

文章编码: 1000-2022(1999) 01-0128-06

评康熙帝的大气物理知识

王鹏飞

(南京气象学院电子信息科学系, 南京 210044)

摘要: 清帝玄烨(即康熙帝)曾对大气物理学中的大气光象、声象、电象发表过一些通过实地考察的经验性看法, 有的还很有意义。本文对此加以评述。

关键词: 天文折射; 地文折射; 蜃景; 雷声源; 闪电熔岩

中图分类号: N09 **文献标识码:** A

康熙帝(1662~1722)对自然科学的兴趣, 在历代帝王中独一无二。在处理汤若望历法案件后, 他发现西洋历法优于古历及回历, 就重用南怀仁等耶稣会士。以南怀仁(Ferdinand Verbiest, 1623~1688)、安多(Antoine Thomas, 1644~1709)、白晋(Joachim Boavet, 1656~1730)、张诚(Jean Francois Gerbillon, 1654~1709)、刘应(Claude de Visdelon, 1656~1737)、巴多明(Dominique Parsenin, 1665~1741)等为师友, 向他们了解并学习西洋自然科学。西洋自然科学中, 天文、地理、数学、物理、测量、机械、仪器等知识, 往往与大气物理内容有关。耶稣会士中有些人也具有一定的气象知识(如南怀仁等)。这就使康熙帝对大气物理知识也具有一定兴趣。

康熙帝对大气物理现象的理解, 虽有正确的一面, 却仍有许多局限性。本文从他对大气光象、声象、电象等几方面的认识, 进行介绍和评述。

1 康熙帝对大气光象的认识

1.1 天文折射与高纬地区夏夜短暂现象

蒙气差与天文折射有关, 属大气光学效应。康熙帝从西洋传教士那里学习了地球蒙气(蒙盖地球的大气)的光学效应。他说: ‘蒙气离地甚近。四十度(指视高度角)以上即不用蒙气表矣。故地方高朗处, 皆无蒙气。近有测地里图人, 早行, 晨鸡未发, 忽见天际如日方升。林木村舍依稀辨色, 须臾昏黑如故。移时东方始明。盖日在地平之下, 光映蒙气而浮上也。正如置钱碗底, 远观若无。乃盛满水时, 则钱随水光而显现矣^[1]。’这里他用西方常举的碗水折光见钱的例子, 解说蒙气的折光现象, 有类比意义。‘蒙气表’应称为‘蒙气差表’, 是星体在不同视高度角下由于大气平均铅直密度差异而可查算的实际星体高度角表。这种表格, 传自西方, 为天文学界所常用。可以表达平均天文折射效应。但在反常天文折射时, 就需订正。在视高度角为 40° 以上

收稿日期: 1998-05-25; 改回日期: 1998-11-13

作者简介: 王鹏飞, 男, 1920 年 12 月生, 教授

的天体,因蒙气差值很小,往往视高度角几与实际高度角相等,所以平均蒙气差表中,即以星体视高度角作为其实际高度角。因而说“四十度以上,即不用蒙气(差)表矣。”但这决不能推论“蒙气离地甚近”及“地方高朗处,皆无蒙气”。因为没有蒙气,等于说没有大气。这显然是错误的。他举清晨“天际如日方升”和“须臾昏黑如故,移时东方始明”的现象为例,说明是由于“光映蒙气而浮上”。这种解释大体合理,但较为含糊。因为它只能解释清晨“天际如日方升”一句。在清晨,地面因辐射冷却,气温较低,使空气密度变大,从而大气上下密度差异加剧。蒙气因而增大,这就使地平线以下的阳光,光路向上弯曲厉害,所以能折射到地平线以上人目中,使人们能见到日轮。这就是康熙帝所说的“浮上”造成的“晨鸡未发,忽见天际如日方升,林木村舍依稀辨色”的原因。却无法用以解释“须臾昏黑如故”及“移时东方始明”的现象。其实“须臾昏黑如故”是因为如日方升时,阳光使近地气层升温,空气膨胀,密度变小,使在光路中气层的密度差减小,从而减弱了蒙气差。于是光路中折射效应减低,光路弯曲程度变缓,原来可以折射到地平线上的阳光,变为难以折射出地平线上了,人目又见不到阳光和日轮。所以出现了“昏黑如故”的景象。但不久,由于地球自转,日轮已能正常露出地平线上,于是“东方始明”。可见“昏黑如故”这种黎明前的黑暗,是由于“浮上”作用变弱造成的,而“东方始明”现象,完全用“浮上”来解释,也并不很妥当。

康熙帝还曾用地呈球形来解释高纬地区夏夜短暂及日落后天空不很暗的现象。他的地球概念来自西方。他说:“自古论历法,未尝不善,总未言及地球。北极之(出地)高度所以万变而不得其著落。自西洋人至中国,方有此说,而合历根。”^[2]又说“黑龙江以北地方,日落后并不甚暗。个半时,日即出。盖地之圆可知也。近北极,太阳与(受)地平周掩无多也。朱子(熹)曰:唐太宗收至骨利干,署都督府,其地夜易晓,夜亦不甚暗。盖地绝处日影所射也。又云:《通鉴》说,有人适外国,夜熟一羊腓而天明,此是地平之处,日入地下,而此处无所遮蔽,故常光明。以此知古人记载,皆有确据,非好为新奇之说也。”^[3]骨利干在贝加尔湖一带,唐时属安北都护府的坚昆都督府余吾州(见谭其骧主编《简明中国历史地图集·唐时期全图(一)》,39~40页)。康熙帝仅用地圆说解释黑龙江及贝加尔湖地区夜间短暂及不很暗,是不完整的。因为(1)造成这现象的原因,不仅是由于地圆,而重要的乃是地球自转轴相对于黄道面有一定的倾斜角,但康熙帝未提地轴倾斜。(2)黑龙江及贝加尔湖一带的夜间短暂不暗仅出现于夏至前后,冬季却是夜特长且很暗。康熙帝不知道这仅是夏至前后现象。(3)上述地区夏夜并不太暗,是由于夏夜既短,蒙气差所导致的曙光及暮光时间,占整夜之时间比较大。但冬夜因历时较长,曙光及暮光占整夜之时间较短,故仍相当暗。由此可知康熙帝所学得的这方面西方科学知识有局限性。

1.2 地文折射及山市海市现象

蜃景属于地文折射现象。康熙帝对蜃景现象有一定认识。他说:“海市见之于书,人皆知之,不知山峦之气亦然。塞外瀚海,早行,春秋之际,空阔之处,望之亦有如城郭楼台者,有如人物旌旗者,有如树木丛生、鸟兽飞舞者。远观景象,无不刻肖;逼视之则不见。是皆山气之所融结,可与海市并传也。”^[4]这种把山市、海市和沙漠(瀚海)幻景都归属为蜃景现象,是正确的。但认为山市为山气“融结”而成,海市及沙漠幻景也属于“融结”而成,并不妥当。事实上西欧在18世纪,对蜃景的形成原理尚未明了。所以康熙帝周围的耶稣会士,也不可能向康熙帝介绍正确的蜃景原理,康熙帝只能根据中国古籍,推估形成机制。《史记天官书》中有“海旁蜃气象楼台,广野气成宫阙。然云气各象其山川人民所聚积。”康熙帝所谓气的“融结”。实即《史记》所说的“聚积”。比康熙帝早一些的明末清初,我国科学家游艺在其《夙经或问后集》中绘有《山城海市蜃气楼台图》(康熙中刊本),曾认为海市山市为“湿气遥映而成”。并说“水在涯涘,倒照人物如镜。水

气上升,悬照人物亦如镜。”这是用镜面反射来解释蜃气之形成。现在看来,这种解释也是错误的。因为蜃景是物光通过因温度不均匀所导致的密度不均匀大气,发生折射,使光路弯曲地在大气中经过,进入人目。人目认为物体位于进入人目处光路的切线方向所致。这切线方向上的现象,称为‘蜃象’或‘蜃景’。由于物体各部分的光,在进入人目前的光路各有不同,所以蜃景的位置、形状、大小都会与原物象有很大出入。由于光路有从气温高的气层射向气温低的气层,或自气温低的气层射向气温高的气层等不同,因而出现的蜃景,就有上蜃、下蜃、倒蜃、侧蜃等区别。再加上空气往往有扰动,就使蜃象发生时隐时现、变化形态、扑朔迷离的现象。康熙帝受当时世界科技水平所局限,不了解蜃象的确切形成原理,是不足为怪的。

2 康熙帝对大气声象的认识

康熙帝为平吴三桂之乱,曾命南怀仁造炮,计制成重炮 150 尊,山地用的不同口径小炮 320 尊。通过造炮,他学习了测声速之法。他曾说:‘依黄钟准尺寸。定一秒之垂线。或长或短、或重或轻,皆有一定之加减。’^[5]黄钟是较响亮的声音,能传得较远。他利用能发黄钟之声的器具,来定每秒声音的行距(即‘定一秒之垂线’),换言之,即决定声速。发现不论声音的轻重或时间取多长为单位,每增减一单位时间的声音行距必增减相同的数目(‘皆有一定之加减’)。换言之,他认为声速是一个常数。当然声速随气温、湿度等之不同,有细微之差异。但按当时的条件,他把声速视为常数,已难能可贵了。

康熙帝利用测量铙炮的烟与声的相隔时间,测算铙炮发炮处距他的远近。并由此计算声速。他说:‘先试之铙炮之属,烟起即响。其声益远益迟。得准比例,而后算雷炮之远近,即得矣。’^[5]意思是说:他曾计数铙炮声落后于见烟的时间,发现铙炮愈远,炮声落后的时间愈长(注意:康熙时,西洋钟表已传到中国)。就由此计算声音每落后单位时间所相应的铙炮距离增加的数目。这是一个比值,所以叫‘得准比例’。这个比值实际即为声速。他利用这个比值,即可计算打雷处离开闻雷处的距离。因为炮的烟相当于闪电,炮声相当于雷声。这就符合他所说的‘得准比例,而后算雷、炮之远近。’^[5]

康熙帝利用此法多次计算雷声源及铙炮的距离。他说:‘朕每测量,过百里虽有电而声不至。方知雷声之远近(不过百里)也。’^[5]这当然并不意味着百里之外,不会打雷。而是说百里之外的闪电,其雷声传不到听闻者的所在(‘有电而声不至’)。他还实地根据炮声可闻距离与雷电进行比较。说:‘朕为河工(为了治河工程),至天津驻蹕。芦沟桥八旗放炮。时值西北风。炮声似觉不远。大约三百里。以此度之,大炮之响比雷尚远无疑也。’^[5]

北京芦沟桥在天津的西北约一百多公里

(不到三百里),那天又是西北风,所以放炮点在天津上风方。顺风放炮,炮声自然可传得远些,使天津觉得炮声源似乎不远。1716 年(康熙五十五年),他又更仔细地谈到此事说:‘又尝考验雷声,只闻得九十二、三里,不出百里之外。古人所云‘震惊百里’,若霹雳不过七八里,往年沙河地方(在北京西北方),雷击民房,去京师不过数十里,并不闻其声。至于炮声,则反而闻于二

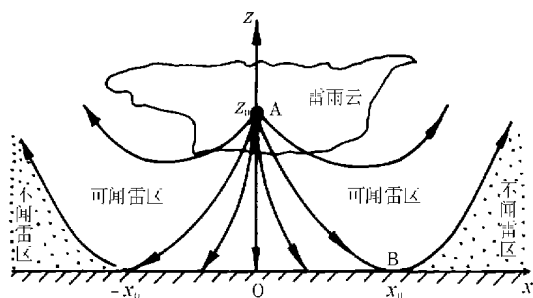


图 1 距地高度 z_0 的雷声源 A 的地面可闻半径 x_0

Fig. 1 The maximum radius x_0 of audible region for a fixed height (z_0) of thunder source above the ground

三百里。当年芦沟桥放炮、天津皆闻之,此皆可验也。^[6]对康熙帝的这些测算,我们作理论讨论。

图 1 中雷雨云中距地高度 z_0 的 A 处为雷声源。由于气温随高度降低,其直减率为 γ ,地面温度为绝对温度 T ,声线因 γ 为正值而向地面方向拱凸,AB 为与地面相切之声线。可以看出在以 OB 为半径的地面圆内,为可闻雷区,大于 OB 半径的地面,为不闻雷区。可闻雷区的范围,随高度而增大。通过研究

$$x_0 = 2 \left(\frac{T z_0}{\gamma} \right)^{1/2}$$

若闪电源距地高度 $z_0 = 4 \text{ km}$, $T = 300 \text{ K}$, $\gamma = 6 \text{ K/km}$ 。则得 $x_0 = 28.3 \text{ km}$ 。每千米相当于康熙时所用的营造尺的里约三里,故 28.3 km 约合 85 营造里。这个数值与康熙帝所说的雷声“不出百里”大体符合。又康熙所举的击毁沙河民房的霹雳只能传 7~8 营造里,以 7.5 营造里计,约合 2.5 km。仍以 $T = 300 \text{ K}$, $\gamma = 6 \text{ K/km}$ 计,由(1)式可得 $z_0 = 31 \text{ m}$ 。可见雷声源距地仅 31 m,远低于云底,应属于落地雷。是云底负电荷使地面的感应正电荷在民房上集中,形成云底与民房间的高电位差。使云底负电闪道向下伸展,在民房附近形成强烈击穿电位差,击穿民房。以发生与负电相通的现象。这时闪道高温使液水气化、空气也强烈地以超声速电离及膨胀,发生猛烈的破坏性爆裂的霹雳声,民房大遭破毁。其结果也与康熙帝所遇到的实况相符,即沙河距北京只有几十里,北京却听不到沙河雷击民居所产生的雷声,因为这时雷声线在地面的切点仅距沙河七八里,北京已在沙河霹雳的不可闻区了。

由(1)式,知影响声音传播的因子有 T 、 γ 、 z_0 等。但这些仅考虑声线的折射。声音还有声能的消耗问题,如噪声干扰、林带及空气乱流等影响。此外风向、风力也影响声音的运载距离。所以(1)式并不是决定声音可听到与否的唯一公式。康熙帝根本没有(1)式的任何知识,他对声源距离所得的经验结论,在当时也已难能可贵了。

3 康熙帝对“闪电熔岩”的认识

康熙帝有兴趣于“霹雳砧”等研究。他说:“霹雳砧形质各殊,随地而异。今各蒙古瀚海沙漠等处,尝拾得铜铁,或如枪头,或如箭、镞、锥、刀之类者,盖雷斧也。《雷书》云,雷斧,铜铁为之,盛京乌拉诸地则皆石,色微青黑而通明,映之莹如玻璃,其在西洋者,石色沉绿明澈,无异此雷楔也。《博物志》云:人间往往得石,形如斧刀,名霹雳楔者是矣。又有雷墨、雷钻、雷锥,不过以状异名。要皆金石质也。唐人小说谓,玉门西有雷庙,国人年年出钻,以给雷用。是诚谬言。夫雷火所至,万物具化。斧楔乃雷气之所化耳。其或金或石者,随地气而使然也。”^[7]

在我国古籍中,提到雷楔之类事物的很多。如《本草纲目》、《搜神记》、《唐国史补》、《岭表录异》、《梦溪笔谈》、《齐东野语》等。在提到形成原因时,大都认为这些物件是雷公所遗,带有神话色彩。仅明黄润玉撰写《海涵万象录》(见 1935 年刊张寿镛辑《四明丛书》第三集)从自然现象方面进行解释。认为“雷者气也,入地化为石。”不是雷公所遗。康熙帝这段文字比《海涵万象录》有进步。他不认为雷气能直接入地化为石,而认为雷火使地下金石化为斧楔之类。因此他是我国第一个提出雷楔等物形成的较合理理论的人。但他认为雷楔等物都是这样形成的。这却范围包得太大了。因为根据现代研究,这类东西有很大一部分实属陨石,与石器时代或历史时代人工制造的遗物。康熙帝所提出的雷电形成物,仅占其中一部分。区别土壤内陨石、远古遗物及雷电形成物是容易的。

例如陨石,它们下降入大气,受空气分子摩擦升温,内部成分因高温气化或液化而发生调

整, 墮地后表面的石英冷却时, 结成有时含有气泡的透明匀滑的外壳, 叩之有声。初到地时, 因高温会使地面草木杂物燃烧。燃余炭灰常混附于外壳, 使下陨物乌黑发亮, 在纸上可画出字来。因此有雷公墨、雷公锤、雷珠等称呼。较大陨石下墮中, 由于高温或因与气流相互作用, 崩裂成许多小碎块。形状也棱角显明, 不很规则, 偶然也会呈斧、钻、楔形。而石器时代遗物或远古战争工具, 如石斧、石刮削器、石磨、石镰、石锤、石钻及金属箭镞等, 因系人工制造, 具有一定可使用性形, 较象现代人使用的斧、楔、钻、砧形。

不论陨石或远古工具, 与雷电均无关系。只是因为它们多在岁月久远中埋藏土中, 一旦发生雷雨, 表土冲刷, 就出现于地表, 人们误认为与雷电发生关系, 称它们为雷斧、雷楔、雷钻、霹雳砧、雷镰、雷锤等, 于是雷公遗物的神话就流行于世。这当然不对。

但是雷雨后在地表出现的另一种物体, 称为“闪电熔岩”(Fulgurite), 却的确是由闪电形成的。因此切勿把古籍中所谈及的雷楔、雷钻等物都看作是陨石或石器时代或远古人类的遗物。

我们知道打击到地面的闪电通道并不很宽, 仅约几厘米到几十厘米之间。中心温度在 15 000 ~ 25 000 左右。而土壤中石英的熔点为 1 718 , 沸点为 2 230 ; 氧化铝的熔点与沸点分别为 2 045 及 2 980 ; 铜铁的熔点低于石英, 沸点分别为 2 582 及 3 000 。都远低于闪电温度。所以闪电打击到土壤并下伸时, 将使土壤内各矿物或金属在局地融化或汽化, 并在闪电后渐渐冷却时, 就地分馏凝固。沸点及熔点高的先凝固。沸点及熔点低的后凝固。于是石英等熔点及沸点较低的物质, 就包在铜铁等金属之外, 形成内含铜铁、外包玻璃般透明石英的东西。具有表面乌黑透明有光泽的形象, 敲击时也有金石之声。根据研究, 这种形状的东西, 形成于闪电打击到沙土约 100 μ s 之时。其时温度约 1 700 , 注意此温度正是石英、铜、铁、镍、硅等处于由液态转变为固态后的温度。由于火山爆发后地热使岩石熔成岩浆, 在冷却后再凝的岩石, 称为“熔岩”。因此上述由闪电高温使岩石熔后再凝固之物, 应称为“闪电熔岩”。我国闪电熔岩在历史上并不罕见。1996 年北京顺义县潮白河沙滩附近的高压电线下, 曾因闪电打击, 出现过一一个半米高的沙堆, 在其下发掘出一个高约 30 cm 的树根状闪电熔岩, 现存于北京中国地质大学宇光研究所内。

闪电熔岩的形状视凝固时土内容纳岩浆的空间形状而定。这种形状与闪电打击土壤的通道有关; 也与土内矿物性质及原来分布有关; 更与土壤受热时矿物熔化、汽化及土壤空气膨胀压力的大小与分布等有关。当熔岩冷却并形成液体时, 在重力影响而填充下部空隙。在凝固时空间成为熔岩的阴模, 故槽形、空心球形、细长条形的空间会分别形成斧形、锤形、指形、针形的闪电熔岩。如空间扭曲, 壁上有许多毛细孔伸向四周, 则闪电熔岩会出现扭曲团, 且有向四周辐射的石英细丝的样子。每形成如有毛须耳目的畜首、或带根须的树根。上述顺义县半米高的沙堆, 是闪电及熔岩高温使沙土膨胀而形成的。

康熙帝对雷斧等物的形成理论, 基本上符合上述“闪电熔岩”形成过程。只是由于时代的局限性, 说得过于简略。在欧洲中世纪, 人们对闪电熔岩认识也很肤浅。他们把有枝出指状的掌形闪电熔岩, 还迷信地称之为“魔鬼的指爪(Talons of Devil)呢!”

参考文献

[1] 玄 烨著, 盛 昱录. 康熙几暇格物编·蒙气[M]. 上海: 鸿宝斋(石印), 光绪癸卯, 1903
[2] 玄 烨著, 盛 昱录. 康熙几暇格物编·地球[M]. 上海: 鸿宝斋(石印), 光绪癸卯, 1903
[3] 玄 烨著, 盛 昱录. 康熙几暇格物编·地绝处[M]. 上海: 鸿宝斋(石印), 光绪癸卯, 1903
[4] 玄 烨著, 盛 昱录. 康熙几暇格物编·山市[M]. 上海: 鸿宝斋(石印), 光绪癸卯, 1903
[5] 玄 烨著, 盛 昱录. 康熙几暇格物编·雷声不过百里[M]. 上海: 鸿宝斋(石印), 光绪癸卯, 1903
[6] 中国第一历史档案馆整理. 康熙起居注, 康熙五十五年[M]. 北京: 中华书局, 1984
[7] 玄 烨著, 盛 昱录. 康熙几暇格物编·雷楔[M]. 上海: 鸿宝斋(石印), 光绪癸卯, 1903

AN EVALUATION ON EMPEROR KANGXI'S
KNOWLEDGE OF ATMOSPHERIC PHYSICS

WANG Peng-fei

(Department of Electronics and Information Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Emperor Kangxi (1662 ~ 1722) had many empirical discussions on optical、acousti-
cal and electrical phenomena of atmospheric physics, which were very interested in that age.
This paper evaluates his discussions under the scientific consideration.

Keywords: astronomical refraction; terrestrial refraction; mirage; source of thunder; fulgurite