

光学史坐标上的古代中国科学家

王洪鹏¹ 白欣²

(1 中国科技馆 100012; 2 首都师范大学 100048)

光学是一门古老的学科，其悠久的历史几乎和人类文明史本身一样久远。古代中国的光学被公认为是古代物理学发展较好的学科之一。阳隧（铜质凹面镜）的制造技术，影子的形成机理，小孔成像的道理，平面镜、凸面镜和凹面镜的光学成像特点，这些知识都远早于世界其他国家。这些科技成就大都与先秦墨子为首的墨家学派相关，他们曾利用烛炬与铜镜进行光学实验。汉代，有以刘安为首的淮南学派，还有王充和张衡在光学上的建树。唐代，由于道家对玻璃制造的研究，致使谭峭对透镜涉猎很多。此外，从汉到唐的千年间，推动光学知识发展的还有一批不知名的匠人和道士。宋代科学家沈括不仅研究过各种镜、影和光的色散问题，而且还尝试提出了光学理论——格术。元代，有赵友钦的大型光学实验，还有郭守敬巧妙地利用针孔取像器解决了大型圭表读数不准的问题。明清时代，方以智、郑复光 and 邹伯奇对发展传统光学和吸收西方光学知识都有一定的贡献。

在 2015 年国际光学年期间，笔者主持开发了《古代中国的光学实践》和《古代中国的光学探索》展览，并在北京第二届城市科学节上展出。现笔者简略地介绍几位光学史坐标上的古代中国科学家的主要光学成就，以纪念这些伟人。

一、墨子

墨翟（约公元前 468 年～公元前 376 年）被后人尊称为墨子。墨子出身庶民，年轻时当过车工，手艺很高，不仅会造车，还造过类似滑翔机的“木鸢”等机械。墨子提出节用、尚贤、兼爱、非攻等主张，创立墨学。战国初，墨学与儒学并显于世。

《墨经》是先秦墨家的科学、逻辑学和哲学著作，是我国最早最集中地记述数学、力学和光学知

识的文献。它以连续八条的文字，记述了几何光学知识。其中涉及影的形成、光线与影的关系、光的直线行进实验、光的反射特性、物体与光源对影的影响、平面镜反射成像、凹面镜反射成像、凸面镜反射成像等。这些精巧且忠实的实验记录形成了 2000 多年前世界上最早的几何光学知识。最早将这八条整理出来的是中国物理学家、教育家和科学史家钱临照（1906～1999）。中国科技馆主展厅不但有墨子像，还有“小孔成像”和“光是什么”两件展品介绍墨子的光学成就。这里，我们将《墨经》中著名的“光学八条”有选择地摘录下面，以飨读者。

1. 小孔成像

景倒，在午有端与，景长，说在端。光之人，照若射，下者之人也高，高者之人也下。足蔽下光，故成景于上。首蔽上光，故成景于下。在远近有端，与于光，故景库内也。

这里说的是小孔成像。“影像倒立，在光线交会处有一小孔；关于影像的大小，在于小孔相对物、像的位置。从光源至人身之光，行进如直线一样。在下部照人之光在暗房内位置较高，在上部照人之光在暗房内位置较低。人足遮蔽了下部之光，成像在暗房之屏的上部；人头遮蔽了上部之光，成像在暗房之屏的下部。无论物体的远近，只要有小孔对光进行遮挡，就能成像在暗房内。”

2. 平面镜成像

临鉴而立，景倒。

这里的“鉴”指平面铜镜，描述的是平面镜的成像特点。如果这个人站在平面镜之上，所成的像与你相比是倒立着的。

3. 凸面镜（“鉴团”）成像

鉴团景一。鉴者近，则所鉴大，景亦大；远，则所鉴小，景亦小。

对凸面镜而言，物体不管在什么位置上，像仅有一种，都是正立像，而且总是在镜面的另一侧，并总比原物体小。

4. 凹面镜（“鉴笠”）成像

鉴笠，景一小而易，一大而正，说在中之外，内。

这是解释凹面镜的成像。墨家只注意到凹面镜成像的两种。当物体放在球心外时，得到比物体小的倒立的像，当物体在球心内时，得到的则是比物体大的正立像。

5. 关于本影和半影

景二，说在重。二光夹一光；一光者，景也。

这里说的是重影。重影由本影和半影构成，两个影子互相重叠的区域叫做本影；本影的周围构成的影子叫做半影。其意是“一个物体有两个影子，是由于有两个光源从不同的角度照射的缘故。由两个光源发出的两束光线互相交叉地照射一个物体，物体前两束光线的交叉所夹部分看似一束更亮的光线，一束光线照射一个物体产生一个影子。”

6. 说明月魄（灰光）的形成原因

景迎日，说在转。日之光反烛人，则景在日与人之间。

这是对光反射现象的记述。影子不背光而生，而存在于光源与物之间，这是因为日光经过镜子反射而转变了方向的缘故。由此可见，当时墨家曾作过光线反射的演示实验。可惜的是墨家没有进一步提炼出反射定律。

7. 圭表成像与测量

景之大小，说在斜正，远近。

圭是根据光源与影子存在着一定关系而制成的。同一物体，为光所照，影子大小长短不同。这与物体

置立的斜正以及光源距离物体的远近有关系。

8. 运动物的投影

景不徙，说在改为。光至，景亡。若在，尽古息。

这是墨家讨论光影关系的句子。意思是：影子是不动的，如果影子移动，那是由于光源或物体发生移动，使原影不断消逝，新影不断生成的缘故。也就是说，这个影子不是上一时刻的影子移动过来的。投影的地方，如果光一照，影子就会消失，如果影子存在，表明物体不动，只要物体不动，影子就始终存在于原处。墨子这一思想，后来为名家继承，提出了“飞鸟之影未尝动”的命题。

二、刘安

刘安（公元前179～公元前122），汉高祖之孙，袭父爵位为淮南王。刘安不仅是一位思想家、文学家，同时也是传播科学知识的前驱者。他组织宾客编写《淮南万毕术》，其中记载的冰透镜取火，可视为镜型改进的实验。《淮南万毕术》中还记述“高悬大镜，坐见四邻”的文字。刘安以后，北周文学家庾信（513～581）第一个将“悬镜”写入诗中，使“悬镜”技术广为流传。庾信《咏镜诗》写道：“玉匣聊开镜，轻灰暂拭尘。光如一片水，影照两边人。月生无有桂，花开不逐春。试挂淮南竹，堪能见四邻。”这首诗表达了庾信对镜的喜爱，并引用了“万毕术”中的文意。

尽管刘安并不是光学家，但他在其著作中汇集了古代中国光学实验精华，向我们展示了一个丰富多彩的光学实验世界，激发了人们动手实验的欲望，从而推动了古代中国物理光活动的发展。

三、沈括

沈括（1031～1095）在许多领域都有很深的造诣，并取得了卓越的成就，被誉为“中国整部科学史上最卓越的人物”，其名作《梦溪笔谈》是集前代科学成就之大成。

沈括通过观察实验，对小孔成像、凹面镜成像等原理作了准确而生动的描述，他用“碍”的概念，指

出了光的直线传播、凹面镜成像的规律，并把光通过“碍”成像称之为格术。这里的“碍”是指某种特殊的几何点，例如小孔成像的孔、凹面镜的焦点。

沈括还注意到表面曲率不同与成像之间的关系，并以此对“古人铸鉴”时正确处理镜面凹凸与成像大小的关系进行了研究与分析，提出若将小平面镜磨凸，就可“全纳人面”。

古代中国人所谓“透光镜”，就是镜面为不等曲率的平面镜。沈括首次对透光镜作出科学的解释。沈括还第一次记录了“红光验尸”的内容。他指出，当尸体的伤痕不易发现时，可在中午用新的红油伞，罩在用水浇了的尸体上，则伤痕可见，这是因为红油伞实际起了滤光器的作用，尸体伤痕的青紫处，在红光下比在白光下看得更清晰。“红光验尸”是我国关于滤光应用的最早记载，至今还有一定的价值。

四、赵友钦

赵友钦（1279～1368）是宋朝宗室的后裔，在天文学、数学和光学等方面都有成就。他设计了一个相当完备而又十分复杂的大型光学实验，得出了小孔的像和光源的形状相同、大孔的像和孔的形状相同的结论，并指出这个结论是“断乎无可疑者”。用如此严谨的科学实验，来证明光的直线传播，阐明小孔成像的原理，这在当时是绝无仅有的。他的这些实验被记载在《革象新书》的“小罅光景”中。如果把赵友钦称之为13世纪末的光学实验物理学家，是当之无愧的。

五、方以智

方以智（1611～1671）是明代哲学家、科学家。1651年，方以智的《物理小识》出版，记述了虹吸现象、潮汐同月球运行的关系，对物质发光、光的传播、阴影的形成以及海市蜃楼等大气光象试图作出哲理性的解释，猜测地解释到晶体散射、大气散射和漫散射的光学现象。尤其值得注意的是，方以智在《物理小识》中阐释了他的“光肥影瘦”主张，认为光在传播过程，要向几何光学的阴影范围内侵入，使有光区扩大，阴影区缩小。方以智根据“光肥影瘦”

的主张，还批驳了传教士有关太阳直径将近有日地距离三分之一大的说法。

六、郑复光

郑复光（1780～1853）是清代科学家，精通数学、物理与机械制造。郑复光受西来望远镜的影响，少年时就喜好光学与光学器具的制作。郑复光说，他以德国传教士汤若望的《远镜说》为榜样，“推广其理，敢向‘犹贤谄吾痴焉耳’。”

郑复光的光学著作《镜镜论痴》（全书5卷，附录1篇，1846年刊刻）分“明原”、“类镜”、“释圆”、“述作”四部分。《镜镜论痴》是中国学者独自撰述的第一部几何光学专著，也是中国第一部近代意义上的科学专著。第一个“镜”字为名词。第二个“镜”字为动词，为“照”之意。“镜镜”就是用镜子照照。

“谄”原意为“叫卖”。“谄痴”为自谦词，意为“无才学”、“无高见”。“镜镜谄痴”一语可译为“光学愚见”、“光学浅说”。郑复光在完成此书的基础上，制造了中国最早的一台测天望远镜。20世纪初，梁启超在《中国近三百年学术史》中对该书给予了高度的评价。

七、邹伯奇

邹伯奇（1819～1869）喜好钻研科学技术，是中国19世纪下半叶的发明家。1844年，邹伯奇完成了两篇关于光学的著作《格术补》和《摄影之器记》。

《格术补》重点讨论了显微镜、多种折射和反射望远镜的结构、原理、性质，阐释了望远镜的视场、出射光瞳和渐晕等现象，并系统地吸收了西方光学知识。除此之外，邹伯奇还在中国创制照相机，建立摄影业。他拍摄的照片至今还收藏在广州市博物馆。他还是中国最早采用摄影技术来绘制地图的人，与西方人相比，基本上是同时用这项技术绘制地图的。邹伯奇还从《墨子》中发现了一些科学内容，并使《墨经》日益受到重视。

结语

古代中国光学均来自于对自然现象的观察和生产

经验的总结。由于人们的生产和生活需要，技术中蕴藏的 optics 知识被历代典籍辗转传抄，流传下来。这是我国传统科学的一个特点。在 optics 理论形成的过程中，工匠师傅的经验对从事科学研究的学者提供了有益的启示。因此，工匠的经验与学者的探索，一起构成 optics 发展的源流。

古代中国 optics 即使有一些定量记述，也多是为了师徒传授的方便。从史家的观点看，古代中国 optics 中相关的数学—物理方法的缺失，古代 optics 技术经验的记述以及学者“抓住本质”的素养，这些一起影响着 optics 的发展，甚至还影响着后来中国学者对西方科学知识的消化和吸收。

作为 optics 思想的发展，不妨借用一位名叫杨凯运的清代学者的话。他自己讲他的学术源流和思想发展的

脉络时说：

“吾道南来，原是濂溪一脉；大江东去，无非湘水余波。”其中“濂溪”为湖南潇水支流。北宋周敦颐，号“濂溪老人”。他在此悟道并创立理学。杨凯运性情孤傲，终生不仕。有人曾试他的才学、探问他的学问渊源，他脱口成此联。杨凯运自称学问来自濂溪，而他即便能成就“大江东去”的气象，那也不过是湘水的余波而已。此回答不但谦虚，也表达了他敢于担当、敢为天下先的精神。

如果借用杨凯运有关学问之师承，描述今日 optics 与古人的关系是非常恰当的。今日 optics 的基本精神和追求，与古代学者的研究传统是一脉相承的，这个传统就是要探索大千世界，找到构成万事万物的本原。

科苑快讯

可透视电脑芯片的新技术

研究者研发出一种透视硅片的技术，除此之外还提供了一种探查电脑芯片微小制造瑕疵的强大工具。为了证明方法的有效性，研究小组将辐射模式投射到 115 微米厚的硅片上，这会临时性地使电子在这种通常的半导体材料内部流动。在拥有导电性后，硅对于太赫兹辐射是透明的（太赫兹是指每秒上万亿个周期的辐射，此类辐射介于微波和红外辐射之间，波长为 150 纳米~1.5 毫米）。随后，研究者测量通过硅片反弹回来的辐射，以识别出现在硅片背面的物体或特征（图为 2 毫米×2 毫米的部分电路）。利用该技术，科学家能够发现小至 8 微米（约为人类最细头发直径的一半）的电路缺陷，他们在《科学进展》（*Science Advances*）期刊网站上做了报告。

研究者们指出，短期来看，该技术最可能的应用是工厂对电脑芯片实行质量监控；然而长期来看，或许可用于仔细检查生物组织的薄片和疾病迹象。但

是太赫兹成像技术不能用于人体厚切片或人体各部分的检查，因为水作为生命组织的主要成分会强烈吸收这些辐射的波长，而无法看到内部情况或导致辐射无法通过检查对象。

（高凌云编译自 2016 年 6 月 3 日 www.sciencemag.org）

