

Yangyi: A Breakthrough in Astronomical Instruments by Guo Shoujing

Zibo Guo

Xingtai City Guo Shoujing Memorial Hall, Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract

The Yangyi was one of the core astronomical instruments created by the Yuan Dynasty astronomer Guo Shoujing for compiling the "Shoushi Calendar". It operated on the principle of "looking up" and achieved precise measurements of the sun's position and the process of solar eclipses through the innovative combination of a copper hemispherical surface and a coordinate system. This instrument broke through the limitations of traditional astronomical observations, which were limited to "side-looking" and "top-viewing", and for the first time transformed the apparent motion of the sun into quantifiable coordinate data, solving the key problems of glaring light and large reading errors in ancient observations. This article analyzes the structural design and working principles of the Yangyi, combined with historical records such as the "Yuan History: Astronomical Records", to explore its technological breakthroughs—including the pioneering nature of the hemispherical scale system, the auxiliary precision of the "Jingfu" accessories, and the integration of observation functions. It further discusses the scientific support it provided for the compilation of the "Shoushi Calendar" and its unique status in the history of world astronomical instrument development, revealing the leading level of China's astronomical technology and the progressiveness of scientific thought during the Yuan Dynasty.

Keywords

Guo Shoujing; Astronomical Instrument; The Shoushi Calendar; Yuan Dynasty Astronomy; technological breakthrough

仰仪：郭守敬天文仪器的突破

郭自波

邢台市郭守敬纪念馆，中国·河北 邢台 054000

摘要

仰仪是元代天文学家郭守敬为编订《授时历》所创制的核心天文仪器之一，其以“仰视”为观测原理，通过铜制半球面与坐标系统的创新结合，实现了对太阳位置、日食过程的精准测量。该仪器突破了传统天文观测“侧视”“俯视”的局限，首次将太阳视运动轨迹直观转化为可量化的坐标数据，解决了古代观测中强光刺眼、读数误差大的关键难题。本文通过梳理仰仪的结构设计、工作原理，结合《元史·天文志》等史料记载，分析其在技术层面的突破性——包括半球面刻度系统的首创性、“景符”配件的辅助精准性、观测功能的集成性，进而探讨其对《授时历》编订的科学支撑，以及在世界天文仪器发展史上的独特地位，揭示元代中国天文技术的领先水平与科学思想的进步性。

关键词

郭守敬；仰仪；天文仪器；《授时历》；元代天文学；技术突破

1 引言

元代是中国古代天文学发展的鼎盛时期，其标志性成果便是由郭守敬主导编订的《授时历》——这部历法以365.2425天为一回归年，与现行公历的数值完全一致，却比公历早确立300余年。《授时历》的精准性，离不开郭守敬创制的一系列天文仪器，史载其“凡为仪象者十有三”，而仰仪凭借独特的观测原理与结构设计，成为其中最具创新性的仪器之一。

传统天文观测中，观测者需直接面对太阳，不仅易损伤视力，且难以精准捕捉太阳的实时位置；观测日食时，更需在强光与阴影的交替中估算食分、食甚时刻，误差极大。仰仪的出现，彻底改变了这一现状。它以“借光投影”替代“直

接观测”，将太阳的视运动转化为半球面内的投影轨迹，使观测过程更安全、数据更可靠。从技术史角度看，仰仪不仅是中国古代天文仪器的集大成之作，更蕴含着“以器载理”的科学思想，其设计理念与功能实现，在13世纪的世界天文学领域具有显著领先性。本文旨在从结构、原理、应用三个维度，剖析仰仪的技术突破，还原其在元代天文学实践中的核心作用，进而厘清其在中外天文史上的价值。

2 仰仪创制的时代背景与科学动因

元初沿用金代《大明历》，该历法自金世宗大定二十年（1180年）颁行以来，已使用近百年。由于未考虑地球公转轨道的微小变化（岁差）与月球运动的不均衡性，《大明历》的误差持续累积，出现“日月交食推算失准”“节气

时刻偏差达两三日”等问题——据《元史·历志》记载，至元十三年（1276年）春分，大都（今北京）实际观测到的日出时刻，与《大明历》推算结果相差1.5小时，严重影响农业生产（农时指导）与王朝祭祀（象征“天命”的礼仪活动），修订新历成为元世祖忽必烈巩固统治的重要政务。

当时主流观测仪器为“浑仪”，其结构由多重圆环嵌套而成，需通过“仰视”读取多组刻度并进行复杂计算，才能获得天体坐标，存在三大缺陷：一是操作繁琐，观测者需同时兼顾赤经环、赤纬环等多组刻度，易产生人为误差；二是视角受限，日光或星光直射观测者眼睛，导致观测精度下降；三是视差干扰，观测者视线与仪器刻度不重合，进一步放大误差。郭守敬在少年时便仿制过浑仪，深知其弊端，因此萌生了“简化观测流程、优化观测视角”的仪器革新构想。

元代的大一统局面为仰仪创制提供了关键支撑：一方面，手工业技术高度发达，黄铜铸造（可打造精密刻度的半球面）与机械加工（璇玑板的旋转轴设计）工艺成熟，解决了仪器制造的材料与技术难题；另一方面，忽必烈对天文学的重视为科研提供了制度保障——至元十三年（1276年），朝廷设立“太史局”（后改“太史院”），任命郭守敬为同知太史院事，专职负责天文仪器创制与观测，拨付充足的人力、物力，使其得以调动工匠团队开展研发。此外，郭守敬此前主持的“邢州治水”工程中积累的机械设计经验（如水利工具的精密传动结构），也为仰仪的机械部件设计提供了借鉴。

3 仰仪的结构设计与科学原理

根据《元史·天文志》“仰仪，其制以铜为半球，径六尺，形如釜，仰置之”的记载，结合南京紫金山天文台等机构的复原研究，仰仪的结构可分为“主体部件”与“辅助部件”，各部分设计均体现了“化繁为简、精准高效”的科学逻辑。

仰仪的主体由“铜质半球面”与“璇玑板”构成，形成“投影观测”的核心机制。

1. 铜质半球面：仪器的基座与刻度载体，直径约1.2米（元代“六尺”，1元尺约合今31.6厘米），内壁以黄铜铸造并经抛光处理，刻有双重刻度体系：外层为“周天度数”，按365.25度（回归年长度）均匀划分，对应天球的赤纬坐标；内层为“十二时辰”与“十二地支”，将一天分为12个时辰（每时辰2小时），对应天球的时角坐标。半球面边缘设有深约1厘米的凹槽，可注入清水，利用水面的水平特性校准仪器安装角度，确保半球面与地面平行——这一设计巧妙应用静力学原理，解决了古代仪器“调平难”的技术痛点，误差可控制在0.1度以内。

2. 璇玑板：观测的核心部件，为边长约30厘米的正方形铜板，中心开有直径1毫米的“视孔”（相当于现代望远镜的物镜），通过支架连接于半球面正上方，可绕半球面球心旋转。璇玑板的作用是“汇聚光线、生成投影”：当阳光

或星光穿过视孔时，会在半球面内壁形成清晰的光斑，观测者无需仰视天空，只需俯视光斑在刻度上的位置，即可直接读取天体的赤纬（周天度数）与时角（十二时辰），彻底简化了观测流程。

仰仪的核心原理是“天球坐标的二维投影”：将三维天球（赤经、赤纬坐标）通过视孔投影至二维半球面，利用几何关系实现数据读取。以太阳观测为例，阳光穿过视孔形成的光斑中心，对应太阳在天球上的位置；根据光斑在“周天度数”上的刻度，可直接得到太阳赤纬（如夏至日赤纬约23.5度）；根据光斑在“十二时辰”上的刻度，可换算出当地真太阳时（误差小于15分钟）。这种“投影观测”方法，将传统浑仪的“多步骤计算”转化为“一步读数”，不仅降低了操作难度，更将观测误差从浑仪的0.5度降至0.1度，精度提升5倍。

4 仰仪的观测功能与在《授时历》修订中的作用

仰仪并非单一功能仪器，而是覆盖太阳、日食、恒星的“多功能观测平台”，其获取的精准数据，为《授时历》成为中国古代最精准历法提供了核心支撑。

太阳观测是仰仪的核心功能，也是《授时历》修订的关键数据来源。郭守敬团队利用仰仪开展了两项核心观测：

1. 太阳赤纬测量：通过长期观测不同日期的太阳赤纬，发现太阳赤纬的变化周期为365.2425天——这一数值即为回归年长度，与现代天文学计算的365.2422天仅相差0.0003天，精度远超同时期欧洲《儒略历》（365.25天）。《授时历》直接采用这一数据，使其成为当时世界上最精准的历法，且与现行公历（格里高利历）的回归年长度完全一致，比西方早300余年。

2. 二至日时刻推算：夏至日太阳赤纬最高，冬至日最低，郭守敬通过仰仪观测到至元十六年（1279年）大都夏至日的准确时刻为“寅正三刻”（今凌晨4时45分），冬至日时刻为“申正三刻”（今16时45分），据此校准了《授时历》的节气时刻，使节气偏差从《大明历》的2-3天降至0.5天以内。

日食是古代天文学的重要观测对象，不仅具有科学价值，还被视为“上天警示”，需精确记录。仰仪观测日食的优势在于：日食发生时，阳光穿过视孔形成的光斑会出现缺口，观测者可通过缺口的形状、大小与移动轨迹，精准记录三项关键数据：

初亏与复圆时刻：缺口首次出现的时刻为“初亏”，缺口完全消失的时刻为“复圆”，仰仪记录的至元十七年（1280年）日偏食初亏时刻为“辰正一刻”（今8时15分），复圆时刻为“午正一刻”（今12时15分），与现代天文推算结果仅相差5分钟。

食分计算：缺口的最大面积与光斑总面积的比例为“食

分”，郭守敬通过仰仪测得此次日偏食食分为“七分半”（75%），与实际食分完全吻合。这些数据不仅验证了《授时历》中日月运动公式的准确性，更为后世研究古代日食提供了可靠的文献依据。

虽然仰仪的主要观测对象是太阳，但郭守敬也将其用于恒星观测，以交叉验证数据精度：在夜间，通过璇玑板视孔瞄准北极星、北斗七星等标志性恒星，读取其赤纬与时角，与浑仪的观测结果对比，发现浑仪因长期使用存在“轴系偏移”误差（约0.3度），并据此修正了浑仪的刻度，使恒星观测精度大幅提升。此外，仰仪获取的恒星坐标数据，还被用于修订《授时历》附载的“恒星位置表”，补充了20余颗此前未记录的暗星，完善了元代星表体系。

5 仰仪的历史地位与现代价值

仰仪的创制，不仅是元代天文学的巅峰成就，更对中国乃至世界古代科技发展产生了深远影响，其科学价值在当代仍具有重要意义。

仰仪的创新突破，体现在三个方面：一是“视角革新”，将传统的“仰视”改为“俯视”，解决了强光干扰问题；二是“原理创新”，首次将天球投影原理应用于天文观测，简化了数据获取流程；三是“功能整合”，实现了太阳、日食、恒星的多目标观测，打破了传统仪器“单一功能”的局限。明代天文学家徐光启在修订《崇禎历书》时，曾参考仰仪的投影原理设计“简仪”改进版；清代《数理精蕴》将仰仪列为“中国古代天文仪器之典范”，其设计理念影响中国天文仪器发展近300年。

13世纪的世界范围内，仰仪的技术水平处于领先地位：同时期欧洲的天文观测仍以“象限仪”“星盘”为主，这些仪器精度低（误差约1度）、操作复杂，且未形成投影观测体系；阿拉伯世界的“太阳高度仪”虽能测量太阳高度，但功能单一，无法观测日食与恒星。直到16世纪哥白尼提出“日心说”后，欧洲才出现类似“投影观测”的仪器（如“太阳

赤纬仪”），比仰仪晚近300年。此外，元代通过驿路与阿拉伯世界的科技交流，仰仪的原理可能通过阿拉伯天文学家传入欧洲，对后来欧洲天文仪器的发展产生间接影响。

在当代，仰仪仍是科技史研究与科学教育的重要资源：一方面，通过对仰仪的复原研究（如20世纪90年代中国科学院紫金山天文台复原的仰仪，现陈列于北京古观象台），研究者可直观了解元代的金属加工与天文观测技术，填补了元代科技史的细节空白；另一方面，仰仪的“小孔成像”“水平校准”等原理，与现代中学物理、地理课程中的“光的直线传播”“纬度测量”等知识点高度契合，成为培养学生“理论联系实际”思维的优质案例。

郭守敬创制的仰仪，是中国古代科技“实用导向”与“创新精神”结合的典范。在元代历法修订的需求驱动下，郭守敬突破传统浑仪的技术瓶颈，将数学计算、物理原理与手工业技术融入仪器设计，造出了兼具精度与实用性的仰仪，为《授时历》的精准性提供了核心支撑，也为世界古代天文学贡献了中国智慧。

七百余年过去，仰仪的实物虽已湮没于历史，但它所承载的科学精神——“立足需求、勇于突破”的创新意识，“严谨求证、精益求精”的科研态度，“跨学科融合”的思维方法——仍具有强大的生命力。作为中国科技文化的重要符号，仰仪不仅是元代天文学辉煌的见证，更激励着当代科研工作者不断探索未知，推动科技文明的进步。

参考文献

- [1] 陈美东.中国古代天文学思想[M].北京：中国科学技术出版社，2007.
- [2] 薄树人.中国古代天文仪器[M].北京：科学出版社，1997.
- [3] 李迪.郭守敬评传[M].南京：南京大学出版社，1996.
- [4] 席泽宗.中国科学技术史·天文学卷[M].北京：科学出版社，2003.
- [5] 赵永恒.郭守敬天文观测数据的现代验证[J].自然科学史研究，2010（01）：1-10.