

# 世界上最早的太阳视运行 轨道椭圆学说

——读沈括《梦溪笔谈》第128条

杨纪珂

宋代科学家沈括所著的《梦溪笔谈》第128条中，有一段深奥的文字，原文如下：“黄道环天正圜。圜之为体，循之则其妥至均，不均不能中规衡；绝之则有舒有数，无舒数则不能成妥。以圜法相荡而得衰，则衰无不均；以妥法相荡而得差，则差有疏数。相因以求从，相消以求负。从负相入，会一术以御日行。以言其变，则秒刻之间消长未尝同；以言其齐，则止用一衰。循环无端，始终如贯，不能议其隙。此圜法之微，古之言算者有所未知也。以日衰生日积，反生日衰。终始相求，迭为宾主。顺循之以索日变，衡别之以求去极之度。合散无迹，泯如运规。非深知造算之理者，不能与其微也。其详具予奏议，藏在史官，及余所著《熙宁晷漏》四卷之中。”

在《梦溪笔谈》的六百多条笔记中，这一条笔记的主要特点有四：一、所记的是沈括“皆非袭蹈前人之迹”的和“古之言算者有所未知”的科学实测和推算的研究成果；二、这项天文观测工作持续进行了“凡十余年”；三、他自己对这一成果的评价很高，说：“非深知造算之理者，不能与其微也”；四、其内容很丰富，为此沈括写了奏议和四卷《熙宁晷漏》，可惜书已亡失，他的奏议也未传世。

象这样一位我国古代伟大的科学家对他自己辛勤工作了十多

年才作出的，而且评价得如此之高的一项科学研究成果，确实非常引人注目。究竟有什么内容呢？这个内容被精炼在上面一小段的文字中，由于文义深奥隐晦难明，九百年来一直没有被注释出来。也一直是注释《梦溪笔谈》的同志们所公认的一桩憾事。

沈括在这条笔谈中所讨论的，是在用圭表和日晷所测得的，视太阳时和用浑仪和浮漏所测得的平太阳时之间的差——视差。但在这段文字中却隐藏着一个太阳视运行轨道椭圆学说在内。如果把文中的“无舒数则不能成妥”改两字成为“无舒促则不能成椭”，也就是把其中的“妥”和“数”看作为“椭”和“促”的假借字，“妥法”就是“椭法”，再跟近代天文学中的视差曲线相对照，这个世界上最早的太阳视运行轨道椭圆学说就跃然于纸上了。

为什么沈括不直接用“椭、促”而采用它们的假借字“妥、数”呢？这要从当时在新旧争端非常激烈，使沈括的处境有点与欧洲哥白尼的处境相仿这一点来分析。因为当时钦天监的官员们对沈括和平民天文数学家卫朴修改历法和提出新的天文学见解，先之以“疑、骇、怪、怒”，继之以“攻、骂”，又继之以“恶朴之术过己，群沮之，屡起大狱”，阴谋陷害他们。但是“终不能摇朴”，当然也不可能动摇沈括。他们仍然坚持他们所提出的科学真理。沈括在经过了十多年的观测和计算后，得出了太阳的视运行是个冬天近而快（促）、夏天远而慢（舒）的椭圆（妥）轨道。他认为太阳在它的视运行轨道上，只有作等速运行时才会有正圆（圜）轨道。要是有舒有促，那么虽然它的投影是正圆的，可是它实际的视运行轨道就只能是椭圆的。但是惨痛的教训提醒他，如果直截了当地提出这一轨道“有舒有促”或“成椭”的学说，那无异为钦天监官员们的“攻骂”和“兴大狱”开方便之门，授之以柄了。因为黄道历来都被认为是与正统王朝命运攸关的最重要的天象。各代皇帝对钦天监之奏都很认真对待。故钦天监的官员虽然其表面上的任务是对黄道等天象的实测，实际

上却往往在国家大事的节骨眼上有“一言定局”的大权。王朝既然“上应天象”是“正统的”、“永久的”，那么作为天象本身的黄道，又岂可在实际上是“不正的”、“椭圆的”，而且有时还是“短促的”呢？这个在现代人看起来是十分荒谬的把柄，在那时要是被钦天监官员们抓到手，试想他们对卫朴把交节气的时时间移了五十多刻尚且要“兴大狱”，对沈括的这一“异端”，能够默然容忍，不兴特大的“狱”吗？

欧洲的哥白尼为了避免入狱遭刑，到临死才把成果传授给布鲁诺，布鲁诺却为此而被惨杀。沈括却比哥白尼聪明：他一方面不轻易地在白纸上落黑字授人以把柄，另一方面也决不会把他十多年来通过辛勤的“实考天度”所发现的宇宙现象轻易地抛却而不予记载。他为了把这项极其重要的发现保存下来，留待后世有识之士去验证与承认，同时又不让那些有权而无识的官员们，找到陷害他的把柄，于是他采取了另一种战术：即有意识地把两个有关键性的字“椭”和“促”改用了同音同韵而且有一定程度同义却又不犯忌讳的假借字“妥”和“数”。在宋朝人所用的词韵中，“妥、椭”两字都归在上声的“哿”韵里，而且在“哿”韵里与“椭”同音的只有一个“妥”字。这两字不但同韵，而且从音训上分析，还属于同音同义。这可以从“妥、绥、隋、椭”这组字的音训来看。“妥”与“绥”古字通，见《辞海》对“绥”字的解释，引清代汪远孙为《尔雅释诂》所作的注。“绥”又与“隋”通，见《礼记》：“不旅不假，不绥祭”。《仪礼》注：“黍稷之祭为隋祭”，郑玄注：“谓绥祭也”。可知在春秋时代“隋、绥”两字相通。“隋”又通“椭”，都作长圆形解，见《诗经》：“隋罍日斧”。清代陈奂传疏：“罍者斧柄之孔。隋，孔形狭而长也”。实际上“隋、椭”是同义的异体字。因此以上四字不但同音，而且在一定程度上同义。那么沈括为何单取“妥”字作为“椭”的假借字呢？我理解其原因有二：一是宋代文人填词用韵

择字极严，在那时的“哿”韵中已不收“绥”字和“隋”字，二是“隋”和“橢”是同音同义且大部分同形的异体字，太明显；所以只有“妥”字最妥。可以想象，沈括当时选用“妥”字来作“橢”的假借字，以之与有正圆意义的“圓”字相对立，用“妥法”和“圓法”作为两个数学方法的名词，是煞费苦心的，也是很机智巧妙的。它们具有在音训上相通的很强的逻辑性，决不是出于牵强附会。

沈括还需用一个与太阳在夏天距地远又走得慢的“舒”字相对立的形容太阳在冬天距地近又走得快的字。最贴切的莫过于“促”字，他想用而又不肯用，因为用这个字来形容太阳在冬天距地近又走得快虽然再好不过，可是更容易招致物议和攻击。于是他用了同韵同音的“数”字。我查词韵中入声的“沃”韵里所收的与“促”同音的只有两个字。那就是“数”和“趣”。沈括采用了“数”，可能因为“数”比“趣”更加隐晦；而且当“数”音“促”时作“细密”解，“密”和“近”同义，于是就用了这个同韵同音且部分同义的“数”字作为“促”的假借字。除此而外，还可以从沈括自己写的《浑仪议》中的一段话得到证明。他在这段文字中批评唐代梁令瓚所监造的浑仪的缺点时说：“……其六，令瓚以辰刻十干八卦皆刻于纆，然纆平正而黄道斜运；当子午之间，则日径度（即走近路）而道促；卯酉之际则日迤行（即走远路）而道舒。……”在这里沈括就是用“促”字来表达“近”的意义，以与表达“远”的意义的“舒”字相对立。“道促”就是“路途短近”，“道舒”就是“路途长远”。他在此议中又说：“日行则舒则疾”，显然“舒、疾”就是“慢、快”的对立字。由此可见，沈括在早年指出前朝人的工作缺点（不当把度数刻在浑仪的地平圈上）时，就无所忌讳，直截了当地用“促”或“疾”字以与“舒”字相对；但到晚年历尽折磨后，在《梦溪笔谈》中记录他自己的研究成果时，由于投鼠忌器，使作

品能够流传后世，不致遭受销毁之灾，就把当时封建意识浓厚的统治阶级所不喜欢的字眼“促”字换成了“数”字，而“舒”字由于无甚干碍而仍旧沿用，未加改动。所以说，“数”字是“促”的假借字，应该是毫无疑义的。布鲁诺勇于争论，虽遭杀身之祸，但使哥白尼的学说大白于天下；沈括明哲保身，隐晦求全，然而这一重要学说却经历了九百多年鲜为人知。两相对比，令人不禁感慨系之！

有了以上的音训，沈括所写的这段难解的文字，基本上可以索解了。试译之如下：

“黄道在天球上环绕，呈正圆形的“圜”。如把圜作为一种（几何）体看，沿着它（对赤道的斜度）的变差，应该是极有规律性的，因为没有规律性就不能用数学方法来计算度量。但是它的实际运行，却是有时远而慢，有时近而快（所以是椭圆形的）。因为要是没有这种有时远而慢，有时近而快的现象，就不能成为椭圆。用正圆的数学方法来比较它的波动变化，得出的差数称为“衰”，“衰”的变化很有规律性。再用椭圆的数学方法来比较它的波动变化，得出的差数称为“差”，“差”的变化有时慢点有时快点。（同向的“衰”和“差”）相加得出“从”（异向的“衰”和“差”），相减得出“负”。把“从”和“负”迭加起来，集合成为一条曲线，就可借以追踪太阳的运行。要说它的变化吧，那么每秒每刻的消长情况都不相同；要说它的规律性吧，那么只消用一个变数就得。它是年年周期性地重演而头尾相连贯的，中间找不到有（突然变化）的空挡。这是计算黄道运行的数学方法的深奥之处，是过去的天文数学家们所不知道的。这样，从每日的负时差渐变到每日的正时差，又从而反过来渐变到负时差。它们头尾连续，交替着作为宾主。顺循这条（时差曲线），就可以求出太阳每日的时差，衡别它就可以求出（黄道上各点）距北极的度数。（圭表、日晷和浑仪、浮漏的时间）的相合和分

散的情况都（和计算结果）吻合得没有痕迹，象用圆规来画图那样地精确。要不是深切地了解其中数学原理的话，是无法作出如此精确的计算的。以上的详细内容写在我所著的四卷《熙宁晷漏》一书中。”

以上的译文除了少数地方还略感牵强外，大体上是可以近代天文学的时差曲线来作个对照，并译出沈括所用的各个数学术语的。因此，我除文字翻译外，还画了三张图解（见封二、封三）。其中试图用近代的作图来对沈括这段文字作注释。现在我们知道产生总时差的原因有二：一是由于黄道的斜度，二是由于地球椭圆轨道的偏心度和运行的变速性。每个原因都产生一个时差分量（记为 $\delta_1$ 和 $\delta_2$ ）。这跟沈括在《浑仪议》中所提出的“周天之体，日别之谓之度。度之离其数有二”的结论相符。在这里他又对用“圆法”和“妥法”所算得的“衰”（ $\delta_1$ ）和差（ $\delta_2$ ）的“相因”（正负号相同时的相加）和“相消”（正负号不同时的相减），也就是对这两个时差分量的代数和（ $\delta_1 + \delta_2$ ）说得非常清楚。把两条曲线迭加起来，也就是把结果所得的“从”和“负”（ $\delta$ ）集合起来（“相入”）以“御日行”，写得更是简练确切。所有这些都只能归纳出一个结论，那就是沈括在计算时差的同时，提出了太阳视运行轨道椭圆的学说，虽然他仍相信以太阳绕地球而转的浑天学说。

对于沈括在当时的情况下是否能够提出这样重大的科学结论，大家不免有不少的疑问。现在因限于篇幅，只能对这些疑问谈谈自己的看法，不当之处，请予指正。

疑问之一，“即使沈括所说的‘妥’字就是‘椭’字，何以见得这种‘椭’就一定是有近于代数学定义的椭圆？沈括用当时的数学和计算技术，是否可以算得出椭圆的轨迹？”我曾对一只商代的椭圆形的青铜觶作了实际的测量和配线，发现它的椭圆形的顶口和底座都和椭圆公式 $b^2x^2 + a^2y^2 = a^2b^2$ 吻合得非常好。

足见古代劳动人民早已掌握了椭圆的画法和工艺。至于沈括当时是怎样计算椭圆轨迹的，我们不知道，主要是因为《熙宁晷漏》一书亡失之故。但至少我自己找到了一个，只需用当时所已知的四则、平方、开方、勾股法和沈括所发明的会圆术，就能计算出椭圆轨迹的方法。这个方法不需要近代的数学知识。

疑问之二，“用浮漏来测量平太阳时，精确度是有限的，靠它能算出椭圆轨道所需的精度吗？”浮漏的精确度，由于受水的表面张力的温度效应之故，确实是低的。但沈括已从实践中发现了这一现象。他千方百计地想克服浮漏在“水性”上“冬月水涩、夏月水利”的缺点，可是“终不应法”。因此他用浑仪对恒星的观测来校正浮漏的误差，如同他所说的“验诸浑象，考数下漏”的方法。关于沈括对总时差的实际观测的精确度，还可以从以下一些事实来看：（1）根据薄树人同志的考证，宋代天文观测精确度已能达到0.1度以内。（2）沈括的天文观测工作的精确性在宋代是很突出的，有两事为证：一是他为了校正浑仪对极星的窥管，在三个月内画了两百多张图，最后不但使极星始终可窥，而且量出了它的极距（《笔谈》第127条）。二是他说月道与黄道交点每月后退“一度余”（《笔谈》第131条），这与现代测得的 $1^{\circ}5'$ 相同。（3）他对当时所用的天文仪器详加研究，指出它们的缺点，全部予以改制。（4）估计他的精确度可达0.02度。即使退一步，他的精度也只有0.1度，由于平均数的精确度随着重复数的平方根而增高，所以他只消有十六批数据取其均值，其精确度就可提高到0.025度左右。这对计算一个虽稍粗但确属椭圆的轨道来说，已是绰绰有余了。

疑问之三，“在沈括和卫朴所编的《奉元历》以前和以后的各种历法对黄赤道差的计算方法，都是‘相减相乘招差术’。从科学发展的演变来看，沈括所用的也应是招差术，怎又冒出两个‘圆法’和‘妥法’呢？”我不否定科学逐渐循序发展的看法。

但在科学史上占更重要位置的是各种革命性的发现、发明和创造。沈括在这个问题上的创见，在128条的第二段中也可以见到。他批判了相减相乘招差术的“至交一气，则顿易刻衰”这种阶梯型变化的不合理性，批判了“强为之数以步之”这种用数字来硬凑的方法的不合理性。他认为应该用“冥然混会”的“真数”方法作出“其消长以渐”的“秒刻之间消长未尝同”的结果，才为合理。这完全符合近代用连续变量的函数来描述自然现象的定量方法。他在这样地批判了前人的方法之后，才提出了圜法和妥法，强调“皆非袭蹈前人之迹”，因此无论如何不能把沈括所发明的更科学的方法和招差术等同起来。《奉元历》失传，但前后的《仪天历》、《明天历》、《观天历》等皆得传世。推测起来，有非常大的可能是沈括的革命性的科学创见，为钦天监有权势的官员们所恶，在“屡兴大狱”之后，《奉元历》连同其中的方法就销毁无存了，复古派又复用了招差术旧法来编制《观天历》。所以我的看法是沈括所用的圜法和妥法决不是他所批判的相减相乘招差术，而是一种后来又被钦天监官员所鄙弃但却更加先进的新算法。

疑问之四，“从时差曲线看，在近日点和远日点的斜率都是负的，因此每天日圭上的视太阳时在这两点附近都应比用浑仪和浮漏所测得的平太阳时大。据此，沈括在128条中所说的‘冬至日行速，天运已期，而日未过表，……’是否有误？”我认为句中的“未”字，原为“已”字，是被后人窜改的。原文应为：“予以理求之：冬至日行速，天运已期，而日已过表，故百刻而有余；夏至日行迟，天运未期，而日已至表，故不及百刻。”翻译出来，乃是：“冬至太阳在黄道上走得快，过了一个恒星日，太阳已过了圭表上规定的恒星日标尺，所以（一个动力太阳日比一个动力平太阳日的）一百刻多（十多秒钟）；夏至太阳在黄道上走得慢，还没有过一个恒星日，太阳就到达圭表上规定的恒星日标尺，所

以（一个动力太阳日比一个动力平太阳日的）一百刻不到（十多秒钟）。”以上天文名词定义见文后注释。他的“以理求之”的“理”字也就是他所说的“造算之理”。这只能是把他所测得的时差（ $\delta$ ）刨除当时所已知的黄赤道差（ $\delta_1$ ）的运算，然后得出“故百刻而有余”和“故不及百刻”的结论。如果他不作此项运算，就不会说“以理求之”，也不会用这个“故”字了。后来的人当然不会天文算法，只看到这段文字中的“…已…已…，…未…已…”在对仗上不工整，都以为沈括把第二个“已”字写错了。于是在后来的版本中就出现了把它窜改成为“未”字的与科学原理不合之处，这也是不足为怪的。

“熙宁”是宋神宗的年号，年代是公元1068—1077年，沈括的《熙宁晷漏》四卷当成书于此期内。在欧洲，首先作出行星循椭圆轨道绕日运行的天文数学家是凯卜勒。他原是一位天文和数学教师，后来在布拉格充任奥国皇家天文观测家第谷晚年的助手。第谷去世后，他于1601年继任为皇家天文学家。他利用了第谷所观测到的大量行星运行数据，通过极其繁冗的计算和拟合后，获得了行星运行的三大基本定律，后世称之为凯卜勒行星运行定律。第一、二定律发表于1609年，第三定律发表于1618年，是在沈括写《熙宁晷漏》之后大约550年。

在传世的实物证件中有一件十六世纪威尼斯雕刻家米乃里在一块直径102毫米黄铜盘上刻的天宫图，置于一个大理石雕象之下。后面刻有米乃里开工于1527年2月14日，完工于6月15日。从天宫图上的方位加以计算，它所代表的时间是1527年6月15日下午1时，是威尼斯贵族米契尔的生日。从这张图看，黄道十二宫是圆形的。

欧洲传世的天体运行图还有1472年普尔巴哈的两头尖梭子形太阳绕地运行的轨道图。图形简单，除了中央有“地”一词外，别无其它文字说明。这在欧洲是最早的天文学文献了。据西方历

史学家的考证，欧洲文艺复兴时期的天文学家，都以阿拉伯在伊斯兰中世纪天文学家阿尔哈成的学说为宗。阿尔哈成(965—1039年)倡球壳形太阳运行轨道学说。他认为宇宙含九个球壳，一个包一个地滑动，在地球的球壳外，还有六个其它行星的球壳和一个恒星的球壳。最后，在宇宙的外缘乃是群球壳之球。太阳的球壳则是偏心的，它的内表面与地球球壳的外表面相切，它的外表面则与宇宙球壳的内表面相切。其中含有一个第二球壳，它带了太阳从西到东径黄道的两级循一轴而旋转，太阳乃是镶嵌在这第二球壳上的圆球。

在阿尔哈成学说问世后大约一百年，即1100年在阿札奎尔的书里画出了同一圆盘两面的图：一面是金、木、火、土诸行星的轨道，另一面是水星、月球和太阳绕地球运行的轨道。经核算，这些图形都不准确。可是他画出了水星的轨道是卵圆形的，其它都是正圆形的。显然，几百年后文艺复兴时期的欧洲天文学家对此未予重视。

从以上的考证说明在沈括这样地提出了太阳视运行轨道椭圆学说之前，在阿拉伯和欧洲国家中还没有人提出过类似于沈括的学说。不妨认为沈括是世界上第一位提出太阳视运行轨道椭圆的古代科学家。在世界科学史上，我认为应该添上这重要而且光辉的一页！

### 参考文献：

- (1) 薄树人：《中国古代恒星观测》，科学史集第三期(1960)。
- (2) 严敦杰：《中国古代黄赤道差计算法》，科学史集第一期。
- (3) 沈括：《梦溪笔谈》第127、128、131、301诸条。
- (4) 沈括：《浑仪议》，《宋史》卷四十八。
- (5) 张文虎：《书梦溪笔谈后》，《舒艺室杂著》甲编卷下。
- (6) 钱宝琮：《授时历法略论》，天文学报四卷二期(1956)。

(7) Satterthwaite, G. E. Encyclopedia of Astronomy, 1970.

(8) Dampier, W. C., A History of Science, 1944.

(9) 杨纪珂:《椭圆和行星卫星的轨道》,人民教育出版社1984年。

### 沈括所用名词解释

① “一百刻” = 1 动力平太阳日。所谓动力平太阳乃是一个假想的太阳,它跟真太阳在近日点和远日点,两处重合,但沿着天球上的黄道作等速运行。

② “天运已期” = 用浑仪校正的浮漏上的1 恒星日的刻度。所谓恒星日乃是一颗假想的恒星因地球的自转但不计其公转所引起的视运动单位, 1 恒星日 = 1 动力平太阳日 -  $\frac{1}{365.25}$  日。

附图:《梦溪笔谈》第128条中一段文字的图解注释(一)(见封二), (二)(见封三)。

作者工作单位: 中国科技大学

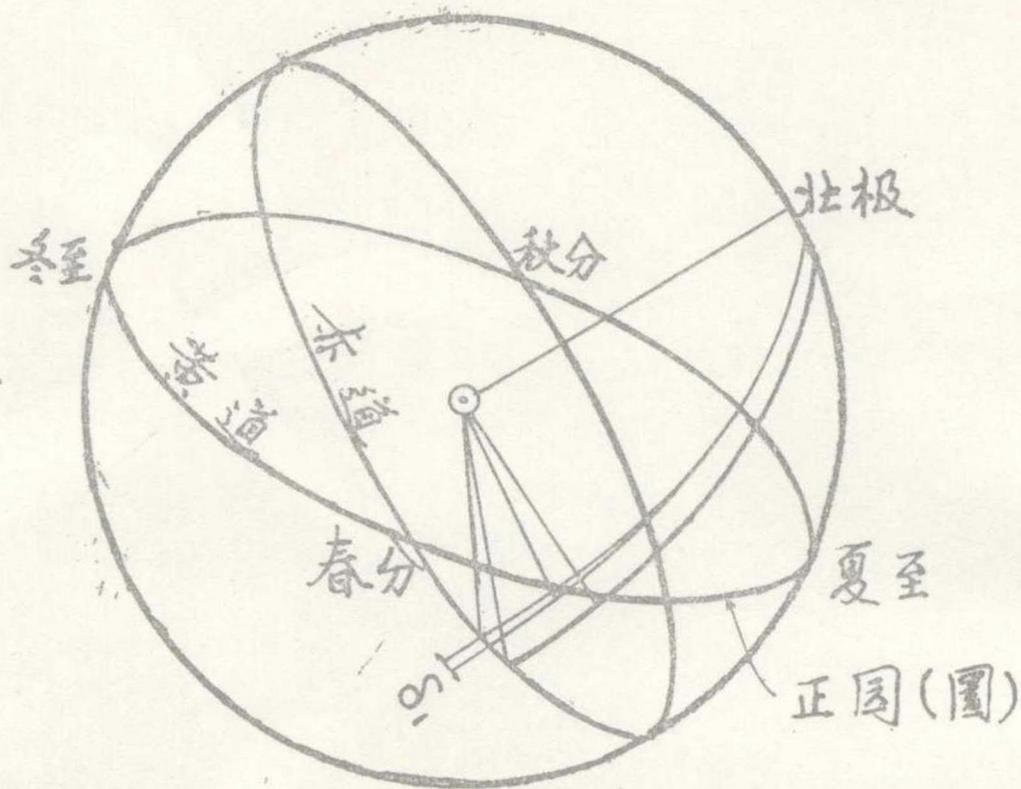
## 更正

《文献》1986年第2期《孙治让杂文辑录》文字正误如下:

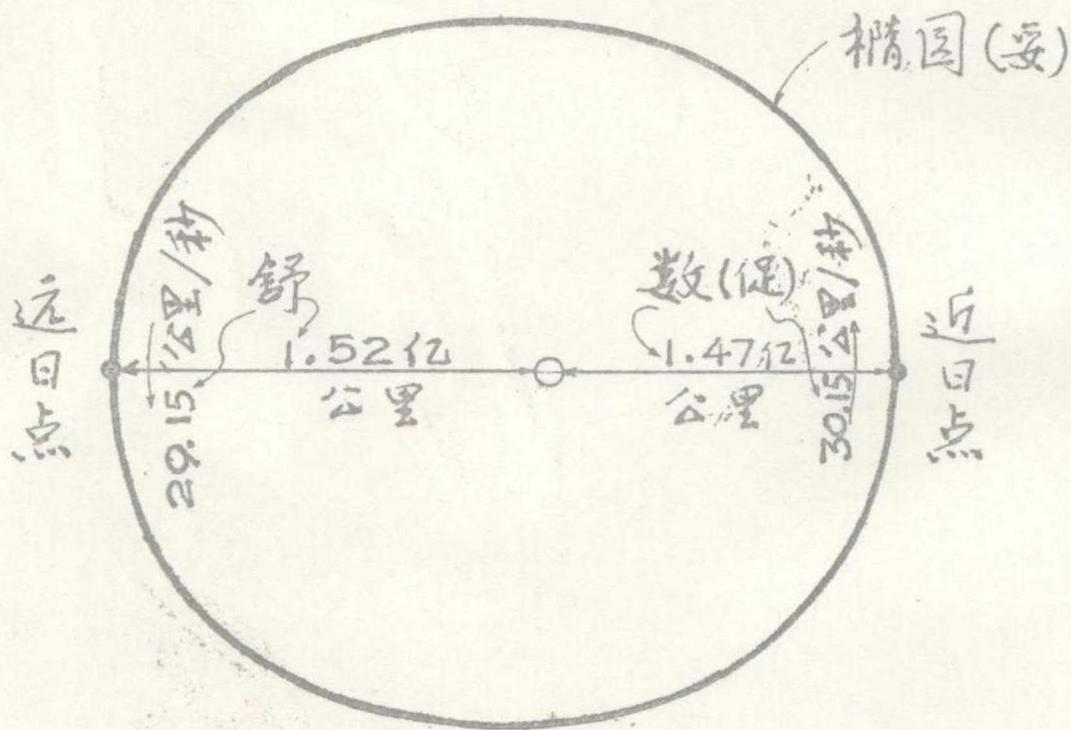
页	行	误	正
119	21	论胥	沦胥
120	4	不顾	不愿
120	6	志气搏一	志气搏一
121	11	考之计程	考工计程
124	2	声浪疏出	声浪疏密
124	23	难膺	服膺
125	1	莫知所屈	莫知所屈

• 张宪文 •

圖法

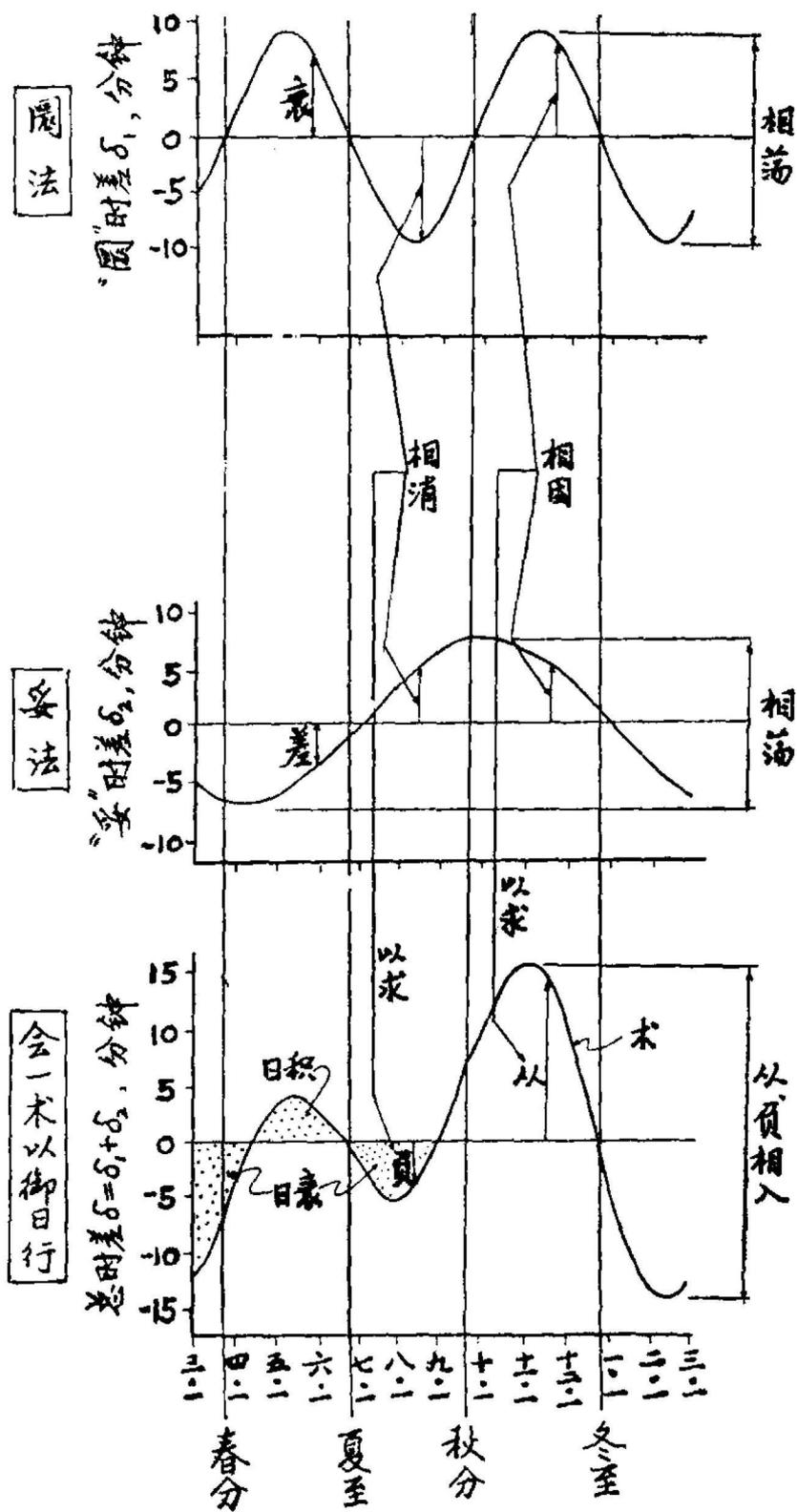


要法



《梦溪笔谈》第128条中一段文字的图解注释(一)





《梦溪笔谈》第128条中一段文字的图解注释(二)