

沈括在物理学上的贡献

李 迪

(内蒙古师范学院数学系)

沈括(公元1031—1095年)是我国十一世纪杰出的法家和著名的科学家。他积极参加了王安石的变法运动,并直接主管财政、水利、兵器、历法等项改革,在历史上起了一定的进步作用。法家路线促进了科学技术的发展,在王安石变法的推动下,改革了国家的医药机构,提高了冶炼技术,整顿了司天监,在各方面呈现了一片兴旺景象。沈括在科学技术发展方面所取得的杰出成就,是同他积极参加变法的政治活动分不开的。当时,科学技术的发展,在某种意义上来说,沈括是集大成者。他为了执行法家路线的需要,突破儒家的重重阻碍,对科学技术进行了广泛的调查和研究,取得了许多重大成就。

沈括敢于同儒家保守思想斗争,勇于革新。在认识论上提出了“天地之变,寒暑风雨,水旱螟蝗,率皆有法”,“大凡物理有常有变”(《梦溪笔谈》卷7),“耳目能受而不能择,择之者心也”(《长兴集·孟子解》)等一系列朴素的唯物主义观点,有力地批判了儒家散布的“生而知之”、“天命论”等反动谬论,为科学实验开辟了道路。沈括的成就是多方面的,正如《宋史》指出的:“括博学善文,于天文、方志、律历、音乐、医药、卜算无所不通,皆有所论著。”(《宋史·沈括传》)这里仅就他在物理学方面的贡献作一简述。

一、对指南针的研究

指南针是我国古代人民的四大发明之一,是对世界文明的重大贡献。毛主席指出:“在很早的时候,中国就有了指南针的发明。”在沈括以前,人民群众在长期的社会实践中就发现了磁石的吸铁性,约公元前三世纪成书的《鬼谷子》中有“若慈石(磁石)之取鍼(针)”的比喻,而磁石的发现至迟在管仲(公元前?—645年)的时代。《鬼谷子》书中还有“郑子取玉,必载司南,为其不惑也”的记载。“司南”是一种指南仪器,后来唯物主义者王充(公元27—97年)更进一步说:“司南之杓,投之于地,其柢指南。”(《论衡·是应篇》)至于这种司南是否是磁石做的,目前有不同看法^[1,2]。但是,后来由于受儒家、道家的影响,磁石也就长期没有得到应有的发展。直到北宋时在海外贸易和战争的推动下,人们才去认真研究指南仪器,在一部兵书中记载了一种“指南鱼”(《武经总要》前集),被认为是一种指南装置^[2]。

关于指南针的最早的明确记载,见《梦溪笔谈》卷24。沈括在该书中下面的一段文字,在指南针史上占极重要的地位:“方家以磁石磨针锋,则能指南,然常微偏东,不全南也。水浮多荡摇,指爪及盃唇上皆可为之,运转尤速,但坚滑易坠。不若缕悬为最善。其法取新纆中独蚕缕,以芥子许蜡缀于针腰,无风处悬之,则针常指南。其中有磨而指北者,予家指南北者皆有之。”

从这段文字可以看出：第一，沈括对于指南针的研究和推广使用起了一定的作用，其后不久，即在航海上应用指南针的明确记载¹⁾。

第二，沈括试验研究了三种指南针装置方法，即把指南针放在水面上；放在指甲或盘边上；用一根新的蚕丝将指南针吊起来。他注意到第一种方法指南针在水面上“多荡摇”，不好用；第二种方法虽然运转灵活，但“坚滑易坠”，也不好。沈括认为唯有第三种方法“最善”。在他试验的三种方法中的确是如此。第三种线悬方法荡摇较少，而又不易滑坠，同时运转也较灵活。这种线悬法虽与现代指南针装置不相同，但给现代装置以启示，在那不久后出现的支轴式“指南龟”²⁾，便与现代装置接近了。

第三，沈括通过反复实验发现指南针所指方向“常微偏东，不全南”的现象。指南针“微偏东”现象就是现代科学上所说的地磁偏角，亦即地面上磁力线与地理子午线之间的角度。地磁偏角在地球上每个地点都不相同，而且逐年在变化，是偏东还是偏西也不一样。一般说来地磁偏角较小，最大者二十多度，普遍只有几度或不足一度。据现代研究，十一世纪时沈括常居住的长江下游地区一般不过是三一四度，这个数值在八百多年前的古代，如不进行长期多次试验观察，是不易察觉的。这是沈括在物理学方面的一项重大发现。

第四，沈括又发现指南针的针锋“常指南，其中有磨而指北者”的现象。为什么会这样呢？在这里他没有进一步解释，只是在这一条末了说：“磁石之指南，犹柏之指西，莫可原其理。”（《梦溪笔谈》卷 24）可是在另一处沈括有如下说明：“以磁石磨针锋，则锐处常指南，亦有指北者。恐石性亦不同。如夏至鹿角解，冬至麋角解。南北相反，理应有异，未深考耳。”（《补笔谈》卷 3）磁针的针锋有的指南有的指北，这是发现磁极的最早记录。由于时代的限制，沈括不可能认识这个问题，他只能笼统认为是因“石性不同”所造成的。

二、对光学的研究

光学也是我国古代人民研究较早的项目之一，早在春秋战国时代就做过许多光学实验。墨家学派在同儒家学派的斗争中，根据当时生产实践的需要发展了自然科学，实验了小孔成象、球面镜成象等光学原理³⁾，取得了很大成就。但是，后来很长时间内没有重大进展，原因当然是多方面的，儒家阻碍科学技术的发展不能不说是个主要原因。沈括则打破了这种局面，对光学做了许多实验研究，使之在我国又向前发展了一步。他的研究内容比较广泛，主要有以下几项：

第一，解释了凹面镜照物成倒象的道理。凹面镜照物成倒象的事实，古代人民虽已发现，但认识还不很清楚。沈括作了如下正确的解释：“阳燧（凹面镜）照物皆倒，中间有碍故也。……如人摇觥，臬为之碍故也。若鸢飞空中，其影随鸢而移，或中间为窗隙所束，则影与鸢遂相违：鸢东则影西，鸢西则影东。又如窗隙中楼塔之影，中间为窗所束，亦皆倒垂，与阳燧一也。阳燧面洼，以一指迫而照之则正；渐远则无所见；过此遂倒。其无所见处，正如窗隙。觥臬腰鼓碍之，本末相格，遂成摇觥之势，故举手则影愈下，下手则影愈上，

1) 朱或，《萍洲可谈》（公元 1119 年）；徐兢，《宣和奉使高丽图经》（公元 1123 年）等。

2) （宋）陈元靓，《事林广记·神仙幻术》。

3) 高亨，《墨经校诂》，卷 3，中华书局，1962 年。

此其可见。”(《笔谈》卷3)沈括在这里用了很生动的例子解释了形成倒象的原因,通过手指的多次实验,清楚地认识到凹面镜上倒象的产生,是因为凹面镜与物体之间有个象窗隙、罅鼻、腰鼓那样的“碍”的缘故。“碍”起束光的作用,光为“碍”所束,因而出现“本末相格”的现象。“本”是物体,“末”是物体在凹面镜上的象,“相格”就是指象与物体的倒正恰相反。沈括通过实验注意到,物体在凹面镜上并不永远成倒象。试把手指放在靠近镜面的地方就不得倒象,而是正象,用现代的话来说就是物体位于镜面与焦点之间,亦即物体与镜面位于焦点的同侧,这时光线不被“碍”所束,故只能成正象。然后把手指向远移动,到“碍”处(即今所谓之焦点)则象“无所见”,即不成象。继续向外移动,“过此遂倒”,即成倒象了。象这样深刻地研究凹面镜成象原理在沈括以前还没有过。

对于前人的错误说法,沈括也给予了批判。唐代段成式在《酉阳杂俎》中有所谓“海翻则塔影倒”的说法,这是非常荒谬的,沈括把它斥之为“妄说”,写道:“《酉阳杂俎》谓‘海翻则塔影倒’,此妄说也。影入窗隙则倒,乃其常理。”(《笔谈》卷3)在沈括看来,通过小孔成倒象是一种习见的常识,毫不足怪。沈括的解释说明了光的直线进行的事实,符合近代科学原理。但是他把凹面镜的焦点与小孔混淆起来,是不正确的。

第二,关于月相的演示实验。在两千多年前已经发现月不发光,人所见的月光是反射的太阳光。《周髀算经》上就有:“日兆月,月光乃出,故成明月”的记载。根据这种正确认识,逐渐研究了月相变化的规律,但是还没有通过演示实验去认识月相的产生和变化规律的科学道理,沈括是第一个这样做的科学家。他在回答别人月亮是象个圆球还是象个扇面(指平面)的问题时讲了关于月相变化的光学演示实验。他写道:“日月之形如丸,何以知之,以月盈亏可验也。月本无光,犹银丸,日耀之乃光耳。光之初生,日在其傍,故光侧而所见才如钩。日渐远则斜照而光稍满。如一弹丸,以粉涂其半,侧视之,则粉处如钩;对视之,则正圆。此有以知其如丸也。”(《笔谈》卷7)这项光学演示实验很简单,把一个银球当做月亮,一半涂上白粉表示向太阳的一面,然后从不同的方向去观察,就可以见到“月相”的变化。沈括以此证明月为球形而非扇形。

第三,关于球面镜的曲率与象大小关系的论述。古代铸镜的工匠在长期实践中发现:镜面大的平些,镜面小的凸些,为什么要这样做呢?对这个问题长时期以来很少有人进行探讨。沈括对于古代遗留下来的铜鉴(照面用的铜镜)作了许多研究,比较了它们的凹、平、凸形状和象的大小,从而发现一种关系。他说:“古人铸鉴,鉴大则平,鉴小则凸。凡鉴洼则照人面大,凸则照人面小。小鉴不能全观人面,故令微凸,收入面令小,则鉴虽小而能全纳入面。仍复量鉴之小大,增损高下,常令人面与鉴大小相若。”(《笔谈》卷19)这段话包括两方面内容,其一讲原理,即凸面镜的放大率与面镜的曲率间的关系,曲率越大则象越小,反之,曲率越小则象越大,当曲率趋于零时,则象的大小接近物体的大小,由平面所生的象与物体同大。沈括的认识是符合事实的。其二是沈括根据原理讲了铸铜镜的技术要求,认为镜面应当微凸以便把人面全部收入镜内。

三、在声学上的贡献

沈括在声学上也有很大贡献,特别是对于共振的研究尤为突出,解释了共振现象,作了弦共振的科学实验,此外还对筒状声源的圆、扁形状与振动在听觉阈限内存在时间长短

的关系,提出了看法。现分述于下:

第一,对筒状声源的圆、扁形状与振动在听觉阈限内存在时间长短的关系的认识。古代金属制造的乐钟都是筒状的,但有圆、扁之分。由于圆、扁形状的不同,其振动在听觉阈限内存在的时间长短也有变化。沈括通过研究,总结出如下的简单规律:“古乐钟皆扁如盒,瓦盖。盖钟圆则声长,扁则声短。声短则节,声长则曲。节短处声皆相乱,不成音律。……”(《补笔谈》卷1)这两种筒状钟在产生振动之后,虽然振幅都同样要衰减,但是圆钟要慢些。因此,圆钟的振动在听觉阈限内存在的时间将比扁钟长,即沈括所说的“钟圆则声长,扁则声短”。后几句话是讲由于声长和声短所产生的某些声学现象,特别是因声短出现“声皆相乱,不成音律”的现象。有人用板振动簧片的长度解释声音长短^[3],不合沈括原意。

第二,对共振的认识。共振是一种常见的声学现象,古代由于演奏乐器等实践活动就已经发现了。早在战国时期人们就记载有“鼓宫宫动,鼓角角动,音律同矣”(《庄子·徐无鬼篇》)的话。“宫”和“角”都是古代的音名,此外还有“商”、“征”、“羽”,合起来为宫、商、角、征、羽,叫做“五音”。以后又发展成七音。用现在的话来说,就是它们表示乐器振动产生的不同的波长。上面的话是说波长相等的两条弦发生共振。后来在许多书籍中有类似记载,提到共振在沈括以前老早就被发现了,因此,有人认为沈括“从七弦琴发现物理学上的共振现象”^[4]是没有根据的。但沈括确实详细地研究过共振,并且认为共振是一种普遍规律,而不是个别乐器的偶然现象。他曾经讲了这样一件事:“予友人家有一琵琶,置之虚室,以管色奏双调,琵琶弦辄有声应之,奏他调则不应,宝之以为异物。殊不知此乃常理。二十八调但有声同者即应;若徧二十八调而不应,则是逸调声也。……偶在二十八调中,人见其应,则以为怪,此常理耳。此声学至要妙处也。”(《笔谈》卷6)意思是说由于以管乐器吹奏燕乐二十八调中的“双调”而引起一只琵琶的弦发生共振,如果吹奏其他调式则不产生这种现象,没有什么可奇怪的。沈括认为这是一种“常理”,声学最奥妙之处就在这里。由此可知,沈括已认识到共振是自然界一种比较普遍的规律,并不是什么所谓“异物”。他又谈到七弦琴“故鼓之六与一应,七与二应,皆不失本律之声。”(《补笔谈》卷1)也是讲的共振现象。

沈括为推行法家的军事路线对各种兵器进行了广泛的研究,其中也涉及到声学问题。例如他说:“古法以牛革为矢服,卧则以为枕,取其中虚,附地枕之,数里内有人马声,则皆闻之,盖虚能纳声也。”(《笔谈》卷19)“矢服”就是装箭头的皮囊,中间是空的,一头开口,实际是一种开口气柱。所谓“数里内有人马声,则皆闻之”,就是人马声引起了气柱的共鸣。古代早已在实践中发现了这种现象,例如《墨经》中就有把缸放在井中,以探听声音的记载。因而把矢服枕在头下,用以探知数里内敌人的声音的作法,可能是古已有之。沈括说这是“虚能纳声”,也就是他解释了气柱共鸣。当然,这里也利用了声波在固体物质中的传播作用,这是沈括没注意到的。

第三,弦共振实验。沈括不仅对共振现象进行了观察和解释,而且做了很好的实验。他的实验是这样的:“琴瑟弦皆有应声:宫弦则应少宫,商弦即应少商,其余皆隔四相应。今曲中有声者,须依此用之。欲知其应者,先调诸弦令声和,乃剪纸人加弦上,鼓其应弦,则纸人跃,他弦即不动。声律高下苟同,虽在他琴鼓之,应弦亦震,此之谓正声。”(《补笔

谈》卷 1) 这段话是讲七弦琴的共振问题, 包括三个方面的内容: 即乐器的共振是一种普遍现象, 不论是一件乐器或是两件乐器“皆有应声”; 做了有趣的共振实验, 把琴的弦调好, 在每条弦上加纸人, 去弹琴, 结果“应弦”上的纸人就跳动, 其余弦上的纸人则不动; 解释了共振的形成是由于声律高下相同, 这种解释和现代所说的波长相同本质上是一样的。这里主要的是共振实验, 它不仅生动形象, 而且是一种简单易行的实验方法, 在低频率的情况下现在仍可使用。因此, 弦共振实验是沈括一项很有意义的贡献。

四、沈括在物理学史上的重要地位

沈括在法家思想指导下通过自己的实践, 在物理学的磁学、光学和声学三个方面都取得了成就。对于力学也有很重要的记述, 例如记录了潮汐的成因与月亮运动的关系, “予尝考其行节, 每至月正临子午则潮生, 候之万万无差。”(《补笔谈》卷 2) 同时批判了卢肇关于潮汐的“日出没所激”而成的说法。沈括的见解虽然忽视了太阳引力的作用, 而且晚于燕肃的记述¹⁾, 但潮汐的发生确实受月的引力作用更大, 现象也显著, 尤其是他再一次通过实际观察, 所得结论对后人正确认识潮汐有较大影响。

沈括在物理学方面的成就在世界物理学史上占重要地位, 不少成果是领先的。对于指南针的研究和使用, 我国是世界上最早的。沈括以后通过航海等社会实践, 逐渐传到外国, 先到阿拉伯, 再到欧洲。现在人们普遍认为阿拉伯和欧洲文献上有关指南针的记载在十二世纪末到十三世纪初⁵⁾, 恩格斯说: “磁针从阿拉伯人传到欧洲人手中, 1180 年左右。”就是说, 欧洲人对指南针的了解和研究至少比沈括晚约一百年。

沈括发现的地磁偏角现象也是世界科学史上的最早记录, 这在外国到十五世纪末才发现。公元 1492 年意大利航海家哥伦布横渡大西洋发现新大陆时才观测到地磁偏角的现象, 并且同时发现这种偏角有变化⁶⁾。这比沈括的同一发现晚四百年以上。

最近有人在文章中说到沈括发现磁偏角的优先地位时说, 在欧洲直到公元 1544 年德国人哈尔特曼才发现磁偏角⁷⁾, 这是不对的。事实上, 哈尔特曼发现的不是磁偏角, 而是磁倾角⁸⁾。这里显然是把磁偏角与磁倾角混淆了。世界上第一幅磁偏角图是 1530 年画成的⁹⁾, 此事也在所谓哈尔特曼发现磁偏角之前。

我国除开《墨经》所论光学外, 沈括在光学方面的成就虽稍晚于阿拉伯的阿尔·海森 (Al-Hazen), 但早于欧洲。在沈括的时代, 欧洲人对于光学还很少研究。直到十三世纪英国哲学家罗吉尔·培根才开始研究光学, 他的重要成就是对虹的解释, 认为虹是空中无数水点生成的¹⁰⁾。这种见解阿尔·海森和沈括的记载中都提到了, 沈括曾亲自观察过虹现象, 从而证实了“虹两头皆垂涧中”, 和前人孙思恭所说的“虹乃雨中日影也, 日照雨则有之”(《笔谈》卷 21) 的说法, 比培根的看法早二百年。

关于共振的研究, 沈括也早于欧洲。意大利达·芬奇和伽利略都研究过共振, 达·芬奇作过共振实验, 他发现一条弦的振动能引起另外的弦发生共振, 又研究过两钟的共鸣现象¹¹⁾。伽利略则进一步解释了这种现象产生的原因, 是一根弦的振动通过空气传到了第

1) (宋)王明清,《挥尘录前集》卷 4。

二根弦^[12]。他们的研究成果在一定程度上超过了沈括,特别是伽利略的认识更深刻,但是他们比沈括晚了四一五百年。

统观上述,可以看出沈括在物理学史上的重要地位,他所获得的许多成就和记录达到当时世界最高水平。仅就物理学的研究和成就,沈括也不愧为我国历史上杰出的科学家。毛主席说:“在中华民族的开化史上,有素称发达的农业和手工业,有许多伟大的思想家、科学家、发明家、政治家、军事家、文学家和艺术家,有丰富的文化典籍。”沈括就是这些伟大的科学家和政治家之一,他所著《梦溪笔谈》是我国科学史上一部重要著作,一部内容丰富的文化典籍。英国学者李约瑟把这部书称为“中国科学史上的坐标”^[13],是不为过誉的。

几千年来,我国古代劳动人民,创造了灿烂辉煌的文化,我国古代劳动人民以自己一系列的伟大发明,有力地推动了世界文明的发展,对人类作出了重大的贡献。这些都雄辩地证明我们中华民族“有自立于世界民族之林的能力”。今天,在无产阶级的领导下,我们有党和毛主席的正确领导,有毛主席的无产阶级革命路线,全国人民奋发图强,一定能够在本世纪内把我国建设成为社会主义的现代化强国,对于人类作出较大的贡献。

参 考 文 献

- [1] 王振铎,《司南指南针与罗经盘》,中国考古学报,3(1948),4(1949),5(1951).
- [2] 刘秉正,物理通报,1956,8,458.
- [3] 陈茂定,物理通报,1958,8,479.
- [4] 《法家路线促进我国历史上科学技术的发展》,人民日报,1974年7月20日;柯济,教育革命通讯,1974,7,53.
- [5] 《中国科学技术发明和科学技术人物论集》,三联书店1955年版,第21—32页.
- [6] 弓长重泰(秦亚修译),《物理学史》,商务印书馆1950年版,第24页.
- [7] 裴 震,《法家沈括及其在自然科学上的成就》,光明日报,1974年8月20日.
- [8] P. Dunsheath, A History of Electrical Engineering, 1962.
- [9] Л. И. Бачинский 等(阎喜杰译),《物理学手册》,商务印书馆1957年版.
- [10] 郑太朴,《物理学小史》,商务印书馆1947年版,第20页.
- [11] 同文献[10],第27页.
- [12] 马大猷,物理通报,1958,8,477.
- [13] J. Needham (李约瑟), Science and Civilization in China, 1 (1954), 135.