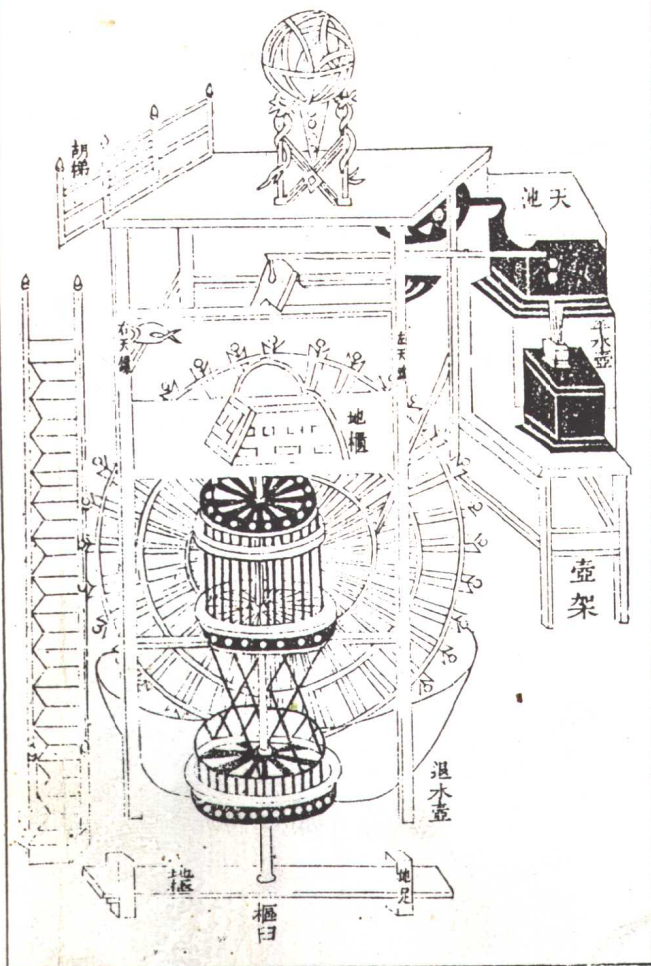


水运仪象志

中国古代天文钟的历史

李志超 著

渾儀



中国科学技术大学出版社

水运仪象志

——中国古代天文钟的历史
(附《新仪象法要》译解)

李志超 著

中国科学技术大学出版社

1997·合肥

图书在版编目(CIP)数据

水运仪象志——中国古代天文钟的历史(附《新仪象法要》译解)/李志超 著:

—合肥:中国科学技术大学出版社,1997年7月

ISBN7-312-00922-0

I 水……

II 李……

III ①科学史 ②古代天文学 ③古代机械学

IV N

凡购买中国科大版图书,如有白页、缺页、倒页者,由本社出版部调换。

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路95号,230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:850×1168 1/32 印张:6.5 字数:166千

1997年7月第1版 1997年7月第1次印刷

印数:1—3 000册 定价:19.00元

ISBN7-312-00922-0/N·12

1998.9.1

7月北京国际

图书博览会

内 容 简 介

中国古代领先世界的学科是天文学,不仅有系统化和理性化的演绎理论,有算法严密的历法系列,还有精密复杂的仪器技术。本书仅就所谓“水力天文钟”的历史展开评述,实际所涉不止计时和自动机械。本书是以此为中国古代科技史的典型代表来分析讨论的,它是中国古代文化的集中表现,最具理性色彩,拥有多项世界第一。

本书以漏刻计时技术史为基础,着重阐述水力驱动的时钟和天文钟全史,从张衡的水运浑象直到郭守敬的大明殿灯漏,而以西洋自鸣钟输入宣告结束。重点放在北宋的水运仪象台,因为它是古代世界科技史的头号成果,是中华民族骄傲。本书命名表明作者归心于此。书的后半部是它的原始说明书《新仪象法要》的译解,给出了为复原设计必需的诸多细节结构和尺寸。

考据训诂方面尤重科技内涵,这是本书史学的特色,强调物理的和逻辑的精密分析,同时追求生动活跃的推理猜测,以补史料的缺失。书中多项论断是作者自己的研究结论,与前此流行的见解多有不同。

自序

本书的写作实启动于1995年4月中国计时仪器史学会第二次常务理事会的决议。那项决议要编写一套丛书,其中的《中国古代机械计时史》交给了我。我虽为常务理事,却因事未能到会。理事长薄树人先生对我有充分了解,虽没与我本人商量,这任务对我来说还是恰当的,我便欣然接受了。薄先生推动我的研究这是第二次了。

我先以会议论文方式向同行们交换看法,乃有1996年1月深圳第七届国际中国科学史会议的两篇论文:“唐宋元水轮天文钟和星象演示器”和“水运仪象台的物理分析和解疑”。这两篇文章都对以前的认识有了突破,但也都不成熟。还没发现王振铎的“枢轮每日百转原则”的错误,水轮机器的设计没有考虑水轮一斗对应齿轮一齿的原则,水运仪象台没有解决“铁鹤膝”之谜,也不知道“天关”的作用。

此后是在《寻根》1996年第3期发表论文“水运仪象台释义”。该文只是取消了所谓“滑兔方案”,对铁鹤膝仍无觉悟,动程分析当然也不会准确,在年谱方面则有源于抄录李约瑟的错误。

1996年10月在松江召开第三次中国计时仪器史学术会议。我提交了三篇论文,都与此有关,实际上都是我的书稿摘录。“水运仪象台解疑”一文破解了铁鹤膝之谜,并对天关作出了合理解释;“多级浮漏的数理分析”给出了多级浮漏运行的定量算式,并论证了它的功能——有很好的分时特性,却不是一种客观的计时器,这为水运仪象台的计时性能判断打好了基础;“汉晋日月行迹问题研究”则以刘洪为第一个发现月行有迟疾的天文家为中心,说明了天文钟在月行研究中所起的作用,以及刘洪建立加速度概念的

物理学史意义。

会后我便以全部业余时间投入本书的写作，随内容的进展依次解决各部份的细节问题。其中包括诸如：年谱考定、枢轮转数、太阳日与恒星日差数对仪象齿数设计的影响、《新仪象法要》正本与别本的关系以及研制过程中的设计改动，等等。最后看下来，似乎那众多的推理猜度达到了一个逻辑上完全合理自洽的状态，于是，乃敢将此书推出问世，以期接受大家批评。

正当我把书稿交到科大出版社之时，日本长野的水运仪象台也开馆展出了。此事我是从1997年4月6日的《环球时报》得知。5月12~16日我在苏州参加第九届物理学史学术年会，会后见到了中国计时仪器史学会秘书长陈凯歌先生，他告诉我一些有关本会名誉会长张遐龄先生应邀赴日参观的情况，以及我国驻日大使馆文化参赞向国家领导提出报告之事。

对日本的土屋先生的工作，我在书中已有评议。作为外国人，对中国的历史如此用心，实在是大好事。我想他们的实践必能对学术发展产生有益的效果。然而我国迟早总要实施水运仪象台的复原工程，那应当是吸取已有的、一切失败的和成功的经验的最后成果。我希望我的工作多多少少能有些参考价值，并且一定会在复原工程完成之后，按照实验的结果对这本书作出修订，期盼这一天的到来。

李 志 超

一九九七年五月二十五日

于中国科学技术大学

目 次

自 序.....	1
前 言	1
第一章 漏刻简史	3
一、中国古人的时间计量观念	3
二、主要漏刻类型	8
三、漏刻的精度	17
第二章 仪象简史	25
一、宇宙学与科学革命	25
二、浑天仪象的创始	31
三、日月行迹的研究	37
第三章 早期水运浑象	43
一、科技之圣张衡	43
二、张衡水运浑象史料	45
三、水运浑象的复原	48
四、后继五百年	53
第四章 唐宋水轮天文钟	57
一、开元水运浑天图	57
二、开元之作的价值	62
三、张思训的制作	66
四、元祐和宣和之作	71
第五章 水运仪象台	76
一、创制及废毁始末	76
二、原书图文解说	82
三、物理分析	88

四、现代研究评议	97
第六章 元明二代机械钟	102
一、大明殿灯漏和假天仪	102
二、元明相争二帝故事	108
三、明代机械钟制作	111
结 语	115
附录 1 《新仪象法要》译解	117
附录 2 《新仪象法要》缩影(守山阁丛书本)	155
参考文献	189
索 引	190

插 图 目 录

图 1	西汉单漏壶现存实物	9
图 2	南宋“唐吕才漏刻图”	12
图 3	秤漏	14
图 4	燕肃莲花漏	16
图 5	沈括浮漏	16
图 6	尼古拉也夫流管中流阻变化实验数据图	20
图 7	华同旭仿古二级浮漏水面高度记录曲线图	21
图 8	二级浮漏参数规定	22
图 9	周髀宇宙模型图	28
图 10	张衡宇宙模型图	29
图 11	贾逵时代的赤道仪和黄道仪	33
图 12	《晋书·律历志》乾象历的月行迟疾表	41
图 13	刘仙洲复原的张衡水运浑象	48
图 14	刘仙洲复原的开元水运浑天图	48
图 15	李志超复原的张衡水运浑象	50
图 16	水轮一秤漏系统原理图	61
图 17	张思训的水轮天文钟推想图	68
图 18	张思训的天象演示法推想图	68
图 19	张思训的天文图版机械结构	69
图 20	天衡关舌机发机构	92
图 21	李志超的水运仪象台总体图	96
图 22	《中国大百科全书·机械工程》918 页的枢轮工作图 ...	99
图 23	大明殿灯漏推想图	104
图 24	王振铎的古代假天仪	107
图 25	李迪的古代假天仪	107
图 26	李志超的玲珑仪推想图	108
图 27	刘仙洲的詹希元五轮沙漏推想图	112
图 28	周述学所记浑仪更漏图	114

前 言

本书题名对不熟悉中国天文学史的读者可能感到陌生，它与宋代造的大型仪器“水运仪象台”只差一个字。“志”就是二十四史天文志、地理志的志。本书性质类似《隋书·天文志》，故以志为名。“仪”是浑仪，是古代测天之器；“象”是浑象，就是球面星图，形似地球仪，而所绘则是星图。仪象之义在第二章有详细解说。“水运”是用漏水驱动的意思。用漏水驱动浑仪或浑象，使之与天上的恒星同步运动，这就是“水运仪象”，用现代术语说就是“水力天文钟”。在中国古代实际上没有其它形式的天文钟，所以在本书的副标题中就省去了“水力”二字。

天文钟是人造的计时器，是为天文观测用的仪器。日晷也是计时器，但它本身是以天文现象为依据的，而且在阴天和夜间不起作用。天文钟必须是以非天文的物理过程为依据的计时器。

按李约瑟的说法(文献^[1]的 336 页)：

“欧洲在十四世纪早期机械钟出现以前，主要是靠日晷，而中国则对水钟或刻漏十分重视。这种计时器在他们的文化中已发展到登峰造极的地步。”

这话不错。可以说，天文钟的使用，在中国实自汉武帝太初改历就有记录(见第一章第二节)那是公元前 108 年，即元封三年的事(见文献^[8]的 256 页)。若按《中国大百科全书·天文学》“天文计时”条的说法，西方也只是从 1657 年惠更斯发明摆钟开始，才有了可供使用的天文钟。那时候摆钟的精度在温度变化 2.2°C 时，每日差 1 秒，而前此的机械钟则始于 1350 年意大利的丹蒂，每日差高达 15~30 分，当然无法用于天文观测。

按第一章对张衡所用刻漏的精度分析，在连续几天不加天文校准的前提下，可以达到每日差只有 1~2 分钟甚至只有几秒的水平。据此我们可以断言，中国人使用与天文观测精度相当的天文

钟,早于欧洲 15~17 个世纪。

李约瑟虽然极赞中国的刻漏计时,他却不知道这种技术所达到的惊人水平。这个认识的突破是由李志超 1979 年的实验^[2]造成的。此后经过华同旭的博士论文^[3],对一千五百年间的主要刻漏类型作了全面研究。直到本书,又对张衡式多级浮漏精度增加了新的认始,并对漏水驱动的机械天文钟作出全面的阐明。至此,可以说,中国古代计时技术史这一大块科技史领地已被基本开拓完毕了。

在漏水驱动机械天文钟——或简称“水运仪象”——这方面,早自 50 年代即有刘仙洲、王振铎等前辈学者致力攻研。当然更要提及李约瑟博士对此事所付出的巨大努力,他以“中国古代发明擒纵器”这一惊人论断大大推动了国际国内学者的研究热情。这些都在相应章节作了介绍。这些老一辈的学人都已先后离开了人世,而他们的工作成果则永在人间,为我们的新进展打下了必要的基础。

然而本书在几乎每项重大历史事件上都与前人的看法有较大分歧(也许用“改进”这样的语词代替“分歧”更为合适)。一开头的张衡水运浑象便否定了刘仙洲的齿轮结构,特别在水运仪象台这件最为第一的古代成就上,本书作了详密的、物理的和逻辑的分析,相信是破解了困扰学术界近半个世纪的难题。这使得中国古代这项最大的世界第一能以强大的说服力展示于世界。前辈学者若地下有知,对任何这种改进应该都是欢迎的吧!

第一章 刻漏简史

一、中国古人的时间计量观念

在最古老的中国古典《尚书》的一开头，就有一段记录尧的政令的话：

“乃命羲和，钦若昊天，历象日月星辰，敬授民时，期三百有六旬有六日，以闰月定四时成岁。”

羲和是管天文的官员，“钦若昊天”的意思是“恭谨地奉事伟大的天穹”，“历象”是追随日月星辰的运行去作描绘和记录，其目的是授时。

这条史料所记未必真是尧的事，但无疑是很古老的记录，否则不会说一年是366天。而以闰月调合纪年，以与天象的年周期大体一致，这是从殷代就有了的^[7]。

从天文观测来掌握时间，这在世界上几个最古老的文明历史上都同样地发生了，年代都很早。此事理由不难说明如下：

自然科学是关于客观自然事物群类间的因果关联和规律性的知识体系。要建立这样的体系需要一定的条件。首先，这自然事物群类的存在形态得有足够的稳定性，才能在现象的反复再现中把握其内在联系，才能把知识成果从一个人传授给另一个人或一群人，代代相传继续发展。其次，这些事物应该具有普遍性，如果仅仅是狭小的局域时空的事，就难以发展成为科学，因为这种事不会有很多人关心。第三，事物表现的现象要足够简单，这对早期科学的形成尤其重要。过分复杂的事，如生命的遗传和思维，其科学的形成就很晚，而生命的特异功能问题至今难以说已经形成了科学。

如果采取道家的观点，把某些人文科学对象也看成自然事物，尤其是历史学，则从上述三项条件而言，可说是反面的极端。然而

历史学也还是科学,因为:第一,历史学所记述的人类社会本身是相对稳定的存在,虽然是在日新月异的变化之中;第二,历史学研究的事件都是影响广泛的大事;第三,社会现象的基本共同点,比如兴衰、分合、战争、商贸,还不是复杂到无法比较研究寻求规律的程度。至于哲学,从其内容的主观性而言,不是科学。但从其讨论宇宙万物的共同性而言,又与科学有相同点。

说这些话是因为我们的书是属于历史学领域的,并且也涉及自然哲学的历史。

天文现象最鲜明地表现了这三项条件,所以人类创造的第一门科学是天文学。

天文学是人类认识“时间”概念的科学基础。时间,不但是天文学的基本概念,也是一切科学概念中最基本的概念。而时间概念之所以必赖天文学才得以建立,是因为只有天文现象有最精确的周期性,或曰现象重复的等时性。而这种周期性又与人类生活直接密切地关联着。对北方的农耕民族,以一年为周期的四季寒暑变化是很要紧的事,所以《尚书》才把“敬授民时”作为尧的话,最先提起。

人类知识和科学的另一重大概念是数。一切物理计量都要表示为数。最重要的物理计量对象是时间,科学的计量从时间开始。而直到本世纪发明原子钟之前,时间计量都是以天文周期为本。甚至当规定了某一原子振动周期为时间基准之后,这基准的取数仍用秒为单位,而秒是从天文周期推出来的,一昼夜被规定为 86400 秒。所以,数这个概念的建立也少不了天文学,或者说它是和天文学互为条件而共生的。在讨论时间计量之前,让我们先讨论这个更基本的概念—数。

什么是数?一般而言,数是人类在考察事物异同的过程中,对同质同类事物的统计结果的表述。

这个说法不是数学的数的定义。数学本身是否能对数作出定义?我们不去管它。这个说法不涉及数的名号,不管什么进位制,更不问运算和测量的事。

原始人在光滑石壁上或在刮了皮的树干上刻划成串的短横线,以此记事,这已经是数。汉字“一二三”仍保留着这种数的原初形态,古铜器铭文还有用四横写的“四”字。在进位制发明之前,画横线是最好的记数法,比存石子放豆粒更可靠,更方便,更直观,更密集有效。

对自然分离的同类事物的数作加工处理只需要简单的运算,不过是加减乘除而已,至多不过像鸡兔同笼问题那样,但鸡兔已非同类。稍微复杂些的数学运算是从多种异类事物的关系处理中,以及从连续性的事物(如水)或准连续性事物(如米)的处理中产生的,首先是从“一分为二”的操作中产生的。《尚书》曰:“天工人其代之”。《易·系辞》曰:“开物成务”。现实生活不能没有改变自然物的行为,这种改变主要是分合操作。凡有意识的操作都会在观念中对操作对象作相应的分析和综合的思考。譬如为轮,辐条三十,必取均质同长。于是先开解原木,化一为多。一分为二最简单最易获得高精度。中国曾行用过十六两一斤的衡制,其起源应是计算与天平操作结合的方便性, $16=2\times 2\times 2\times 2$,如此而已。由此推想易经的思维起源,最合理的说法是:二进制卦爻是原始数学思维的成果。

三爻的 8 和六爻的 64 是二元组合之数,如欲对宇宙万物用二分法作三层次和六层次的最简化数学分解,讨论其一切可能状态,作出完备穷举,当然就是这个结果。前代学者有说阴阳爻卦画是来自性器崇拜,这怕是受了当时西方热门的弗洛伊德学说影响,道理不大。易经原是用来占卜的,迷信占卜当然不对,但易占的思路从最简单的数学分析出发,却是理性主义的,而其思维以简单分析为特色。当前流行的说法是:中国人只擅长整体综合思维,不长于简化分析。可对易学将作何分说?我们在这里谈论这些,是因为中国的机械史也同样表现出很强的分析思维能力,不是那种流行说法所能解释的。

对连续化事物作分解的操作,也包括计量操作。物理量的数是

计量结果的表述。

什么是计量？计量是对分立的同类事物作比较的操作。所比的是一种共同的物理属性，这属性是连续而又可分的。以作比之一为标准，在其它被比者身上取其同，同则为一，异则为多，析多为一，则化异为同，同之又同，重复成异。以数为计，而得物理量的差异表述。

任何计量所得之数都是一个整数，有时把计量结果写成小数，那实质是以最末位为1的整数。计量操作得不出无限位小数，当然也得不出无限位整数。凡循环小数和无理数之类都只是思维所得，实际没有。

物理量种类繁多，而以空间量的长度为最基本。长度直接作用于视觉，体现为图像特性。其它物理量经常都被先转化为长度再来求数。汉字“度”本义原止为长度计量单位，或长度计量操作。量角，要先把角化为弧长，于是乃有“角度”。量热，要用水银柱长度显示，就有“温度”。推而广之，又有“硬度”、“响度”、“亮度”……至于工程有“进度”，办事有“难度”……这些自是转义之词。度，作为计量的古汉语词，古人曾用它表述过关于数与量的深刻见解。如沈括在《浑仪议》中说：

“度，所以生数也。”

这话是有深刻意义的。

然而时间这个量却非同一般。时间看不见摸不着，却人人都能把握它，认识它。常用词有“事物”，其实，事是事，物是物。所谓事，是指一个过程，是从时间上说的。而物则指可在空间感知的物质实体。时间是与实体物质的运动变化分不开的基本概念。

虽然没有文字史料作证，但我们仍可以推测，时间的计量可能早于长度的计量，因为昼夜循环周期本身就是很好的自然计时单位，无须特别寻求和制作，普世共识，没有语义分歧。不仅如此，时间计量还可能是人类把数的概念推向进位制水平从而能在思维上把握无限的实在经验根源。没有进位法就没有无限的概念。

设想古人用最原始的画横线记数法来记录时日的时候,他们可能连一二三这些数名还没有,更没有进位制,但当然会在画线之外做上事件的记号。第一条线位置特殊,不做记号也行,总是事件的开始,比如孩子降生。然后到某一天,孩子开始走路,叫第一声妈妈……都可各为记号。这些记号的间隔给人以某种程度的多和少的印象。仅此而已,并无更精细一点的数的关系的概念。

但是观察天象所做记数就不同了。月相记录显示相当精确的近似为 30 天的周期性,日影观测记录则给出一年 365 天的周期。月和年是比日大的时间周期,是计时的新单位。在表述太多的日数时,比较大小很困难,那么改用月或年为单位就变得容易了。讲年龄,只对婴儿说多少天,大一点就说几个月,对成人老人就讲多少岁。精细些就说几年又几月又几日。古文“又”写作“有”,如前引《尚书》之语,那是早期天文学和数学成就的表现。其中的旬和百说明有十进制了。

进位制的发明除了受天文记录的启发外,还有什么更有效的事物呢?说十指是启发者有什么理由呢?十指没有进位属性,如其十指启发进位制,何以世界各民族一开始并非都用十进制?

人类一旦发明进位制,数的思维就产生了飞跃,首先是对无穷大的联想。在实用上,运算技术跟着有了大踏步的进展。这都是由于数的语言表述的进化所致。

让我们回来考察时间计量的历史。

时间本身并不直接表现具体事物的属性。“神龟虽寿”,并不是时间本身赋予神龟以长寿之性,而是龟自己的生理结构和生活方式决定它的长寿。周祚八百,汉祚四百,秦始皇没想到他的帝国只传到第二世就完了。历史是由变化无穷的事件串成的,从这种具体的历史事件中不可能抽象出时间这个概念来。然而“八百”“四百”这些数字代表时间,而年则是天文周期。历史学也很关心年代。

庄子曰:“朝菌不知晦朔,蟪蛄不知春秋。”它们的生命太短,不知何为月和年。又说:“大椿者以八千岁为春,八千岁为秋”它的生

命很长,就可有以年为单位的时间概念。显然,随着人类的进化和自然科学的发展,对较短的时间也要作计量,也要精密,也要有数字表示。那么仅有天文周期就不够了。要把昼夜周期再细分为更小的周期,必须寻求新的物理过程。世界各民族都不约而同地想到了水流。然而,只有中国人把水流计时坚持下来,精益求精,达到了超越其它民族的最高水平。这件事也许是从一个侧面反映中国传统自然观——即认为宇宙中万物都是以连续化的元气为本元,结构而成。时间也就应该是像水流一样的连续不断的流逝之物吧!

可是连续化的物理量如何转化为数呢?最早是用底部带孔的漏壶,从装满一壶水开始,到漏完为止,作为一个计时单位。在汉代已经成型的浮漏是令均匀水流进入箭壶,壶中浮子带动竖直的箭尺上浮,尺上的刻度就是把时间化为长度的设施,刻度把时间变成比日更细的数。这就是下面介绍的漏刻。

二、主要漏刻类型

中国古代的计时机械,除了个别的如五轮沙漏和辘弹漏^[7],虽沿袭旧名叫漏,却不是漏水,其它都是在流水漏刻技术基础上设计制作的,都是把漏水既当作动力又当作等时性控制主体来运作的。后文第六章会说明,计时之用,砂不如水。因此,我们在介绍计时机械之前要先介绍漏水计时的历史。中国漏水计时史料,最早当推《周礼》“挈壶氏”:

“挈挈壶以令军井……凡军事,悬壶以序聚柝……皆以水火守之,分以日夜。”

挈壶是手提的壶,序聚柝是按时依次敲梆子,水火守之是说冬天要烧火防冻。

至于考古文物,则有四件西汉的单漏壶保存到现在(图1)。

再后是《汉书·天文志》记载:汉武帝时太初改历过程中