜目瞳看到的像混同了.人眼对准开普勒式望远镜的目瞳观察,确实可以看到物体的倒像(参见图4),但汤

1)凹透镜的虚焦距常以负值表示,因此,一般地,这公式应写为:
 $l < f_1 + f_2$

若望并非如此观察物像.如果令其两凸透镜不共焦,适当地调节它们的距离或位置,开普勒式望远镜也能在其后的屏上成像,不过这像是正立的(图8),这与文献记载的成倒像之情又不符合.



图8 由两片凸透镜组成的光学系统及其成像图

在这里,要特别指出,从图4可知,由于开普勒式望远镜经过 L_2 的出射光线是平行光,因此,开普勒式望远镜一般地不能在其后面屏上成像.欲使其后面屏上能见像,必须将其两片凸透镜拉开些距离,即令两透镜之距离大于两透镜焦距之和(如图8).这样,望远镜筒后端的出射光线才是收敛光线,才能在其后的屏上见到正像.然而,这样做之后,望远镜的镜筒加长了;比较图8和图4、图5还可知道,图8的成像效果不如图4和图5,即开普勒式望远镜后屏上的像不如伽利略式的大,测量反而有所不便.

实际上,从汤若望的《远镜说》到《崇祯历书》或汤若望改编之后的《西洋新法历书》,从崇祯历局的奏疏和汤若望在清初的奏疏中,没有任何文字表明汤若望等人曾经使用或制造过开普勒式望远镜.假设,汤若望知道并手中有开普勒式望远镜,那么,他理应用该类型望远镜直接观测日月食和其他天象(诸如,绘制恒星座标图),而不需要在其后端套上一个或二个“绢纸壳”,也无需另设像屏.因为,一则开普勒式望远镜的视场比较大;二则,1630年之前几年,沙伊纳已在开普勒式望远镜共焦面上装入一小物体,以便观测和比较实物的大小度数;1638年,盖斯科因(William Gascoigne)由此发明了测微计^[14].将这类十字丝或带有刻度的光阑安装在开普勒式望远镜共焦面上,对于测量天上物体的大小、方位提供了极大方便.汤若望在1635年,甚至1644年所进呈的

望远镜是不能作为测量用的光学仪器,因此,在明清之际,中国人和在中國的耶穌會士没有绘制恒星座标图,也就不足为怪了.

致谢:本文写作过程中,曾请教北京大学物理系赵凯华教授,中国科学院北京天文台李竞研究员、林元章研究员,首都师范大学物理系申先甲教授,他们热情地与作者之一戴念祖电话讨论本文主题,提出建议.科学史研究所张柏春研究员提供本文参考文献4的复印件.特此向他们表示感谢.

参 考 文 献

- [1] 戴念祖.《燕京学报》新第九期,2000,123
- [2] 罗雅谷.《五纬历指》卷三.载徐光启等编《新法算书》卷三十八.《四库全书》影印本.台湾商务印书馆(以下凡引该书版本者只注册数和页码),第788册,684
- [3] 徐光启等编.《治历缘起》卷三.《新法算书》卷三,第788册,50
- [4] 橋本敬造.崇祯改歴の正當化と望遠鏡の位置.京都大學人文科學研究所研究報告《中國古代科學史論》(別刷),1989,363—394
- [5] 《治历缘起》卷三.《新法算书》卷三,第788册,52
- [6] 李迪.自然科学史研究,1987,4,372
- [7] 《治历缘起》卷四.《新法算书》卷四,第788页,67—68
- [8] 汤若望改编.《西洋新法历书·汤若望奏疏》.薄树人主编.《中国科学技术典籍通汇·天文卷》.郑州:河南教育出版社,1998,第8册,865,871
- [9] 《治历缘起》卷六.《新法算书》卷六,第788册,93
- [10] 汤若望.《远镜说》.丛书集成初编本,28
- [11] 汤若望.《交食历指》卷七.《新法算书》卷七十,第789册,266,267
- [12] 《治历缘起》卷三.《新法算书》卷三,第788册,50
- [13] 《治历缘起》卷二.《新法算书》卷二,第788册,26—27
- [14] Wolf A. A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th & 17th Centuries. London: George Allen & Unwin Ltd, 1935. 78, 79. 中译本:周昌忠等译.十六、十七世纪科学、技术和哲学史.北京:商务印书馆,1985,93,95
- [15] 戴念祖主编.中国科学技术史·物理卷.北京:科学出版社,2001年,491
- [16] 张柏春.中国科技史料,2000,1,75