

宋代水运仪象台研究与复原中的两个问题

胡维佳

(中国科学院 自然科学史研究所, 北京 100010)

摘要 在 50 年的研究并在结构和原理上复原出原大的水运仪象台后, 有理由重新提出历史上水运仪象台曾否成功运行的问题。新近应用计算机仿真技术等对水运仪象台的深入研究, 如注意对历史上的制作调试和改进过程进行分析和模拟, 会有助于我们得出这一历史问题的合理结论。

关键词 水运仪象台 复原 运行 计算机仿真

中图分类号 N092:P1-092

文献标识码 A **文章编号** 1000-0224 (2007) 03-0449-06

1 水运仪象台研究简述

对宋代水运仪象台的研究, 自 1950 年代刘仙洲、李约瑟算起, 至今已有 50 多年。这 50 多年的研究大体上可分为三个段落:

1950 年代初至 1960 年代初, 刘仙洲^[1]、李约瑟^[2]等通过宋代天文仪器著作《新仪象法要》从现代科学技术的视角来系统研究水运仪象台, 阐释其在机械和天文仪器发明和发展方面的意义。这些阐释一方面依据对古代文献的释读和研究, 另一方面则基于由释读和研究而构造出的水运仪象台理想与实验复原模型。王振铎^[3]和康布里奇 (J. H. Cambridge)^[4]先后制作了不同结构的复原模型。

1980 年代后期至 1990 年代后期的研究则主要围绕苏颂事迹和《新仪象法要》全文释读, 以及水运仪象台模型与复原制作展开。到 1997 年, 一年中有胡维佳^[5]、山田庆儿和土屋荣夫^[6]以及李志超^[7]的有关水运仪象台的著作相继发表。这三部著作都对记载水运仪象台形制的《新仪象法要》的全文做了考释或译解, 以及相应的研究, 山田庆儿和土屋荣夫的著作中还包括了水运仪象台的复原设计和结构简图。这一期间先后制作了几件不同比例的小模型, 台湾省台中自然科学博物馆和日本諏访湖时间科学馆则分别制作了原大的复原水运仪象台。

1:1 比例复原水运仪象台的制作和展出并没有终结对水运仪象台的研究, 反而推动了专门的“水运仪象台研究组”于 1998 年成立并在 1999 年获得了国家自然科学基金的项

收稿日期: 2007-04-09

作者简介: 胡维佳, 1958 年生, 江苏泰州人, 中国科学院自然科学史研究所研究员。

目资助^[8]。这个研究组在前人工作的基础上,对原始文献进行校勘、释读,并设计了若干专题进行研究,特别是利用计算机仿真技术对水运仪象台设计模型进行模拟实验,以期对复原研究提供有价值的参考数据^[9 10]。同期,台湾也有研究者对水运仪象台的擒纵调速器作复原设计,并利用计算机辅助设计方法进行擒纵调速器的实体模型建构,以作为复原制作的基础^[11]。

从这 50 年来的研究看,已大致上弄清了水运仪象台的基本结构、运行原理及其建造过程,对其在中国天文仪器史和机械史上的地位也有了恰当的评价。

复原研究一直是水运仪象台研究的一个重要组成部分。复原模型本身既是研究的过程和结果,也同时成为认识古代器物和给与其现代评价的依据。与指南车、张衡地动仪、木牛流马之类的复原研究相比,水运仪象台的复原研究和模型制作有其无可比拟的优势和确定性。宋代流传下来的《新仪象法要》相当完整地记载了水运仪象台的形制、结构和其运行原理,但要想据之复原出宋代的水运仪象台,也会发现书中的记述并不详尽,特别是一些关键的结构和数据关系缺失,以致第一个制出小比例复原模型的王振铎先生并不能使之正常运行,而康布里奇根据推测制作的可以运行的枢轮机构复原模型则被认为缺乏文献依据。

复原研究也推动水运仪象台的研究不断深入。1980 年代后期的水运仪象台研究与苏颂研究相关,其后相关研究著作的产生则与台中自然科学博物馆计划建造原大的复原水运仪象台或其他小比例复原模型的制作有或多或少的关系。从现在的研究选题看,今后的研究仍会以水运仪象台的复原制作为导向。但从借助现代计算机技术构建复原模型与优化传动参数的研究取向,和对复原模型完美、精确运行的追求中,我们可能会产生些许对这些努力是否背离历史研究价值和历史研究方法的忧虑。

2 一个应当重新关注的问题:水运仪象台成功运行过吗?

水运仪象台是否成功运行过?这一问题对于初期的研究而言可能并不重要,因为当初更重要的问题是“水运仪象台是什么”。即使是复原模型的制作也是为了了解结构、运行原理。但对这些问题已经解决后的今天而言,我们需要决定,我们是在做一个“历史复原”,还是按照历史上的构思做一个“当代设计”?如果历史上,宋代的水运仪象台一直处于不断地调试、改进过程中,最终也没有能够成功运行,那我们“优化”出一台能成功运行的“水运仪象台”意义何在?如果我们利用计算机仿真技术,根据原始文献记载的制约和宋代材料及工艺水平,来分析当时的可能的运行状况和古人改进制作的过程,我们就不仅在“复原”一件古代的器物,而且在“复原”一个先人的发明历程。这应该是我们追求的历史研究价值。

我在 1997 年发表的《新仪象法要》译注》的“导言”中曾提出:“我们有理由相信,水运仪象台在建成后的两年多时间内并没有能实际准确运转。至于其后对水运仪象台进行的改造工作及改造后的效果,也未见到记载。”([5], 15 页)当时得出这一判断基于以下几点依据:

(1) 考察水运仪象台的创制过程,未见水运仪象台的实际水运情况记载

水运仪象台的设计、制造工作,在元祐二年(1087年)八月十六日苏颂的奏请获准,接着成立了相应的研制机构——“详定制造水运浑仪所”,便正式开始。至元祐三年(1088年)五月,造出小型的木制模型,同年十二月完成大型的木制模型。

大木制模型制成后,参与研制的人员进行了昼夜调试,使模型的运行“与天道已得参合”。其后,有另外的官员又带人进行了试验,结果“昼夜亦不差”。至此,模型试验已告成功,所以,诏“以铜造”。但此官员提出了将浑仪、浑象“并为一器,即象为仪,以同正天度”的制作另一种“浑天仪”的建议,并被批准^①。

两年多后,新的“大如人体,人居其中,有如瓮象”的“浑天仪”造成,但可能因无法同时用于实际观测,所以元祐六年(1091年)开始重新制作水运仪象台。

元祐七年(1092年)六月十四日,名之为“元祐浑天仪象”的水运仪象台终于造成。但奇怪的是,对其实际水运情况找不到任何相关的记载或描述。

(2) 围绕水运仪象台的浑仪有过废存的争论

元祐七年(1092年)水运仪象台制成后的各部门的联合评审结果未见记载,但两年后出现了关于这座仪象台存废的争论。绍圣元年(1094年)十月十六日,亲政的哲宗皇帝“诏礼部秘书省就详定制造浑天仪象所,以新旧浑仪令判局以下同测验,择取其候望精密可久施用者具应用”。可能由于负责此项测验官员的协调,浑天仪象所的三座仪象均得保全。但至绍圣三年(1096年)六月时,负责水运仪象台研制的机构的名称已由“元祐浑天仪象所”改称为“元祐浑仪所”,这似乎表明只有浑仪还在使用。

经过20多年,水运仪象台似乎已被人们遗忘了。因为,宋徽宗宣和六年(1124年)七月,由宰相王黼总领,又开始设立“讨论制造玑衡所”,造出了似乎比水运浑象更精致的小型模型,并要在安放元祐浑仪的合台内筑台,陈设按模型制作的实物。

(3) 《新仪象法要》“正本”与“别本”的比较表明水运仪象台的结构有过改进

通过比较传世的《新仪象法要》中的“正本”和所补入的“别本”,可以发现,两者主要部分的构造是相同的,而区别则在于:

第一,作为整个仪象台动力来源的枢轮,其上夹持的受水壶的个数不同,“正本”为36壶,“别本”为48壶;

第二,将运动传递给浑仪的方式不同,“正本”采用齿轮系(天柱、天毂)传动,“别本”则采用链和齿轮混合(天梯、天托)传动;

第三,转动浑象的方式不同,“正本”在浑象球的中部安装齿牙(赤道牙),“别本”则在浑象球下方设齿轮(天运轮);

第四,因上面第二、第三种不同引起的不同,如拨牙机轮在机轮轴的安装位置的不同等等,但值得注意的是,许多应当相应改动的说明文字“别本”并没有改动;

第五,浑仪、浑象受动齿轮齿数的改变,“正本”为478齿,“别本”为600齿;

第六,有的尺寸“正本”未给出,而“别本”给出了,如,天运单环的尺寸。

^① 从文献记载看,这位叫许将的翰林学士所作的“成果鉴定”意见为:“今所建浑仪、浑象别为二器,而浑仪占测天度之真数,又以浑象置之密室自为天运,与仪参合。”“浑象置之密室自为天运”可能意味着大木样的浑仪、浑象没有联动,即:可能大木样中的浑象是由枢轮机构带动的,而木制的浑仪未能同步运动。

此外,书末所补入“别本”的几幅图的制图风格与“正本”不同。“正本”大致采用平行投影的斜轴测图,但从“别本”的图中则可明显地看出用透视法作图的特点。

对“正本”和“别本”的分析表明,“别本”一定是在“正本”的基础上修改形成的。而且,这种修改应当对应于水运仪象台本身的改造。从“别本”将枢轮上的受水壶由36个增加到48个来看,应该存在过驱动动力不够的问题;“别本”中的其他改动,应是为解决传动效率而作出的。

现在看来,要对“水运仪象台曾否成功地运行过”的问题作出回答,还需对水运仪象台的研究过程和水运仪象台的结构本身作出更进一步的研究。应当注意的是,“水运仪象台曾否成功地运行过”是一个历史研究的问题,而水运仪象台从原理上看能否运行则是一个机械设计问题。

在宋代制作水运仪象台的过程中,其小比例的水运机构模型经过了测验,证明可以成功运行,大木样也在没有带动浑仪的状况下经过了测验。根据我们对水运仪象台的动力学分析,不同比例的模型其动力学上的运行参数不同,小比例模型的实测结果不能代表原大水运仪象台的运行情况。而且,从水运仪象台本身的结构看,由于将计时装置兼作动力装置,载荷的不稳定动态变化会给准确计时和对载荷的稳定运行带来难以克服的困难。所以,从现代科学的手段,如应用计算机仿真技术等,对水运仪象台在历史上的调试和改进过程进行分析和模拟,有助于我们得出合理的结论。

3 复原水运仪象台的意义何在?

虽然“水运仪象台曾否成功地运行过”是一个有待进一步研究的问题,但制作复原的水运仪象台仍有其历史和现实意义。

作为一种机械装置,水运仪象台是当时世界范围内乃至近代机械学形成之前最杰出的机械综合设计。设计中包括了水轮动力装置(水排)、二级提水装置(筒车)、平水漏壶装置、秤漏计时装置、水轮间歇运动联动控制装置和编程凸轮拨击鸣报装置等,并且应用了齿轮传动、链传动、杠杆机构、棘轮机构、凸轮机构、铰链连接、滑动轴承等。在所构成的计时、报时装置中,采用的反复积累能量、定时释放能量,使报时装置间歇运转的联动控制装置,已具有了与近代机械钟中擒纵机构相同的功用。

水运仪象台不仅体现了中国古代天文学和机械设计与制作方面的卓越成就,水运仪象台“三器一机”、“激水转轮,不假人力”的基本设计思想,也体现了中国古人对组织一个完美的与天协调的自动机器的理想追求。

水运仪象台在宋代的实际运行情况并不影响其在世界科学技术史和文明史上的地位。水运仪象台的设计和制作本身反映了中国古代天文仪器和机械设计的辉煌成就,若干设计成为现代的先驱。设计、制作和改进的过程,是中国古代学者和工匠的创新和集成已有技术的实例。因此,“复原”不仅是复原古代的器物,更重要的是再现古人的创造性思想,和古人的创新和改进的真实历程。从这个意义上讲,在现代科学技术馆或博物馆中设立复原水运仪象台,不仅是展示古代的科技成就,更重要的是通过游客的参与,体会古人的创新精神和历程。

“复原”是历史研究的一部分。在历史研究中,现代科学知识和工具的应用是服务于对历史的研究,而不是取代;是寻求我们对历史演进认识中的缺环,而不是将历史完美化,也不是寻求研究工具下的最优解。因此,我们在根据不甚完整的古代记述复原器物应遵循一些基本的原则:

- 符合创造事物由简到繁的发展序列;
- 复原的器物有当时或稍后的技术原理的支持;
- 尽可能利用当时的制作材料和工艺。

在利用诸如计算机仿真技术来解决复原问题时,应对所用方法对照实际进行必要的验证,比如,先对已有的小比例复原模型进行仿真实验,判断其方法是否可靠。

致 谢 感谢张柏春先生在研究文献方面的帮助。

参 考 文 献

- 1 刘仙洲. 中国在计时器方面的发明 [J]. 天文学报, 1956, 4(2): 219—232.
- 2 Needham J Wang L, Price D J *Heavenly Clockwork* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1960.
- 3 王振铎. 揭开了我国“天文钟”的秘密——宋代水运仪象台复原工作介绍 [J]. 文物参考资料, 1958 (9): 1—9.
- 4 Cambridge JH. The Celestial Balance: a Practical Reconstruction [J]. *Horological Journal*, 1962, (104).
- 5 胡维佳. 《新仪象法要》译注 [M]. 沈阳: 辽宁教育出版社, 1997.
- 6 山田慶兒, 土屋榮夫. 復元・水運儀象台——十一世紀中国の天文観測時計塔 [M]. 東京: 新曜社, 1997.
- 7 李志超. 水运仪象志 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997.
- 8 高暄. 水运仪象台工作原理的研究与复原试验工作 [A]. 机械技术史 (3)——第三届中日机械技术史国际学术会议论文集 [C]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 274—279.
- 9 王春洁, 马良文, 高暄. 基于 ADAMS 的古代水运仪象台的复原与分析 [J]. 现代机械, 2003 (6): 3—4.
- 10 高暄, 陆震, 王春洁, 马良文. 利用仿真技术对古代水力机械的复原实验 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2006, 46(11): 1801—1804.
- 11 林聪益. 古中国擒纵调速器之系统化复原设计 [D]. 台南: 成功大学机械工程学系, 2001.

New Problems in the Study and Reconstruction of the Song Dynasty Water-Powered Armillary Sphere and Celestial Globe Tower

HU Weijia

(Institute for the History of Natural Science, CAS, Beijing 100010, China)

Abstract Summarizing the 50 years of study and reconstruction for the Song Dynasty water-powered armillary sphere and celestial globe tower, this paper puts forward again the historical problem whether or not the tower could operate perfectly or successfully in the Song Dynasty. It suggests that the computer simulation technology applied in recent study on the tower can be used to analyze and simulate the practical process of debugging and improving the tower at that time to draw a rational conclusion on the historical problem.

Key words the Song Dynasty water-powered armillary sphere and celestial globe tower reconstruction, operation, computer simulation technology

责任编辑: 屈宝坤