

颐和园十七孔桥“金光穿洞”原理小议

张 华 王舟阳

(流体力学教育部重点实验室,北京航空航天大学航空科学与工程学院 100191)

1. 引言

坐落在北京西北郊的颐和园是著名的清朝皇家园林,它以万寿山为依托,参照杭州西湖修建的昆明湖为主要景色,荟萃了十七孔桥、铜牛、石舫、佛香阁、铜亭、苏州街等众多景观。最近几年,颐和园十七孔桥的“金光穿洞”景观突然火了起来,每当十七孔桥出现“金光穿洞”奇观的时候,总会吸引大批的摄影爱好者和游客扎堆拍摄和观看。图1是作者于2019年1月21日(冬至后约一个月)下午16:58在已结冰的昆明湖上从十七孔桥的西北方冰面上向东南方向拍摄的“金光穿洞”景象。当天(2019.1.21)北京日落时间为17点19分53秒,故图1的拍摄时间是冬至后一个月的日落前约22分钟。

实际上颐和园十七孔桥的上述“金光穿洞”景观只是在一年之中唯一的冬至季节前后、落日前大约1~2小时15分钟时段内出现(介于金光穿洞的“起始点”和“结束点”之间,详见本文第3部分),并且人只有在桥的西北方向往东南方向观察、拍摄才



图1 作者用手机拍摄的十七孔桥“金光穿洞”(拍摄日期/时间:2019年1月21日/16:58,拍摄方向:桥西北湖面向桥东南方向拍摄)

能获得最佳的“金光穿洞”观感和照片。要解释清楚上述问题,需要一点简单的天文、地理和物理学知识。

2. 颐和园十七孔桥“金光穿洞”原理小议

众所周知,地球不停地以24小时为周期绕地轴自转、同时以365天(均为大约)为周期绕太阳公转,如图2所示。同时,由于地球自转和公转的过程中地轴永远指向北极星,因此赤道平面与地球公转轨道平面(也称黄道平面)存在23度26分的夹角(黄赤交角),参见图3所示。

显然在地球自转和公转的过程中,太阳光线直射至地球的地区(线)并不总是赤道,而是随着地球的自转与公转,太阳光线直射至地球的地区(线)有时偏北有时偏南,太阳光线能够直射至北半球最北的线称为北回归线,太阳光线能够直射至南半球最南的线称为南回归线,南、北回归线的纬度分别为

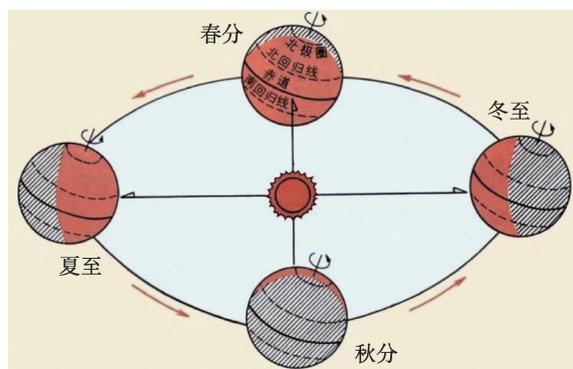


图2 地球自转、公转以及四季更迭示意图(图中标出的四季指北半球中纬度地区)

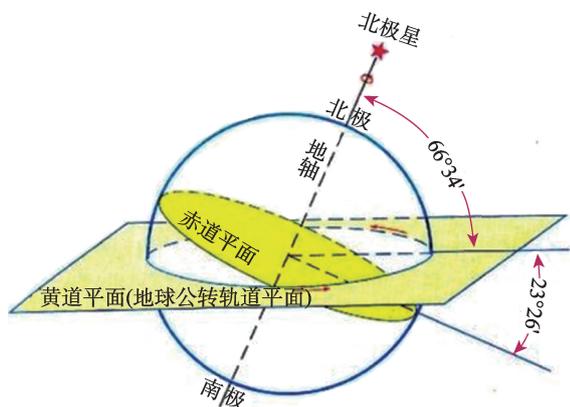


图3 地球赤道平面与地球公转平面(黄道平面)的关系

南纬和北纬 23 度 26 分(与黄赤交角相等)。一年之中太阳在地球上的直射点将在南、北回归线之间回归变化,由此也形成了地球上南、北半球不同的四季更迭(主要指中纬度地区的四季更迭,在赤道附近主要表现为四季不分明的气候,而在两极圈内主要体现为半年极昼或半年极夜现象,参见图 2,但这不是本文讨论主题)。

如果将地球作为固定不动的参考坐标系,则一年四季中太阳对地球的直射光线如图 4 所示,其中位于北回归线上方的黑色小圆圈为北京地区所在的北纬 40 度。显然一年中太阳直射时(正午)太阳都在北京上空偏南的方向,在夏季正午我们还能感觉到太阳基本当头照,而在冬季正午太阳则在偏南方向比较低空中。冬至时太阳直射南回归线,这

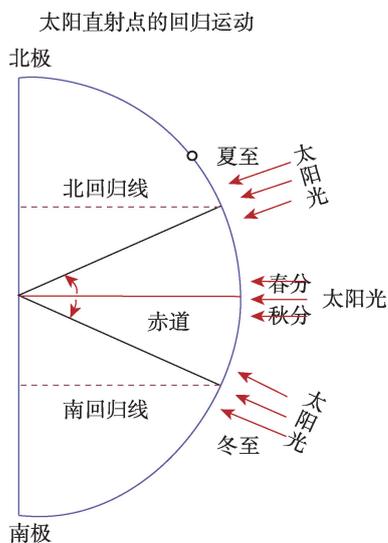


图 4 一年四季太阳对地球的直射光线 (小黑圈为北京地区所在的北纬 40 度)

是一年之中北京地区感到太阳最偏南、在空中高度最低的时间,因此冬至时北京西下的落日点也是最偏南的。

颐和园十七孔桥“金光穿洞”现象与不同季节的日落和日出方向密切相关。由图 4 可以推测,在春分和秋分日(两分日)由于太阳直射赤道,全球均为正东日出、正西日落(两极圈内除外,下同);在两分与夏至期间全球均为东北方日出、西北方日落;在两分与冬至期间全球均为东南方日出、西南方日落。北京地区(北纬 40 度)日出日落规律如图 5 所示,反映了上述由图 4 推测的日出日落规律。

由图 5 所示,可见冬至日北京日出最偏东南、日落最偏西南,此时日落、日出光线与十七孔桥方位的关系参见图 6(红色为日落光线,黄色为日出光线),其中十七孔桥的方位为东偏南 21.3 度,冬至日日出光线的方位为东偏南 31.7 度、冬至日日落光线的方位为西偏南 31.7 度,因此冬至日日落光线(红色)与十七孔桥的夹角最大,约为 $31.7+21.3=53$ 度,由于桥洞足够大而桥宽有限,日落光线能够贯穿整个桥洞并照亮桥洞的东侧壁面,此时南湖岛东南角就成为观赏和拍摄“金光穿洞”的最佳位置之一。冬至之后昆明湖面会逐步结冰(具体结冰时间视年份有所不同),此时上到冰面(颐和园常年开放冬季冰场)拍摄将比在南湖岛东南角获得更多的拍摄选择和更佳的拍摄效果。图 6 中冬至日的日出光线(黄色)与桥的夹角约为 $31.7-21.3=10.4$ 度,几乎与十七孔桥平行,光线无法穿过桥洞形成“金光穿洞”现象。

出现“金光穿洞”效果另一个重要因素是:日出和日落时太阳光线将穿过很厚的大气层,由于日光中波长较短的紫、蓝、青等光线穿过厚大气层容易发

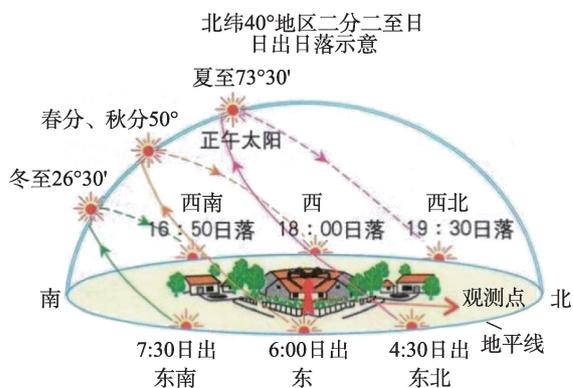


图 5 北京地区(北纬 40 度)日出日落示意图



图6 冬至时分日落光线(红色)、日出光线(黄色)与十七孔桥的方位关系

生散射,而波长较长的红、橙、黄光具有较强的透射能力,从而体现出以红、橙、黄光为主的光影效果。

另外由图5所示,可见夏至日北京日出最偏东北、日落最偏西北。夏至日的日出、日落光线与十七孔桥的方位关系参见图7所示,其中红色代表日落光线、黄色代表日出光线,可见日出光线与十七孔桥的角度也达到最大,约为 $31.7+21.3=53$ 度,因此夏至日日出时也会出现“金光穿洞”景象,此时的最佳拍摄位置是在十七孔桥南侧、昆明湖东南岸,拍摄方向是向西北方向拍摄(参见图7白色箭头)。图7中夏至日日落光线(红色)则与十七孔桥基本平行(日落光线与桥的夹角约为 10.4 度),将不能形成“金光穿洞”景象。

然而人们很少能够看见夏至时分拍摄的“金光穿洞”照片,其中的原因之一是夏至时日出很早,大约为凌晨4:30,这比颐和园夏季开门时间6:30早了约2个小时,因此夏至日的“金光穿洞”几乎不为人知。



图7 夏至时分日落光线(红色)与日出光线(黄色)与十七孔桥方位的关系

2019年6月24日是夏至后第三天,为了验证夏至日出时从十七孔桥的东南角也可能拍出“金光穿洞”效果的照片,作者于早上颐和园开门时间6:30分从十七孔桥附近的新建宫门进入颐和园(当天日出时间是4:47),此时距离日出已经过去了接近两个小时,在十七孔桥东南角向西北方向拍摄的“金光穿洞”照片效果如图8所示。



图8 作者于2019年6月24日(夏至后第3天,日出时间4:47)早上6:32分拍摄的十七孔桥“金光穿洞”(桥东南角向西北方拍摄)

由于受颐和园早上开门时间为6:30的限制,图8效果受到一定影响。后来作者向颐和园管理处提出书面报告希望提前入园拍摄,并在10天后得到颐和园管理处的许可批复。7月4日(夏至后第13天,日出时间4:51)凌晨5点颐和园新建宫门专门为作者个人提前开放,允许作者入园拍摄,但遗憾的是此时部分东侧桥洞的日出光线被湖东侧树木遮挡无法拍摄,直到早5:45作者拍摄的照片如图9所示,应该说图9效果较好但仍不是最佳的“金光穿洞”。由于夏至日太阳高度角最大(参见图5),再加上日出光线受湖东岸树木的遮挡,从自然、地理和管理等多个方面看,夏至日出“金光穿洞”持续时间短且无法保证阳光穿过两侧小桥洞,拍摄限制条件多、难度大。参见后面的穿洞时间分析。



图9 作者2019年7月4日(夏至后第13天,日出时间4:51)凌晨5:45拍摄的十七孔桥夏至日出“金光穿洞”(桥东南角向西北方向拍摄)

3. “金光穿洞”的时间估算

为了验证“金光穿洞”的持续时间,我们根据十

七孔桥桥宽(6.6米),桥墩高度(2.5米)、拱洞的净跨(中间8.5米、两侧4.5米)^①和昆明湖平均水深位(1.5米),建立了简化的模型,得到了“金光穿洞”时太阳和十七孔桥方位与桥孔的角度关系。同时,在2019年12月22日冬至日落期间对十七孔桥“金光穿洞”的持续时间进行了拍照验证。

先对冬至日的“金光穿洞”时间进行分析。由于最小拱洞的高度和宽度都最小,光线开始穿过拱洞直到后来完全不能穿过拱洞都以最小拱洞来分析。日落过程中当光线开始穿过最小拱洞时(称为“起始点”)光线对其他大拱洞也都能穿过,此时“金光穿洞”开始;当光线不能从最小拱洞穿过时(称为“结束点”),“金光穿洞”结束(尽管此后其他大拱洞仍有光线穿过)。“起始点”的光线特点是:最小拱洞

东侧壁面上光线与水面形成锐角且光线与拱洞东北棱角与水面的交点相交,如图10所示。“结束点”的光线特点是:光线完全收入最小拱洞,且光线与最小拱洞东北棱角基本平行(拱顶附近除外),如图11(a)照片所示,图11(b)是模拟的结束点光线与最小拱洞的关系。

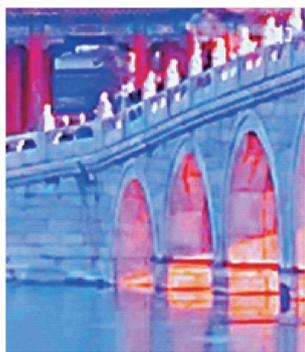
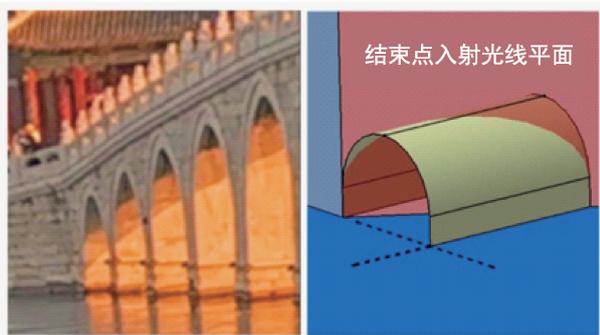


图10 冬至日金光穿洞“起始点”入射光线与最小拱洞关系

模拟和照片验证表明,冬至日“金光穿洞”的持续时间约为2小时15分钟(2019年12月22日冬至日“金光穿洞”的“起始点”约为下午14时25分,而“结束点”约为16点40分,当日日落约为16时53



(a) 现场照片 (b) 模拟图画
图11 冬至日金光穿洞“结束点”入射光线与最小拱洞关系

分)。值得指出的是,由于最小拱洞的宽度限制,自“结束点”至完全日落之间光线都不能穿过最小拱洞,且随着日期距离冬至日越远,不能穿过的小拱洞数目越多,直至所有拱洞都不能被光线穿过,即在非冬至日上述“穿洞”持续时间将逐一缩短(起始点时间延后、结束点时间提前)。实际上在冬至日前后约1个月的时间内即可观察到全部桥洞的“金光穿洞”现象,只是这时“穿洞”的持续时间比冬至日相对较短罢了。

类似于上述冬至日落“结束点”的情况,夏至日日出时光线也不能完全穿过最小拱洞(西侧壁面上光线与桥西南棱角基本平行,拱顶附近除外),由于夏至太阳运行轨迹的高度角较大(参见图5),日出后光线始终都不会穿过最小拱洞,只有中部的较大拱洞可以穿过光线,因此无法用最小拱洞光线特征给出穿洞的时间“起始点”。随着距离夏至日越远,光线不能穿过的小拱洞数越多、能够穿过的大拱洞数越少,例如距离夏至日约二周时间能够体现完全“穿洞”效果的只剩中间9个较大的拱洞,参见图9。即使是在夏至日日出,中间大拱洞出现光线穿洞的持续时间也仅约为1小时20分钟左右,远小于冬至日日落时情况。因此夏至日日出的“金光穿洞”是不太完美的。

上述分析讨论均未考虑山峦、房屋、树木、气候等因素的影响。

4. 结论

冬至日日落时“金光穿洞”可持续约2小时15分钟左右,“结束点”至日落期间光线都不能穿过最小拱洞。非冬至日“金光穿洞”的持续时间逐一减少,冬至日前后约一个月的时间即可观察到全部拱洞的“金光穿洞”现象但持续时间较短。夏至日日出时也会出现部分“金光穿洞”现象,但桥两侧的小拱洞壁面不能被全部照亮,非夏至日桥中部大拱洞形成“金光穿洞”数目逐步减少,且“穿洞”持续时间较短,因此夏至日的“金光穿洞”是不太完美的。

参考文献

- ① 茅以升等. 中国古桥技术史[M].北京:北京出版社,1986-5
注:除图1、图8、图9、图10、图11为作者完成外,其他图片均取自于互联网,其版权归原作者所有。