

中国古代科学名家

(七)

三思 主编

目 录

郭守敬	1
黄道婆	18
薛景石	22
赵友钦	25
朱世杰	30
王祯	46
朱思本	59
危亦林	66
周达观	68
朱震亨	70
贾鲁	77
鲁明善	80
忽思慧	85
汪大渊	89
滑寿	91
戴思恭	98
楼英	103
宋礼	105
郑和	114
吴敬	121
贝琳	123
邝廷瑞	125
马一龙	127
薛己	131
万全	134
郑若曾	138

罗洪先	141
高武	149
黄省曾	152

郭守敬

郭守敬字若思。顺德邢台（今河北邢台）人。元太宗三年（1231年）生；1316年卒。天文学、水利工程学。

郭守敬出生在一个殷实的家庭，从小跟随祖父郭荣长大，得到良好的教育。郭荣不但通晓《五经》，而且精通数学和水利之学，这对郭守敬产生了很大的影响。约1246年，郭守敬得到一幅拓印的北宋燕肃的莲花漏图，依图他能将这一计时仪器的原理讲得十分清楚。他还会依据古图用竹篾扎制成浑仪，并积土为台，用扎制的浑仪进行恒星观测。这些都显露出年轻的郭守敬对天文观测的浓厚兴趣，和在仪器制作方面的才华。

约1247年，郭荣把郭守敬送到他的老朋友刘秉忠处学习深造。刘秉忠是当时著名的学者，深通天文、数学、地理等学问，这时正在磁州西紫金山（今河北武安），与另两位学识渊博的学者张文谦、张易一起读书并研讨学术，参与其间的还有一位少年朋友，名叫王恂，他比郭守敬小四五岁，也是才华出众。郭守敬与这些良师益友朝夕相处，经过数年的共同学习和钻研，学问大有长进，尤其是在天算历法方面打下了坚实的基础。这些人后来先后出仕元廷，张文谦、张易，特别是王恂又都是参与制定授时历的重要人物，他们此时的聚会，很可能已经对历法改革的问题进行了初步讨论。

约1250年，郭守敬返回家乡。1251年，受张文谦等人的邀请，他在邢台参与了一项河道疏浚的规划工作，妥善地设计了其中的关键工程，已在水利工程上崭露头

角。此后数年中，他一直在家潜心学习与研究，不断增长自己的学识。

1260 年，应张文谦的邀请，郭守敬到大名（今河北大名一带）任职，协助处理有关政务。其间，他考察了该地区的水利状况以及地形水势，多有心得。他还曾仿制成燕肃的莲花漏，以供城市计时之用。

1262 年，张文谦正式将郭守敬推荐给忽必烈。晋见时，郭守敬依据多年对水利的考察与思考，向忽必烈提出了兴修 6 项水利工程的建议，受到了忽必烈的重视和赞赏，被授予提举诸路河渠的职务。自此到 1276 年的 10 余年中，郭守敬一直在水利部门任职，先后升任副河渠使（1263）、都水少监（1265）、都水监（1271）、工部郎中（1276）等职，分管以至全面负责全国河渠、水利的治理工作。其间，他先后完成了修复西夏古渠、兴修北京地区若干水利设施、黄河下游诸水系的整治等重要工程。

1276 年，忽必烈诏令编制新历法，为此设立了专门机构太史局，并任命王恂和郭守敬二人为主要负责人，先后参与改历工作的还有张文谦、张易、许衡、杨公懿等人，他们各尽所能，分工合作，终于在 1280 年编成了新历法，即著名的授时历。在 4 年的编历过程中，郭守敬共创制了简仪、高表等 17 种天文仪器，并主持开展了一系列卓有成效的天文观测工作，他还积极参与对前代历法的研究和新历法的编修，为授时历的制定做出了重大贡献。其间于 1279 年，忽必烈改太史局为太史院，诏令王恂为太史令，郭守敬为同知太史院事，共同负责太史院这一规模宏大的皇家天文台的筹建工作，郭守敬为太史院的规划和建设付出了大量心血。

1281年，授时历颁行天下，但由于时间紧迫，授时历所采用的天文数据、天文表格以及推算方法都还未经缜密的考定，只是一堆未经整理的草稿。到1282年，编制授时历的主要参与者王恂、许衡、张易先后去世，张文谦、杨公懿则隐退还乡，因此，完成定稿的工作全部落在了郭守敬身上。又经过约4年的艰辛努力，郭守敬撰成了《推步》7卷，《立成》2卷，《历议拟稿》3卷，《转神选择》2卷和《上中下三历注式》12卷，共5种26卷，圆满地完成了这项任务。

1286年，郭守敬升任太史令，继续进行天文历法的研究工作。又先后完成了一批重要的天文历法著作：《时候笺注》2卷，《修改源流》1卷，《仪象法式》2卷，《二至晷景考》20卷，《五星细行考》50卷，《古今交食考》1卷，《新测二十八舍杂座诸星入宿去极》1卷，《新测无名诸星》1卷，《月离考》1卷，共9种79卷。其中有对日、月、五星运动以及二至晷影、交食等的详细考证，有关于历法改革源流的论述，有关于天文仪器制造方法、尺度的详细说明，有恒星位置测量的最新成果，它们是郭守敬对1276年以来，特别是新近的天文历法工作进行总结。这些与前述5种26卷合计14种105卷，构成了一个十分严密、完整的天文历法巨著。

1291年，郭守敬又向忽必烈提出了兴修10余处水利工程的新建议，其中以修建通惠河工程最为重要。同年，忽必烈复置都水监这一统理全国水利的机构，命郭守敬兼职主管其事。1293年，通惠河通航，郭守敬又被任命兼提调通惠河漕运事。

1294年，由于在天文历法以及水利工程上的杰出贡献，郭守敬被任命为昭文馆大学士，并兼管太史院的工

作。这一年，他制成了七宝灯漏和木牛流马。次年，他又制成柜香漏、屏风香漏、行漏等计时仪器。1298年，他还制成了灵台水浑运浑天漏，并曾对京郊的一项水利工程提出重要的建议。后又曾试图仿制张衡地动仪，可惜未获成功。

1303年，郭守敬请求退休，但没有得到批准，一直到1316年，卒于任上。

纵观郭守敬的一生，他对科学技术的贡献是令人赞叹不已的。在31岁以前，是他勤奋学习、增长才干并在天文和水利方面初露锋芒的时期。31岁至45岁和60岁至62岁这两个阶段，他在水利工程方面大显身手，前后向朝廷提出了兴修20多项水利工程的建议，治理了大大小小数百处河渠泊堰工程，其中有不少是高质量的水利工程，在中国古代水利史上写下了光辉的一页。46岁至59岁和63岁至67岁这两个阶段，他在天文历法领域大放异彩，在天文仪器制造、天文观测和历法编算诸方面都硕果累累，在中国古代天文学史上写下了辉煌的篇章。史籍没有关于郭守敬在去世前10多年时间里的科技活动的记载，这可能是他的科技活动的休止期，一个创造欲望如此炽热的科学家为什么突然中止了他的求索，至今仍是一个谜。

郭守敬一生中创制的天文仪器不少于22种，其中有17种是他在参与编制授时历的数年中创制的，它们分别是：

简仪这是一种崭新的测量天体位置的仪器，它是为克服传统浑仪环圈繁多、众环圈同心安置在技术上的困难以及运转不够灵活等弊病而精心设计的。它由两组彼此独立的仪器组合而成，第一组由赤经环、赤道环和百

刻环组成，其中赤道环和百刻环重叠安置，二者之间平放四个圆筒形的短铜棍，这是世界上滚筒轴承的最早利用，可使赤道环灵活地沿固定的百刻环转动；第二组由阴纬环和地平环组成。赤经环（或阴纬环）垂直安置于赤道环（或地平环）的环心之上，均可绕环心自由转动，采取的是环圈垂直安置法。两组仪器又均以线照准替代传统窥管的小孔照准法。第一组仪器是赤道坐标装置，可用于测量天体的去极度（沿赤经环）、入宿度（沿赤道环）和地方真太阳时（沿百刻环），这是世界上最早的大赤道仪；第二组仪器是地平坐标装置，可用于测量天体的地平高度（沿阴纬环）和地平方位角（沿地平环），这与近现代的地平经纬仪相当。这两组仪器具有统一的底座，又相距甚近，二者错落有致，浑然一体。这就是著名的简仪，它设计新颖、合理，结构严整、牢固，功能多样，应用灵便。

候极仪它安置在简仪赤经环转轴的顶端，是一与赤道环遥相平行的小环圈。用它观测北极星，令北极星在该小环圈内运转，运转的圆心即天北极的方向，使赤经环转轴沿此方向安置。所以，它是使简仪的赤道坐标装置校正到正确位置上的重要仪器。由于它与简仪组装在一起，也可视作简仪的一个构件。

立运仪即简仪上的地平坐标装置。

高表这是为提高晷影测量的精度而设计的，传统的圭表表高一般为 8 尺，郭守敬将表高增至 4 丈，圭长亦相应增加。在北京，郭守敬先以木为表，后又以铜铸表，表端均为一悬空的横梁。而在河南登封县，郭守敬建造了城墙式高表，系以砖砌为台，其中起高表作用的是台面正中的垂直凹槽，横梁置于凹槽的顶端，横梁的中轴

与圭面垂直距离为 4 丈，圭面自南向北延伸，圭面中轴线两侧开有两条平行的水槽，用于校正圭面处于水平面上。这一设计既十分别致，又十分合理和科学。

景符这是依小孔成象原理设计成的测影器具，它由一个 2 寸见方的框子和一片 4 寸长、2 寸宽的铜叶组成，铜叶的一边用枢纽与框子的一边连接，可随意转动，铜叶的中间开一小孔。测影时将景符在圭面上移动，令铜叶面与阳光垂直，又令高表横梁的影子正好平分米粒大小的太阳像圆面，此时横梁影子所指处，就是 4 丈高表的影长。从理论上讲，高表比 8 尺表增长 5 倍，其测影精度应提高 5 倍，但由于表高影淡，在圭面上很难看清楚横梁的影子，景符的创造，则使影子清晰可见，所以，景符是保证高表测影精度得以提高的关键性器具。

窥几其形制类似于几案，在几面的正中开一长方形的缺口，与缺口相垂直装有两根中间带有刀口的小木条。夜间观测时，将窥几置于高表圭面上，沿南北方向移动，观测者位于窥几下，通过缺口移动几面上的两根小木条，令它们的刀口分别与高表横梁的上、下边缘同所观测的天体处于一条直线上。然后，在几面上取这两根小木条所处位置的中点，由铅垂线读取圭面上的圭长值，再用一定的数学方法便可求出天体南中天时的地平高度值。

仰仪它是一铜制的中空半球，宛如一铜釜，直径约 10 尺，釜口向上，平放嵌入砖砌的台座中。取一根小木条让其一端架在釜口的正南边缘上，另一端附一铜片，中间开孔，令小孔正与半球心相重合。又取一根较短的小木条，令与前一根小木条垂直，两端分别平放在釜口的东南和西南边缘。通过釜口正南点和半球心在釜内壁作一大圆，由正南点向下沿该大圆弧 40.75 度（北京北

极出地高度)处取一点,以此点为极心,在釜内壁绘出一极坐标网格,这就是与北京相应的赤道坐标网格。观测时,令太阳光通过铜片小孔,成象在釜内壁上,由网格可以直接读取太阳的赤纬值和地方真太阳时刻。若遇日食,食相可以连续在釜内壁成象,由此可以测定日食的初亏、食甚、复圆等的时刻和方位,以及食分的大小等等。

赤道式日晷和星晷定时仪前者可用于测量地方真太阳时,而后者是一种星盘,可用于测量天体的高度,也可用于测定时间。

浑天象这是一种天球仪,在一圆球面上缀有众恒星,并绘有黄、赤道和可随时移动的白道。圆球半隐半现于一方柜内外,圆球的南北两极出入方柜顶面各 40.75° ,柜内设有机械装置,使圆球自动随天球同步旋转,能自动演示日月星辰的运动。证理仪和日月食仪它们是分别用于演示日、月运动状况和日月交食原理的仪器。

玲珑仪这是一中空圆球,圆球用半透明的材料制成。在圆球面上绘有纵横交错的赤道坐标网格,网格的交叉点均凿有小孔;又绘有星官的位置,亦凿出小孔。圆球在机械装置的驱动下,可绕极轴自动旋转,且与天体的转动同步。人居于圆球中心观测太阳或月亮,可以由坐标网格直接读得它们的赤道坐标值,即玲珑仪可用于测量日、月的位置,同时它又相当于假天仪,具有演示天象的功能。

正方案它是一块4尺见方的木板,以木板正中为圆心画19个同心

圆,半径各差1寸,最外圆边缘分划成 $365\frac{1}{4}$ 度。将正方案平置,在圆心上

安插一根小棒，标出自日出到日没棒影依次与这些同心圆的交点，取棒影出入同一个圆的两个交点连线的中点，这些中点的轨迹即为当地的正南北方向。若将正方案沿正南北方向竖直安置，则可用于测量当地的北极出地高度，其原理与唐代一行创制的复矩相同。

丸表、悬正仪和座正仪它们分别是用于测量地方真太阳时的天球仪式日晷，以及校正仪器的竖轴处于铅直方向和校正仪器的底座处于水平方向的仪器。

上述 17 种仪器是郭守敬为新编历法的需要，或为太史院设计制造的，其中前 9 种和后 4 种为观测用仪器，玲珑仪为观测、演示并用的仪器，其余则为演示用仪器。

七宝灯漏这是一种大型自动报时的仪器。灯漏通高 17 尺，作球状，共分四层，每层分别置神象、四象、木人等，它们或依时刻隐现，或依时刻跳跃、鸣叫、鸣钟、打鼓、敲钲、击铙等等，以丰富多彩的音象形式来报时。

水浑运浑天漏这是一种自动演示日月星辰运行状况的仪器，它较浑天象具有更复杂的结构和更多的演示功能，它们与七宝灯漏一样，都是以漏壶的流水为原动力，通过复杂的齿轮系统等的传动，达到与天同步、自动运行的成效的。

柜香漏、屏风香漏和行漏它们都是计时用的仪器，前二者是供皇室日常使用的，很可能是以点燃更香的形式来计时的，更香则被巧妙地安置在立柜或屏风之中。后者是供皇帝出行时使用的，大约是一种小型的、便携式漏壶。

以上 5 种仪器是郭守敬晚年创作的，其中 4 种与计时有关，有 3 种是使计时仪器实用化和小型化的尝试。统观郭守敬一生所创制的仪器，大都具有构思巧妙、设

计科学、结构合理和功能多样等特点，它们又共同组成了一个完善的天文仪器系列，较好地满足了与天文历法有关的各种需求。

应用新创制的有关天文仪器，郭守敬组织进行了大量的天文测量工作，取得了一系列重要的实测成果。围绕新历法历元的设置，郭守敬就进行了十分精细的、众多的测量工作，得到了所谓“七应”值，它们分别是：

气应实测历元年（1280）冬至时刻与其前甲子日夜半之间的时距。该值是郭守敬经过3年多对日影长度的实测后，应用其中98次测量结果计算而得的。郭守敬发展和完善了祖冲之、周琮等人的冬至时刻算法，他取冬至前后对称时日及该时日前或后一日的三个影长值合为一组，依祖冲之法推得一个冬至时刻值，由于测影结果颇丰，郭守敬可以得到多组影长值（并不局限于冬至前后数日，或立春、立秋前后的影长），求得多个冬至时刻值，他再从中选择出现频率最高的数值作为确实的冬至时刻值。由之，他得到1280年12月14.06日为冬至时刻，这正与理论值密合，其精度是令人惊叹的。这是郭守敬的从高表和景符的设计制造到计算方法的新发展等一系列创造性活动结出的硕果。

转应实测历元年冬至时刻与其前月亮过近地点时刻的时距。这是郭守敬经过3年多对月亮运动迟疾变化的实测后推算出的，其值为1280年11月30.87日，与理论值之差为0.15日，它是历代同类测量的最佳值之一。

闰应实测历元年十一月平朔时刻与冬至时刻间的时距。郭守敬在对前代交食时刻等记录的研究所推得的定朔时刻的基础上，给出该值为1280年1月23.88日，误差在0.1日左右。

交应实测历元年冬至时刻与其前月亮过黄白降交点时刻间的时距。郭守敬是在测量日、月去极度的变化状况以后推算出该值的，观测工作前后历时3年余。其结果为1280年11月18.04日，误差为0.34日。

周应实测历元年冬至时刻太阳所在宿度与赤道虚宿六度之间的度距。对此，郭守敬主要采用后秦姜岌发明的月食冲法，同时他也采用了北宋姚舜辅首创的测量黎明或黄昏时金星与太阳的度距，及当时金星所在恒星间的位置，进而推定冬至太阳所在宿度的方法，而且他还增添月亮和木星作为观测对象，然后再仿照姚舜辅法进行推算。这些工作也历时3年，最后郭守敬确定该值为315.1075度，即实测历元年冬至时刻太阳在赤道箕宿10度，其误差为0.22度，这一精度在历代历法中是比较高的。

合应实测历元年冬至时刻与其前五星平合时刻之间的时距。它们是在测量五星晨见东方时刻等大量资料的基础上得到的。根据郭守敬所给值可以推知，1280年冬至前后木、火、土、金和水星平合时的平黄经分别为 153.73° ， 214.06° ， 252.69° ， 60.60° 和 220.96° ，它们的误差分别为 0.51° ， 0.73° ， 0.36° ， 0.02° 和 10.34° ，除水星误差较大外，其余四星平黄经的测算均达到了较高的精度水平。

历应这是同实测历元年冬至时刻与五星过近日点时刻间的时距有关的数据，它们是从五星运动迟疾变化的大量观测资料中分析归纳而得的。依之可以推知，郭守敬测算得木、火、土、金和水星在实测历元年时的近日点黄经分别为 5.60° ， 316.99° ， 78.28° ， 258.21° 和 67.44° ，它们的误差分别是 2.80° ， 5.84° ， 0.73

°， 136.72° 和 1.16° 。其中，除火星外（历代对火星近日点黄经测量的误差均达百余度），木、土和火三星近日点黄经的测算精度是历史上同类测量的较佳值，而水星则为最佳值。

这就是说“七应”值实际上是指 15 种天文数据与历元年冬至时刻（或冬至点）间的时距（或度距），它们都以大量的观测资料为依据，构成了一系列相关的历法问题计算的起算点群组，为以实测历元替代传统历法的上元积年法的构想准备了必要的条件。从“七应”的精度看，大多数为历代同类测量的佳值或最佳值，这说明郭守敬的天文观测工作是相当精细的，它使上述构想成功地得到实现。

郭守敬所进行的天文观测工作还有以下几项：

他曾对北京每日太阳出入时刻和昼夜时间长短作了十分认真的测算。在授时历中，郭守敬给出了一个昼夜漏刻数值表，它是以冬至或夏至为起点，每隔一黄道度列出一个昼夜时间值，这较前代各历法以二十四节气为准列出二十四个昼夜时间值的传统表格远为精细，而且研究表明，郭守敬新数值表的误差为 0.7 分钟，精度也远高于前代各历法。

授时历的月离表是将一个近点月分为 336 段，分别给出相应的月亮实行度，这比前代各历法的月离表以一日为一段（约 27 段）也来得精细，这当然是郭守敬进行实测的新结果。

对二十八宿距度，郭守敬也重新作了测量，其平均误差为 0.075° ，是历代同类测量精度最高的。不仅如此，他还对全天恒星的位置进行了测定。据研究发现：北京图书馆存明抄本《天文汇抄》中的《三垣列舍入宿

去极集》一书，保存了郭守敬当年对恒星位置观测的部分成果。该书中的星图共绘有 267 个星官，1375 颗恒星，其中有 739 颗恒星标有入宿度和去极度的具体数值。将这些数值与 1280 年的理论值比较，入宿度和去极度的偶然误差分别为 $15.68'$ 和 $13.50'$ 。仅就 739 颗星而言，其数量也比著名的北宋皇星表多一倍以上，且精度也相当高。它是当时世界上最优秀的星表之一。

郭守敬还组织了全国范围的天文测量工作，他共选择了 27 个观测点，无论从测点的数量还是其分布范围都超过唐代一行的同类工作。测量的内容仍是北极出地高度、冬夏至晷影长度和昼夜漏刻长度等，其目的也是为九服晷漏、食差等的计算提供必要的实测数据。据研究，其中观测地点可考的 20 处北极出地高度值的平均误差为 0.35° ，而郭守敬亲自负责观测的北京、河南登封等 3 处的北极出地高度的平均误差仅为 0.23° ，由此看来，这次测量的精度也高于前人。

考察授时历所采用的其他一系列天文数据和天文表格，其精度大多数也都是较高的，这是郭守敬善于吸收前人已有的研究成果，同时也程度不同地进行了实测验证的结果。如对回归年长度值，授时历取 365.2425 日，显然这是沿用了杨忠辅统天历（1198）的数据，也毋庸置疑的是，郭守敬为此做了大量的实测和认真的考订工作，而该值是前代历法中精度最高的，所以，郭守敬的抉择是明智的，其实测和考订工作也是成功的。又如，关于回归年长度古大今小的消长法，郭守敬则接受了杨忠辅的思想，并对之作出了进一步的表述。当然，郭守敬的部分抉择并不妥善，如赤道岁差值，郭守敬取 66.67 年差 1 度，这是误差较大的一个数据。

授时历对一些计算方法作了重大的创新。如在计算太阳、月亮和五星运动不均匀性改正时创用了三次差内插法；对黄、赤道宿度变换和白、赤道宿度变换以及太阳视赤纬计算法，创用了类似球面三角法的数学方法，等等。此外，以万分法替代传统历法的日法，也是授时历令计算便捷的重要措施之一。这些都在数学方法的完善化和历法问题计算的精确化上做出了重大贡献。当然，这方面的进展主要应归功于王恂，但是郭守敬也为此付出了心血。

由于郭守敬等人的共同努力，使授时历成为我国古代最优秀的一部历法，它前后行用了 364 年，是我国古代颁用时间最长的一部历法。作为这部历法的主要筹划者，一大批天文数据与天文表格的测算者，和最后编审定稿者，郭守敬的贡献是出类拔萃的。

郭守敬的科学技术才华还突出地表现在水利工程方面。在他设计、实施的众多水利工程中，有农田水利工程、航运工程和兼有这双重功能的工程，无论是哪一类型的工程，郭守敬都是从实地勘探地形和水文入手，然后提出合理的整体设计方案，并大力组织实施，使之达到预期的目的。

1262 年，郭守敬在晋见忽必烈时提出的 6 项水利工程的建议中，有 5 项是关于华北地区农田灌溉的工程，这是他在前数年对这一地区的水文、地势作认真的考察之后提出的。这些工程的基本设计思想之一，是利用黄河各支流、或黄河的不同河段之间水位的高度差，在诸支流或不同河段间开渠引水，从而构成自流灌溉的水利网络，使万余顷农田得到了灌溉。此中，有的工程还可以起分流的作用，有的还可以行船，便利交通。另有一

项是关于完善北京漕运的工程，郭守敬建议引京城西北玉泉山下的泉水进城，以解决京城到通州（今北京通县）旧漕运河水源不足、通行不畅的问题。他又建议开凿自通州直达杨村（今天津西北的武清）的新运河段，以克服原运河段曲折、远绕的弊病，使大运河更加通畅。

1264 年，郭守敬视察西夏（今宁夏回族自治区一带）古渠，发现古渠的总体设计基本合理，便组织人力疏浚渠道，重整水坝、水闸等设施，用了不到一年时间，便使可以灌溉农田 9 万余顷的古渠重新发挥效益。在从西夏回京时，郭守敬沿黄河而下，一路细心视察，发现自中兴州（今银川东南）到东胜（今内蒙古自治区托克托）一段黄河可以用于漕运，又发现查泊兀郎海（今乌梁素海）一带广布古渠，只要加以修理，便可用于农田灌溉。这些反映了郭守敬实事求是的科学态度和认真负责的精神。

1265 年，郭守敬回到京师后，又提出了修复横亘京西平原的金口河的建议，即从麻峪村（今石景山附近）引永定河水经西山金口东流，直抵京城。为预防永定河水泛滥，郭守敬设计了关键的金口工程，即在金口西岸修筑一条较宽大的溢洪道，并引洪水往西南流回永定河中。这项工程兴修以后的 30 余年中，对西山木材物产的东运和京西农田的灌溉起了良好的作用。

1275 年，郭守敬在考察今河北、山东、江苏等地区水道交通状况和实地测量黄、淮河下游地形的基础上，提出了建立一个庞大的交通网络的实施方案，他共设计、修筑了五条河渠干线，使卫河、马颊河、大运河、御河、汶水、泗水、微山湖、山阳湖和梁山泊等水系、湖泊彼此连通，建立了以东平（今山东东平）为枢纽，西连卫