

## 郭守敬，一个仕途坦荡的科学家

陈关荣

(香港城市大学)

郭守敬（1231年—1316年），字若思，河北邢台人。

郭守敬出生于金哀宗正大八年（1231年），时为宋朝（960年—1279年），但当年的河北地域属于女真族人管治的金国。他40岁那年，大蒙古国忽必烈（1215年—1294年）打败了西夏和金国，建立了一统天下的元朝（1271年—1368年）。

郭守敬是元朝时期最著名的水利工程师、天文学家、仪表制造专家。



图1 郭守敬铜像（邢台市达活泉公园）

## 【一】

郭守敬祖父郭荣，号驾水翁，是金元之际一位颇有名望的学者。他精通五经，谙熟天文和数学，特别擅长水利技术。郭守敬由祖父抚养成人，受其影响极大。至于郭守敬的父亲和家庭，则历史记录不详。

在祖父教养下，郭守敬从小勤奋好学，善于动手做事，“生有异操，不为嬉戏事”。他十多岁时自己就按一本书上的插图制作了一架简易天文观测器。他还根据北宋科学家、画家诗人燕肃（961年—1040年）的一幅“莲花漏”滴水计时器石刻拓印图，自己弄明白了计时器中的漏壶何以保持水位恒定的工作原理。这个漏壶的来历，是北宋天圣八年（1030年）时为龙图阁侍制的燕肃向宋仁宗（1010年—1063年）呈上他改制的漏刻计时器，其水壶上嵌有铜制荷叶和莲花，故取名为莲花漏。

郭守敬早年经由祖父推介，师从忽必烈的谋士、大学者刘秉忠（1216年—1274年），之后由刘秉忠推介又师从朝廷重臣、后来的左丞相张文谦（1216年—1283年）。

郭守敬毕其一生，在水利工程、天文学和仪表制造等方面取得许多卓越成就。



图2 介绍郭守敬的两本书

## 【二】

在治理江河湖泊、修渠建坝方面，历史上著名的代表性人物有黄河治水的大禹（夏朝）、修筑第一座水利工程的孙叔敖（春秋时期）、开凿十二条大水渠的西门豹（战国时期）、主持修建都江堰的李冰（战国时期），等等。因历史久远，这些人物的事迹不容易具体考究。但是，元代郭守敬在水利工程方面的杰出贡献却留下不少记录。

在元世祖忽必烈第一个年号的中统三年（1262年），由时任左丞相的张文谦推荐，郭守敬在开平府参见了忽必烈。他陈述了多个关于水利建设的主张，获得嘉许，并随即

受封，负责掌管各地河渠修善和水道治理工作。次年，他晋升为副河渠使。到了至元元年（1264年），郭守敬奉命前往西夏修治水利工程。他在那里组织民众开新渠、疏旧河、筑堤建坝，修复了长达四百余里的唐来渠和长达二百五十余里的汉延渠，让万顷农田得到充足灌溉。西夏百姓后来在渠上立碑记事，还筑建了“郭氏生祠”，让子孙后代铭记和拜谢郭守敬的恩情。

至元十三年（1276年），朝廷把都水监并入工部，同时让郭守敬出任工部郎中。

顺便提及，至元十三年在中国历史上颇为重要。这一年，元军挥师南下，摧垮了偏安已久的南宋王朝。忽必烈成为了首位建立中国统一中央王朝的少数民族领袖。更且，忽必烈在这次进军中还把云南、西藏和西域划入了元朝版图，在中国历史上首次实现了范围最为广阔的政权统一。

至元二十八年（1291年），郭守敬因多年治水有功，被朝廷委任为都水监。当年，他负责修治从元大都积水潭（今北京什刹海）至通州的运河。至元三十年（1293年），他指挥监察完成了全部工程，让运河成为南北交通的重要枢纽。当忽必烈从上都（今内蒙古锡林郭勒盟正蓝旗草原）回大都路过积水潭时，见其上“舳舻蔽水”，大悦，赐其名为通惠河，奖赏郭守敬一万二千五百贯，还升他职为太史令兼通惠河漕运事。

关于郭守敬治水，坊间流传有一件趣事。大德二年（1298年），有人提议在上都西北的铁幡竿岭下开辟一条排泄山洪的渠道，往南一直通到滦河。元成宗铁穆耳（1265—1307）把郭守敬召到上都商议。郭守敬根据地势和历年山洪资料，指出这条泄洪渠道要宽五十步至七十步（约80至115米）。但经办人认为郭守敬太夸张，会浪费钱财，把他建议的渠宽缩减了三分之一。次年山洪暴发，因渠道太窄，大水泛滥成灾，还险些冲及成宗的行帐。成宗在避水时感叹道：“郭太史真是神人啊，可惜大家都没听他的话！”



图3 元代运河和海运路线

### 【三】

郭守敬的另一项主要科学成就在天文和历法方面。

至元十三年（1276年），朝廷委任理学家、教育家、政治家许衡（1209年—1281年）为首、数学家王恂（1235年—1281年）和郭守敬为辅，进行全面的历法修订。至元十六年（1279年），郭守敬组织领导了在元朝疆域内27个地点进行大范围的天文观测。观测点东起朝鲜半岛，西到川滇和河西走廊，北至西伯利亚，分布地域之广，考察内容之多，测量精度之高，参加人员之众，在中国历史乃至世界天文史上都是空前的。此举被后世称为“四海测验”，其纬度测量准确度与现代测量相比平均误差仅在 $0.2^{\circ}$ — $0.35^{\circ}$ 之间。这次四海测验，为他后来编制精确的新历法《授时历》提供了大量数据并奠定了可靠的天文学理论基础。

天文学的观测和计算常用地平坐标和赤道坐标，此外还有时角坐标、黄道坐标、银道坐标等坐标系。古代尚未有球面三角学和坐标变换公式，中国数学家们采用近似代数计算方法。王恂采用了“弧矢割圆术”，先把球面上的弧段投影到平面上，再利用勾股定理计算这些投影线段，最后采用宋代沈括（1032年—1096年）的“会圆术”公式，从这些计算出来的线段反求原来球面上的弧段长度和位置。这些计算方法与现代球面三角学公式一致，十分精确。郭守敬作为《授时历》的最后整理人和定稿者，记录了这种弧矢割圆术。《授时历》是当时最先进的天文学成果，郭守敬以此领导完成了中国历史上第四次历法大改革。

《授时历》制定的新历法以365.2425日为一岁，比北朝天文学家、数学家祖冲之（429年—500年）估算的每年365.2428日来得精确。事实上，这精度与七百多年后今天的观测值相差极微。《授时历》在中国沿用了360多年，最后为世界公历（即1582年启用的Gregorian Calendar）取代。该公历规定每年有365.242190419天，让它变得更为合理好用。郭守敬的计算之所以能达到高精度，是他改进了隋朝天文学家刘焯（544年—610年）使用的基于天文观测数据的内插计算方法，用来推算日月星辰的多种非匀速相对运动。数学上称为“内插法”的计算方法，是根据一个未知函数在某区间内若干点上的函数值，用一个特定的已知函数去代表这个未知函数，使得两者至少在那些点上的函数值相等。于是，往后便可用此特定函数去计算该区间内其他各点上的函数值，作为对原本未知函数在这些点上的真值的估计。最简单常用的特定函数是低阶多项式，由此引出一阶差（线性）内插、二阶差（抛物线）内插，等等。我国古代数学家很早就懂得使用内插法，如公元前一世纪《九章算术》中记载的“盈不足术”就采用了一阶差内插，隋朝天文学家刘焯在《皇极历》中就使用了二阶差内插，唐朝天文学家僧一行（683年—727年）在《大衍历》中更使用了不等间距的二阶差内插法。到了郭守敬，他在《授时历》中进一步使用了三阶差内插法，极大提高了计算精度。在中国古代，数学家们把这种内插法称为“招差法”。而在世界数学史中，内插法的一般公式则是由牛顿（1643年—1727年）给出的。

对于修订历法，郭守敬认为“历之本在于测验，而测验之器莫先仪表”。他改制和发明了简仪、高表、候极仪、浑天象、玲珑仪、仰仪、立运仪、证理仪、景符、窥几、

日月食仪以及星晷定时仪等共十二种新仪器。其中，简仪是郭守敬将结构繁复的唐宋浑仪简化为两个独立的观测装置，让结构和使用变得简单，并且除北极星附近以外，整个天空可以一览无遗。三百多年之后，1598年丹麦天文学家第谷（Tycho Brahe，1546—1601）独立地发展了类似的天文观测仪器和方法。此外，郭守敬在创造仰仪和景符等天文仪器中反复运用了光学的针孔成象原理，在中国光学史上也是比较突出的成就。

至元十八年（1281年），王恂去世。之后，郭守敬单独承担了太史院的全部工作特别是《授时历》的最终整理和修订。据《元史·郭守敬传》记载，郭守敬后来编撰的天文历法著作还有《推步》《立成》《历议拟稿》《转神选择》《上中下三历注式》《时候笺注》《修历源流》《仪象法式》《二至晷景考》《五星细行考五十卷》《古今交食考》《新测二十八舍杂坐诸星入宿去极》《新测无名诸星》《月离考》等十四种，洋洋万言共105卷。

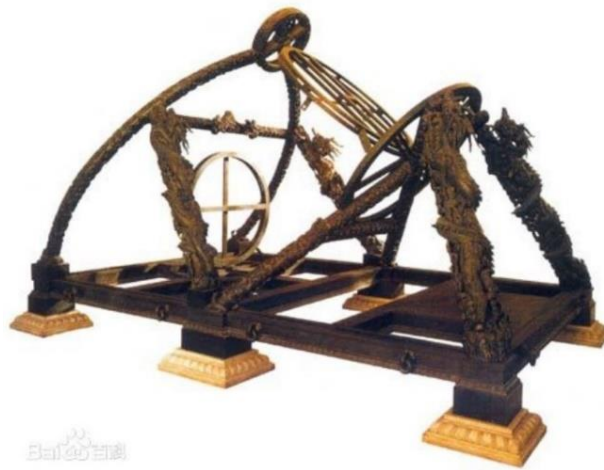


图4 郭守敬发明的天文简仪（模型）

至元二十三年（1286年），郭守敬升任为太史令。

至元三十一年（1294年），郭守敬升任为昭文馆大学士，兼任太史院知事，故世称为“郭太史”。

元成宗铁穆耳在大德七年（1303年）时下诏，凡年满七十岁的官员皆可退休。但是，他不让郭守敬退位，说朝廷有很多工作需要他继续做下去。从此，朝廷便有了一个新例规：太史院的天文官都不退休。

元仁宗延祐三年（1316年），郭守敬去世，享年86岁。

#### 【四】

郭守敬生前身后，许多人对他给予极高的评价。

元世祖忽必烈说：“任事者如此，人不为素餐矣。”

元初理学家、教育家、政治家许衡说：“天佑我元，似此人世岂易得？”

元代数学家齐履谦（？—1329年）说：“公以纯德实学为世师法，然其不可及者有三，一曰水利之学，二曰历数之学，三曰仪象制度之学。……及夫见用，观其规画之简便，测望之精切，智巧不能私其议，群众无以参其功。……呜呼！其可谓度越千古矣。”

明代意大利传教士利玛窦（Matteo Ricci, 1552年—1610年）说：“[郭守敬的天文仪器]其规模和设计的精美远远超过曾在欧洲所看到、所知道的任何同类物件。这些仪器经受了二百五十年的雨雪和天气变化的考验，都丝毫无损它本来的光彩。”

明末清初德国传教士汤若望（Adam Schall, 1591年—1666年）则称郭守敬为“中国的第谷”。

清朝大学者朱軾（1665年—1736年）说：“守敬开物成务，功施于千载。所陈水利，言未尽从，然功烈赫赫。若此历象之说，自有专书可毋录也。守敬撮古今之要，言约而义赅，故并载焉。”



图5 《中国古代科学家》纪念邮票集第7枚和纪念银币

历史时光荏苒，直到20和21世纪，纪念郭守敬的各种政府和民间活动有增无减。

1962年，中国邮电部发行了第二组《中国古代科学家》8枚纪念邮票一套，介绍了蔡伦（62年—121年）、孙思邈（541或581年—682年）、沈括和郭守敬在造纸、医药、地质和天文等方面所取得的成就，其中第7枚为郭守敬半身像，第8枚是他发明的“简仪”标本。

1970 年，国际天文学会把月球上的一座环形山命名为“郭守敬环形山”。

1977 年，国际小行星中心将 2012 号小行星命名为“郭守敬小行星”。

1984 年，邢台市建立了“郭守敬纪念馆”，并将一条街道命名为“郭守敬大道”。

1986 年，北京建立了“郭守敬纪念馆”。此外，宁夏回族自治区建有郭守敬祠堂，河南省登封市至今保留有郭守敬所建的观星台，等等。



图 6 郭守敬纪念馆

1989 年，中国人民银行发行了郭守敬银币，为“中国杰出历史人物金银纪念币”系列第六组中之一枚。

2009 年，中国科学院将座落于河北省承德市兴隆县的国家天文台观测基地的 LAMOST 望远镜命名为“郭守敬天文望远镜”。该天文望远镜至今发布了约二千万条光谱数据。基于这些海量光谱数据，研究人员发现了 1417 个致密星系和 734 颗极冷矮星。

2019 年，郭守敬被国家水利部列入第一批“历史治水名人录”。



图 7 郭守敬天文望远镜（国家天文台兴隆观测基地）

## 【五】

纵观郭守敬的一生，人们看到了他的成功主要是基于个人的超群智慧和非凡努力。但是，人们还应该看到，他一直都得到朝廷的信任和重用，得到官方长期财政支持，并且始终没有卷入政治风波。在古代中国，有幸走上这种仕途的科学家十分罕见。另一方面，对于他的科学生涯不可或缺的是，他毕生伴有几个志同道合并且睿智多能的好友同事，成就了他对于像天文学这种不可能单枪匹马进行探索的大规模科学研究。



邢台郭守敬纪念馆



北京郭守敬纪念馆

图 8 郭守敬星图